Investitionsbeurteilung eines rechnergestützten flexiblen Produktionssystems [1]

1 Ausgangssituation 1
2 Problemstellung 2
3 Stufenweise Problembeurteilung 9
3.1 Investitionsrechnung 10
3.2 Wertsynthese / Nutzenbetrachtung 11
3.3 Gesamtbewertung des Anwendungsbeispiels 11

1 Ausgangssituation

In einem Maschinenbauunternehmen mittlerer Größe werden Ventilgehäuse auf konventionellen, bilanziell vollständig abgeschriebenen Maschinen hergestellt. Diese Fertigung ist vornehmlich noch durch wenig automatisierte Einzelmaschinen bzw. Sondervorrichtungen gekennzeichnet. Nach Möglichkeit wird in Mehrmaschinenbedienung gearbeitet. Aufgrund des Maschinenalters sind die Maschinen dringend ersatzbedürftig.

Gleichzeitig ist aufgrund stark angestiegener Nachfrage am Markt eine Erhöhung der Fertigungskapazität von derzeit 216.000 Stück auf 300.000 Stück erforderlich. Eine Fremdfertigung kommt aus Kostengründen nicht in Frage.

Eingehende Überlegungen zur zukünftigen Fertigungstechnologie führten im Prinzip zu folgenden zwei Varianten:

Variante 1: Ersatz der bestehenden Fertigung durch eine weitestgehend automatisierte, rechnergeführte Fertigungstechnologie (flexibles Produktionssystem) mit Berücksichtigung der erhöhten Fertigungskapazität = Planungsvariante FPS.

Variante 2: Ersatz der bestehenden Fertigung durch technologisch artgleiche Maschinen (konventionelle Fertigungstechnologie) unter Berücksichtigung der erhöhten Fertigungskapazität = Planungsvariante IST-N(EU).

[1] Die Basis dieser Fallstudie: Warnecke, Bullinger, Voegele, Wirtschaftlichkeitsrechnung für Ingenieure, Hanser Verlag, ISBN 3-446-18593-3

Im vorliegenden Fall handelt es sich damit sowohl um eine Ersatz- als auch um eine Erweiterungsinvestition. Würde man mit dem FPS nur den funktionsfähigen IST-N-Zustand ersetzen, dann wäre dies eine reine Rationalisierungsinvestition.

2 Problemstellung

Beide Varianten gehen von einer Kapazitätserweiterung aus. Die relevanten Alternativen sind nicht mehr "Fertigung heute - IST-N" bzw. "Fertigung heute - FPS", sondern der Vergleich von IST-N mit FPS unter Berücksichtigung der erhöhten Kapazität. Aus diesem Grunde werden bei der im Folgenden beschriebenen Investitionsrechnung lediglich die Alternativen IST-N und FPS miteinander verglichen und die entsprechende Differenzinvestition dargestellt. Ein Vergleich der Alternativen mit dem heutigen Zustand entfällt.

Für die erforderliche Investitionsrechnung, die in Form der Kapitalwertmethode durchgeführt werden soll, werden neben dem notwendigen Kapitaleinsatz für die Investitionsalternativen auch die für die Investitionsalternativen relevanten Ein- und Auszahlungen während des gesamten Planungszeitraumes benötigt. In beiden Varianten müssen Investitionsumfang und laufende Zahlungsauswirkungen (Kosten) auf die erhöhte Kapazität von 300.000 Stück ausgerichtet werden. Aufgrund der rechnergeführten Fertigungstechnologie beim FPS besteht die Möglichkeit (bei gleicher Kapazität), auf Marktanforderungen besser reagieren zu können, sodass hier durchschnittlich höhere Preise und damit Mehrerlöse erzielte werden können.

Abschreibungen werden bei der Kapitalwertmethode nur zur Feststellung gewinnabhängiger Steuern berücksichtigt; kalkulatorische Zinsen dürfen in die Rechnung nicht einbezogen werden, da bei der Kapitalwertmethode alle relevanten Ein- und Auszahlungen der Investition auf den Zeitpunkt der ersten finanzwirksamen Zahlung (in der Regel der erste Investitionsbetrag) abgezinst werden.

Bei der Variante FPS wird von einem stufenweisen Ausbau ausgegangen, wie Bild 1 verdeutlicht.

Im ersten Jahr wird ein Bearbeitungszentrum (BAZ), im zweiten Jahr ein zweites und drittes BAZ, im dritten Jahr dann die endgültige Ausbaustufe mit einem vierten BAZ sowie Portalroboter und Leitrechner investiert.

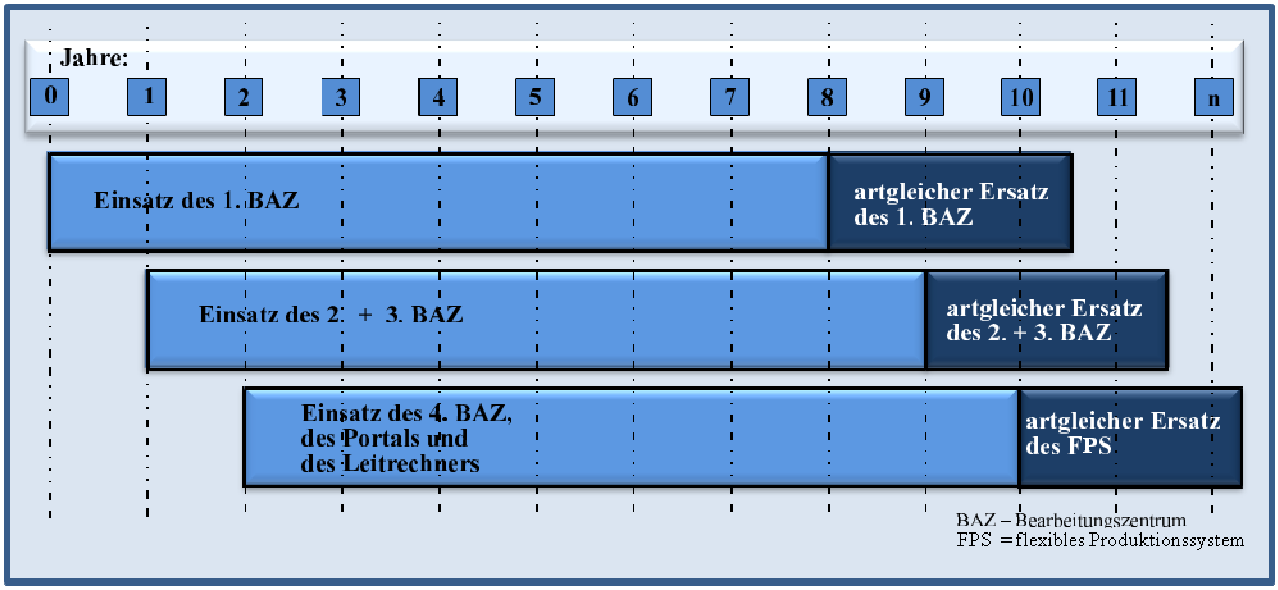

Bild 1: Ausbaustufen der Planungsvariante "flexibles Produktionssystem FPS"

Bei der Variante IST-N wird angenommen, dass die vorhandenen Maschinen entsprechend ihrer Ersatzbedürfigkeit konventionell ersetzt werden. Aufgrund der notwendigen Kapazitätserweiterung wird im dritten Jahr eine entsprechende Zusatzinvestition vorgenommen.

Es wird zunächst davon ausgegangen, dass jeder Anlagenteil 8 Jahre nutzbar ist und dann sukzessiv durch einen gleichwertigen Anlagenteil ersetzt wird. Aus Vereinfachungsgründen wird jedoch bei Durchführung der Investitionsrechnung eine jeweilige Nutzungszeit der Maschinen bis zum Ende des Planungshorizontes nach 10 Jahren angenommen.

a) Einmalige Wirkungen

	2008		2009		2010		2011		2012		Gesamt	
Wirkungsstruktur	IST-N	FPS	IST-N	FPS	IST-N	FPS	IST-N	FPS	IST-N	FPS	IST-N	FPS
Gesamtanlage	0	474	450	1198	1125	977	0	0	0	0	1575	2649
Schrott / Verkaufs-erlös	0	- 22	- 15	- 44	- 20	- 11	0	0	0	0	- 35	- 77
Installationskosten	0	25	15	50	40	80	0	0	0	0	55	155
Test-/Probeläufe	0	12	0	12	0	106	0	0	0	0	0	130
Systemsoftware	0	0	0	85	0	170	0	0	0	0	0	255
Planung, Projekt	0	187	0	0	0	0	0	0	0	0	0	187
Fundamente	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
Ver-/Entsorgung	0	77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	77
Vorricht. u.Paletten	0	100	0	50	0	0	0	0	0	0	0	150
Schnittst. Software	0	0	0	46	0	92	0	0	0	0	0	138
Schulungen	0	30	0	15	0	104	0	0	0	0	0	149
Fertigungsablauf	0	24	0	24	0	200	0	0	0	0	0	248
Halbfabrikate	0	- 34	0	- 67	0	- 100	0	0	0	0	0	- 201
Fertigfabrikate	0	0	0	0	0	0	0	- 350	0	- 362	0	- 712
Ersatzteile	0	- 3	0	- 4	0	- 8	0	0	0	0		- 15
Finanzmittel-bindung der Investition	0	890	450	1365	1145	1610	0	- 350	0	- 362	1595	3153
zusätzliche Finanz-mittelbindung des FPS gegenüber IST-N		890		915		465		- 350		- 362		1558

Bild 2: Zusammenfassung der Einmalzahlungen (Finanzmittelbindung) - Übersicht (Werte in T€)

b) laufende Wirkungen:

Bild 3 zeigt die aus den laufenden Wirkungen resultierenden Auszahlungen für die beiden Varianten IST-N und FPS. Für die einzelnen Positionen sind entsprechend der Nummerierung der Einzelwirkungen im Anhang zunächst die Bezugsmengen für die Kostenentwicklungen angegeben, die sich entsprechend des stufenweisen Ausbaus der FPS bzw. der ab dem 4. Jahr wirksamen Kapazitätserweiterung bei beiden Varianten entwickeln lassen. Durch Multiplikation der Mengeneinheit mit ihren Preisen, die mit 3 % p. a. inflationiert wurden, erhalten wir die Werte der einzelnen Positionen. Aus der Differenzierung der Werte der Varianten IST-N abzüglich FPS errechnet sich das Delta: Ein positives

Vorzeichen weist auf Einsparungen beim FPS, ein negatives Vorzeichen auf zusätzliche Kosten hin.

Die aus der Fertigungsdurchführung entstehenden Einsparungen bedürfen einer Erläuterung: Die jährlichen relevanten Fertigungskosten des IST-N, die aus der Kostenstellenrechnung ermittelt werden können, betragen im Ausgangsjahr (2008) bei einer Ausbringung von 216.000 Stück 1.265 T€. Für ein einzelnes Bearbeitungszentrum, das 25 % der bisherigen Fertigungskapazität übernehmen kann, fallen 205 T€ pro Jahr an.

Unter den Annahmen:

- Inflation 3 % p. a.
- stufenweiser Aufbau des FPS bei entsprechender Ablösung des IST-N,
- Kapazitätssprung von 216.000 auf 300.000 Stück wird ab 2011 wirksam (wenn die BAZs verkettet sind),
- die Fertigungskosten 1996 sind jeweils zu 30 % variable und zu 70 % fix

errechnen sich folgende Fertigungskosten bzw. Einsparungen zugunsten des FPS (Werte in T€):

	IST-N	FPS	DELTA
2008	1.265	1.153	112
2009	1.303	959	344
2010	1.342	870	472
2011	1.543	1.000	543

		Mengenermittlung				Wertermittlung			
Wirkungs-struktur	Jahr	Einhei-ten	IST-N	FPS	Delta	€/Eh	IST-N T€	FPS T€	Delta T€
Vermögens-steuer / Versicherung	2008 2009 2010 2011	geschätzt					17,0 17,0 17,0 18,0	16,8 16,5 16,0 12,0	0,2 0,5 1,0 6,0
Raum-kosten	2008 2009 2010 2011	qm	850 850 850 900	850 880 920 950	0 - 30 - 70 - 50	510,00 525,30 541,06 557,29	433,5 446,5 459,9 501,6	433,5 462,3 497,8 529,4	0,0 - 15,8 - 37,9 - 27,8
Kosten der Lagerführung	2008 2009 2010 2011	Lose p.a.	308 308 308 400	365 365 422 535	- 57 - 57 - 114 - 135	36,00 37,08 38,19 39,34	11,1 11,4 11,8 15,7	13,1 13,5 16,1 21,0	- 2,0 - 2,1 - 4,3 - 5,3
Kosten für Ein-/Aus-lagerungen	2008 2009 2010 2011	Lose p.a.	308 308 308 400	365 365 422 535	- 57 - 57 - 114 - 135	15,00 15,45 15,91 16,39	4,6 4,8 4,9 6,5	5,5 5,6 6,7 8,8	- 0,9 - 0,8 - 1,8 - 2,3
Kosten für Transport	2008 2009 2010 2011	Mann-jahre	10,0 11,0 11,0 13,0	9,8 10,6 10,4 11,0	0,2 0,4 0,6 4,0	40.000 41.200 42.436 43.709	400,0 453,2 466,8 568,2	392,0 436,7 441,3 480,8	8,0 16,5 25,5 87,4
Ver-schrottung	2008 2009 2010 2011	Stück p.a.	1080 1080 1080 1500	864 864 864 1200	216 216 216 300	40,00 41,20 42,44 43,71	43,2 44,5 45,8 65,6	34,6 35,6 36,7 52,5	8,6 8,9 9,1 13,1
Fertigungs-Durchfüh-rung	2008 2009 2010 2011	Werte entsprechend einleitendem Text					1265 1303 1342 1543	1153 959 870 1000	112 344 472 543
System-ausfälle	2008 2009 2010 2011	geschätzt					0,0 0,0 0,0 0,0	0,0 0,0 140,0 144,2	0,0 0,0 - 140,0 - 144,2
Kosten für Auftrags-verfolgung	2008 2009 2010 2011	Afo p.a.	4372 4372 4372 6072	4028 3340 3340 1376	344 1032 1032 4696	25,50 26,27 27,05 27,86	111,5 114,8 118,3 169,2	102,7 87,7 90,4 38,3	8,8 27,1 27,9 130,9
Ausschuss Nacharbeit	2008 2009 2010 2011	Stück p.a.	5400 5400 5400 7500	5160 5160 4900 4400	250 250 500 3100	21,80 22,45 23,13 23,82	117,7 121,3 124,9 178,7	112,3 115,6 113,3 104,8	5,4 5,7 11,6 73,9
Eil-bestellung	2008 2009 2010 2011	Best. p.a.	150 150 150 210	143 143 135 120	8 8 15 90	100,00 103,00 106,09 109,27	15,0 15,5 15,9 22,9	14,3 14,7 14,3 13,1	0,7 0,8 1,6 9,8

Bild 3: Zusammenfassung der laufenden Wirkungen bis 2011

Nach dem voll funktionierenden Einsatz des FPS kann im Vergleich zum IST-N angenommen werden, dass schneller und besser auf Marktgeschehnisse reagiert werden kann, wodurch im Einzelfall gegenüber der Konkurrenz Preisvorteile erzielbar sind.

In Absprache mit dem Vertrieb werden die daraus resultierenden Erlösverbesserungen über das gesamte Teilespektrum mit 68.000,-- € eingeschätzt.

Bisher sind solche Wirkungen der Investitionsentscheidung außer Betracht geblieben, die sich nicht - oder nur mit unvertretbar hohem Aufwand - monetär bewerten lassen. Um nun überprüfen zu können, ob dabei Beurteilungsgesichtspunkte außer Acht gelassen wurden, die für die eine oder andere Investitionsalternative bei dem geplanten rechnergestützten Produktionssystem in ihren Auswirkungen von erheblicher Bedeutung wären, ist für das Anwendungsbeispiel eine Nutzwertanalyse durchzuführen. Hierzu wurde der in Bild 4 ersichtliche Kriterienbaum mit Erfüllungswerten, von den am Projekt beteiligten Personen erstellt.

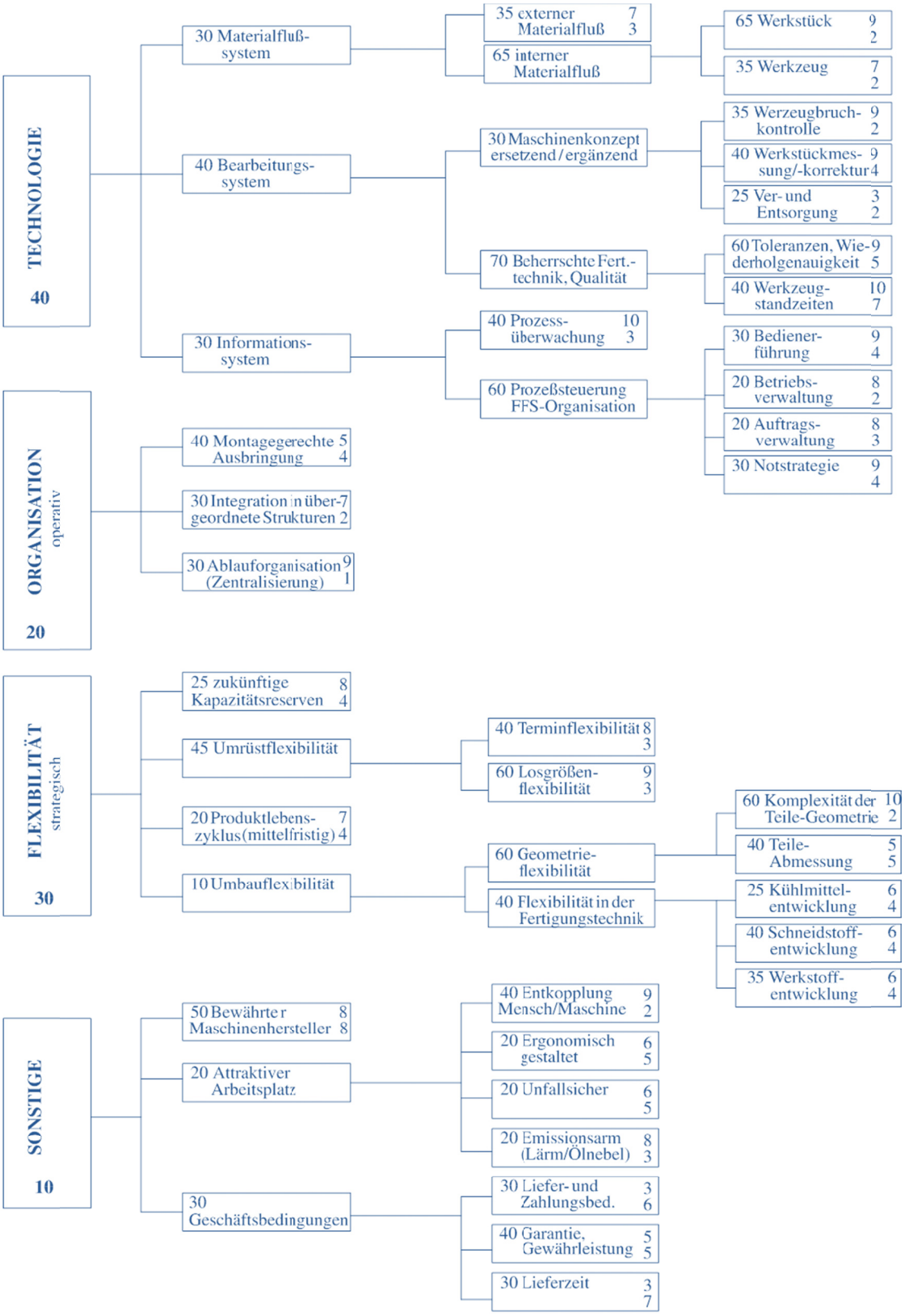

Bild 4: Kriterienbaum mit Erfüllungswerten

3 Stufenweise Problembeurteilung

Bild 5 gibt einen Überblick über die Unterschiedsbeiträge (Deltas) aus Bild 3 sowie den erzielbaren Mehrerlös für die Jahre 2008 - 2011. Beim Übertrag wurden die Werte auf volle T€ kaufmännisch gerundet. Es ist zu beachten, dass ein Differenzbetrag von z.B. 1.000,-- € wegen der vorhandenen Planungsunsicherheit rechnerisch außer Ansatz bleiben könnte. Da sich jedoch eine solche Differenz aus relativ hohen Ausgangswerten ergeben kann, sollten auch diese Beträge der Vollständigkeit halber mitgeführt werden.

Wirkungsstruktur (Ist N, FPS)	**Delta 2008**	**Delta 2009**	**Delta 2010**	**Delta 2011**
Vermögenssteuer, Versicherungen	0,2	0,5	1	6
Raumkosten	0	- 16	- 38	- 28
Kosten für Lagerführung	- 2	- 2	- 4	- 5
Kosten für Ein-/Auslagerungen	- 1	- 1	- 2	- 2
Kosten für Transport	8	17	26	87
Verschrottung	9	9	9	13
Fertigungsdurchführung	112	344	472	543
Systemausfälle	0	0	- 140	- 144
Aufwand für Auftragsverfolgung	9	27	28	131
Ausschuss, Nacharbeit	5	6	12	74
Eilbestellung	1	1	2	10
Mehrerlös durch bessere Lieferfähigkeit	0	0	0	68
Summe der Änderung der lfd. Wirkungen = Finanzmittelrückfluss	141	386	366	753

Bild 5 Überblick über die Differenzen zwischen IST-N und FPS im Zeitablauf (PLUS-Werte: Einsparungen zugunsten des FPS, MINUS-Werte: entsprechende Mehrkosten)

3.1 Investitionsrechnung

Bild 6 zeigt nun die Durchführung der Investitionsrechnung mithilfe der Kapitalwertmethode. In Zeile 1 wurde aus Bild 2 das Delta der Finanzmittelbindung (das aus den Einmalwirkungen resultiert) übernommen. Zeile 2 weist den aufsummierten Finanzmittelrückfluss lt. Bild 5 aus. Hierbei ist zu beachten, dass die Werte ab 2012 aus dem Betrag des Jahres 2011 unter Berücksichtigung einer 3 %igen Inflationsrate fortgeschrieben wurden.

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Delta d. Finanzmittel-bindung	- 890	- 915	- 465	350	362					
Summe der Änderungen der lfd. Wirkungen	141	386	366	753	776	799	823	848	873	899
Saldo aus Finanzmittel-rückfluss abzgl. -bindung	- 749	- 529	- 99	1103	1138	799	823	848	873	899
Abzinsungs-faktor bei 8%	0,926	0,857	0,794	0,735	0,681	0,630	0,583	0,540	0,500	0,463
abgezinster Saldo aus Finanzmittel bindung u. -rückfluss	- 694	- 453	- 79	811	775	503	480	458	437	416
kum. abge-zinster Saldo Finanzmittel bindung + -rückfluss = **Kapitalwert**	- 694	- 1147	- 1226	- 415	360	863	1343	1801	2238	2654

Bild 6: Kapitalwerte der Differenz-Investitionen FPS/IST-N

Die Differenz des Finanzmittelrückflusses abzüglich der Finanzmittelbindung in Zeile 3 stellt den für die Differenz-Investition relevanten Zahlungsfluss dar, der auf Anfang 2008 (alle Zahlungen sind vereinfachend zum Jahresende angenommen) abgezinst werden muss. Der Abzinsungsprozentsatz sollte sich nicht allein am Marktzins für Finanzanlagen orientieren. Es sollte vielmehr ein Satz gewählt werden, der im Unternehmen, je nach Geschäftsfzweig und Marktlage, erzielbar bzw. wünschenswert ist.

Durch Addition der abgezinsten Zahlungen erhalten wir den Kapitalwert (letzte Zeile von Bild 6). Der Kapitalwert der Differenz-Investiton wird im 5. Jahr (2012) positiv, d. h. der gewünschte Zinsfuß wird erwirtschaftet. Ebenfalls bedeutet dies, dass sich das flexible Produktionssystem im Vergleich zum erweiterten IST-N im 5. Jahr amortisiert (dynamische Amortisationszeit). Innerhalb von 10 Jahren wird ein Kapitalwert von 2.654 T€ erzielt.

3.2 Wertsynthese / Nutzenbetrachtung

Das folgende Bild 7 zeigt die Wertsynthese, d. h. die Verknüpfung von Gewichten und Erfüllungswerten zu den Nutzwerten.

Man erkennt anhand der Wertsynthese eindeutig, dass dem flexiblen Produktionssystem der Vorzug zu geben ist. Der Abstand zwischen beiden Alternativen ist so deutlich, dass sich eine Sensibilitätsanalyse erübrigt.

3.3 Gesamtbewertung des Anwendungsbeispiels

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde beim vorgestellten Rechenbeispiel für das FPS nur eine Alternative gewählt, während in der Praxis normalerweise allein schon wegen der Einholung mehrerer Angebote auch mehrere technische Alternativen zu bewerten sein werden. Um eine Entscheidung im Falle unseres Rechenbeispiels zu treffen, brauchte man daher auch im Grunde genommen nicht das beschriebene Bewertungsdiagramm.

Trotzdem soll als Anleitung für komplexere Investitionsfälle in der Praxis die Positionierung der beiden Investitionsalternativen "FPS" und IST-N" im Bewertungsdiagramm dargestellt werden.

Zunächst einmal wäre beim Anwendungsbeispiel über die jeweils mit 1 bzw. 100 % anzusetzenden Idealwerte für die technische und die wirtschaftliche Wertigkeit zu entscheiden. Bei der technischen Wertigkeit könnte man als ideal den Fall ansehen, dass die Zielwerte aller Teilnutzwerte 10 betragen; dann ergibt sich nach der Tabelle "Wertsynthese" Bild 7 ein höchstmöglicher Wert von 1.000, der 100 % bzw. 1,0 in unserem Diagramm entspricht.
Die technische Wertigkeit des FPS liegt danach bei 0,79, die entsprechende Zahl für IST-N bei 0,37.

Kriterien		**Alternative 1** konvent. System		**Alternative 2** flex. Produkt.-ystem	
	Gewichtg.	ZW	TN	ZW	NW
Technologie					
externer Materialfluss	4,2 %[1)]	3	12,6	7	29,4
Werkstück	5,1 %	2	10,2	9	45,9
Werkzeug	2,7 %	2	5,4	7	18,9
Werkzeugbruchkontrolle	1,7 %	2	3,4	9	15,3
Werkstückmessung/-kontrolle	1,9 %	4	7,6	9	17,1
Ver- u. Entsorgung	1,2 %	2	2,4	3	3,6
Toleranzen/Wiederholungen	6,7 %	5	33,5	9	60,3
Werkzeugstandzeit	4,5 %	7	31,5	10	45,0
Prozessüberwachung	4,8 %	3	14,4	10	48,0
Bedienerführung	2,2 %	4	8,8	9	19,8
Betriebsmittelverwaltung	1,4 %	2	2,8	8	11,5
Auftragsverwaltung	1,4 %	3	3,2	8	11,5
Notstrategie	2,2 %	4	8,8	9	19,4
	40 %		**144,6**		**345,7**
Organisation					
montagegerechte Ausbringung	8,0 %	4	32,0	5	40,0
Integration übergeord. S.	6,0 %	2	12,0	7	42,0
Ablauforganisation	6,0 %	1	6,0	9	54,0
	20 %		**50,0**		**136,0**
Flexibilität					
zukünft. Kapazitätsreserve	7,5 %	4	30,0	8	60,0
Terminflexibilität	5,4 %	3	16,2	8	43,2
Losgrößenflexibilität	8,1 %	3	24,3	9	72,9
Produkt-Lebenszyklus	6,0 %	4	24,0	7	42,0
Komplexität Teilegeometrie	1,1 %	2	2,2	10	10,8
Teileabmessung	0,7 %	5	3,5	5	3,6
Kühlmittelentwicklung	0,3 %	4	1,2	6	1,8
Schneidstoffentwicklung	0,5 %	4	2,0	6	2,9
Werkstoffentwicklung	0,4 %	4	1,6	6	2,5
	30 %		**105,0**		**239,7**
Sonstige					
Bewährter Hersteller	5,0 %	8	40,0	8	40,0
Entkopplung Mensch/Maschine	0,8 %	2	1,6	9	7,2
Ergonomie	0,4 %	5	2,0	6	2,4
Unfallsicherheit	0,4 %	5	2,0	6	2,4
Emissionen	0,4 %	3	1,2	8	3,2

Liefer-/Zahlungsbedingungen	0,9 %	6	5,4	3	2,7
Garantie/Gewährleistung	1,2 %	5	6,0	5	6,0
Lieferzeit	0,9 %	7	6,3	3	2,7
	10 %		**64,5**		**66,6**
Summe	**100 %**		**365,1**		**788,0**
Absoluter Nutzen		36,5 %		78,8 %	
Relativer Nutzen		46 %		100 %	
Rang		**2**		**1**	

Bild 7: Wertsynthese (ZW = Zielwert (0 - 10), TN = Teilnutzen) [1] **0,40 * 0,30 * 0,35 = 4,2 %**

Bei der wirtschaftlichen Wertigkeit auf der Grundlage der Kapitalwertmethode besteht der Rechenzweck darin festzustellen, "welches Projekt in welcher Zeit den höchsten Kapitalwert erreicht". Als Idealfall könnte z. B. gelten, dass ein Investitionsvorhaben innerhalb von 4 Jahren den Ausgleich zwischen abgezinsten Ausgaben und Einnahmen, also den Kapitalwert 0, erreichen soll. Dies würde im Anwendungsbeispiel von der Alternative FPS nicht ganz erreicht. (vgl. Bild 6), sodass die wirtschaftliche Wertigkeit bei rd. 0,9 anzusetzen ist.

Da die Investitionsberechnungen auf einem relativen Vergleich der Zahlungsströme des FPS zu IST-N aufgebaut sind (Ermittlung lediglich der Unterschiedsbeträge/Delta), ergeben sich für IST-N weder Kostenersparnisse noch Zusatzgewinne, sodass die wirtschaftliche Wertigkeit von IST-N mit 0 anzusetzen ist.

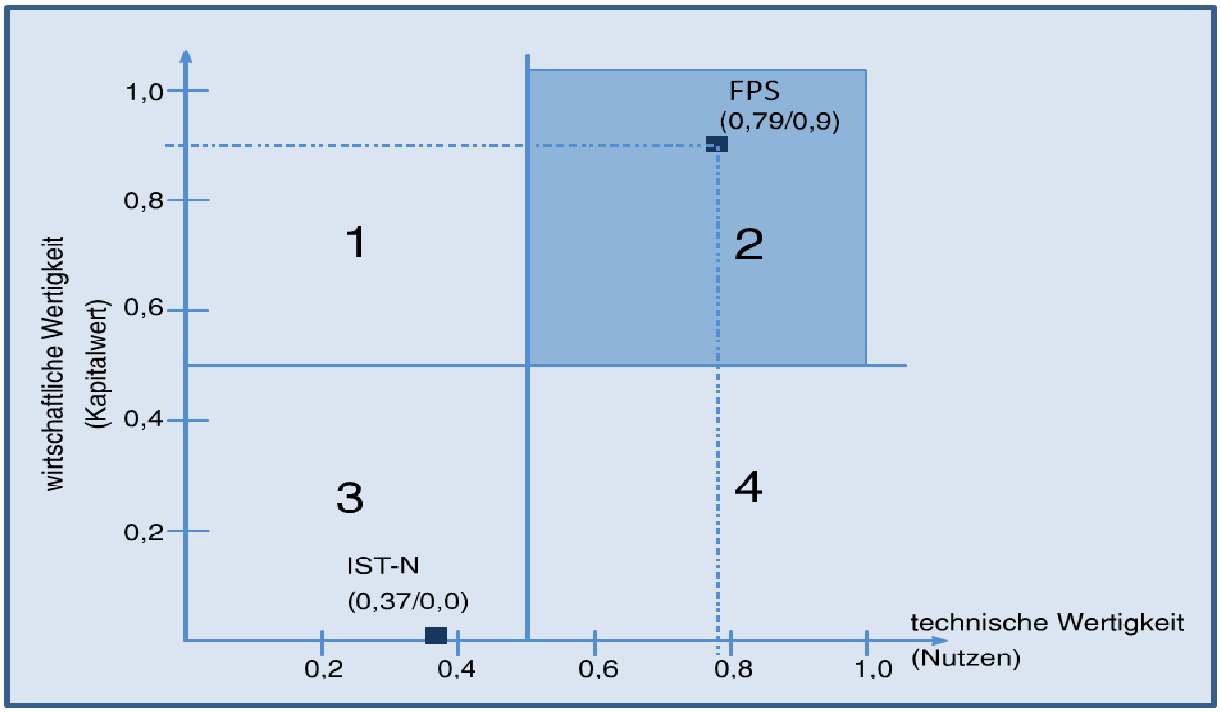

Bild 8: Einordnung des Fallbeispiels in das Bewertungsdiagramm „techn./wirtschaftl. Wertigkeit“