

# Entropi:

## Ordning och oordning

Av civ.-ing. Leif Andersson

Den tyske fysikern Clausius införde i början av 1800-talet ett begrepp som han kallade entropi. Detta begrepp är mycket praktiskt att använda vid termodynamiska beräkningar men han gav det ingen lättfattlig innebörd. Begreppet har därför förvirrat generationer av teknologer trots att Ludwig Boltzman senare gav det en enkel innebörd genom den formel som prydde omslaget till nr 4, 1978, av Energiteknik

I början av 1800-talet insåg man att värmemängd och temperatur inte var samma sak. 1 l vatten vid 80° C innehåller en viss värmemängd men 10 l vatten vid 80° C innehåller givetvis mer värme trots att temperaturen är densamma. Vad Clausius sa var i princip att om värmemängden i ett visst system ändras utan att temperaturen ändras så beror det på att något som man kan kalla entropin ändras. Ändringen i värmemängd är produkten av temperaturen och ändringen i entropi.

Begreppet temperatur och i viss mån även begreppet värmemängd möter vi relativt tidigt i vår utbildning

och vi accepterar dem utan att fråga särskilt mycket vad de innebär. Men vad är entropi? Ludwig Boltzman gav följande förklaring. Om ett system kan inta  $w$  olika tillstånd så är entropin hos systemet logaritmen för  $w$ . Dvs  $S = k \log w$  där  $S$  är systemets entropi och  $k$  är en sortomvandlingskonstant.

Låt oss ta ett exempel. Om vi placerar en kula på ett bord får vi ett system som kan inta två lägen. Kulan kan ligga på bordet eller rulla ner och ligga på golvet. Tar vi två kulor kan systemet inta fyra olika lägen nämligen: Båda kulorna på bordet, första kulan på bordet och andra på golvet, andra kulan på bordet och första kulan på golvet eller båda kulorna på golvet.

Man kan lätt övertyga sig om att om vi har  $n$  kulor blir antalet möjliga tillstånd  $2^n$ . Entropin för ett system med  $n$  kulor blir då

$$S = k \log 2^n = n k \log 2 = k_1 n$$

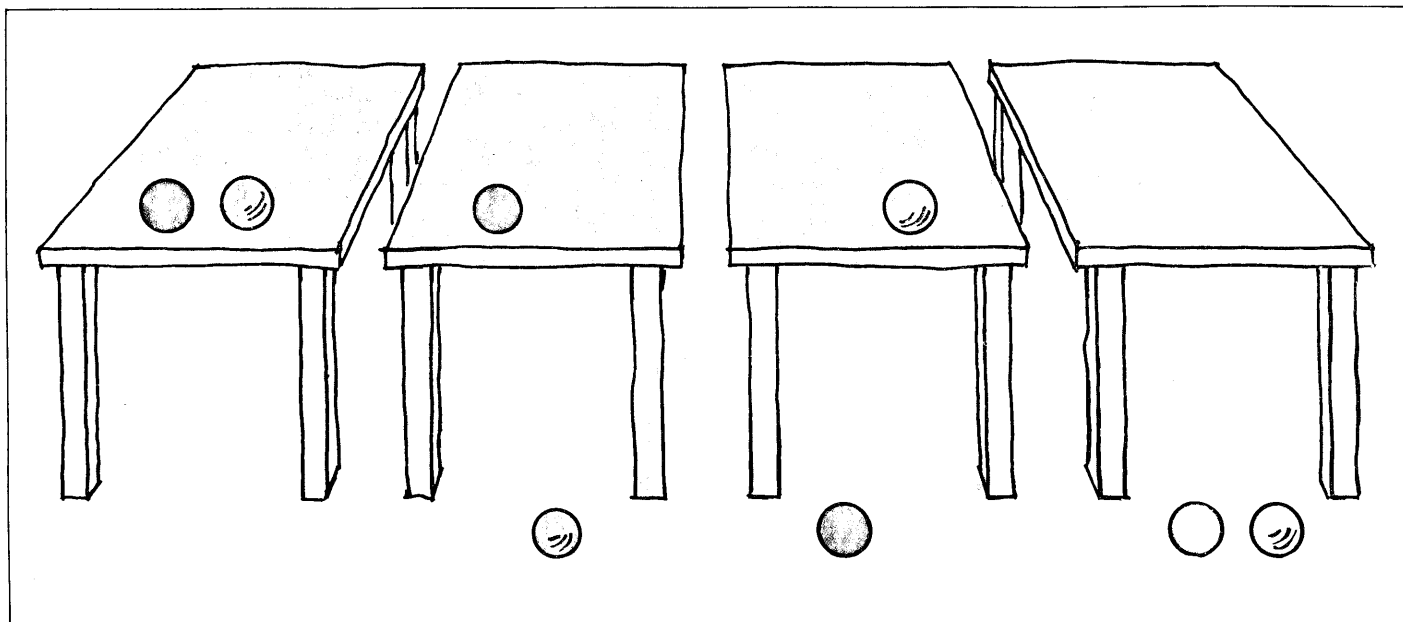
där  $k_1 = k \log 2$

Då  $k_1$  endast är en sortomvand-

lingskonstant som beror på vilken sort vi vill välja på  $S$  kan vi välja att uttrycka  $S$  i sorten styck. Antalet kulor  $n$  blir då  $n$  entropin i systemet dvs  $S = n$ .

Om vi "samordnar" kulorna t.ex. genom att limma ihop ett antal kulor till rullar minskar antalet möjliga tillstånd. Med  $n$  menar vi nämligen antalet fria enheter i systemet. Dvs att om vi limmar ihop kulrader till rullar blir  $n$  inte antalet kulor utan antalet rullar. Ju fler kulor vi limmar ihop i varje rulle ju mindre blir tydligen  $n$  och därmed  $S$ . Ju mer vi "samordnar" kulorna ju mindre blir alltså  $S$ . Entropi är tydligen ett omvänt mått på samordning d.v.s. ett mått på oordning.

I en ädelgas vid lågt tryck kan atomerna betraktas som runda kulor. Vi skulle då kunna säga att entropin hos gasen är antalet atomer. Men varje atom kan inte bara röra sig i en riktning som kulorna på bordet som bara kunde falla ned. Varje atom kan i stället röra sig i tre av varandra oberoende riktningar. Det kan därför vara lämpligt att säga att entropin hos ga-



sen är antalet energibärande element och att varje atom har 3 st energibärande element. Entropin blir då  $S = 3a$  där  $a =$  antalet atomer.

Om vi har en gas vid lågt tryck men med oregelbundna molekyler kan dessa inte bara röra sig i 3 av varandra oberoende riktningar, de kan också rotera kring tre av varandra oberoende axlar. Antalet energibärande element blir då 6 per molekyl dvs  $S = 6m$  där  $m =$  antalet molekyler.

Om vi komprimerar en tunn gas minskar avståndet mellan molekylerna och kopplingskrafterna mellan dem blir märkbara. Vi kan säga att molekylerna "limmas samman" med svagt lim. Alla molekyler uppträder då inte som helt fria partiklar utan ibland hänger de ihop i större "molekylrullar". Entropin minskar då eftersom molekylerna samordnas till färre och större energibärande element.

Vi kan använda följande definitioner:

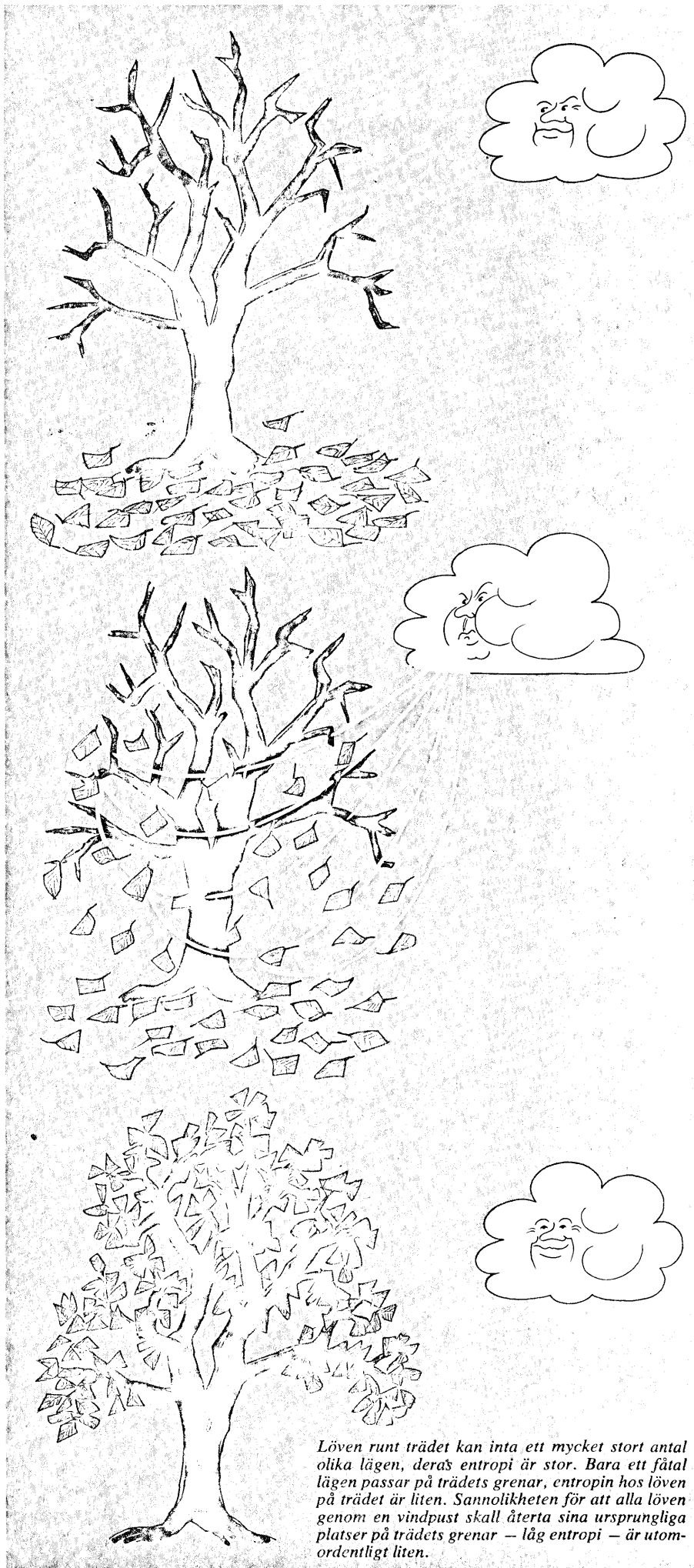
Entropi är antalet (värme-) energibärande element

Temperatur är medelvärdet av (värme-) energin per energibärande element.

Härav följer att: (Värme-) energi är produkten av temperatur och entropi.

I allmänhet brukar man inskränka sig till att tala om temperatur och entropi bara för värme. Man menar då med värmeenergi endast den del av den totala energin som finns i form av oordnad molekylrörelse. En rad energiomvandlingsprocesser blir emellertid mycket enklare att förstå om man observerar att definitionerna mycket enkelt kan vidgas till att gälla för alla energiformer. Inom t.ex. ellära blir då entropin = antalet energibärande element = antalet elektroner och temperaturen = energin per elektron = produkten av elektronladdning spänning. Men eftersom elektronladdningen är konstant kan vi använda laddningen som mått på antalet elektroner och spänningen som mått på energin per elektron. Vi kan alltså sätta Entropi  $\sim$  laddning och Temperatur  $\sim$  spänning.

Spelar det då någon roll om man har en enkel definition av begreppet entropi? Kan man inte bara låta bli att använda begreppet? Jo, det kan man. Om man känner temperatur och energi kan man beräkna entropin. Man kan alltså ange temperatur och energi i stället för entropi. Dvs en elektriker kan ange spänning och energi eller effekt i stället för laddning eller ström men nog blir det en konstig ellära. Fast den blir ju ganska lik en "entropifri" framställning av värmeläran.



Löven runt trädet kan inta ett mycket stort antal olika lägen, deras entropi är stor. Bara ett fåtal lägen passar på trädets grenar, entropin hos löven på trädet är liten. Sannolikheten för att alla löven genom en vindpust skall återta sina ursprungliga platser på trädets grenar – låg entropi – är utomordentligt liten.