

Schmidt, Reinhart

Working Paper — Digitized Version

SPORT - ein Simulationsmodell der Portfeuilleplanung

Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel, No. 28

Provided in Cooperation with:

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

Suggested Citation: Schmidt, Reinhart (1975) : SPORT - ein Simulationsmodell der Portfeuilleplanung, Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel, No. 28, Universität Kiel, Institut für Betriebswirtschaftslehre, Kiel

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/201510>

Standard-Nutzungsbedingungen:

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

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

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

Terms of use:

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

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

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

Nr. 28

S P O R T

- ein Simulationsmodell
der Portefeuilleplanung

von

Reinhart Schmidt

September 1975

Vortrag gehalten am 19. September 1975 anlässlich der
Jahrestagung '75 der Deutschen Gesellschaft für Operations
Research e.V. und der Schweizerischen Vereinigung für
Operations Research in Interlaken

Erschienen in: Kohlas, J., et al. (Hrsg.), Proceedings in
Operations Research 5, Würzburg-Wien 1976, S. 241-249

Alle Rechte beim Autor

1. Einleitung

Die Bereitschaft zur Anwendung mathematischer Modelle der Portefeuilleplanung ist in der Praxis weiterhin gering; daran wird auch ein ausführlicher Bericht von Rodewald [9] über den erfolgreichen Test des Markowitz-Modells [7] in der Version von Sharpe [12] wenig ändern. Das Modell scheint im Hinblick auf Informationsbeschaffung, Prämissen und Planungskosten nicht benutzeradäquat zu sein:

1. Spekulanten finden sich nicht damit ab, daß Kursprognosen weitgehend mit Hilfe ökonometrischer Methoden erstellt werden.
2. Private und institutionelle Anleger können ihre Risikopräferenzen in der von Markowitz verlangten Form schwer artikulieren.
3. Großanleger stoßen sich an der Prämisse, daß das Modell keinen Einfluß des Anlegers auf die Kursbildung an der Börse vorsieht.
4. Insbesondere kleine und mittlere Anleger wissen angesichts der Planungskosten nicht, wann und wie oft das Modell durchgerechnet werden soll.

Im Bereich der betrieblichen Investitionsplanung wird die Simulation seit der Arbeit von Hertz [4] erfolgreich eingesetzt. Es liegt daher nahe, das in der Modellgestaltung flexiblere Simulationsverfahren auch bei der Portefeuilleplanung anzuwenden. Schon Markowitz [7, S. 200 f.] hat auf die Möglichkeit der Simulation als Alternative zur Optimierung verwiesen; Ziskind und Boldin [14] simulieren Wertpapierportefeuilles über die Zeit, ohne jedoch ein Entscheidungsmodell zu konzipieren. Der Verfasser [11] hat den Einsatz der Simulation vorgeschlagen, um wesentliche, aus der obigen Kritik folgende Anforderungen an ein Entscheidungsmodell der Portefeuilleplanung erfüllen zu können. Über den Aufbau des Simulationsmodells und ausgewählte Ergebnisse soll hier berichtet werden.

2. Der Aufbau des Simulationsmodells

Dem in FORTRAN programmierten Simulationsmodell der Portefeuilleplanung (SPORT) liegt die Konzeption zugrunde, sowohl Portefeuilleentscheidungen in der Praxis zu ermöglichen als auch einen wissenschaftlichen Vergleich verschiedener Modell- und Datenstrukturen durchführen zu können. So wird das umfangreiche Analysemodell durch Betätigen bestimmter Schalter in eine "schnelle Version" für praktische Entscheidungsfälle reduziert. Das Pro-

gramm ist modular aufgebaut, so daß Abwandlungen und Erweiterungen leicht vorgenommen werden können.

2.1. Portefeuilletheoretische Grundlagen

Portefeuilletheoretischer Ausgangspunkt ist das Indexmodell von Sharpe [12], um die Dateneingabe in Grenzen zu halten. Außerdem ist dadurch eine Vergleichsmöglichkeit mit den Ergebnissen des Optimierungsprogramms "Optimale Wertpapiermischungen" der IBM gegeben. Der Zufallskurs K_m des m -ten Wertpapiers bestimmt sich nach:

$$(1) \quad K_m = A_m + B_m \cdot \text{INDEX} + C_m \quad (m = 1, \dots, M)$$

In (1) sind A_m bzw. B_m absolutes Glied bzw. Regressionskoeffizient einer Regressionsgleichung, C_m ist eine Zufallsvariable mit dem Erwartungswert Null und der Varianz Q_m . Die Standardabweichung von K_m sei S_m . Für die Zufallsrealisation der Indexgröße INDEX gilt:

$$(2) \quad \text{INDEX} = A_{\text{INDEX}} + C_{\text{INDEX}}$$

In (2) ist A_{INDEX} der Erwartungswert der Indexgröße, C_{INDEX} ist eine Zufallsvariable mit dem Erwartungswert Null und der Standardabweichung S_{INDEX} .

Bezeichnet man den Erwartungswert von K_m mit \bar{K}_m und den Korrelationskoeffizienten zwischen K_m und INDEX mit r_m , dann ist aus der Regressionsanalyse bekannt, daß

$$(3) \quad B_m = r_m \cdot S_m / S_{\text{INDEX}} \quad \text{und}$$

$$(4) \quad A_m = \bar{K}_m - B_m \cdot A_{\text{INDEX}}.$$

Setzt man (3) und (4) in (1) ein, dann wird die Abhängigkeit der normalverteilten Zufallsvariablen K_m von der normalverteilten Zufallsvariablen INDEX durch (5) beschrieben:

$$(5) \quad K_m = \bar{K}_m + \frac{r_m \cdot S_m}{S_{\text{INDEX}}} \cdot (\text{INDEX} - A_{\text{INDEX}}) + C_m$$

Die Annahme von Normalverteilungen bewirkt für das Simulationsmodell, daß Parameter der Verteilungen der Summen von Zufallsvariablen direkt berechnet und nicht selbst - wie noch in [11, Abb. 4] - simuliert werden müssen. Dadurch erreicht man eine erhebliche Reduktion der Rechenzeit. Das Simulationsmodell ist allerdings so konzipiert, daß die Annahme der Normalverteilung nicht zwingend ist.

2.2. Die Eingabe oder Generierung von Wertpapier-

Datenkonstellationen

Die doppelte Zwecksetzung des Modells läßt eine Eingabe spezifischer Datenkonstellationen (im praktischen Fall) oder eine Generierung typischer Datenkonstellationen (wissenschaftliche Analyse) geraten erscheinen. Unabhängig davon werden - ähnlich wie in [10] - ökonometrische oder subjektive Schätzungen folgender Größen für jedes Wertpapier benötigt:

1. Ist-Kurs K_{mo} ;
2. Unter- und Obergrenze des Kurses eines jeden Wertpapiers (z.B. $\bar{K}_m \pm 3 S_m$);
3. Korrelationskoeffizient r_m zwischen dem m-ten Wertpapierkurs und dem Index.

Angaben über den Index brauchen explizit nicht gemacht zu werden, weil die zur Auswahl stehenden Alternativen als Grundgesamtheit angesehen werden, aus der sich die Indexparameter A_{INDEX} und S_{INDEX} ergeben. Als Erwartungswert des Index wird ein ungewogenes Mittel aus Meßzahlen - vgl. [1, S. 58] - berechnet:

$$(6) \quad A_{INDEX} = \frac{100}{M} \cdot \sum_{m=1}^M \frac{\bar{K}_m}{K_{mo}}$$

Zur Berechnung der Standardabweichung des Index greift man auf eine bei Cohen und Pogue [2, S. 190] wiedergegebene Beziehung zurück, die man leicht umformt:

$$(7) \quad Q_m = S_m^2 - B_m^2 \cdot S_{INDEX}^2 = S_m^2 \cdot (1 - r_m^2)$$

Für die Varianz des Indexportefeuilles gilt:

$$(8) \quad S_{INDEX}^2 = \frac{10000}{M^2} \cdot \left[\sum_{m=1}^M \frac{Q_m}{K_{mo}^2} + \left(\sum_{m=1}^M \frac{B_m}{K_{mo}} \right)^2 \cdot S_{INDEX}^2 \right]$$

Unter Berücksichtigung von (3) erhält man die implizit unterstellte Varianz des Index.

Für die wissenschaftliche Analyse werden Datenkonstellationen wie folgt typisiert:

1. Die Erwartungswerte der prozentualen Wertpapierrenditen sind in einem frei zu wählenden Intervall gleichverteilt. In Tabelle 1 z.B. liegen diese Erwartungswerte für die 20 Wertpapiere zwischen -50 % und + 50 %.

2. Der Variationskoeffizient für alle Wertpapierrenditen kann frei gewählt werden und bestimmt somit bei gegebenem \bar{K}_m den Wert von S_m . In Tabelle 1 wurde einheitlich für alle Wertpapiere ein Variationskoeffizient von 0,2 unterstellt.
3. Die Korrelationskoeffizienten r_m liegen jeweils für die erste und letzte Hälfte der Grundgesamtheit gleichverteilt in einem frei wählbaren Intervall, wobei die Extremwerte von r_m jeweils außen zu finden sind und die Werte in Richtung des Medians der Grundgesamtheit weniger stark schwanken. In Tabelle 1 werden die zwischen -0,10 und +0,90 gleichverteilten Werte von r_m also alternierend zugeordnet.

Die unter 1. bis 3. genannten Prinzipien dienen der Reproduzierbarkeit und besseren Beschreibung von Datenkonstellationen.

Tabelle 1: Beispiel einer erzeugten Datenkonstellation

Nr.	K_{mo}	$\bar{K}_m - 3S_m$	\bar{K}_m	$\bar{K}_m + 3S_m$	r_m	A_m	B_m	S_m	Q_m
1	100.00	20.00	50.00	80.00	-0.10	61.18	-0.11	10.00	99.00
2	100.00	22.11	55.26	88.42	0.90	-55.91	1.11	11.05	23.21
3	100.00	24.21	60.53	96.84	0.01	59.02	0.02	12.11	146.52
4	100.00	26.32	65.79	105.26	0.79	-50.22	1.16	13.16	65.38
5	100.00	28.42	71.05	113.68	0.12	51.64	0.19	14.21	198.92
6	100.00	30.53	76.32	122.11	0.68	-39.30	1.16	15.26	125.94
7	100.00	32.63	81.58	130.53	0.23	39.03	0.43	16.32	251.71
8	100.00	34.74	86.84	138.95	0.57	-23.16	1.10	17.37	204.80
9	100.00	36.84	92.11	147.37	0.34	21.19	0.71	18.42	299.08
10	100.00	38.95	97.37	155.79	0.46	-1.78	0.99	19.47	300.52
11	100.00	41.05	102.63	164.21	0.46	-1.88	1.05	20.53	333.89
12	100.00	43.16	107.89	172.63	0.34	24.82	0.83	21.58	410.41
13	100.00	45.26	113.16	181.05	0.57	-30.17	1.43	22.63	347.72
14	100.00	47.37	118.42	189.47	0.23	56.66	0.62	23.68	530.40
15	100.00	49.47	123.68	197.89	0.68	-63.70	1.87	24.74	330.81
16	100.00	51.58	128.95	206.32	0.12	93.72	0.35	25.79	655.16
17	100.00	53.68	134.21	214.74	0.79	-102.45	2.37	26.84	272.10
18	100.00	55.79	139.47	223.16	0.01	136.01	0.03	27.89	778.02
19	100.00	57.89	144.74	231.58	0.90	-146.43	2.91	28.95	159.21
20	100.00	60.00	150.00	240.00	-0.10	183.53	-0.34	30.00	891.00
Index		73.16	100.00	126.84					

2.3. Beschreibung der Elemente des Modells

Aufgrund des modularen Modellbaus läßt sich eine Fülle von Modellvarianten erzeugen; einzelne Fragenkomplexe sollen deshalb im folgenden getrennt dargestellt werden. Der Modellbau kann dabei im Dialog- oder im Batch-Modus vorgenommen werden.

1. Im Hinblick auf die Zielsetzung ist im Modell vorgesehen:

- a) die Maximierung von $\mu - k \cdot \sigma^2$ (Markowitz-Modell);

- b) die Maximierung von μ unter der Nebenbedingung, daß die Wahrscheinlichkeit einer Mindestrendite größer als α ist (Chance-Constrained-Modell - vgl. [10]);
- c) keine spezielle Zielsetzung, sondern Ausgabe der Kurve effizienter Portefeuilles nach dem μ - σ -Prinzip (mit Bildausgabe).

Sofern die Varianten a) oder b) gewählt werden, können gleichzeitig mehrere Zielfunktionen des entsprechenden Typs mit verschiedenen Parametern optimiert werden.

2. Die oben beschriebenen typischen Datenkonstellationen können einzeln oder zusammen analysiert werden.
3. Die vorzuziehende Grundgesamtheit - bis zu 500 Wertpapiere - kann vorsortiert werden; im Modell ist ein von Sharpe [13, S. 135] angegebenes Kriterium realisiert. Die Anzahl der nach einer Vor-Auswahl endgültig zu betrachtenden Wertpapiere ist variabel.
4. Das Modell geht davon aus, daß die Zahl verschiedener Wertpapiere im Portefeuille nach unten ($N=1$) und nach oben ($N=100$) beschränkt ist. Dabei bildet die Vergabe gleicher Anteile $1/N$ den Regelfall (vgl. dazu [3], [5], [6]). Allerdings können auch variable Anteile mit Unter- und Obergrenzen verlangt werden, die Schrittweite der Variation liegt dann bei einem Anteil von 1 %. Wenn kein festes N vorgegeben ist, können die Portefeuilles für N_{\min} bis N_{\max} für jedes N allein oder für alle zugelassenen Werte von N zusammen simuliert werden.
5. Die Simulation erfolgt, indem aus den nach einer eventuellen Vor-Auswahl verbleibenden Wertpapieren Zufallskombinationen gezogen werden. Der Umfang der Simulation, d.h. die Zahl der Zufallsportefeuilles, kann vorgegeben werden, wobei Zwischenergebnisse für bis zu 20 verschiedene Größen des Simulationsumfangs angefordert werden können. Die Simulation kann auch in Abhängigkeit von dem Zielfunktionsfortschritt der X besten Portefeuilles beendet werden, wobei $1 \leq X \leq 10$.
6. Zur Kontrolle der Simulationsergebnisse ist die vollständige Enumeration der Kombinationen möglich. Dieser Programmteil ist allerdings auf maximal zehn verschiedene Wertpapiere im Portefeuille beschränkt, man vergleiche zur Rechtfertigung nur das Ansteigen der Binomialkoeffizienten in [8].
7. Für jedes einzelne Wertpapier können Transaktionskostensätze angegeben werden. Dadurch können nicht nur Erstinvestitionen, sondern auch Umschichtungen analysiert werden: Wird ein Wertpapier abgestoßen, so fallen Umschichtungskosten an; verbleibt dagegen ein Wertpapier im Portefeuille, so treten keine Kaufspesen auf.
8. Einflüsse des Anlegers auf die Kursbildung bei Käufen (bzw. Verkäufen) werden dadurch berücksichtigt, daß für jedes Wertpapier ein Normalumsatz (in Stück) anzugeben ist, für den der Kurs K_{mo} gilt. Wird der Normalumsatz überschritten, erhöht sich der Grenz-Kaufkurs linear um einen bestimmten Betrag je Stück. Die für einen vorhandenen Geldbetrag zu kaufende Stückzahl wird dann über das Integral berechnet.

3. Ausgewählte Ergebnisse des Modells

Hier kann nur über einige ausgewählte Ergebnisse berichtet werden, wobei alle Berechnungen auf der PDP-10 des Rechenzentrums der Universität Kiel durchgeführt wurden.

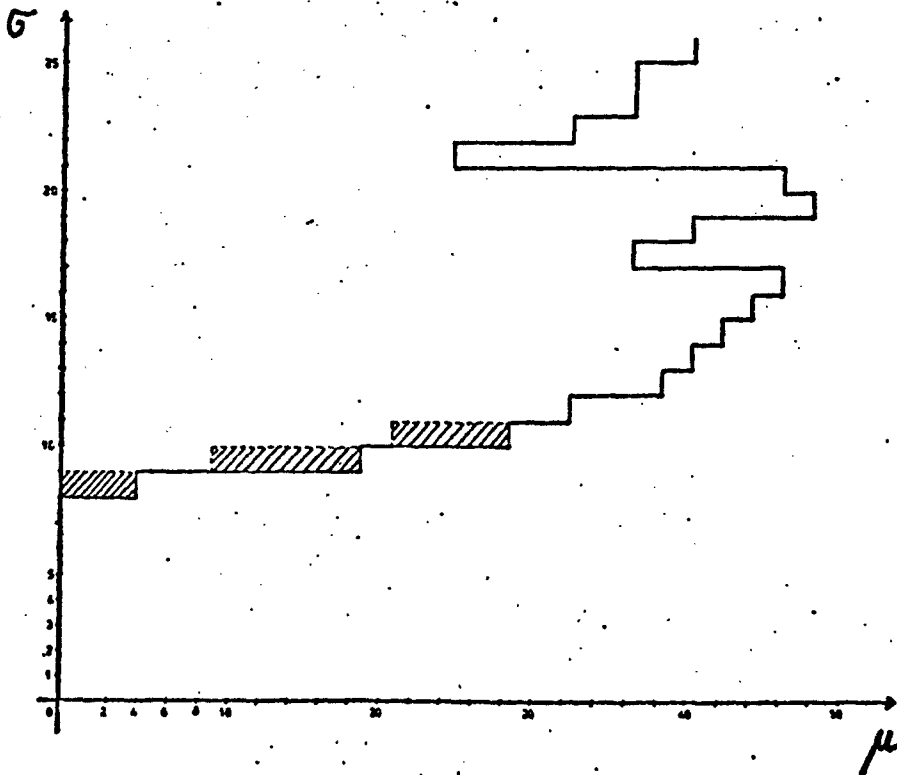
3.1. Zur Leistungsfähigkeit einer Zufallsauswahl

Auf die Leistungsfähigkeit der Zufallsauswahl haben folgende Faktoren einen Einfluß:

1. die Größe der Grundgesamtheit, aus der Zufallsportefeuilles gezogen werden;
2. die Zahl verschiedener Wertpapiere im Portefeuille (N);
3. die Bedingung variabler oder nur gleicher Portefeuilleanteile von Wertpapieren;
4. die Zahl der Perioden, für die geplant wird;
5. die Komplexität der Datenkonstellation;
6. die Computerkosten.

Für eine gegebene Datenkonstellation zeigt die Abbildung 1 den Vergleich der Ergebnisse der vollständigen Enumeration (431.889 Portefeuilles) mit den Ergebnissen von jeweils 100 Zufallsportefeuilles für $N = 2, 3, \dots, 9$ aus 20 Wertpapieren, wobei gleiche Anteile $1/N$ unterstellt wurden.

Abbildung 1: Zufallsportefeuilles und vollständige Enumeration



Der Abbildung 1 entnimmt man, daß nur für den schraffierten Bereich keine Zufallsportefeuilles generiert wurden; die Unstetigkeiten erklären sich dabei (wie auch in Abbildung 2) aus einer Klassenbildung bei μ und σ . Daraus folgt, daß risiko- und rendite-trächtige Portefeuilles besser durch Zufallsauswahl ermittelt werden als Portefeuilles mit niedrigerem Erwartungswert. Die Begründung dafür ergibt sich aus Abbildung 2, die zeigt, in welchen Bereichen Zufallsportefeuilles für verschiedene Anteile $1/N$ liegen. Bei einem geringen Wert von N existieren erheblich weniger Portefeuilles als bei größeren Werten (bis zur Hälfte der Grundgesamtheit), deshalb sind auch die Ergebnisse der Zufallsauswahl besser.

Abbildung 2: Bereiche im μ - σ -Koordinatensystem in Abhängigkeit von der Zahl verschiedener Aktien im Portefeuille

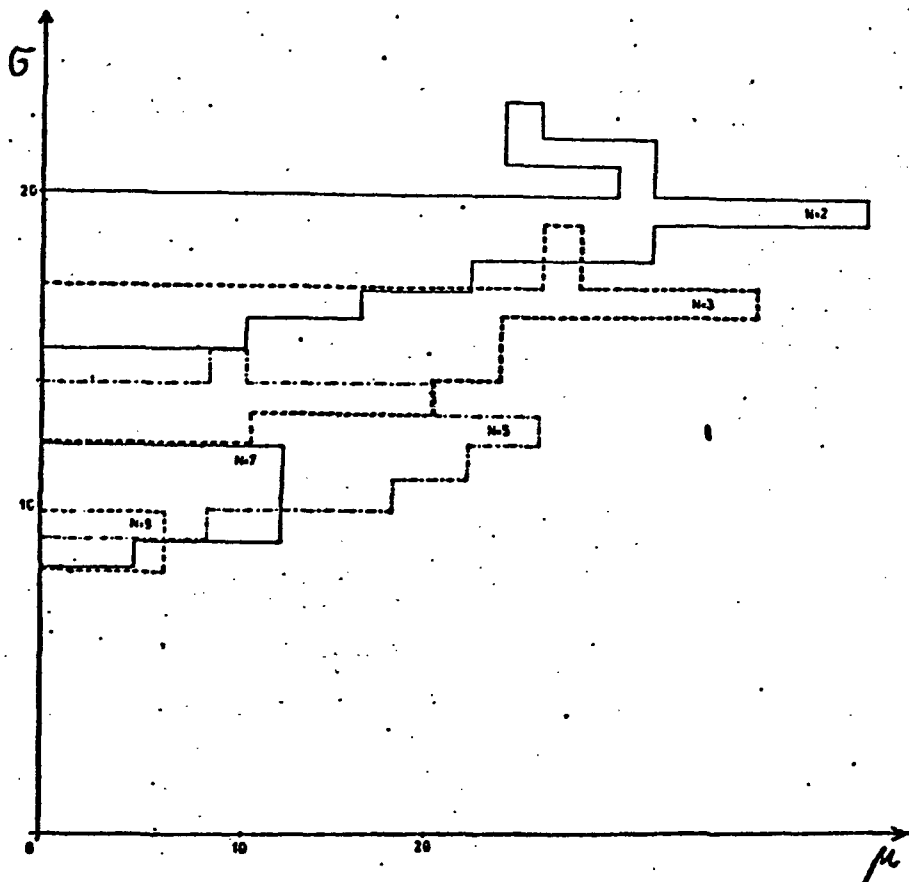
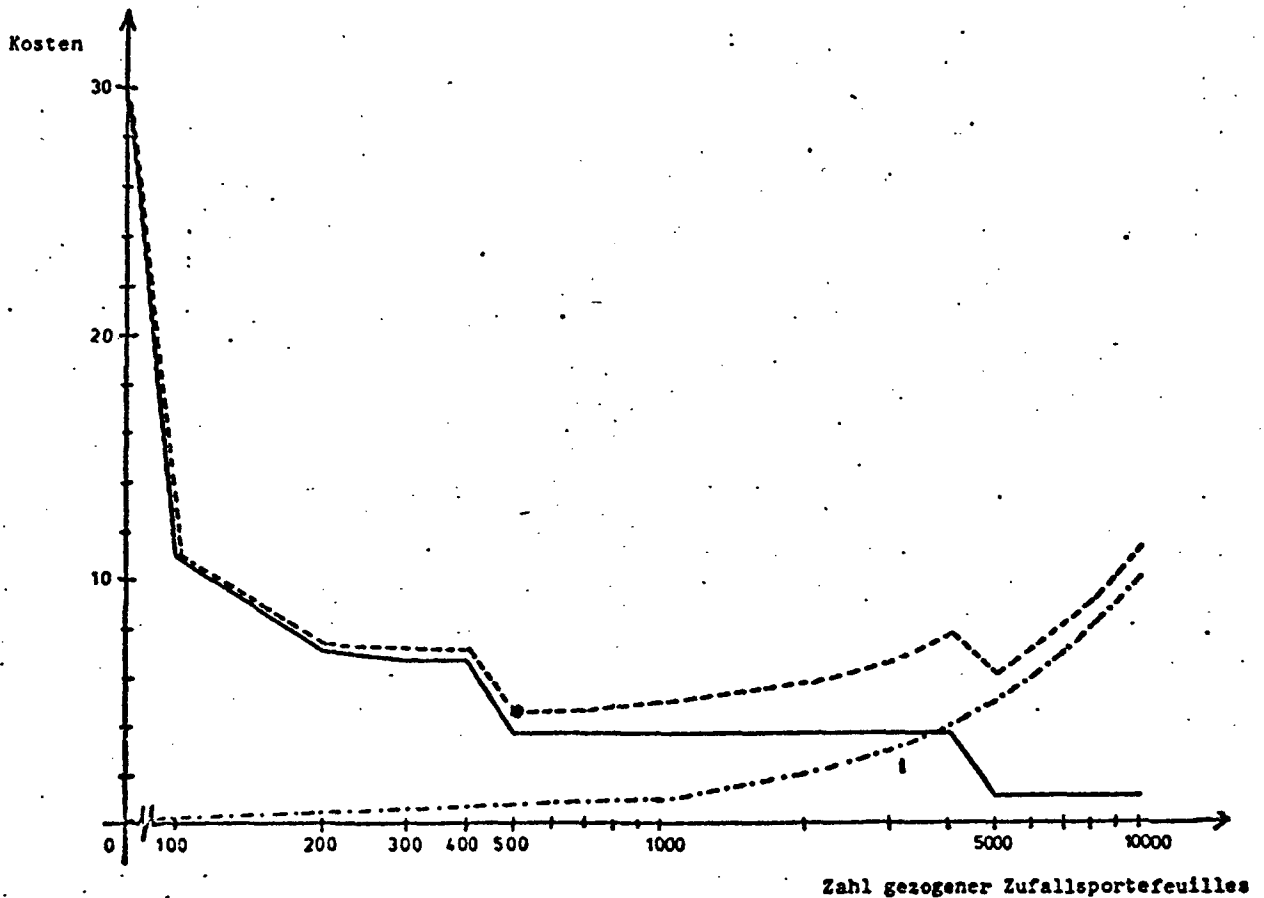


Abbildung 3 zeigt, daß in Abhängigkeit von der Höhe der Computerkosten eine optimale Zahl von Zufallsportefeuilles existiert. Den Ausgangspunkt bildet der Wert der Zielfunktion bei vollständiger Enumeration, so daß die Opportunitätskosten bei Zufallsauswahl von null Portefeuilles in Abbildung 2 bei einem Wert von 29,5 liegen. Zieht man nun immer mehr Zufallsportefeuilles, so sinken die Opportunitätskosten (durchgezogene Kurve), die Kosten der Simulation jedoch steigen linear an (Strichpunkt-Kurve, halblogarithmischer

Maßstab). Durch Addition beider Kurven ergibt sich die Gesamtkostenkurve, die in dem Beispiel der Abbildung 3 ein Minimum bei 500 Zufallsportefeuilles aufweist.

Abbildung 3: Zur Bestimmung der optimalen Zahl von Zufallsportefeuilles



Insbesondere bei großen Wertpapier-Grundgesamtheiten oder bei Risikoscheu des Anlegers führt die reine Zufallsauswahl zu nicht tragbaren Opportunitäts- und Simulationskosten. Dann erscheint eine Vor-Auswahl geboten, deren Effekte der Tabelle 2 zu entnehmen sind. Dort werden aus Grundgesamtheiten von 200, 300, 400 bzw. 500 Aktien Vor-Auswahlen von jeweils 20, 50 und 100 Aktien (nach dem Erwartungswert) vorgenommen - das entspricht $\lambda=0$ bei dem Auswahlkriterium von Sharpe [13, S. 135]. Aus den 20, 50 bzw. 100 Aktien werden dann jeweils zehn Aktien zufällig kombiniert. Man erkennt, daß die Vor-Auswahl besser als die Erhöhung des Simulationsumfangs wirkt.

Tabelle 2: Zum Einfluß einer Vor-Auswahl auf den Wert der Zielfunktion (Wert der Zielfunktion $\mu=0,05$ σ^2 in Prozent)

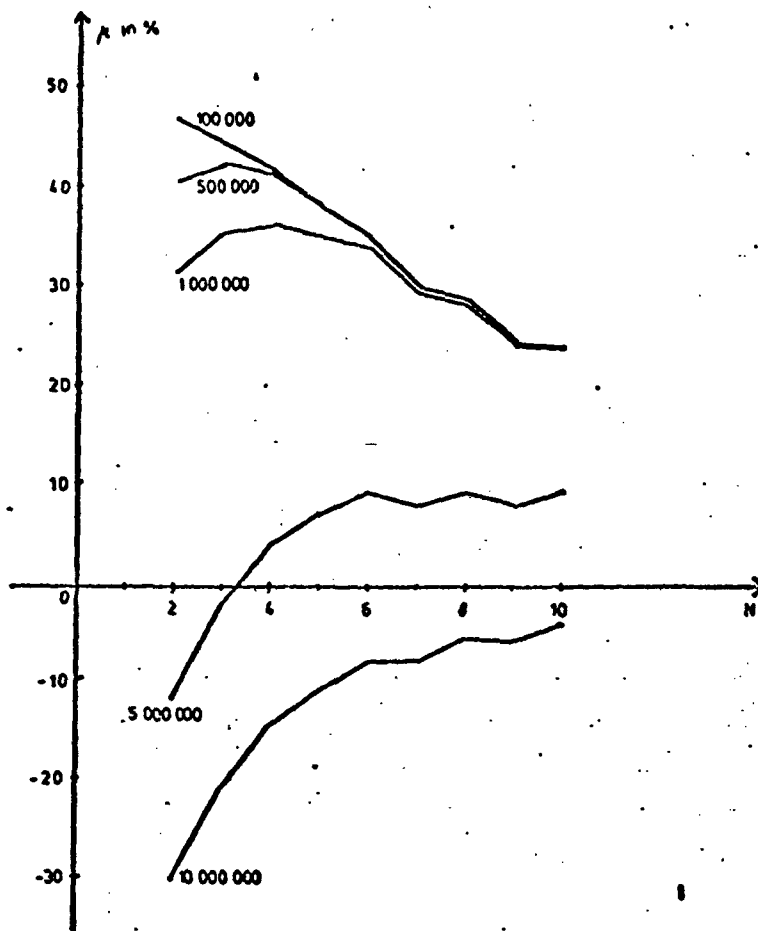
Vor-Auswahl aus der Grundgesamt- heit	Zahl der gezogenen Zufallsportefeuilles						
	100	1000	5000	10.000	15.000	20.000	25.000
Grundgesamtheit 200 Aktien							
20 Aktien	41,5	41,5	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5
50 Aktien	36,3	40,3	40,3	40,3	40,3	40,3	40,3
100 Aktien	30,5	31,7	32,9	32,9	34,0	34,0	34,0
Grundgesamtheit 300 Aktien							
20 Aktien	42,9	42,9	43,6	43,6	43,6	43,6	43,6
50 Aktien	39,2	42,2	42,2	42,2	42,2	42,2	42,2
100 Aktien	34,6	36,4	37,2	37,2	37,6	37,6	37,8
Grundgesamtheit 400 Aktien							
20 Aktien	43,7	43,7	44,2	44,2	44,2	44,2	44,2
50 Aktien	40,9	43,1	43,1	43,1	43,1	43,1	43,1
100 Aktien	36,7	38,7	39,3	39,3	39,4	39,4	39,8
Grundgesamtheit 500 Aktien							
20 Aktien	44,1	44,1	44,5	44,5	44,5	44,5	44,5
50 Aktien	41,9	43,6	43,6	43,6	43,6	43,6	43,6
100 Aktien	38,4	40,2	40,6	40,6	40,6	40,6	41,0

3.2. Der Fall des Großanlegers

Von besonderem Interesse und bisher nicht empirisch nachgewiesen sind die Auswirkungen, die ein Großanleger aufgrund seines Markteinflusses bei der Portefeuillezusammenstellung zu beachten hat. In Abbildung 4 wird dargestellt, wie sich die erwartete Portefeuillerendite in Abhängigkeit von dem Kapitaleinsatz und der Zahl verschiedener Aktien im Portefeuille für eine gegebene Datenkonstellation entwickelt. Für jede Aktie wird ein Normalumsatz von 1000 Stück unterstellt, bei darüber liegenden Kaufmengen steigt der Kurs der zusätzlich erworbenen Aktien um 0,01 DM je Stück. Aus Abbildung 4 folgt:

1. Je nach Höhe des Anlagekapitals bringt eine unterschiedliche Zahl von Aktien (z.B. $N=2$ bei 100.000,-- DM, $N=10$ bei 10.000.000,-- DM) die besten Werte der Zielfunktion.
2. Ab einem bestimmten Anlagekapital muß die Zahl der verschiedenen Aktien erheblich erhöht werden, damit überhaupt eine positive Rendite erwartet werden kann.

Abbildung 4: Zum Einfluß der Höhe des Anlagekapitals auf die Portefeullerendite



Diese Ergebnisse scheinen zu implizieren, daß größere Investmentfonds auf lange Sicht hohe Renditen nicht erwirtschaften können; es stellt sich die Frage nach der optimalen Größe eines Investmentfonds. Vielleicht bieten die Ergebnisse zugleich auch eine Erklärung für die Annahme der Risikoscheu von Großanlegern.

4. Schluß

Portefeuilleplanung mit Hilfe der Simulation kann unter bestimmten Voraussetzungen befriedigende Ergebnisse bieten, unter Berücksichtigung der Planungskosten- 150 bis 300 Portefeulles können je CPU-Sekunde auf einer PDP-10 gezogen werden - kann eine solche Form der Planung der Optimierung sogar überlegen sein. Dies wird insbesondere den kleinen und mittleren Anleger interessieren. Da die Marktbeeinflussung in Optimierungsmodellen zur Zeit wohl theoretisch, nicht aber praktisch berücksichtigt werden kann, sind auch Großanleger auf die Simulation angewiesen.

Literatur:

1. Bley Müller, J., Theorie und Technik der Aktienkursindizes, Wiesbaden 1966.
2. Cohen, K.J., und J.A. Pogue, An Empirical Evaluation of Alternative Portfolio-Selection Models, in: JB 40 (1967), S. 166-193.
3. Evans, J.L., und S.A. Archer, Diversification and the Reduction of Dispersion: An Empirical Analysis, in: JF 23 (1968), S. 761-769.
4. Hertz, D.B., Risk Analysis in Capital Investment, in: HBR 42 (1964), S. 94 ff.
5. Jacob, N.L., A Limited Diversification Portfolio Selection Model for the Small Investor, in: JF 29 (1974), S. 847-856.
6. Johnson, K.H., und D.S. Shannon, A Note on Diversification and the Reduction of Dispersion, in: Journal of Financial Economics 1 (1974), S. 365-372.
7. Markowitz, H.M., Portfolio Selection, New York 1959.
8. Miller, J.C.P., (Hrsg.), Table of Binomial Coefficients, Cambridge 1964.
9. Rodewald, B., Die Portfolio Selection Theorie als Entscheidungshilfe für die Wertpapierdepotplanung, Bern und Frankfurt/Main 1974.
10. Schmidt, R., Optimale Wertpapiermischungen mit Hilfe des Chance-Constrained Programming, in: Proceedings in Operations Research 4 (1974), S. 51-71.
11. Schmidt, R., Mehrperiodige Portfeuilleplanung, Vortrag gehalten anlässlich der Pfingsttagung des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V. in Bonn am 23.5.1975, Manuskripte aus dem Seminar für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel, Nr. 24 (1975), vervielfältigt.
12. Sharpe, W.F., A Simplified Model for Portfolio Analysis, in: MS 9 (1962/63), S. 277-293.
13. Sharpe, W.F., Portfolio Theory and Capital Markets, New York et al. 1970.
14. Ziskind, R., und R. Boldin, A Computer Simulation Model for Investment Portfolio Management, in: FM 2 (1973), No. 3, S. 23-33.