

P. Trkal. J. 1880.



GODIŠNJE IZVJEŠĆE

ZAGREBAČKOG METEOROLOŠKOG OPSERVATORIJA

ZA GODINU 1909.

GODINA IX.

DIO IV. — POLOVINA 1.

POTRES OD 8. X. 1909.

NAPISAO

DR. A. MOHOROVIČIĆ.

JAHRBUCH

DES

METEOROLOGISCHEN OBSERVATORIUMS

IN

ZAGREB (AGRAM)

FÜR DAS JAHR 1909.

JAHRGANG IX.

IV. TEIL. — ABSCHNITT 1.

DAS BEBEN VOM 8. X. 1909.

VON

DR. A. MOHOROVIČIĆ.



ZAGREB 1910.

NAKLADA KR. HRV.-SLAV.-DALM. ZEM. VLADE, ODJELA ZA BOGOŠTOVJE I NASTAVU.

TISKARA I LITOGRAFIJA C. ALBRECHTA.

Predgovor.

Dne 8. listopada 1909. u 9 s. 59 m. S. G. V. osjetio se u Zagrebu jak potres, koji je porušio znatan broj dimnjaka, ali inače nije učinio veće štete. Vijesti, koje stigoše u Zagreb odmah iza potresa telegrafom i telefonom pokazaše, da je potres bjesnio mnogo većom silom na jugu od Zagreba, osobito u dolini Kupe, gdje je bilo znatnih šteta, dapače i ubijenih ljudi.

Na poziv opservatorija poslaše nam općinski uredi, pučke škole, javni uredi i privatnici toliko makroseizmičkog materijala, da se može tačno odrediti položaj epicentra i opseg potresenog zemljišta.

Sve evropske seizmičke postaje staviše mi najspremnije na raspolaganje podatke čitanja svojih seizmografa, a mnoge, na koje sam se opetovano obratio s upitima, dadoše mi sva moguća razjašnjenja. Budi im svima ovdje izrečena najtoplija hvala.

Veliki broj seizmičkih postaja ispod 800 km od epicentra i dobrota njihovih motrenja porodi u meni nadu, da ću moći dublje zaviriti u mehanizam rasprostranjivanja udaraca potresa. Radovi raznih istraživaoca, osobito E. Wiecherta i njegovih učenika, pružiše nam veoma pouzdane krivulje vremena (hodo-grafe) za pojedine faze potresa od 1000 do preko 10.000 km udaljenosti od epicentra. Krivulje od epicentra do 1000 km mogu se u koječem popraviti i promijeniti, jer je dosadašnji materijal za blize potrese manjkav. Ovom raspravom kanim ovu manjkavost po mogućnosti ispraviti.

Radi velike množine makroseizmičkog materijala i nemogućnosti, da se mikroseizmički materijal u što kraćem vremenu obradi, mora se IV. dio godišnjeg izvješća za god. 1909. razdijeliti na dvije polovine. Prva od ovih polovina sadržaje obradbu mikroseizmičkog materijala potresa od 8. X. i slijedećih potresa iz istog epicentra, dok druga polovina sadržavat će makroseizmički materijal i podatke očitane na seizmografima za čitavu godinu 1909., te će izaći početkom godine 1911.

A. Mohorovičić.

I.

Uvod.

Moderni osjetljivi seizmografi rišu nam na svakoj postaji sliku gibanja zemljišta u neposrednoj okolini instrumenta, čim tu okolinu stave u gibanje valovi potresa.

A. Ako sravnimo slike nekoga potresa registrovana na dvim postajama, koje su jednako daleko od ishodišta potresa, opazit ćemo, da su te slike u glavnim potezima jednake, tek će nam potanja sravnidba pokazati, da obje slike nisu posve jednake. Dva su glavna uzroka te nejednakosti: različita sposobnost obih instrumenata, da vjerno ubilježe gibanje zemlje na onom mjestu na kojem su postavljeni, i faktična razlika gibanja zemlje na obim mjestima. Mogao bi se navesti još i treći uzrok t. j. različiti oblik valova, koji se razilaze na razne strane iz potresnog ognjišta. O tom ali danas još ništa ne znamo, jer nam još i jednaki dijelovi obih slika nijesu posve razumljivi. I vremena, u kojima počinju obje slike ili jednaki dijelovi obih slika, skoro su jednaka. Razlike vremena mogu imati različite uzroke, koje želim ovdje potanje razložiti.¹⁾

1. Pogreška ure. Svaka valjana seizmička postaja ima obično tri ure, koje sve mogu griješiti.

a) Glavna ura kao najtočnije mjerilo vremena. Stalna korekcija i dnevni hod ure određuje se ili kod same postaje astronomskim motrenjem, ili se ura sravni od vremena do vremena s nekom drugom urom u mjestu samom ili u nekom drugom mjestu. Iz onog potonjeg načina sravnidbe izvire tolike pogreške, da nismo nikada sigurni, da imamo korektno vrijeme, ako nam nije glavna ura tako točna, da možemo po njoj otkriti pogrešku sravnidbe. Pogreška takove sravnidbe može iznositi do 10 sek. i više.

b) Ura za kontakte, koja na slici potresa daje znakove pojedinih minuta. Na nekim postajama je glavna ura ujedno

¹⁾ Vidi o tom: H. Benndorf-Beiträge zur rationellen Seismometrie I. — Beiträge zur Geophysik B. X. H. 1.

i ura za kontakte, ali obično ima postaja posebnu manje točnu uru za kontakte, koja se svaki dan sravnjuje s glavnom urom. Više ili manje nejednaki hod ure za kontakte, med dvjema sravnidbama, daje pogrješne marke pojedinih minuta.

Kod onih instrumenata, kod kojih posebna pisaljka pravi znakove minuta daleko od slike potresa, podvržena je paralaksa vremena vječnim promjenama. Svaki popravak na instrumentu mijenja paralaksu.

c) Pomicanje papira na seizmografu. Mekanizam koji drži papir u jednoličnom gibanju, obično je veoma primitivan tako, da su pojedine minute nejednake te time nastaje daljna mogućnost pogrješke vremena. Osobito se osjeća ova nejednakost, kada ura slučajno ne ubilježi nekoliko minuta. Ako unutar toga vremena dolazi koji potres, ne može se dovoljno sigurno očitati. Ako pak samo za vrijeme jednoga sata manjkaju znaci pojedinih minuta, onda se potres u to vrijeme ubilježen uopće ne može očitati.

d) Brzina kojom papir teče, t. j. dužina slike za vrijeme od jedne minute, je važna za točno određenje vremena. Ako je brzina premalena, onda se ne mogu dovoljno točno očitati maleni razmaci vremena. Kod prevelike se brzine ne može odrediti početak slike, ako nije veoma jak.

Za blize je potrese potrebna veća brzina papira nego za udaljene. Valovi od 0.5—1 sek. periode mogu se samo onda dobro odrediti, ako brzina ne padne ispod 18—20 $\frac{m}{m}$ po minuti. Za jake je potrese i ova brzina premalena. Brzina se papira mora ravnati i po osjetljivosti instrumenta t. j. po prividnom povećanju prave veličine gibanja zemlje. Slabo osjetljivi instrumenti ne podnose velike brzine, ako nisu namješteni samo za bilježenje jakih potresa. Kod veoma osjetljivih instrumenata mora biti i brzina veoma velika, da se mogu sve potankosti slike izrabiti.

2. Slučajne pogrješke. Dobar jak otklon može se loše očitati ili pustiti, da ga očita neupućena osoba. Dobro očitanoj vremenu može se krivo pribrojiti korekcija vremena. Dobro određeno vrijeme može se krivo prepisati i t. d. K tomu pridolaze grube pogrješke vremena, koje se ne mogu ni otkriti, n. pr. pogrješka od jedne minute u jednoj samo fazi, razne tiskarske pogrješke i t. d.

3. Neodređenost početka potresa ili pojedinih mu dijelova. Početak slike nekoga potresa može biti ili jaki udarac (impetus), ako se pisaljka naglo otkloni od položaja mira, ili polako izilaze iz mira sve veći valovi (emersio). U prvom se slučaju lako odredi točno vrijeme, a u drugom slučaju zavisi vrijeme, u koje se opazi prvi val, od povećanja i od trenja. Slabo osjetljivi instrumenti i takovi instrumenti, kod kojih je trenje veliko, pokazat će početak uvijek prekasno.

4. Mikro seizmički i lokalni nemir mogu tako iskvariti početak potresa, da se uopće ne daje ustanoviti, ili da se kakavgod jaki udarac nemira uzme kao početak potresa. Osobitu zapreku čini nemir, ako mu je perioda jednaka ili skoro jednaka periodi prvih valova potresa. To se zbiva vrlo često zimi. Lokalni nemir malene periode veoma je štetan kod blizih potresa.

5. Moguće nejednolično rasprostiranje valova potresa od ishodišta na razne strane.

U posljednje vrijeme pisalo se o tom mnogo, ali ja mislim, da se još danas o tom ne može raspravljati, jer nam ni poprečne vrijednosti još nisu dovoljno poznate i, jer su pogreške vremena još tako velike, da su podaci većine postaja neuporabivi.

Danas imamo seizmičkih postaja prvoga i drugoga reda. Postaje prvoga reda imaju redovno ure prvoga reda i isto takove instrumente. Postaje drugoga reda imaju redovno manje osjetljive, ali za svrhu u koju služe dovoljno valjane instrumente, dok su im ure redovno loše. Vrijeme se određuje tek kod malo postaja samostalno. Postaja I. reda morala bi imati ne samo glavnu uru nego i uru za kontakte prvoga reda, koje idu uvijek tako točno, da možemo svaki čas imati vrijeme na 0.5 sek. točno. Ima pako dosta postaja, koje dozvoljavaju pogrešku od ± 3 do 4 sekunde.

Postaje drugog reda morale bi imati uru prve vrsti kako imaju postaje I. reda, drukčije mogu njihovi podaci voditi do krivih zaključaka. Kad sam sravnio podatke svih postaja, koje sam u ovoj radnji trebao da upotrijebim, sa poprečnim vrijednostima dobivenim od postaja najboljeg glasa, mogao sam se osvjedočiti, da se podaci dobrih postaja tako malo razilaze od poprečne vrijednosti, da im pogreške padaju unutar granica vjerojatne pogreške od ± 4 s., koja se pogreška danas još



mora dozvoliti. Sve postaje, čija pogreška prekoračuje ovu granicu, morao sam isključiti. Kada najbolji stručnjaci traže točnosti od ± 2 s. ili dapače od ± 1 s, onda je to samo »pium desiderium«, kojem odgovara samo nekoliko postaja u Evropi.

Potrebno bi dakle bilo, da se postaje II. reda ili ukinu, gdje ih država uzdržaje ili, da se tako preurede, da se njihovi podaci i upotrijebiti mogu. I za čisto statističke svrhe nisu takove postaje dovoljne. Dobar makroseizmički posmatrač ubilježit će više potresa, koji su se doista dogodili nego instrumenat II. reda. Samo njihalo od 1000 kgr. moglo je ubilježiti sve potrese, koji su se osjetili u epicentralnom predjelu, dakle samo 40 km daleko od Zagreba. Nijedan se potres nije mogao naći, kojega su instrumenti ubilježili, a da ga nije barem jedan motritelj javio, bez da je bio za to upitan. Slabiji instrumenti ispustiše mnoge od tih potresa.

B. Ako sravnimo dvije slike istoga potresa, dobivene na instrumentima jednakog tipa i približno jednake osjetljivosti, ali nejednake udaljenosti od ognjišta, vidimo da su obje slike slične, samo što je slika dobivena na udaljenijoj postaji obzirom na vrijeme dulja i kasnija.

Slika dobro definiranog potresa sastavljena je od dva dijela od prethodnog i glavnog potresa. Trajanje prethodnog potresa je tim veće, čim je postaja dalje od ognjišta potresa. Trajanje glavnog potresa zavisi o udaljenosti od ognjišta i od jakosti potresa na ognjištu samom. Da li će ubilježiti prethodni potres i seizmograf, položen na površinu zemlje tačno ili skoro okomito nad ognjištem potresa — koje si pomišljamo u ne prevelikoj dubini —, nije još utvrđeno.

Prethodni potres počinje u malenoj udaljenosti od ognjišta s valovima kratke periode. Kod slabijih potresa iznosi ta perioda samo dijelove sekunde; kod jačih potresa pridruže se k ovim valovima i takovi od 1—2 sek. periode, a kod veoma jakog potresa još i polaganiji valovi. Raste li udaljenost od ognjišta, onda bivaju veoma brzi valovi sve slabiji, te ostaju samo polaganiji. Ali čim je jači potres, tim u većoj udaljenosti nalazimo još one brze valove.

Prethodni se potres raspada opet na dva glavna dijela: na prvi i drugi prethodni potres. Drugi prethodni potres počinje s naglim povećanjem amplitude i periode. Obično je poprečna



amplituda drugoga dijela veća nego li prvoga. Kod jakih potresa opaža se, kako je poznato, neka sličnost prvih valova obih prethodnih dijelova potresa.

Osim ovih glavnih faza opaža se kod jačih potresa i više nuzgrednih, koje počinju ili naglim povećanjem amplitude ili naglom promjenom periode. I neka sličnost njihovih prvih valova s prvim valovima početka potresa katkad se opaža.

Na početku prve faze valovi su najkraći. Tijekom prethodnog potresa pridružuju se k ovim valovima sve dulji i jači, a kraći valovi bivaju sve slabiji. Svaka nova faza donša nove vrste valova, dok prema koncu ne dođu veoma dugi valovi s periodom od 30 sek. i više.

Glavni potres počinje s manje ili više jakim porastom amplitude i umanjenjem periode. Za trajanja glavnog dijela potresa vide se periodične promjene amplitude, ali razmjerno prema prethodnim fazama, malene promjene periode. Razna maksima slijede jedan iza drugoga, prvi ili jedan od prvih je najjači, i malo po malo dolaze sve slabiji, dok napokon ne prestane gibanje i nastane mir.

Perioda u glavnom potresu zavisi o udaljenosti potresnog ognjišta. Kod slabih blizih potresa iznosi perioda glavne faze 1—2 sekunde. Kod jakih potresa dolaze još i veće periode. Čim je veća udaljenost od ognjišta tim su valovi dulji, tako da njihova duljina naraste na 18 sekunda u udaljenosti od 90° ili i više. Kod veoma jakih potresa opažaju se na ovim dugim valovima i kraći, kakvi obično dolaze samo u prethodnom potresu. Za vrijeme glavnog potresa mijenja se perioda tako, da biva sad dulja sad kraća, dok ne bude pod konac potresa znatno dulja nego na početku.

Točnost odredbe početka pojedinih faza je različita. Najtočnije se odredi početak samoga potresa. Početak obih prethodnih faza može se uvijek odrediti tačno samo kod onih postaja, koje posjeduju i jedan instrumenat za vertikalnu komponentu. Početak glavnog potresa određuje se veoma teško.

C. Problem rasprostiranja valova potresa je u glavnom riješen. Ako si pomislimo zemlju kao kruto tijelo, sastavljeno od koncentričnih homogenih kuglinih slojeva, to će svaka nagla promjena ravnotežja, bilo da se dogodi na površini zemlje i u kojojgod točki unutrašnjosti prouzročiti dva sistema elastičnih valova, koji se s različitom brzinom od ognjišta potresa na



sve strane rasprostiru. Pošto brzina rasprostiranja raste od površine pa sve do znatne dubine, to će biti put svakoga udarca od ognjišta do površine zemlje prema gore konkavna krivulja. Isto će tako prouzročiti svaka zraka, kada dođe do površine zemlje, različite nove sisteme valova, od kojih će se jedni rasprostirati dalje po površini, a drugi će se odbiti prema unutrašnjosti zemlje. Ako u unutrašnjosti zemlje postoji takova kuglina ploha, kao razdjelna ploha dviju medija različite elastičnosti, onda će nastati na onoj plohi poradi loma i odraza novi sistemi valovi.

Prvi prethodni potres sastoji od longitudinalnih valova, koji dolaze kroz unutrašnjost zemlje do instrumenta, dijelom izravno, dijelom iza jedne ili više refleksija. Drugi prethodni potres sastoji većim dijelom od transverzalnih valova, čija se brzina odnosi prema brzini longitudinalnih od prilike kao 1 : 1.8.

Glavni bi se potres imao sastojati prema današnjim nazorima od površnih valova, koji zastaju u epicentru, te se rasprostiru po površini na sve strane. Da moraju nastati površni valovi na svakom mjestu do kojega dođe val iz unutrašnjosti, ne može nitko poreći, ali teoriji, da se glavni potres sastoji samo od površnih valova, može se koješta prigovoriti:

1. Kod svakoga potresa nastaju površni valovi ne samo u epicentru nego svuda. U epicentru nastaju najjači, a sve što dalje sve slabiji. Postaja u blizini epicentra ne bi po tom mogla imati nikakve prethodne faze, nego bi amplituda morala biti već kod prvog udarca jaka, onda malo po malo rasti do maksima, a kasnije isto tako padati. Ali tome nije tako. U zagrebačkom opservatoriju registrovano je nekoliko potresa iz epicentralne udaljenosti od prilike 15 km. Svi pokazuju lijepi prethodni potres, koji traje 2—3 sekunde, onda naraste amplituda naglo i nastaju razna maksima.

Fig. 1. pokazuje sliku jednog potresa iz Stubice u udaljenosti od 15 km od Zagreba.

Polagano rastenje amplitude od prvih valova pa do maksima ne opaža se nikada. I kod udaljenih bi potresa morala amplituda iz početka polagano, onda sve brže rasti do maksima, jer valovima, koji dolaze izravno kroz unutrašnjost zemlje, morali bi se pridružiti površni valovi, koji dolaze od sve manje epicentralne udaljenosti, dok ne bi došli oni valovi, koji potiču iz samoga epicentra. Redovno naraste amplituda iza raznih

razmaka vremena naglo, a na početku glavnog potresa naraste najjače.

2. Ako se glavna faza sastoji samo ili većinom od površnih valova, onda je teško tumačiti njezino dugo trajanje. U epicentru traje i najjači potres samo kratko vrijeme, a njegova najveća sila najdulje nekoliko minuta, rijetko dulje. Na udaljenoj postaji traje često glavni potres čitav sat i dulje. To bi se moglo samo tako tumačiti, da se iz epicentra razilaze površni valovi različitih brzina tako, da polaganiji sve kasnije do postaje dođu. Da li je moguća takova diferencijacija brzina vrlo sumjam.

3. Čim dođe od epicentra, tim je veća perioda površnih valova. I ovo njihovo svojstvo dalo bi se teško protumačiti.

4. Prolaze li površni valovi na dugom putu po dnu mora, morala bi ih voda brzo uništiti. Na evropskim postajama morali bi tada opaziti veliku razliku među potresima iz istočne Azije, čiji površni valovi dolaze isključivo po kopnu i onima iz Amerike ili dapače iz Tihog oceana, čiji površni valovi dolaze skoro isključivo po dnu mora.

II.

Epicentar potresa od 8. X. 1909.

Potanje o epicentralnom predjelu i o raspostranjenju potresa sadržavat će II. polovina ovoga izvješća. Ovdje će biti dovoljno, da podamo od prilike sliku epicentralnog predjela.

Da se odredi epicentar, unešene su u jednu kartu glavne štete i narisane isoseiste. Jedna od najvažnijih isoseista okružuje onaj teren, u kojem su se rušili dimnjaci.

Taj se predjel proteže skoro simetrično s obih strana jedne osi, koja počima kod Doberlina na Uni ($45^{\circ} 09' N$ $16^{\circ} 29' E$) te ide ravno na Farkašić ($45^{\circ} 28' N$, $16^{\circ} 06' E$) na Kupi. Odavle ide os duž Kupe do Lasinje ($45^{\circ} 33' N$, $15^{\circ} 51' E$), gdje naglo zavraća prema N nešto malo na W, te prestaje zapadno od zagrebačke gore. Od prilike kod $45^{\circ} 44' N$ i $15^{\circ} 48' E$ odjeljuje se jedan krak prema Zagrebu. Ovaj predjel ima najveću širinu (30—35) km između Petrinje u SE i Lasinje u NW u dužini od kojih 50 km. Najveću štetu počinio je potres u predjelu među $45^{\circ} 20' N$, $15^{\circ} 50' E$; $45^{\circ} 30' N$, $16^{\circ} 17' E$ i $45^{\circ} 31' N$, $16^{\circ} 03' E$, gdje je i zemlja pucala. Središte centralnog

predjela je od prilike kod $45^{\circ} 29' N$ i $16^{\circ} 01' E$, a središte je prostranog predjela, u kojem je zemlja pucala, u $45^{\circ} 28' N$ i $16^{\circ} 06' E$. Pošto su pukotine većinom u aluvijalnom zemljištu, uzeo sam kao epicentrum jednu točku u sredini med navedenim točkama, u $45^{\circ} 29' N$ i $16^{\circ} 03' E$. Pogriješka može iznositi najviše ± 3 km.

Vrlo je teško odrediti jakost potresa u epicentru, jer su u onom predjelu kuće većinom od hrastovine, te nijesu ništa štetovale. Samo crkve, župni stanovi i javne zgrade su od opeke i kamena, te su znatno oštećene. Maksimalna jakost prekoračila je sigurno st. IX.

Koliko se može iz mnogobrojnog makroseizmičkog materijala zaključiti, ishodište je svim potresima, koji su se osjetili u onom predjelu, iza glavnog potresa identična s ishodištem glavnog potresa.

III.

Podaci seizmograma

i krivulje vremena za P, $\bar{P}$ i S.

Pošto su podaci svih postaja više ili manje pogriješni, odlučio sam, da za konstrukciju krivulja vremena ne upotrijebim samo potres od 8. X. nego i podatke svih potresa, koji ga slijede, u koliko su za to shodni. Podaci svih potresa karakterišu neki poprečni potres, za koji će vrijediti svi dobiveni rezultati. Ovaj bi način bio samo onda strogo dozvoljen, kad bi svi ti potresi izilazili iz istoga epicentra i iz jednake dubine. Po makroseizmičkim motrenjima dolaze svi ti potresi iz istoga epicentra, ali za sigurno ne iz iste dubine. Potres od 29. I. 1910. bio je u epicentru i u Zagrebu skoro jednako jak kao i glavni potres, ali samo kratko trajao. Njegova je jakost tako naglo padala s udaljenošću, da je već u daljini od 500 km bio tako slabo ubilježen na najosjetljivijim instrumentima, da se podaci ne mogu rabiti. Otud bi se moralo suditi, da mu je dubina ishodišta bila veoma malena. Oba potresa od 10. X. 1909. bila su u Zagrebu veoma slaba, ali i u Hamburgu su bila dosta dobro ubilježena. Odatle bi morali zaključivati na veliku dubinu. Dubina potresa nema sa $\bar{P}$ velik upliv, jer ona mijenja samo koordinate točke infleksije

krivulje. Krivulja dobivena iz svih potresa predstavlja poprečnu krivulju, čije su točke mnogo tačnije nego što bi bile, da su izvedene iz jednoga samoga potresa.

Iz poprečnih vrijednosti dobivenih od pojedinih instrumenata izračunano je najprije približno epicentralno vrijeme, t. j. onaj momenat, kada je potres počeo u epicentru. Kasnije se je pokazalo, na osnovu strogog računa, da je ovo vrijeme točno, te je ono kasnije uzeto kao početak brojenja vremena uz pogodbu, da je vrijeme, u koje je prvi udarac došao u Zagreb, za sve potrese jedno te isto.

Glavna je ura opservatorija izvrsna, a to je Rieflerova ura, te služi ujedno i kao ura za kontakte. Status i hod određuje se na samom opservatoriju astronomskim motrenjem tako, da ura, osobito za vrijeme potresne periode, zajamčuje točnost od ± 0.5 sek. Pogriješke određenja pojedinih faza mogu poticati samo od nejednakosti pojedinih minuta na papiru i od različitog oblika prvih udaraca kod različitih potresa. Kod jačih potresa može pogriješka iznositi najviše ± 1 sek., a kod slabih može biti i nešto veća. Potres od 8. X. trebao je, da dođe do epicentra u Zagrebu 5 sek., počeo je dakle u epicentru u 9 h 59 m 09 s ± 0.5 s. Ovo je epicentralno vrijeme uzeto kao početak brojenja vremena za sve postaje. Kod svih slijedećih potresa uzeto je kao epicentralno vrijeme ono vrijeme, koje se dobije, ako se od vremena, kada je potres došao u Zagreb, odbije 5 sekunda.

Očitane vrijednosti poznatih instrumenata uzete su u slijedeću tabelu, dijelom kako su publicirane od pojedinih opservatorija, dijelom po pismeno saopćenim podacima. Gdje sam mogao dobiti kopije diagrama ili originale, očitani su još jedamput, ali se nije mogla nigdje naći spomena vrijedna razlika.

Da se prištedi prostora nijesu uzeta u tabele apsolutna vremena, nego samo diferencije od epicentralnog vremena t. j. vremena putovanja potresa. Ovaj je postupak uzet iz meteorološke prakse, te će se vjerojatno i u seizmologiji udomiti, osobito u onim slučajevima, kada je epicentralno vrijeme tačno poznato.

U tab. I. su vremena putovanja potresa od 8. X. 1909. i slijedećih potresa, u koliko su na pojedinim postajama ubilježena.

Tab. I. Epicentar kod Pokupskog — $45^{\circ} 26' N$, $16^{\circ} 03' E$ G.

Postaja	Dan	Vrijeme u epicentru	Početak	e M.	Maksim.
Zagreb	1909	h m s	m s	m s	m s
epic. udalj. 39 km.	8. X.	9.59.09	0.05	0.09	0.16
Instrumenti:		10.59.40	»	0.09	0.13
		11.09.39	»	0.10	0.11
Wiechertovo nihalo od 80 kg. s 20-strukim po- većanjem (Spindler & Hoyer) s brzinom papira od 30 mm po min za potrese od 8. X 9 h 29 m, 10. X. i 28. I. 1910. 23 h 28 m.		14.39.51	»	0.09	0.11
		17.10.01	»	0.10	0.10
	10. X.	5.37.10	»	0.09	0.13
		5.55.01	»	0.10	0.11
		6.08.56	»	0.09	0.12
		8.56.33	»	0.09	0.11
		8.57.53	»	0.09	0.11
	11. X	20.50.10	»	0.09	0.13
	14. X	0.46.34	»	0.09	0.11
	21. X.	17.03.17	»	0.10	0.13
Za ostale potrese nihalo od 1000 kg (Bartels).	22. X	6.36.03	»	0.10	0.14
		6.47.20	»	0.10	0.16
	23. X.	4.01.07	»	0.10	0.13
		8.29.57	»	0.09	?
	25. X.	22.45.35	»	0.09	0.11
	28. X.	5.37.30	»	0.08	0.14
	6. XI.	16.17.01	»	0.10	0.12
	2. XII.	22.59.19	»	0.09	0.13
	7. XII.	21.21.07	»	0.11	0.14
	13. XII.	0.21.41	»	0.10.5	0.12
	24. XII	0.14.30	»	0.10	0.15
	1910				
	28. I	23.57.45	»	0.10.5	0.11
	29. I.	0.12.02	»	0.10.5	0.11
		2.59.24	»	0.10.5	0.11
		13.29.28	»	0.10.5	0.11
Poprijeko . .			0.05	0.09.6	0.12.4

Potresi od kojih su tek tragovi ubilježeni, nijesu se uzeli u obzir. Isto tako nijesu uzeti u obzir potresi iza 29. I. 1910., jer ih osim Zagreba nije ubilježila nijedna druga postaja.

Postaja	Dan	Vrijeme u epicentru	Početak	e M	Maksim.
Rijeka	1909	h m s	m s	m s	m s
ep. udalj. 134 km.	8. X.	9.59.09	0.25	0.42	0.50
Instrumentat : Vicentini-Konkoly.					

Potresi ubilježeni na Rijeci 10. X. 1909., te 28. I. i 29. I. 1910. nijesu se mogli uzeti u obzir poradi velikih pogrješaka vremena.

Postaja	Dan	Vrijeme u epicentru	Početak	e M.	Maksim.
Ljubljana	1909	h m s	m s	m s	m s
ep. udalj. 141 km.	8. X.	9 59.09	0.20	0.37	0.40
	10. X.	5 37.10	0.17	0.36	0.46
Instrumenti:		5.55.01	0.20	0.35	0.45
		6.08.56	0.21	0.39	0.44
različiti bez mirenja.	22. X.	6.36.03	0.19	—	0.43
	13 XII.	0 21.41	0.20	—	0.48
	24 XII.	0.14.30	0.23	—	0.52
	1910				
	28. I.	23 57.45	0.42?	—	1.05?
	29. I.	0.12.02	0.38?	—	1.09?
Poprijeko . .			0.20	0.37	0.45

Poradi pogreške vremena nijesu se mogli uzeti u obzir potresi od 28. I. i 29. I. 1910.

Graz	1909	h m s	m s	m s	m s
ep. udalj. 184 km.	8. X.	9 59.09	0.30	0.56	—
		11 09.39	0.33	—	—
Instrumenat:	10. X.	5.37.10	0.26	—	—
		5 55.01	0.29	—	—
Wiechertovo nihalo.	13. XII.	0.21.41	0.25	—	0.53
	24. XII.	0.14.30	0.20?	—	0.38?
	1910				
	28. I.	23 57.45	0.28	—	0.58
	29. I.	0 12.02	0.27	—	1.01
Poprijeko . .			0.28	0.56	0.57

Potres od 24 XII. 1909. nije uzet u obzir poradi vjerojatne pogreške vremena.

Trst	1909	h m s	m s	m s	m s
ep. udalj. 185 km.	8. X.	9.59.09	0.35	0.55	1.05
		10.59.40	0.32	0.53	0.58
Instrumenti:	1910				
Vicentini, Ehlert.	28. I.	23.57.45	0.32	0.51	1.01
	29. I.	0.12.02	0.27	0.49	0.58
		2.59.24	0.30	0.52	0.56
Poprijeko . .			0.31	0.52	0.59

Postaja	Dan	Vrijeme u epicentru	Početak	eM	Maksim.
Pola	1909	h m s	m s	m s	m s
ep. udalj. 193 km.	8. X.	9.59.09	0.36	0.57	1.01
	10. X.	5.37.10	0.31	0.54	0.54
Instrumentat:		5.55.10	0.33	0.54	0.55
Wiechert (200 kg).	13. XII.	0.21.41	0.28	0.52	0.55
	24. XII.	0.14.30	0.26	—	1.06
	1910				
	28. I.	23.57.45	0.30	0.57	1.01
	29. I.	0.12.02	0.29	0.51	1.05
		2.59.24	(0.40)	0.52	0.55
Poprijeko ..			0.30	0.54	1.00

Početak potresa od 29. I. 1910. 2 h 59 m nije u obzir uzet.

Poradi lošeg vremena nijesu se mogli upotrijebiti podaci postaje Sarajevo.

Postaja	Dan	Vrijeme u epicentru	Početak	$\bar{P}$	R	S	eM	M
Beč	1909	h m s	m s	m s	m s	m s	m s	m s
ep. udalj. 308 km	8. X.	9.59.09	—	0.52	—	—	1.33	1.59
	10. X.	5.37.10	0.42	—	—	—	1.28	1.40
Instrumenti:		5.55.01	0.45	—	—	—	1.34	1.43
Wiechertovo	22. X.	6.36.03	—	—	—	—	1.33 ¹⁾	1.45
nihalo, Con-	25. X.	22.45.35	—	—	—	—	1.35 ¹⁾	1.45
radova nihala.	13. XII.	0.21.41	0.45	0.54	1.09	1.16	—	1.55
	24. XII.	0.14.30	0.42	—	1.08	1.17	—	(1.20)
	1910							
	28. I.	23.57.45	0.42	0.50	—	—	1.27	1.42
	29. I.	0.12.02	0.48	0.58	—	—	1.27	1.47
		2.59.24	—	0.53	—	—	—	—
Poprijeko ..			0.44	0.53	1.09	1.17	1.31	1.47

¹⁾ U bečkim »Wöchentliche Erdbebenberichte« označeno kao iP.

Postaja	Dan	Vrijeme u epicentru	Početak	$\bar{P}$	R	S	eM	M
Budimpešta.	1909	h m s	m s	m s	m s	m s	m s	m s
ep. udalj. 316 km	8. X.	9.59.09	—	1.07?	—	—	1.48	2.02
	10. X.	5.37.10	—	0.52	—	—	—	1.59
Instrumentat:		5.55.01	—	0.58	—	—	—	1.43
Wiechert	1910							
	28. I.	23.57.45	—	0.59	—	—	1.36	1.59
	29. I.	0.12.02	—	0.58	—	—	1.42	3.49
Poprijeko ..			—	0.58	—	—	1.39	?

Kod izračunavanja poprečnih vrijednosti zanemareni su podaci potresa od 8. X. 1909.

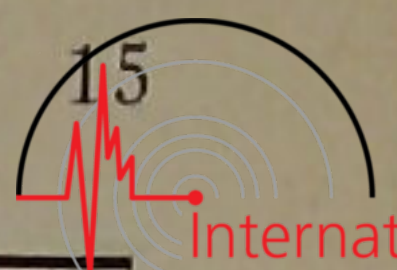
Podaci postaja Ó-Gyalla, Temešvar, Firenze—Ximeniano, Valle di Pompei i Pavia nijesu se mogli upotrijebiti poradi velikih razlika vremena prema ostalim postajama.

Postaja	Dan	Vrijeme u epicentru	Početak	$\bar{P}$	R	S	eM	M
Padova ep. udalj. 332 km Instrumentat: Vicentini.	1909 8. X. 10. X. 13. XII. 1910 28. I. 29. I.	h m s 9.59 09 10 59.40 5.37 10 5 55 01 0 21 41 23 57 45 0.12 02	m s — — — — — —	m s 0.55 — 0.52 0.55 0.55 0.55 0.56	m s — — — — — — —	m s — — — — — — —	m s 1.40 1.35 1.34 1.35 1.36 1.36 1.37	m s — 1.44 1.42 1.53 (3.07)? — —
Poprijeko . .			—	0.55	—	—	1.38	1.46
Firenze Quarto-Castello ep. udalj 431 km Instrument: Stiattesi.	1909 8. X.	9.59.09	0.56	—	1.35	—	2.03 N 2.17 E	—
München ep. udalj. 454 km Instrumentat; Wiechertovo nihalo.	1909 8. X. 1910 28. I. 29. I.	9.59.09 23 57 45 0 12.02	0 57 ± ¹ 1.03 —	1.17 1.20 1.17	— 1.46 1.39	— 1.54 1.51	2.17 2.15 ± ¹ 2.12	— 2.54 2.54
Poprijeko . .			1 03	1.19	1.43	1.53	2.15	2.54

¹ U znaku za minute.

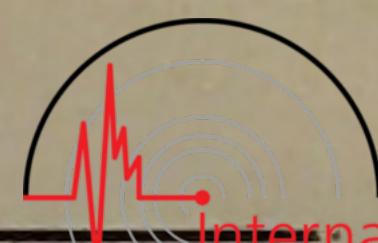
Postaja	Dan	Vrijeme u epicentru	Početak	$\bar{P}$	R	S	R	eM	M
Rocca di Papa ep. udalj. 496 km Instrumenti Agamenno- nova nihala.	1909 8. X. 10. X.	h m s 9.59 09 10.59.40 5.55 10 5.37.10	m s — — — —	m s 1.19 1.32 1.23 1.20	m s 1.44 ² — — —	m s — — — —	m s — — — —	m s — — 4.07 —	m s — — — —
Poprijeko . .			—	1.23	—	—	—	—	—
Ischia ep. udalj. 555 km Instrumentat: Grablowitz.	1909 8. X.	9.59.09	1.20	1.34	—	2.20	—	3.08	3.29

² Označeno kao eM.



Postaja	Dan	Vrijeme u epicentru	Poče- tak	$\overline{P}$	R	S	R	eM	M
Taranto	1909	h m s	m s	m s	m s	m s	m s	m s	m s
ep. udalj. 605 km Instrumenti: Wiechert (160 kg) bez mire- nja, Vicentini s mirenjem.	8. X.	9.59.09	1.21	1.42	2.17	2.30	—	3.18	—
Hohenheim	1909								
ep. udalj. 633 km Instrumenat Bosch Omori.	8. X.	9.59.09	1.19	1.50	2.15	—	—	3.14	—
Moncalieri	1909								
ep. udalj. 644 km Instrumenat: Stiattesi.	8. X.	9.59.09	1.23	1.54	—	—	2.51	3.30	—
Sofia	1909								
ep. udalj. 652 km Instrumenat: Bosch-Omori.	8. X.	9.59.09	—	1.46	—	—	2.59	3.08	—
Jena	1909								
ep. udalj. 688 km Instrumenat: Wiechert.	8. X. 10. X. 13. XII.	9.59.09 5.37.10 5.55.01 0.21.41	1.37 — 1.41 1.31	— — — —	— 2.02 — —	— — — 2.51	(3.02) — — 3.20	— 3.30 3.30 3.29	3.32 3.40 3.41 —
Poprijeko . .			1.36	—	2.02	—	—	3.30	3.40

Postaja	Dan	Vrijeme u epicentru	Poče- tak	R ₁	R ₂	S	R	eM	M
Heidelberg	1909 8. X.	9.59.09	1.35	—	—	—	—	3.35	4.18
ep. udalj. 704 km Instrumenat: Wiechert.									
Leipzig	1909 8. X. 10. X. 13. XII.	9.59.09 5.37.10 5.55.01 0.21.41	— — — —	1.43 1.48 1.52 1.53	2.13 — — —	— — 2.52 2.59	3.08 3.05 3.08 —	3.31 3.18 3.19 (3.49)	3.41 3.31 3.29 —
Poprijeko . .			—	1.49	2.13	2.59	3.07	3.19	3.30



Postaja	Dan	Vrijeme u epicentru	Početak	R ₁	R ₂	S	R	eM	M
Strassburg ep. udalj. 720 km Instrumenat: Wiechert.	1909 8. X.	h m s 9.59.09	m s 1.43	m s 1.57	m s 2.25 2.46	m s 3.04	m s —	m s 3.25 3.30	m s —
Potsdam ep. udalj. 798 km Instrumenat: Wiechert.	1909 8. X. 10. X. 13. X. 28. I. 29. I.	9.59.09 5.37.10 5.55.01 0.21.41 23.57.45 0.12.02	— — — — — —	e 2.07 — — — — —	— — — — — —	— 3.(14) 3.(11) 3.(07) — —	— — — i 3.30 e 3.28 e 3.31	i 3.52 3.(56) — i 4.03 — —	4.(15) 4.(02) — 4.(43) 4.(15) 4.(10)
Poprijeko . .			—	2.07	—	3.11	3.30	3.54	4.12
Göttingen ep. udalj. 810 km Instrumenat: Wiechert.	1909 8. X. 10. X. 13. XII. 24. XII.	9.59.09 10.59.40 5.37.10 5.55.01 0.21.41 0.14.30	1.49 — — — 1.49 1.43	— — — — — —	— 3.(08) — — — —	3.20 — — — 3.24 —	— — — — — —	3.59 — — — — (3.54)	4.19 4.08 4.14 4.15 — —
Poprijeko . .			1.49	—	3.(08)	3.22	—	3.59	4.14
Catania ep. udalj. 889 km Instrumenat: Veliko nihalo.	1909 8. X.	9.59.09	1.58	—	—	—	3.51	3.55	—
Hamburg ep. udalj. 999 km Instrumenat: Wiechert	1909 8. X. 13. XII	9.59.09 0.21.41	2.15 —	— —	— —	— 4.(05)	4.25 —	— 5 (13)	— —
Poprijeko . .			2.15	—	—	4.(05)	4.25	5 (13)	—
Uccle ep. udalj. 1044 km Instrumenat: Wiechert.	1909 8. X.	9.59.09	—	2.51	—	—	—	5.09	—
Paris ep. udalj. 1063 km Instrumenti: Wiechert (200 kg), Mainka.	1909 8. X.	9.59.09	—	2.54	—	—	4.41	—	—

Postaja	Dan	Vrijeme u epicentru	Poče- tak	R ₁	R ₂	S	R	eM	M
Granada ep. udal. 1892 km Instrumentat : horizontalno nihalo	1909 8. X.	9.59.09	3 55	—	—	—	—	8.17	—
Tiflis ep. ud. 2405 km Instrumenti : različiti.	1909 8. X	9 59 09	—	—	6.50	9.20	—	—	—

Tako dobivena poprečna vremena unešena su u koordinatnu mrežu kao kružići. Za jedinicu dužine za udaljenost od epicentra uzet je $1^m/m = 5$ km, a za jedinicu vremena $1^m/m = 1$ sek. Tab. I

Kod izvlačenja krivulje vremena pokazalo se, da se vremena za početak potresa — undae primae (P) — ne mogu predložiti jednom jedinom krivuljom, nego da postoje dvije krivulje: jedna počinje u epicentru, te ide od prilike do 700 km udaljenosti, ali za sigurno ne preko 800 km. Druga niža krivulja počinje sigurno kod 400 km, ali je moguće, da počinje već i kod 300 km, kako to pokazuju bečka motrenja. Na osnovu podataka našeg potresa može se ova krivulja povući za nuždu do 1800 km udaljenosti. Ako se sravni s podacima objelodanjenim u »Göttinger wöchentliche Erdbebenberichte« za početak prve faze (undae primae) vidi se, da su obje krivulje identične.

Većina postaja u udaljenostima od 400—720 km imadu ubilježene obje faze. Tako München, Ischia, Hohenheim, Moncalieri i Strassburg. Da je potres bio nešto jači, bile bi i ostale postaje imale ubilježene obje faze.

Pošljednja postaja, koja imade obje faze jest Strassburg u daljini od 720 km. Da li početak potresa registriran u Potsdamu pripada gornjoj krivulji ili je to samo zakašnjena prva faza, teško je odlučiti. Göttingen u udaljenosti od 810 km imade ubilježen normalni početak, koji pripada donjoj krivulji, ali ni na nihalu od 17.000 kg ne može se naći trag drugog početka,

koji bi pripadao gornjoj krivulji. Gornja krivulja dakle ide skoro do 720 km, ali je nesigurno, da li ide još i dalje.

Dônju krivulju prozvat ću krivuljom normalnih prima (P), a gornju krivuljom individualnih ili gornjih prima ($\bar{P}$).

Prva faza (normalnih prima) počinje na svim postajama s vrlo slabim valovima. Iza 20—25 sek. počinju individualne primae kao jači ili slabiji udarac. Naš je potres preslab, da se pokaže koji diagram kao primjer. Potres od 7. VI. 1910. (južno-talijanski potres) ubilježen je ovdje u Zagrebu u udaljenosti od 550 km tako lijepo, da ga ovdje (Sl. 3.) objelodanjujemo.

Tok krivulje od $\bar{P}$ siguran je do udaljenosti od 600 km prema poprečnim vrijednostima pojedinih postaja na ± 1 sek. Od 600—700 km raspršene su vrijednosti tako, da je daljni tok krivulje nešto nesiguran poradi slaboće potresa u toj udaljenosti. Ne ću mnogo pogriješiti, ako i ovdje od 600—700 km narišem krivulju na osnovu poprečnih vrijednosti.

Iza kako sam našao obje ove krivulje htio sam, da narišem po mogućnosti točne krivulje za transverzalne valove (S) i za početak glavne faze potresa (eM). Podaci našega potresa nijesu bili za to dovoljni, jer su postaje osobito iza 400 km udaljenosti pokazivale prevelike međusobne diferencije. Uteko sam se dakle, da uzmem u pomoć i druge potrese. Do godine 1904. nije nijedan blizi potres na dovoljno mnogo postaja ubilježen, da se može zato upotrijebiti. Za godinu 1906. i slijedeće godine nije još nijedan blizi potres publiciran, a previše bi trebalo vremena, da se sakupi za to potrebit materijal. Nije dakle preostalo drugo, nego da uzmem u obzir one potrese, koji su obrađeni u strasburškim publikacijama za god. 1904. i 1905. Najprije sam uzeo potres od 8. IX. 1905. kao najbolji potres ove periode, te sam mu izračunao na osnovu najboljih postaja i krivulja za P i $\bar{P}$ epicentralno vrijeme.

Messina	Udalj. km	87	$\bar{P}$	1 h 43 m 17 s — 0 m 11 s = 1 h 43 m 06 s
Catania	»	»	173	$\bar{P}$ - h 43 m 30 s — 0 m 28 s = - h 43 m 02 s
Ischia	»	»	290	$\bar{P}$ - h 43 m 47 s — 0 m 49 s = - h 42 m 58 s
Rocca di Papa	»	»	434	P - h 44 m — s — 1 m 01 s = - h 42 m 59 s

Srednje epicen. vrijeme 1 h 43 m 01 s ± 3 s

Vremena rasprostiranja za razne udaljenosti pokazuje slijedeća skrižaljka, a unesena su u koordinatnu mrežu kao mali križići.

Da još bolje ispravim ovu krivulju i da dobijem čim više vrijednosti za ostale faze, potražio sam iz čitavog broja potresa od god. 1904. i 1905. one potrese, kojima je epicentar tačno poznat i koji daju po mogućnosti dobre vrijednosti za epicentralno vrijeme. Za redukciju na epicentralno vrijeme uzeo sam samo najbolje postaje i samo one potrese, čije se epicentralno vrijeme može izračunati najmanje na ± 5 sek. tačno. Epicentralno je vrijeme računano po obim krivuljama za P i $\bar{P}$, a dobivena sam vremena unesao na koordinatnu mrežu i krivulju za P, gdje je bilo potrebno, korigirao. Na osnovu tako korigirane krivulje izračunao sam ponovno epicentralna vremena i na osnovu tako popravljenih podataka krivulju opet korigirao. Tako je nastala konačna krivulja iza nekih pet do šest pokusa.

Potresi, koje sam upotrebljavao, jesu slijedeći:

1. Balkanski potres od 1904 4. IV.

Račun epicentralnog vremena:

	Udalj. km		h	m	s		m	s		h	m	s
Bukarešt	350	— $\bar{P}$	10	03	34	—	1	01	=	10	02	33
Ischia	750	— $\bar{P}$	—	4	34	—	2	04	=	—	—	30
Messina	800	— P	—	4	15	—	1	48	=	—	—	27
Trst	900	— P	—	4	26	—	2	00	=	—	—	26
Rocca di Papa	900	— P	—	4	30	—	2	00	=	—	—	30
Padova	1050	— P	—	4	49	—	2	19	=	—	—	30
Firenze Quarto	1050	— P	—	4	43	—	2	19	=	—	—	24
Leipzig	1350	— P	—	5	28	—	2	57	=	—	—	31
Strassburg	1450	— P	—	5	37	—	3	10	=	—	—	27
Göttingen	1500	— P	—	5	49	—	3	16	=	—	—	33
Tiflis	1800	— P	—	6	20	—	3	53	=	—	—	27

Srednje epicen. vrijeme = 10 02 29 $\pm$ 2 s

2. 1905 4. IV. Indijski potres :

Epicentralno vrijeme po Omoriju 0 h 49 m 48 s

Samo za postaje Taškent i Bombay.

3. 1905 I. VI.

Račun epicentralnog vremena.

	Udalj. km		h	m	s		m	s		h	m	s
Ischia	479	— P	4	43	23	—	1	07	=	4	42	16
Catania	634	— P	—	43	36	—	1	26	=	—	—	10
Firenze Quarto.	688	— P	—	43	40	—	1	33	=	—	—	07
Padova	699	— P	—	43	49	—	1	35	=	—	—	14
Jena	1140	— P	—	44	45	—	2	30	=	—	—	15
Strassburg	1147	— P	—	44	49	—	2	31	=	—	—	18
Potsdam	1227	— P	—	45	00	—	2	41	=	—	—	19
Göttingen	1267	— P	—	45	01	—	2	46	=	—	—	15
Uccle	1491	— P	—	45	22	—	3	15	=	—	—	07
Batum	1845	— P	—	46	09	—	3	58	=	—	—	11
Jurjew	1878	— P	—	46	10	—	4	02	=	—	—	08
Boržom	2100	— P	—	46	22	—	4	14	=	—	—	08
Tiflis	2100	— P	—	46	44	—	4	26	=	—	—	18
Srednje epicen. vrijeme = 4 42 13 ± 3 s.												

4. 1905 8. XI.

Račun epicentralnog vremena:

	Udalj. km		h	m	s		m	s		h	m	s
Atena	250	— P	22	06	57	—	0	41	=	22	06	16
Sofia	294	— P	—	07	03	—	0	50	=	—	—	13
Ischia	801	— P	—	08	05	—	1	48	=	—	—	17
Catania	850	— P	—	08	03	—	1	54	=	—	—	09
Pola	1000	— P	—	08	31	—	2	13	=	—	—	18
Ljubljana	1028	— P	—	08	32	—	2	17	=	—	—	15
München	1346	— P	—	09	05	—	2	56	=	—	—	09
Jena	1525	— P	—	09	35	—	3	19	=	—	—	16
Leipzig	1545	— P	—	09	35	—	3	22	=	—	—	13
Potsdam	1606	— P	—	09	45	—	3	29	=	—	—	16
Strassburg	1607	— P	—	09	42	—	3	29	=	—	—	13
Göttingen	1679	— P	—	09	45	—	3	38	=	—	—	07
Tiflis	1728	— P	—	09	48	—	3	45	=	—	—	03
Uccle	1966	— P	—	10	21	—	4	11	=	—	—	10
Srednje epicen. vrijeme = 22 06 13 ± 3 s.												

U čitavom nizu publiciranih potresa nijesam mogao naći nijedan drugi potres, koji bih bio mogao upotrijebiti za konstrukciju krivulja vremena. Slijedeća skrižaljka pokazuje vremena za ova četiri potresa:

Postaja	Potres	Epic. udalj.	Ep. vrij. h m s	P m s	P m s	S m s	eM m s
Atena	1905. XI. 8.	250	22.06.13	—	0.44	—	0.46
Sofia	»	294	»	—	0.50	—	—
Bukarešt	1904. IV. 4.	350	10.02.29	—	1.05	1.25	1.43
Ischia	1905. VI. 1.	479	4 22.13	1.10	—	2.11	—
Catania	»	634	»	1.23	—	2.26	—
Firenze Q. C.	»	688	»	1.27	—	2.14	3.46
Padova	»	699	»	1.36	—	—	3.32
Messina	1904. IV. 4.	800	10.02.29	1.46	—	3.38	—
Ischia	1905. XI. 8.	803	22.06.13	1.52	—	—	6.27
Catania	»	850	»	1.50	—	2.57	—
Trst	1904. IV. 4.	900	10.02.29	1.57	—	—	—
Rocca di Papa	»	900	»	2.01	—	3.31	4.16
Pola	1905. XI. 8.	1000	22.06.13	2.18	—	2.53	4.59
Ljubljana	»	1028	»	2.19	—	2.59	—
Padova	1904. IV. 4.	1050	10.02.29	2.20	—	—	—
Firenze Q. C.	»	1050	»	2.14	—	—	4.41
Jena	1905. VI. 1.	1140	4.22.13	2.32	—	—	—
Strassburg	»	1147	»	2.36	—	4.18	4.53
Taškent	1905. IV. 4.	1200	0.49.48	2.36	—	4.38	—
Potsdam	1905. VI. 1.	1227	4.22.13	2.47	—	—	—
Göttingen	»	1267	»	2.48	—	—	5.32
München	1905. XI. 8.	1346	22.06.13	2.52	—	—	—
Leipzig	1904. IV. 4.	1350	10.02.29	2.59	—	5.19	7.05
Strassburg	»	1450	»	3.08	—	5.56	6.56
Uccle	1905. VI. 1.	1491	4.22.13	3.09	—	—	6.41
Göttingen	1904. IV. 4.	1500	10.02.29	3.20	—	5.55	—
Jena	1905. XI. 8.	1525	22.06.13	3.22	—	—	—
Leipzig	»	1545	»	3.22	—	6.08	8.30
Potsdam	»	1606	»	3.32	—	6.13	—
Strassburg	»	1607	»	3.29	—	6.34	—
Bombay	1905. IV. 4.	1610	0.49.48	3.20	—	6.51	—
Göttingen	1905. XI. 8.	1679	22.06.13	3.32	—	6.42	8.46
Tiflis	»	1728	»	3.35	—	6.42	—
Tiflis	1904. IV. 4.	1800	10.02.29	3.51	—	6.57	11.11
Batum	1905. VI. 1.	1845	4.22.13	3.56	—	7.13	10.13
Jurjew	»	1878	»	3.57	—	7.03	—
Uccle	1905. XI. 8.	1966	22.06.13	4.06	—	7.08	—
Boržom	1905. VI. 1.	1990	4.22.13	4.09	—	7.39	11.01
Tiflis	»	2100	»	4.31	—	8.23	11.01

Krivulja normalnih P narisana na osnovu svih vrijednosti, koje su se mogle u obzir uzeti, razlikuje se vrlo neznatno od krivulje publicirane u »Göttinger Erdbebennachrichten«.

Krivulja za S može se vrlo teško konstatirati do 1000 km udaljenosti. U udaljenosti od 500 km jednaka je göttinškoj. U udaljenosti od 1000 km je za 3 sek. niža od ove, u 1500 km i u 2000 km za 2 sek. niža.



Do 1600 km je krivulja za P skoro pravac, a onda skreće naglo prema dolje. Zaokret je možda i jači, nego što to pokazuje narisana krivulja, ali podaci za udaljenosti od 1900 do 2000 km nijesu mi se činili dovoljno pouzdani, da krivulju niže položim.

Krivulja za S počinje kao i ona za P od prilike iza 300 km. Za njezinu konstrukciju našao sam vrlo malo dobrih vrijednosti, te držim, da će trebati još daljnih blizih potresa, da se ta krivulja na sekundu tačno odredi. Od 300 do 1000 km narisao sam je na osnovu podataka za Beč, München, Ischia, Jena, Leipzig i Göttingen, a za udaljenosti od 300 do 600 km zamijenio sam ju kasnije s izračunanom krivuljom.

IV.

Rasprostiranje valova potresa u najgornjim slojevima zemlje.

Kada sam se na osnovu podataka dobivenih u III. osvjedočio, da postoje dvije vrste prvih prethodnih valova, koje obje vrste dolaze do svih mjesta od 300 do 700 km udaljenosti, a da od epicentra do od prilike 300 km udaljenosti dolazi samo prva vrsta valova, dok od 700 km udaljenosti samo druga vrsta, tražio sam, da tu do sada nepoznatu činjenicu protumačim.

Individualne primae i dubina potresnog ognjišta. Pošto je posve nemoguće, da iz potresnog ognjišta izilaze dvije različite vrste longitudinalnih valova s različitim brzinama, a pošto nadalje normalne primae (P) tek u većoj udaljenosti od epicentra počinju, tražio sam najprije razjašnjenje za one valove, koje možemo pratiti već od epicentra i koji sigurno dolaze izravnim putem do pojedinih postaja.

Pokus, da izračunam dubinu potresnog ognjišta na osnovu pretpostavke, da se valovi od P ravnocrtno rasprostiru, nije uspio, jer nijesam mogao naći nijedne dubine iz koje bi se mogli valovi razilaziti konstantnom brzinom tako, da bi izračunana vremena rasprostiranja zadovoljila krivulji vremena. Račun je pokazao, da brzina rasprostiranja mora s dubinom polaganu rasti.

Pokus izračunavanja dubine ognjišta po do sada poznatim formulama za rasprostiranje valova nije također uspio poradi

velike kompliciranosti tih formula. Iza toga sam pokušao s nekim jednostavnim pretpostavkama o prirastu brzine s dubinom u nadi, da ću tim načinom naći jednostavnije formule. Ako mi na taj način uspije izračunati vremena rasprostiranja tako, da zadovolje krivulji vremena, dobit ću približne formule, koje će se tim više približiti istini, čim bolje zadovolje krivulji iz njih izračunana vremena.

Pretpostavka, da brzina raste proporcionalno dubini, vodi do integracije diferencijalne jednadžbe gibanja u konačnom obliku, koja je za praktično računanje previše komplicirana. Druga jedna pretpostavka, koja je s ovom skoro istovjetna, daje rješidbu u veoma jednostavnoj formi, koja je za praktično računanje veoma prikladna. Razumije se samo po sebi, da će dobivene formule vrijediti samo za male razlike dubine.

Neka je ρ_0 radij vektor povučen od središta zemlje do potresnog ognjišta, ρ i φ neka su radij vektor i kutna udaljenost povoljne točke do koje je zraka potresa dospjela za vrijeme t , neka je nadalje c_0 ishodišna brzina u ognjištu, a c brzina u točki određenoj sa ρ , φ i t , Isto tako neka su e_0 i e kutevi među produženjem radija vektora prema površini zemlje i smjerom, kojim se rasprostire val potresa u obim tačkama. Ako pretpostavimo, kao što je običaj, da je brzina funkcija radija vektora samoga, onda vrijedi poznata formula za refrakciju:

$$\frac{1}{c} \rho \sin e = \frac{1}{c_0} \rho_0 \sin e_0 = a \quad (I)$$

$$\text{Pošto je } \sin e = \rho \frac{d\varphi}{ds}$$

$$\text{to je } \rho^2 \frac{d\varphi}{dt} = ac \frac{ds}{dt} = ac^2, \text{ gdje je } a = \frac{1}{c_0} \rho_0 \sin e_0$$

Ako u jednadžbi:

$$c^2 = \rho^2 \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 + \left(\frac{d\rho}{dt} \right)^2$$

za $\rho^2 \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2$ zamijenimo vrijednost iz prve jednadžbe dobijemo:

$$\frac{d\rho}{dt} = \pm \frac{c \sqrt{\rho^2 - a^2 c^2}}{\rho}$$

a odatle integracijom:

$$t + C = \pm \int \frac{\rho d\rho}{c \sqrt{\rho^2 - a^2 c^2}}$$

gdje je C konstanta integracije.

Integral s desne strane gornje jednadžbe može se pisati u obliku:

$$\int \frac{\rho \, d\rho}{c \sqrt{\rho^2 - a^2 c^2}} = \frac{1}{c} \sqrt{\rho^2 - a^2 c^2} + \int \frac{\rho^2 \frac{dc}{d\rho} d\rho}{c^3 \sqrt{\rho^2 - a^2 c^2}}$$

Ovdje možemo za $\frac{dc}{d\rho}$ zamijeniti zgodnu pretpostavku, po kojoj dobije integral takav oblik, da se može lako riješiti. Ako pretpostavimo:

$$\frac{dc}{d\rho} = -k \frac{c}{\rho}$$

gdje je k konstanta, koja se mora naknadno odrediti, dobijemo:

$$t + C = \pm \frac{1}{c(k+1)} \sqrt{\rho^2 - a^2 c^2} \quad (2)$$

Svakoj vrijednosti od ρ pripadaju dvije jednake samo protivnim predznakom označene vrijednosti za t , koje odgovaraju obim i protivnim stranama prema kojima se zraka rasprostire. Ako uočimo rasprostiranje zraka samo na jednu stranu, možemo znak $-$ i izostaviti. Iz jednadžbe:

$$\frac{dc}{d\rho} = -k \frac{c}{\rho}$$

dobivamo integracijom:

$$c = c_0 \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right)^k \quad (3)$$

gdje je c_0 ona brzina, koja pripada dubini ρ_0 .

Ako u jednadžbi (2) zamijenimo za c vrijednost iz (3), a za a vrijednost iz (1), dobijemo uređenu jednadžbu:

$$t + C = \frac{\rho}{(k+1) c_0 \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right)^k} \sqrt{1 - \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right)^{2(k+1)} \sin^2 e_0}$$

Pošto je u vrijeme $t = 0$, $\rho = \rho_0$, to je vrijednost konstante:

$$C = \frac{\rho}{(k+1) c_0} \cos e_0$$

te konačno ako zamijenimo $\frac{\rho_0}{\rho} = r$:

$$t = \frac{\rho}{(k+1) c_0 r^k} \left[\sqrt{1 - r^{2(k+1)} \sin^2 e_0} - r^{k+1} \cos e_0 \right] \quad (4)$$

Kad bi se val nekoga potresa rasprostirao u sloju, gdje bi bila svuda konstantna brzina $c = c_0$, bilo bi i $k = 0$, dakle

$$t = \frac{\rho}{c_0} \left[\sqrt{1 - r^2 \sin^2 e_0} - r \cos e_0 \right]$$

Ako u jednađbi (1) za c zamijenimo vrijednost iz (3) dobijemo kut smjera, koji pripada zadanom r i e_0 , iz jednađbe:

$$\sin e = r^{k+1} \sin e_0 \quad (5)$$

Ako je u specijalnom slučaju zadana vrijednost od r za površinu zemlje, onda predstavlja jednađba (5) snošaj između kuta impulsa e_0 i kuta emergencije e .

Za $e_0 = 0$ je i $e = 0$ na čitavom putu do površine zemlje. Za $e_0 = 90^\circ$ je maksimum vrijednosti za: $\sin e = r^{k+1}$, a izlazeća zraka zatvara na tom mjestu s površinom zemlje najmanji kut.

Za $e_0 = 0$ dobivamo iz (4):

$$t = \frac{\rho}{(k+1) c_0 r^k} (1 - r^{k+1}) \quad (6)$$

a za $e_0 = 90^\circ$:

$$t = \frac{\rho}{(k+1) c_0 r^k} \sqrt{1 - r^{2(k+1)}} \quad (7)$$

Na analogni način dobijemo snošaj između ρ i kuta otklona φ .

Iz jednađbe (1) slijedi:

$$\rho^2 d\varphi = ac ds$$

a odatle substitucijom vrijednosti za ds :

$$d\varphi = \pm \frac{ac d\rho}{\rho \sqrt{\rho^2 - a^2 c^2}}$$

Ako u ovoj jednađbi zamijenimo vrijednost za a iz (1) a vrijednost za c iz (3), te integriramo, dobijemo:

$$\varphi + C = \pm \frac{1}{k+1} \arcsin \left\{ \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right)^{k+1} \sin e_0 \right\}$$

Pošto je za $\rho = \rho_0$, $\varphi = 0$, to je vrijednost konstante:

$$C = \pm \frac{\bar{e}_0}{k+1}$$

Ako ovu vrijednost zamijenimo u gornju jednađbu, dobijemo konačno:

$$\varphi = \pm \frac{1}{k+1} \left[e_0 - \arcsin \left\{ \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right)^{k+1} \sin e_0 \right\} \right] \quad (8)$$

kao traženi snošaj između ρ i φ .

Za $k = 0$ prelazi ova jednađba u jednađbu pravca kao spojnice točaka ρ_0 , 0 i ρ , φ . Ako i ovdje apstrahiramo od znaka $-$, te zamijenimo $\frac{\rho_0}{\rho} = r$, dobijemo:

$$\varphi = \frac{1}{k+1} \left[e_0 - \arcsin \left\{ r^{k+1} \sin e_0 \right\} \right] \quad (9)$$

Želimo li obratno imati ρ kao funkciju od φ , onda dobijemo iz jednadžbe (8):

$$\rho^{k+1} = \frac{\rho_0^{k+1} \sin e_0}{\sin [e_0 - (k+1) \varphi]} \quad (10)$$

ρ će biti minimum za

$$\varphi = \frac{e_0 - 90^\circ}{k+1} \quad (11)$$

Ako je $e_0 > 90^\circ$, onda je φ pozitivno, a ako je $e_0 < 90^\circ$, onda je φ negativno.

Za $e_0 = 90^\circ$ je ishodišna točka ujedno i najniža točka zrake.

Za minimalnu vrijednost od ρ dobijemo iz (10):

$$\rho = \rho_0 \sqrt[k+1]{\sin e_0} \quad (12)$$

Ako tražimo tok krivulje od neke tačke ρ_0 , o do tačke ρ_0 , φ n. pr. od neke tačke na površini zemlje do neke druge tačke površine zemlje, tada ne možemo to saznati na osnovu jednadžbe (9), nego moramo $\frac{\varphi}{2}$ računati iz jednadžbe (11), jer je krivulja simetrična na obim stranama one tačke, za koju je ρ jednako minimum. Isto tako moramo i vrijeme t računati za polovinu krivulje, jer nam jednadžba (6) za taj slučaj daje samo vrijednost $t = 0$.

Da izračunamo dubinu ishodišta potresa (hipocentra), stoji nam na dispoziciju samo krivulja vremena. Abscise ove krivulje znače udaljenosti od epicentra, te su samo toliko tačne, koliko je tačno određen epicentar; ordinate te krivulje su vremena računana od povoljnog početka vremena kao nule. Oblik krivulje je poznat samo počevši od postaje, koja je najbliža epicentru i to toliko, koliko to dozvoljava dobrota motrenja pojedinih postaja. Od epicentra do najbliže postaje je oblik krivulje nepoznat. Ako je t_0 vrijeme, kada je potres počeo u ishodištu, t_1 vrijeme prvog početka na nekoj postaji u udaljenosti D_1 od epicentra, t_2 prvi početak na nekoj drugoj postaji u udaljenosti D_2 , to nam je poznata samo diferencija $t_2 - t_1$. Ova diferencija znači, da je prvi udarac došao $t_2 - t_1$ jedinica vremena, n. pr. sekunda, kasnije na drugu postaju nego li na prvu.

Krivulja vremena je u malenim udaljenostima od epicentra konkavna prema gore, a u većim prema dolje.



Prividna brzina računana za površinu zemlje biva sve manja, što se više udaljujemo od epicentra. U tački infleksije krivulje ova je brzina minimum, a onda raste opet s udaljenošću. Poznato je i lako se možemo o tome osvjedočiti, da zraka mora u tački infleksije krivulje zatvarati s površinom zemlje najmanji kut.

Kod naše krivulje za $\bar{P}$ je tačka infleksije u udaljenosti od 280 ± 10 km. Da odredim ovu udaljenost, izračunao sam prividne brzine po površini i grafički izravnao.

Na osnovu obih pretpostavaka: poznavanja diferencija vremena i epicentralne udaljenosti tačke infleksije krivulje, može se odrediti jednoznačno dubina potresnog ishodišta.

Treba da se odrede tri nepoznanice: c_0 , ρ_0 i k . Pošto se ovaj račun može samo pokusima izvesti, to možemo te pokuse izvesti na dva načina.

1. Neka je t_1 vrijeme prvog dolaska zrake $\bar{P}$ na postaju u udaljenosti D_1 , isto tako neka su t_2, t_3, t_4 odgovarajuća vremena za tri daljne postaje u udaljenostima D_2, D_3, D_4 . Za ova vremena ne ćemo upotrijebiti faktična motrenja, nego one po-prečnevrijednosti, koje nam pruža krivulja vremena. Neka je D_1 neka po mogućnosti malena udaljenost od epicentra, za koju je t sigurno na pr. od prilike 50 km. Tako isto neka je D_4 po mogućnosti neka velika udaljenost, D_2 i D_3 neka su po mogućnosti u jednakim udaljenostima među D_1 i D_4 . Po (4) imamo:

$$t_1 = \frac{\rho}{(k+1)c_0 r^k} \left[\sqrt{1 - r^{2(k+1)} \sin^2 e_1} - r^{k+1} \cos e_1 \right]$$

za prvu postaju i odgovarajuće jednačbe za ostale tri postaje Kutevi impulsa označeni su sa e_1, e_2, e_3, e_4 .

Iz prve i druge jednačbe, te iz treće i četvrte jednačbe dobijemo odbidbom:

$$T_1 = t_2 - t_1 = \frac{\rho}{(k+1)c_0 r^k} \left[\sqrt{1 - r^{2(k+1)} \sin^2 e_2} - \sqrt{1 - r^{2(k+1)} \sin^2 e_1} + r^{k+1} (\cos e_1 - \cos e_2) \right] \quad (13)$$

$$T_2 = t_4 - t_3 = \frac{\rho}{(k+1)c_0 r^k} \left[\sqrt{1 - r^{2(k+1)} \sin^2 e_4} - \sqrt{1 - r^{2(k+1)} \sin^2 e_3} + r^{k+1} (\cos e_3 - \cos e_4) \right]$$

Ako u ovim jednadžbama zamijenimo međusobno c_0 i T , možemo riješiti obje jednadžbe po c_0 .

Sada izaberemo za r zgodne vrijednosti, unutar kojih se može očekivati, da se r nalazi, na pr. tako da jedno za drugim uzmemo za dubinu hipocentra 5, 10 itd. km, te da za svaku ovu dubinu zamijenimo jedno za drugim različite vrijednosti od k , te k tako dugo mijenjamo, dok iz obih jednadžba ne dobijemo jednake vrijednosti za c_0 .

Iza kratke vježbe mogu se tako naći za e_1 do e_4 takove vrijednosti, da budu četiri tačke (postaje) jednomjerno namještene na krivulji vremena.

Za svaku grupu pretpostavljenih r , k i e nađemo iz jednadžbe (9) pripadajuće vrijednosti za φ i t .

Na ovaj način možemo izračunati tabelu, u koju su unešene vrijednosti od c_0 i k , koje pripadaju svakom r .

Iz jednadžbe (10) slijedi, poradi $e_0 = 90^\circ$, za točku infleksije:

$$r^{k+1} = \sin \left[90^\circ - (k+1) \varphi \right] \quad (14)$$

Pokusima se može lako iz ove jednadžbe izračunati k za svaki pretpostavljeni r .

Ako sada u tabeli potražimo onu vrijednost od r , kojoj odgovara iz jednadžbe (14) izračunana vrijednost od k , onda je time zadatak riješen, jer tako određena krivulja pada zajedno s krivuljom vremena u četiri tačke, a u nekoj petoj tački ima zajedničku tačku infleksije.

2. Druga metoda samo je preokrenuta prva. Najprije se odrede iz jednadžbe (14) vrijednosti od k , koje odgovaraju različitim pretpostavljenim vrijednostima od r , uz pogodbu, da se tačka infleksije nalazi u udaljenosti od 280 km. Sa svakim parom od r i k napravi se jedan pokus, dok se ne nađe jedan par vrijednosti od r i k , za koje obje jednadžbe (13) daju istu vrijednost za c_0 .

Prva je metoda veoma dugotrajna i nepraktična, dok se s drugom dođe vrlo lako do rješidbe.

Za poprečni polumjer zemlje uzeo sam okrugli broj od 6370 km. Udaljenosti od 280 km odgovara u tom slučaju kut u središtu zemlje od $1511'$. Pošto treba kod rješidbe jednadžbi

(13) vaditi druge korjene, računao sam s logaritmima sa sedam mjesta.

U slijedećoj su tabeli rezultati rješidbe jednadžbe (14) za dubine od 10–40 km za svakih 5 km:

Dubina km	log r	k	log r^{k+1}	log r^k
10	0.9993176	0.625	0.9988912	0.99958
15	0.9989761	1.436	0.9975058	0.99854
20	0.9986344	2.244	0.9955701	0.99693
25	0.9982923	3.049	0.9930857	0.99479
30	0.9979499	3.850	0.9900569	0.99211
35	0.9976072	4.645	0.9864927	0.98890
40	0.9972643	5.434	0.9823980	0.98511

Vremena, što ih treba potres, da dode do pojedinih postaja, unešena su na papir, koji je razdijeljen na milimetre, te je narisana krivulja za $\bar{P}$ prema dobroti pojedinih postaja. Iza toga je očitana krivulja za udaljenosti od 20 do 20 km, a dobiveni su brojevi izravnani, da se dobije po mogućnosti pravilna krivulja.

Trajanje puta od 20 do 20 km za udaljenosti od epicentra od 40 do 700 km:

Km	Trajanje puta	d	Km	Trajanje puta	d	Km	Trajanje puta	d
40	4.3		280	46.2	3.8	520	89.9	3.4
60	7.1	2.8	300	50.0	3.8	540	93.2	3.3
80	10.1	3.0	320	53.8	3.8	560	96.5	3.3
100	13.3	3.2	340	57.6	3.8	580	99.7	3.2
120	16.7	3.4	360	61.4	3.8	600	102.9	3.2
140	20.2	3.5	380	65.1	3.7	620	106.1	3.2
160	23.8	3.6	400	68.8	3.7	640	109.3	3.2
180	27.4	3.6	420	72.5	3.7	660	112.5	3.2
200	31.1	3.7	440	76.1	3.6	680	115.7	3.2
220	34.8	3.7	460	79.6	3.5	700	118.9	3.2
240	38.6	3.8	480	83.1	3.5			
260	42.4	3.8	500	86.5	3.4			

Iza toga prešao sam na rješavanje jednadžbi (13). Ovdje je jedan primjer računa za dubinu od 25 km. Kao zgodni kutevi impulsa uzeti su kutevi od 65° , 90° , 97° i 100° .

$$25; k = 3.049; \log r^{k+1} = 0.9930857; \log r^k = 0.99479$$

Kut impulsa	65°	90°	97°	100°
$\log \cos e_n$	9.62595	$\cos e_0 = 0$	9.08589	9.23967
$\log \sin e_n$	9.9572757	$\log \sin e_0 = 0$	9.9967507	9.9933515
$\log r^{k+1} \sin e_n$	9.9503614	9.9930857	9.9898364	9.9864372
$2 \log r^k \sin e_n$	0.9007228	0.9861714	0.9796728	0.9728744
$r^2 (k+1) \sin^2 e_n$	0.7956514	0.9686600	0.9541733	0.9394515
$1 - r^2 (k+1) \sin^2 e_n$	0.2043486	0.0313400	0.0458267	0.0605485
$\sqrt{1 - r^2 (k+1) \sin^2 e_n}$	0.4520 = m_1	0.1770 = m_2	0.2141 = m_3	0.2461 = m_4
$\log r^{k+1} \cos e_0$	0.61904	-	0.07898	0.23276
$r^{k+1} \cos e_0 = n$	0.4159 n_1	0 = n_2	0.1199 = n_3	0.1670 = n_4
$m_p + n_p$	0.0361	0.1770	0.3340	0.4131
$(m_p + n_p) \cdot (m_{p-1} + n_{p-1})$	$F_1 = 0.1409$		$F_2 = 0.0791$	
Kut emergencije $\sin e = r^{k+1} \sin e_0$	63° 07' 30"	79° 48' 10"	77° 39' 10"	75° 45' 20"
$\frac{1}{k+1}(e_0 - e) = \varphi$	27.8	151.1	286.7'	359.2
Udaljenost izlazeće zrake u km	52	280	531	666
t po krivulji vre- mena	6.0 s	46.2 s	91.8 s	113.5 s
$t_n - t_{n-1}$	$T_1 = 40.2 \text{ s}$		$T_2 = 21.7 \text{ s}$	

$$\begin{array}{rcl}
 \log \rho = 3.80414 & \log F_1 = 0.14891 - 1 & \log F_2 = 0.89818 - 2 \\
 \log (k+1) = 0.60735 & + 3.20200 & + 3.20200 \\
 \log r^k = 0.99479 - 1 & \hline & \hline
 \hline & 2.35091 & 2.10018 \\
 3.20200 & - \log T_1 = 1.60423 & - \log T_2 = 1.33646 \\
 & \log c_1 = 0.74668 & \log c_2 = 0.76372 \\
 & c_1 = 5.58 & c_2 = 5.80
 \end{array}$$

Na taj su način računane brzine za sve dubine od 10—50 km. Četiri pretpostavljene udaljenosti nijesu mogle biti u svim računima tačno jednake, jer bi se bili morali izvoditi mnogi prethodni računi.

Nadene su slijedeće vrijednosti:

Km	10	15	20	25	30	35	40	45	50
c_1	5.60	5.54	5.46	5.45	5.42	5.39	5.33	5.25	5.23
c_2	6.30	6.60	6.13	5.80	6.18	6.70	6.06	5.99	6.19

Rastućom brzinom umanjuje se jednomjerno c_1 . Vrijednost od c_2 oscilira naprotiv tako, da se najjače približi c_1 za dubinu od 25 km, a za sve ostale bilo veće ili manje dubine udaljuje se od te vrijednosti. Da se je moglo uvijek računati s istim udaljenostima, ne bi bilo tih oscilacija vrijednosti od c_2 .

Ako nam dakle jednadžbe (4) i (9) predstavljaju pravi put zrakâ potresa u najgornjim slojevima zemlje, onda im odgovara dubina potresnog ognjišta od 25 km i početna brzina u ognjištu između 5.45 i 5.80 km p.s. Iza toga uzeo sam nekoliko brzina, koje se približavaju aritmetičkoj sredini obih ovih brzina kao početne brzine, te sam sa svakom od ovih brzina za osam udaljenosti računao vrijeme, što ga trebaju zrake, da dođu do pojedinih mjesta. Posao je to vrlo jednostavan, jer je račun za četiri tačke već gotov. Najbolji rezultat daje ishodišna brzina od 5.60 km p.s. U slijedećoj su tabeli za neke udaljenosti izračunana vremena puta zrakâ i uz nje vremena dobivena opažanjem. U četvrtom su stupcu vremena puta računana od epicentra kao nule. U petom su stupcu razlike među očitanim i izračunanim vremenima.

Udaljenost km	Vrijeme puta		Račun — 4.5 Sek.	Razlika Ub—R	Kut impulsa e_0	Kut emer- gencije e	$90 - e$
	Ubilje- žena	Izraču- nana					
	Sekunda						
0	0	4.5	0	—	0°	0°	90°
21	—	5.9	1.4	—	40°	39° 14' 30"	50° 45' 30"
52	6.0	10.3	5.8	0.2	65°	63° 07' 30"	26° 52' 30"
84	10.7	15.8	11.3	-0.6	75°	71° 55' 40"	18° 04' 20"
117	16.2	21.1	16.6	-0.4	80°	75° 44' 30"	13° 15' 30"
147	21.5	26.8	22.3	-0.8			
174	26.3	31.5	27.0	-0.7	85°	78° 30' 20"	11° 29' 40"
280	46.2	50.3	44.8	0.4	90°	79° 48' 10"	10° 11' 50"
374	64.0	67.6	63.1	0.9	93°	79° 22' 30"	10° 37' 30"
449	77.7	80.3	75.8	1.9	95°	78° 30' 20"	11° 29' 40"
531	91.7	95.4	90.9	0.8	97°	77° 39' 10"	12° 20' 50"
666	113.5	118.0	113.5	0.0	100°	75° 45' 20"	14° 14' 40"
713	120.9	127.4	120.3	0.6	101°	75° 02' 40"	14° 57' 20"
Poprečna razlika				± 0.7s			

Poprečna razlika obih krivulja je manja od pogreške konstrukcije krivulje vremena. Ako поближе promotrimo krivulju vremena, osvjedočit ćemo se, da se izračunana krivulja kao manje savita krivulja jače približava vremenima pojedinih

postaja nego li konstruirana krivulja. Razlika među obim krivuljama je tako malena, da možemo tvrditi, da jednačbe (4) i (9) predstavljaju krivulju vremena posve tačno u svim detaljima.

Ako se od jednačbe (4) odbije analogna jednačba za vrijeme, što traje put, od hipocentra do epicentra t. j. za ono vrijeme, što treba prvi udarac, da dođe od hipocentra do epicentra, to dobijemo jednačbu krivulje vremena:

$$t = \frac{\rho}{(k+1)c_0 r^k} \left[\sqrt{1 - r^{2(k+1)} \sin^2 e_0} - r^{k+1} \cos e_0 + r^{k+1} - 1 \right]$$

jer je za $e_0 = 0$,

$$t_0 = \frac{\rho}{(k+1)c_0 r^k} (1 - r^{k+1})$$

Pošto je za površinu zemlje $c = c_0 r^k = 5.53$ km p. s i $r^{k+1} \sin e_0 = \sin e$, dakle jednako sinus kuta emergencije, to se može gornja jednačba i tako preurediti, da u njoj dolazi samo brzina c , kojom zrake potresa dopiru do površine zemlje i kut emergencije t. j. kut, koji dolazeća zraka zatvara s vertikalom povučenom na površinu zemlje.

Prije je bilo rastumačeno, kako P sežu vjerojatno do 720 km udaljenosti. To je pak posve nesigurno, jer ćemo kasnije govoriti o jednoj drugoj krivulji vremena, koja je u svakom slučaju produljenje ove prve, tako da je nesigurno, gdje ova prva prestaje. Pošto se pak sva kasnija razmatranja temelje na pretpostavci, da krivulja od $\bar{P}$ negdje prestaje, to ćemo prethodno ostati od prilike kod ove udaljenosti, a kasnije razložiti, kako se može doći do točnog određenja skrajne udaljenosti ove krivulje na osnovu daljnjih valjanih potresa.

Ako je skrajna točka krivulje u udaljenosti od 720 km od epicentra, to dosegne najniža tačka puta zrake po jednačbi (12) dubinu od 54 km u udaljenosti od $3^\circ 41'6''$ (411 km). Ako je pak najveći kut impulsa u hipocentru samo 100° , što odgovara skrajnoj točki krivulje, u udaljenosti od 666 km, onda je najveća dubina puta 49 km.

Da bih mogao dalje o tom raspravljati, morao sam se odlučiti za neku dubinu, koja se može bar približno potvrditi opažanjem. Odlučio sam se za dubinu od 50 km zaokruženo.

Pošto $\bar{P}$ mogu doseći samo dubinu od 50 km, to je u toj dubini granična ploha najgornjeg sloja zemlje t. j. zemaljske

kore. U toj dubini mora da se naglo mijenja materijal, od kojega se sastoji unutrašnjost zemlje, jer tu se mora dogoditi nagli skok brzine valova potresa.

V.

Normalne primae (P).

Normalne se primae rasprostiru u unutrašnjosti zemlje sa znatno većom brzinom od individualnih. Da se može odrediti ova brzina, napose do udaljenosti od 1600 ili 1700 km, do koje je udaljenosti njihovo trajanje puta prilično sigurno, mora da se najprije odredi brzina, kojom ovi valovi prodiru u zemaljsku koru i mjera k_1 povećavanja te brzine s dubinom.

Pošto u ovom slučaju nemamo na što, da se oslonimo kod računanja promjene brzine kod prelaza valova iz gornje kore u unutrašnjost zemlje, morao sam se pomoći na osobiti način.

Zraka, koja izilazi iz potresnog ognjišta pod zgodnim kutem, doći će na graničnu plohu i tu će prodrijeti u unutrašnjost zemlje. Kod prelaza će se lomiti, te će se onda u krivoj crti dalje rasprostirati. Zraka će tada opet doći na graničnu plohu, te iza kako se opet prelomi, dospjet će kroz gornji sloj na površinu zemlje.

Ako su zadane dvije takove zrake, koje dopijevaju na površinu zemlje u malenoj međusobnoj udaljenosti n , pr. od 100 km, to možemo približno uzeti, da su njihovi putevi u gornjem sloju međusobno jednaki. Razlika vremena, što trebaju takove dvije zrake, da prevale put, od potresnog ognjišta do površine zemlje, ovisi u tom slučaju samo o razlici vremena, što trebaju, da prevale donji sloj.

Pošto se ovdje radi o zrakama, koje idu od jednog nivoa do drugog jednakog nivoa, onda možemo upotrijebiti slijedeću jednadžbu:

Za $e_0 = 90^\circ$ je

$$\frac{\varphi}{2} = \frac{1}{k_1 + 1} \left[90^\circ - \arcsin r^{k_1 + 1} \right]$$

Pošto je pak $r^{k_1 + 1} = \sin e$ t. j. jednako sinus onoga kuta, pod kojim zraka prodire u gornji sloj, to je

$$\frac{\varphi}{2} = \frac{1}{k_1 + 1} \left[90^\circ - e \right] = \frac{\varepsilon}{k_1 + 1} \quad (15)$$

Vrijeme, što ga treba zraka, da prevali polovicu puta je

$$\frac{t}{2} = \frac{\rho}{(k_1 + 1)c_0 r^k} \sqrt{1 - r^{2(k+1)}}$$

ili pošto je $c_0 r^{k_1} = c$ t. j. jednako brzini emergencije ili brzini, kojom zraka prodire u gornji sloj, a r^{k_1+1} kao prije jednako sinus kuta emergencije, onda je

$$t = \frac{2\rho}{(k_1 + 1)c_1} \cos e = \frac{2\rho}{(k_1 + 1)c_1} \sin \varepsilon$$

Treba li jedna zraka, da prođe drugi sloj, vrijeme t_1 , a druga zraka vrijeme t_2 , onda je razlika vremena

$$\tau_1 = t_2 - t_1 = \frac{2\rho}{(k_1 + 1)c_1} (\sin \varepsilon_2 - \sin \varepsilon_1) \quad (16)$$

Ako prethodno pretpostavimo, da je za zrake do 1700 km udaljenost k_1 bar približna konstanta, onda možemo iz trih para zraka naći vjerojatne vrijednosti za k_1 i c_1 .

Uzimam prethodno, da je približna projekcija puta zrakâ d na površinu zemlje okruglo 100 km. Ako je projekcija puta u donjem sloju d_1 , to je ukupni put $d_1 + 100$ km, kojemu odgovara vrijeme t_1 .

Da dobijem po mogućnosti tačna vremena puta za svrhe ovoga računa, očitao sam iz krivulje puta vremena i izravnao ih. Tako izravnana vremena za P jesu:

Udaljenost km	Vrijeme sek.	d	Udaljenost km	Vrijeme sek.	d	Udaljenost km	Vrijeme sek.	d	Udaljenost km	Vrijeme sek.	d
500	69.4	6.4	900	120.4	6.3	1300	170.8	6.3	1700	221.1	6.2
550	75.8	6.4	950	126.7	6.3	1350	177.1	6.3	1750	227.1	6.0
600	82.2	6.4	1000	133.0	6.3	1400	183.4	6.3	1800	233.0	5.9
650	88.6	6.4	1050	139.3	6.3	1450	189.7	6.3	1850	238.7	5.7
700	95.0	6.4	1100	145.6	6.3	1500	196.0	6.3	1900	244.3	5.6
750	101.4	6.4	1150	151.9	6.3	1550	202.3	6.3	1950	249.8	5.5
800	107.8	6.4	1200	158.2	6.3	1600	208.6	6.3	2000	255.3	5.5
850	114.1	6.3	1250	164.5	6.3	1650	214.9	6.2	2050	260.8	5.5

Uzmimo za φ tri para vrijednosti: 6° i 7° , 10° i 11° te 14° i 15° , pa izračunajmo najprije za svaki par ovih kuteva po jednadžbi (15) vrijednosti od ε , koje odgovaraju raznim zgodno pretpostavljenim vrijednostima od k_1 . Pretpostavljenim vrijednostima od φ odgovaraju ukupni putevi okruglo 759, 860, 1219,

1320, 1650 i 1760 km s vremenima puta od 101.4 s, 115.4 s, 159.5 s, 173.3 s, 214.9 s i 228.3 s. Razlike vremena za pojedine parove od φ jesu: 14.0 s, 13.8 s i 13.4 s. Pripadajuće vrijednosti za c_1 izračunaju se po jednadžbi (16).

Dovoljan će biti jedan primjer: Za 6° i 7° su $\frac{\varphi}{2}$ jednaki 3° i $3^\circ 30'$. Uzme li se $k_1 = 4$, to je $\varepsilon_1 = (k + 1) \frac{\varphi}{2} = 15^\circ$, a $\varepsilon_2 = 17^\circ 30'$, pa iz toga slijedi po (16) $c_1 = 7.56$ km p. s.

Tako dobivene vrijednosti za c jesu slijedeće:

$k_1 =$	4	3	2	1
$6^\circ - 7^\circ$	7.56	7.68	7.77	7.85
$10^\circ - 11^\circ$	7.17	7.46	7.69	7.86
$14^\circ - 15^\circ$	6.64	7.20	7.64	7.95

Ako se dobivene vrijednosti za c_1 unesu u koordinatnu mrežu tako, da se vrijednosti od k_1 uzmu kao apscise, a od c_1 kao ordinate, to se dobivene tri krivulje za c približno sijeku kod $k = 1.3$ sa zajedničkom brzinom od 7.8 km p. s.

Ako je tim načinom poznata približna brzina, onda je poznat i približni kut loma. Pošto je brzina na donjoj granici gornjeg sloja jednaka 5.68 km p. s., to je $\log n = 0.12804$.

Uzmemo li sada u prvom približavanju $k = 1.3$, te izračunamo po (15) n. pr. za 6° , 10° i 14° pripadajuće ε , a množenjem njihovih sinusa sa n kuteve, pod kojima te zrake u gornji sloj izilaze, to možemo lako izračunati iz poznatih kuteva impulsa puteve od granične plohe s jedne strane do potresnog ognjišta, a s druge strane do površine zemlje. Pošto sam očekivao, da ću morati napraviti više pokusa, to sam zračunao puteve (u km) i vremena (u sek) za kuteve impulsa od 30° , 40° , 50° i 60° .

Od 50—25 km			Od 50—0 km	
Kut impulsa	Put	Vrijeme	Put	Vrijeme
30°	14	5.0	28	10.3
40°	21	5.8	41	11.5
50°	29	6.9	58	13.6
60°	42	8.7	82	22.0

Sve su ove vrijednosti unešene u koordinatnu mrežu i izvučene krivulje vremena i puteva. Iz ove grafičke slike može se s dovoljnom točnošću izraditi ukupni put i vrijeme za svaki kut impulsa od 30° do 60° za gornji sloj.

Prvi pokus s izračunanim približnim vrijednostima pokazao je, da je k prevelik. Na to se k umanjio uzastopce na 1.0 i onda na 0.75, a s ovom posljednjom vrijednošću i brzinom $c_1 = 7.747$ km p. s. dobila se izvrsna suglasnost izračunanih vrijednosti s ubilježenim.

Rezultat računa je slijedeći:

$$c_1 = 7.747 \text{ km s}, \quad k = 0.75, \quad \log n = 0.13479.$$

Ukupni put u gornjem sloju			U donjem sloju		Zbroj		-4.5	Krivulja vremena	Razlika
φ	km	t	km	t	km	t			
2°	79	19.3	222	28.5	301	43.3	38.8	—	—
4°	79	19.3	445	56.9	524	76.2	71.7	72.5	0.8
6°	78	19.3	667	85.3	745	104.6	100.1	100.1	0.0
8°	78	19.2	889	113.6	967	132.8	128.3	128.8	0.5
10°	77	19.2	1112	141.8	1189	161.0	156.5	156.8	0.3
12°	77	19.1	1334	169.9	1411	189.0	184.5	184.7	0.2
14°	75	19.0	1556	197.8	1631	216.8	212.3	212.5	0.2
Poprečna razlika: $s = 0.3$									

Izračunane vrijednosti, kako se vidi iz gornjih brojeva, slažu se posvema s krivuljom vremena. Kutevi emergencije na površini zemlje jesu:

Udaljenost epicentra	Kut emergencije		Udalj epic.	Kut emergencije	
	e	$90^{\circ} - e$		e	$90^{\circ} - e$
km 301	$45^{\circ} 20'$	$44^{\circ} 40'$	1189	$44^{\circ} 35'$	$45^{\circ} 25'$
524	$45^{\circ} 08'$	$44^{\circ} 52'$	1411	$44^{\circ} 17'$	$45^{\circ} 43'$
745	$45^{\circ} 00'$	$45^{\circ} 00'$	1631	$43^{\circ} 57'$	$46^{\circ} 03'$
967	$44^{\circ} 49'$	$45^{\circ} 11'$			

Zraka, koja dosegne udaljenost od 1631 km, imade svoju najnižu tačku u dubini od 132.7 km.



Zraka, koja izlazi iz potresnog ognjišta pod kutem od 100° , dira donju plohu u dubini od 50 km, te dolazi na površinu zemlje. Zrake, koje izilaze pod većim kutem bivaju na donjoj plohi totalno reflektirane. Granična zraka među posljednom zrakom, koja se totalno reflektira, i prvom zrakom, koja prodre u donji sloj, izlazi iz potresnog ognjišta pod takvim kutem, za koji je kut loma jednak 90° , a sinus kuta upada $\sin \beta = \frac{1}{n}$, u našem slučaju $47^{\circ} 09'$. Ovomu kutu odgovara kut impulsa u potresnom ognjištu od $133^{\circ} 49'$.

Sve zrake, koje izilaze iz potresnog ognjišta među kutovima od 0° i $133^{\circ} 49'$, ostaju u gornjem sloju, a samo 14% energije prodire u unutrašnjost zemlje. Zraka, koja izlazi iz potresnog ognjišta pod kutem od $133^{\circ} 49'$, te se na donjoj plohi odrazi, izlazi na površinu zemlje u udaljenosti od 79 km. Ova pak zraka još ne prodire u unutrašnjost zemlje, tek neka zraka, koja izlazi iz potresnog ognjišta pod nešto većim kutem, može se lomiti i opet na površinu zemlje doći. Odatle se tumači, da normalne P počinju tek u većoj udaljenosti od epicentra, jer moraju upadati pod nekim kutem na plohu loma, da može biti dovoljni dio slomljen.

VI.

Transverzalni valovi.

1. Transverzalni valovi (secundae) individualnih prima.

Pošto su obje vrsti valova individualne i normalne primae samo jedna jedina vrst, te se razlikuju jedne od drugih samo time, što dolaze različitim putem na površinu zemlje, to su obje vrsti valova longitudinalni valovi. Transverzalni valovi, koji pripadaju normalnim primama, jesu već davno poznati. Ali pošto do sada nije nitko razlikovao individualne od normalnim prima, to su bili nepoznati i transverzalni valovi, koji pripadaju individualnim primama.

Vrlo je vjerojatno, da su maksimalni valovi transverzalni valovi, koji pripadaju normalnim primama. Ova se pretpostavka temelji na tom, što je omjer trajanja puta od eM prema trajanju puta od $\overline{P}$ broj, koji je gotovo jednak omjeru među trajanjem puta normalnih S i njima odgovarajućim P.

Tako dobijemo za

	km	$\frac{eM}{P}$		km	$\frac{eM}{P}$
Zagreb	39	1.82	Budimpešta	318	1.66
Rijeka	134	1.58	Padova	332	1.72
Ljubljana	141	1.69	München	454	1.67
Graz	184	1.84	Hohenheim	633	1.73
Trst	185	1.59	Moncalieri	644	1.81
Pola	193	1.70	Sofia	652	1.61
Beč	308	1.66	Poprijeko		1.70

Ovaj je broj još prilično nesiguran, te bi mogao biti kriv za koju jedinicu posljednjeg mjesta, jer je veoma teško tačno očitati početak maksimalne faze.

Ako potražimo kvocijenat trajanja puta normalnih prima i secunda počam od 2000 km natrag, dobijemo

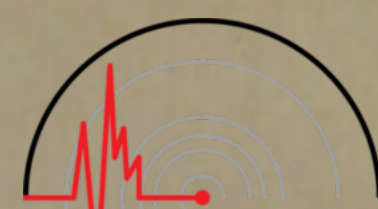
kod 2000 km	1.79	kod 1000 km	1.81
kod 1500 km	1.80	kod 500 km	1.76

Od 1000 km natrag umanjuje se kvocijenat. To se može time tumačiti, što put valova u gornjem sloju iznaša kod tako malenih udaljenosti veliki dio čitavoga puta. Iz toga se također vidi, da u gornjim slojevima mora biti kvocijenat manji, nego li u donjim.

Kao temelj daljnog računa uzeo sam za kvocijenat u gornjem sloju vrijednost od 1.71. Ova je vrijednost oko 0.5% veća od poprečne vrijednosti za sve postaje, ali uzev u obzir dobrotu postaja, činila mi se bolja.

Zraka potresa, koja dolazi iz potresnog ognjišta osovno u epicentar kao longitudinalni val, treba za taj put 4.5 sekunde. Pripadajući transverzalni val trebat će tada za taj isti put 7.7 sekunda. Time dobijemo u epicentru prethodnu fazu, koja traje 3.2 sekunde. Ova prethodna faza bit će tim kraća čim je potresno ognjište bliže površini zemlje.

Da odredimo put od $\bar{S}$, moramo poznavati, kako se mijenja njihova brzina dubinom. Iz opažanja to za sada ne možemo saznati. Ja ću dakle prethodno uzeti, da se u gornjem sloju zemlje obje vrste valova jedne od drugih ne razilaze. Za malene puteve ne ćemo tom pretpostavkom učiniti znatnu pogriješku, a kada budu kasnije poznati tačni podaci za veće udaljenosti, moći će se i strože računati.



Ako pomnožimo trajanje puta od $\bar{P}$ sa 1.71, dobijemo slijedeća vremena za $\bar{S}$:

Km	Traj. puta	Tr. p. - 4.5	Km	Traj. puta	Tr. p. - 4.5	Km	Traj. puta	Tr. p. - 4.5
0	7.7	3.2	200	60.9	56.4	500	155.6	151.1
50	17.4	12.9	300	93.2	88.7	600	183.7	179.2
100	30.4	25.9	400	125.3	120.8	700	211.0	206.5

Brzina transverzalnih valova ($\bar{S}$) bila bi prema tome u potresnom ognjištu jednaka 3.27 km p. s. Ako gornja vremena računamo kao trajanje puta površnih valova, dobijemo za udaljenost od 500 km brzinu od 3.31 km p. s., a za udaljenost od 700 km 3.39 km p. s., dakle brzinu, koja se potpuno slaže s do sada poznatom brzinom za površne valove. Ako je u ognjištu brzina 3.27 km p. s., onda je brzina emergencije 3.27 km p. s. Ako je kvocijenat 1.71 tačan, onda bi brzina površnih valova, koje valove induciraju transverzalni valovi, iznašala 3.23 km p. s. Kada bi gornji kvocijenat bio kriv za pet jedinica posljednje decimale, onda bi pripadajuće brzine računane po površini iznosile 3.23 ili 3.14 km p. s. Između obih ovih brzina mora, da se nalazi prava brzina površnih valova.

2. Transverzalni valovi ($\bar{S}$) normalnih prima.

Račun brzine i mjere (k_2) promjene te brzine s dubinom, obavljen je na jednak način kao i kod P , uz približnu pretpostavku, da se unutar kore zemaljske transverzalni valovi ne odjeljuju od longitudinalnih.

Za podlogu računa uzeta su slijedeća vremena puta za $\bar{S}$:

km	Traj. puta s	km	Traj. puta s	km	Traj. puta s	km	Traj. puta s
600	150.2	950	233.0	1300	312.3	1650	388.9
650	162.2	1000	244.5	1350	323.4	1700	399.6
700	174.2	1050	256.0	1400	334.5	1750	410.2
750	186.1	1100	267.4	1450	345.5	1800	420.7
800	197.9	1150	278.7	1500	356.5	1850	431.2
850	209.7	1200	290.0	1550	367.4	1900	441.5
900	221.4	1250	301.2	1600	378.2	1950	451.7
						2000	461.8

Ako pretpostavimo za k_2 određene vrijednosti, dobijemo za c_2 slijedeće vrijednosti:

$k =$	4	3	2	1
$\varphi = 6^\circ - 7^\circ$	4.46	4.52	4.54	4.60
$10^\circ - 11^\circ$	4.38	4.56	4.70	5.04
$14^\circ - 15^\circ$	4.16	4.48	4.76	—

Iz ovih se brzina dobije, kao kod P, približna vrijednost za $k = 2.9$, a za $c_2 = 4.55$ km p. s. Pokusni račun s ovim vrijednostima pokazuje, da je ta brzina prevelika. Pošto dolazi brzina u formuli kao nazivnik, to je lako naći pravu brzinu. Drugi pokus za $c_2 = 4.172$ pokazuje, da je i k nešto prevelik. Konačno je postignut povoljan rezultat sa $k_2 = 2.7$, a $c_2 = 4.182$ km p. s. Pošto je brzina od $\bar{S}$ na donjoj granici gornjeg sloja 3.32 km p. s., to je $\log n = 0.10000$.

S ovim vrijednostima dobivamo slijedeća vremena puta :

Udaljenost km	Izračunano traj. puta s	-4.5 s	Traj. puta po krivulji vre- mena	Raz- lika
319	89.5	85.0	—	—
538	141.9	137.4	—	—
758	193.2	188.7	188.0	-0.7
977	243.9	239.7	239.2	-0.5
1196	293.3	288.8	289.1	0.3
1414	341.9	337.4	337.6	0.2
1631	389.1	384.6	384.8	0.2

Taj se račun slaže tačno s krivuljom vremena.

Pošto krivulja vremena za S nije tako tačno poznata kao ona za P, trebat će ponovnog računa, čim bude više materijala na dispoziciju.

Omjer između početnih brzina od P i S na graničnoj plohi, je 1852, dakle znatno veći, nego li u gornjem sloju. Pošto je pak za obje vrste valova k različit, to je taj omjer dubinom promjenljiv.

Zraka, koja dopre na površinu zemlje u udaljenosti od 1631 km, dopre do najveće dubine od 216 km. Kod prelaza iz

gornjeg sloja u donji, dijele se transverzalni valovi od longitudinalnih, te dosegnu mnogo veću dubinu (216 km prema 132 km).

Ako računamo trajanje puta od S za udaljenost od 2067 km, koja odgovara u donjem sloju putu od 18° , dobijemo već razliku od 2.4 sekunde između opažanja i računa.

Kad bude vremenom na osnovu većeg broja motrenja moguće tačno određenje debljine najgornjeg sloja zemlje, mijenjat će se neznatno i brzine, kojima zrake ulaze iz gornjeg sloja u donji. Čim bi bila veća debljina gornjeg sloja, tim bi bile veće te brzine.

VII.

Refleksije valova u najgornjem sloju zemlje.

Predašnjim razmatranjima i računima dokazano je, da je u neznatnoj dubini od kojih 50 km kuglina ploha, gdje se događa jaki lom zraka. Otuda slijedi, da, koli na toj plohi, toli na površini zemlje, moraju nastati raznovrsne refleksije valova. Čini se na prvi pogled, da je računanje tih refleksija uzaludan posao, dok nije tačno poznata dubina plohe, koja reflektira. Meni se ipak čini, da će baš tačno određenje ovih refleksija motrenjem dovesti nas do tačnih određenja dubine ove plohe. Ako se motritelji upozore na približni položaj tih refleksija u slici potresa, onda će oni te refleksije tražiti i očitati. Kad bude određena velika množina tih refleksija, moći će se i njihove krivulje vremenom narisati, te odrediti za koliko se one udaljuju od prethodno približno određenih refleksija.

Mogu nastati dvije vrste refleksija:

- a) jedna donja refleksija (R_d), gdje svaka zraka dolazi na površinu zemlje, iza kako se je reflektirala na drugoj plohi
- b) jedna gornja refleksija (R_s), gdje zraka dolazi na površinu zemlje, iza kako je reflektirana najprije na gornjoj plohi a onda na donjoj.

Ove se dvije refleksije mogu toliko puta opetovati, dok se čitava energija ne istroši.

Kod refleksija se mogu dogoditi i različite izmjene longitudinalnih valova u transverzalne ili obratno tako, da ćemo dobiti mjesto dvih krivulja vremena kod svake refleksije po više njih.

a) Kod R_i može: α) longitudinalna zraka doći nepromijenjena na površinu zemlje ($R_i\bar{P}$); β) na donjoj plohi mogu nastati transverzalni valovi i doći na površinu zemlje ($R_i\bar{P}\bar{S}$); γ) transverzalni valovi, koji iz potresnog ognjišta izilaze, mogu se odraziti na donjoj plohi ($R_i\bar{S}$).

b) kod R_s može nastati još veći broj refleksija: α) refleksija longitudinalnih valova ($R_s\bar{P}$); β) od longitudinalnih valova nastaju tek kod druge refleksije transverzalni ($R_s\bar{P}_2\bar{S}$); γ) transverzalni valovi nastaju već kod prve refleksije ($R_s\bar{P}\bar{S}_2$); δ) transverzalni valovi koji izilaze iz ognjišta, dolaze na površinu zemlje iza dvokratne refleksije ($R_s\bar{S}$).

Ako se refleksije opetuju, raste sve više broj mogućih krivulja vremena.

Ako postoji jedna druga ploha, na kojoj se valovi lome, onda je mogućnost, da se porode i stojni valovi, na koje je već Wiechert svratio pozornost.

1. Donja refleksija (R_i).

Longitudinalna ili transverzalna zraka, koja se odrazuje na donjoj plohi, dopire na površinu zemlje u većoj ili manjoj udaljenosti od ognjišta prema tome, kako je kut impulsa u u ognjištu t. j. ishodišni kut manji ili veći. Ako je kut impulsa jednak 180° , onda će zraka, koja iz ognjišta ide osovno dolje, iza odraza doći na površinu zemlje u epicentru. Biva li kut impulsa sve manji, bit će kut, pod kojim zraka dolazi na donju plohu, sve veći. Ako se konačno kut impulsa smanji na 100° , naraste kut na donjoj plohi na 90° . Reflektirana zraka sjedini se tada s direktnom.

Krivulje vremena donjih refleksija mogu dakle segnuti samo do one udaljenosti epicentra, koju mogu dosegnuti i $\bar{P}$. U našem slučaju samo do od prilike 700 km. U ovoj udaljenosti moraju pasti krivulje vremena donjih refleksija na krivulji vremena za $\bar{P}$ i $\bar{S}$. Pošto se mora računati put zrake s prije spomenutim formulama uvijek odozdo prema gore, to su izračunani putevi zraka, koje izilaze od donje plohe pod kutevima od 0° , 10° , 20° i t. d., te idu s jedne strane prema ognjištu, a s druge strane prema površini zemlje. Sume obih puteva i vremena sačinjavat će ukupni put i ukupno vrijeme refleksijâ.

I. Putevi i vremena.

Kut refleksije	Od 50 - 25 km			Od km 50—0 km		
	km	Long.	Transv.	km	Long.	Transv.
0°	0	4'4s	7'5s	0	8'9s	15'2s
30°	14	5'0	8'6	28	10'3	17'6
40°	21	5'8	9'9	41	11'5	19'7
50°	29	6'8	11'6	58	13'6	23'3
60°	42	8'7	14'9	82	17'4	29'2
70°	65	12'3	21'0	123	23'6	40'4
80°	117	21'1	36'1	205	37'6	64'3
85°	175	31'0	53'0	281	50'6	86'5
90°	281	49'6	84'8	395	70'8	121'1

2. Ukupni put i vrijeme odnosno prema površini zemlje.

Put	$R_1\bar{P}$	$R_1\bar{PS}$	$R_1\bar{S}$
0	8 8	15 1	18 2
42	10 8	18 1	21 7
62	12 8	21 0	25 1
87	15 9	25 6	30 4
124	21 3	33 4	39 6
188	31 4	48 2	56 9
322	54 2	80 9	95 9
456	77 1	113 0	135 0
676	115 9	166 2	201 4

U donjoj tabeli su vremena odnosno prema površini zemlje t. j. odnosno prema vremenu u epicentru tako dobivena, da je od svake sume odbijeno 4'5 sekunde.

Reflektirani izmjenični valovi (PS) padaju skoro tačno zajedno s normalno S. Zato je određenje od S do udaljenosti od 700 km veoma nesigurno.

Ponovna refleksija na donjoj plohi može dati pet novih krivulja vremena. $R_1^2\bar{P}$ je do 600 km nešto nad $R_1\bar{P}$, a od 700 do 1650 km čini produljenje ove krivulje. Isto tako je $R_1^2\bar{S}$ produljenje od $\bar{S}$ i $R_1\bar{S}$.

2. Gornja refleksija (R_s).

Pošto se ova refleksija sastoji od dviju refleksija, jedne na površini zemlje, a druge na donjoj plohi, to će se dogoditi, da će do kuta impulsa od $79^\circ 48'$, kojemu odgovara kut emergencije od $75^\circ 36'$ u udaljenosti od 115 km, odgovarati na donjoj

plohi kut manji od 90° . Ako je kut impulsa $79^{\circ} 48'$, onda će na gornjoj površini reflektirana zraka donju plohu samo dotaknuti, te će prevaliti od površine do površine put od 790 km tako, da će doći na površinu zemlje u udaljenosti od 905 km. Ako kut impulsa postane veći, onda će i kut emergencije biti veći, a zraka odražena na površini ne dopiye više do donje plohe, dakle se dolje ne reflektira. Najveći kut emergencije od $79^{\circ} 48'$ odgovara kutu impulsa od 90° u udaljenosti od 280 km. Zraka, koja se odrazi od površine zemlje pod kutem od $180^{\circ} - 79^{\circ} 48' = 100^{\circ} 12'$, dođe na površinu u udaljenosti od 560 km. Zraka dakle, koja izade iz ognjišta pod kutem od 90° i odrazi se na površini zemlje, dođe opet na površinu zemlje u udaljenosti od $3 \times 280 = 840$ km. Krivulja vremena vraća se dakle od 905 km natrag na 840 km. Ako je kut impulsa $100^{\circ} 12'$, onda mu odgovara isti kut emergencije kao kod kuta impulsa od $79^{\circ} 48'$, t. j. $75^{\circ} 36'$, a reflektirana zraka će opet dotaći donju plohu. Kutu impulsa od $100^{\circ} 12'$ odgovara od površine zemlje opet do površine put od 675 km. Ukupni put zrake bit će dakle $790 + 675 = 1465$ km. Krivulja vremena gornje refleksije čini dakle zavoj među od prilike 790 km i 905 km

Slijedeća tabela daje nam izračunane puteve i vremena:

1. Putevi i vremena.

Od 25 km — 0 km			Od 0 km — dolje		
Put	Long. vrij.	Trans. vrij.	Put	Long. vrij.	Trans. vrij.
0	4.5	7.7	0	8.9	15.2
14	5.3	9.1	28	10.3	17.6
20	5.7	9.7	41	11.5	19.7
29	6.8	11.6	58	13.6	23.3
40	8.7	14.9	82	17.1	29.2
58	11.3	19.3	123	23.6	40.4
88	16.5	28.2	205	37.6	64.3
106	19.6	33.5	280	50.6	86.5
114	21.2	36.3	395	70.8	121.1
174	31.5	53.9	312	55.9	95.6
280	50.6	86.5	280	50.6	86.5
449	80.3	137.3	312	55.9	95.6
675	120.2	205.5	395	70.8	121.1

2 Ukupni putevi i vremena odnosno na površinu zemlje.

Put	$R_s\bar{P}$	$R_s\bar{P}_2\bar{S}$	$R_s\bar{P}\bar{S}_2$	$R_s\bar{S}$
0	17.8	24.1	30.4	33.6
70	21.4	28.7	36.0	39.8
102	24.2	32.4	40.6	44.6
145	29.5	39.2	48.9	53.7
204	38.4	50.5	62.6	68.8
304	54.0	70.8	87.6	95.6
498	87.2	113.9	140.6	152.3
668	116.3	152.2	188.1	202.0
904	158.3	208.6	258.9	274.0
798	138.8	178.5	218.2	240.6
840	147.3	183.2	219.1	255.0
1073	187.6	227.3	267.0	324.0
1465	257.3	307.6	357.9	443.2

Gornja refleksija od $\bar{P}$ je nastavak od $\bar{P}$ do 1465 km. Ovaj se nastavak vidi dakako samo kod jakih potresa. Kada sam iz početka još neke jake potrese bio uzeo u račun, mislio sam, da se $\bar{P}$ protežu do 1400 km ili 1600 km udaljenosti. Kada sam kasnije morao ove potrese ispustiti, otpali su dakako i dotični podaci.

Na isti je način i gornja refleksija od $\bar{S}$ jednostavno njihovo produljenje preko 700 km. Ako postavimo ravnalo na ovo produženje vidimo skoro tačan pravac, koji se čini da izilazi iz epicentra. Pošto daljne refleksije od $\bar{S}$ čine produženje ove crte preko 1460 km, to čine $\bar{S}$ sa svojim produljenjima pravac, kojemu pripada prividna brzina po površini zemlje od 333 km p. s. To nam tumači, zašto se ovi valovi računaju kao površni valovi.

Ovi valovi induciraju površne valove kao transverzalne valove, a pošto ti površni valovi imaju također brzinu od 333 km p. s., to moraju obje vrste valova zajedno padati.

VIII.

Neki daljni dokazi tačnosti teorije.

Ako nađemo u diagramima pojedinih potresa uz glavne faze i podređene, to ćemo time dokazati, da izračunane refleksije doista postoje, da dakle postoji i reflektirajuća ploha, te da se glavna faza potresa ima pripisati transverzalnim valovima i njihovim refleksijama u kori zemaljskoj.

U publikacijama seizmičkih instituta bilježe se do sada kod blizih potresa samo tri glavne faze: P, S i eM. P su, prema jakosti potresa, prema udaljenosti i prema dobroti instrumenta, ili normalne ili individualne. S jesu ili prave S ili jedna od blizih refleksija, osobito se često uzima R_sP_2S za S. Kod vertikalnih nihala, osobito Vicentinijevih, uzimaju se često S za eM.

Kod proučavanja diagrama, koje su mi stavili pojedine postaje na dispoziciju, očitao sam refleksije sâm, a druge neke postaje javile su mi svoja vlastita čitanja.

U diagramu potresa od 13. XII. 1909. postaje Beč mogu se naći gotovo sve faze. Isto tako su u diagramima postaje München, osobito kod potresa od 28. I. 1910., vidljive sve faze. U diagramu od postaje Taranto možemo također gotovo sve faze naći; isto tako u diagramima: Jena, Leipzig i Strassburg. Jače udaljene postaje ne mogu se u obzir uzeti poradi slabosti potresa.

Da sakupim više materijala, dao sam od početka ove godine pomno očitati kod svih blizih potresa, zabilježenih na našem Wiechertovom nihalu od 1000 kg, sve vidljive emerzije. Žalibože je kod jednog jedinog od ovih potresa dobro poznat epicentar, a kod nekih drugih samo približan položaj epicentra po novinskim vijestima. Refleksije sam mogao samo tim načinom utvrditi, da sam sve faze reducirao na epicentralno vrijeme po krivuljama vremena. Prema tome kako su se pojedina vremena podudarala, mogao sam prosuđivati s jedne strane udaljenost epicentra, a s druge strane, da u istinu postoje refleksije.

Slijedeće sam zato potrese mogao upotrijebiti:

I. Potres od 18. II. 1910. Prema novinskim vijestima osjetio se na Kreti. Prema podacima postaja Hamburg, Beč, Graz, Zagreb, Moncalieri i Valle di Pompei mogao bi biti epicentar od prilike u $36^{\circ} 55' N$ i $23^{\circ} 45' E$ u egejskom moru u udaljenosti od 1265 km od Zagreba.

Očitane faze reducirane na epicentar daju:

	h	m	s		m	s		h	m	s
P	5	11	59	—	2	47	=	5	09	12
R_sP	—	12	57	—	3	41	=	—	—	16
R_sP_2S	—	13	28	—	4	26	=	—	—	02
S	—	14	02	—	5	05	=	—	08	57
$R_sS = eM$	—	15	10	—	6	22	=	—	08	48

Faze P i R_sP odgovaraju poprijeko epicentralnom vremenu, izvedenom iz svih ostalih postaja, t. j. 5 h 09 m 13 s. Sve ostale faze su prerano, što bi govorilo zato, da je epicentar nešto predaleko.

2. Potres od 23. II. 1910. Epicentar nepoznat, vjerojatno u Bugarskoj. Udaljenost, određena po krivuljama vremena, jest 700 km.

	h	m	s					
P	7	53	$\frac{46}{55}$	—	1	35	=	$\left\{ \begin{array}{l} 7 \ 52 \ 11 \text{ (nesigurno)} \\ - \ - \ 20 \text{ (siguran početak)} \end{array} \right.$
$\bar{P}$ ili $R_1\bar{P}$	—	54	27	—	2	02	=	— — 25
e	—	54	56	—				(nepoznato)
$R_s\bar{P}_2\bar{S}$	—	55	01	—	2	39	=	— — 22
S	—	55	17	—	2	54	=	— — 24
$R_s\bar{P}\bar{S}_2?$	—	55	28	—	3	17	=	— — 11
$eM = \bar{S}$	—	55	53	—	3	31	=	— — 22

Očitane faze podudaraju se međusobno vrlo dobro, ako izuzmemo nesigurni početak.

3. Potres od 17. III. 1910. Epicentar nepoznat. Iz bilježaka Sarajeva i Zagreba čini se, da bi imao biti u Dalmaciji. Udaljenost od Zagreba 333 km.

	h	m	s		m	s		h	m	s
P	7	33	15	—	0	47		7	32	28
$\bar{P}$	—	—	28	—	0	56	=	—	—	32
R_sP_2S	—	—	43	—	1	16	=	—	—	27
$eM = \bar{S}$	—	34	12	—	1	42	=	—	—	30

Sve se faze međusobno vrlo dobro podudaraju.

4. Potres od 18. III. 1910. Prema Zagrebu, Sarajevu, Poli i Ljubljani epicentar u Dalmaciji od prilike u $42^\circ 54' N$ i $16^\circ 50' E$. Udaljenost od Zagreba oko 330 km, dakle vjerojatno isti epicentar kao i kod prijašnjih potresa.

	h	m	s		m	s		h	m	s
P	20	22	23	—	0	47	=	20	21	36
$\bar{P}$	—	—	33	—	0	56	=	—	—	37
S	—	23	05	—	1	27	=	—	—	38
$eM = \bar{S}$	—	—	16	—	1	38	=	—	—	38

Sve se faze međusobno vrlo dobro podudaraju.

5. Potres od 6. IV. 1910. Epicentar nepoznat, približna udaljenost 650 km.

	h m s				h m s		
P	1	38	48	—	1	29	== 1 37 19
$\bar{P}$	—	39	02	—	1	51	== — — 13
e	—	—	28	—	—	—	(nepoznato)
$R_s\bar{P}_2S$	—	—	47	—	2	28	== — — 19
$\bar{S}$	—	40	01	—	2	42	== — — 19
$eM = \bar{S}$	—	—	40	—	3	16	== — — 24

$\bar{P}$ je nešto preuranjeno, a $\bar{S}$ nešto 'prekasno; ostale se faze potpuno podudaraju.

6. Potres od 2. V. 1910. Epicentar nepoznat, približna udaljenost 850 km.

	h m s				m s			h m s		
P	21	22	56	±	—	1	54	==	21	21 02 ±
R_sP	—	23	22	—	—	2	29	==	—	20 53
$R_s\bar{P}_2S$	—	24	03	—	—	3	05	==	—	— 58
R_sP_2S	—	24	18	—	—	3	15	==	—	21 03
$\bar{S}$	—	—	32	—	—	3	30	==	—	21 02
$eM = R_s\bar{S}$	—	25	14	—	—	4	17	==	—	20 57

Prvi udarac pada u znak minute. Sve se faze dobro podudaraju. Obje se grane od R_sP_2S pokazuju.

7. Potres 7. VI. 1910. Epicentar po vijesti dobivenoj od »R. uffizio centrale di meteorologia« u Rimu od prilike u $40^0 55' N$ i $15^0 27' E$. Udaljenost od Zagreba 550 km.

	h m s				m s			h m s		
P	2	05	14	—	1	16	==	2	03	58
$\bar{P}$	—	—	34	—	1	35	==	—	03	59 NE Komp.
			35	—				—	04	00 NW Komp.
$R_s\bar{P}_2S$	—	06	10	—	2	05	==	—	04	05
			11	—				—		06
$\bar{S}$	—	—	19	—	2	20	==	—	03	59
$iM = R_sS$	—	—	56	—	2	45	==	—	04	11

Iz P, $\bar{P}$ i S slijedi epicentralno vrijeme od 2 h 03 m 59 s. $R_s\bar{P}_2S$ i iM jesu malo zakašnjeni. Kad bi uzeli udaljenost od 560 km, još bi se bolje sve zajedno podudaralo.

Ispitao sam i publikacije onih zavoda, koji su do sada poslali svoja izvješća, te sam našao kao epicentralno vrijeme iz

	h m s		
Sarajevo — Udalj. 445 km — EV	2	03	57
Pola — Udalj. 460 km — EV	—	03	59
Trst — Udalj. 550 km — EV	—	03	57
Ljubljana — Udalj. 580 km — EV	—	03	57
Graz — Udalj. 675 km — EV	—	04	04
Beč — Udalj. 800 km — EV	—	03	58
Hamburg — Udalj. 1470 km — EV	—	04	08

Epicentralno vrijeme određeno iz zagrebačkih podataka imalo bi biti sigurno na ± 1 sek. U slici 3. označene su pojedine faze zagrebačkog diagrama.

8. Potres od 13. VII. 1910. Približna udaljenost 380 km, epicentar u Tirolu vjerojatno nešto na zapad od Innsbrucka.

	h	m	s		m	s		h	m	s
P	8	33	23	—	0	54	=	8	32	29
$\bar{P}$	—	—	33	—	1	04	=	—	—	29
$R_s P_2 S$	—	—	$\frac{42}{45}$	—	1	27	=	—	—	$\frac{15}{18}$
S	—	34	07	—	1	40	=	—	—	27
$iM = \bar{S}$	—	—	24	—	1	54	=	—	—	30

Izim $R_s \bar{P}_2 \bar{S}$ podudaraju se ostale faze posvema.

9. Potres od 1. VIII. 1910. Epicentar nepoznat, približna udaljenost 475 km.

	h	m	s		m	s		h	m	s
P	10	42	03	—	1	06	=	10	40	57
$\bar{P}$	—	—	23	—	1	22	=	—	41	01
S	—	—	57 $\pm$	—	2	01	=	—	40	56 $\pm$
$eM = \bar{S}$	—	43	19	—	2	23	=	—	—	56

S padaju u znak minute. Sve se faze međusobno vrlo dobro podudaraju.

10. Potres od 2. VIII. 1910. Epicentar nepoznat, približna udaljenost 1275 km.

	h	m	s		m	s		s	m	s
P	2	35	53	—	2	48	=	2	33	05
$R_s P_2 S$	—	37	30	—	4	28	=	—	—	02
e	—	—	45	—	—	—	—	—	—	nepoznato
e	—	—	54	—	—	—	—	—	—	nepoznato
S	—	38	10	—	5	07	=	—	—	03
$eM = R_s \bar{S}$	—	39	32	—	6	26	=	—	—	06

Sve se faze podudaraju. Obje nepoznate faze su vjerojatno više refleksije.

11. Potres od 30. VIII. 1910. Po novinskim podacima osjetio se u Reggio di Calabria. Približna udaljenost 900 km.

	h	m	s		m	s		h	m	s
P	2	12	08	—	2	01	=	2	10	07
$R_s P$	—	—	48	—	2	38	=	—	—	10
S	—	13	$\frac{52}{51}$	—	3	41	=	—	10	$\frac{11}{10}$
? e	—	14	24							
$eM = R_s \bar{S}$	—	14	41	—	4	32	=	—	10	09

Sve se faze vrlo dobro podudaraju.

12 Potres od 31. VIII. 1910. Epicentar nepoznat, približna udaljenost 375 km.

	h	m	s		m	s		h	m	s
P	18	58	23	—	0	53	=	18	57	30
$\bar{P}$	—	—	35	—	1	04	=	—	—	31
$R_s P_2 S$	—	—	52	—	1	26	=	—	—	26
$R_i P S$	—	59	05	—	1	33	=	—	—	32
$R_s P S_2$	—	—	$\frac{19}{16}$	—	1	47	=	—	—	$\frac{32}{29}$
$eM = \bar{S}$	—	—	$\frac{22}{24}$	—	1	53	=	—	—	$\frac{29}{31}$

Sve se faze vrlo dobro podudaraju, S se ne mogu naći u diagramu.

13. Potres od 11. X. 1910. Po novinskim podacima osjetio se u jugozapadnoj Ugarskoj (Deva, Orszova). Približna udaljenost 550 km.

	h	m	s		m	s		h	m	s
P	11	53	25	—	1	16	=	11	52	09
$\bar{P}$	—	—	48	—	1	35	=	—	—	13
? e	—	54	02	—	—	—	—	—	—	—
$R_s P_2 S$	—	—	11	—	2	04	=	—	—	06
S	—	—	32	—	2	20	=	—	—	12
$cM = \bar{S}$	—	—	53	—	2	45	=	—	—	08

Srednje je epicentralno vrijeme 11 s 52 m 10 s $\pm$ 2 s. Faza iza $\bar{P}$ je vjerojatno neka viša refleksija.

14. Potres od 25. VIII. 1909. Epicentar kod Siene. Udaljenost od Zagreba 470 km (Slika 4. a, b)

	h	m	s		m	s		h	m	s		
P	0	23	08	$\pm$	—	1	05	=	0	22	03	$\pm$ (Znak minute)
$\bar{P}$	—	—	24	—	—	1	21	—	—	03		
$\bar{S}$	—	24	26	—	—	2	21	=	—	—	05	

K ovim potresima dodajem još čitanje vogtlandskog potresa od 3. XI. 1908., po slici objelodanjenoj u »Seismische Registrierungen in Göttingen im Jahre 1907. (Nachrichten der k. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. 1909) Fig III.« Epicentralna udaljenost označena je sa 250 km

	h	m	s		m	s		h	m	s
P	13	11	29	—	0	40	=	13	10	49
$R_s P_2 S$	—	—	44	—	—	59	=	—	—	45
$R_i P S$	—	—	52	—	1	03	=	—	—	49
S	—	—	55	—	1	08	=	—	—	47
$\bar{S}$	—	—	57	—	1	12	=	—	—	45
$eM = R_i \bar{S}$	—	—	12	00	1	14	=	—	—	46

Srednje epicen. vrijeme 13 10 47 $\pm$ 1

Ovaj je potres jedini meni poznat, kod kojega dolazi S već u udaljenosti od 250 km. Vrijeme od I m 08 sek. leži tačno na produljenju krivulje za S do 250 km.

Iz navedenih primjera vidi se, da refleksije doista postoje, te da se mogu i naći u valjanim slikama potresa. Među 300 i 700 km nalazimo ju u svim slikama potresa.

Mnogo se laglje nađu refleksije kod slabih potresa, nego li kod jakih, jer kod slabih potresa dolaze do izražaja samo prve refleksije.

IX.

Određenje udaljenosti potresnog ognjišta.

Da se odredi udaljenost potresnog ognjišta blizih potresa, postavljene su posljednjih decenija razne empiričke formule. Ako je t vrijeme, u koje je ubilježen na nekoj postaji prvi udarac, a t' vrijeme, u koje je ubilježen početak maksimalne faze, te a i b dvije od iskustva određene konstante, to glase dvije empiričke formule:

$$D = a(t' - t) + b$$

$$D = a(t' - t)$$

Prva od ovih formula zahtijeva, da slika potresa do udaljenosti $D = b$ nema prethodne faze, što je najmanje dvojbeno. Druga se formula naprotiv temelji na pretpostavci, da je omjer vremena puta od $\bar{P}$ i $\bar{S}$ prema VI. I. konstantan.

Ako je τ_0 vrijeme, u koje je počeo potres u ognjištu, t'_1 i t'_2 početna vremena potresa na dvim postajama u udaljenostima D_1 i D_2 , i isto tako t''_1 i t''_2 početna vremena maksimalnih faza; te ako se dozvoli, da su $\bar{S}$ počeci maksimalnih faza, onda vrijede omjeri:

$$\frac{t''_2 - \tau_0}{t'_2 - \tau_0} = \frac{t''_1 - \tau_0}{t'_1 - \tau_0} = m$$

Iz ove jednadžbe slijedi:

$$\tau_0 = \frac{t'_1 t''_2 - t''_1 t'_2}{(t''_2 - t'_2) - (t''_1 - t'_1)}$$

$$\text{ili } \tau_0 = \frac{mt'_1 - t''_1}{m - 1} = \frac{mt'_2 - t''_2}{m - 1}$$

Ako je ova pretpostavka valjana, to možemo po ovim formulama za udaljenosti do 700 km iz podataka jedne il

dvije postaje naći vrijeme, kada je potres počeo, ako su nam poznata vremena za $\bar{P}$ i $\bar{S}$.

Ako nadalje uzmemo neke srednje brzine za $\bar{P}$ i $\bar{S}$, što je za približan račun uvijek dozvoljeno, to će biti:

$$D = v_1 (t'_1 - \tau_0) \text{ i } D = v_2 (t''_1 - \tau_0)$$

gdje su v_1 i v_2 brzine od $\bar{P}$ i $\bar{S}$. Ako se zamijeni u svaku od ovih jednačba za τ_0 prije izračunana vrijednost, onda se dobije:

$$D = \frac{v_1}{m-1} (t''_1 - t'_1)$$

$$\text{ili } D = \frac{mv_2}{m-1} (t''_1 - t'_1)$$

Za $m = 1.71$, a $v_1 = 5.60$ je

$$D = 7.9 (t''_1 - t'_1)$$

koja vrijednost vrijedi za udaljenosti do 700 km.

D je udaljenost ognjišta, a ne epicentra. Ali pošto su za udaljenije postaje obje udaljenosti gotovo jednake, to se može ova formula upotrebljavati i za izračunavanje udaljenosti epicentra. Iz krivulja vremena za $\bar{P}$ i $\bar{S}$ dobivamo za $t'' - t'$ kod udaljenosti od 100 km 13 sekunda, kod 300 km 38 sek., a kod 600 km 78 sek. Izračunane udaljenosti jesu 103 km, 300 km i 600 km. Na isti bi se način mogle upotrebljavati u istu svrhu i normalne P i S . Pošto ali za njih nije m konstantno, to ne će izračunane vrijednosti biti tako tačne. Ako je $t'' - t'$ razlika vremena, u koje dospiju S i P na neku postaju, bit će poprijeko

$$D = 9.0 (t'' - t')$$

Za 300 km udaljenosti dobiva se tim računom za 40 km prevelika udaljenost, a kod 1500 km udaljenosti za 60 km premalena udaljenost.

Obje jednačbe koli za τ_0 toli za D su neovisne o ništici vremena t. j. od onog časa, u koji se počne brojiti vrijeme. Pogriješka vremena i udaljenosti, koja se dobije ovim formulama ovisi o većoj ili manjoj tačnosti, kojom su određena vremena obih faza. Premalena vrijednost za t' daje premalenu vrijednost za τ_0 , a preveliku udaljenost. Obratno vrijedi za t'' .

Pošto je do sada bila nepoznata razlika među P i $\bar{P}$, to se je uzimala sad jedna sad druga od ovih faza, te se je tim načinom dobila posve različita udaljenost. Na isti način je veoma teško tačno odrediti eM , jer se ova faza vrlo rado zamjenjuje

s kojom god od glavnih ili nuzgrednih faza, koja pokazuje slučajno osobito veliki otklon na seizmogramu, a to je još jedan daljni uzrok, da se udaljenost krivo izračuna

Najbolja metoda određivanja udaljenosti sastoji se u tom, da se sve očitane faze sravne s krivuljama vremena. Ako očitamo kod blizih potresa sve vidljive jače otklone, te razlike vremena među tim otklonima i prvim otklonom nanesimo na ravnalo, razdijeljen na milimetre, n pr. s kredom, te ravnalo tako dugo pomičemo po krivuljama vremena, dok se sve ili barem većina očitanih faza ne podudaraju s krivuljama vremena, onda dobijemo najvjerojatniju udaljenost. Sravnitbom pojedinih očitanih faza s onima, što su narisane, možemo često opaziti, da smo jednu ili više faza krivo označili.

X.

Utjecaj dubine ognjišta potresa na pojedine faze.

1. Individualne primae.

Dubina ognjišta mijenja koordinate φ i t tačke, u kojoj krivulja vremena imade svoju infleksiju, i udaljenost, do koje dopre posljednja zraka, koja se dotakne donje plohe.

Ako je ognjište potresa na površini zemlje, onda može dospjeti posljednja zraka za 141.6 sek. do udaljenosti od 790 km. Sravnimo li ovo vrijeme s onim, što ga dobijemo iz krivulje vremena za 25 km, ako ju produljimo do 790 km, to vidimo, da zraka, koja polazi od 0 km dubine, dođe od prilike 6 sek. kasnije na površinu zemlje, nego li bi došla ona iz 25 km. Čitava krivulja vremena od $\bar{P}$ za dubinu od 0 km je viša od one za 25 km dubine.

Ako je ognjište u dubini od 50 km, to dođe posljednja zraka samo za 395 km udaljenosti za 70.8 sek. Budući da ona zraka, koja iz te dubine ide osovno u vis do epicentra, treba za taj put 8.9 sek., to bi bilo vrijeme, što ga treba zraka za udaljenost od 395 km, računano od epicentra, samo 61.9 sek. Kod dubine od 25 km treba zraka za isti put 68 sek. Krivulja vremena za dubinu od 50 km je dakle niža od one za dubinu od 25 km.

Da je ognjište potresa u donjem sloju zemlje, onda ne bi potres imao ni $\bar{P}$, ali ni $\bar{S}$, bio bi dakle potres bez maksimalne faze. Ne znam, da li se je ikada takav potres opazio.

Prethodno moram pretpostaviti, da u donjem sloju zemlje nema seizmičke djelatnosti.

Epicentralna udaljenost točke infleksije krivulje od $\bar{P}$ za neke određene dubine ognjišta jest slijedeća:

Dubina ognjišta km	Km	Dubina ognjišta km	Km	Dubina ognjišta km	Km
0	0	20	251	40	354
5	125	25	280	45	375
10	174	30	307	50	395
15	217	35	331		

Kod malene dubine mijenja se udaljenost točke infleksije od prilike za 25 km, za svaki km promjene dubine. Kod velikih je dubina ta promjena prilično malena. Kod dubine od 25 km odgovara svakom km promjene dubine promjena udaljenosti tačke infleksije od 6 km. Pošto imamo kod našeg potresa u udaljenosti tačke infleksije nesigurnost od prilike od 10 km, to odatle slijedi, da je izračunana dubina potresnog ognjišta od prilike ± 2 km nesigurna. Nesigurnost dubine vodi za sobom nesigurnost mjere, po kojoj brzina dubinom raste za od prilike ± 0.3 .

2. Normalne primae.

Kod dubine ognjišta od 0 km bit će put zrake u gornjem sloju do udaljenosti od 1600 km od prilike za 20 km dulji, a vrijeme za 3.5 sek. veće, nego li kod dubine od 25 km. Ukupni put za isti put u donjem sloju bit će za 20 km veći. Duljini od 20 km odgovara, po krivulji vremena, vrijeme od 3 sek. Zraka će dakle doći oko 0.5 sek. kasnije na površinu zemlje. Ako k tome pribrojimo epicentralno vrijeme od 4.5 sek, onda će krivulja vremena od P biti ukupno za 5 sek. viša. Kod dubine potresnog ognjišta od 50 km bila bi krivulja vremena od prilike za isto toliko niža.

Ako iz različitih potresa narišemo zajedničku krivulju vremena, onda reduciramo time sve potrese na zajedničku poprečnu dubinu ognjišta.

Kao što se dubinom mijenjaju krivulje vremena za P i $\bar{P}$, tako se mijenjaju krivulje za S i $\bar{S}$. Njihova promjena je 1.7 puta veća, nego li promjena glavnih faza. To je također jedan od uzroka, zašto se vremena za S slabije slažu s poprečnom krivuljom vremena, nego li vremena za P.

XI.

Konačna pripomena.

Iz navedenog slijedi, da jednađbe (4) i (9) zadovoljavaju svim vremenima unutar ove granice tačnosti, koja se danas postići može, te da jednađba $c = c_0 r^k$ predstavlja posve dobro promjenu brzine valova potresa s dubinom u prvom približenju. Ova jednađba vrijedi dakako samo za malene razlike dubine, jer u unutrašnjost zemlje možemo i onako samo postupice prodirati.

Da konačno riješimo problem rasprostiranja valova, trebat će, da se obradi još mnogi potres. Ali ove obradbe ne će imati velike vrijednosti, ako ne budu sve postaje bolje pazile na točnost vremena, nego li što to još i danas biva.

Dozvoljavam si, da umolim sve postaje:

1. da drže brzinu dapira najmanje na $15 \frac{m}{m}$ po minuti, da se mogu svi jači otkloni čim laglje raspoznati.

2. da očitaju kod blizih potresa do 2000 km udaljenost od epicentra ne samo glavne faze, nego i sve ostale vidljive jače otklone, te da paze na eventualnu promjenu periode.

Na taj će se način moći narisati krivulje vremena ne samo glavnih faza, nego i jačih nuzgrednih faza, te će se iz toga moći zaključivati na način, kako se valovi rasprostiru u gornjem sloju zemlje.

Ova se radnja neka uzme kao prvi pokus i kao takav neka se i prosuđuje.

A. Modorovič: ~~Zagreb~~ ~~Beobachtungen~~
~~Legitimitäten eines Bebens~~
~~(seismischer primärer)~~



International
Seismological
Centre

Das Beben vom 8. X. 1909.

Vorwort.

Am 8. Oktober 1909 um 9 Uhr 59 m. M. G. Z. verspürte man in Zagreb ein sehr starkes Beben, dem eine stattliche Anzahl von Schornsteinen in Zagreb zum Opfer fiel, sonst aber nicht viel Schaden verursachte. Telegraphische und telephonische Nachrichten belehrten uns aber bald, dass das Beben in Süden von Zagreb besonders im Tale der Kulpa ziemlich grossen Schaden anrichtete, ja sogar Opfer an Menschenleben forderte.

Eine Aufforderung an Gemeindeämter, Volksschulen, Behörden und Private lieferte soviel makroseismisches Material, dass man daraus die Lage des Epizentrums und die Grösse des erschütterten Gebietes genau bestimmen konnte.

Alle europäische seismische Stationen stellten mir die Ablesungen ihrer Instrumente bereitwilligst zu Verfügung, und manche, an welche ich mich mit nachträglichen Fragen wendete, gaben mir jede mögliche Auskunft mit grösster Zuvorkommenheit, wofür ich Ihnen allen meinen besten Dank sage.

Die grosse Zahl der seismischen Stationen innerhalb 800 km vom Epizentrum und die Güte ihrer Beobachtungen weckten in mir die Hoffnung auf, einen tieferen Einblick in den Mechanismus der Ausbreitung der Erdbebenwellen machen zu können. Die Arbeiten mehrerer Forscher, insbesondere die Arbeiten E. Wiecherts und seiner Schüler, ergaben sehr verlässliche Laufzeitkurven der einzelnen Phasen des Bebens von 1000 km bis über 10.000 km Entfernung vom Epizentrum. Die Kurven vom Epizentrum bis 1000 km lassen aber manche Änderung und Verbesserung zu, da das bisherige Material für kleine Entfernungen vom Epizentrum noch sehr spärlich ist. Diesem Mangel möchte diese Arbeit tunlichst abhelfen.

Die grosse Menge des makroseismischen Materials sowie die Unmöglichkeit einer schnellen Ausarbeitung des mikroseis-

mischen Materials ergab die Notwendigkeit den IV. (seismischen) Teil des Jahrbuches für 1909 in zwei Abschnitte zu teilen. Der vorliegende 1. Abschnitt enthält die Ausarbeitung des mikro-seismischen Materials des Bebens vom 8. X. und der Nachbeben, der 2. Abschnitt wird das makroseismische Material des Jahres 1909 sowie die Registrierungen der Seismographen in Zagreb enthalten und zu Anfang des Jahres 1911 erscheinen.

A. Mohorovičić.

I.

Einleitung.

Die modernen empfindlichen Seismographen geben an jeder Station ein Bild der Bewegung der Erde in der unmittelbaren Umgebung des Instrumentes, wenn diese Umgebung von den Wellen eines Bebens in Bewegung gesetzt wird.

A. Vergleicht man die Bilder desselben Bebens, welche an zwei vom Herde des Bebens gleich entfernten Orten registriert wurden, so sind diese Bilder in ihren Hauptzügen gleich. Erst eine Vergleichung der Einzelheiten zeigt, dass die beiden Bilder nicht völlig übereinstimmen. Es giebt hauptsächlich zwei Ursachen dieser Ungleichheit: Das verschiedene Vermögen der beiden Instrumente die Bewegung der Erde, am Orte ihrer Aufstellung, treu wiederzugeben und die eventuelle faktische Verschiedenheit der Bewegung. Man könnte noch eine dritte Ursache anführen, nämlich die verschiedene Form der Wellen, welche vom Herde des Bebens nach verschiedene Richtungen ausgestrahlt werden. Darüber wissen wir aber zur Zeit noch gar nichts, da uns auch die Mehrzahl der ganz gleichen Teile der beiden Bilder noch nicht ganz klar ist. Auch die Zeiten des Anfanges der beiden Bilder, sowie des Anfanges der gleichen Züge in den beiden Bildern, sind nahezu gleich. Die Zeitdifferenzen können verschiedene Ursachen haben, welche wir hier etwas eingehender besprechen müssen:¹⁾

I. Der Uhrfehler. Jede gute seismische Station besitzt gewöhnlich drei Uhrwerke, welche alle zu Fehlern Anlass geben können.

a) Die Hauptuhr, als den genauesten Zeitmesser. Der Stand und Gang dieser Uhr wird entweder an der Station selbst durch astronomische Beobachtungen bestimmt, oder die Uhr wird vom Zeit zu Zeit mit einer anderen Uhr im Orte

¹⁾ Man sehe über diesen Gegenstand: H. Benndorf-Beiträge zur rationalen Seismometrie I. Beiträge zur Geophysik. Bd. X. H. 1.

selbst oder mit einer Uhr in einem anderen Orte verglichen. Die zweite Art der Stand- und Gangbestimmung der Hauptuhr gibt zu so vielen Fehlerquellen Anlass, dass man nie sicher ist korrekte Zeit zu haben, wenn die Hauptuhr selbst nicht so genau ist, dass man grössere Fehler der Vergleichen durch die Uhr selbst gleich entdecken kann. Der Fehler eines solchen Vergleiches kann bis zu 10 Sekunden und mehr betragen.

b) Die Kontaktuhr welche auf dem Bebenbilde die einzelnen Minutenmarken veranlasst. Es gibt Stationen wo die Hauptuhr zugleich Kontaktuhr ist, aber gewöhnlich besitzt die Station eine weniger genaue Uhr, welche Minutenzeichen gibt. Diese Uhr wird gewöhnlich täglich mit der Hauptuhr verglichen. Dieser Vergleich gibt auch zu Fehlern Anlass, und der mehr oder weniger ungleichförmige Gang der Uhr während der Zeit zwischen zwei Vergleichen mit der Hauptuhr ergibt fehlerhafte Minutenmarken.

Bei jenen Instrumenten, wo die Minutenmarken von einem seitwärts liegenden Schreibstifte gemacht werden, ist die Gefahr eines groben Zeitfehlers dadurch gegeben, dass die Indikatorparallaxe stättigen Änderungen unterworfen ist. Jede kleinste Korrektion des Instrumentes ändert die Parallaxe.

c) Die Bewegung des Papiers auf dem Seismographen. Der Mechanismus, welcher das Papier in gleichmässiger Bewegung erhalten soll, ist gewöhnlich sehr primitiv, so, dass die einzelnen Minuten eine ziemlich grosse Ungleichheit zeigen und zu weiteren Fehlern Anlass geben. Besonders störend tritt die Ungleichförmigkeit des Ganges hervor, wenn zufällig einige Minutenmarken ausfallen. An solcher Stelle kann man die Zeit überhaupt nicht mit Sicherheit bestimmen. Fallen aber nur eine Stunde lang die Minutenmarken aus, dann kann ein in diese Stunde fallendes Beben überhaupt nicht verwertet werden.

d) Die Geschwindigkeit des Papiers, d. i. die zu jeder Minute gehörige Länge des Bildes, ist für die richtige Zeitbestimmung wichtig. Ist die Geschwindigkeit zu klein, so kann man kurze Zeitabschnitte gar nicht unterscheiden. Ebenso kann man kurze Perioden der Wellen nicht bestimmen. Bei zu grosser Geschwindigkeit kann man den Anfang des Bildes nicht bestimmen, wenn der erste Einsatz nicht stark ist.



Für Nahbeben ist eine grössere Papiergeschwindigkeit nötig als für Fernbeben. Wellenperioden vom 0.5—1 Sek. kann man gut bestimmen wenn die Geschwindigkeit des Papiers nicht unter $18\frac{m}{m}$ bis $20\frac{m}{m}$ per Minute herabsinkt. Für starke Beben ist auch diese Geschwindigkeit zu klein. Die Papiergeschwindigkeit muss sich ferner nach der Empfindlichkeit des Instrumentes richten d. h. nach der scheinbaren Vergrösserung der wahren Bewegung der Erde. Wenig empfindliche Instrumente vertragen keine zu grosse Geschwindigkeit wenn sie nicht lediglich zur Aufzeichnung starker Beben bestimmt sind. Sehr empfindliche Instrumente verlangen dagegen eine sehr grosse Geschwindigkeit, damit alle Einzelheiten des Bildes verwertet werden können.

2. Zufällige Zeitfehler. Ein sonst guter Einsatz kann mangelhaft abgelesen werden oder ungeübten Personen zur Ablesung übergeben werden. Zu einer guten Ablesung kann weiter der Uhrstand falsch angebracht sein. Eine gut bestimmte Zeit kann falsch abgeschrieben werden u. s. w. Dazu gesellen sich noch grobe Fehler, welche gar nicht entdeckt werden können, zum Beispiel Minutenfehler in einer Phase, Druckfehler u. s. w.

3. Die Unbestimmtheit des Anfanges des Bebens und seiner einzelnen Teile.

Der Anfang des Bebenbildes kann entweder ein scharfer Einsatz sein wo die Schreibfeder plötzlich aus der Ruhelage geworfen wird, oder ein allmähliches Auftauchen aus der Ruhelage. Im ersten Falle ist der Zeitpunkt leicht genau zu bestimmen, im zweiten dagegen hängt der Zeitpunkt der Sichtbarkeit der ersten Welle von der Vergrösserung des Instrumentes und von der Reibung ab. Wenig empfindliche Instrumente sowie Instrumente mit grosser Reibung werden den Anfang meistens zu spät angeben.

4. Die mikroseismische und die lokale Unruhe können den Anfang eines Bebenbildes so verunstalten und verwaschen, dass man ihn überhaupt nicht feststellen kann, oder dass man irgend einen stärkeren Einsatz der Unruhe als den Anfang des Bebens annimmt. Besonders störend ist die Unruhe des Bodens, wenn sie zufällig nahe dieselbe Periode besitzt wie der Anfang des Bebens. Dies trifft im Winter sehr oft für Fernbeben zu. — Die lokale kurz-

periodische Unruhe ist dagegen bei Nabbeben sehr störend.

5. Die möglicherweise ungleichförmige Ausbreitung der Bebenwellen von dem Erdbebenherde nach verschiedenen Seiten (Azimuten)

In der letzten Zeit wurden darüber mehrere Aufsätze veröffentlicht. Ich glaube aber, dass man heute noch davon gar nicht sprechen kann, da erstens die mittleren Zustände noch nicht mit der nötigen Genauigkeit bestimmt sind, und zweitens die Zeitfehler noch so gross sind, dass die Angaben der Mehrzahl der Stationen einfach unbrauchbar werden.

Es gibt zur Zeit seismische Stationen erster und zweiter Ordnung. Die Stationen erster Ordnung sind in der Regel mit erstklasigen Uhren und ebensolchen Instrumenten ausgerüstet. Die Stationen zweiter Ordnung haben weniger empfindliche, doch für den Zweck genügend gute Instrumente, aber in der Regel sehr schlechte Uhren. Die Zeit wird dagegen nur an wenigen Stationen erster Ordnung selbstständig bestimmt. Eine Station erster Ordnung müsste nicht nur eine Hauptuhr sondern auch eine Kontaktuhr haben, welche beide jederzeit bis auf ± 0.5 Sek. genau sind. Es gibt aber genug Stationen welche einen Uhrfehler von ± 3 bis 4 Sek. zulassen.

Die Stationen II. Ordnung müssten erstklasige Uhren haben wie die Stationen I. Ordnung sonst können ihre Angaben zu falschen Schlüssen führen. Als ich die Angaben aller Stationen, die ich in dieser Arbeit verwerten wollte, mit den Mittelwerten aus den Angaben der Stationen vom besten Rufe verglich, konnte ich mich überzeugen, dass die Abweichungen der guten Stationen vom Mittel so klein sind, dass sie innerhalb des wahrscheinlichen Fehlers fallen, welcher zur Zeit zugelassen werden muss, nämlich ± 4 Sek. Alle Stationen deren mittlere Abweichung diese Grenze überschritt mussten fortgelassen werden. Wenn die besten Forscher eine Genauigkeit von ± 2 Sek. oder gar ± 1 Sek. verlangen, so ist das zur Zeit nur ein »pium desiderium« dem nur wenige Stationen in Europa entsprechen.

Es wäre anzuraten dass man entweder die Stationen II. Ordnung abschaffe, wo sie vom Staate organisiert sind, oder so reorganisiere, dass ihre Angaben auch verwertet werden können. Auch für rein statistische Zwecke sind solche Sta-

tionen ungenügend. Ein guter makroseismischer Beobachter wird mehr wirklich stattgefundene Beben aufzeichnen als ein Instrument II. Klasse. Nur der 1000 kg Pendel war im Stande alle Beben aufzuzeichnen, welche nach dem Beben von 8. X. 1909 im Epizentralgebiete, also nur 40 km weit von Zagreb, von den Beobachtern verspürt wurden. Kein von den Instrumenten aufgezeichnetes Beben konnte gefunden werden, das nicht wenigstens ein Beobachter unaufgefordert gemeldet hätte. Die schwächeren Instrumente liessen eine Menge dieser Beben aus.

B) Vergleicht man die Bilder desselben Bebens, welche an zwei Stationen, mit Instrumenten von gleichem Typus und nahezu gleicher Empfindlichkeit, aber in verschiedener Entfernung vom Herde des Bebens, gewonnen wurden, dann sieht man, dass die beiden Bilder ähnlich sind, nur ist das Bild an der entfernteren Station zeitlich länger und später.

Das Bild eines gut definierten Bebens besteht aus zwei Teilen: dem Vorbeben und dem Hauptbeben.

Die Dauer des Vorbebens ist um so grösser, je grösser die Entfernung des Herdes von der Station ist. Die Dauer des Hauptbebens hängt von der Entfernung des Herdes und von der Stärke des Bebens am Herde ab. Ob auch ein Seismograph an der Oberfläche der Erde, genau oder nahezu senkrecht über dem Bebenherde, den wir uns in nicht zu grosser Tiefe denken — im Epizentrum — ein Vorbeben aufzeichnen würde ist noch nicht entschieden.

Das Vorbeben fängt in kleiner Entfernung vom Herde mit Wellen von kurzer Periode an. Bei schwachen Beben beträgt diese Periode nur Bruchteile einer Sekunde. Bei stärkeren Beben gesellen sich zu diesen Wellen noch solche von 1—2 Sekunden und bei sehr starken noch langsamere Wellen. Je grösser die Entfernung des Epizentrums ist, um so mehr treten die schnellen Wellen zurück und es bleiben nur die langsameren. Je stärker aber das Beben ist, in desto grösserer Entfernung kann man gewöhnlich die kurzen Wellen finden.

Das Vorbeben zerfällt wieder in zwei Hauptteile: das erste und das zweite Vorbeben. Das zweite Vorbeben fängt mit einem plötzlichen Anwachsen der Amplitude und einer Vergrösserung der Periode an. Gewöhnlich ist die mittlere Amplitude des zweiten Vorbebens grösser als die des ersten. Bei

den meisten stärkeren Beben sieht man wie bekannt, eine gewisse Ähnlichkeit der ersten paar Wellen der beiden Vorbeben.

Ausser dieser zwei Hauptphasen sieht man bei den stärkeren Beben noch mehrere Nebenphasen. Sie fangen entweder durch ein plötzliches Anwachsen der Amplitude oder eine Änderung der Periode an. Auch eine auffallende Ähnlichkeit ihrer ersten Wellen mit jenen des ersten Einsatzes ist oft sichtbar.

Zu Anfang der ersten Phase ist die Periode der Wellen am kürzesten. Im weiterem Verlaufe des Vorbebens gesellen sich zu diesen kurzen Wellen immer längere und stärkere und die kürzeren treten immer mehr zurück. Jede neue Phase bringt gewöhnlich auch neue Wellenarten mit, bis gegen das Ende des ganzen Vorbebens, sehr lange Wellen mit Perioden bis zu 30 und mehr Sekunden auftreten.

Das Hauptbeben beginnt mit einem mehr oder weniger plötzlichen Anwachsen der Amplitude und einer Verkürzung der Periode. Im Verlaufe der Maximalperiode sieht man periodische Änderungen der Amplitude, aber im Verhältnisse zu dem Vorbeben ziemlich kleine Änderungen der Periode. Verschiedene Maxima folgen auf einander, das erste oder eines der ersten ist am grössten und nach und nach treten immer schwächere auf, bis zuletzt die Bewegung aufhört und Ruhe eintritt.

Die Periode im Hauptbeben hängt von der Entfernung der Station vom Herde des Bebens ab. In der Nähe des Epizentrums treten gewöhnlich zu Anfang der Maximalphase Wellen von einer bis zwei Sekunden Periode auf. Je stärker das Beben ist desto längere Wellen gesellen sich zu diesen kurzen. Wächst die Entfernung vom Epizentrum, so wächst auch die Periode der Maximalphase, so dass sie in einer Entfernung von 90^0 und mehr auf etwa 18¹⁾ Sekunden anwächst. Bei stärkeren Beben kann man über diesen langen Wellen noch kürzere finden, wie sie sonst nur im Vorbeben vorkommen. Während des Verlaufes des Hauptbebens ändert sich die Periode so, dass sie zuerst bald kleiner bald grösser

¹⁾ C. Mainka — Seismometrische Beobachtungen in Strassburg i. E.
— Beiträge zur Geophysik Bd. X. H. 4.

wird um gegen Ende des Bebens bedeutend grösser als zu Anfang zu werden.

Die Genauigkeit der Bestimmung des Anfanges verschiedener Phasen ist verschieden gross. Am grössten ist die Genauigkeit des Anfanges des Bebens selbst. Der Anfang beider Vorbebens kann nur an solchen Stationen immer genau bestimmt werden, welche ein Instrument für die Aufzeichnung der vertikalen Komponente besitzen. Der Anfang des Hauptbebens ist sehr schwer genau zu bestimmen.

C) Das Problem der Ausbreitung der Erdbebenwellen ist in den Hauptzügen gelöst. Denkt man sich die Erde als einen aus konzentrischen Kugelschalen von homogenem Material bestehenden starren Körper, so wird jede plötzliche Änderung des Gleichgewichtes, an der Oberfläche oder in irgend einem Punkte des Erdinneren, zu zwei Systemen von elastischen Wellen Anlass geben, welche sich mit verschiedener Geschwindigkeit vom Herde der Disturbation nach allen Seiten ausbreiten. Da die Geschwindigkeit der Ausbreitung von der Oberfläche bis zu einer grossen Tiefe zunimmt, so wird der Weg eines jeden Stossstrahles eine nach oben konkave krumme Linie sein. Ebenso wird jeder Strahl, wenn er die Erdoberfläche trifft zu verschiedenen neuen Wellensystemen Anlass geben, welche sich teils längs der Oberfläche ausbreiten werden, teils reflektiert werden. Falls im Inneren der Erde eine kugelförmige Fläche, als Trennungsfläche zweier Medien vom merklich verschiedener Elasticität existiert, so werden an dieser Fläche durch Brechung und Reflexion wieder neue Wellensysteme entstehen.

Das erste Vorbeben besteht aus longitudinalen Wellen, welche durch das Erdinnere sich ausbreiten und teils direkt teils nach einer oder mehreren Reflexionen zu dem Instrumente gelangen. Das zweite Vorbeben besteht grösstenteils aus Transversalwellen, deren Geschwindigkeit sich zu jener der Longitudinalwellen etwa wie 1:1.8 verhält.

Das Hauptbeben sollte nach den derzeitigen Anschauungen aus Oberflächenwellen bestehen, welche im Epizentrum entstehen und sich längs der Oberfläche nach allen Seiten mit konstanter Geschwindigkeit ausbreiten. Dass bei dem Anlangen der Wellen aus dem Herde an die Oberfläche der Erde überall auch Oberflächenwellen entstehen müssen kann niemand be-

streiten, doch gegen die Annahme, dass nur die Oberflächenwellen die maximale Phase bedingen, kann man verschiedene Einwendungen vorbringen.

1. Bei jedem Beben entstehen Oberflächenwellen nicht nur im Epizentrum sondern überall. Die im Epizentrum entstandenen sind die stärksten, und je weiter vom Epizentrum desto schwächere Wellen entstehen. Eine nahe dem Epizentrum liegende Station könnte überhaupt kein Vorbeben haben, sondern die Amplitude müsste bei dem ersten Einsatze schon gross sein, dann rasch gleichmässig zu einem Maximum anwachsen und später langsam abnehmen. Dies ist aber nicht der Fall. Am Observatorium in Zagreb wurden einige Beben aus einer Epizentralentfernung von etwa 15 km registriert. Alle zeigen ein schönes Vorbeben von etwa 2—3 Sek. Dauer, dann ein plötzliches Anwachsen der Amplitude mit verschiedenen Maximis.

Fig. 1. zeigt das Bild eines Bebens vom Stubica in 15 km Entfernung von Zagreb.

Ein allmähliges Anwachsen der Amplitude von dem Auftauchen der ersten Wellen bis zum Maximum kann man nie beobachten. Auch bei entfernten Stationen müsste die Amplitude zuerst nur langsam, dann immer rascher bis zum Maximum anwachsen, denn nach und nach müssen sich zu den direkt aus dem Erdinneren kommenden Wellen Oberflächenwellen gesellen, welche aus nach und nach immer kleinerer Epizentralentfernung stammen, bis zuletzt solche Wellen einlangen, welche aus dem Epizentrum selbst kommen. In der Regel nimmt aber die Amplitude nach gewissen Zeitabschnitten sprungweise zu, um vor dem Maximum den grössten Sprung zu vollführen.

2. Besteht die Maximalphase nur oder grösstenteils aus Oberflächenwellen, so kann man die lange Dauer dieser Phase gar nicht deuten. Im Epizentrum dauert auch das stärkste Beben nur kurze Zeit und seine grösste Stärke höchstens einige Minuten selten aber länger. An einer entfernten Station dauert die Maximalphase des Hauptbebens oft eine ganze Stunde und mehr. Dies könnte man nur so deuten, dass aus dem Epizentrum Oberflächenwellen von verschiedener Geschwindigkeit ausgehen, so dass die langsameren immer später in der Station eintreffen. Ob eine solche Differenzierung der Geschwindigkeit möglich ist zweifle ich sehr.

3. Je weiter vom Epizentrum desto grösser ist die Periode der Maximalwellen. Auch diese Eigenschaft der Oberflächenwellen ist schwer zu deuten.

4. Geht die Oberflächenbewegung eine lange Strecke auf dem Grunde des Meeres, dann muss das Wasser eine so starke Dämpfung ausüben, dass die Oberflächenwellen bald vernichtet wären. An unseren europäischen Warten müssten wir dann einen grossen Unterschied beobachten zwischen Beben aus Ostasien, deren Oberflächenwellen nahezu ausschliesslich über dem Kontinente gekommen sind, und solchen aus Amerika oder gar aus dem Stillen Ozean, deren Wellen nahezu den ganzen Weg auf dem Grunde des Meeres gewandert sind.

II.

Das Epizentrum des Bebens vom 8. X. 1909.

Näheres über das Epizentralgebiet und die Ausbreitung dieses Bebens wird im II. Abschnitte mitgeteilt. Hier wird es genügen ein ungefähres Bild des Epizentralgebietes zu entwerfen.

Zur Bestimmung des Epizentrums wurden die hauptsächlich vorgekommenen Schäden in eine Karte eingetragen und Isoseisten gezeichnet. Eine der charakteristischen Isoseiten ergibt das Gebiet in welchem Schornsteine eingestürzt sind. Dieses Gebiet erstreckt sich nahezu symetrisch um eine Axe, welche bei Doberlin an der Una ($45^{\circ} 09' N$ $16^{\circ} 29' E$) anfangend nahezu geradlinig bis nach Farkašić ($(45^{\circ} 28' N, 16^{\circ} 06')$) an der Kulpa geht. Von hier aus geht sie längs der Kulpa bis nach Lasinja ($45^{\circ} 33' N$ $15^{\circ} 51' E$) wo sie einen Knick bildet und nach N etwas zu W weiter zieht um im Westen des zagreber Gebirges aufzuhören. In etwa $45^{\circ} 44' N$ und $15^{\circ} 48' E$ zweigt sich ein kurzer Ast gegen E bis nach Zagreb ab. Die grösste Breite (30—35 km) hat dieses Gebiet zwischen Petrinja in SE und Lasinja in NW in einer Länge von etwa 50 km. Der grösste Schaden wurde in einem Gebiete zwischen den Punkten $45^{\circ} 20' N$ $15^{\circ} 59' E$; $45^{\circ} 30' N$ $16^{\circ} 17' E$ und $45^{\circ} 31' N$ $16^{\circ} 03' E$ angerichtet wo auch zahlreiche Erdsprünge vorgekommen sind. Der Mittelpunkt des zentralen Gebietes liegt in etwa $45^{\circ} 29' N$ und $16^{\circ} 01' E$, und die Mitte des dreieckigen Gebietes in welchem Erdsprünge

vorkommen, in $45^{\circ} 28' \text{ N}$, $16^{\circ} 06' \text{ E}$. Da die Erdspalten meistens im Alluvialboden vorkommen, so wurde ein Punkt in der Mitte zwischen den beiden Mittelpunkten in $45^{\circ} 29' \text{ N}$ $16^{\circ} 03' \text{ E}$ als Epizentrum angenommen. Der Fehler dieser Annahme kann höchstens $\pm 3 \text{ km}$ betragen.

Es ist schwer die Stärke des Bebens im Epizentrum anzugeben, da die meisten Häuser in jener Gegend aus Eichenholz gebaut sind und gar nichts gelitten haben. Nur Kirchen, Pfarrhöfe und öffentliche Gebäuden sind aus Ziegeln und Stein aufgeführt und haben stark gelitten. Die maximale Stärke hat sicher den Grad IX überschritten.

Soweit sich aus dem zahlreichen makroseismischen Material feststellen lässt ist das Epizentrum aller Nachbeben, welche nach dem Hauptbeben verspürt wurden, identisch mit demjenigen des Hauptbebens.

III.

Die Ablesungen der Seismogramme

und die Laufzeitkurven der P, $\bar{P}$ und S.

Da alle Zeitangaben der verschiedenen seismischen Stationen mit grösseren oder kleineren Fehlern behaftet sind, so habe ich mich entschieden, für die Konstruktion der Laufzeitkurven nicht nur die Daten des Hauptbebens von 8. X. zu gebrauchen sondern auch die Daten aller Nachbeben, soweit sie für diesen Zweck brauchbar erschienen. Die Mittel aus allen Daten charakterisieren dann ein mittleres Beben, für welches alle gewonnenen Resultate gelten werden. Dieser Vorgang wäre nur dann ganz zulässig, wenn alle Beben aus demselben Epizentrum und aus derselben Tiefe ausgingen. Nach makroseismischen Beobachtungen stammen alle diese Beben aus demselben Epizentrum aber sicher nicht aus derselben Tiefe. Das Beben vom 29. I. 1910 war im Epizentrum und in Zagreb nahezu ebenso stark wie das Hauptbeben, nur von sehr kurzer Dauer. Seine Stärke hat aber mit der Entfernung so schnell abgenommen, dass die Angaben der empfindlichsten Seismographen nur bis zu einer Entfernung von 500 km brauchbar sind. Daraus müsste man auf eine sehr kleine Herdtiefe schliessen. Die beiden Nachbeben von 10. X. 1909 waren in Zagreb sehr schwach, aber in Hamburg noch recht gut aufgezeichnet. Hier



muss man auf eine grosse Tiefe schliessen. Die Herdtiefe hat auf die Laufzeitkurven keinen grossen Einfluss, da sie hauptsächlich nur die Koordinaten des Inflexionspunktes der Kurve der $\bar{P}$ ändert. Diese aus allen brauchbaren Beben gewonnene Kurve stellt also eine mittlere Kurve dar, deren Punkte viel genauer sind als die aus einem einzigen Beben abgeleiteten.

Aus den Mitteln der Angaben der einzelnen Instrumente wurde zuerst eine angenäherte Epizentralzeit bestimmt, d. h. der Zeitmoment zu welchem das Beben im Epizentrum anfing. Diese Zeit hat sich später nach strenger Berechnung als richtig erwiesen und wurde als Anfang der Zeitrechnung angenommen, unter der Voraussetzung, dass der Zeitmoment des Eintreffens der ersten Wellen in Zagreb für alle Beben ganz gleich sei.

Die Hauptuhr des Observatoriums in Zagreb ist eine vorzügliche Uhr von Riefler, welche zugleich auch Kontaktuhr ist. Ihr Stand und Gang wird durch astronomische Beobachtungen am Observatorium selbst bestimmt, so dass sie, besonders während dieser Erdbebenperiode, immer eine Genauigkeit von ± 0.5 Sekunde gewährleistete. Die Zeitfehler der Bestimmung der einzelnen Phasen können ihren Grund nur in einer Ungleichheit der Länge der einzelnen Minuten am Papier und in der Verschiedenheit der Form der Einsätze bei den einzelnen Beben haben. Bei den stärkeren Beben kann der Fehler kaum grösser als ± 1 Sekunde sein, bei den schwächeren ist der mögliche Fehler natürlich etwas grösser. Für das Beben vom 8. X. wurde für Zagreb eine Laufzeit von 5 Sekunden bestimmt, also der Anfang des Bebens um 9 h 59 m 09 s ± 0.5 Sekunden. Diese Epizentralzeit wurde als Anfang der Zeitrechnung für alle Stationen angenommen. Bei allen folgenden Beben wurde als Epizentralzeit die Zeitangabe des ersten Einsatzes im Zagreb — 5 Sek. angenommen.

Die Ablesungen der einzelnen Instrumente sind teils nach den publizierten Angaben der einzelnen Observatorien, teils nach den mir schriftlich mitgeteilten Daten, in die folgende Tabelle aufgenommen. Wo ich Kopien der Seismogramme oder Originale erhielt, wurden sie noch einmal abgelesen, ohne irgend welche nennenswerte Differenzen von den Originalablesungen zu finden.

Um Raum zu sparen sind in die Tabellen nicht absolute Zeiten aufgenommen sondern nur die Differenzen gegen die Epi-

zentralzeit. Dieser Vorgang ist der meteorologischen Praxis entnommen und dürfte sich in der Zukunft auch in der Seismologie einbürgern, besonders in solchen Fällen, wo die Epizentralzeit genau bekannt ist.

In Tab. I. sind die Laufzeiten des Bebens vom 8. X. 1909 und der nachfolgenden Beben, soweit sie an den einzelnen Stationen registriert wurden.

Epizentrum bei Pokupsko —45° 26' N, 16° 03' EG.

Station	Datum	Epizentral- Zeit	Anfang	e M.	Maxim.
Zagreb	1909	h m s	m s	m s	m s
Epizentraldistanz 39 km.	8. X.	9.59.09	0.05	0.09	0.16
Instrumente:		10.59.40	»	0.09	0.13
		11.09.39	»	0.10	0.11
Wiechertpendel: 80 kg. mit 20 - facher Ver- größerung (Spindler & Hoyer) bei 30 mm Papiergeschwindigkeit per Minute für die Be- ben von 8. X. 9 h 29 m, 10. X. und 28. I. 1910. 23 h 28 m.		14.39.51	»	0.09	0.11
		17.10.01	»	0.10	0.10
	10. X.	5.37.10	»	0.09	0.13
		5.55.01	»	0.10	0.11
		6.08.56	»	0.09	0.12
		8.56.33	»	0.09	0.11
		8.57.53	»	0.09	0.11
	11. X.	20.50.10	»	0.09	0.13
	14. X.	0.46.34	»	0.09	0.11
	21. X.	17.03.17	»	0.10	0.13
	22. X.	6.36.03	»	0.10	0.14
		6.47.20	»	0.10	0.16
Für andere Beben 1000 kg Pendel (Bartels)	23. X.	4.01.07	»	0.10	0.13
		8.29.57	»	0.09	?
	25. X.	22.45.35	»	0.09	0.11
	28. X.	5.37.30	»	0.08	0.14
	6. XI.	16.17.01	»	0.10	0.12
	2. XII.	22.59.19	»	0.09	0.13
	7. XII.	21.21.07	»	0.11	0.14
	13. XII.	0.21.41	»	0.10.5	0.12
	24. XII.	0.14.30	»	0.10	0.15
	1910				
	28. I.	23.57.45	»	0.10.5	0.11
	29. I.	0.12.02	»	0.10.5	0.11
		2.59.24	»	0.10.5	0.11
		13.29.28	»	0.10.5	0.11
Mittel . .			0.05	0.09.6	0.12.4

Beben von welchen nur Spuren aufgezeichnet sind, wurden nicht berücksichtigt. Ebenso werden die Beben nach dem 29. I. 1910 unberücksichtigt gelassen, da sie ausser Zagreb von keiner weiteren Station aufgezeichnet wurden.

Station	Datum	Epizentral- Zeit	Anfang	e M	Maxim.
Fiume	1909	h m s	m s	m s	m s
Epizentraldistanz 134 km.	8. X.	9.59.09	0.25	0.42	0.50
Instrument: Vicentini-Konkoly.					

Die in Fiume registrierten Beben vom 10. X. 1909 und 28. und 29. I. 1910 sind wegen grossen Zeitfehlern unbrauchbar.

Laibach	1909	h m s	m s	m s	m s
Epizentraldistanz 141 km.	8. X.	9.59.09	0.20	0.37	0.40
	10. X.	5.37.10	0.17	0.36	0.46
Instrumente: Verschiedene unge- dämpfte.		5.55.01	0.20	0.35	0.45
		6.08.56	0.21	0.39	0.44
	22. X.	6.36.03	0.19	—	0.43
	13. XII.	0.21.41	0.20	—	0.48
	24. XII.	0.14.30	0.23	—	0.52
	1910				
	28. I.	23.57.45	0.42?	—	1.05?
	29. I.	0.12.02	0.38?	—	1.09?
Mittel . .			0.20	0.37	0.45

Die beiden Beben vom 28. und 29. I. konnten bei der Bildung der Mittel wegen des Uhrfehlers nicht berücksichtigt werden.

Graz	1909	h m s	m s	m s	m s
Epizentraldistanz 184 km.	8. X.	9.59.09	0.30	0.56	—
		11.09.39	0.33	—	—
Instrument.	10. X.	5.37.10	0.26	—	—
		5.55.01	0.29	—	—
Wiechertpendel.	13. XII.	0.21.41	0.25	—	0.53
	24. XII.	0.14.30	0.20?	—	0.38?
	1910				
	28. I.	23.57.45	0.28	—	0.58
	29. I.	0.12.02	0.27	—	1.01
Mittel . .			0.28	0.56	0.57

Wegen wahrscheinlichen Uhrfehler ist das Beben vom 24. XII unberücksichtigt.

Triest	1909	h m s	m s	m s	m s
Epizentraldistanz 185 km.	8. X.	9.59.09	0.35	0.55	1.05
		10.59.40	0.32	0.53	0.58
Instrumente: Vicentini, Ehlert.	1910				
	28. I.	23.57.45	0.32	0.51	1.01
	29. I.	0.12.02	0.27	0.49	0.58
		2.59.24	0.30	0.52	0.56
Mittel . .			0.31	0.52	0.59

Station	Datum	Epizentral- Zeit	Anfang	eM	Maxim.
Pola	1909	h m s	m s	m s	m s
Epizentraldistanz 193 km.	8. X.	9.59.09	0.36	0.57	1.01
	10. X.	5.37.10	0.31	0.54	0.54
		5.55.10	0.33	0.54	0.55
Instrument: Wiechert (200 kg).	13. XII.	0.21.41	0.28	0.52	0.55
	24. XII.	0.14.30	0.26	—	1.06
	1910				
	28. I.	23.57.45	0.30	0.57	1.01
	29. I.	0.12.02	0.29	0.51	1.05
		2.59.24	(0.40)	0.52	0.55
Mittel . . .			0.30	0.54	1.00

Der Anfang des Bebens vom 29. I. 2 h 59 m ist unberücksichtigt geblieben.

Die Angaben der Station Sarajevo sind unbrauchbar wegen unkorrekter Zeit.

Station	Datum	Epizen- tralzeit	An- fang	P	R	S	eM	M
Wien	1909	h m s	m s	m s	m s	m s	m s	m s
Ep. dist. 308 km	8. X.	9.59.09	—	0.52	—	—	1.33	1.59
	10. X.	5.37.10	0.42	—	—	—	1.28	1.40
		5.55.01	0.45	—	—	—	1.34	1.43
Instrumente: Wiechertpen- del; Conrad- pendel.	22. X.	6.36.03	—	—	—	—	1.33 ¹⁾	1.45
	25. X.	22.45.35	—	—	—	—	1.35 ¹⁾	1.45
	13. XII.	0.21.41	0.45	0.54	1.09	1.16	—	1.55
	24. XII.	0.14.30	0.42	—	1.08	1.17	—	(1.20)
	1910							
	28. I.	23.57.45	0.42	0.50	—	—	1.27	1.42
	29. I.	0.12.02	0.48	0.58	—	—	1.27	1.47
		2.59.24	—	0.53	—	—	—	—
Mittel . . .			0.44	0.53	1.09	1.17	1.31	1.47

¹⁾ In den Wiener wöchentlichen Erdbebenberichten als iP bezeichnet.

Budapest	1909	h m s	m s	m s	m s	m s	m s	m s
Ep. dist. 316 km	8. X.	9.59.09	—	1.07?	—	—	1.48	2.02
	10. X.	5.37.10	—	0.52	—	—	—	1.59
		5.55.01	—	0.58	—	—	—	1.43
Instrument: Wiechert	1910							
	28. I.	23.57.45	—	0.59	—	—	1.36	1.59
	29. I.	0.12.02	—	0.58	—	—	1.42	3.49
Mittel . . .			—	0.58	—	—	1.39	?

Die Angaben über das Beben vom 8. X. sind bei der Bildung des Mittels unberücksichtigt. — Die Daten der Stationen Ó-Gyalla, Temesvár, Firenze—Ximeniano, Valle di Pompei und Pavia konnten wegen zu grosser Zeitdifferenz gegenüber den anderen Stationen, nicht aufgenommen werden.

Station	Datum	Epizen- tralzeit	An- fang	P	R	S	eM	M
Padova	1909	h m s	m s	m s	m s	m s	m s	m s
Ep. dist. 332 km	8. X.	9.59 09	—	0.55	—	—	1.40	—
		10 59.40	—	—	—	—	1.35	1.44
Instrument:	10. X.	5.37 10	—	0.52	—	—	1.34	1.42
Vicentini.		5 55 01	—	0.55	—	—	1.35	1.53
	13. XII.	0.21 41	—	0.55	—	—	1.36	(3.07)?
	1910							
	28. I.	23 57 45	—	0.55	—	—	1.36	—
	29. I.	0.12 02	—	0.56	—	—	1.37	—
Mittel . .			—	0.55	—	—	1.38	1.46
Firenze	1909							
Quarto-Castello								
Ep. dist 431 km	8. X.	9.59.09	0.56	—	1.35	—	2.03 N 2.17 E	—
Instrument:								
Stiattesi - Pendel.								
München	1909							
Ep. dist. 454 km	8. X.	9.59 09	0.57 ¹	1.17	—	—	2.17	—
	1910							
Instrument;	28. I.	23 57 45	1.03	1.20	1.46	1.54	2.15 ¹	2.54
Wiechert- Pendel.	29. I.	0 12.02	—	1.17	1.39	1.51	2.12	2.54
Mittel . .			1.03	1.19	1.43	1.53	2.15	2.54

¹ Minutenlücke.

Station	Datum	Epizen- tralzeit	An- fang	P	R	S	R	eM	M
Rocca di Papa	1909	h m s	m s	m s	m s	m s	m s	m s	m s
Ep. dist. 496 km	8. X.	9.59 09	—	1.19	1.44 ²	—	—	—	—
Instrument		10.59.40	—	1.32	—	—	—	—	—
Agamennone- Pendel.	10. X.	5.55 10	—	1.23	—	—	—	4.07	—
		5.37.10	—	1.20	—	—	—	—	—
Mittel . .			—	1.23	—	—	—	—	—
Ischia	1909								
Ep. dist. 555 km	8. X.	9.59.09	1.20	1.34	—	2.20	—	3.08	3.29
Instrument:									
Grablowitz.									

² Als eM.

Station	Datum	Epizen- tralzeit	An- fang	$\bar{P}$	R	S	R	eM	M
Taranto	1909	h m s	m s	m s	m s	m s	m s	m s	m s
Ep. dist. 605 km Instrument: Wiechert 160 kg ohne Däm- pfung. Vicen- tini gedämpft.	8. X.	9.59.09	1.21	1.42	2.17	2.30	—	3.18	—
Hohenheim	1909								
Ep. dist. 633 km Instrument: Bosch-Omori.	8. X.	9.59.09	1.19	1.50	2.15	—	—	3.14	—
Moncalieri	1909								
Ep. dist. 644 km Instrument: Stiattesi-Pendel.	8. X.	9.59.09	1.23	1.54	—	—	2.51	3.30	—
Sofia	1909								
Ep. dist. 652 km Instrument: Bosch-Omori.	8. X.	9.59.09	—	1.46	—	—	2.59	3.08	—
Jena	1909								
Ep. dist. 688 km Instrument: Wiechert- Pendel.	8. X. 10. X. 13. XII.	9.59.09 5.37.10 5.55.01 0.21.41	1.37 — 1.41 1.31	— — — —	— 2.02 — —	— — — 2.51	(3.02) — — 3.20	— 3.30 3.30 3.29	3.32 3.40 3.41 —
Mittel . .			1.36	—	2.02	—	—	3.30	3.40

Station	Datum	Epizen- tralzeit	An- fang	R ₁	R ₂	S	R	eM	M
Heidelberg	1909								
Ep. dist. 704 km Instrument: Wiechert- Pendel.	8. X.	9.59.09	1.35	—	—	—	—	3.35	4.18
Leipzig	1909								
Ep. dist. 707 km Instrument: Wiechert- Pendel.	8. X. 10. X. 13. XII.	9.59.09 5.37.10 5.55.01 0.21.41	— — — —	1.43 1.48 1.52 1.53	2.13 — — —	— — 2.52 2.59	3.08 3.05 3.08 —	3.31 3.18 3.19 (3.49)	3.41 3.31 3.29 —
Mittel . .			—	1.49	2.13	2.59	3.07	3.19	3.30

Station	Datum	Epizen- tralzeit	An- fang	R ₁	R ₂	S	R	eM	M
Strassburg Ep. dist. 720 km Instrument: Wiechert- Pendel.	1909 8. X.	h m s 9 59.09	m s 1.43	m s 1.57	m s 2 25 2.46	m s 3.04	m s —	m s 3 25 3 30	m s —
Potsdam Ep. dist. 798 km Instrument: Wiechert- Pendel.	1909 8. X. 10. X. 13. X. 28. I. 29. I.	9.59 09 5.37.10 5.55.01 0.21.41 23 57 45 0.12.02	— — — — — —	e 2.07 — — — — —	— — — — — —	— 3.(14) 3.(11) 3.(07) — —	— — — i 3 30 e 3 28 e 3.31	i 3.52 3.(56) — i 4 03 — —	4 (15) 4.(02) — 4.(43) 4.(15) 4.(10)
Mittel . .			—	2.07	—	3.11	3.30	3 54	4.12
Göttingen Ep. dist. 810 km Instrument: Wiechert- Pendel.	1909 8. X. 10 X. 13 XII. 24. XII.	9.59 09 10.59.40 5 37.10 5.55.01 0.21.41 0.14.30	1.49 — — — 1.49 1.43	— — — — — —	— 3.(08) — — — —	3.20 — — — 3 24 —	— — — — — —	3.59 — — — — (3.54)	4 19 4.08 4.14 4 15 — —
Mittel . .			1.49	—	3.(08)	3.22	—	3.59	4.14
Catania Ep. dist 889 km Grosser- Pendel.	1909 8 X	9.59.09	1 58	—	—	—	3.51	3.55	—
Hamburg Ep. dist. 999 km Instrument: Wiechert- Pendel.	1909 8. X. 13. XII	9.59.09 0.21 41	2.15 —	— —	— —	— 4.(05)	4.25 —	— 5 (13)	— —
Mittel . .			2.15	—	—	4.(05)	4.25	5 (13)	—
Uccle Ep. dist. 1044 km Wiechert- Pendel.	1909 8. X.	9.59 09	—	2 51	—	—	—	5.09	—
Paris Ep. dist. 1063 km Instrumente: Wiechertpendel. 200 kg., Mainka.	1909 8. X.	9.59.09	—	2.54	—	—	4.41	—	—

Station	Datum	Epizen- tralzeit	An- fang	R ₁	R ₂	S	R	eM	M
Granada Ep. dist. 1892 km Instrument: Horizontal- Pendel.	1909 8. X.	9.59.09	3.55	—	—	—	—	8.17	—
Tiflis Ep. dist. 2405 km Instrumente: Verschiedene.	1909 8. X.	9.59.09	—	—	6.50	9.20	—	—	—

Die so gewonnenen Mittel wurden in ein Koordinatennetz als kleine Kreise eingetragen. Als Längeneinheit für die Epizentralentfernung wurde $1 \frac{m}{m} = 5$ km genommen, und als Zeiteinheit $1 \frac{m}{m} = 1$ Sekunde. Tab. I.

Es zeigte sich sogleich, dass die Anfangszeiten der undae primae (P) durch eine einzige Kurve nicht dargestellt werden können, sondern dass zwei Kurven existieren: Die eine fängt im Epizentrum an und geht bis etwa 700 km aber sicher nicht über 800 km Entfernung.

Die zweite tiefere Kurve fängt sicher bei 400 km aber möglicherweise schon bei 300 km Entfernung an, wie es die Wiener Beobachtungen verlangen, und kann nach den Daten unseres Bebens nur notdürftig bis 1800 km verlängert werden. Vergleicht man diese Kurve mit der in den Göttinger wöchentlichen Erdbebenberichten publizierten Daten für die ersten Vorläufer (undae primae) so sieht man die Identität beider Kurven.

Die meisten Stationen in den Entfernungen von 400 bis 726 km zeigen beide Phasen, so München, Ischia, Hohenheim, Moncalieri und Strassburg. Wäre das Beben etwas stärker gewesen, so hätten sicher auch die anderen Stationen beide Phasen registriert.

Die letzte Station welche beide Einsätze registrierte ist Strassburg in 720 km Entfernung. Ob der in Postdam registrierte Anfang zu der oberen Kurve gehört, oder nur ein, wegen der Schwäche des Bebens, verspätetes Auftauchen der unteren Kurve ist, ist fraglich. Göttingen in 810 km Entfernung

zeigt den zu der unteren Kurve gehörigen normalen Anfang, aber auch am 17000 kg Pendel keine Spur des zu der oberen Kurve gehörigen Einsatzes. Die obere Kurve geht also nahezu bis 720 km Epizentralentfernung, ob sie noch etwas weiter geht, ist fraglich.

Die untere Kurve will ich die Kurve der normalen Primae nennen (P) und die obere die Kurve der individuellen oder oberen Primae ($\bar{P}$).

Die erste Phase (der normalen Primae) fängt an allen Stationen mit sehr schwachen Wellen an. Nach 20 bis 25 Sekunden treten die individuellen Primae, als mehr oder weniger starker Einsatz auf. Unser Beben ist zu schwach um daraus das Beispiel eines Diagrammes zu geben. Das Beben vom 7. VI. 1910. in Süditalien hat hier in Zagreb in einer Entfernung von 550 km beide Phasen so schön zum Ausdruck gebracht, dass ich es hier Fig. 3 abdrucken lasse.

Der Verlauf der $\bar{P}$ ist bis etwa 600 km Entfernung durch die mittleren Werte der einzelnen Stationen bis auf ± 1 Sek. sicher. Von 600—720 km tritt eine Streuung der Werte auf, so dass der weitere Verlauf etwas unsicher ist. Bedenkt man aber, dass das Beben in dieser Entfernung schon sehr schwach war, so werde ich nicht zu weit fehl gehen wenn ich eine mittlere Kurve bis nach 700 km zeichne.

Als diese beiden Kurven klar zum Vorschein kamen, wollte ich auch für die transversalen Wellen (S) und für den Anfang der Hauptphase möglichst genaue Kurven ziehen. Das Material unseres Bebens war aber dazu nicht ausreichend, da die einzelnen Stationen besonders von 400 km Entfernung angefangen zu grosse Differenzen zeigten. Ich musste also noch andere Beben zu Hilfe nehmen. Bis zum Jahre 1904 war kein Nahbeben an genügend vielen guten Stationen registriert worden um dazu tauglich zu sein. Für das Jahr 1906 und die folgenden ist noch kein Nahbeben publiciert, und das Einsammeln des Materials hätte zu viel Zeit in Anspruch genommen. Es blieben daher nur die Strassburger Publikationen der Beben der Jahre 1904 und 1905 zur Verfügung.

Ich nahm zunächst das beste Beben diese Periode, das Kalabrische Beben vom 8. IX. 1905 und berechnete die Epizentralzeit nach den besten Stationen und nach der aus unseren Beben bestimmten Laufzeitkurve der P und $\bar{P}$:

Messina	Entff. km	87	$\bar{P}$ 1 h 43 m 17 s — 0 m 11 s = 1 h 43 m 06 s
Catania	»	173	$\bar{P}$ - h 43 m 30 s — 0 m 28 s = - h 43 m 02 s
Ischia	»	290	$\bar{P}$ - h 43 m 47 s — 0 m 49 s = - h 42 m 58 s
Rocca di Papa	»	434	P - h 44 m — s — 1 m 01 s = - h 42 m 59 s

Mittlere EZ 1 h 43 m 01 s $\pm$ 3 s

Die darnach für die verschiedenen Entfernungen gewonnenen Laufzeiten wurden in das Koordinatennetz als kleine Kreuze eingetragen.

8. IX, 1905. — Calabrisches Beben — TE = 1 h 43 m 01 s.

Station	Epizent.- Entfern.	P m s	$\bar{P}$ m s	S m s	eM m s
Messina	87	—	0.15	—	—
Catania	173	—	0.28	—	—
Ischia	290	—	0.45	—	—
Rocca di Papa	434	0.58	1.15 ¹	—	—
Firenze Ximeriano	683	1.32	—	—	3 10
Firenze Q. C.	688	1.27	—	—	3 31
Pola	699	—	1.50	2.51 ²	—
Fiume...	734	—	1.58	3.08	3.38
Sofia	746	—	1.55	3.21	3.51
Padova	810	1.53	—	—	4.36
Salò	884	1.58	—	—	4.02
Pavia	924	1.59	—	4.02	4.59
Torino	973	2.08	—	3.29	5.28
Wien	1069	2.16	—	—	5.21
München	1100	2.41 ³	—	—	5.32
Hohenheim	1233	2.40	—	5.32	7.04
Strassburg	1284	2.54 ⁴	—	5.08 ⁴	—
Heidelberg	1296	2.38	—	—	—
Tortosa	1351	2.58	—	5.02	7.04
Jena	1391	3.00	—	5.04	6.07
Leipzig	1422	3.03	—	5.48	7.26
Göttingen	1491	3.20	—	5.59	7.05
Potsdam	1525	3.20	—	6.04	7.03
Uccle	1618	3.36	—	5.49	6.50
Hamburg	1725	3.53	—	—	7.37
Kiew	1898	3.58	—	—	—
Jurjew	2304	4.46	—	8.39	10.22
Akhalkalaki	2334	4.56	—	8.50	12.36
Upsala	2360	4.48	—	8.42	12.04
Edinburgh	2382	4.58	—	8.06	11.02
Tiflis	2448	5.05	—	9.03	14.00
Moskau	2457	5.17	—	9.21	12.05

¹ In der Strassburger Publikation als eM.

² Angegeben als eM.

³ Um etwa 15 s verspätet.

⁴ Corrigirt um + 1 min.

Nach den für beide Beben so gewonnenen Punkten wurde nun eine vorläufige Kurve der normalen Primae bis 2500 km

gezogen. Ich ging hier bis zur Entfernung von 2500 km um noch für 2000 km einen möglichst korrekten Wert der Laufzeit zu gewinnen.

Um diese Kurve weiter noch verbessern zu können und um möglichst viele Werte für die anderen Phasen zu erhalten, suchte ich aus der ganzen Liste der Beben der Jahre 1904 und 1905 jene Beben welche bei genau bekanntem Epizentrum möglichst gute Werte für die Epizentralzeit ergeben. Für die Reduktion auf die Epizentralzeit nahm ich nur die besten Stationen und nur jene Beben deren Epizentralzeit sich bis auf wenigstens ± 5 Sekunden bestimmen lässt. Die Epizentralzeit wurde immer nach den beiden Kurven für P und $\bar{P}$ gerechnet, die gewonnen Zeiten eingetragen und dann die Kurve der P wo nötig verbessert. Nach der verbesserten Kurve wurden wieder neue Epizentralzeiten berechnet und wo nötig wieder verbessert. So wurde nach etwa einem halben Dutzend Proben die endgültige Kurve gezeichnet.

Die verwendeten Beben sind folgende :

1. Balkanbeben von 1904 IV. 4.

Berechnung der Epizentralzeit:

	Entf. km		h	m	s		m	s		h	m	s	
Bukarest	350	—	$\bar{P}$	10	03	34	—	1	01	=	10	02	33
Ischia	750	—	$\bar{P}$	—	4	34	—	2	04	=	—	—	30
Messina	800	—	P	—	4	15	—	1	48	=	—	—	27
Triest	900	—	P	—	4	26	—	2	00	=	—	—	26
Rocca di Papa	900	—	P	—	4	30	—	2	00	=	—	—	30
Padova	1050	—	P	—	4	49	—	2	19	=	—	—	30
Firenze Quarto	1050	—	P	—	4	43	—	2	19	=	—	—	24
Leipzig	1350	—	P	—	5	28	—	2	57	=	—	—	31
Strassburg	1450	—	P	—	5	37	—	3	10	=	—	—	27
Göttingen	1500	—	P	—	5	49	—	3	16	=	—	—	33
Tiflis	1800	—	P	—	6	20	—	3	53	=	—	—	27
Mittlere EZ = 10 02 29 $\pm$ 2 s													

2. 1905 IV. Indisches Beben :

Epizentralzeit nach Omori 0 h 49 m 48 s.

Nur die Stationen Taschkent und Bombay.

3. 1905 VI. 1.

Berechnung der Epizentralzeit:

	Entf. km		h	m	s		m	s		h	m	s	
Ischia	479	—	P	4	43	23	—	1	07	==	4	42	16
Catania	634	—	P	—	43	36	—	1	26	==	—	—	10
Firenze Quarto.	688	—	P	—	43	40	—	1	33	==	—	—	07
Padova	699	—	P	—	43	49	—	1	35	==	—	—	14
Jena	1140	—	P	—	44	45	—	2	30	==	—	—	15
Strassburg	1147	—	P	—	44	49	—	2	31	==	—	—	18
Postdam	1227	—	P	—	45	00	—	2	41	==	—	—	19
Göttingen	1267	—	P	—	45	01	—	2	46	==	—	—	15
Uccle	1491	—	P	—	45	22	—	3	15	==	—	—	07
Batum	1845	—	P	—	46	09	—	3	58	==	—	—	11
Jurjew	1878	—	P	—	46	10	—	4	02	==	—	—	08
Boržom	2100	—	P	—	46	22	—	4	14	==	—	—	08
Tiflis	2100	—	P	—	46	44	—	4	26	==	—	—	18

Mittlere Epizentralzeit = 4 42 13 ± 3 s.

4. 1905 XI. 8

Bestimmung der Epizentralzeit:

	Entf. km		h	m	s		m	s		h	m	s	
Athen	250	—	P	22	06	57	—	0	41	=	22	06	16
Sofia	294	—	P	—	07	03	—	0	50	=	—	—	13
Ischia	801	—	P	—	08	05	—	1	48	=	—	—	17
Catania	850	—	P	—	08	03	—	1	54	=	—	—	09
Pola	1000	—	P	—	08	31	—	2	13	=	—	—	18
Laibach	1028	—	P	—	08	32	—	2	17	=	—	—	15
München	1346	—	P	—	09	05	—	2	56	=	—	—	09
Jena	1525	—	P	—	09	35	—	3	19	=	—	—	16
Leipzig	1545	—	P	—	09	35	—	3	22	=	—	—	13
Potsdam	1606	—	P	—	09	45	—	3	29	=	—	—	16
Strassburg	1607	—	P	—	09	42	—	3	29	=	—	—	13
Göttingen	1679	—	P	—	09	45	—	3	38	=	—	—	07
Tiflis	1728	—	P	—	09	48	—	3	45	=	—	—	03
Uccle	1966	—	P	—	10	21	—	4	11	=	—	—	10

Mittlere Epizentralzeit 22 06 13 ± 3 s.

Kein anderes Beben konnte gefunden werden, welches zur Konstruktion der Laufzeitkurven geeignet wäre. Folgende Tafel gibt die Laufzeiten für die 4 Beben.

Station	Beben	Ep.- entf.	Epiz.-Z. h m s	P m s	$\bar{P}$ m s	S m s	eM m s
Athen	1905. XI. 8.	250	22.06.13	—	0.44	—	0.46
Sofia	»	294	»	—	0.50	—	—
Bukarest	1904. IV. 4.	350	10.02.29	—	1.05	1.25	1.43
Ischia	1905. VI. 1.	479	4 22.13	1.10	—	2.11	—
Catania	»	634	»	1 23	—	2 26	—
Firenze Q. C.	»	688	»	1 27	—	2 14	3.46
Padova	»	699	»	1 36	—	—	3.32
Messina	1904. IV. 4.	800	10 02 29	1.46	—	3.38	—
Ischia	1905. XI. 8.	803	22 06.13	1 52	—	—	6 27
Catania	»	850	»	1.50	—	2 57	—
Triest	1904. IV. 4.	900	10.02.29	1 57	—	—	—
Rocca di Papa	»	900	»	2 01	—	3.31	4.16
Pola	1905. XI. 8.	1000	22 06 13	2.18	—	2.53	4.59
Laibach	»	1028	»	2.19	—	2.59	—
Padova	1904. IV. 4.	1050	10.02.29	2.20	—	—	—
Firenze Q. C.	»	1050	»	2.14	—	—	4.41
Jena	1905. VI. 1.	1140	4.22.13	2.32	—	—	—
Strassburg	»	1147	»	2 36	—	4.18	4.53
Taschkent	1905. IV. 4.	1200	0 49.48	2.36	—	4.38	—
Potsdam	1905. VI. 1.	1227	4 22 13	2 47	—	—	—
Göttingen	»	1267	»	2 48	—	—	5.32
München	1905. XI. 8.	1346	22 06.13	2.52	—	—	—
Leipzig	1904. IV. 4.	1350	10 02.29	2.59	—	5 19	7.05
Strassburg	»	1450	»	3 08	—	5.56	6.56
Uccle	1905. VI. 1.	1491	4.22.13	3.09	—	—	6 41
Göttingen	1904. IV. 4.	1500	10 02 29	3.20	—	5 55	—
Jena	1905. XI. 8.	1525	22.06.13	3.22	—	—	—
Leipzig	»	1545	»	3 22	—	6 08	8.30
Potsdam	»	1606	»	3.32	—	6 13	—
Strassburg	»	1607	»	3 29	—	6.34	—
Bombay	1905. IV. 4.	1610	0.49 48	3.20	—	6.51	—
Göttingen	1905. XI. 8.	1679	22.06.13	3.32	—	6 42	8 46
Tiflis	»	1728	»	3.35	—	6.42	—
Tiflis	1904. IV. 4.	1800	10.02 29	3 51	—	6.57	11.11
Batum	1905. VI. 1.	1845	4.22.13	3 56	—	7.13	10 13
Jurjew	»	1878	»	3.57	—	7.03	—
Uccle	1905. XI. 8.	1966	22 06.13	4.06	—	7.08	—
Boržom	1905. VI. 1.	1990	4 22 13	4.09	—	7.39	11.01
Tiflis	»	2100	»	4.31	—	8 23	11 01

Die auf Grund aller brauchbarer Laufzeiten konstruierte Kurve der normalen Primae unterscheidet sich sehr wenig von den in Göttinger Erdbebennachrichten publizierten Laufzeiten.

Die Kurve der zweiten Vorläufer kann man schwer bis 1000 km finden. Sie ist in 500 km Epizentralentfernung gleich der Göttinger, in 1000 km um 3 Sek., in 1500 km um 2 Sek und in 2000 km um 2 Sek. tiefer.

Bis 1650 km ist die Kurve der P nahezu geradlinig, dann biegt sie plötzlich nach unten ab. Der Knick ist vielleicht

noch schärfer als er in der Kurve zur Darstellung gebracht ist, die Daten zwischen 1900 und 2000 km schienen mir aber nicht genügend, um die Kurve tiefer zu legen.

Die Kurve der S fängt wie die der ersten Vorläufer etwa nach 300 km an. Von der Göttinger Kurve unterscheidet sie sich nur um 2 bis 3 Sekunden. Zu ihrer Konstruktion finde ich sehr wenige brauchbare Werte und glaube, dass noch weitere gute Nahbeben nötig sein werden um dieselbe auf eine Sekunde genau feststellen zu können. Von 300 bis 1000 km habe ich die Kurve nach den Stationen Wien, München, Ischia, Jena, Leipzig, Göttingen gezogen und später von 300 bis 600 km durch berechnete Werte ersetzt.

IV.

Die Ausbreitung der Erdbebenwellen in den obersten Schichten der Erde.

Als ich aus den in III. gewonnenen Daten die Gewissheit erlangte, dass es zwei Arten der ersten Vorläufer gibt, welche an alle Stationen zwischen 300 und 700 km Entfernung gelangen, dass dagegen vom Epizentrum bis etwa 300 km Entfernung nur die erste Art von Wellen gelangt, und von 700 km angefangen nur die zweite Art, suchte ich eine Erklärung für diese bisher unbekannte Tatsache.

Die individuellen Primae und die Herdtiefe. Da es absolut unmöglich ist, dass aus dem Erdbebenherde sich zwei verschiedene Arten von Longitudinalwellen mit verschiedenen Geschwindigkeiten ausbreiten, und die normalen Primae erst in einer grösseren Entfernung vom Epizentrum zum Vorschein kommen, so suchte ich zuerst eine Erklärung für jene Wellen zu finden welche sich vom Epizentrum an verfolgen lassen und welche sicher auf einem direkten Wege nach den verschiedenen Stationen gelangen.

Eine Probe der Berechnung der Herdtiefe unter der Voraussetzung einer geradlinigen Ausbreitung der $\bar{P}$ ergab, dass keine Tiefe gefunden werden kann, aus welcher die Strahlen mit konstanter Geschwindigkeit ausgehend so an die Oberfläche gelangen, dass die Laufzeiten der Laufzeitkurve genügen

könnten. Es ergab sich aber die Tatsache, dass die Geschwindigkeit mit der Tiefe sehr langsam wachsen müsse.

Eine Probe der Berechnung der Herdtiefe mit den bisher bekannten Formeln für die Ausbreitung der Strahlen führte, wegen ihrer Kompliziertheit auch zu keinem Resultate. Ich probierte sodann mit gewissen einfachen Voraussetzungen über die Zunahme der Geschwindigkeit mit der Tiefe, in der Hoffnung auf diese Weise zu einfacheren Formeln zu gelangen. Gelingt es nach diesen Formeln die Tiefe so zu berechnen dass die resultierenden Laufzeiten der Laufzeitkurve genügen, so erlangt man dadurch Annäherungsformeln, welche der Wahrheit um so näher kommen je besser die aus ihnen berechneten Laufzeiten der Kurve genügen.

Die Voraussetzung einer gleichmässigen Zunahme der Geschwindigkeit mit der Tiefe führt zu einer Integration der Differenzialgleichung der Bewegung in geschlossener Form, die für praktische Rechnung auch zu kompliziert ist. Eine andere Voraussetzung, welche mit der obigen nahezu gleichwertig ist führt zu sehr einfachen Formeln, welche für praktische Rechnungen sehr handlich sind. Es versteht sich von selbst, dass diese Formeln nur für kleine Tiefendifferenzen gelten werden.

Sei ρ_0 der vom Mittelpunkte der Erde nach dem Erdbebenherde gezogene Radiusvektor, ρ und φ der Radiusvektor und der Winkelabstand eines beliebigen Punktes bis zu welchem ein Strahl in der Zeit t gelangt, sei ferner c_0 die Ausgangsgeschwindigkeit im Herde und c die Geschwindigkeit in dem durch ρ , φ und t charakterisierten Punkte, und ebenso e_0 und e die Winkel zwischen den nach der Erdoberfläche verlängerten Radien und der Richtung der Ausbreitung des Wellenstrahles in den beiden Punkten. Setzt man wie üblich, die Geschwindigkeit als Funktion des Radiusvektors allein, so gilt die bekannte Refraktionsgleichung

$$\frac{1}{c} \rho \sin e = \frac{1}{c_0} \rho_0 \sin e_0 = a \quad (I)$$

$$\text{Da } \sin e = \rho \frac{d\varphi}{ds}$$

$$\text{so ist } \rho^2 \frac{d\varphi}{dt} = ac \frac{ds}{dt} = ac^2 \quad \text{wo } a = \frac{1}{c_0} \rho_0 \sin e_0$$

Wenn man in der Gleichung

$$c^2 = \rho^2 \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 + \left(\frac{d\rho}{dt} \right)^2$$

für $\rho^2 \left(\frac{d\rho}{dt} \right)^2$ den Wert aus der ersten Gleichung einsetzt, so erhält man

$$\frac{d\rho}{dt} = \pm \frac{c \sqrt{\rho^2 - a^2 c^2}}{\rho}$$

woraus durch Integration

$$t + C = \pm \int \frac{\rho d\rho}{c \sqrt{\rho^2 - a^2 c^2}}$$

wo C die Integrationskonstante bedeutet.

Das Integral rechter Hand kann in der Form

$$\int \frac{\rho d\rho}{c \sqrt{\rho^2 - a^2 c^2}} = \frac{1}{c} \sqrt{\rho^2 - a^2 c^2} + \int \frac{\rho^2 \frac{dc}{d\rho} d\rho}{c^2 \sqrt{\rho^2 - a^2 c^2}}$$

geschrieben werden.

Hier kann man für $\frac{dc}{d\rho}$ eine passende Annahme treffen, durch welche das Integral eine leicht lösbare Form annimmt. Setzt man

$$\frac{dc}{d\rho} = -k \frac{c}{\rho}$$

wo k eine später zu bestimmende Konstante bedeutet, so erhält man

$$t + C = \pm \frac{1}{c(k+1)} \sqrt{\rho^2 - a^2 c^2} \quad (2)$$

Zu jedem Werte von ρ gehören zwei gleiche nur entgegengesetzt bezeichnete Werte von t , entsprechend den beiden entgegengesetzten Seiten nach welchem sich die Strahlen ausbreiten. Wenn man immer nur die Ausbreitung der Strahlen nach einer Seite ins Auge fasst, so kann man das $-$ Zeichen fortlassen.

Aus der Gleichung

$$\frac{dc}{d\rho} = -k \frac{c}{\rho}$$

erhält man durch Integration

$$c = c_0 \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right)^k \quad (3)$$

wo c_0 die der Tiefe ρ_0 zugehörige Geschwindigkeit bedeutet.

Substituiert man diesen Wert und den Wert von a aus 1. in 2., so erhält man nach einiger Umformung

$$t + C = \frac{\rho}{(k+1) c_0 \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right)^k} \sqrt{1 - \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right)^{2(k+1)} \sin^2 e_0}$$

Da für die Zeit $t = 0$, $\rho = \rho_0$ ist, so erhält man den Wert der Konstante

$$C = \frac{\rho}{(k+1) c_0} \cos e_0$$

und schliesslich

$$t = \frac{\rho}{(k+1) c_0} r^k \left[\sqrt{1 - r^{2(k+1)} \sin^2 e_0} - r^{k+1} \cos e_0 \right] \quad (4)$$

wo zur Abkürzung $\frac{\rho_0}{\rho} = r$ gesetzt ist.

Für eine Schichte mit konstanter Geschwindigkeit wäre $k = 0$ und überall $c = c_0$, also

$$t = \frac{\rho}{c_0} \left[\sqrt{1 - r^2 \sin^2 e_0} - r \cos e_0 \right]$$

Setzt man in der Gleichung (1.) für c den Wert aus (3.), so erhält man den zu einem gegebenen r und e_0 zugehörigen Richtungswinkel aus der Gleichung

$$\sin e = r^{k+1} \sin e_0 \quad (5)$$

Ist speziell der Wert von r für die Erdoberfläche gegeben, so gilt die Gleichung (5) als Beziehung zwischen dem Impulswinkel e_0 und dem Emergenzwinkel e .

Für $e_0 = 0$ ist auch $e = 0$ auf dem ganzen Wege bis zur Oberfläche. Für $e_0 = 90^\circ$ ist $\sin e = r^{k+1}$ ein Maximum, der austretende Strahl bildet also hier den kleinsten Winkel mit der Oberfläche der Erde.

Für $e_0 = 0$ ergibt sich aus (4)

$$t = \frac{\rho}{(k+1) c_0} r^k (1 - r^{k+1}) \quad (6)$$

und für $e_0 = 90^\circ$

$$t = \frac{\rho}{(k+1) c_0} r^k \sqrt{1 - r^{2(k+1)}} \quad (7)$$

Durch eine der vorigen analoge Betrachtung erhält man die Beziehung zwischen ρ und dem Abweichungswinkel φ .

Aus der Gleichung (1) folgt

$$\rho^2 d\varphi = a c ds$$

und daraus durch Substitution des Wertes für ds

$$d\varphi = \pm \frac{a c d\rho}{\rho \sqrt{\rho^2 + a^2 c^2}}$$

Substituiert man in dieser Gleichung den Wert a aus (1) und von c aus (3) und integriert, so wird

$$\varphi + C = \pm \frac{1}{k+1} \arcsin \left\{ \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right)^{k+1} \sin e_0 \right\}$$

Da für $\rho = \rho_0$ auch $\varphi = \varphi_0$, so ist der Wert der Konstante

$$C = \pm \frac{e_0}{k+1}$$

Durch Einsetzen dieses Wertes in die obige Gleichung wird schliesslich

$$\varphi = \pm \frac{1}{k+1} \left[e_0 - \arcsin \left\{ \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right)^{k+1} \sin e_0 \right\} \right] \quad (8)$$

die gesuchte Beziehung zwischen ρ und φ .

Für $k = 0$ geht diese Gleichung in die Gleichung der Verbindungslinie der Punkte $\rho_0, 0$ und ρ, φ über.

Wenn wir auch hier von dem $-$ Zeichen absehen und $\frac{\rho_0}{\rho} = r$ setzen, so wird

$$\varphi = \frac{1}{k+1} \left[e_0 - \arcsin \left\{ r^{k+1} \sin e_0 \right\} \right] \quad (9)$$

Will man umgekehrt ρ also Funktion von φ haben, dann erhält man aus (8)

$$\rho^{k+1} = \frac{\rho_0^{k+1} \sin e_0}{\sin [e_0 - (k+1) \varphi]} \quad (10)$$

ρ wird zu einem Minimum für

$$\varphi = \frac{e_0 - 90^\circ}{k+1} \quad (11)$$

Ist hier $e_0 > 90^\circ$, so ist φ positiv, für $e_0 < 90^\circ$ ist φ negativ. Für $e_0 = 0$ ist der Ausgangspunkt zugleich der tiefste Punkt des Strahles.

Für den Minimumwert vom ρ erhält man aus (10)

$$\rho = \rho_0 \sqrt[k+1]{\sin e_0} \quad (12)$$

Sucht man den Gang der Kurve vom Punkte $\rho_0, 0$ bis zu dem Punkte ρ, φ , z. B. von einem Punkte der Erdoberfläche bis zu einem anderen, so lässt uns die Gleichung (9) in Stich, In diesem Falle erhält man $\frac{\varphi}{2}$ aus der Gleichung (11), da die Kurve auf beiden Seiten von $\rho = \text{Minimum}$ symmetrisch ist. Ebenso muss auch die Zeit t für die Hälfte der Kurve berechnet werden, da die Gleichung (6) für diesen Fall nur den einen Wert $t = 0$ gibt.

Für die Bestimmung der Tiefe des Erdbebenherdes (Hypozentrums) haben wir nur die Laufzeitkurve zur Disposition. Die Abszissen dieser Kurve bedeuten Epizentralentfernungen, welche soweit genau sind, als das Epizentrum genau bekannt ist,

die Ordinaten sind dagegen Zeiten von einem willkürlichen Zeitpunkte als Null angerechnet. Die Form der Kurve ist nur von der dem Epizentrum zunächst liegenden Station angefangen soweit genau bestimmt, als die Güte der Beobachtungen zulässt. Vom Epizentrum bis zu der nächsten Station ist die Form der Kurve unbekannt. Ist t_0 die Zeit zu welcher das Beben im Herde angefangen hat, t_1 die Zeit des ersten Einsatzes an einer Station in der Entfernung D_1 vom Epizentrum, t_2 die Zeit des ersten Einsatzes an einer zweiten Station in der Entfernung D_2 , so ist uns nur die Zeitdifferenz $t_2 - t_1$ bekannt. Diese Differenz besagt, dass der erste Stoss $t_2 - t_1$ Zeiteinheiten, z. B. Sekunden, mehr gebraucht hat um aus dem Herde zu der zweiten Station zu gelangen als zu der ersten.

Die Laufzeitkurve ist eine in kleinen Epizentralentfernungen nach oben und in grösseren Entfernungen nach unten gekrümmte Kurve. Die scheinbare Oberflächengeschwindigkeit des ersten Einsatzes nimmt vom Epizentrum angefangen mit der Entfernung ab. In dem Inflexionspunkte der Kurve ist diese Geschwindigkeit ein Minimum und nimmt dann mit der Entfernung wieder zu. Es ist aber bekannt und leicht einzusehen, dass in dem Inflexionspunkte der Kurve der Stossstrahl mit der Erdoberfläche den kleinsten Winkel bilden muss.

Bei unserer Kurve der $\bar{P}$ ist der Inflexionspunkt in der Entfernung von 280 ± 10 km. Um diese Entfernung zu bestimmen habe ich die scheinbaren Oberflächengeschwindigkeiten berechnet und graphisch ausgeglichen.

Auf Grund der beiden Voraussetzungen: der Kenntniss der Zeitdifferenzen und der Epizentralentfernung des Inflexionspunktes der Kurve, kann man die Tiefe des Hypozentrums eindeutig berechnen.

Es sind drei Unbekannte zu berechnen c_0 , ρ_0 und k . Da diese Berechnung nur durch Probieren vorgenommen werden kann, so kann man zu dem Zwecke zwei Wege einschlagen.

Sei t_1 die Zeit zu welcher der erste Einsatz der $\bar{P}$ an einer Station in der Entfernung D_1 vom Epizentrum notiert wurde, ebenso t_2 , t_3 , t_4 die entsprechenden Zeiten für drei folgende Stationen in den Entfernungen D_2 , D_3 und D_4 . Für diese Zeiten werden wir nicht faktische Beobachtungen einsetzen, sondern die der Laufzeitkurve entsprechenden mittleren Werte. D_1 sei eine möglichst kleine Entfernung vom Epizentrum für



welche noch t sicher ist z. B. etwa 50 km, ebenso sei D_4 eine möglichst grosse Entfernung, D_2 und D_3 seien zwischen D_1 und D_4 in möglichst gleichen Abständen.

Wir haben nach (4)

$$t_1 = \frac{\rho}{(k+1)c_0 r^k} \left[\sqrt{1 - r^{2(k+1)} \sin^2 e_1} - r^{k+1} \cos e_1 \right]$$

für die erste Station und entsprechende Gleichungen für die drei folgenden Stationen. Die Impulswinkel sind mit e_1, e_2, e_3, e_4 bezeichnet.

Aus der ersten und zweiten Gleichung und ebenso aus der dritten und vierten erhält man durch Subtraktion

$$T_1 = t_2 - t_1 = \frac{\rho}{(k+1)c_0 r^k} \left[\sqrt{1 - r^{2(k+1)} \sin^2 e_2} - \sqrt{1 - r^{2(k+1)} \sin^2 e_1} + r^{k+1} (\cos e_1 - \cos e_2) \right] \quad (13)$$

$$T_2 = t_4 - t_3 = \frac{\rho}{(k+1)c_0 r^k} \left[\sqrt{1 - r^{2(k+1)} \sin^2 e_4} - \sqrt{1 - r^{2(k+1)} \sin^2 e_3} + r^{k+1} (\cos e_3 - \cos e_4) \right]$$

Durch Umtauschen von c_0 und T können die beiden Gleichungen nach c_0 aufgelöst werden.

Wählt man nun für r passende Werte innerhalb welcher der Wert von r zu erwarten ist z. B. so dass man nach und nach für die Tiefe des Hypozentrums 5, 10 u. s. w. km annimmt, und für jede dieser Tiefen nach und nach verschiedene Werte von k einsetzt und k so lange ändert bis man aus beiden Gleichungen denselben Wert für c_0 erhält.

Nach einiger Übung können leicht für e_1 bis e_4 solche Werte gefunden werden, dass die vier Punkte (Stationen) gleichmässig über die Laufzeitkurve verteilt sind

Zu jedem angenommenen r, k und e findet man aus (9) den zugehörigen Wert von φ und t .

Auf diese Weise kann man sich eine Tabelle aufstellen in welcher zu jedem r die zugehörigen Werte für c_0 und k enthalten sind.

Aus (10) folgt für den Inflexionspunkt, wo $e_0 = 90^\circ$

$$r^{k+1} = \sin \left[90^\circ - (k+1) \varphi \right] \quad (14)$$

Durch Versuche kann man hier zu jedem angenommenen r den zugehörigen Wert für k leicht berechnen. Sucht man

nun in der Tabelle jenen Wert von r für welchen der aus (14) bestimmte Wert von k entspricht, so ist damit die Aufgabe gelöst, da die so bestimmte Kurve mit der Laufzeitkurve in diesen 4 Punkten zusammenfällt und in einem fünften gemeinsamen Punkte die Inflexion erfolgt.

2. Die zweite Methode ist nur die Umkehrung der ersten. Zuerst werden die den verschiedenen angenommenen Werten von r zugehörige Werte von k nach der Gleichung (14) bestimmt, unter der Voraussetzung, dass sich der Inflexionspunkt in 280 km befindet und dann für jedes Paar von r und k eine Probe gemacht, bis man ein paar zugehöriger Werte von r und k findet für welche beide Gleichungen (13) denselben Wert für c_0 liefern.

Die erste Methode ist sehr langwierig und unpraktisch, die zweite führt dagegen schnell zum Ziele.

Für den mittleren Radius der Erde wurde die runde Zahl von 6370 km genommen. Einer Distanz von 280 km entspricht dann ein Zentriwinkel von $151.1'$. Da in den Gleichungen für die Geschwindigkeit oder die Laufzeit Quadratwurzel zu berechnen sind so wurde mit siebenstelligen Logarithmen gerechnet.

Folgende Tabelle enthält die Resultate der Auflösung der Gleichung (14) für Tiefen von 10 bis 40 km von 5 zu 5 km.

Tiefe km	$\log r$	k	$\log r^{k+1}$	$\log r^k$
10	0.9993176	0.625	0.9988912	0.99958
15	0.9989761	1.436	0.9975058	0.99854
22	0.9986344	2.244	0.9955701	0.99693
25	0.9982923	3.049	0.9930857	0.99479
30	0.9979499	3.850	0.9900569	0.99211
35	0.9976072	4.645	0.9864927	0.98890
40	0.9972643	5.434	0.9823980	0.98511

Die Laufzeiten für die einzelnen Stationen wurden auf Millimeterpapier eingetragen und, unter Berücksichtigung der Güte der Stationen, die Kurve der $\bar{P}$ gezeichnet. Diese Kurve wurde nun für Entfernungen von 20 zu 20 km abgelesen und die gewonnenen Zahlen so ausgeglichen, dass eine möglichst regelmässige Kurve resultierte.

Laufzeiten von 20 zu 20 km von 40 bis 700 km Epizentralentfernung:

Km	Lauf- zeit	d	Km	Lauf- zeit	d	Km	Lauf- zeit	d
40	4.3		280	46.2	3.8	520	89.9	3.4
60	7.1	2.8	300	50.0	3.8	540	93.2	3.3
80	10.1	3.0	320	53.8	3.8	560	96.5	3.3
100	13.3	3.2	340	57.6	3.8	580	99.7	3.2
120	16.7	3.4	360	61.4	3.8	600	102.9	3.2
140	20.2	3.5	380	65.1	3.7	620	106.1	3.2
160	23.8	3.6	400	68.8	3.7	640	109.3	3.2
180	27.4	3.6	420	72.5	3.7	660	112.5	3.2
200	31.1	3.7	440	76.1	3.6	680	115.7	3.2
220	34.8	3.7	460	79.6	3.5	700	118.9	3.2
240	38.6	3.8	480	83.1	3.5			
260	42.4	3.8	500	86.5	3.4			

Nun wurde zur Auflösung der Gleichungen (13) geschritten.

Ich gebe hier ein Beispiel der Rechnung für die Tiefe von 25 km. Als passende Impulswinkel wurden angenommen die Winkel von 65° , 90° , 97° und 100° .

$$25 \quad k = 3.049 \quad \log r^{k+1} = 0.9930857 \quad \log r^k = 9.99479$$

Impulswinkel	65°	90°	97°	100°
$\log \cos e_n$	9.62595	$\cos e_0 = 0$	9.08589	9.23967
$\log \sin e_n$	9.9572757	$\log \sin e_0 = 0$	9.9967507	9.9933515
$\log r^{k+1} \sin e_n$	9.9503614	9.9930857	9.9898364	9.9864372
$2 \log r^k \sin e_n$	0.9007228	0.9861714	0.9796728	0.9728744
$r^{2(k+1)} \sin^2 e_n$	0.7956514	0.9686600	0.9541733	0.9394515
$1 - r^{2(k+1)} \sin^2 e_n$	0.2043486	0.0313400	0.0458267	0.0605485
$\sqrt{1 - r^{2(k+1)} \sin^2 e_n}$	0.4520 = m_1	0.1770 = m_2	0.2141 = m_3	0.2461 = m_4
$\log r^{k+1} \cos e_0$	0.61904	—	0.07898	0.23276
$r^{k+1} \cos e_0 = n$	0.4159 n_1	0 = n_2	0.1199 = n_3	0.1670 = n_4
$m_p \mp n_p$	0.0361	0.1770	0.3340	0.4131
$(m_p + n_p) - (m_{p-1} + n_{p-1})$	$F_1 = 0.1409$		$F_2 = 0.0791$	
Emergenzwinkel				
$\sin e = r^{k+1} \sin e_0$	$63^\circ 07' 30''$	$79^\circ 48' 10''$	$77^\circ 39' 10''$	$75^\circ 45' 20''$
$\frac{1}{k+1}(e_0 - e) = \varphi$	27.8'	151.1	286.7'	359.2
Austrittsentfernung in km	52	280	531	666
t nach Laufzeitkurve	6.0''	46.2''	91.8'	113.5''
$t_n - t_{n-1}$	$T_1 = 40.2'$		$T_2 = 21.7'$	

$$\begin{array}{rcl}
 \log \rho = 3.80414 & \log F_1 = 0.14891-1 & \log F_2 = 0.89818-2 \\
 \log (k+1) = 0.60735 & + 3.20200 & + 3.20200 \\
 - \left\{ \begin{array}{l} \log r^k = 0.99479-1 \\ \log r^k = 0.99479-1 \end{array} \right\} & \begin{array}{r} 2.35091 \\ 2.35091 \end{array} & \begin{array}{r} 2.10018 \\ 2.10018 \end{array} \\
 & \log T_1 = 1.60423 & \log T_2 = 1.33646 \\
 & \log c_1 = 0.74668 & \log c_2 = 0.76372 \\
 & c_1 = 5.58 & c_2 = 5.80
 \end{array}$$

Dieselben Rechnungen wurden für alle Tiefen von 10 bis 50 km Tiefe durchgeführt. Die vier Distanzen konnten freilich nicht streng immer gleich gehalten werden, da in diesem Falle immer Vorproben ausgeführt werden müssten.

Folgende Werte wurden gefunden:

Km	10	15	20	25	30	35	40	45	50
c_1	5.60	5.54	5.46	5.45	5.42	5.39	5.33	5.25	5.23
c_2	6.30	6.60	6.13	5.80	6.18	6.70	6.06	5.99	6.19

Mit wachsender Tiefe nimmt c_1 regelmässig ab. Der Wert von c_2 oscilliert dagegen so, dass er dem Werte von c_1 bei 25 km am nächsten kommt und für kleinere sowie grössere Entfernungen sich immer weiter entfernt. Hätte man immer mit den gleichen Entfernungen gerechnet so wären diese Oscillationen der Werte von c_2 nicht vorgekommen.

Falls also die Gleichungen (4) und (9) den wahren Verlauf der Erdbebenstrahlen in den obersten Schichten der Erde darstellen, so entspricht ihnen eine Tiefe des Bebenherdes von 25 km und eine Ausgangsgeschwindigkeit im Herde zwischen 5.45 und 5.80 km p. s.

Nun wurden umgekehrt einige Geschwindigkeiten in der Nähe des Mittels dieser beiden Geschwindigkeiten als Ausgangsgeschwindigkeiten genommen und für acht Entfernungen mit jeder dieser Geschwindigkeiten eine Probe gemacht, was sehr leicht durchzuführen ist, da die Rechnung für 4 Punkte schon fertig war. Die besten Resultate ergaben sich mit der Geschwindigkeit von 5.60 km p. s.

In der folgenden Tabelle sind für einige Entfernungen die berechneten Laufzeiten neben den beobachteten zusammengestellt. Die vierte Kolumne gibt die Laufzeiten vom Epizentrum als 0 gerechnet. Die fünfte Kolumne gibt die Abweichungen der berechneten Werten von den abgelesenen an.



Entfernung km	Laufzeit		Rechnung - 4.5 Sek.	Differenz B-R	Impuls- Winkel e_0	Emergenz- Winkel e	90 - e
	Beob- achtet	Be- rechnet					
	Sekunde						
0	0	4.5	0	—	0°	0°	90°
21	—	5.9	1.4	—	40°	39° 14' 30"	50° 45' 30"
52	6.0	10.3	5.8	0.2	65°	63° 07' 30"	26° 52' 30"
84	10.7	15.8	11.3	-0.6	75°	71° 55' 40"	18° 04' 20"
117	16.2	21.1	16.6	-0.4	80°	75° 44' 30"	13° 15' 30"
147	21.5	26.8	22.3	-0.8			
174	26.3	31.5	27.0	-0.7	85°	78° 30' 20"	11° 29' 40"
280	46.2	50.3	44.8	0.4	90°	79° 48' 10"	10° 11' 50"
374	64.0	67.6	63.1	0.9	93°	79° 22' 30"	10° 37' 30"
449	77.7	80.3	75.8	1.9	95°	78° 30' 20"	11° 29' 40"
531	91.7	95.4	90.9	0.8	97°	77° 39' 10"	12° 20' 50"
666	113.5	118.0	113.5	0.0	100°	75° 45' 20"	14° 14' 40"
713	120.9	127.8	120.3	0.6	101°	75° 02' 40"	14° 57' 20"
Mittlere Abweichung $\mp 0.7^s$							

Die mittlere Abweichung beider Kurven liegt innerhalb des Konstruktionsfehlers der Laufzeitkurve. Bei näherer Betrachtung der konstruierten Laufzeitkurve gewinnt man die Überzeugung, dass die berechnete Kurve, als eine mehr gestreckte Kurve, sich den einzelnen Stationswerten besser anpasst, als die konstruierte. Die Abweichung zwischen beiden Kurven ist aber so klein, dass man den Schluss ziehen kann, dass die Gleichungen (4) und (9) die Laufzeitkurve in allen Einzelheiten vollkommen darstellen.

Zieht man von der Gleichung (4) die analoge Gleichung für die Laufzeit im Epizentrum ab, d. h. für die Zeit die der Stoss gebraucht hat um vom Herde senkrecht zur Erdoberfläche zu gelangen, so erhält man die Gleichung der Laufzeitkurve oder die Laufzeitfunktion :

$$t = \frac{\rho}{(k+1) c_0 r^k} \left[\sqrt{1 - r^{2(k+1)} \sin^2 e_0} - r^{k+1} \cos e_0 + r^{k+1} - 1 \right]$$

weil für $e_0 = 0$

$$t_0 = \frac{\rho}{(k+1) c_0 r^k} (1 - r^{k+1})$$

Da für die Erdoberfläche $c = c_0 r^k = 5.53$ km p. s. und $r^{k+1} \sin e_0 = \sin e$ also gleich dem Sinus des Emergenzwinkels ist, so könnte man die obige Gleichung auch auf die Emergenzgeschwindigkeit und den Emergenzwinkel beziehen.

Es wurde schon früher dargelegt, dass die $\bar{P}$ mutmasslich nur bis 720 km Entfernung reichen. Dies ist aber ganz unsicher, denn es wird später eine andere Laufzeitkurve besprochen, welche in allen Fällen eine Fortsetzung dieser Kurve bildet und ihr Aufhören unsicher macht. Da aber alle späteren Ausführungen auf der Annahme beruhen, dass die $\bar{P}$ irgendwo aufhören, so wollen wir einstweilen bei dieser Entfernung bleiben und später darlegen, wie man auf Grund weiterer guter Beben zur Bestimmung der äussersten Entfernung dieser Kurve gelangen wird.

Ist der äusserste Punkt der Kurve in 720 km Entfernung vom Epizentrum, so ist der tiefste Punkt der Bahn dieses Strahles nach (12) gleich 54 km in einer Entfernung von $3^{\circ}41'6''$ (411 km). Ist aber der äusserste Impulswinkel nur 100° , entsprechend dem äussersten Punkte der Kurve in 666 km, so ist der tiefste Punkt der Bahn 49 km.

Um die weiteren Ausführungen vornehmen zu können, musste ich mich für eine Tiefe entscheiden, welche wenigstens näherungsweise durch die Beobachtungen bestätigt werden kann. Ich entschied mich für eine abgerundete Tiefe von 50 km.

Da also die $\bar{P}$ nur bis zu einer Tiefe von 50 km vordringen können, so ist in dieser Tiefe die Grenzfläche der obersten Schichte der Erdkruste. In dieser Fläche muss eine plötzliche Änderung des Materials eintreten, aus welchem das Erdinnere besteht, da hier eine sprungweise Änderung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erdbebenwellen eintreten muss.

V.

Die normalen Primae (P).

Die normalen Primae pflanzen sich im Erdinnern mit einer wesentlich grösseren Geschwindigkeit als die individuellen fort. Um diese Geschwindigkeit, besonders bis zu einer Entfernung von 1600 oder 1700 km feststellen zu können, bis zu welcher Entfernung ihre Laufzeit ziemlich sicher ist, muss man die Geschwindigkeit bestimmen, mit welcher diese Wellen in die oberste Erdkruste eindringen und das Mass k_1 der Zunahme dieser Geschwindigkeit mit der Tiefe feststellen.

Da hier gar kein Anhaltspunkt gegeben ist, nach welchem man die Änderung der Geschwindigkeit beim Übergange der

Wellen aus der oberen Schichte in die untere bestimmen kann, so musste ich mich eines Kunstgriffes bedienen.

Ein Strahl, der aus dem Herde unter einem geeigneten Winkel ausgeht, wird die Grenzschichte erreichen und in das Innere eindringen. Beim Übergange wird er eine Brechung erfahren und sich in einer krummen Bahn weiter fortpflanzen. Der Strahl wird dann wieder die Grenzschichte erreichen und nach erfolgter nochmaliger Brechung durch die oberste Schichte zur Erdoberfläche gelangen.

Sind zwei solche Strahlen gegeben welche in einer kleinen gegenseitigen Entfernung, z. B. von 100 km, zur Erdoberfläche gelangen, so kann man, in erster Annäherung, ihre in der oberen Schichte durchlaufenen Wege einander gleich setzen. Die Differenz ihrer Laufzeiten hängt dann nur von der Differenz ihrer Wege in der unteren Schichte ab.

Da es sich hier um Strahlen handelt, welche von einem Niveau zu einem gleichen Niveau gehen, so können wir folgende Gleichung benützen:

Für $e_0 = 90^\circ$ ist

$$\frac{\varphi}{2} = \frac{1}{k+1} \left[90^\circ - \arcsin r^{k+1} \right]$$

Da aber $r^{k+1} = \sin e$ d. h. gleich dem Sinus des Emergenzwinkels ist, so ist

$$\frac{\varphi}{2} = \frac{1}{k_1+1} \left[90^\circ - e \right] = \frac{\varepsilon}{k_1+1} \quad (15)$$

Die Zeit welche der Strahl braucht um die Hälfte der Bahn zu durchlaufen ist

$$\frac{t}{2} = \frac{\rho}{(k_1+1)c_0 r^k} \sqrt{1 - r^{2(k+1)}}$$

oder da $c_0 r^{k_1} = c$ der Emergenzgeschwindigkeit und r^{k+1} wie oben gleich dem Sinus des Emergenzwinkels ist so ist

$$t = \frac{2\rho}{(k_1+1)c_1} \cos e = \frac{2\rho}{(k_1+1)c_1} \sin \varepsilon$$

Braucht ein Strahl um die untere Schichte zu durchlaufen die Zeit t_1 und ein zweiter Strahl die Zeit t_2 so ist die Zeitdifferenz

$$\tau_1 = t_2 - t_1 = \frac{2\rho}{(k_1+1)c_1} \left(\sin \varepsilon_2 - \sin \varepsilon_1 \right) \quad (16)$$

Setzt man vorläufig voraus, dass für Strahlen bis zu 1700 km Entfernung wenigstens angenähert k_1 konstant sei, so kann

man aus drei Paaren vom Strahlen den wahrscheinlichen Wert von k_1 und c_1 berechnen.

Ich nehme den angenäherten auf die Erdoberfläche projizierten Weg d eines Strahles zu rund 100 km. Ist dann die Projektion des Weges in der unteren Schichte d_1 , so ist der Gesamtweg $d_1 + 100$ km, zu welchem Wege die Zeit t_1 zugeordnet ist.

Um möglichst korrekte Laufzeiten für die Zwecke dieser Rechnung zu haben, habe ich aus der Laufzeitkurve die Laufzeiten abgelesen und ausgeglichen. Die so ausgeglichenen Zeiten der P sind:

Entfernung km	Zeit Sek.	d	Entfernung km	Zeit Sek.	d	Entfernung km	Zeit Sek.	d	Entfernung km	Zeit Sek.	d
500	69.4	6.4	900	120.4	6.3	1300	170.8	6.3	1700	221.1	6.2
550	75.8	6.4	950	126.7	6.3	1350	177.1	6.3	1750	227.1	6.0
600	82.2	6.4	1000	133.0	6.3	1400	183.4	6.3	1800	233.0	5.9
650	88.6	6.4	1050	139.3	6.3	1450	189.7	6.3	1850	238.7	5.7
700	95.0	6.4	1100	145.6	6.3	1500	196.0	6.3	1900	244.3	5.6
750	101.4	6.4	1150	151.9	6.3	1550	202.3	6.3	1950	249.8	5.5
800	107.8	6.4	1200	158.2	6.3	1600	208.6	6.3	2000	255.3	5.5
850	114.1	6.3	1250	164.5	6.3	1650	214.9	6.2	2050	260.8	5.5

Nehmen wir drei Paare von φ und zwar 6° und 7° , 10° und 11° und 14° und 15° und berechnen zuerst für jedes Paar nach (15), die zu den verschiedenen passenden k_1 entsprechenden Werte von ε . Da den angenommenen φ die Gesamtentfernungen von rund 759, 860, 1219, 1320, 1650 und 1760 km mit den Laufzeiten von 101.4 s, 115.4 s, 159.5 s, 173.3 s, 214.9 s und 228.3 s entsprechen, so sind die Zeitdifferenzen jedes Paares von φ : 14.0 s, 13.8 s und 13.4 s. Nach (16) berechnet man die zugehörigen Werte vom c_1 .

Ein Beispiel der Rechnung möge genügen:

Für 6° und 7° sind die $\frac{\varphi}{2}$ gleich 3° und $3^\circ 30'$. Nimmt man $k_1 = 4$ so ist $\varepsilon_1 = (k + 1) \frac{\varphi}{2} = 15^\circ$ und $\varepsilon_2 = 17^\circ 30'$, daraus folgt aus (16) $c_1 = 7.56$ km p. s.

Die so gewonnenen Werte von c_1 sind folgende:

$k_1 =$	4	3	2	1
$6^\circ - 7^\circ$	7.56	7.68	7.77	7.85
$10^\circ - 11^\circ$	7.17	7.46	7.69	7.86
$14^\circ - 15^\circ$	6.64	7.20	7.64	7.95

Trägt man die so gewonnenen Werte von c_1 in ein Koordinatennetz ein, wobei die Werte von k_1 als Abscissen, jene von c_1 als Ordinaten genommen werden, so kommen die drei Kurven für c nahe zusammen bei $k = 1.3$ mit der gemeinschaftlichen Geschwindigkeit von 7.8 km p. s.

Ist die angenäherte Geschwindigkeit bekannt, so ist auch der angenäherte Brechungsquotient bekannt. Da die Geschwindigkeit an der unteren Grenze der oberen Schichte 5.68 km p. s. beträgt, so ist $\log n = 0.12804$.

Nimmt man jetzt in erster Annäherung $k = 1.3$ und berechnet z. B. für 6° , 10° und 14° nach (15) die zugehörigen ε und durch Multiplikation ihrer Sinusse mit n die Austrittswinkel in die obere Schichte, so kann man leicht bei bekannten Impulswinkeln die Wege von der Grenzschichte einerseits bis zum Herde, anderseits bis zur Erdoberfläche berechnen. Da verschiedene Proben zu erwarten waren so berechnete ich die Wege (in km.) und Zeiten (in Sek.) für die Impulswinkel von 30° , 40° , 50° und 60° .

Von 50–25 km			Von 50–0 km	
Impulswinkel	Weg	Zeit	Weg	Zeit
30°	14	5.0	28	10.3
40°	21	5.8	41	11.5
50°	29	6.9	58	13.6
60°	42	8.7	82	22.0

Alle diese Werte wurden in ein Koordinatennetz eingetragen und die Kurven der Wege und Zeiten gezogen. Aus dieser graphischen Darstellung lässt sich für jeden Impulswinkel zwischen 30° und 60° mit genügender Genauigkeit der Gesamtweg und die Zeit für die obere Schichte entnehmen.

Die erste Probe mit den angenäherten Werten ergab k etwas zu gross. Es wurde nun k sukzessive zuerst auf 1.0, dann auf 0.75 verkleinert, und mit diesem letzten Werte und

einer Ausgangsgeschwindigkeit $c_1 = 7.747$ km p. s. ergab sich eine vortreffliche Übereinstimmung der berechneten mit den beobachteten Werten.

Das Resultat der Rechnung ist folgendes:

$$c_1 = 7.747 \text{ km s}, \quad k = 0.75 \quad \log n = 0.13479.$$

Gesamtweg in der oberen Schichte			In der unteren Schichte		Summe		- 4'5	Laufzeit Kurve	Diff.
φ	km	t	km	t	km	t			
2°	79	19.3	222	28.5	301	43.3	38.8	—	—
4°	79	19.3	445	56.9	524	76.2	71.7	72.5	0.8
6°	78	19.3	667	85.3	745	104.6	100.1	100.1	0.0
8°	78	19.2	889	113.6	967	132.8	128.3	128.8	0.5
10°	77	19.2	1112	141.8	1189	161.0	156.5	156.8	0.3
12°	77	19.1	1334	169.9	1411	189.0	184.5	184.7	0.2
14°	75	19.0	1556	197.8	1631	216.8	212.3	212.5	0.2
Mittlere Abweichung $s = 0.3$									

Die Rechnung ergibt also, wie man aus diesen Zahlen sieht, die Laufzeitkurve mit jeder wünschenswerten Genauigkeit. Die Emergenzwinkel an der Erdoberfläche sind

Epizentral- entfernung	Emergenzwinkel		Ep.- Entf.	Emergenzwinkel	
	e	90° - e		e	90° - e
km 301	45° 20'	44° 40'	1189	44° 35'	45° 25'
524	45° 08'	44° 52'	1411	44° 17'	45° 43'
745	45° 00'	45° 00'	1631	43° 57'	46° 03'
967	44° 49'	45° 11'			

Der Strahl, welcher die Epizentralentfernung von 1631 km erreicht, hat seinen tiefsten Punkt in 132.7 km.

Ein Strahl, der aus dem Herde unter einem Winkel von 100° ausgeht, wird noch die untere Fläche in 50 km Tiefe streifen und zur Erdoberfläche gelangen. Strahlen welche unter einem grösseren Winkel ausgehen, werden an der unteren Fläche total reflektiert. Der Grenzstrahl zwischen dem letzten total reflektierten und dem ersten in die untere Schichte gebrochenen Strahle, geht aus dem Herde unter einem Winkel, für welchen der Austrittswinkel gleich 90° wird, und der Sinus des Eintrittswinkels $\sin \beta = \frac{1}{n}$ wird, in unserem Falle 47° 09'.

Diesem Winkel entspricht ein Impulswinkel im Herde von $133^{\circ} 49'$.

Alle Strahlen, welche aus dem Herde zwischen den Winkeln von 100° und $133^{\circ} 49'$ ausgehen, bleiben in der oberen Schichte der Erde und nur 14% der Energie gelangt in das Innere der Erde.

Ein Strahl der unter einem Winkel von $133^{\circ} 49'$ aus dem Herde ausgeht und an der unteren Fläche reflektiert wird kommt an die Erdoberfläche in der Epizentralentfernung von 79 km. Dieser Strahl tritt aber noch nicht in die untere Schichte. Erst ein Strahl der unter einem etwas grösseren Winkel aus dem Herde ausgeht, kann gebrochen werden und wieder an die Oberfläche gelangen. Dadurch erklärt sich, dass die normalen P erst in einer grösseren Entfernung vom Epizentrum anfangen, denn sie müssen unter einem gewissen Winkel die brechende Fläche treffen um in merklicher Grösse gebrochen werden zu können.

VI.

Die transversalen Wellen.

1. Die Transversalwellen (Secundae) der individuellen Primae.

Da beide Wellenarten die individuellen und die normalen Primae, nur eine und dieselbe Wellenart sind und sich nur durch den verschiedenen Weg unterscheiden, auf welchem sie zur Erdoberfläche gelangen, so sind beide Wellenarten longitudinale Wellen. Die den normalen Primae zugehörigen Transversalwellen (Secundae) sind längst bekannt. Da man aber die individuellen Primae bisher nicht unterschied, so waren auch die ihnen zugehörigen Transversalwellen unbekannt.

Es liegt die Vermutung nahe, dass die Maximalwellen die den P zugehörigen Secundae sind. Diese Vermutung wird dadurch verstärkt, dass das Verhältniss der Laufzeiten der eM zu den $\bar{P}$ eine Zahl ist, die dem analogen Verhältnisse der normalen P zu ihren S nahezu gleichkommt.

Man erhält für	km	$\frac{eM}{P}$		km	$\frac{eM}{P}$
Zagreb	39	1.82	Budapest	318	1.66
Fiume	134	1.58	Padova	332	1.72
Laibach	141	1.69	München	454	1.67
Graz	184	1.84	Hohenheim	633	1.73
Triest	185	1.59	Moncalieri	644	1.81
Pola	193	1.70	Sofia	652	1.61
Wien	308	1.66			
			Mittel		1.70

Diese Zahl ist noch recht unsicher und könnte um einige Einheiten der letzten Stelle falsch sein, da der Anfang der Maximalphase sehr schwer genau abzulesen ist.

Bildet man die Quotienten der Laufzeiten der normalen S und P von 2000 km abwärts so erhält man

bei 2000 km 1.79	bei 1000 km 1.81
bei 1500 km 1.80	bei 500 km 1.76

Von 1000 km abwärts nimmt der Quotient ab. Dies erklärt sich dadurch, dass in kleinen Entfernungen der Weg in der oberen Schichte schon einen grossen Teil des Gesamtweges ausmacht. Man sieht aber auch, dass der Quotient in der oberen Schichte kleiner ist als in der unteren.

Bei den folgenden Ausführungen habe ich für den Quotienten in der oberen Schichte den Wert 1.71 genommen. Dieser Wert ist etwa um 0.5% grösser als das Mittel aller Stationen, schien mir aber, unter Berücksichtigung der Güte der Stationen, besser.

Der Stossstrahl, welcher aus dem Herde senkrecht zum Epizentrum als longitudinale Welle gelangt, braucht dazu 4.5 Sekunden, der zugehörige Transversalstrahl wird dann 7.7 Sek. für denselben Weg brauchen. Im Epizentrum haben wir in diesen Falle eine Dauer des Vorbebens von 3.2 Sekunden. Je näher der Erdoberfläche der Herd des Bebens liegt, desto kürzer wird diese Vorphase.

Um den Verlauf der $\bar{S}$ genau feststellen zu können, müsste man noch die Änderung ihrer Geschwindigkeit mit der Tiefe kennen. Die Beobachtungen lassen uns aber hier im Stich. Ich werde daher vorläufig annehmen, dass sich in der oberen Schichte der Erde die beiden Wellenarten von einander nicht trennen. Für kleine Wege wird man durch diese Annahme kaum einen merklichen Fehler begehen. Wenn später genaue Daten für grössere Entfernungen bekannt sein werden, wird man auch strenger rechnen können.

Durch Multiplikation der Laufzeiten der $\bar{P}$ mit 1.71 erhält man folgende Laufzeiten der $\bar{S}$:

Km	Laufzeit	Laufz. - 4.5	Km	Laufzeit	Laufz. - 4.5	Km	Laufzeit	Laufz. - 4.5
0	7.7	3.2	200	60.9	56.4	500	155.6	151.1
50	17.4	12.9	300	93.2	88.7	600	183.7	179.2
100	30.4	25.9	400	125.3	120.8	700	211.0	206.5

Die Geschwindigkeit der S im Herde wäre 3·27 km p. s. Betrachtet man die obigen Laufzeiten als Laufzeiten der Oberflächenwellen so resultiert eine Geschwindigkeit von 3·31 für 500 km Entfernung und 3·39 für 700 km, also eine Zahl die mit den bisher bekannten Geschwindigkeiten übereinstimmt. Ist im Herde die Geschwindigkeit 3·27 km p. s., so ist die Emergenzgeschwindigkeit dieser Wellen 3·23 km p. s. Ist der Quotient 1·71 richtig, so wäre die Geschwindigkeit von 3·23 p. s. die Geschwindigkeit der durch die Transversalwellen induzierten Oberflächenwellen. Wäre dieser Quotient um 5 Einheiten der letzten Dezimale falsch, so wären die zugehörigen Oberflächengeschwindigkeiten 3·33 und 3·14 km p. s. Zwischen diesen beiden Geschwindigkeiten muss also die Geschwindigkeit der Oberflächenwellen liegen.

2. Die Transversalwellen (S) der normalen Primae.

Die Berechnung der Geschwindigkeit und des Masses (k_2) der Änderung dieser Geschwindigkeit mit der Tiefe geschah auf dieselbe Art wie bei den P unter der angenäherten Voraussetzung, dass innerhalb der Erdkruste die transversalen und die longitudinalen Wellen denselben Weg verfolgen.

Als Grundlage der Rechnung wurden folgende Laufzeiten der S genommen.

km	Laufzeit s.	km	Laufzeit s.	km	Laufzeit s.	km	Laufzeit s.
600	150·2	950	233·0	1300	312·3	1650	388·9
650	162·2	1000	244·5	1350	323·4	1700	399·6
700	174·2	1050	256·0	1400	334·5	1750	410·2
750	186·1	1100	267·4	1450	345·5	1800	420·7
800	197·9	1150	278·7	1500	356·5	1850	431·2
850	209·7	1200	290·0	1550	367·4	1900	441·5
900	221·4	1250	301·2	1600	378·2	1950	451·7
						2000	461·8

Als Näherungswerte für c_2 bei den verschiedenen angenommenen Werten von k_2 erhält man

$k =$	4	3	2	1
$\varphi = 6^\circ - 7^\circ$	4·46	4·52	4·54	4·60
$\varphi = 10^\circ - 11^\circ$	4·38	4·56	4·70	5·04
$\varphi = 14^\circ - 15^\circ$	4·16	4·48	4·76	—

Aus diesen Geschwindigkeiten ergibt sich, wie bei den P, der angenäherte Wert von $k = 2.9$ und von $c_2 = 4.55$ km p. s. Eine Proberechnung mit diesen Werten ergibt, dass die Geschwindigkeit zu gross sei. Da die Geschwindigkeit in der Formel als Nenner auftritt, so ist es leicht die wahre Geschwindigkeit zu erhalten. Eine Probe mit dem Werte $c_2 = 4.172$ ergab, dass auch k etwas zu gross sei. Endlich wurde ein befriedigendes Resultat mit $k = 2.7$ und $c_2 = 4.182$ km p. s. erzielt. Da die Geschwindigkeit der $\bar{S}$ an der unteren Grenze der oberen Schichte 3.32 km p. s. ist, so ist $\log n = 0.10000$.

Mit diesen Werten erhält man folgende Laufzeiten:

Entfernung km	Berechnete Laufzeit s	-4.5 s	Laufzeit Kurve	Diff.
319	89.5	85.0	—	—
538	141.9	137.4	—	—
758	193.2	188.7	188.0	-0.7
977	243.9	239.7	239.2	-0.5
1196	293.3	288.8	289.1	0.3
1414	341.9	337.4	337.6	0.2
1631	389.1	384.6	384.8	0.2

Die Rechnung stimmt auch hier sehr gut mit der Beobachtung.

Da die Laufzeitkurve der S nicht so genau bekannt ist wie diejenige der P, so wird eine Neuberechnung nötig sein sobald genügendes Material zur Verfügung stehen wird.

Das Verhältnis zwischen den Ausgangsgeschwindigkeiten der P und S an der Grenzfläche ist 1.852, also bedeutend grösser als in der oberen Schichte. Da es aber für beide Wellenarten ein verschiedenes k gibt, so ist das Verhältnis der beiden Geschwindigkeit mit der Tiefe veränderlich.

Der Strahl welcher an die Erdoberfläche in einer Entfernung von 1631 km gelangt erreicht die grösste Tiefe von 216 km. Beim Übergange aus der oberen Schichte in die untere trennen sich die transversalen von den longitudinalen Wellen und erreichen eine bedeutend grössere Tiefe (216 km gegen 132 km).

Rechnet man die Laufzeit der S für die Distanz von 2067 km, entsprechend einem Wege von 18° in der unteren Schichte so erhält man schon eine Differenz von 2.4 Sekunden zwischen Beobachtung und Rechnung.



Wenn durch eine grössere Menge der Beobachtungen eine genauere Bestimmung der Dicke der obersten Schichte der Erde ermöglicht wird, werden auch die Geschwindigkeiten beim Eintritte der Strahlen in die untere Schichte etwas geändert. Je grössere die Dicke der obersten Schichte ist desto grösser werden diese Geschwindigkeiten.

VII.

Die Reflexionen in der obersten Schichte der Erde.

Nachdem durch die vorhergehenden Erörterungen und Rechnungen nachgewiesen ist, dass es in einer mässigen Tiefe von etwa 50 km eine Kugelfläche gibt wo eine starke Refraktion der Strahlen stattfindet, so müssen an dieser Fläche sowie an der Erdoberfläche auch mehrfache Reflexionen stattfinden.

Es scheint auf den ersten Blick, dass es eine müssige Arbeit wäre diese Reflexionen zu berechnen, da die Tiefe der reflektierenden Fläche nicht bekannt ist. Doch scheint es mir, dass gerade die genaue Bestimmung dieser Reflexionen durch die Beobachtungen zu einer schärferen Bestimmung der Tiefe dieser Fläche führen kann. Sind die Beobachter auf die ungefähre Lage der Reflexionen im Bebenbilde aufmerksam gemacht, so werden sie diese Reflexionen aufsuchen und ablesen. Nachdem eine grössere Menge von Reflexionen bestimmt sein wird, wird man auch ihre Laufzeitkurven zeichnen und feststellen können wie weit dieselben von den angenäherten Kurven abweichen.

Es können zwei Arten von Reflexionen vorkommen:

a) eine untere Reflexion (R_1), wo jeder Strahl nach einer Reflexion an der unteren Fläche wieder an die Oberfläche gelangt;

b) eine obere Reflexion (R_s) wo der Strahl eine zweimalige Reflexion erleidet, zuerst an der Oberfläche dann an der unteren Fläche.

Diese beiden Reflexionen können sich so viele Male repetieren bis die ganze Energie aufgezehrt wird.

Bei den Reflexionen können auch mannigfache Änderungen der longitudinalen in transversale Wellen (Wechsel-

wellen) stattfinden, so dass wir statt zweier mehrere Laufzeitkurven bei jeder Reflexion erhalten können.

a) Bei der R_i kann: α) der longitudinale Strahl unverändert an die Oberfläche gelangen ($R_i\bar{P}$); β) an der unteren Fläche können transversale Wellen entstehen und an die Oberfläche gelangen ($R_i\bar{P}\bar{S}$); γ) die aus dem Herde ausgehenden transversalen Strahlen können an der unteren Fläche reflektiert werden ($R_i\bar{S}$).

b) Bei der R_s ist die Möglichkeit einer noch grösseren Zahl von Wellenarten gegeben; α) die Reflexion der longitudinalen Wellen ($R_s\bar{P}$); β) die longitudinalen Wellen werden erst nach der zweiten Reflexion in transversale umgeändert ($R_s\bar{P}_2\bar{S}$); γ) die longitudinalen Wellen werden gleich nach der ersten Reflexion an der oberen Fläche in transversale umgewandelt ($R_s\bar{P}\bar{S}_2$); δ) die aus dem Herde kommenden transversalen Wellen gelangen nach zweimaliger Reflexion an die Oberfläche ($R_s\bar{S}$).

Wiederholen sich die Reflexionen so wächst die Zahl der möglichen Laufzeitkurven immer mehr.

Ist eine untere brechende Fläche vorhanden, so ist auch die Möglichkeit der Ausbildung von stehenden Wellen vorhanden, auf welche schon Wiechert aufmerksam gemacht hat.

1. Die untere Reflexion (R_i).

Ein Strahl, ob longitudinal oder transversal schwingend, der an der unteren Fläche reflektiert wird, gelangt an die Erdoberfläche in einer grösseren oder kleineren Entfernung vom Herde, je nachdem der Impulswinkel im Herde, also der Ausgangswinkel kleiner oder grösser ist. Ist der Impulswinkel gleich 180° , so wird der Strahl aus dem Herde senkrecht abwärts gehen, unten reflektiert werden und im Epizentrum selbst zur Oberfläche gelangen. Wird der Impulswinkel immer kleiner, so wird der Winkel, unter welchem der Strahl die untere Fläche trifft, immer grösser. Wenn zuletzt der Impulswinkel auf 100° fällt, wächst der Winkel an der unteren Fläche auf 90° . Der reflektierte Strahl geht in den direkten Strahl der $\bar{P}$ über.

Die Laufzeitkurven der unteren Reflexionen können nur bis zu jener Entfernung vom Epizentrum reichen bis zu welcher sich die $\bar{P}$ erstrecken. In unserem Falle nur bis etwa 700 km. Hier müssen die Laufzeitkurven der unteren Reflexionen mit den Kurven der $\bar{P}$ und $\bar{S}$ zusammenfallen. Da der

Gang eines jeden Strahles vermittelt der angeführten Formeln von unten nach oben gerechnet werden muss, so wurden die Wege der Strahlen berechnet welche die untere Fläche unter den Winkeln 0° , 10° , 20° u. s. w. verlassen und teils zum Herde, teils an die Oberfläche gelangen. Die Summe beider Wege und Zeiten ist der Gesamtweg und die Gesamtzeit für die Reflexion.

1. Wege und Zeiten.

Reflexions- winkel	Von 50 - 25 km			Von km 50—0 km		
	km	Long.	Transv.	km	Long.	Transv.
0°	0	4'4s	7'5s	0	8'9s	15'2s
30°	14	5'0	8'6	28	10'3	17'6
40°	21	5'8	9'9	41	11'5	19'7
50°	29	6'8	11'6	58	13'6	23'3
60°	42	8'7	14'9	82	17'4	29'2
70°	65	12'3	21'0	123	23'6	40'4
80°	117	21'1	36'1	205	37'6	64'3
85°	175	31'0	53'0	281	50'6	86'5
90°	281	49'6	84'8	395	70'8	121'1

2. Gesamtweg und Zeit bezogen auf die Erdoberfläche.

Weg	$R_i\bar{P}$	$R_i\bar{P}\bar{S}$	$R_i\bar{S}$
0	8'8	15'1	18'2
42	10'8	18'1	21'7
62	12'8	21'0	25'1
87	15'9	25'6	30'4
124	21'3	33'4	39'6
188	31'4	48'2	56'9
322	54'2	80'9	95'9
456	77'1	113'0	135'0
676	115'9	166'2	201'4

In der unteren Tabelle sind die Zahlen bezogen auf die Erdoberfläche, also auf die Laufzeitkurve indem von jeder Summe 4'5 Sekunden abgezogen ist.

Die reflektierten Wechselwellen fallen nahezu mit den normalen S zusammen, daher sind die Beobachtungen der S bis 700 km sehr unsicher.

Eine nochmalige Reflexion an der unteren Fläche gibt zu fünf neuen Laufzeitkurven Anlass. Die $R_i^2\bar{P}$ ist bis 600 km etwas über der $R_i\bar{P}$, von 700 bis 1650 km bildet sie aber eine Fortsetzung dieser Kurve. Ebenso ist die $R_i^2\bar{S}$ eine Fortsetzung der $\bar{S}$ und der $R_i\bar{S}$.

2. Die obere Reflexion (R_s).

Da diese Reflexion eigentlich aus zwei Reflexionen besteht, einer an der Oberfläche und einer an der unteren Fläche, so wird es vorkommen, dass bis zu einem Impulswinkel von $79^{\circ}48'$, dem der Emergenzwinkel von $75^{\circ}36'$ in einer Entfernung von 115 km entspricht, immer ein Winkel an der unteren Fläche zukommen wird, der kleiner ist als 90° . Ist der Impulswinkel im Herde $79^{\circ}48'$, so wird der reflektierte Strahl die untere Fläche streifen, und von der Oberfläche zur Oberfläche einen Weg von 790 km zurücklegen, und in einer Entfernung von 915 km wieder an der Oberfläche erscheinen. Wird der Impulswinkel grösser so wird auch der Emergenzwinkel grösser und der an der Oberfläche reflektierte Strahl gelangt nicht mehr bis zu der unteren Fläche, wird also nicht mehr unten reflektiert. Der grösste Emergenzwinkel von $79^{\circ}48'$ entspricht dem Impulswinkel von 90° in der Entfernung von 280 km. Ein Strahl der von der Oberfläche unter einem Winkel von $180 - 79^{\circ}48' = 100^{\circ}12'$ reflektiert wird, trifft an die Oberfläche in einer Entfernung von 560 km. Der aus dem Herde unter den Winkel von 90° ausgehende Strahl kommt wieder an die Oberfläche in der Entfernung von $3 \times 280 = 840$ km. Die Laufzeitkurve kehrt also von 910 km auf 840 km zurück. Ist der Impulswinkel $100^{\circ}12'$ so entspricht ihm wieder derselbe Emergenzwinkel wie bei dem Impulswinkel von $79^{\circ}48'$, also $75^{\circ}36'$ und der reflektierte Strahl wird wieder die untere Fläche streifen. Dem Impulswinkel von $100^{\circ}12'$ entspricht eine Entfernung von 675 km bis zu der Oberfläche der Erde. Der Gesamtweg des Strahles wird also $790 + 675 = 1465$ km. Die Laufzeitkurve der oberen Reflexion bildet also zwischen etwa 790 km und 910 eine Schleife.

Folgende Tabelle gibt die berechneten Wege und Zeiten.

1. Wege und Zeiten.

Von 25—0 km			Von 0 km — Unten			Von 25 km — 0 km			Von 0 km — Unten		
Weg	Long. Zeit	Trnsv. Zeit	Weg	Long. Zeit	Trnsv. Zeit	Weg	Long. Zeit	Trnsv. Zeit	Weg	Long. Zeit	Trnsv. Zeit
0	4.5	7.7	0	8.9	15.2	106	19.6	33.5	280	50.6	86.5
14	5.3	9.1	28	10.3	17.6	114	21.2	36.3	395	70.8	121.1
20	5.7	9.7	41	11.5	19.7	174	31.5	53.9	312	55.9	95.6
29	6.8	11.6	58	13.6	23.3	280	50.6	86.5	280	50.6	86.5
40	8.7	14.9	82	17.1	29.2	449	80.3	137.3	312	55.9	95.6
58	11.3	19.3	123	23.6	40.4	675	120.2	205.5	395	70.8	121.1
88	16.5	28.2	205	37.6	64.3						

2. Gesamtwege und Zeiten bezogen auf die Erdoberfläche.

Weg	$R_s\bar{P}$	$R_s\bar{P}_2\bar{S}$	$R_s\bar{P}\bar{S}_2$	$R_s\bar{S}$
0	17.8	24.1	30.4	33.6
70	21.4	28.7	36.0	39.8
102	24.2	32.4	40.6	44.6
145	29.5	39.2	48.9	53.7
204	38.4	50.5	62.6	68.8
304	54.0	70.8	87.6	95.6
498	87.2	113.9	140.6	152.3
668	116.3	152.2	188.1	202.0
904	158.3	208.6	258.9	274.0
798	138.8	178.5	218.2	240.6
840	147.3	183.2	219.1	255.0
1073	187.6	227.3	267.0	324.0
1465	257.3	307.6	357.9	443.2

Die obere Reflexion der $\bar{P}$ bildet eine Fortsetzung der $\bar{P}$ bis 1465 km. Diese Fortsetzung wird natürlich nur bei starken Beben zum Vorschein kommen. Als ich Anfangs noch einige starke Beben berücksichtigt hatte, glaubte ich die $\bar{P}$ bis 1400 sogar bis 1600 km erkennen zu können. Da ich aber später diese Beben vernachlässigen musste, so entfielen auch die betreffenden Daten.

Ebenso ist die obere Reflexion der $\bar{S}$ einfach ihre Fortsetzung über 700 km. Legt man ein Lineal auf diese Fortsetzung so sieht man eine nahezu genaue gerade Linie die aus dem Epizentrum auszugehen scheint. Da die weiteren Reflexionen der $\bar{S}$ wieder eine Fortsetzung über 1460 km bilden, so bilden die $\bar{S}$ samt ihren Fortsetzungen eine Gerade mit einer scheinbaren Oberflächengeschwindigkeit von 3.33 km p. s. Dies erklärt auch dass diese Wellen als Oberflächenwellen angesehen wurden. Da auch den von diesen Wellen induzierten Oberflächenwellen als Transversalwellen dieselbe Geschwindigkeit zukommt, so müssen beide Wellenarten zusammenfallen.

VIII.

Einige Belege für die Richtigkeit der Theorie.

Findet man in den Diagrammen der einzelnen Beben die berechneten Haupt- und Nebenphasen, so wird dadurch der Beweis erbracht, dass die berechneten Reflexionen wirklich existieren, dass also auch die reflektierende Fläche existiert,

und dass die Hauptphase des Bebens hauptsächlich den transversalen Wellen und ihren Reflexionen innerhalb der Erdkruste zuzuschreiben sind.

In den Publikationen der seismischen Institute wurden bisher bei Nahbeben ausschliesslich nur die drei Hauptphasen P, S und eM angeführt. Die P sind, je nach der Stärke des Bebens, der Entfernung und nach der Güte des Instrumentes, entweder die normalen oder die individuellen. Die S sind wieder entweder wahre S oder eine der nahen Reflexionen, besonders die R_sP_2S wird oft als S angegeben. Bei den vertikalen Pendeln, besonders den Vicentinischen, werden sehr oft die S als eM angenommen.

Bei der Durchsicht der mir von den einzelnen Stationen übermittelten Kopien unseres Hauptbebens, habe ich die Reflexionen selbst abgelesen, und von einigen anderen Stationen sind mir die Ablesungen brieflich mitgeteilt worden.

Im Diagramme des Bebens von 13. XII. 1909 in Wien kann man nahezu alle Phasen finden. Ebenso sind im Diagramme von München, besonders beim Beben vom 28. I. 1910 alle Phasen sichtbar. Im Diagramme von Taranto kann man auch nahezu alle Phasen sehen, ebenso in den Diagrammen von Jena, Leipzig und Strassburg. Die weiter gelegenen Stationen kommen wegen der Schwäche des Bebens nicht mehr in Betracht.

Um weiteres Material zu erhalten habe ich seit Anfang dieses Jahres an unserem 1000 kg W. Pendel alle sichtbaren Emersionen ablesen lassen. Leider ist mir das Epizentrum nur eines dieser Beben gut bekannt, und von einigen anderen nur aus Zeitungsnachrichten die ungefähre Lage desselben. Die Übereinstimmung der Reflexionen konnte ich daher nur so konstatieren, dass ich nach den Laufzeitkurven alle Phasen auf die Epizentralzeit reduzierte. Aus der Übereinstimmung der einzelnen Zeiten konnte man auf die Distanz des Epizentrums einerseits und andererseits auf die Existenz der Reflexionen schliessen.

Folgende Beben konnten dazu verwertet werden:

1. Das Beben vom 18. II. Nach Zeitungsnachrichten verspürt auf Kreta. Nach den Angaben der Stationen Hamburg, Wien, Graz, Zagreb, Moncalieri und Valle di Pompei dürfte

das Epizentrum etwa in $36^{\circ} 55' N$ und $23^{\circ} 45' E$ im Aegeischen Meere liegen, in einer Entfernung von Zagreb von 1265 km. Die abgelesenen Phasen reduziert auf das Epizentrum ergeben:

	h	m	s		m	s		h	m	s
P	5	11	59	—	2	47	=	5	09	12
$R_s P$	—	12	57	—	3	41	=	—	—	16
$R_s P_2 S$	—	13	28	—	4	26	=	—	—	02
S	—	14	02	—	5	05	=	—	08	57
$R_s S = eM$	—	15	10	—	6	22	=	—	08	48

Die P und $R_s P$ entsprechen im Mittel der aus allen Stationen abgeleiteten Zeit von 5 h 09 m 13 s, dagegen sind alle anderen Phasen verfrüht, was für eine kleinere Entfernung des Epizentrums sprechen würde.

2. Das Beben vom 23. II. Epizentrum unbekannt, wahrscheinlich in Bulgarien. Nach den Laufzeitkurven ermittelte Distanz 700 km.

	h	m	s				
P	7	53	$\frac{46}{55}$	—	1	35	= { 7 52 11 (unsicher)
							— — 20 (sicherer Anfang)
$\bar{P}$ oder $R_i \bar{P}$	—	54	27	—	2	02	= — — 25
e	—	54	56	—			— (unbekannt)
$R_s \bar{P}_2 S$	—	55	01	—	2	39	= — — 22
S	—	55	17	—	2	54	= — — 24
$R_s \bar{P} S_2 ?$	—	55	28	—	3	17	= — — 11
$eM = \bar{S}$	—	55	53	—	3	31	= — — 22

Die abgelesenen Phasen stimmen sehr gut überein wenn man von dem unsicheren Anfange absieht,

3. Das Beben vom 17. III. Epizentrum unbekannt. Aus den Aufzeichnungen von Sarajevo und Zagreb dürfte das Epizentrum in Dalmatien liegen. Distanz von Zagreb 333 km.

	h	m	s		m	s		h	m	s
P	7	33	15	—	0	47		7	32	28
$\bar{P}$	—	—	28	—	0	56	=	—	—	32
$R_s P_2 S$	—	—	43	—	1	16	=	—	—	27
$eM = \bar{S}$	—	34	12	—	1	42	=	—	—	30

Die Uebereinstimmung ist eine sehr gute.

4. Das Beben vom 18. III. Nach Zagreb, Sarajevo, Pola und Laibach ist das Epizentrum in Dalmatien in etwa $42^{\circ} 54' N$ und $16^{\circ} 50' E$ Entfernung von Zagreb etwa 330 km, also wahrscheinlich dasselbe Epizentrum wie beim vorigen Beben.

	h	m	s		m	s		h	m	s
P	20	22	23	—	0	47	=	20	21	36
$\bar{P}$	—	—	33	—	0	56	=	—	—	37
S	—	23	05	—	1	27	=	—	—	38
eM = $\bar{S}$	—	—	16	—	1	38	=	—	—	38

Die Übereinstimmung ist eine sehr gute.

5. Das Beben von 6. IV. Epizentrum unbekannt. Ange-
nähere Distanz 650 km.

	h	m	s		m	s		h	m	s
P	1	38	48	—	1	29	=	1	37	19
$\bar{P}$	—	39	02	—	1	51	=	—	—	13
e	—	—	28	—	—	—	—	—	—	(unbekannt)
$R_s\bar{P}_2\bar{S}$	—	—	47	—	2	28	=	—	—	19
S	—	40	01	—	2	42	=	—	—	19
eM = $\bar{S}$	—	—	40	—	3	16	=	—	—	24

Die $\bar{P}$ sind etwas verfrüht und die $\bar{S}$ etwas verspätet,
die anderen Phasen stimmen vollständig überein.

6. Das Beben vom 2. V. Epizentrum unbekannt. Ange-
nähere Entfernung 850 km.

	h	m	s		m	s		h	m	s
P	21	22	56	—	1	54	=	21	21	02 $\pm$
$R_s\bar{P}$	—	23	22	—	2	29	=	—	20	53
$R_s\bar{P}_2\bar{S}$	—	24	03	—	3	05	=	—	—	58
$R_s\bar{P}_2S$	—	24	18	—	3	15	=	—	21	03
S	—	—	32	—	3	30	=	—	21	02
eM = $R_s\bar{S}$	—	25	14	—	4	17	=	—	20	57

Der erste Einsatz fällt in die Minutenlücke. Die Über-
einstimmung ist eine gute. Hier kommen beide Zweige der $R_s\bar{P}_2S$
zum Vorschein.

7. Das Beben am 7. VI. Epizentrum nach brieflicher Mit-
teilung des Uffizio centrale di meteorologia in Rom etwa
40° 55' N und 15° 27' E. Die Entfernung von Zagreb 550 km.

	h	m	s		m	s		h	m	s
P	2	05	14	—	1	16	=	2	03	58
$\bar{P}$	—	—	34	—	1	35	=	—	03	59 NE Komp.
			35					—	04	00 NW Komp.
$R_s\bar{P}_2\bar{S}$	—	06	$\frac{10}{11}$	—	2	05	=	—	04	$\frac{05}{06}$
S	—	—	19	—	2	20	=	—	03	59
iM = R_sS	—	—	56	—	2	45	=	—	04	11

Aus der P, $\bar{P}$ und S folgt eine Epizentralzeit von 2 h
03 m 59 s. Die $R_s\bar{P}_2\bar{S}$ und iM sind etwas verspätet. Bei An-
nahme einer Entfernung von 560 km folgt eine noch bessere
Übereinstimmung.

Ich habe die mir zugekommenen Publikationen der an deren seismischen Institute untersucht und finde als Epizentralzeit aus

					h	m	s
Sarajevo	—	Entf	445 km	—	EZ	2	03 57
Pola	—	Entf.	460 km	—	EZ	—	03 59
Triest	—	Entf.	550 km	—	EZ	—	03 57
Laibach	—	Entf.	580 km	—	EZ	—	03 57
Graz	—	Entf.	675 km	—	EZ	—	04 04
Wien	—	Entf.	800 km	—	EZ	—	03 58
Hamburg	—	Entf.	1470 km	—	EZ	—	04 08

Die für Zagreb bestimmte Epizentralzeit dürfte also auf ± 1 s richtig sein. In Fig. 3 sind die einzelnen Phasen des Zagreber Diagrammes bezeichnet.

8. Das Beben vom 13. VII. Angenäherte Entfernung 380 km. Epizentrum in Tirol wahrscheinlich etwas westlich von Innsbruck.

	h	m	s		m	s		h	m	s
P	8	33	23	—	0	54	=	8	32	29
P	—	—	33	—	1	04	=	—	—	29
$R_s P_2 S$	—	—	$\frac{42}{45}$	—	1	27	=	—	—	$\frac{15}{18}$
S	—	34	07	—	1	40	=	—	—	27
$iM = \bar{S}$	—	—	24	—	1	54	=	—	—	30

Mit Ausnahme der $R_s \bar{P}_2 S$ stimmen die anderen Phasen vorzüglich überein.

9. Erdbeben vom 1 VIII. Epizentrum unbekannt. Angenäherte Entfernung 475 km.

	h	m	s		m	s		h	m	s
P	10	42	03	—	1	06	=	10	40	57
$\bar{P}$	—	—	23	—	1	22	=	—	41	01
S	—	—	57 $\pm$	—	2	01	=	—	40	56 $\pm$
$eM = \bar{S}$	—	43	19	—	2	23	=	—	—	56

Die S fallen in die Minutenlücke. Die Übereinstimmung ist eine sehr gute.

10. Erdbeben vom 2. VIII. Epizentrum unbekannt. Angenäherte Entfernung 1275 km.

	h	m	s		m	s		s	m	s
P	2	35	53	—	2	48	=	2	33	05
$R_s P_2 S$	—	37	30	—	4	28	=	—	—	02
e	—	—	45	—	—	—	—	—	—	—
e	—	—	54	—	—	—	—	—	—	—
S	—	38	10	—	5	07	=	—	—	03
$eM = R_s \bar{S}$	—	39	32	—	6	26	=	—	—	06

unbekannt
unbekannt

Die Übereinstimmung ist eine gute. Die zwei unbekannten Phasen sind wahrscheinlich höhere Reflexionen.

II. Das Beben vom 30. VIII. Nach Zeitungsangaben verspürt in Reggio di Calabria. Angenäherte Entfernung 900 km.

	h	m	s		m	s		h	m	s
P	2	12	08	—	2	01	=	2	10	07
R _s P	—	—	48	—	2	38	=	—	—	10
S	—	13	$\frac{52}{51}$	—	3	41	=	—	10	$\frac{11}{10}$
? e	—	14	24							

$$eM = R_s \bar{S} - 14 \ 41 - 4 \ 32 = - \ 10 \ 09$$

Die Übereinstimmung ist eine gute.

12. Das Beben vom 31. VIII. Epizentrum unbekannt. Angenäherte Entfernung 375 km.

	h	m	s		m	s		h	m	s
P	18	58	23	—	0	53	=	18	57	30
$\bar{P}$	—	—	35	—	1	04	=	—	—	31
R _s P ₂ S	—	—	52	—	1	26	=	—	—	26
R _i PS	—	59	05	—	1	33	=	—	—	32
R _s PS ₂	—	—	$\frac{19}{16}$	—	1	47	=	—	—	$\frac{32}{29}$
eM = $\bar{S}$	—	—	$\frac{22}{24}$	—	1	53	=	—	—	$\frac{29}{31}$

Alle Phasen stimmen sehr gut überein. Die S kann man im Diagramme nicht finden.

13. Das Beben vom 11. X. Nach Zeitungsangaben verspürt im südöstlichen Ungarn (Deva, Orszova). Angenäherte Entfernung 550 km.

	h	m	s		m	s		h	m	s
P	11	53	25	—	1	16	=	11	52	09
$\bar{P}$	—	—	48	—	1	35	=	—	—	13
? e	—	54	02	—	—	—		—	—	—
R _s P ₂ S	—	—	11	—	2	04	=	—	—	06
S	—	—	32	—	2	20	=	—	—	12
cM = $\bar{S}$	—	—	53	—	2	45	=	—	—	08

Die mittlere Epizentralzeit ist 11 s 52 m 10 s $\pm$ 2 s.

Die Phase nach den $\bar{P}$ ist wahrscheinlich eine höhere Reflexion.

14. Das Beben vom 25. VIII. 1909. Epizentrum bei Sienna. Entfernung von Zagreb 470 km (Fig. 4. a, b.)

	h	m	s		m	s		h	m	s		
P	0	23	08	$\pm$	—	1	05	=	0	22	03	$\pm$ (Minutenlücke)
$\bar{P}$	—	—	24		—	1	21	=	—	—	03	
$\bar{S}$	—	24	26		—	2	21	=	—	—	05	

Zu diesen Beben möge noch eine Ablesung des Vogtlandsbebens vom 3. XI. 1908. hinzukommen, nach dem Bilde welches in den »Seismischen Registrierungen in Göttingen im Jahre 1907. (Nachrichten der k. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. 1909) Fig. III. publiziert ist. Als Epizentralentfernung ist 250 km angegeben.

	h	m	s		m	s		h	m	s
P	13	11	29	—	0	40	=	13	10	49
$R_s P_2 S$	—	—	44	—	—	59	=	—	—	45
$R_1 PS$	—	—	52	—	1	03	=	—	—	49
S	—	—	55	—	1	08	=	—	—	47
$\bar{S}$	—	—	57	—	1	12	=	—	—	45
$eM = R_1 \bar{S}$	—	—	—	—	1	14	=	—	—	46

Mittlere Epizentralzeit $13\ 10\ 47 \pm 1$

Dieses Beben bietet den einzigen mir bekannten Fall, wo die S schon in 250 km Entfernung vorkommen. Die Zeit von 1 m 08 s liegt genau in der Verlängerung der S bis zu 250 km.

Aus den angeführten Beben sieht man, dass die Reflexionen wirklich existieren und dass man sie in gut registrierten Beben auch finden kann. Zwischen 300 und 700 km kann man sie in allen Bebenbildern finden.

Bei schwachen Beben findet man die Reflexionen viel leichter als bei starken, da bei jenen nur die ersten Reflexionen stärker zum Ausdruck kommen.

IX.

Die Bestimmung der Distanz des Herdes.

Zur Bestimmung der Distanz des Herdes bei Nahbeben sind im Laufe der letzten Dezenien verschiedene empirische Formeln aufgestellt worden. Ist t die Zeit, zu welcher an einer Station der erste Einsatz, und t' der Zeitpunkt zu welchem der Anfang der Maximalphase notiert wurde, und a und b zwei Erfahrungskoeffizienten, so lauten die zwei empirischen Formeln:

$$D = a (t' - t) + b$$

und $D = a (t' - t)$



Die erste dieser Formeln verlangt, dass bis zu einer Entfernung $D = b$ kein Bebenbild eine Vorphase habe, was wenigstens fraglich ist. Die zweite Formel ist dagegen eine Näherungsformel, welche auf der Voraussetzung beruht, dass das Verhältniss der Laufzeiten der $\bar{P}$ und $\bar{S}$, gemäss VI. 1. konstant sei.

Ist τ_0 die Zeit, zu welcher der Anfang des Bebens am Herde stattfand, t'_1 und t'_2 der Anfang des Bebens an zwei Stationen in den Entfernungen D_1 und D_2 und ebenso t''_1 und t''_2 die Eintrittszeiten der Maximalphasen; gibt man ferner zu, dass die Anfänge der Maximalphase die $\bar{S}$ sind, so gilt die Beziehung.

$$\frac{t''_2 - \tau_0}{t'_2 - \tau_0} = \frac{t''_1 - \tau_0}{t'_1 - \tau_0} = m$$

Aus dieser Beziehung folgt:

$$\tau_0 = \frac{t'_1 t''_2 - t''_1 t'_2}{(t''_2 - t'_2) - (t''_1 - t'_1)}$$

$$\text{oder } \tau_0 = \frac{m t'_1 - t''_1}{m - 1} = \frac{m t'_2 - t''_2}{m - 1}$$

Ist die Voraussetzung richtig, so kann man nach diesen Formeln aus den Angaben einer oder zweier Stationen die Zeit des Anfangs eines Bebens aus den $\bar{P}$ und $\bar{S}$ bis etwa 700 km Entfernung genau berechnen.

Nimmt man weiter eine mittlere Geschwindigkeit der $\bar{P}$ oder $\bar{S}$ an, was für Überslagsrechnungen zulässig ist, so ist

$$D = v_1 (t'_1 - \tau_0) \text{ und } D = v_2 (t''_1 - \tau_0)$$

wo v_1 und v_2 die Geschwindigkeiten der $\bar{P}$ und $\bar{S}$ sind. Setzt man in jede dieser Gleichungen für τ_0 den früher berechneten Wert ein, so erhält man:

$$D = \frac{v_1}{m - 1} (t''_1 - t'_1)$$

$$\text{oder } D = \frac{m v_2}{m - 1} (t''_1 - t'_1)$$

Für $m = 1.71$ und $v_1 = 5.60$ ist

$$D = 7.9 (t''_1 - t'_1)$$

welcher Wert für Distanzen bis zu etwa 700 km gilt.

D ist die Entfernung des Herdes und nicht des Epizentrums, da aber für entferntere Stationen beide Ent-

fernungen nahezu gleich sind, so kann man die Formel auch zur Berechnung der Entfernung des Epizentrums gebrauchen. Aus den Laufzeitkurven der $\bar{P}$ und $\bar{S}$ entnehmen wir $t'' - t'$ für 100 km Entfernung 13 Sekunden, für 300 km 38 Sekunden und für 600 km 78 Sekunden. Die berechneten Distanzen sind dann 103 km, 300 km und 600 km. Ebenso könnte man zu dem Zwecke die normalen P und S gebrauchen. Da aber für diese Phasen m nicht mehr konstant ist, so werden die berechneten Distanzen nicht mehr so genau. Ist $t'' - t'$ der Zeitunterschied des Eintreffens des S und P so wird im Mittel

$$D = 9.0 (t'' - t')$$

Für 300 km erhält man eine um 40 km zu grosse und für 1500 km um 60 km zu kleine Entfernung.

Beide Gleichungen für τ_0 und D sind unabhängig von dem Nullpunkte der Zeitrechnung. Der Fehler der nach diesen Formeln berechneten Zeit und Entfernung ist von der mehr oder weniger genauen Bestimmung der Eintrittszeiten der beiden Phasen abhängig. Ein zu kleiner Wert von t' gibt einen zu kleinen Wert für τ_0 und eine zu grosse Distanz, umgekehrt gilt für t'' .

Da bis jetzt ein Unterschied zwischen P und $\bar{P}$ unbekannt war, so wurde bald die eine bald die andere Phase für t genommen und dadurch ganz verschiedene Werte für die Entfernung erhalten. Da ferner die eM sehr schwer genau bestimmbar ist, weil man diese Phase mit irgend einer Haupt- oder Nebenphase verwechselt, welche zufällig einen besonders starken Ausschlag zeigt, so ist dadurch ein weiterer Grund einer falschen Entfernung gegeben.

Die beste Methode der Bestimmung der Entfernung ist der Vergleich aller abgelesenen Phasen mit den Laufzeitkurven. Wenn man bei Nahbeben alle sichtbaren Einsätze abliest und die Zeitdifferenzen von dem ersten Einsatze auf ein in Millimeter eingeteiltes Lineal z. B. mit Kreide aufträgt und das Lineal so lange auf der Tafel der Laufzeitkurven verschiebt, bis man eine möglichst gute Ubereinstimmung aller oder der meisten Phasen erzielt, so erhält man die beste Epizentralentfernung. Durch Vergleich der einzelnen abgelesenen Phasen mit den in der Tafel enthaltenen kann man oft erfahren, dass man eine oder mehrere Phasen falsch beurteilt habe.

X.

Einfluss der Herdtiefe auf die einzelnen Phasen.

1. Individuellen Primae.

Die Tiefe des Herdes ändert die Koordinaten φ und t des Inflexionspunktes der Laufzeitkurve und die Distanz bis zu welcher der letzte Strahl, welcher die untere Fläche streift gelangen kann.

Ist der Herd eines Bebens auf der Erdoberfläche, so kann der letzte Strahl bis zu einer Entfernung von 790 km in 141.6 Sekunden gelangen. Vergleicht man diese Zahl mit derjenigen welche man erhält, wenn man die Laufzeitkurve für 25 km Tiefe bis 790 km verlängert, so sieht man, dass der Strahl für 0 km Herdtiefe etwa 6 Sekunden später kommt. Die ganze Laufzeitkurve der $\bar{P}$ für eine Herdtiefe von 0 km ist höher als jene für 25 km.

Ist der Herd in 50 km Tiefe, so gelangt der letzte Strahl nur bis 395 km in 70.8 Sekunden. Da der senkrecht zum Epizentrum gehende Strahl 8.9 Sekunden braucht um auf die Erdoberfläche zu gelangen, so wäre die Laufzeit vom Epizentrum an gerechnet 61.9 Sekunden gegen 68 Sekunden für 25 km Herdtiefe. Die Laufzeitkurve für die Herdtiefe von 50 km liegt also tiefer als jene für 25 km.

Wäre der Herd des Bebens in der unteren Schichte der Erde, so hätte das Bebenbild überhaupt keine $\bar{P}$, aber auch keine $\bar{S}$, es wäre also ein Beben ohne Maximalphase. Ob ein solches Beben je beobachtet wurde ist mir unbekannt. Vorläufig muss ich annehmen dass die untere Schichte der Erde seismisch untätig ist.

Die Epizentralentfernung des Inflexionspunktes der Kurve der $\bar{P}$ für einige Herdtiefen ist folgende :

Herd-Tiefe km	Km	Herd-Tiefe km	Km	Herd-Tiefe km	Km
0	0	20	251	40	354
5	125	25	280	45	375
10	174	30	307	50	395
15	217	35	331		

Bei kleinen Tiefen ändert sich die Entfernung des Inflexionspunktes um etwa 25 km für jeden km Änderung der Tiefe. Bei grossen Tiefen ist dagegen diese Änderung ziemlich klein.

Bei der Tiefe von 25 km entspricht einem km Änderung der Tiefe 6 km Änderung der Entfernung des Inflexionspunktes. Da wir bei unserem Beben eine Unsicherheit von etwa 10 km in der Entfernung des Inflexionspunktes haben, so resultiert daraus, dass die berechnete Herdtiefe um etwa ± 2 km unsicher ist. Die Unsicherheit der Tiefe bedingt eine Unsicherheit des Masses der Änderung der Geschwindigkeit mit der Tiefe von etwa ± 0.3 .

2. Die normalen Primae.

Bei 0 km Herdtiefe wird der Weg in der oberen Schichte für Entfernungen bis zu 1600 km, um etwa 20 km länger und die Laufzeit um etwa 3.5 Sekunden grösser. Der Gesamtweg wird also, für denselben Weg in der unteren Schichte, um 20 km länger. Einer Länge von 20 km entspricht, nach der Laufzeitkurve, ein Zeitzuwachs von 3 Sekunden. Der Strahl kommt also um 0.5 Sekunden später zur Erdoberfläche. Rechnen wir noch dazu die Epizentralzeit von 4.5 Sekunden, so ist die Kurve der P insgesamt um 5 Sekunden höher. Bei einer Herdtiefe von 50 km wäre ebenso die Laufzeitkurve um etwa denselben Betrag tiefer.

Wenn wir aus verschiedenen Beben eine gemeinsame Laufzeitkurve konstruieren, so reduzieren wir dadurch alle Beben auf eine gemeinsame mittlere Tiefe des Herdes.

Wie die Laufzeitkurven der P und $\bar{P}$ so ändern sich auch die Kurven der S und $\bar{S}$ bei einer Änderung der Herdtiefe. Ihre Änderung ist 1.7 mal grösser als die Änderung der Hauptphasen. Dies ist auch eine Ursache der schwachen Uebereinstimmung der S mit ihrer mittleren Laufzeitkurve.

XI.

Schlussbemerkungen.

Aus den vorstehenden Ausführungen geht hervor, dass die Gleichungen 4. und 9. allen Laufzeiten, innerhalb der heutzutage erreichbaren Grenze der Genauigkeit, vollkommen genügen, und die Gleichung $c = c_0 r^k$ die Änderung der Geschwindigkeit der Erdbebenwellen mit der Tiefe in erster Annäherung gut darstellt. Diese Gleichung gilt freilich nur für beschränkte Tiefen; in das Innere der Erde kann man aber auch nur von Stufe zu Stufe vordringen.

Um das Problem der Ausbreitung der Erdbebenwellen endgültig zu lösen, wird noch manches Beben zu bearbeiten sein. Aber alle solche Bearbeitungen werden von keinem grossen Werte sein, wenn alle Erdbebenstationen auf die korrekte Zeit nicht ein grösseres Gewicht legen werden, als es noch jetzt geschieht.

Ich erlaube mir darum alle Erdbebenwarten aufmerksam zu machen, dass sie:

1. Die Papiergeschwindigkeit auf wenigstens $15 \frac{m}{m}$ per Minute halten, um alle Einsätze möglichst leicht erkennen zu können.

2. Bei Nahbeben bis zu 2000 km Epizentralentfernung nicht nur die Hauptphasen, sondern auch alle anderen sichtbaren Einsätze ablesen und auf eventuelle Änderungen der Periode achtgeben.

Auf diese Weise wird man Laufzeitkurven nicht nur der Hauptphasen, sondern auch der stärkeren Nebenphasen konstruieren können, um aus ihnen auf die Art der Ausbreitung der Erdbebenwellen in der oberen Schichte der Erde schliessen zu können.

Diese Arbeit möge als der erster Versuch betrachtet, und als solcher beurteilt werden.

Fig. 2 Potres od 8. X. 1909. ubilježen u Zagrebu. Povećanje 20-puta.
Das Beben von 8. X. 1909. registriert in Zagreb. Vergrössung 20-mal.
Komp. NE.

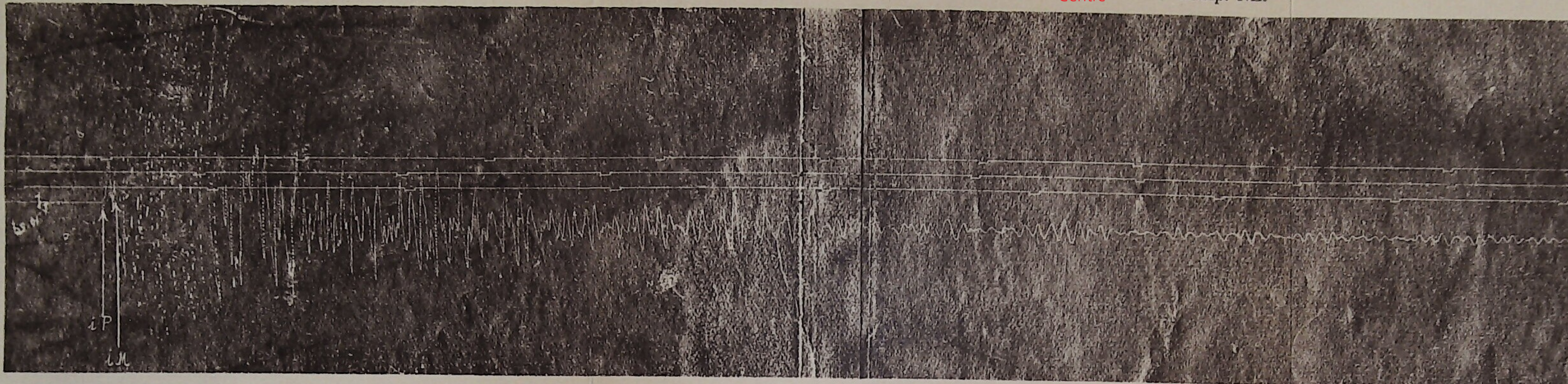
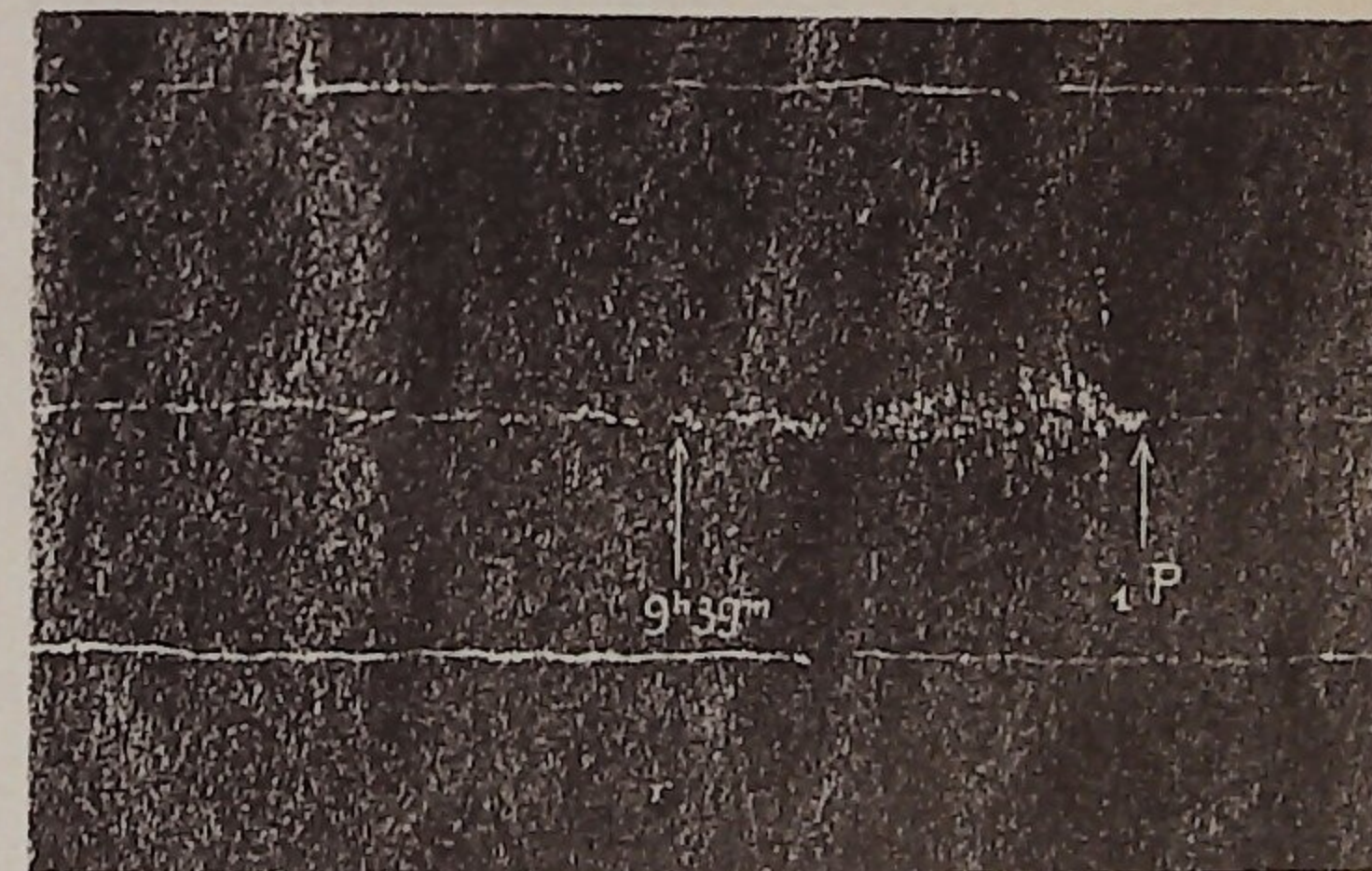


Fig. 3 Potres od)
Beben von) 7. VI. 1910. — Calitri. NE-Komp.



Fig. 1



Potres od) 23. V. 1909. — Stubica — Komp. NW.
Beben von)
cca) 3-put povećano
3-fach vergrössert

Fig. 2 Potres od 8. X. 1909. ubilježen u Zagrebu. Povećanje 20-puta.
 Das Beben von 8. X. 1909. registriert in Zagreb. Vergrössung 20-mal.
 Komp. NE.

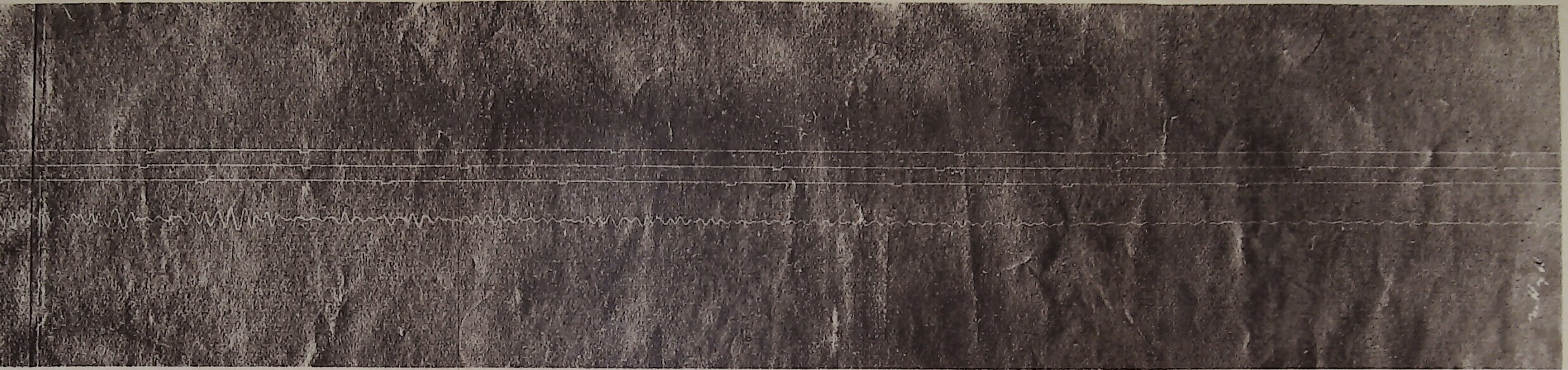


Fig. 1



Fig. 4 a



Fig. 4 b



Potres od) 23. V. 1909. — Stubica — Komp. NW.
 Beben von)
 cca) 3-put povećano
) 3-fach vergrößert

Potres od) 25. VIII. 1909. — Sienna — a) NE
 Beben von) b) NW — Komp.

7.

**Nove faze u slici početka potresa. — Neue Phasen im
Anfange des Bildes eines Bebens.**

*Izvadak iz rasprave, priopćene u „Radu“, knj. 208. (1915.), str. 89.
Auszug aus der im „Rad“, Bd. 208 (1915), S. 89, veröffentlichten
Abhandlung.*

Napisao Dr. A. Mohorovičić. — Von Dr. A. Mohorovičić.

Bei einigen neueren starken Beben aus den Jahren 1909—1913, welche ich untersuchte, um die Genauigkeit des Hodographen¹ der normalen P zu prüfen, und um jene Phasen näher zu untersuchen, welche man in der Nähe der normalen P finden kann, wie es besonders die amerikanischen Beben zeigen, stieß ich auf neue Phasen, welche ich hier besprechen möchte.

Bei dem Messina-Beben vom 28. XII. 1908 findet man einige Stationen, welche den Anfang des Bebens früher als andere gute Stationen in nahezu derselben Epizentralentfernung aufzeichneten. Da diese Stationen vereinzelt waren, ließ ich sie für die Konstruktion des Hodographen unberücksichtigt, und verwertete nur solche Stationen, deren Zeiten von dem Mittelwerte nicht mehr als um ± 5 Sek. abwichen.

Findet man bei der Untersuchung eines Bebens bei einer einzigen Station eine stark abweichende Zeit, so kann man diese

¹ Dr. A. Mohorovičić: Hodograph der ersten longitudinalen Wellen eines Bebens. Auszug aus der im „Rad“ der südslavischen Akademie in Zagreb veröffentlichten Mitteilung. Bulletin, H. 2, Juli 1914, S. 139.



Abweichung auf die Ungenauigkeit der Zeit oder auf die Unzulänglichkeit der Instrumente zurückführen. Es ist aber in jedem solchen Falle angezeigt, bei der Station nachzufragen, ob ein Zeitfehler unterlaufen sei, oder ob andere Umstände diese Abweichung herbeigeführt haben. Findet man aber nahezu dieselbe Abweichung bei mehreren Stationen und in nahezu derselben Epizentralentfernung, so muß dieser Umstand näher untersucht werden, da mit gleichem Fehler an mehreren Stationen nicht gerechnet werden kann. Andererseits muß man auch erwägen, daß in neuerer Zeit bei allen Stationen auf die Genauigkeit der Zeit ein großes Gewicht gelegt wird, und daß die modernen hochempfindlichen Instrumente auch eine genaue Ablesung gestatten. Deswegen kann man jetzt die Grenze der Genauigkeit auf ± 3 Sek. schätzen und man muß dann alle Abweichungen, die größer als ± 3 Sek. sind, speziell untersuchen.

Bei dem Messina-Beben findet man einige Gruppen von Stationen, welche nahezu dieselbe Differenz vom Hodographen zeigen, teils in positivem Sinne, als eine Verspätung, teils in negativem, als eine Verfrühung. Ich werde diese hier anführen, nur werde ich solche Stationen fortlassen, welche eine größere Abweichung zeigen als ± 35 Sekunden.

Abweichungen von dem Hodographen bei dem Messina-Beben:

1. Budapest	Epizentralentf.	1075 km	—	—	17 Sek.	
Granada (Cartuja)	"	1690	"	—	—	26 "
W. Broomwich	"	2095	"	—	—	(24) " (Zeit interpoliert)
Taškent	"	4530	"	—	—	21 " (Aufgezeichnet nur an einer Komponente).

Die eingeklammerte Zahl von Sekunden bedeutet, daß an jener Station die Zeiten nur in 0.1 Minuten angegeben waren.

2. Shide	Epizentralentf.	1925 km	—	—	11 Sek.	
Pulkova	"	2635	"	—	—	12 "
Jekaterinburg	"	3870	"	—	—	12 "
Simla	"	5390	"	—	—	12 "
Bombay	"	5855	"	—	—	(11) "
Toronto	"	7545	"	—	—	(10) "
Baltimore	"	7605	"	—	—	15 "

3. Jurjev	—	Entf.	km	2385	—	—	4 Sek.
Washington	—	"	"	7660	—	—	5 "
Vicques	—	"	"	8005	—	—	5 " (<i>P</i> unsicher)
Habana	—	"	"	9105	—	—	4 "
Zi-ka-wei	—	"	"	9135	—	—	9 "
4. München	—	Entf.	km	1155	—	+	5 Sek.
Straßburg	—	"	"	1315	—	+	4 "
Plauen	—	"	"	1359	—	+	4 "
Aachen	—	"	"	1590	—	+	4 "
Paris	—	"	"	1590	—	+(6)	"
Potsdam	—	"	"	1590	—	+	7 "
Utrecht	—	"	"	1745	—	+	5 "
Hamburg	—	"	"	1765	—	+	5 "
Harput	—	"	"	2040	—	+	4 "
Boržom	—	"	"	2390	—	+	6 "
Ahalkalaki	—	"	"	2400	—	+	7 "
Šemaha	—	"	"	2835	—	+	8 "
Cambridge M.	—	"	"	7030	—	+	9 "
Victoria B. C.	—	"	"	9570	—	+	6 "

Abweichungen bei Stationen die näher als 1000 *km* sind, habe ich nicht angeführt, da sie mir nicht genug verlässlich scheinen. Diese positiven Abweichungen wachsen langsam mit wachsender Epizentralentfernung.

5. Harkov	—	Entf.	km	2100	—	+(17)	Sek.
Taihoku	—	"	"	9585	—	+	15 "
6. Cairo	—	Entf.	km	1715	—	+(20)	Sek.
S. Fernando	—	"	"	1930	—	+(25)	"
Albany	—	"	"	7210	—	+	26 "
7. Durlach	—	Entf.	km	1330	—	+	34 Sek.
Lemberg	—	"	"	1460	—	+	30 "

Die positiven Abweichungen zeigen dieselben Differenzen, wie die amerikanischer Beben, welche ich in meiner früher zitierten Arbeit näher untersucht habe. Es ist dies eine Erscheinung, die man bei allen Beben trifft, möge ihr Ausgangspunkt wo immer liegen. Ein schönes Beispiel für eine Verspätung gibt uns das Beben vom 13. VIII. 1913. Das Epizentrum dieses Bebens liegt



im indischen Ozean, nahe dem Westufer von Java. Das Beben fühlte man im Westen von Java, sogar in Batavia.

Aus den Angaben der Stationen Batavia, Manila, Zi-ka-wei und Riverview (Sydney) kann das Epizentrum in $6^{\circ} 27' S$ und $103^{\circ} 35' E$ bestimmt werden, was mit den makroseismischen Angaben gut übereinstimmt.

Die Zeit des Anfangs im Epizentrum ergibt sich wie folgt:

	Entf.		<i>h m s</i>	<i>m s</i>	<i>h m s</i>
Batavia	— <i>km</i> 355	P	4.26.10	— 0.50	= 4.25.20
Manila	— „ 3020	P	4.31.18	— 5.59	= 4.25.19
Zi-ka-wei	— „ 4595	P	4.33.22	— 8.01	= 4.25.21
Riverview	— „ 5755	P	4.34.36	— 9.16	= 4.25.20
Wien	— „ 10.265	eP	4.38.34	— 13.15	= 4.25.19
Mittel = 4.25.20.					

Alle andere asiatische und europäische Stationen, von welchen ich Beobachtungen fand, zeigen verspätete Zeiten, u. zw.

	Entf.		<i>h m s</i>	<i>m s</i>	<i>h m s</i>
1. Irkutsk	— <i>km</i> 6530	iP	4.35.37	— 10.01	= 4.25.36
Göttingen	— „ 10.815		4.39.18	— 13.41	= 4.25.37
Hamburg	— „ 10.820		4.39.17	— 13.41	= 4.25.36
Straßburg	— „ 10.970	eP	4.39.25	— 13.48	= 4.25.37
Mittel = 4.25.36.5.					

	Entf.	<i>km</i>		<i>h m s</i>	<i>m s</i>	<i>h m s</i>	
2. Taškent	—	6355	iP	4.35.33	— 9.51	= 4.25.42	Diff. —1
Czernowitz	—	9640	iP	4.38.30	— 12.45	= 4.25.45	+2
Pulkova	—	9705	eP	4.38.30	— 12.48	= 4.25.42	
			iP	4.38.32	— 12.48	= 4.25.44	+1
Zagreb	—	10.335	iP	4.39.01	— 13.18	= 4.25.43	0
Graz	—	10.390		4.39.03	— 13.21	= 4.25.42	—1
Triest	—	10.505		4.39.06	— 13.26	= 4.25.40	—3
Mittel = 4.25.43.							

3. Tiflis — 8000 — iP 4.37.11 — 11.21 = 4.25.50.

Die Angaben aller bei diesem Beben angeführten Zeiten stammen von den besten modernen Instrumenten, teils Wiechert'scher

teils Galitzin'scher Konstruktion her, nur die Station Czernowitz besitzt ein etwas weniger empfindliches Instrument.

Die erste Gruppe der Stationen zeigt eine Verspätung von 16 Sek., die zweite von 23 Sek. und Tiflis eine solche von 30 Sek. Dies sind also genau dieselben Verspätungen wie bei den amerikanischen Beben. Dieses Beispiel zeigt, daß auch ostasiatische Beben dieselben Verspätungen zeigen können, wie die amerikanischen und europäischen.

Mit diesen Verspätungen werde ich mich in dieser Arbeit nicht weiter befassen; es ist viel wichtiger, die verfrühten Zeiten näher zu untersuchen.

Bei dem Messina-Beben liegen drei Gruppen von verfrühten Zeiten vor. Die erste Gruppe finde ich bei keinem der hier näher untersuchten Beben aus den Jahren 1909—1913 und kann daher nicht sagen, ob sie reel sei oder nicht. Die beiden anderen Gruppen findet man bei mehreren europäischen und asiatischen Beben.

Bei den Calitri-Beben vom 7. VI. 1910 (l. c.) zeigt Pulkova in 2330 *km* Entfernung eine Abweichung von — 5 Sek. Bei dem mazedonischen Beben vom 18. II. 1911 zeigt Pulkova wieder eine Abweichung von — 4 Sek.

Von dem mazedonischen Beben haben wir nur wenige makroseismische Nachrichten; nur so viel ist bekannt, daß alle Ortschaften in der Nähe des Ohrida- und Prescha-Sees beschädigt wurden. Aus den mikroseismischen Angaben läßt sich die Position des Epizentrums in 40° 50' N und 20° 50' E feststellen. Die Reduktion der Zeiten auf das Epizentrum nach meinem Hodographen ergibt:

	Entf. <i>km</i>	<i>h m s</i>	<i>m s</i>	<i>h m s</i>	<i>s</i>
Sofia	293	21.36.00	0.42	21.35.18	Abw. 0
Sarajevo	390	36.11	0.55	35.16	—2
Mileto	480	36.32	1.06	35.26	+8
Temesvár	550	36.30	1.15	35.15	—3
Ischia	580	36.44	1.19	35.25	+7
Kalocsa	650	36.37	1.28	35.19	+1
Zagreb	680	36.52	1.31	35.19	+1
Rocca di Papa	685	36.48	1.32	35.16	—2
Pola	725	36.59	1.37	35.22	+4
Budapest	750	37.08	1.40	35.28	+10



	Entf. <i>km</i>	<i>m s</i>	<i>m s</i>	<i>m s</i>	
Laibach	765	37.15	1.42	35.33	Abw. +15
Triest	775	37.05	1.44	35.21	+3
Graz	815	37.05	1.48	35.17	—1
Padova	890	37.15	1.58	35.17	—1
Wien	895	37.19	1.59	35.20	+2
München	1095	37.42	2.23	35.19	+1
Moncalieri	1165	37.54	2.32	35.22	+4
Jena	1325	38.14	2.52	35.22	+4
Jugenheim	1375	38.15	2.58	35.17	—1
Göttingen	1450	38.27	3.08	35.19	+1
Hamburg	1630	38.50	3.29	35.21	+3
Tiflis	2000	40.02	4.12	35.50	+32
Cartuja	2160	39.59	4.30	35.29	+11
Pulkova	2205	39.49	4.35	35.14	—4.

Läßt man die Stationen außer Acht, welche eine größere Abweichung als ± 3 Sek. zeigen, so folgt eine mittlere Epizentralzeit von $21\ h\ 35\ m\ 18\ s$ mit einer mittleren Abweichung von ± 1.5 Sek. Eine größere negative Abweichung zeigt hier nur Pulkova.

Dieselbe Erscheinung zeigt das Beben vom 24. VI. 1910. Das Epizentrum dieses Bebens ist in $36^{\circ} 13' N$ und $3^{\circ} 35' E$ in der Nähe der Stadt Anmale in Algir. Die Reduktion des ersten Einsatzes ergibt:

	Entf. <i>km</i>	<i>h m s</i>	<i>m s</i>	<i>h m s</i>	<i>s</i>
Tortosa	— 580	P 13.28.19	— 1.19	= 13.27.00	Abw. —1
Cartuja	— 665	„ 13.28.30	— 1.30	= 13.27.00	—1
Moncalieri	— 1035	„ 13.29.26	— 2.16	= 13.27.10	+9
Mileto	— 1120	„ 13.29.30	— 2.27	= 13.27.03	+2
Pola	— 1255	„ 13.29.47	— 2.44	= 13.27.03	+2
Triest	— 1345	„ 13.29.57	— 2.55	= 13.27.02	+1
Laibach	— 1415	„ 13.30.00	— 3.03	= 13.26.57	—4
Straßburg	— 1420	„ 13.30.03	— 3.04	= 13.26.59	—2
Hohenheim	— 1455	„ 13.30.09	— 3.08	= 13.27.01	0
Zagreb	— 1480	„ 13.30.12	— 3.11	= 13.27.01	0
Graz	— 1555	„ 13.30.20	— 3.20	= 13.27.00	—1
Wien	— 1690	„ 13.30.36	— 3.36	= 13.27.00	—1
Kalocsa	— 1710	„ 13.30.40	— 3.39	= 13.27.01	0



	Entf.	km		<i>h m s</i>	<i>m s</i>	<i>h m s</i>	<i>s</i>
Jena	—	1755	„	13.30.41	— 3.44	= 13.26.57	—4
Budapest	—	1780	„	13.30.50	— 3.47	= 13.27.03	+2
Hamburg	—	1990	„	13.31.15	— 4.11	= 13.27.04	+3
Pulkova	—	3235	„	13.33.00	— 6.18	= 13.26.42	—19.

Die mittlere Epizentralzeit ist 13 *h* 27 *m* 01 *s* mit einer mittleren Abweichung vom ± 1.5 Sek. Abgesehen von der Abweichung von — 4 Sek. in Laibach, die ich unerörtert lasse, zeigt Jena eine sichere Abweichung von — 4 Sek. und Pulkova eine solche von — 19 Sek.

Einige große asiatische Beben zeigen solche Abweichungen in größerer Zahl. Bei der Besprechung dieser Beben werde ich mich fast ausschließlich nur auf die Angaben der besten Stationen stützen.

I. Das Beben vom 12. VII. 1911 mit dem Epizentrum im Agusan-Tale auf der Insel Mindanao.

Aus den makroseismischen Daten¹ bestimmte M. S a d e r r a M a s ó S. J. das Epizentrum in 8° N und 120° E. Reduziert man die Angaben der drei dem Epizentrum am nächsten liegenden Stationen, so erhält man:

	Entf.		<i>h m s</i>	<i>m s</i>	<i>h m s</i>	<i>s</i>
Manila	— km 915	P	4.09.44	— 2.01	= 4.07.43	+4
Batavia	— „ 2645	„	4.12.57	— 5.22	= 4.07.35	—4
Apia	— „ 7280	„	4.18.23	— 10.43	= 4.07.40	+1
Mittel = 4.07.39.						

In der Voraussetzung, daß die Zeiten dieser drei Stationen korrekt seien, worüber man nicht zweifeln kann, sowie daß alle drei Stationen dieselbe Phase aufgezeichnet haben, scheint mir

¹ Weather Bureau, Manila central observatory. Bulletin for July 1911. — Manila 1911. — The earthquake of the Agusan valley and the eastern coast of Mindanao, July 12, 1911.



ein Epizentrum in $7^{\circ} 30' N$ und $125^{\circ} 50' E$ den Daten besser zu entsprechen. Dieses Epizentrum widerspricht nicht den ziemlich dürftigen makroseismischen Nachrichten und verursacht keine große Differenz bei den anderen Stationen, welche über 8000 *km* weit vom Epizentrum liegen.

Reduziert man die Angaben der Stationen mit den von diesem neuen Epizentrum an gerechneten Entfernungen, so erhält man:

	<i>km</i>		<i>h m s</i>	<i>m s</i>	<i>h m s</i>	<i>s</i>
Manila	— 950	P	4.09.44	— 2.06 =	4.07.38	Abw. —1
Batavia	— 2600	„	4.12.57	— 5.18 =	4.07.39	0
Apia	— 7280	„	4.18.23	—10.43 =	4.07.40	+1
Wien	— 10.790	iP	4.21.19	—13.40 =	4.07.39	0
Graz	— 10.900	„	4.21.22	—13.45 =	4.07.37	—2
Zagreb	— 10.910	„	4.21.25	—13.45 =	4.07.40	+1
Hamburg	— 10.975	„	4.21.27	—13.48 =	4.07.39	0
Jena	— 10.995	„	4.21.27	—13.49 =	4.07.38	—1
Göttingen	— 11.075	„	4.21.29	—13.53 =	4.07.36	—3
Padova	— 11.225	P	4.21.39	—14.00 =	4.07.39	0
Aachen	— 11.350	iP	4.21.45	—14.06 =	4.07.39	0
Straßburg	— 11.360	„	4.21.46	—14.06 =	4.07.40	+1
Mittel = 4.07.39						Abw. ± 1 .

Aus diesen übereinstimmenden Resultaten sieht man, daß der Hodograph bis zur größten Entfernung genau sei, daß er aber nicht für *cP* gilt, sondern für eine spätere Phase, welche bei diesem Beben als *iP* bezeichnet ist.

Reduziert man auf dieselbe Art die *cP* für jene Stationen, welche diese Phase aufgezeichnet haben, so erhält man zwei Gruppen von Stationen:

	Entf.	<i>km</i>		<i>h m s</i>	<i>m s</i>	<i>h m s</i>
1. Hamburg	—	10.975	eP	4.21.20	— 13.48 =	4.07.32
Laibach	—	11.005	P	4.21.24	— 13.50 =	4.07.34
Mittel = 4.07.33.						



	Entf.	km		<i>h m s</i>	<i>m s</i>	<i>h m s</i>		<i>s</i>
2. Tiflis	—	8.710	iP	4.19.22	— 11.58	= 4.07.24	Abw.	—1
Wien	—	10.790	eP	4.21.07	— 13.40	= 4.07.27		+2
Graz	—	10.900	„	4.21.08	— 13.45	= 4.07.23		0
Zagreb	—	10.910	„	4.21.10	— 13.45	= 4.07.25		0
Jena	—	10.995	„	4.21.16	— 13.49	= 4.07.27		+2
Göttingen	—	11.075	„	4.21.16	— 13.53	= 4.07.23		—2
Aachen	—	11.350	„	4.21.27	— 14.06	= 4.07.21		—4
Straßburg	—	11.360	„	4.21.32	— 14.06	= 4.07.26		+1
Mittel = 4.07.25								+2

Reduziert man beispieleweise noch zwei Stationen mit schwächeren Instrumenten, so erhält man:

	Entf.	km		<i>h m s</i>	<i>m s</i>	<i>h m s</i>
Lemberg	—	10.205	iP	4.20.57	— 13.12	= 4.07.45
Cartuja	—	12.800	eP	4.22.56	— 15.10	= 4.07.46.

Cartuja ist an der Grenze, bis zu welcher die *P* sichtbar sind. Beide Stationen zeigen eine Verspätung.

Bei diesen Beben sieht man dieselbe Erscheinung wie bei dem Messina-Beben. Die erste Gruppe von Stationen ist um 6 Sek., die zweite um 14 Sek. verfrüht.

II. Das Beben vom 23. IV. 1913, welches im NE-Teile der Insel Mindanao gefühlt wurde.

Es ist dies eines der Beben in der seismischen Periode, welche am 17. IV. anfang und bis zum Ende des Monates dauerte. Saderra Masó¹ meint, daß das Epizentrum dieser Beben in etwa 9° N und nahe dem östlichen Ufer der Insel liegen müsse. Nach den mikroseismischen Zeitangaben kann man das Epizentrum im Orte 8° 32' N und 126° 50' E feststellen, der sehr nahe dem von Saderra Masó angegebenen Orte liegt.

Die Reduktion der wichtigsten Stationen ergibt:

¹ Weather Bureau, Manila, Bulletin, April 1913. — Manila 1913.

[illegible]

Folgende Stationen haben einen früheren Anfang:

	Entf.	km	h	m	s	m	s	h	m	s	
1. Zi-ka-wei	—	2585	eP,	18.01.36	—	5.16	=	17.56.20	Abw.	0	
Irkutsk	—	5275	iP	18.05.04	—	8.46	=	17.56.18		—2	
Wien	—	10.770	P	18.09.58	$\pm$	13.39	=	17.56.19	$\pm$	—1	
Jena	—	10.970	eP	18.10.08	—	13.48	=	17.56.20		0	
Padova	—	11.205	P	18.10.20	—	13.59	=	17.56.21		+1	
Straßburg	—	11.330	eP	18.10.27	—	14.05	=	17.52.22		+2	
										Mittel =	17.56.20 ± 1 .

	Entf.	<i>km</i>		<i>h m s</i>		<i>m s</i>		<i>h m s</i>
2. Zi-ka-wei	—	2585	eP _n	18.01.28	—	5.16	=	17.56.12
Irkutsk	—	5275	eP	18.04.54	—	8.46	=	17.56.08

Auch bei diesem Beben gibt es sehr gute Stationen mit einer Verspätung:

	Entf.	<i>km</i>		<i>h m s</i>		<i>m s</i>		<i>h m s</i>	<i>s</i>
Tiflis	—	8.715	iP	18.08.32	—	11.58	=	17.56.34	0
Hamburg	—	10.940	eP	18.10.20	—	13.47	=	17.56.33	—1
Jena	—	10.970	iP _o	18.10.23	—	13.48	=	17.56.35	+1
						Mittel = 17.56.34.			

III. Das große mittel-asiatische Beben vom 3./4. I. 1911 mit dem Epizentrum in $43^{\circ}0'N$ und $77^{\circ}0'E$ in der Nähe des Issyk-Kul-Sees¹.

Die Zeit im Epizentrum erhält man aus:

	Entf.	km		<i>h m s</i>	<i>m s</i>	<i>h m s</i>	<i>s</i>
Tiflis ²	—	2635	iP	23.31.03	— 5.21	= 23.25.42	Abw. 0
Pulkova ³	—	3630	„	23.32.36	— 6.51	= 23.25.45	+3
Budapest	—	4455	iP	23.33.36	— 7.51	= 23.25.45	+3
Wien	—	4625	„	23.33.45	— 8.03	= 23.25.42	0
Graz	—	4730	„	23.33.51	— 8.10	= 23.25.41	—1
Zagreb	—	4740	„	23.33.55	— 8.11	= 23.25.44	+2
Hamburg	—	4900	eP	23.33.59 ±	— 8.21	= 23.25.39 ±	—3 ±
Triest	—	4905	P	23.34.01	— 8.22	= 23.25.39	—3
Pola	—	4940	„	23.34.06	— 8.24	= 23.25.42	0
Padova	—	5055	„	23.34.14	— 8.31	= 23.25.43	+1
Rocca di Papa	5145	„	„	23.34.15	— 8.37	= 23.24.38	— 4 ±
Manila	—	5235	„	23.34.24	— 8.43	= 23.25.41	—1
Tortosa	—	6105	„	23.35.21	— 9.37	= 23.25.44	+2
Batavia	—	6250	„	23.35.25	— 9.45	= 23.25.40	—2
Ottawa	—	9810	„	23.38.34	—12.53	= 23.25.41	—1
Mittel = 23.25.42 ± 1.5;							

eP haben folgende Stationen:

¹ F. B. Galitzin. Das Erdbeben vom 3.—4. Januar 1911. — Izvj. Imp. Akad. Nauk, 1911. S. 127.—136.

² In den „Wöchentlichen Berichten des Physikalischen Observatoriums zu Tiflis 1911, N. 264“, ist der Anfang dieses Bebens offenbar irrtümlich auf den 4. I. um 2 *h* 30 *m* 10 *s* angesetzt. Obgleich alle Zeiten in dieser Publikation nach der Greenwicher Zeit angesetzt sind, ist in diesem Falle die Lokalzeit gebraucht worden, welche ich in die Greenwicher Zeit umgerechnet habe.

³ Die Zeit für *iP* in Pulkova nahm ich nach der Angabe von H. Rosental: Po povodu semirječeskago zemljetrjasenija 3.—4. janv. 1911. Izvjestija postoj. centr. sejsmičeskoj komisiji. T. 4. V. 2. St. Petersburg 1911.



	Entf.	km	<i>h m s</i>	<i>m s</i>	<i>h m s</i>	<i>s</i>
1. Budapest	—	4455	23.33.25	— 7.51	= 23.25.34	+1
Wien	—	4625	23.33.36	— 8.03	= 23.25.33	0
Graz	—	4730	23.33.42	— 8.10	= 23.25.32	—1
Zagreb	—	4740	23.33.44	— 8.11	= 23.25.33	0
Jena	—	4875 <i>e,v</i>	23.33.53	— 8.20	= 23.25.33	0
Mittel = 23.25.33.						

	Entf.	km	<i>h m s</i>	<i>m s</i>	<i>h m s</i>	<i>s</i>
2. Pulkova	—	3630	23.32.16	— 6.51	= 23.25.25	—2
Jena	—	4875 <i>i,v</i>	23.33.49	— 8.20	= 23.25.29	+2
Göttingen	—	5040	23.33.59	— 8.31	= 23.25.28	+1
Mittel = 23.25.27.						

Auch bei diesem Beben gibt es Beispiele von Verspätungen:

	Entf.	km	<i>h m s</i>	<i>m s</i>	<i>h m s</i>
Hamburg	—	4900	<i>iP</i> 23.34.12	— 8.21	= 23.25.51
Cartuja	—	6630	<i>eP</i> 23.35.58	— 10.07	= 23.25.51.

IV. Das Beben von Luristan vom 23. I. 1909.

P. Stelling¹ ließ das Epizentralgebiet von zwei Kosaken durchsuchen und gibt das Epizentrum in $33^{\circ}3'N$ und $50^{\circ}2'E$ an. Nach den Zeitangaben der drei dem Epizentrum zunächst liegenden guten Stationen Tiflis, Harput und Taškent möchte ich das Epizentrum nach $33^{\circ}12'N$ und $49^{\circ}48'E$ verlegen, etwa 35 km südwestlich des Stelling'schen Epizentrums, was den makroseismischen Daten auch nicht widerspricht.

Auf Grund der drei Stationen ergibt sich die Zeit im Epizentrum:

	Entf.	km	<i>h m s</i>	<i>m s</i>	<i>h m s</i>
Tiflis	—	1045	<i>P</i> 2.50 35	— 2.18	= 2.48. 17
Harput	—	1135	„ 2.50 45	— 2.29	= 2.48. 16
Taškent	—	1940	„ 2.51(24)	— 4.06	= 2.48.(18)
Mittel = 2.48. 17.					

¹ P. Stelling — Izvjestija postojenoj centralnoj sejsmičkoj komisiji. T. 3. V. 3. St. Peterburg 1910.

Genau dieselbe Zeit geben :

	Entf. <i>km</i>	<i>h m s</i>	<i>m s</i>	<i>h m s</i>
Atena	— 2410	P 2.53.16	— 4.58	= 2.48.18
Cartuja	— 4825	„ 2.56.33	— 8.16	= 2.48.17.

Alle andere Stationen geben kleinere Zeiten :

	Entf. <i>km</i>	<i>h m s</i>	<i>m s</i>	<i>h m s</i>	<i>s</i>
1. Sofia	— 2535	eP 2.53.18	— 5.11	= 2.48.07	Abw. +1
Temesvár	— 2800	P 2.53.48	— 5.38	= 2.48.10	+2
Budapest	— 3020	„ 2.54.11	— 5.59	= 2.48.12	+4
Catania	— 3165	„ 2.54.22	— 6.12	= 2.48.10	+2
Upsala	— 3780	„ 2.55.10	— 7.02	= 2.48.08	0
Hamburg	— 3855	„ 2.55.14	— 7.07	= 2.48.07	—1
Moncalieri	3855	„ 2.55.15	— 7.07	= 2.48.08	0
Mittel = 2.48.08.					

	Entf. <i>km</i>	<i>h m s</i>	<i>m s</i>	<i>h m s</i>	<i>s</i>
2. Taranto	— 3000	P 2.53.58	— 5.57	= 2.48.01	Abw. +1
Zagreb	— 3190	eP 2.54.15	— 6.14	= 2.48.01	+1
Wien	— 3240	iP 2.54.18	— 6.19	= 2.47.59	—1
Graz	— 3265	P 2.54.19	— 6.21	= 2.47.58	Abw. —2
Pulkova	— 3280	„ 2.54.24	— 6.22	= 2.48.02	+2
Laibach	— 3305	„ 2.54.23	— 6.25	= 2.47.58	—2
Pola	— 3330	„ 2.54.25	— 6.27	= 2.47.58	—2
Triest ¹	— 3355	„ 2.54.29	— 6.29	= 2.48.00	0
Rocca di Papa	3380	„ 2.54.34	— 6.31	= 2.48.08 ± 3	+3
Padova	— 3495	„ 2.54.41	— 6.40	= 2.48.01	+1
Leipzig	— 3625	„ 2.54.50	— 6.50	= 2.48.00	0
Jena	— 3660	iP 2.54.54	— 6.53	= 2.48.00	+1
Hohenheim	— 3760	P 2.55.00	— 7.00	= 2.48.00	0
Göttingen	— 3790	iP 2.55.02	— 7.03	= 2.47.59	—1
Mittel = 2.48.00					± 1.

Außer diesen Zeiten findet man am Kaukasus eine Gruppe von Stationen mit verspäteten Zeiten :

¹ Nach dem Vicentini'schen Instrumente. Das Ehlert'sche Instrument notierte den Anfang um 2 *h* 54 *m* 42 *s*, also um 13 Sek später, was am besten der ersten Gruppe entsprechen dürfte.



	Entf. <i>km</i>	<i>h m s</i>	<i>m s</i>	<i>h m s</i>
Šemaha	— 830	P 2.50.18	— 1.51	= 2.48.27
Ahalkalaki	— 1070	„ 2.50.49	— 2.21	= 2.48.28
Boržom	— 1115	„ 2.50.53	— 2.26	= 2.48.27
Batum	— 1185	„ 2.51.03	— 2.35	= 2.48.28.

Wenn man nicht wüßte, daß die Station Tiflis bedeutend empfindlichere Instrumente besaß und in derselben Entfernung wie die meisten der hier angeführten Stationen liegt, so könnte man meinen, daß die wahre Zeit im Epizentrum jene von Šemaha sei. Darum können wir die der Station Tiflis entsprechende Zeit als die wahre Epizentralzeit annehmen.

V. Das Beben vom 27. I. 1913 am Wan-See.

Aus den Angaben der Stationen Tiflis, Baku und Xara folgt das Epizentrum in $38^{\circ} 28' N$ und $42^{\circ} 44' E$ am Südufer des Wan-Sees.

Folgende Stationen haben die normalen *P* aufgezeichnet:

	Entf. <i>km</i>	<i>h m s</i>	<i>m s</i>	<i>h m s</i>	
Tiflis	— 400	P 19.39.33	— 0.56	= 19.38.37	Diff. 0
Baku	— 652	„ 19.40.05	— 1.28	= 19.38.37	0
Xara	— 805	„ 19.40.24	— 1.47	= 19.38.37	0
Athen	— 1660	„ 19.42.08	— 3.33	= 19.38.35	—2
Taškent	— 2280	„ 19.43.22	— 4.44	= 19.38.38	+1
Straßburg	— 3000	„ 19.44.32	— 5.57	= 19.38.35	—2

mittlere Zeit im Epizentr. = 19.38.37 $\pm 1 s$.

Frühere Phasen wurden verzeichnet in:

	Entf. <i>km</i>	<i>h m s</i>	<i>m s</i>	<i>h m s</i>
1. Krietern	— 2445	P 19.43.34	— 5.01	= 19.38.33
Irkutsk	— 4885	„ 19.46.47	— 3.20	= 19.38.27
2. Czernowitz	— 1735	„ 19.42.12	— 3.42	= 19.38.30
Sarajevo	— 2115	„ 19.42.52	— 4.25	= 19.38.27
Budapest	— 2160	„ 19.42.58	— 4.30	= 19.38.28
Zagreb	— 2340	„ 19.43.16	— 4.50	= 19.38.26

	Entf.	km		<i>h m s</i>	<i>m s</i>	<i>h m s</i>
Wien	—	2375	P	19.43.21	— 4.54	= 19.38.27
Graz	—	2405	„	19.43.23	— 4.57	= 19.38.26
Laibach	—	2455	„	19.43.25	— 5.02	= 19.38.23
Königsberg	—	2465	„	19.43.32	— 5.04	= 19.38.28
Triest	—	2505	„	19.43.31	— 5.08	= 19.38.23
Pulkova	—	2525	„	19.43.35	— 5.10	= 19.38.25
Padova	—	2650	„	19.43.49	— 5.22	= 19.38.27
Innsbruck	—	2705	„	19.43.51	— 5.28	= 19.38.23
Jena	—	2795	„	19.43.55	— 5.37	= 19.38.18
Hamburg	—	2995	„	19.44(20)	— 5.56	= 13.38(24)
Aachen	—	3165	„	19.44.28	— 6.12	= 19.38.16.

Bei diesem Beben finde ich an keiner Station etwas mehr abgelesen, als die einfachen *P* oder *iP*. Am Zagreber Instrumente habe ich erst nachträglich folgende Ablesungen gemacht: *eP* 43 *m* 16 *s*, schwacher *i* 43 *m* 21 *s*, stärkerer *i* 43 *m* 26 *s* und ein noch stärkerer, besonders an der NW—K markanter Einsatz um 43 *m* 30 *s*. Der dritte Einsatz entspricht bis auf eine Sek. der Epizentralzeit, stellt also die normalen *P* dar. Ebenso genau entspricht der zweite Einsatz der ersten verfrühten Gruppe.

Ordnet man die Abweichungen der einzelnen Stationen von der Epizentralzeit nach der Epizentralentfernung, so erhält man die folgende Tabelle, in welcher die römischen oder arabischen Zahlen folgende Beben bedeuten:

1. Messina-Beben
2. Calitri-Beben
3. Mazedonisches Beben
4. Beben von Aumale
- I. Agusan-Tal-Beben
- II. Beben von NE-Mindanao
- III. Issyk-Kul-Beben
- IV. Luristan-Beben
- V. Wan-See-Beben.



Station	N ^o des Bebens	Entfernung in <i>km</i>	P_1 s	D s	P_2 s	D s
Czernowitz	V	1735			7	0
Jena	4.	1755	4	—1		
Shide	1.	1925			11	—2
Sarajevo	V	2115			10	0
Budapest	V	2160			9	1
Pulkova	3.	2205	4	0		
Pulkova	2.	2330	5	0		
Zagreb	V	2340			11	1
Wien	V	2375			10	2
Graz	V	2405			11	1
Krietern	V	2445	4	1		
Laibach	V	2455			14	—1
Königsberg	V	2465			9	4
Triest	V	2505			14	—1
Pulkova	V	2525			12	1
Sofia	IV	2535	10	4		
Zi-ka-wei	II	2585	6	0	14	0
Pulkova	1.	2635			12	2
Padova	V	2650			10	4
Innsbruck	V	2705			14	0
Jena	V	2795			19	—4
Temesvár	IV	2800	7	—1		
Hamburg	V	2995			(13)	(3)
Taranto	IV	3000			16	0
Budapest	IV	3020	5	2		
Aachen	V	3165			21	—4
Catania	IV	3165	7	0		
Pulkova	4.	3235			19	—2
Zagreb	IV	3190			16	1
Wien	IV	3240			18	—1
Graz	IV	3265			19	—2
Pulkova	IV	3280			15	2
Laibach	IV	3305			19	—2
Pola	IV	3330			19	—2
Triest	IV	3355			17	0
Rocca di Papa	IV	3380			14 ± 3	3 ±
Padova	IV	3495			16	2
Leipzig	IV	3625			17	1



Station	N ^o des Bebens	Entfernung in km	P_1 s	D s	P_2 s	D s
Pulkova	III	3630			17	1
Jena	IV	3660			17	1
Hohenheim	IV	3760			17	1
Upsala	IV	3780	9	—1		
Göttingen	IV	3790			18	0
Hamburg	IV	3855	10	—2		
Moncalieri	IV	3855	9	—1		
Jekaterinburg 1.		3870			12	6
Budapest	III	4455	8	1		
Wien	III	4625	9	0		
Graz	III	4730	10	—1		
Zagreb	III	4740	9	0		
Jena	III	4875	9	0	13	5
Göttingen	III	5040			14	4
Irkutsk	II	5275			18	0
Simla	1.	5390	12	—3		
Bombay	1.	5855	(11)	(—2)		
Toronto	1.	7545	(10)	(—1)		
Baltimore	1.	7605			15	1
Washington	1.	7660	5	4		
Vicques	1.	8005	5	3		
Tiflis	I	8710			15	1
Habana	1.	9105	4	4		
Zi-ka-wei	1.	9135	9	—1		
Wien	II	10.770	$7 \pm$	0		
Wien	I	10.790			12	2
Graz	I	10.900			16	+2
Zagreb	I	10.910			14	0
Jena	II	10.970	5	2		
Hamburg	I	10.975	7	0		
Jena	I	10.995			12	2
Laibach	I	11.005	5	2		
Göttingen	I	11.075			16	—2
Padova	II	11.205	5	2		
Straßburg	II	11.330	4	2		
Aachen	I	11.350			18	—4
Straßburg	I	11.360			13	1.



Sichtet man das ganze hier gesammelte Material, so wird man bemerken, daß mein Hodograph von 1914¹ bis zu den größten Entfernungen ganz genau ist, daß er aber nicht für den ersten Anfang der Fernbeben gilt, sondern für eine spätere Phase, welche gewöhnlich als *iP* bezeichnet wird. Diese Untersuchung zeigt aber, daß in einer Entfernung von etwa 1700 *km* zwei neue Phasen mit kleineren Laufzeiten anfangen, und sich bis zur größten Entfernung erstrecken, für welche ich Daten sammeln konnte. Die ersten Angaben für beide Phasen sind bei 1700 *km* Epizentralentfernung. Es ist wahrscheinlich, daß beide Phasen noch etwas früher anfangen. Daß die zweite (unterste) Phase schon bis 1585 *km* anfängt, fand ich nachträglich bei einer Durchsicht des Focsaner Bebens vom 25. V. 1912. Aus den Stationen Athen, Mileto, Zagreb, Wien, Bresslau und Tiflis folgt das Epizentrum in guter Übereinstimmung mit den von dem Rumänischen Observatorium² publizierten makroseismischen Daten in 45° 51' N und 27° 18' E. Leider sind die mikroseismischen Angaben des Bukarester Observatoriums unbrauchbar, ebenso die der zunächst liegenden Stationen Sofia, Budapest und Sarajevo. Aus den anderen Stationen folgt:

	<i>km</i>	<i>h m s</i>	<i>m s</i>	<i>h m s</i>	<i>s</i>
Wien	— 865	P 18.03.42	— 1.55	= 18.01.47	Abw. 0
Zagreb	— 875	„ 18.03.42	— 1.56	= 18.01.46	0
Graz	— 920	„ 18.03.47	— 2.02	= 18.01.45	—1
Athen	— 925	„ 18.03.47	— 2.02	= 18.01.45	—1
Krietern	— 945	„ 18.03.52	— 2.05	= 18.01.47	+1
Laibach	— 995	„ 18.03.58	— 2.11	= 18.01.47	+1
Triest	— 1050	„ 18.04.04	— 2.18	= 18.01.46	0
Padova	— 1200	„ 18.04.21	— 2.37	= 18.01.44	—2

¹ „Hodograph der ersten longitudinalen Wellen eines Bebens“. Bulletin der südsl. Akademie in Zagreb, Juli 1914, S. 139.

² Observat. astron. si meteor. din Romania — Cutremurul de pe-mant din Romania de 25. 26. 27. Mai si 7 Junie 1912. — Bucuresti 1912.



	<i>km</i>	<i>k m s</i>	<i>m s</i>	<i>h m s</i>	<i>s</i>
Mileto	— 1220	„ 18.04.27	— 2.39	= 18.01.48	Abw. +2
Jena	— 1285	„ 18.04.34	— 2.47	= 18.01.47	+1
Göttingen	— 1410	„ 18.04.48	— 3.03	= 18.01.45	—1
Jugenheim	— 1455	„ 18.04.52	— 3.08	= 18.01.44	—2
Tiflis	— 1480	P 18.04.57	— 3.11	= 18.01.46	0
Straßburg	— 1505	„ 18.04.59	— 3.14	= 18.01.45	—1
Hamburg	— 1505	„ 18.05.00	— 3.14	= 18.01.46	0
Moncalieri	— 1525	„ 18.05.03	— 3.17	= 18.01.46	0
Aachen	— 1655	„ 18.05.18	— 3.32	= 18.01.46	0
Cartuja	— 2715	„ 18.07.15	— 5.29	= 18.01.46	0

mittlere Zeit im Epizentrum = 18.01.46 ± 1 s.

Die Übereinstimmung ist eine sehr gute. Man erhält aber für Pulkova — 1585 *km* iP 18 *h* 05 *m* 03 *s* — 3.24 = 18 *h* 01 *m* 39 *s* mit einer Abweichung vom — 7 Sek. Es ist dies ein Zeichen, daß die erste Phase (P_2) schon bei dieser Entfernung anfängt.

Ob besonders in größeren Entfernungen noch eine dritte Phase mit noch kleineren Laufzeiten besteht, ist schwer zu sagen. Die Angaben von Jena und Aachen bei dem Beben Nr. V weichen von dem P_2 -Hodographen ziemlich stark ab und scheinen dafür zu sprechen; dies sind aber die einzigen Angaben, welche für eine dritte Phase sprechen.

Bis zu einer Entfernung von 5000 *km* und zwischen 10.500 und 11.500 *km* Entfernung gibt es eine genügende Anzahl von Angaben, aus welchen man die beiden Hodographen mit Sicherheit feststellen kann. Zwischen 5275 und 10.770 *km* sind nur vier Angaben für die erste und nur eine für die zweite Phase vorhanden. Für mittlere Entfernungen muß man also beide Hodographen als interpoliert betrachten. Es wird aber dennoch für künftige Arbeiten nützlich sein, daß man wenigstens einen angenäherten Verlauf beider Kurven kenne. Wegen leichter Interpolation habe ich auch diese Laufzeiten auf 0.1 Sek angegeben, obgleich ich besonders für mittlere Entfernungen auch für ganze Sekunden nicht gut stehen kann.



Hodographen der normalen P (P_n) sowie der zwei neuen Phasen P_1 und P_2 von 1500 bis 11.500 km Epizentralentfernung.

D <i>km</i>	P_n <i>m s</i>	$P_n - P_1$ <i>s</i>	P_1 <i>m s</i>	$P_n - P_2$ <i>s</i>	P_2 <i>m s</i>
1500	3.13.7	—	—	6.0	3.07.7
1700	3.37.4	2.3	3.35.1	7.1	3.30.3
2000	4.12.4	3.6	4.08.8	9.1	4.03.3
2500	5.07.2	5.3	5.01.9	13.0	4.54.2
3000	5.56.7	6.6	5.50.1	16.3	5.40.4
3500	6.40.3	7.7	6.32.6	17.9	6.22.4
4000	7.18.1	8.5	7.09.6	17.8	7.00.3
4500	7.54.0	8.8	7.45.2	17.7	7.36.3
5000	8.28.0	9.0	8.19.0	17.6	8.10.4
5500	9.00.0	8.9	8.51.1	17.5	8.42.5
6000	9.30.7	8.9	9.21.8	17.3	9.13.4
6500	9.59.7	8.8	9.50.9	17.1	9.42.6
7000	10.27.6	8.7	10.18.9	16.8	10.10.8
7500	10.54.6	8.6	10.46.0	16.5	10.38.1
8000	11.21.1	8.4	11.12.7	16.2	11.04.9
8500	11.47.1	8.2	11.38.9	15.9	11.31.2
9000	12.12.6	8.0	12.04.6	15.6	11.57.0
9500	12.37.6	7.8	12.29.8	15.3	12.22.3
10.000	13.02.1	7.5	12.54.6	14.9	12.47.2
10.500	13.26.1	7.2	13.18.9	14.5	13.11.6
11.000	13.49.5	6.9	13.42.6	14.0	13.35.5
11.500	14.12.5	6.6	14.05.9	13.5	13.59.0

In meiner Arbeit über das Kulpatal-Beben habe ich gezeigt, daß von dem Epizentrum aus eine Kurve der P bis zu einer Entfernung von etwa 700 km sich erstreckt. Bei etwa 200 km Epizentralentfernung fängt eine neue Kurve mit kleineren Laufzeiten an und erstreckt sich bis zu der größten Entfernung, bis zu welcher noch die P beobachtet werden können.

Den plötzlichen Anfang der normalen P habe ich so zu erklären versucht, daß ich in einer Tiefe von etwa 50 km eine Fläche starker Diskontinuität annahm, d. h. eine starke Änderung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der longitudinalen Wel-



len. Ob man auch diese neuen Kurven auf solche Diskontinuitäten in größerer Tiefe zurückführen kann, kann man freilich nicht ohne weiterer Untersuchungen behaupten, und ohne vorerst ihre Laufzeiten genauer zu kennen. Daß in größeren Tiefen mehrere Diskontinuitätsflächen bestehen, ist schon wiederholt bewiesen worden, und wir kennen auch ihre beiläufigen Tiefen; man glaubt aber, daß der Übergang von der einen Schichte zur nächsten tiefer liegenden ein stätiger sei. Es ist auch möglich, daß die Kurve in gewissen Entfernungen sich in zwei oder mehrere Äste teilt.

Bis zu einer Entfernung von 1500 *km* sind nur die normalen *P* zu finden, und in größerer Entfernung gibt es neue Phasen, welche auf Grund eines weiteren Materials noch näher zu untersuchen sein werden. Mir genügt es, auf ihre Existenz aufmerksam gemacht zu haben.

Der Anfang des Bebens besteht in größeren Epizentralenentfernungen aus einer Reihe von Stößen in Intervallen von 5—9 Sekunden und in der Dauer von $\frac{3}{4}$ bis zu 1 Minute. Welcher von diesen Stößen als der Anfang des Bebenbildes von dem Instrumente aufgezeichnet wird, hängt von der Stärke des Bebens ab, wahrscheinlich von seiner Herdtiefe, von dem Wege, welchen die Strahlen durchlaufen müssen und von der Empfindlichkeit des Instrumentes.

Die Stärke der einzelnen Stöße ist verschieden, so daß man nicht wissen kann, zu welcher Phase jener Stoß oder jene Stöße gehören, welche von dem Instrumente aufgezeichnet werden. Darum würde ich Allen, die sich mit der Ablesung und Veröffentlichung von Diagrammen befassen, empfehlen, nicht nur den ersten Stoß oder möglicherweise noch den stärksten Einsatz abzulesen, sondern alle gut verbürgten Einsätze innerhalb der ersten Minute nach dem Anfange des Bebenbildes.

Auf dieselbe Art, wie ich hier den Anfang des Bebenbildes untersucht habe, müßte man auch den Anfang der zweiten Vorphase, die *S*, untersuchen, denn auch diese Phase zeigt sich bald früher bald später. Nimmt man die Zeitdifferenz *S—P*, nach der Wiechert-Zöppritz'schen Annahme, so entspricht ihr nur ausnahmsweise die richtige Epizentralentfernung. Wie es mehrere *P*-Einsätze gibt, so gibt es auch mehrere *S*-Einsätze, und jedem *P*-Einsatz entspricht wahrscheinlich ein *S*-Einsatz. Ein *P*-Einsatz bildet den Anfang des Bebens und ein stärkster Einsatz wird

gewöhnlich als iP genommen. Ebenso wird bei den S verfahren, nur braucht der erste P -Einsatz nicht dem ersten S -Einsatz entsprechen und ebenso nicht der stärkste P -Einsatz dem stärksten S -Einsatze, weil die S im Inneren der Erde nicht denselben Weg nehmen wie die P . Ich möchte daher empfehlen, auch bei den S nicht nur einen oder zwei Einsätze abzulesen, sondern alle gut sichtbaren Einsätze der letzten Minute vor und der ersten Minute nach den S .

Wer auf Grund des bisher bekannten Materials die Laufzeiten der S untersuchen wollte, müßte die Originaldiagramme oder gute Kopien von solchen nochmals ablesen. Ich habe bisher sehr viel numerisches Material gesammelt, bin aber zur Einsicht gekommen, daß man gar nichts anfangen kann, ohne die betreffenden Diagramme vor sich zu haben.

Dieselbe Erscheinung zeigt sich bei den verschiedenen Reflexionen der P und S . Daher glaube ich, daß die heutzutage übliche Art der Ablesung von Diagrammen eine mangelhafte sei. Meistens wird das Vorbeben nahezu ganz vernachlässigt, dafür aber die maximale Phase mit der größten Sorgfalt abgelesen, und oft werden 20—30 und mehr Maxima angeführt. Für gewisse Untersuchungen hat auch die maximale Phase ihre Wichtigkeit, es ist aber nicht gut, dafür die Vorphase zu vernachlässigen. Die Vorphase ist bedeutend wichtiger als die maximale, und ich glaube, daß wir die maximale Phase erst dann mit vollem Erfolge untersuchen werden können, wenn wir die Vorphase wenigstens in großen Zügen verstehen werden; davon sind wir aber noch weit entfernt.

