

G LASTILSTANDEN

Glas er det første kunstigt fremstillede materiale mennesket har benyttet. Man har fundet glasobjekter der er 14.000 år gamle. Det er ikke klart hvordan glas blev opdaget, men man gætter på at det er sket i bålrester på en strand. Her har smeltet sand kunnet blande sig med salt og tangrester og har ret let kunnet danne glas der hovedsageligt består af silicium- og ilt-atomer.

Af Jeppe Dyre

Allerede de gamle ægyptere var dygtige til at fremstille glas i forskellige farver og til forskellige formål (fig. 1). Kunsten at fremstille farveløst glas mestrede de dog ikke; det kræver

nemlig at selv de mindste urenheder undgås. Fx stammer den grønne farve i en ølflaske fra mindre end 1% jernatomer. Det var først i Romerriget man lærte at fremstille ufarvet glas. I middelalderen udvikledes en omfattende ekspertise i glasfremstilling i Venezia i Italien (Venedig, fig. 2). Efter 1291 flyttede man al glasproduktion til den bevogtede ø Murano lige nord for byen. Hvordan man her



1. Allerede de gamle ægyptere havde en imponerende viden om glasfremstilling, selvom de ikke mestrede kunsten at lave farveløst glas. Her ses en glasflaske af form som en fisk. Den er fundet i Tell el-Amarna og er fra det 18. dynasti omkring 1390-1336 f.v.t. Normalt havde glasbeholdere en praktisk funktion til opbevaring af fx olier. Flasken er 14,5 cm lang. (British Museum)



2. Muranoglas stammer fra øen Murano lige nord for Venedig. Her var man i det 15. og 16. århundrede verdens eksperter i glasfremstilling. Glaspusterne havde mange privilegier, men forsøgte de at slå sig ned andre steder, var straffen meget hård. Endnu i dag producerer man på Murano nogle fantastiske glaskunstværker. (E. Søgaard)

fremstillede kvalitetsglas, glassmyk-kesten, glasperler, osv. var en velbevaret hemmelighed som der var dødsstraf for at røbe.

Glas har altid været et fascinerende

og vidunderligt smukt materiale, der samtidig er meget anvendeligt. Men i dag er glas meget mere end det – glastilstanden anerkendes som en særlig *tilstandsform*. Man ved nemlig nu at

enhver væske kan “fryses” i glastilstanden. Det kræver bare at væsken køles så hurtigt at den ikke krystalliserer.

Moderne glasforskning dyrkes i høj grad på universiteternes fysik- og kemifdelinger (fig. 3-5). Men dette er et relativt nyt fænomen; for indtil 20 år siden ansås forskningsområdet for lidt ufint og uinteressant. Slår man fx op i en mere end 15 år gammel lærebog i faste stoffers fysik, står der knap et ord om glastilstanden. Tyske universiteter var dog i gang med emnet meget tidligt.

Allerede i slutningen af 1800-tallet blev der i Tyskland fra regeringens side satset systematisk på glasforskning i et samarbejde mellem regering, universiteter og industri. Det var det første eksempel overhovedet på større samarbejder af denne karakter. Resultatet var at Tyskland hurtigt blev førende inden for fx kvalitetsglas til optiske formål. Under 1. verdenskrig (1914-18) gav dette store problemer for England, Frankrig og USA der pludselig ikke mere kunne importere optisk glas fra Tyskland. I en krig er de bedste kikkerter nødvendige, så disse tre lande måtte hver kickstarte glasforskning. Trods dette bibeholdt Tyskland sin førerposition frem til 2. verdenskrig – det tager tid at opbygge de dygtigste forskningsmiljøer – og faktisk er tyskerne stadig blandt de bedste på området.

TILSTANDSFORMER

Alle stoffer forekommer i tre tilstandsformer: fast, flydende (*boks 1*) og luftformigt (også kaldet gas). Vand er et godt eksempel. Under 0 °C findes den faste is-tilstand. Denne er *krystallinsk*,



3. Et kugleskalsinstrument udviklet ved grundforskningcentret Glas og Tid til måling af en meget sej væskes sammentrykkelighed. Trykker man langsomt er det noget nemmere end hvis man trykker hurtigt. Sammentrykningen kan kontrolleres elektrisk fordi kugleskallerne er såkaldte piezo-keramikker. (E. Søgaard)



4. Et instrument udviklet ved grundforskningcentret Glas og Tid til måling af en meget sej væskes viskositet. Væsken sprøjtes ind i de to mellemrum mellem de tre skiver ved højere temperaturer hvor den ikke er sejtflydende. Flydning på nanometerskala kan kontrolleres elektrisk fordi skiverne er såkaldte piezo-keramikker. (E. Søgaard)

hvilket vil sige at molekylerne sidder regelmæssigt placeret ligesom ternerne på et stykke ternet papir. I den krystal-linske tilstand har molekylerne mindst energi. Derfor bliver alle stoffer krys-tallinske ved tilstrækkeligt lave tempe-raturer – hvis ellers molekylerne får tid til at “finde hinanden” i krystallens

perfekte mønster. Den eneste kendte undtagelse fra denne regel er flydende helium der på grund af helt særlige kvantefysiske effekter bibeholder væs-keformen helt ned til det absolutte nulpunkt ($-273\text{ }^{\circ}\text{C}$). Over $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ smel-ter is til almindeligt vand. Over $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ved jordoverfladen) går vand over i

gas-fasen hvor molekylerne flyver rundt langt fra hinanden, ligesom i luften.

Atmosfærisk luft består af 80% nitrogen – *kvælstof* som det kaldes efter forslag fra H.C. Ørsted – og kvælstofs kogepunkt er helt nede på $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. De fleste kender flydende



5. Et eksempel på laboratorieopstillingen ved grundforskningscentret Glas og Tid hvor et større "køleskab" kontrollerer temperaturen med en nøjagtighed på mindre end en tusindedel af en grad, om nødvendigt over flere uger. Avancerede elektriske måleinstrumenter gør det muligt (her for adjunkt Kristine Niss) at måle forskellige egenskaber af de seje væsker anbragt i køleskabet, vha. fx instrumenterne vist i fig. 3 & 4. (E. Søgaard)

kvælstof fra fjernsynets populærvidenskabelige programmer, det koger indtil det er helt væk. Den damp man ser, er dog ikke kvælstof, men luftens indhold af vand der fortættes til små dråber pga. den lave temperatur. Kvælstofs frysepunkt er $-210\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Nogle stoffer springer den flydende

fase over og går ved opvarmning direkte fra krystalfasen til gasfasen. Det kaldes sublimering. Et eksempel er kuldioxid (CO_2 , fig. 6). Kuldioxid er en af skurkene bag drivhuseffekten, men stoffet er også livsnødvendigt: Uden luftens 0,04% CO_2 ville planterne dø. Tøris er frossen CO_2 .

Lægges en klump tøris på bordet vil den langsomt forsvinde, den sublimerer – man ser aldrig væskefasen som mellemstation på vej mod gas-fasen hvor kuldioxiden usynligt blander sig med luften. Kuldioxid findes dog også i den flydende fase, men kun når trykket er højere end 5,1 atm.

De tre tilstandsformer, krystallinsk (fig. 7), flydende og gas, er universelle. Hermed menes at alle stoffer kan forekomme på disse tre former. Med undtagelse af helium, altså ...

DEN FJERDE UNIVERSELLE TILSTANDSFORM: GLASTILSTANDEN

Den såkaldte plasmatilstand betegnes ofte som den fjerde tilstandsform. Plasmatilstanden, der fx findes inde i Solen, opstår ved ekstremt høje varmegrader hvor atomerne er slået i stumper og stykker. Når vi her omtaler glas-tilstanden som "den fjerde tilstandsform", skal det forstås som den fjerde tilstandsform af almindeligt stof som man kender det.

De fleste væsker kan uden videre underafkøles lidt, dvs. køles til under smeltepunktet uden at krystallisere. Fænomenet isslag er den dødsensfarlige situation der opstår når underafkølet regn rammer jorden og straks fryser til is.

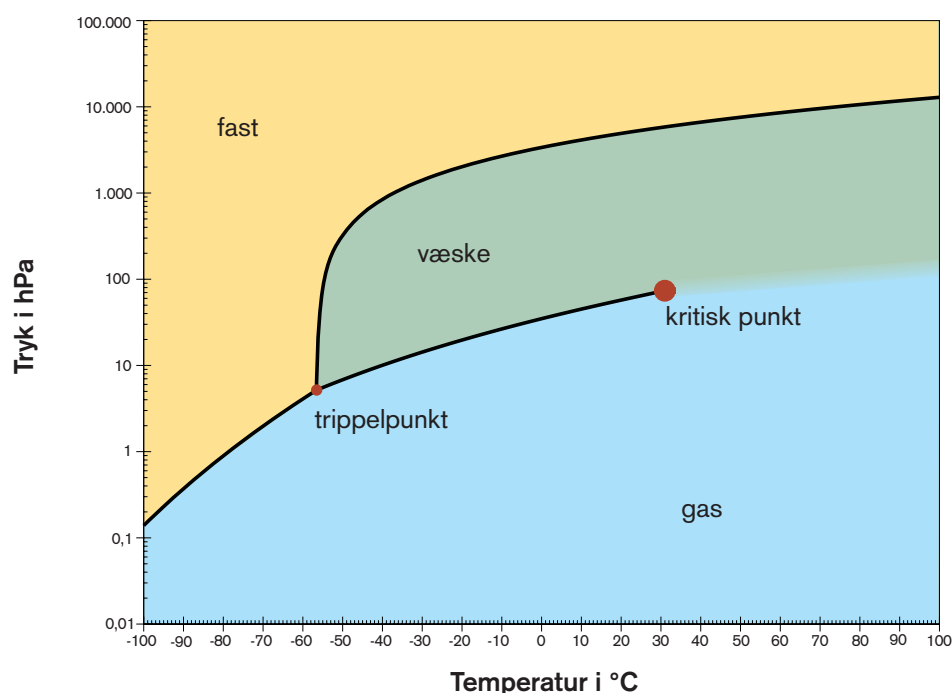
I mange tilfælde vil en underafkølet væske krystallisere spontant når den køles yderligere ned. Vand kan fx i praksis ikke underafkøles til mere end ca. minus $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Men der findes en hel række stoffer som lettere kan underafkøles, og som det faktisk er meget svært at krystallisere. Dette selv om man ved at krystalformen altid er den mest favorable ved lave temperaturer, dvs. ligevægtstilstandsformen –

den form som stoffet i bund og grund helst vil være i. Men det kan være enormt svært for molekylerne at finde sammen for at danne krystal-formens perfekte mønster. For nogle molekyler kræver det derfor lang tid før det lykkes at krystallisere.

Nogle eksempler på stoffer som har svært ved at krystallisere er sukker (fig. 8), alkohol, diverse plastikforbindelser og diverse smeltede sten. Endnu sværere er det for fx glycerin, phthalater (plastblødgørere) og silikater.

Hvad sker der ved fortsat afkøling af et stof der har svært ved at krystallisere? Man kunne tro det fortsatte med at være en væske helt ned til det absolute nulpunkt. Men sådan går det ikke, for viskositeten stiger voldsomt. Viskositeten er et mål for hvor let en væske flyder; er tallet lille flyder den uden stor modstand, er tallet stort er modstanden meget større og væsken fremtræder sejtflydende. Vand og alkohol har lille viskositet ved stuetemperatur, mens fx shampoo og honning har meget større viskositet. Og underafkølede væskers viskositet kan let blive milliarder gange større end den oprindelige væskes! Faktisk kan de blive så sejtflydende at det ville tage 30 år at hælde væsken ud af et glas. Kun specielle videnskabelige undersøgelser kan fastslå at væsken faktisk flyder i denne situation.

Men hvad sker der hvis man yderligere nedkøler en så ekstremt sejtflydende væske? I stedet for at bare blive endnu sejere sker der noget andet. Væsken størkner, den går over i "glasstanden." Et stof i glasstanden er således et fast stof hvor molekylerne sidder på samme positioner som i væsketilstanden der gik forud.



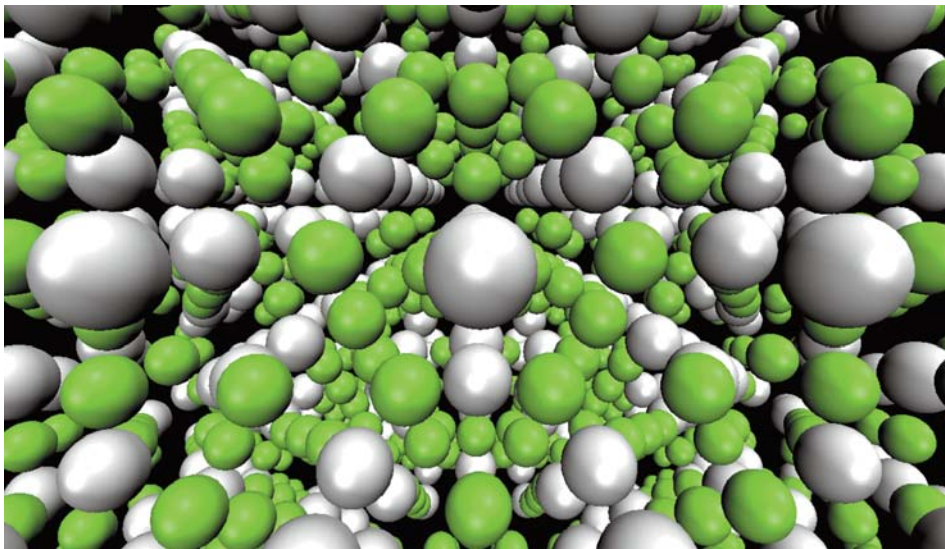
6. Et fasediagram der viser de tre sædvanlige faser: Den faste fase, væskefasen og gasfasen. Alle rene stoffer har et tilsvarende fasediagram; skalaen i figuren svarer til kuldioxid, CO₂. Den faste fase er normalt krystalisk, men ved underafkøling af væskefasen kan i stedet dannes glastilstanden som også er fast.

Molekylernes positioner fastfryses ligesom ved en film der stopper. Man kan lidt populært sige at tiden går i stå for molekylerne, i hvert fald hvad angår deres egentlige bevægelser. Tilbage er blot de termiske vibrationer der aldrig forsvinder.

Vand er en forbavsende dårlig glasformer, så dårlig at det endnu ikke er lykkedes at studere de fysiske egenskaber af sejtflydende vand. Man kan få vand til at overgå i glastilstanden ved at chok-køle små bitte vanddråber ved at smadre dem mod et meget koldt objekt. Det er i øvrigt samme metode man siden opfindelsen i 1960 har brugt til fremstilling af utallige metal-glasser.

Dette bringer os til glastilstandens *universalitet*. Selv væsker der meget let

krystalliserer (vand, flydende jern, osv.) kan bringes på glasformen ved tilstrækkelig hurtig afkøling. Det er udelukkende et spørgsmål om hastighed. Derfor er glastilstanden universel, og derfor taler man om denne som den fjerde tilstandsform af stof som man kender det. Den karakteristiske egenskab af glastilstanden er at den på den ene side er fast ligesom krystaltilstanden, mens den på den anden side har arvet væskens rumlige symmetri i den molekylære struktur. Netop fordi molekylerne i væsken sidder uordnet og lidt tilfældigt, er væsken *isotrop* hvilket vil sige at alle rumlige retninger er lige gode. Der er ingen foretrukne retninger som i krystalfasen – eller som på et ternet papir.



7. Atomerne sidder helt regelmæssigt i en krystal. Her ses et perfekt krystalgitter lavet i en computersimulering af en blanding af to forskellige atomer. Man ser tydeligt regelmæssigheden (som ikke findes i glastilstanden). (Ulf R. Pedersen)

Kvælstof	-210 °C
Alkohol	-114 °C
Vand	0 °C
Glycerin	20 °C
Sukkerforbindelser	100-200 °C
Bly	327 °C
Salt	801 °C
Jern	1.538 °C
Kvarts	1.723 °C

BOKS 1:
SMELTEPUNKTER

FLYDER GLAS?

Man definerer glas-tilstanden som den tilstand hvor flydning ikke mere kan finde sted. Men hvad så med de gamle kirkeruder som mange fortæller er tykkest for neden fordi glasset har flydt en lille smule over hundreder af år? Kan glas flyde, eller kan det ikke?

Det er hvad man i videnskaben kalder et "godt spørgsmål", for i princippet *kan* glas faktisk godt flyde en lille bitte smule. Glas er altså ikke helt fast (krystalformen kan faktisk også flyde, fx under indflydelse af tyngdefeltet, men det er en anden historie).

Men dét at glas i princippet flyder, betyder ikke at historien om kirkeruderne er korrekt. Glas flyder kun lige under sin størkningstemperatur, den såkaldte glasovergangstemperatur. Afhængigt af glassets kemiske sammensætning ligger denne typisk omkring 600 °C. Ved stuetemperatur

kan man regne ud at almindeligt glas ikke flyder kendeligt, selv ikke over tidsrum svarende til universets alder (13,7 mia. år). At dette ikke er ren teori blev bekræftet ved nogle forsøg publiceret i 1920. Ved det ene forsøg havde man hængt et 300 g lod på midten af en 1 m lang, 5 mm tynd glasstang som var vandret ophængt i enderne. Selv efter 7 år var stangen ikke bøjet, glasset havde ikke flydt det mindste.

Forklaringen på at nogle ruder er tykkest for neden menes at være at disse i gamle dage blev fremstillet ved at smeltet glas blev hældt ud på en roterende skive. På grund af rotationen blev glassen tykkest yderst. Siden blev glassen skåret ud, og når man så står med en rude der ikke er lige tyk overalt, er det vel egentligt oplagt at sætte den tykkeste del nederst.

Glaspusteren taler om at glassen har et "arbejdsområde" (fig. 9). Når

glassen er alt for varmt er det for tyndtflydende til at kunne formes. Så køler glassen og får den rette viskositet til at man kan arbejde med det. På et tidspunkt bliver glassen så koldt at det er umuligt yderligere at forme det. Her er glaspusteren forhåbentlig færdig, og glassen kan sættes til yderligere afkøling – ellers må man varme igen. Det er faktisk slet ikke glastilstanden der arbejdes med! Under hele processen er det væskefasen der er tale om. Det færdige produkt, som næsten ikke mere kan ses flyde, er stadig en væske. Og den er oven i købet langt fra at være i glastilstanden – i videnskabelig forstand. Den færdige "væske" som glaspusteren stiller fra sig er således næsten en million gange mere *tyndtflydende* end lige før væsken størkner til den rigtige glastilstand.

Selv når glastilstanden er nået, kan glassen i princippet stadig flyde en lille

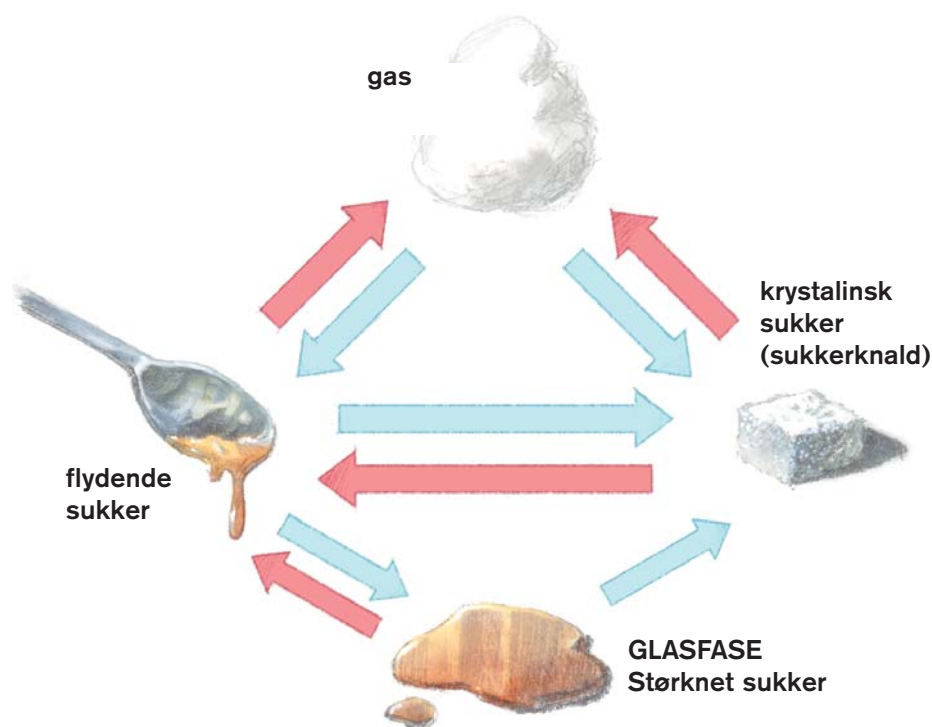
smule. Men her er temperaturen også stadig omkring de 600 °C. Ved stuetemperatur går flyde-processen som nævnt utroligt meget langsommere. Det er derfor i praksis umuligt at observere at glas flyder. Altså: Rent teoretisk flyder glas – men ikke i praksis.

ANVENDELSER AF GLASTILSTANDEN

Som nævnt er glas menneskets første kunstige materiale. Siden har man fundet mange anvendelser for sædvanligt glas. Dette bruges fx til flasker og beholdere, til vinduesruder og jo også til kunst. Glaskunst er faktisk en hel separat kunstart med rødder tusinder af år tilbage i tiden.

Anvendelsen af glas til linser – uden hvilke vi ikke havde film og billeder – udnytter den helt afgørende egenskab ved glastilstanden at det har arvet væskens *isotropi* (det at der ikke er foretrukne retninger). Det gælder ikke i krystalfasen, og man ville ikke kunne slibe gode linser der brød lyset jævnt og forudsigeligt af faste stoffer i krystalfasen. En nyere anvendelse af sædvanligt glas er til optiske fibre. Disse tynde glastråde, som kan lede lys over mange kilometer uden nævneværdige tab, udgør kernen i vores moderne kommunikationssamfund. Uden optiske fibre intet internet som vi kender det i dag.

Alle disse eksempler vedrører de sædvanlige såkaldte silikat-glasser (i hovedsagen bestående af silicium- og ilt-atomer). Der er imidlertid mange andre anvendelser af glastilstanden, og der kommer hele tiden flere til. Lad os nævne et par eksempler. Chokolade er i glastilstanden, faktisk bliver chokola-



8. Fasetilstandene for sukker. De fleste overgange er mulige, dog kan man ikke gå fra krystalfasen direkte til glasfasen – her er det nødvendigt først at smelte krystalen. (C. Rye Schierbeck)

den grå og kedelig hvis den får lov til at krystallisere (fig. 10). I det hele taget spiller glastilstanden en stor rolle for fødevarerindustrien, fx skal is helst også være i glastilstanden. De seneste 20 års forskning har vist at overgangen til glastilstanden er helt afgørende for holdbarheden af frosne og tørrede fødevarer.

Inden for den farmaceutiske industri er glastilstanden kendt og grundigt studeret. Der er grund til at tro at medicin i glastilstanden vil have en række fordele, idet den lettere vil optages fra maven. Dette er dog stadig på forskningsstadiet, idet der selvfølgelig skal kunne gives garantier for holdbarheden af "glas-medicin" før myndighederne kan godkende den. Dette kræver

yderligere forskning, herunder i de såkaldte ældningsprocesser i glastilstanden – processer der godt kan finde sted ved stuetemperatur over lang tid (medicin har betydeligt lavere glas-temperaturer end sædvanligt glas).

Fra isoleringsindustrien kendes både glasuld og Rockwool (fig. 11). Det sidste fremstilles af knuste og smeltede sten der sprøjtes ud i tynde tråde. Derved kommer materialet på glasform, idet afkølingen er så hurtig at stoffet ikke kan nå at krystallisere.

Man møder også glastilstanden i naturen. Nogle planter og dyr udvikler ekstrem tørketolerance (anhydrobiose), og en række forskere mener at disse planters og dyrs sidste kropsvæsker overgår til glasformen



9. En glaspuster som vi kender dem. Hvad de færreste ved er at man også kan puste andre væsker til glas, fx smeltet sukker. Sådanne "glasflasker" bruges bl.a. i film og teater til at illudere rigtige glasflasker der smadres. (Shutterstock)

når de tørres meget kraftigt. Ligeledes er der spekulationer om at visse insekter kan tåle stærke kuldegrader ved at de "glasser", selvom det ikke er endeligt bevist (fig. 12). Derved skulle de undgå den udvidelse der finder sted ved sædvanlig frysning af vand, og ligesom en flaske vand ikke overlever frysning, vil insektets celler heller ikke kunne tåle det. En mere almindelig mekanisme til at undgå frysning er dog at dyret danner såkaldte antifryseproteiner,

som beskrevet af Hans Ramløv i *Naturens Verden* (2006, nr. 5-6).

Metaller er som regel rigtig dårlige til at danne glasser, og de har traditionelt skullet "splat-køles" for at undgå krystallisation. Men inden for de seneste 10-15 år har man lavet en række ny legeringer som er glimrende glassdannere, de såkaldte BMG'er (bulk metallic glasses). Her er tale om et vigtigt videnskabeligt gennembrud. BMG'er er allerede ved at få anvendelser pga. deres overlegne mekaniske egenskaber.

Eksempelvis kan man købe golfkøller af metalglas (lavet af en legering primært af zirconium og beryllium).

Enkelte sten i naturen forefindes helt eller delvis på glasformen, fx det vulkanske mineral obsidian der ikke har været kølet langsomt ned sådan som sten ellers typisk har. Obsidian har været anvendt af stenaldermennesker til knive, pilespidser og lignende fordi det er nemmere at forarbejde end almindelige sten som fx den flint vore forfædre benyttede.

Moderne glasforskning leder efter forklaringer på de *universelle* egenskaber man finder hos seje væsker og de glasser som de danner, altså de egenskaber som er fælles for væskerne uanset deres kemiske sammensætning. Det er ikke oplagt at væsker som fx flydende sukker, flydende metaller og flydende sten overhovedet skulle have fælles fysiske egenskaber. Men meget tyder på det. Der er for tiden i fysikken og kemiens verden en hård konkurrence blandt forskerne om at kortlægge og forstå disse universelle egenskaber. En af fysikkens toneangivende forskere, nobelpristageren P.W. Anderson, udnævnte i 1995 glasforskningens grundproblemer til de måske dybeste og vigtigste uløste problemer i fysikken. Siden er interessen for området øget yderligere, dog uden at de grundlæggende problemer er løst endnu.

De fundamentale forskningsspørgsmål vedrører først og fremmest de seje væskers egenskaber *før* de danner glasser. Man ved ikke hvorfor viskositeten stiger så voldsomt ved afkøling som den gør. Og da denne egenskab er styrende for ved hvilken temperatur glastilstanden nås, må man sige at vi stadig står på næsten bar bund i glasforskningen.

Der findes en række teorier for viskositetens temperaturafhængighed og hvad der styrer den. Ved grundforskningscentret *Glas og Tid* på RUC har vi også fremsat en teori ("shoving modellen") ifølge hvilken det er væskens hårdhed der bestemmer viskositeten. Teorien ser ud til at passe med en række eksperimenter



10. Chokolade skal helst være i glastilstanden. Henligger chokoladen for længe gråner den. Det skyldes at den begynder at krystallisere. (E. Søgaard)



11. Isoleringsmaterialet Rockwool er faktisk i glasfasen. Det fremstilles af smeltede sten der afkøles meget hurtigt som tynde tråde. (Rockwool)



12. Det menes at visse dyr har glæde af glasovergangen til at overleve en stærk nedkøling. Fx tøndestadiet af bjørnedyret *Richtersius coronifer*. Dyret er i *cryptobiose* og indeholder i dette stadium mindre end 2% vand. Dyret menes at befinde sig i en *glastilstand*. Bar = 100 μm . (H. Ramløv)

på seje organiske væsker og, allersejest, også på tidligere nævnte BMG'er. Men det er alt for tidligt at sige om teorien er rigtig.

Et andet uløst problem er at forstå hvordan en sej væske "relakserer" mod ligevægt efter en ydre forstyrrelse. Hvis man fx trykker hårdt på en sådan væske, vil den "huske" påvirkningen i nogen tid efter og kun langsomt igen komme i ligevægt, hvor de indre kræfter igen er aftaget. Den matematiske funktion der præcis beskriver hvordan og hvor hurtigt dette sker, er genstand for stor interesse blandt forskerne. Der er enighed om at denne funktion giver afgørende information om væskens natur, og funktionen ser ud til at være næsten universel – altså kemi-uafhængig. Men man kan ikke beregne

funktionen ud fra en beskrivelse af hvordan molekylerne i en sej væske bevæger sig rundt mellem hinanden, for i bund og grund er der ingen der ved præcis hvordan disse bevægelser finder sted. På grund af universaliteten forventer de fleste forskere at den endelige teori er simpel, men der er slet ikke enighed om hvilken af de mange foreslåede teorier der er den rigtige – og det kan ikke udelukkes at den rigtige teori er én som er helt anderledes end dem man i dag så livligt diskuterer.

Til slut skal nævnes den interessante, men omstridt hypotese at der findes en "ideel" glastilstand med nul entropi. Entropien er et mål for systemets uorden. Da molekylerne i glastilstanden sidder lidt hulter til bulter

mellem hinanden, ligesom de sad i væsken, er det umiddelbart svært at forestille sig en glas med nul entropi. En nul-entropi-tilstand svarer nemlig til en helt entydig tilstand. Kan man forestille sig en entydig, men stadig uordnet måde at placere molekylerne på? Krystaltilstanden er entydig (og med nul entropi), men glastilstanden? Så må der jo være en form for skjult orden i glassen, en slags "system i rodet"! En række forskere mener der findes en ideel glastilstand som dog ikke kan nås i praksis fordi det ville kræve uendelig langsom afkøling, og så ville væsken jo krystallisere. Denne artikels forfatter er skeptisk over for ideen, men man kan ikke umiddelbart afvise den.

Glasforskning er en utraditionel disciplin i grænseområdet mellem fysik og kemi. Forskningen vedrører fænomener der finder sted på meget lange tider sammenlignet med hvad man sædvanligvis studerer i disse videnskaber. Forskningen vedrører og inddrager makroskopiske egenskaber som varmfylde, sammentrykkelighed, osv. Og forskningen har nær tilknytning til anvendelser som der hele tiden kommer flere af. På alle disse tre punkter skiller glasforskningen sig ud fra de fleste andre af fysikkens og kemiens discipliner. I glasforskningen står man stadig over for helt grundlæggende uløste problemer, og computere er stadig alt for langsomme til at man "bare kan regne den ud" (heldigvis eller desværre, alt efter forskerens temperament). I lyset af dette er der grund til at tro at glasforskning vil være et aktivt forskningsområde i en årrække fremover.