

DIE KREUZUNG ZWEIER BEDEUTENDER STÖRELEMENTE ALS
URSACHE DES WESTANATOLISCHEN ERDBEBENS VOM
28. MAERZ 1970

Hellmut GRABERT

Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, Krefeld, Deutschland

DAS ERDBEBEN

Am 28. März 1970, kurz nach 23 Uhr Ortszeit, erschütterte ein Erdbeben Westanatolien, dessen Zentrum bei Gediz, westlich von Kütahya, lag. Weitere Stöße folgten und auch nach Wochen waren Nachbeben von unterschiedlicher Stärke sowie kleinere Erd-Schwankungen zu verzeichnen.

Über den Zeitpunkt des Hauptbebens liegen unterschiedliche Angaben vor. Im vorläufigen Bericht der UNESCO-Studiengruppe unter der Leitung von Dr. N. N. Ambrasevs, London und Dr. J. S. Tschalenko, London vom 19.5.70 wird das erste Einsetzen mit 21 Uhr 02 Min 33 Sek GMT angegeben, nach einer Auswertung des «Bureau Central International de Seismologie» fand das Hauptbeben um 21 h 02 min 20 sec GMT statt. Das Epizentrum wird mit 39.2°N und 29.5°E angegeben (vgl. Abb. 1), die Herdtiefe wird bei 20 km angenommen.

In der Erdbebenstation Bensberg der Universität Köln trafen die ersten Wellen (Primär- oder auch Kompressionswellen = P des Seismogramms, vgl. Abb. 2) nach gut vier Minuten um 21 h 06 min 52 sec GMT ein, weitere vier Minuten später die langsameren Sekundär- oder auch Scherwellen (S des Seismogramms).

Die Station Bensberg der Universität Köln liegt rund 2 300 km vom Erdbebenherd Gediz entfernt. Bei dem Registriergerät handelt es sich um einen langperiodischen Vertikalseismographen vom Typ Sprengnether LPV, welcher auf Photopapier registriert. Die Schreibrichtung ist im Seismogramm von links nach rechts, der Papiervorschub 15 mm/min. Die maximalen Ausschläge im Seismogramm werden durch die Oberflächenwellen hervorgerufen (L-Wellen), bei denen das Instrument weit über den Messbereich ausschlug. Die Bodenbewegung wird durch das Instrument tausendfach vergrößert.

Zehn Zeilen über dem Hauptbeben, d.h. rund zehn Stunden später, wurde ein Nachbeben aufgezeichnet, später noch weitere. Bis in den Mai hinein waren noch immer kleinere und größere Erschütterungen festzustellen (Auszug aus einem Brief von Herrn Dr. L. Ahorner, Leiter der Erdbebenstation der Universität Köln).

Nach der zwölfstufigen *Mercalli-Skala* erreichte das Erdbeben in Gediz die Stärke 9 und in Akçaalan die Stärke 10, die Magnitude lag bei $M = 7.6$ der *Richter-Skala*. Noch einen Monat später, am 23.4., wurde ein Nachbeben mit der Magnitude 5.7 registriert, weitere am 29.3. (mit der Magnitude bis 5.3), am 30.3. (M bis 5.5), 31.3. (bis 4.8), 1.4. (4.8), 2.4. (4.4), 7.4. (5.5), 16.4. (5.4), 19.4. (6.0). In dem rund 3 000 km² grossen Schüttergebiet (Abb. 1) wurden rund 3 500 Häuser restlos, weitere 7 000 schwer und über 10 600 erheblich beschädigt. 33 000 Familien, rund 80 000 Menschen, wurden obdachlos, 800 wurden getötet und 520 verletzt. Allein in Akçaalan waren von 2000 Einwohnern 230 Tote zu beklagen. Die

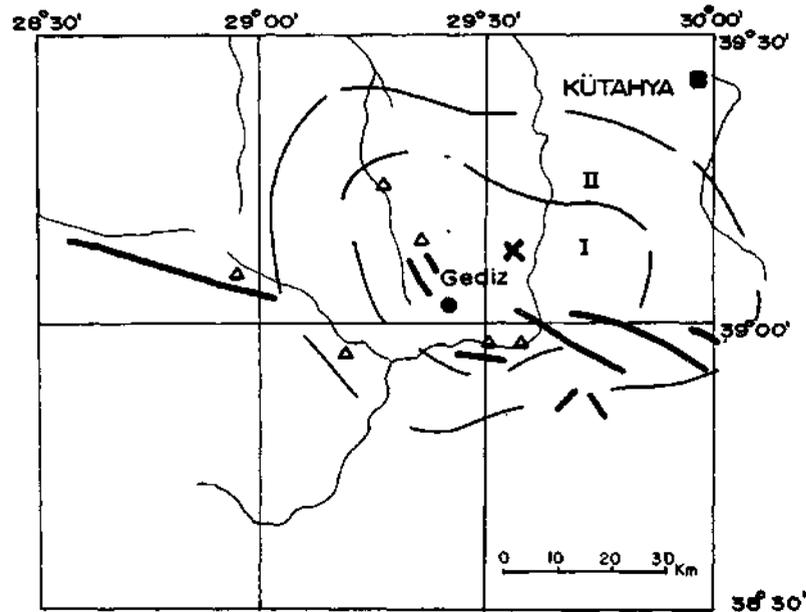


Abb. 1 - Das Schüttergebiet von Gediz (nach Ambraseys & Tschalenko, 1970).

eigentlichen Erdbebenschäden wurden noch durch Brände erhöht, die infolge umgestürzter Öfen entstanden sind.

Es besteht kaum ein Zweifel, dass es sich bei dem westanatolischen Erdbeben vom März 1970 um ein tektonisches handelt. Trotz der an vielen Stellen aufgebrochenen heissen Quellen (Abb. 1) sind irgendwelche vulkanische Tätigkeiten aus dem Erdbebengebiet nirgends bekannt geworden. Die bisher durchgeführten geologischen und seismologischen Untersuchungen haben vielmehr gezeigt, dass das Schüttergebiet von Gediz im Schnittpunkt zweier grosser und für den Bau Anatoliens bedeutender Störungslinien liegt, von denen eine heute als seismisch aktiv nachgewiesen ist (Ambraseys 1970). Diese beiden Haupt-Störungsrichtungen werden anhand des Bauplanes von Anatolien näher beschrieben.

DIE TEKTONIK WESTANATOLIENS (vgl. hierzu Abb. 3)

Anatolien wird in drei Tektogene gegliedert. Im Norden verlaufen mit annähernd Westost-Streichen die Pontischen Ketten (Pontiden nach Ketin 1966). Im Süden erstrecken sich die Taurischen Ketten (—Tauriden). Zwischen beiden liegt das Zentralanatolische Hochland, das aus einer mit tertiärzeitlichen Sedimenten erfüllte Hochfläche besteht und von Ketin als Anatoliden bezeichnet wird.

Im Westen der Türkei werden die beiden Orogen-Züge der Pontiden und der Tauriden durch eine breite, jedoch vielfach quer gegliederte Anatoliden-Zone getrennt, wo ältere Massive, z.B. das Menderes-Massiv, mit starker tektonischer Zerlegung zutage treten. Nach Osten zu verschmälert sich die zentrale Anatoliden-Zone, so dass die beiden Orogen-Stränge Pontiden und Tauriden nahe zusammenrücken (Abb. 3).

Ganz im Süden und eigentlich nicht mehr zum Tethys-Orogen gehörend erstrecken sich die Randfalten («Border folds» nach Ketin 1966). Sie gehören zu einer mobilen Zone zwischen einem Alten Schild (arabisches Kristallin) und einem jungen Orogen (Tethys), wie sie z.B. auch das Voralpen-Gebiet oder das Subandin bilden. Diese Zonen sind stets erdöl-höflich und hier liegen daher auch die einzigen bedeutenden Erdöl-Felder der Türkei.

Anatoliens tektonische Leitlinien werden daher durch das westöstliche Streichen seiner orogenen Hauptzonen, der Pontiden und der Tauriden, beherrscht. Diese äussern sich aber nicht nur durch den Verlauf der Faltenstränge, sondern auch durch streichende, also parallele Störungen. Hierzu gehören natürlich als Überfaltungerscheinungen die Aufschiebungen, aber auch vertikale Störungen, die als Blattverschiebungen auftreten.

Eine der bekanntesten dieser Längsstörungen ist die «Nordanatolische Horizontalverschiebung». Sie ist rund tausend Kilometer lang und an ihr soll die Nord-scholle gegenüber der südlichen um über 400 km nach Osten verschoben sein (Pavoni 1961). Wenn auch dieser hohe Vertikalbetrag angezweifelt wird (Ketin 1969), so ist die Art dieser Störung als eine weit aushaltende Blattverschiebung unumstritten und ihre noch heute starke seismische Aktivität kürzlich von Ambraseys (1970) in einer eingehenden Darstellung aufgezeichnet worden.

Derartige, dieser Störung nun parallel verlaufenden Lineare sind auch im Erdbebengebiet von Gediz in grosser Zahl neu aufgebrochen (vgl. weiter unten und Abb. 4). Andererseits treten zusätzlich aber auch nordsüd gerichtete Elemente auf, welche die ostwest verlaufenden queren.

Diese nordsüd gerichteten Störungen spielen im Bauplan Westanatoliens eine bedeutende Rolle und werden in der breit angelegten Zwischenzone der Anatoliden zur beherrschenden. Das tritt besonders im Küstenverlauf am Ägäischen Meer auf, wo dieser trotz der starken Einbuchtungen auf eine derartige, grosse Nordsüd-Störung zurückzuführen ist. Dort ist der Ägäische Block gegen den Anatolischen verworfen (McKenzie 1970); diese Nordsüd-Richtung wird daher auch die ägäische bezeichnet.

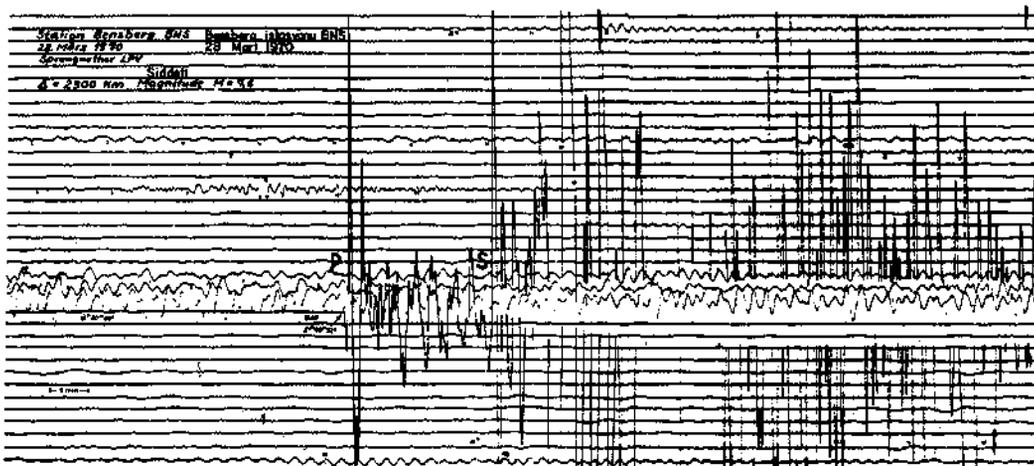


Abb. 2 - Das Seismogramm des Gediz-Erdbebens, aufgenommen von der Erdbeben-Station der Universität Köln in Bensberg (freundlicherweise zur Verfügung gestellt von Herrn Dr. Ahorner).

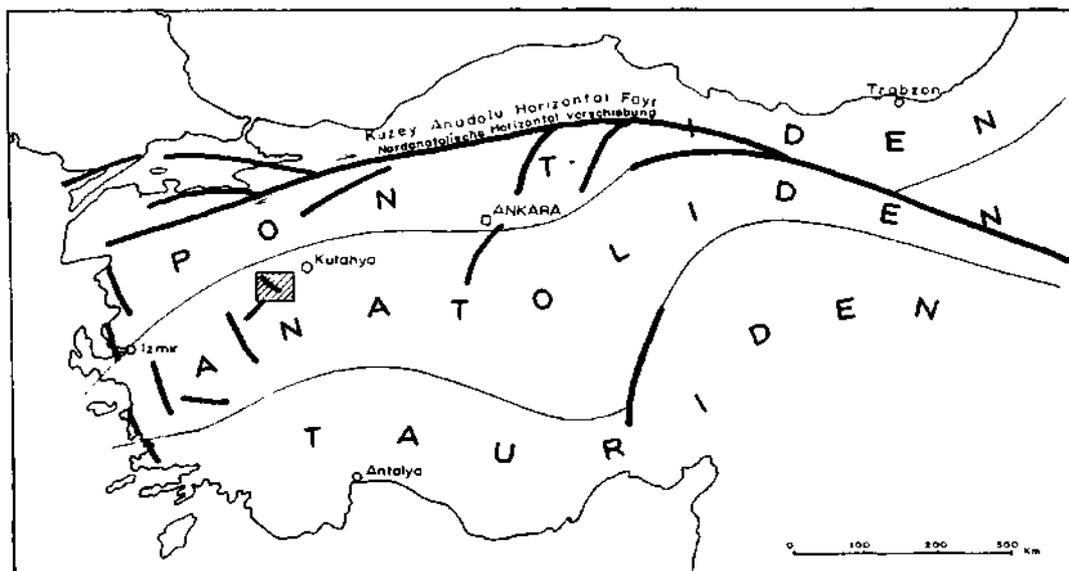


Abb. 3 - Vereinfachte tektonische Karte der Türkei (nach Kein, 1966).

Aber auch innerhalb des breiten Anatoliden-Anteils der West-Türkei treten diese Richtungen beherrschend hervor. Sie begrenzen z.B. das Menderes-Massiv, das aus älteren Schichten, z.T. metamorphem Paläozoikum, besteht und als grosser Horst aus sehr jungen Schichten hervorragt. Eine dieser Nordsüd-Störungen durchläuft nun auch das Erdbeben-Gebiet von Gediz und kreuzt sich mit einer westost verlaufenden.

Obwohl nun im Gebiet von Gediz seit historischer Zeit keine grösseren Erdbeben bekannt geworden sind (vgl. Abb. 2 bei Ambraseys 1970) und die offizielle Erdbeben-Häufigkeitskarte keine besondere seismische Aktivität verzeichnet, muss dieses aber wegen der Kreuzung beider Störelemente als erdbeben-latent angesehen werden. Dass in der Gegend von Gediz einmal ein Erdbeben eintreten musste, war aus der geologisch-tektonischen Gesamtsituation heraus zu erwarten. Nur den Zeitpunkt kann kein Fachmann benennen und darum ist auch eine Frühwarnung nicht möglich.

DAS ERDBEBENGEbiet VON GEDİZ

Die stärksten Zerstörungen durch das Haupt- und die Nebenbeben konzentrierten sich daher auch auf den Kreuzungsbereich beider Störelemente, der sich in einem rund 150 km² grossen, fast nordsüd verlaufenden Schüttergebiet abzeichnete. Ungefähr am Kreuzungspunkt liegt nun auch das Erdbeben-Epizentrum (Abb. 1), das mit 39.2°N und 29.5°E angegeben wird.

Dieses Schüttergebiet wird im Süden durch zwei grössere, den Demirci Dağları und dem Murat Dag parallel laufende, westost gerichtete Störungen begrenzt (Abb. 1). Es hat den Anschein, als wären diese beiden Störungen um einen bestimmten Betrag versetzt worden. Dieser Versatz kann mit dem Gediz-Erdbeben im Zusammenhang stehen, denn das Schüttergebiet «unterbricht» diese beiden Westost-Störungen. Die in der Gegend von Akçaalan aufgerissenen Erdspalten zeigen näm-

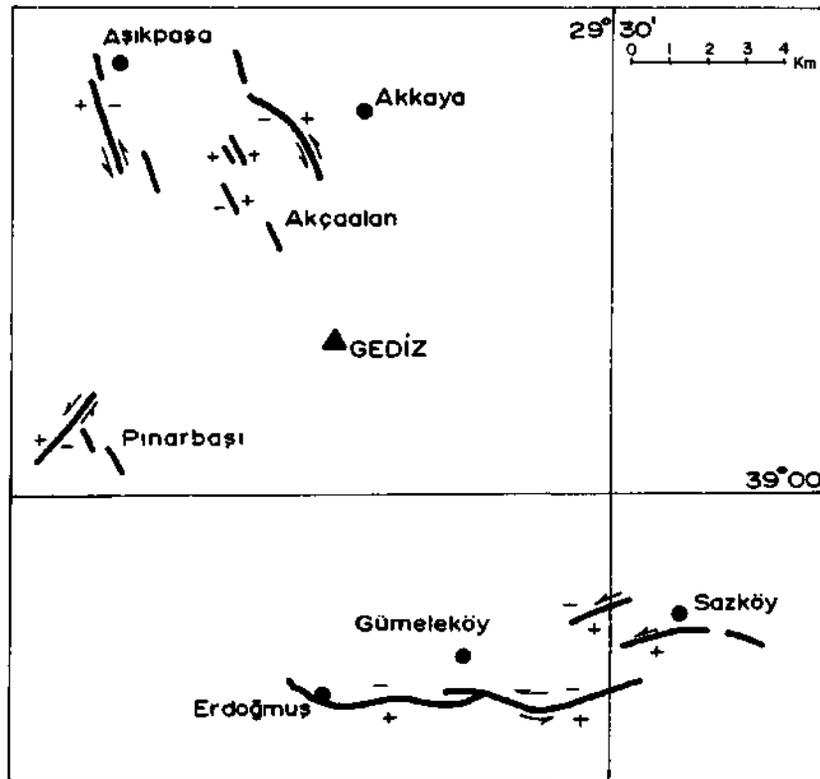


Abb. 4 - Die rezenten Spalten im Erdbebengebiet von Gediz
(nach Ambraseys & Tschalenko, 1970).

lich bevorzugt diese Nordsüd-Richtung, wobei vielfach noch die West-Scholle um einen kleinen Betrag gegenüber der Ost-Scholle nach Süden versetzt ist (Abb. 4). Dabei fällt auf, dass die (nordanatolische) Westost-Störung auf das südlich von Gediz gelegene Gebiet beschränkt bleibt, während die (ägäische) Nordsüd-Richtung nördlich von Gediz häufiger auftritt. An fast allen Störungen aber, gleich welcher Haupttrichtung zugehörend, sind vertikale wie auch horizontale Bewegungen nachgewiesen worden, so dass Schrägabschiebungen vorzuherrschen scheinen. In den meisten Fällen überwiegen zerrende Kräfte, so dass grabenartige Einbrüche die Regel sind (Foto 1).

Nach den Messungen der UNESCO-Studiengruppe (Ambraseys & Tschalenko 1970a, 1970b) sowie nach eigenen Beobachtungen sind zusammenhängende Störungen bis zu einer Länge von 10 km beobachtet worden, sowie an horizontalen Verwürfen bis zu 40 cm. Vertikale Verwürfe wurden bis zu 2,75 m gemessen. Bei dem im Foto 1 gezeigten Graben sind von Ambraseys & Tschalenko kurz nach dem Erdbeben nur 20 cm Vertikalverwurf festgestellt worden, von mir jedoch nach acht Wochen bis zu einem knappen Meter. Möglicherweise ist die Differenz auf später erfolgte Nachbeben zurückzuführen. Nachstehende Tabelle bringt die wichtigsten Störungen mit ihren vertikalen und horizontalen Verwürfen (nach Ambraseys & Tschalenko 1970a).

Die Störungstypen A, B und C erklären sich aus der geologischen Situation heraus. Das Grundgebirge besteht bei Gediz aus mesozoischen Kalken und Mer-

Name der Störung	Länge	Verwurf (in cm)		Störungstyp
		vertikal	horizontal	
Gümeleköy	über 10 km	20 - 120	0 - 25	A und B
Sazköy	3 km	0 - 10	kaum	A und B
Aşıkpaşa	3,5 km	10 - 275	0 - 40	A und B
Akçaalan	300 m	20	0	A
Tuzluburu	500 m	225	—	C
Pınarbaşı	5,5 km	20 - 60	0 - 10	A und B
Nennikiri	3 km	110	20	C

geln, die von unterschiedlich mächtigen Lockersedimenten bedeckt sind. Typ A tritt im Festgestein auf, wobei vielfach schon ältere Störungen aktiviert wurden. Typ B entspricht zwar einer ähnlichen Situation, doch liegt hierbei das Grundgebirge unter einer Decke von Lockersedimenten; auch hier wird vielfach eine Reaktivierung älterer Störungen angenommen. Als Typ G hingegen werden Störungen bezeichnet, bei denen es sich vorwiegend um Schweregleitung von lockerem Material handelt. Die Abrisskanten dieser Störungen laufen nämlich fast immer den Talflanken parallel. Da diese Täler jedoch auch vielfach alten Störungen folgen, die von der Erosion angegangen worden sind, ist eine eindeutige Zuordnung zu den einzelnen Störungstypen und mithin eine statistische Auswertung der aufgenommenen Werte nicht durchführbar. — Die in Foto 1 widergegebene Störung östlich von Akçaalan verwirft ohne Locker-Bedeckung mesozoische Mergel und ist demnach dem Typ A zuzuordnen.

Eine bisher noch nicht voll geklärte geologische Erscheinung war das Auftreten von heissen Quellen kurz nach dem Erdbeben. Thermen würden am ehesten auf eine vulkanische Tätigkeit schliessen, doch liegen keine Anzeichen für ein vulkanisches Beben vor. Vielmehr ist anzunehmen, dass — vielleicht wegen einer geologisch nicht zu weit zurückreichenden vulkanischen Tätigkeit in diesem Räume — die geothermische Tiefenstufe im Erdbeben-Gebiet besonders niedrig ist, so dass die auf den aufgerissenen Spalten abgesunkenen Grund- und Niederschlagswässer rasch aufgeheizt wurden und infolge des erhöhten Dampfdruckes als heisse Quellen wieder zutage traten. Zum grössten Teil sind diese Quellen jedoch wieder versiegt.

Wie schon angedeutet wurde, wird angenommen, dass eine ägäisch angelegte Störung eine nordanatolische Blattverschiebung kreuzt. Keineswegs soll damit aber gesagt sein, dass das Erdbeben von Gediz 1970 für den gesamten Versetzungsbetrag von rund zehn Kilometern verantwortlich ist. Vielmehr wird angenommen, dass hier schon primär eine Fiederung der westost verlaufenden Murat Dağı-Demirci Dağları-Störung vorliegt, deren Verzopfungsstelle tektonisch labil war. Da die bisherigen Unterlagen nicht erkennen lassen, dass diese Kreuzungsstelle seismisch besonders aktiv war, wird angenommen, dass der Aufbau der statischen Energie in sehr langer Zeit erfolgte.

ZERSTÖRUNG UND WIEDERAUFBAU

Die Zerstörungen im Erdbebengebiet waren besonders deswegen so schwer, weil keines der einfachen Bauernhäuser die starken, vorzugsweise horizontalen Erdstösse kurzfristig auffangen konnte. Nur sehr wenige, in der neueren Zeit in Stahlbeton-Bauweise errichteten Gebäude (z. B. die Schule von Gediz oder die neue

Moschee von Akçaalan, vgl. Foto 2) widerstanden den starken Spannungen und könnten renoviert werden. Die einfachen Holzkonstruktionen hingegen sind entweder nicht unterkellert gewesen oder bestanden gar nur aus einfachsten Fachwerkbauten (Foto 3 und 4). Diese Gebäude zeigen, dass ihr oberes Stockwerk relativ geringer deformiert wurde, als das untere. Dieses sass ja ohne Fundament und ohne Keller mehr oder weniger lose dem Erdboden auf. Bei den starken Horizontal-Bewegungen blieb das Obergeschoss infolge seiner Trägheit hinter dem sich rascher bewegenden Untergeschoss zurück, während das dem Boden aufgesetzte Untergeschoss wesentlich heftiger auf den seitlichen Stoss reagieren musste. Dabei kam es zu erheblichen Deformationen besonders des Untergeschosses, die dann meist zu einem Zusammenfallen der gesamten Holzkonstruktion führte. Das Haus auf Foto 2 blieb jedoch trotz der erheblichen Deformationen des Untergeschosses nur deswegen stehen, weil das Obergeschoss am Dach von einem einbetonierten Stahlmast aufgefangen und festgehalten wurde. Es wäre sonst, wie alle benachbarten Häuser ringsum, ebenfalls eingestürzt. Bei dem Haus des Fotos 4 war anscheinend der Seitenschub nicht derart gross gewesen, dass es zusammenfiel.

Alle Orte im engeren Schüttergebiet, besonders Akçaalan und auch Gediz, sind derart zerstört, dass ein Wiederaufbau an der gleichen Stelle nicht empfehlenswert ist; sie sollen daher in erdbebensicheren Gegenden und mit konstruktiven Sicherheitsmassnahmen neu aufgebaut werden.

Die Deutsche Bundesregierung hatte zusammen mit dem Deutschen Roten Kreuz und anderen Dienststellen (Technisches Hilfswerk, Malteser Hilfsdienst, Arbeiterwohlfahrt) ein tiefgestaffeltes Hilfsprogramm eingeleitet. Insbesondere ist der Bau von wetterdichten Kunststoff-Igloos zu erwähnen, welche durch die Bayer-Werke mit Hilfe der Deutschen Rotkreuz-Spende erstellt werden konnten und die sich auch bei dem im Juni 1970 erfolgten Erdbeben in Peru bewährt haben. Insgesamt wurden 400 derartiger Behelfsunterkünfte gebaut, in denen eine Familie bis zu acht Personen unterkommen, leben und wohnen kann. Die gesamte Bevölkerung von Akçaalan konnte in solchen Behausungen untergebracht werden (Foto 5).

DANKSAGUNG

Ich halte es für eine angenehme Pflicht, allen Stellen, Kollegen und Freunden, die mir bei meiner Reise in der Türkei sowie bei der Abfassung vorliegenden Berichtes behilflich waren, zu danken. An erster Stelle steht der Staatliche Geologische Dienst, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü (M.T.A.). Ich danke daher seinem Chef, Herrn Direktor Dr. Alpan, sowie Herrn Professor Dr. Pamir und Herrn Dr. H. Wedding, die mir wertvolle Hinweise gaben. Herrn Dr. Ambraseys (London), der Verfasser des ersten Berichtes über das Gediz-Erdbeben, wies mich auf wichtige Literatur hin, Herrn Dr. L. Ahorner von der Erdbebenstation der Universität Köln verdanke ich das Seisrrogramm sowie die Erlaubnis, dieses hier zu veröffentlichen. Mein Reisegefährter Berg-Ing. Mummmenthey ermöglichte mir mit seinen Landeskennntnissen erst die Reise in das Erdbebengebiet. Im schwer getroffenen Akçaalan waren wir beide Gäste des Deutschen Roten Kreuzes und der Bayer-Werke.

Manuscript received August 9, 1971

L I T E R A T Ü R

- AMBRASEYS, N. N. (1970) : Some characteristic features of the Anatolian fault zone. *Tectonophysics*, 9, 143-165, 14 fig., Amsterdam.
- AMBRASEYS, N. N. & TSGHALENKO, J. S (1970a) : The Gediz (Turkey) earthquake of 28 March 1970. *Interner Bericht der UNESCO*, 7 p. 2 fig., 1 table, London (zur Verfügung gestellt von Herrn Prof. Dr. Pamir von Staatlichen Geologischen Dienst M.T.A.).
- (1970b) : The Gediz (Turkey) earthquake of March 28, 1970. *Nature*, 227, 592-593, 3 fig., London.
- McKENZIE, D. P. (1970) : Plate tectonics of the Mediterranean region. *Nature*, 226, 239-243, 4 fig., London.
- KETİN, İ. (1966) : Tectonic units of Anatolia (Asia Minor). *M.T.A. Bull. no. 66*, 23-34, 2 table, 3 plate, Ankara, Turkey.
- (1969) : Über die nordanatolische Horizontalverschiebung. *M.T.A. Bull. no. 72*, 1-28, Ankara, Turkey.
- PAVONI, N. (1961) : Die nordanatolische Horizontalverschiebung. *Geol. Rdsch.*, 51, 122-139, 6 Abb., Stuttgart.
- Yer sarsıntısı bölgeleri haritası. 1:2 000 000 (Erdbebenkarte der Türkei).



Foto 1 - Erdsprengbildung östlich von Akcaalan.



**Foto 2 - Gebäudeschaden an der eisenarmierten
Moschee von Akcaalan.**

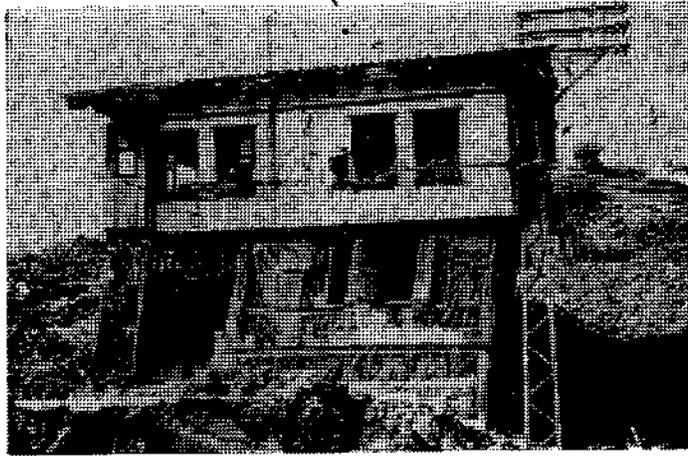


Foto 3 - Gebäudeschaden an einem nicht unterkellerten Haus in Akçaalan.



Foto 4 - Gebäudeschaden an einem nicht unterkellerten Haus in Gediz.



Foto 5 - Kunststoff-Igloos der Bayer-Werke als Notunterkünfte der Bevölkerung von Akçaalan.