

Inhalt/Contents

- WOLFGANG WEISCHET:
Die geographischen Auswirkungen des Erdbebens vom 22. Mai 1960 im Kleinen Süden Chiles
- I. Ablauf des Bebens
 - II. Historischer Rückblick
 - III. Die Folgen des Erdbebens vom 22. Mai 1960 in Südhile
 1. Die regionale Verteilung der direkten Erdbebenwirkungen
 - a) Valdivia
 - b) Die direkten Erdbebenwirkungen in Südhile im großräumigen Überblick
 2. Die Landsenkung und ihre Folgen
 3. Die seismischen Wogen und ihre Auswirkungen
 4. Spontane Massenbewegungen, ihre räumliche Anordnung und ihre Folgen
 5. Die Vulkanausbrüche
- PETER-PAUL VON BAUER:
Das Erdbeben vom 22. Mai 1960 in der Provinz Llanquihue in Südhile
- I. Einleitung
 - II. Die Bebenstätigkeit seit 1948
 - III. Der Verlauf des Bebens und der Nachbeben vom 21. Mai bis 25. Juni 1960
 - IV. Die Auswirkungen
 1. Gebäudeschäden
 2. Grundwasserschwankungen und Grundwasseraustritte
 3. Erdspalten
 4. Bergrutsche

DIE GEOGRAPHISCHEN AUSWIRKUNGEN DES ERDBEBENS VOM 22. MAI 1960 IM KLEINEN SÜDEN CHILES. Von W. WEISCHET, z. Z. Valdivia/Chile (Vorläufiger Bericht)

Mit einer Abbildung und 14 Bildern

Summary: The geographical effects of the earth-quakes in the Little South of Chile on 22nd May 1960 (Preliminary Report).

The geographical effects of the earth-quakes of 21st and 22nd May 1960 might be divided into 1. direct effects of the earth-quakes, 2. land depression, 3. seismic waves in the coastal region, 4. land slides and 5. volcanic eruptions.

The centre of the earth-quake activity was on the mainland west of the northern part of Lake Llanquihue. The tectonic and geomorphological conditions in the Basin of Valdivia had the effect that here a secondary centre of great seismic acceleration originated. Recent natural and artificial deposits reinforced here and there the effects of the earth-quakes between Middle-Chile and the southern part of the province of Cautin. The observations hitherto made show depressions of about 1,40—1,50 metres, which are quite independent of the geological structure along the coast-line.

The seismic waves occurred immediately after the earthquake. At first only an extraordinary rise and fall of the tide was noticed. This was followed by tidal waves with pronounced breakers of up to 10 metres height, which damaged heavily the land around the river mouths and along the coasts. About 2000 people are said to have been killed by these seismic waves alone. The waves running back often excavated the sand-barriers in the river mouths.

As far as it is known spontaneous land slides were concentrated in three zones: the coastal cliffs, the cliffs of Lake Llanquihue, and the western slopes of the Andine High Cordilleras.

In the coastal region the weathered ground slid down. The banks of Lake Llanquihue (glacial material, 70 metres

high, sloping 50 degrees and more) were only superficially deformed. The base of the steep slopes remained unaffected. Larger mass-movements occurred in the marginal zones of the High Cordilleras, especially where tectonic structure-lines are found (see fig. 1). Thus dikes were deposited across the valleys damming up the water of the rivers. Settlements were overflowed. When the dams near Valdivia were blown up, the flowing waters reached up to 7 metres. In the whole valley heavy damages were brought about by erosion and deposition.

Of the volcanoes only the Puyehue became active. On its western slope, in a height of about 2000 metres, seven new craters came into existence. The volcanic ashes were spread mainly eastwards.

„Wo sind denn hier die Toten?“ Diese Frage konnte man in Valdivia häufig hören, als in den ersten Tagen nach dem Erdbeben vom 22. Mai 1960 die Vorhut und das Gros der Reporter der aufgeschreckten Weltpresse eintrafen. Gewohnt, von einem Naturereignis nur das Katastrophale zu bewerten und sein Ausmaß vor allem nach der Zahl der Todesopfer und dem materiellen Schaden zu beurteilen, resultierte ihre Enttäuschung aus der professionell gepflegten Sensationssucht und der südamerikanisch verstärkten Leichtfertigkeit der Berichterstattung. Zwei Beispiele mögen das erläutern: „Osorno verschüttet“ lautet u. a. eine Nachricht, als sie Telegrafenermittlung,

Redaktionstisch und Druckerei in Deutschland hinter sich hatte. Es müßte heißen „Schutzhütte am Osorno verschüttet“. Scheinbar nur ein kleiner Unterschied von zwei Worten, tatsächlich derjenige zwischen einer blühenden Stadt und einer einsamen Skihütte. Die andere Meldung spricht von 7000 bis 10 000 Toten in Valdivia gegenüber 70 bis 100 als tatsächlicher Ausgangsschätzung. Dem objektiven Chronisten erscheinen aber die Ereignisse als Naturphänomene an sich schon überwältigend, die geographischen Auswirkungen interessant und folgenschwer. Daß der Verlust an Menschenleben (maximal 2000 bis 3000) auch im Vergleich zu weniger starken Erdbeben auffallend gering ist, vermerkt er dankbar im Zusammenhang mit dem günstigen Zeitpunkt, dem Auftreten weniger starker „Vorwarnungen“ und dem im ganzen doch dünn besiedelten Schauplatz der Ereignisse.

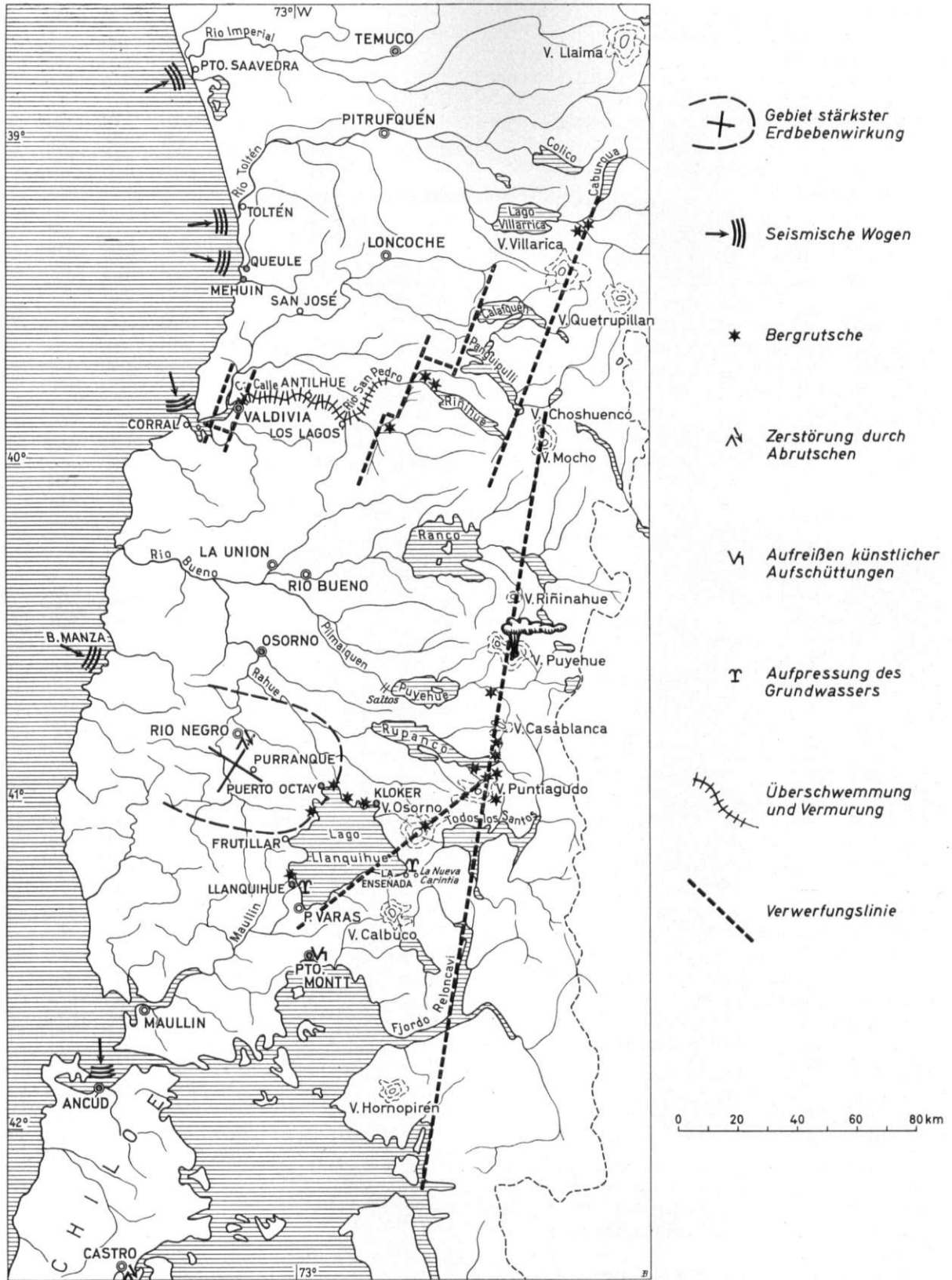
I. Ablauf des Erdbebens

Erdbeben kleineren Ausmaßes sind in Chile alltäglich. Im Durchschnitt der Jahre 1942 bis 1946 wurden beispielsweise im ganzen Lande 1,38 täglich registriert. Eigentliche Terremotos, d. h. Beben, bei denen beträchtlicher Gebäudeschaden entsteht, gehören in bestimmten Gegenden, wie der Provinz Atacama, der nördlichen (Valparaíso-Aconcagua) und südlichen (Concepción-Chillan) Zentralzone, zu Erlebnissen jeder Menschengeneration. Zwei Terremotos verheerenden Ausmaßes innerhalb von weniger als 48 Stunden im Bereich einiger Provinzen von der Gesamtausdehnung der halben Bundesrepublik Deutschland traten in der Geschichte aber erstmalig am 21. und 22. Mai 1960 auf. Das erste am Samstag, dem 21. Mai, morgens wenige Minuten nach 6 Uhr. Der engere Schütterbereich umfaßte die Provinzen Concepción und Malleco. Hauptschadensgebiet waren wie am 24. Januar 1939 die Städte Concepción und Chillan. Nach Angaben des Seismologischen Institutes der Universidad de Chile hatte das Beben die Stärke von $8\frac{1}{2}$ in der 9stufigen Skala von RICHTER. Die Erschütterungen sollen in Concepción stärker gewesen sein als im oben angegebenen Beben von 1939. In Valdivia waren die Ausstrahlungen noch so, daß wohl die gesamte Bevölkerung aus der Nachtruhe aufgestört wurde. Langarmige Deckenbeleuchtungen gerieten über 5 Minuten in beträchtliche Schwingungen, und in der nächsten Stunde traten immer wieder kleinere Stöße auf. Am folgenden Sonntag wiederholte sich das Beben gegen 7 Uhr morgens in Valdivia nicht ganz so stark und lange. Man war aber noch der Überzeugung, daß es sich wieder um die Ausläufer eines Bebens in der schon bekannten Zone ca. 500 km weiter nördlich handelte. Doch inzwischen hat

sich herausgestellt, daß die Auswirkungen in Concepción geringer waren als in Valdivia. Nachmittags um 14.50 Uhr erschütterte eine neue Welle (Herd wahrscheinlich wieder in Concepción) die Stadt so, daß der größere Teil der Bewohner die Häuser verließ. Kaum waren sie zurückgekehrt, begann um 15.12 Uhr das eigentliche verheerende Terremoto. Mit meiner Familie habe ich im Garten hinter unserem Haus gestanden bzw. gehockt oder gelegen. Es ist fast unmöglich, aus der Überfülle des in wenigen Augenblicken Gesehenen, Gehörten, Gedachten und Befürchteten ein halbwegs klares Bild zu behalten oder nachträglich zu formen. Es wird von früheren Erdbeben berichtet, daß man das Gefühl habe, der Boden werfe Wellen. Ich habe nur abgehackte Stöße empfunden, die einen taumeln und fallen ließen, sah Holzschuppen, Garage und Haus sich an den Berührungsflächen voneinander entfernen und im nächsten Moment wieder zusammenschlagen, einem Bretterzaun hin und herschwanken, den Schornstein stoßweise zucken und das Wasser aus dem auf dem Dach angebrachten Reservebehälter ruckweise herausspritzen, nicht überschwappen wie bei periodischer Bewegung zu erwarten wäre. Um 15.16 Uhr war die Haupterdbewegung vorbei. Hinsichtlich ihre Richtung läßt sich keine Bevorzugung feststellen. Der freistehende Glockenturm der evangelischen Kirche in Valdivia weist ringsherum einen Pressungsgraben von ca. 80 cm auf.

Die Nachbeben halten bei größer werdenden Intervallen und abnehmender Stärke noch an. Die stärksten ereigneten sich naturgemäß in den ersten Tagen nach dem 22. Mai. Bis zum 25. Mai betrat praktisch die ganze Bevölkerung tagsüber die Häuser nur auf Abruf, der größere Teil verbrachte die Nächte im Freien. Elf Beben der Stärke 6 und eines von $7\frac{1}{2}$ (nach RICHTER) wurden in der genannten Zeit registriert. Diejenigen geringerer Stärke gehen in die Hunderte. Es vergeht auch jetzt im August noch kaum eine Nacht, in der man nicht von der Bewegung selbst bzw. dem Knarren der Türen und Ächzen der Holzwände aufgeweckt wird.

Die seismische Beschleunigung des Hauptbebens betrug nach dem ersten Bericht einer japanischen Kommission unter Leitung von Prof. R. TAKAHASHI in Concepción 15 bis 20 % der Schwerebeschleunigung, in Valdivia 25 bis 30 % und in Puerto Montt 30 bis 35 %. Die Beträge sind nach derselben Quelle gleich oder größer als beim Erdbeben von Tokio im Jahre 1923, die Auswirkungen aber so, als hätten die drei großen japanischen Beben von 1923, 1944 und 1946 an zwei Tagen auf einem Gebiet von 200 mal 500 km Fläche stattgefunden. Die Stärke des letzten Erdbebens wurde vom Seismologischen Institut der Univer-



Übersichtsskizze

sidad de Chile zunächst mit 9, neuerdings mit $8\frac{3}{4}$ in der Skala von RICHTER angegeben. Es zählt zu den stärksten Weltbeben, die je registriert wurden.

Der Herd wurde nach Angabe des Seismologischen Institutes der Universidad de Mexico in 48 km unter der Erdkruste festgestellt. Das Epizentrum läßt sich nur vage mit 200 bis 400 Seemeilen vor der südchilenischen Küste in ca. 40° S Breite lokalisieren.

Das mit dem Erdbeben verknüpfte Seebeben erzeugte an der Küste der Provinzen von Cautín bis Nord-Aysén verheerende seismische Wogen. Aus den Protesten der Kapitäne zweier im Hafen von Corral gekenterter Hochseeschiffe läßt sich entnehmen, daß die erste Woge um 15.30 Uhr, die zweite um 16.20 Uhr und die dritte um 17.10 Uhr in die Mündung des Rio Valdivia hineingelaufen ist. In Valdivia selbst, ca. 20 km von der Mündung entfernt, floß gegen 17.00 Uhr das Wasser mit einer geschätzten Geschwindigkeit von 4 bis 5 m pro Sekunde talauf, bedeckt mit Schilf, abgerissenen Leichtern, Treibholz und Resten von Häusern.

II. Historischer Rückblick

Während folgenschwere Erdbeben für Mittel- und Nordchile noch in relativ frischer Erinnerung sind und Gegenstand wissenschaftlicher Bearbeitung wurden (Tarapacá 1877, Valparaiso 1906, Concepción 1939), waren sie für den Süden des Landes meist nur noch den Historikern bekannt. Das letzte Terremoto, welches das Gebiet zwischen Cautín und Chiloé heimsuchte, ereignete sich während des Aufenthaltes von CH. DARWIN in Südchile am 7. November 1837. Da die Stadt Valdivia damals aber noch klein war, die Kolonisation Südchiles noch nicht begonnen hatte, haben die Ereignisse außer bei DARWIN kaum Eingang in die Literatur gefunden. In den früheren Jahrhunderten war Valdivia seit seiner Gründung im Jahre 1545 aber nach der „Historia de Valdivia“ von FR. G. GEWITZ schon dreimal weitgehend zerstört worden: im Dezember 1575, im September 1737 und im Jahre 1835. 1575 wurde, wie auch beim letzten Beben, der Ausfluß des Lago Riñihue über Monate blockiert. Der Ausbruch des angestauten Wassers führte zu katastrophalen Überschwemmungen.

III. Die Folgen des Erdbebens vom 22. Mai 1960 in Südchile

Bei der Darstellung der Erdbebenfolgen läßt sich unter geographischem Gesichtspunkt ausgliedern: 1) die regionale Verteilung der direkten Erdbebenwirkung; 2) die Landsenkung und ihre Konsequenzen; 3) die Auswirkung der seismischen Wogen im Küstenbereich; 4) die spontanen Mas-

senselbstbewegungen und ihre Folgen sowie 5) die Vulkanausbrüche.

1. Die regionale Verteilung der direkten Erdbebenwirkung

a) Valdivia. Den größten absoluten und im Vergleich zur Gesamtzahl der Bauten auch größten relativen Schaden durch direkte Erdbebenwirkung hat zweifellos die Stadt Valdivia (ca. 75 000 Einwohner) erlitten. Das ist aber weniger eine Folge ihrer Nähe zum Epizentrum, als vielmehr das Ergebnis dreier spezieller Gegebenheiten. Die Stadt liegt erstens in einem tektonischen Einbruchsbekken, zweitens stehen die westlichen Bezirke allgemein auf wackligem geomorphologischen Fundament und drittens gaben speziell zahlreiche künstliche Erdanschüttungen mit steilen Böschungen für viele Häuserreihen einen besonders schlechten unmittelbaren Baugrund.

Die weitere Umgebung der Stadt erlitt kaum direkte Erdbebenschäden. So ist z. B. in allen Nachbarorten rings um Valdivia nur ausnahmsweise einmal ein Haus eingestürzt. In den nächstgelegenen, Coral (20 km weiter westlich) oder Huellhue (10 km östlich), sind selbst reichlich alte Holzhäuser auf angefaulten Fundamentbalken stehengeblieben. Diese Orte haben aber als Untergrund den kristallinen Schiefer des südchilenischen Küstenberglandes. Valdivia dagegen liegt in einem Becken, das ringsum an Bruchlinien in das Mittelgebirge eingesunken und mit tertiären und quartären Sedimenten angefüllt worden ist. In diesem Becken tritt in der Peripherie der Stadt schon merkbar größerer Schaden auf. Katastrophal wird er aber erst unter den speziellen geomorphologischen Bedingungen, welche der westliche Teil der Stadt besitzt. Es ist letzterer im ganzen gesehen zweifellos auch der ältere, die Bauweise in vielen Fällen weniger solide, so daß die flächenhafte Ausdehnung der Schäden gerade in ihm sich in gewissem Maße schon aus der Bauweise erklärt. Aber es ist nicht die eigentliche Ursache der o. a. Konzentration der Schäden auf die westlichen Stadtteile. Vielmehr hat eine Aufnahme Haus für Haus (Originalplan 1 : 5000 im Instituto de Geografía de la Universidad Austral de Chile) durch den Vergleich gleichartiger Gebäudekonstruktionen eindeutig gezeigt, daß die zerstörenden Beschleunigungen in den westlichen Stadtteilen größer gewesen sein müssen und daß die großräumige Schadensdifferenzierung bis auf Einzelheiten mit der topographischen Gliederung des Stadtbereiches zusammenfällt.

Das Becken von Valdivia ist im inneren Teil mit einem gebankten Sediment angefüllt, das aus zementierter vulkanischer Asche besteht und wahrscheinlich als Schlammstrom in eine pleistozäne Meeresbucht gelangte. Die Oberfläche bildet eine Terrasse von ungefähr 9 bis 12 m über

dem Fluß, die von einigen Resthügeln desselben Materials überragt und in der Peripherie des Beckens von gewellten Plattenresten im Niveau von ca 20 m umlagert wird. Die 9-m-Terrasse fällt mit fast senkrechten Böschungen zu einem dritten Niveau ab, das von der im Hochwasserbereich liegenden „Vega“ eingenommen wird. Die Vega hat in der Nähe des Flusses noch eine 1—1½ m tiefere Stufe, welche z. T. in Form von gewundenen Schläuchen, immer mit ausgeprägtem horizontalen Boden und mit buchtartig rundem „Talschluß“ in die Cancagueterrasse eingreift. Auf diese Weise wird z. B. im westlichen Teil der Stadt ein Relief gebildet, das aus einigen separierten, unregelmäßig angeordneten und zerlappten Terrassentischen in 9 m Höhe mit zwischengelagerten, gewundenen Niederungen besteht. Letztere waren im vergangenen Jahrhundert noch Lagunen oder Sümpfe, wurden später zwar künstlich erhöht, zeigen aber auch heute noch abseits der Straßendämme im Winter Grundwasseraustritt. Dieser skizzierten Formengruppe von Terrassenresten und Lagunenbuchten fehlen alle fluvialen Charakterzüge; vielmehr deuten die Details darauf hin, daß es sich um thalassogene Bildungen handelt. Eine Brunnenschachtung und eine Bohrung jeweils in der Vega dicht vor dem Rand der Cancagueterrasse auf der Teja bzw. in der Calle Bulnes förderten bis 7 m Tiefe tonig-schluffiges, glaukonithaltiges, von Muscheln, Faulschlamm und Pflanzenresten durchsetztes Sediment zutage, in welchem aufgearbeitete Cancagua untergemischt ist. In 10 m kommt in der Calle Bulnes sandiges, aber nicht zementiertes graues Cancaguamaterial. Von 13 bis 17 m folgen wieder wie oben schluffige, bitumenreiche Tone und Muschelmergel. Nach erneuter sandiger Cancagualage erscheinen bei 33 m geschichtete Tone, und erst bei 40 m unter der Oberfläche beginnen unverwitterte Schotterlagen, die nicht durchtätigt sind. Um die Einzelheiten der Genese des Untergrundes festzulegen, bedarf es sicher noch einiger Bohrungen. Fest steht jedoch m. E., daß die westlichen Bereiche Valdivias auf Terrassentischen stehen, die mit dem eiszeitlich absinkenden Meeresspiegel bis weit unter das gegenwärtige Flußniveau voneinander getrennt und später mit wiederanstiegender Meeresoberfläche von jungem tonig-mergelig-sandigem Feinmaterial in der Wattzone umschüttet wurden. Daß darin nah dem Rand der Cancagua-Terrasse Material von dieser mit eingebettet wurde, ist selbstverständlich. Die eigentlichen Cancagua-Tische stehen also — übertrieben formuliert — wie relativ solide Einzelbastionen, eingebettet in weiche Füllmassen. Ein Erdbeben kann sich in dieser Formengruppierung viel stärker auswirken als dort, wo die an sich recht solide Cancagua eine zusammenhängende, unzertrennte Einheit bildet. So erklärt sich zwanglos, daß vor dem Rand der unzerschnittenen Platte die zerstörenden Beschleunigungen größer waren, obwohl die Gebäude auf den Terrassenresten um die Plaza z. B. auf den ersten Blick die gleiche Höhenlage und auch das gleiche Basismaterial unter den Fundamenten aufweisen wie im östlichen Stadtteil.

Besonders ungünstige Standorte haben speziell noch diejenigen Häuser, die auf jenen künstlichen Auffüllungen errichtet wurden, mit deren Hilfe die ehemaligen Sümpfe bebauungsfähig gemacht worden wären. Da die Auffüllungen auch noch in Form von Dammschüttungen die Niederungen durchziehen, stehen viele Gebäude auf abschüssigem Untergrund. Wie alle Lockermassen haben sich die Dämme gesetzt, Zerrungsrisse und Schrumpfungsraben bekommen, so daß die Fundamente der Häuser auseinandergerissen wurden und die Gebäude zusammenbrachen oder nach hinten abrutschten (s. Bild 1).



Bild 1

Typischer Erdbebenschaden für die Stadt Valdivia. Das Betonhaus steht an der Grenze zwischen einem inselartigen Terrassenrest und einer buchtartigen Niederung. Der natürliche Steilabfall von ca. 7 bis 8 m Höhe ist durch künstliche Erdarbeiten abgeflacht, so daß die Straße über einer Dammaufschüttung verläuft. Der Terrassenrest hat eine relativ starke seismische Beschleunigung erfahren, die Auffüllungen sind zerrüttet und die Häuser über der Dammböschung abgerutscht. (Nach käuflichem Photo)

Zum Schluß dieses Abschnittes läßt die Objektivität leider keine andere Feststellung zu, als daß Valdivia zwar einen landschaftlich schönen, aber in dem sowieso zu Erdbeben disponierten Lande gleichzeitig auch einen gefährlichen Platz einnimmt.

b) Die direkte Erdbebenwirkung in Südchile im großräumigen Überblick. Eine Aussage über die räumliche Verteilung der unmittelbaren Erdbebenwirkung unter Ausklammerung der vielen örtlich modifizierenden Bedingungen zu machen, ist noch sehr schwer. Amtliches Schätzungsmaterial war bis zum 20. August noch nicht fertig zusammengestellt und ist nach Auskunft der betreffenden Behörden auch sehr kritisch zu behandeln. Es bleibt im Endeffekt die Geländeaufnahme die einzig sichere Methode. Aber die Jahreszeit, die gegenwärtige Verkehrsisolierung Valdivias und die Inanspruchnahme am Orte selbst erlaubten mir bisher nur einige wenige Übersichtsreisen. Danach ist nördlich Valdivias bis Temuco nur relativ geringer Schaden an Gebäuden der geschlossenen Siedlungen entstanden. Auf dem Lande sind häufig noch Scheunen eingestürzt. Die Verkehrswege wurden durch Einbruch der künstlich aufgeschütteten Brückenauffahrten und Dammaufschüttungen stark beschädigt. Obwohl die Eisenbahn durch viele künstliche Einschnitte führt, wurde die Linie nördlich Loncoche aber nur an relativ wenigen Stellen unterbrochen. Vom Tal des Rio Calle-Calle weiter nach Süden nimmt die Erdbebenwirkung deutlich

zu, wie die häufigen Unterbrechungen der Eisenbahnstraße sowie merkbare Gebäudeschäden in den Orten La Union und Rio Bueno zeigen. Die Stadt Osorno hat sehr wenig Schaden genommen. Ca. 20 Häuser sind — größtenteils durch Abrutsch auf einem Steilhang — vollkommen zerstört worden, Einstürze von Brandmauern und Kaminen sind verbreitete Schäden. Die Gebäudeverluste auf dem Lande rings um Osorno scheinen aber stärker zu sein als in der Provinz Valdivia. Vor allem im Südteil der Provinz Osorno nimmt die Erdbebenwirkung deutlich zu. Rio Negro, Purranque und die Siedlungen am Llanquihue-See (s. Übersichtsskizze) sind erheblich zerstört worden. Im Gebiet zwischen Purranque, Puerto Octay und Frutillar habe ich kaum einen Hof gesehen, auf welchem die Scheune erhalten war (s. Bild 2). In Nochaco,



Bild 2

Eingestürzte Scheune eines Gehöftes der deutschen Kolonisten im Jungmoränenland der Seengemeinde Quilanto (Provinz Llanquihue). Im Grenzgebiet der Provinzen Osorno und Llanquihue ist auf dem Lande der größte Gebäudeschaden entstanden. Wahrscheinlich ist hier der nahe dem Epizentrum gelegene Kernraum des Schütterbereiches. Hinten links der Puntiaquedo, rechts der Osorno.

(Phot. W. WEISCHET, 6. 7. 1960)

etwas nördlich Octay gelegen, sind in den Häusern auf solidem Baugrund beim Erdbeben die Türen und Fenster aus den Angeln gehoben worden, alle Tapetenverkleidungen der Holzhäuser in rechtwinklig sich kreuzenden Zerrungssprünge zerrissen und sogar Scheiben kleiner Stallfenster in feinsten Scherben aus dem Rahmen geplatzt, ohne daß man an letzteren nachträglich eine Verzerrung oder Lockerung der Leim- und Fugstellen feststellen konnte oder das Fenster gar herausgefallen wäre. Die Eisenbahnlinie war nach Auskunft einer kritisch eingestellten Persönlichkeit, wie Herrn Artur GÄDICKE, Nochaco, zwischen der Rahue-Brücke südlich von Osorno und Frutillar an mehr als 50 Stellen unterbrochen. Südlich



Bild 3

Puerto Montt, unmittelbar an der Hafeneinzäunung. Die ausgedehnten und mächtigen künstlichen Erdanschüttungen, welche zum Ausbau von Hafen und Stadt notwendig waren, haben sich stark bewegt, gesetzt und tiefe Zerrungsrisse bekommen. Diese Vorgänge sind die unmittelbaren Voraussetzungen des großen Erdbebenschadens dieser Stadt. (Phot. A. GÄDIKE, 28. 5. 1960)

Frutillar wurden die Schäden geringer, obwohl keine besondere Untergrunddifferenzierung diese Tatsachen nahelegen könnte.

Im Südteil der Provinz Llanquihue scheinen dann wieder die direkten Auswirkungen über große Flächen schwächer zu werden, wenn auch die Besonderheiten des Untergrundes im örtlichen Rahmen zu erheblichen Verwüstungen führten, wie im Dorfe Llanquihue, in Puerto Montt und in Castro (Chiloë). Die beiden letzten Orte habe ich nach dem Erdbeben noch nicht gesehen, kenne aber ihre geomorphologische Situation von früheren Studien, die es mir erlauben, Augenzeugen genauer zu befragen. Danach ergibt sich, daß in Puerto Montt sich hauptsächlich die künstlichen Aufschüttungen verheerend auswirkten, welche bei der Anlage der Stadt notwendig wurden, einmal um den Steilabfall zu überwinden, der von dem ca. 60 m über dem Stadtzentrum gelegenen fluvioglazialen Schotter- und Moränegelande hinunterführt und welche zweitens zur Aufhöhung des Ufergeländes am Hafen gemacht werden mußten, damit eine Kaimauer die extrem große Gezeitenschwankungen von über 8 m überhaupt vor sich auffangen konnte. Hier in diesen Auffüllungen sind gewaltige Zerrungsrisse entstanden, in deren Verlauf Betonmauern gesprengt und Eisengitter auseinandergerissen wurden.

Von Castro, der Provinzhauptstadt Chiloës, ist der südliche Stadtrand beiderseits der Ausfahrt nach Chonchi auf dem relativ steilen Abhang zu einer Wattenbucht abgerutscht. Das stand zu erwarten, da der Sockel dieses Hanges bis ca. zur halben Höhe aus Warwentonen besteht, die bei



Bild 4

Auftreibungen im Fußboden eines Lagerhauses durch hochgepreßtes Grundwasser in der Gemeinde Llanquihue. Der ganze Ort ist durch aufsprudelndes, sandbeladenes Grundwasser schwer zerstört worden.

(Phot. W. WEISCHET, 28. 6. 1960)

Erschütterungen tyxotrop werden. Die auf fluvio-glazialen und marinen Küstenterrassen gelegenen nördlichen Stadtteile sind wenig beschädigt.

Einen Spezialfall im traurigen Schadensregister bildet der Ort Llanquihue, der vom auftreibenden Grundwasser gleichsam aufgewühlt wurde. Es gibt dort z. B. (s. Bild 4) Holzfußböden von Getreidespeichern oder vom Tanzsaal, die nach dem Erdbeben — wie während einer Wellenbewegung plötzlich erstarrt — Kuppeln und Senken aufweisen. Die Gebäude darüber wurden entsprechend auseinandergerissen. Die Plaza sank auf der einen Stelle um $1\frac{1}{2}$ m ein, hob sich dafür auf der anderen um den gleichen Betrag. Auf dem freien Platz eines größeren Gehöftes war eine kuppelförmige Auftreibung von ca. 15 m Durchmesser mit Zerrungsfugen an den Rändern entstanden. Alles das ist auf Arbeit des Grundwassers zurückzuführen. Der Ort liegt auf einer Schwemmsandebene am Ausfluß des Rio Maullin aus dem Llanquihue-See ca. 1 bis 2 m über dem Seespiegel. Während der See beim Erdbeben Niveauschwankungen von ca. $\frac{1}{2}$ m an der Uferlinie zeigte, entstanden in der Sandebene unter dem Ort zahllose Quellen, aus welchen mit dem Wasser der lockere Sand fontänenartig hochsprudelte. An den tiefsten Stellen des Ortes soll das Wasser zeitweilig bis Brusthöhe gestanden haben. Wenige Stunden nach dem Erdbeben war es wieder versickert.

Zusammenfassend möchte ich also die bisherigen Beobachtungen zu dem vorläufigen Ergebnis zusammenfassen, daß das Zentrum des Schüttergebietes auf dem Festland westlich der Nordhälfte des Llanquihue-Sees gelegen hat, daß tektonische und

geomorphologische Voraussetzungen im Becken von Valdivia ein Nebenzentrum mit großer seismischer Beschleunigung bewirkten und daß natürliche und vor allem künstliche, junge Auffüllungen punktweise die Auswirkung des Bebens im Bereich zwischen Mittelchiloë und dem Südrand der Provinz Cautin so vergrößerten, daß es zu Zerstörungen von Gebäuden kam.

2. Die Landsenkung und ihre Folgen

Über die Frage, ob eine Landsenkung stattgefunden habe und welchen Betrag sie erreichte, sind in den Berichten verschiedener nach dem Erdbeben durchgereister Kommissionen verschiedene Ansichten geäußert worden. Der Berichtersteller wurde zu diesem Thema wenigstens fünfmal befragt. Die Schlußfolgerungen der Experten waren unterschiedlich. Da es in Südhile keine eindeutigen Nivellierungs-Fixpunkte gibt, ist es nicht möglich, sich sozusagen nach amtlich beglaubigten Anhaltspunkten zu richten und jeder, der die Ausgangssituation vor dem Erdbeben nicht kennt, ist auf Auskünfte angewiesen. Die Beobachtungstatsachen sind folgende:

Seit dem 23. Mai stehen rings um Valdivia ungefähr 15 000 ha Niederungen ständig unter Wasser, die als Vegaweiden zwar auch früher von Winterhochfluten episodisch überschwemmt wurden, aber in Zeiten normalen Wasserstandes auch während der Regenzeit dem Weidegang dienten. Besonders die 2 bis 3 km breiten Böden des Tales von Angachilla und des Rio Futa (s. Bild 5) südöstlich von Valdivia sind einige Kilometer talauf

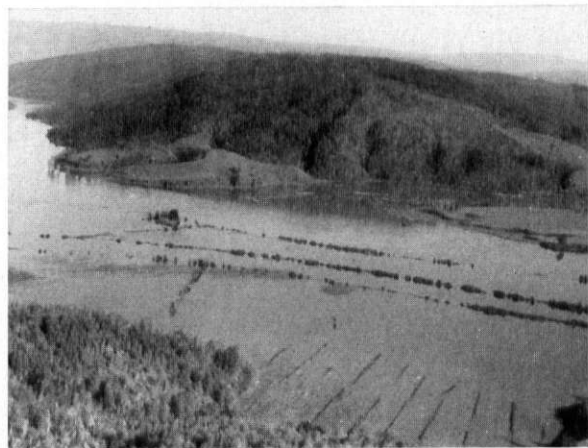


Bild 5

Als Folge der Landsenkung von ca. $1\frac{1}{2}$ m stehen auf den Böden der breiten Mittelgebirgstäler um Valdivia 15 000 ha Land ständig unter Wasser.

(Phot. W. WEISCHET, 10. 6. 1960)

zu von Inseln durchsetzten Wasserflächen geworden. Dabei zeichnet das Wasser alle Talbuchten und Seitentäler ab. Auch nördlich Valdivia, in der Niederung des Rio Cruces, sind die tiefsten Vega-teile überstaut. Mit Ebbe und Flut schwankt die Wasserlinie an den Talrändern auf und ab.

Es handelt sich nach diesen Beobachtungen also nicht um eine grabenartig begrenzte, sondern um eine großräumige Überstauung verzweigter Talböden. Normales Winterhochwasser ist wegen der extremen Niederschlagsarmut des ablaufenden Jahres als Grund auszuschließen. Ein sekundäres Absinken durch Kompakterwerden der Lockermassen in den Talsohlen durch die Erdbebener-schütterung kann auch nicht vorliegen, da an manchen Stellen, z. B. am Wege nach La Union südlich von Valdivia, gezeigt werden kann, daß auch die Anlehnungspunkte der Straße an den Talhang über dem kristallinen Schiefer mit tiefergelegt worden sind.

In Valdivia selbst mußte man früher beim Verlassen eines Flußdampfers wenigstens 2 m über

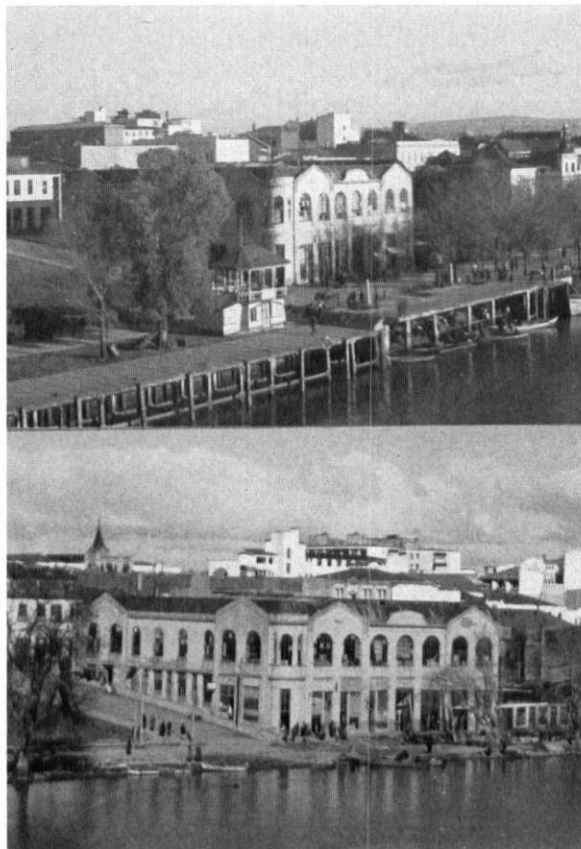


Bild 6

Landungskai in Valdivia; oben vor dem Erdbeben, unten gegenwärtiger Zustand. Im Vergleich der Bilder wird die Landsenkung deutlich.

(Nach käuflichem Photo und W. WEISCHET, 20. 8. 60)

eine Treppe bis zur Höhe der Kaipromenade hinaufsteigen (s. Bild 6 oben). Letztere erscheint heute nur bei Ebbe gerade an der Oberfläche des Flusses (s. Bild 6 unten). Da aber die Uferstraße auf künstlichen Aufschüttungen angelegt wurde, ist sie von sich aus beim Erdbeben auch tiefergerutscht. Der ganze Betrag der Flußspiegeldifferenz von mehr als 2 m geht also nicht auf Kosten einer tektonischen Senkung. Diese läßt sich wenige 100 m weiter nördlich der Brücke zur Isla Teja bestimmen, an einem Weg, den ich täglich zu meinem Institut benutzte. Der Fluß ist hier ca. 300 m breit. Beide Ufer werden von 9 m hohen, z. T. senkrechten Aufschlüssen in der zementierten Cancagua, also dem in Valdivia ältesten Anstehenden, gebildet. Auf der Tejaseite reicht am Rande einer kleinen Uferbucht die Cancagua treppen- oder bankartig bis unter den Flußspiegel. Seit dem 22. Mai ist der Fußweg unter Wasser und an der o. a. Cancaguabank schwankt der normale Wasserstand um eine Höhe, welche 1,40 bis 1,50 m über dem ehemaligen Niveau liegt. Diese Beobachtungen lassen zunächst einmal für das Becken von Valdivia m. A. gar keinen Zweifel zu, daß eine Tieferlegung des Landes um den genannten Betrag stattgefunden hat.

Von der Küste seien folgende Beobachtungstat-sachen mitgeteilt: In der Bucht von Mehuin hatte die Universidad Austral gerade vor wenigen Monaten eine meeresbiologische Außenstation des Zoologischen Institutes errichtet. Ich war mehrmals dort und kenne die Situation deshalb ziemlich genau, weil vor dem Stationsgebäude eine Brandungsschorre mit ihren verschiedenen, hintereinander gelegenen Niveaus mich besonders interessiert hatte. Die Schorre war über senkrecht stehenden Phylliten ausgebildet, auf denen auch 4 m über der höchsten Sturmflutgrenze das Fundament der Station lag. Unter dieser war eine Abwassergrube einzementiert, die ungefähr 1,50 m über normalem Hochwasser lag. Das Stationsgebäude ist von der ersten seismischen Woge hochgehoben und meerwärts geführt und von den nachfolgenden Brechern am nahegelegenen Küstenvorsprung zerschmettert worden. Die genannten Abrasionsniveaus liegen heute unter Wasser. Da die Mittelwasserlinie gerade um die zementierte Abwassergrube spielt, die früher immer trocken war, läßt sich auch hier eindeutig eine Transgression des Meeres nachweisen. Der Betrag der Niveauänderung ist ebenfalls ca. 1½ m. Nach Norden reicht die Senkung wenigstens bis zum Rio Toltén. Hier konnte ich vom Flugzeug aus auf der Meerseite des Strandwalles westlich der verschleppten Mündung das dem neuen Niveau entsprechende Kliff feststellen. Daß es neu angelegt war, geht daraus hervor, daß ein

alter, strandparalleler Weg heute so dicht über dem Klifftrand verläuft, daß er stückweise von der Brandung weggeschnitten worden ist.

Von der Mündung des Rio Imperial läßt sich noch keine eindeutige Aussage machen. Weiter nördlich soll dagegen nach persönlicher Mitteilung von Kollegen WATANABE (Tokio) im Bereich von Lota eine geringfügige Hebung stattgefunden haben.

Für die Küste westlich Osorno und für Chiloë liegen glaubhafte Nachrichten über einen Anstieg des Wasserspiegels vor. Sie lassen sich relativ leicht nachprüfen, da ich die Küstenzone gerade noch im vergangenen Sommer bereist hatte. Für die Region um und nördlich Valdivia besteht aber meines Erachtens kein Zweifel, daß eine großräumige Landsenkung stattgefunden hat, wie sie ja auch im Zusammenhang mit früheren schweren Erdbeben in verschiedenen Teilen Chiles schon beobachtet wurde. In den meisten Fällen hat sich aber nach der Darstellung BRÜGGENS das Land in den folgenden Monaten wieder langsam gehoben bis ungefähr der alte Zustand erreicht war.

Die Folgen der Landsenkung sind vielschichtig. Erwähnt wurde schon für den Raum von Valdivia der Verlust von ca. 15 000 ha Niederungswiesen. Außerdem sind die meisten Industrieanlagen der Stadt in den Bereich von Ebbe und Flut sowie von Regenhochwassern geraten. Die Kaianlagen des Flußhafens sind unbrauchbar, weil sie überspült werden. Darüber hinaus war der camino longitudinal, die einzige durchgehende Nord-Süd-Straße, mehrere Wochen beiderseits der Stadt unterbrochen. Die Ausfahrt nach Norden ist zwar inzwischen höhergelegt und befahrbar, nach Süden muß aber der Verkehr notdürftig durch einen Flußdampfer zusammengestückelt werden, welcher die überfluteten Straßenstrecken auf dem Wasser umgeht. Da auch die Eisenbahnverbindung bei Valdivia nach dem Ausbruch des Riñihue-Sees (s. d.) noch für viele weitere Wochen unbrauchbar sein wird, sind die Viehzuchtprovinzen Osorno und Llanquihue seit dem Erdbeben ohne Landverbindung zu den Verbraucherzentren im Norden. Bei der begrenzten verfügbaren Schiffstonnage und den schweren Zerstörungen des einzigen Ausfußhafens Puerto Montt ist man zum Transport des Fleisches auf die unökonomische Luftfracht angewiesen. Ein anderer schwer geschädigter Wirtschaftszweig ist die Marisco-Fischerei, da die Seeigel- und Muschelbänke für die bisherigen Sammelmethode nun zu tief unter Wasser liegen. Bis zum 30. August wurden in Valdivia noch keine Mariscos angeboten, am 19. August der erste Fisch.

3. Die seismischen Wogen und ihre Auswirkungen

Den genauesten Anhalt über den Ablauf des Maremotos scheinen mir die Proteste zu geben, welche die Kapitäne Ernesto Lavarello del Pozo und Luis Delaporte Ponce über den Verlust der beiden Hochseeschiffe „Canelos“ und „Carlos Haverbeck“ in der Bucht von Corral abgegeben haben. Danach erschien in Corral die erste Flutwelle um 15.30 Uhr, also 18 Minuten nach Beginn des Erdbebens. Es wird nicht von Brechern oder anomal hohen Wellen berichtet, sondern nur von „anomallem Anschwellen der Flut, die Kai und anliegende Straßen bedeckt“ und von „starken Flutströmen“, welche u. a. die Haltetaue der „Canelos“ abreißen. Mit Volldampf kann das Schiff aber noch die Seitenbucht des Hafens verlassen und in den Mündungstrichter des Rio Valdivia gelangen. Um 16.10 Uhr setzt das erste Rückfluten mit anomal starkem Absinken des Wasserspiegels ein. Da die Kühlwasser-Ansaugleitung des Schiffes sich verstopft, ist von da an die „Canelos“ ohne Maschine. Die zweite Woge bricht um 16.20 Uhr herein, diesmal mit „verheerendem Wellengang“. Der geringe zeitliche Abstand zwischen Rückflut und neuer Woge macht es wahrscheinlich, daß der Wellengang das Ergebnis der Brecherbildung über dem ablaufenden Wasser ist. Bei der zweiten Rückflut um 17.00 Uhr zieht sich das Meer um ungefähr 800 m zurück, das Schiff „bleibt auf dem Trockenen“. Die Bewohner von Corral berichten, man habe zu dieser Zeit trockenen Fußes quer durch die Bucht auf die Nordseite gehen können. Aus beiden Beobachtungen muß man als sicher schließen, daß die größten Teile des Mündungstrichters trocken gefallen waren. Die neuen Brecher laufen wieder 10 Minuten nach dem Abströmen an, jetzt mit Wellenhöhen von 10 m, so daß das Wasser über die Brücke der „Canelos“ hinweggeht. Mit der Flutströmung wird der Dampfer noch ungefähr 1 1/2 km stromauf getrieben und hier endgültig auf eine Buhne aufgeworfen. Nach dem Bericht des Kapitäns Delaporte handelt es sich ebenfalls um eine Flutwelle und zwei verheerende Brecher.

Das Zerstörungswerk (s. Bild 7), welches die seismischen Wogen bis ungefähr 8 m über dem normalen Wasserstand entlang der Küste angeordnet haben, ist von der Mündung des Rio Imperial nach Süden bis über Chiloë hinaus katastrophal. Obwohl die Küsten Südkiles nur wenige und relativ kleine Siedlungen aufweisen, forderte die Naturkatastrophe hier die meisten Opfer an Menschenleben.

Wenige Tage nach dem Erdbeben konnte ich bei einem Flug über die Küstenzone folgende Beobachtungen machen: An dem steilen Felsenkliff nördlich Corral zeichnet sich bis 10 m über der



Bild 7

Corral, der Hafen von Valdivia. In dem niedriger als 8 m über dem Meer gelegenen Stadtteil sind Holz- wie Steinhäuser von den Brechern der seismischen Wogen restlos zerstört worden. Außerdem zeigt der Wasserstand über den Straßen das Absinken des Landes an.

(Phot. A. GÄDICKE, 17. 6. 1960)

Wasserlinie ein kahler Gürtel blanken Gesteins ab, welchen die Brecher freigespült haben. Scharf setzt darüber das unbeschädigte Vegetationskleid an. In der Bucht von Mehuin, in der neben dem Fischerdorf in den letzten Jahren eine Sommersiedlung Valdivias entstanden war, blieben nur einige Häuser am Hang erhalten. Weiter nördlich, in der Bucht von Queule, wurde der Strandwall, welcher den Rio Queule vom Meer abtrennt, überspült und das im Hintergrund liegende Dorf weggeschwemmt. Ebenso geschah es mit den Kolonistensiedlungen zwischen dem Rio Toltén und dem Meer (s. Bild 8) und endlich mit der kleinen

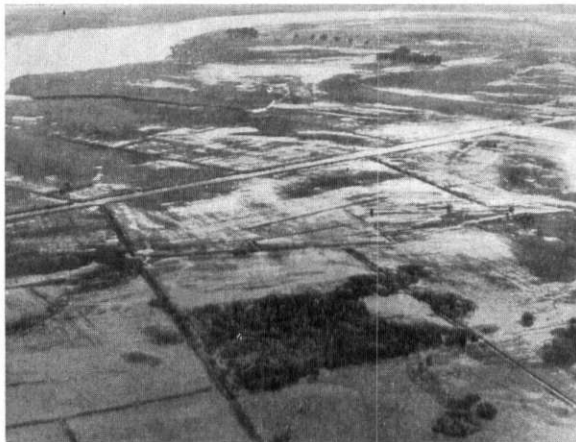


Bild 8

Von den seismischen Wogen überspültes Kolonistenland vor der Mündung des Rio Toltén.

(Phot. W. WEISCHET, 17. 6. 1960)

Stadt Puerto Saavedra. Hier fand ich viele Häuser wahllos über die Flur der Stadt zerstreut, einige waren auf ihrem Driftwege offenbar wie Autos auf einer Straßenkreuzung zusammengestoßen, der größte Teil aber lag als Kleinholz vor dem Anstieg zum Hügelland. Nach Augenzeugenberichten hatte Herr Enrique Heinen zunächst beobachtet, wie sich das Meer zurückzog. Die Maremotowelle befürchtend, ist er dann schreiend durch die Straßen gelaufen, um seine Mitbewohner zu warnen. Bis zum Eintreffen der ersten Woge blieb soviel Zeit, daß ein junger Mann, Herr Haindorf, noch aus seinem Wohnhaus Fotoapparat und Radio holen und dann mit dem größten Teil der Einwohner der Stadt vor dem anrückenden Wasser buchstäblich davonlaufen und auf die 2 km entfernten Hügel gelangen konnte. Auch in Saavedra wird die dritte Welle als die höchste (10 m) angegeben. Nördlich der Mündung des Rio Imperial ist von Verheerungen durch seismische Wogen in Siedlungen nichts mehr bekannt geworden. Im Küstenabschnitt südlich Valdivia sind nur die tieferen Teile Ancuds an der Nordwestecke Chiloës restlos vernichtet worden. Der Ort Maulin wurde von den Wellen nicht mehr erreicht. In den Golf von Reloncaví konnten sie wegen der Enge von Chacao nicht gelangen.

Die Zahl der Todesopfer in den betroffenen Küstensiedlungen wird eindeutig wohl nie festzustellen sein, da es in Chile keine Meldepflicht gibt. Schätzungsweise werden sich die Verluste in den Küstensiedlungen auf ungefähr 2000 Menschen belaufen.

Ein günstiges Ergebnis hat die Katastrophe aber auch gezeitigt: die Mündungen der Flüsse sind durch die ungeheuren Flut- und Ebbströme ausgespült, die hinderlichen Sandbarren beseitigt worden. Valdivia soll neuerdings nach den ersten Probelotungen wieder von Hochseeschiffen erreicht werden können, während diese bisher oft schon Schwierigkeiten hatten, nur bis in die Bucht von Corral zu gelangen. Eine Neuauslotung des Rio Valdivia nach dem Ende der Überflutung durch den Ausfluß des Aufstauwassers des Riñihue-Sees ist gerade im Gange.

4. Spontane Massenbewegungen, ihre räumliche Anordnung und ihre Folgen

Nach dem bisher gewonnenen Überblick konzentrieren sich die spontanen Massenbewegungen als Folge des Erdbebens auf drei Zonen: Küstensteilabfall, die Steilufer des Llanquihue-Sees und vor allem auf einige bezeichnende Streifen am Westabfall der Hochkordillere (siehe Übersichts-skizze).

An der Küste scheint es sich ausschließlich um Bewegungen in der Art der Erdschlipfe, also um

das spontane Abgleiten der Verwitterungsdecke zu handeln. Die steile Küste mit Riasbuchten, ein Sockelgestein aus tonhaltigen, kristallinen Schiefern und Phylliten und die starke chemische Verwitterung, welche das immerfeuchte Südkile auszeichnet, sind ihre begünstigenden Voraussetzungen. Vielleicht gibt eine genauere Aufnahme der Verbreitung noch eine besondere Häufung an verschiedenen Küstenabschnitten und den Hinweis auf Verwerfungslinien.

Bei der Überfliegung der Rutschungen an den Ufern des Llanquihue-Sees wurden mir zunächst neue Details der merkwürdigen geomorphologischen Verhältnisse deutlich, welche dieser See besitzt. Der größte Teil der Nordumrahmung zwischen Puerto Octay und Puerto Kloker, aber auch erhebliche Strecken des West- und Südrandes bestehen nämlich aus häufig 70 m hohen Steilufern, die unmittelbar aus dem See aufsteigen und an der Oberkante mit ausgeprägtem Hangknick in ebene, terrassenartige Flächen übergehen, welche verschiedene Niveaus bis 70 m einnehmen. Der Steilhang hat weitgehend mehr als 50° Neigung; es gibt Stellen, die praktisch vertikal sind. Sein Verlauf ist unregelmäßig. Er biegt zuweilen mit scharfer Kurve vom See gegen die Terrassenlandschaft ab und gibt eine offene Seebucht frei, in deren Hintergrund aber auch nur ein sehr schmaler, halbmondförmiger Sandstrand liegt. Ostwärts Puerto Chico biegt der Steilhang vom See nach Norden ab und nach Süden springt eine ebenfalls weitgehend ebene Fläche vor, die aber nur wenige Meter über dem Wasserspiegel liegt, auch wieder begrenzt von senkrechten Uferböschungen. An den Steilufern ist überall Lockermaterial aufgeschlossen. Südlich Totoral an der Westküste des Sees z. B. findet sich ein Wechsel von Schottern, kreuzgeschichtetem Grobsand mit Geröllen, bankigem vulkanischem Tuff sowie kreuzgeschichtetem Bimsstein-Lapilli. Die höchsten Terrassenflächen enden zentrifugal vom See nach außen in 1 bis 1½ km Entfernung vom Ufer am Fuß eines Jungmoränen-Hügellandes, den Endmoränen der letzten Eiszeit. Diese Formkombination: Endmoränen außen, tiefer gelegene Terrassenniveaus zum See hin und Steilböschungen bis weit unter den Wasserspiegel wird man als glazifluviale Anschüttungsterrassen deuten müssen, entstanden nach dem Höchststand der Vereisung, verursacht durch Vulkaneruptionen im Einzugsgebiet des Llanquihue-Gletschers (Entstehung des Vulkans Osorno).

Die Rutschungen an den Steilufern (s. Bild 9) haben sich alle nur in der oberflächennahen Zone vollzogen. Sie umfassen andererseits aber auch nicht allein die Bodendecke, wie in Bild 9 links deutlich zu sehen, sondern dazu die ersten 2 bis 3 m des nahe der Hangkante Anstehenden.



Bild 9

Massenrutschungen am Steilufer der fluvioglazialen Anschüttungsterrassen auf der Nordseite des Llanquihue-Sees. (Phot. W. WEISCHET, 7. 7. 1960)

Die Basis der Steilhänge ist standfest; das oben abgestürzte Material liegt z. T. auf den unteren Teilen der Böschung. Das Ganze ist also ein spontaner Denudationsvorgang, der zur Abflachung der jungen Steilufer führt und der systematisch zu den Bergrutschen zu zählen ist, trotz seines relativ geringen Ausmaßes.

Die Häufigkeit der Erscheinung besonders am Nordufer möchte ich auch als Hinweis darauf deuten, daß das Hauptschüttergebiet des Bebens vom 22. Mai vor der Nordwestseite des Sees gelegen hat.

Spontane Massenverlagerungen größeren Stils sind in der Randzone der Hochkordillere vor sich gegangen. Die mir gegenwärtig bekannten sind in der Übersichtsskizze durch Kreuze angegeben. In den unbewohnten, weithin noch weglosen Urwaldteilen abseits der glazigenen Querfurchen im Hintergrund der Andenrandseen muß mit weiteren gerechnet werden, die sich aber unserer Kenntnis entziehen. Doch auch die wenigen eingetragenen machen in ihrer Anordnung Linien deutlich, die sich zusammen mit anderen geomorphologischen Indizien als wichtige tektonische Leitlinien des geologisch nur oberflächlich bekannten Gebietes aufzeigen lassen. (Die vor wenigen Wochen erschienene neue geologische Übersichtskarte 1:1 Mill. von Chile enthält noch keine Strukturlinien.) Die eine beginnt im fast Süd-Nord verlaufenden Teil des hinteren Fjordo de Reloncaví, zieht über die rechtwinklig vom Todos Los Santos-See abbiegende Ensenada Cayutué weiter zur Vulkanruine des Puntia Guido. Nördlich der östlichen, buchtartigen Erweiterung des Rupanco-Sees ist sie angedeutet durch einen wandartigen Abfall und ein vorgelagertes breites Sohlental mit

Thermalquellen, das über einen Rücken mit kleinen Parasitärkegeln auf den frischen Hauptkrater des Casablanca und nördlich von diesem auf die Vulkangesellschaft des Puyehue zuführt. Es ließ sich an Hand dieser Linien also die mutmaßliche Situation der gemeldeten „Bergstürze am Rupancho“ ungefähr voraussagen. Der Flug dorthin war für mich dementsprechend spannend. Als wir, von Westen kommend, den eigentlichen Gebirgssteil des Sees erreichten, zeigten sich an der Südseite (gegenüber der Halbinsel) zunächst hier und da gelbe Abrißzungen von 30 bis 50 m Breite im Waldkleid der relativ steilen Bergrücken. Je weiter wir nach Osten kamen, um so häufiger wurden die Rutschungen. Es waren aber immer noch singuläre Stellen im geschlossenen Waldkleid. An der Engstelle des Sees fand sich dann an offenbar vorher schon waldfreiem Steilhang der erste größere Bergrutsch. Er setzt ziemlich tief an und reicht bis in den See.



Bild 10

Der von Erdbeben zerrackelte Nordwesthang des Punttiagudo. Der Berg liegt auf der Nord-Süd streichenden Verwerfungslinie der Hochkordillere. Abgerutscht ist der Mantel vulkanischer Tuffe.

(Phot. W. WEISCHET, 7. 7. 1960)

Der Hauptteil der Rutschungen liegt aber noch etwas weiter östlich, auf der Nordflanke des Punttiagudo. Hier ist auf ca. 2 km Länge der gesamte Hang so aufgerissen, daß weniger als ein Viertel des Waldbestandes erhalten ist (s. Bild 10). Es sind aber wie an den bisher genannten Stellen auch hier nur oberflächennahe Decken abgerutscht. Als Endergebnis hat der Hang nun ein Relief, das Ähnlichkeit mit Badlands besitzt. Die Voraussetzung für das Abgehen von Oberflächendecken bietet die Tatsache, daß nach dem Ende der Vereisung das Gebirgsrelief flächenhaft von vulkanischen Staubablagerungen eingehüllt wurde. Das aufgelagerte Lockermaterial begünstigt die Rut-

schungen. Die erst langsame Zunahme und dann plötzliche Konzentrierung auf einem relativ schmalen Geländeausschnitt fand ich sehr beeindruckend, und sie kann bei der weithin gleichen sedimentären Voraussetzung wohl als deutlicher Hinweis auf die beim Erdbeben aufgelebte Strukturlinie in der Erdkruste gelten.

Am gegenüberliegenden Ufer des Rupancho bietet sich ein anderes Bild. Hier wälzte sich aus dem oben schon genannten Sohllental ein Strom breiig fließfähiger Massen in den See. An seiner Stirn ist vor der Mündung des nachträglich wieder durchgebrochenen Baches ein kleines, modellartiges Delta angebaut worden. Die ca. 300 m hohe Wand, welche das Tal auf der Rückseite begrenzt, zeigt über mehrere 100 Meter gewaltige Abbrüche. Die Einzelheiten der Vorgänge müssen bei einer Geländebegehung in den nächsten Wochen erst festgestellt werden. Doch glaube ich nicht fehlzugehen in der Annahme, daß es sich um Wandabbrüche, verbunden mit tyxotropen Fließvorgängen, handelt.

Die Folgen der geomorphologischen Ereignisse in diesem Raum sind katastrophal. Unter dem Bergrutsch an der engsten Stelle des Sees wurde ein Straßenarbeiterlager mit schätzungsweise 100 Personen begraben. Der Murstrom auf der Nordseite hat das Hotel „Thermas de Rupancho“ mit allen Nebengebäuden über die Kante einer niedrigen Terrasse in den See geworfen. Die Bewohner sind dabei umgekommen.

Ähnliche Bergrutsche, wie ich sie an der Nordseite des Punttiagudo sehen konnte, sind an der Süd-Ost-Seite auch aufgetreten. Sie haben hier den Fundo Punttiagudo mit 30 Menschen verschüttet.

Vom Ostende des Rupancho-Sees biegt wahrscheinlich eine andere Strukturlinie nach Südwesten gegen die Vulkane Osorno und Calbuco und das Südufer des Llanquihue-Sees ab. Man kann deutlich im Gelände sehen, wie von der Südwest-Ecke der Vulkanruine des Punttiagudo gegen den Osorno ein Rücken zieht, der mit einer Reihe frischer Aschenkegel besetzt ist. Im Verlauf dieser Linie liegen auf der Südwest-Seite des Osornos auch die jüngsten Flankenkegel und Spaltenergüsse von 1837. Auf der Nord-Ost-Seite, im Sattel zur Cordillera Picada, begrub ein Bergrutsch die Skihütte und meines Wissens 8 Personen.

Ein anderes Gebiet folgenschwerer Massenselbstbewegungen liegt im Bereich des Quellgebietes des Rio Calle-Calle um die Seengruppe Riñihue/Panguipulli/Calafquén und Villarica. Da ich auf Grund von Kartenstudien und Geländebegehungen im letzten Sommer eine junge Verwerfung etwas westlich des Ausflusses des Riñihue-Sees vermutete, hatte ich am Tage nach dem Erdbeben in einer Besprechung in der Universität die

Frage aufgeworfen, ob die Autoritäten der Provinz sich schon vergewissert hätten, daß am Seeausfluß keine Verstopfung aufgetreten sei. Seither habe ich mich zwangsweise mit den Ereignissen im Raume des Einzugsgebietes des Rio Valdivia näher befaßt. Die Einzelheiten der Ergebnisse möchte ich in einer getrennten Arbeit (Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft München, Band 1960) veröffentlichen und an dieser Stelle nur das Wesentliche referieren. Zunächst ist die Tatsache auffallend, daß Calafquén und Panguipulli keinen eigenen Ausfluß nach Westen in die Längssenke besitzen, ihre Wasser vielmehr gebirgswärts fließen und erst vom Ostende des Panguipulli über den Rio Ecco zum Riñihue-See und von da in das Flußsystem des Calle-Calle gelangen. Es ist das die Folge einer grabenartigen relativen Absenkung zwischen zwei Verwerfungslinien. Die westliche ist geomorphologisch schon im Gewässernetz und in Bruchstufen zu erkennen. So fallen die Est. Pichico und Lecue westlich des Riñihue durch ihren geradlinigen Verlauf von SSW nach NNE entlang der im Westen von ihnen ansteigenden Geländestufe und durch die einseitige Anordnung der Tributäre auf. Dort wo das Tal des Rio San Pedro die Verwerfung quert, haben sich im Bett des Flusses Stromschnellen gebildet. Außerdem biegen vor der Stirn des Panguipulli und des Calafquén-Sees die Bäche ebenfalls in die Richtung der Verwerfung ab, und es bildet sich eine deutliche Wasserscheidenlinie unmittelbar vor den Seen quer durch das pleistozäne Hügelland. Geologisch demonstriert sich die junge Tektonik in der Verstellung junger fluviatiler Sedimente im Cañon des Rio San Pedro zwischen Puente Malihue und dem Estero Trafun, einem Aufschiebungsbruch in Warwentonen und pyroklastischen Seebeckensedimenten und wahrscheinlich in einem sanften Ostfallen dieser Ablagerungen im Westteil des ehemals größeren (nach Westen verlängerten) Beckens des Riñihue-Sees. Der Ostrand des Grabens ist angedeutet durch das Verbindungstal des Rio Enco zwischen Riñihue und Panguipulli, die Einschnürung am Ende des letzteren, die Trennung zwischen Lago Calafquén und Pellaifa, dem Vulkankegel des Villarica und endlich durch den Verlauf des Lago Caburgua. Neue Hinweise geben auch die schweren Bergstürze, welche sich auf dieser Linie zwischen Villarica und Caburgua im Tal des Rio Minetue ereignet haben. Außerdem trennt die östliche Verwerfung zwei auffallend verschiedene Anordnungsrichtungen des hydrographischen Netzes. Westlich ist die Hauptrichtung die der Gebirgsabdachung; ostwärts verlaufen alle Flüsse in der Streichrichtung der Cordillere und sammeln sich in wenigen großen Querdurchbrüchen.

Unter diesen tektonischen Voraussetzungen hat sich hinter dem Riñihue-See ein ausnahmsweise großes hydrographisches Einzugsgebiet von mehr als 4700 km² gebildet. Durch tyxotrope Massenverlagerungen (in das Kastental des Seeausflusses Rio San Pedro) als Folge des Erdbebens ist dieses Einzugsgebiet am 22. Mai vollkommen abgedämmt worden. Die geomorphologische Situation, welche dazu führte, ist folgende:

Der See reichte im Pleistozän ungefähr 5 km weiter nach Westen als heute bei einem Wasserspiegel, der 90 m über dem gegenwärtigen lag. Der ehemalige Seespiegel ist durch entsprechende Terrassen und die darin enthaltene Materiallagerung an vielen Stellen belegt. Das ehemalige Westufer bildete nahe dem Westrand des o. a. Grabens ein Jungmoränenwall auf einem Sockel von kristallinem Schiefer. Heute findet sich in dem Bereich zwischen dem aktuellen und dem ehemaligen See-Ende abseits des Talverlaufes des Rio San Pedro eine tischebene Fläche, der alte Seeboden, auf der nur in wenigen Streifen schmale Wälle von Moränenmaterial liegen. Die Ebene hat eine Höhe von 80 m über dem gegenwärtigen Seespiegel. Zum Tal des San Pedro hin bricht sie im Südostteil des alten Seebeckens noch in relativ großer Entfernung vom Fluß mit Steilabfällen, die z. T. wandartig sind, über antithetische Treppen zu einem unregelmäßigen, welligen oder kuppigen Gelände ab, das ungefähr 20 bis 30 m über der Talsohle liegt. Abrißnischen, antithetische Treppen und wirre Geländeformen vor ihnen lassen das Ganze unschwer als alte Rutschung identifizieren. Gegenüber, auf der nördlichen Talseite, befindet sich eine Treppe von Gleitschollen-Terrassen. Der Einschnitt des Flusses in den alten Seeboden nimmt talab von diesen fossilen Rutschungen die Form eines steilen Kastentales von 150 bis 200 m Breite und 80 bis 90 m Tiefe an. Der Nordhang war wegen junger Unterschneidung besonders steil. An diesem sind heute (in der Abrißnische der Bergstürze) von unten nach oben aufgeschlossen: ungefähr 25 m Warwentone (s. Bild 11), 15 m bankiges Schluffsediment aus pyroklastischem Feinmaterial (Bimsstein-Tuff mit Vivianit-Konkretionen und eingebetteten Blättern und Holzresten), 40 m sandig-schottriges Lockermaterial mit einem blockigen Moränenschleier als Abschluß.

Bei dieser Materialvoraussetzung ist es verständlich, daß bei der seismischen Erschütterung die Talhänge an vielen Stellen zusammengebrochen sind. An drei Stellen haben tyxotrope Massenbewegungen zum Aufbau vollständiger Querdämme über die ganze Talbreite geführt. Der größte ist 1200 m lang und hat zwischen 26 und 50 m Kronenhöhe. Aus einem Kreissektor von ca. 600 m Sehnenlänge und 250 m Tiefe sind rund



Bild 11

Warwentone (oben links gefaltet) aus dem ehemaligen Seebecken des Lago Riñihue. Der tyxotrope Gefügezusammenbruch dieses Materials während des Erdbebens führte zu den großen Bergrutschen, welche den Abfluß aus dem 4700 qkm großen Einzugsgebiet des Rio San Pedro für zwei Monate blockierten.

(Phot. W. WEISCHET, 20. 6. 1960)

eine Million Kubikmeter Lockermaterial durch den tyxotropen Gefügezusammenbruch der Warwentone aus dem Nordhang mit großer Gewalt ausgebrochen. Die Front des Massenstroms, gebildet vorwiegend aus den liegenden Tonen, wurde auf der gegenüberliegenden Talseite zusammen mit dem Wasser des Flußbettes auf eine ca. 10 m höher liegende Terrasse hinaufgeschleudert. An die tonigen distalen Teile des Massenstroms schließt sich ein konkaver, von zahlreichen Zerspalten durchsetzter und steilen Abrißwänden ringsum begrenzter zentraler Teil des Ausbruchkörpers an. Er besteht aus der muldenförmig eingesunkenen alten Oberfläche mit Viehweiden und noch intaktem Baumbestand. (Die liegenden tonigen und schluffigen Teile, die zu dem Profil gehörten, sind an der Stirn des Stromes ausgepreßt worden.) Weiter gegen die Abrißnische folgen dann ungefähr 8 Kippschollen, welche auf der vom Ursprungsgebiet abgekehrten Steilseite Teile der alten Landoberfläche, zur Abrißwand hin die Abscherflächen aufweisen. Das Ganze stellt ein großartiges Beispiel einer tyxotropen Massenbewegung dar.

Sie schuf einen natürlichen Staudamm, hinter welchem der Riñihue-See in der Folgezeit um durchschnittlich 40 bis 50 cm pro Tag anstieg. Bei einer Wasseroberfläche von normalerweise 90 qkm, die sich bei steigendem Seespiegel endlich auf fast 100 qkm vergrößerte, bedeutete jeder

Meter Anstieg die Aufspeicherung von 90 bis 100 Millionen Kubikmeter Wasser, die für den Fall des Durchbruches eine akute Gefahr für alle Siedlungen im Unterlauf des Rio Calle-Calle darstellten. Wie groß die Gefahr war, vermochte jedoch niemand genau zu sagen. Die Unsicherheit begann schon bei der Kenntnis über die absolute Höhenlage des Sees. (Nach verschiedenen Barometermessungen ungefähr 100 m über dem Meer.) Außerdem gibt es keine topographischen Karten, welche Dimensionen, Form und Gefälle der Talabschnitte zwischen dem See und dem Becken von Valdivia zu bestimmen gestatten. Ob der natürliche Damm genügend Standfestigkeit besitzen würde, um dem Druck der angestauten Wassermassen zu widerstehen, oder ob er Sickerstellen aufweise, die zum frühzeitigen Aufbruch führen könnten, wie der Durchbruch endlich geschehe und welche Transportgeschwindigkeit die Wassermassen haben würden, waren obendrein echte Probleme, die sich in aller Welt gestellt hätten. Wie es unter solchen Umständen meist geschieht, zogen diejenigen, die wenigstens etwas wußten, es vor, sich sehr vorsichtig unter Wahrung der nötigen Sicherheitsgrenze zu äußern. Diejenigen, denen auch die Einsicht in allgemeine Regeln und Gesetze fehlte, zeigten dagegen weniger Hemmungen und ließen in der Tagespresse vorwiegend ihrer Phantasie freien Lauf, so die allgemeine Nervosität und die Lähmung jeglichen Arbeitswillens zur Beseitigung der Erdbebenschäden vergrößern.

Was im Bereich des Menschenmöglichen lag, die Katastrophe in Grenzen zu halten, wurde unter Aufwand aller in Chile vorhandenen technischen Möglichkeiten von der *Empresa Nacional de Electricidad* unternommen. Während einerseits versucht wurde, das Einzugsgebiet des Rio San Pedro durch künstliche Dämme aufzuteilen und durch den natürlichen Erdrutschdamm einen Quergraben zum frühzeitigen Abfluß des Wassers zu öffnen, wurden andererseits alle Siedlungen im mutmaßlichen Überschwemmungsbereich evakuiert. Dieser Vorkehrung ist es zweifellos zu verdanken, daß auch nicht ein Menschenleben zu beklagen war, nachdem zwischen dem 24. Juli und den ersten Augusttagen die angesammelten Wassermassen sich durch den Talzug des Rio Calle-Calle gewälzt hatten.

Am Nachmittag des 24. Juli hatte der See ein Niveau von 26 m über Normal erreicht. Zu dieser Zeit waren Riñihue und Panguipulli zu einer zusammenhängenden Seeoberfläche geworden, die effektiv mit einem Dampfer von der einen zur anderen Seite befahren wurde. Der Ort Riñihue und einige kleinere Ufersiedlungen waren schon vorher unter dem Wasserspiegel verschwunden. Rund 2,6 Milliarden Kubikmeter Wasser bedroh-

ten nun den abwärts gelegenen Talverlauf. Als glücklicher, beruhigender Umstand konnte angesichts dieser Bedrohung gelten, daß dicht unterhalb des größten Bergrutsches der Rio San Pedro in eine Durchbruchsschlucht eintritt, die am oberen Ende nur eine Breite von ungefähr 50 m bei mehr als 80 m hohen Talhängen aufweist, ausgebildet im kristallinen Schiefersockel. Der Eintritt in die Schlucht liegt ca. 19 m unter dem normalen Seespiegelniveau, so daß die in 26 m über dem Normalstand überlaufenden Wassermassen zunächst eine Fallhöhe von 45 m hatten, dann aber sich durch die 50 m breite Pforte hindurchzwängen mußten.

Als infolge von Schneeschmelze und gleichzeitig heftigem Landregen der See am 24. abseits des künstlichen Kanales durchzubrechen drohte, wurde der Eingang des letzteren durch große Dynamitladungen gewaltsam aufgesprengt. Innerhalb der ersten 12 Stunden stieg dann der Abfluß von ca. 500 auf 2000 cbm/sec. Am Nachmittag des 25. betrug er 4500 und in den Morgenstunden des 26. erreichte er den Maximalwert von etwas mehr als 7000 cbm/sec. Das ist ungefähr das zwanzigfache des normalen Abflusses des Rio San Pedro. In Los Lagos, der ersten Ortschaft flußabwärts, stieg das Wasser in dem schon weiter gewordenen Tal auf etwas mehr als 7 m. Von da an sank das Niveau bis kurz vor Valdivia langsam auf ungefähr 5 m ab. Auf 2 bis 3 km Breite stand zu dieser Zeit der ganze Boden des Kastentales unter Wasser (siehe Bild 12). Die Häuser der Ortschaften Antilhue, Purey, Huellelhue schauten nur noch mit den Dächern aus der weiten Wasserfläche heraus, viele



Bild 12

Das Tal des Rio Calle-Calle bei Antilhue während der Überflutung durch die aus dem Lago Riñihue ausbrechenden 2,6 Milliarden Kubikmeter Wasser. Über dem Querdamm in der Bildmitte verlief die Eisenbahn. Die z. T. im Wasser liegende Brücke deutet die normale Flußbreite an.
(Phot. W. WEISCHET, 29. 7. 1960)

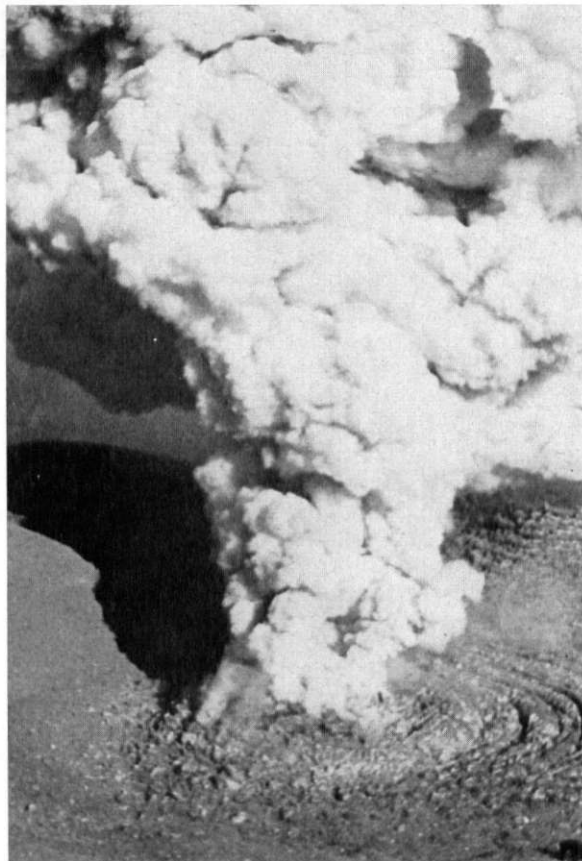


Bild 13

Eine von den sieben Eruptionsstellen des Vulkans Puyehue, welche nach dem Erdbeben am 24. oder 25. Mai 1960 in Tätigkeit traten. Der Durchmesser der Blasstelle in der zähflüssigen Lava beträgt ungefähr 50 m.
(Phot. A. GÄDICE, 10. 6. 1960)



Bild 14

Frische Lavadecken, ausgeflossen aus Spalten an der Nordwestflanke des Vulkans Puyehue nach dem Erdbeben vom 22. Mai 1960. Flughöhe ungefähr 2000 m. Aufnahme nach Süden.
(Phot. A. GÄDICE, 10. 6. 1960)

Gebäude wurden ebenso wie die Holzstapel der Sägewerke vom Wasser mitgerissen.

Im Becken von Valdivia weitet sich das Tal neuerlich und dementsprechend sank die Höhe der Flut auf 2,5 m über dem normalen Wasserstand ab. Die Oberflächen-Geschwindigkeit des Flusses erreichte beim Höchststand etwas mehr als 4 m pro sec, eine Geschwindigkeit, welche mir für einen Flußabschnitt, der schon im Bereich von Ebbe und Flut liegt, bemerkenswert erscheint.

Während der Hochwasserschaden sich in Valdivia auf Verschlammung der tieferen Stadtteile beschränkt, hat die Talstrecke weiter oberhalb schwere Verwüstungen erlitten. Der Eisenbahndamm und die Straße sind über große Strecken unterspült oder zerschnitten, ein Teil der Eisenbahnbrücke bei Antihue ist zusammengebrochen, die Ortschaften sind verödet und die landwirtschaftlichen Nutzflächen für 1 bis 2 Jahre unbrauchbar.

5. Die Vulkanausbrüche

Endlich ist noch über das Aufleben des Vulkanismus als Begleiterscheinung des Erdbebens zu berichten. Der einzige Vulkan, welcher in Tätigkeit trat, war der Puyehue. Wann der erste Ausbruch erfolgte, ist schwer zu sagen. Nachdem nämlich am Tage des Erdbebens und an dem darauf folgenden Montag noch heiteres Wetter ge-

herrschte hatte, verhüllte eine hochreichende Aufzugsbewölkung am Dienstag und Mittwoch die Kordillere. An einem dieser Tage muß die Eruption begonnen haben, da am Donnerstag, dem 26., die ersten Nachrichten über angeblich zahlreiche Vulkanausbrüche auftauchten. Am 27. habe ich beim Flug über Valdivia oberhalb einer Strato-cumulusdecke nur eine Eruptionswolke von ca. 4000 bis 5000 m Höhe beobachten können. Es blieb tatsächlich auch in den Folgetagen die einzige. Herrn Artur GÄDICKE, Nochaco, verdanke ich außer den beiden Bildern 13 und 14 auch die folgenden näheren Auskünfte: auf der Westflanke des Puyehue traten in Höhen von ungefähr 2000 m sieben verschiedene Nebenkrater in Aktion (s. Bild 13). Zahlreiche Lavaströme (s. Bild 14) flossen z. T. aus den Kratern, z. T. aus Spalten. Einige reichten bis in den Wald, der daraufhin in Brand geriet. Am 10. Juni waren nur noch drei Eruptionsstellen in Tätigkeit. Der vulkanische Staub breitete sich vorwiegend nach Osten aus. Auf der argentinischen Seite sollen ca. 14 cm gefallen sein. In den Ortschaften am Nordrand des Llanquihue-Sees bewirkte die Eruption nur einen hauchdünnen Staubbelag.

Ich möchte diesem Bericht den Charakter einer vorläufigen Information zumessen. Eine eingehendere Bearbeitung soll im Laufe des Sommers geschehen.

DAS ERDBEBEN VOM 22. MAI 1960 IN DER PROVINZ LLANQUIHUE IN SÜDCHILE

Bericht eines Augenzeugen

Mit 3 Abbildungen

PETER-PAUL VON BAUER

Summary: The Earth-Quakes in the Province of Llanquihue in Southern Chile of 22nd May 1960

In the neighbourhood of the "Waldhof" the following phenomena connected with the earthquakes were noticed:

1. Groundwater oscillation and emersion
2. Formation of crevices and funnels.

The Osorno volcano has no permanently flowing surface drainage system. Precipititional and melting waters seep away in the debris ("Arenales") at the mountain foot. They flow underground into the River Petrohue. Only when snow melts quickly or after heavy rainfalls the rills ("Canjones") carry down the surplus waters on the surface for a short time. After the quakes an important rise of the groundwater was noticed. The low lying land was flooded.

Apparently the waters stored up in the "Arenales" was pressed to the surface. The groundwater level was presumably put to oscillate. The covering dry layers were soaked, so that streams of wet loam and sand were pressed up. Areas of up to a hectare of arable land were covered. Fig. 3 shows the crevices and funnels. They are nearly all situated where the mountain foot borders on the swamps. Their orientation is NNE-SSW.

Concerning the buildings it could be noticed that solid wood structures on a concrete foundation, and with a nailed wooden shingle-roof, can stand up even against heavy earthquakes. Chimneys should be expediently constructed in one piece and made from concrete material. It is useful to have ones own electricity generator and water supply.