

# KAPITEL 21



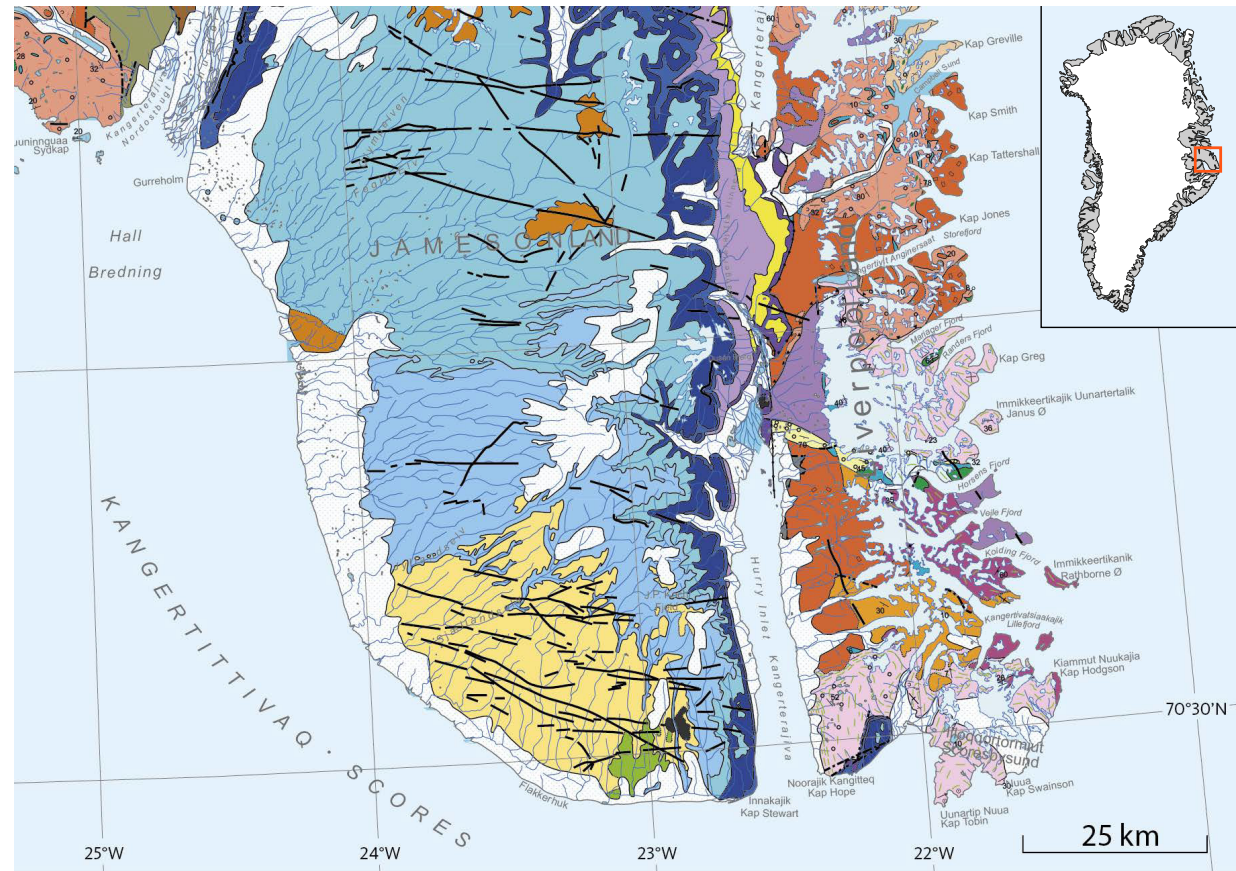
**FIGUR 171.** Geologisk kort fra 1920'erne. Kompasset ligger henover et walisisk kulfelt. Shutterstock.

# DET GEOLOGISKE KORT

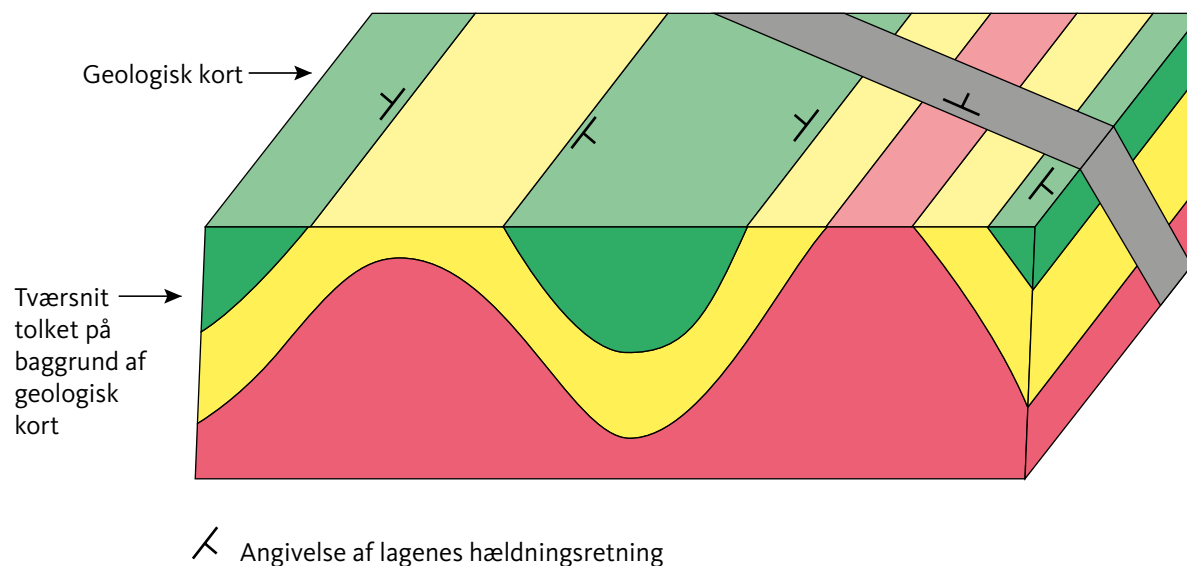
## DET GEOLOGISKE KORT

Det geologiske kort er geologernes vigtigste værktøj og viser de bjergarter, som kan findes på den synlige del af jordoverfladen; hver bjergartsenhed er på kortet angivet med en farvekode (figur 172). Herudover har kortet signaturer, der viser, hvordan bjergarternes lag hælder, og hvor bjergarterne er blevet foldet eller forkastet under de tektoniske bevægelser. På den måde kan oplysningerne bruges til at tolke, hvordan bjergarterne sandsynligvis fortsætter under jordoverfladen.

Det geologiske kort er altså en todimensionel beskrivelse, men ved at læse kortet kan man få en idé om, hvordan bjergarterne opfører sig tredimensionelt. For at hjælpe forståelsen af det tredimensionelle på vej, kan man konstruere tværsnit gennem de dele af kortet, som har særlig interesse. Et tværsnit er et kig ned i jordskorpen, ligesom hvis man skar en skive ned igennem den (figur 173). Når et område kortlægges, laver geologerne en bjergartsbeskrivelse og en aldersbestemmelse ligesom de vigtigste strukturer beskrives.



**FIGUR 172.** Geologisk kort over Jameson Land og Liverpool Land i det centrale Østgrønland. På Liverpool Land (højre del af kortet) ses en kompleks geologi med ældre magmatiske og metamorfe bjergarter, der er foldet, forkastet og som i det hele taget er strukturelt komplekse. På Jameson Land (den overvejende blå del af kortet) er der derimod yngre sedimenter, som ligger pænt i horisontale lag. Man kan også se at sedimenterne er gennemskåret af yngre intrusioner i form af gangbjergarter (sorte streger på kort). Af Pedersen et al. (2013).



**FIGUR 173.** Model af geologisk kort med tilhørende tværsnit. Af MiMa (2019).

### BJERGARTSBESKRIVELSE

Ved en bjergartsbeskrivelse beskrives de mineraler, bjergarten består af, og hvordan de er fordelt (figur 174). Mineralsammensætningen fortæller, om bjergarten er sedimentær, magmatisk eller metamorf; den kan også fortælle, om bjergarten indeholder mineraliseringer af fx et metal.

### ALDERSBESTEMMELSE

Der er overordnet to metoder til at lave aldersbestemmelser i geologien, den absolutte

og den relative.

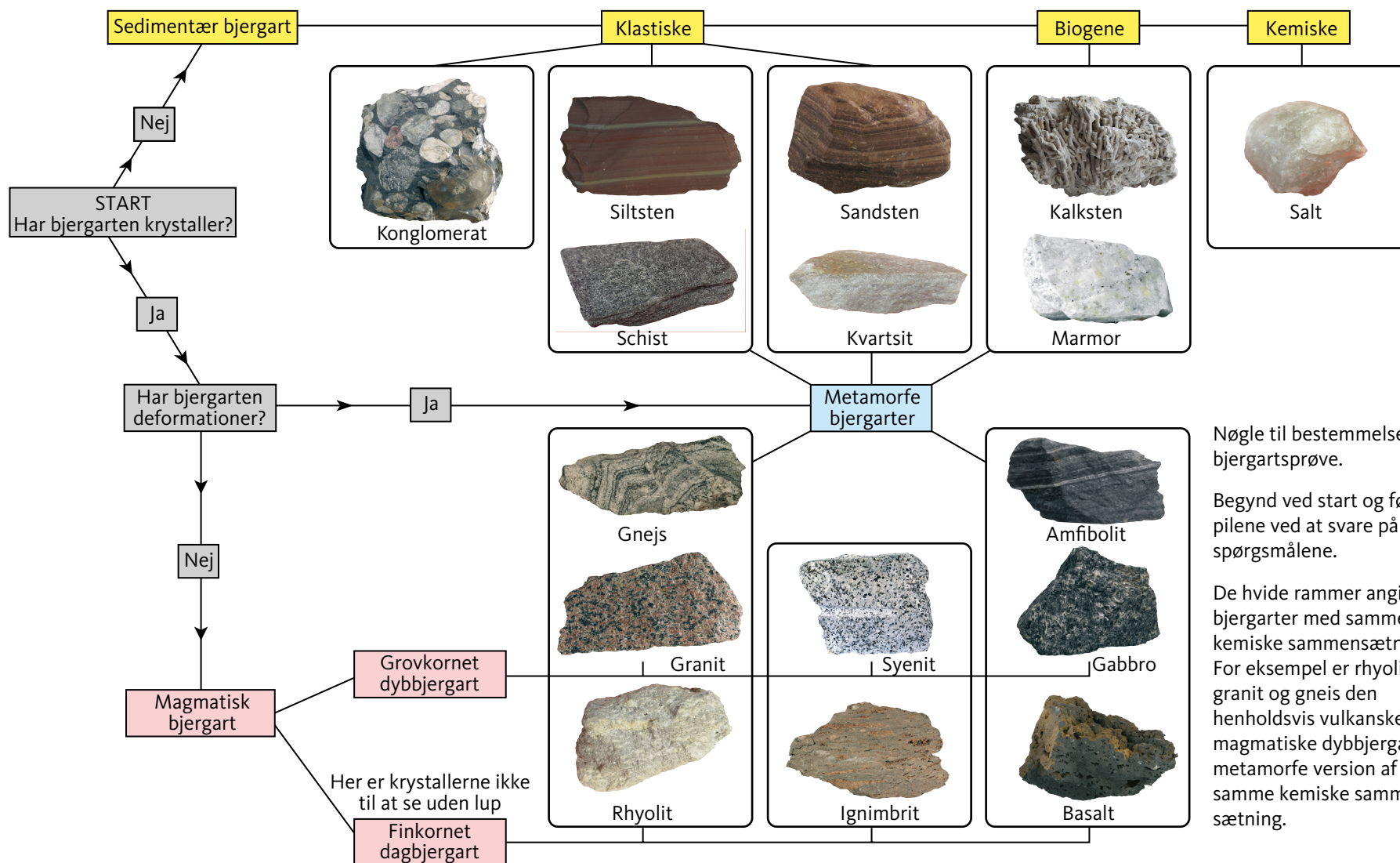
### Absolut aldersbestemmelse

En absolut alder kan bestemmes ved hjælp af radiometrisk datering. Ved radiometrisk datering måler man et minerals indhold af et radioaktivt grundstof (moderisotop) og mængden af dets henfaldsprodukt (datterisotop) (figur 176). Ud fra forholdet mellem de to størrelser og kendskabet til grundstoffets henfaldstid kan man afgøre, hvor lang tid siden det er, at mineralet dannedes ved en afkøling af en smeltet bjergartsmasse. Absolut aldersdatering anvendes typisk på magmatiske og metamorfe bjergarter. Når man bruger absolut datering på sedimentære bjergarter giver det alderen på de bjergarter, der er forvitret, eroderet, transporteret og til sidst aflejret som sedimenter.

### Relativ aldersbestemmelse

Den relative aldersbestemmelse giver ikke en egentlig alder, men angiver om en bjergart er yngre eller ældre end en anden bjergart. Relativ aldersdatering forekommer altså, når man studerer de geologiske lags indbyrdes fordeling. Hertil bruges en række principper.

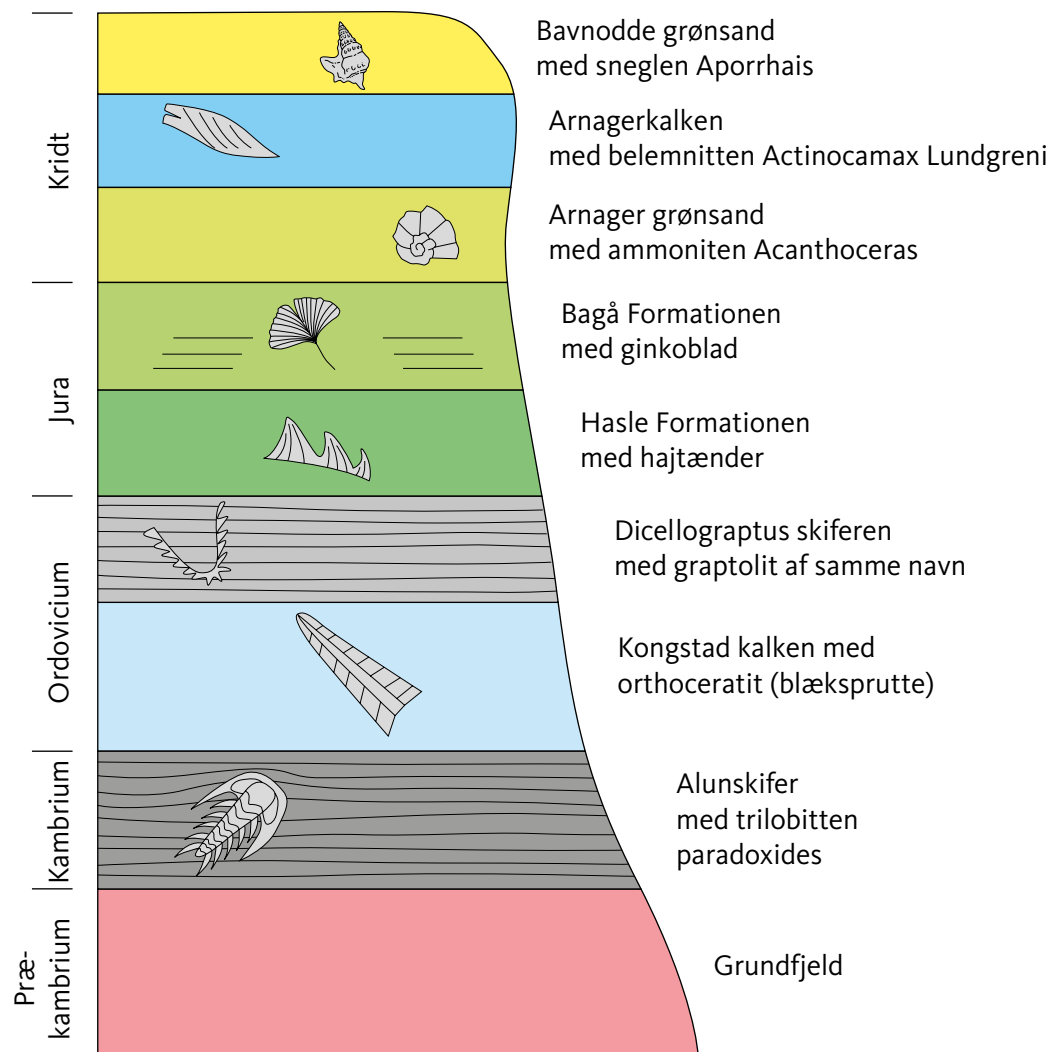
**FIGUR 174.** Nøgle til bjergartsbestemmelse. Eksempler på sedimentære, metamorfe og magmatiske bjergarter. Bjergarterne er inddelt i grupper med samme kemiske sammensætning. For eksempel er rhyolitten dagbjergarten, der svarer til dybbjergarten granit, som igen bliver en gnejs, hvis den undergår metamorfose; alle tre bjergarter har samme kemiske sammensætning, men forskellig dannelse og dermed udseende. På samme måde er den sedimentære kalksten grupperet med sin metamorfe udgave, marmoren. Af MiMa (2019).



Nøgle til bestemmelse af en bjergartsprøve.

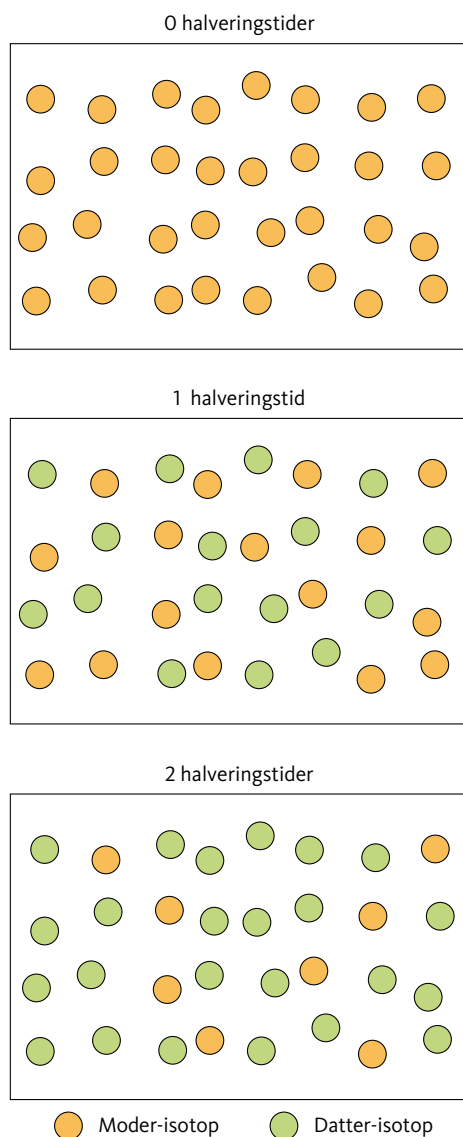
Begynd ved start og følg pilene ved at svare på spørgsmålene.

De hvide rammer angiver bjergarter med samme kemiske sammensætning. For eksempel er rhyolit, granit og gnejs den henholdsvis vulkanske, magmatiske dybbjergart og metamorfe version af samme kemiske sammensætning.



**FIGUR 175.** Udpluk af den bornholmske geologi sat sammen i en kronologisk korrekt, men ufuldstændig lagfølge, er et eksempel på, hvordan fossiler kan bruges til relativ datering, så en geologisk lagfølge kan sammenstilles. For eksempel kan det bestemmes, om man har fundet en blotning med alunskifer eller dicellograptusskifer ved at undersøge fossilindholdet. Efter Berthelsen et al. (1988).

**FIGUR 176.** Ved at måle indholdet af moder- og datterisotoper i et mineral, kan man ved hjælp af viden om isotopens halveringstid udregne mineralet og bjergartens alder. Af MiMa (2019).



Man kan fx bruge sedimenters fossilindhold til relativ aldersbestemmelse. Forskellige fossiler kendetegner bestemte tidsperioder og bestemte geologiske miljøer, og ved at beskrive fordelingen af dem i forhold til hinanden kan man bestemme, at den ene sedimentære bjergart er relativt ældre end den anden, men man kender ikke deres absolutte alder (figur 175).

### Superpositionsprincippet

Et andet vigtigt princip i relativ aldersbestemmelse er superpositionsprincippet, som lyder:

*Sedimentære lag vil være kronologisk ordnede, så de ældste ligger nederst og de yngste øverst, hvis der ikke senere er sket forstyrrelser.*

Princippet kan sammenlignes med en lagkage, hvor man først lægger det nederste lag.

### Skærende relationer

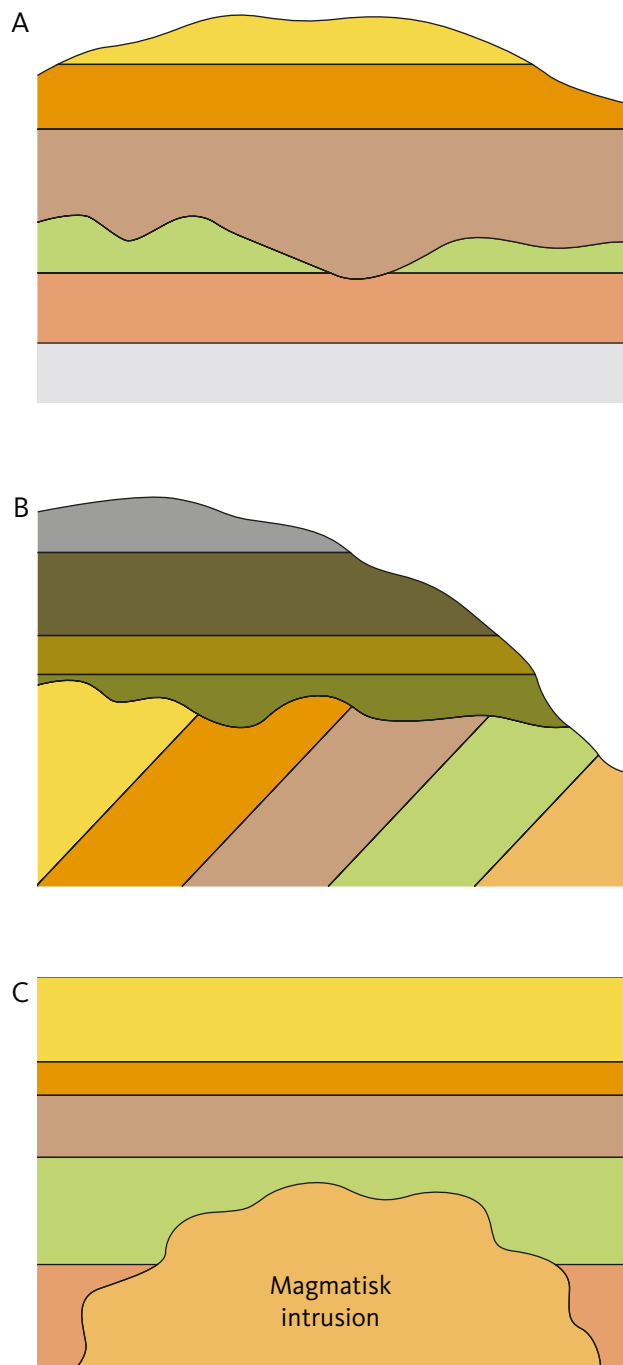
Skærende relationer angiver også en relativ alder. Man kan antage, at geologiske begivenheder, der skærer andre lag, må være yngre end disse.

For eksempel vil en vulkansk gang, der nedefra skærer sig op igennem jordskorpens lag,

være yngre end de lag, den skærer igennem. På samme måde vil de sedimenter, der aflejres på flodsengen i forbindelse med en flods løb være yngre end de bjergarter, som floden skærer igennem i en inkonformitet (figur 177. a). Som billede kan man igen bruge en lagkage; når nogen skærer et stykke af lagkagen ned gennem alle lagene, er skæringen sket til allersidst. I geologien ville sådan et snit være en forkastning, hvor hele lagpakken forskydes langs et plan.

Sedimentære lag aflejres med få undtagelser horisontalt, så lag, der hælder, må have været udsat for bevægelser i jordskorpens. Hvis der senere aflejres horisontale lag igen, kan man få en relativ alder af den begivenhed, der vippede de ældste lag, en vinkeldiskordans (figur 177. b).

Man kan også finde 'huller' i lagfølgen, hvor man kan se, at toppen af et lag er eroderet bort, hvorefter der igen er aflejringer ovenpå. Dette er tydeligst, hvis fx toppen af en struktur som en fold mangler. Dette kaldes en inkonformitet og er udtryk for, at der er manglet noget i lagfølgen. Men om det er et døgn eller 100 mio. år, må man afgøre ved hjælp af fossilindhold eller absolut aldersda-



**FIGUR 177.** Forskellige typer af skærende relationer.

**A.** Model af inkonformitet. På et tidspunkt, efter aflejring af det grønne lag, er der sket erosion og en ukendt mængde lag er borteroderet, hvorefter nye lag er aflejret oven på inkonformiteten, som altså er erosionsoverfladen.

**B.** Model af vinkeldiskordans. Her er fem lag aflejret (horisontalt), derefter har tektonisk aktivitet tiltet/vippet lagene, så de nu hældes. Herefter er overfladen eroderet, og der er sket ny aflejring, som ligger horisontalt. Vi kan ikke vide, hvor lang tid der er gået mellem aflejringen af de tiltede lag og aflejringen af de horisontale lag, men vi ved, der er foregået en større tektonisk begivenhed.

**C.** Model af nonkonformitet. Magmatiske bjergarter følger ikke superpositionsprincippet, og her har man fx en magmatisk intrusion, som man ved hjælp af skærende relationer kan afgøre, må være yngre end det grønne lag. Fordi intrusionen skærer det grønne lag, er det muligt den også er yngre end det gule lag, men det kan vi ikke vide.

Af MiMa (2019).

tering.

Alle disse principper gælder mest for sedimentære bjergarter, mens magmatiske bjergarter har en ganske anden natur, idet de kommer nedefra. Hvis en stor magmatisk intrusion bryder lagene, kaldes det en nonkonformitet (figur 177. c).

#### NATURHISTORISK METODE

Det aktualistiske princip er et andet grundlæggende princip i geologien, som går ud på, at de geologiske dannelser, der er sket i fortiden, er dannet af de samme processer, vi kan iagttage i dag. Det sker altså under antagelse af, at naturlovene er konstante og entydige. De landskabsformer, man kan se i forbindelse med de aktive gletsjere i dag, kan man antage blev skabt på tilsvarende måde i forbindelse med gletsjere i fortiden. Eller hvis du finder en 1 mia. år gammel sandsten med bølgeribber (den typiske form du ser i sandet på lavt vand, når du bader ved en strand), kan man antage, at der på aflejringstidspunktet var lavt vand med bølgeaktivitet (figur 178. c).

Man bruger altså de former, man kan genkende til at tolke de processer, som må have

**FIGUR 178.** Elementer til det geologiske kort.

**A.** Vinkeldiskordans i naturen. Hammeren er placeret lige over grænsen mellem lag, der hælder ned mod højre (nederst), og lag der hælder svagt mod venstre (øverst).

**B.** Horisontale lag af sandsten, som skæres på tværs af lagdelingen af et konglomerat. Et konglomerat er en sedimentær bjergart med blokke (de afrundede sten der ses på billedet) med mere finkornede sedimenter i mellem blokkene, altså en blanding af flere kornstørrelser. Konglomeratet er typisk aflejret i en flod, da det kræver stor energi at flytte de store blokke. Så her ser man altså aflejringerne af en flod, der har skåret sig ned i lag af sandsten, og i floden er der aflejret et konglomerat.

**C.** Proterozoiske sandsten i Diskobugten, Vestgrønland. I midten af billedet ses to flader med bølgeribber, som er dannet i kystzonen for omkring 2 mia. år siden. Dette fortæller noget om, hvilket miljø der var på dette sted i fortiden.

**D.** Overførsel af dagens kortlægning til feltkortet. Her er kortlægningen udført på satellitbilleder, mens det overføres til et topografisk kort.

Fotos af Matilde Rink Jørgensen.

A



B



C



D



dannet disse former. Nogle undtagelser til det aktualistiske princip er, at det var markant varmere i Jordens tidlige liv, hvilket bevirkede, at vulkanismen var anderledes. En anden undtagelse er, at der ikke fandtes ilt, før planterne dannedes og lavede fotosyntese, og derfor var mange geologiske og biologiske processer anderledes i den geologiske periode, vi kalder prækambrium (fra jordens dannelse for 4,6 mia. år siden til 542 mio. før nu). Vi bruger det aktualistiske princip sammen med superpositionsprincippet og kriterierne for relativ datering til at skrive naturhistorien, altså Jordens historie. Hvilke miljøer herskede i fortiden, hvilke dyr levede, og hvilket klima var der, er alt sammen information, som må hentes i de geologiske lag i jordskorpen. Gennem utallige studier har man sammensat den geologiske tidsskala, arternes udviklingshistorie og palæotektoniske kort.

Man kan altså på basis af bjergarternes indbyrdes relationer genskabe et hændelsesforløb og afgøre, om noget mangler i hændelsesforløbet. På basis af former og strukturer i bjergarterne kan man ved hjælp af det aktualistiske princip redegøre for bjergarternes dannelsesmiljø. Alt dette beskrev

den danske videnskabsmand Niels Steensen (eller på latin Steno) i 1600-tallet, som en af de første.

### Strukturer og geologisk miljø.

Alle bjergarter har en geologisk historie at fortælle. Ved at studere de enkelte bjergarter i detaljen og sammenholde deres indbyrdes relationer, kan man på baggrund af bjergartens mineraler, fossiler og strukturer rekonstruere denne historie. For de sedimentære bjergarter vil indholdet af fossiler og sediment i forskellige kornstørrelser fortælle om, hvorvidt bjergarten engang var havbund i dybhavet, lå på bunden af en hurtigt strømmende flod eller måske var en del af et frodigt koralrev. De magmatiske og metamorfe bjergarter kan fortælle, om de er dannet som sure eller basiske bjergartssmelter, om der er sket en gradvis eller hurtig afkøling af disse, om der har været bjergkædefoldninger eller voldsomme jordskælv. På det geologiske kort vil alle disse observationer fremgå med forskellige farver og signaturer, så den der læser kortet selv kan være med til at rekonstruere den geologiske historie uden nødvendigvis at besøge lokaliteterne.

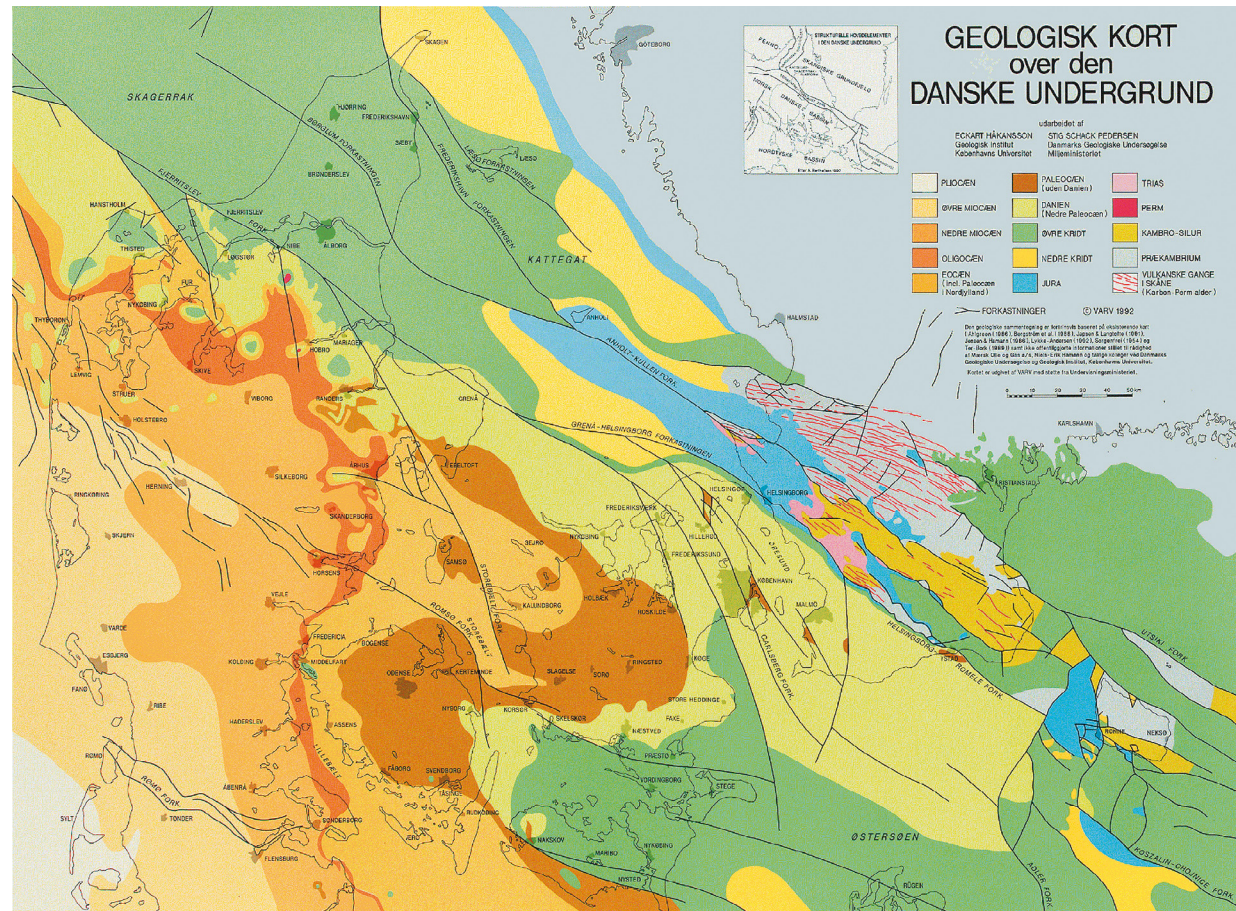
Historisk set var geologisk kortlægning en

fagdisciplin, hvor geologerne måtte betræde al den jord, der skulle kortlægges. Den teknologiske udvikling har betydet, at der er kommet mange hjælpemidler til. Specielt bruges nu luftfotos (figur 178. d) som led i kortlægningen, hvorved større områder hurtigere kan dækkes. Også geofysiske metoder og satellitdata er vigtige redskaber i kortlægningen. Disse hjælpemidler bruges i vekselvirkning med observationer på jorden. Inden geologerne tager i felten, tegner de grænsen mellem to bjergarter ved hjælp af deres udseende på satellitfoto. Når geologerne besøger lokaliteten, tjekker de, om deres observationer på satellitbilleder stemmer med, hvad de kan se i felten. Hvis det ikke stemmer, må de justere kortet.

Et andet redskab er geofysiske undersøgelser, hvoraf der findes mange varianter, men grundlæggende handler det om at måle nogle fysiske egenskaber ved bjergarterne, fx om bjergarterne er magnetiske, om de har elektrisk ledningsevne, deres densitet eller hvilke bølgelængder af lys, mineralerne udsender/reflekterer. Nogle bjergarter indeholder magnetiske mineraler, som kan måles fra fly i en såkaldt aeromagnetisk undersøgelse. En anden metode er satellitbilleder, hvor man

optager andre bølgelængder end de synlige og kan lave såkaldte false-colour images, fordi forskellige mineraler udsender forskellige bølger, som kan registreres af særlige kameraer. På disse optagelser er det altså ikke synligt lys der optages, men bølgelængder det menneskelige øje ikke kan se. Når vi skal se på false-color images vælger geofysikeren at indsætte en farve for den optagne bølgelængde, der altså er en falsk farve. De forskellige geofysiske metoder kan være til stor hjælp ved geologisk kortlægning.

Der er meget stor forskel på, hvor vanskeligt det er at lave geologisk kortlægning, alt efter hvor i verden man arbejder. Mange steder dækker vegetation og jordlag for de geologiske lag. I Danmark har istiderne lagt en stor dyne af meget unge sedimenter (sand, grus og sten) over den ældre geologi, så de faste bjergarter, der ligger nedenunder, ikke kan ses. I sådanne regioner bliver geofysiske data, geologiske tolkninger og måske endda boreriger meget vigtige. I Danmark har man sørget for, at alle, der laver en boring til fx vandindvinding, skal indberette, hvilke bjergarter de finder i boringen. Derfor har vi i Danmark et enestående arkiv over Danmarks undergrund, som gør det muligt at



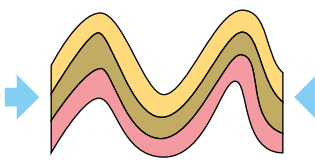
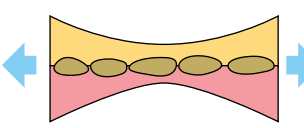
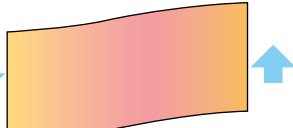
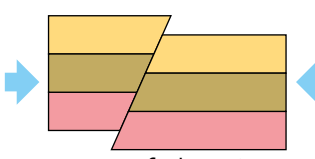
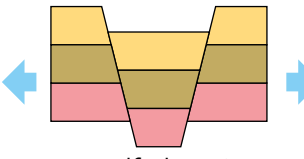
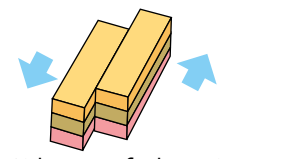
**FIGUR 179.** Geologisk kort over Danmarks undergrund eller det, man kalder den prækvarter overflade. Det er altså sådan overfladen ville være sammensat, hvis man kunne skrælle alle istidssedimenterne af. Af Pedersen (1992).

lave et præcist kort over Danmarks prækvartære geologi (figur 179), dvs. et kort over, hvordan Danmark så ud før kvartærtiden. Det er muligt at gå på opdagelse på GEUS' hjemmeside og se flere detaljer over både jordarterne i overfladen og bjergarterne i dybden. I Grønland, hvor vegetationen er sparsom, kan bjergarterne følges over meget store områder. Det gør det betydeligt lettere at lave geologiske kort.

### STRUKTURER PÅ DET GEOLOGISKE KORT

Som tidligere nævnt kan man angive bjergarternes tredimensionelle strukturer på et geologisk kort. En af disse strukturer er forkastninger (figur 180).

En forkastning er en brudzone i jordskorpen, hvor to eller flere blokke forskydes i forhold til hinanden. Forkastningerne opstår på grund af pladetektoniske bevægelser. Ved forkastningen sker der et brud på bjergarterne i den sprøde, øverste del af jordskorpen, hvilket vil fremgå på et geologisk kort. Nogle gange ses det som en særlig signatur, andre gange vil det fremgå på kortet, fordi to forskellige bjergarter, der måske har to helt forskellige aldre eller mineralsammensætninger, forekommer ved siden af hinanden

	Sammenpresning/ kompression (set fra siden)	Strækning/ ekstension (set fra siden)	Sideværts bevægelse/ transform deformation (set ovenfra og 3D)
Plastisk deformation	 Folder	 Udtynding m. boudinering	 Shear
Sprød deformation	 Revers forkastning	 Normalforkastning	 Sideværts forkastning

langs en linje. Så ved geologen, at her har forskydninger i jordskorpen ført til forkastningen af bjergarterne.

Normalforkastninger forekommer i ekstensionelle miljøer, dvs. et sted hvor jordskorpen udtyndes og rives fra hinanden. Normalforkastninger ses oftest ved en konstruktiv pladegrænse eller en riftzone, hvor en plade slår sprækker, når den strækkes midt over.

Reverse forkastninger eller overskydninger forekommer i kompressionelle miljøer, dvs. steder hvor jordskorpen sammenpresses, og der sker en fortykkelse af skorpen. Det vil

**FIGUR 180.** Oversigt over deformationer i henholdsvis den dybe skorpe, hvor varmen gør, at bjergarter er plastiske og i den øvre skorpe, hvor bjergarterne er sprøde. Deformationens retning afgør sammen med sprødheden/plasticiteten af bjergarten, hvilken struktur der dannes. Af MiMa (2019) efter Press et al. (2004).

typisk være ved en destruktiv pladegrænse, dvs. hvor to plader kolliderer.

Sideværtsforkastninger forekommer typisk i bevarende pladegrænser, hvor to plader bevæger sig langs hinanden, og forrykkelsen sker i det horisontale plan.

#### NØGLEBEGREBER

- Bjergartsbeskrivelse
- Relativ alder
- Absolut alder
- Naturhistoriske metoder
- Superpositionsprincippet
- Det aktualistiske princip
- Fossiler
- Geologisk miljø
- Strukturgeologi
- Deformation
- Forkastning
- Geofysik

#### REFERENCER

- Berthelsen, A., Sjørring, S., Nielsen, A. T., & Hamann, N. E. (1988). Bornholms geologi I. *Varv*, (II), 34–80.
- Henriksen, N. (2005). *Grønlands geologiske udvikling - fra urtid til nutid*. GEUS.
- Pedersen, M., Weng, W. L., Keulen, N., & Kokfelt, T. F. (2013). A new seamless digital 1: 500 000 scale geological map of Greenland. *Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin*, (28), 65–68.
- Pedersen, S. S. (1992). Et nyt undergrunds-kort. *Varv*, (II), 60–63.
- Press, F., Siever, R., Grotzinger, J., & Jordan, T. H. (2004). *Understanding earth*. Macmillan.