

# Glas

## – den fjerde tilstandsform

*Glas er langt mere end det hårde, gennemsigtige materiale vi kender fra vinduer, flasker og glasøjne. Et nyt grundforskningscenter skal forske i den fascinerende glastilstand, som nogle betegner som "den fjerde tilstandsform".*

Af Lisbet Schönau

■ Jeppe Dyre har forsket i glastilstanden de sidste 20 år. Derfor var det en drøm, der blev til virkelighed, da hans forskergruppe ved Roskilde Universitetscenter (RUC) modtog 35 millioner kroner fra Danmarks Grundforskningsfond til deres forskning. Bevillingen er udmøntet i et nyt grundforskningscenter, hvor forskerne kan sætte alle kræfter ind på at studere, hvad der sker, lige før en væske bliver til glas – en fase forskerne kalder "den seje væske".

### Alle væsker kan blive til glas

»Det glas vi kender bedst fra dagligdagen, er lavet af smeltet sand, soda og kalk. Men glas kan laves af mange andre materialer. Faktisk kan alle væsker blive til glas. Bare de afkøles hurtigt nok«, forklarer Jeppe Dyre. Selv vand kan blive til glas, men det er ikke nogen let proces.



Foto: Morten L. Hjuler

*Glas er langt mere end et hårdt, gennemsigtigt materiale til vinduer, drikkeglas og vaser. Roskilde Universitetscenter (RUC) har netop åbnet centeret "Glas og tid," som skal forske i den fascinerende glastilstand.*

Når en væske køles ned størkner den og bliver til et fast stof. De fleste væsker bliver til faste stoffer ved en ganske bestemt temperatur – vand bliver f.eks. til is ved 0 grader celsius. Det

sker ved såkaldt krystallisation. Når en væske krystalliserer, sætter molekylerne sig i regulære strukturer – som mursten i en mur.

Ved at køle væskerne hurtigt

nok, kan man imidlertid "narre" dem forbi krystaltilstanden og få dem over i en såkaldt "underafkølet" tilstand. Når en underafkølet væske afkøles yderligere, bliver den mere og mere sejtflydende. Til sidst bliver den så sejtflydende, at den slet ikke kan siges at flyde på den tidsskala vi lever på – væsken overgår til glastilstand. Den temperatur, hvor væsken skifter fra at opføre sig som en væske til at opføre sig som et fast stof, kaldes glastemperaturen.

Vejrfænomenet isslag er et eksempel på en underafkølet væske. Isslag opstår, når underafkølede regndråber rammer jorden, krystalliserer og bliver til is.

### Glasset husker sin historie

I den seje væske sidder molekylerne i nogen grad hulter til bulter, som en bunke mursten smidt på en byggeplads. Hvis væsken krystalliserer, vil molekylerne sidde i regulære struk-



Foto: Morten L. Hjuler

En klump af ubearbejdet glas.



Foto: Lisbet Schenau

Det er en skrøne, at vinduesglas flyder, så gamle vinduer bliver tykkere for neden.

turer. Størkner væsken til glas, vil molekylerne beholde de lidt tilfældige positioner, de havde i den seje væske. Man kalder det en amorf struktur.

»Derfor taler nogle forskere om glas som den fjerde tilstandsform«, forklarer Jeppe Dyre. »Man kan sige, at glasset husker sin historie fra det var en væske. Så ved at studere de seje væsker, bliver vi klogere på glastilstanden. I mange praktiske anvendelser af glas udnytter man netop, at glas er et fast stof, som har bevaret strukturen fra væskeformen i modsætning til stoffer i krystalfasen, hvor molekylerne sidder i regulære strukturer«.

### Tiden står stille i glas

Fra naturen kender vi seje væsker fra f.eks. vulkanens lava og fra jordens indre. En sej væske kan være så tyktflydende, at den er 100 år om at komme ud af en kande. Lige før væsken bliver til glas, er væsken typisk tusind millioner millioner gange mere tyktflydende end vand.

Når glasforskerne arbejder med de seje væsker, er det vigtigt at kunne styre temperaturen med ekstrem nøjagtighed. Et lille temperaturudsving har nemlig enorme konsekvenser for, hvor tyktflydende væsken er – det, man i fagsproget kalder viskositeten. Hvis temperaturen for den seje væske bliver sænket med blot 1%, øges viskositeten

### Glas, viskositet og flydende vinduer

Det glas, vi bruger til flasker, glas og vinduer er lavet af smeltet sand (mest kvarts). Man blander soda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) i for at sænke smeltetemperaturen og kalk ( $\text{CaO}$ ) for at gøre det stærkere. Når massen er formet til den rigtige facon, bliver den kølet ned og så dannes glasset. Sådant har man gjort i årtusinder. Det tidligste glas, man har fundet stammer fra Egypten, 12.000 år fvt.

Alm. glas består af 70% amorf siliciumdioxid ( $\text{SiO}_2$ ). Imidlertid kan alle væsker blive til glas, bare de køles hurtigt nok.

Viskositet er en betegnelse for en væskes indre friktion

(gnidningsmodstand). Væsker med høj viskositet er således mere tyktflydende end væsker med lav viskositet. Væsker som ketchup, shampoo og sirup har høj viskositet. Olie, maling og fedtstoffer har middel viskositet, mens vand har en lav viskositet.

Væsker kan blive så tyktflydende, at de er 100 år om at flyde ud af en kande. Når en væske er blevet til glas går det selvfølgelig endnu langsommere. Ikke desto mindre kan man høre den skrøne, at gamle ruder – f.eks. i kirker – er tykkere for neden, fordi glasset flyder ned mod bunden af ruden.

Beregninger viser imidlertid,

at det ville tage et tidsrum, der er sammenlignelig med Universets alder, før man kan måle en udflydning af glasset. Selvom molekylerne i glas ligger hulter til bulter, er strukturen i glasset meget stabil.

Når de gamle vinduer er tykkere for neden skyldes det, at den måde, man tidligere fremstillede vinduesglas på, gav nogle ret ujævne ruder. Glarmesteren satte den tykke ende af glasset nederst. I dag fremstiller man vinduesglas industrielt. Tykkelsen af vinduesglasset varierer så lidt, at det normalt ikke kan måles.

### Modeller for seje væsker

Der findes flere modeller, som beskriver, hvordan molekylerne bevæger sig i seje væsker. En meget kendt model er den såkaldte "frivolumen-model" i følge hvilken væsken bliver så seje ved afkøling, fordi de skrumper ligesom (næsten) alle stoffer gør ved afkøling. Det mindre rumfang skulle i følge denne teori gøre det meget sværere for molekylerne at få plads til at bevæge sig. En anden kendt model er "entropi-modellen". Her er det væskens uorden, som er styrende for viskositeten, og da uordenen trods alt mindkes ved afkøling stiger viskositeten. Denne sidste model har været standard-paradigmet i en årrække,

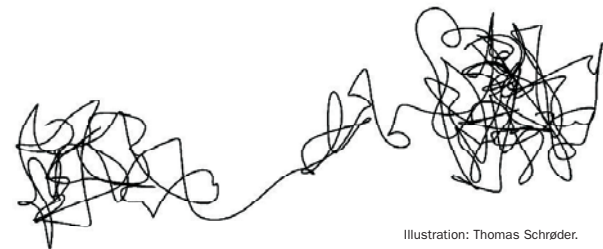


Illustration: Thomas Schrøder.

Billedet viser en computersimulering af et molekyles bevægelsesmønster i en sej væske. Molekylet vibrerer det samme sted i lang tid og flytter sig så til et nyt sted. Jo mere tyktflydende væsken er, des længere tid går der mellem molekylernes "hop".

ligesom frivolumen-modellen tidligere var det.

Uenigheden om hvilke modeller, der bedst beskriver mole-

kylbevægelserne i seje væsker udgør et meget vigtigt uløst problem i faststoffysisk grundforskning.

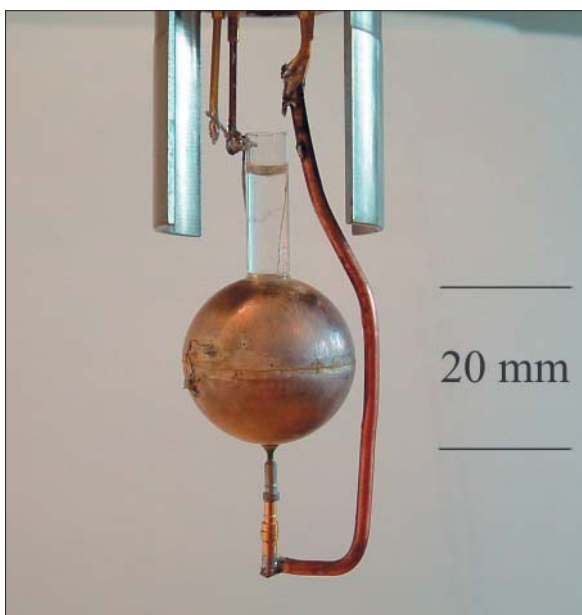


Foto: Lisbet Schemmou

Jeppe Dyre ved det hjemmelavede "køleskab" som glasforskerne bruger til at underafkøle de seje væsker.



Fotos: Niels Boye Olsen



Glasforskerne på RUC bygger selv deres instrumenter. Til venstre ses et instrument som kan måle seje væskers viskositet til højre et instrument, der måler, hvor "sammentrykkelig" væsken er.

op til 10 gange. Bliver temperaturen skruet ned med 10%, bliver viskositeten mere end en milliard gange større.

I den seje væske bevæger molekylerne sig meget lidt rundt mellem hinanden. Molekylernes bevægelse slutter helt,

når væsken bliver til glas – tilbage bliver blot de såkaldte termiske vibrationer, der aldrig stopper (og som også findes i alle krystaller). Forskerne måler molekylernes bevægelser og vibrationer i den seje væske.

»Jo mere tyktflydende væsken

bliver, des længere tid går der mellem to "molekylhop". Man kan godt sige, at i glas står tiden stille« forklarer Jeppe Dyre. »Tidsbegrebet spiller en helt central rolle for vores forskning, derfor har vi også givet grundforskningens centeret navnet *Glas og tid*.«

### Model for de seje væsker

Der findes flere modeller, som beskriver, hvordan molekylerne bevæger sig i seje væsker. Selvom man har forsket i glas og seje væsker i knap 100 år, er der ikke enighed om modellerne. Uenigheden udgør et meget vigtigt uløst problem i faststoffysisk grundforskning (se boks).

I løbet af de sidste 10-15 år er fysikerne i stigende grad begyndt at interessere sig for glasforskningen. Tidligere var det mest materialeforskere og enkelte kemikere, som arbejdede med glasforskning.

Jeppe Dyre og hans forsker-team har udviklet deres egen model for seje væskers viskositet. Modellen beskriver, hvad der sker, når molekylerne i en sej væske bevæger sig. Det er som sagt meget sjældent, at molekylerne bevæger sig i den seje væske. Selve bevægelsen sker meget hurtigt – i løbet af ca. en milliontedel af en milliontedel af et sekund. Ifølge RUC-forskernes model er det væskens hårdhed over for pludselige mekaniske påvirkninger, der styrer væskens viskositet.

Indtil videre er modellen kun blevet sammenlignet med eksperimenter med simple væsker som f.eks. alkohol og glycerin, der bliver til glas ved temperaturer under minus 100 grader celsius.

Her passer de målte data godt med modellen. Men der skal flere eksperimenter til, før RUC-forskerne ved, om modellen passer på alle seje væsker.

### Specialbyggede instrumenter

RUCs glasforskere bygger selv deres instrumenter – f.eks. et instrument til at måle de seje væskers viskositet. Jeppe Dyre forklarer: »Vi anbringer den seje væske mellem tre skiver af et materiale, som reagerer på elektrisk strøm – såkaldte piezo-keramiske skiver. Nu kan vi måle, hvor svært det er at bevæge pladerne. Jo sværere, des mere viskøs er væsken.«

Et andet instrument måler, hvor "sammentrykkelig" væsken er, det man i fagsproget kal-

der væskens kompressibilitet. Instrumentet består af en piezokeramisk kugleskal, som den trykflydende væske anbringes indeni.

Det er meget vigtigt, at forskerne kan styre temperaturen helt præcist, når de undersøger de seje væsker. Instrumenterne bliver placeret i forskerteamets hjemmelavede avancerede "køleskab". Her kan de styre temperaturen bedre end en tusindedel af en grads nøjagtighed – også selvom målingerne ofte tager flere uger.

### Trang til at forstå naturen

Jeppé Dyre har arbejdet med glas i mere end 20 år. Faktisk skrev han speciale om emnet, da han afsluttede sin kandidatgrad. »Vi arbejder på at forstå de seje væskers egenskaber. Man har en god forståelse af de krystallinske stoffer, men de amorfe som f.eks. seje væsker og glas, kender man ikke så godt. Det viser sig, at væsker med meget forskellige egenskaber, har ens karakteristika, når de bliver meget viskøse. Det var man ikke fuldt ud klar over tidligere«, siger Jeppé Dyre. »Det gør os ret optimistiske med hensyn til muligheden for at opstille en simpel, universel teori for seje væskers fysik.«

Jo bedre man forstår materialetens struktur og dynamik, des flere anvendelsesmuligheder er der for glas. Men Jeppé Dyres primære motivation ligger nu ikke i anvendelserne. »Det er



Foto: Lisbet Schönau

*Glasforskernes studier af seje væsker giver nyttig viden om glas. Thomas Schröder med en prøve.*

trangen til at udforske naturen, som driver mig,« siger han. »Det er ligesom at løse gåder: Problemerne ligger der lige for ens fødder, men det er pokkers svært at løse dem.«

### Grundforskning med anvendelser

Selvom glasforskernes motivation ligger i at udforske naturen er der alligevel store perspektiver for at anvende forskningen i praksis. »Forskningen giver viden, som kan bruges inden for f.eks. optiske fibre, isoleringsmaterialer og andre avancerede materialer,«

forklarer Jeppé Dyre.

Glasforskningen kan også anvendes inden for biomedicin. Man har fundet ud af, at acetylsalicylsyre (som f.eks. anvendes i smertestillende medicin) optages hurtigere i kroppen, hvis det er på glasform.

Fødevarer overgår delvis til glasform, hvis de tørres eller fryses. Det gælder f.eks. bolcher, candyfloss, flødeis, mælkepulver og frosne deje. Forskere inden for fødevarer videnskab undersøger nu, hvilken betydning overgangen til glastilstanden har for fødevarernes holdbarhed. ■

### Om forfatteren:



*Lisbet Schönau er projektleder ved Dansk Naturvidenskabsformidling.  
Tlf.: 7020 8647,  
E-mail: ls@formidling.dk*

### Om forskerne:

*Jeppé Dyre er professor og centerleder på grundforskningscenteret "Glas og tid", Roskilde Universitetscenter  
E-mail: dyre@ruc.dk  
<http://mmf.ruc.dk/~dyre/>  
<http://glass.ruc.dk>*

*Thomas Schröder er lektor, Inst. for Matematik og Fysik, Roskilde Universitetscenter.  
E-mail: tbs@ruc.dk*

# Bakterier æder flamingo

■ Polysteren – også kendt som flamingo – er et fantastisk brugbart, men ikke verdens mest miljøvenlige materiale. Polysteren er som navnet antyder opbygget af styrenmolekyler, og styren er et giftigt stof.

En gruppe biologer fra University College Dublin i Irland har nu fundet en stamme af bakterier, der trives ganske fint på en diæt af ren styrenolie, og oven i købet i denne proces for-

vandle dette miljøproblem til en brugbar, bionedbrydelig plastik.

Forskerne omdannede flamingoen til olie ved en proces kaldet pyrolyse, hvor flamingoen opvarmes til 520 grader under iltfrie forhold. Dette resulterede i en kemisk cocktail bestående af 80 % styrenolie og små mængder af andre giftstoffer. Blandingen blev serveret for en speciel stamme af den almindelige jordbakterie *Pseudomonas*

*putida*. Forskerne forventede, at de måtte forfine olien yderligere for at få bakterierne til at vokse på denne substans, men bakterierne voksede lystigt på denne nye diæt. Således voksede der på 64 gram udestilleret styrenolie næsten 3 gram yderligere bakterier frem. I processen dannede bakterierne desuden 1,6 gram af den bionedbrydelige plastik kaldet PHA (polyhydroxylalkaloider). Denne type plast er let-

tere nedbrydelig i miljøet end oliebaseerede produkter. Selvom den biologisk drevne proces også resulterer i nogle giftige biprodukter såsom toluen og kræver betydelige mængder tilført energi for at drive pyrolysen, vækker opdagelsen håb om, at polysteren med tiden kan blive et mere miljøvenligt produkt.

*CRK, Kilde: Environmental Science & Technology. 1. april 2006. p2433–2437.* ■