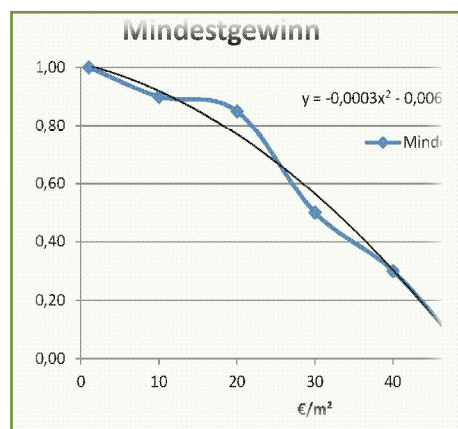


# MASTERARBEIT

Zusammenstellung K7	Kosten	Preis
Kalk. Bohren	119,80	137,77
Kalk. Ziehen	17,97	20,67
Kalk. Manipulation	47,91	55,10
Kalk. Verpressen	76,67	88,17
Kalk. Sonstiges	13,00	14,95
<b>€/Säule</b>	<b>275,35</b>	<b>316,66</b>
<b>€/m<sup>2</sup></b>	<b>376,96</b>	<b>433,50</b>



Ziehen [cm/min]	Durchflußrate w [l/s]	17,00	6,25			
Pumpenrate [l/min]	70,00	110,00	150,00	190,00	230,00	270,00
DN [m]	0,72	0,91	1,06	1,19	1,31	1,42
Raster [m]	0,63	0,79	0,92	1,03	1,14	1,23
w [l/s]	3,33	26,67	34,29	22,86	11,43	1,43
Zw [%]	0,23	1,67	2,14	1,43	0,71	0,09
A1	17,00	755	755	755	755	755
	70,00	0	249	366	433	508
0,63	0,72					
A2	17,00	755	505	505	505	505
	110,00	0	0	116	184	228
0,79	0,91					
A3	17,00	755	505	389	389	389
	150,00	0	0	0	67	111
0,92	1,06					

Entscheidungsregel
Maximin
Maximax
Hurwicz ( $\lambda = 0,60$ )
Laplace
Savage-Niehans
Krelle $\sqrt{x}$
$\mu$ -Kriterium
$\mu\sigma$ -Prinzip $\Phi(A_a)$
$\mu\sigma$ -Prinzip $\Phi(A_a)$

## DIE ENTSCHEIDUNGSTHEORIE IN DER BAUKALKULATION

Michael Mittermair, BSc.

Vorgelegt am  
 Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft  
 Projektentwicklung und Projektmanagement

Betreuer  
 Univ.-Prof. Dr.-Ing. Detlef Heck

Mitbetreuender Assistent  
 Dipl.-Ing. Michael Werkl

Graz am 30. Oktober 2012



## EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am .....

.....

(Unterschrift)

## STATUARY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, .....

date

.....

(signature)

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mir während meiner Masterarbeit mit Rat und Tat zur Seite standen.

Besonderer Dank gebührt meiner Familie und meinen Freunden, die mich während meiner gesamten Ausbildungszeit hindurch unterstützten.

Für die Betreuung von universitärer Seite, bedanke ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Detlef Heck und Herrn Dipl.-Ing. Michael Werkl.

(Ort), am (Datum)

\_\_\_\_\_  
(Unterschrift des Studenten)



## Kurzfassung

Die Masterarbeit zeigt die Anwendung der Entscheidungstheorie in der Baukalkulation. Die Themengebiete der Entscheidungstheorie unterteilen sich in die präskriptive und die deskriptive Theorie. Während die deskriptive Entscheidungstheorie versucht, bei Entscheidungsproblemen das menschliche Handeln widerzuspiegeln, wird im Rahmen der präskriptiven Entscheidungstheorie versucht, anhand von Entscheidungsregeln und unter Ausschluss von psychologischen Einflüssen, die rationale Lösung zu finden. Die Arbeit bewegt sich im Rahmen der präskriptiven Theorie. Nach Einführung in die allgemeinen Grundlagen und Vorstellung der einzelnen Entscheidungsregeln unter Ungewissheit und Risiko, folgt deren praktische Anwendung in der Baukalkulation. Es werden dafür die Kosten für eine horizontale Baugrubenabdichtung mittels Düsenstrahl-Sohle ermittelt und die Anwendbarkeit der einzelnen Entscheidungsregeln überprüft. Es wird die Erstellung einer Entscheidungsmatrix, die Formulierung eines Zielsystems sowie das Auffinden und Auswerten aller möglichen Alternativen im Zuge des Anwendungsbeispiels gezeigt. Eine Gegenüberstellung der Ergebnisse aus der Standardkalkulation und der Ergebnisse die mit Hilfe der Entscheidungstheorie ermittelt wurden zeigt, dass die Anwendung der Entscheidungstheorie, im speziellen das  $\mu$ -Kriterium, dem Entscheider eine gute Hilfestellung bieten kann.

## Abstract

The thesis presents the application of decision theory on construction calculations. The subject areas of decision theory can be divided into prescriptive and descriptive theory. While descriptive decision theory tries to reflect on decision problems of human actions, the context of prescriptive decision theory tries to find the rational solution on the basis of decision rules with the exclusion of psychological influences. This work is in line with prescriptive theory. After an introduction to the general principles and concepts of individual decision rules under uncertainty and risk, the work will then outline their practical applications in construction calculations. This will determine the costs of a horizontal excavation-pit seal with jet grouting technology, and verify the applicability of individual decision rules. It will show the creation of a decision matrix, the formulation of a target system, and the identification and analysis of all possible alternatives in the course of the application example. A comparison of the results from a standard calculation and the results obtained with the help of decision theory shows that the application of decision theory, in particular the  $\mu$ -criterion, can provide good support to the decision maker.

## Inhaltsverzeichnis

<b>0</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
0.1	Ziel der Arbeit .....	2
0.2	Grobstruktur der Arbeit .....	2
<b>1</b>	<b>Baukalkulation</b>	<b>3</b>
1.1	Zuschlagskalkulation .....	3
1.2	Arten der Baukalkulation .....	4
<b>2</b>	<b>Grundlagen der Entscheidungstheorie</b>	<b>6</b>
2.1	Präskriptive Theorie .....	6
2.1.1	Zielfunktion .....	7
2.1.2	Entscheidungsfeld .....	8
2.2	Deskriptive Theorie .....	11
<b>3</b>	<b>Generierung eines Zielsystems</b>	<b>13</b>
3.1	Fundamentalziele und Instrumentalziele .....	13
3.2	Anforderungen an ein Zielsystem .....	13
<b>4</b>	<b>Generierung von Wahrscheinlichkeiten</b>	<b>15</b>
4.1	Klassische Wahrscheinlichkeit .....	16
4.2	Statistische Wahrscheinlichkeit .....	16
4.3	Subjektive Wahrscheinlichkeit .....	16
4.3.1	Rechteckverteilung .....	17
4.3.2	Dreiecksverteilung .....	18
4.4	Eintrittswahrscheinlichkeiten von Ereignissen .....	20
4.4.1	Mehrere einander ausschließende Ereignisse .....	20
4.4.2	Mehrere Ereignisse die gemeinsam eintreten .....	20
<b>5</b>	<b>Vergleichbarkeit von mehreren Zielen</b>	<b>22</b>
5.1	Ermittlung von Wertfunktionen .....	22
5.1.1	Methode gleicher Wertdifferenzen .....	22
5.1.2	Direct-Rating-Methode .....	25
5.1.3	Halbierungsmethode .....	26
5.2	Additives Modell .....	27
<b>6</b>	<b>Dominanz</b>	<b>30</b>
6.1	Zustandsdominanz .....	30
6.2	Absolute Dominanz .....	32
6.3	Wahrscheinlichkeitsdominanz .....	32
<b>7</b>	<b>Entscheidung unter Ungewissheit</b>	<b>34</b>
7.1	Maximin-Regel .....	34
7.2	Maximax-Regel .....	35
7.3	Hurwicz-Regel .....	36
7.4	Laplace-Kriterium .....	37
7.5	Savage-Niehans-Regel .....	38
7.6	Krelle-Regel .....	39
<b>8</b>	<b>Entscheidung unter Risiko</b>	<b>42</b>
8.1	$\mu$ -Regel (Bayes-Regel) .....	42
8.2	$\mu\sigma$ -Prinzip .....	43

8.3	Bernoulli-Prinzip .....	48
<b>9</b>	<b>Düsenstrahlverfahren</b>	<b>49</b>
9.1	Definition laut EN 12716 .....	49
9.2	Verfahrensarten und Herstellung .....	49
9.2.1	Vor- und Nachteile des DSV .....	50
9.3	Baustelleneinrichtung Düsenstrahlverfahren .....	51
9.4	Zusammensetzung der eingebrachten Flüssigkeit.....	52
9.5	Ermittlung der Anzahl von DS-Säulen.....	53
9.6	Zusammenhang der Parameter .....	55
<b>10</b>	<b>Aufgabenstellung Anwendungsbeispiel</b>	<b>58</b>
10.1	Jetparameter .....	58
10.2	Daten aus der Planung .....	59
10.3	Angaben für die Kalkulation .....	60
<b>11</b>	<b>Standardkalkulation</b>	<b>62</b>
11.1	Ermittlung der Gerätekosten .....	63
11.2	Ermittlung Kosten / Preise.....	64
<b>12</b>	<b>Kalkulation mit Hilfe der Entscheidungstheorie</b>	<b>66</b>
12.1	Bestimmung der Bohrgeschwindigkeit .....	66
12.1.1	Auswahl der Wahrscheinlichkeiten für die Bohrgeschwindigkeit .....	67
12.1.2	Entscheidungsmatrix der Bohrgeschwindigkeit.....	68
12.1.3	Normierung der Herstellkosten und des Profits .....	71
12.1.4	Gewichtung der Ziele .....	74
12.1.5	Matrix des Bedauerns „Bohren“ .....	76
12.1.6	Überprüfung der Dominanz.....	77
12.1.7	Auswertung der Alternativen .....	78
12.1.8	Abschließende Bewertung Bohren.....	80
12.2	Kostenermittlung der Dichtsohle .....	81
12.2.1	Auswahl der Wahrscheinlichkeiten für die Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen .....	82
12.2.2	Auswahl der Wahrscheinlichkeiten für die Pumprate.....	84
12.2.3	Entscheidungsmatrix.....	85
12.2.4	Direct-Rating-Methode für Herstellkosten und Profit.....	88
12.2.5	Auswertung der Alternativen .....	94
12.2.6	Ermittlung der Kosten / Preise .....	99
12.3	Abschließende Bewertung .....	100
<b>13</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>103</b>

## Abbildungsverzeichnis

Bild 1.1	Schema der Zuschlagskalkulation Bau.....	4
Bild 1.2	Gliederung Kalkulation nach Projektstand.....	5
Bild 2.1	Themengebiete der Entscheidungstheorie.....	6
Bild 2.2	Basiselemente der präskriptiven Entscheidungstheorie im Überblick ..	7
Bild 2.3	Ergebnismatrix bei Risiko.....	9
Bild 2.4	Mögliche Erwartungsstrukturen über die Zustände .....	10
Bild 4.1	Dichtefunktion (oben) mit zugehöriger Verteilungsfunktion (unten) ....	17
Bild 4.2	Dichtefunktion (oben) mit zugehöriger Verteilungsfunktion (unten) ....	18
Bild 5.1	Wertfunktion nach der Methode gleicher Wertdifferenzen.....	24
Bild 5.2	Wertfunktion nach der Direct-Rating-Methode .....	26
Bild 5.3	Wertfunktion nach der Halbierungsmethode .....	27
Bild 5.4	Einzelwertfunktionen (oben), Gesamtwertfunktion (unten).....	28
Bild 6.1	Anwendungsbeispiel Zustandsdominanz .....	31
Bild 6.2	Anwendungsbeispiel Wahrscheinlichkeitsdominanz .....	33
Bild 7.1	Unsicherheitspräferenzfunktion .....	40
Bild 8.1	Indifferenzkurven bei Risikofreude .....	45
Bild 8.2	Indifferenzkurven bei Risikoaversion.....	46
Bild 8.3	Indifferenzlinien für einen risikoneutralen Entscheider .....	47
Bild 9.1	Baustelleneinrichtung Düsenstrahlverfahren .....	51
Bild 9.2	Qualitätssicherung bei Dichtsohlen .....	53
Bild 9.3	Zusammenhang zwischen Säulendurchmesser und Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen in Abhängigkeit von der Pumprate.....	56
Bild 10.1	Ausführungsskizze horizontale Baugrubenabdichtung.....	59
Bild 12.1	Dichtefunktion Bohrgeschwindigkeit.....	67
Bild 12.2	Verteilungsfunktion Bohrgeschwindigkeit .....	68
Bild 12.3	Histogramm Wahrscheinlichkeiten Bohrgeschwindigkeit.....	68
Bild 12.4	Beschreibung Entscheidungsmatrix (Ausschnitt) .....	69
Bild 12.5	Wertfunktion „Bohren“ Herstellkosten.....	72
Bild 12.6	Wertfunktion „Bohren“ Profit.....	73
Bild 12.7	Dominanz „Bohren“ .....	77
Bild 12.8	Wahrscheinlichkeitsdominanz „Bohren“ .....	77
Bild 12.9	Zusammenhang Zieh- & Verpressparameter .....	81
Bild 12.10	Alternativenmenge .....	82
Bild 12.11	Dichtefunktion der Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen .....	83
Bild 12.12	Verteilungsfunktion der Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen.....	83
Bild 12.13	Wahrscheinlichkeiten der Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen .....	83
Bild 12.14	Dichtefunktion Pumprate .....	84
Bild 12.15	Verteilungsfunktion Pumprate .....	84

Bild 12.16	Histogramm Pumprate.....	85
Bild 12.17	Beschreibung Entscheidungsmatrix (Ausschnitt) .....	86
Bild 12.18	Direct-Rating-Methode für die Herstellkosten.....	89
Bild 12.19	Direct-Rating-Methode des Profits .....	90

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 4.1	Subjektive Wahrscheinlichkeiten .....	19
Tabelle 9.1	Übersicht über die Düsenstrahlssysteme .....	50
Tabelle 10.1	Jetparameter aus Referenzprojekten für sandigen Kies.....	58
Tabelle 10.2	Daten kaufmännische Abteilung .....	60
Tabelle 10.3	Übersicht Herstellparameter .....	60
Tabelle 10.4	Übersicht Mannschaft.....	61
Tabelle 11.1	Parameter Kalkulation .....	62
Tabelle 12.1	Entscheidungsmatrix Bohrgeschwindigkeit .....	71
Tabelle 12.2	Normierte Entscheidungsmatrix „Bohren“ .....	74
Tabelle 12.3	Gewichtete, normierte Entscheidungsmatrix „Bohren“ .....	75
Tabelle 12.4	Matrix des Bedauerns „Bohren“ .....	76
Tabelle 12.5	Präferenzwerte für Entscheidung unter Ungewissheit.....	78
Tabelle 12.6	Präferenzwerte Rechenregeln Entscheidung unter Risiko .....	79
Tabelle 12.7	Ergebnisse Entscheidungsregeln Bohren.....	80
Tabelle 12.8	Entscheidungsmatrix Dichtsohle herstellen .....	87
Tabelle 12.9	Normierte Entscheidungsmatrix .....	91
Tabelle 12.10	Gewichtete, normierte Entscheidungsmatrix .....	92
Tabelle 12.11	Matrix des Bedauerns.....	93
Tabelle 12.12	Präferenzwerte für die Entscheidung unter Ungewissheit_Teil1 .....	94
Tabelle 12.13	Präferenzwerte für die Entscheidung unter Ungewissheit_Teil2 .....	95
Tabelle 12.14	Präferenzwerte Entscheidung unter Risiko.....	96
Tabelle 12.15	Ergebnisse Entscheidungsregeln Dichtsohle herstellen .....	97
Tabelle 12.16	Parameter Dichtsohle herstellen .....	98
Tabelle 12.17	Parameter Kalkulationen .....	101

## 0 Einleitung

Die vorliegende Masterarbeit beschäftigt sich mit dem Thema der Entscheidungstheorie. Diese wurde entwickelt, um in schwierigen Entscheidungssituationen dem Entscheider eine Hilfestellung zu bieten. Jeden Tag müssen wir eine Vielzahl von Entscheidungen treffen, sei es privat oder beruflich bedingt. Leitet man eine Entscheidung ab, resultieren daraus Folgen, die unsere Lebensbedingungen oftmals nachhaltig in positiver oder negativer Hinsicht beeinflussen. Aus diesem Grund ist jeder Mensch bestrebt nach der rationalen Lösung eines Entscheidungsproblems zu suchen. Grundvoraussetzung für die Entscheidungsfindung ist eine klar definierte Zielvorstellung. Sind keine konkreten Ziele des Entscheiders bekannt, kann auch keine Lösung bzw. Entscheidung des Problems gefunden werden.

*„Würdest du mir bitte sagen, wie ich von hier aus weitergehen soll?“ fragte Alice die Edamer Katze.*

*„Das hängt zum großen Teil davon ab, wohin du möchtest“, sagte die Katze.*

*„Ach wohin ist mir eigentlich egal“, sagte Alice.*

*„Dann ist es auch egal, wie du weitergehst“, sagte die Katze.<sup>1</sup>*

Im oben angeführten Beispiel sind keine klaren Zielvorstellungen vorhanden, somit fällt es der Edamer Katze schwer, Alice bei der Auswahl des richtigen Weges zu unterstützen. Ebenso kann die Entscheidungstheorie nur dann eine Hilfestellung bieten, wenn die Zielvorstellungen des Entscheiders klar definiert sind.

Die Themengebiete der Entscheidungstheorie unterteilen sich in die präskriptive und die deskriptive Theorie. Die beiden unterschiedlichen Ansätze werden in einem eigenen Kapitel ausführlich behandelt. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich hauptsächlich mit der deskriptiven Entscheidungstheorie. Sie analysiert und beschreibt, wie Entscheidungen in Wirklichkeit getroffen werden.

---

<sup>1</sup> LAUX, H.: Entscheidungstheorie. S. 3

## 0.1 Ziel der Arbeit

Nicht selten ist es der Fall, dass für eine Kalkulation wesentliche Faktoren wie z.B.: Aufwandswerte, Leistungswerte etc. nicht bekannt bzw. mit Sicherheit vorauszubestimmen sind. Entscheidungen, die derartige Werte festlegen, werden dann zumeist „aus dem Bauch heraus“ getroffen, ohne bzw. mit geringem Bezug zu objektiv und rational nachvollziehbaren Grundlagen. Die Entscheidungstheorie bietet diesbezüglich eine Hilfestellung, die Entscheidungen zumindest rational begründbar herbeizuführen. Aus diesem Grund soll nun überprüft werden, ob sie auch für die Baukalkulation eine Hilfestellung bieten kann. Nach einer Einführung in die wesentlichen allgemeinen Grundlagen folgt eine ausführliche Beschreibung der unterschiedlichen Rechenregeln unter Ungewissheit und Risiko. Anhand eines praxisbezogenen Beispiels wird die Anwendung der Entscheidungstheorie in der Baukalkulation veranschaulicht. Für die Herstellung einer horizontalen Baugrubenabdichtung werden mit Hilfe dieser, die zu erwartenden Kosten / Preise bestimmt.

## 0.2 Grobstruktur der Arbeit

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in nachstehende Kapitel:

- Die Baukalkulation
- Grundlagen der Entscheidungstheorie
- Entscheidung unter Ungewissheit
- Entscheidung unter Risiko
- Grundlagen des Düsenstrahlverfahrens
- Aufgabenstellung
- Anwendungsbeispiel



## 1 Baukalkulation

Aus der Betriebswirtschaftslehre sind die Zuschlagskalkulation, Divisionskalkulation, Äquivalenzzifferrechnung und die Kuppelproduktkalkulation bekannt. Für die Preisermittlung im Bauwesen eignet sich die Zuschlagskalkulation besonders gut, sie erlaubt genaue Aussagen über die Zusammensetzung der Kosten.<sup>2</sup>

Die anderen Formen der Kalkulationen kommen im Bauwesen nur bedingt zur Anwendung. Sie wurden für einfache strukturierte Unternehmen, die nur ein oder mehrere ähnliche Produkte herstellen, entwickelt. Aussagen über die Entstehung der Kosten ist nicht möglich bzw. nachvollziehbar. Auf eine nähere Beschreibung wird daher verzichtet.

Die Preisermittlung für Bauleistungen sind in der ÖNORM B 2061 (1999-09-01) geregelt.

### 1.1 Zuschlagskalkulation

In einem Bauunternehmen werden verschiedene Produkte in einem mehrstufigen Verfahren hergestellt. Ein herzustellendes Produkt wäre z.B. ein Ziegelmauerwerk, eine horizontale Baugrubenabdichtung, Ausubarbeiten oder Ähnliches.

Bei der Zuschlagskalkulation werden die Einzelkosten (Lohn-, Material-, Geräteeinzelkosten und Einzelkosten von Fremdleistungen) direkt auf die verschiedenen Produkte verrechnet. Sie bestehen aus fixen und variablen Kosten und sind Zuschlagsträger<sup>3</sup>. Die Gemeinkosten werden mittels eines festgelegten Gemeinkostenzuschlages berücksichtigt. Dieser kann für die einzelnen Zuschlagsträger verschieden hoch sein. Der Gesamtzuschlag umfasst die Baustellengemeinkosten, die Geschäftsgemeinkosten, sonstige Gemeinkosten, Bauzinsen, Wagnis und Gewinn.<sup>4</sup>

*„Einzelkosten sind Kosten, die direkt einem Kostenträger (Produkt) zugeordnet werden können. Gemeinkosten entstehen ebenfalls im Zuge der Produktion, sind aber nicht eindeutig einem Produkt zuordenbar.“<sup>5</sup>*

Das in Bild 1.1 abgebildete Kalkulationsschema wird zur Preisbestimmung verwendet, beginnend bei den Lohnkosten bis zum Angebotspreis. Die Zuschlagskalkulation eignet sich auch für die Nachkalkulation. Aus-

<sup>2</sup> vgl. VEIT, P.: Betriebswirtschaftslehre Bau. S. 60 - 61

<sup>3</sup> lt. ÖNORM B 2061:1999-09-01 sind Zuschlagsträger: Lohnkosten, Gehaltskosten, Gerätekosten und Kosten für Fremdleistungen

<sup>4</sup> NORMUNGSINSTITUT, Ö.: Preisermittlung für Bauleistungen, ÖN B 2061. S. 1-12

<sup>5</sup> VEIT, P.: Betriebswirtschaftslehre Bau. S. 42,43

gehend von den Lohnkosten wird bis zu den Selbstkosten gerechnet sowie vom Angebotspreis zurück zum Gesamtpreis. Somit ergibt sich der Gewinn bzw. Verlust als Differenz zwischen Selbstkosten und Gesamtpreis.

	Lohnkosten	
+	Materialkosten	
+	Gerätekosten	
<hr/>		
=	Einzelkosten der Leistung	
+	Baustellengemeinkosten	in % der Einzelkosten
<hr/>		
=	Herstellkosten	
+	Wagnis	} in % auf Herstellkosten
+	Bauzinsen	
+	Sonstige Gemeinkosten	
+	Geschäftsgemeinkosten	
<hr/>		
=	Selbstkosten	
+	Gewinn	in % auf Selbstkosten
<hr/>		
=	Gesamtpreis	
+	Umsatzsteuer	in % auf Gesamtpreis
<hr/>		
=	Angebotspreis	

Bild 1.1 Schema der Zuschlagskalkulation Bau<sup>6</sup>

## 1.2 Arten der Baukalkulation

Je nach Projektstand sind verschiedene Kalkulationen zu erarbeiten. Die Baukalkulation umfasst unter anderem die Vorkalkulation, welche vor Auftragserteilung erstellt wird. Zweck dieser ist die Ermittlung kostendeckender Preise und eine Basis für die darauffolgende Angebotskalkulation zu schaffen. Der Angebotspreis sollte so niedrig sein, dass er zum Auftrag führt und so hoch sein, dass ein Gewinn erwirtschaftet bzw. kein Verlust erzielt wird. Nach Auftragserteilung erfolgen die Arbeitskalkulation sowie eine Kalkulation zur Feststellung der tatsächlich aufgewendeten Kosten, die Nachkalkulation. Nachtragskalkulationen sind von Erfordernis für die Ermittlung von zusätzlichen Leistungen, die im Hauptvertrag nicht enthalten sind.<sup>7</sup>

<sup>6</sup> vgl. VEIT, P.: Betriebswirtschaftslehre Bau. S. 61

<sup>7</sup> vgl. JACOB, D.; STUHR, C.; WINTER, C.: Kalkulieren im Ingenieurbau. S. 31

Zusatzleistungen bzw. Leistungsabweichungen und ihre Folgen sind in der ÖNORM B 2110:2009 in Kapitel 7 geregelt.

Bild 1.2 zeigt die Gliederung der Kalkulation vor und nach Auftragserteilung.

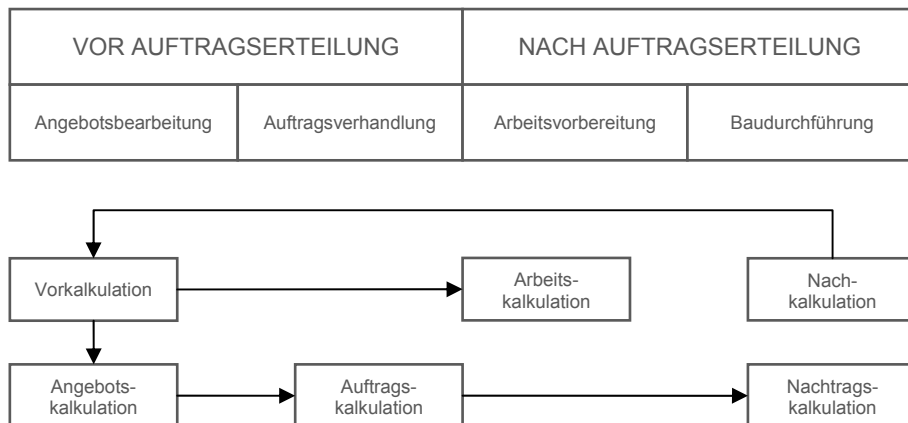


Bild 1.2 Gliederung Kalkulation nach Projektstand<sup>8</sup>

Nach Vorstellung der Zuschlagskalkulation folgt die Einführung in die Themengebiete der Entscheidungstheorie sowie eine Beschreibung der erforderlichen Bestandteile einer Entscheidungsmatrix.

<sup>8</sup> JACOB, D.; STUHR, C.; WINTER, C.: Kalkulieren im Ingenieurbau. S. 11

## 2 Grundlagen der Entscheidungstheorie

Die Themengebiete der Entscheidungstheorie<sup>9</sup> unterteilen sich in die deskriptive und die präskriptive Theorie. Die deskriptive Entscheidungstheorie versucht das menschliche Handeln widerzuspiegeln. Im Gegensatz dazu sucht die präskriptive Entscheidungstheorie mit Hilfe von Entscheidungsregeln aus mehreren möglichen Alternativen nach der rationalen Lösung.

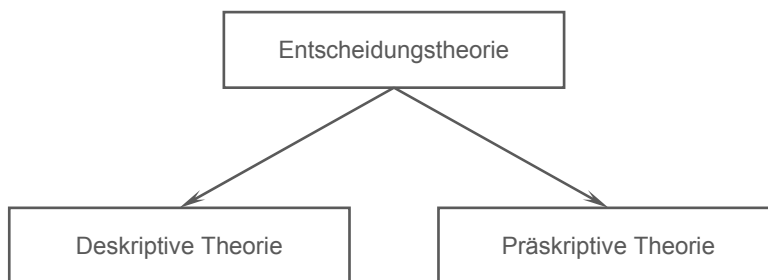


Bild 2.1 Themengebiete der Entscheidungstheorie

### 2.1 Präskriptive Theorie

Die präskriptive Theorie wird in der Literatur auch häufig als „normative Entscheidungstheorie“ bezeichnet.

Sie will dem Entscheider helfen, möglichst rationale Entscheidungen zu treffen, d.h. sie versucht die Frage, was ein Entscheider in unterschiedlichen Entscheidungssituationen tun soll, zu beantworten. Die Formulierung eines Zielsystems<sup>10</sup> stellt eines der Kernprobleme dar. Eine rationale Entscheidung kann aber nur getroffen werden, wenn für die Auswahl der vorliegenden Alternativen auch eine Zielvorstellung bzw. mehrere Zielvorstellungen bekannt sind. Ist dem Entscheider das Zielsystem nicht bekannt, wird versucht mittels einfach zu lösenden Aufgaben den Entscheider Schritt für Schritt an dieses heranzuführen. Sind alle notwendigen Eingangsdaten bekannt, wird mit Hilfe der Logik und dem Einsatz von Rechenmodellen das Entscheidungsproblem gelöst.<sup>11</sup>

<sup>9</sup> „Entscheidungstheorie umfaßt sowohl die Analyse logischer Implikationen des Postulates zielentsprechender Wahlhandlungen als auch Systeme empirisch gehaltvoller Erklärungen darüber, wie Entscheidungen in der Realität gefällt werden.“ SIEBEN, G.; SCHILDBACH, T.: Betriebswirtschaftliche Entscheidungstheorie. S. 1

<sup>10</sup> „Zusammenfassend ist ein Zielsystem charakterisiert durch die Menge der verfolgten Zielgrößen sowie die Präferenzrelationen des Entscheidungsträgers bezüglich der Merkmalausprägung der Aktionsresultate.“ BAMBERG, G.; COENENBERG, A.; KRAPP, M.: Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre. S. 29

<sup>11</sup> LAUX, H.: Entscheidungstheorie. S. 3,15-16

Entscheidungsprobleme können sehr vielfältig sein und sich voneinander sehr stark unterscheiden. Dessen ungeachtet existiert eine Grundstruktur für die Entscheidungsfindung, welche auf alle zu entscheidenden Probleme zutrifft bzw. anwendbar ist.

Psychologische Eigenschaften, wie eigene Bedürfnisse, Überzeugungen, Interessen oder Gewohnheiten, die eine Person von anderen Personen unterscheidet und somit die Ergebnisse beeinflussen kann, werden bei der präskriptiven Entscheidungstheorie bewusst ausgeschlossen. Sie sind hingegen Elemente der deskriptiven Theorie.<sup>12</sup>

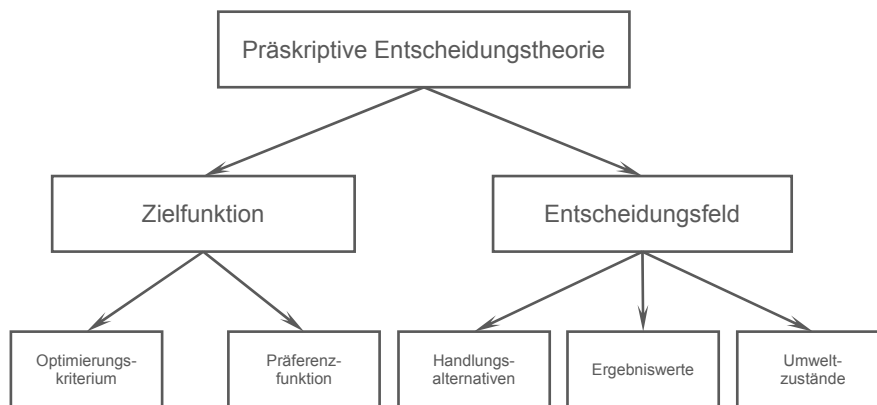


Bild 2.2 Basiselemente der präskriptiven Entscheidungstheorie im Überblick<sup>13</sup>

### 2.1.1 Zielfunktion

Die Zielfunktion als wesentlicher Bestandteil der präskriptiven Entscheidungstheorie hat die Aufgabe, sämtliche Handlungsalternativen des Entscheiders in eine Reihenfolge zu bringen. Ohne Zielvorstellungen können keine rationalen Entscheidungen getroffen werden. Ein Entscheidungsproblem gilt als gelöst, wenn diejenige Alternative ausgewählt wird, die die Erreichung der Zielfunktion optimal gewährleistet.

Unter einer Zielfunktion wird die formale Darstellung einer Entscheidungsregel verstanden. Eine Zielfunktion besteht aus:<sup>14</sup>

- Einer **Präferenzfunktion**<sup>15</sup>  $\Phi$ , welche den einzelnen Alternativen  $A_a$  Präferenzwert  $\Phi(A_a)$  zuordnet. Anhand dieser **Präferenzwerte** erfolgt die Reihung der Alternativen.

<sup>12</sup> vgl. MANZ, K.; DAHAM, A.; HOFFMANN, L.: Band 10 Entscheidungstheorie. S. 5

<sup>13</sup> vgl. ebenda. S. 8

<sup>14</sup> vgl. LAUX, H.: Entscheidungstheorie. S. 25

- Einem **Optimierungskriterium**, das zum Ausdruck bringt, welche Wertausprägung (Ergebnis) der Zielgröße für den Referenzwert angestrebt wird. Es werden die Fixierung, Satisfizierung, Maximierung und Minimierung als Optimierungskriterium unterschieden:
  - ♦ Bei einer Fixierung wird eine genau fixierte Ausprägung für den Präferenzwert angestrebt.
  - ♦ Bei einer Satisfizierung wird eine Mindestausprägung für den Präferenzwert angestrebt.
  - ♦ Maximierung bzw. Minimierung des Präferenzwertes.

Eine Präferenzfunktion ist somit eine Bewertungsfunktion der jeweiligen Handlungsalternativen. In der Entscheidungstheorie wird üblicherweise die Präferenzfunktion so definiert, dass die Maximierung als Optimierungskriterium zur Anwendung kommt. Das heißt, es wird diejenige Alternative mit dem höchsten Präferenzwert gewählt  $\Phi(A_i) = \text{Max}_{(i)}$ . Natürlich können auch andere Optimierungskriterien zur Anwendung kommen, je nach Art des zu lösenden Entscheidungsproblems.<sup>16</sup>

Für die vollständige Beschreibung der Zielfunktion muss außerdem der zeitliche Bezug festgelegt werden. Dies wird durch sogenannte Zeitpräferenzen erreicht. Sie sind erforderlich, wenn sich Entscheidungen oder deren Folgen über einen beträchtlichen bzw. unbekanntem Zeitraum erstrecken. Dieser Zeitraumbefug bzw. Zeitpunkt wird in der Baukalkulation als bekannt vorausgesetzt und in den folgenden Darstellungen und Berechnungen vernachlässigt.

### 2.1.2 Entscheidungsfeld

Das Entscheidungsfeld<sup>17</sup> besteht aus Handlungsalternativen, Ergebniswerten und Umweltzuständen. Es beinhaltet alle Daten, Informationen, Zahlen etc., die durch Aktionen des Entscheidungsträgers direkt oder indirekt beeinflusst werden können und zur Lösung des Problems herangezogen werden. Die Auswertung der Daten erfolgt meist in einer Ergebnismatrix.

<sup>15</sup> „In der modernen präskriptiven Entscheidungstheorie werden Präferenzen von Entscheidern durch Funktionen modelliert. Es ist üblich geworden, diese Präferenzfunktion im Fall sicherer Erwartung als Wertfunktion (value functions), bei Risiko als Nutzenfunktion (utility functions) zu bezeichnen.“ EISENFÜHR, F.; WEBER, M.: Rationales Entscheiden. S. 33

<sup>16</sup> vgl. LAUX, H.: Entscheidungstheorie. S. 23-26

<sup>17</sup> „Information über die ihm offenstehenden Handlungsmöglichkeiten, die Beeinflussungen, die sich von dritter, von ihm nicht beherrschbarer Seite ergeben, sowie diejenigen Konsequenzen der Handlungen, an die die Wertordnung des Akteurs anknüpft.“ SIEBEN, G.; SCHILDBACH, T.: Betriebswirtschaftliche Entscheidungstheorie. S. 15

In einer Ergebnismatrix können die einzelnen Alternativen, Ergebniswerte und Umweltzustände mit deren Wahrscheinlichkeiten in einer übersichtlichen Form dargestellt werden.

Eine Ergebnismatrix kann folgende Form annehmen:<sup>18</sup>

	$S_1(w_{S1})$	$S_2(w_{S2})$	...	...	$S_j(w_{Sj})$
$A_1$	$E_{11}$	$E_{12}$	...	...	$E_{1j}$
$A_2$	$E_{21}$	$E_{22}$	...	...	$E_{2j}$
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
$A_i$	$E_{i1}$	$E_{i2}$	...	...	$E_{ij}$

Bild 2.3 Ergebnismatrix bei Risiko

$A_i...$  Alternativen                       $E_{ij}...$  Ergebniswerte  
 $S_j...$  Umweltzustände                 $w_{sj}...$  Wahrscheinlichkeiten

### 2.1.2.1 Handlungsalternativen ( $A_i$ )

Ein Entscheidungsmodell kann aus zwei bis unendlich vielen Handlungsalternativen bestehen. In manchen Fällen ist die Darstellung der relevanten Alternativen kein Problem, sie sind auf natürliche Weise gegeben. In vielen Entscheidungssituationen sind brauchbare Alternativen nicht bekannt und die Suche nach Alternativen stellt eine schwierige und aufwendige Aufgabe dar. Voraussetzung für eine zielentsprechende Lösung ist, dass Handlungsalternativen nach dem **Prinzip der vollkommenen Alternativenstellung**<sup>19</sup> formuliert werden.

*„Dieses Prinzip beinhaltet zwei Forderungen; es verlangt, das Entscheidungsproblem so zu stellen, dass der Entscheidende<sup>20</sup>*

- a) *gezwungen ist, eine der betrachteten Alternativen zu ergreifen,*
- b) *gleichzeitig aber nur eine einzige der Alternativen realisieren kann.“*

Die unter a) aufgestellte Forderung besagt, dass das Entscheidungsmodell alle möglichen Alternativen beinhalten muss.

<sup>18</sup> vgl. LAUX, H.: Entscheidungstheorie. S. 35

<sup>19</sup> vgl. BAMBERG, G.; COENENBERG, A.; KRAPP, M.: Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre. S. 16

<sup>20</sup> BAMBERG, G.; COENENBERG, A.; KRAPP, M.: Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre. S. 16

Die unter b) gestellte Forderung verlangt, dass Alternativen sich gegenseitig ausschließen müssen.

Handlungsalternativen werden auch als Aktionen, Optionen oder Strategien bezeichnet.

### 2.1.2.2 Ergebnisse ( $E_{ij}$ )

Ergebnisse sind die Wertausprägungen der Zielgrößen, welche der Entscheider den einzelnen Handlungsalternativen zuordnet. Sie werden auch als Zielvariablen oder Attribute bezeichnet. Anhand dieser Zielvariablen orientiert sich der Entscheider für die Beurteilung der vorliegenden Alternativen. Diese haben in der Regel sehr unterschiedliche Zielgrößen, was eine Beurteilung sehr komplex gestalten kann.<sup>21</sup>

### 2.1.2.3 Umweltzustände ( $S_j$ )

Umweltzustände sind Größen, welche der Entscheider nicht beeinflussen kann (Zahl der Regentage, Preissteigerung, Naturereignisse, Verhalten der Konkurrenz etc.). Diese Größen beeinflussen die Ergebnisse der Alternativen, sind aber keine Entscheidungsvariablen des Entscheiders. Umweltzustände (oder kurz Zustände) werden auch als entscheidungsrelevante Daten bezeichnet.

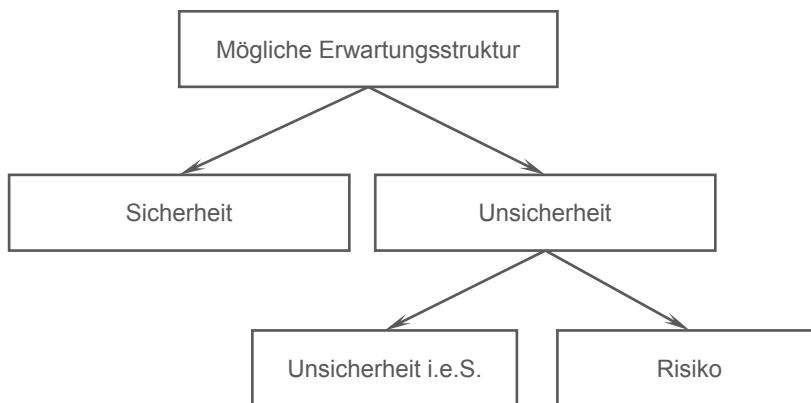


Bild 2.4 Mögliche Erwartungsstrukturen über die Zustände<sup>22</sup>

Ist die mögliche Erwartungsstruktur mit Sicherheit bekannt, kann eine Kalkulation ohne Weiteres durchgeführt werden. Der Umweltzustand

<sup>21</sup> vgl. MANZ, K.; DAHAM, A.; HOFFMANN, L.: Band 10 Entscheidungstheorie. S. 10-11

<sup>22</sup> LAUX, H.: Entscheidungstheorie. S. 22-23



„Sicherheit“ inklusive aller Entscheidungsmodelle und Entscheidungskriterien wird daher nicht näher erläutert. Die in Bild 2.4 dargestellten Erwartungen haben folgende Bedeutung:

- Entscheidung unter Sicherheit: Der eintretende Zustand ist bekannt (Deterministisches Entscheidungsmodell).
- Entscheidung unter Unsicherheit: Es ist nicht mit Sicherheit bekannt, welche Umweltsituation eintritt. Folgende Zustände sind zu unterscheiden.
  - ♦ Entscheidung unter Risiko: Die Wahrscheinlichkeit für die möglicherweise eintretende Umweltsituation ist bekannt (Stochastisches Entscheidungsmodell).
  - ♦ Entscheidung unter Unsicherheit im engeren Sinne: Es sind die möglicherweise eintretenden Umweltsituationen bekannt, jedoch nicht deren Eintrittswahrscheinlichkeit.<sup>23</sup>

Es sei hier noch angemerkt, dass Entscheidungen unter Sicherheit nur theoretisch existieren, niemand kann zu 100% die Zukunft bzw. einen eintretenden Umweltzustand vorhersagen.

Im Gegensatz zur präskriptiven Theorie beschäftigt sich die deskriptive Theorie mit dem tatsächlichen Entscheidungsverhalten von Individuen, Personen und Gruppen.

## 2.2 Deskriptive Theorie

Ziel ist es, empirisch gehaltvolle Hypothesen zu eruieren und mit deren Hilfe in weiterer Folge Entscheidungen zu treffen. Es wird versucht die Frage:

*„Wie werden Entscheidungen in der Wirklichkeit getroffen und warum werden sie so und nicht anders getroffen?“*<sup>24</sup> zu beantworten.

Als Ergebnis folgt das tatsächliche Verhalten von Individuen, Personen und Gruppen in der Realität, welches von einer rationalen Entscheidung abweichen kann.<sup>25</sup> Unter der Annahme, dass ein Entscheider lediglich nach der theoretisch richtigen Lösung sucht, sind die Ergebnisse sofern sie von der präskriptiven Theorie abweichen, irrational.

Wenn nachfolgend von der Entscheidungstheorie gesprochen wird, so ist hiermit stets die präskriptive Entscheidungstheorie gemeint.

<sup>23</sup> vgl. LAUX, H.: Entscheidungstheorie. S. 22-23

<sup>24</sup> BAMBERG, G.; COENENBERG, A.; KRAPP, M.: Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre. S. 4

<sup>25</sup> vgl. LAUX, H.: Entscheidungstheorie. S. 14-15

Die deskriptive Theorie wird in der Literatur auch häufig als „empirisch-realistische Entscheidungstheorie“ bezeichnet.

Im folgenden Kapitel werden die Anforderungen an ein Zielsystem behandelt. Die Formulierung der Ziele ist von besonderer Bedeutung, da anhand dieser die Alternativen bewertet werden.

### 3 Generierung eines Zielsystems

Ziele sind von Bedeutung um Entscheidungen treffen zu können. Ohne Vorliegen eines Zieles ist keine rationale Entscheidung möglich. Das Vorhandensein von Zielen ist auch Voraussetzung für die Generierung und Auffindung neuer Handlungsalternativen. Eine Alternative entspricht umso mehr unseren Erwartungen, je besser sie die vorgegebenen Ziele erreichen kann.

Es existieren zwei unterschiedliche Arten von Zielen, die sich wie folgt voneinander differenzieren lassen.

#### 3.1 Fundamentalziele und Instrumentalziele

Fundamentalziele können von Instrumentalzielen unterschieden werden, indem folgende Frage gestellt wird: „Warum ist dieses Ziel wichtig?“ Wenn ein Ziel „A“ nur zur Erreichung von Ziel „B“ von Nutzen ist, ist es sinnvoller das Instrumentalziel „A“ aus der Liste zu streichen und durch das Fundamentalziel „B“ zu ersetzen. Instrumentalziele können die Entscheidung bei der Auswahl einer Alternative wesentlich verfälschen und gehören somit nicht in das Zielsystem.

*„Ein Fundamentalziel ist ein Ziel, das um seiner selbst willen verfolgt wird und für den Entscheider keiner Begründung mehr bedarf. Ein Fundamentalziel ist immer nur in einem gegebenen Kontext fundamental. Ein Instrumentalziel wird verfolgt, weil man sich davon eine positive Wirkung auf die Erreichung eines anderen, fundamentaleren Ziels verspricht.“<sup>26</sup>*

#### 3.2 Anforderungen an ein Zielsystem

Die Gesamtheit aller Fundamentalziele wird als Zielsystem bezeichnet. Folgende Anforderungen werden an das Zielsystem gestellt:<sup>27</sup>

- Vollständigkeit

Es muss sichergestellt sein, dass alle für den Entscheider wesentlichen Konsequenzen berücksichtigt wurden. Oft werden relevante Ziele, die sozial von anderen Personen nicht akzeptiert werden, nicht in das Zielsystem mit aufgenommen.

<sup>26</sup> EISENFÜHR, F.; WEBER, M.: Rationales Entscheiden. S. 56

<sup>27</sup> vgl. ebenda. S. 60 - 62

- Redundanzfreiheit

Es sollen nicht mehrere Ziele formuliert werden, die die gleiche Bedeutung haben bzw. sich in irgendeiner Form überschneiden. Es besteht die Gefahr einer Doppelbewertung bzw. einer falschen unbewussten Gewichtung der Ziele, was zu einer fehlerhaften Entscheidung führen kann.

- Messbarkeit

Die Messbarkeit fordert, dass der Entscheider die Bedeutung der verwendeten Zielvariablen genau verstehen muss. Es soll nur dies gemessen werden, was dem Entscheider als wichtig erscheint. Ein Synonym für „gemessen“ wäre in diesem Fall „möglichst treffend“.

- Präferenzunabhängigkeit

Zielvariablen sollen sich in Unabhängigkeit der anderen Zielvariablen formulieren lassen.

- Einfachheit

Die Einfachheit eines Zielsystems wird durch die Anzahl der Ziele ausgedrückt. Je weniger Ziele vorhanden sind, desto einfacher wird die Bewertung der Alternativen. Es besteht oft die Möglichkeit, mehrere Zielgrößen zu summieren. Zum Beispiel können bei einem Hausbau die Zielgrößen Grundstückskosten, Rohbaukosten, Ausbauposten, Kanalschlusskosten etc. in eine einzige Zielgröße wie Gesamtkosten umgerechnet werden.

Für Entscheidungen unter Risiko werden für die Zielwerte der einzelnen Ziele bzw. Umweltzustände Wahrscheinlichkeiten benötigt. Sind diese nicht bekannt, ist es erforderlich subjektive Wahrscheinlichkeiten zu bilden.

## 4 Generierung von Wahrscheinlichkeiten

In Entscheidungssituationen unter Risiko sind dem Entscheider über das mögliche Eintreten von Umweltzuständen Wahrscheinlichkeiten bekannt. Im Regelfall stehen aber nicht ausreichende Informationen zur Verfügung, um das Entscheidungsproblem lösen zu können. Die Entscheidungstheorie bietet eine Hilfestellung, um alle benötigten Informationen zu generieren. Entscheidungsmodelle, welche mit Wahrscheinlichkeitsverteilungen arbeiten, werden stochastische Modelle genannt.

Bei der Generierung von Wahrscheinlichkeiten müssen folgende Bedingungen erfüllt werden:<sup>28</sup>

- Nichtnegativitätsbedingung

$$w_{Sj} \geq 0 \text{ für alle } j$$

- Normierungsbedingung

$$\sum w_{Sj} = 1$$

- Der sichere Zustand erhält die Wahrscheinlichkeit 1, der unmögliche Zustand die Wahrscheinlichkeit 0.
- Additivitätsbedingung

$$W_{(Si \text{ oder } Sj)} = W_{Si} + W_{Sj}$$

$w_{Sj}$ ... Wahrscheinlichkeiten der Umweltzustände

Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass entweder der Zustand  $S_i$  oder  $S_j$  eintritt, ist gleich die Summe der Eintrittswahrscheinlichkeiten dieser beiden Zustände.

Dabei beschreibt die Wahrscheinlichkeit eine Maßzahl, wie groß die Chance für das Eintreten eines Ereignisses ist. Für die Ermittlung der numerischen Maßzahlgröße, kommen verschiedene Ansätze zur Anwendung. Die wichtigsten dieser Ansätze sind die klassische Wahrscheinlichkeit, die statistische Wahrscheinlichkeit und die subjektive Wahrscheinlichkeit.

<sup>28</sup> vgl. EISENFÜHR, F.; WEBER, M.: Rationales Entscheiden. S. 21

#### 4.1 Klassische Wahrscheinlichkeit

Die klassische Wahrscheinlichkeit setzt voraus, dass jeder Zustand  $S_i$  aus  $n$ -Zuständen ( $S_n = S_1 + S_2 \dots S_n$  für  $n \geq 1$ ) gleichwahrscheinlich ist. Sie findet vor allem im Bereich des Glückspiels ihre Anwendung.<sup>29</sup>

Für die Baukalkulation hat die klassische Wahrscheinlichkeit keine Bedeutung.

#### 4.2 Statistische Wahrscheinlichkeit

Die statistische Wahrscheinlichkeit wird durch die relative Häufigkeit gemessen. Diese kann nur dann sinnvoll als Wahrscheinlichkeit interpretiert werden, wenn ein Versuch bzw. Experiment hinreichend oft und stets unter gleichen Bedingungen wiederholt wird.<sup>30</sup> Aufgrund dieser Vorgaben ist die statistische Wahrscheinlichkeit ungeeignet für die Baukalkulation, da sich die auszuführenden Bedingungen voneinander zu stark unterscheiden. Dennoch wird sie oftmals für die Kostenermittlung verwendet.

#### 4.3 Subjektive Wahrscheinlichkeit

Die subjektive Wahrscheinlichkeit baut auf Erfahrungen und vorhandenen Informationen des Entscheiders auf. Es wird davon ausgegangen, dass in vielen Entscheidungssituationen Glaubwürdigkeitsvorstellungen über das Eintreten bestimmter Zustände existieren. Diese Daten werden dann für die weiteren Berechnungen bzw. Auswertungen herangezogen.

Je nach vorliegender Datenmenge können unterschiedliche Wahrscheinlichkeits- bzw. Dichtefunktionen mit zugehörigen Verteilungsfunktionen zur Anwendung kommen.<sup>31</sup>

- Diskrete Verteilung
- Rechteckverteilung (Gleichverteilung)
- Dreieckverteilung (Simpson-Verteilung)
- Normalverteilung (Gauß-Verteilung)
- Chi-Quadrat-Verteilung
- etc.

<sup>29</sup> vgl. LAUX, H.: Entscheidungstheorie. S. 123

<sup>30</sup> vgl. ebenda. S.124

<sup>31</sup> vgl. EISENFÜHR, F.; WEBER, M.: Rationales Entscheiden. S. 161

Verteilungen von Zufallsvariablen können durch Wahrscheinlichkeits- bzw. Dichtefunktionen einerseits, oder durch Verteilungsfunktionen andererseits dargestellt werden.<sup>32</sup>

Gute Ergebnisse lassen sich bereits mit einer Rechteckverteilung sowie einer Dreieckverteilung erzielen. Vorteile der beiden genannten Verteilungen sind die einfache Handhabung und die geringe Menge an erforderlichen Eingangsdaten. Für die Ermittlung der Wahrscheinlichkeiten im folgenden Anwendungsbeispiel werden ausschließlich die Dreieck- und Rechteckverteilung verwendet.

#### 4.3.1 Rechteckverteilung

Die Rechteckverteilung ist eine stetige Wahrscheinlichkeitsverteilung und hat auf einem Intervall  $[a, b]$  eine konstante Wahrscheinlichkeitsdichte. Sie ist auch unter dem Namen stetige Gleichverteilung oder Uniformverteilung bekannt.

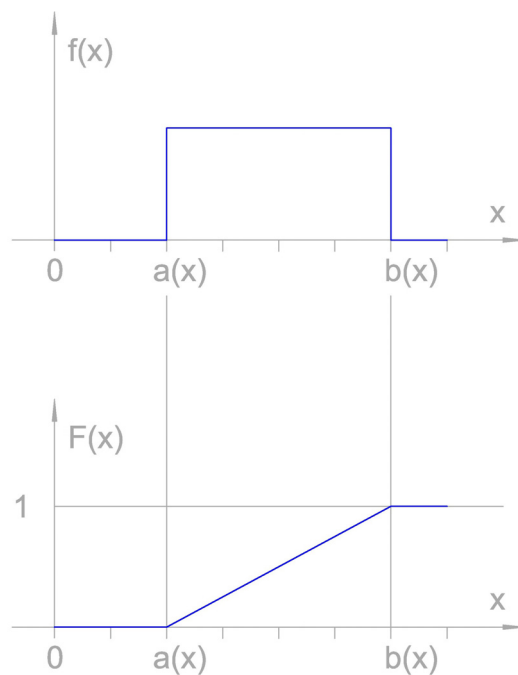


Bild 4.1 Dichtefunktion (oben) mit zugehöriger Verteilungsfunktion (unten)

<sup>32</sup> vgl. EISENFÜHR, F.; WEBER, M.: Rationales Entscheiden. S. 160

Formal gilt:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 0, & \text{sonst} \end{cases} \quad [1]$$

$$F(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b \\ 1, & x \geq b \end{cases} \quad [2]$$

### 4.3.2 Dreiecksverteilung

Bei der Dreiecksverteilung bestimmen die Parameter minimaler Wert ( $a$ ), maximaler Wert ( $b$ ) und wahrscheinlichster Wert ( $c$ ) die Gestalt der Verteilung ( $a \leq c \leq b$ ). Sie ist definiert durch die auf dem Intervall  $[a, b]$  beschriebene Dichtefunktion. Die  $y$ -Achse zeigt die Wahrscheinlichkeit für einen Wert  $x \in [a, b]$ .

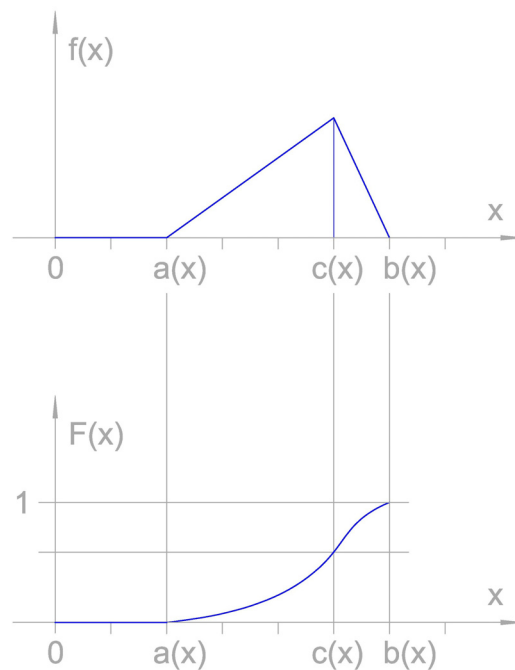


Bild 4.2 Dichtefunktion (oben) mit zugehöriger Verteilungsfunktion (unten)

Für die Bestimmung der Wahrscheinlichkeiten ist es notwendig, Intervalle zu bilden, da bei kontinuierlichen (=stetigen) Zufallsvariablen für einzelne Werte keine positiven Wahrscheinlichkeiten existieren. Dabei ist die Wahrscheinlichkeit für ein Intervall gleich dem Integral der Dichte-



funktion. Wahrscheinlichkeiten in diesem definierten Intervall gelten als konstant. Im Anschluss kann die Dichtefunktion durch ein Säulendiagramm (Histogramm) dargestellt werden.<sup>33</sup>

Formal gilt:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(b-a)(c-a)}, & a \leq x \leq c \\ \frac{2(b-x)}{(b-a)(b-c)}, & c \leq x \leq b \end{cases} \quad [3]$$

$$F(x) = \begin{cases} \frac{(x-a)^2}{(b-a)(c-a)}, & a \leq x \leq c \\ 1 - \frac{(b-x)^2}{(b-a)(b-c)}, & c \leq x \leq b \end{cases} \quad [4]$$

Die nachfolgende Tabelle bietet eine Hilfestellung zur Generierung und Einordnung von subjektiven Wahrscheinlichkeiten. Anhand dieser Tabelle können ermittelte Wahrscheinlichkeiten auf Plausibilität geprüft werden.

Tabelle 4.1 Subjektive Wahrscheinlichkeiten<sup>34</sup>

	Subjektive Wahrscheinlichkeit
völlig unmöglich	0%
außerordentlich unwahrscheinlich	1 – 10%
sehr unwahrscheinlich	5 – 20%
recht unwahrscheinlich	10 – 30%
unwahrscheinlich	20 – 40%
immerhin möglich	30 – 50%
durchaus möglich	40 – 60%
sehr möglich	50 – 70%
wahrscheinlich	60 – 80%
recht wahrscheinlich	70 – 90%
sehr wahrscheinlich	80 – 95%
außerordentlich wahrscheinlich	90 – 99%
völlig sicher	100%

<sup>33</sup> vgl. EISENFÜHR, F.; WEBER, M.: Rationales Entscheiden. S. 160

<sup>34</sup> KRELLE, W.: Präferenz- und Entscheidungstheorie. S. 198

## 4.4 Eintrittswahrscheinlichkeiten von Ereignissen

Für die Bestimmung von Wahrscheinlichkeiten ist es erforderlich, in Ereignisse, die sich einander ausschließen und in Ereignisse, die sich einander nicht ausschließen, zu unterscheiden.

Des Weiteren werden die gemeinsam eintretenden Ereignisse in unabhängige und abhängige Ereignisse unterteilt, weshalb die folgenden Darstellungen sich mit der Kombination von Wahrscheinlichkeiten befassen.

### 4.4.1 Mehrere einander ausschließende Ereignisse

„Aus der Additivitätsbedingung folgt unmittelbar der allgemeine Satz: Sind  $E_1, E_2, \dots, E_n$  ( $n > 2$ ) einander ausschließende Ereignisse, so ist die Wahrscheinlichkeit des Ereignisses „ $E_1$  oder  $E_2$  ... oder  $E_n$ “ gleich der Summe der Eintrittswahrscheinlichkeiten der Ereignisse  $E_1, E_2, \dots, E_n$ .“<sup>35</sup>

$$w(E_1 \cup E_2 \cup \dots \cup E_n) = w(E_1) + w(E_2) + \dots + w(E_n) \quad [5]^{36}$$

$E_n$ ... Ergebniswerte / Zielwerte / Attribute

$w_i$ ... Wahrscheinlichkeiten

### 4.4.2 Mehrere Ereignisse die gemeinsam eintreten

#### ▪ Unabhängige Ereignisse

$E_1$  und  $E_2$  sind voneinander stochastische unabhängige Ereignisse, wenn das Auftreten von  $E_1$  die Eintrittswahrscheinlichkeit, das  $E_2$  eintritt nicht beeinflusst und umgekehrt. Unabhängigkeit der Ereignisse besteht vor allem bei einer wiederholten Teilnahme an einem Glücksspiel z.B.: Roulette.

$$w(E_1 \cap E_2 \cap \dots \cap E_n) = w(E_1) \times w(E_2) \times \dots \times w(E_n) \quad [6]^{37}$$

#### ▪ Abhängige Ereignisse

$E_1$  und  $E_2$  sind voneinander stochastisch abhängig Ereignisse, wenn die Eintrittswahrscheinlichkeit von  $E_2$  davon abhängt, ob  $E_1$  eintritt oder nicht

<sup>35</sup> LAUX, H.: Entscheidungstheorie. S. 130

<sup>36</sup> ebenda. S. 130

<sup>37</sup> ebenda. S. 132

und umgekehrt.<sup>38</sup>

$$\begin{aligned}
 w(E_1 \cap E_2 \cap E_3 \cap \dots \cap E_n) &= w(E_1|E_2 \cap E_3 \cap \dots \cap E_n) \times \\
 &w(E_2|E_3 \cap E_4 \cap \dots \cap E_n) \times \\
 &w(E_{n-1}|E_n) \times w(E_n)
 \end{aligned}
 \quad [7]^{39}$$

Dabei bezeichnet z.B.  $w(E_2|E_3 \cap E_4 \cap \dots \cap E_n)$  die Eintrittswahrscheinlichkeit des Ereignisses  $E_2$  unter der Bedingung, dass die Ereignisse  $E_3, E_4, \dots, E_n$  eintreten.<sup>40</sup>

Nach Ermittlung der Umweltzustände, Finden aller möglichen Handlungsalternativen und Formulierung der Ziele kann die Entscheidungsmatrix erstellt werden. Liegen mehrere Ziele unterschiedlicher Art vor, können mit Hilfe von Wertfunktionen und des Additiven Modèles diese in Einklang gebracht werden. Im folgenden Kapitel werden dessen Anwendung vorgestellt.

<sup>38</sup> vgl. LAUX, H.: Entscheidungstheorie. S. 131-132

<sup>39</sup> ebenda. S. 133

<sup>40</sup> vgl. ebenda. S. 133

## 5 Vergleichbarkeit von mehreren Zielen

In den meisten Entscheidungssituationen tritt der Fall ein, dass mehrere Ziele unterschiedlichster Art vorliegen, welche sich nicht miteinander in Einklang bringen lassen. Abhilfe dafür können Wertfunktionen und das additive Modell schaffen. Durch diese ist es möglich, verschiedenste Ziele und deren Präferenzen auf einfache Art und Weise zu bewerten und in eine Reihenfolge zu bringen.

### 5.1 Ermittlung von Wertfunktionen

Ziel einer Wertfunktion<sup>41</sup> ist es, die Präferenz eines Entscheiders in einer Funktion abzubilden. Es unterscheiden sich nicht-messbare Wertfunktionen und messbare Wertfunktionen. Aus nicht-messbaren Wertfunktionen lassen sich lediglich Ordnungen von Alternativen ablesen, im Gegensatz dazu erlaubt eine messbare Wertfunktion die Abbildung von Präferenzstärken.

*„Eine messbare Wertfunktion existiert genau dann, wenn sowohl die Präferenz bezüglich der Alternativen als auch die Präferenz bezüglich des Übergangs zwischen Alternativen vollständig und transitiv ist.“<sup>42</sup>*

Es werden nun drei Methoden zur Bestimmung von Wertfunktionen vorgestellt. Es sei hier noch angemerkt, dass die folgenden Anwendungsbeispiele nur darauf abzielen, die Methodik der Erstellung einer Wertfunktion zu beschreiben, es ist natürlich nicht sinnvoll, nur für eine Zielvariable eine Funktion abzuleiten, da die Rangordnung der einzelnen Alternativen bereits durch deren Zielausprägung gegeben ist.

#### 5.1.1 Methode gleicher Wertdifferenzen

Die Methode gleicher Wertdifferenzen bewertet die Stärke der Präferenzen zwischen den Alternativen. Der Entscheider muss hierfür ein Intervall der zu bewertenden Präferenzen festlegen. Als Richtwert kann die Intervallstärke ungefähr 1/5 des Gesamtintervalls betragen.<sup>43</sup>

Zur besseren Veranschaulichung wird die Methode gleicher Wertdifferenzen anhand eines Beispiels näher erläutert.

<sup>41</sup> „Eine Wertfunktion  $v$  ist eine Funktion, die jeder Alternative  $a$  eine reelle Zahl  $v(a)$  zuordnet, daß der Wert der Alternative  $a$  genau dann größer als der Wert einer Alternative  $b$  ist, falls der Entscheider  $a$  gegenüber  $b$  präferiert.“ EISENFÜHR, F.; WEBER, M.: Rationales Entscheiden. S. 99

<sup>42</sup> EISENFÜHR, F.; WEBER, M.: Rationales Entscheiden. S. 102

<sup>43</sup> vgl. ebenda. S. 107

Für einen Umweltzustand sind fünf mögliche Alternativen inkl. der dazugehörigen Zielausprägungen gegeben.

$A_i$	$S_1$
$A_1$	50.000
$A_2$	55.000
$A_3$	80.000
$A_4$	30.000
$A_5$	65.000

$A_i$ ... Alternativen

$S_j$ ... Umweltzustände

Im ersten Schritt wird der Wert der schlechtesten Ausprägung gleich null gesetzt. In einem zweiten Schritt wird die Intervallstärke definiert (Richtwert: ca. 1/5 des Gesamtintervalls). Die Differenz zwischen bester und schlechtester Ausprägung beschreibt das Gesamtintervall. Wird die schlechteste Ausprägung um die Intervallstärke erhöht, erhält man eine Alternative, welcher der Wert eins zugeordnet wird. Im Beispiel kann die Intervallstärke gleich 10.000 sein, d.h.:

$$v(30.000 + 10.000) = v(40.000) = 1$$

$v_i$ ... Wert einer Alternative

Im dritten Schritt wird der Übergang gesucht, der genauso gut bzw. stark ist wie der Normübergang von 30.000 auf 40.000 und wird mit 2 bewertet. Der Wert  $z$  kann wie folgt bestimmt werden:

$$(30.000 \rightarrow 40.000) \sim (40.000 \rightarrow v(z_1))$$

Da  $v(30.000) = 0$  und  $v(40.000) = 1$ , muss  $v(z_1) = 2$  sein. Der Wert  $v(z_1)$  kann z.B. 55.000 betragen. Analog dazu kann der Wert  $v(z_2)$  bestimmt werden. Dies wird so lange fortgesetzt bis der maximale Zielwert erreicht bzw. überschritten ist.

In der folgenden Tabelle sind die Bewertungen, Intervalle und die normierten Werte der neuen Alternativen angeführt. Diese zeigt, dass die Übergänge von 40.000  $\rightarrow$  55.000 und 55.000  $\rightarrow$  80.000 genauso gut wie der Übergang von 30.000  $\rightarrow$  40.000 sind. Wird der Wert einer Alternativen  $v_i$  durch den höchsten zugeordneten Wert  $v_{\max} = 3$  dividiert, ist das Ergebnis der normierte Wert.

$v_i$	Intervall	$v_i$ (normiert)
0	30.000	0
1	→ 40.000	0,33
2	→ 55.000	0,67
3	→ 80.000	1

Abschließend kann die Wertfunktion in einem Diagramm dargestellt und mittels einer Trendlinie angenähert werden. Die Funktion der Trendlinie lautet:

$$y = -2,81 \cdot 10^{-10} \cdot x^2 + 5,08 \cdot 10^{-5} \cdot x - 1,26$$

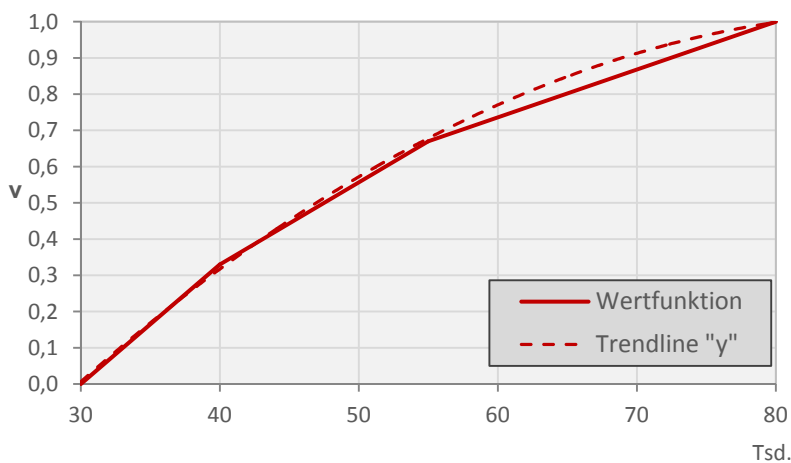


Bild 5.1 Wertfunktion nach der Methode gleicher Wertdifferenzen

Mit Hilfe der Trendlinienfunktion können die Zielgrößen der Alternativen in normierte Werte transformiert werden.

Ergebnis:

$A_i$	$S_i$	$v_i$
$A_1$	50.000	0,58
$A_2$	55.000	0,68
$A_3$	80.000	1,00
$A_4$	30.000	0,00
$A_5$	65.000	0,85

### 5.1.2 Direct-Rating-Methode

Bei der Direct-Rating-Methode werden die einzelnen Zielausprägungen bzw. Ergebnisse der Alternativen direkt anhand eines Punktesystems bewertet. Im ersten Schritt werden die Alternativen entsprechend der Präferenz des Entscheiders bezüglich der jeweiligen Zielgrößen gereiht. Dabei erhält das beste Ergebnis 100 Punkte, das schlechteste Ergebnis 0 Punkte. Die Bewertungen der dazwischen liegenden Zielgrößen sind so festzulegen, dass die Ordnung über die Präferenzdifferenz und die Rangordnung der Alternativen in der Wertfunktion wiedergegeben werden. Nachdem die Wertfunktion auf das Intervall  $[0, 1]$  normiert wurde, kann sie im Anschluss abgebildet werden.<sup>44</sup>

Die Anwendung der Direct-Rating-Methode soll anhand eines Beispiels nochmals verdeutlicht werden (Angabe siehe Methode gleicher Wertdifferenzen).

Vorgehensweise:

- Festlegung der schlechtesten Zielausprägung  $x_0 = 30.000$  und der besten Zielausprägung  $x_1 = 80.000$ .
- Ordnen der Alternativen:  $A_3 > A_5 > A_2 > A_1 > A_4$
- Direkte Bewertung der Alternativen, Normierung der Wertfunktion und anschließende Darstellung in einem Diagramm.

	$S_1$	Bewertung	Normierung (v)
$A_3$	80.000	100	1,00
$A_5$	65.000	90	0,90
$A_2$	55.000	80	0,80
$A_1$	50.000	70	0,70
$A_4$	30.000	0	0,00

- Abschließend kann die Wertfunktion anhand einer Trendlinie angenähert werden. In diesem Beispiel nimmt die Trendlinie eine polynomische Form zweiten Grades an. Die Funktion der Trendlinie lautet:

$$y = -4,66 * 10^{-10} * x^2 + 7,08 * 10^{-5} * x - 1,70$$

<sup>44</sup> vgl. EISENFÜHR, F.; WEBER, M.: Rationales Entscheiden. S. 105

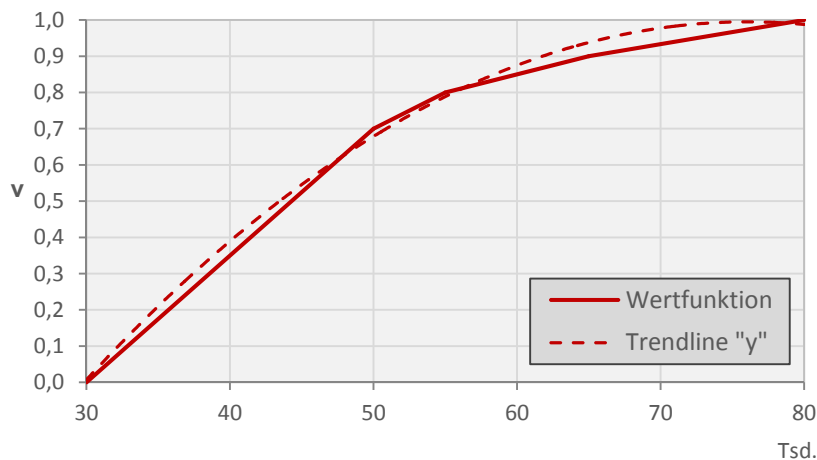


Bild 5.2 Wertfunktion nach der Direct-Rating-Methode

Ist die Anzahl der zu bewerteten Alternativen so groß, dass nicht alle direkt bewertet werden können, ist es ausreichend, nur einen Teil der vorliegenden Alternativen zu betrachten. Voraussetzung hierfür ist eine möglichst gleichmäßige Auswahl der Ergebnisse.

### 5.1.3 Halbierungsmethode

Anders als bei der Direct-Rating-Methode werden hier nicht die einzelnen Zielausprägungen direkt bewertet, sondern aus einem bestimmten Intervall der wertmäßige Mittelpunkt bestimmt.<sup>45</sup> Die Halbierungsmethode soll auch anhand eines Beispiels (Angabe siehe Methode gleicher Wertdifferenzen) beschrieben werden.

- Bestimmung der schlechtesten Zielausprägung  $x_0 = 30.000$  sowie der besten Zielausprägung  $x_1 = 80.000$  ( $x_0 = 0$ ;  $x_1 = 1$ ).
- Im zweiten Schritt wird der wertmäßige Mittelpunkt des Intervalls  $[x_0, x_1]$  bestimmt. Die daraus erhaltene Alternative wird mit  $x_{0,5}$  bezeichnet. Es folgt  $x_{0,5} = 0,5$  mit  $v(x_{0,5}) = 50.000$ .
- In analoger Weise werden nun die subjektiven Mittelwerte der Intervalle  $[x_0, x_{0,5}]$  und  $[x_{0,5}, x_1]$  bestimmt. Es folgt  $x_{0,25} = 0,25$  mit  $v(x_{0,25}) = 38.000$  und  $x_{0,75} = 0,75$  mit  $v(x_{0,75}) = 63.000$ .

<sup>45</sup> vgl. EISENFÜHR, F.; WEBER, M.: Rationales Entscheiden. S. 109-110



Die Funktion der Trendlinie lautet:

$$y = -1,68 * 10^{-10} * x^2 + 3,81 * 10^{-5} * x - 0,979$$

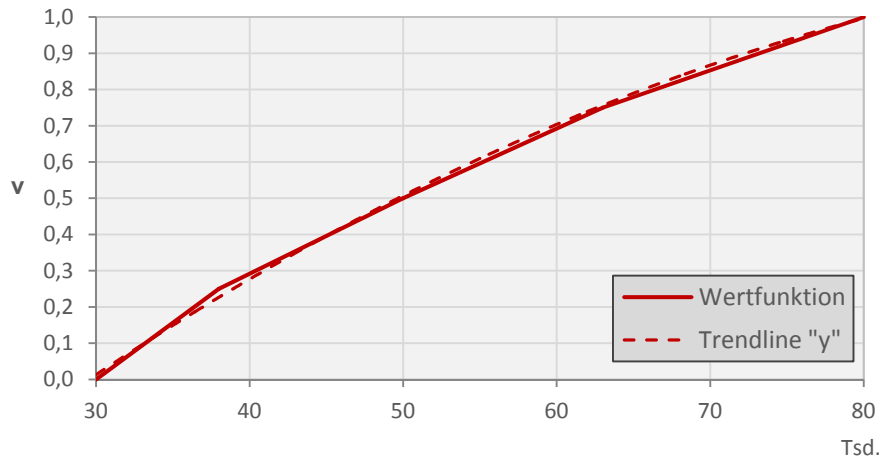


Bild 5.3 Wertfunktion nach der Halbierungsmethode

Es sei hier noch angemerkt, dass Wertfunktionen auf Konsistenz geprüft werden müssen. Die einfachste Konsistenzprüfung in diesem Beispiel wäre, den Entscheider nach dem subjektiven Mittelwert des Intervalls  $[x_{0,25}, x_{0,75}]$  zu befragen. Dieser Wert müsste gleich dem Wert  $x_{0,5} = 50.000$  entsprechen. Ist dies nicht der Fall, muss die Wertfunktion dementsprechend neu erstellt bzw. angepasst werden.

Wurden alle Zielwerte mittels Wertfunktionen normiert, können diese mit Hilfe des Additiven Modells kombiniert werden.

## 5.2 Additives Modell

Für die Zusammenführung von Wertfunktionen und der Vergleichbarkeit von Alternativen bietet das additive Wertmodell aufgrund der einfachen Handhabung eine gute Hilfestellung. Das additive Modell ist auch bekannt als Scoring-Modell, Punktwertverfahren oder Nutzwertanalyse. Voraussetzung für die Anwendung ist, die Erfüllung der wechselseitigen Präferenzunabhängigkeit und für messbare Wertfunktionen die additive Differenzunabhängigkeit. Diese Bedingungen sind erfüllt, wenn sich für jede Zielgröße eine eigene Wertfunktion konstruieren lässt, ohne dabei das Niveau der anderen Zielgrößen zu kennen.<sup>46</sup>

<sup>46</sup> vgl. EISENFÜHR, F.; WEBER, M.: Rationales Entscheiden. S. 122

Der Wert  $v(a)$  einer Alternative (a) wird bestimmt durch:

$$v(a) = \sum_{r=1}^n w_r v_r(a_r)$$

$$\sum_{r=1}^n w_r = 1; \text{ mit } w_r > 0$$

[8]<sup>47</sup>

- $w_r \dots$  Zielgewicht der Zielgrößen (Gewichtungsfaktor)
- $v_r(a_r) \dots$  normierte Werte der Zielgrößen

Nachfolgendes Bild zeigt eine grafische Veranschaulichung des additiven Modells für zwei Zielgrößen bei relativ großem Gewicht von y.

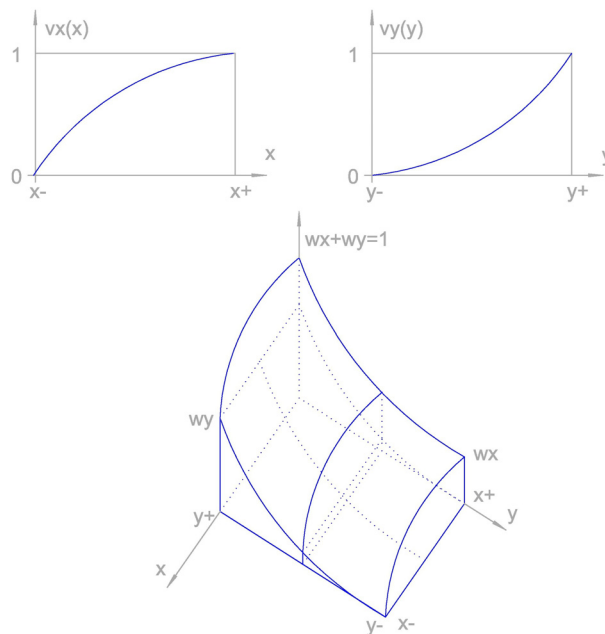


Bild 5.4 Einzelwertfunktionen (oben), Gesamtwertfunktion (unten).

<sup>47</sup> EISENFÜHR, F.; WEBER, M.: Rationales Entscheiden. S. 117

Nach Umwandlung der Attribute mit Hilfe von Wertfunktionen und des Additiven Modelles in normierte, gewichtete Zielwerte, können die Alternativen bewertet werden. Ein grundlegendes Entscheidungskriterium ist das der Dominanz.

## 6 Dominanz

Mit Hilfe des **Dominanz-Prinzips** können manchmal ineffiziente (dominierte) Alternative eliminiert werden, wenn diese verschiedene Zielwerte in teilweise unterschiedlichen Höhen erbringen. Eine Alternative wird als dominant bezeichnet, wenn sie bei einem Entscheidungsproblem einer anderen Alternative aufgrund der besseren Zielerfüllungen vorzuziehen ist. Das Prinzip der Dominanz kann sowohl bei Entscheidungssituationen unter Unsicherheiten i.e.S., Entscheidungen unter Risiko, als auch bei Vorliegen mehrerer Ziele verwendet werden. Die Dominanz dient der Vorauswahl von Alternativen. Kann keine Alternative alle anderen dominieren (Regelfall), so erbringt das Verfahren keine eindeutige Lösung.<sup>48</sup>

Das Prinzip der Dominanz ist nur unter folgenden Bedingungen anwendbar:<sup>49</sup>

- Alle Zielgrößen sind bekannt.
- Zwischen den Zielgrößen herrscht Präferenzunabhängigkeit.
- Der Entscheider sucht nur die beste Alternative, keine zweitbeste oder gar eine vollständige Rangordnung aller Alternativen.
- Für jede Zielvariable ist die Präferenzrichtung bekannt (Maximierung, Minimierung, Fixierung oder Satisfizierung). Diese Bedingung ist nicht erfüllt, wenn ein und dieselbe Zielgröße für mehrere Ziele mit unterschiedlicher Präferenzrichtung verwendet wird.

z.B.: die Grundfläche eines Lagerplatzes als Maß für die Mietkosten (Minimierung) und der möglichen Lagerung an Baustoffen (Maximierung).

Es werden Zustandsdominanz, absolute Dominanz und Wahrscheinlichkeitsdominanz unterschieden. Dominanzen lassen sich aus Grafiken leichter erkennen als durch Zahlenvergleiche.

### 6.1 Zustandsdominanz

Die Zustandsdominanz (als gängigster Dominanzbegriff) wird des Öfteren auch nur als Dominanz bezeichnet. Diese besagt, dass eine Alternative in jedem Umweltzustand besser bzw. gleich gut wie die andere Alternative ist. Des Weiteren wird auch zwischen schwacher und starker

<sup>48</sup> vgl. SIEBEN, G.; SCHILDBACH, T.: Betriebswirtschaftliche Entscheidungstheorie. S. 48-49

<sup>49</sup> vgl. EISENFÜHR, F.; WEBER, M.: Rationales Entscheiden. S. 87-88

Dominanz unterschieden. Eine schwache Dominanz liegt vor, wenn  $E_{1j} \geq E_{2j}$  für alle  $j$  und für mindestens ein  $j$   $E_{1j} > E_{2j}$  gilt. Von einer starken Dominanz spricht man wenn für alle  $j$   $E_{1j} > E_{2j}$  gilt.<sup>50</sup>

$E_{ij}$ ... Ergebniswerte siehe auch Bild 2.3

Die nachfolgende Entscheidungsmatrix soll auf Zustandsdominanz geprüft werden.

	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>
A <sub>1</sub>	0	20	10	60	25
A <sub>2</sub>	-20	80	10	10	60
A <sub>3</sub>	20	60	20	60	50
A <sub>4</sub>	55	40	60	10	40
A <sub>5</sub>	50	10	30	5	20

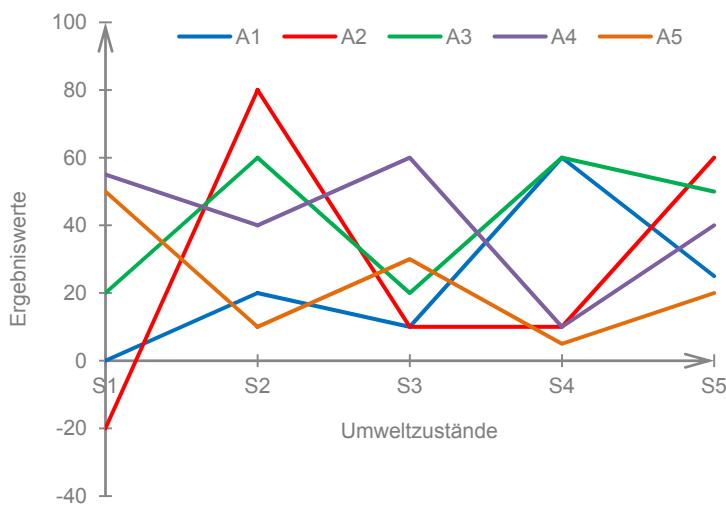


Bild 6.1 Anwendungsbeispiel Zustandsdominanz

Dieses Diagramm zeigt, dass die Alternativen A<sub>1</sub> von A<sub>3</sub> (schwache Dominanz) und A<sub>5</sub> von A<sub>4</sub> (starke Dominanz) dominiert werden. Für die weitere Beurteilung sind daher nur mehr die Alternativen A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> und A<sub>4</sub> von Bedeutung.

<sup>50</sup> vgl. DÖRSAM, P.: Grundlagen der Entscheidungslehre. S. 15-18

**6.2 Absolute Dominanz**

Von einer absoluten Dominanz spricht man, wenn der schlechteste Ergebniswert der dominierenden Alternative besser als der beste Ergebniswert der dominierten Alternative ist. Formal gilt:  $A_1$  dominiert  $A_2$  absolut, wenn  $E_{1j} > E_{2j}$  für alle  $j$ . In der Entscheidungstheorie ist die absolute Dominanz eher weniger von Bedeutung, da für eine rationale Entscheidung das Vorliegen einer Zustandsdominanz vollkommen ausreicht.<sup>51</sup>

**6.3 Wahrscheinlichkeitsdominanz**

Wie der Begriff Wahrscheinlichkeitsdominanz bereits ausdrückt, findet diese Anwendung beim Vorhandensein von Wahrscheinlichkeiten, also bei Entscheidungen unter Risiko.

Die Anwendung der Wahrscheinlichkeitsdominanz soll anhand eines Beispiels veranschaulicht werden. Eine 3 x 4 Entscheidungsmatrix unter Risiko ist gegeben:

	$S_1(w_{S1}=0,2)$	$S_2(w_{S2}=0,1)$	$S_3(w_{S3}=0,4)$	$S_4(w_{S4}=0,3)$
$A_1$	10	20	30	60
$A_2$	30	60	10	20
$A_3$	10	50	30	20

- $A_i...$  Alternativen
- $S_j...$  Umweltzustände
- $w_{sj}...$  Wahrscheinlichkeiten

Im ersten Schritt werden alle Alternativen der Größe des Zielwertes nach geordnet. Hinter den Ergebniswerten ist jeweils die zugehörige Wahrscheinlichkeit in Klammer angeführt.

$A_1$	60( $w_{S4}=0,3$ )	30( $w_{S2}=0,4$ )	20( $w_{S1}=0,1$ )	10( $w_{S3}=0,1$ )
$A_2$	60( $w_{S2}=0,1$ )	30( $w_{S1}=0,2$ )	20( $w_{S3}=0,3$ )	10( $w_{S4}=0,4$ )
$A_3$	50( $w_{S4}=0,1$ )	30( $w_{S2}=0,4$ )	20( $w_{S1}=0,3$ )	10( $w_{S3}=0,2$ )

<sup>51</sup> vgl. DÖRSAM, P.: Grundlagen der Entscheidungslehre. S. 18

Die geordneten Ergebniswerte werden grafisch in einem Koordinatensystem mit den zugehörigen Wahrscheinlichkeiten dargestellt.

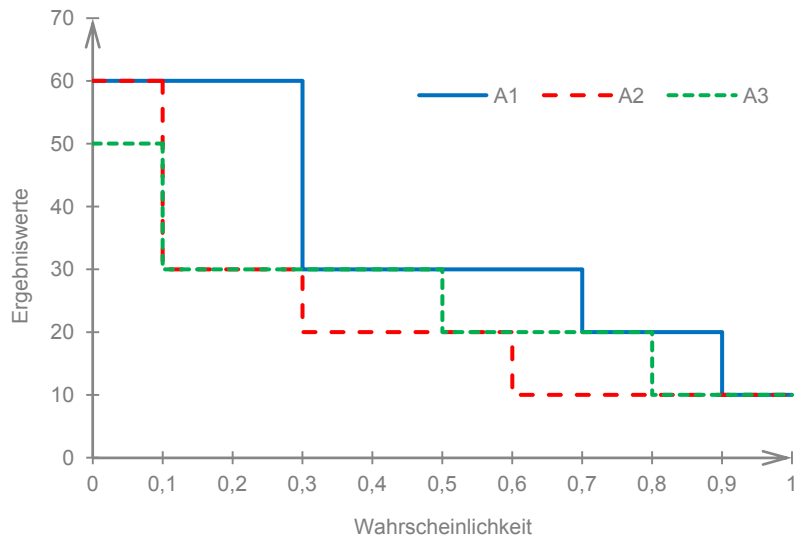


Bild 6.2 Anwendungsbeispiel Wahrscheinlichkeitsdominanz

Eine Alternative dominiert eine andere Alternative, wenn sie nie unterhalb und zumindest einmal oberhalb der anderen liegt. In diesem Beispiel bedeutet dies, dass die Alternative A<sub>1</sub> die Alternativen A<sub>2</sub> und A<sub>3</sub> nach dem Prinzip der Wahrscheinlichkeitsdominanz dominiert. Anhand der Wahrscheinlichkeitsdominanz würde ein Entscheider die Alternative A<sub>1</sub> wählen.

Da nur in Ausnahmefällen eine Alternative alle anderen Alternativen dominiert, führt das Dominanzprinzip in den meisten Fällen zu keiner Lösung.

Für Entscheidungen unter Ungewissheit existiert eine Vielzahl an Lösungsansätzen.

## 7 Entscheidung unter Ungewissheit

Bei Entscheidungen unter Ungewissheit handelt es sich um eine Situation mit mehreren Umweltzuständen, für die die Eintrittswahrscheinlichkeit nicht bekannt bzw. unkalkulierbar ist.

Existiert eine Alternative, welche alle anderen Alternativen dominiert, so ist diese nach dem Dominanzprinzip den anderen vorzuziehen. Da nur in Ausnahmefällen eine Alternative alle anderen Alternativen dominiert, führt das Dominanzprinzip in den meisten Fällen zu keiner Lösung. Hierzu hat die Entscheidungstheorie eine Reihe von Entscheidungskriterien entwickelt, welche im nachfolgenden Kapitel vorgestellt werden. Um ein besseres Verständnis zu ermöglichen, werden die einzelnen Kriterien anhand eines einfachen Beispiels erklärt.

Es ist folgende Entscheidungsmatrix gegeben:

	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
A <sub>1</sub>	7	3	5
A <sub>2</sub>	2	8	9
A <sub>3</sub>	4	10	2

A<sub>i</sub>... Alternativen

S<sub>j</sub>... Umweltzustände

### 7.1 Maximin-Regel

Die Maximin-Regel ist auch als Minimax-Regel oder nach dem Erfinder Abraham Wald als Wald-Regel bekannt. Die Maximin-Regel findet hauptsächlich in der Spieltheorie und der statistischen Entscheidungstheorie ihre Anwendung. Die einfache Anwendung spricht für die Maximin-Regel, ein schwerwiegender Nachteil ist jedoch, dass die Regel nur das schlechteste Ergebnis jeder Alternative berücksichtigt. Diese extrem pessimistische Einstellung ist mit Sicherheit nicht realistisch für menschliches Verhalten und ist auch für unternehmerische Entscheidungen inakzeptabel.

Die Maximin-Regel präferiert einen Mindestenerfolg, der im ungünstigsten Fall erzielt wird. Gewählt wird diejenige Alternative, die das höchste Zeilenminimum aufweist.<sup>52</sup>

<sup>52</sup> vgl. LAUX, H.: Entscheidungstheorie. S. 107 - 108



Es gilt:

$$\Phi(A_i) = \max_{(i)} \min_{(j)} E_{ij} \quad [9]^{53}$$

$E_{ij}$ ... Erfolg der Alternative  $A_i$  im Zustand  $S_j$

$\Phi(A_i)$  ... Präferenzwert von  $A_i$

Beispiel:

	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$\min_{(j)} E_{ij}$	$\Phi(A_i)$
$A_1$	7	3	5	3	3
$A_2$	2	8	9	2	
$A_3$	4	10	2	2	

Somit entscheidet sich ein Anwender der Maximin-Regel für die Alternative  $A_1$ , da diese das höchste Zeilenminimum besitzt.

## 7.2 Maximax-Regel

Die Maximax-Regel ist die Kehrseite der Maximin-Regel, sie spiegelt das Entscheidungsverhalten eines extrem risikofreudigen Entscheiders wieder. Gewählt wird diejenige Alternative, die das höchste Zeilenmaximum aufweist.<sup>54</sup>

$$\Phi(A_i) = \max_{(j)} \max_{(i)} E_{ij} \quad [10]^{55}$$

Beispiel:

	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$\max_{(j)} E_{ij}$	$\Phi(A_i)$
$A_1$	7	3	5	7	
$A_2$	2	8	9	9	
$A_3$	4	10	2	10	10

<sup>53</sup> vgl. LAUX, H.: Entscheidungstheorie. S. 107

<sup>54</sup> vgl. DÖRSAM, P.: Grundlagen der Entscheidungslehre. S. 31

<sup>55</sup> vgl. LAUX, H.: Entscheidungstheorie. S. 109

Somit entscheidet sich ein Anwender der Maximax-Regel für die Alternative  $A_3$ , da diese das höchste Zeilenmaximum besitzt.

### 7.3 Hurwicz-Regel

Die Hurwicz-Regel ist eine Kombination aus der Maximin-Regel und der Maximax-Regel. Hierfür wird ein sogenannter Gewichtungsfaktor  $\lambda$  ( $0 \leq \lambda \leq 1$ ) eingeführt, welcher vom Entscheider selbst zu wählen ist. Der Gewichtungsfaktor  $\lambda$  wird auch als Optimismusparameter bezeichnet. Wird  $\lambda$  mit 1 gewählt, so entspricht dies der Maximax-Regel. Bei  $\lambda = 0$  werden dieselben Ergebnisse wie bei der Maximin-Regel erzielt. Generell lässt sich sagen, je grösser der Gewichtungsfaktor  $\lambda$  gewählt wird, desto risikofreudiger ist die Einstellung des Entscheiders (0 = risikoscheue Einstellung, 1 = risikofreudige Einstellung).<sup>56</sup>

Es gilt:

$$\Phi(A_i) = \max_{(j)} [\lambda * \max_{(j)} E_{ij} + (1 - \lambda) * \min_{(j)} E_{ij}] \quad [11]^{57}$$

$\lambda$ ... Gewichtungsfaktor / Optimismusparameter

Ermittlung des Optimismusparameters  $\lambda$ :<sup>58</sup>

$A_i$	$S_1$	$S_2$
$A_1$	1	0
$A_2$	x	x

Der Faktor x wird so lange variiert, bis der Entscheider zwischen  $A_1$  und  $A_2$  indifferent ist.

$A_i$	$S_1$	$S_2$
$A_1$	1	0
$A_2$	0,6	0,6

Aus  $\Phi(A_1) = \lambda$ ;  $\Phi(A_2) = x$ ;  $\Phi(A_1) = \Phi(A_2)$ ;  $\rightarrow \lambda = 0,6$ .

<sup>56</sup> vgl. DÖRSAM, P.: Grundlagen der Entscheidungslehre. S. 32

<sup>57</sup> vgl. LAUX, H.: Entscheidungstheorie. S. 110-111

<sup>58</sup> vgl. BAMBERG, G.; COENENBERG, A.; KRAPP, M.: Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre. S. 115

Beispiel: mit  $\lambda = 0,6$

	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	$\max_{(j)} E_{ij}$	$\min_{(j)} E_{ij}$	$\Phi(A_i)$
A <sub>1</sub>	7	3	5	7	3	
A <sub>2</sub>	2	8	9	9	2	
A <sub>3</sub>	4	10	2	10	2	6,8

Somit entscheidet sich ein Anwender der Hurwicz-Regel für die Alternative A<sub>3</sub>.

#### 7.4 Laplace-Kriterium

Das Laplace-Kriterium bildet für jede Alternative den Durchschnittswert aller Umweltzustände. Diese These wird auch „Prinzip des mangelnden Grundes“ genannt.<sup>59</sup>

Es gilt:

$$\Phi(A_i) = \max_{(i)} \sum_{j=1}^n \frac{1}{S_j} \times E_{ij} \quad [12]^{60}$$

S<sub>j</sub>... Umweltzustände

Beispiel:

	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	$\Phi(A_i)$
A <sub>1</sub>	7	3	5	
A <sub>2</sub>	2	8	9	6,3
A <sub>3</sub>	4	10	2	

Die Entscheidung fällt nach dem Laplace-Kriterium zugunsten der Alternative A<sub>2</sub> aus. Natürlich ist es für die Entscheidung nicht von Bedeutung, ob man bei den Präferenzwerten durch die Summe der Umweltzustände teilt oder darauf verzichtet, in beiden Fällen wird dasselbe Ergebnis erzielt. Anders als bei den bereits vorgestellten Rechenregeln, werden beim Laplace-Kriterium alle Zielgrößen in der Berechnung berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass alle Umweltzustände gleichwahrscheinlich sind mit einer Wahrscheinlichkeit  $w_j = 1/n$ .

<sup>59</sup> vgl. DÖRSAM, P.: Grundlagen der Entscheidungslehre. S. 37-38

<sup>60</sup> vgl. LAUX, H.: Entscheidungstheorie. S. 115-116

## 7.5 Savage-Niehans-Regel

Bei dieser Regel erfolgt die Entscheidung nicht anhand der Ergebnisse, sondern aufgrund entsprechender „*Bedauernswerte*“. Folglich wird die Regel auch „Regel des kleinsten Bedauerns“ genannt. Die Savage-Niehans-Regel strebt einen möglichst niedrigen Bedauernswert an, deshalb wird diejenige Alternative gewählt, bei der das maximale Bedauern am niedrigsten ist.<sup>61</sup>

Im ersten Schritt ist die Matrix des Bedauerns wie folgt zu ermitteln:

$$B_{ij} = \max_{(i)} E_{ij} - E_{ij} \quad [13]^{62}$$

$B_{ij}$ ... Bedauernswerte

	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
A <sub>1</sub>	7	3	5
A <sub>2</sub>	2	8	9
A <sub>3</sub>	4	10	2

Matrix des Bedauerns:

	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
A <sub>1</sub>	(7-7)	(10-3)	(9-5)
A <sub>2</sub>	(7-2)	(10-8)	(9-9)
A <sub>3</sub>	(7-4)	(10-10)	(9-2)

Nach aufstellen der Matrix des Bedauerns gilt folgendes:

$$\Phi(A_i) = \min_{(i)} \max_{(j)} B_{ij} \quad [14]^{63}$$

<sup>61</sup> vgl. LAUX, H.: Entscheidungstheorie. S. 112-114

<sup>62</sup> vgl. ebenda. S. 112-114

<sup>63</sup> vgl. ebenda. S. 112-114

$B_{ij}$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$\max_{(j)} B_{ij}$	$\Phi(A_i)$
$A_1$	0	7	4	7	5
$A_2$	5	2	0	5	
$A_3$	3	0	7	7	

Somit entscheidet sich ein Anwender der Savage-Niehans-Regel für die Alternative  $A_2$ .

## 7.6 Krelle-Regel

Die Krelle-Regel umgeht die starre, schematische Gewichtung der Handlungskonsequenzen, indem eine monoton steigende Unsicherheitspräferenzfunktion  $\omega_{(u)}$  eingeführt wird, mit welcher alle Ergebniswerte  $E_{ij}$  einer Alternative in Nutzwerte transformiert werden. Die Summe aller Nutzwerte einer Alternative ergibt den Gesamtnutzwert.<sup>64</sup> Die Unsicherheitspräferenzfunktion ist vom Entscheider festzulegen.

Es gilt:

$$\Phi(A_i) = \max_{(i)} \sum_{j=1}^n \omega(E_{ij}) \quad [15]^{65}$$

Ermittlung der Unsicherheitspräferenzfunktion  $\omega_{(u)}$ :<sup>66</sup>

Es wird folgende Normierung eingeführt:

$$\omega(0) = 0 \text{ und } \omega(1) = 1$$

Gleich wie bei der Hurwicz-Regel wird auch hier der Wert  $x$  solange variiert, bis zwischen  $A_1$  und  $A_2$  Indifferenz herrscht  $\rightarrow$  z.B.:  $x = 0,3$ .

$A_i$	$S_1$	$S_2$
$A_1$	1	0
$A_2$	$x$	$x$

<sup>64</sup> vgl. BAMBERG, G.; COENENBERG, A.; KRAPP, M.: Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre. S. 118

<sup>65</sup> vgl. KRELLE, W.: Präferenz- und Entscheidungstheorie. S. 184

<sup>66</sup> vgl. BAMBERG, G.; COENENBERG, A.; KRAPP, M.: Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre. S. 118-119

Aus:

$$\omega(0) + \omega(1) = 1 = \omega(x) + \omega(x) \rightarrow \omega(x) = 0,5$$

Es sind bereits drei Punkte (0/0), (1/1) und (0,3/0,5) bekannt, die auf der Unsicherheitspräferenzkurve liegen. Sollen mehrere Punkte für die Konstruktion der Kurve benötigt werden, kann die Ermittlung analog wie folgt fortgesetzt werden:

A <sub>i</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>
A <sub>1</sub>	0,3	0
A <sub>2</sub>	x	x

Aus:

$$\omega(0) + \omega(0,2) = 0,5 = \omega(x) + \omega(x) \rightarrow \omega(x) = 0,25$$

Indifferenz für den Entscheider herrscht z.B. bei x = 0,1, somit ist ein weiterer Punkt (0,1/0,25) bekannt. Die Kurve kann nun konstruiert werden. Sie entspricht in etwa der Form  $w_u \sim \sqrt{u}$  :

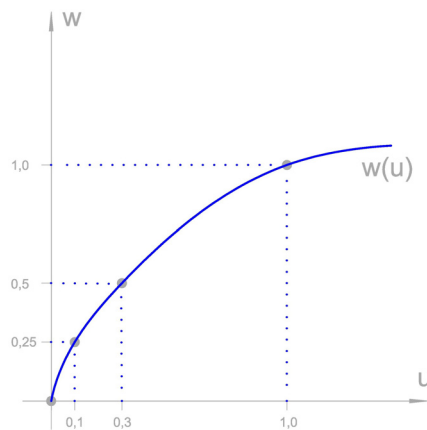


Bild 7.1 Unsicherheitspräferenzfunktion

Beispiel: gegeben  $\omega(u) = \sqrt{E_{as}}$

	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	Φ(A <sub>a</sub> )
A <sub>1</sub>	7	3	5	7,24
A <sub>2</sub>	2	8	9	
A <sub>3</sub>	4	10	2	

Somit entscheidet sich ein Anwender nach der Krelle-Regel für die Alternative  $A_2$ .

Nach Vorstellung der Entscheidungsregeln unter Ungewissheit folgen die Entscheidungsregeln bzw. Entscheidungskriterien unter Risiko.

## 8 Entscheidung unter Risiko

Im folgenden Kapitel werden die Entscheidungskriterien für Risikosituationen beschrieben. Anders als bei Entscheidungen unter Ungewissheit werden bei Entscheidungen unter Risiko die Eintrittswahrscheinlichkeiten der einzelnen Umweltzustände als bekannt vorausgesetzt. Die  $\mu$ -Regel, das  $\mu\sigma$ -Prinzip und das Bernoulli-Prinzip zählen zu den bekanntesten Entscheidungskriterien. Da das Bernoulli-Prinzip nicht den Schwerpunkt dieser Arbeit bildet, wird es nur grob erklärt.

### 8.1 $\mu$ -Regel (Bayes-Regel)

Ist ein Entscheider risikoneutral, kann er nach der  $\mu$ -Regel die optimale Handlungsalternative auswählen. Die Vorteile der  $\mu$ -Regel sind die einfache und unkomplizierte Anwendung in Entscheidungssituationen unter Risiko.

Der ermittelte Erwartungswert  $\mu$  aller Zielgrößen, ist der probabilistische Durchschnitt aller Ergebniswerte einer Handlungsalternative und dient als Beurteilungsmaßstab. Es wird diejenige Handlungsalternative gewählt, bei der die Summe aus den gewichteten Ergebnissen maximal wird. Neben der Maximierungsvorschrift ist es auch möglich, eine entsprechende Minimierungs-, Satisfizierungs- oder Fixierungsvorschrift zu formulieren.<sup>67</sup>

Es gilt:

$$\Phi(A) = \mu(A) = \max_{(i)} \sum_{j=1}^n w(S_j) \times E_{ij} \quad [16]^{68}$$

$\Phi(A)$ ... Präferenzwert von  $A_i$

$w(S_j)$ ... Wahrscheinlichkeiten Umweltzustände

$E_{ij}$ ... Erfolg der Alternative  $A_i$  im Zustand  $S_j$

$\mu(A)$ ... Erwartungswert

<sup>67</sup> vgl. MANZ, K.; DAHAM, A.; HOFFMANN, L.: Band 10 Entscheidungstheorie. S. 29-30

<sup>68</sup> vgl. LAUX, H.: Entscheidungstheorie. S. 146



Beispiel:

	$S_1(w_{S1}=0,35)$	$S_2(w_{S2}=0,4)$	$S_3(w_{S3}=0,25)$	$\sum w(S_j) \times E_{ij}$	$\Phi(A_i)$
$A_1$	7	3	5	4,9	
$A_2$	2	8	9	6,15	6,15
$A_3$	4	10	2	5,9	

Somit entscheidet sich ein Anwender nach dem Erwartungsprinzip für die Alternative  $A_2$ .

## 8.2 $\mu\sigma$ -Prinzip

Das  $\mu\sigma$ -Prinzip ist eine Erweiterung der  $\mu$ -Regel um die Standardabweichung. Es bietet die Möglichkeit anhand der Streuung der Zielgrößen neben dem Erwartungswert auch das Risiko in das Ergebnis einzubeziehen. Dabei ist  $\sigma$  ein Maß für die Streuung der Zielgröße um den Erwartungswert. Ein wesentlicher Nachteil ist, dass keine Aussage über die Form der Präferenzfunktion gemacht wird, da diese vom Entscheider selbst festzulegen ist. Je nach Annahme der Funktion können unterschiedliche  $\mu\sigma$ -Regeln entstehen.<sup>69</sup>

Neben der Maximierungsvorschrift ist auch hier eine Minimierungs-, Satisfizierungs- oder Fixierungsvorschrift möglichen. Allgemein kann für die Präferenzfunktion folgendes formales Konzept herangezogen werden:

$$\Phi(A) = \Phi(\mu, \sigma) = \max_{(i)} [\mu_i \pm \alpha_i \times \sigma_i] \quad [17]^{70}$$

$$\mu_i = \sum_{j=1}^n w(S_j) \times E_{ij}$$

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_i^2} = \sqrt{\sum_{j=1}^n w(S_j) \times (E_{ij} - \mu_i)^2}$$

<sup>69</sup> vgl. LAUX, H.: Entscheidungstheorie. S. 155-157

<sup>70</sup> vgl. MANZ, K.; DAHAM, A.; HOFFMANN, L.: Band 10 Entscheidungstheorie. S. 34

$\alpha_i \dots$  Faktor Risikoeinstellung

$\sigma_i \dots$  Standardabweichung

Der Faktor  $\alpha$  bringt die Risikoeinstellung des Entscheiders zum Ausdruck. Wird  $\alpha$  mit 0 bewertet, spielt die Streuung um den Erwartungswert keine Rolle, der Entscheider ist risikoneutral. Ist  $\alpha > 0$  spricht man von Risikoaversion, dies bedeutet, der Entscheider ist risikoscheu. Bei Risikofreude ist  $\alpha < 0$  zu wählen.

Die Präferenzwerte der einzelnen  $\mu\sigma$ -Regeln lassen sich mittels Indifferenzkurven in einem Diagramm darstellen. Entlang den Indifferenzkurven sind die Präferenzwerte konstant, also indifferent. Die entsprechenden Diagramme werden als  **$\mu\sigma$ -Diagramme** bezeichnet. Aus dem Verlauf der Indifferenzlinien im  $\mu\sigma$ -Diagramm lässt sich auch die Risikoeinstellung des Entscheiders ablesen. Es werden Risikofreude, Risikoaversion und Risikoneutralität unterschieden.

Beispiel:

	$S_1(w_{S1}=0,35)$	$S_2(w_{S2}=0,4)$	$S_3(w_{S3}=0,25)$	$\mu_i$	$\sigma_i$
$A_1$	7	3	5	4,9	1,73
$A_2$	2	8	9	6,15	3,07
$A_3$	4	10	2	5,9	3,43

#### ▪ Risikofreude

Bei einem risikofreudigen Entscheider wird die Streuung um den Erwartungswert als positiv empfunden ( $\alpha > 0$ ). Dies bedeutet, dass die Steigung der Indifferenzlinien negativ ist. Zunächst werden die Präferenzwerte nach Formel 17 berechnet:

für  $\alpha = 1,0$ :

	$\mu_i$	$\sigma_i$	$\Phi(\mu, \sigma)$	$\max_{(i)}$
$A_1$	4,9	1,73	6,63	
$A_2$	6,15	3,07	9,22	
$A_3$	5,9	3,43	9,33	9,33

Durch Auflösung der Präferenzfunktion nach  $\sigma$  ( $\alpha = 1,0$ ), kann die Funktionsvorschrift für die Indifferenzlinien bestimmt werden:

$$\Phi_{(\mu,\sigma)} = \mu_i + \alpha_i \times \sigma_i$$



$$\sigma_i = -\mu_i + \Phi_{(\mu,\sigma)}$$

Mittels eines Punktes  $(\mu, \sigma)$  auf der Geraden und der Steigung von 1:1 lassen sich die Indifferenzlinien in einem  $\mu\sigma$ -Diagramm darstellen.

Folgendes Bild zeigt das  $\mu\sigma$ -Diagramm für  $\alpha = 1,0$ :

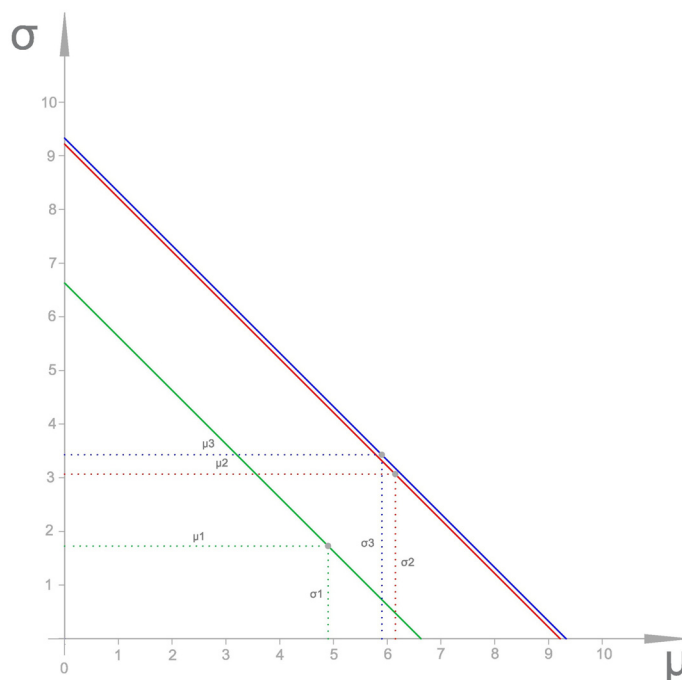


Bild 8.1 Indifferenzkurven bei Risikofreude

Wird eine Maximierungsvorschrift präferiert, ist diejenige Alternative zu wählen, deren  $\mu\sigma$ -Kombination auf der Indifferenzkurve am weitesten rechts im Koordinatensystem liegt. In diesem Beispiel wäre  $A_3$  gegenüber den anderen Alternativen der Vorzug zu geben.

Analog lassen sich auch die Indifferenzlinien für Risikoaversion und Risikoneutralität bestimmen.

- Risikoaversion

Bei Risikoaversion ist die Steigung der Geraden positiv. Dies bedeutet, dass die Erhöhung der Streuung als Nachteil empfunden wird.

für  $\alpha = -1,0$ :

	$\mu_a$	$\sigma_a$	$\Phi(\mu, \sigma)$	$\max_{(i)}$
$A_1$	4,9	1,73	3,17	3,17
$A_2$	6,15	3,07	3,08	
$A_3$	5,9	3,43	2,47	

Folgendes Bild zeigt das  $\mu\sigma$ - Diagramm für  $\alpha = -1,0$ :

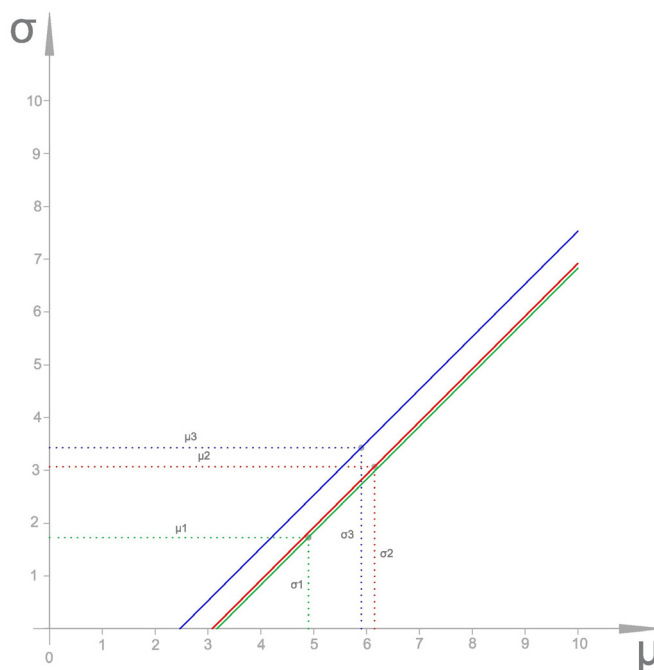


Bild 8.2 Indifferenzkurven bei Risikoaversion

- Risikoneutralität

Wird  $\alpha = 0$  gewählt, entspricht dies dem  $\mu$ -Kriterium. In diesem Fall verlaufen die Indifferenzkurven senkrecht.

für  $\alpha = 0$ :

	$\mu_a$	$\sigma_a$	$\Phi(\mu, \sigma)$	$\max_{(i)}$
A <sub>1</sub>	4,9	1,73	4,9	
A <sub>2</sub>	6,15	3,07	6,15	6,15
A <sub>3</sub>	5,9	3,43	5,9	

Folgendes Bild zeigt das  $\mu\sigma$ - Diagramm für  $\alpha = 0$ :

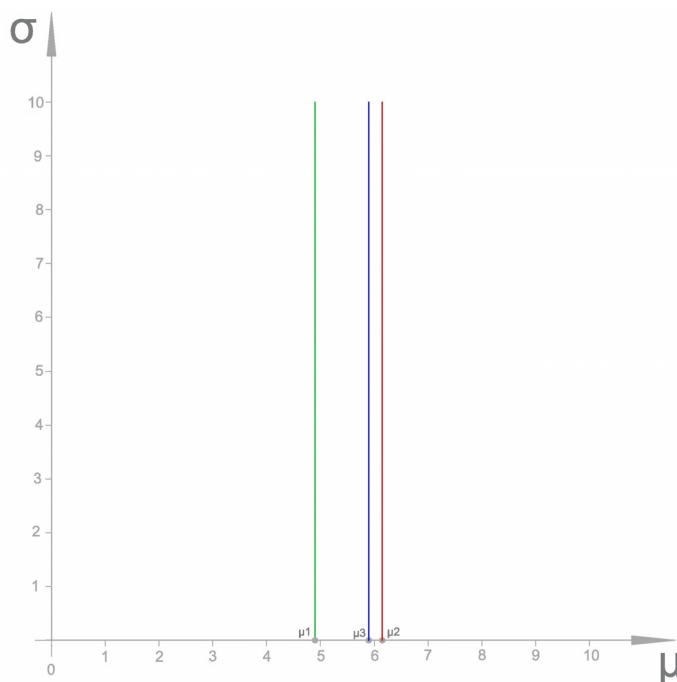


Bild 8.3 Indifferenzlinien für einen risikoneutralen Entscheider

Nur wenn  $\mu$  und  $\sigma$  linear in die Präferenzfunktion eingehen, ergeben sich gerade Indifferenzlinien. Wird  $\sigma$  z.B. quadratisch gewählt, sind die Indifferenzkurven keine Geraden mehr.  $\mu\sigma$ -Regeln, bei denen das  $\sigma$  im Quadrat eingeht, werden auch als  $\mu\sigma^2$ -Regeln bezeichnet.<sup>71</sup>

<sup>71</sup> vgl. DÖRSAM, P.: Grundlagen der Entscheidungslehre. S. 82

### 8.3 Bernoulli-Prinzip

Anders als bei den bereits vorgestellten Rechenregeln, mit Ausnahme der Krelle-Regel, bewertet das Bernoulli-Prinzip nicht den Erwartungswert, sondern den Erwartungswert aus dem daraus resultierenden Nutzen. Hauptproblem stellt das Finden einer angepassten Nutzenfunktion des Entscheidungsträgers dar.

„Entscheidungen nach dem Bernoulli-Prinzip werden in zwei Entscheidungsstufen vollzogen:<sup>72</sup>

- Bestimmung einer Nutzenfunktion, die den Ergebnissen reelle Nutzenwerte zuordnet.
- Wahl der Handlungsalternativen, deren Ergebnisse den höchsten Nutzenerwartungswert aufweist.“

Für die Anwendung der Entscheidungstheorie in der Baukalkulation sind somit alle Voraussetzungen geschaffen. Anhand eines praxisorientierten Beispiels wird gezeigt, wie mit Hilfe dieser unter Ausschluss der psychologischen Eigenschaften eines Entscheiders, die Kosten bzw. Preise für eine horizontale Baugrubenabdichtung ermittelt werden können. Es folgt eine grundlegende Einführung in das Düsenstrahlverfahren.

---

<sup>72</sup> MANZ, K.; DAHAM, A.; HOFFMANN, L.: Band 10 Entscheidungstheorie. S. 36

## 9 Düsenstrahlverfahren

Im folgenden Kapitel wird das Düsenstrahlverfahren erläutert, es werden die verschiedenen Verfahrensarten sowie die Herstellungsarten vorgestellt. Des Weiteren ist es erforderlich, für die Kalkulation die Anzahl der Gerätschaften, die Zusammensetzung der eingebrachten Flüssigkeit, die Anzahl der auszuführenden Düsenstrahlsäulen sowie die dafür notwendigen Jetparameter<sup>73</sup> Bohrgeschwindigkeit, Säulendurchmesser, Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen, Ziehgeschwindigkeit, Pumprate, Manipulationszeit zu kennen bzw. zu ermitteln.

Das Düsenstrahlverfahren auch bekannt als Hochdruckbodenvermörtelung (Österreich), Jetting (Schweiz) oder Hochdruckinjektion (Deutschland) ist ein anerkanntes und bewährtes Verfahren im Spezialtiefbau. Es wird hauptsächlich zur Baugrundverfestigung und Bodenabdichtungen eingesetzt. Für die technische Ausführung und Anwendung gilt die europäische Norm EN 12716 (Ausgabe: 2002-01-01) „Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Düsenstrahlverfahren (Hochdruckinjektion, Hochdruckbodenvermörtelung, Jetting).“<sup>74</sup>

### 9.1 Definition laut EN 12716

*„Vorgang, der darin besteht, dass Boden oder mäßig festes Gestein in seine Bestandteile zerlegt und mit zementhaltiger Mischung versetzt bzw. teilweise durch diese Mischung ersetzt wird. Das Auflösen des Bodengefüges wird durch einen energiereichen Flüssigkeitsstrahl bewirkt, wobei die Flüssigkeit die Zementsuspension sein kann.“<sup>75</sup>*

### 9.2 Verfahrensarten und Herstellung

Die Auflösung des Bodengefüges erfolgt entweder durch einen Hochdruck - Suspensionsstrahl oder durch einen Hochdruckwasserstrahl, der zusätzlich zur Erhöhung der Effektivität mit Luft ummantelt sein kann.

Im Gegensatz zu herkömmlichen Injektionen, bei denen die Porenräume mit einer Zementsuspension verfüllt werden, wird beim Düsenstrahlverfahren die Struktur des bestehenden Bodens, mittels eines Hochdruckstrahles der aus Wasser oder Zementsuspension besteht, zerstört. Der

<sup>73</sup> Der Begriff „Jet“ kommt aus dem englischen und bedeutet Strahldüse.

<sup>74</sup> vgl. LESNIK, M.: Ermittlung der Reichweite beim Düsenstrahlverfahren. S. 3

<sup>75</sup> NORMUNGSINSTITUT, : EN 12716. S. 4

erodierte Boden wird mit den eingebrachten Flüssigkeiten vermischt und teilweise durch diese ersetzt (Rückfluss).

Der Herstellungsprozess eines Düsenstrahlelementes lässt sich wie folgt klassifizieren:<sup>76</sup>

- Aufstellen des Bohr- und Düsgerätes über dem Bohransatzpunkt
- Abteufen des Bohrgestänges bis zur planmäßigen Tiefe des Düsenstrahlelementes
- Herstellen des Düsenstrahlelementes durch langsames Ziehen des Bohrgestänges von unten nach oben bis zur projektierten Oberfläche des Elementes.

Die EN 12716 unterscheidet vier Düsenstrahlssysteme, welche sich durch die Anzahl der in den Baugrund eingebrachten Komponenten unterscheiden.

Tabelle 9.1 Übersicht über die Düsenstrahlssysteme<sup>77</sup>

System	Auflösung des Bodengefüges	Verfestigung des Bodengefüges	Anzahl der Komponenten
1 – Phasensystem (Suspension)	HD – Suspension	HD – Suspension	1
2 – Phasensystem (Suspension und Luft)	HD – Suspension luftummantelt	HD – Suspension luftummantelt	2
2 – Phasensystem – WS (Wasser und Suspension)	HD – Wasser	ND – Suspension	2
3 – Phasensystem (Wasser, Luft, Suspension)	HD – Wasser Luftummantelt	ND – Suspension	3

### 9.2.1 Vor- und Nachteile des DSV

Die Vorteile des Verfahrens sind deren Anwendung in fast allen Bodenarten und die vielfältige Einsetzbarkeit auch bei beengten Raumverhältnissen.

Als Nachteil gilt die unzuverlässige Vorhersage von Geometrie und Eigenschaften der Düsenstrahlelemente sowie große Rückflussmengen, die im Zuge der Herstellung anfallen und relativ kostenintensiv entsorgt werden müssen.

<sup>76</sup> vgl. LESNIK, M.: Ermittlung der Reichweite beim Düsenstrahlverfahren. S. 6

<sup>77</sup> NORMUNGsinstitut, : EN 12716. S. 20



Für die Erstellung der Kalkulation ist es erforderlich, den Geräteeinsatz auf der Baustelle zu kennen. Des Weiteren haben die Zusammensetzung der eingebrachten Flüssigkeit und die Anzahl an erforderlichen DS-Säulen großen Einfluss auf die Kosten.

### 9.3 Baustelleneinrichtung Düsenstrahlverfahren

Für die Erstellung von Düsenstrahlsäulen bzw. Düsenstrahllamellen werden folgende Gerätschaften benötigt:

- Bohrgerät mit Anzeige für Drehzahl und Ziehgeschwindigkeit
- Druckluftkompressor
- Hochdruckpumpe mit Druck- und Volumenanzeige
- Mischanlage mit Dosiereinrichtung, Sieb und Rührwerk
- Wasseranschluss
- Siloanlage mit Dosierförderschnecke
- Absetzbecken für Rücklauf
- Überschusspumpe

Die folgende Grafik zeigt eine typische Baustelleneinrichtung für das Düsenstrahlverfahren:

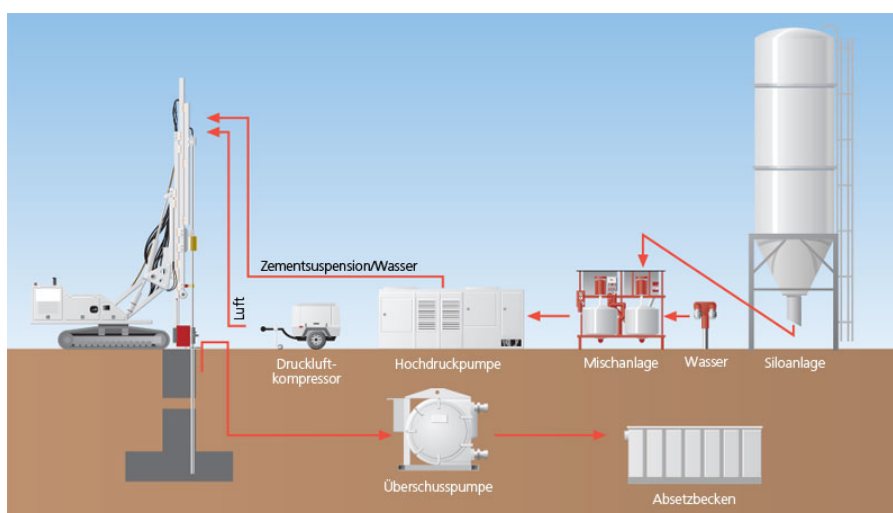


Bild 9.1 Baustelleneinrichtung Düsenstrahlverfahren<sup>78</sup>

<sup>78</sup> <http://www.furch-grundbau.de/technik.html>. Datum des Zugriffs: 11.01.2012

#### 9.4 Zusammensetzung der eingebrachten Flüssigkeit

Die in den Baugrund einzubringende Flüssigkeit wird in der Praxis oftmals als Vorlauf bezeichnet. Dieser besteht aus einer Zementsuspension mit einem W/Z-Wert zwischen 0,8 und 1,2.

Die Dichte der Zementsuspension hängt von der Dichte des Wassers und der Rohdichte des Zementes ab. Rechnerisch kann die Dichte des Vorlaufs bei einem vorgegebenem W/Z-Wert folgendermaßen ermittelt werden:

$$\rho_{\text{sus}} = \frac{\rho_z \times \rho_w \times (1 + W/Z)}{W/Z \times \rho_z + \rho_w} \quad [18]^{79}$$

$\rho_{\text{sus}}$ ... Dichte der Zementsuspension

$\rho_z$ ... Dichte des Zementes

$\rho_w$ ... Dichte des Wassers

Die oben angeführte Formel findet Anwendung bei einem 1-Phasensystem, für die Berechnung der Dichte der Vorlaufsuspension des 2-Phasensystems-WS sowie beim 3-Phasensystem werden andere Formeln herangezogen.

Bei einem W/Z-Wert von 1,0 und einer Rohdichte des Zementes von  $\rho_z = 3,11 \text{ g/cm}^3$  beträgt die Dichte der Zementsuspension  $\rho_{\text{sus}} = 1,51 \text{ g/cm}^3$ .

$$\rho_{\text{sus}} = \frac{3,11 \times 1 \times (1 + 1)}{1 \times 3,11 + 1} = 1,51 \text{ g/cm}^3$$

Aus diesem Wert kann in weiterer Folge der Zementverbrauch ermittelt werden.

1.000 Liter Suspension haben somit ein Gesamtgewicht von 1,51 Tonnen, welches sich aus 50 % Wasser und 50 % Zement zusammensetzt.

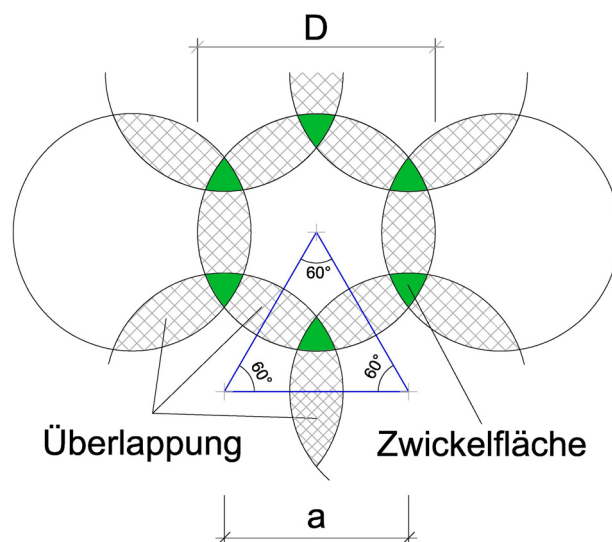
Der W/Z-Wert hat sowohl Auswirkungen auf die Dichte der Zementsuspension als auch auf die erforderliche Zementmenge. Grundsätzlich lässt sich sagen, je kleiner der W/Z-Wert, desto größer der Zementverbrauch und desto größer die Zementmasse je  $\text{m}^3$  Suspension.

<sup>79</sup> vgl. LESNIK, M.: Ermittlung der Reichweite beim Düsenstrahlverfahren. S. 13

Auf die Reichweite des Düsenstrahles hat die Zusammensetzung der Zementsuspension keinen bzw. einen vernachlässigbar kleinen Einfluss.<sup>80</sup>

### 9.5 Ermittlung der Anzahl von DS-Säulen

Die Anzahl der auszuführenden Düsenstrahlsäulen für die Herstellung der Dichtsohle hat einen großen Einfluss auf die zu erwartenden Kosten. Wird der Durchmesser der DS-Säulen zu klein gewählt, erfolgt keine Überlappung der einzelnen Säulen und die vorgeschriebene Dichtheit der Sohle kann nicht erreicht werden. Infolge der unzureichenden Überlappung der Düsenstrahlsäulen entstehen Fehlstellen, diese werden auch als **Leckagen** bezeichnet.



D... Säulendurchmesser

a... Rasterabstand

Bild 9.2 Qualitätssicherung bei Dichtsohlen

Der Rasterabstand sollte so klein sein, dass Leckagen verhindert werden und so groß, dass die Wirtschaftlichkeit nicht maßgebend beeinflusst wird. Die Schwierigkeit liegt darin, im Zuge der Kalkulation den Rasterabstand bzw. die Zwickelfläche optimal zu wählen.

Laut ÖNORM EN 12716 wird gefordert, dass die Abweichung des Bohransatzpunktes gegenüber seiner theoretischen Lage nicht mehr als 50 mm betragen darf, falls sie in den Plänen nicht anders festgelegt wurde.

<sup>80</sup> vgl. LESNIK, M.: Ermittlung der Reichweite beim Düsenstrahlverfahren. S. 14

Die Abweichung der Bohrung selbst sollte gegenüber der theoretischen Achse bis in eine Tiefe von 20 m gleich oder weniger als 2 % der Bohrtiefe betragen.<sup>81</sup>

Diese Richtwerte der EN erfordern eine hohe Anzahl an DS-Säulen, was wiederum die Wirtschaftlichkeit sehr stark beeinflusst. In der Praxis wird zumeist ein Sicherheitsmaß  $\beta$  angesetzt, welches das Auftreten von Leckagen unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit verhindern soll.

Für die weitere Berechnung des erforderlichen Rasterabstandes wird ein Sicherheitsmaß  $\beta = 1,1$  festgelegt.

Die Anzahl der erforderlichen DS-Säulen kann anhand folgender Formel ermittelt werden:

$$\text{Säulenanzahl} = \frac{L \times B}{a \times \sqrt{a^2 - \frac{a^2}{4}}} \times \alpha \quad [19]^{82}$$

$L$ ... Länge Baugrube

$B$ ... Breite Baugrube

$a$ ... Rasterabstand

$\alpha$ ... Zuschlag (Erfahrungswert: 1,07)

Der Zuschlagswert  $\alpha$  berücksichtigt bei der Berechnung der Säulenanzahl die Geometrie der Baugrube. Er leitet sich aus Erfahrungswerten ab.

Der Rasterabstand kann wie folgt aus Säulendurchmesser und Sicherheitsmaß ermittelt werden:

$$a = \frac{D \times \cos 30^\circ}{\beta} \quad [20]$$

$D$ ... Säulendurchmesser

$\beta$ ... Sicherheitsmaß ( $\beta = 1,1$ )

<sup>81</sup> vgl. NORMUNGSINSTITUT, : EN 12716. S. 21

<sup>82</sup> vgl. WERKL, M.: Vorlesungsunterlagen Ausschreibung und Kalkulation. S. 5

Für die Herstellung einer Dichtsohle mit einer Abmessung von 40,0 m x 25,0 m und einem Säulendurchmesser von 1,10 m sind 1.632 Stück DS-Säulen erforderlich. Das entspricht einem Rasterabstand von 0,87 m.

$$a = \frac{1,10 \times \cos 30^\circ}{1,1} = 0,87m$$

$$\text{Säulenanzahl} = \frac{40 \times 25}{0,87 \times \sqrt{0,87^2 - \frac{0,87^2}{4}}} \times 1,07 \cong 1632 \text{ Stk}$$

Nach Berechnung der erforderlichen Anzahl an DS-Säulen und des Rasterabstandes kann der Zusammenhang zwischen der Pumprate, der Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen und dem Säulendurchmesser hergestellt werden.

## 9.6 Zusammenhang der Parameter

Der Säulendurchmesser steht in Abhängigkeit zur gewählten Pumprate und der Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen. Allgemein lässt sich sagen, je geringer die Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen und je höher die Pumprate, desto größer der Durchmesser des Düsenstrahlelementes. Die Werte für die Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen liegen zwischen  $v_z = 5$  und  $v_z = 80$  cm/min, je nach Beschaffenheit des Bodens. Die Herstellung der DS-Säulen erfolgt von unten nach oben, entweder durch kontinuierliches Ziehen, oder abschnittsweise anhand von Hubvorgängen.<sup>83</sup>

*„Des Weiteren ist bekannt, dass zwischen der Ziehgeschwindigkeit und der Reichweite des Düsenstrahls für zylindrische Elemente, bei sonst konstanten Herstell- und Bodenparametern, ein Zusammenhang näherungsweise in Form einer Exponentialfunktion besteht. Formal lässt sich sagen, dass Quadrat des Säulendurchmessers  $D$  ist näherungsweise indirekt proportional zur Ziehgeschwindigkeit.“<sup>84</sup>*

$$V_{B,e} = 7,85 \times D^2 \times v_z \quad [21]^{85}$$

<sup>83</sup> vgl. LESNIK, M.: Ermittlung der Reichweite beim Düsenstrahlverfahren. S. 16

<sup>84</sup> ebenda. S. 15-16

<sup>85</sup> ebenda. S. 16

- $V_{B,e}$ ... je Zeiteinheit erodiertes Bodenvolumen [l/min]  
 $v_z$ ... Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen [cm/min]  
 $D$ ... Säulendurchmesser

Das erodierte Bodenvolumen setzt sich aus einem Feststoff-, Wasser- und Luftanteil zusammen.

$$V_{B,e} = V_{S,e} \times V_{W,e} \times V_{L,e} \quad [22]^{86}$$

- $V_{S,e}$ ... erodiertes Feststoffvolumen [m<sup>3</sup>]  
 $V_{W,e}$ ... Wasservolumen innerhalb des erodierten Bodens [m<sup>3</sup>]  
 $V_{L,e}$ ... Luftvolumen innerhalb des erodierten Bodens [m<sup>3</sup>]

Für die weitere Berechnung werden folgende Annahmen getroffen:

- Der Boden ist wassergesättigt, d.h.  $V_{L,e} = 0$ .
- Das erodierte Bodenvolumen entspricht dem Volumen des Düsenstrahlelementes.

Bei einer Pumprate von 175 l/min, ergibt sich nach Formel [21] zwischen Säulendurchmesser und Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen folgender Zusammenhang.

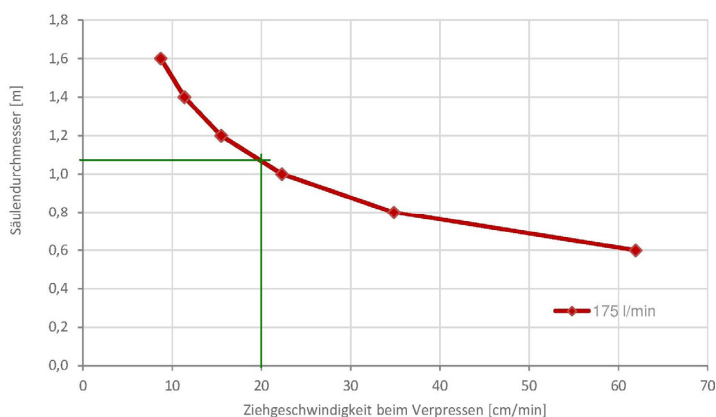


Bild 9.3 Zusammenhang zwischen Säulendurchmesser und Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen in Abhängigkeit von der Pumprate

<sup>86</sup> LESNIK, M.: Ermittlung der Reichweite beim Düsenstrahlverfahren. S. 44

Rechnerisch ergibt sich bei einer Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen von 20 cm/min und einer Pumprate von 175 l/min ein Säulendurchmesser von:

$$D = \sqrt{\frac{V_{B,e}}{7,85 \times v_z}} = \sqrt{\frac{175}{7,85 \times 20}} = 1,06 \quad (\text{Soll: } 1,10) \quad [23]^{87}$$

Nach Überprüfung des Zusammenhanges der Parameter kann eine Standardkalkulation durchgeführt werden. Was eine Standardkalkulation ist, wurde bereits Kapitel 1 gezeigt. Vorab folgt die Aufgabenstellung des Anwendungsbeispiels.

---

<sup>87</sup> vgl. LESNIK, M.: Ermittlung der Reichweite beim Düsenstrahlverfahren. S. 17

## 10 Aufgabenstellung Anwendungsbeispiel

Anhand eines Beispiels soll die Anwendung der Entscheidungstheorie in der Baukalkulation veranschaulicht werden. Es wird gezeigt, wie mit Hilfe einfacher Werkzeuge, Entscheidungen getroffen bzw. kalkulatorische Probleme gelöst werden können. In vielen Fällen ist es schwierig, aufgrund von Angaben zur Bodenbeschaffenheit o.ä. Leistungs- und Aufwandswerte vorzubestimmen. Unter kalkulatorischen Problemen wird im Folgenden das Ansetzen von Leistungs- bzw. Aufwandswerten verstanden. Für die Errichtung einer Tiefgarage sei eine dichte Baugrube erforderlich. Mit Hilfe von entscheidungstheoretischen Überlegungen sollen die Kosten bzw. Preise für eine horizontale Baugrubenabdichtung ermittelt werden.

Das Zielsystem charakterisiert sich durch:

- Für die Auftragserteilung ist ein kostengünstiges Angebot erforderlich, dies bedeutet minimale Herstellkosten.
- Des Weiteren soll ein vorgegebener Profit erwirtschaftet werden. Dieser resultiert aus der Differenz kalkulatorischen Herstellkosten und den tatsächlich in Abhängigkeit der Umweltzustände eintretenden Herstellkosten.

Folgende Parameter und Daten werden der Kalkulation zugrunde gelegt.

### 10.1 Jetparameter

Laut geotechnischem Gutachten erfolgt die Ausführung in einem sandigen Kies (G, s). Aus Referenzprojekten werden folgende Daten als bekannt angenommen:

Tabelle 10.1 Jetparameter aus Referenzprojekten für sandigen Kies

Referenzwerte für Jetparameter			
Bodenart	Pumprate	Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen	Säulendurchmesser
	[l/min]	[cm/min]	[ m ]
G,s	130	24,04	1,10
G,s	270	18,46	1,50
G,s	135	18,46	1,25
G,s	270	17,14	1,30
G,s	170	20,00	0,90
G,s	70	24,00	0,70
Minimum	70	17,14	0,70
Maximum	270	24,04	1,50
Mittelwert	174	20,35	1,13



Die vertikale Abdichtung wird mittels einer Schlitzwand hergestellt. Im Anschluss wird die horizontale Baugrubenabdichtung als tiefliegende Düsenstrahlsohle (DS-Sohle) ausgeführt.

### 10.2 Daten aus der Planung

Bild 10.1 gibt sowohl Auskunft über die geometrischen Rahmenbedingungen als auch über den zu erwartenden Grundwasserstand. Die Fläche der zu erstellenden Dichtsohle ist mit einer Länge von 40,0 m und einer Breite von 25,0 m gegeben. Dies entspricht einer herzustellenen DS-Sohle von 1000 m<sup>2</sup>. Vor Beginn der Arbeiten ist ein Arbeitsplanum in 1 m Tiefe von der Geländeoberfläche herzustellen. Nach Fertigstellung der Dichtsohle kann mit den Aushubarbeiten begonnen und der Grundwasserspiegel in der Baugrube abgesenkt werden.

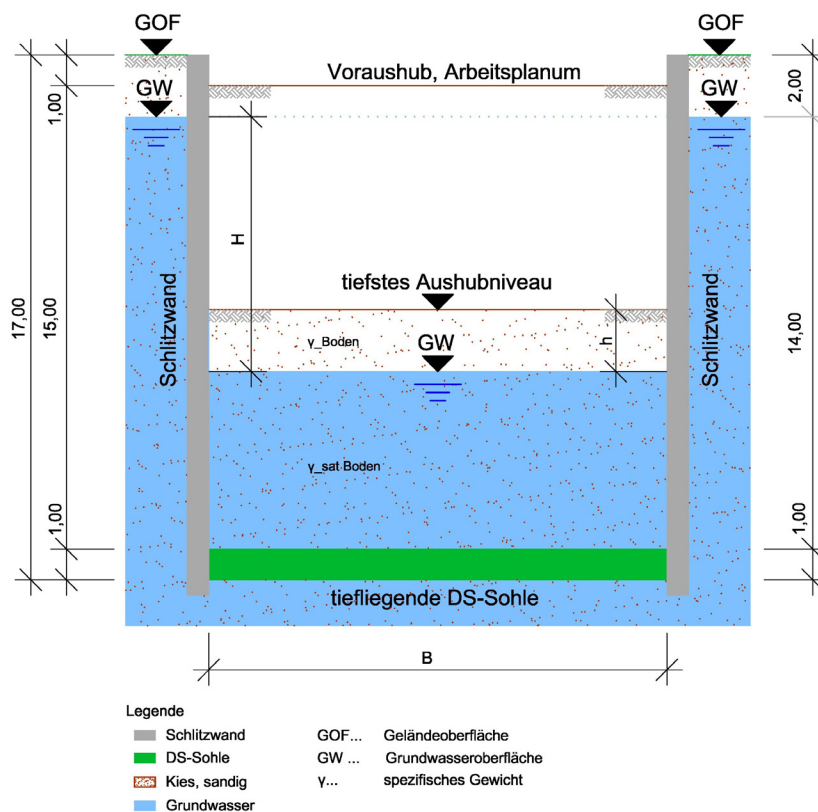


Bild 10.1 Ausführungsskizze horizontale Baugrubenabdichtung

**10.3 Angaben für die Kalkulation**

In den nachfolgenden Tabellen sind alle erforderlichen Werte für die Durchführung der Kalkulation aufgelistet. Die Mittellohnkosten, die Zementkosten sowie der Gesamtzuschlag finden als Vorgaben aus der kaufmännischen Abteilung Eingang in die Kalkulation. Im Gesamtzuschlag sind die Baustellengemeinkosten (Bauleitung, Baustelleinrichtung, Bürokosten etc.), Wagnis, Bauzins, Geschäftsgemeinkosten, sonstige Gemeinkosten und der Gewinn enthalten. Diese werden in Prozent auf die Herstellkosten der Leistung aufgeschlagen.

Tabelle 10.2 Daten kaufmännische Abteilung

Sonstiges		Einheit
Mittellohnkosten (MLK)	30	€/h
Gesamtzuschlag	15	%
Zementkosten	70	€/to

Der W/Z-Wert von 1,00, die Zementdichte von 3,11 g/cm<sup>3</sup>, die Ziehgeschwindigkeit beim Bohren von 500 cm/min und die Manipulationszeit<sup>88</sup> von 8 min/Säule werden als bekannt angenommen und sollen keinen Schwankungen unterliegen. Die Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen, die Bohrgeschwindigkeit, die Pumprate und der Säulendurchmesser sind unscharfe Parameter und müssen für die Kalkulation zuerst ermittelt werden. Unscharfe Parameter unterliegen Schwankungen, die minimalen und maximalen Werte aus den Referenzprojekten sind die obersten und untersten Grenzen und werden für die weitere Berechnung herangezogen.

Tabelle 10.3 Übersicht Herstellparameter

Herstellparameter		Min	Max
W/Z-Wert	1,00		
Zementdichte	3,11 g/cm <sup>3</sup>		
Ziehgeschwindigkeit (Bohren)	500 cm/min		
Manipulationszeit	8 min		
Ziehgeschwindigkeit (Verpressen)		17 cm/min	24 cm /min
Bohrgeschwindigkeit		60 cm/min	100 cm/min
Pumprate		70 l/min	270 l/min
Säulendurchmesser		0,70 m	1,50 m

<sup>88</sup> Die Manipulationszeit entspricht der Dauer, die für die Überstellung des Bohrgerätes von einem Bohrloch zum anderen Bohrloch benötigt wird.

Für die operative Durchführung der Arbeiten auf der Baustelle werden zwei Bauhilfsarbeiter, ein Geräteführer sowie ein Misch-/Pumpmeister benötigt. Die Arbeitszeit beträgt 42 Stunden pro Woche.

Tabelle 10.4 Übersicht Mannschaft

Mannschaft	Anzahl	Einheit
Geräteführer	1	
Misch- /Pumpmeister	1	
Bauhilfsarbeiter	2	
Arbeitszeit	42	Std / Woche

Es sind somit für die Standardkalkulation alle Voraussetzungen geschaffen. Für die unscharfen Parameter Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen, Bohrgeschwindigkeit und der Pumprate werden Mittelwerte aus den Daten der Referenzprojekte gebildet.

## 11 Standardkalkulation

Im ersten Schritt wird eine Kalkulation anhand der berechneten Mittelwerte aus den Referenzprojekten durchgeführt. Der Zusammenhang zwischen Pumprate, Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen und den daraus resultierenden Säulendurchmessern wurde bereits zuvor gezeigt.

In der nachfolgenden Tabelle sind die für die Kalkulation notwendigen Daten zusammengefasst.

Tabelle 11.1 Parameter Kalkulation

Herstellparameter		Einheit
W/Z – Wert	1,00	
Zementdichte	3,11	g/cm <sup>3</sup>
Dichte Zementsuspension	1,51	g/cm <sup>3</sup>
Ziehgeschwindigkeit beim Bohren	500	cm/min
Manipulationszeit	8	min
Verpressgeschwindigkeit beim Verpressen	20	cm/min
Bohrgeschwindigkeit	80	cm/min
Pumprate	175	l/min
Suspensionsverbrauch	875	l/Säule
Wasserverbrauch	0,667	to/Säule
Zementverbrauch	0,667	to/Säule
Rasterabstand	0,87	[m]
Säulendurchmesser	1,10	[m]
Bohrpunkte	1632	Stk

Für die Erstellung einer Dichtsohle sind eine Drehbohranlage mit Zubehör, eine Mischanlage sowie eine Pumpanlage erforderlich. Die Gerätekosten lassen sich anhand der Österreichischen Baugeräteliste (ÖBGL 2009) bestimmen.

## 11.1 Ermittlung der Gerätekosten

Für eine Drehbohranlage inklusive Zubehör sind laut dem Kalkulationsblatt K6 Kosten von 89,80 €/h zu erwarten. Die Kosten für eine Injektionspumpe inklusive Mischer, Kompressor und Silo betragen 143,60 €/h.

ÖBGL 2009	EPI	Bezeichnung	KW	Masse [to]	Mittl.NW	A+V [%]	A+V [€]	Rep. [%]	Rep.[€]
K.1.00.1660	2004	DREHBOHRANL HYD	142,00	8,00	220.500,00	2,80	6.174,00	2,60	5.733,00
K.1.01.1600	2004	KRAFTDREHKOPF SPUEL		1,15	28.300,00	2,80	792,40	2,60	735,80
<b>Σ</b>			142,00				6.966,40		6.468,80
			Abminderung A+V & Rep [%]	60%	80%		4.179,84		5.175,04
			Aufteilung Reparatur Lohn / Stoff	40%	60%				
Kostenentwicklung je Einheit						LohnStd	Lohn S	Stoff S	Gerät S
Beistellkosten je Monat							2.070,02	3.105,02	4.179,84
Beistellkosten je Stunde							12,25	18,37	24,73
Bedienung + Wartung (10%)							30 €/h		
Betriebsstoffe kwh*/kwh*€/l							0,20 l/kwh		34,08
Sonstige Kosten, Verschleißteile									0,37
Gerätekosten je Stunde						33,00	12,25	52,82	24,73
							Lohn:		12,25
							Sonstiges:		77,55
									€/h
									<b>89,80</b>

ÖBGL 2009	EPI	Bezeichnung	KW	Masse [to]	Mittl.NW	A+V [%]	A+V [€]	Rep. [%]	Rep.[€]
J.6.10.9400	2004	INJEKTIONSPUMPE HD (max. 800bar)	400,00	9,00	278.500,00	2,60	7.241,00	2,10	5.848,50
J.6.22.0030	2004	MISCHANL VERPR INJP	30,00	5,00	131.500,00	2,50	3.287,50	1,40	1.841,00
Q.0.00.0110	2004	SCHKOMP D FB 6-8 B	83,00	2,07	36.800,00	2,70	993,60	1,80	662,40
B.1.10.0050	2004	SIL0 HOCH (50to)		3,15	9.200,00	2,10	193,20	1,00	92,00
<b>Σ</b>			513,00				11.715,30		8.443,90
			Abminderung A+V & Rep [%]	60%	80%		7.029,18		6.755,12
			Aufteilung Reparatur Lohn / Stoff	40%	60%				
Kostenentwicklung je Einheit						LohnStd	Lohn S	Stoff S	Gerät S
Beistellkosten je Monat							2.702,05	4.053,07	7.029,18
Beistellkosten je Stunde							15,99	23,98	41,59
Bedienung + Wartung (10%)							30 €/h		
Betriebsstoffe kwh*/kwh*€/l							0,20 l/kwh		61,56
Sonstige Kosten, Verschleißteile									0,48
Gerätekosten je Stunde						33,00	15,99	86,02	41,59
							Lohn:		15,99
							Sonstiges:		127,62
									€/h
									<b>143,60</b>

Es sind somit alle Voraussetzungen für eine Detailkalkulation geschaffen. Nach Ermittlung der Gerätekosten werden die Kosten für die Teilleistungen berechnet.

## 11.2 Ermittlung Kosten / Preise

Die Ermittlung der Kosten erfolgt anhand des Kalkulationsblattes K7. Die Kosten für die Mannschaft betragen 126,00 €/h, die Gerätekosten 233,41 €/h.

Zusammenstellung Mannschaft		Lohn	Sonstiges	Kosten	Preis
Geräteführer	33,000 €/h	33,00	0,00	33,00	37,95
Hilfsarbeiter Bohren	30,000 €/h	30,00	0,00	30,00	34,50
Misch- & Pumpmeister	33,000 €/h	33,00	0,00	33,00	37,95
Hilfsarbeiter Pumpen	30,000 €/h	30,00	0,00	30,00	34,50
Mannschaft	€/h	<b>126,00</b>	<b>0,00</b>	<b>126,00</b>	<b>144,90</b>

Zusammenstellung Gerät		Lohn	Sonstiges	Kosten	Preis
Bohranlage inkl. Zubehör (K6)	89,802 €/h	12,25	77,55	89,80	103,27
Misch- & Pumpanlage	143,604 €/h	15,99	127,62	143,60	165,14
Gerät	€/h	<b>28,24</b>	<b>205,17</b>	<b>233,41</b>	<b>268,42</b>

Im nächsten Schritt werden die Teilleistungen Bohren, Ziehen, Manipulation, Ziehen beim Verpressen und Sonstiges berechnet.

Kalk. Bohren 16 m; AW= 80 cm/min		Lohn	Sonstiges	Kosten	Preis
Bohren	0,333 h/Stk				
Mannschaft		41,96	0,00	41,96	48,25
Gerät		9,40	68,32	77,72	89,38
Teilsumme	€/Säule	<b>51,36</b>	<b>68,32</b>	<b>119,68</b>	<b>137,63</b>

Kalk. Ziehen 15m; AW= 500cm/min		Lohn	Sonstiges	Kosten	Preis
Ziehen	0,050 h/Stk				
Mannschaft		6,30	0,00	6,30	7,25
Gerät		1,41	10,26	11,67	13,42
Teilsumme	€/Säule	<b>7,71</b>	<b>10,26</b>	<b>17,97</b>	<b>20,67</b>

Kalk. Manipulation AW= 8min/Stk		Lohn	Sonstiges	Kosten	Preis
Manipulation	0,133 h/Stk				
Mannschaft		16,76	0,00	16,76	19,27
Gerät		3,76	27,29	31,04	35,70
Teilsumme	€/Säule	<b>20,51</b>	<b>27,29</b>	<b>47,80</b>	<b>54,97</b>

Kalk. Ziehen beim Verpressen 1m; AW= 20 cm/min; 175 l/min;		Lohn	Sonstiges	Kosten	Preis
Ziehen & Verpressen	0,083 h/Stk				
Mannschaft		10,46	0,00	10,46	12,03
Gerät		2,34	17,03	19,37	22,28
Zement	70,000 €/to	0,00	46,06	46,06	52,97
Wasser (von AG beigestellt)		0,00	0,00	0,00	0,00
Teilsumme	€/Säule	<b>12,80</b>	<b>63,09</b>	<b>75,89</b>	<b>87,27</b>

Kalk. Sonstiges Abfuhr 13 €/Stk Fremdleistung		Lohn	Sonstiges	Kosten	Preis
SUB		6,50	6,50	13,00	14,95
Teilsumme	€/Säule	<b>6,50</b>	<b>6,50</b>	<b>13,00</b>	<b>14,95</b>

Für eine horizontale Baugrubenabdichtung von 1.000 m<sup>2</sup> beträgt somit die Angebotssumme 514.890 € excl. MWST, dies entspricht einem Quadratmeterpreis von 514,89 € und einem Säulenstückpreis von 315,49 €.

Zusammenstellung K7	%	Lohn	Sonstiges	Kosten	Preis
Kalk. Bohren	52	51,36	68,32	119,68	137,63
Kalk. Ziehen	8	7,71	10,26	17,97	20,67
Kalk. Manipulation	21	20,51	27,29	47,80	54,97
Kalk. Ziehen beim Verpressen	13	12,80	63,09	75,89	87,27
Kalk. Sonstiges	7	6,50	6,50	13,00	14,95
	€/Säule	<b>98,89</b>	<b>175,45</b>	<b>274,34</b>	<b>315,49</b>
	€/m <sup>2</sup>	<b>161,39</b>	<b>286,34</b>	<b>447,73</b>	<b>514,89</b>

Die einfache und schnelle Durchführung der Standardkalkulation sprechen für deren Anwendung. Mit Hilfe der Daten aus den Referenzprojekten werden für die unscharfen Parameter Mittelwerte gebildet und diese für die weitere Kalkulation herangezogen. Sind die Leistungswerte bzw. die Aufwandswerte bekannt, können anhand der zuvor berechneten Mannschafts- und Gerätekosten für die Gewerke Bohren, Ziehen, Manipulation, Ziehen beim Verpressen und Sonstiges die Kosten berechnet werden. Der Preis ergibt sich durch Aufschlag des Gesamtzuschlags von 10 Prozent.

Die berechneten Mittelwerte für die unscharfen Parameter sind rational schwer begründbar, Abhilfe soll hier die Entscheidungstheorie schaffen.

## 12 Kalkulation mit Hilfe der Entscheidungstheorie

Die Grundlage der Kalkulation sind auch hier die Daten aus den Referenzprojekten. Abweichend zur Standardkalkulation werden keine Mittelwerte, sondern subjektive Wahrscheinlichkeiten für die Aufwands- bzw. Leistungswerte gebildet. Die Intervalle der unscharfen Parameter beschreiben die minimalen und maximalen Werte aus den Referenzprojekten. Der Kalkulationsablauf lässt sich wie folgt gliedern:

- Ziele definieren
- Wahrscheinlichkeiten bilden
- Entscheidungsmatrix erstellen
- Alternativen finden
- Normierung und Gewichtung der Entscheidungsmatrix mittels Wertfunktionen und des Additiven Modells
- Auswertung der Entscheidungsmatrix
- Darstellung der Ergebnisse

Im ersten Schritt wird die Bohrgeschwindigkeit ermittelt. Ist diese bekannt, werden in einem zweiten Schritt die Leistungswerte für die Pump-rate, die Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen und der erforderliche Säulendurchmesser bestimmt.

### 12.1 Bestimmung der Bohrgeschwindigkeit

Für die Reihung der Alternativen ist es erforderlich, die Zielvorstellungen des Entscheiders zu kennen. Für die Auftragserteilung ist ein kostengünstiges Angebot erforderlich, des Weiteren wird ein vorgegebener Profit angestrebt. Aus diesen Forderungen lassen sich zwei Ziele für die Entscheidungsmatrix ableiten:

**Ziel 1: minimale Herstellkosten**

**Ziel 2: Profit**

Nach Definition der Ziele werden für die Bohrgeschwindigkeit Wahrscheinlichkeiten gebildet.



### 12.1.1 Auswahl der Wahrscheinlichkeiten für die Bohrgeschwindigkeit

Aus den Referenzprojekten ist die minimale [60 cm/min] und die maximale Bohrgeschwindigkeit [100 cm/min] bekannt. Mit Hilfe einer Dichtefunktion und der zugehörigen Verteilungsfunktion lassen sich Wahrscheinlichkeiten für den Leistungswert „Bohren“ generieren. Aufgrund der geringen Anzahl an Eingangsdaten wird eine stetige Gleichverteilung, auch Rechteckverteilung genannt, herangezogen. Die Dichtefunktion für das Intervall [60, 100] nimmt folgende Form an:

Für  $f(x)$  gilt:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 0, & \text{sonst} \end{cases} \quad [24]$$

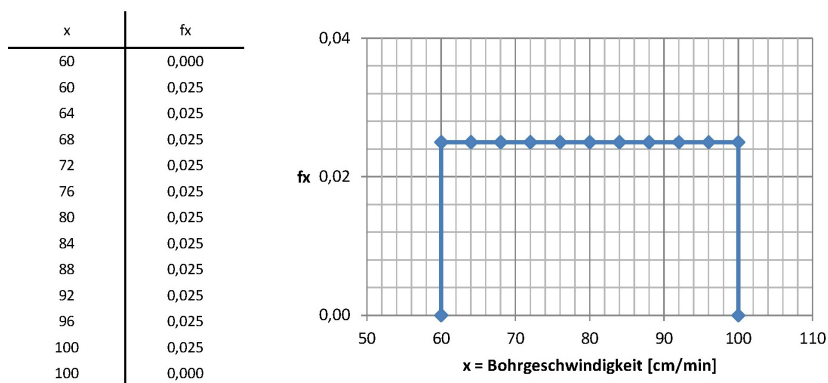


Bild 12.1 Dichtefunktion Bohrgeschwindigkeit

Die Integration der Dichtefunktion über das Intervall [60, 100] ergibt die dazugehörige Verteilungsfunktion.

Für  $F(x)$  gilt:

$$F(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b \\ 1, & x \geq b \end{cases} \quad [25]$$

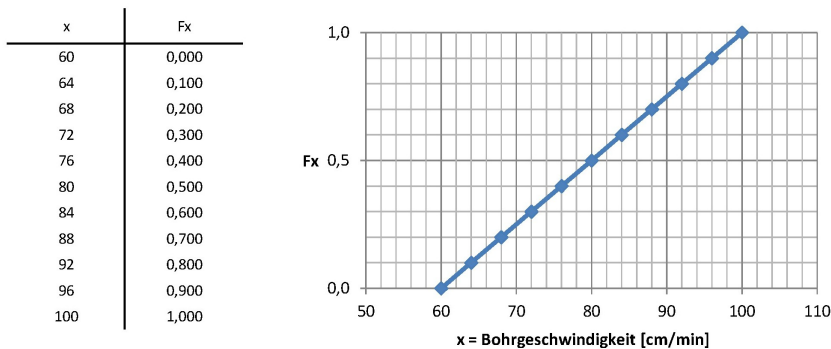


Bild 12.2 Verteilungsfunktion Bohrgeschwindigkeit

Da sich für einzelne Werte keine Wahrscheinlichkeiten bestimmen lassen, ist es oft zweckmäßig Intervalle zu definieren, in denen die Wahrscheinlichkeitsdichte als konstant angesehen wird. Die Dichtefunktion wird dann in einem Histogramm dargestellt. Der Wert jeder Säule entspricht der Wahrscheinlichkeit, dass der Leistungsansatz „Bohren“ in dieses Intervall fällt.

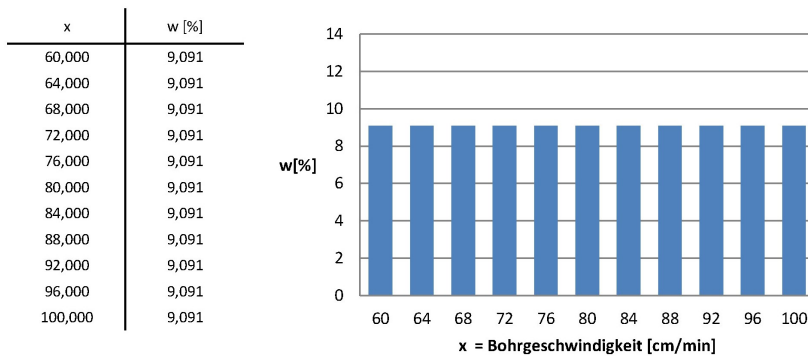


Bild 12.3 Histogramm Wahrscheinlichkeiten Bohrgeschwindigkeit

Werden Wahrscheinlichkeiten mit Hilfe einer Gleichverteilung ermittelt, besitzen Teilintervalle derselben Größe dieselben Wahrscheinlichkeiten.

### 12.1.2 Entscheidungsmatrix der Bohrgeschwindigkeit

Da die Anzahl an Bohrlöchern noch unbekannt ist, werden die Herstellkosten für eine Bohrung mit einer Tiefe von 16 m berechnet. Aus Erfahrungswerten ist bekannt, dass die zu erwartende durchschnittliche Bohrgeschwindigkeit zwischen 68 und 96 cm/min liegt. Um die Anzahl der Alternativen möglichst gering zu halten, werden Teilintervalle mit einem Abstand von 4 cm/min gewählt. Für die Entscheidungsmatrix ergeben sich somit acht mögliche Alternativen  $A_1$  bis  $A_8$  [68, 72, 76, 80, 84, 88, 92, 96]. Aus diesen wird diejenige gesucht, die am besten die Zielvorstellungen des Entscheiders erfüllt.

Bild 12.4 zeigt eine detaillierte Beschreibung der Entscheidungsmatrix:

Umweltzustand  
Bohrgeschwindigkeit 76 cm/min  
Eintrittswahrscheinlichkeit 9,09 %

	[cm/min]	60	64	68	72	76
	w [%]	9,09	9,09	9,09	9,09	9,09
A1	68	159,74 0,00	149,75 0,00	140,94 0,00	140,94 7,83	140,94 14,84
A2	72	159,74 0,00	149,75 0,00	140,94 0,00	133,11 0,00	133,11 7,01

Herstellkosten                      Profit

Alternative 2  
Bohrgeschwindigkeit 72 cm/min

Bild 12.4 Beschreibung Entscheidungsmatrix (Ausschnitt)

Auch für die Umweltzustände wird die Intervallstärke von 4 cm/min gewählt und angenommen, dass alle möglichen Umweltzustände zwischen 60 und 100 cm/min liegen. Es existieren somit elf Umweltzustände [60, 64, 68, 72, 76, 80, 84, 88, 92, 96, 100], die theoretisch eintreten können. Werden die Intervalle kleiner gewählt, steigt die Anzahl an möglichen Umweltzuständen.

Die Intervallstärken sind so zu groß zu wählen, dass eine angemessene Anzahl an Alternativen bzw. Umweltzuständen entsteht und so klein wird, dass keine wesentlichen Ergebnisse verloren gehen. Die Stärken der Intervalle sind vom Entscheider festzulegen.

Die Aufgabe der Entscheidungsmatrix ist es, denjenigen Ansatz für die Bohrgeschwindigkeit zu ermitteln, welcher die Zielvorstellungen des Entscheiders am besten erfüllt. Dabei beschreiben die beiden Attribute Herstellkosten und Profit die Auswirkungen zwischen den kalkulierbaren Kosten und den theoretisch möglich eintretenden Kosten. Die Ermittlung der Herstellkosten erfolgt auf Grundlage der zuvor bestimmten Geräte- und Mannschaftskosten sowie der Bohrgeschwindigkeiten der jeweiligen Alternativen. Tritt jedoch ein Umweltzustand ein, der die Herstellkosten aufgrund der geringeren Bohrgeschwindigkeit überschreitet, wird für die Ermittlung der Herstellkosten der Leistungsansatz des Umweltzustandes herangezogen. Sind die Herstellkosten des zu erwartenden Umweltzustandes kleiner den Herstellkosten der Alternative, wird das somit entstandene Delta als Profit ausgewiesen. Der Profit ist die Differenz aus den Herstellkosten der jeweiligen Alternative und den Herstellkosten des dazugehörigen Umweltzustandes. Wenn die Herstellkosten größer als die Kosten aus dem dazugehörigen Umweltzustand sind, ist der Profit größer 0. Sind die Herstellkosten kleiner als die Kosten aus dem dazu-

gehörigen Umweltzustand ist der Profit 0 und in der Entscheidungsmatrix werden anstelle der Herstellkosten aus der Alternative die Herstellkosten des Umweltzustandes eingetragen.

Die Herstellkosten und der Profit für die Alternative  $A_2$  bei einem Umweltzustand mit einer Bohrgeschwindigkeit von 76 cm/min werden wie folgt ermittelt (siehe auch Bild 12.4).

<b>Kalk. Bohren Alternative 2</b>		<b>Lohn</b>	<b>Sonstiges</b>	<b>Kosten</b>
<b>16 m; AW= 72 cm/min</b>				
Bohren	0,370 h/Stk			
Mannschaft		46,67	0,00	46,67
Gerät		10,46	75,99	86,45
<b>Teilsumme</b>		<b>57,12</b>	<b>75,99</b>	<b>133,11</b>
	€/Loch			

<b>Kalk. Bohren Umweltzustand</b>		<b>Lohn</b>	<b>Sonstiges</b>	<b>Kosten</b>
<b>16 m; AW= 76 cm/min</b>				
Bohren	0,351 h/Stk			
Mannschaft		44,21	0,00	44,21
Gerät		9,91	71,99	81,90
<b>Teilsumme</b>		<b>54,12</b>	<b>71,99</b>	<b>126,11</b>
	€/Loch			

Die Herstellkosten betragen somit 133,11 €/Bohrloch. Der Profit von 7,01 €/Bohrloch (siehe auch Bild 12.9) ist die Differenz aus „Kalk. Bohren Alternative 2“ und „Kalk. Bohren Umweltzustand 76 cm/min“. Analog dieser Berechnung werden auch die restlichen Attribute der Entscheidungsmatrix ermittelt.

Nachfolgende Tabelle zeigt alle möglichen Alternativen sowie die zu erwartenden Herstellkosten und den möglichen Profit in Abhängigkeit der Umweltzustände.

Tabelle 12.1 Entscheidungsmatrix Bohrgeschwindigkeit

	[cm/min] w [%]=	60 9,09	64 9,09	68 9,09	72 9,09	76 9,09	80 9,09	84 9,09	88 9,09	92 9,09	96 9,09	100 9,09
A1	68	159,74 0,00	149,75 0,00	140,94 0,00	140,94 7,83	140,94 14,84	140,94 21,14	140,94 26,85	140,94 32,03	140,94 36,77	140,94 41,11	140,94 45,10
A2	72	159,74 0,00	149,75 0,00	140,94 0,00	133,11 0,00	133,11 7,01	133,11 13,31	133,11 19,02	133,11 24,20	133,11 28,94	133,11 33,28	133,11 37,27
A3	76	159,74 0,00	149,75 0,00	140,94 0,00	133,11 0,00	126,11 0,00	126,11 6,31	126,11 12,01	126,11 17,20	126,11 21,93	126,11 26,27	126,11 30,27
A4	80	159,74 0,00	149,75 0,00	140,94 0,00	133,11 0,00	126,11 0,00	119,80 0,00	119,80 5,70	119,80 10,89	119,80 15,63	119,80 19,97	119,80 23,96
A5	84	159,74 0,00	149,75 0,00	140,94 0,00	133,11 0,00	126,11 0,00	119,80 0,00	114,10 0,00	114,10 5,19	114,10 9,92	114,10 14,26	114,10 18,26
A6	88	159,74 0,00	149,75 0,00	140,94 0,00	133,11 0,00	126,11 0,00	119,80 0,00	114,10 0,00	108,91 0,00	108,91 4,74	108,91 9,08	108,91 13,07
A7	92	159,74 0,00	149,75 0,00	140,94 0,00	133,11 0,00	126,11 0,00	119,80 0,00	114,10 0,00	108,91 0,00	104,18 0,00	104,18 4,34	104,18 8,33
A8	96	159,74 0,00	149,75 0,00	140,94 0,00	133,11 0,00	126,11 0,00	119,80 0,00	114,10 0,00	108,91 0,00	104,18 0,00	99,83 0,00	99,83 3,99

Für die Anwendung des Additiven Modells ist es erforderlich, die beiden Ziele, minimale Herstellkosten und Profit, in Wertfunktionen darzustellen.

### 12.1.3 Normierung der Herstellkosten und des Profits

Mit Hilfe der Halbierungsmethode (siehe auch Pkt.5.1.3) werden die Herstellkosten und der Profit in Wertfunktionen abgebildet. Anhand dieser lassen sich die Zielausprägungen in normierte Werte transformieren.

Die Herstellkosten werden zwischen 0 und 1 normiert, dabei erhalten die maximalen Herstellkosten (schlechteste Zielausprägung) den Wert 0 und die minimalen Herstellkosten (beste Zielausprägung) den Wert 1.

- Bestimmung der schlechtesten Zielausprägung  $x_0 = 159,74 \text{ €}$  sowie der besten Zielausprägung  $x_1 = 99,83 \text{ €}$  ( $x_0 = 0$ ;  $x_1 = 1$ ).
- Im zweiten Schritt wird der wertmäßige Mittelpunkt des Intervalls  $[x_0, x_1]$  bestimmt. Die daraus erhaltene Alternative wird mit  $x_{0,5}$  bezeichnet. Es folgt  $x_{0,5} = 0,5$  mit  $v(x_{0,5}) = 130,00 \text{ €}$ .

- In analoger Weise werden nun die subjektiven Mittelwerte der Intervalle  $[x_0, x_{0,5}; x_{0,5}, x_1]$  bestimmt. Es folgt  $x_{0,25} = 0,25$  mit  $v(x_{0,25}) = 145,00$  € und  $x_{0,75} = 0,75$  mit  $v(x_{0,75}) = 120,00$  €.

Die Funktion der Trendlinie lautet:

$$y = 4,119 \cdot 10^{-6} \cdot x^3 - 1,641 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 + 1,974 \cdot 10^{-1} \cdot x - 6,447$$

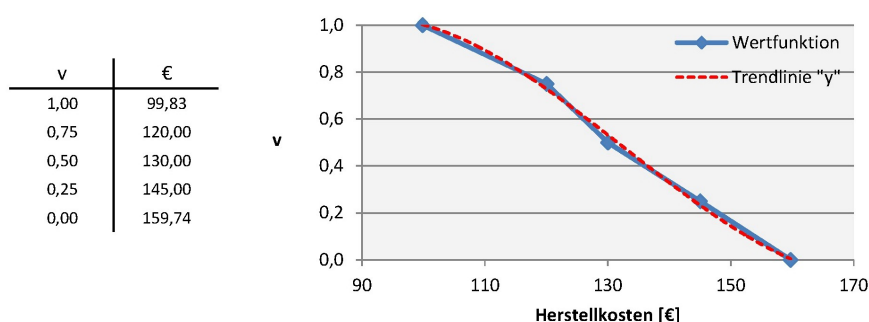


Bild 12.5 Wertfunktion „Bohren“ Herstellkosten

$v(x)$ ... Einzelwertfunktion nach Anwendung der Halbierungsmethode und in Abhängigkeit der Herstellkosten

Die Vorgaben für den Profit sind 7 €/Bohrloch. Dies bedeutet, der minimalste bzw. maximalste Profit erhält den Wert 0 und der angestrebte Profit von 7 € den Wert 1. Es sind somit 2 Wertfunktionen erforderlich, welche ebenfalls mit Hilfe der Halbierungsmethode erstellt werden.

Wertfunktion für  $0 \leq x \leq 7$  €:

- Bestimmung der schlechtesten Zielausprägung  $x_0 = 0,00$  € sowie der besten Zielausprägung  $x_1 = 7,00$  € ( $x_0 = 0$ ;  $x_1 = 1$ ).
- Im zweiten Schritt wird der wertmäßige Mittelpunkt des Intervalls  $[x_0, x_1]$  bestimmt. Die daraus erhaltene Alternative wird mit  $x_{0,5}$  bezeichnet. Es folgt  $x_{0,5} = 0,5$  mit  $v(x_{0,5}) = 5,00$  €.
- In analoger Weise werden nun die subjektiven Mittelwerte der Intervalle  $[x_0, x_{0,5}; x_{0,5}, x_1]$  bestimmt. Es folgt  $x_{0,25} = 0,25$  mit  $v(x_{0,25}) = 3,00$  € und  $x_{0,75} = 0,75$  mit  $v(x_{0,75}) = 6,00$  €.

Die Funktion der Trendlinie lautet:

$$y = 2,236 * 10^{-3} * x^3 - 6,779 * 10^{-3} * x^2 + 8,162 * 10^{-2} * x + 5,937$$

Wertfunktion für  $7 \leq x \leq 45,10$  €:

- Bestimmung der schlechtesten Zielausprägung  $x_0 = 45,10$  € sowie der besten Zielausprägung  $x_1 = 7,00$  € ( $x_0 = 0$ ;  $x_1 = 1$ ).
- Im zweiten Schritt wird der wertmäßige Mittelpunkt des Intervalls  $[x_0, x_1]$  bestimmt. Die daraus erhaltene Alternative wird mit  $x_{0,5}$  bezeichnet. Es folgt  $x_{0,5} = 0,5$  mit  $v(x_{0,5}) = 15,00$  €.
- In analoger Weise werden nun die subjektiven Mittelwerte der Intervalle  $[x_0, x_{0,5}; x_{0,5}, x_1]$  bestimmt. Es folgt  $x_{0,25} = 0,25$  mit  $v(x_{0,25}) = 22,00$  € und  $x_{0,75} = 0,75$  mit  $v(x_{0,75}) = 10,00$  €.

Die Funktion der Trendlinie lautet:

$$y = -3,259 * 10^{-5} * x^3 + 3,419 * 10^{-3} * x^2 - 1,260 * 10^{-1} * x + 1,718$$

Nach Festlegung der Intervalle werden die beiden Wertfunktionen in einem Diagramm dargestellt und mittels einer Trendlinie angenähert.

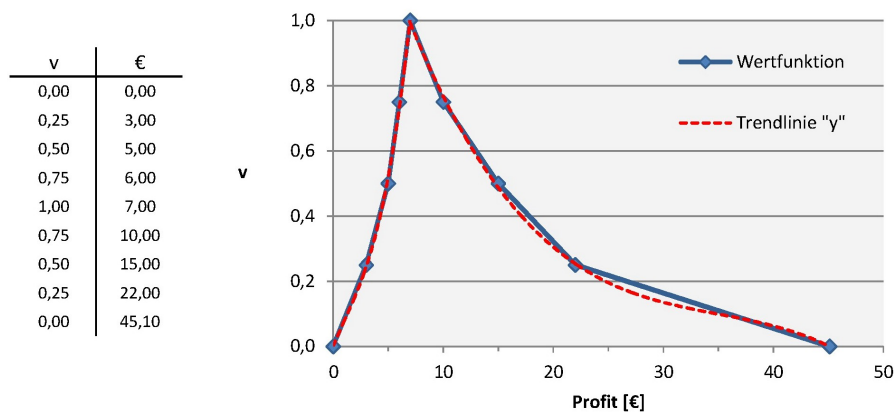


Bild 12.6 Wertfunktion „Bohren“ Profit

$v(x)$ ... Einzelwertfunktion nach Anwendung der Halbierungsmethode und in Abhängigkeit des Profits

Die Zielwerte werden mit Hilfe der Wertfunktionen in normierte Zielwerte transformiert. Die Entscheidungsmatrix nimmt folgende Form an.

Tabelle 12.2 Normierte Entscheidungsmatrix „Bohren“

	[cm/min] w [%]	60 9,09	64 9,09	68 9,09	72 9,09	76 9,09	80 9,09	84 9,09	88 9,09	92 9,09	96 9,09	100 9,09
A1	68	0,00 0,00	0,15 0,00	0,31 0,00	0,31 0,93	0,31 0,49	0,31 0,27	0,31 0,17	0,31 0,12	0,31 0,09	0,31 0,05	0,31 0,00
A2	72	0,00 0,00	0,15 0,00	0,31 0,00	0,47 0,00	0,47 0,99	0,47 0,57	0,47 0,33	0,47 0,21	0,47 0,15	0,47 0,11	0,47 0,08
A3	76	0,00 0,00	0,15 0,00	0,31 0,00	0,47 0,00	0,61 0,00	0,61 0,81	0,61 0,64	0,61 0,40	0,61 0,26	0,61 0,18	0,61 0,13
A4	80	0,00 0,00	0,15 0,00	0,31 0,00	0,47 0,00	0,61 0,00	0,73 0,00	0,73 0,66	0,73 0,71	0,73 0,46	0,73 0,31	0,73 0,21
A5	84	0,00 0,00	0,15 0,00	0,31 0,00	0,47 0,00	0,61 0,00	0,73 0,00	0,83 0,00	0,83 0,55	0,83 0,77	0,83 0,52	0,83 0,36
A6	88	0,00 0,00	0,15 0,00	0,31 0,00	0,47 0,00	0,61 0,00	0,73 0,00	0,83 0,00	0,91 0,00	0,91 0,47	0,91 0,83	0,91 0,58
A7	92	0,00 0,00	0,15 0,00	0,31 0,00	0,47 0,00	0,61 0,00	0,73 0,00	0,83 0,00	0,91 0,00	0,97 0,00	0,97 0,41	0,97 0,89
A8	96	0,00 0,00	0,15 0,00	0,31 0,00	0,47 0,00	0,61 0,00	0,73 0,00	0,83 0,00	0,91 0,00	0,97 0,00	1,00 0,00	1,00 0,36

Nach der Normierung können die Zielwerte gewichtet und zusammengefasst werden.

#### 12.1.4 Gewichtung der Ziele

Für die Addition der normierten Ziele ist ein Gewichtungsfaktor erforderlich. In Summe müssen die Gewichtungsfaktoren einen Wert von 1 ergeben. Der Entscheider gibt bekannt, dass die Herstellkosten mit 0,7 und der vorgegebene Profit mit 0,3 gewichtet werden. Durch Multiplikation der normierten Zielwerte mit dem Gewichtungsfaktor können diese anschließend addiert werden. Daraus resultiert eine gewichtete, normierte Entscheidungsmatrix.



Tabelle 12.3 Gewichtete, normierte Entscheidungsmatrix „Bohren“

	[cm/min] w [%]	60 9,09	64 9,09	68 9,09	72 9,09	76 9,09	80 9,09	84 9,09	88 9,09	92 9,09	96 9,09	100 9,09
A1	68	0,00	0,10	0,22	0,49	0,36	0,30	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22
A2	72	0,00	0,10	0,22	0,33	0,62	0,50	0,43	0,39	0,37	0,36	0,35
A3	76	0,00	0,10	0,22	0,33	0,43	0,67	0,62	0,55	0,50	0,48	0,47
A4	80	0,00	0,10	0,22	0,33	0,43	0,51	0,71	0,73	0,65	0,60	0,58
A5	84	0,00	0,10	0,22	0,33	0,43	0,51	0,58	0,75	0,81	0,74	0,69
A6	88	0,00	0,10	0,22	0,33	0,43	0,51	0,58	0,64	0,78	0,89	0,81
A7	92	0,00	0,10	0,22	0,33	0,43	0,51	0,58	0,64	0,68	0,80	0,94
A8	96	0,00	0,10	0,22	0,33	0,43	0,51	0,58	0,64	0,68	0,70	0,81

Für die Ermittlung der Präferenzen nach Savage-Niehans ist eine Matrix des Bedauerns erforderlich, die Erstellung dieser wurde unter Pkt. 7.5 gezeigt.

### 12.1.5 Matrix des Bedauerns „Bohren“

Die gewichteten, normierten Zielwerte werden mittels der Formel [13] in Bedauernswerte umgewandelt.

Tabelle 12.4 Matrix des Bedauerns „Bohren“

	[cm/min] w [%]	60 9,09	64 9,09	68 9,09	72 9,09	76 9,09	80 9,09	84 9,09	88 9,09	92 9,09	96 9,09	100 9,09
A1	68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,37	0,44	0,50	0,57	0,66	0,72
A2	72	0,00	0,00	0,00	0,16	0,00	0,17	0,28	0,36	0,44	0,53	0,59
A3	76	0,00	0,00	0,00	0,16	0,19	0,00	0,09	0,20	0,31	0,41	0,47
A4	80	0,00	0,00	0,00	0,16	0,19	0,16	0,00	0,02	0,16	0,29	0,36
A5	84	0,00	0,00	0,00	0,16	0,19	0,16	0,13	0,00	0,00	0,15	0,25
A6	88	0,00	0,00	0,00	0,16	0,19	0,16	0,13	0,11	0,03	0,00	0,13
A7	92	0,00	0,00	0,00	0,16	0,19	0,16	0,13	0,11	0,13	0,09	0,00
A8	96	0,00	0,00	0,00	0,16	0,19	0,16	0,13	0,11	0,13	0,19	0,13

Im nächsten Schritt kann die Auswertung der gewichteten, normierten Entscheidungsmatrix erfolgen und die optimale Alternative bestimmt werden. Für die Anwendung des Prinzips der Dominanz sowie der Rechenregeln unter Ungewissheit und Risiko sind nun alle notwendigen Voraussetzungen geschaffen.

### 12.1.6 Überprüfung der Dominanz

Für die Überprüfung der Alternativen auf Dominanz und Wahrscheinlichkeitsdominanz eignet sich die grafische Darstellung besonders gut.

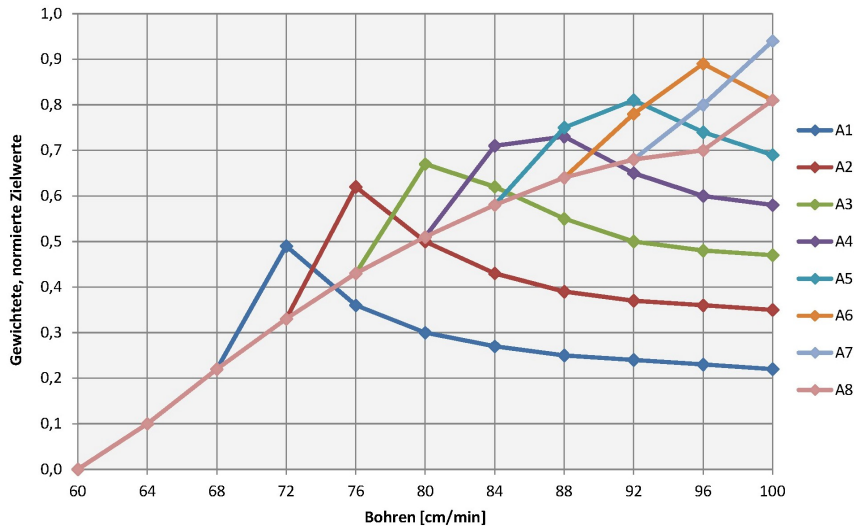


Bild 12.7 Dominanz „Bohren“

In Bild 12.7 ist zu erkennen, dass A<sub>6</sub> und A<sub>7</sub> die Alternative A<sub>8</sub> dominieren, diese wird somit in der weiteren Berechnung nicht mehr berücksichtigt. Für Entscheidungen unter Risiko nimmt die Grafik folgende Form an.

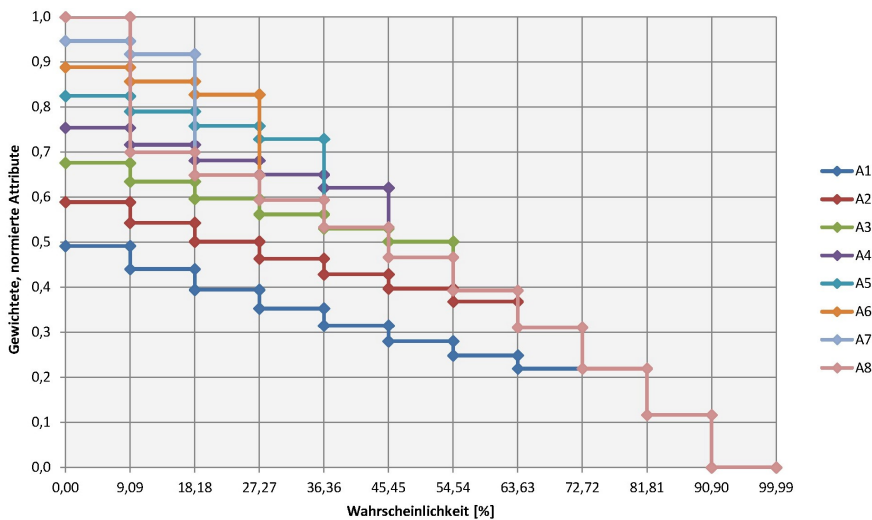


Bild 12.8 Wahrscheinlichkeitsdominanz „Bohren“

Werden die Alternativen A<sub>1</sub> und A<sub>2</sub> betrachtet ist zu erkennen, dass alle anderen Alternativen beide dominieren. Für die weitere Berechnung unter Risiko müssen A<sub>1</sub> und A<sub>2</sub> nicht mehr berücksichtigt werden.

Zusammengefasst lässt sich festhalten:

- $A_2$  dominiert  $A_1$
- $A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8$  dominieren  $A_2$

### 12.1.7 Auswertung der Alternativen

Da bereits im allgemeinen Teil eine ausführliche Beschreibung und die Anwendung der einzelnen Rechenregeln erfolgte, werden hier ausschließlich die Präferenzwerte angeführt.

- Präferenzwerte für die Entscheidung unter Ungewissheit:

Für die Ermittlung der Präferenzwerte unter Ungewissheit werden die Maximin-, Maximax-, Hurwicz-, Laplace-, Savage-Niehans- und Krelle-Regel verwendet. Der Optimismusparameter für die Berechnung der Hurwicz-Regel wird mit  $\lambda = 0,6$  festgelegt. Die Präferenzfunktion der Krelle-Regel lautet  $\omega(u) = \sqrt{E_{AS}}$ .

Tabelle 12.5 Präferenzwerte für Entscheidung unter Ungewissheit

		Maximin-Regel		Maximax-Regel		Hurwicz-Regel		Laplace		Savage-Niehans		Krelle	
		$\Phi_{Aa}$		$\Phi_{Aa}$		$\lambda=0,6$	$\Phi_{Aa}$	$\Phi_{Aa}$		$\Phi_{Aa}$		$\Phi_{Aa}$	
A1	68	0,000		0,490		0,294		0,244		0,720		5,091	
A2	72	0,000		0,620		0,372		0,334		0,590		5,934	
A3	76	0,000		0,670		0,402		0,397		0,470		6,449	
A4	80	0,000		0,730		0,438		0,442		0,360		6,769	
A5	84	0,000		0,810		0,486		0,469		0,250		6,948	
A6	88	0,000		0,890		0,534		0,481	0,481	0,190	0,190	7,018	7,018
A7	92	0,000		0,940	0,940	0,564	0,564	0,475		0,190	0,190	6,980	

Die rot hinterlegten Zahlen in der Tabelle 12.5 beschreiben die Präferenzen der einzelnen Entscheidungskriterien unter Anwendung des Optimierungskriteriums Maximierung, mit Ausnahme der Savage-Niehans-Regel, hier wird eine Minimierung präferiert.

- **Prferenzwerte für die Entscheidung unter Risiko:**

Für die Ermittlung der Präferenzen unter Risiko werden die  $\mu$ -Regel und das  $\mu\sigma$ -Prinzip angewandt.

Die Funktion des  $\mu\sigma$ -Prinzips lautet:

$$\Phi_{(\mu,\sigma)} = \mu_i + \alpha_i \times \sigma_i .$$

Es werden die Präferenzen für einen risikofreudigen  $\alpha_1 = 1$  und einem risikoscheuen Entscheider  $\alpha_2 = -1$  berechnet.

Tabelle 12.6 Präferenzwerte Rechenregeln Entscheidung unter Risiko

		$\mu$ - Regel		$\mu\sigma$ - Regel			$\mu\sigma$ - Regel		
		$\sigma$	$\Phi A_a$	$\sigma$	$\alpha=-1$	$\Phi A_a$	$\sigma$	$\alpha=1$	$\Phi A_a$
A3	76	0,397		0,203	0,194		0,203	0,600	
A4	80	0,442		0,238	0,204	<b>0,204</b>	0,238	0,679	
A5	84	0,469		0,265	0,204	<b>0,204</b>	0,265	0,734	
A6	88	0,481	<b>0,481</b>	0,281	0,200		0,281	0,762	<b>0,762</b>
A7	92	0,475		0,279	0,196		0,279	0,755	
A8	96	0,455		0,251	0,203		0,251	0,706	

### 12.1.8 Abschließende Bewertung Bohren

In der Tabelle 12.7 sind alle Ergebnisse der Rechenregeln unter Ungewissheit und Risiko nochmals zusammengefasst.

Tabelle 12.7 Ergebnisse Entscheidungsregeln Bohren

Entscheidungsregel	Optimal-Alternative
Maximin	Kein Ergebnis
Maximax	A <sub>7</sub>
Hurwicz ( $\lambda = 0,60$ )	A <sub>7</sub>
Laplace	A <sub>6</sub>
Savage-Niehans	A <sub>6</sub> , A <sub>7</sub>
Krelle $\sqrt{x}$	A <sub>6</sub>
$\mu$ - Kriterium	A <sub>6</sub>
$\mu\sigma$ – Prinzip $\Phi(A_a) = \mu + \alpha \times \sigma$ ( $\alpha = -1$ )	A <sub>4</sub> , A <sub>5</sub>
$\mu\sigma$ – Prinzip $\Phi(A_a) = \mu + \alpha \times \sigma$ ( $\alpha = 1$ )	A <sub>6</sub>

Die Maximin-Regel liefert aufgrund der extremen Risikoscheue keine Ergebnisse und scheidet somit als Entscheidungskriterium aus. Für eine rationale Entscheidung ist die risikofreudige Einstellung der Maximax-Regel unrealistisch. Die Kombination der Maximin-Regel und Maximax-Regel ist gleich die Hurwicz-Regel, diese scheidet daher als Entscheidungskriterium ebenfalls aus.

Die Laplace-Regel, die Savage-Niehans-Regel, die Krelle-Regel, das  $\mu$ -Kriterium und das  $\mu\sigma$ -Prinzip ( $\alpha = 1$ ) präferieren jeweils die Alternative A<sub>6</sub>.

Es sei hier noch angemerkt, dass die Entscheidungsregeln unter Ungewissheit und unter Risiko nur im Sonderfall einer Rechteckverteilung dieselben Ergebnisse liefern. Der Grund dafür ist, dass die Wahrscheinlichkeiten für die Umweltzustände konstante Werte annehmen und somit für die weitere Berechnung nur von geringer Bedeutung sind.

Für die weitere Berechnung wird der Leistungswert Bohren mit 88 cm/min angesetzt. Im nächsten Schritt werden die Kosten für die Dichtsohle ermittelt.

## 12.2 Kostenermittlung der Dichtsohle

Vor der Ermittlung der Kosten sind die restlichen noch unbekannt Parameter mit deren Eintrittswahrscheinlichkeiten zu ermitteln. Für die Bestimmung der Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen, der Pumprate und des Säulendurchmessers müssen im Vorfeld zuerst alle möglichen Alternativen, welche theoretisch eintreten können, gefunden werden. Die Grenzen bzw. die Bereiche der Parameter wurden bereits festgelegt. Des Weiteren wurde ein Zusammenhang der Parameter gefordert.

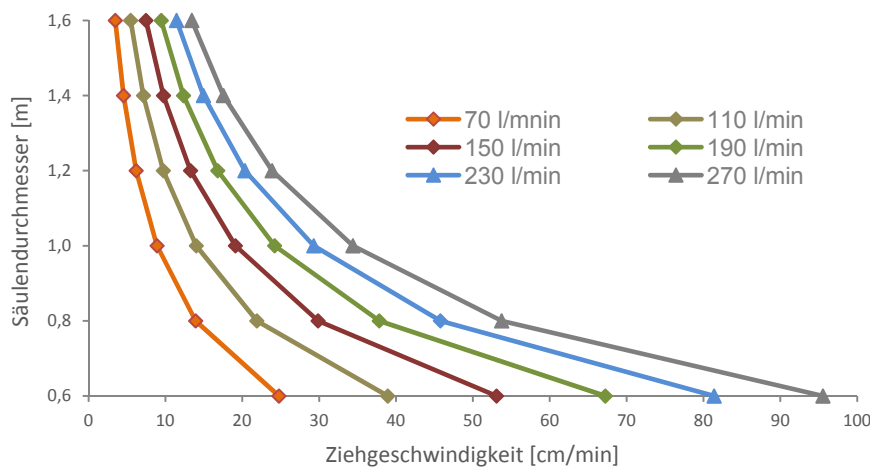


Bild 12.9 Zusammenhang Zieh- & Verpressparameter

Die Anzahl der theoretischen Alternativen werden nach Formel [21] ermittelt. Für die Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen wird ein Intervall von 2 cm/min und für die Pumprate ein Intervall von 40 l/min gewählt. Die Intervalle können auch kleiner angenommen werden, dementsprechend entstehen für die weiteren Berechnungen mehr Alternativen. Bild 12.9 zeigt den Zusammenhang der einzelnen Parameter.

Für eine mögliche Alternative wird die Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen als bekannt vorausgesetzt. Durch Schneiden einer zugehörigen Durchflusskurve kann der somit erhaltene Säulendurchmesser  $D$  von der Y-Achse abgelesen werden. Dieser Vorgang wird solange wiederholt bis alle theoretisch möglichen Alternativen ermittelt wurden.

In Bild 12.10 sind alle theoretisch möglichen Alternativen mit der dazugehörigen Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen, der Pumprate und den daraus resultierenden Säulendurchmessers aufgelistet:

	Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen [cm/min]	Pumprate [l/min]	Säulendurchmesser [m]
A1	17,00	70,00	0,72
A2	17,00	110,00	0,91
A3	17,00	150,00	1,06
A4	17,00	190,00	1,19
A5	17,00	230,00	1,31
A6	17,00	270,00	1,42
A7	19,00	70,00	0,69
A8	19,00	110,00	0,86
A9	19,00	150,00	1,00
A10	19,00	190,00	1,13
A11	19,00	230,00	1,24
A12	19,00	270,00	1,35
A13	21,00	70,00	0,65
A14	21,00	110,00	0,82
A15	21,00	150,00	0,95
A16	21,00	190,00	1,07
A17	21,00	230,00	1,18
A18	21,00	270,00	1,28
A19	23,00	70,00	0,62
A20	23,00	110,00	0,78
A21	23,00	150,00	0,91
A22	23,00	190,00	1,03
A23	23,00	230,00	1,13
A24	23,00	270,00	1,22
A25	25,00	70,00	0,60
A26	25,00	110,00	0,75
A27	25,00	150,00	0,87
A28	25,00	190,00	0,98
A29	25,00	230,00	1,08
A30	25,00	270,00	1,17

Bild 12.10 Alternativenmenge

Es stehen somit 30 verschiedene Alternativen zur Auswahl. Aus dieser Alternativenmenge soll nun diejenige gefunden werden, die am besten den Zielvorstellungen entspricht.

### 12.2.1 Auswahl der Wahrscheinlichkeiten für die Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen

Für die Ermittlung der Wahrscheinlichkeiten wird eine Dreieckverteilung gewählt. Die Dreieckverteilung wird definiert aus dem Intervall  $[a, b]$ , wobei  $a$  der minimalste Wert 17 cm/min und  $b$  der maximalste Wert 25 cm/min ist. Als wahrscheinlichster Wert wird  $c$  mit 19 cm/min angenommen. Die Dichtefunktion mit dazugehöriger Verteilungsfunktion nimmt folgende Form an:



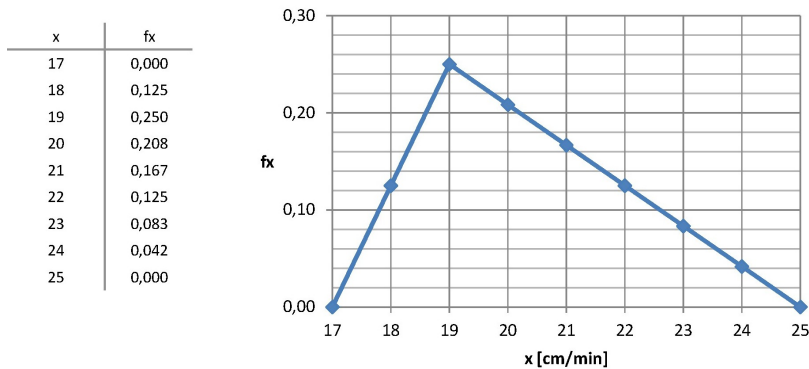


Bild 12.11 Dichtefunktion der Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen

Die Integration der Dichtefunktion ergibt die dazugehörige Verteilungsfunktion.

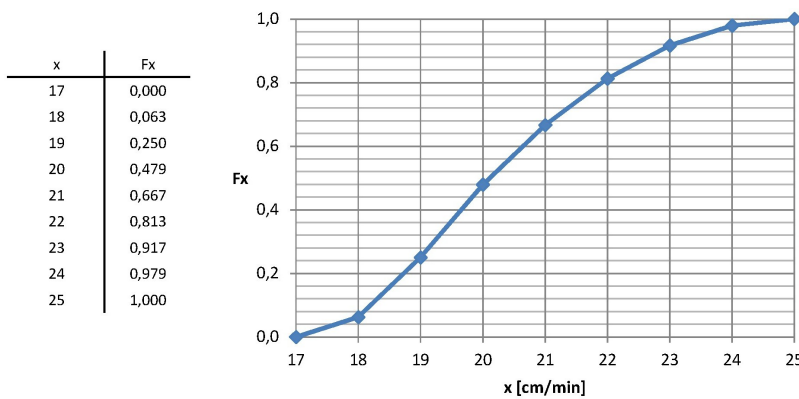


Bild 12.12 Verteilungsfunktion der Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen

Nach Bildung von Intervallen bei denen die Wahrscheinlichkeiten als konstant angesehen werden, lassen diese sich grafisch in einem Histogramm darstellen.

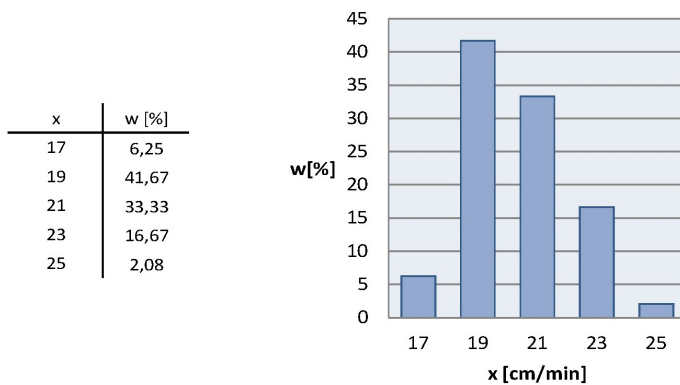


Bild 12.13 Wahrscheinlichkeiten der Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen

### 12.2.2 Auswahl der Wahrscheinlichkeiten für die Pumprate

Analog zur Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für die Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen wird auch bei der Ermittlung der Wahrscheinlichkeiten für die Pumprate eine Dreiecksverteilung herangezogen. Sie ist definiert aus dem Intervall  $[a, b]$ , wobei  $a$  der minimalste Wert 70 l/min und  $b$  der maximalste Wert 270 l/min ist. Als wahrscheinlichster Wert wird  $c$  mit 130 l/min gewählt. Die Dichtefunktion mit dazugehöriger Verteilungsfunktion nimmt folgende Form an:

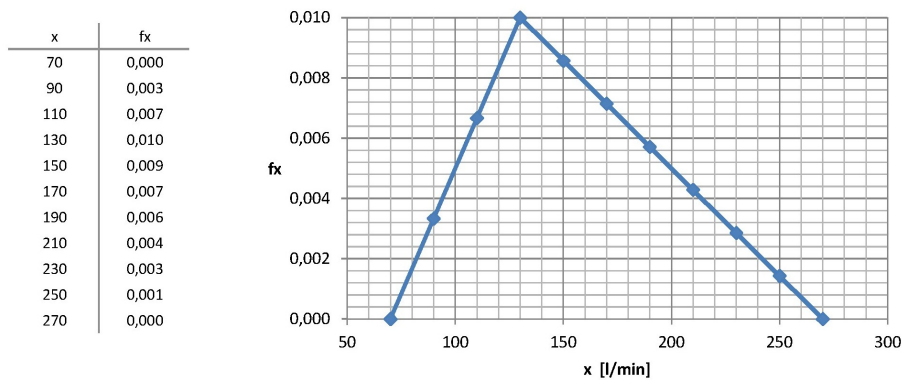


Bild 12.14 Dichtefunktion Pumprate

Die Integration der Dichtefunktion ergibt die dazugehörige Verteilungsfunktion.

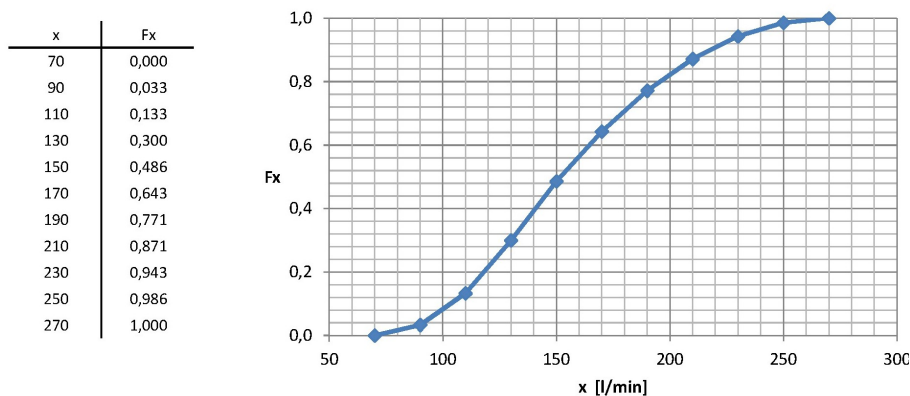


Bild 12.15 Verteilungsfunktion Pumprate

Nach Bildung von Intervallen lassen sich die Wahrscheinlichkeiten grafisch in einem Histogramm darstellen.

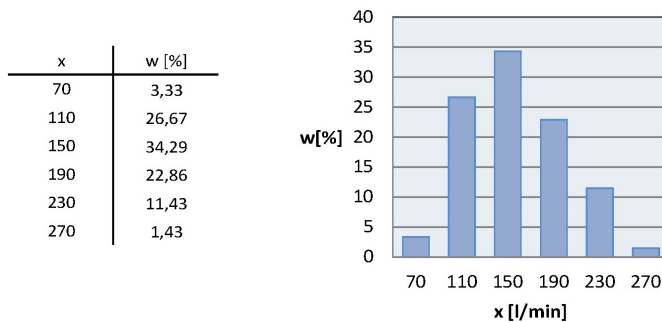


Bild 12.16 Histogramm Pumprate

### 12.2.3 Entscheidungsmatrix

Im nächsten Schritt werden die Ziele für die Entscheidungsmatrix definiert. Analog zum Leistungswert „Bohren“ werden auch hier die Ziele minimale Herstellkosten und ein vorgegebener Profit präferiert:

**Ziel 1: minimale Herstellkosten**

**Ziel 2: Profit**

Anhand dieser Vorgaben werden die Leistungswerte Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen, Pumprate und der dazugehörige Säulendurchmesser für das Gewerk „Dichtsohle herstellen“ bestimmt.

Auch hier erfolgt die Ermittlung der Herstellkosten auf Grundlage der bereits ermittelten Geräte- und Mannschaftskosten sowie der zuvor festgelegten Parameter der jeweiligen Alternativen. Tritt jedoch ein Umweltzustand ein, welcher die Herstellkosten überschreitet, werden für die Ermittlung der Herstellkosten die Leistungsansätze des Umweltzustandes herangezogen. Sind die Herstellkosten des zu erwartenden Umweltzustandes kleiner gleich den Herstellkosten der Alternative, wird das somit entstandene Delta als Profit ausgewiesen. Die ermittelten Herstellkosten beziehen sich auf 1 m<sup>2</sup> ausgeführter Dichtsohle (Bohren, Ziehen bei gleichzeitigem Verpressen, Ziehen, Abfuhrkosten des Rücklaufs, Manipulation und Sonstiges).

Die Intervallstärken sind so zu groß zu wählen, dass eine angemessene Anzahl an Alternativen bzw. Umweltzuständen entsteht und so klein, dass keine wesentlichen Ergebnisse verloren gehen. Die Stärken der Intervalle sind vom Entscheider festzulegen.

Bild 12.17 zeigt eine detaillierte Beschreibung der Entscheidungsmatrix.

Summe Wahrscheinlichkeiten  
Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen  
+ Pumprate

Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen

Säulendurchmesser

Wahrscheinlichkeit Pumprate

Wahrscheinlichkeit Ziehen

Pumprate

Ziehen	[cm/min]	17,00					
	w [%]=	6,25					
Pumprate	[l/min]	70,00	110,00	150,00	190,00	230,00	270,00
D	[m]	0,72	0,91	1,06	1,19	1,31	1,42
Raster	[m]	0,57	0,71	0,83	0,94	1,03	1,12
	w [%]=	3,33	26,67	34,29	22,86	11,43	1,43
	$\Sigma w$ [%]=	0,21	1,67	2,14	1,43	0,71	0,09
A1	17,00	912	912	912	912	912	912
	70,00	0	302	443	524	577	615
	0,57	0,72					
A2	17,00	912	611	611	611	611	611
	110,00	0	0	141	222	275	313
	0,71	0,91					
A3	17,00	912	611	470	470	470	470
	150,00	0	0	0	81	134	172
	0,83	1,06					
A4	17,00	912	611	470	388	388	388
	190,00	0	0	0	0	53	91
	0,94	1,19					

Alternative 4

Rasterabstand

Ziehgeschwindigkeit beim Verpressen  
Pumprate  
Säulendurchmesser

Herstellkosten

Profit

Bild 12.17 Beschreibung Entscheidungsmatrix (Ausschnitt)

Auch hier ist es die Aufgabe der Entscheidungsmatrix, diejenige Alternative zu finden, welche die Zielvorstellungen des Entscheiders am besten erfüllt. Sind alle theoretisch möglichen Alternativen bekannt, die Umweltzustände inklusive Wahrscheinlichkeiten festgelegt und die Ziele des Entscheiders definiert, kann die Entscheidungsmatrix erstellt werden. Nach Erstellung dieser werden mit Hilfe der Direct-Rating-Methode Wertfunktionen gebildet und im Anschluss die Attribute in gewichtete Zielwerte transformiert.

Tabelle 12.8 Entscheidungsmatrix Dichtsole herstellen

Ziehen	[cm/min] w [%]=	17,00 6,25						19,00 41,67						21,00 33,33						23,00 16,67						25,00 2,08						[cm/min] =[%]w	Ziehen
		70,00	110,00	150,00	190,00	230,00	270,00	70,00	110,00	150,00	190,00	230,00	270,00	70,00	110,00	150,00	190,00	230,00	270,00	70,00	110,00	150,00	190,00	230,00	270,00	70,00	110,00	150,00	190,00	230,00	270,00		
Pumprate	[l/min]	0,72	0,91	1,06	1,19	1,31	1,42	0,69	0,86	1,00	1,13	1,24	1,35	0,65	0,82	0,95	1,07	1,18	1,28	0,62	0,78	0,91	1,03	1,13	1,22	0,60	0,75	0,87	0,98	1,08	1,17	[l/min]	Pumprate
D	[m]	0,57	0,71	0,83	0,94	1,03	1,12	0,54	0,68	0,79	0,89	0,98	1,06	0,51	0,64	0,75	0,85	0,93	1,01	0,49	0,61	0,72	0,81	0,89	0,96	0,47	0,59	0,69	0,77	0,85	0,92	[m]	D
Raster	[m]	3,33	26,67	34,29	22,86	11,43	1,43	3,33	26,67	34,29	22,86	11,43	1,43	3,33	26,67	34,29	22,86	11,43	1,43	3,33	26,67	34,29	22,86	11,43	1,43	3,33	26,67	34,29	22,86	11,43	1,43	[m]	Raster
	Σw [%]=	0,21	1,67	2,14	1,43	0,71	0,09	1,39	11,11	14,29	9,52	4,76	0,60	1,11	8,89	11,43	7,62	3,81	0,48	0,56	4,44	5,71	3,81	1,90	0,24	0,07	0,56	0,71	0,48	0,24	0,03		
A1	17,00	930	930	930	930	930	930	1014	930	930	930	930	1098	930	930	930	930	1182	930	930	930	930	930	1266	930	930	930	930	930	17,00	A1		
	70,00	0	308	452	535	589	628	0	255	413	504	564	606	0	201	374	474	538	584	0	148	335	443	513	562	0	95	295	412	70,00			
	0,57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	148	0	0	0	0	0	0	0	0	0,57			
A2	17,00	930	622	622	622	622	622	1014	676	622	622	622	1098	729	622	622	622	1182	782	622	622	622	622	1266	836	635	622	622	622	17,00	A2		
	110,00	0	0	144	227	281	320	0	105	196	256	298	0	65	165	230	276	0	0	26	134	205	254	0	0	103	179	232	110,00				
	0,71	0	0	144	0	0	0	0	105	0	0	0	0	65	0	0	0	0	0	26	134	0	0	0	0	103	0	0	0,71				
A3	17,00	930	622	478	478	478	478	1014	676	517	478	478	1098	729	557	478	478	1182	782	596	488	478	478	1266	836	635	519	478	478	17,00	A3		
	150,00	0	0	0	83	137	176	0	0	0	52	112	154	0	0	21	86	132	0	0	0	61	110	0	0	0	35	89	150,00				
	0,83	0	0	0	83	137	0	0	0	0	52	112	0	0	21	86	132	0	0	0	61	110	0	0	0	35	89	0,83					
A4	17,00	930	622	478	395	395	395	1014	676	517	426	395	1098	729	557	457	395	1182	782	596	488	417	395	1266	836	635	519	443	395	17,00	A4		
	190,00	0	0	0	54	93	0	0	0	0	29	71	0	0	0	3	49	0	0	0	0	0	27	0	0	0	0	5	190,00				
	1,19	0	0	0	54	93	0	0	0	0	29	71	0	0	0	3	49	0	0	0	0	0	27	0	0	0	0	5	1,19				
A5	17,00	930	622	478	395	341	341	1014	676	517	426	366	341	1098	729	557	457	392	346	1182	782	596	488	417	368	1266	836	635	519	17,00	A5		
	230,00	0	0	0	0	0	38	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	230,00				
	1,31	0	0	0	0	0	38	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,31				
A6	17,00	930	622	478	395	341	302	1014	676	517	426	366	324	1098	729	557	457	392	346	1182	782	596	488	417	368	1266	836	635	519	17,00	A6		
	270,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	270,00				
	1,42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,42				
A7	19,00	1014	1014	1014	1014	1014	1014	1014	1014	1014	1014	1014	1014	1098	1014	1014	1014	1014	1014	1014	1014	1014	1014	1266	1014	1014	1014	1014	1014	19,00	A7		
	70,00	84	392	536	619	673	712	0	339	497	588	648	690	0	285	458	557	622	668	0	232	418	526	597	646	0	178	379	495	70,00			
	0,69	84	0	0	0	0	0	0	339	0	0	0	0	0	285	0	0	0	0	0	232	0	0	0	178	0	0	0	0,69				
A8	19,00	930	676	676	676	676	676	1014	676	676	676	676	1098	729	676	676	676	1182	782	676	676	676	1266	836	676	676	676	676	19,00	A8			
	110,00	0	54	197	281	335	373	0	158	250	309	351	0	0	119	219	284	330	309	0	80	188	258	308	0	41	157	233	110,00				
	0,68	0	54	0	0	0	0	0	158	0	0	0	0	0	119	0	0	0	0	0	80	0	0	0	41	0	0	0,68					
A9	19,00	930	622	517	517	517	517	1014	676	517	517	517	1098	729	557	517	517	1182	782	596	517	517	1266	836	635	519	517	517	19,00	A9			
	150,00	0	0	39	122	177	215	0	0	0	91	151	193	0	61	126	171	0	0	0	30	100	150	0	0	0	74	128	150,00				
	1,00	0	0	39	122	0	0	0	0	0	91	0	0	0	61	126	0	0	0	30	100	150	0	0	0	74	1,00						
A10	19,00	930	622	478	426	426	426	1014	676	517	426	426	1098	729	557	426	426	1182	782	596	488	426	1266	836	635	519	443	426	19,00	A10			
	190,00	0	0	0	31	85	124	0	0	0	60	102	102	0	34	80	60	0	0	0	9	58	0	0	0	0	0	36	190,00				
	0,89	0	0	0	31	85	124	0	0	0	60	102	0	0	34	80	0	0	0	9	58	0	0	0	0	36	0,89						
A11	19,00	930	622	478	395	366	366	1014	676	517	426	366	366	1098	729	557	457	392	366	1182	782	596	488	417	368	1266	836	635	519	19,00	A11		
	230,00	0	0	0	26	64	0	0	0	0	42	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	230,00				
	1,24	0	0	0	26	64	0	0	0	0	42	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,24						
A12	19,00	930	622	478	395	341	324	1014	676	517	426	366	324	1098	729	557	457	392	346	1182	782	596	488	417	368	1266	836	635	519	19,00	A12		
	270,00	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	270,00				
	1,06	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,06					
A13	21,00	1098	1098	1098	1098	1098	1098	1098	1098	1098	1098	1098	1098	1098	1098	1098	1098	1098	1098	1098	1098	1098	1098	1266	1098	1098	1098	1098	21,00	A13			
	70,00	168	476	620	703	757	796	84	423	581	672	732	774	0	369	541	641	706	752	0	316	502	610	681	730	0	262	463	70,00				
	0,65	0	0	0	0	0	0	84	0	0	0	0	0	0	369	0	0	0	0	0	316	0	0	0	262	0	0	0,65					
A14	21,00	930	729	729	729	729	729	1014	729	729	729	729	1098	729	729	729	729	1182	782	729	729	729	1266	836	729	729	729	729	21,00	A14			
	110,00	0	107	251	334	388	426	0	53	211	303	363	405	0	172	272	337	383	0	133	241	311	361	0	94	210	286	110,00					
	0,82	0	107	0	0	0	0	0	53	0	0	0	0	0	172	0	0	0	0	133	0	0	0	0	94	0	0	0,82					
A15	21,00	930	622	557	557	557	557	1014	676	557	557	557	1098	729	557	557	557	1182	782	596	557	557	1266	836	635	557	557	21,00	A15				
	150,00	0	0	79	162	216	254	0	39	131	190	233	0	0	100	165	211	0	0	0	69	139	189	0	0	38	11						

### 12.2.4 Direct-Rating-Methode für Herstellkosten und Profit

Für die Vergleichbarkeit der Ziele minimale Herstellkosten und des vorgegebenen Profits ist es erforderlich, die Präferenzen in Wertfunktionen abzubilden. Laut Entscheidungsmatrix sind pro m<sup>2</sup> herzustellender Dichtsohle minimale Herstellkosten von 302 €/m<sup>2</sup> und maximale Herstellkosten von 1.266 €/m<sup>2</sup> zu erwarten. Anhand dieser Vorgaben wird mit Hilfe der Direct-Rating-Methode die Wertfunktion ermittelt. Werte  $\geq 650$  €/m<sup>2</sup> sind mit null zu bewerten, da die Kosten als überzogen angesehen werden. Für die Werte zwischen 302 €/m<sup>2</sup> und 650 €/m<sup>2</sup> kann die Wertfunktion wie folgt bestimmt werden.

Vorgehensweise bei der Bestimmung der Wertfunktion für die Herstellkosten:

- Festlegung der schlechtesten Zielausprägung  $x_0 = 650$  €/m<sup>2</sup> und der besten Zielausprägung  $x_1 = 302$  €/m<sup>2</sup>.
- Ordnen der Alternativen.
- Direkte Bewertung der Alternativen, Normierung der Wertfunktion und anschließende Darstellung in einem Diagramm.

Direct-Rating-Methode		
Herstellkosten €/m <sup>2</sup>	Bewertung	Normierung v
302	100	1,00
350	80	0,80
400	50	0,50
450	25	0,25
500	10	0,10
550	5	0,05
600	3	0,03
650	0	0,00
700	0	0,00
750	0	0,00
800	0	0,00
850	0	0,00
900	0	0,00
950	0	0,00
1000	0	0,00
1050	0	0,00
1100	0	0,00
1150	0	0,00
1200	0	0,00
1250	0	0,00
1300	0	0,00



Die Funktion der Trendlinie lautet:

$$y = 9,2862 * 10^{-13} * x^5 - 2,5395 * 10^{-9} * x^4 + 2,7022 * 10^{-6} * x^3 - 1,3868 * 10^{-3} * x^2 + 3,3779 * 10^{-1} * x - 3,0167 * 10^1$$

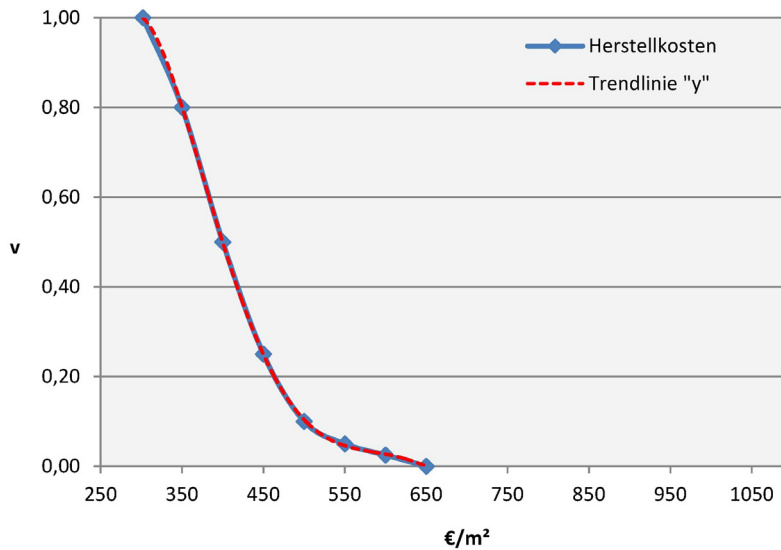


Bild 12.18 Direct-Rating-Methode für die Herstellkosten

Des Weiteren wird ein Profit von ca. 24 €/m² herzustellender Dichtsohle angestrebt. Das bedeutet, der minimalste bzw. maximalste Profit erhält den Wert 0 und der angestrebte Profit von 24 € den Wert 1. Es sind somit 2 Wertfunktionen erforderlich, welche ebenfalls mit Hilfe der Direct-Rating-Methode erstellt werden. Auch hier werden Profite die aus Herstellkosten > 650 €/m² resultieren nicht berücksichtigt, dies bedeutet der maximalste Profit beträgt 333 €/m².

Wertfunktion für  $0 \leq x \leq 24$  €:

$$y = 0,0417 * x$$

Wertfunktion für  $24 \leq x \leq 333$  €:

$$y = 4,170 * 10^{-10} * x^4 - 4,053 * 10^{-7} * x^3 + 1,447 * 10^{-4} * x^2 - 2,304 * 10^{-2} * x + 1,467$$

Direct-Rating-Methode		
Herstellkosten €/m <sup>2</sup>	Bewertung	Normierung v
0	0	0,00
24	100	1,00
60	80	0,50
90	70	0,30
120	50	0,20
150	40	0,10
180	30	0,08
210	20	0,06
240	15	0,05
270	10	0,04
300	5	0,02
333	0	0,00

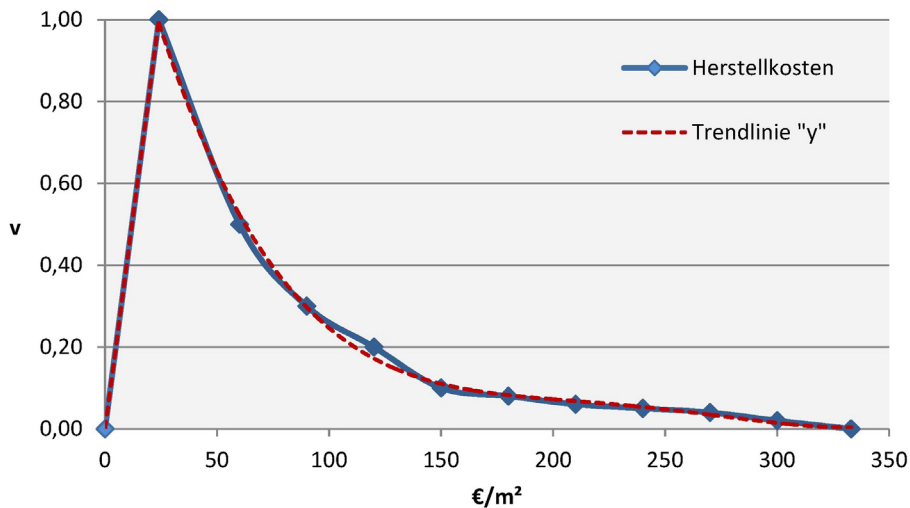


Bild 12.19 Direct-Rating-Methode des Profits

Es sei hier noch angemerkt, dass für die Erstellung von Wertfunktionen auch die Halbierungsmethode oder die Methode gleicher Wertdifferenzen angewandt werden kann. Jeder Entscheider hat die Methode zu wählen, welche er als „die Optimalste“ für seine Bedürfnisse empfindet. Des Weiteren sind Wertfunktionen auf Konsistenz zu prüfen. Tritt Inkonsistenz auf, soll der Entscheider die vorherigen Präferenzaussagen so variieren, dass die Inkonsistenz verschwindet.

Im nächsten Schritt werden die normierte Entscheidungsmatrix und die gewichtete, normierte Entscheidungsmatrix erstellt. Der Gewichtungsfaktor für die Herstellkosten beträgt 0,7 und 0,3 für den vorgegebenen Profit. Des Weiteren ist für die Ermittlung der Präferenzen nach Savage-Niehans eine Matrix des Bedauerns erforderlich.





Tabelle 12.10 Gewichtete, normierte Entscheidungsmatrix

Ziehen [cm/min] w [%]=	17,00 6,25						19,00 41,67						21,00 33,33						23,00 16,67						25,00 2,08						[cm/min] = [%]w	Ziehen
	70,00	110,00	150,00	190,00	230,00	270,00	70,00	110,00	150,00	190,00	230,00	270,00	70,00	110,00	150,00	190,00	230,00	270,00	70,00	110,00	150,00	190,00	230,00	270,00	70,00	110,00	150,00	190,00	230,00	270,00		
Pumprate [l/min]	0,72	0,91	1,06	1,19	1,31	1,42	0,69	0,86	1,00	1,13	1,24	1,35	0,65	0,82	0,95	1,07	1,18	1,28	0,62	0,78	0,91	1,03	1,13	1,22	0,60	0,75	0,87	0,98	1,08	1,17	[l/min]	Pumprate
DN [m]	0,63	0,79	0,92	1,03	1,14	1,23	0,59	0,74	0,87	0,98	1,08	1,17	0,56	0,71	0,83	0,93	1,02	1,11	0,54	0,68	0,79	0,89	0,98	1,06	0,52	0,65	0,76	0,85	0,94	1,02	[m]	DN
Raster [m]	3,33	26,67	34,29	22,86	11,43	1,43	3,33	26,67	34,29	22,86	11,43	1,43	3,33	26,67	34,29	22,86	11,43	1,43	3,33	26,67	34,29	22,86	11,43	1,43	3,33	26,67	34,29	22,86	11,43	1,43	[m]	Raster
Σw [%]=	0,21	1,67	2,14	1,43	0,71	0,09	1,39	11,11	14,29	9,52	4,76	0,60	1,11	8,89	11,43	7,62	3,81	0,48	0,56	4,44	5,71	3,81	1,90	0,24	0,07	0,56	0,71	0,48	0,24	0,03	= [%]w	
A1 17,00 0,57 0,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	17,00 0,57 0,72	A1 0,57
A2 17,00 0,71 0,91	0,00	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,07	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,15	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,29	0,05	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,08	0,01	0,01	17,00 0,71 0,91	A2 0,71
A3 17,00 0,83 1,06	0,00	0,01	0,11	0,21	0,14	0,11	0,00	0,00	0,06	0,29	0,16	0,11	0,00	0,00	0,03	0,37	0,20	0,15	0,00	0,00	0,02	0,09	0,26	0,17	0,00	0,00	0,01	0,05	0,35	0,20	17,00 0,83 1,06	A3 0,83
A4 17,00 0,94 1,19	0,00	0,01	0,11	0,37	0,55	0,46	0,00	0,00	0,06	0,25	0,65	0,50	0,00	0,00	0,03	0,15	0,41	0,56	0,00	0,00	0,02	0,09	0,28	0,65	0,00	0,00	0,01	0,05	0,20	0,44	17,00 0,94 1,19	A4 0,94
A5 17,00 1,03 1,31	0,00	0,01	0,11	0,37	0,60	0,83	0,00	0,00	0,06	0,25	0,49	0,80	0,00	0,00	0,03	0,15	0,39	0,58	0,00	0,00	0,02	0,09	0,28	0,49	0,00	0,00	0,01	0,05	0,20	0,39	17,00 1,03 1,31	A5 1,03
A6 17,00 1,12 1,42	0,00	0,01	0,11	0,37	0,60	0,70	0,00	0,00	0,06	0,25	0,49	0,65	0,00	0,00	0,03	0,15	0,39	0,58	0,00	0,00	0,02	0,09	0,28	0,49	0,00	0,00	0,01	0,05	0,20	0,39	17,00 1,12 1,42	A6 1,12
A7 19,00 0,54 0,69	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,00 0,54 0,69	A7 0,54
A8 19,00 0,68 0,86	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00	19,00 0,68 0,86	A8 0,68	
A9 19,00 0,79 1,00	0,00	0,01	0,28	0,11	0,06	0,06	0,00	0,00	0,06	0,14	0,06	0,06	0,00	0,00	0,03	0,21	0,10	0,06	0,00	0,00	0,02	0,33	0,13	0,09	0,00	0,00	0,01	0,05	0,18	0,10	19,00 0,79 1,00	A9 0,79
A10 19,00 0,89 1,13	0,00	0,01	0,11	0,52	0,35	0,30	0,00	0,00	0,06	0,25	0,41	0,32	0,00	0,00	0,03	0,15	0,50	0,36	0,00	0,00	0,02	0,09	0,36	0,41	0,00	0,00	0,01	0,05	0,20	0,49	19,00 0,89 1,13	A10 0,89
A11 19,00 0,98 1,24	0,00	0,01	0,11	0,37	0,78	0,64	0,00	0,00	0,06	0,25	0,49	0,71	0,00	0,00	0,03	0,15	0,39	0,74	0,00	0,00	0,02	0,09	0,28	0,49	0,00	0,00	0,01	0,05	0,20	0,39	19,00 0,98 1,24	A11 0,98
A12 19,00 1,06 1,35	0,00	0,01	0,11	0,37	0,60	0,92	0,00	0,00	0,06	0,25	0,49	0,65	0,00	0,00	0,03	0,15	0,39	0,58	0,00	0,00	0,02	0,09	0,28	0,49	0,00	0,00	0,01	0,05	0,20	0,39	19,00 1,06 1,35	A12 1,06
A13 21,00 0,51 0,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,00 0,51 0,65	A13 0,51
A14 21,00 0,64 0,82	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	21,00 0,64 0,82	A14 0,64
A15 21,00 0,75 0,95	0,00	0,01	0,14	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,26	0,07	0,03	0,03	0,00	0,00	0,03	0,10	0,03	0,03	0,00	0,00	0,02	0,16	0,07	0,03	0,00	0,00	0,01	0,26	0,09	0,03	21,00 0,75 0,95	A15 0,75
A16 21,00 0,85 1,07	0,00	0,01	0,11	0,31	0,21	0,15	0,00	0,00	0,06	0,42	0,24	0,20	0,00	0,00	0,03	0,15	0,30	0,21	0,00	0,00	0,02	0,09	0,38	0,25	0,00	0,00	0,01	0,05	0,33	0,29	21,00 0,85 1,07	A16 0,85
A17 21,00 0,93 1,18	0,00	0,01	0,11	0,37	0,57	0,48	0,00	0,00	0,06	0,25	0,67	0,52	0,00	0,00	0,03	0,15	0,39	0,59	0,00	0,00	0,02	0,09	0,28	0,58	0,00	0,00	0,01	0,05	0,20	0,41	21,00 0,93 1,18	A17 0,93
A18 21,00 1,01 1,28	0,00	0,01	0,11	0,37	0,65	0,79	0,00	0,00	0,06	0,25	0,49	0,85	0,00	0,00	0,03	0,15	0,39	0,58	0,00	0,00	0,02	0,09	0,28	0,49	0,00	0,00	0,01	0,05	0,20	0,39	21,00 1,01 1,28	A18 1,01
A19 23,00 0,49 0,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,00 0,49 0,62	A19 0,49
A20 23,00 0,61 0,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	23,00 0,61 0,78	A20 0,61
A21 23,00 0,72 0,91	0,00	0,01	0,07	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,13	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,25	0,06	0,02	0,02	0,00	0,00	0,02	0,08	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01	0,14	0,02	0,02	23,00 0,72 0,91	A21 0,72
A22 23,00 0,81 1,03	0,00	0,01	0,21	0,18	0,13	0,09	0,00	0,00	0,06	0,24	0,14	0,09	0,00	0,00	0,03	0,35	0,17	0,13	0,00	0,00	0,02	0,09	0,22	0,14	0,00	0,00	0,01	0,05	0,30	0,17	23,00 0,81 1,03	A22 0,81
A23 23,00 0,89 1,13	0,00	0,01	0,11	0,56	0,40	0,34	0,00	0,06	0,25	0,46	0,36	0,00	0,00	0,00	0,03	0,15	0,57	0,41	0,00	0,00	0,02	0,09	0,28	0,47	0,00	0,00	0,01	0,05	0,20	0,56	23,00 0,89 1,13	A23 0,89
A24 23,00 0,96 1,22	0,00	0,01	0,11	0,37	0,77	0,63	0,00	0,00	0,06	0,25	0,51	0,70	0,00	0,00	0,03	0,15	0,39	0,76	0,00	0,00	0,02	0,09	0,28	0,49	0,00	0,00	0,01	0,05	0,20	0,39	23,00 0,96 1,22	A24 0,96
A25 25,00 0,47 0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,00 0,47 0,60	A25 0,47
A26 25,00 0,59 0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,00 0,59 0,75	A26 0,59
A27 25,00 0,69 0,87	0,00	0,17	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,06	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,12	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,24	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,06	0,01	0,01	25,00 0,69 0,87	A27 0,69
A28 25,00 0,77 0,98	0,00	0,01	0,27	0,10	0,05	0,05	0,00	0,00	0,07	0,13	0,05	0,05	0,00	0,00	0,03	0,20	0,10	0,05	0,00	0,00	0,02	0,31	0,12	0,05	0,00	0,00	0,01	0,05	0,17	0,09	25,00 0,77 0,98	A28 0,77
A29 25,00 0,85 1,08	0,00	0,01	0,11	0,39	0,27	0,23	0,00	0,00	0,06	0,41	0,31	0,25	0,00	0,00	0,03	0,15	0,38	0,27	0,00	0,00	0,02	0,09	0,49	0,31	0,00	0,00	0,01	0,05	0,20	0,37	25,00 0,85 1,08	A29 0,85
A30 25,00 0,92 1,17	0,00	0,01	0,11	0,37	0,58	0,49	0,00	0,00	0,06	0,25	0,68	0,53	0,00	0,00	0,03	0,15	0,39	0,60	0,00	0,00	0,02	0,09	0,28	0,66	0,00	0,00	0,01	0,05	0,20	0,39	25,00 0,92 1,17	A30 0,92





### 12.2.5 Auswertung der Alternativen

Die Auswertung erfolgt anhand der Maximierungsvorschrift, mit Ausnahme der Savage-Niehans-Regel, hier wird eine Minimierung präferiert. Zur Anwendung kommen die zuvor beschriebenen Rechenregeln für Entscheidungen unter Ungewissheit und Risiko.

- Präferenzwerte für die Entscheidung unter Unsicherheit i.e.S.:

Tabelle 12.12 Präferenzwerte für die Entscheidung unter Ungewissheit\_Teil1

		Maximin-Regel		Maximax-Regel		Hurwicz-Regel		Laplace	Savage-Niehans	Krelle
		min(s)	$\Phi Aa$	max(s)	$\Phi Aa$	$\lambda=0,6$	$\Phi Aa$	$\Phi Aa$	$\Phi Aa$	$\Phi Aa$
A1	17,00 70,00 0,57 0,72	0,000		0,082		0,049		0,004	0,924	0,470
A2	17,00 110,00 0,71 0,91	0,000		0,293		0,176		0,026	0,917	3,159
A3	17,00 150,00 0,83 1,06	0,000		0,373		0,224		0,102	0,819	7,382
A4	17,00 190,00 0,94 1,19	0,000		0,653		0,392		0,194	0,468	9,824
A5	17,00 230,00 1,03 1,31	0,000		0,827		0,496		0,206	0,272	10,024
A6	17,00 270,00 1,12 1,42	0,000		0,700		0,420		0,197	0,272	9,862
A7	19,00 70,00 0,54 0,69	0,000		0,100		0,060		0,003	0,924	0,316
A8	19,00 110,00 0,68 0,86	0,000		0,223		0,134		0,019	0,924	1,451
A9	19,00 150,00 0,79 1,00	0,000		0,326		0,196		0,071	0,868	6,105
A10	19,00 190,00 0,89 1,13	0,000		0,516		0,310		0,166	0,623	9,221
A11	19,00 230,00 0,98 1,24	0,000		0,780		0,468		0,208	0,288	10,070
A12	19,00 270,00 1,06 1,35	0,000		0,924	0,924	0,554	0,554	0,204	0,272	0,272
A13	21,00 70,00 0,51 0,65	0,000		0,100		0,060		0,003	0,924	0,316
A14	21,00 110,00 0,64 0,82	0,000		0,178		0,107		0,012	0,924	1,169
A15	21,00 150,00 0,75 0,95	0,000		0,262		0,157		0,049	0,896	4,913

Tabelle 12.13 Präferenzwerte für die Entscheidung unter Ungewissheit\_Teil2

		Maximin-Regel		Maximax-Regel		Hurwicz-Regel		Laplace		Savage-Niehans		Krelle	
		min(s)	$\Phi Aa$	max(s)	$\Phi Aa$	$\lambda=0,6$	$\Phi Aa$	$\Phi Aa$	$\Phi Aa$	$\Phi Aa$	$\Phi Aa$	$\Phi Aa$	
A16	21,00 190,00 0,85	0,000		0,419		0,252		0,127		0,770		8,175	
A17	21,00 230,00 0,93	0,000		0,682		0,409		0,198		0,449		9,883	
A18	21,00 270,00 1,01	0,000		0,854		0,512		0,208		0,272	<b>0,272</b>	10,065	
A19	23,00 70,00 0,49	0,000		0,100		0,060		0,003		0,924		0,316	
A20	23,00 110,00 0,61	0,000		0,177		0,106		0,009		0,924		0,860	
A21	23,00 150,00 0,72	0,000		0,251		0,150		0,034		0,903		4,091	
A22	23,00 190,00 0,81	0,000		0,355		0,213		0,094		0,833		7,113	
A23	23,00 230,00 0,89	0,000		0,570		0,342		0,179		0,587		9,498	
A24	23,00 270,00 0,96	0,000		0,773		0,464		0,209	<b>0,209</b>	0,292		10,083	<b>10,083</b>
A25	25,00 70,00 0,47	0,000		0,100		0,060		0,003		0,924		0,316	
A26	25,00 110,00 0,59	0,000		0,178		0,107		0,008		0,924		0,677	
A27	25,00 150,00 0,69	0,000		0,236		0,141		0,026		0,917		3,194	
A28	25,00 190,00 0,77	0,000		0,313		0,188		0,065		0,875		5,860	
A29	25,00 230,00 0,85	0,000		0,486		0,292		0,147		0,690		8,729	
A30	25,00 270,00 0,92	0,000		0,683		0,410		0,198		0,438		9,896	

Nach Auswertung der Präferenzen unter Ungewissheit folgt die Auswertung unter Risiko.

- Präferenzwerte für die Entscheidung unter Risiko:

Tabelle 12.14 Präferenzwerte Entscheidung unter Risiko

		μ - Regel		μσ - Regel		μσ - Regel	
		Φ Aa	σ	α=1	Φ Aa	σ	α=1
Φ Aa	σ						
A1	17,00	0,196	0,194	0,002		0,194	0,391
0,57	70,00						
A2	17,00	0,058	0,077	-		0,077	0,136
0,71	110,00						
A3	17,00	0,652	0,564	0,088		0,564	1,216
0,83	150,00						
A4	17,00	0,777	0,676	0,101		0,676	1,453
0,94	190,00						
A5	17,00	0,737	0,639	0,097		0,639	1,376
1,03	230,00						
A6	17,00	0,737	0,639	0,097		0,639	1,376
1,12	270,00						
A7	19,00	0,000	0,005	-		0,005	0,005
0,54	70,00						
A8	19,00	0,160	0,148	0,011		0,148	0,308
0,68	110,00						
A9	19,00	0,342	0,282	0,060		0,282	0,624
0,79	150,00						
A10	19,00	0,873	0,772	0,101		0,772	1,645
0,89	190,00						
A11	19,00	0,737	0,639	0,097		0,639	1,376
0,98	230,00						
A12	19,00	0,737	0,639	0,097		0,639	1,376
1,06	270,00						
A13	21,00	0,000	0,012	-		0,012	0,012
0,51	70,00						
A14	21,00	0,059	0,066	-		0,066	0,126
0,64	110,00						
A15	21,00	0,283	0,230	0,054		0,230	0,513
0,75	150,00						
A16	21,00	0,901	0,803	0,098		0,803	1,705
0,85	190,00						
A17	21,00	0,783	0,682	0,101		0,682	1,465
0,93	230,00						
A18	21,00	0,737	0,639	0,097		0,639	1,376
1,01	270,00						
A19	23,00	0,000	0,011	-		0,011	0,011
0,49	70,00						
A20	23,00	0,024	0,052	-		0,052	0,077
0,61	110,00						
A21	23,00	0,120	0,098	0,022		0,098	0,218
0,72	150,00						
A22	23,00	0,558	0,477	0,081		0,477	1,035
0,81	190,00						
A23	23,00	0,737	0,638	0,099		0,638	1,375
0,89	230,00						
A24	23,00	0,737	0,639	0,098		0,639	1,376
0,96	270,00						
A25	25,00	0,000	0,007	-		0,007	0,007
0,47	70,00						
A26	25,00	0,000	0,042	-		0,042	0,042
0,59	110,00						
A27	25,00	0,051	0,064	-		0,064	0,116
0,69	150,00						
A28	25,00	0,313	0,256	0,057		0,256	0,568
0,77	190,00						
A29	25,00	1,087	0,979	0,108	0,108	0,979	2,065
0,85	230,00						
A30	25,00	0,778	0,677	0,101		0,677	1,456
0,92	270,00						

In Tabelle 12.15 sind alle Ergebnisse der Rechenregeln unter Ungewissheit und unter Risiko nochmals zusammengefasst:

Tabelle 12.15 Ergebnisse Entscheidungsregeln Dichtsohle herstellen

Entscheidungsregel	Optimal-Alternative
Maximin	Kein Ergebnis
Maximax	$A_{12}$
Hurwicz ( $\lambda = 0,60$ )	$A_{12}$
Laplace	$A_{24}$
Savage-Niehans	$A_{12} / A_{18}$
Krelle $\sqrt{x}$	$A_{24}$
$\mu$ - Kriterium	$A_{29}$
$\mu\sigma$ – Prinzip $\Phi(A_a) = \mu + \alpha \times \sigma$ ( $\alpha = -1$ )	$A_{29}$
$\mu\sigma$ – Prinzip $\Phi(A_a) = \mu + \alpha \times \sigma$ ( $\alpha = 1$ )	$A_{29}$

#### Resümee:

Auch in diesem Fall ist das Ergebnis der Maximin-Regel nicht brauchbar. In allen anderen Fällen für Entscheidungen unter Ungewissheit können zwar die verschiedenen Entscheidungsregeln angewandt werden, aber die sich hierbei ergebenden Ergebnisse sind für eine rationale Entscheidung in der Baukalkulation im Allgemeinen nicht befriedigend. Ein wesentlicher Nachteil ist, dass die Wahrscheinlichkeiten unberücksichtigt bleiben und somit die Ergebnisse sehr stark verfälscht werden. Sind keine Wahrscheinlichkeiten vorhanden, ist es sinnvoller, subjektive Wahrscheinlichkeiten für die Umweltzustände zu bilden und somit Entscheidungen unter Ungewissheit in Entscheidungen unter Risiko überzuführen. Des Weiteren sind der Maximax-Regel, der Hurwicz-Regel und der Savage-Niehans-Regel anzulasten, dass sie bei der Berechnung nicht alle Zielwerte berücksichtigen.

Für Entscheidungssituationen unter Risiko eignet sich besonders gut das  $\mu$ -Kriterium. Bei dessen Anwendung werden alle Wahrscheinlichkeiten der Umweltzustände als auch alle Attribute für die Ermittlung der Präferenzen berücksichtigt. Durch die Erstellung von Wertfunktionen werden die Zielwerte quasi in Nutzwerte transformiert. Dies bedeutet, dass der Erwartungswert nicht von den Ergebniswerten, sondern anhand der eigens generierten Nutzwerte bestimmt wird. Des Weiteren ist in den Wertfunktionen bereits auch die Risikoeinstellung des Entscheiders enthalten. Somit lassen sich mit dem  $\mu$ -Kriterium optimale Ergebnisse erzielen.

Ein wesentlicher Nachteil des  $\mu\sigma$ -Prinzips ist, dass es keine Aussage über die Gestalt der Präferenzfunktion macht. Diese muss vom Entscheider selbst festgelegt werden. Das Finden dieser Funktion verkompliziert dieses Prinzip wesentlich.

Für die weitere Berechnung werden somit die Ergebnisse des  $\mu$ -Kriteriums herangezogen. In nachfolgender Tabelle 12.16 sind die ermittelten Parameter zusammengefasst:

Tabelle 12.16 Parameter Dichtsohle herstellen

Herstellparameter		Einheit
Bohrgeschwindigkeit	88	cm/min
Verpressgeschwindigkeit	25	cm/min
Durchflussrate	230	l/min
Säulendurchmesser	1,08	m
Rasterabstand	0,94	m

Anhand dieser Daten wird in weiterer Folge die Kostenermittlung durchgeführt.



## 12.2.6 Ermittlung der Kosten / Preise

Die Ermittlung der Kosten erfolgt anhand des Kalkulationsblattes K7. Die Kosten für die Mannschaft betragen 126,00 €/h, die Gerätekosten 233,41 €/h.

Zusammenstellung Mannschaft		Lohn	Sonstiges	Kosten	Preis
Bohrmeister	33,000 €/h	33,00	0,00	33,00	37,95
Hilfsarbeiter Bohren	30,000 €/h	30,00	0,00	30,00	34,50
Misch- & Pumpmeister	33,000 €/h	33,00	0,00	33,00	37,95
Hilfsarbeiter Pumpen	30,000 €/h	30,00	0,00	30,00	34,50
Mannschaft	€/h	<b>126,00</b>	<b>0,00</b>	<b>126,00</b>	<b>144,90</b>

Zusammenstellung Gerät		Lohn	Sonstiges	Kosten	Preis
Bohranlage inkl. Zubehör (K6)	89,802 €/h	12,25	77,55	89,80	103,27
Misch- & Pumpanlage	143,604 €/h	15,99	127,62	143,60	165,14
Gerät	€/h	<b>28,24</b>	<b>205,17</b>	<b>233,41</b>	<b>268,42</b>

Im nächsten Schritt werden die Teilleistungen Bohren, Ziehen, Manipulation, Ziehen und Verpressen und Sonstiges kalkuliert.

Kalk. Bohren		€	Lohn	Sonstiges	Kosten	Preis
Bohren	0,303 h/Stk					
Mannschaft			38,18	0,00	38,18	43,91
Gerät			8,56	62,17	70,73	81,34
Teilsumme	1 Stk		46,74	62,17	108,91	125,25

Kalk. Ziehen		€	Lohn	Sonstiges	Kosten	Preis
Ziehen	0,050 h/Stk					
Mannschaft			6,30	0,00	6,30	7,25
Gerät			1,41	10,26	11,67	13,42
Teilsumme	1 Stk		7,71	10,26	17,97	20,67

Kalk. Manipulation		€	Lohn	Sonstiges	Kosten	Preis
Manipulation	0,133 h/Stk					
Mannschaft			16,80	0,00	16,80	19,32
Gerät			3,76	27,35	31,11	35,78
Teilsumme	1 Stk		20,56	27,35	47,91	55,10

Kalk. Ziehen & Verpressen		€	Lohn	Sonstiges	Kosten	Preis
Ziehen & Verpressen	0,067 h/Stk					
Mannschaft			8,40	0,00	8,40	9,66
Gerät			1,88	13,68	15,56	17,89
Zement	70,000 €/to		0,00	49,12	49,12	56,49
Wasser (von AG beigestellt)			0,00	0,00	0,00	0,00
Teilsumme	1 Stk		10,28	62,80	73,08	84,05

Kalk. Sonstiges		€	Lohn	Sonstiges	Kosten	Preis
Abfuhrkosten Rücklauf lt. SUB			6,50	6,50	13,00	14,95
Teilsumme	1 Stk		6,50	6,50	13,00	14,95

Für eine horizontale Baugrubenabdichtung von 1.000 m<sup>2</sup> beträgt die Angebotssumme somit 419.410 € excl. MWST, dies entspricht einem Quadratmeterpreis von 419,41 € und einem Säulenstückpreis von 300,01 €.

Zusammenstellung K7	%	Lohn	Sonstiges	Kosten	Preis
Kalk. Bohren	51	46,74	62,17	108,91	125,25
Kalk. Ziehen	8	7,71	10,26	17,97	20,67
Kalk. Manipulation	22	20,56	27,35	47,91	55,10
Kalk. Ziehen & Verpressen	11	10,28	62,80	73,08	84,05
Kalk. Sonstiges	7	6,50	6,50	13,00	14,95
	€/Säule	<b>91,79</b>	<b>169,08</b>	<b>260,87</b>	<b>300,01</b>
	€/m <sup>2</sup>	<b>128,33</b>	<b>236,38</b>	<b>364,70</b>	<b>419,41</b>

### 12.3 Abschließende Bewertung

Anhand des vorgestellten Beispiels wurde die Anwendung der Entscheidungstheorie in der Baukalkulation gezeigt. Die Ergebnisse fielen für das betrachtete Anwendungsbeispiel je nach Entscheidungsregel sehr unterschiedlich aus. Natürlich können auch in bestimmten Fällen (z.B.: bei Anwendung einer Gleichverteilung) alle Entscheidungsregeln zu den gleichen Ergebnissen führen, dies ist im Allgemeinen aber nicht der Fall. Für Entscheidungssituationen unter Ungewissheit empfiehlt sich, für die zu erwartenden Umweltzustände subjektive Wahrscheinlichkeiten zu bilden und diese in Entscheidungen unter Risiko überzuführen, da die Ergebnisse der einzelnen Entscheidungsregeln nicht befriedigend sind.

Für Entscheidungen unter Risiko bietet das  $\mu$ -Kriterium eine gute Hilfestellung. Durch Berücksichtigung aller Daten in der Entscheidungsmatrix sowie die Überführung der Zielwerte mit Hilfe von Wertfunktionen in Nutzwerte machen dieses Kriterium für die Kalkulation sehr interessant. Ein positiver Effekt ist, dass dieses vorgestellte Rechenmodell auch für die Kalkulation anderer Positionen verwendet werden kann. Die einfache und unkomplizierte Handhabung des  $\mu$ -Kriteriums ist ein weiteres Kriterium für die Anwendung in der Baukalkulation.

Es folgt eine Gegenüberstellung der Ergebnisse aus der Standardkalkulation und der Ergebnisse die mit Hilfe der Entscheidungstheorie ermittelt wurden.

In der nachfolgenden Tabelle sind alle Werte der Standardkalkulation und alle Werte, die mit Hilfe der Entscheidungstheorie ermittelt wurden gegenübergestellt.

Die Tabelle gliedert sich in bekannte Parameter, ermittelte Parameter sowie den daraus resultierenden Endergebnissen. Die angegebenen Werte in der Spalte Entscheidungstheorie beziehen sich auf die Ergebnisse des  $\mu$ -Kriteriums.

Tabelle 12.17 Parameter Kalkulationen

Position	Standardkalkulation	Entscheidungstheorie
<b>Bekannte Parameter</b>		
W/Z – Wert	1,00	1,00
Zementdichte	3,11 g/cm <sup>3</sup>	3,11 g/cm <sup>3</sup>
Dichte Zementsuspension	1,5134 g/cm <sup>3</sup>	1,5134 g/cm <sup>3</sup>
Ziehgeschwindigkeit	500 cm/min	500 cm/min
Manipulationszeit	8 min	8 min
<b>Ermittelte Parameter</b>		
Verpressgeschwindigkeit	20 cm/min	25 cm/min
Bohrgeschwindigkeit	80 cm/min	88 cm/min
Pumprate	175 l/min	230 l/min
Suspensionsverbrauch	872 l/Säule	920 l/Säule
Wasserverbrauch	0,658 to/Säule	0,70 to/Säule
Zementverbrauch	0,658 to/Säule	0,70 to/Säule
Rasterabstand	0,87 m	0,85 m
Säulendurchmesser	1,10 m	1,08 m
Bohrpunkte	1632 Stk	1398 Stk
<b>Endergebnisse</b>		
€/Säule	315,49 €	300,01 €
€/m <sup>2</sup>	514,89 €	419,41 €
<b>Angebotssumme netto</b>	<b>514.890,00 €</b>	<b>419.410,00 €</b>

Wird das Endergebnis „Angebotssumme netto“ der einzelnen Kalkulationen gegenüber gestellt, ist zu erkennen, dass die Differenz der beiden Summen ca. 19 % (ca. 95.000 €) beträgt. Diese basieren auf der Tatsache, dass durch die Anwendung der Entscheidungstheorie ( $\mu$ -Kriterium) alle Eingangsparameter genau berücksichtigt und auf den Entscheider optimal angepasst wurden. Somit ist ein theoretisch richtiges und rationales Handeln gewährleistet, mit den Voraussetzungen kostengünstiges Angebot und eines vorgegebenen Profits. Alle Entscheidungen wurden unter Ausschluss psychologischer Eigenschaften, welche zu unter-

schiedlichen Ergebnissen führen können, getroffen. In diesem Beispiel wäre einem Nutzer der Entscheidungstheorie der Zuschlag zu erteilen.

Die Anwendung der Entscheidungstheorie in der Baukalkulation, im speziellen das  $\mu$ -Kriterium, kann dem Entscheider bzw. dem Kalkulanten eine gute Hilfestellung bieten und ist somit durchaus zu empfehlen.

## 13 Literaturverzeichnis

<http://www.furch-grundbau.de/technik.html>. Datum des Zugriffs: 11.01.2012.

BAMBERG, G.; COENENBERG, A.; KRAPP, M.: Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre. Augsburg. Vahlen, 2008.

DÖRSAM, P.: Grundlagen der Entscheidungslehre. Heidenau. PD-Verlag, 2007.

EISENFÜHR, F.; WEBER, M.: Rationales Entscheiden. Mannheim. Springer, 1999.

J.HARTUNG, : Statistik. München. Oldenbourg, 2005.

JACOB, D.; STUHR, C.; WINTER, C.: Kalkulieren im Ingenieurbau. Freiberg. Vieweg+Teubner, 2010.

KRELLE, W.: Präferenz- und Entscheidungstheorie. Bonn. Tübingen, 1969.

LAUX, H.: Entscheidungstheorie. Berlin. Springer, 2007.

LESNIK, M.: Ermittlung der Reichweite beim Düsenstrahlverfahren. Graz. TUGraz, 2003.

MANZ, K.; DAHAM, A.; HOFFMANN, L.: Band 10 Entscheidungstheorie. Frankfurt. Vahlen, 2000.

NORMUNGSINSTITUT, Ö.: Preisermittlung für Bauleistungen, ÖN B 2061. Wien. ÖNormungsinstitut, 1999.

NORMUNGSINSTITUT, : EN 12716. Wien. Normungsinstitut, 2002.

SIEBEN, G.; SCHILDBACH, T.: Betriebswirtschaftliche Entscheidungstheorie. Köln und Passau. Werner-Verleger, 1994.

VEIT, P.: Betriebswirtschaftslehre Bau. Graz. TUGraz, 2006.

WERKL, M.: Vorlesungsunterlagen Ausschreibung und Kalkulation. Graz. TUGraz, 2011.