

**MÖGLICHKEITEN DER ABLEITUNG VON SEDIMENTATIONS-  
UND DIAGENESEMERKMALEN AUS  
PETROPHYSIKALISCHEN MEßGRÖßEN**

R. Kehse, A. Quest, J. R. Schopper

**Zusammenfassung**

Die Eigenschaften eines Sedimentgesteins sind geprägt durch Sedimentationsbedingungen und Diageneseverlauf. Das legt nahe, in der Sedimentpetrophysik zu versuchen, die Diagenese quantitativ durch petrophysikalische Meßgrößen zu erfassen. Das Problem dabei ist die Trennung der Diagenese von Sedimentationsmerkmalen.

Dazu wurde ein Ausdruck entwickelt, der nach theoretischen Überlegungen unter Vernachlässigung anderer Einflüsse, wie z. B. der Sortierung, ein Maß für den Diagenesegrad sein sollte.

Außerdem wurde die Kornkontaktstärke nach Auszählung an Dünnschliffen berechnet.

Diese Ausdrücke wurden einerseits miteinander verglichen, andererseits in Abhängigkeit von der Versenkungsteufe bzw. der Porosität betrachtet.

Wenn man durch experimentelle Arbeiten versucht, echte sedimentpetrophysikalische Gesetzmäßigkeiten zu erhalten, so wird man feststellen, daß diese Gesetzmäßigkeiten meistens durch überlagerte Einflüsse geologischer Entwicklungsabläufe verdeckt sind. Die Clausthaller Arbeitsgruppe Petrophysik unter Prof. Schopper ist seit Jahren nun damit beschäftigt, die reinen petrophysikalischen Gesetzmäßigkeiten von diesen geologischen Störeinflüssen zu befreien. Inzwischen sind wir soweit, daß wir uns auch umgekehrt den petrophysikalischen Auswirkungen geologischer Vorgänge zuwenden können. Das geschieht mit Hilfe der nunmehr bekannten petrophysikalischen Gesetze. Dabei ist es unser Ziel, ergänzend zu den bekannten qualitativen oder halbquantitativen sediment-petrographischen Methoden quantitative petrophysikalische Merkmale für geologische Prozesse während Sedimentation und Diagenese zu schaffen. Ein Schritt dabei muß die Trennung der Sedimentationseinflüsse von denen der Diagenese sein. Solche Untersuchungen laufen hier zur Zeit u.a. in einem Projekt des SFB 134 "Erdöltechnik - Erdölchemie".

Dazu ist zu sagen, daß sich unsere Untersuchungen insgesamt noch in einem sehr frühen Stadium befinden und vorläufig nur erste andeutungsweise Ergebnisse vorliegen. Aber wegen der grundsätzlichen Bedeutung solcher Untersuchungen im Hinblick auf den Trend, auch in der Geologie stärker quantitative Methoden auf physikalisch-mathematischer Basis einzuführen, soll dennoch bereits hier vorbereitend darüber berichtet werden.

Nach KOZENY-CARMAN gilt:

$$F \cdot K = \frac{1}{2} \frac{1}{S_{\text{por}}^2} \quad (1)$$

Dieser Ausdruck wird matrixbezogen umgerechnet mit:

$$S_{\text{mtx}} = \left(\frac{\emptyset}{1-\emptyset}\right) S_{\text{por}} \quad (2)$$

und man erhält:

$$F \cdot K = \frac{1}{2} \frac{1}{S_{\text{mtx}}^2} \left(\frac{\emptyset}{1-\emptyset}\right)^2 \quad (3)$$

- mit F - Formationsfaktor
- K - Permeabilität
- $\emptyset$  - Porosität
- $S_{\text{mtx}}$  - matrixbezogene Oberfläche
- $S_{\text{por}}$  - spezifische innere Oberfläche

Für monodisperse Kugelpackungen gilt:

$$r = \frac{3}{S_{\text{mtx}}} \approx r_{\text{gr}} \quad (4)$$

Diese Gleichung gilt auch modellmäßig für ein Korngerüst mit einem mittleren effektiven Kornradius.

Setzt man das in Gleichung (3) ein, so ergibt sich:

$$F \cdot K = \frac{1}{18} r_{\text{gr}}^2 \left(\frac{\emptyset}{1-\emptyset}\right)^2 \quad (5)$$

Bekanntlich ist einerseits  $K \sim r_{\text{gr}}^2$  (z.B. siehe KRUMBEIN), und K nimmt andererseits mit fortschreitender Diagenese ab. Somit läßt sich als "Diageneseparameter" definieren:

$$F \left(\frac{1-\emptyset}{\emptyset}\right)^2$$

Dieser Ausdruck sollte also ein Maß für den Diagenese- bzw. Verfestigungsgrad sein, wenn man andere Einflüsse - wie z.B. Sortierung - vernachlässigt.

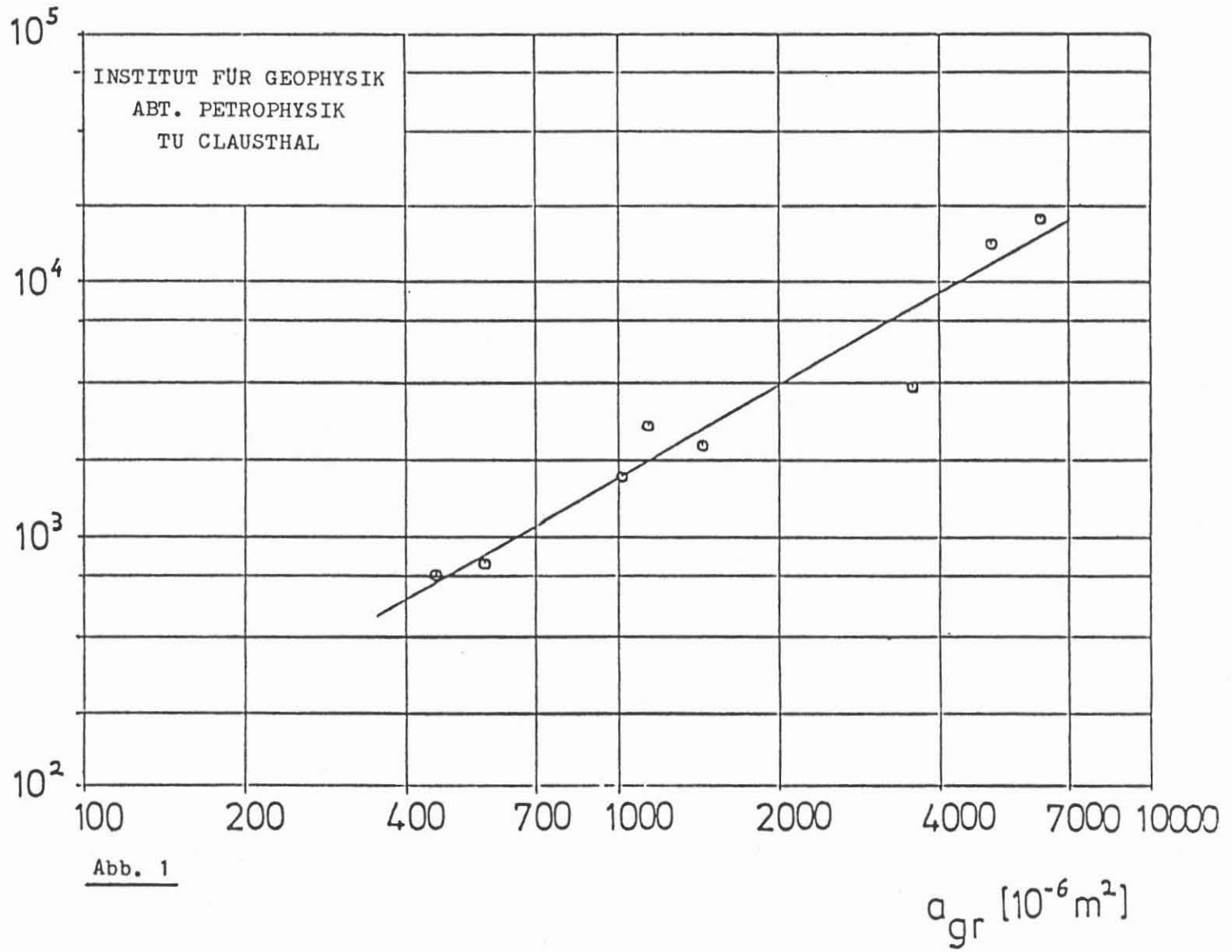
In Abb. 1 ist  $\frac{1}{18} \pi F K \left(\frac{1-\phi}{\phi}\right)^2$  gegen die bildanalytisch aus Schliffen gewonnene mittlere Kornschnittfläche  $a_{gr}$  geplottet. Der Ausdruck auf der Ordinate ist die nun kornflächenbezogene Gleichung (5). Die mittlere Kornfläche erhalten wir - wie gesagt - aus Bildanalyse-Daten, während Formationsfaktor, Permeabilität und Porosität im Labor gemessen wurden. Leider existiert bisher nur wenig Datenmaterial aus der Bildanalyse, so daß hier auch nur wenige Punkte eingezeichnet werden konnten. Zu erwarten ist jedenfalls eine Punktverteilung um die 45°-Gerade, was hier auch ganz gut eintrifft und damit die Gleichung (5) empirisch soweit bestätigt. Der Ausdruck auf der Ordinate läßt sich somit zur Beschreibung der mittleren Korngröße nutzen.

Eine Methode in der Sedimentpetrographie, die neben verschiedenen anderen Methoden zur Erfassung des Diagenesegrades dient, basiert auf der Kornkontaktstärke der detritischen Gesteinskomponenten. Es werden die Typen der Kornkontakte (Abb. 2a) entlang von Traversen ausgezählt, so wie sie in der Ebene eines Dünnschliffs erscheinen. Dabei werden folgende Kontakte unterschieden:

- a) punktförmige Kontakte
- b) lange Kontakte längs einer geraden Linie
- c) konkav-konvexe Kontakte längs einer gekrümmten Linie
- d) suturierte Kontakte, d.h. Kontakte längs welliger, gekerbter Konturen.

Mrs. TAYLOR hat 1950 einige Auszählungen an Dünnschliffen von nordamerikanischen Jura- und Kreidesandsteinen vorgenommen und die Häufigkeit der Kontakttypen teufenabhängig dargestellt (Abb. 2b). Punktförmige (tangentielle) Kontakte nehmen mit der Teufe schnell

$$\frac{1}{18} \pi F K \left[ \frac{1-\phi}{\phi} \right]^2 [10^{-12} \text{m}^2]$$



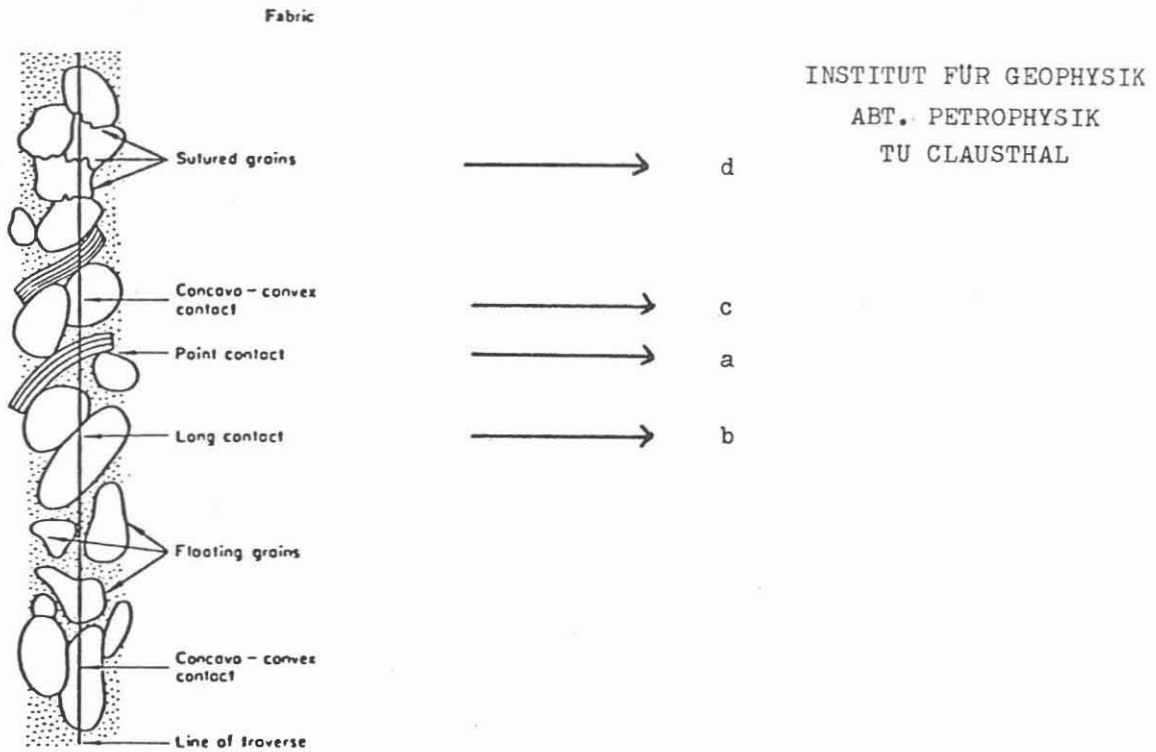


Abb. 2a: Definition verschiedener Kornkontakte (aus Pettijohn, Potter & Siever, 1973)

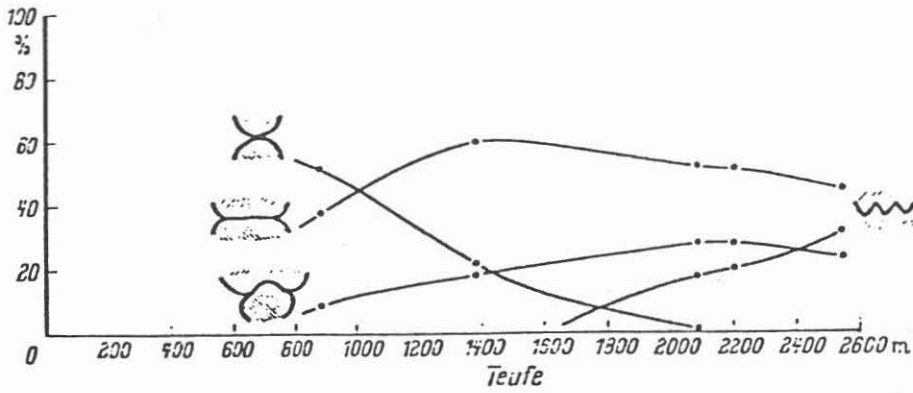


Abb 2b: Häufigkeit von punktförmigen, konkav-konvexen und suturierten Kornkontakten in Abhängigkeit von der Teufe (nach TAYLOR, 1950)

ab, die langen Kontakte zeigen ein Maximum, die konkav-konvexen Kontakte nehmen mit der Teufe zu, ebenso die suturierten Kontakte. Die Veränderung der ersten zwei Kontaktarten ist im wesentlichen die Folge rein mechanischer Prozesse, während die konkav-konvexen und die suturierten Kontakte charakteristisch für das Zusammenwirken von mechanischer Kompaktion und chemischen Lösungsvorgängen sind.

Unsere Auszählungen an Dünnschliffen - es handelt sich hierbei um Sandsteine aus dem Dogger  $\beta$  und dem Mittleren Rhät - weisen ganz ähnliche Tendenzen auf.

Mit diesen Ergebnissen wurde eine Kornkontaktstärke berechnet, die von Herrn FÜCHTBAUER (1967) folgendermaßen definiert wurde:

$$k = \frac{a + 2b + 3c + 4d}{a + b + c + d}$$

Hierbei sind die verschiedenen Kontaktarten - vom Punktkontakt bis zum suturierten Kontakt - ansteigend gewichtet. Es ist zu beachten, daß dieser Ausdruck praktisch nur für reine Quarzsandsteine gilt. Sobald eine Verfüllung des Porenraums - wie z.B. bei unseren Proben mit Karbonat - zu beobachten ist, nimmt die Kornkontaktanzahl ab, da die Körner zum Teil vollständig von Karbonatzement umgeben sind. Hier scheitert die von Herrn FÜCHTBAUER entwickelte Kontaktstärke-Formel. Sie müßte modifiziert werden, um sie auch bei nicht reinen Quarzsandsteinen anwenden zu können. Diese Weiterentwicklung ist bei uns für die nächste Zukunft geplant. Zur Zeit müssen wir uns aber noch mit der ursprünglichen Form begnügen.

Abb. 3 zeigt eine Trend-Darstellung der Kontaktstärke gegen die Versenkungsteufe für den Dogger  $\beta$  aus vier Feldern des Gifhorner- und Ostholsteiner Trogs. Mit zunehmender Teufe nimmt auch die Kontaktstärke zu. Allerdings fallen auch einige Punkte des Plots deutlich aus dem Zusammenhang heraus. Bei diesen Gesteinsproben handelt es sich um Sandsteine mit mehr oder weniger starker Karbonatverfüllung

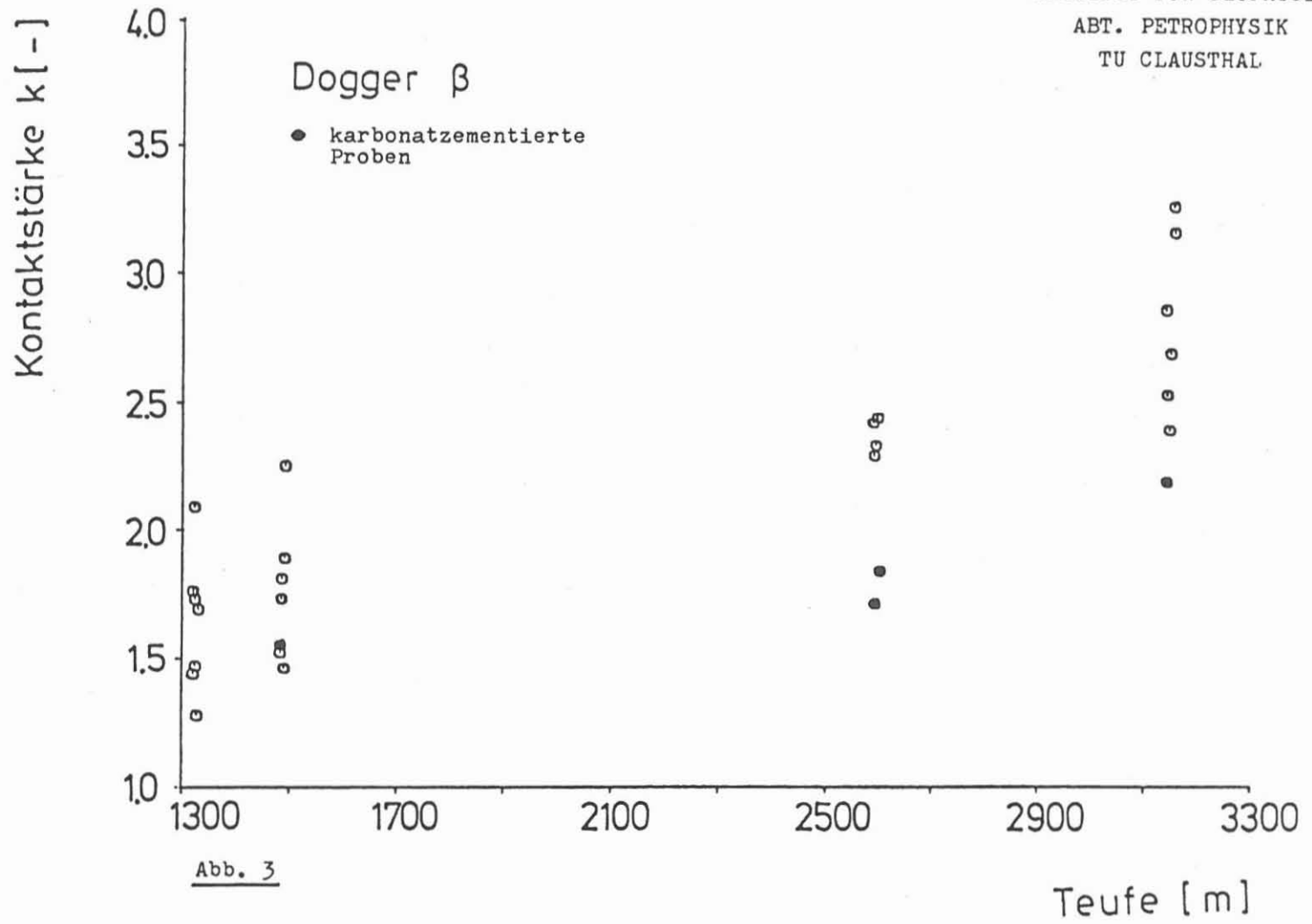


Abb. 3



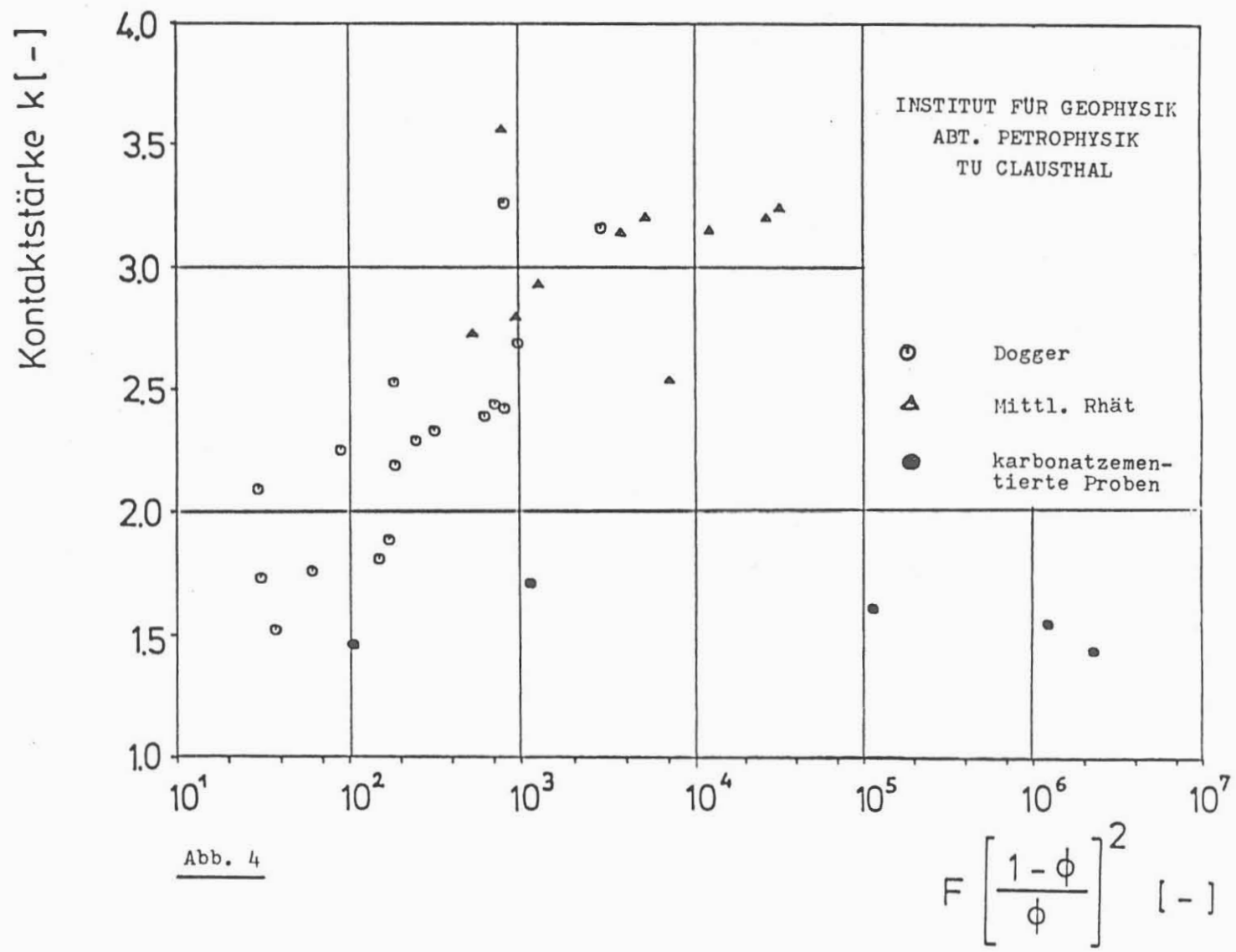
des Porenraums, wobei es hier verschiedene Ursachen für die Bildung geben kann. Zum einen können Quarzdetritus und Kalkschlamm gemeinsam sedimentiert sein. Zum anderen kann während der Diagenese eine Umkristallisation des Kalkschlammes zu sparitischem Karbonatzement stattgefunden haben, oder es wurde Karbonatzement aus Formationswässern ausgefällt und im Porenraum eingelagert. Auf jeden Fall sollten die dunkel markierten Punkte ihrer Herkunftstiefe entsprechend diagenestisch eigentlich viel weiter oben liegen. Das würde bedeuten, daß offenbar die Karbonatverfüllung des Porenraums die gleiche Wirkung wie eine frühe Ölimmigration hat: nämlich den Abbruch der weiteren Diagenese.

Es liegt nun nahe, unseren petrophysikalischen Diageneseparameter mit der petrographischen Kontaktstärke zu vergleichen (Abb. 4). Wir haben hier zwei unterschiedliche Formationen. Einmal den Dogger  $\beta$  aus den Bohrungen im Gifhorner- und Ostholsteiner Trog und dann den Rhät aus den Bohrungen Hardesse und Müden. Er ergibt sich für die Mehrheit der Punkte deutlich ein logarithmischer Zusammenhang von etwa

$$k = \frac{1}{2} \log \left[ F \left( \frac{1-\phi}{\phi} \right)^2 \right] + 1$$

Vermindert man FÜCHTBAUER's Kontaktstärke, die den Bereich von 1 bis 4 durchlaufen kann, um 1, so ist diese Größe offenbar proportional dem Logarithmus unseres Diageneseparameters.

Auch hier fallen einige Punkte deutlich aus dem Zusammenhang heraus. Bei diesen Proben handelt es sich wiederum um die bereits beschriebenen karbonatzementierten Sandsteine. Allerdings kann hier auch unser Diageneseparameter fehlerbehaftet sein. Wie ich anfangs schon erwähnt habe, ist unser petrophysikalischer Ausdruck immer noch kein reiner Diageneseparameter, da er noch auf andere Erscheinungen reagiert. Mittels ähnlicher Gedankengänge wie bisher soll in Zukunft versucht werden, weitere Einflußgrößen - wie z.B. die Sortierung - getrennt zu erfassen.



Der Einfluß der Karbonatisierung auch auf die Porosität beispielsweise ist gut in Abb. 5 erkennbar. Auch hier fallen die karbonat-zementierten Gesteinsproben deutlich aus dem Zusammenhang heraus.

Es ist also zukünftig noch weitere intensive theoretische und experimentelle Arbeit erforderlich. Weitere Vergleichsmöglichkeiten mit petrographischen Merkmalen - wie z.B. der Kornkontaktzahldichte nach TAYLOR - sollen genutzt werden.

Auch die Konstanten a und b in der verallgemeinerten ARCHIE-Gleichung

$$F = a \phi^{-b}$$

sollen als Sedimentgesteinscharakteristika herangezogen werden.

Ferner soll untersucht werden, inwieweit sich formal ähnliche Überlegungen - mit anderem petrologischen Hintergrund - auch auf das Kristallin anwenden lassen.

Was Ihnen hier vorgestellt wurde ist also nur ein erster kleiner Schritt. Der Erfolg dieses Schrittes zeigt aber, daß wir auf einem richtigen Weg sind.

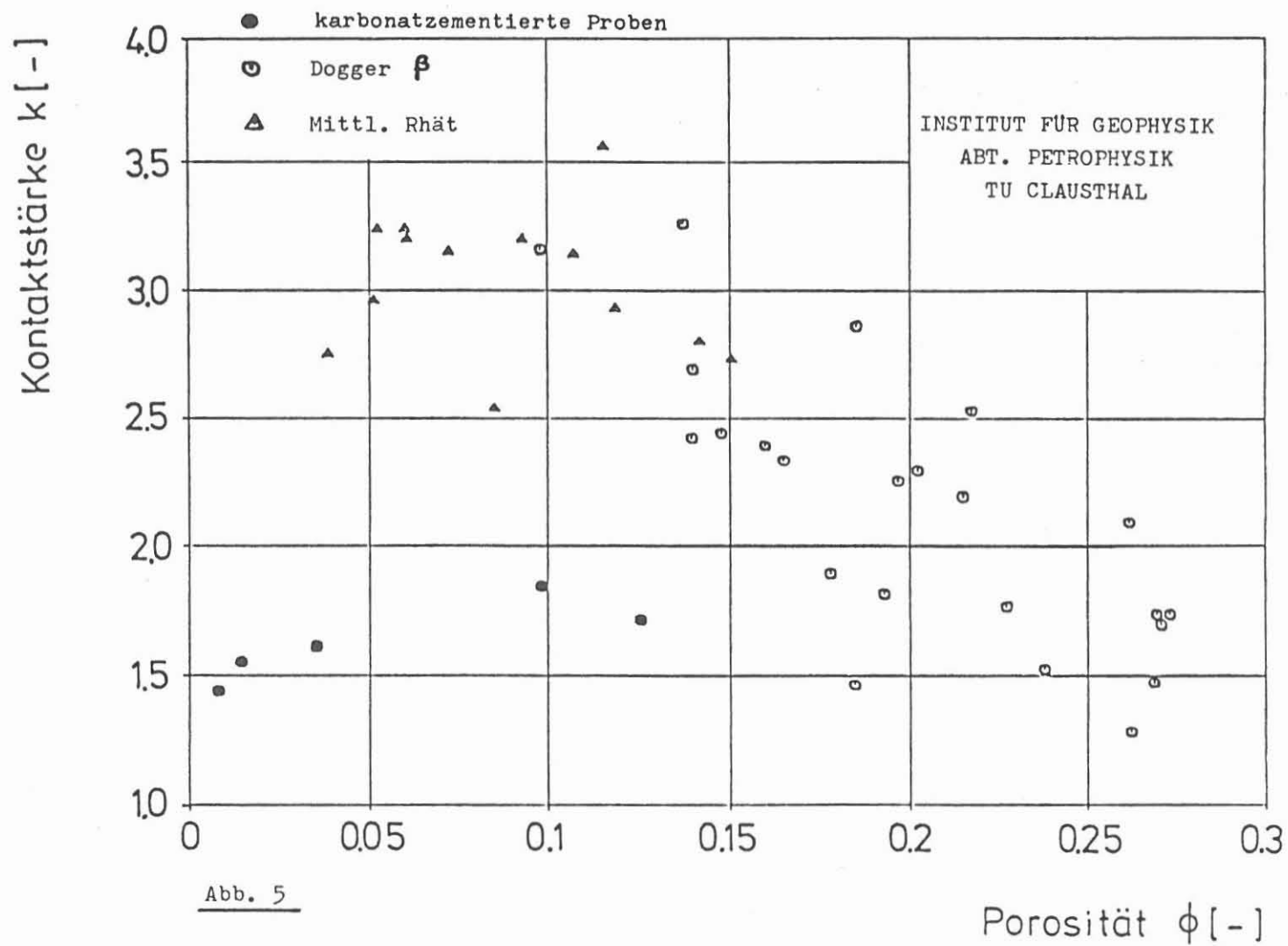


Abb. 5