

# Markovketten-Analysen an den kalkreichen Schichtgruppen der oberkarbonen Auernigschichten im Raume von Naßfeld (Karnische Alpen, Kärnten)

Ein Vorbericht

Mit 2 Abbildungen und 6 Tabellen im Text

Von A. FENNINGER

## ZUSAMMENFASSUNG

Zyklizitätsuntersuchungen mit Hilfe von Markovketten 1. Ordnung an den „kalkreichen Schichtgruppen“ der Auernigschichten im Raume vom Naßfeld zeigen, daß unter Zugrundelegung dieser Methode kein gültig interpretierbarer stochastischer Prozeß vorliegt. Es ist möglich, daß sich der Auernigrhythmus mit Hilfe von Markovketten höherer Ordnung deuten läßt.

## SUMMARY

Embedded Markov chains of first order are used in cyclicity analysis of the „kalkreichen Schichtgruppen“ of the Auernigschichten in the Naßfeld area. This method did not verify the existence of a stochastic process. It is possible that Markov chains of higher order may lead to a valid interpretation.

Angeregt durch die Markovketten-Analyse des Auernig-Rhythmus im Garnitzengesamtprofil (FLÜGEL 1971) wurde getestet, inwieweit einzelne Schichtgruppen der oberkarbonen Auernigschichten ein zyklisches Verhalten erwarten lassen. Dies war insoferne von Interesse, als die Analyse des Garnitzengesamtprofiles im Hinblick

auf die Zyklizität ein negatives Ergebnis zeitigte. Wie bei FLÜGEL 1971 wurden auch hier nur formale statistische Tests durchgeführt (vgl. auch BILLINGSLEY 1961, GINGERICH 1969), denen eine Ausgangsmatrix zugrunde liegt, die lediglich die Übergangswahrscheinlichkeiten (= Übergangsmatrix) zwischen den verschiedenen lithologischen Einheiten berücksichtigt "embedded Markov chain", KARLIN 1966, KRUMBEIN & DACEY 1969). Es wurden dort, wo Aufnahmen verschiedener Autoren ein und desselben Profiles oder Profilausschnittes vorlagen, die Auffassungen der einzelnen Autoren als Grundlage genommen. Dies war erforderlich, um zu überprüfen, inwieweit die (subjektive) Beurteilung der lithologischen Abfolgen bzw. verschieden verfeinerte Gliederungen zu einer unterschiedlichen Interpretation der stratigraphischen Ergebnisse führt.

Im folgenden seien die Profile oder Profilausschnitte, an denen ein Test auf Zyklizität durchgeführt wurde, kurz angeführt (Tab. 1).

Tabella 1

	KAHLER & METZ	ARGYRIADIS	FRECH	FENNINGER
Untere kalkreiche Schichtgruppe (Garnitzen)	33	40	—	58
Teil der oberen kalkreichen Schichtgruppe (Garnitzen)	16	—	—	—
Obere kalkreiche Schichtgruppe (Auernig)	—	27	—	—
Auernig-Gesamtprofil	—	62	26	—
Krone-Gesamtprofil	—	—	22	—

(Die Zahlen beziehen sich auf die jeweils ausgeschiedene Gesamtsumme einzelner Gesteinseinheiten in den Profilen. Die Profilabfolgen sind aus den Arbeiten der angeführten Autoren ersichtlich.)

Aus Gründen der Vereinheitlichung und der Vergleichbarkeit der Auffassungen einzelner Autoren bzw. der Profile wurden lediglich vier lithologische Ausscheidungen gewählt. Wir waren dabei natürlich gezwungen, einzelne lithologische Bezeichnungen umzuinterpretieren. Nach eigenen Aufnahmen und nach der Literatur sind folgende lithologische Typen zu erwarten (Tab. 2). Tab. 2 zeigt die dabei durchgeführte Reduktion auf 4 respektive 3 lithologische Einheiten.

Diese Vereinfachung schließt aber leider die subjektive Beurteilung nicht aus (sondern kann sie noch stärker verfälschen), was auch in der verschiedenen Anzahl der erkannten lithologischen Typen zum Ausdruck kommt. Ein Test auf Gleichverteilung (MARSAL 1967) der Anzahl der lithologischen Typen in der „Unteren kalkreichen Schichtgruppe“ nach den Auffassungen von KAHLER & METZ in

Tabelle 2

Konglomerate		Konglomerate (Ko)	Grobklastisch (G)
Geröllführende Sandsteine	}	Sandstein (S)	Feinklastisch (F)
Grauwacken			
Sandsteine	}	Schiefer (Sch)	
Sandige Schiefer			
Grauwackenschiefer	}	Kalke (K)	Kalkig (K)
div. Schiefer			
Sandige Kalke/Mergel	dolomitisch	Kalke (K)	
Mergel			
Mergelkalke			
Kalke			

HERITSCH 1934, ARGYRIADIS 1960 und eigenen Aufnahmen zeigte, daß lediglich die unter „Kalke“ zusammengefaßten Einheiten mit 90%iger Wahrscheinlichkeit übereinstimmen, während die restlichen Typen (Konglomerat, Sandstein und Schiefer) keine signifikante Übereinstimmung (unter 10 %) zulassen. Diese dürfte allerdings nicht allein auf die subjektive Beurteilung im Gelände zurückzuführen sein, sondern auch auf die stark wechselnden Aufschlußbedingungen. Dazu kommt, daß vor allem die klastischen Folgen sich lateral stark ändern können und damit die Wahl der Profillage zu einer verschiedenen Ausgangsmatrix führen kann.

Das signifikante Verhalten der kalkigen Anteile rechtfertigt die von KAHLER & METZ durchgeführte Gliederung der oberkarbonen Auernigsschichten in „kalkarme“ und „kalkreiche“ Gruppen und erweist sich als die derzeit einzige lithologische Gliederungsmöglichkeit im Gelände. Während FLÜGEL an Hand der Aufnahme von KAHLER & METZ (vgl. auch KAHLER & PREY 1963) das gesamte Garnitzenprofil untersuchte (138 „Bänke“), haben wir in einem ersten Teil lediglich die „Untere kalkreiche Schichtgruppe“, das sogenannte „Watschiger Profil“, analysiert.

Die Verteilung der Gesteinseinheiten bei KAHLER & METZ, ARGYRIADIS und FENNINGER zeigt Tab. 3. (Die über der letzten Kalkbank der „Unteren kalkreichen Schichtgruppe“ folgenden, pflanzenführenden Sandsteine wurden jeweils miteinbezogen.)

Tabelle 3

	KAHLER & METZ	ARGYRIADIS	FENNINGER
Kalk	10	9	10
Schiefer	10	14	17
Konglomerat	11	14	25
Sandstein	2	3	6

Die aus der Übergangswahrscheinlichkeitsmatrix ( $p_{ij}$ ) ablebare Übergangswahrscheinlichkeit des Profiles (vgl. POTTER & BLAKELY 1968, READ 1969) zeigt Abb. 1. Dabei wurden Übergangswahrschein-

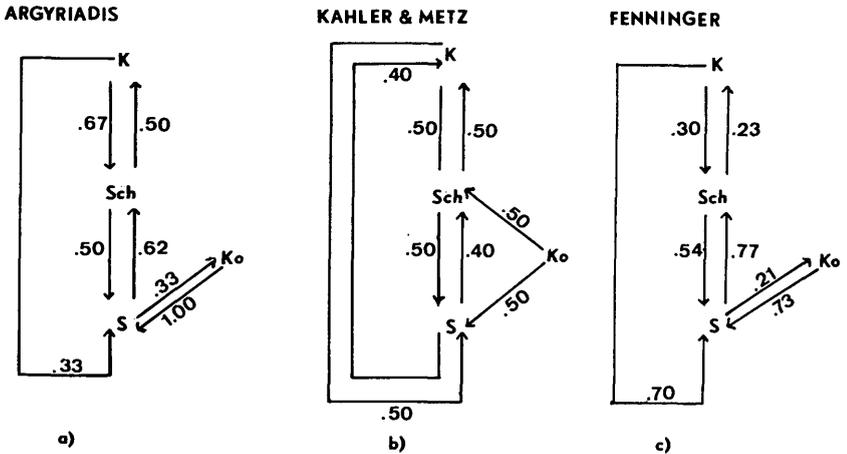


Abbildung 1

lichkeiten unter .20 nicht berücksichtigt. Die Übergangsdigramme sind wie folgt zu lesen: Die Übergangswahrscheinlichkeit, daß z. B. über einer Sandsteineinheit eine Schiefereinheit folgt, beträgt (vgl. 1 a) .62, während in allen Fällen (1 a) der Konglomerathorizont von einem Sandstein überlagert wird (S über Ko = 1.) etc.

Zur Überprüfung, inwieweit nun diese Verteilung einen erfaßbaren Trend erkennen läßt, wird eine theoretische Matrix erstellt, die — ausgehend von der Verteilung der Gesteinseinheiten im Profil — ein geordnetes Modell abbildet, welches eine zyklische Sedimentation von vornherein ausschließt. Der Vergleich der beobachteten Wahrscheinlichkeit mit der theoretischen (Chi-Quadrat-Test) läßt dann auf ein zyklisches Verhalten der Sedimentfolge schließen, wenn sich die „natürliche“ Übergangsmatrix ( $f_{ij}$ ) von der theoretisch konstruierten, trendunabhängigen Matrix ( $e_{ij}$ ) statistisch signifikant unterscheidet. Der mit Hilfe des  $\chi^2$ -Tests durchgeführte Vergleich zwischen den Matrizen ergibt wie beim Gesamtprofil, daß auch die Abfolge der Gesteinseinheiten der „Unteren kalkreichen Schichtgruppe“ des Garnitzenprofils kein zyklisches Verhalten in Form einer Markovkette erster Ordnung (vgl. z. B. SCHWARZACHER 1967, 1969) erkennen läßt. Die Analyse lieferte die auf Tab. 4, S. 23 oben, ersichtlichen Werte (bei 8 Freiheitsgraden).

Tab. 4 zeigt, daß bei einer Wahrscheinlichkeit von 99 % in keinem Fall ein stochastisches Verhalten erkennbar ist.

Tabelle 4

FLÜGEL 1971 (Garnitzengesamtprofil)	$\chi^2 = 6,27$
KAHLER & METZ 1934 (Garnitzenprofil, Unt. kalkr. Gr.)	$\chi^2 = 5,08$
ARGYRIADIS 1968 (Garnitzenprofil, Unt. kalkr. Gr.)	$\chi^2 = 12,60$
FENNINGER 1971 (Garnitzenprofil, Unt. kalkr. Gr.)	$\chi^2 = 8,76$
$\chi^2_{99\%} = 20,09, \nu = 8$	
$\chi^2_{95\%} = 15,50$	

Um zu einer allgemeinen, umfassenden Aussage zu kommen, wurden weitere Profile herangezogen und diese in gleicher Weise behandelt. Dazu wurden vor allem die Profilbeschreibungen des Auernig und der Krone von FRECH 1894 und ARGYRIADIS 1968 ausgewertet.

Verteilung einzelner lithologischer Einheiten:

Tabelle 5

	Auernig		Krone
	FRECH	ARGYRIADIS	FRECH
Kalk	6	9	3
Schiefer	12	14	6
Sandstein	2	25	8
Konglomerate	6	14	5

Die ausgewerteten Profile sind der „Mittleren kalkarmen“ und der „Oberen kalkreichen Schichtgruppe“ zuzuordnen.

Die jeweiligen Übergangsdiagramme gehen aus Abb. 2 hervor.

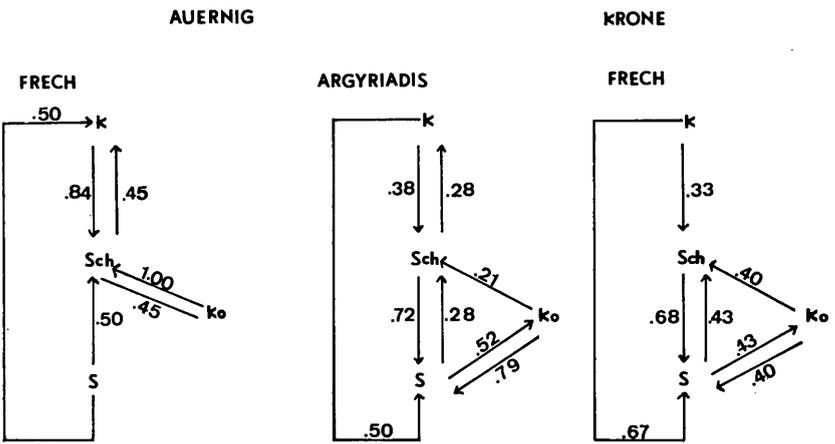


Abbildung 2

In auffallender Weise läßt sich zwar das Übergangsgeschwindigkeitsdiagramm des Auernig nach der Aufnahme von ARGYRIADIS mit der Aufnahme der Krone von FRECH vergleichen, nicht vergleichbar sind aber die Aufnahmen beider Autoren an ein und demselben Profil (Auernig). Die  $\chi^2$ -Werte bei 8 Freiheitsgraden sind (Tab. 6):

Tabelle 6

Auernig (FRECH)	$\chi^2 = 7,98$	
Auernig (ARGYRIADIS)	$\chi^2 = 13,71$	$\chi^2_{90\%} = 20,09$
Krone (FRECH)	$\chi^2 = 2,51$	$\chi^2_{90\%} = 13,36$

Während die Auswertung der FRECH'schen Profile in keinem Fall signifikant ist, ist zumindest bei ARGYRIADIS (Auernigprofil) mit 90 %iger Wahrscheinlichkeit die Annahme einer zyklischen Sedimentation berechtigt.

Dieser relativ hohe, aber noch nicht ausreichend signifikante Wert für das gesamte Profil gab Anlaß zur Prüfung, welche Ergebnisse die „Obere kalkreiche Schichtgruppe“ allein liefert. Dabei zeigte sich, daß die Wahrscheinlichkeit zwar ansteigt ( $\chi^2 = 14,32$ ), eine ausreichende Signifikanz von 95 % aber nicht vorliegt. Das trifft auch für die entsprechenden Anteile der „Oberen kalkreichen Schichtgruppe“ des Garnitzenprofils (KAHLER & METZ, Bank-Nr. 96—118) zu, wo  $\chi^2$  lediglich 3,71 beträgt. Aufgrund dieser Untersuchungen erscheint die Annahme berechtigt, daß die Profile nach den Geländebefunden, wie sie derzeit aus den kalkreichen Schichtgruppen der Auernigschichten im Raume vom Naßfeld vorliegen, kaum einem stochastischen Prozeß im Sinne einer Markovkette 1. Ordnung gehorchen.

Der Umstand, daß vor allem die klastischen Anteile sich lateral stark ändern, könnte als Ursache angesehen werden, weshalb Markovketten 1. Ordnung keine interpretierbare Zyklizität liefern. Bereits SCHWARZACHER 1967 hat darauf hingewiesen, daß bei stratigraphischen Analysen Markovketten höherer Ordnung notwendig sind.

Aus diesem Grunde haben wir, ausgehend von der eigenen Aufnahme der „Unteren kalkreichen Schichtgruppe“ des Garnitzenprofils, geprüft, ob mit Hilfe von Markovketten höherer Ordnung ein zyklisches Modell konstruierbar wäre. Um eine allzu große Übergangsmatrix zu vermeiden, wurde die Zahl der einzelnen lithologischen Ausscheidungen auf nur 3 beschränkt (vgl. Tab. 2). Die Anordnung dieser 3 Zustände zeigt, daß unter Zugrundelegung einer Markovkette höherer Ordnung von den theoretisch möglichen 12 komplexen Zuständen lediglich 6 (GFK, FKF, KFK, KFG, FGF, GFG) verwirklicht sind, so daß sich eine zyklische Übergangsmatrix mit der Periode 6 bilden läßt.

Der  $\chi^2$ -Test zeigte, daß ihr zyklisches Verhalten durch eine relativ hohe Signifikanz bestätigt wird.

Vor Abschluß weiterer Untersuchungen hinsichtlich Markovketten höherer Ordnung kann kein endgültiges Urteil über ein zyklisches Verhalten im „Auernig-Rhythmus“ (KAHLER 1955) abgegeben werden. Eine Erklärung mit Hilfe von Markovketten höherer Ordnung erscheint allerdings nach den zuletzt angeführten Vorstellungen möglich. Die durchgeführten Analysen lieferten Anregungen dazu, vor allem die Grenzen zwischen einzelnen lithologischen Einheiten im Detail zu untersuchen, um dadurch eine Objektivierung einer Profilaufnahme zu erreichen. Nach Auswertung der Laboraten wird von Interesse sein, inwieweit diese derzeit vorliegenden Ergebnisse modifiziert werden.

Vorliegende Untersuchung wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens 1177 des Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung in Österreich durchgeführt.

#### Literatur

- ARGYRIADIS, J. (1968): Le Permo-Carbonifère marin des Alpes Carniques jalon allochtone entre Nord-alpin et Sud-alpin. — Diplome d'étude Sup. Sci., Univ. Paris Sci. Ossay, 156 S., 32 Abb. u. Tab., Paris.
- BILLINGSLEY, P. (1961): Statistical method in Marchov chains. — *Ann. Math. Statist.*, 32: 12—40.
- FENNINGER, A. (1971): Bericht über detailstratigraphische Aufnahmen der oberkarbonen Auernigschichten im Raume Naßfeld (Karnische Alpen). — *Verh. Geol. B. A.* 1971, Wien (In Druck).
- FLÜGEL, H. W. (1971) Bemerkungen zum Auernig-Rhythmus (Karnische Alpen, Oberkarbon). — *Carinthia II*, Klagenfurt 1970. Sonderheft.
- FRECH, F. (1894): Die Karnischen Alpen. — 514 S., 86 Abb., 2 Geol. Karten, Kartenskizzen, Halle (Max Niemayer Verlag).
- GINGERICH, Ph. D. (1969): Markov analysis of cyclic alluvial sediments. — *J. Sed. Pet.*, 39: 330—332, Menasha.
- HERITSCH, F., KAHLER, F., & METZ, K. (1934): Die Schichtfolge von Oberkarbon und Unterperm. In HERITSCH, F.: Die Stratigraphie von Oberkarbon und Unterperm in den Karnischen Alpen. — *Mitt. Geol. Ges. Wien*, 26: 162—189.
- KAHLER, F. (1955): Entwicklungsräume und Wanderwege der Fusuliniden auf dem eurasischen Kontinent. — *Geologie*, 4: 178—188, 2 Abb., Berlin.
- KAHLER, F., & PREY, S. (1969): Erläuterungen zur geologischen Karte des Naßfeld-Gartnerkofel-Gebietes in den Karnischen Alpen. — 116 S., 26 Abb., 3 Tab., 5 Taf., Wien (Geol. B. A.).
- KARLIN, S. (1966): A first course in stochastic processes. — 502 S., New York (Academic Press).
- KRÜMBEIN, W. C., & DACEY, M. F. (1969): Markov Chains and Embedded Markov Chains in Geology. — *Mathem. Geol.*, 1, 2 Abb., 3 Tab., New York.

- MARSAL, D. (1967): Statistische Methoden für Erdwissenschaftler. — 152 S., 40 Abb., 7 Tab., Stuttgart (E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermüller).
- POTTER, P. E., & BLAKELY, R. (1968): Random Processes and lithologic transitions. — *Geol.*, 76: 154—170, 3 Fig., Chicago.
- READ, A. W. (1969): Analysis and Simulation of Namurian Sediments in central Scotland using a Markov-Process Model. — *Mathem. Geol.*, 1: 199—219, 3 Abb., 5 Tab., New York.
- SCHWARZACHER, W. (1967): Some experiments to simulate the Pennsylvanian rock sequence of Kansas. — *Computer contrib.* 18: 5—14, 7 Fig., Lawrence.
- (1969): The Use of Markov Chains in the Study of Sedimentary Cycles. — *Math. Geol.* 1, 7 Fig., New York.

Anschrift des Verfassers: Dr. A. FENNINGER, Abt. f. Paläont. und Hist. Geol., Universität, 8010 Graz, Heinrichstraße 26.