

3 Bølger



Fig. 35. Blishønen »tager tilløb« ved at løbe hen over vandoverfladen, før den går i luften.

De fleste af os har prøvet at kaste en sten ud på en stille vandoverflade. Der hvor stenen rammer vandoverfladen, dannes en ringformet *bølge*, som breder sig ud i en stadig større ring – men med en stadig mindre bølgehøjde.

Den bølge, vi ser udbrede sig i vandet, indeholder *bevægelsesenergi*, som er overført fra stenen – og denne energi *udbreder sig* sammen med bølgens bevægelse gennem vandet.

Bølger kan opstå og udbrede sig mange steder, men lige meget hvor det sker, så er en bølge et udtryk for en ganske særlig form for *energi-transport!*

I dette kapitel vil vi forklare nogle *egenskaber* ved bølger – til det vil vi bruge de bølger, vi kan frembringe på en vandoverflade.

Hvad er en bølge?

Når vi iagttager en vandbølge, så ser det faktisk ud som om vandet flytter sig af sted hen over vandoverfladen.

E Vi kan undersøge, om det nu også er tilfældet ved at anbringe en lille prop i en skål med vand, og så derefter frembringe en bølge ved at dyppe en finger hurtigt ned i vandet.



Fig. 36.

Vi vil se, at når bølgen er frembragt, så vil den bevæge sig afsted og passere proppen uden at denne følger med.

Hvis vandet i bølgen havde bevæget sig afsted i udbre-

delsesretningen, så ville proppen være blevet ført med – men den bevægede sig kun op og ned da bølgen passerede den.

Vi kan se, at en bølge – her i vand – *ikke* er en transport af *stof* i udbredelsesretningen. Det er kun bølgens *form*, der flytter sig – mens det stof bølgen passerer, blot *svinger op og ned*.

Men da vi jo brugte energi til at frembringe bølgen, så kan vi sige, at bølgen er en *transport af energi*.

En bølge er en svingning, som kan udbrede sig gennem et stof.

En bølge indeholder energi – svingningsenergi – som transporteres afsted med bølgen.

En bølge der udbreder sig i et stof, *dæmpes* efterhånden på grund af *gnidning* – med mindre bølgen får tilført energi udefra. Ved gnidningen omdannes bølgens energi til *varme-energi*.

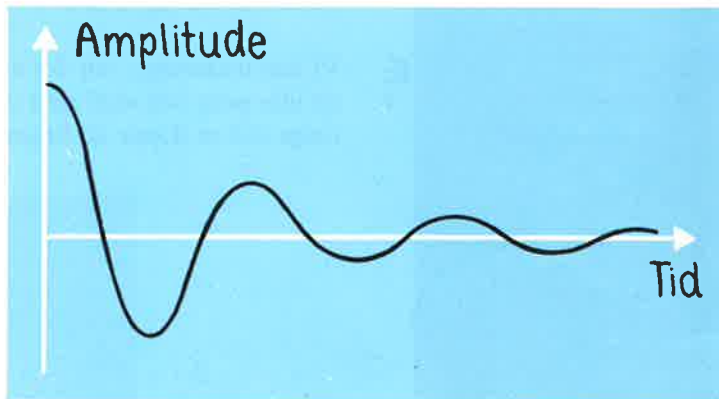


Fig. 37. Når en svingende bevægelse dæmpes, bliver amplituden mindre og mindre.

En bølge kan bevæge sig over store afstande, men så snart bølgen har passeret et sted, befinder alt sig i samme stilling som før!

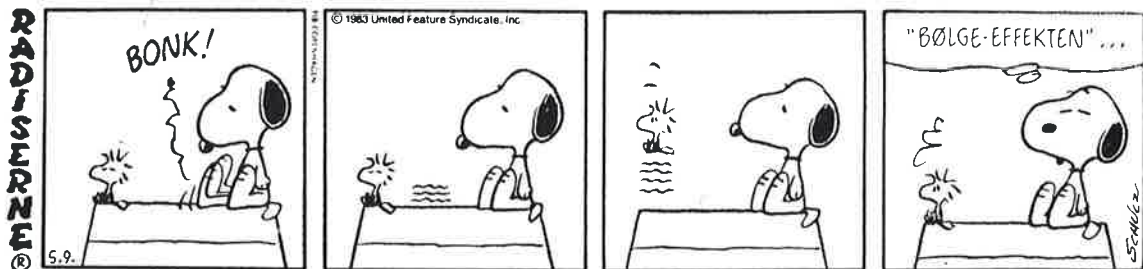


Fig. 38. Bølger i vand.



Fig. 39. Bølger i et led er bølgetor periodiske, lem bølget samme.

Fig. 40. Bølger og af vand.



Fig. 38. Bølgekar til forsøg med vandbølger.



Fig. 39. Ringformede periodiske bølger i et bølgekar. De lyse ringe er bølgetoppe. Bølgerne kaldes periodiske, fordi afstandene mellem bølgetoppene overalt er den samme.

Fig. 40. Belysning af vandbølger og af vandoverflade i ro.

Periodiske bølger

På fig. 38 er vist et billede af et *vandbølgekar*. Heri kan vi frembringe vandbølger, som ved hjælp af lys kan afbildes på en *skærm*. Skærbilledet giver os en bedre mulighed for at undersøge bølger nærmere.

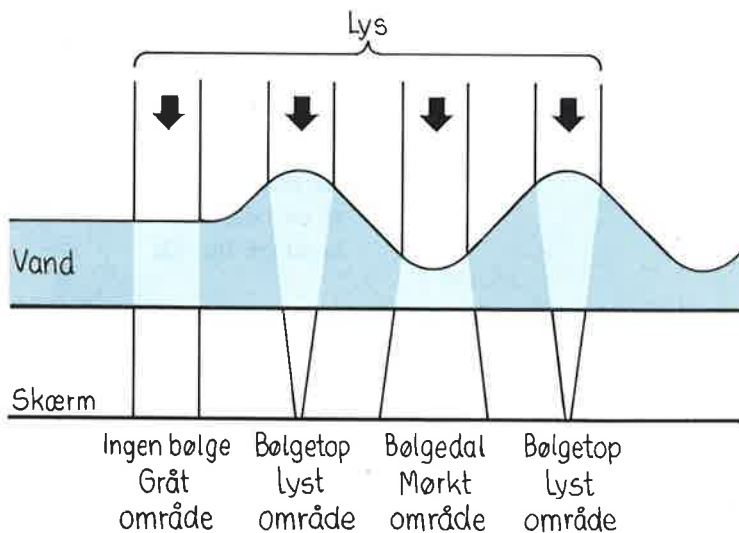
Dykker vi en finger i bølgekarrets vand, vil vi på skærmen kunne se den dannede bølge udbrede sig som en ring.

Ved regelmæssigt at forstyrre vandoverfladen i bølgekarret – f.eks. med en vibrator – vil der fremkomme en række ringbølger, som har *lige stor afstand* til hinanden (fig. 39).

På fig. 39 kan vi se de ringformede bølger aftegne sig som lyse og mørke ringe, der breder sig udefter.

Når vi frembringer bølger ved hjælp af vibratoren, vil deres bølgetoppe og bølgedale se ud som vist på fig. 40 nedenfor. På figuren ser vi, at lyset *samles*, når det går gennem en *bølgetop* – og at det *spredes*, når det går gennem en *bølgedal*.

De lyse ringe på fig. 39 og på skærmen er altså bølgetoppe, og de mørke ringe er bølgedale.



E
9

Vi kan »fastfryse« bølgerne ved at anvende stroboskoplys, der er afpasset vibratorens frekvens. Vi får derved et roligere bølgemønster frem på skærmen.

Holder vi nu vibratorens frekvens konstant, kan vi se, at afstanden mellem to bølgetoppe eller to bølgedale overalt er den samme.

Afstanden mellem to bølgetoppe (eller to bølgedale) kaldes **bølgelængden** (λ) – λ er det græske bogstav lambda.

Bølger med samme bølgelængde kaldes **periodiske bølger**.

Udsvingets størrelse på en bølgetop eller en bølgedal kaldes *amplituden*.

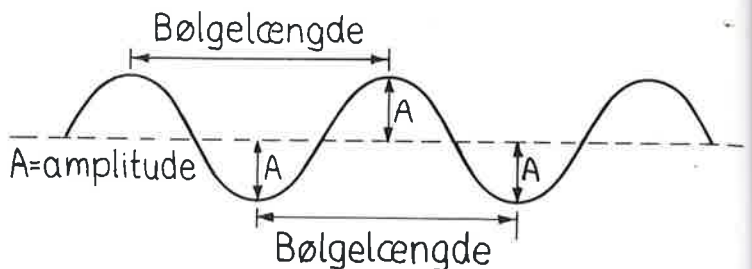


Fig. 41.

Da en bølge fremkalder svingninger under sin udbredelse, kan vi også beskrive bølger ved hjælp af de begreber, hvormed vi i forrige kapitel beskrev svingninger:

- Når et punkt på vandoverfladen er blevet gennemløbet af én bølgelængde (λ), så har punktet udført én svingning.
- Den tid én svingning varer, kaldes bølgens svingningstid (T).
- Antallet af svingninger pr. sekund kaldes bølgens frekvens (f), som måles i herz (Hz). – Vi har altså også her, at $f = \frac{1}{T}$.

Da én svingning er lig én bølgelængde, kan vi lige så godt sige, at en bølges frekvens angiver antallet af bølgelængder pr. sekund (se fig. 42).

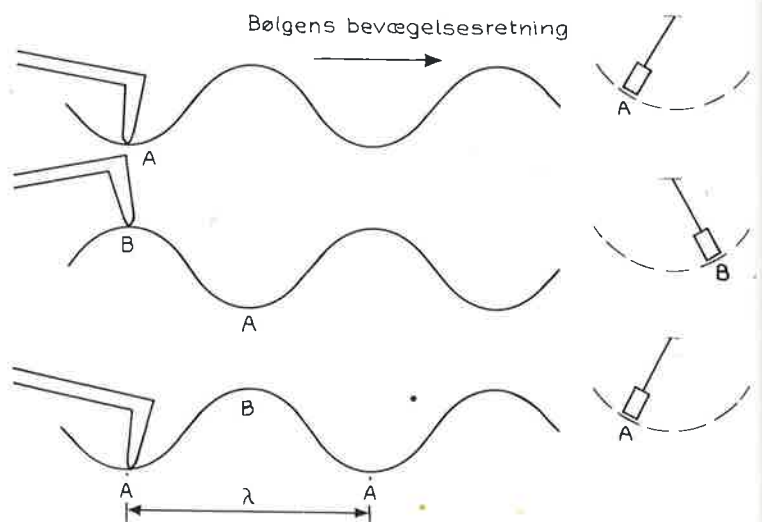


Fig. 42. Vibrator-armens svingning sammenlignet med et penduls svingning.

Når vibrator-armen har foretaget én svingning, så har den samtidig frembragt netop én bølgelængde i vandet (fig. 42) – heraf kan vi se, at en bestemt frekvens på vibratoren frembringer samme frekvens i bølgerne.

Bølgers fart

Da periodiske bølger er bølger, der udbreder sig med samme bølgelængde, så må de alle have *samme fart* – ellers ville jo afstanden mellem dem ændres undervejs.

Vi ved, at en bølges fart (v) er det antal *meter*, den bevæger sig pr. sekund – mens en bølges frekvens (f) er det antal *bølgelængder* (λ), den bevæger sig pr. sekund.

Vi kan altså beregne en bølges fart (v) ved blot at gange frekvensen (f) med bølgelængden (λ).

Bølgeformlen:

Fart = bølgelængde · frekvens

$$v = \lambda \cdot f$$

Det er det samme som hvis vi går med en frekvens på to skridt i sekundet – vi kan da regne vores fart ud ved at gange de to skridt med vores skridtlængde.

Ændrer vi nu *skridt*-frekvens, så ændres vores fart også – men hvad sker, hvis vi ændrer en *bølges* frekvens?

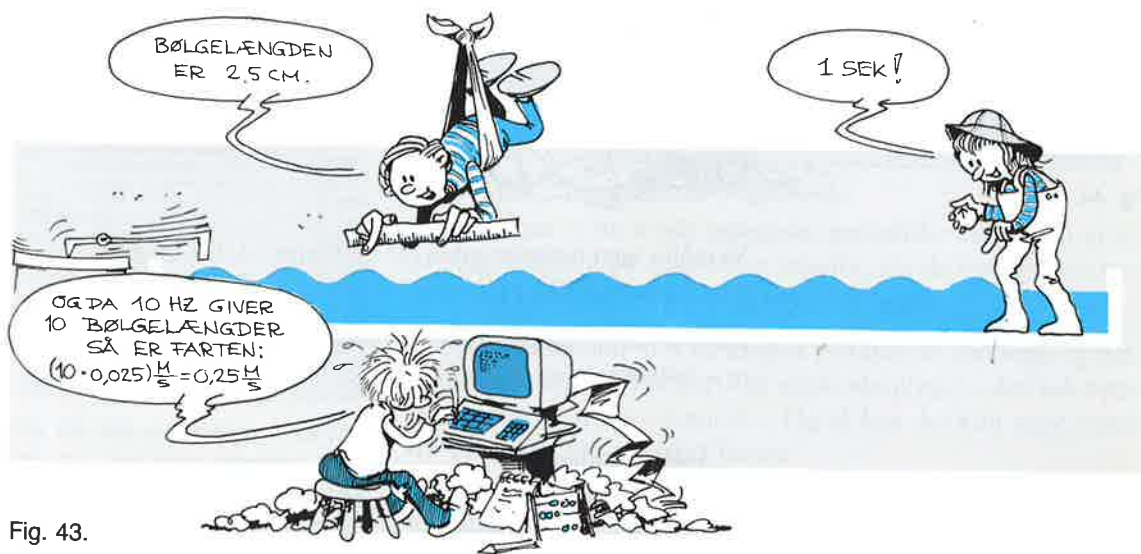


Fig. 43.

På fig. 43 har vibratoren en frekvens på 10 Hz – på ét sekund har den altså frembragt 10 periodiske bølger – dvs. 10 bølger med ens længde.

Det betyder, at når der er gået ét sekund, er der 10 bølgelængders afstand mellem den første bølge og vibratoren.

Vi måler nu en bølgelængde til $2,5 \text{ cm}$ – dvs. $\frac{2,5}{100} = 0,025 \text{ m}$. Det har altså taget den første bølge ét sekund at bevæge sig 10 bølgelængder à $0,025 \text{ m}$ – bølgenes fart er så $10 \cdot 0,025 = 0,25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Første måling:

Når bølgenes frekvens er 10 Hz , så er deres længde $0,025 \text{ m}$ – mens farten er $0,25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Vi prøver nu at ændre vibratorens frekvens til 20 Hz – der vil så være 20 bølgelængder mellem den første bølge og vibratoren.

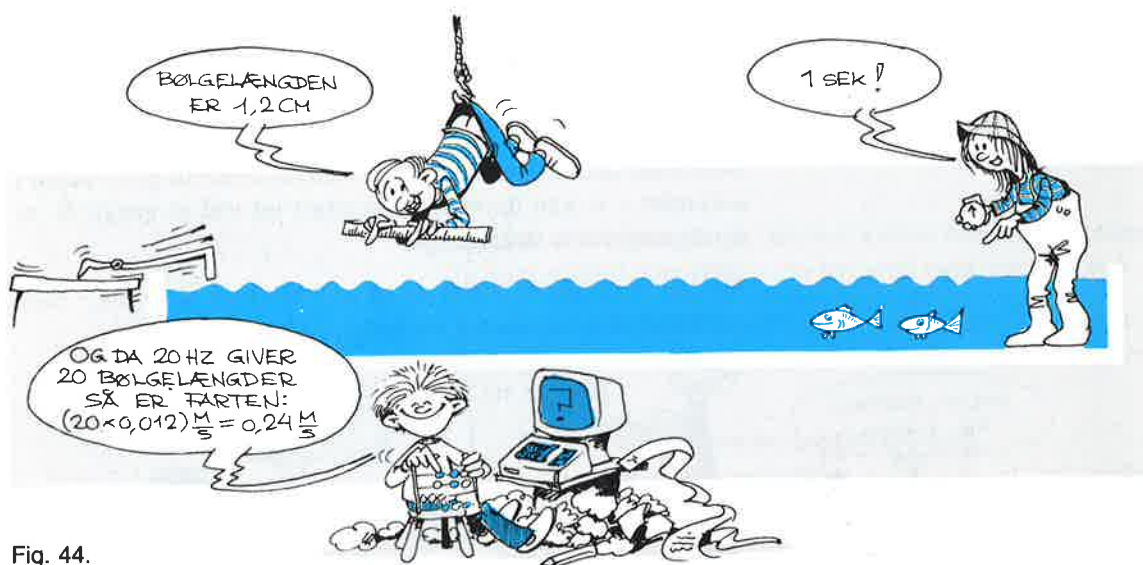


Fig. 44.

Vi måler igen bølgelængden (λ) og finder, at den nu er $1,2 \text{ cm}$ – dvs. $\frac{1,2}{100} \text{ m} = 0,012 \text{ m}$.

På ét sekund bevæger bølgen sig altså 20 bølgelængder à $0,012 \text{ m}$ – bølgenes fart er da $20 \cdot 0,012 = 0,24 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Anden måling:

Når bølgenes frekvens fordobles til 20 Hz , så halveres deres længde til $0,012 \text{ m}$ – men farten er uforandret $0,24 (0,25) \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Fig. 45. En plejvandsdybden mind



Fig. 46. Når væger sig hen o plexiglasplader ere vandstanc stand mod bø nedsættes der

E
10-11

Farten er altså den samme ved begge målinger – ændringen af frekvensen påvirkede *ikke* farten. Derimod er frekvensen og bølgelængden *omvendt proportionale* – når frekvensen fordobles, så halveres bølgelængden.

Når frekvensen ændres, så ændres bølgelængden i modsat retning – men farten er uforandret.

Vi kan ikke af de to eksempler ovenfor slutte, at periodiske bølgers fart altid er $0,25 \frac{m}{s}$. Det er jo muligt, at bølger påvirkes af det *stof*, de udbreder sig i – men hvordan?

F I vandbølgekarret anbringes et stykke plexiglas, så det lige netop dækkes af vandet (fig. 45).

Fig. 45. En plexiglasplade gør vanddybden mindre.

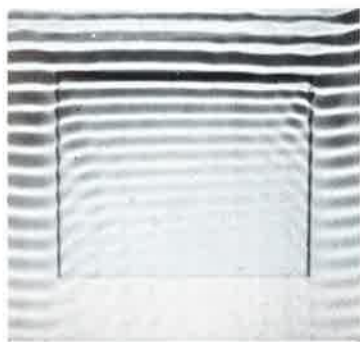
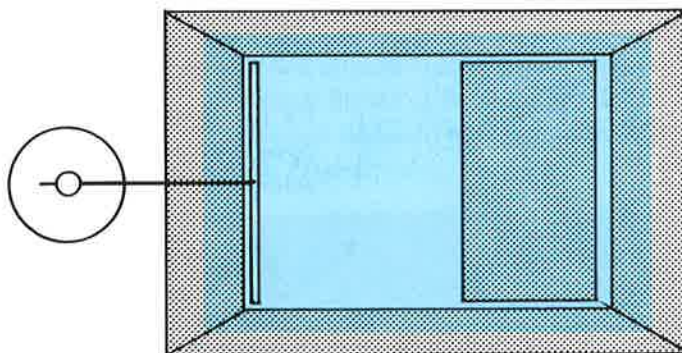
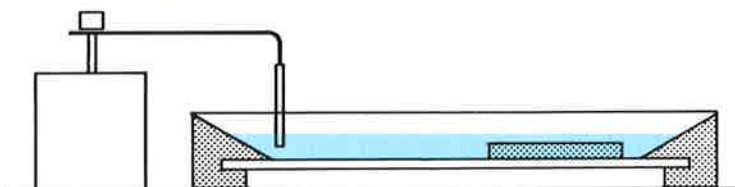


Fig. 46. Når vandbølgerne bevæger sig hen over området, hvor plexiglaspladen ligger, vil den lavere vandstand yde større modstand mod bølgerne – og farten nedsættes derfor.

Frembringer vi nu nogle *retliniede*, periodiske bølger, vil vi se, at bølgelængden på disse bliver *mindre*, når de bevæger sig hen over det område, hvor plexiglaspladen ligger.

I dette tilfælde har vi ikke ændret vibratorens frekvens og bølgerne er stadig »fastfrosset« af stroboskoplyset – det må betyde, at *frekvensen er uændret!* – Og så kan det kun være *vanddybden*, som har påvirket *farten!*

Når vanddybden formindskes, bliver farten mindre, mens frekvensen er uforandret – ifølge bølgeformlen må da også bølgenes længde blive mindre!

Vi kan altså *beregne*, hvad en bølges fart ændres til ved at *måle* på bølgelængden:

Eks.: Vi frembringer periodiske bølger med en frekvens på 10 Hz. Måler vi bølgelængden til 0,025 m, bliver farten:

$$\text{Fart} = 10 \text{ Hz} \cdot 0,025 \text{ m}$$

$$\text{Fart} = 0,25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Vi formindsker vanddybden og finder, at bølgelængden nu er 0,018 m, mens frekvensen uforandret er 10 Hz – farten er da blevet ændret til:

$$\text{Fart} = 10 \text{ Hz} \cdot 0,018 \text{ m}$$

$$\text{Fart} = 0,18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

En bølges *frekvens* afhænger af svingningstiden for den *forstyrrelse*, som skaber bølgen – og når bølgen derefter udbreder sig, har den *hele tiden samme frekvens*.

Derimod afhænger en bølges *fart* af egenskaberne ved det *stof*, som bølgen udbreder sig i. Vi har netop som eksempel set, at farten på lavt vand afhænger af vanddybden.

Når en bølge bevæger sig gennem forskellige stoffer, er frekvensen uforandret, mens farten bliver en anden for hvert stof – og dermed bliver bølgelængden også en anden.

På fig. 47 er bølgens *frekvens* hele tiden den samme, men *farten* ændres af stoffet – det kan vi se på *bølgelængden*. Den stadig mindre *amplitude* skyldes *energitab* på grund af gnidning i stofferne.

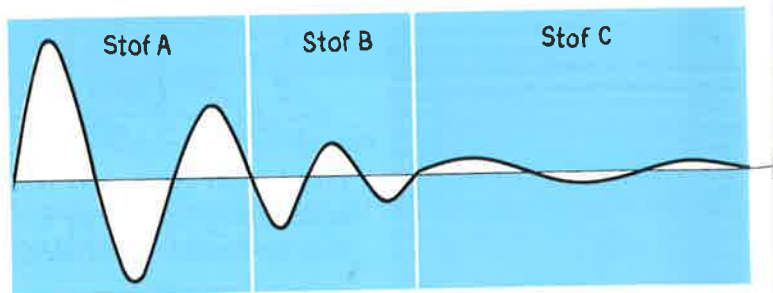


Fig. 47. I stof B nedsættes bølgens fart, men i stof C øges farten, så den bliver større end den var i både A og B.

Det er *bemærkelsesværdigt*, at en bølge kan gå gennem et stof med en bestemt fart, og derefter fortsætte med større fart i et andet stof *uden at få tilført energi!*

Alt andet end bølger kræver energitilførsel, når farten skal øges – men når en bølge får (eller mister) energi, så påvirkes kun dens *amplitude*.

Fig. 48. Vandets kede linie er dybden af bølgelængde og ikke i bølgebevægelsen brydes en bølge den den når kysten på fig. 50.

Fig. 49. Hverdes på vejen omdannes nogle gangesenergi

ed at måle

vens på 10
farten:

gelængden
r 10 Hz -

en forstyr-
reder sig,

l det stof,
vel set, at

fer, er
en for
så en

ne, men
en. Den
gnidning

et stof
fart i et

en skal
påvirkes

En bølges fart påvirkes ikke af, at den mister eller får tilført energi – energien påvirker kun bølgens amplitude.

Kystbølger

Når *havbølger* nærmer sig en kyst, bliver vanddybden gradvis mindre – og det får bølgenes udseende til at ændre sig.

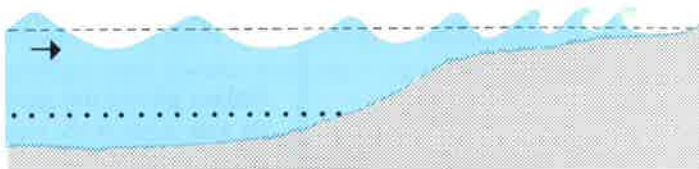


Fig. 48. Vandet under den prikede linie er dybere end en halv bølgelængde og deltager derfor ikke i bølgebevægelsen. Normalt brydes en bølge flere gange inden den når kysten – det kan ses på fig. 50.

I det øjeblik vanddybden svarer til *en halv* bølgelængde, begynder bølgelængden at blive mindre – det skyldes, at det vandlag, som deltager i en vandbølges bevægelse, er halvt så dybt, som bølgen er lang.

Havbunden *bremser* altså bølgens fart, og da den forreste del af bølgen hele tiden bremses mest, så bliver bølgelængden også mindre – samtidig bliver bølgehøjden (amplituden) større.

Den kortere længde og større højde gør bølgen stadig mere *stejl*. Og når vanddybden efterhånden er blevet mindsket til $\frac{1}{20}$ bølgelængde, er bølgen blevet så stejl, og farten bremset så meget, at *bølgekammen* falder fremover som hvidt skum – man siger, at bølgen *brydes*!



Fig. 49. Hver gang en bølge brydes på vejen ind mod kysten, omdannes noget af dens bevægelsesenergi til varme-energi.

Hver gang en bølge er blevet brudt, begynder den igen at vokse – men inden den har fået samme højde som før, bliver den brudt på ny.

Ved kyster hvor havbunden stiger stejlt, opnår en bølge ikke at blive brudt ret mange gange – ved den slags kyster er brændingen derfor meget voldsom i stormvejr.

Idet bølgen bryder op mod strandbredden, foregår der en virkelig *stoftransport* – det ses tydeligst, når vandet »suges« tilbage før næste bølge.

* * *

Bølger på vej ind mod en kyst ændrer altid udseende, men de kan også *skifte retning* – det sker, hvis vinden fører bølgerne *skråt* ind mod kysten.

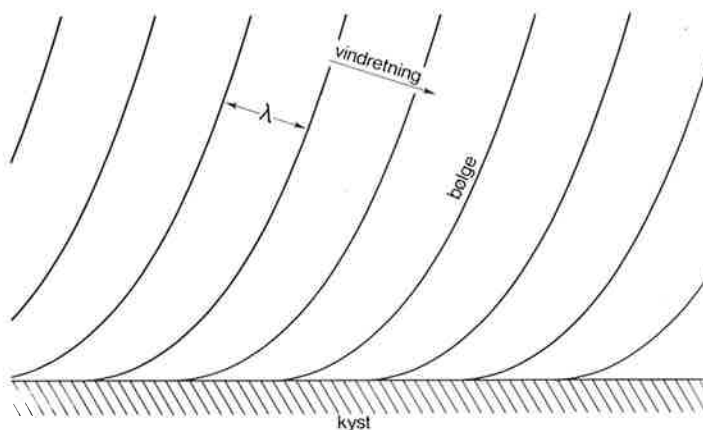
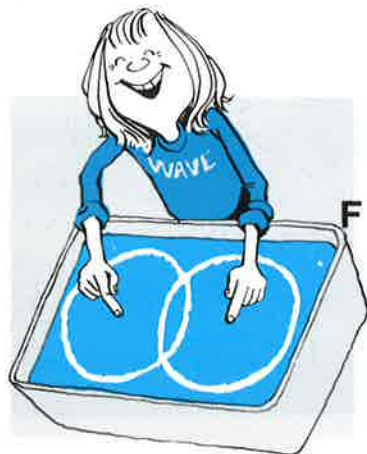


Fig. 50. Bølger, der ruller skråt ind mod kysten, skifter retning, fordi vanddybden bremser deres fart – samtidig bliver bølgelængden mindre.

Fig. 51.



Nogle egenskaber ved bølger

De bølger, vi hidtil har set i vandbølgekaret, har alle været frembragt af den samme bølgekilde – men hvad vil ske, hvis to bølgekilder samtidig frembringer bølger?

Frembringer vi *to* ringbølger i vandbølgekaret ved at dyppe to fingre ned i vandet, vil vi se, at de to bølger under udbredelsen går gennem hinanden.

Det at kunne gå gennem hinanden er en egenskab, som kun bølger har. Vi kan ikke forestille os andre ting, der kan gøre det – f.eks. ville det nok forbavse os, hvis vi pludselig kunne sende to kugler gennem hinanden.



Fig. 52. Inf

Fig. 53. S
terferens
berne er
her er var

En bølge-egenskab:

Bølger kan gå gennem hinanden.

Bølgers interferens

Ovenfor så vi, at to bølger kan gå gennem hinanden. Men det gik så hurtigt, at vi ikke så, hvad der skete netop i det øjeblik, de to bølger passerede hinanden.

E
12

Med vibratoren vil vi nu i bølgekarret frembringe to periodiske ringbølger med *samme frekvens* – og så på skærmen se, hvad der sker.

Afstanden mellem de to bølgekilder sættes til ca. 3 cm, og vi indstiller vibratoren til at svinge med en frekvens på ca. 32 Hz.

Vi kigger nu på skærbilledet og ser, at der fremkommer nogle grå striber (fig. 52).

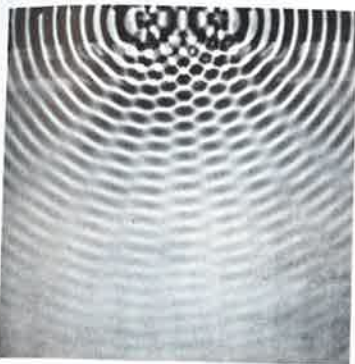


Fig. 52. Interferensstriber.

Gør vi afstanden mellem de to bølgekilder større, vil antallet af grå striber vokse, og afstanden mellem dem vil derfor blive mindre. Det samme vil ske, hvis vi øger frekvensen, og derved gør bølgelængden mindre. – *Antallet af striber (og afstanden mellem dem) er altså afhængig af både afstanden mellem bølgekilderne og af frekvensen.*

De lyse og mørke cirkler afbilder bølgetoppe og bølgedale – hvorimod *de grå striber er områder, hvor vandet er i ro.*

Bølgetoppene og bølgedalene passerer også disse områder, men der sker noget der, som vi vil prøve at forklare.

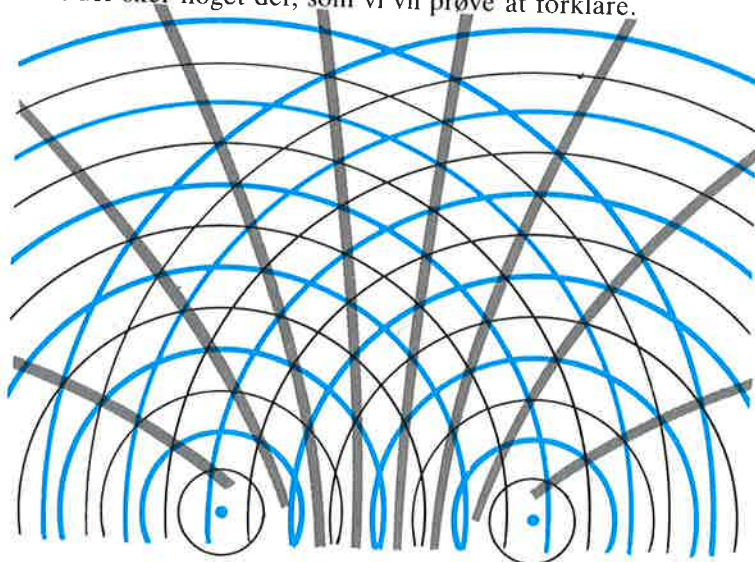
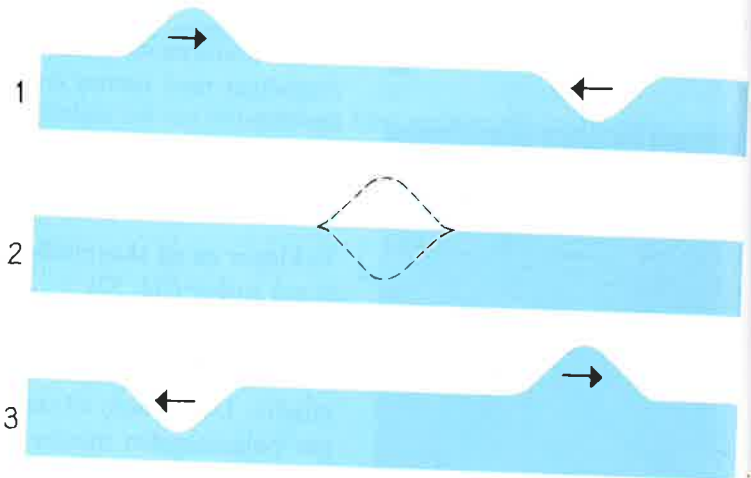


Fig. 53. Skematisk tegning af interferensmønster. Interferensstriberne er de tykke grå striber – her er vandet i ro.

På fig. 53 er i skematisk form vist det mønster, vi så på fig. 52. De blå cirkler illustrerer bølgetoppe, og de sorte cirkler illustrerer bølgedale. De grå linier viser de områder, hvor vandet er i ro.

Vi kan se, at i de grå linier passerer bølgetoppe og bølgedale hinanden. Når vandet her er i ro, må det betyde, at *netop her ophæver bølgetoppe og bølgedale med lige store amplituder hinanden* – de to amplituder er jo modsat rettede.

Fig. 54. Når en bølgetop og en bølgedal med samme amplitude mødes, ophæver de hinanden – men kun mens de passerer hinanden.



På fig. 54 kan vi se, hvad der sker før, mens og efter, at en bølgetop og en bølgedal passerer hinanden.

Bølger kan ikke blot *svække* (eventuelt ophæve) hinanden – de kan også *forstærke* hinanden. Bølger forstærker hinanden, når to bølgetoppe mødes (fig. 55) – og når to bølgedale mødes (fig. 56).

Fig. 55. Når to bølgetoppe mødes, bliver den forstærkede bølgetops amplitude summen af de to amplituder – men efter passagen er amplituderne de samme som før.

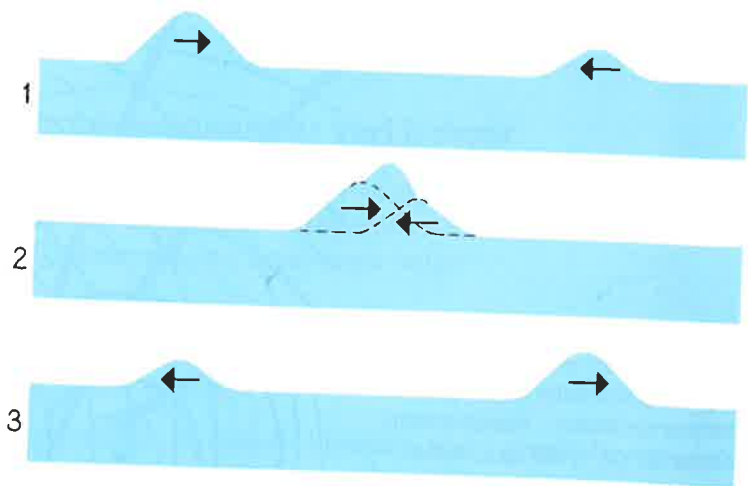
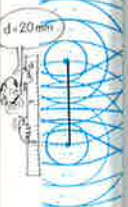
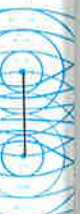


Fig. 56. sker det getoppe sat forte

Afstanden måles – lem dem



Et eller (x) mellem rensstrib mellem



Afstand forbindes for

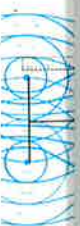


Fig. 57

å på fig. 52.
cirkler illu-
hvor vandet

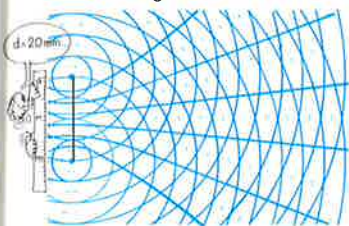
og bølgedale
at netop her
plituder hin-

fter, at en

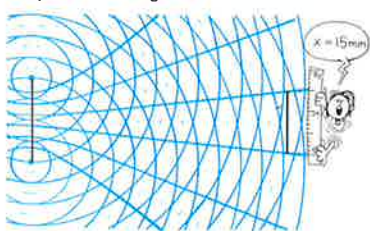
nden – de
nden, når
ødes (fig.

Fig. 56. Når to bølgedale mødes, sker det samme som når to bølgetoppe mødes – blot med modsat fortegn.

Afstanden (d) mellem bølgekilderne måles – og en forbindelseslinie mellem dem tegnes.



Et eller andet sted måles afstanden (x) mellem de to nærmeste interferensstriber – og en forbindelseslinie mellem dem tegnes.



Afstanden (L) mellem bølgekildernes forbindelseslinie og interferensstribernes forbindelseslinie måles.

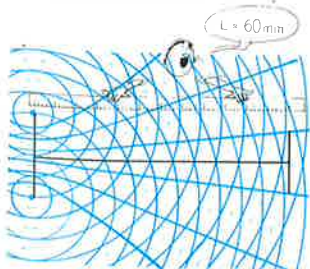
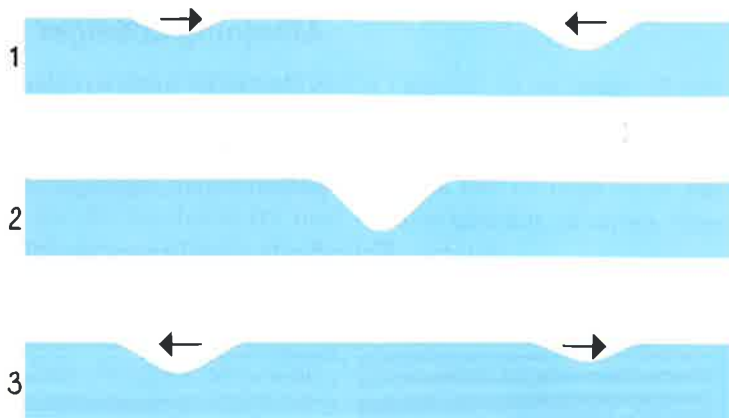


Fig. 57.



En bølge-egenskab:

Når bølger går gennem hinanden vil de enten forstærke eller svække hinanden. – Denne egenskab kaldes **interferens**.

Når bølger interfererer, afleverer de *ikke* energi til hinanden – og de kan derfor fortsætte som om intet er hændt.

De grå striber der fremkommer, når bølger med samme frekvens går gennem hinanden, kaldes *interferensstriber*.

Bølger med samme frekvens kan danne **interferensstriber**.

Det at kunne interferere, er en egenskab, som kun bølger har. Det betyder, at *vi kan afgøre om et fænomen består af bølger, blot ved at undersøge om det kan danne interferensstriber*.

* * *

Ved hjælp af interferensstriberne er det også muligt at bestemme *bølgelængden* for de bølger, der danner interferensstriberne.

På fig. 57 er vist de tre ting, vi skal kende for at kunne beregne bølgelængden ved hjælp af interferensstriber:

Når de tre afstande **d**, **x** og **L** er målt, kan vi beregne bølgelængden λ ved hjælp af følgende formel:

$$\lambda = \frac{d \cdot x}{L}$$

På tegningen er **d** = 20 mm, **x** = 15 mm og **L** = 60 mm. Indsætter vi tallene i formelen, får vi:

$$\lambda = \frac{20 \cdot 15}{60} \text{ mm}$$

$$\lambda = 5 \text{ mm}$$

Afbøjning af bølger

Vi har hidtil mødt to egenskaber, som kun bølger har – vi vil nu påvise *en tredje bølgeegenskab*. Til det vil vi anvende retliniede bølger – og vi vil bruge disse til at se, hvad der sker, når bølger passerer spalteåbninger af forskellig bredde.

F På fig. 58-60 er vist tre billeder af retliniede bølger, som passerer spalteåbninger med forskellig bredde.



Fig. 58. Spalteåbningen er større end bølgelængden.

Fig. 59. Spalteåbningen er mindre end bølgelængden, men stadig større end bølgelængden.

Fig. 60. Spalteåbningen er lig med bølgelængden.

Vi kan se, at:

- Når spalteåbningen er *større* end bølgelængden, så går de retliniede bølger uændret igennem (fig. 58). Dog er der en svag bøjning af bølgerne ved de to kanter.
- Gøres spalteåbningen nu *mindre* end før (men dog større end bølgelængden), så bøjes de retliniede bølger lidt mere (fig. 59).
- Og gør vi til sidst spalteåbningen så lille, at den svarer til *én bølgelængde*, så afbøjes de retliniede bølger fuldstændigt og udbreder sig som ringbølger (fig. 60).

Af forsøgene kan vi se, at når spalteåbningen bliver tilstrækkelig lille, afbøjes bølgerne så meget, at der dannes ringbølger. Vi siger da, at *bølger kan bøje om hjørner!*

En bølge-egenskab:

Bølger kan bøje om hjørner.

Fig. 61. Den st. træsnit af japa Hokusai).



90 kilometer i
lige Stillehav,
nde, og hvor
r 3. eller hver
er, der bevæ-
frekvens og
da i grupper
d interferens,
e.



30 m i sek)
nden hertil
å bølgehøj-

den bliver lavere end før. Havet kan ligefrem blive blæst fladt af en orkan, men da syder havet også ligesom kogende vand.

To bølgetyper

I de forrige afsnit har vi set, at en bølge er en svingning, som kan udbrede sig i et stof uden at stoffet følger med. Og vi brugte de bølger, vi kan frembringe på en vandoverflade, til at påvise tre egenskaber som kun bølger har.

Vi vil nu bruge en fjeder til at påvise, at svingninger kan udbrede sig i stof på to måder.

F Spænder vi en stor spiralfjeder – en *slinky* – ud på gulvet, kan vi fremkalde en bølge ved at føre fjederen hurtigt ud til siden og tilbage igen.

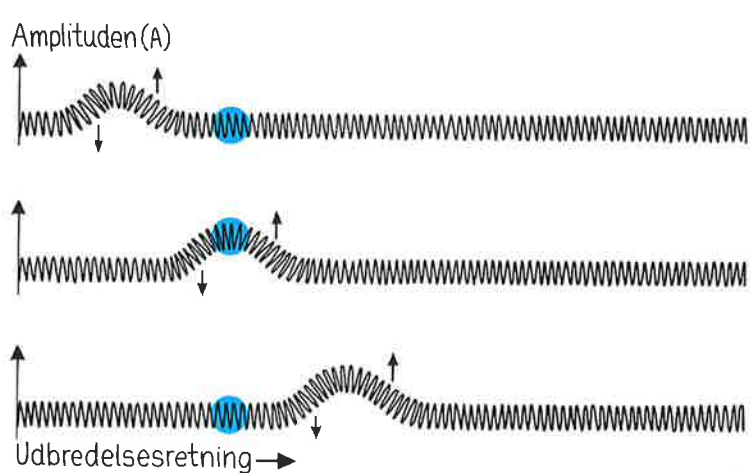


Fig. 64. En enkelt tværbølges bevægelse gennem en spiralfjeder.

Vi kan se, at bølgens amplitude er på tværs af bølgens bevægelsesretning. Bølger af denne slags kaldes *tværbølger*.

Bevæger vi fjederen fra side til side fremkommer der *bølgetoppe* og *bølgedale*.

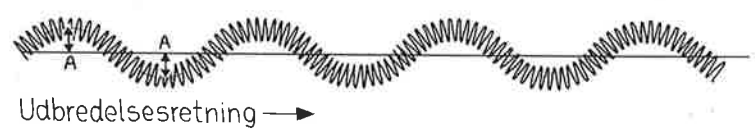


Fig. 65. Periodiske tværbølgers bevægelse gennem en spiralfjeder.

Vi vil nu fremkalde en anden slags bølge i fjederen.

Vi danner en *fortætning* i den ene ende af fjederen ved at presse ca. 10 vindinger sammen. Giver vi slip, vil vi se, at fortætningen bevæger sig gennem fjederen.

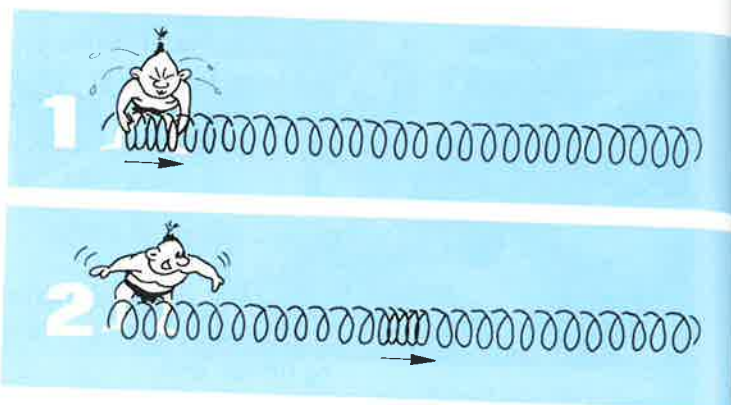


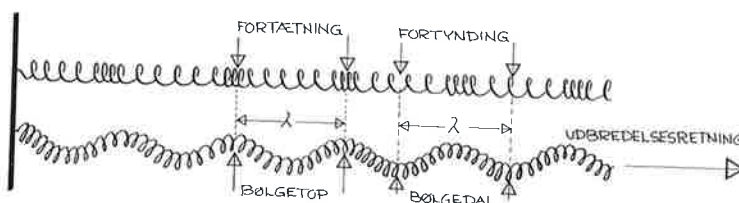
Fig. 66. En enkelt længdebølges bevægelse gennem en spiralfjeder.

Fig. 68.

Fortætningen er en bølge, og fortætningens størrelse er amplituden. I denne bølgetype er amplituden altså langs bevægelsesretningen – og denne bølgetype kaldes derfor *længdebølger*.

Bevæger vi fjederen frem og tilbage, fremkommer der bølger i form af fortætninger og fortyndinger – se fig. 67 øverst.

Fig. 67. Sammenligning af periodiske længde- og tværbølger med ens bølgelængde. Længdebølgernes amplitude er bredden af en fortætning.



På fig. 67 er vist en sammenligning mellem de to bølgetyper. Vi kan se, at afstanden mellem to fortætninger i længdebølgerne svarer til afstanden mellem to bølgetoppe i tværbølgerne.

To bølgetyper:

En *tværbølges* amplitude er på tværs af bevægelsesretningen.

En *længdebølges* amplitude er langs bevægelsesretningen.

I faste stoffer kan optræde både længde- og tværbølger. Slår vi med en hammer på enden af en lang stang, vil *længdebølger* forplante sig gennem stangen. Slår vi derimod vinkelret på stangens akse, vil *tværbølger* bevæge sig gennem stangen.

Fig. 69. En bølgetype som en bølgedal (og som en bølgetop).

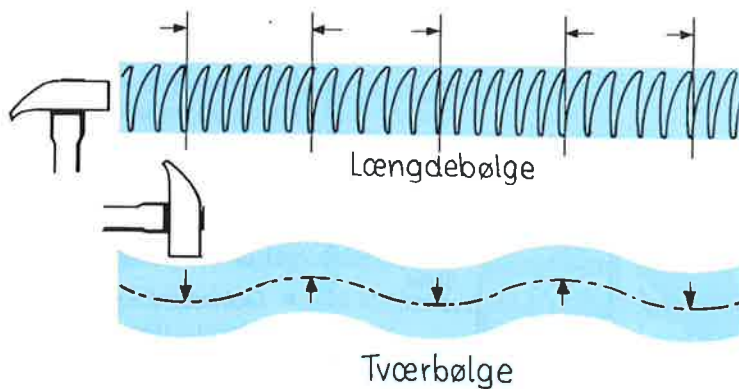


Fig. 68.

Rammer hammeren stangens ende i en skrå vinkel, vil *begge bølgetyper* blive frembragt i stangen – men længdebølgen vil hurtigt komme foran, idet dens fart er næsten dobbelt så stor som tværbølgens fart.

Ved *jordskælv* frembringes samtidig længde- og tværbølge som udbreder sig gennem Jordkloden i alle retninger.

Refleksion af bølger

E Hvis vi fastgør en spiralfjeder til en stang, og derefter fremkalder en bølge i fjederen, så vil vi lægge mærke til, at *bølgen bliver kastet tilbage fra stangen*.

Sender vi en bølgetop afsted, vil den blive *reflekteret* – dvs. tilbagekastet – som en bølgedal og omvendt. Også længdebølger vil blive reflekteret.

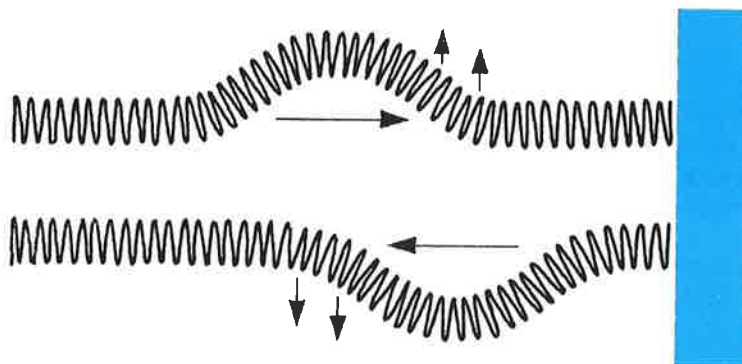


Fig. 69. En bølgetop reflekteres som en bølgedal (og omvendt).

Da vi lavede forsøg med vandbølgekarret, observerede vi ingen refleksion af vandbølgerne, fordi karret har skrå sider – derved mister bølgerne *gradvis* deres energi.