

Kesten, Ralf

**Working Paper**

## Praxismodell zum Controlling von Ersatzinvestitionen bei mobilen Fertigungsmaschinen

Arbeitspapiere der Nordakademie, No. 2015-01

**Provided in Cooperation with:**

Nordakademie - Hochschule der Wirtschaft, Elmshorn

*Suggested Citation:* Kesten, Ralf (2015) : Praxismodell zum Controlling von Ersatzinvestitionen bei mobilen Fertigungsmaschinen, Arbeitspapiere der Nordakademie, No. 2015-01, Nordakademie - Hochschule der Wirtschaft, Elmshorn

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/110350>

**Standard-Nutzungsbedingungen:**

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

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

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

**Terms of use:**

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

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

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



# **ARBEITSPAPIERE DER NORDAKADEMIE**

**ISSN 1860-0360**

**Nr. 2015-01**

## **Praxismodell zum Controlling von Ersatzinvestitionen bei mobilen Fertigungsmaschinen**

**Prof. Dr. Ralf Kesten**

**April 2015**

Eine elektronische Version dieses Arbeitspapiers ist verfügbar unter:  
[www.nordakademie.de/de/arbeitspapiere/](http://www.nordakademie.de/de/arbeitspapiere/)



Köllner Chaussee 11  
25337 Elmshorn  
[www.nordakademie.de](http://www.nordakademie.de)

Ralf Kesten

# Praxismodell zum Controlling von Ersatzinvestitionen bei mobilen Fertigungsmaschinen

## Angaben zum Autor

Prof. Dr. Ralf Kesten, Professor für Rechnungswesen, Controlling und Corporate Finance, Nordakademie – Hochschule der Wirtschaft gAG, Kölner Chaussee 11, 25337 Elmshorn, E-Mail: ralf.kestens@nordakademie.de

---

## Abstract

Der Beitrag skizziert ein monetäres Rechenmodell zum Controlling des Anlagenersatzes am Beispiel mobiler Fertigungsmaschinen. Nach Beschreibung der im Praxisbeispiel verwendeten Daten wird gezeigt, wie sich die langfristig optimale Nachfolgemaschine identifizieren lässt, wann diese die bestehende Maschine ersetzen und ob eine anstehende Reparaturmaßnahme noch durchgeführt werden sollte.

---

## Der optimale Anlagenersatz als praktische Problemstellung in Industrieunternehmen

Für anlagenintensive Industrieunternehmen stellt sich oftmals das praktische Problem, sowohl die Reparaturkosten von Maschinen als auch deren Ersatzbeschaffung zu optimieren. Optimierungsüberlegungen können einerseits primär die jederzeitige technische Funktionsfähigkeit in den Mittelpunkt der Überlegungen stellen; der Betrieb soll also insbesondere „laufen“ und die anstehenden Produktionsaufgaben, die sich an aktuellen Absatzprognosen orientieren, sachgerecht erfüllen. Diese wichtige Aufgabe obliegt in der Praxis vielfach den technischen Abteilungen. Andererseits verursacht das jederzeitige „Laufen-können“ Kosten bzw. Auszahlungen, die die Ergebnisposition von Unternehmen belasten. Deshalb sollten Produktionsprozesse nicht nur technisch, sondern nach Möglichkeit auch „wirtschaftlich“ laufen. Mit „wirtschaftlichem Laufen“ kennzeichnet man eine Situation, bei der der Aspekt der Einkommenserzielung im Mittelpunkt der Analyse steht. Nach Ansicht des Verfassers sollte dies eine Kernkompetenz von Controllern darstellen. Auf Basis eines Praxisbeispiels für mobile Produktionsmaschinen (hier: Bohrwagen) wird eine Lösungsidee zur Identifizierung optimaler Ersatzinvestitionen sowie optimaler Ersatztermine im Rahmen des Going-concerns angeboten, die auf einem Modell der dynamischen Investitionsrechnung basiert, das in eine Tabellenkalkulation integriert ist. Das im Folgenden zu erläuternde Modell gibt Antworten auf folgende Fragen:

- Lohnt sich der Weiterbetrieb eines vorhandenen und ggf. zu reparierenden Bohrwagens („Defender“) für die nächsten drei Planjahre oder soll er durch einen neuen Bohrwagen (Nachfolger) ersetzt werden? Anders formuliert: Lohnt die ggf. anstehende Reparaturmaßnahme für das Bestandsobjekt?
- Durch welchen Nachfolger sollte der bestehende Bohrwagen ggf. ersetzt werden? Sollte er durch ein identisches (neuer „Defender“) oder durch ein technisch verbessertes Nachfolgemodell („Challenger“) ersetzt werden?
- Wann ist der bestehende Bohrwagen innerhalb der nächsten drei Planjahre durch seinen Nachfolger auszutauschen?

Die ersten beiden Abbildungen zeigen die erforderlichen Dateneingaben für das mittels Microsoft-EXCEL erstellte Rechen- bzw. Optimierungsmodell.

**Abbildung 1: Originäre Plandaten für zwei Bohrwagentypen**

	"Defender"		"Challenger"
<b>Projektbezeichnung:</b>	BW 50		BW 51
<b>Projektnummer:</b>	B.081542		B.081542
<b>Techn. Platz:</b>	SI-1548-1485-210		SI-1548-1485-9120
<b>Jahr des Projektbeginns (1.1.):</b>	2010		2015
<b>Technische Nutzungsdauer:</b>	8	Jahre	6
<b>Jahr des Projektendes (31.12.):</b>	2017		2020
<b>Kalkulationszinssatz:</b>	10,00%		
	<b>Plandaten</b>		<b>Plandaten</b>
<b>Bohrmeter je Betriebsstunde:</b>	15	Bm/h	18
<b>max. Stundenauslastung p.a.</b>	1.000	h/a	1.200
<b>Ausfallzeit pro Jahr</b>	200	Ah/a	200
<b>Betriebsstunden pro Jahr:</b>	800	Bh/a	1.000
<b>Auslastung pro Jahr:</b>	80%		83%
<b>Bohrmeter pro Jahr:</b>	12.000	Bm/a	18.000
<b>Bohrmeter im Lebenszyklus</b>	96.000	Bm/ND	108.000

Quelle: Eigene Darstellung

Abb. 1 zeigt die Eingabe originärer Plandaten für den bestehenden Bohrwagen „Defender“ sowie für den potentiellen Nachfolge Kandidaten „Challenger“. Bei dem seit 2010 im Einsatz befindlichen „Defender“ stellen die Plandaten die zum damaligen Anschaffungszeitpunkt bekannten bzw. erwarteten Ausprägungen der in Abb. 1 aufgeführten technischen Kennzahlen dar. Diese Plandaten auf damaligem Wissensstand können bzw. werden sich nach Anschaffung und Inbetriebnahme verändert haben. Folglich erscheint es geboten, die „technische Kennzahlenhistorie“ genau zu dokumentieren, um auch bspw. die Herstellerangaben, die u.a. für die Gewinnung der originären Plandaten genutzt werden, im Zeitablauf überprüfen zu können. Die „technische Datenhistorie“ des bestehenden „Defenders“ zeigt Abb. 2.

**Abbildung 2: Technische Datenentwicklung beim bestehenden „Defender“**

Tag.Monat.		01.01.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.
Jahr		2010	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Investitionszeitpunkt (t=...)		t=0	1	2	3	4	5	6	7	8
Art der Werteingabe (IST od. HS)			IST	IST	IST	IST	IST/HS	HS	HS	HS
<b>max. Stundenauslastung p.a.</b>	h/a		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
<b>Ausfallzeit pro Jahr</b>	Ah/a		200	200	200	300	200	200	200	200
<b>Betriebsstunde pro Jahr</b>	Bh/a		800	800	400	400	750	700	700	701
<b>nicht genutzte Betriebsstunden</b>	h/a		0	0	400	300	50	100	100	99
<b>Auslastung pro Jahr</b>	%		80%	80%	40%	40%	75%	70%	70%	70%
<b>Bohrmeter pro Jahr</b>	Bm/a		10.000	9.000	10.000	3.000	10.000	10.000	10.000	10.000
<b>Bohrmeter pro Betriebsstunde</b>	Bm/Bh		13	11	25	8	13	14	14	14
<b>Bohrmeter kum.</b>	Bm		10.000	19.000	29.000	32.000	42.000	52.000	62.000	72.000
<b>Betriebsstunden kum.</b>	Bh		800	1.600	2.000	2.400	3.150	3.850	4.550	5.251
<b>durch. Bohrmeter/Bh per t</b>	Bm/Bh		13	12	15	13	13	14	14	14
<b>Betriebsstundenpotential p.a.</b>	Bh/a		800	800	800	700	800	800	800	800
<b>Betriebsstundenpotential kum per t</b>	Bh		800	1.600	2.400	3.100	3.900	4.700	5.500	6.300
<b>durch. Betriebsstundenpotential p.a.</b>	Bh/a		800	800	800	775	780	783	786	788
<b>Index techn. Fortschritt "Challenger"</b>		1,67								

Quelle: Eigene Darstellung

Neben den Ist-Daten werden auch künftige potentielle Nutzungsjahre hochgeschätzt (bspw. durch Orientierung an einer Mittelfristplanung). Hier im Beispiel haben die Daten der Jahre 2014 bis 2017 Hochschätzungscharakter (HS). Das gerade ablaufende Jahr 2014 wird in der Praxis sowohl Ist- als auch HS-Daten beinhalten. Besonders hervorzuheben in Abb. 2 ist der Index des technischen Fortschritts für das potentielle Nachfolgeobjekt „Challenger“. Dieser Index hat zum Ziel, zwischen „Defender“ und „Challenger“ bei der Frage der Identifikation des optimalen Nachfolgeobjektes eine „Leistungsvergleichbarkeit“ herzustellen: Bedingt durch technischen Fortschritt ist i.d.R. der „Challenger“ leistungsfähiger im Sinne einer höheren Periodenkapazität (hier: Bohrmeter pro Jahr). Der im folgenden vorzunehmende Vergleich zur Beantwortung der Frage, welches potentielle Nachfolgeobjekt (identischer „Defender“

oder neuer „Challenger“?) das bestehende Objekt ersetzen sollte, muß die Periodenkapazität annähernd vergleichbar gemacht werden. Dies kann geschehen, indem man die Plandaten „Bohrmeter pro Jahr“ (vgl. Abb. 1) von beiden Objekten zueinander in Beziehung setzt. Nun basieren die Plandaten u.a. auf Idealangaben seitens der Hersteller; diese können hinsichtlich des bestehenden „Defenders“ von den tatsächlichen bzw. hochgeschätzten Bohrmeterdaten im Praxiseinsatz abweichen. Deshalb wurden die Plandaten des „Defenders“ durch Ist- und Hochschätzungsdaten über den Anlagenlebenszyklus ersetzt und zur Indexberechnung herangezogen. Dies zeigt sich in Abb. 2 in den Zeilen „durchschnittliche Bohrmeter/Bh per t“ und „durchschnittliches Betriebsstundenpotential p.a.“, die in  $t=T=8$  (Endzeitpunkt der erwarteten technischen Nutzungsdauer) miteinander multipliziert werden. Formal gilt für den Index:

$$(1) \text{ Index} = \frac{Bm_{t,Challenger}^{Plan}}{\left(\frac{Bm^{Ist/HS}}{Bh^{Ist/HS}}\right)_{\phi,Defender} \cdot BhP_{\phi,Defender}^{Ist/HS}}, \text{ mit: } \left(\frac{Bm^{Ist/HS}}{Bh^{Ist/HS}}\right)_{\phi,Defender} = \frac{\sum_{t=1}^T Bm_{t,Defender}}{\sum_{t=1}^T Bh_{t,Defender}}$$

$$\text{und } BhP_{\phi,Defender}^{Ist/HS} = \frac{\sum_{t=1}^T (Bh_t + ngBh_t)}{T}.$$

**Abbildung 3: Legende zum Index technischer Fortschritt „Challenger“**

$Bm_t$	Bohrmeter pro Jahr
$Bh_t$	Betriebsstunden pro Jahr
$ngBh_t$	nicht genutzte Betriebsstunden pro Jahr
$BhP$	Betriebsstundenpotential pro Jahr (maximale Stunden – Ausfallzeit)

Quelle: Eigene Darstellung

Im Beispiel ergibt sich ein (dimensionsloser) Index von rd. 1,67. Dies bedeutet, daß die über den Anlagenlebenszyklus erwarteten durchschnittlichen Bohrmeter pro Jahr beim „Defender“ bei ca. 10.800 Bm p.a. liegen und die originären Plandaten von 12.000 Bm p.a. voraussichtlich nicht erreicht werden. Den Gründen hierfür ist nachzugehen.

Bei der technischen Datenerhebung interessieren aus Controllingsicht zudem die gelaufenen Betriebsstunden, die realisierten Bohrmeter und die Auslastung in den einzelnen Perioden, da dies Signale für eine Ressourcenausnutzung sind: Anlagen, die eine relativ geringe Auslastung bzw. einen hohen Anteil nicht genutzter Betriebsstunden aufweisen, deuten auf eine zu hohe Ressourcen- bzw. Anlagenausstattung hin, die es zu hinterfragen gilt. Auf die möglichen Gründe (bspw. Rückgang der Produktion aufgrund sinkender Nachfrage, unzureichende Ablauforganisation im laufenden Betrieb u.a.m.) soll hier nicht näher eingegangen werden.

Die technische Dimension des „Defenders“ ist zudem um seine finanzielle Dimension zu ergänzen, die Abb. 4 wiedergibt: Neben dem Anschaffungs- bzw. Investitionsbetrag im damaligen Anschaffungszeitpunkt werden die erwartete Liquidationserlös- sowie die durch den Betriebseinsatz entstandene bzw. künftig erwartete cashwirksame Kostenentwicklung wiedergegeben.

Die Liquidationserlösentwicklung zeigt, welche Finanzmittel bei angenommenem Verkauf des „Defenders“ in der jeweiligen Periode erzielt werden könnten. Neben positiven Erlösbestandteilen sind hier auch Auszahlungen im Zusammenhang mit dem Ausscheiden des Objektes einzutragen (Abtransport aus der Produktion, Verschrottungskosten u.a.m.). Bei Bohrwagen ist es fraglich, ob sich in allen Nutzungsperioden ein positiver Veräußerungserlös erzielen läßt, da es sich hierbei um Spezialanlagen handelt, für die ein organisierter Sekundärmarkt i.d.R. nicht existiert. Das Ausscheiden kann deshalb auch zu negativen Erlösen führen.

**Abbildung 4: Finanzielle Daten zum bestehenden „Defender“**

Tag.Monat.		01.01.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.
Jahr		2010	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Investitionszeitpunkt (t=...)		t=0	1	2	3	4	5	6	7	8
Art der Werteingabe (IST od. HS)	TEUR	IST	IST	IST	IST	IST	IST/HS	HS	HS	HS
Investition (Anlagenzugang)	TEUR	500								
Nebenkosten	TEUR	0								
Investitionszulage/-förderung	TEUR		50							
Projektbetrag in t	TEUR	500	-50	0	0	0	0	0	0	0
Projektbetrag kumuliert per t	TEUR	500	450	450	450	450	450	450	450	450
Erwartete Liquidationserlösentwicklung je t	TEUR	500	300	200	200	150	100	0	-50	-50
Betriebskosten/Betriebsstunde	T/h		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Betriebskosten	TEUR		8	8	4	4	8	7	7	7
Personalkosten je Mitarbeiter je Maschine	T/h		40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
Personalkosten	TEUR		32	32	16	16	30	28	28	28
Instandhaltungskosten	TEUR		30	30	30	30	30	30	30	30
Sonderreparaturkosten	TEUR		50	0	100	200	100	300	0	200
Kostenveränderung in t	TEUR		120	70	150	250	168	365	65	265
Kostenveränderung kumuliert per t	TEUR		120	190	340	590	758	1.123	1.188	1.453

Quelle: Eigene Darstellung

Insbesondere für die Untersuchung der Fragestellung „Reparatur oder Ersatz“ kommt, neben dem erwarteten Verlauf der Liquidationserlöse, der Zeile „Sonderreparaturkosten“ in Abb. 4 eine wichtige Bedeutung zu. Im Beispiel befindet man sich im Jahr 2014. Für die Frage der Ersatzentscheidung ist es von erheblicher Bedeutung, die künftigen Perioden hinsichtlich eines erwarteten Anlagenausfalls zu analysieren. Angenommen, gegen Ende des Jahres 2014 (t=5) wird es aufgrund einer Inspektion wahrscheinlich, daß in der Folgeperiode (t=6) eine umfangreiche Sonderreparatur erforderlich wird, um den „Defender“ weiter nutzen zu können. Dann ist dies als Hochschätzung (HS) zu erfassen und zu überlegen, ob sich diese „drohende“ Instandhaltungs- bzw. Instandsetzungsmaßnahme noch finanziell gegenüber einer Neuanschaffung (identisch oder durch den „Challenger“) lohnt. Im Beispiel wurde in Abb. 4 angenommen, daß in der Folgeperiode eine Großreparatur (in Höhe von 300 TEUR) erforderlich wird, um eine weitere Nutzung des bestehenden „Defenders“ zu ermöglichen. Die Kosten des laufenden Objektbetriebs wurden betriebsstundenabhängig angesetzt, was eine praxisgerechte Annahme darstellt. Bei den Personalkosten wurde von der Fiktion ausgegangen, daß jedem Bohrwagen ein Mitarbeiter aus der Produktion zugeordnet ist. Fällt der Wagen aus, so wird der Mitarbeiter an einer anderen Stelle im Produktionsbetrieb eingesetzt, so daß die Personalkostenzuordnung zum Objekt auslastungsabhängig gestaltet ist. Steigende Ausfallzeiten reduzieren folglich die Personalkosten (freilich nicht im Konzern!).

**Abbildung 5: Finanzielle Plandaten für den „Challenger“**

Tag.Monat.		01.01.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.
Jahr		2015	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Investitionszeitpunkt (t=...)		t=0	1	2	3	4	5	6
Investition (Anlagenzugang)	TEUR	600						
Nebenkosten	TEUR							
Investitionszulage/-förderung	TEUR							
Projektbetrag in t	TEUR	600	0	0	0	0	0	0
Projektbetrag kumuliert per t	TEUR	600	600	600	600	600	600	600
Erwartete Liquidationserlösentwicklung je t	TEUR	600	300	200	100	50	0	-40
Betriebskosten/Betriebsstunde	T€/h		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Betriebskosten	TEUR		10	10	10	10	10	10
Personalkosten je Mitarbeiter je Maschine	T€/h		40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
Personalkosten	TEUR		33	33	33	33	33	33
Instandhaltungskosten	TEUR		30	30	30	30	30	30
Sonderreparaturen	TEUR		0	0	100	0	0	250
Kostenveränderung in t	TEUR		73	73	173	73	73	323
Kostenveränderung kumuliert per t	TEUR		73	147	320	393	467	790

Quelle: Eigene Darstellung

Für den potentiellen Nachfolger „Challenger“ liegen im Zeitpunkt der Untersuchung der Ersatz- bzw. Reparaturmaßnahme lediglich Plandaten vor, wenn es sich um ein für das Unternehmen völlig neues Objekt handelt. Die entsprechende Struktur der finanziellen Dateneingabe zeigt Abb. 5, die mit der aus Abb. 4 identisch ist. Bevor die Frage „Lohnt die anstehende Reparaturmaßnahme?“ beantwortet wird, ist zunächst das optimale Nachfolgeobjekt zu identifizieren.

### Bestimmung des optimalen Nachfolgers

In diesem Abschnitt wird die Fragestellung analysiert, welches Anlageobjekt langfristig (unter der Annahme einer unendlich identischen Nutzungswiederholung) die günstigere Kostenstruktur bei vergleichbarer Periodenkapazität (hier: Bohrmeter pro Jahr) aufweist. Zudem kann bestimmt werden, sofern sich die erwarteten Datenstrukturen im Zeitablauf nicht wesentlich verändern, wie lange jedes Objekt künftig genutzt werden sollte (optimale Nutzungsdauer des Nachfolgers). Theoretischer Hintergrund der Bestimmung eines optimalen Nachfolgeobjektes (identischer „Defender“ oder nichtidentischer „Challenger“) und seiner optimalen Nutzungsdauer bildet die Kapitalwert- bzw. Annuitätenmethode. Unter der Annahme, daß das potentielle Nachfolgeobjekt unendlich identisch ersetzt wird, sind nutzungsdauerabhängige Annuitäten für die Nachfolgeobjekte zu bestimmen, die sich als Durchschnittsgewinne bzw. bei negativem Vorzeichen als Durchschnittskosten über die jeweils angenommene Nutzungsdauer verstehen lassen. Da annahmegemäß ein unendlich identischer Ersatz vorgenommen wird, kann anhand der Zahlungsstrukturen eines einzelnen Objektes die Annuität für alle künftigen Objekte bestimmt werden. Hierfür sind einmalig nutzungsdauerabhängige Kapitalwerte je Objekt zu ermitteln und mit den laufzeitabhängigen Wiedergewinnungsfaktoren zu multiplizieren (vgl. Kesten 2014, S. 74-77 u. S. 125-132; Götze 2008, S. 252-255; Kruschwitz 2009, S. 204-213). Dies ist in Abb. 6 für den „Defender“ und in Abb. 7 für den „Challenger“ als mögliche Nachfolger für den bestehenden Bohrwagen dargestellt. Eine Division der optimalen Annuität durch den Kalkulationszinssatz ergibt den optimalen Kapitalwert der unendlich identischen „Nachfolgerkette“ (sog. Modell der ewigen Rente). In den Abb. 6 bis 8 sind sämtliche Vorzeichen der Daten „zahlungsorientiert“ abgebildet: Auszahlungen bzw. Einzahlungen erhalten aus Sicht des Unternehmens ein negatives bzw. positives Vorzeichen.

**Abbildung 6: Ergebnisse bei Ersatz durch identischen Nachfolger „Defender“**

Tag.Monat.		01.01.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.
Jahr		-	-	-	-	-	-	-	-	-
Investitionszeitpunkt (t=...)		t=0	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Projektbetrag Vorgänger</b>		-500	50	0	0	0	0	0	0	0
<b>Veränderung Projektbetrag</b>		-50								
<b>Neuer Projektbetrag</b>		-550	50	0	0	0	0	0	0	0
<b>Liquidationserlös Vorgänger</b>		500	300	200	200	150	100	0	-50	-50
<b>Veränderung Liquidat.-Erlös</b>		50		50						
<b>Neuer Liquidationserlös</b>	TEUR	550	300	250	200	150	100	0	-50	-50
<b>Kosten Vorgänger</b>			-120	-70	-150	-250	-168	-365	-65	-265
<b>Veränderung Kosten</b>				10						
<b>Neue Kostenentwicklung</b>			-120	-60	-150	-250	-168	-365	-65	-265
<b>Netto-Cash-flow ohne L. in t</b>	TEUR	-550	-70	-60	-150	-250	-168	-365	-65	-265
<b>NCF ohne L. kumuliert per t</b>	TEUR	-550	-620	-680	-830	-1.080	-1.248	-1.613	-1.678	-1.943
<b>Barwert Liquidationserlös</b>	TEUR	550	273	207	150	102	62	0	-26	-23
<b>Barwert NCF ohne L. in t</b>	TEUR	-550	-64	-50	-113	-171	-104	-206	-33	-124
<b>Barwert NCF ohne L. kumuliert per t</b>	TEUR	-550	-614	-663	-776	-947	-1.051	-1.257	-1.290	-1.414
<b>Barwert kumuliert gesamt per t</b>	TEUR	0	-341	-457	-626	-844	-989	-1.257	-1.316	-1.437
<b>Annuität</b>	TEUR		-375	-263	-252	-266	-261	-289	-270	-269
<b>Betrachtungszeitraum (t=T)</b>	Jahre	8								
<b>Kalkulationszinssatz p.a.</b>	%	10								
<b>optimaler Kapitalwert (unendlich)</b>	TEUR	-2.516								
<b>max. Annuität</b>	TEUR	-252	<b>Annuität (angepaßt):</b>		-419					
<b>optimale Nutzungsdauer</b>	TEUR	3								

Quelle: Eigene Darstellung

Abb. 6 zeigt die Optimierungsergebnisse, wenn man den bestehenden durch einen identischen Bohrwagen ersetzen würde. In Abb. 6 wurde zunächst die finanzielle Datenhistorie des bestehenden Bohrwagens übernommen, die einen guten Orientierungspunkt für die Datenprognose im Falle eines identischen Nachfolgers als Ersatzobjekt bietet. Allerdings stellen diese Daten teilweise lang zurückliegende Istwerte dar, die nicht mehr aktuell sein müssen. Im Beispiel wurde der derzeitige Bohrwagen 2010 angeschafft (vgl. Abb. 1). Mittlerweile kann sich bspw. der Anschaffungspreis erhöht haben (in Abb. 6 um 50 TEUR). War der damals angeschaffte Bohrwagen eine Innovation im Unternehmen, könnten sich in den ersten Jahren „Anlaufprobleme“ ergeben haben, was die Repräsentativität des Kostenverlaufs schmälert (bspw. können sich bei einer nochmaligen Anschaffung Lerneffekte einstellen, was die Kosten in einigen oder allen Jahren verändern kann). Folglich sind entsprechende Korrekturmöglichkeiten bei der neuen Datenprognose für den „Defender“ als potentiell Nachfolgeobjekt zu berücksichtigen.

Unter der Annahme, daß dieser identische Nachfolger im Zeitablauf immer wieder nachbeschafft würde, ergeben sich bei im Zeitablauf konstanten Daten jährliche Durchschnittskosten (Annuität) in Höhe von rd. 252 TEUR. Diese werden in jeder künftigen Periode realisiert, wenn man das Objekt stets 3 Jahre nutzt und dann immer wieder identisch nach 3 Jahren ersetzt; die Durchschnittskosten sind bei einer Nutzung von je 3 Jahren am minimalsten und damit ist eine dreijährige Nutzung optimal. Dies zeigt im Beispiel auch, daß der optimale Lebenszyklus des aktuellen Bohrwagens bereits überschritten sein dürfte, da er sich nun schon im fünften Nutzungsjahr (vgl. Abb. 4) befindet. Ein frühzeitiger Einsatz dieses Modells hätte dies verhindern helfen können, was bedeutet, daß die Modelleinführung auch zur Hinterfragung sämtlicher bestehender Bohrwagen genutzt werden kann.

Wird zusätzlich der Kapazitätsunterschied zum „Challenger“ (vgl. Abb. 2) berücksichtigt, ist die ermittelte optimale Annuität mit dem Index für den technischen Fortschritt (im Beispiel: rd. 1,67) zu multiplizieren, um ein mit dem „Challenger“ vergleichbares Leistungspotential zu realisieren. Als Ergebnis erhält man die sog. angepaßte Annuität (langfristige Durchschnittskosten bei Leistungsgleichheit mit dem „Challenger“) in Höhe von ca. 419 TEUR. Durch den Abgleich der angepaßten Annuität des „Defenders“ mit der Annuität des „Challengers“ (vgl. Abb. 7) wählt man jenes Nachfolgeobjekt, das die geringsten Durchschnittskosten aufweist (bzw. im Modell die höchste Annuität). Dies ist eindeutig der „Challenger“ mit minimalsten Durchschnittskosten in Höhe von 251 TEUR. Dieses langfristige Kostenminimum wird erreicht, wenn der „Challenger“ stets 5 Jahre genutzt und dann jeweils unendlich identisch ersetzt bzw. unendlich wiederholt genutzt wird.

**Abbildung 7: Ergebnisse bei Ersatz durch unidentischen Nachfolger „Challenger“**

Tag.Monat.		01.01.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.
Jahr		-	-	-	-	-	-	-
Investitionszeitpunkt (t=...)		t=0	1	2	3	4	5	6
<b>Liquidationserlös</b>	<b>TEUR</b>	600	300	200	100	50	0	-40
<b>Netto-Cash-flow ohne L. in t</b>	<b>TEUR</b>	-600	-73	-73	-173	-73	-73	-323
<b>NCF ohne L. kumuliert per t</b>	<b>TEUR</b>	-600	-673	-747	-920	-993	-1.067	-1.390
<b>Barwert Liquidationserlös</b>	<b>TEUR</b>	600	273	165	75	34	0	-23
<b>Barwert NCF ohne Liqui in t</b>	<b>TEUR</b>	-600	-67	-61	-130	-50	-46	-183
<b>Barwert NCF ohne L. kumuliert per t</b>	<b>TEUR</b>	-600	-667	-727	-858	-908	-953	-1.136
<b>Barwert kumuliert gesamt per t</b>	<b>TEUR</b>	0	-394	-562	-782	-873	-953	-1.158
<b>Annuität</b>	<b>TEUR</b>		-433	-324	-315	-276	-251	-266
<b>Betrachtungszeitraum (t=T)</b>	<b>Jahre</b>	6						
<b>Kalkulationszinssatz p.a.</b>	<b>%</b>	10						
<b>optimaler Kapitalwert (unendlich)</b>	<b>TEUR</b>	-2.514						
<b>max. Annuität</b>	<b>TEUR</b>	-251						
<b>optimale Nutzungsdauer</b>	<b>TEUR</b>	5						

Quelle: Eigene Darstellung

Die im Modell enthaltene Annahme, das potentielle Nachfolgeobjekt werde selbst unendlich identisch ersetzt bzw. wiederholt, kann man auf den ersten Blick als „praxisfern“ kritisieren. Tatsächlich ist sie eher das Gegenteil: Geht man davon aus, daß der Betriebsprozeß dauerhaft aufrechterhalten wird (Going-concern-Annahme) und dabei auf einen Bohrwageneinsatz nicht verzichtet werden kann, kann man sich dieses Unternehmen als „ewig lebend“ denken. In der Konsequenz müßte man dann für diese sehr langen Zeiträume spezielle Datenprognosen erstellen und dabei auch neue Nachfolgeobjekte (die es heute noch gar nicht gibt) gedanklich berücksichtigen. Allerdings wird es niemandem mehr ab einem gewissen Planungszeitpunkt praktisch möglich sein, sowohl unterscheidbare Informationen für differenzierte Datenprognosen als auch Informationen über neue bzw. technisch verbesserte Nachfolger zu gewinnen. Dies spricht dann gerade aus pragmatischen Gründen dafür, anzunehmen, daß die einmal geschätzten Daten eines heute bekannten Nachfolgers unverändert (unendlich) in die Zukunft fortgeschrieben werden.

Zudem erlaubt erst die Annahme einer Wiederholung die Vernachlässigung von Einzahlungen, was sachlich geboten ist, da sich einzelnen Bohrwagen keine Kundenerlöse ursächlich zuordnen lassen: Der Kapitalwert eines einmal (und nie wieder) zum Einsatz kommenden Objektes ist bei Fokussierung auf Auszahlungen stets negativ. Optimal bzw. maximal ist dann stets nur jener Kapitalwert, der Null ergibt. Dies bedeutet aber kompletter Nutzungsverzicht und stellt keinen ernst zu nehmenden betriebswirtschaftlichen Lösungsbeitrag für operativ notwendige Betriebsmittel (sog. „Muss-Investitionen“) dar.

Ein weiterer nützlicher Nebeneffekt entsteht in Zusammenhang mit dem entwickelten Index für den technischen Fortschritt: Dieser müßte eigentlich auch Unterschiede in den technischen Nutzungsdauern der zu vergleichenden Objekte beachten. Durch die Annahme des unendlich identischen Ersatzes eines Nachfolgeobjektes werden diese Unterschiede unmittelbar in den Ersatzvorgängen und damit in den Annuitäten bzw. zeitlichen Durchschnittskosten der Objekte erfaßt, so dass kein komplizierter Index zu formulieren ist.

Kritisch könnte dagegen das i.d.R. höhere Leistungspotential des „Challengers“ beurteilt werden: Wird die höhere Periodenkapazität (hier: Bohrmeter p.a.) voraussichtlich nicht benötigt (wovon im weiteren Verlauf nicht ausgegangen wird), könnte alternativ auf eine Annuitätenanpassung verzichtet werden (impliziert einen Index von 1). Das höhere Leistungspotential des „Challengers“ würde dann quasi mit Null Geldeinheiten bewertet.

### Bestimmung des optimalen Ersatztermins

Der zurzeit im Betrieb befindliche Bohrwagen ist durch den neuen „Challenger“ auszutauschen. Dieser Ersatzvorgang kann sofort oder in Folgeperioden stattfinden. Zur Beantwortung der Frage des optimalen Ersatztermins ist auf die Datenschätzung des bestehenden Bohrwagens zurückzugreifen (vgl. Abb. 4), denn diese weist die künftig erwarteten finanziellen Konsequenzen aus, falls man den bestehenden „Defender“ weiter nutzt.

Eine Antwort bezüglich des optimalen Ersatzzeitpunktes kann man mittels zweier Konzepte gewinnen: Einerseits kann man für alle künftigen Zeitpunkte die sog. zeitlichen Grenzgewinne bzw. –kosten bestimmen, die bei Weiternutzung des bestehenden „Defenders“ anfallen werden und mit den (minimalen) Durchschnittskosten (Annuität) des optimalen Nachfolgeobjektes (hier: dem „Challenger“) vergleichen: Übersteigen die zeitlichen Grenzkosten die Durchschnittskosten des optimalen Nachfolgers in einer künftigen Planperiode  $t$ , so ist dies ein Signal, die Weiternutzung des Bestandsobjektes zu unterlassen. Allgemein setzt sich ein zeitlicher Grenzgewinn aus den Nettoeinzahlungen der Periode (incl. erzielbarem Liquidationserlös) abzüglich des bei Ausdehnung der Nutzung nicht realisierten Liquidationserlöses der Vorperiode einschließlich seiner entgangenen Verzinsung zusammen. Hier sind die Grenzgewinne negativ, so daß man auch von Grenzkosten sprechen kann. Allerdings hat ein solches zeitliches Grenzkriterium den Nachteil, dass es lediglich eine Aussage für jeweils eine einzelne Folgeperiode erlaubt. Es ist durchaus denkbar, daß im übernächsten Planjahr die Grenzkosten des Bestandsobjektes wieder unter die Durchschnittskosten des potentiellen Nachfolgers fallen. Es kommt dann vielmehr auf den Gesamteffekt über alle künftigen Planperioden an, der zur endgültigen Festlegung des optimalen Ersatztermins führt.

Diese endgültige Beurteilung leistet die Kapitalwertmethode. Sie ist hier für eine „Investitionskette“ zu formulieren: Alle künftigen nutzungsdauerabhängigen finanziellen Konsequenzen aus der Nutzung des bestehenden und des nachfolgenden Objektes sind auf den Beginn des Betrachtungszeitpunktes (hier: 01.01.2015 bzw. 31.12.2014, also  $t=5$ ) zu diskontieren. Dabei ist in  $t=5$  auch der Sofortersatz zu beachten, der beim bestehenden Bohrwagen noch einen Liquidationserlös auslöst. Der Zeitpunkt, der den höchsten Kapitalwert (bzw. da negativ, den minimalsten Kostenbarwert) aufweist, würde die optimale Restnutzungsdauer bzw. den optimalen Ersatztermin des bestehenden Bohrwagens signalisieren. Seine Bestimmung zeigt Abb. 8.

**Abbildung 8: Ergebnis zum optimalen Ersatztermin**

<b>Optimale Ersatzstrategie</b>		Ablaufendes Jahr: 2014								
Tag.Monat.		01.01.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.
Jahr		2010	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Investitionszeitpunkt (t=...)		t=0	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>"Defender"</b>										
Liquidationserlös	TEUR	500	300	200	200	150	100	0	-50	-50
NCF ohne L-Erlös in t	TEUR	-500	170	-70	-150	-250	-168	-365	-65	-265
zeitl. Grenzgewinn-/verlust	TEUR		-80	-200	-170	-320	-233	-475	-115	-260
<b>Optimaler Nachfolger: "Challenger"</b>										
Annuität des Nachfolgers	TEUR		0	0	0	0	0	-251	-251	-251
Kapitalwert Ersatzstrategie	TEUR		0	0	0	0	-2.414	-2.618	-2.505	-2.511
<b>Empfehlung für die nächsten 3 Planjahre</b>										
		IST/HS	PLAN	PLAN	PLAN					
Zeitpunkte: 31.12.		2014	2015	2016	2017					
Grenzgewinn Bestandsobjekt	TEUR	---	-475	-115	-260					
Annuität Nachfolger	TEUR	---	-251	-251	-251					
Grenzgewinn-Differenz	TEUR	---	-224	136	-9					
Ersatzkriterium erfüllt ?		---	Ja!	Nein!	Ja!					
Maximaler Kapitalwert	TEUR	-2.414								
<b>Optimaler Ersatz durch:</b>			<b>"Challenger"</b>							
<b>Optimaler Ersatztermin zum 01.01.</b>			<b>2015</b>							
<b>Ersatz durch optimalen Nachfolger zu Beginn des o.g. Jahres sinnvoll !</b>										

Quelle: Eigene Darstellung

Für das Beispiel zeigt Abb. 8, daß ein sofortiger Ersatz sinnvoll ist, da dann der Kapitalwert innerhalb der nächsten drei Planjahre maximal bzw. der Kostenbarwert minimal wird. Der Kapitalwert der Investitionskette in  $t=5$  bei sofortigem Ersatz des bestehenden Bohrwagens ergibt sich aus dessen Liquidationserlös in  $t=5$  (100 TEUR) und dem Kapitalwert des unendlich identischen Ersatzes des optimalen Nachfolgers („Challenger“) auf Basis des Modells der

ewigen Rente: rd. -251 TEUR dividiert durch den Kalkulationszinssatz (10%), also -2.514 TEUR und damit insgesamt  $+100 - 2.514 = -2.414$  TEUR. Der Sofortersatz des bestehenden Bohrwagens bedeutet im Umkehrschluß, daß die in  $t=6$  bzw. 2015 anstehende Sonderreparatur finanziell unvorteilhaft ist und folglich unterlassen werden sollte. Dies zeigt sich an der negativen Grenzgewinndifferenz für 2015 (-224 TEUR) in Abb. 8. Das Beispiel zeigt auch, daß ein alleiniger Rückgriff auf Grenzgewinnüberlegungen nicht unmittelbar zur optimalen Ersatzstrategie führen würde, denn in 2016 ist die Grenzgewinndifferenz wieder positiv (Grenzkosten Bestandsobjekt kleiner Durchschnittskosten „Challenger“). Hätte man also in 2015 repariert und das Objekt weiter genutzt, wäre eine Nutzungsausdehnung nach 2016 sinnvoll. Aber in 2017 wird die Grenzgewinndifferenz wieder negativ und signalisiert erneut ein Nutzungsende des bestehenden Bohrwagens. Angenommen, in 2017 wäre diese Differenz leicht positiv. Auch dann wäre es innerhalb der drei Planjahre sinnvoll, nicht zu reparieren und die Nutzung des alten Bohrwagens sofort zu beenden, da die negative Grenzgewinndifferenz in 2015 die positiven Differenzen der Jahre 2016 und 2017 überkompensiert. Die endgültige Entscheidung innerhalb der nächsten drei Planperioden sollte deshalb über nutzungsdauerabhängige Kapitalwerte erfolgen. Allerdings weisen Grenzgewinnüberlegungen eine höhere Anschaulichkeit auf.

Die im Modell vorgenommene Begrenzung der Beurteilung auf nur drei Folgeperioden erscheint aus praktischen Gründen der Prognosegenauigkeit geboten: Es würde eine Überforderung der an den Datenprognosen beteiligten Mitarbeitern oder gar eine „Anmaßung von Wissen“ bedeuten, aus einem Modell über drei Jahre hinaus zuverlässige Aussagen generieren zu wollen. Diese Kritik betrifft natürlich auch teilweise die im Einzelfall sehr weit in die Zukunft reichenden Datenprognosen zur Identifikation eines optimalen Nachfolgeobjektes: Ist das Objekt für das Unternehmen eine Innovation, sind viele Daten mit Unsicherheiten behaftet. Allerdings sollte bei ähnlichen Objekten eine Orientierung an bestehenden Objekten im Unternehmen möglich sein. Hingegen ist die Datenprognose für den identischen Nachfolger aufgrund vorliegender Datenhistorie relativ zuverlässig möglich (insb. wenn sich mehrere Objekte des betrachteten Bohrwagentyps im Unternehmen befinden). In jedem Fall empfiehlt es sich, jedes Jahr die Datenprognose für „Defender“ und „Challenger“ im Sinne einer rollierenden Planung zu aktualisieren bzw. zu überprüfen. Erste Einsätze des Modells in der Unternehmenspraxis zeigen, daß sich die involvierten Personen (insb. aus den technischen Bereichen) mit dem „finanzorientierten Denken“ und der dahinter stehenden Analysemethodik erst vertraut machen müssen. Die bisherige Unternehmenspraxis führte oftmals zu dem Paradox, daß für ein gerade umfangreich repariertes Objekt aufgrund der entstandenen Höhe an Reparaturkosten der Ersatz beschlossen wurde, weil man sich bei der Ersatz- bzw. Ausmusterungsentscheidung am Kostenniveau der Vergangenheit orientiert hat; es ist aber vielmehr geboten, dies hat der Beitrag hoffentlich gezeigt, den Fokus auf die künftig erwarteten Kostenniveaus zu legen: Vor Durchführung der Reparatur und damit vor Entstehen der Reparaturkosten sind Entscheidungen für das weitere Vorgehen zu erarbeiten. Hier haben (gerade finanzorientierte) Controller Beratung zu leisten, um den Einsatz dynamischer Modelle und die Verinnerlichung des dahinter stehenden „Gedankengebäudes“ bei verantwortlichen Technikern zu beschleunigen.

---

## Fazit

Für finanziell optimale Entscheidungen zum industriellen Anlagenersatz bietet sich ein dynamisches Modell der Investitionsrechnung an, das das Auszahlungsverhalten von Bestandsobjekten in den nächsten Planjahren analysiert. Auf der Grundlage einer zeitlichen Grenzkostenüberlegung in Kombination mit der Annuitäten- bzw. Kapitalwertmethode kann für mobile Maschinen die jeweils optimale Nutzungsdauer ermittelt, das optimale Ersatzobjekt identifiziert und eine Aussage über den optimal erscheinenden Einsatztermin abgegeben werden. Dadurch wird auch die Frage beantwortet, ob sich die Durchführung einer anstehenden Großreparatur für einzelne Maschinen als vorteilhaft erweist. Durch den Modelleinsatz wird die Struktur des gesamten mobilen Maschineneinsatzes sukzessive optimiert und am Ende ein Beitrag zur Steigerung des finanziellen Firmenwertes geleistet.

---

## Literaturverzeichnis

1. Götze, U.: Investitionsrechnung, 6. Aufl., Heidelberg/Berlin 2008.
2. Kesten, R.: Investitionsrechnung in Fällen und Lösungen, 2. Aufl., Herne 2014.
3. Kruschwitz, L.: Investitionsrechnung, 12. Aufl., München 2009.