

INGE LEHMANN OG JORDENS KERNE

TIL UNDERVISEREN

Dette undervisningsmateriale tager udgangspunkt i programserien "Store Danske Videnskabsfolk" og specifikt udsendelsen om Inge Lehmann.

Hvordan jordens indre ser ud, har altid interesseret videnskabsfolk. De dybeste borerer er ca. 12 km dybe og når der er 6370 km ind til jordens centrum, kan opbygningen af jordens indre ikke forklares ud fra direkte observationer. Forklaringen må derfor udledes på baggrund af teoretiske overvejelser.

Inden Inge Lehmann påviste tilstedeværelsen af både en fast kerne og en flydende kerne, troede man, at hele kernen var flydende. Man byggede denne antagelse på, at der findes en skyggezone for de seismiske bølger på den modsatte side af jorden i forhold til skælvet. Men de seismiske målinger Inge Lehmann kunne registrere i København fra jordskælv i f.eks. New Zealand, passede ikke overens med den gældende teori. Hvis Lehmann placerede en fast kerne inden i den flydende kerne, kunne Inge Lehmann få teori og observationer til at stemme overens.

Dette beskrev hun i sin berømte artikel "p' " fra 1936.

Det er meningen, at udsendelsen anvendes som indgangsvinkel til arbejdet med jordens opbygning og jordskælv, og er også oplagt at bruge som indledning til udviklingen af teorien om pladetektonik.

Efter at have set hele eller dele af udsendelsen arbejdes der videre med undervisningsmaterialet, der tilsammen sætter eleverne i stand til at:

- identificere, genkende og klassificere rumlige mønstre i geofaglige sammenhænge
- fortolke og anvende et spektrum af geofaglige repræsentationsformer såsom data, kort, diagrammer, figurer
- udskille, analysere og fortolke væsentlige naturfaglige enkeltfænomener og delprocesser i naturen og menneskets omgivelser og sætte dem ind i overskuelige sammenhænge
- forstå og kritisk anvende komplekse geofaglige modeller som repræsentationer af virkeligheden.

Dette passer ind i læreplanen for både Naturgeografi C og Naturgeografi B, samt i naturvidenskabeligt grundforløb:

- **Kernestoffet på naturgeografi C er:** Jordens, livets og landskabernes udviklingsprocesser og udviklingshistorie
 - o *Jordens opbygning, den pladetektoniske model, jordskælv og vulkaner*
- **Kernestoffet på Naturgeografi B er:** Jordens, livets og landskabernes udviklingsprocesser og udviklingshistorie i lyset af aktuelle ressource- og miljøforhold
 - o *Jordens opbygning, den pladetektoniske model, jordskælv og vulkaner*
 - o *relevante aktuelle teorier og tolkninger af emnet.*

Tidsforbruget svarer til to undervisningsmoduler, men kan afkortes til et modul ved kun at bruge dele af materialet.

Find udsendelsen om Inge Lehmann på www.dr.dk/videnskabsfolk

INDLEDNING

Lehmans store opdagelse var, at jordens kerne ikke kun bestod af flydende materiale, men at den bestod af en fast indre kerne og en flydende ydre kerne. Hun skrev sin berømte videnskabelige artikel "p'" i 1936. p' er betegnelsen på p-bølger, som har passeret jordens kerne og måles på den modsatte side af jorden.

Inge Lehmann var uddannet som matematiker i 1920 fra Københavns Universitet. I 1925 blev hun ansat som assistent for N.E. Nørlund ved Geodætisk Institut. Her var Lehmann med til at etablere de første seismiske stationer i Danmark og Grønland. Gennem sit arbejde med seismiske data kunne hun observere uregelmæssigheder, som ikke kunne forklares med eksisterende teorier.

I 1920'erne var den herskende teori, at jorden var opbygget af en flydende kerne, en fast kappe og yderst var skorpen. Man havde beskrevet forskellen på p-bølger (trykbølger) og s-bølger (svingningsbølger) og kunne beregne, hvordan disse burde ankomme til målestationer verden over i forbindelse med et jordskælv. Men det krævede præcise måleinstrumenter, da bølger fra et jordskælv på den anden side af jorden kun giver små udslag på seismografen. De seismografer, som blev opstillet i Danmark, var af bedste kvalitet på det tidspunkt.

Lehmann undrede sig over, at de observerede data ikke stemte overens med teorien. Lad os her se på hvilken viden, der er nødvendig for at forstå Lehmanns undren.

GEOFYSISK VIDEN

Opgave 1

Skriv i skemaet hvad du ved om p-bølger og s-bølger?

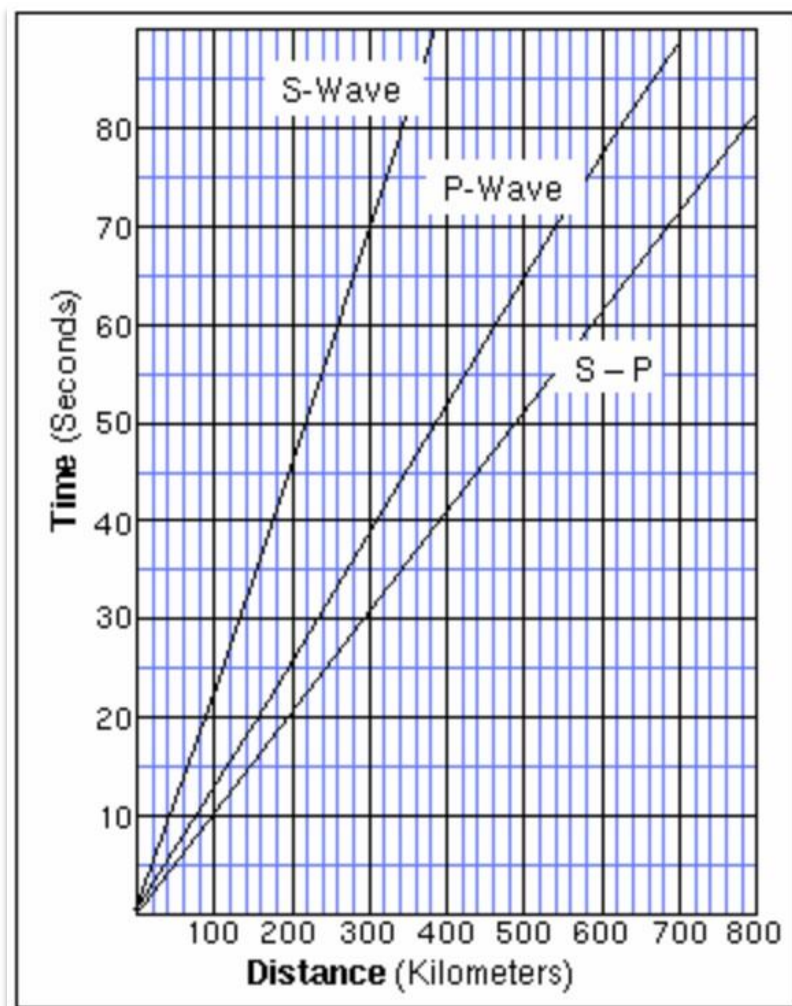
	p-bølger	s-bølger
Bølgetype		
Hastighed i kontinentalskorpen (granit)	Ca. 6 km/sek.	Ca. 3,6 km/sek.
Evne til at bevæge sig i faste materialer		
Evne til at bevæge sig i flydende materialer		

På baggrund af viden om bølgenes udbredelseshastighed kan man udlede afstanden mellem jordskælvets epicenter og seismografen, hvis:

- man kender tidspunktet for jordskælvet
- man kender tidspunktet for p- og s-bølgens ankomst ved målestationen
- man kender bølgenes hastighed
- tidsintervallet mellem p-bølgen og s-bølgens ankomsttid kan anvendes som et udtryk for afstanden til epicenteret.

Opgave 2

- Det tager ca. 70 sek. for s-bølgen af bevæge sig 300 km.
- Hvor lang tid tager det p-bølgen at bevæge sig den samme afstand?
- Hvor stort er tidsintervallet mellem ankomsten af? p-bølgen og s-bølgen?

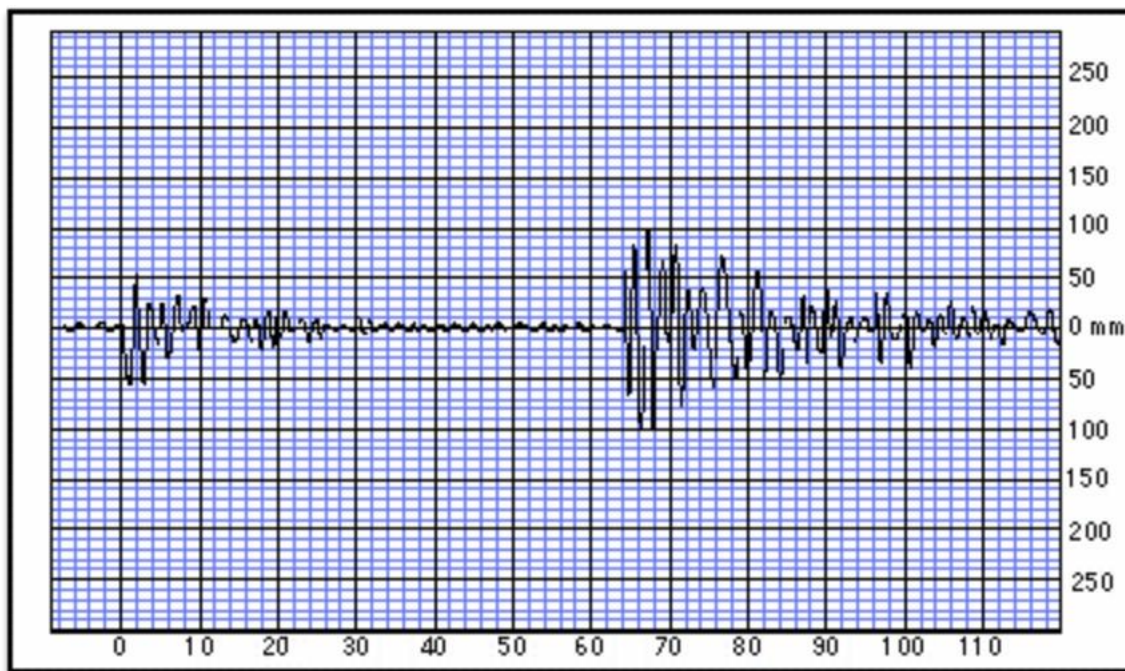


Figur 1: Seismiske bølgers udbredelseshastighed.

Grafen viser tre kurver; øverste: s-bølgers udbredelseshastighed som funktion af afstanden; i midten: p-bølgers udbredelseshastighed som funktion af afstanden og nederst: tidsintervallet mellem ankomsten af p-bølgen til s-bølgen ankommer som funktion af afstanden.
<http://www.sciencecourseware.org/VirtualEarthquake/VQuakeExecute.html>

Opgave 3

Find afstanden fra jordskælvets til seismografen på figur 2 ved hjælp af grafen på figur 1. Skriv resultatet i skemaet.



Figur 2: På seismogrammet aflæses tidsforskellen mellem første p-bølge og s-bølge samt amplituden for den største s-bølgesvingning. <http://www.sciencecourseware.org/VirtualEarthquake/VQuakeExecute.html>

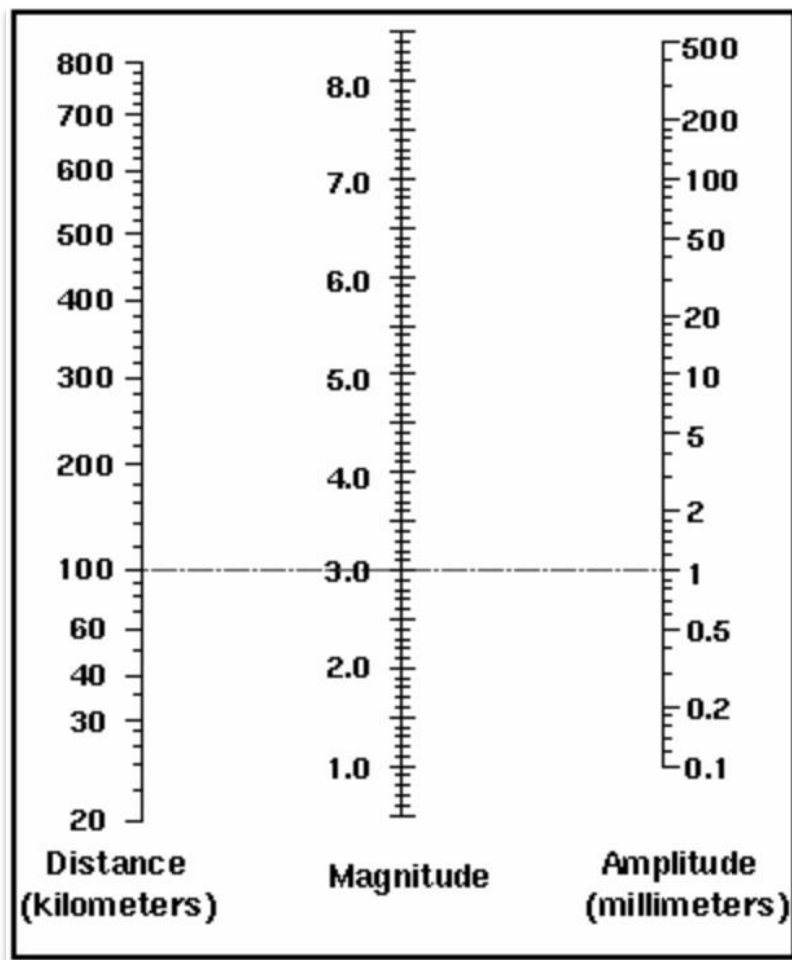
Seismogrammet fra figur 2

S-P interval	
Afstand mellem jordskælvets og seismografens placering	
S-bølgens maksimale amplitude	
Jordskælvets styrke på Richterskalaen	

Når afstanden fra den seismiske målestation til jordskælvets er fundet, kan man beregne jordskælvets størrelse. Til det anvendes Richter-skalaen og et nomogram. På seismogrammet aflæses størrelsen af s-bølgens udslag (amplituden). Ved at forbinde amplitude og afstand som vist på figur 3, kan jordskælvets styrke aflæses på den midterste akse.

Opgave 4

Find styrken for jordskælvet på fig. 2.



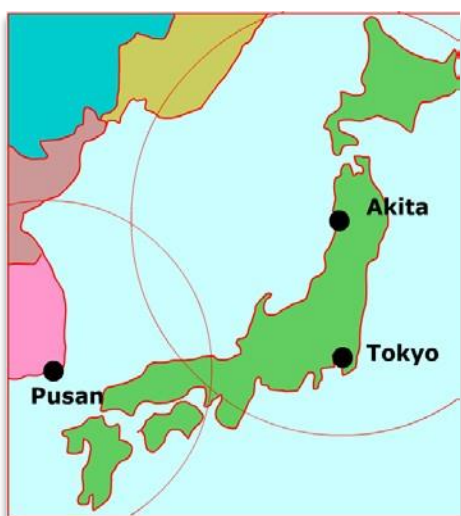
Figur 3: Størrelsen af jordskælvet kan findes vha. Richters nomogram. Et standard jordskælv, der er 100 km væk, og hvor amplituden for s-bølgen er 1 mm, har en styrke 3 på Richterskalaen.

<http://www.sciencecourseware.org/VirtualEarthquake/VQuakeExecute.html>

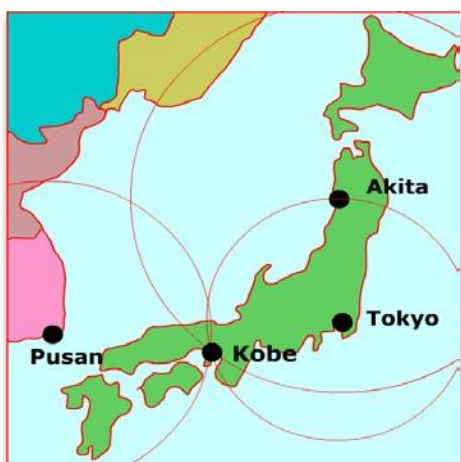
Disse oplysninger er ikke nok til at bestemme jordskælvets epicenter. Afstanden til jordskælvet kendes, men det vides ikke fra hvilken retning p- og s-bølgerne kom. For at finde ud af det anvendes trilaterering.



Figur 4: I Akita i Japan er registreret et jordskælv i en afstand på 697 km. Men hvor på storcirklen jordskælvet er placeret, vides ikke. <http://webgeology.alfaweb.no/>



Figur 5: Jordskælvet blev også målt i Pusan i Sydkorea 549 km væk. Jordskælvets epicenter findes et af de to steder, hvor storcirklerne mødes. <http://webgeology.alfaweb.no/>



Figur 6: Jordskælvet blev registreret i Tokyo 434 km væk. Nu kan epicenteret bestemmes til Kobe, hvor alle tre storcirkler mødes. <http://webgeology.alfaweb.no/>

JORDENS KERNE OG SKYGGEZONER

Når en bølge passerer en grænse mellem to materialer med forskellige fysiske egenskaber, vil bølgens hastighed og retning ændres. Noget af bølgens energi reflekteres, og noget af energien refrakteres. Det vil sige at bølgen fortsætter ind i det nye materiale, men med en ændret hastighed (afhængigt af materialets fysiske egenskaber) og nye retning.

Hvis jorden var en kugle som bestod af ensartet materiale, ville bølgerne fra et jordskælv udbrede sig gennem jorden som vist på figur 8. Men jorden er ikke homogen. Tryk og temperatur øges med dybden og dermed bjergarternes densitet. Bølgernes hastighed øges derfor med dybden og densitet. Dette vil teoretisk give et udbredelsesmønster som vist på figur 9.

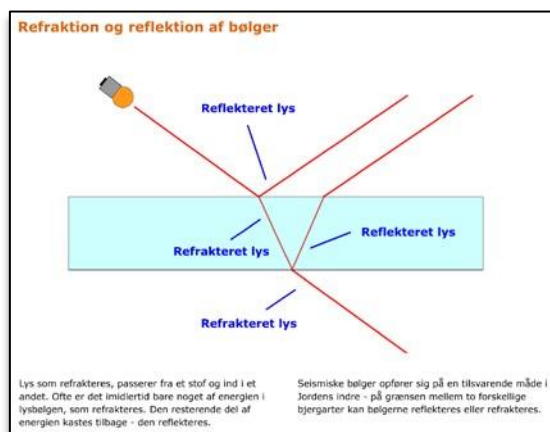


Fig. 7. Viser hvordan lys reflekteres og refrakteres igennem et stof.

<http://webgeology.alfaweb.no/>

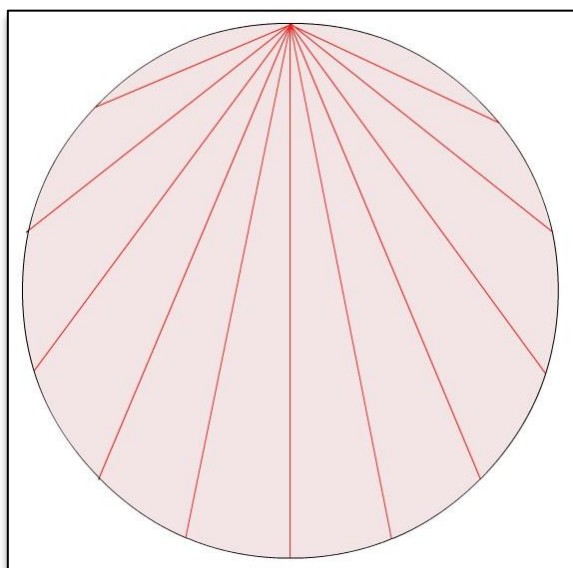


Fig. 8. Bølgernes bevægelse, hvis jorden bestod af ensartet materiale.

<http://webgeology.alfaweb.no/>

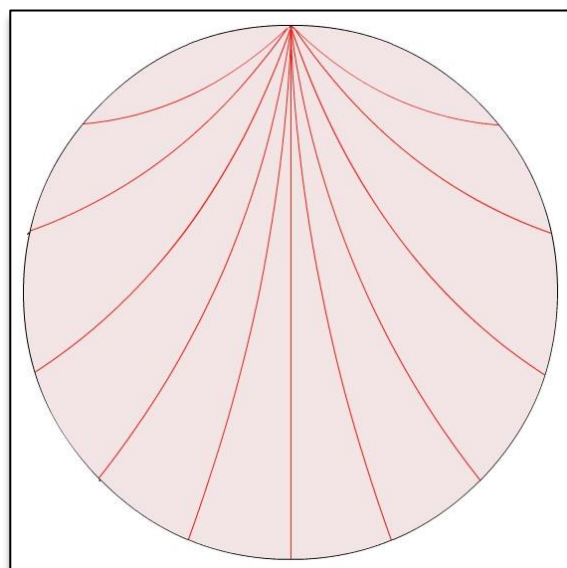


Fig. 9. Teoretisk illustration af bølgernes bevægelse i jordens uhomogene komposition.

<http://webgeology.alfaweb.no/>

Når et jordskælv blev registreret på seismiske stationer forskellige steder på jorden, findes en zone, hvor s-bølgerne ikke blev registreret. Ud fra viden om, at s-bølger ikke

kan bevæge sig gennem flydende materiale, kunne man udlede, at der findes flydende materiale i jordens indre:

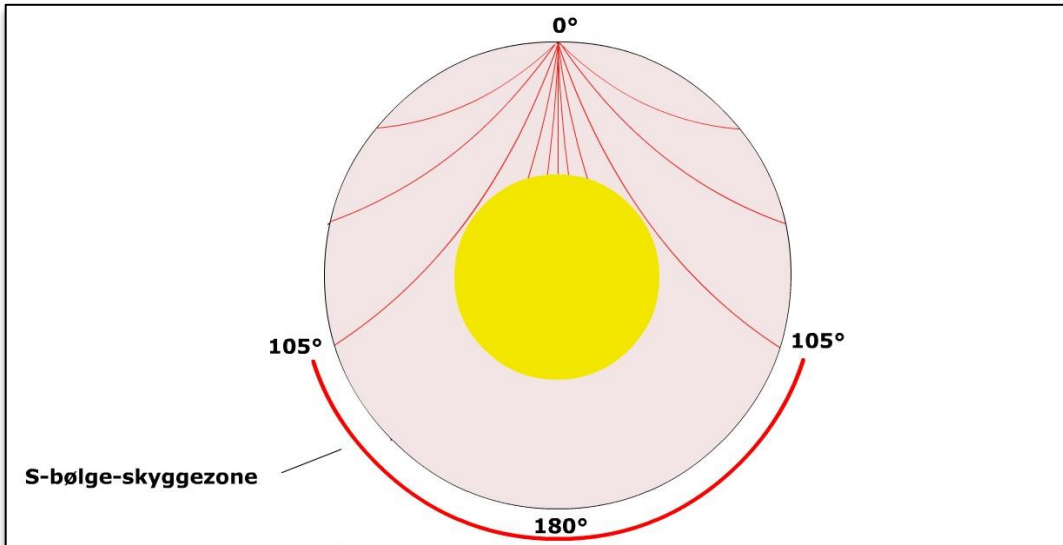


Fig. 10. Viser, hvordan man forestiller sig, at jorden har en flydende kerne som s-bølgerne ikke kan bevæge sig igennem <http://webgeology.alfaweb.no/>

På størrelsen af skyggezonen har man beregnet, at grænsen mellem kappen og kernen ligger i ca. 2900 kms dybde.

P-bølgerne kan bevæge sig gennem den flydende kerne. Disse p-bølger kaldes p'-bølger. Det var disse bølger, som Inge Lehmann observerede ikke bevægede sig, som de skulle, hvis hele kernen var flydende. Ved at sammenligne seismogrammer fra mange målestationer, kunne hun i stedet observere et mønster med p-skyggezone som på denne figur:

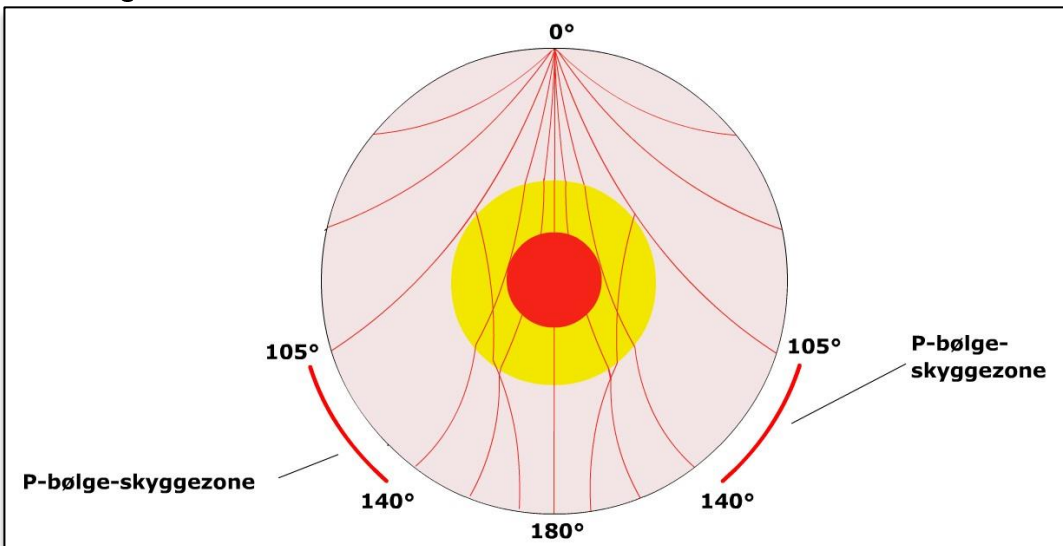


Fig. 11. Viser, hvordan man forestiller sig, at 'p-bølgerne bevæger sig igennem jordens flydende og faste kerne <http://webgeology.alfaweb.no/>

Når Lehmann placerede en fast kerne i modellen, passede de forventede og beregnede ankomsttider og steder med de observerede ankomster for p-bølgerne.

Det var denne observation, der dannede grundlag for hendes hypotese om en fast kerne.

INGE LEHMANNS VIDENSKABELIGE RÆSONNEMENT

Eksempel på et naturvidenskabeligt ræsonnement:

1. Forskeren foretager observationer, som ikke stemmer overens med den herskende teori. Dette medfører en **undren** og derefter en søgen på forklaringer.
2. På baggrund af forskerens viden opstilles der en eller flere **hypoteser**, som er mulige forklaringer på observationerne. Denne proces kaldes **abduktion**. Det er en kreativ og til tider innovativ metode, hvor man kombinerer sin faglige viden på nye måder for at skabe mulige forklaringsmodeller.
3. Når en forsker skal eftervise en eller flere hypoteser, bruges den **hypotetiske-deduktive metode**. Her udleder forskeren konsekvenserne af hypotesen og sammenligner dem med observationer. Hvis observationerne ikke passer, forkastes hypotesen. Hvis observationer passer med de forventede konsekvenser, er hypotesen bekræftet, og beholdes foreløbig.

Opgave 6

Forklar hvilket videnskabeligt ræsonnement Inge Lehmann foretog:

1. Hvad undrede hun sig over?
2. Hvordan anvendte hun abduktion?
3. Hvordan anvendte hun den hypotetiske-deduktive metode?

SEISMOLOGIEN OG PLADETEKTONIKKEN

Under den kolde krig mellem USA og Sovjetunionen blev Inge Lehmann hentet til USA for at anvende sin viden om seismologi i stormagternes atomvåbenkapløb.

Ved en atombombesprængning udløses så meget energi, at det kunne registreres på seismografer verden over. Ved at have gode seismologer kunne man overvåge fjendens aktiviteter. Der blev i denne periode brugt mange ressourcer på at udvikle teknikken inden for seismologi, og mængden af data steg.

De militære seismografer registrerede ikke kun atomprøvesprængninger, men også alle de naturlige jordskælv. Fordelingen af jordskælvne viste et tydeligt mønster, hvor der nogle steder var mange jordskælv og andre steder var få.

Opgave 7

Begrund hvorledes Inge Lehmann og hendes kollegers forskning i jordens indre var med til at bekræfte teorien om pladetektonik?

FORSLAG TIL LITTERATUR OG WEBSITES

<http://videnskab.dk/miljo-naturvidenskab/inge-lehmann-og-mysteriet-om-jordens-kerne>

Tromsø Universitets hjemmeside om geologi med animationer og forklaringer:

- <http://webgeology.alfaweb.no>

<http://www.sciencecourseware.org/VirtualEarthquake/VQuakeExecute.html>

Samsø, S.: *Naturvidenskabelige metoder – en opslagsbog*. L&R Uddannelse, 2012.

Lykke-Andersen, A. et al.: *Naturgeografi, Jorden og mennesker*, GO, 2008.

Nørrekjær, T.W. et al: *Naturgeografi C*, L&R, 2015.