

# Inge Lehmann – seismologiens pioner

Lif Lund Jacobsen, Arktisk Institut, København

Inge Lehmann (1888–1993) var Danmarks første seismolog, som i sin levetid opnåede stor international anerkendelse. Lehmann voksede op i en intellektuelt progressiv familie og trodsede samfundsnormer for kvinder i den akademiske verden ved først at studere matematik og senere få ansættelse som statslig seismolog. I 1936 fremlagde hun beviser for, at der var en indre kerne inde i Jordens flydende kerne. Hendes forskning bidrog på afgørende vis til vores forståelse af Jordens opbygning og til geofysisk forskning i almindelighed. Hendes virke omfattede også geopolitiske indsatser særligt i forholdet til andre landes interesser i Grønland, og hendes arbejde havde indirekte betydning for overvågning af atomprøvesprængninger under den kolde krig.

Inge Lehmann blev født i 1888 som den ældste af to søstre i en intellektuel københavnerfamilie. Hendes mor, Ida Tørsleff, kom fra en familie, hvor flere var meget aktive i kvindesagen, og hendes far, Alfred Lehmann, var uddannet ingeniør, men fik tidligt en interesse for eksperimentpsykologi. Et nyt forskningsfelt hvor man efter naturvidenskabeligt forbillede udførte kontrollerede eksperimenter som forskningsmetode, og hans pionerarbejde førte til etableringen af psykologien som et selvstændigt forskningsområde på Københavns Universitet.

Lehmans forældre havde progressive synspunkter på uddannelse og sendte hende i 1894 til H. Adlers Fællesskole, hvor drenge og piger blev undervist sammen og i de samme fag. Skolen var usædvanlig for sin tid, fordi det blev betragtet som skadeligt for piger at blive udsat for intellektuel udmattelse, særligt under puberteten, hvorfor piger indtil 1903 skulle være mindst 17 år, før de måtte begynde på gymnasiet, mens drenge kunne starte som 15-årige.

Hanna Adler, der grundlagde skolen, var en pioner inden for kvinders akademiske uddannelse. Hun var selv en af de to første kvinder, der opnåede en magistergrad i fysik fra Københavns Universitet. Inspireret af pædagogiske idéer fra USA åbnede hun skolen og ansatte flere af sine kvindelige medstuderende som lærere, da kvinder ikke havde adgang til universitetsstillinger. Skolen byggede på hendes stærke tro på ligestilling mellem kønnene og hendes radikale pædagogiske tanker. På skolen blev Lehmann undervist i fysik af Kirstine Meyer og i matematik af Thyra Eibe, begge fremragende kvindelige forskere, som blev vigtige rollemodeller for hende. Med disse kvinder som forbilleder udviklede Lehmann en stærk tro på intellektuel ligestilling og kønnenes lige muligheder. Hun var udpræget akademisk begavet, og med faderens billigelse fortsatte hun efter endt eksamen i 1906 med at studere matematik på Københavns Universitet.

I 1911 rejste Lehmann til Cambridge Universitet for at fortsætte sine studier i geometri med henblik på at tage den udfordrende matematikeksamen, the Mathematical Tripos. Siden 1881 havde kvinder haft ret til at tage eksamen ved Cambridge, og kunne følge universitetsforelæsningerne, men var udelukket fra at deltage i de tilknyttede øvelser eller vejledninger. I

stedet var de henvist til at benytte de to kvindekollegiers private faciliteter. Selv kvindernes kommen og gåen var begrænset, idet de uden for kollegiets mure skulle være i følgeskab med en anstandsdame. Vi kender Lehmans frustration over situationen via hendes brevveksling med Niels Bohr, som var i Cambridge samtidig med hende.



**Figur 1.** Inge Lehmans klasse var den første årgang hvor kvinder gik på gymnasiet på lige fod med mændene. Fotograf ukendt, 1906.

Hjemme på juleferie og udmattet af de hårde studier satte Lehmans far hende et ultimatum. Han var bekymret for hendes helbred, fordi det på daværende tidspunkt var et videnskabeligt faktum, at kvinder pga. deres biologi ikke havde den nødvendige mentale styrke til at gennemføre hårde akademiske studier. Han frygtede, at Inge, som allerede havde vist tegn på træthed, ville ende som mange af de intellektuelt begavede kvinder han havde hørt om, der blev uhelbredeligt (sinds)syge af deres studier. Han nægtede derfor at finansiere hendes videre studier ved Cambridge, men lovede, at hun må genoptage studierne på Københavns Universitet, hvis hun fik det bedre. Han bøn-faldt hende dog om i stedet at overveje en administrativ stilling, hvor hun kunne gøre karriere, da hendes muligheder som kvinde i academia under alle omstændigheder ville være begrænsede.

Med hjælp fra faderen fik Lehmann ansættelse som beregner i Forsikringsselskabet Danmark og arbejdede her en årrække uden at få interesse for jobbet, som hun fandt kedeligt. Derfor genoptog hun i 1918 sine studier på Københavns Universitet, som hun afsluttede i 1920. Året efter fik kvinder lige adgang til offentlige stillinger,

herunder på universitetet, og Lehmann kunne nu endelig forfølge sin drøm om en rigtig forskningskarriere [1].



**Figur 2.** Ittoqqortoormiit (Scoresbysund) seismografstation cirka 1928. Foto: Inge Lehmanns arkiv, Rigsarkivet.

### Seismologi begynder at vokse i Danmark

I de næste par år arbejdede Lehmann primært som forskningsassistent ved Københavns Universitets Forsikringsmatematiske Laboratorium i et deltidsjob, og begyndte desuden at assistere professor Niels Erik Nørlund, som arbejdede på at etablere et netværk af seismiske stationer i Danmark og Grønland.

På det tidspunkt var den videnskabelige interesse for seismologi i Danmark lille, formodentligt fordi mærkbare jordskælv er yderst sjældne. Men i 1924, da Danmark bliver medlem af International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG), opstod der et internationalt pres på Danmark for at indsamle og dele geofysiske data, særligt fra Grønland. Samtidig udfordrede Norge dansk suverænitæt i Østgrønland, og den geopolitiske trussel tvang Danmark til at øge sin videnskabelige tilstedeværelse for at demonstrere sin autoritet i området for det internationale samfund. Det var på denne baggrund, at Nørlund i efteråret 1925 ansatte Lehmann til at hjælpe med at etablere seismologiske stationer i København, Ivituut og Ittoqqortoormiit (Scoresbysund). Efter en del begyndervanskeligheder var stationen i København i regelmæssig drift fra marts 1927, og de grønlandske fulgte efter samme år [2].

I forsommeren 1927 blev Lehmann sendt på en fire måneders studierejse i udlandet for at lære seismologi, og studerede blandt andet hos Beno Gutenberg i Darmstadt. I april 1928 blev Nørlund direktør for det nyoprettede Geodætiske Institut, og Lehmann blev kort efter ansat som leder af Institutets Seismiske Afdeling med ansvar for landets seismologiske stationer, publicering af de seismiske bulletiner og de internationale, videnskabelige samarbejder. Selvom jobbet primært var administrativt, var det en fast akademisk stilling på niveau med de andre afdelingsledere på Geodætisk Institut og med betydelig international kontakt. Det betød dog, at Lehmann måtte foretage hovedparten af sin forskning uden for arbejdstiden.

Selvom hun benyttede data fra udenlandske stationer, var hendes forskning fra starten præget af et særkende ved det danske netværk. Enestående for de danske og grønlandske stationer var brugen af flere og forskelligartede typer af seismografer, optage- og

tidsinstrumenter. Samtidige nationale netværk foretrak instrumenter designet af deres egne seismologer, men da Danmark ikke havde en tradition for seismologisk forskning, var der ikke præference for en bestemt type instrumenter. Derfor blev instrumenterne i netværket anskaffet med henblik på variation i ydeevne og den nyeste teknologi.



**Figur 3.** Flere af de oprindelige instrumenter står stadig på den seismiske station i København bl.a. den tonstunge Wiechert Horisontalseismograf. Foto: Casper Brogaard Højer.

Fordi Lehmann personligt kontrollerede aflæsningerne fra alle apparaturer, gjorde det ikke kun de danske stationsbulletiner usædvanligt konsistente. Det gav hende også en enestående træning i at aflæse og sammenligne seismogrammer fra de fleste typer instrumenter [3]. Det var denne evne, som blev omdrejningspunktet i hendes forskningsmetode, hvor hun nærlæste mange seismogrammer fra samme skælv, for derigennem at sammenligne de forskellige bølgers ankomsttidspunkter efter de havde passeret igennem Jorden. Denne metode ledte hende til opdagelse af Jordens indre kerne i 1936 [4].

### Ny type P-bølger

Inge Lehmanns opdagelse af Jordens kerne byggede på minutøse observationer af P-bølgenes ankomsttidspunkter efter 1929-jordskælvet i Buller, New Zealand. Ved at studere seismogrammer fra en lang række stationer over hele verden kunne hun følge P-bølgenes vej gennem Jordens indre.

I 1906 havde Richard Dixon Oldham observeret, at P-bølger ikke dukkede op i et område på den modsatte side af Jorden, fra hvor jordskælvet opstod, den såkaldte skyggezone. Dette ledte til konklusionen om, at Jorden udover en fast kappe bestod af en flydende kerne, fordi S-bølger ikke kan rejse gennem væsker, og fraværet af P-bølger i skyggezonen antydede, at de blev reflekteret af en ændring i Jordens masse, en såkaldt diskontinuitet.

Lehmanns afgørende indsigt om eksistensen af en indre kerne kom fra hendes analyse af refraktion af P-bølger, hvor hun opdagede en ny type P-bølger i skyggezonen, som hun kaldte P' (i dag PKiKP). Lehmann indså, at forekomsten af disse P-bølger måtte være resultatet af en pludselig ændring af P-bølgens hastighed inde i den flydende kerne, som resulterede i en afbøjning, hvilket indikerede en ændring i materialets egenskaber.

På baggrund af refraktionsmønstret og hastighedsdata for hendes observationer af P' konstruerede Lehmann en ny model af Jordens indre. Herefter demonstrerede hun, at kun ved at antage en indre kerne af højere densitet kunne man forklare den observerede adfærd af både P- og S-bølger i hendes datasæt.

To år senere beregnede Beno Gutenberg og Charles Richter ud fra ankomsttidspunkter, at den indre kerne havde en radius på omkring 1.200 km og en gennemsnitlig P-hastighed i den indre kerne på 11,2 km/sek. Dermed var Lehmanns opdagelse verificeret og hendes teori om en indre kerne anerkendt [5].

### Faktaboks 1: Opdagelsen af Jordens indre kerne

“We take it that, as before, the Earth consists of a core and a mantle, but that inside the core there is an inner core in which the velocity is larger than in the outer one.” — Inge Lehmann: P' (1936).

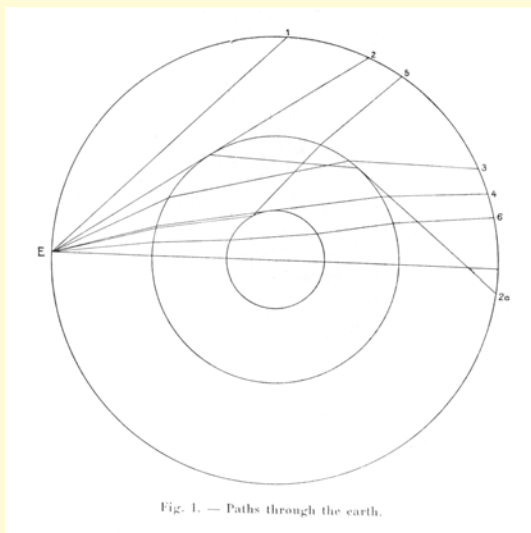


Fig. 1. — Paths through the earth.

Lehmanns originale model af den indre kerne publiceret i hendes artikel P' (1936).

### En stille periode

Forskningsmæssigt var 1940'erne en stille periode for Lehmann. Udbruddet af Anden Verdenskrig satte en stopper for alle internationale forskningssamarbejder og udveksling af seismiske data. Under besættelsen mistede Lehmann endda kontakten med de grønlandske stationer, da Grønland bliver afskåret fra Danmark, og USA overtog deres drift. Efter krigen genetableredes samarbejdet mellem de nationale seismiske tjenester kun langsomt, især på grund af den kolde krigs fjendtlighed, der forhindrede udvekslingen af seismiske data mellem øst og vest.

Efter krigen blev atomvåbenkapløbet en drivkraft for seismologisk forskning, idet atomprøvesprængninger producerede målelige trykbølger, der adskilte sig fra jordskælv. Hvis disse kunne bestemmes nøjagtigt, var det muligt at bestemme placeringen og størrelsen af fjendens atomprøvesprængninger.



Figur 4. I 1964 blev Inge Lehmann udnævnt som æresdoktor ved Columbia University på foranledning af Maurice Ewing. I årene efter modtog hun flere internationale hæderspriser. Foto: GEUS.

### Intensiveret forskningskapløb

Det videnskabelige forskningskapløb intensiveredes fra 1949, da Sovjet gennemførte sin første atomprøvesprængning. På dette tidspunkt var seismologi stadig et relativt lille forskningsfelt, og forskere blev lokket til med store bevillinger. Inge Lehmann blev involveret i denne forskning på amerikansk side, da hun i 1952 mødte Maurice “Doc” Ewing, der inviterede hende til USA. Ewing ledede et anerkendt forskningscenter ved Columbia University, og Lehmann, som på dette tidspunkt var træt af det opslidende administrative arbejde på Geodætisk Institut, valgte efter sit første ophold i USA at lade sig tidligt pensionere i 1953 for udelukkende at fokusere på sin forskning.

Hendes officielle pensionering gjorde det muligt for hende at modtage forskningsmidler fra det amerikanske militær uden at skabe diplomatiske problemer for Danmark. Som tidligere embedsmand var Lehmann dog stadig i tæt kontakt med Geodætisk Institut og repræsenterede Danmark på internationale videnskabelige møder. Som pensionist og verdensberømt forsker gav det hende, og dermed Danmark, adgang til projekter og aktiviteter, som ikke normalt var tilgængelige for et lille land. Helt indtil 1971 rejste hun årligt på månedlange besøg i USA, hvor hun havde adgang til bl.a. seismiske data fra amerikanske atomprøvesprængninger.

I 1964 opdagede hun, at der i Jordens kappe, ca. 220 km under jordoverfladen, fandtes en diskontinuitet, der ændrede bølgers hastighed. En opdagelse, der potentielt kunne have betydning for lokaliseringen af atomprøvesprængninger.

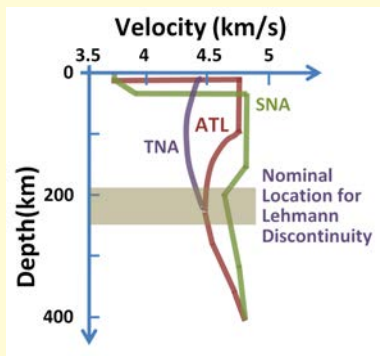
I løbet af den kolde krig voksede det internationale seismiske forskningsmiljø enormt, og Lehmann blev en mindre central figur. I 1958 blev USA og Sovjetunionen enige om at bremse atomvåbenkapløbet, men de manglede metoder til at overvåge et forbud mod atomprøvesprængninger. Et ekspertmøde i Genève mellem seismologer fra begge lande førte til en plan for global overvågning, men efter nye data fra amerikanske atomprøvesprængninger begyndte USA at tvivle på det videnskabelige grundlag for overvågning. Mødet

i 1959 endte uden resultat, da politiske uenigheder overskyggede de videnskabelige diskussioner.

### Faktaboks 2: Lehmann-diskontinuiteten

Baseret på analyser af P-bølger efter amerikanske atomprøvesprængninger opdagede Lehmann i 1964 endnu en hastighedsforandring i Jordens indre af stor betydning for geofysikken.

Studiet var en forsættelse af hendes forskning i P-bølger fra 1930'erne, men på grund af ny teknologi havde hun nu bedre data til rådighed. Ved at studere seismogrammer fra stationer i relativ geografisk nærhed af en atomprøvesprængning observerede hun en markant forøgelse af P- og S-bølgernes hastighed i Jordens kappe i omkring 220 km dybde under Europa og Nordamerika, mens bølgehastigheden forblev konstant oven over denne grænse. Dette fik hende til i 1964 at konkludere, at der eksisterede et lavhastighedslag (low-velocity-layer) i Jordens øvre kappe afgrænset af en såkaldt diskontinuitet i form af en materialeændring [6]. Senere studier har vist, at Lehmann-diskontinuitetsgrænsen ikke er ensartet, men forekommer længere nede under kontinenter end oceaner, og helt er fraværende i nogle områder. De seismiske bølgers amplitude er også højere i diskontinuiteten under kontinenter. Årsagen til dette fænomen kendes ikke.



I anerkendelse af Inge Lehmanns opdagelse kaldes afgrænsningen i dag Lehmann-diskontinuiteten.

Kollapset af forhandlingerne om overvågningsteknikker førte til USA's oprettelse af World-Wide Standard Seismographic Network (WWSSN) i 1960, et globalt netværk af seismiske stationer. Selvom WWSSN blev præsenteret som et humanitært projekt, var det også et militærstrategisk redskab i Den Kolde Krig, og Danmark kom under pres for at acceptere stationer i Grønland. For ikke at sætte forholdet til USA over styr accepterede Danmark i 1962 modvilligt placeringen af amerikanske instrumenter på fire eksisterende stationer, tre i Grønland og en i København [7].

Selvom Lehmann i 1960'erne ikke længere var med i fronten af seismisk forskning, var hun stadig en højt respekteret forsker med et stor netværk og betydeligt internationalt renommé. Hendes videnskabs-

diplomatiske indsigt brugte hun til gavn for danske interesser, eller når rådgav det danske embedsværk. Hun gik uigenkaldeligt på pension i 1970'erne men korresponderede aktivt med kollegaer helt indtil sin død i 1993.

Født i en tid, hvor kvinder hverken havde stemmeret eller adgang til uddannelse på lige vilkår med mænd, vidnede Lehmanns karriere om en imponerende vilje og en livslang insisteren på intellektuel ligestilling, der banede vejen for hendes banebrydende opdagelser inden for seismologi og hendes betydningsfulde bidrag til geofysikken. Lehmanns arv omfatter ikke kun hendes videnskabelige opdagelser, men hun fik også betydning for nedrustning og dansk geopolitik i Arktis. Den seismiske tjeneste, hun opbyggede, lever videre i dag under De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), der driver 25 stationer i Grønland og 6–7 i Danmark. Takket være disse stationer bidrager Danmark aktivt til den fælles internationale overvågning af forbuddet mod atomprøvesprængninger.

### Litteratur

- [1] L. Lund Jacobsen (2022) "Intellectually gifted but inherently fragile – society's view of female scientists as experienced by seismologist Inge Lehmann up to 1930", *Hist. Geo Space. Sci.*, bind **13**, side 83–92. doi.org/10.5194/hgss-13-83-2022.
- [2] A. L. Lund Jacobsen (2017) "Arctic geopolitics and the beginning of earthquake monitoring in Denmark and Greenland", *GEUS Bulletin*, bind **38**, side 73–76. doi.org/10.34194/geusb.v38.4424.
- [3] T. Dahl-Jensen, L.L. Jacobsen, A.G. Sølund, T. Larsen og P. Voss (2022) "100 years of paper seismograms from Denmark and Greenland, 1907–2008", *Seismol. Res. Lett.*, bind **93**, side 1026–1034. doi.org/10.1785/0220210311.
- [4] I. Lehmann (1987) "Seismology in the days of old", *Eos Trans.*, AGU, bind **68**, nr. 3, side 33–35. doi:10.1029/EO068i003p00033-02.
- [5] M.K. Ebert (2001) "Inge Lehmann's paper: 'P' (1936)", *Episodes*, bind **24**, side 262–267. doi.org/10.18814/epiugs/2001/v24i4/007.
- [6] I. Lehmann (1964) "On the travel times of P as determined from nuclear explosions", *Bull. Seismol. Soc. Bull.*, bind **54**, side 123–139.
- [7] A.L.L. Jacobsen (2016) "Danish Seismic Research in Relation to American Nuclear Detection Efforts". I: R. Doel, K. Harper, M. Heymann (red.) "Exploring Greenland. Palgrave Studies in the History of Science and Technology". Palgrave Macmillan, New York. doi.org/10.1057/978-1-137-59688-8\_8.



Lif Lund Jacobsen er historiker og arkivchef på Arktisk Institut, København. Hendes forskningsemner omfatter videnskabsdiplomati, geofysikkens historie og geopolitik i Arktis. Hun er en af verdens førende Inge Lehmann eksperter og har udgivet en række artikler om Inge Lehmann og den geopolitiske betydning af det danske seismiske netværk.