

MATERIALERNES FANTASTISKE VERDEN

LÆRERVEJLEDNING (version 8)



Materialernes fantastiske verden

Smartphones og tablets, regntøj, medicin, biler, fly, vindmøller og huse - vi er omgivet af produkter, der indeholder materialer med de mest fantastiske egenskaber. Fælles for dem alle er, at dygtige forskere og ingeniører har udviklet produkterne ud fra deres viden om materialer og disses egenskaber.

Materialeforskningen er et vigtigt og voksende felt. Det er i materialeforskningen, at løsninger på nogle af vores tids største udfordringer – ren energi, bedre medicin, sundere fødevarer – skal findes. Forskningen bliver godt hjulpet på vej, når konstruktionen af verdens bedste forskningsmikroskoper, specifikt målrettet materialeforskningen, om få år står færdige i Lund i Sverige. Jo mere ingeniørerne ved om materialer og deres egenskaber, desto bedre bliver de nemlig til at designe materialerne til helt specifikke anvendelser.

Hvorfor materialer?

På baggrund af materialeudviklingens store og voksende betydning for vores samfund og hverdag, sætter vi fokus på materialer i dette undervisningsmateriale. Vi håber, at vi dermed kan skabe interesse for emnet og forhåbentlig skubbe nogle elever i den naturvidenskabelige og teknisk videnskabelige retning. Måske bliver det en af dine elever, der en dag udvikler verdens største vindmølle, et batteri der kan holde en elbil kørende fra København til Paris eller en behandling mod knogleskørhed.

Og for øvrigt, så findes der så mange fantastiske, sjove, underlige og smarte materialer, og forhåbentlig bliver du og dine elever lige så grebet af dem, som vi er her på DTU.

Endelig, så er materialer og materialeegenskaber noget, som eleverne allerede har erfaringer med, uanset hvilket klassetrin de er på. De er måske ikke vant til at sætte ord på det, men de kender allerede mange materialer, deres egenskaber, anvendelser og begrænsninger fra deres egen hverdag. På den måde har de masser af knager at hænge deres nye viden op på og det vil også hjælpe dig i din undervisning.

Hvem står bag?

'Materialernes fantastiske verden' er udviklet af Anne Hansen, kommunikationsansvarlig på DTU Fysik i samarbejde med Industriens Fond. Desuden har konsulent Christian Frausing Binau fra Astra bidraget til forløbsbeskrivelsen og til formuleringen af læringsmål og tegn på læring. Endelig er dele af forløbet afprøvet på elever i 4. og 5. klasse på Kongevejens Skole.

Indholdet er tilrettelagt på baggrund af de aktiviteter der fandt sted ved Børnenes Universitet 2014, men er samtidig tilpasset skolernes rammer, herunder økonomi, tid, udstyr og sikkerhed.

INDHOLD - LÆRERVEJLEDNING

MATERIALERNES FANTASTISKE VERDEN	1
'MATERIALERNES FANTASTISKE VERDEN': OVERBLIK	3
GENERELLE OPLYSNINGER OM UNDERVISNINGSMATERIALE OG FORLØB.....	4
1. UNDERVISNINGSMATERIALETS INDHOLD.....	4
2. SKEMATISK OVERSIGT OVER FORLØBET	6
3. TIDSFORBRUG.....	7
4. FÆLLES MÅL, LÆRINGSMÅL OG TEGN PÅ LÆRING	7
MODUL 1: INTRODUKTION TIL MATERIALER OG EGENSKABER.....	10
MODUL 2-4: UNDERSØGELSER.....	15
MODUL 2-4: UNDERSØGELSE AF STYRKE.....	17
MODUL 2-4: UNDERSØGELSE AF OVERFLADERS HÅRDHED	22
MODUL 2-4: UNDERSØGELSE AF VARMELEDNING	24
MODUL 2-4: UNDERSØGELSE AF ABSORPTION.....	28
MODUL 2-4: UNDERSØGELSE AF VISKOSITET	32
MODUL 5: BLANDINGSMATERIALER	355
MODUL 6: SMARTE MATERIALER.....	388
MODUL 7: FORBEREDELSE TIL INNOVATIONSOPGAVEN	488
MODUL 8-9: INNOVATIONSOPGAVEN	533

'MATERIALERNES FANTASTISKE VERDEN': OVERBLIK

Tema: Materialer	Fag: Natur/teknologi	Målgruppe: 5.-6. Klassetrin	Antal lektioner: 18 (9 moduler)
----------------------------	--------------------------------	---------------------------------------	---

Sted:

Modul 2-6 foregår bedst i et naturfags-faglokale og med adgang til vand. De øvrige moduler kan gennemføres i et almindeligt klasselokale. Evt. inddrages faglokalet for Håndværk og design i modul 9.

Beskrivelse af forløbet:

I dette undervisningsforløb får eleverne mulighed for at dykke ned i materialernes fantastiske verden. Forløbet sætter fokus på undersøgelser af materials egenskaber og eleverne undersøger alt lige fra almindeligt papir og bleer til de mystiske hukommelsesmetaller og gele, der er hårdt og blødt på en gang.

Undervejs lærer eleverne om materialernes forskellige egenskaber og anvendelser. De øver sig i at designe og udføre undersøgelser og forholde sig kritisk til deres resultater og metoder. Forløbet munder ud i et innovationsforløb, der udvikler elevernes kreative evner. På baggrund af nogle af de materialer, de har lært om undervejs, skal eleverne ved hjælp af ingeniørens arbejdsmetode udvikle deres egne produkter.

Således har forløbet et tredelt fokus på:

1. Fem centrale faglige pointer om materialer
2. Fælles Mål:
 - Undersøgelseskompetence
 - Modellering
 - Perspektivering
 - Kommunikation
3. Innovation og entreprenørskab

Kompetenceområder:

Med hensyn til Fælles Mål er fokus i dette forløb især på at udvikle elevernes generelle undersøgelseskompetence i natur/teknologi samt indenfor det faglige område 'Teknologi og ressourcer'. Dertil inddrages modellerings- og perspektiveringskompetencen i både naturfag og 'Teknologi og ressourcer' samt målparret for Ordkendskab under kommunikationskompetencen.

Læs mere om koblingen mellem Fælles Mål, læringsmål og tegn på læring på side 7-9.

GENERELLE OPLYSNINGER OM UNDERVISNINGSMATERIALE OG FORLØB

1. UNDERVISNINGSMATERIALETS INDHOLD

- Forløbsbeskrivelse
- Elevvejledninger og tilhørende svarark til læreren
- Lærervejledning
- Lærerpræsentation
- Hjemmeside
- Materialekasse

Forløbsbeskrivelse: Hele forløbet består af ni moduler af hver to lektioner. I forløbsbeskrivelsen finder du for hvert modul et detaljeret forslag til indholdet og organiseringen af undervisningen, inkl. læringsmål, tegn på læring, forslag til evaluering og tidsplan, henvisninger til elevvejledninger, oversigt over forberedelser samt lister med de nødvendige materialer og udstyr.

Med forløbsbeskrivelsen har du den information, du behøver for at gennemføre hele forløbet om 'Materialernes fantastiske verden'.

Elevvejledninger og tilhørende svarark til læreren: Der er vejledninger til design af undersøgelser, generelle vejledninger til udførelsen af de elevdesignede undersøgelser samt vejledninger til undersøgelser udviklet af DTU (hvis du springer designøvelserne over). Til alle vejledninger hører der desuden svarark til læreren med mere information.

Lærervejledning: I lærervejledningen finder du supplerende information til dit eget brug, fx baggrundsviden om de materialer og deres egenskaber og om ingeniørens arbejdsmetode, henvisninger til mere information, forslag til andre aktiviteter, m.m.

Lærerpræsentation: Indeholder illustrationer, videolinks samt udvalgte vejledninger og skemaer, som det er relevant at vise eleverne på tavlen. Lærerpræsentationen er tænkt som en hjælp til dig, så du ikke behøver bruge så meget tid på at lave din egen præsentation til IWB. I præsentationen finder du billeder, videolinks

Hjemmeside: Alt skriftligt materiale kan downloades fra hjemmesiden for Børnernes Universitet. Her kan du desuden finde videoklip, henvisninger til mere viden, billeder af materialekassens indhold og pakning samt information om forhandlere af materialerne.

<https://fysik.dtu.dk/bu/undervisningsmaterialer>

Materialekasse: Indeholder materialer og udstyr, som du skal bruge i forløbet. Her finder du specielle materialer som hukommelsesmetal, krystalark og farveskiftende perler, men også mere gængse materialer og udstyr som glaskugler, LEGO-klodser® og måleglas.

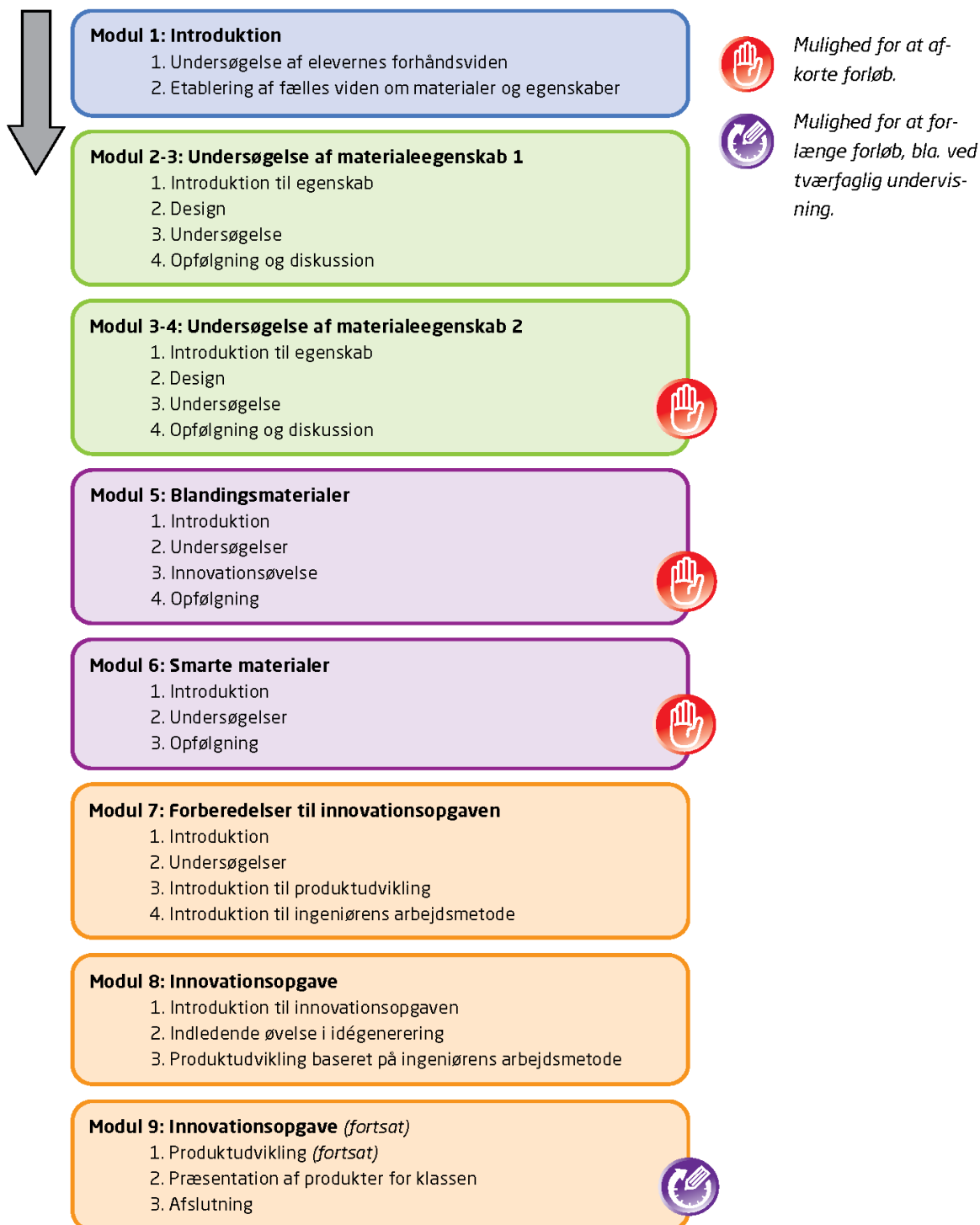
Vi har udvalgt indholdet efter, hvad vi vurderede skolerne ikke selv har eller kan skaffe. De øvrige materialer, som du skal bruge i forløbet, skal du selv skaffe. Det er typisk lettilgængelige og billige materialer som engangskopper, bleer og elastikker.



Materialekassen lånes gennem dit lokale Center for Undervisningsmidler (CFU):
<http://www.emu.dk/tema/cfu-danmark#>

Du kan typisk låne materialekassen i fire uger, og da du har brug for kassen i minimum modul 2-6, i alt 10 lektioner, kræver det formentlig, at du samler nogle af dine lektioner. Se forløbsoversigten på næste side.

2. SKEMATISK OVERSIGT OVER FORLØBET



3. TIDSFORBRUG

Det samlede forløb tager 8-9 moduler (16-18 lektioner) afhængigt af, om elever designer deres egne undersøgelser under arbejdet med materialeegenskaberne eller om de udfører en af de foreslåede DTU-undersøgelser.

Vær opmærksom på, at udlånstiden for en kuffert fra CFU typisk er fire uger og at du har brug for kufferten til minimum modul 2-6 og evt. første lektion i modul 8. Det betyder, at du får brug for at kunne undervise min. 10 lektioner i natur/teknologi i løbet af fire uger.



Forkortet forløb

Hvis du ønsker et kortere forløb, kan du at stoppe efter hvert af modulerne 4, 5 og 6. Du kan også afkorte forløbet ved at springe undersøgelserne af blandingssegenskaberne over og gå direkte videre til arbejdet med de smarte materialer. Bemærk dog, at der under undersøgelsen af blandingsmaterialerne er indlagt en innovationsøvelse for eleverne, inden de skal arbejde med den større innovationsopgave til sidst i forløbet. Elevundersøgelsen af de smarte materialer er en forudsætning for at lave innovationsopgaven.



Forlænget forløb og tværfaglighed

Forløbet med materialekufferten er designet, så det kan nås på 9 moduler. Men hvis du har mere tid til rådighed og ønsker at lade eleverne undersøge flere materialeegenskaber, øve sig mere i design af undersøgelser eller give dem mere tid til at arbejde med innovationsopgaven, er det selvfølgelig en mulighed. I arbejdet med innovationsopgaven vil det være helt oplagt at inddrage Håndværk og design og eksempelvis lade eleverne lave bedre modeller eller fremstille prototyper af deres produkter.

4. FÆLLES MÅL, LÆRINGSMÅL OG TEGN PÅ LÆRING

Herunder følger oversigter over de relevante Fælles Mål for 'Materialernes fantastiske verden' samt fem materialefaglige pointer, som eleverne lærer. Derefter kan du læse forslag til læringsmål og tegn på læring til forløbet.

Læringsmålene er formuleret med afsæt i forenklede Fælles Mål efter 6. klassetrin i en vekselvirkning mellem naturfaglige mål under overskrifterne *Undersøgelser i naturfag*, *Perspektivering i naturfag* og *Ordkendskab*, fagspecifikke mål under overskriften *Teknologi og ressourcer* samt fem centrale materialefaglige pointer (formuleret af DTU). Forløbet sigter på, at eleverne også udvikler deres perspektiverings- og kommunikationskompetence, men har elevernes undersøgelseskompetence som det primære omdrejningspunkt.

Endelig vil den afsluttende innovationsopgave udvikle elevernes kompetencer indenfor innovation og entreprenørskab, som er et af de tre tværgående temaer i de forenklede Fælles Mål.

Målgruppen for 'Materialernes fantastiske verden' er 5.-6. klasse men har også relevans for 3.-4. klasse og for udskolingen. For begge grupper gælder det, at læreren må justere omfang og indhold efter elevernes faglige niveau.

Materialet retter sig mod natur/teknologi-undervisningen, men rummer desuden flere muligheder for tværfaglig undervisning, bla. med Håndværk og design (modul 7-9) og madkundskab (undersøgelse af viskositet).

4.1 Fælles Mål for 'Materialernes Fantastiske Verden

Undersøgelser i naturfag Fase 1-2	
Færdighedsmål	Vidensmål
Eleven kan gennemføre enkle systematiske undersøgelser.	Eleven har viden om variable i en undersøgelse.
Eleven kan designe enkle undersøgelser.	Eleven har viden om undersøgelsesdesign.

Undersøgelse, Teknologi og ressourcer Fase 1-2	
Færdighedsmål	Vidensmål
Eleven kan identificere stoffer og materialer i produkter.	Eleven har viden om stoffers og materialers egenskaber og kredsløb.
Eleven kan udvikle enkle produkter.	Eleven har viden om udvikling og vurdering af produkter.

Modellering i naturfag Fase 1-2	
Færdighedsmål	Vidensmål
Eleven kan anvende sammensatte modeller til at beskrive processer.	Eleven har viden om sammensatte modeller.
Eleven kan designe modeller af et produkt/produktion.	Eleven har viden om modeller til at beskrive teknologi.

Perspektivering i naturfag Fase 1	
Færdighedsmål	Vidensmål
Eleven kan beskrive natur og teknologisk anvendelse i samfundet og fremstilling i medier.	Eleven har viden om centrale interessemod-sætninger.

Kommunikation, Ordkendskab	
Færdighedsmål	Vidensmål
Eleven kan mundtligt og skriftligt udtrykke sig ved brug af naturfaglige og teknologiske fagord og begreber.	Eleven har viden om naturfaglige og teknologiske fagord og begreber.

4.2 Centrale materiale-faglige pointer

Eleverne lærer:

1. At forskellige materialer har forskellige egenskaber.
2. At materialers egenskaber har betydning for deres anvendelser og produkters funktion.
3. At vi kan ændre materialers egenskaber ved at blande forskellige materialer.
4. At vi kan designe materialer til at reagere på deres omgivelser på nye og anderledes måder.
5. Jo mere vi ved om materialers egenskaber, jo bedre bliver vi til at lave produkter med præcis de egenskaber, vi har brug for.

4.3 Forslag til læringsmål og tegn på læring

1. Eleven kan identificere materialer og italesætte deres egenskaber.
 - a) Eleven identificerer materialer på skolen.
 - b) Eleven identificerer materialernes egenskaber.
 - c) Eleven knytter materialernes egenskaber sammen med deres anvendelser.
2. Eleven kan identificere og kontrollere variabler i undersøgelser.
 - a) Eleven udpeger undersøgelsens variabler.
 - b) Eleven skelner mellem den variabel, der skal ændres, og dem der skal holdes konstante.
 - c) Eleven designer undersøgelsen, så alt holdes konstant på nær en variabel.
3. Eleven kan systematisk undersøge og sammenligne egenskaber ved materialer med brug af relevante fagord og begreber.
 - a) Eleven udfører og nedskriver målinger med alt konstant på nær en variabel.
 - b) Eleven udleder resultater om materialernes egenskaber ud fra sine målinger.
 - c) Eleven bruger fagord og begreber, når hun sammenligner materialernes egenskaber ud fra deres resultater.
4. Eleven vurderer fordele og ulemper ved produkters egenskaber i forhold til produkternes anvendelse med brug af relevante fagord og begreber.
 - a) Eleven beskriver produkternes egenskaber med fagord.
 - b) Eleven sammenligner produkternes egenskaber og anvendelser.
 - c) Eleven konkluderer om produkters egnethed på baggrund af sine sammenligninger.
5. Eleven kan udvikle produkter ud fra viden om materialers egenskaber og en model for produktudvikling.
 - a) Eleven udvikler et produkt med egenskaber fra et eller flere af de smarte materialer.
 - b) Eleven udfører trinene i ingeniørens arbejdsmetode til at udvikle et produkt.
 - c) Eleven udfører trinene i ingeniørens arbejdsmetode til at afprøve og forbedre sit produkt.

MODUL 1: INTRODUKTION TIL MATERIALER OG EGENSKABER

Modul 1 er tænkt som en introduktion til materialer og deres egenskaber. Da vi alle sammen uanset alder er omgivet af materialer og bruger materialer hver eneste dag, vil eleverne også have masser af forhåndsviden og erfaringer, som de kan trække på – men som de måske aldrig har formuleret.

Derfor er formålet med dette modul at få italesat og delt denne viden, så du får en fornemmelse af elevernes niveau og viden og så alle får en fælles forståelse af begreberne 'materialer' og 'egenskaber'.

Til din egen baggrund kommer her en lille introduktion til materialernes verden. Derudover kan du læse mere om hverdagens materialer i dokumentet '[Materialerne omkring os](#)', der også ligger på hjemmesiden. Du kan også læse mere om materialer til fodbolde i artiklen: [fodboldmaterialer](#), der hører til modul 1, aktivitet 2.7. Til sidst i vejledningen om modul 1 er der desuden en række links til mere viden om materialer.

1. MATERIALERNES FANTASTISKE VERDEN

Gennem det meste af menneskehedens historie, har udviklingen af vores samfund været defineret af fremskridt i de materialer, menneskene har brugt, for eksempel som vi kender det fra stenalderen, bronzealderen, og jernalderen. Stenalderen ophørte ikke, fordi vi løb tør for sten, men fordi vi fandt ud af at fremstille og udnytte bronze. Stål spillede en vigtig rolle i industrialiseringen og halvledere af silicium er forudsætningen for udviklingen af transistorerne, der blev startskuddet til vores moderne informationsalder.

I dag fortsætter materialerne med at påvirke alle området af samfundet og udviklingen af nye og bedre materialer ses ofte i forbindelse med udviklingen af ny teknologi. Og mens materialer tidligere især blev udviklet ved hjælp af 'trial and error'-metoden, fx at store klumper jern blev varmet op og hurtigt kølet ned for at gøre det hårdere, så er udviklingen af materialer i dag langt mere avanceret. Moderne materialeforskere manipulerer og ændrer materialer ud fra en grundlæggende forståelse af, hvordan materialerne er opbygget, ofte helt ned til de enkelte atomer. Takket være den viden har materialeforskningen bragt os utallige og utrolige materialer, lige fra kunstig hud, blod og knogler, skjolde der beskytter rumfartøjer på vej ind og ud af atmosfæren, materialer, der reparerer sig selv, der bøjer og spænder som muskler og fanger energien fra solen.

Materialeteknologi er grundlaget for alle de moderne industrier, der driver den globale økonomi. Nu og i fremtiden vil materialerne fortsætte med at drive udviklingen af nye teknologier og dermed også spille en vigtig rolle i at løse de udfordringer, som verden står overfor, hvad enten det er energi, miljø, behandling af sygdomme eller sundere fødevarer.

2. KOMMENTARER TIL UNDERVISNINGEN

2.1 Diskussion af begreber

Når I diskuterer, hvad et materiale er, kan I nemt ende i en diskussion af begreber. Fx kan det være svært for eleverne at adskille grundstoffer, råstoffer og materialer, at skelne mellem naturlige og menneskeskabte materialer og mellem materialer og produkter.

Generelt kan man lave disse definitioner:

Råstoffer er minimalt bearbejdede materialer, der anvendes til at fremstille fødevarer, byggematerialer, maskiner, kemikalier, brændsel osv.

Nogle råstoffer bruges også til at fremstille en slags 'mellem-materialer', der så kan anvendes til at fremstille de endelige produkter. Fx er sand et råstof, som vi bruger til at lave glas af. Glasset kan så efterfølgende til at lave vinduer, drikkeglas osv.

Grundstoffer er materialer, der består af kun en type atomer. For eksempel jern, der udelukkende består af jernatomer Fe, eller guld, der består af guldatomer Au. De fleste materialer på jorden består af mange forskellige grundstoffer.

Naturlige materialer er materialer, som naturen skaber. Vi mennesker kan så trække dem ud af jorden, op af havet, dyrke dem, eller få dem fra levende ting, som dyr og planter. Læder, kridt og jern er for eksempel naturligt forekommende materialer.

Menneskeskabte eller syntetiske materialer er materialer, der på den ene eller anden måde er bearbejdede med udgangspunkt i naturlige materialer. Eksempelvis er plastik et menneskeskabt materiale lavet ud fra naturlige kemiske forbindelser, typisk fra olie. Stål er også menneskeskabt ud fra de naturligt forekommende materialer jern og kulstof.

Både naturlig og menneskeskabt. Nogle materialer kan kategoriseres både som naturlige og menneskeskabte. Fx findes der naturligt glas, der dannes ved meteor- og lynnedslag i sand. Hvorimod langt det meste af det glas, vi omgiver os med i hverdagen, er menneskeskabt ved at smelte sand, kalk og soda.

Materialer kan altså både være grundstoffer, råstoffer, 'mellem-materialer', naturlige og menneskeskabte.

Ved et *produkt*, forstår man typisk en genstand eller et stof, som er fremstillet og forarbejdet ud af et materiale. Fx er en fodbold et produkt, der er fremstillet af det naturlige materiale læder eller af et menneskeskabt materiale som syntetisk læder. Et hus er et produkt, der består af mange materialer, fx glas, træ og beton eller mursten,

2.2 Æstetik, smag og behag

Når ingeniører og fabrikanter vælger materialer til deres produkter, ser de naturligvis på materialernes fysiske egenskaber (styrke, hårdhed, bøjelighed, osv.) og på deres tilgængelighed og pris. Men en anden vigtig faktor er materialernes udseende, hvordan de føles, lugter, smager/ikke smager (fx til bestik). For eksempel er stål faktisk stærkere og mere slidstærkt end porcelæn, og alligevel foretrækker de fleste porcelæn til deres håndvaske, toiletter og service. Det gør de bla. fordi mange

mennesker synes porcelæn er pænere mere dekorativt, mens stål forbindes med noget mere koldt og industrielt. Således spiller æstetikken en stor rolle, når vi vælger de materialer, vi omgiver os med, og overtrumfer endda nogen gange pris og anvendelighed.

2.3 Definition af egenskaber

I forløbsbeskrivelsen bliver nævnt en række faglige udtryk for forskellige egenskaber. Du kan læse om følgende egenskaber under de fem undersøgelser under modul 2-4:

Høj/lav trykstyrke, brudstyrke, trækstyrke, elastisk, ridsbart, varmeledende, isolerende, høj/lav absorptionsevne, viskøst

De øvrige egenskaber forklares her:

Hydrofilt og hydrofobt betyder henholdsvis vandabsorberende og vandafvisende. 'Hydro' betyder vand, mens -fil og -fob kommer af henholdsvis at elske og at frygte.

Transparent betyder i daglig tale, at vi kan se igennem et materiale.

Porøs betyder fuld af små huller eller med en løs og let struktur. Kridt er fx et porøst materiale. Porøse materialer kan absorbere (suge) meget vand.

3. IDEER TIL TVÆRFAGLIG UNDERVISNING

Dansk

Find litteratur om materialer, som eleverne kan læse

Eleverne laver digte eller rim om materialer

Eleverne øver sig i at stave og skrive fagord tilknyttet materialeforløbet (dansk)

Historie:

Parallelt om de forskellige 'materialealdre' – stenalder, jernalder, bronzealder

Opfindelsen af papir: Hvem, hvor, hvornår.

Industrialiseringen: Som bla. var et resultat af, at man lærte at lave stål og sidenhen rustfrit stål.

Natur/teknologi:

Forekomster af de forskellige materialer og naturressourcer. Hvor findes de, hvorfor findes de der, hvordan udvindes de, hvor meget er der.

Forløb om bæredygtighed, affaldssortering, genanvendelighed.

Desuden findes der disse to undervisningsmaterialer fra God til naturfag (www.godtilnaturfag.dk) om kemi og materialer:

Kemi for de yngste

På jagt efter grundstofferne

Håndværk og design

I sløjd-forløbet kan man inddrage træes egenskaber (blødt, vandsugende, let at bearbejde, hvad kan det bruges til)

I håndarbejde kan eleverne sy eller designe tøj og snakke om materialernes egenskaber og egnethed i et givent produkt (fx regntøj, badetøj, sportstøj, almindeligt tøj).

4. MERE VIDEN

- Amerikansk dokumentarserie om materialer: "Making Stuff", PBS Nova. Videoerne skifter url, men lav denne søgning på YouTube:
https://www.youtube.com/results?search_query=making+stuff
- Interessant video-serie om alskens materialer:
<https://www.youtube.com/playlist?list=PL2kDaPXWvSzXSxCiInc6jNrh4r8olHwx>
Søg evt. på The World of Wonderstuff på YouTube.
- "Advanced materials": <http://www.pbslearningmedia.org/resource/638eafac-63b1-42e8-8ed8-6aeb4015493a/advanced-materials/>
Amerikansk film om avancerede materialer
- Natures Super Materials: <http://www.pbs.org/wgbh/nova/nature/nature-materials.html>
- Materials Future: <http://www.materialsfuture.eu/>
Hjemmeside om materialer. Film, spil, tekster for skoleelever. EU-projekt. Danske tekster
- General temaside for Making Stuff med masser af gode links:
<http://www.pbs.org/wgbh/nova/tech/making-stuff.html>
- En ret flot materialesamling: <https://materio.com/en/>
Det kræver et abonnement at komme videre ind, men der er mange spændende billeder og tekster at se og læse på forsiden.
- "Materials That Changed History" - From ceramics to steel, paper to plastics, certain basic substances have long propped up civilization. Find out more in this article from NOVA Online:
<http://www.pbslearningmedia.org/resource/arct14.sci.nvmatchist/materials-that-changed-history/>
- The World's Strongest Stuff: <http://www.pbs.org/wgbh/nova/tech/strong-materials.html>
Om nogle af de stærkeste materialer i verden.
- Fantastisk bog om materialers historie:
'Stuff Matters. The Strange Stories of the Marvellous Materials That Shape Our Man-Made World'. Mark Miodownik. Penguin 2014
<http://www.amazon.co.uk/Stuff-Matters-Marvellous-Materials-Man-made/dp/0241955181>
- Foredrag om materialer af Mark Miodownik:
https://www.youtube.com/watch?v=GEWFJiMK6CE&feature=em-subsub_digest-vrecs
- Minecraft. Skulle være et super spil til at lære om materialer. Hvis du har elever, der har spillet det, kender de formentlig en del materialer.

5. KILDER

Råstoffer:

- http://www.denstoredanske.dk/It,_teknik_og_naturvidenskab/Geologi_og_kartografi/Geokemi/r%C3%A5stoffer
- https://en.wikipedia.org/wiki/Raw_material

MODUL 2-4: UNDERSØGELSER

1. INTRODUKTION

1.1 Design af undersøgelser

Elevejledningerne er lavet med baggrund i og inspiration fra hæftet "MetodeKit. Sæt metoder på skemaet"², der er skrevet og udgivet af Experimentarium som en del af MetodeLab-projektet³.

I hæftet beskrives fem forskellige naturfaglige undersøgelsesmetoder, herunder eksperimentet. Det er dette som er modellen for undersøgelserne i materialeforløbet:

Eksperiment

I et eksperiment undersøger man sammenhængen mellem årsag og virkning, ofte ud fra hypoteseformuleringen: 'Jo ____ desto ____'. I et eksperiment ændrer man kun på én variabel samtidig med, at man holder alle andre variable konstante.

Mål

Målet med et eksperiment er at finde sammenhængen mellem årsag og virkning.

Eksempler

I naturfag anvendes eksperimentet eksempelvis, når eleverne skal undersøge, om antallet af elastikker, årsagen, afgør, om en elastik-bil kan køre langt, virkningen. Hvis hypotesen er 'Jo flere elastikker der er på bilen, desto længere kører den', vil arbejdet bestå dels i at: a) kun ændre på én variabel ad gangen (øge antallet af elastikker, årsagen), b) måle på virkningen (strækningen bilen kører), og c) holde alle øvrige variable konstante.

Styrker

Eksperimentets krav om kun at måtte ændre på én variabel gør, at man efterfølgende kan konkludere ret præcist om årsag/virknings-forholdet.

Svagheder

Reelt er det særdeles vanskeligt at udføre variabelkontrol i alle former for undersøgelser, for ofte påvirker forskellige variable hinanden. I eksperimenter er udfordringen særlig stor, da alle variable undtagen én skal holdes konstante.

Det er nærliggende at forveksle årsag/virkning-forhold med samvarians. Et eksempel på samvarians er: Jo flere brandmænd der er ved en ildebrand, desto større er ildebranden!

Variabelkontrollen¹

I klassens arbejde med et eksperiment vil meget af arbejdet og mange af erkendelserne ligge i 'variabelkontrollen'. Det er i klassens diskussion af variabelkontrollen, at selve eksperimentet designes og planlægges til mindste detalje, så klassen er sikker på, at det er den rigtige årsag-virkning, som undersøges.

² https://www.experimentarium.dk/wp-content/uploads/2017/06/metodekit_A4.pdf

³ <https://www.experimentarium.dk/undervisningsmateriale-mellemtrin/metodelab/>

I klassens diskussion af eksperimentets udfald vil det også være variabelkontrollen, som er til debat. Blev alle variable holdt konstante? Var det den rigtige variabel, vi målte på? Målte vi på den rigtige måde?

Hvis klassen ikke synes, at de har fået svar på hypotesen, kan det føre til, at eleverne ønsker at strukturere eksperimentet på en anden måde, med en anden variabelkontrol, eller måske en ny hypotese, hvor klassen undersøger et andet muligt årsag/virkningsforhold.

Når klassen gennemfører eksperimenter i undervisningen, bør det blive tydeligt, at klassens diskussion af eksperimentets resultater bliver til en diskussion af metoden, som blev brugt til at nå resultatet.

1.2 Lidt mere om variable

En variabel er en egenskab, der kan antage forskellige værdier, dvs. variere, og i undersøgelserne undersøger eleverne, om der er en sammenhæng mellem de variable. Fx, er der en sammenhæng mellem vægten af papir og papirets styrke? Her er de to variable vægten og styrken. Hvis det viser sig, at papirets styrke afhænger af vægten, kalder vi vægten for en uafhængig variabel og styrken den afhængige variabel⁴.

⁴ Læs mere om variable på s. 36 og 38-41 i Ind i Naturvidenskab Grundbog:
https://books.google.dk/books/about/Ind_i_Naturvidenskab_Grundbog.html?id=31rvywhrsREC&redir_esc=y

MODUL 2-4: UNDERSØGELSE AF STYRKE

1. BAGGRUND OM STYRKE OG MATERIALER

Et materiales styrke kan defineres som dets evne til at modstå (hårde) fysiske påvirkninger. Når vi påvirker materialerne med kræfter, der overstiger materialernes styrke, fx ved at strække dem, slå på dem eller lægge en stor vægt på dem (fx en lastbil der kører på en vej), vil materialerne enten permanent ændre form eller gå i stykker.

For materialeforskere og ingeniører er styrke dog ikke bare styrke. Der findes flere forskellige former, der måles og beskrives forskelligt:

- Den kraft der skal til for at ændre et materiales form, uden at materialet går i stykker, kaldes for materialets **flydestyrke**.
- Den kraft, der får et materiale til at gå i stykker, kaldes for dets **brudstyrke**.

Når man karakteriserer forskellige materialer med hensyn til deres styrke, ser man ofte både på flydestyrken og brudstyrken. Her kommer lidt om metaller, keramers og polymerers styrker.

Metaller

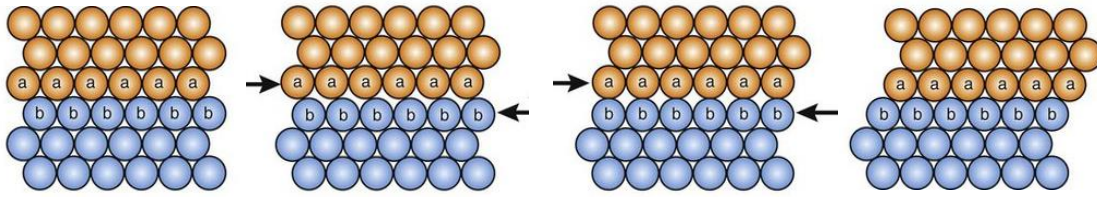
Ca. $\frac{1}{3}$ af grundstofferne i det periodiske system er *metaller* og det er svært at forstille sig en hverdag uden metal. Metaller er typisk karakteriseret ved at være skinnende (metalgans), relativt hårde og gode til at lede både varme og strøm. Metaller er krystaller, hvor atomerne holdes sammen ved hjælp af metalbindinger.

Metaller har typisk en lav flydestyrke, men en høj brudstyrke. Det er derfor, man kan lave buler i biler (metallet 'flyder'), uden at der går hul (brud) på metallet. Og at man efterfølgende kan få bulen rettet ud igen – stadig uden at der går hul på metallet.



En metalbradepande før og efter et slag med en hammer. Metallet er deformeret, men der er ikke gået hul. Det skyldes metals lave flydestyrke, men høje brudstyrke.

Metallernes høje brudstyrke skyldes, at atomerne i metallet sidder i en fleksibel og velordnet gitterstruktur. Når nogle af atomerne ved et slag eller et stød forskubbes og derved får brudt metalbindingerne til deres naboer, danner de lynhurtigt nye bindinger til deres nye naboer og genopretter derved gitterstrukturen:



Tværsnit af en metalgitterstruktur. Når man slår på metallet, brydes metalbindingerne mellem de røde (a) og blå atomer (b) og atomerne bevæger sig i forhold til hinanden. Lynhurtigt danner atomerne dog nye bindinger til deres nye naboer og genopretter derved gitterstrukturen.

Se en animation af atomernes bevægelse:

The Structure of Metal: <http://www.pbs.org/wgbh/nova/tech/structure-of-metal.html>



Making Stuff Stronger: <https://www.youtube.com/watch?v=FNkH8fIjWlQ> (10:00-10:15)

Animation af atomernes bevægelse i "Making Stuff Stronger" fra PBS Nova. (Engelsk tale).

(Hvis linket ikke virker, så søg på 'Making Stuff Stronger PBS Nova' på YouTube)



Car Crash Tests Exposed: Not Everyone Gets to Crash Cars Everyday

<https://www.youtube.com/watch?v=KuYS6mx5Pt8> (15:08-15:38)

Filmen demonstrerer, hvordan metal kan krølles fremfor blot straks at knække og det er netop den egenskab, man ønsker at udnytte, når man skal bygge sikre biler. Målet er, at mest mulig af bilens bevægelsesenergi bruges til at krølle metallet sammen, så bilen bremses, inden passagerkabinen rammer betonklodsen. (Engelsk tale).

Hvis belastningen bliver tilstrækkelig stor eller gentages mange gange nok, vil der til sidst dog blive så meget rod i gitterstrukturen, at metallet går i stykker. Når et metal går i stykker efter mange ganges mindre belastning kaldes det for metaltræthed. Det er det, der sker, hvis man bukker en metalbøjle eller metalclips frem og tilbage mange gange.

Keramer

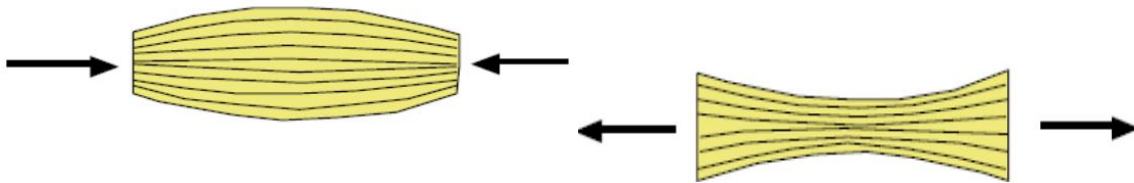
Keramer er en hovedgruppe af materialer, der består af uorganiske ikke-metalliske materialer som keramik, kridt, tegl, mursten, beton og glas. Keramer er også krystaller, men i disse materialer holdes atomerne primært sammen ved hjælp af ionbindinger og kovalente bindinger. De fleste keramiske materialer er dårlige til at lede varme og strøm, de er med andre ord gode isolatorer. Tænk fx på porcelæn i elektriske sikringer.

Keramer har i modsætning til metal praktisk taget ikke nogen evne til permanent at ændre form. Hvis vi slår på disse materialer eller taber dem på gulvet, så går de i stykker. Dvs. at de har lav flydestyrke og at brudstyrken er den eneste relevante styrke.



En porcelænsskål før og efter et slag med en hammer. Porcelænets smadres ved første slag. Det skyldes, at porcelæn ligesom andre keramer ikke kan ændre form. Materialet har lav flydestyrke.

Både flyde- og brudstyrke kan udtrykkes i flere former for styrke, bla. trykstyrke og trækstyrke. Som navnet antyder, så udtrykker trykstyrke, hvor stor en kraft man kan trykke på et materiale med, uden at det deformerer eller knækker. Trækstyrke udtrykker, med hvor stor en kraft et materiale kan tåle at blive trukket i, uden at det ændrer form eller gå i stykker.



Figur 3: Illustration af venstre) trykbelastning og højre) trækbelastning.

Trækstyrken hører sammen med sejheden og hårdheden til blandt de egenskaber, som er kendetegnende for metaller. Derimod opgiver man normalt ikke trækstyrke for skøre materialer som beton og glas, bla. fordi det er svært at afprøve, uden at der opstår brud.

Materialer med høj trykstyrke: Keramer, fx kridt og glas, støbejern, metaller, diamant.

Materialer med høj trækstyrke: Stål, titan, wolfram, kulfibre, edderkoppesilke, vectran, bor, silicium, kulstofnanorør.

I forhold til eleverne behøver de ikke nødvendigvis at få alle fagtermerne introduceret. Du kan blot forklare dem, at et materiales styrke også afhænger af retningen af den kraft, man påvirker med. Kridt og glas har fx en meget lav brudstyrke, dvs. det knækker let, hvis man trækker i det (trækstyrke). Derimod har det en meget høj trykstyrke, dvs. det kan tåle til at højt tryk.

Kridts høje trykstyrke skyldes, at det er meget porøst, dvs. fuldt af lufthuller, som det kræver meget stort tryk at trykke sammen. Dette kan illustreres ved at lægge et stykke kridt i vand og lade elever observere, at der pibler bobler op. Vær opmærksom på, at kridtet skal være ubehandlet. IKEAs 'MÅLA'-kridt er godt. Tavlekridt er derimod tit overfladebehandlet.

Polymerer

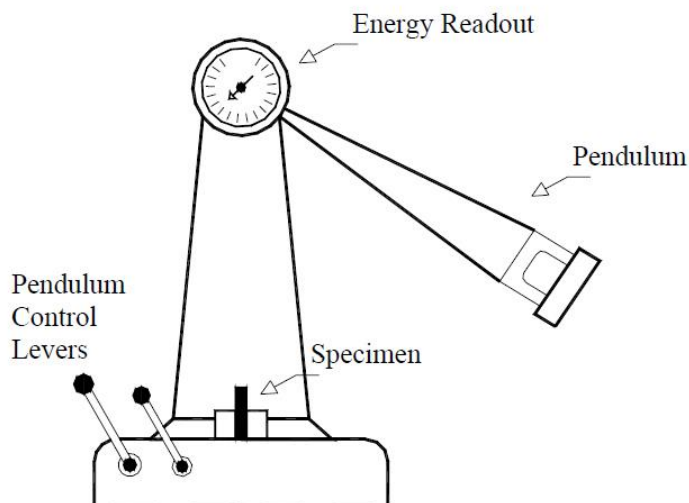
Den sidste gruppe materialer er *polymerer*, som er lange molekyllæder, hvor en eller få grupper af atomer gentages mange gange. Naturgummi, proteiner og DNA er eksempler på naturlige polyme-

rer. Syntetiske polymerer, fx polystyren, nylon og Gore-Tex®, fremstilles ud fra råolie og findes alle vegne i vores moderne samfund, bla. bruges de til plastik, maling, tekstiler og gummi.

Det er svært at sige noget generelt om polymerers egenskaber, da det er en gruppe materialer med meget stor variation. Typisk klassificeres polymerer dog som gode isolatorer.

2. TEST I INDUSTRIEN

I industrien tester man bla. materialers brudstyrke ved at lade et såkaldt pendul svinge ind i materialet. Når materialet går i stykker, aflæser man den vinkel, som pendulet når op på efter sammenstødet med materialet. Derved kan man beregne, hvor meget energi materialet absorberede ved sammenstødet. Dette bruges som et mål for dets styrke. 'Sketesten' i undersøgelsen af papirs styrke er en efterligning af denne test.



Impact Testing Machine.



Se demonstration her: <https://www.youtube.com/watch?v=tpGhqQvftAo> (fra 1:00)

Se lignende test af glas' brudstyrke her: https://www.youtube.com/watch?v=kB_u8hEs1ws

3. BAGGRUND OM PAPIR

Papir bruges til et utal af forskellige formål, lige fra køkkenrulle og skrivepapir til pengesedler og papirsposer. Derfor er der ligesom med andre materialer flere forskellige mål for papirs styrke. Man kan blandt andet undersøge, hvor stort tryk papiret kan holde til, før det går i stykker, man kan måle, hvor meget papiret taber i tykkelse, når man trykker på det (vigtig viden for trykkerier), og man kan måle, hvor mange gange et papir kan foldes, før det går i stykker.

Der er også flere måder, hvorpå man kan øge papirs styrke. Man kan selvfølgelig gøre papiret tykkere, men man kan også øge styrken ved at folde det, som i bølgepap eller ved at behandle det kemisk.

Flere forsøg med papir og styrke:

- Sammenlign brudstyrke af is, avis og is med avislag frosset ind i isen. Se vejledning her (engelsk):

- Vejledning: Forsøg med brudstykke af is
- Man kan også lave materialer (emballage) stærkere ved at folde det (fx bølgpap):
<http://www.skoven-i-skolen.dk/content/papir-b%C3%B8lgpap-og-styrke>

4. KILDER

- *Metaller*: http://www.denstoredanske.dk/It_teknik_og_naturvidenskab/Fysik/Elektrontransport_i_faste_stoffer/metal
- *Keramer*: <https://sv.wikipedia.org/wiki/Keram>
- *Trykstyrke*: <https://da.wikipedia.org/wiki/Trykstyrke>
- *Trækstyrke*: <https://da.wikipedia.org/wiki/Tr%C3%A6kstyrke>
- *Papir*: http://www.lasertryk.dk/content/dat/download/historien_om_trae_papir_tryk.pdf
- *Skudsikkert glas*: <http://illvid.dk/teknologi/materialer/hvordan-kan-glas-stoppe-et-projektil>
- *Kosmos (Gyldendal 2009). Grundbog A, side 102*: <https://goo.gl/fBI7MJ>
- *Bølgpap*: <http://www.skoven-i-skolen.dk/content/papir-b%C3%B8lgpap-og-styrke>

5. MERE VIDEN

- *Dokumentaren "Making Stuff Stronger" fra PBS Nova* er en fantastisk god og underholdende (lærer)kilde til viden om materialers styrke og tilhørende materialeforskning. Den er på engelsk, men med mange forklarende illustrationer og billeder. Du kan finde den her:
<https://www.youtube.com/watch?v=FNkH8fijWIQ>
(Hvis linket ikke virker, så søg på 'Making Stuff Stronger PBS Nova' på Youtube)
- *The World's Strongest Stuff*: <http://www.pbs.org/wgbh/nova/tech/strong-materials.html>
 Om nogle af de stærkeste materialer i verden.
- *Metal Fundamentals*: <http://www.pbs.org/wgbh/nova/tech/metal-fundamentals.html>
 Interview med ingeniør om metallerens egenskaber
- *The Structure of Metal*: <http://www.pbs.org/wgbh/nova/tech/structure-of-metal.html>

MODUL 2-4: UNDERSØGELSE AF OVERFLADERS HÅRDHED

1. BAGGRUND

I denne undersøgelse skal eleverne lære, at der er forskel på, hvor hårde forskellige materials overflader er. De skal også lære, at overfladens hårdhed har betydning for, hvad materialet kan bruges til, om det fx egner sig som bord eller kniv.

En overflades hårdhed kan bruges til at vurdere materialets slidstyrke og ridsbarhed, hvilket har stor betydning for holdbarheden af overfladebelægninger, fx lak og maling. Overfladens hårdhed har også stor betydning for materialer, der udsættes for store gnidninger, fx maskin- og motordele og knive i slagterier. Det er også vigtigt at have hårde overflader på borde i fødevareindustrien. Disse borde udsættes for stort slid, og hvis overfladen er for 'blød', slides bordet for hurtigt. Ridsede borde er desuden sværere at gøre rent og i fødevareindustrien, hvor der hersker store krav til hygiejne, er ridser et problem, da bakterier lettere kan sætte sig fast. Endelig vil vi selvfølgelig alle sammen gerne have glas, der er svært at ridse og slå i stykker, i vores ure, telefoner og bilruder.

Eleverne kan komme til at blande det sammen med styrke, altså hvor modstandsdygtigt *hele* materialet er mod at gå i stykker eller ændre form. Et materiale kan godt have en meget hård overflade, og samtidig være blødere nedeunder.

Et eksempel på forskellen mellem hele materialets styrke og overfladens hårdhed kunne være skærmen på en mobiltelefon. Dens styrke handler om, hvor holdbar hele skærmen er mod at knække eller knuses, mens overfladens hårdhed handler om, hvor let den bliver ridset eller får hakker.

Når det kommer til mobiltelefoners skærme er det faktisk en fordel, hvis overfladen er meget hård, men at hele skærmen er en smule bøjelig og elastisk. På den måde kan den bedre holde til stød og til at blive tabt, fordi den kan give sig lidt. Og samtidig kan telefonen ligge i lommen uden at blive ridset af nøgler og penge.

Den ridsefaste teske har fået en overfladebehandling udviklet af forskere på DTU, som gør det praktisk taget umuligt at ridse skeen. Teskeen er af rustfrit stål, som normalt faktisk er meget blødt og bliver slidt og ridset meget hurtigt. Med hærdeningen kan skeens levetid forlænges helt op til 10-100 gange fordi stålet bliver otte gange hårdere end det ubehandlede. Teknologien kan bruges til at hærde bestik, bordplader og komfurer, men mest af alt, er alt det rustfrie stål, der bruges i industrien, interessant, da delene her må udskiftes meget ofte. Det gælder fx knive på slagterier og andre skærende værktøjer og stålborde i fødevareindustrien. Læs mere om metoden her:

<https://ing.dk/artikel/dtu-firma-forst-med-overfladehaerde-rustfrit-stal-110306>

2. TEST I INDUSTRIEN

En af metoderne til at undersøge overfladers hårdhed er den såkaldte ridsetest. Ideen her er, at et hårdere materiale kan ridse et mindre hårdt.

Når man udfører en industriel ridsetest vil man typisk bruge en spids nål, lavet af diamant eller wolframcarbide (WC, materiale lavet af wolfram og carbon). Nålen trækkes hen over materialets overflade

de under konstant eller stigende belastning. Imens måler forskellige sensorer præcis, hvor stor belastningen og trykket er, når nålen bryder gennem overfladen samt ridsens længde og dybde. Ved hjælp af disse omhyggeligt kontrollerede undersøgelser, kan man sammenligne hårdheden af forskellige materials overflader og af forskellige belægninger.

Mineralers hårdhed måles også typisk ved en ridsetest og inddeles efter Mohs Hårdhedsskala. Du kan se skalaen nedenfor. Den viser nogle af de mest almindelige mineraler og hvilke genstande deres hårdhed kan sammenlignes med. En blød overflade som f.eks. talkum har en lav værdi på 1, mens en hård overflade som diamant har en høj værdi på 10 på Mohs' hårdhedsskala.

Mohs Hardness Scale			
	Mineral Name	Scale Number	Common Object
↑ Increasing Hardness	Diamond	10	
	Corundum	9	Masonry Drill Bit (8.5)
	Topaz	8	
	Quartz	7	Steel Nail (6.5)
	Orthoclase	6	
	Apatite	5	Knife/Glass Plate (5.5)
	Fluorite	4	
	Calcite	3	Copper Penny (3.5)
	Gypsum	2	
	Talc	1	Fingernail (2.5)

Kilde: National Park Service. <https://www.nps.gov/articles/mohs-hardness-scale.htm>

3. MERE VIDEN

- DTUs overfladebehandling: <https://ing.dk/artikel/dtu-firma-forst-med-overfladehaerde-rustfrit-stal-110306>
- Ridsetest: <http://taenk.dk/test/smartwatches/saadan-har-vi-testet-smartwatches>
- Læs også Kosmos (Gyldendal 2009), grundbog B, side 118.

4. KILDER

- "Overflader": <http://materialeplatform.emu.dk/materialer/bogkort/235894>
- <https://www.nps.gov/articles/mohs-hardness-scale.htm>

MODUL 2-4: UNDERSØGELSE AF VARMELEDNING

1. DEFINITION AF VARMELEDNING

Et materiales varmeledningsevne kan defineres som, hvor hurtigt det afgiver eller optager varme fra dets omgivelser.

Varmeledningsevnen siger altså blot noget om hastigheden af varmeudvekslingen, dvs. hvor hurtigt flytter varmen sig. Retningen af varmeudvekslingen afgøres af, hvilket materiale der er koldt/varmest. Varme bevæger sig altid fra varmt til koldt.

Hvis vi putter en isterning i vand, bevæger varmen sig fra vandet til isterningen. Når vi selv hopper i vandet (og det er koldere end vores kropstemperatur), bevæger varmen sig til vandet fra vores kroppe.

1.1 Materialers varmeledningsevne

Typisk er materialer med høj densitet bedre til at lede varme end materialer med lav densitet. Det skyldes at atomerne sidder tættere sammen i kompakte materialer, og energien derved lettere kan overføres fra atom til atom. Derfor er faste stoffer bedre varmeledere end væsker, og væsker er typisk bedre varmeledere end gasser.

Selv om både vand og luft generelt regnes for dårlige varmeledere i sammenligning med fx metaller, så er vand langt bedre end luft (ca. 30 x bedre), netop fordi det har højere densitet end luft. Dvs. at vandet afgiver sin varme hurtigere til et koldere materiale end luft gør. Det er netop dette, vi udnytter, når vi forsøger at fremskynde optøningen af mad, ved at lægge det i vand.

Fun fact: Varmeledende majs

Når vi laver popcorn udnytter vi faktisk forskellen i to materialers evne til at lede varme. Skallen på et majs-korn er en bedre varmeleder end kornets kerne og samtidig er skallen meget hårdere. Når vi varmer majs-kornene op, ledes varmen derfor ind til kernen. Pga. varmen udvider kernen sig og trykket bygges op indtil det er så højt at skallen springer og majs-kornet 'popper'.

1.2 Dårlige varmeledere er gode isolatorer

Materialer med lav densitet kan udover gasser også være faste, men meget porøse materialer. Jo mere porøst et materiale er, desto mere luft indeholder det. Og da luft er en gas og dermed en dårlig varmeleder, kan porøse materialer bruges som isolering. Fx Rockwool, der er glasuld fyldt med luft, og flamingo(kopper), som er skumplast fyldt med (98 %!) luft.

En dårlig varmeleder er altså omvendt en god isolator, et isolerende materiale der holder varmen enten ude (af huset, køleskabet, køletasken) eller inde (i koppen, huset).

Termokopper

Isoleringseffekten af luft udnyttes også i termoflasker og -kopper, der består af to lag faste materialer, fx metal eller plastik, med luft imellem og i termoruder, hvor to lag glas er adskilt af luft.

En termokop isolerer væsken i koppen fra dets omgivelser og kan dermed både holde væske kold eller varm. Koppen i materialekassen er desuden lavet af plast, som også har en ringe varmeledningsevne og derved bidrager til isoleringen.

1.3 Varmeledning forklaret

Frie elektroner

Som tidligere nævnt i afsnittet om styrke, er en af forskellene mellem metaller og keramer (keramik, kridt, tegl, mursten, beton og glas) deres atomare struktur. I et metal sidder atomerne ordnet i en gitterstruktur holdt sammen af tiltrækningen mellem de positive atomkerner og en negativ sky af elektroner, der frit kan bevæge sig rundt i metallet. De løse elektroner er både forklaringen på metallers gode elektriske ledeevne og også grunden til at metaller generelt er gode varmeledere.

Når eksempelvis vandmolekyler i varmt vand rammer siden i en metalkop, afsættes vandmolekylernes bevægelsesenergi til metallets frie elektroner. Elektronerne bevæger sig igennem metallet, og varmer det derved op. Til sidst afgives bevægelsesenergien på den anden side af metalkoppen til luften, der således også varmes op.

Atomerne i keramers gitterstruktur holdes primært sammen ved hjælp af ion- og covalente bindinger, der er kendetegnet ved, at elektronerne ikke kan bevæge sig frit rundt i materialet men holdes fast ved de enkelte atomer. Således har keramer som glas, porcelæn og keramik ingen frie elektroner, der kan transportere varmen gennem materialet.

1.4 Lærerdemonstration med smelteblokke

Forsøget med de to sorte smelteblokke illustrerer forskellen på et materiale med høj densitet (aluminium) og et porøst materiale med lav densitet (skumplast). Aluminium er en af de bedste varmeledere, der findes, mens plastik og luft er dårlige varmeledere. Derfor leder aluminium luftens varme hen til isterningen meget hurtigere end skumplasten og derfor smelter isterningen på aluminiumsblokken hurtigst.

I modsætning til isterningerne er vores hånd varmere end de to smelteblokke. Derfor vil varmen i begge tilfælde bevæge sig fra vores hænder og over i blokkene. Da aluminium er så god en varmeleder, vil varmeoverførslen ske meget hurtigt og dette opleves som kulde af vores følesans. Det er også grunden til, at det føles koldere at sidde på metalbænke end på bænke af træ.

Det kan godt være forvirrende, at noget føles koldere, men reelt ikke er det. Men hvis du har det sådan, er du langt fra alene. Her er en rigtig god demonstration af varmeledning og forsøget med de to smelteblokke:



Se " Misconceptions About Temperature" på videobloggen Veritasium:

<https://www.youtube.com/watch?v=vqDbMEdLiCs>

2. ELEVUNDERSØGELSE AF KOPPER

I elevundersøgelsen skal eleverne undersøge, hvor gode varmeledere forskellige kopper er. Hypotesen er, at jo tykkere koppers side, jo bedre er den til at holde på varmen, dvs. jo dårligere en varmeleder er koppen. Elevernes resultater vil afhænge af, hvilke typer kop-materialer de undersøger.

Men baseret på vores forsøg, så resultaterne sådan ud:

Varmeledningsevne vurderet ud fra koppernes sidetykkelse:

Materiale	Papkop	Engangs-plastikkop	Flamingokop	Plastikkrus	Porcelænskop
Sidetykkelse	0,15 mm	0,3 mm	1,4 mm	1,6 m	3,7 mm
Varmeleder	God		Middel		Dårlig

Varmeledningsevne vurderet ud fra koppernes varmeafgivelse bestemt ved følesansen:

Materiale	Papkop	Engangs-plastikkop	Porcelænskop	Plastikkrus	Flamingokop
Sidetykkelse	0,15 mm	0,3 mm	3,7 mm	1,6 m	1,4 mm
Varmeleder	God		Middel		Dårlig

Flamingo/Styropor består af 98-99 % luft og en lille smule plastik. Da luft er en meget dårlig varmeleder, slipper flamingokoppen kun langsomt varmen fra vandet igennem. Derfor er en flamingokop vældig god til at holde på varmen. Det er en dårlig varmeleder, men en god isolator.

Plastik og pap er begge dårlige varmeledere. Hvis koppersider bliver tynde nok, mister materialets varmeledningsevne dog sin betydning, og derfor bliver engangskopper ofte meget varme at holde på. Hvis papirkoppen derimod var lige så tyk som flamingokoppen ville de være nogenlunde lige gode til at holde på varmen.

Keramik og porcelæn kan både være gode og dårlige varmeledere afhængige af deres sammensætning, men kopperne bliver sm regel ret varme.

Metaller er generelt rigtigt gode varmeledere. Kobber er næsten 400 gange bedre til at lede varme end fx glas, mens jern er ca. 80 gange bedre.⁵

Andre materialer

Glas er en middelmådig varmeleder, ca. 10-30 gange bedre end luft, men langt ringere end de fleste metaller.

3. UDVIDELSE

Hvis I vil arbejde videre med varmeledning, kan du lave en konkurrence, hvor eleverne skal dyste om, hvem der kan forhindre en isterning i at smelte i længst tid. Giv dem en masse forskellige materialer til indpakning af isterningerne og lad dem fx også eksperimentere med at lave beholdere med dobbeltsider.

⁵ http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html

"Keep it cool"

Du kan også prøve denne øvelse, hvor eleverne skal udvikle en metode til at holde vand i en beholder koldt. Vejledningen er på engelsk, men ret ligetil:

<http://tryengineering.org/sites/default/files/lessons/keepitcool.pdf>

4. MERE VIDEN

- *Læs mere om varmeledning:* <http://fysikleksikon.nbi.ku.dk/v/varmeledning/>
- *Hvorfor leder nogle metaller varme bedre end andre?:*
<https://van.physics.illinois.edu/qa/listing.php?id=1823>
- *Termokoppens opfindelse:* <https://van.physics.illinois.edu/qa/listing.php?id=1823>
- *Læs om fem gymnasieelevers opfindelse af en kop, der køler kaffen ned til drikketemperatur og derefter holder varmen.*
<http://ing.dk/artikel/vinder-kop-nedkoler-skoldhed-kaffe-77978>
- *og om en lignende kop her:*
<http://ing.dk/artikel/tyske-ingeniorer-vil-redde-os-fra-kold-kaffe-102274>

5. KILDER

1. *Varmeledning:* <http://fysikleksikon.nbi.ku.dk/v/varmeledning/>
2. *Varmledningskoefficienter:* http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html
3. *Sammenligning af forskellige isolerende materialer:* <http://www.livestrong.com/article/345286-what-is-a-better-insulator-paper-glass-plastic-or-styrofoam/>
4. *Flamingo:* <https://en.wikipedia.org/wiki/Styrofoam>

MODUL 2-4: UNDERSØGELSE AF ABSORPTION

1. BAGGRUND

En af de vigtigste grunde til forskellene i materialers absorptionsevne skyldes materialernes forskellige densiteter, dvs. porøsiteten. Materialer med lav densitet har meget luft mellem molekylerne i materialet. Det er i disse lufthuller, at væsken kan absorberes. Når vandet trænger ind, fortrænges luften. I forsøget med kridt i vand, ses luften boble ud af kridtet.

Hvis et materiale har meget lav absorptionsevne overfor vand, siger vi, at det er vandafvisende eller hydrofobt ('vandbange'). Det gælder fx regntøj. Det betyder dog ikke nødvendigvis, at materialet ikke suger andre væske. Fx kan mange vandafvisende materialer suge organiske opløsningsmidler (acetone, terpentin m.fl.).

Andre faktorer af betydning for absorptionen er:

- Antallet og fordelingen af kanaler imellem porerne i materialet.
- Arealet af den del af et materiales overflade, som er i kontakt med vand.
- Materialets tykkelse.
- Mængden af fugt allerede tilstede i materialet (derfor tørrer man altid først materialer, der skal testes for deres absorptionsevne).
- Tiden, dvs. hvor længe materialet er i kontakt med vand.
- Vandtrykket (fx hvor kraftigt det regner, ofte er regntøj beskrevet ud fra, hvor højt et vandtryk det kan modstå).
- Overfladens kemiske sammensætning. Fx kan en voksagtig overflade virke vandafvisende, mens hydrogel i bleer (se længere nede) er negativ ladet i vandig opløsning. Det kan derfor danne hydrogenbindinger til vand.

Både lav og høj absorption kan være godt, det afhænger af, hvad materialet skal bruge til. Bleer og køkkenrulle skal helst have en høj absorptionsevne, mens de materialelag, der skal beskytte huse mod at suge fugt op fra jorden, helst skal have en lav absorptionsevne.

2. HYDROGEL

Bleer indeholder et materiale, der kaldes for hydrogel. Hydrogel i bleer er typisk lavet af natrium-polyacrylat, der kan absorbere mange gange dets egen vægt i vand. Det er udbredt i bleer, forbindinger og andre materialer, der helst skal være så tynde som muligt og samtidig have stor sugeevne.

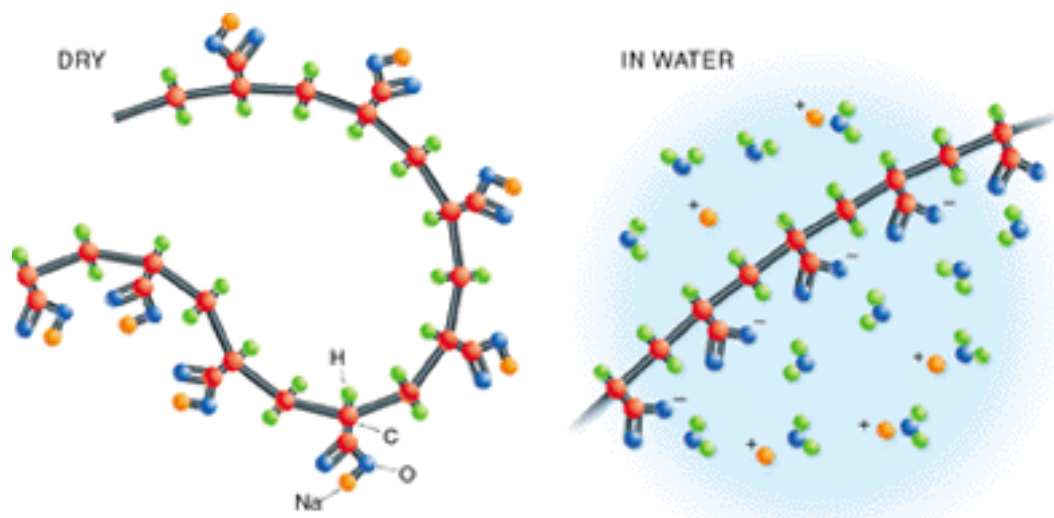
Se eksempler på produkter her:

<https://shop.onemed.dk/da/categories/21791/hydrogel>

Hydrogel bruges også i kontaktlinser, hvor de hjælper med at holde øjet fugtigt, i flydende sæber som fortykningsmiddel, i hårgel hvor de tilfører håret stivhed, når vandet fordamper, samt i landbrugs- og haveprodukter, hvor de holder på vandet omkring planterne.

Polyacrylat ($[-CH_2-CH(COO^-Na^+)]_n$) består af lange polymerkæder (kæder med gentagne enheder) med carboxylatgrupper hængende ud til siderne. Når materialet kommer i kontakt med vand, hopper

natriumatomerne af kæderne og i stedet dannes der hydrogenbindingerne mellem de negativt ladede carboxylatgrupper og vandmolekylernes positivt polære hydrogenatomer.



Tør hydrogel (venstre) består af lange polyacrylatkæder bundet til carboxylatgrupper (rød-blå-gul). Når materialet kommer i kontakt med vand (figur til højre), hopper natriumatomerne (gule) af kæderne og i stedet dannes der hydrogenbindingerne mellem de negativt ladede carboxylatgrupper og vandmolekylernes positivt polære hydrogenatomer (grønne).

Kilde: <http://disposablediaper.net/faqs/what-are-the-components-of-a-typical-disposable-diaper/>

2.1 Få vandet ud igen

Ved at tilsætte elektrisk ladede ioner – fx ved at drysse salt ned i den vandholdige hydrogel – kan man bryde hydrogenbindinger og derved frigive vandet igen fra hydrogelen.

Dette forsøg kan både laves på hydrogelen i bleerne og med hårgele, fx den billige lilla/grønne fra Netto.



Hårgele før (venstre) og efter (højre) tilsætning af salt.

3. FLERE EKSPERIMENTER MED HYDROGEL

Hvis du og dine elever vil arbejde videre med absorption og hydrogeler, er der mange muligheder:

- *Design din egen ble*
Du kan bygge videre på denne undersøgelse med et forløb, hvor eleverne designer deres egne bleer. For at designe en ble, skal eleverne eksempelvis undersøge, hvor meget babyer i forskellige aldre tisser, hvor store babyerne er, hvor meget vand hydrogel kan absorbere per gram osv.
- Deltag i et *globalt eksperiment om hydrogel* og sammenlign jeres resultater med skolers over hele verden.
<https://edu.rsc.org/resources/water-and-hydrogels/1703.article>
- samt *vejledninger, video og flere forsøg med hydrogel*:
<https://edu.rsc.org/resources/water-and-hydrogels/1703.article>
- *Lav eksperimenter med, om hydrogel kan bruges til at holde jorden fugtig omkring planter*. Prøv fx at dyrke planter med og uden hydrogel, eller at blande forskellige dele af jorden i fire potteplanter med hydrogel og undersøg planternes vækst/jordens fugtighed. Læs mere her:
<http://www.amnh.org/learn-teach/young-naturalist-awards/winning-essays2/2009-winning-essays/superabsorbant-hydrogels-a-study-of-the-most-effective-application-of-cross-linked-polyacrylamide-polymers>
- *Tricks med hydrogel*:
<http://www.stevespanglerscience.com/lab/experiments/water-gel-tricks-and-pranks/>

4. MERE VIDEN

- Engelsk, rigtig *god artikel om hydrogel og dets anvendelser* her:
https://www.stem.org.uk/system/files/elibrary-resources/legacy_files_migrated/8567-catalyst_18_1_335.pdf
- *Viden, eksperimenter og salg af hydrogel*:
<http://www.stevespanglerscience.com/lab/experiments/baby-diaper-secret-vanishing-water/>
- *Køb hydrogel*:
<http://www.stevespanglerscience.com/store/water-gel-magic-slush-powder.html>
<http://www.confetti-world.com/shop/super-snow-100g-1061p.html>

5. KILDER

- *Absorption*: <https://goo.gl/5skBnO>
- *Hydrogel*: <http://www.nationalstemcentre.org.uk/elibrary/resource/5057/novel-materials-and-smart-applications> (Novel Materials and Smart Applications)
- *Hydrogel*: <https://en.wikipedia.org/wiki/Gel#Hydrogels>
- *Superabsorberende polymer*: https://en.wikipedia.org/wiki/Superabsorbent_polymer

MODUL 2-4: UNDERSØGELSE AF VISKOSITET

1. BAGGRUND

Viskositet er et udtryk for væskers modstand mod at flytte sig, mod at flyde. Man kan også beskrive det, som væskens træghed eller sejhed. Væskens modstand skyldes de intermolekylære kræfter imellem molekylerne i en væske (eller en gas). Jo stærkere kræfter, jo større gnidningsmodstand er der mellem molekylerne i væsken, fx vandmolekyler eller fedtmolekyler, når de skal bevæge sig forbi hinanden. Man kan sammenligne det med at prøve at kure henover et gulv. Jo større gnidningsmodstand der er mellem gulvet og dine sko, jo kortere kan du glide.



Se animation af to væskers viskositet [her](#)

En væskes viskositet afhænger af temperaturen. Tænk bare på honning, som bliver mere flydende, når du varmer det op. Omvendt stiger de fleste væskers viskositet, når de køles ned. Det er derfor, det er vigtigt at kende årstiden og temperaturen, når man vælger motorolie til sin bil. Hvis du køber motorolie til brug i Danmark og derefter kører på vinterferie højt oppe i de norske fjelde, risikerer du at motorolien stivner (viskositeten stiger) pga. den lavere temperatur.

Se et spektrum over viskositeter af forskellige velkendte væsker:

http://www.nature.com/nprot/journal/v6/n7/fig_tab/nprot.2011.337_F2.html

1.1 Hvorfor er viskositet vigtig?

Reologi er videnskaben om væsker og deres egenskaber. Væskers egenskaber har betydning indenfor en lang række områder. Fx er det vigtig for fabrikanter af eksempelvis juice, maling, sovs og cremer at kende deres væskes viskositet, når de skal designe de rør og pumper, der skal pumpe væskerne gennem rør og ned i kartoner, malerbøtter, glas og flasker.

De samme væskers viskositet er også vigtig for at kunne lave de bedste produkter. Fx skal juicen ikke være for tyk og cremen omvendt ikke for flydende. Vores shampoo skal helst ikke flyde for hurtigt ud af flasken, det skal ikke tage for lang tid at smøre håndcremen ind i huden og tandpastaen skal ikke flyde af børsten.

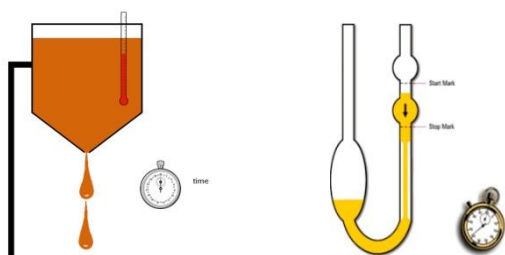
Viskositet har også stor betydning for vores smagsoplevelse. Forestil dig, at din juice var tyk som mayonnaise eller at sovsen var tynd som vand. Smagen ville være den samme, men din oplevelse ville være anderledes.

Måske kender du også til betydningen af viskositet for blodet og dermed kroppen. Hvis vores blod bliver for tykt, risikerer vi at få for højt blodtryk og blodpropper. Omvendt, hvis blodet er for 'tyndt', har for lav viskositet, risikerer vi at få inder blødninger.

Endelig er viskositet også vigtig for vulkanforskere, når de skal forudsige et vulkanudbrud. Jo mere flydende magmaen er, dvs. jo lavere viskositet, desto mere sandsynligt er det, at vulkanen går i udbrud. Omvendt, jo højere viskositet af lavaen, desto mere eksplosivt bliver udbruddet.

1.2 Hvordan tester man en væskes viskositet?

Der er mange metoder til at undersøge en væskes viskositet på. Man kan bla. undersøge, hvor hurtigt væsken løber igennem et hul eller et rør eller hvor hurtigt en kugle falder igennem en væske. Jo hurtigere kuglen falder, jo lavere er væskens viskositet, dvs. dets modstand mod at flytte sig. Metoden med den faldende kugle er blevet brugt af skibe til at monitorere kvaliteten af motorens brændstof.



To metoder til at teste viskositet. Man kan måle, hvor hurtigt en væske løber igennem et hul eller et rør med en 'udposning'.

Læs om en ny metode til at måle viskositet fra DTU. Opfindelsen kan spare virksomheder omkring en mio. kr. om året ved at installere et enkelt apparat: <http://goo.gl/BmrKOy>



Se et eksempel på sammenligning af viskositeter med 'kugletesten':

<https://www.youtube.com/watch?v=r06S127HM40>

2. MERE VIDEN

- *Fysikbasen*: <http://www.fysikbasen.dk/Referencemateriale/ref-Viskositet.htm>
- *Om viskositet og værdien af forskellige væskers viskositet*: <https://en.wikipedia.org/wiki/Viscosity>
- Læs mere og find ideer til aktiviteter om væsker og viskositet i hæftet 'Go with the flow': <http://goo.gl/k3RQX7>

3. KILDER

- <http://www.machinerylubrication.com/Read/294/absolute-kinematic-viscosity>
- <http://www.cscscientific.com/viscosity>
- <http://www.cscscientific.com/csc-scientific-blog/bid/95124/Can-You-Define-Viscosity-Without-Feeling-Thick>
- <http://www.cscscientific.com/csc-scientific-blog/bid/101944/Viscosity-Basics-For-Those-of-Us-Who-Aren-t-Scientists>
- <https://www.allpumps.com.au/blog/2015/12/21/fluid-viscosity-affects-pump-selection/>
- <http://galileo.phys.virginia.edu/classes/152.mf1i.spring02/Viscosity.htm>

- http://www.nature.com/nprot/journal/v6/n7/fig_tab/nprot.2011.337_F2.html

MODUL 5: BLANDINGSMATERIALER

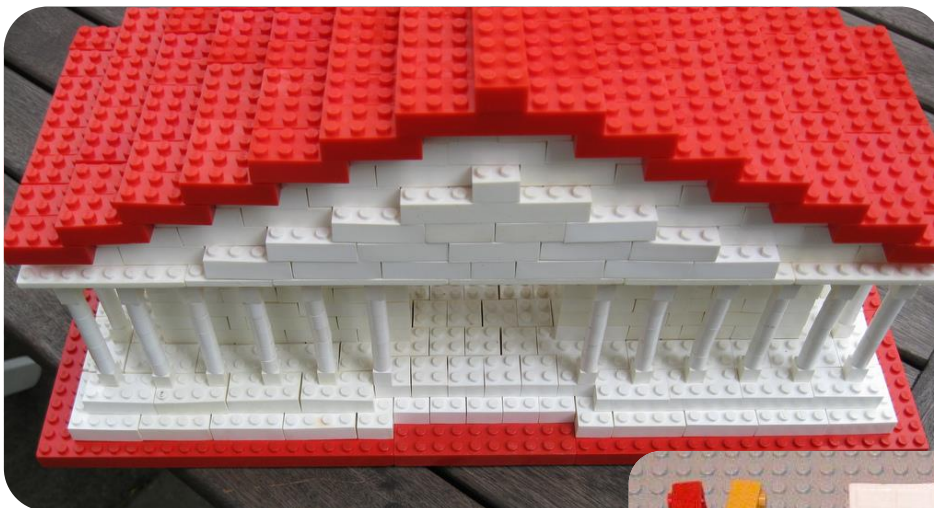
1. BAGGRUND OM LEGO-KLODSER®

Fra 1949-1963 blev **LEGO-klodser**® lavet af cellulose-acetat (CA), et materiale der kom fra cellulose i træer. En vigtig egenskab for legoklodser er, at de skal være elastiske. Klodserne skal kunne give sig, når man sætter dem sammen, for så bagefter at vende tilbage til deres oprindelige form. Klodser lavet af CA mister efter nogen tid deres elasticitet og bliver i stedet skæve og forvredne og svære at sætte sammen.

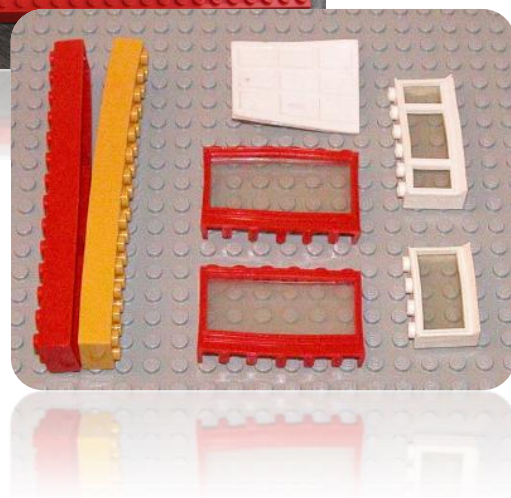
I 1950'erne kom en ny type plastik på markedet, nemlig ABS (Acrylonitrile-Butadiene-Styrene), der havde præcis de egenskaber, som LEGO var ude efter til deres klodser:

ABS er en blanding af tre materialer, nemlig poly(acrylonitril) (PAN) og polystyren (PS), der begge er stive og stærke materialer, polybutadiene (PBD), som er en type gummi og dermed elastisk.

Så i 1963 droppede LEGO cellulose-acetat (CA) og begyndte i stedet at lave LEGO-klodser® af ABS. Ved at bruge blandingsmaterialet ABS fik LEGO løst problemet med forvredne klodser.



På billedet herover kan man se, hvordan de hvide klodser i templet er blevet forvredne. Det samme gælder klodser og vinduer på billedet ved siden af.



1.1. I øvrigt: Hedder det plast, plastik eller plastic?

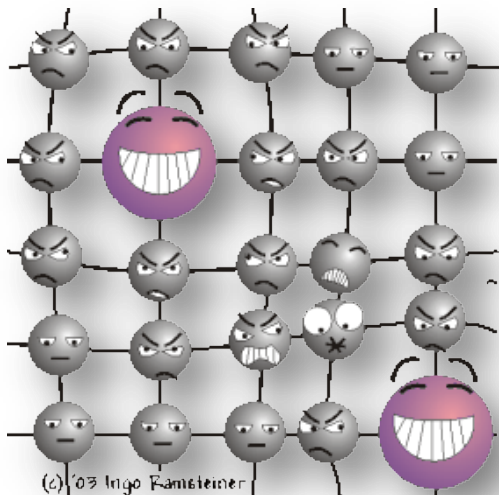
Både plast, plastic og plastik er godkendte stavemåder for det samme materiale: Et syntetisk materiale, som under forarbejdning kan blive plastisk, så det kan formes, og som kemisk er opbygget af meget store organiske molekyler (polymerer).

Plast er det oprindelige danske ord for materialet og den tekniske og faglige mest korrekte betegnelse. Ordene plastik og plastic er i virkeligheden engelske låneord. Almindelige forbrugere i dag bruger dog de engelske ord langt mere end det oprindelige danske ord plast.

2. METALLEGERINGER

Metalblandinger kaldes også for legeringer og man kan designe metallegeringer til at have bestemte smeltepunkter. Blandt andet kan man sænke de fleste metaller smeltepunkt ved at blande dem med bismut. Når metaller blandes, svarer det lidt til at sætte forskellig størrelse perler i en perleplade. Hvis man sætter en meget større perle ned mellem de mindre perler, bliver det svært at få plads til perlerne ved siden af den store perle og perlemønstret bliver uens og ustabil.

På samme måde består legeringer med lave smeltepunkter af metaller, der ikke så godt kan finde ud af at sidde i det samme metalgitter. Atomernes bindinger til hinanden bliver svagere. Dermed bliver hele metalgitteret svagt og der skal ikke særlig meget energi til at bryde bindingerne og dermed smelte metallet.



Når man blander forskellige metaller, vil deres atomer ikke nødvendigvis passe sammen i metalgitteret. Blandt andet fordi nogle grundstoffers atomer er større end andre.

Billedkilde:

<https://www.ingo-ramsteiner.de/research/diffuse-x-ray-scattering/>

3. UDVIDELSER

- Prøv at lave jeres egen plastik fra mælk: https://www.energi.case.dtu.dk/english/-/media/subsites/energi_paa_lager/energi-paa-lager-english/mere-information/download/case_eksperimenthaefte_m_omslag_lav_110511_.pdf
- Hvis du underviser i udskolingen, kan du finde ideer til videre forløb om plast på Plastindustriens hjemmeside her: <https://plast.dk/for-undervisere/>

- Og i nr. 34 af det europæiske skoleblad [Science in School](#) kan du finde artikler og ideer til undervisning om mikroplastik
- [I dette dokument](#) kan du finde viden om metaller og legeringer og ideer til undervisningsaktiviteter (på engelsk)

4. MERE VIDEN

- *Viden om plast:* <http://plast.dk/temaer/>
- *Se video med Fields metal:* <https://www.youtube.com/watch?v=I2YIj71iigo>
- *Læs mere om Fields metal:*
<https://edu.rsc.org/exhibition-chemistry/magic-metal/2020061.article>

5. KILDER

- *CA:* https://en.wikipedia.org/wiki/Cellulose_acetate#Cellulose_acetate_film
- *ABS:* <https://plasticseurope.org/plastics-explained/a-large-family/thermoplastics/>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Acrylonitrile_butadiene_styrene
- *Polystyren:* <http://pslc.ws/macrog/kidsmac/polysty.htm>
- *Vrid i LEGO-klodser®:*
<http://www.eurobricks.com/forum/index.php?showtopic=82510>
http://lego.wikia.com/wiki/Acrylonitrile_Butadiene_Styrene
- *'Pop-up timer':* <http://invention.si.edu/innovating-avoid-turkey-trauma>
<http://home.howstuffworks.com/pop-up-timer.htm>
http://www.huffingtonpost.com/2011/11/17/turkey-timers-temperature_n_1099467.html
<https://abc7.com/thanksgiving-meal-turkey-cooking-thermometers-tips/412780/>
- *Læs mere om Fields metal:* <http://sci-toys.com/scitoys/scitoys/thermo/thermo4.html>

MODUL 6: SMARTE MATERIALER

1. BAGGRUND

Betegnelsen smarte materialer er ikke nogen videnskabelig definition, men dækker over en bred vifte af materialer med mange forskellige egenskaber, fremstillet på forskellig vis og med forskellige videnskabelige forklaringer på egenskaberne.

Fælles for de såkaldte smarte materialer er imidlertid, at de typisk er udviklet af materialeforskere og ingeniører til helt specifikke formål og at materialerne har egenskaber, som man ikke normalt ser hos materialer – eksempelvis at de skifter farve, når man varmer dem op eller lyser på dem med ultraviolet lys. Smarte materialer kaldes også tit for intelligente materialer.

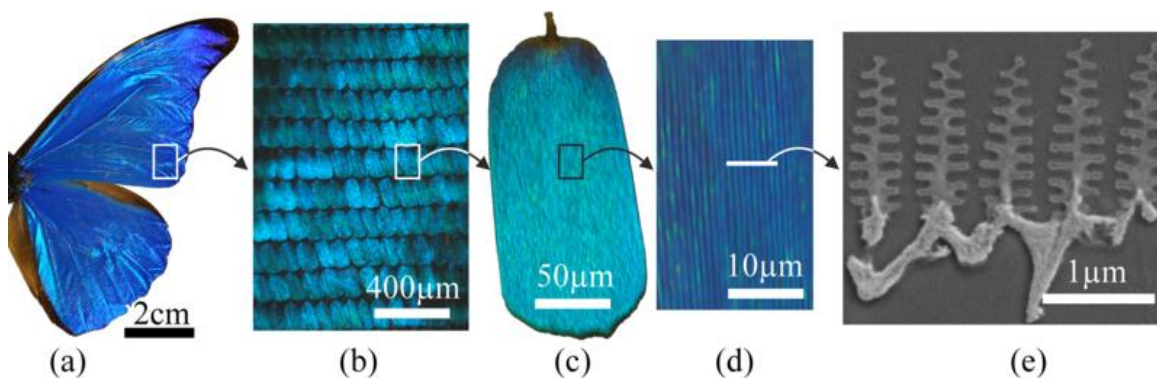
På de følgende sider kan du læse mere om de forskellige smarte materialer, som eleverne bliver introduceret for. Du finder bla. uddybende forklaringer på materialernes egenskaber samt eksempler på anvendelser.

2. SMARTE MATERIALER

2.1 Strukturelle farver hos sommerfugle og plastik

Sommerfugle er dyr, som er kendt for at have mange flotte farver. De gule, orange, røde, sorte og brune farver stammer fra pigmenter, der selektivt absorberer og reflekterer bestemte bølgelængder af synligt lys⁶.

Der er dog ingen pigmenter, der kan producere de farvestrålende blå, violette og grønne farver, som nogle sommerfuglearter har. Disse farver er derimod lavet vha. af skæl på vingerne, placeret i rækker ligesom tagsten på et tag. Da farverne fremkommer vha. strukturer på vingerne fremfor pigmenter, kalder vi dem for strukturelle farver.



Morpho didius sommerfuglevinge set i forskellige forstørrelser. b) viser skællene og ved yderligere forstørrelse ses e) at skællene består af endnu mindre ribbe-strukturer. Kilde:

<http://www.asknature.org/strategy/1d00d97a206855365c038d57832ebafa>

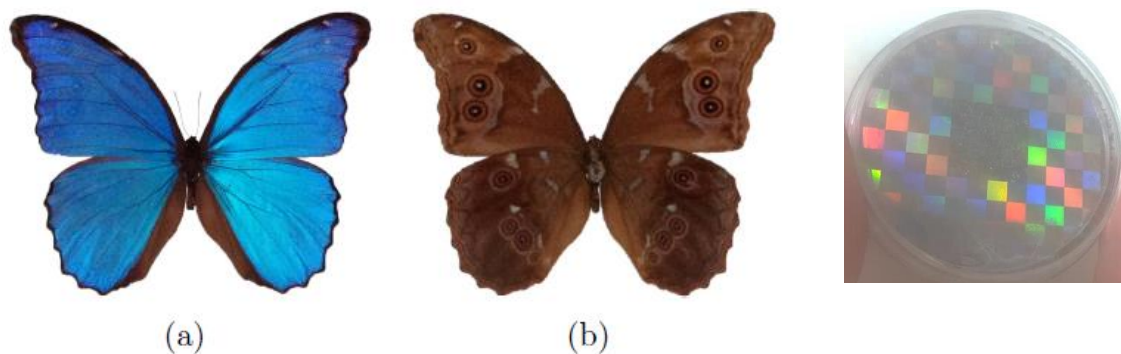
⁶ Synligt lys indeholder alle de farver, som vi kender fra regnbuer. Lys er bølger og de forskellige farver i lyset skyldes lysbølger med forskellige længder. Lilla lys har den korteste bølgelængde og rød den længste. Læs mere om synligt lys og dets farver her: <http://fysikleksikon.nbi.ku.dk/s/spektre/>

Et eksempel på en sommerfugl med strukturelle farver er arten *Morpho didius*, som findes i Sydamerika (og i insektboksen fra materialekassen). *Morpho didius* har farvestrålende blå farver med metallisk skær. Farven skyldes hovedsageligt en kombination af forskellige lysfænomener, der opstår, når lyset rammer skællene på vingerne. Disse fænomener forstærker den blå farve i lyset og fjerner de andre farver.

Plastklodser med strukturelle farver

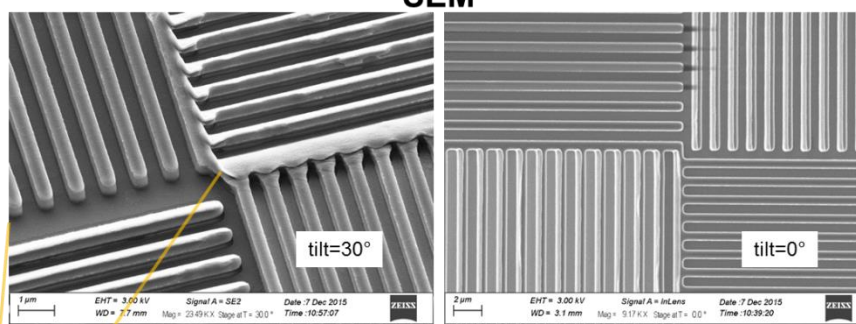
Det danske firma NIL Technology (<http://www.nilt.com/>) og Institut for Nanoteknologi på DTU arbejder sammen med LEGO om at udvikle plastoverflader med bittesmå strukturer, der efterligner *Morpho*-sommerfuglens vinger. Ved at variere mønstret og afstanden imellem de små strukturer på klodsen, kan man lave mange forskellige farver.

Med strukturelle farver vil det være muligt at fremstille plast ud fra færre materialer. Det vil også gøre det lettere at genbruge plasten. I dag kan farvet plast kun genbruges til den samme farve klodser. Med den nye teknik vil plasten kunne genbruges til en hvilken som helst farve klodser.



Figur 1: *Morpho didius* sommerfuglen set fra (a) oversiden og (b) undersiden. (c) Eksempel på kunstigt fremstillede nanostrukturer der reflekterer forskellige farver.

SEM



Til venstre et billede af en nanoklods med strukturelle farver. Øverst: Farverne dannes af gitterstrukturer med ned til 700 nanometer (0,0000007 meter) afstand imellem ribberne, Desuden er de enkelte gitre, roteret i forhold til hinanden. Gitrenes forskellige farver varierer både med afstanden imellem ribberne og afhængigt af vinklen, man betragter dem fra. De to øverste billeder er lavet med elektronmikroskoper, der i stedet for lys fungerer ved hjælp af elektroner.

Reflekterende film

Et andet eksempel på efterligning af Morpho sommerfuglen er de to stykker reflekterende film. Disse film består af skiftende lag af polyester og akryl med mikroskopiske strukturer, der giver filmen forskellige farver afhængig af vinklen, man betragter den fra.

2.2 Smarte materialer fra elevundersøgelse

Babyske

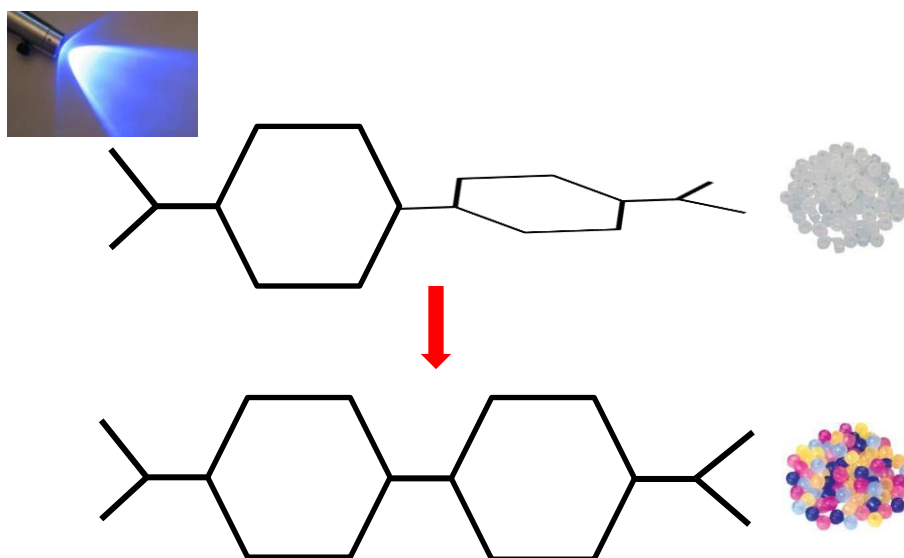
Babyskeen er lavet af en temperaturfølsom polymer. Dvs. lange kæder af molekyler, der ligger ordnet i en bestemt struktur. Når lys rammer strukturen, reflekteres nogle af lysets farver, mens andre absorberes. Det er farven af det reflekterede lys, der giver skeen dens farve.

Når skeen varmes op, ordner polymererne sig i en ny struktur og dermed ændres refleksionen af lyset og derved også skeens farve. Skeen skifter farve, når temperaturen når over ca. 43 °C.

Anvendelser: Varmefølsomt, farveskiftende plast anvendes bla. i sensorer og til at vise batteriers restlevetid.

Armbånd med UV-perler

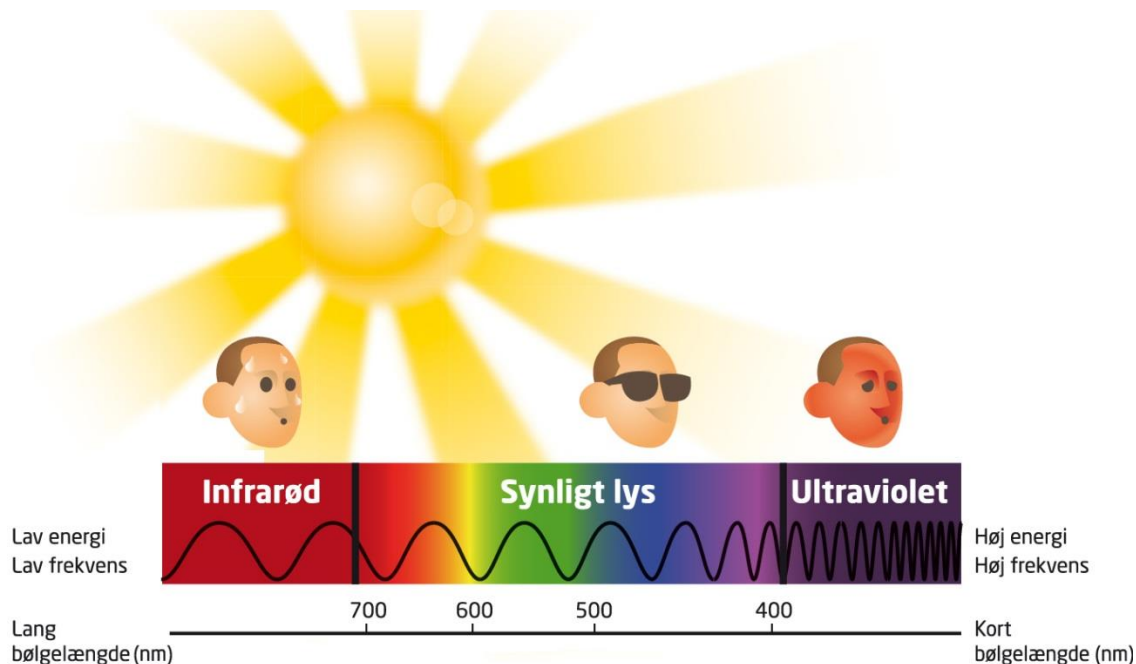
Det farveskiftende armbånd er lavet af plastperler, der er følsomme overfor ultraviolet lys (UV-lys). Perlerne indeholder såkaldt fotokromatiske farvestoffer (*foto* = lys, *kromatisk* = farveskift), der er følsomme overfor UV-lys. Når farvemolekylerne rammes af lyset, ændrer de form og reflekterer derved lyset anderledes. Det observerer vi som ændret farve af perlerne.



Billedet viser et fotokromatisk molekyle. I den farveløse version af perlerne, ligger de to dele af molekylet vinkelret på hinanden. Begge dele af molekylet er for små til at absorbere synligt lys og reflekter derfor alt lyset. Dvs. at perlerne er farveløse. Når molekylet bliver ramt af UV-stråling, ændrer de to dele deres position, så hele molekylet bliver lineært. Det lineære molekyle reflekterer det synlige lys anderledes, absorberer nogle bølgelængder og reflekterer andre. Størrelsen af molekylet afgør, hvilket bølgelængder lys, der reflekteres og dermed perlernes farve.

Ultraviolet lys findes i sollys og er det, der gør os solbrune (eller skoldede). UV-lys er usynligt, men indeholder mere energi end det synlige lys. På nogle fodboldskoler og sommerkolonier får børnene armbånd med UV-perler på. Når perlerne skifter farve, skal børnene tage solcreme på.

Under almindeligt lommelygte- eller lampelys forbliver perlernes farve uændret, da lampelys ikke indeholder ultraviolet lys. Hvis eleverne undersøger perlerne i vintermånederne eller i meget tungt gråvejr vil det også være svært at se perlerne skifte farve, fordi mængden af UV-lys er meget lav. UV-perlerne vender tilbage til deres oprindelige farve, når de tages ud af UV-lyset. Perlerne kan skifte farve igen og igen, effekten bliver ikke brugt op.



Solens stråler kan beskrives som bølger. Ligesom havets bølger kan solstrålerne bølger være korte eller lange. De længste bølger indeholder den laveste energi og kaldes for infrarød stråling eller varmestråling. De korteste bølger har den højeste energi og er det, vi kender som ultraviolet stråling. Varmestråling varmer og ultraviolet stråling giver huden farve. Det synlige lys giver tingene omkring os deres mangfoldige farver.

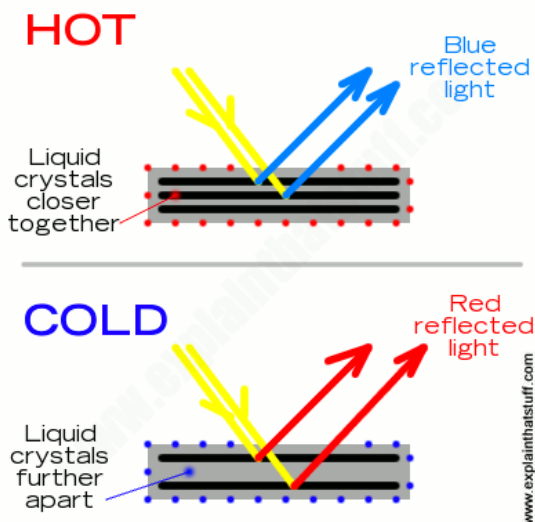
Anvendelser: UV-følsomt plast bruges også i emballage til kosmetik, sikkerhedsblæk, covers til mobiltelefoner, skiudstyr og til optiske kontakter, der aktiveres af UV-strålingen.

Krystalark

Krystalarket kaldes også for termokromatisk film, hvor *termo* angiver, at filmen er følsom overfor temperatur og *kromatisk* betyder, at filmen reagerer på temperaturen ved at skifte farve. Forskellige ark har forskellige temperaturintervaller, hvor de skifter farve. Det krystalark, som eleverne undersøger skifter fra sort til rød ved 25 °C. I takt med at temperaturen stiger yderligere, kan alle farverne i det synlige lys observeres efter tur (orange, gul, grøn, blå, violet), indtil arket igen bliver sort ved 30 °C. Når arket køles ses farveskiftet i omvendt rækkefølge.

Temperaturfølsomme krystalark består af et tyndt lag af flydende krystaller, der er blevet trykt på en sort baggrund. Flydende krystaller er organiske stoffer med spiralformede molekyllære strukturer (a

la DNA-streng), der udvider eller trækker sig sammen med stigende eller faldende temperatur, ikke ulig en fjeder. Når afstanden mellem de enkelte krystaller ændrer sig, ændres også farven af det lys, der reflekteres fra krystallerne.



Når temperaturen stiger, rykker krystallerne tættere på hinanden. I eksemplet på billedet til venstre, betyder det, at det blå lys reflekteres.

Når temperaturen falder rykker krystallerne længere fra hinanden og dermed reflekteres det røde lys. Kilde: <http://www.explainthatstuff.com/thermochromic-materials.html>

Anvendelser: Pande- og babytermometre, akvarie- og pooltermometre, batteri-testere, reklameklistermærker.

Temperaturfølsomt papir

Temperaturfølsomt papir er blevet farvet med termokromatiske farvestoffer (*termo* = temperatur, *kromatisk* = farveskift), der er følsomme overfor varme. Når farvemolekylerne varmes op af f.eks. hånden, ændrer de form og reflekterer derved lyset anderledes. Papiret i materialekassen er trykt med blæk, der har farve ved lave temperaturer og bliver farveløst, når temperaturen stiger til over 31 °C.



Anvendelser: Temperaturfølsomt papir er mange af os i kontakt med næsten dagligt, da det bruges til at printe kvitteringer i butikkerne, på tankstationer osv. Her er farveskiftet fra hvid til sort og desuden varigt i modsætning til papiret fra materialekassen. Bortset fra, at printet fader over tid, hvilket du sikkert kender til, hvis du er en af dem, der gennem dine boner i de to års garantitid. Temperaturfølsomt papir bruges også i billige faxmaskiner.

Hukommelsesmetal

Mange metaller har flere forskellige krystalstrukturer, som deres atomer kan være arrangeret i. Det specielle for hukommelsesmetaller er, at de kan skifte frem og tilbage mellem de forskellige krystalstrukturer afhængigt af temperaturen.

Et populært hukommelsesmetal består af en legering af ca. lige store mængder nikkel og titanium. Nitinol får sin hukommelse, hvis det varmes op til mellem 400 og 600 grader, mens man fastholder det i en bestemt form, fx en papirklips.

Når materialet igen afkøles, opstår der indre spændinger, og Nitinol overgår til en krystalstruktur, som kaldes martensitfasen. De indre spændinger giver såkaldte spejlede krystalstrukturer. Når man

bagefter omformer metallet, fx folder papirklipsen ud, opløses de spejlede krystalstrukturer. I det øjeblik temperaturen hæves, vender de spejlede krystalstrukturer tilbage og giver metallet sin oprindelige form.

Populært sagt, kan man sige, at hukommelsesmetaller har to strukturer, som deres metalkrystaller kan være i. Ved en temperatur højere end en given overgangstemperatur vil metallet vælge den ene struktur og ved temperaturer lavere end overgangstemperaturen den anden struktur. Mens metallet er varmt, kan vi forme det, fx som en papirklips. Derefter køler vi metallet ned og indeni skifter krystalstrukturen til den "kolde" krystalstruktur. Metallet husker dog sin klipseform, så i det øjeblik vi varmer metallet op til dets overgangstemperatur, vil det straks forme sig som en papirklips.



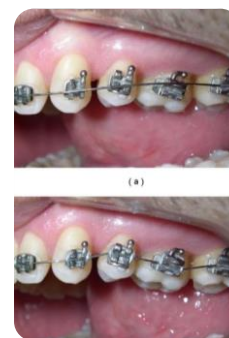
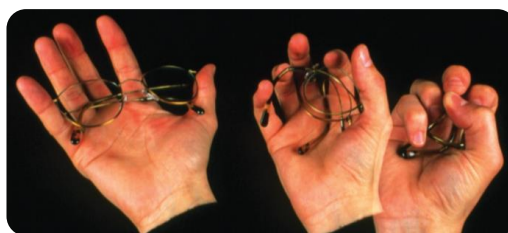
Se et hukommelsesmetal demonstreret ved Børnernes Universitet 2014:
<https://www.youtube.com/watch?v=zpiKkPube-Y>



Og her et klip fra videnskabsdokumentaren 'Making Stuff Smarter':
<http://www.pbslearningmedia.org/resource/nvms.sci.materials.smarterdemo/shape-shifters-shape-memory-alloys-and-polymers/>
(Hvis linket ikke virker, så søg på 'Making Stuff Smarter PBS NOVA' på YouTube og se ca. 38:25-39:50)

Anvendelser: Et af problemerne med at udbrede brugen af hukommelsesmetaller er, at de oplever metaltræthed for hurtigt, dvs. knækker. Et eksempel på metaltræthed kan opleves ved at bøje og strække en papirklips. Ret hurtigt knækker den. Hukommelsesmetaller har en meget længere levetid, men for alvor at kunne bruges, skal de kunne holde til millionvis af deformationer uden at knække.

Ikke desto mindre har hukommelsesmetaller allerede en hel del anvendelser: Termostater, nogle elkedler, brillestel, hjertestent, tandbøjler, tekstiler.



Stent: En stent er et lille metalnet, der bruges til udvidelse af især kranspulsårerne omkring hjertet efter en blodprop. Tidligere har det mest været gjort ved de såkaldte ballonudvidelser, men efterhånden har stents af hukommelsesmetal taget over.

Hukommelsesmetallet er formet som et lille hønset og programmeret til at være helt udvidet ved en overgangstemperatur på 37 °C, dvs. kropstemperatur. Inden operationen trykkes nettet helt fladt og føres gennem en blodårer op til det sted ved hjertet, hvor kranspulsåren er lukket til. Her vil stenten efterhånden nå kropstemperatur, udvide sig til sin åbne form og derved åbne op for blodgennemstrømningen i åren.

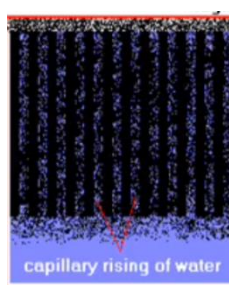
Tandbøjler: Metaltråden i en tandbøjle skal kunne genvinde sin oprindelige form, når den bøjes eller deformeres. Kraften som trækker tråden tilbage i form er også den kraft, der får tænderne til at rykke sig. I mange år har man brugt rustfrit stål i bøjler, netop fordi det ikke ruste og desuden er meget stærkt. Det er dog ikke særligt elastisk, så hvis man trækker det for meget ud af form, som når bøjlen skal tilpasses et meget skævt tandsæt, vil tråden ikke kunne vende tilbage til sin oprindelige form.

Det kan hukommelsesmetaller til gengæld. Disse metaller består typisk af nikkel og titanium (Ni-Ti) og især en variant har nogle forunderlige egenskaber: Varmefølsomt Ni-Ti kan trækkes ud af form og holde den nye form ved stuetemperatur, men så snart tråden bliver sat ind i bøjlen i munden og varmet op til kropstemperatur, vil det vende tilbage til sin oprindelige form og trække tænderne med sig til en ny og mere lige stilling.

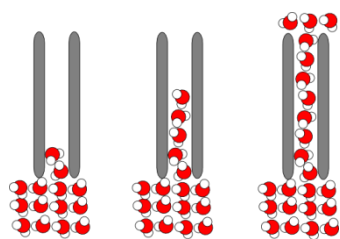
Hukommelsestekstiler: En kreativ designer har eksperimenteret med tekstiler med hukommelsesmetaller vævet ind i stoffet eller tilføjet senere til syningerne. Hendes bevægelige tekstiler reagerer på forskelle i temperaturen ved at rulle sig op, krympe eller skifte form. Tekstilerne kan blandt andet bruges i udendørstøj, der reagerer på en højere indendørstemperatur, eksempelvis ærmer der selv ruller sig op. Tekstilerne kan også bruges i gardiner til selv trækker sig for eller persienner, der selv ruller sig ned.



Se 'Moving Textiles' her: <https://www.youtube.com/watch?v=HdRRy7hltgl>



Envejsstof



Det hvide envejsstof har fået sit navn fra den egenskab, at det kan suge vand til sig og transportere det igennem til den anden side af stoffet. Vandtransporten virker ved hjælp af den samme kapillærrørs-effekt, som også træer bruger til at suge vand op gennem stammen til trækronen.

Bitte små kanaler i stoffet suger vandet igennem ved hjælp af adhæsiionskræfter ('klisterkraefter') og overfladespaending. Det første får vandet til at 'klistre' mellem vandet og kanalernes indersider, mens overfladespaendingen får vandmolekylerne til at hænge sammen. Kanalerne dannes af hulrum mellem tøjfibrene.

Anvendelser: Envejsstof er populært i sportstøj og arbejdstøj, hvor det transporterer sveden væk fra kroppen, og derved mindsker den kolde, våde følelse som det meste bomuld og polyester efterlader.

Læs uddybende forklaring (engelsk) her:

www.drcoolrecovery.com/blog/technology/fabrigh-tech-explained/



Og se forklarende video her (du får endda lidt videnskabsrap oveni): https://youtu.be/qn_QU4FjL1o

Hukommelsesplast

Alle plastmaterialer er polymerer, der består af lange kæder af en eller få slags molekyler. Hukommelsesplast består imidlertid af to forskellige polymerer med hvert sit smeltepunkt. Ved den ene polymers smeltepunkt bliver plasten programmeret til den form, den skal 'huske'. Ved lavere temperaturer kan plasten antage andre midlertidige former. Når plasten igen varmes op, vender den tilbage til sin huskede form.



Se hukommelsesplast 'huske' to forskellige former ved to stigende temperature: <https://www.youtube.com/watch?v=vWIRcazeSnU>

Anvendelser: Hukommelsesplast er endnu ikke så udbredt, men har store muligheder blandt i hospitalsverdenen. Da meget hukommelsesplast er biologisk nedbrydeligt, kan man fx bruge det som "stils-lads" i beskadiget væv eller knogler. Her kan det styre væksten af væv og knogler, så de vokser rigtigt sammen. Når såret eller skaden er helet, nedbrydes polymeren, og man slipper for at skulle have det opereret ud.

Man ser også muligheder for hukommelsesplast til de dele af biler, fx kofangere, der i dag laves af almindeligt plast. Med hukommelsesplast kunne man fjerne buler blot ved at varme plasten op, indtil den vendte tilbage til sin oprindelige "huskede" form.

3. UDVIDELSER

Hvis du er interesseret i selv at anskaffe nogle af de smarte materialer, fx til brug i yderligere undervisningsaktiviteter, kan du finde en liste med forhandlere på hjemmesiden: <https://physics.dtu.dk/bu/undervisningsmaterialer#yderligere-materialer>

- *UV perler:*

I dette forløb bliver det blot en demonstration for eleverne, men perlerne kan også anvendes i et forløb om UV-lys (skadelige) virkning på menneskers hud. Forskellige solbriller kan fx lægges oven på perlerne og eleverne undersøger, hvilke solbriller der bedst blokerer UV-stråling (hvor meget perlerne skifter farve).

Eleverne kan også bruge perlerne til at undersøge (forskellige) solcremers effektivitet. Først lægges perlerne i en gennemsigtig plastpose og dernæst smører eleverne solcreme på posen. Læg nu poserne i sollys eller lys på dem med UV-lommelygterne fra materialekassen. Tag derefter armbåndene ud af poserne eller kig ned i poserne og sammenlign armbåndenes farver.

Endelig kan I prøve at lægge armbåndene under vand. Skifter perlerne farve?

- *Envejsstof:*

Envejsstoffet virker ved hjælp af kapillærrørseffekten. Denne effekt er den samme som træer og planter bruger til at trække vand fra rødderne og op i planten. Du kan arbejde videre med dette i et biologiforløb og finde inspiration til det fra videoen: https://youtu.be/qn_QU4FjL1o

- Læs også mere om kapillærrørseffekten her: <http://www.fys.dk/nfa/07/heftet/20.pdf>

- *Få ideer til aktiviteter med hukommelsesmetaller og plast her:*
<https://www.pbs.org/wgbh/nova/assets/education/making-stuff/stuff-toolkit-smarter-demo.pdf>
- *Se også 'Making Stuff Smarter'- Demonstration, side 70-71:*
https://physics.dtu.dk/-/media/institutter/fysik/undervisning/undervisningsmateriale/boernes_universitet/materialekasse/undervisningsmateriale/yderligere-filer/Making-Stuff-Smarter-Demonstration.pdf

4. MERE VIDEN

- *Se en præsentation på Prezi om smarte og moderne materialer:*
<https://prezi.com/kyxn0tz2snam/smart-modern-materials/>
- *Se videoklip med en række smarte materialer her:*
<https://www.stem.org.uk/resources/collection/3800/smart-materials>
- *herunder fjeder af hukommelsesmetal:*
<https://www.stem.org.uk/resources/elibrary/resource/31613/two-way-memory-spring>
- *termochromatisk pigment:*
<https://www.stem.org.uk/resources/elibrary/resource/31614/thermochromic-pigment>
- *og hukommelsesmetal:*
<https://www.stem.org.uk/resources/elibrary/resource/31611/smart-wire>
- *Morpho sommerfugle:*
<https://asknature.org/strategy/wing-scales-cause-light-to-diffract-and-interfere/>
https://www.google.dk/search?q=color+in+morpho+butterflies&tbo=u&source=univ+&sa=X&ved=0ahUKEwj65_rnxbbNAhUJ3CwKHeatBpoQsAQIJA&biw=1920&bih=1085&udm=2
- *Se video fra videnskabsbloggen Veritasium: "How to make colour with holes"*
<https://www.youtube.com/watch?v=x4I9mmd-2Rc>
- *Læs mere om strukturelle farver, sommerfugle og nanoklodser her:*
https://physics.dtu.dk/-/media/institutter/fysik/undervisning/undervisningsmateriale/boernes_universitet/materialekasse/undervisningsmateriale/yderligere-filer/SiS-structural-colour.pdf
- *Artikel om strukturelle farver og LEGO-DTU projektet i det europæiske skoleblad Science in School, Issue 33, 07/09/2015:*
<https://www.scienceinschool.org/article/2015/structural-colour-peacocks-romans-and-robert-hooke/>

- *Dybdegående artikel om termochromisme:* <https://en.m.wikipedia.org/wiki/Thermochromism>
- *Krystalark og termochromisme:* <https://www.explainthatstuff.com/thermochromic-materials.html>
- *Læs mere om kapillærrørseffekten her:* <http://www.fys.dk/nfa/07/heftet/20.pdf>
- *Læs og se mere om hukommelsesplast:*
<https://videnskab.dk/teknologi/en-baad-nae-en-fugl-nyt-materiale-skifter-form-med-et-trylleslag/>

5. KILDER

- *Om strukturelle farver, sommerfugle og nanoklodser:*
https://physics.dtu.dk/-/media/institutter/fysik/undervisning/undervisningsmateriale/boernes_universitet/materialekasse/undervisningsmateriale/yderligere-filer/SiS-structural-colour.pdf
- *Samt nanoklods og reflekterende film:* <http://www.nilt.com/>
- *3M Dichroic Film (reflekterende film):*
http://multimedia.3m.com/mws/media/861295O/dichroic-df-tech-data-sheet.pdf?fn=DICHROIC%20DF_Tech%20Data_Rev%20E.pdf
- *Artikel om strukturelle farver og LEGO-DTU projektet i det europæiske skoleblad Science in School:*
<http://www.scienceinschool.org/content/structural-colour-peacocks-romans-and-robert-hooke>
- *Om farveskiftende materialer:*
https://en.wikipedia.org/wiki/Thermochromism#Thermochromatic_liquid_crystals
- *UV-perler:*
<http://blog.teachersource.com/2009/11/13/chemistry-of-ultraviolet-detecting-beads-video/>
- *Temperaturfølsomme materialer:* <http://www.explainthatstuff.com/thermochromic-materials.html>
- *LCD skærme:* <http://www.explainthatstuff.com/lcdtv.html>
- *Temperaturfølsomme krystalark:*
https://en.wikipedia.org/wiki/Thermochromism#Thermochromatic_liquid_crystals
- *Temperaturfølsomt papir:* <http://blog.teachersource.com/2009/09/11/heat-sensitive-paper/>
- *Hukommelsesplast:* https://en.wikipedia.org/wiki/Shape-memory_polymer

MODUL 7: FORBEREDELSE TIL INNOVATIONSOPGAVEN

Under dette modul kan du læse mere om videnskaben bag smart gele og om ingeniørens arbejdsmetode.

1. SMART GELE OG ANDRE ATYPISKE VÆSKER

Som gennemgået i modulet om viskositet (se forløbsbeskrivelsen samt i lærervejledningen side 32) er definitionen på viskositet følgende:

Viskositet er en væskes modstand mod at flytte sig, når noget skubber til den.

Man kan også kalde det for væskens indre gnidningsmodstand, i det molekylerne i væsken gnider mod hinanden, når de skal flytte sig.

1.1 Newtonske væsker

Desuden gælder der, at jo hurtigere en kraft man påvirker en væske med, fx jo hurtigere man skubber til væsken, jo større bliver væskens modstand, dvs. viskositeten.

Du kender det sikkert, hvis du har prøvet at gå og løbe gennem vandet på stranden eller i svømmehallen. Det er hårdt at gå igennem vand, og hvis du giver dig til at løbe gennem vandet, bliver det endnu hårdere. Det er fordi, vandets viskositet stiger.

For typiske væsker, som også kaldes for newtonske væsker, stiger modstanden proportionelt med hastigheden af kraften. Hvis du bevæger dig dobbelt så hurtigt gennem vandet, bliver modstanden og dermed viskositet også dobbelt så stor.

Dette gælder for fx vand, eddike, juice og benzin.

1.2 Non-newtonske væsker

For nogle væsker, herunder også smart gele, gælder proportionaliteten mellem viskositet og kraftens hastighed imidlertid ikke. Disse væsker kalder vi for non-newtonske. I stedet for at stige proportionelt med øget hastigheden kan viskositeten stige uforholdsmæssigt meget eller omvendt falde, dvs. væsken bliver mere tyndflydende, jo hurtigere vi påvirker den.

Det sidste, at viskositeten falder med øget hastigheden af kraften, kan du måske genkende fra ketchup. Hvis man stille og roligt vender en ketchupflaske på hovedet, sker der ingenting. Ketchuppen løber ikke ud af flasken, fordi dens viskositet er høj. Hvis du derimod giver flasken et stød eller ryk kommer ketchuppen pludselig væltende ud af flasken. Det er fordi, den er blevet mere flydende.

Hvis du forestiller dig, at du løb igennem ketchup i stedet for vand, så ville det blive lettere, jo hurtigere du løb. Ketchup bliver altså mindre viskøs, jo hurtigere du skubber til den.

Dette gælder for fx ketchup, mayonnaise og maling.

Se flere eksempler på newtonske og non-newtonske væsker:

<https://www.allpumps.com.au/blog/2015/12/21/fluid-viscosity-affects-pump-selection/>

Omvendt forholder det sig med smart gele. Her bliver geleen uforholdsmæssigt mere viskøs, jo hurtigere en kraft du påvirker den med. Hvis du trækker stille og roligt i smart gele, opfører den sig nærmest som tyggegummi eller slim. Hvis du slår på den, bliver den til gengæld stenhård.

Modstanden stiger mange gange med stigende hastighed.

Dette gælder for fx smart putty, maizena-blanding, blod, vådt og tørt sand. Alle disse væsker er non-newtonske.

1.3 Smart geles egenskaber

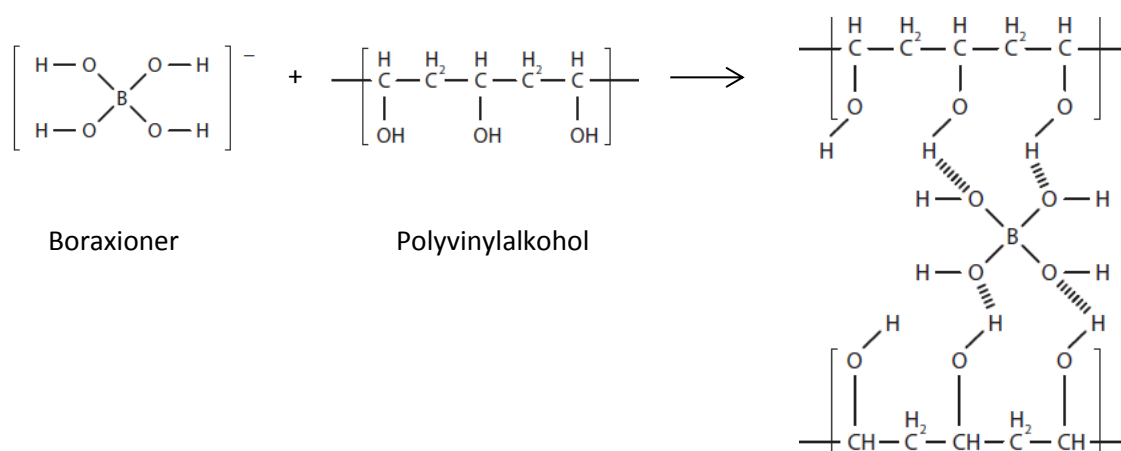
Non-newtonske væsker som smart gele, hvor viskositeten stiger med hastigheden har nogle atypiske egenskaber:

- Når du trækker langsomt i geleen, flyder det og strækker sig. Hvis du er forsigtig, kan du trække det ud til en meget tynd film.
- Hvis du trækker i det hurtigt og abrupt, knækker geleen, som var det et fast stof.
- Hæld geleen langsomt fra dets beholder og tip så beholderen opad. Den del af geleen, der allerede er løbet ud, vil trække resten med sig.
- Det er elastisk. Kast en klump gele ned i bordet, og det vil hoppe.
- Hvis du tilføjer syre til geleen, brydes krydsbindingerne mellem boraxionerne og polymerkæderne af polyvinylalkohol (se nedenfor) og du får en væske med lavere viskositet. Baser driver reaktionen baglæns og gendanner geleen.

Hvis du har fremstillet smart geleen til elevernes undersøgelse, har du brugt polyvinylalkohol. Hvis man bruger polyvinylalkohol opløst i ethanol, bliver geleen i stedet til en tynd plastfilm, der benyttes til emballering og er populær, fordi den er bionedbrydelig.

1.4 Hvordan dannes smart gele?

Smart geleen dannes, når du blander polyvinylalkohol, som er en polymer, dvs. lange kæder af gentagne ens enheder, med boraxioner $(B(OH)_4)^-$. Boraxionerne danner krydsbindinger mellem de lange polymerer af polyvinylalkohol. Derved bliver polymerkæderne bundet sammen.



2. INGENIØRENS ARBEJDSMETODE

Ingeniørens arbejdsmetode er en begreb og en arbejdsform, der bruges for at anskueliggøre, hvordan ingeniører typisk arbejder og hvordan deres arbejdsmetode adskiller sig fra den naturvidenskabelige metode. Du kan læse mere om dette i forløbsbeskrivelsen. Herunder kan du dels læse om, hvordan ingeniørens arbejdsmetode kan kobles til Fælles Mål og dels kan du finde henvisninger til mere information om ingeniørens arbejdsmetode og andre undervisningsforløb.

Da ingeniørens arbejdsmetode, eller 'engineering' som det kaldes på engelsk er en del af de amerikanske 'Next Generation Science Standards', forsimplet sagt de amerikanske Fælles Mål for undervisningen i naturvidenskab – da 'engineering' er en del af disse, findes der en del meget gennemarbejdede og kompetente undervisningsmaterialer om ingeniørens arbejdsmetode på engelsk. Selvom de således ikke er tilpasset dansk undervisning og er på engelsk, kan du alligevel finde henvisninger til disse. Mange af dem er simple og vil med lidt forberedelse kunne bruges i natur- og teknologiundervisningen og også i de naturvidenskabelige fag i udskolingen.

2.1 Ingeniørens arbejdsmetode og Fælles Mål

Når du inddrager ingeniørens arbejdsmetode i din undervisning, vil eleverne opnå kompetencer i det følgende:

Modellering i naturfag Fase 1-2	
Færdighedsmål	Vidensmål
Eleven kan anvende sammensatte modeller til at beskrive processer.	Eleven har viden om sammensatte modeller.
Eleven kan designe modeller af et produkt/produktion.	Eleven har viden om modeller til at beskrive teknologi.

Den sammensatte model er ingeniørens arbejdsmetode og som en del af denne, skal eleverne også selv designe og/eller fremstille modeller af produkter.

Hertil kommer temaet **innovation og entreprenørskab**, der skal indgå som et tema i alle folkeskolens fag. Ministeriet skriver, at:

"Innovation og entreprenørskab er et tværgående emne i folkeskolen. Eleverne skal udvikle innovative og entreprenante kompetencer, så de kan anvende deres personlige, faglige og sociale ressourcer.

Innovation og entreprenørskab er orienteret mod varierede og praksisorienterede undervisningsformer. Der er fokus på elevernes kompetencer til at skabe, udvikle og handle. Innovation og entreprenørskab lægger vægt på elevernes proces og evner til at organisere, kommunikere og samarbejde."⁷

Dette passer fint ind i forløbet med innovationsopgaven, hvor eleverne netop skal være innovative, skabe, udvikle og handle.

⁷ <https://www.folkeskolen.dk/bronderslev-kommune-innovation-undervisning/kobenhavneri-og-innovation/2885580>

2.2 Mere viden om ingeniørens arbejdsmetode

Herunder finder du henvisninger til mere information om ingeniørens arbejdsmetode og andre undervisningsforløb.



Videoguide til hvordan du bruger ingeniørens arbejdsmetode i din undervisning (på engelsk):
 "The Engineering Design Process in Action": <https://www.youtube.com/watch?v=NeVxOAcEij0>

Ingeniørens udfordring

"Experimentarium har i samarbejde med 9 andre EU lande udviklet 10 undervisningsforløb om teknologi i grundskolen til mellemtrinnet. Det centrale i hvert undervisningsforløb er 'Ingeniørens arbejdsproces': Undersøge, Få ideer, Planlægge, Bygge, Forbedre. 'Ingeniørens arbejdsproces' hjælper læreren med at fremme elevernes spørgelyst og kreativitet, og den understøtter elevernes muligheder for at udvikle problemløsningssevner såsom at teste ideer og hypoteser, fortolke resultater og evaluere løsninger."

<https://www.experimentarium.dk/teknologi/teknologi-i-undervisningen/>

Introduktion til ingeniørens arbejdsmetode:

"In this Preparatory Lesson, students are presented with a problem they need to solve. Students are then encouraged to ask questions about the problem and what they need to do in order to solve it. Students then work in small groups to design a solution to the problem using simple materials. Groups test and present their designs in front of the entire class. Then, in whole-class discussion, students reflect on their problem-solving process and compare it to the Engineering Design Process that engineers use to solve problems.

<http://www.eie.org/eie-curriculum/resources/what-engineering-tower-power>

Engineering is Elementary (EiE) er udviklet af Museum of Science i Boston. Projektets formål er at skabe kvalificeret undervisning i naturvidenskab, teknologi, ingeniørvidenskab og matematik gennem tre platforme: Undervisningsmaterialer, efteruddannelse af lærere samt forskning og evaluering. Herunder finder du henvisninger til tre typer undervisningsforløb rettet mod indskoling og mellemtrinnet og mod undervisning efter skole, fx valgfag og camps, for hhv. mellemtrinnet og udskoling.

1. The EiE Curriculum: Choose from 20 flexible and fun units for grades 1–5. Research-based, teacher-tested activities integrate with the science topics you already teach!
<https://yes.mos.org/curricula/eie-curricula/>
2. Engineering Adventures: Add adventure to your afterschool or camp programs with real-world engineering challenges for kids in grades 3–5. Promotes creativity and teamwork!
<https://yes.mos.org/curricula/eie-curricula/engineering-adventures/>
3. Engineering Everywhere: For youth in grades 6–8 in out-of-school time and camp programs. They'll engineer a better world with engaging activities that relate to real-life experiences.
<https://yes.mos.org/curricula/eie-curricula/engineering-everywhere/>

3. UDVIDELSER

- *Smart gele*
Mulighederne for at arbejde videre med smart gele er mange. Du kan tilføje frugtfarve, glimmer, lave magnetisk gele ved at tilføje jernspåner (eller købe det), osv.
- *Se fremstillingen af smart gele med glimmer her (fra 03:20):*
 <https://www.youtube.com/watch?v=xYi7eankpFw>
- *Prøv også at google: 'Polymer slime' eller 'Smart putty'*
Du vil finde masser af billeder, eksempler på hvordan smart gele kan farves og på sjove forsøg.
- *Du kan se, hvordan man laver magnetisk smart gele her:*
 <https://stevespangler.com/experiments/magnetic-slime/>
Brug dog DTUs opskrift på smart gele (da man ikke kan købe ren borax i DK), og følg så blot Steven Spanglers opskrift fra der tilsættes jernspåner.
- *Maizena-blandingen ('Oobleck')*
Hvis I har mulighed for det, så prøv at lave et helt kar eller lille babybassin fuld af maizena-blandingen. Lad eleverne tage skoene af og eksperimenterer med at gå/stå/bevæge sig i det med bare fødder.
 Se alletiders video her: <https://www.youtube.com/watch?v=vjHaAqKECK>

4. MERE VIDEN

- *Læs mere om slim (herunder smart gele):* <http://www.madehow.com/Volume-6/Slime.html>
- *Se demonstration af smart gele:*
<https://www.stem.org.uk/resources/elibrary/resource/31609/putty>
- *Læs mere og find inspiration til aktiviteter med maizena-blandinger ('oobleck') her:*
<http://www.scientificamerican.com/article/oobleck-bring-science-home/>
- *Eksempler på anvendelser af og produkter med D30:*
<http://www.d3o.com/>
<http://geekdad.com/2013/12/tech21-using-science-provide-impact-protection-mobile-devices/>
- *Ideer til undervisning med D30:* <https://www.stem.org.uk/elibrary/collection/3992> (engelsk)

5. KILDER

- *PVA polymer slime. RSC. Advancing the chemical science:*
<https://edu.rsc.org/experiments/pva-polymer-slime/756.article>
- <http://matse1.matse.illinois.edu/polymers/e.html>
- <https://allpumps.com.au/fluid-viscosity-affects-pump-selection/>

MODUL 8-9: INNOVATIONSOPGAVE

1. IDEGENERERING

Her er et par alternativer, hvis eleverne har svært ved at komme i gang med opvarmningsøvelsen med afløbsrøret eller med den samme øvelse med de smarte materialer.

Fx kan du bede eleverne komme med ideer til:

- hvad andre professionelle kan bruge røret/materialet til?
- eller hvad kan man IKKE bruge røret til (for derefter at kunne besvare, hvad man kan bruge røret/materialet til).

2. ALTERNATIV INNOVATIONSOPGAVE

Hvis du vurderer, at innovationsopgaven er for tidskrævende eller for vanskelig for dine elever, kan du præsentere dem for en alternativ opgave, hvor de blot skal koble egenskaber fra de smarte materialer på hverdagsprodukter.

Del oversigten over de smarte materialer med billeder og deres egenskaber ud til eleverne. Del også arket med de forskellige hverdagsprodukter ud ('Hverdagens-produkter'). Begge dokumenter findes som pdf-filer på hjemmesiden. Og her: https://physics.dtu.dk/-/media/institutter/fysik/undervisning/undervisningsmateriale/boernenes_universitet/materialekasse/undervisningsmateriale/yderligere-filer/modul8-9-Alt-innovationsopgave.pdf

Bed nu eleverne give produkterne smarte egenskaber. Fx kunne bordtennisbolden være lavet af hukommelsesplast, så den blot skulle lægges i varmt vand for at blive rettet ud igen. Eller tæppet var lavet af envejsstof, så spildt væske blev transporteret om på bagsiden.