

# LARS-GÖRAN JOHANSSON

## *Naturlagar*

---

### *1. Inledning*

Vad är en naturlag? Enkel fråga, skulle kanske en del säga, det är sådana satser som Newtons lagar, Hookes lag, lagen om energins oförstörbarhet osv. Detta är ett svar på frågan, man blir upplyst om extensionen för predikatet naturlag. Men frågan kan också tolkas som en fråga om hur man definierar begreppet naturlag och den frågan är mycket knivigare att besvara. Många ansatser till analys har gjorts men ingen har vunnit allmän acceptans. Det är ett ganska häpnadsväckande faktum att det å ena sidan finns en stor enighet om vad som skall räknas till naturlagar, även om det finns oklara gränsfall, men å andra sidan ingen som helst enighet om definitionen av begreppet.

Det råder i stort sett enighet om att naturlagar har den logiska formen 'för alla  $x$ , om  $Ax$ , så  $Bx$ '. (Några menar i stället att naturlagar skall tolkas i andra ordningens logik, som relationer mellan universalialia, mera därom nedan.) Alla naturlagar som uttrycks genom ekvationer (t ex Newtons andra lag,  $F=ma$ ) har denna form om man läser ut den fulla innebörden av dem. En fullständigare uttolkning av Newtons andra lag är:

*#1 För alla kroppar  $x$  gäller att om  $x$  har massan  $m$  och accelerationen  $a$ , så ges kraften  $F$  på  $x$  av  $F=ma$ .*

I en del fall, t ex Coulombs lag, måste man kvantifiera över par av ting, men det är detaljer som endast kräver en generalisering av formuleringen.

Det finns många satser som har samma logiska form som lagar utan att vara lagar. Ett exempel givet av Goodman (Goodman, 1946, 1954) är

*#2 Alla mynt i min ficka är av silver.*

Även om #2 är sann så är det inte en lag, det är blott en *accidentiell generalisering*. Att vara en allkvantifierad villkorssats kan alltså möjligen utgöra ett nödvändigt, men ej ett tillräckligt villkor på en naturlag. Problemet med att definiera lagar kan formuleras som problemet att skilja lagar från accidentiella generaliseringar.

En tanke som Goodman prövade var att skilja på naturlagar och accidentiella generaliseringar genom att titta på sanningsvärdet hos motsvarande kontrafaktiska villkorssatser. En kontrafaktisk villkorssats som är associerad med #1 är

#3 Om denna kropp hade accelerationen  $a$  och massan  $m$ , så skulle kraften  $F$  på den vara  $ma$ .

På motsvarande sätt kan vi ur #2 konstruera:

#4 Om detta mynt vore i min ficka, vore det av silver.

Intuitivt uppfattar vi #3 som sann och #4 som falsk, men vad grundar sig denna intuition på? Om vi tolkar #3 och #4 som materiella implikationer så blir båda sanna i de fall försatserna är falska. Detta visar att den rent extensionella analysen inte kan vara riktig. Problemet med att skilja naturlagar från accidentiella generaliseringar har alltså transformerats till en fråga om analysen av sanningsvillkoren för kontrafaktiska villkorssatser.

I sin uppsats diskuterade Goodman olika möjligheter att lösa problemet genom att anta att det fanns underförstådda bivillkor i antecedenten, men alla försök ledde omedelbart till att man måste förutsätta naturlagar. I en rimlig tolkning av Goodmans uppsats är slutsatsen att problemet med att skilja naturlagar från accidentiella generaliseringar och problemet med den semantiska analysen av kontrafaktiska villkorssatser väsentligen är ett och samma problem.

Många känner instinktivt att det är något begränsat, något i tid och rum lokalt förhållande som gör #2 sann, medan #1 är en äkta universalitet, ej blott en all-sats. Goodman diskuterade några olika försök att ge ett kriterium som bygger på en sådan skillnad, men han fann inget som var minsta övertygande och de flesta har givit honom rätt på denna punkt.

Bas van Fraassen har (van Fraassen, 1989) givit ett exempel för att tydligt visa att problemet är djupare än så. Hans exempel är kontrasten mellan följande två satser

#5 Alla klot av guld är mindre än 1 km i diameter.

#6 Alla klot av U-235 är mindre än 1 km i diameter.

Eftersom U-235 är en radioaktiv isotop som vid en viss koncentration och mängd ger upphov till en kedjereaktion som resulterar i en explosion, är förekomsten av även ett mycket litet klot av detta ämne en omöjlighet. I en fullständig beskrivning av mekanismerna är #6 är en logisk följd av några grundläggande lagar i kärnfysiken och det ter sig naturligt att säga att #6 är en lag. Vi har då använt följande slutledningsprincip:

*P. Om p är en universell generalisering och härledbar från en mängd lagar, så är p en lag.*

I motsats till #6 är #5 en accidentiell generalisering. Det blott råkar vara så att det (såvitt vi vet) inte finns några stora guldklumpar.

## 2. Van Fraassens kritik av lagbegreppet

Efter Goodman har många andra försök gjorts att definiera begreppet naturlag. Van Fraassen går i ovan nämnda bok igenom ett flertal ansatser och delar in dem i tre grupper: (i) de som bygger på en realistisk syn på möjliga världar; (ii) de som i Mills anda menar att naturlagarna utgör axiomen i en framtida tänkt axiomatisering av hela naturvetenskapen; (iii) de som menar att naturlagarna inte skall tolkas som universella satsar i första ordningens predikatlogik utan som relationer mellan universaliala.

Den första ansatsen, utvecklad av bl a Pargetter, Vallentyne och McGall, bygger alltså på en realistisk syn på möjliga världar. Man säger att ett samband är en naturlag om den gäller i alla möjliga världar. Uppenbarligen måste man ha en karakteristik av begreppet möjlig värld som inte bygger på begreppet naturlag. Därav följer att man inte kan tolka 'möjlig värld' som ett icke aktualiserat tillstånd i vår värld, ty i en sådan tolkning identifierar man en möjlig värld som en värld där våra naturlagar gäller men där initialvillkoren är andra än de i vår värld. Men hur identifierar vi då de möjliga världarna? Och vad skiljer en möjlig från en omöjlig värld åt?

Den andra ansatsen har intressant nog utvecklats av David Lewis; man skulle ju kunna tro att han skulle använda sin realistiska syn på möjliga världar för att analysera begreppet lag, men, som van Fraassen påpekar, begreppet möjlig värld används av Lewis för att visa att lagar

är nödvändiga sanningar, inte för själva lagdefinitionen. Så empiristen van Fraassen har inga metafysiska problem med Lewis' lagdefinition som grovt sett säger att naturlagarna är de satser som beskriver naturens observerbara regelbundenheter och som optimerar de två kraven på styrka och enkelhet. 'Styrka' tolkas som informationsinnehåll. Van Fraassen observerar nu att det finns en spänning mellan kraven på styrka och enkelhet: om man har en teori och lägger till en lag för att ge den större informationsinnehåll (den kan förklara fler regelbundenheter) så blir den därmed mindre enkel. Således måste man säga att kravet på balans mellan styrka och enkelhet är ett tredje kriterium på lagarna. Vi har alltså tre kriterier och frågan är hur de skall kombineras. Den slutsats van Fraassen drar är att den Mill-Lewisiska analysen inte känns särskilt övertygande.

Den tredje ansatsen (utvecklad av bl a Armstrong, Tooley och Dretske), att lagar utgör relationer mellan universalia, har prima facie en del som talar för sig. Många lagar uttrycks genom matematiska formler som beskriver hur kvantitativa storheter relaterar till varandra och dessa kvantiteter kan tolkas som universalia. Lagar uttrycker en typ av implikationsrelationer mellan universalia, symboliskt F-het  $\rightarrow$  G-het. Tillämpat på exempelvis formeln  $pV = \text{konstant}$  tolkas detta som att egenskapen att ha ett visst tryck hos en gasmassa implicerar en viss volym. (Även omvändningen gäller här.) Problemet med denna förklaring är att man måste postulera en primitiv implikationsrelation mellan universalia. Denna implikationsrelation mellan universalia är något annat än materiell implikation, som är en relation mellan satser. Men vad är det då? Armstrong hävdar att vi måste acceptera förekomsten av en primitiv relation mellan universalia och vidare att den är identisk den med den materiella relationen! Kan man vara nöjd med ett sådant svar? Knappast.

Van Fraassen finner således bärande invändningar emot alla tre ansatserna och drar slutsatsen att det inte finns några naturlagar. Men denna slutsats är, som jag tolkar honom, för van Fraassen närmast välkommen, ty givet hans empiristiska grundsyn så tjänar begreppet naturlag inget syfte. Ty frågan om en viss sats är en naturlag eller ej spelar ingen roll för frågan om dess empiriska konsekvenser: En sats  $p$ , implicerar (givet en del bakgrundsteori) ett antal empiriska påståenden och det enda vi kan veta är enligt van Fraassen huruvida dessa empiriska påståenden stämmer med verkligheten. Exakt samma empiriska konsekvenser

följer av satsen 'det är en naturlag att p' som av satsen 'p', varav följer att vi inte med empiriska medel kan avgöra om p är en naturlag eller ej. Och varför bryr sig? Det enda som har någon betydelse är om teorin i vilken p ingår är empiriskt adekvat, dvs om teorin har någon modell som är isomorf med de empiriskt observerade fenomenen.

Min egen ståndpunkt är att van Frassen har givit goda argument för att förkasta alla hittills gjorda ansatser till att analysera begreppet naturlag. Men nog måste det väl gå att formulera en definition som i stort sett fångar det vi intuitivt uppfattar som lagar? Vad menar vetenskapsmännen när de hävdar att vissa samband i naturvetenskapen är lagar? Om problemet formuleras på detta sätt så förflyttas fokus från den ontologiska till den semantiska och pragmatiska aspekten av problemet.

### 3. Naturlagars sammanhang

Det ligger enligt min mening något sunt i Mills och Lewis' tanke att för att räknas som en naturlag måste en sats utgöra en del i ett sammanhängande system av påståenden i en teori. En observerad regelbundenhet i naturen utgör en *kandidat* till naturlag, inte mer. Vidare, om vi godtar principen P så kan vi återföra lagkaraktären till några grundläggande samband av universell karaktär. Låt oss kalla dessa icke-härledda lagar för de grundläggande naturlagarna. Vad är det hos dessa samband som gör att vi kallar dem för lagar?

Eftersom lagkaraktären är en egenskap som tillkommer villkorssatser, så är det uppenbart att lagkaraktären har att göra med sambandet mellan predikaten i antecedenten och konsekventen. Jag tror inte det är möjligt att ersätta predikaten med generiska beteckningar 'A' och 'B' och ge en för alla naturlagar gemensam analys. Man kan urskilja åtminstone två typer av naturlagar: (i) de som formuleras som kvantitativa relationer mellan fysikaliska storheter, vanligen uttryckta genom formler, och (ii) konserveringslagar. Därutöver finns det en del samband som vi brukar kalla naturlagar men som inte hör till någon av dessa två kategorier. Vi har t ex principen om ljushastighetens konstans, den fotoelektriska effekten och Paulis uteslutningsprincip. Dessa får i detta sammanhang bilda en restgrupp. Vad beträffar lagarna i kategori (i) och (ii) skall här skisseras en analys. Vad gäller naturlagarna i restgruppen kan jag inte se någon allmängiltig analys, utan de måste diskuteras var för sig, tror jag. I denna uppsats lämnar jag dem därhän.

#### 4. Numeriska relationer mellan kvantitativa storheter

En tanke som är värd att pröva är om inte vissa naturlagar i den första gruppen närmast har karaktären av definitioner. Intuitivt uppfattas vissa naturlagar som grundläggande. Från dessa kan de andra lagarna härledas. Givet principen P så ärver dessa härledda satser lagkaraktären hos de grundläggande lagarna. Det är dessa grundläggande lagar som kan betraktas som en slags definitioner av teoretiska begrepp.

Denna tankegång skall här utföras något mer detaljerat vad avser klassisk mekanik; uppenbarligen måste ett fullständigt argument utgöra en systematisk genomgång av åtminstone fysikens samtliga kvantitativa begrepp.

För att beskriva blott kroppars lägen vid olika tidpunkter behöver vi endast de fysikaliska storheterna tid och sträcka. (Begreppen hastighet och acceleration kan definieras ur dessa.) Dessa predikat har explicita operationella definitioner i SI-systemet (se nedan). När man sedan övergår till dynamiken, dvs beskrivningen av hur kroppar påverkar varandra, införs Newtons tre lagar samt gravitationslagen. Vi kan i detta sammanhang bortse från den första lagen såsom ett specialfall av den andra, och den tredje som uttrycker ömsesidigheten i fysikaliska kroppars påverkan. Kvar att reflektera över är då Newtons andra lag, som säger att kraften på en kropp = massan gånger accelerationen, samt gravitationslagen.

I Newtons andra lag och gravitationslagen uppträder två fysikaliska storheter förutom de tidigare introducerade tid och plats (eller sträcka), nämligen massa och kraft. En vanlig uppfattning är att begreppet massa definieras ostensivt; vi pekar på massprototypen i Paris och säger att den har massan 1 kg per definition. Men massa är en dynamisk kvantitet som vi använder vid beskrivningen av hur föremålen verkar på varandra och denna aspekt av massbegreppet finns inte direkt med i ostensionen av massprototypen. Det rimligaste är att säga att Newtons andra lag kopplar samman två nya teoretiska storheter, kraft och massa, med en tidigare införd kinematisk storhet, acceleration. Men man kan ju inte med ett samband definiera två nya teoretiska begrepp. Vi behöver ytterligare ett samband som knyter samman kraft och massa, nämligen gravitationslagen

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

som ger sambandet mellan kraften  $F$  mellan två kroppar, deras

massor  $m_1$  och  $m_2$  samt det inbördes avståndet  $r$  ( $G$  är en konstant). Dessa två lagar, Newtons andra lag samt gravitationslagen, innehåller båda storheterna kraft och massa. Således kan man säga att två teoretiska begrepp introduceras genom två lagar, Newtons andra lag och gravitationslagen. Det är uppenbart att vi behöver två samband för att introducera två nya kvantitativa begrepp.

Jag har här negligerat skillnaden mellan tung och trög massa, vilket är en invändning så länge som vi negligerar relativitetsteorin; enligt denna är ju tung och trög massa samma sak. Således kan man av konsistensskäl inte betrakta klassisk mekanik som en isolerad teori.

Man kunde invända att symbolen  $F$  står för olika saker i de två formlerna; i Newtons andra lag symboliserar  $F$  den totala kraften på föremålet, medan  $F$  står för enbart gravitationskraften i gravitationslagen. Men detta är ingen bärande invändning; om vi börjar med att tänka oss fysikaliska system där inga andra krafter än gravitation förekommer (friktion och fjäderkrafter, t ex, är i grunden elektromagnetiska fenomen) så är, i dessa system,  $F$  i de två formlerna beteckning på samma sak. När man sedan tillfogar andra krafter definieras de med utgångspunkt från ytterligare samband.

Det är ett välkänt faktum att en teori kan axiomatiseras på flera olika sätt. Varför inte göra en alternativ axiomatisering och därvid få andra grundläggande lagar? Detta är en invändning som har bärkraft om man tänker sig att blott rent logiska aspekter är relevanta vid analysen av lagbegreppet. Men som jag ser det är de pragmatiska och semantiska aspekterna nog så viktiga. Vetenskapssamfundet *betraktar* vissa samband som mer grundläggande än andra, varvid inte blott logiska aspekter spelar roll. En analys av lagbegreppets användning kan inte gärna bortse från detta.

Att vissa begrepp och samband betraktas som fundamentala kodifieras i strukturen hos SI-systemet, det internationellt antagna systemet för kvantitativa storheter och därtill hörande måttenheter. I SI-systemet utgör sju storheter grunden, nämligen längd, tid, massa, ström, temperatur, materiemängd och ljusintensitet. Alla övriga kvantitativa storheter i naturvetenskapen införs som härledda storheter ur dessa sju. De samband varmed nya storheter införs är inget annat än grundläggande fysikaliska lagar.

Faktum är att även vissa av grundstorheternas definitioner bygger på andra grundläggande storheter; så t ex definieras ström implicit

med hjälp av begreppen sträcka och kraft i en ganska komplicerad experimentbeskrivning. De sju grundstorheterna är således inte alla logiskt oberoende av varandra, men detta ändrar inte på slutsatsen att alla övriga storheter införs via naturlagar som fungerar som implicita definitioner av nya kvantitativa begrepp.

Om man säger att vissa samband har karaktären av definitioner, så är den naturliga följdfrågan: vad för slags definitioner? Om vi t ex betraktar begreppen kraft och massa, så kan man säga att de två ovan relaterade lagarna utgör en slags *explikation* av mer vardagliga och oprecisa begrepp. Men för vissa andra, t ex elektriskt fält, finns ju inte något vardagligt begrepp att explikera. För en realist (som jag själv), som tror att modern vetenskap beskriver en av oss oberoende verklighet, åtminstone i huvuddragen, så är en aristotelisk realdefinition det närmast liggande tolkningsalternativet. En sådan syn har emellertid den nackdelen att den innebär att man postulerar existensen av universaliala, vilket jag gärna skulle vilja undvika. Man kan helt enkelt tänka att de fundamentala naturlagarna introducerar teoretiska predikat i teorin och samtidigt tillskriver dessa kvantitativa relationer. Huruvida de ting som satisfierar ett visst predikat alla har del i någon gemensam egenskap i någon djupare metafysisk mening behöver vi inte ta ställning till.

### 5. Konserveringslagar

En grupp naturlagar har formen av konserveringslagar. De mest kända är principerna om energins, rörelsemängdens och rörelsemängdsmomentets konstans. Enligt Noethers teorem så är varje konserveringslag en logisk konsekvens av kravet på invarians under kontinuerliga transformationer av en viss parameter. T ex så kan man härleda energiprincipen ur kravet att beskrivningen av tillståndet hos ett fysikaliskt system skall vara invariant under tidstransformationer, dvs oberoende av valet av nollpunkt i tidskoordinaten. Detta invarianskrav kan betraktas som ett objektivitetskrav eftersom valet av tidpunkten noll är en rent subjektiv fråga. På samma sätt är valet av riktningar och nollpunkt i ett koordinatsystem då vi beskriver fysikaliska tillstånd och förlopp med utgångspunkt från ett sådant system rent konventionella. Därför bör en maximalt objektiv naturbeskrivning vara oberoende av sådana val, och detta krav leder till rörelsemängdens och rörelsemängdsmomentets konstans. Dessa objektivitetskrav synes mig utgöra en förklaring av lagkaraktären av de därur härledda konserveringslagarna. Det finns



ytterligare några konserveringslagar och i samtliga fall kan de alltså betraktas som konsekvenser av kravet på maximal objektivitet i naturbeskrivningen.

## 6. Övriga lagar

Vissa naturlagar är varken relationer mellan kvantiteter eller konserveringslagar, varav några exempel gavs i avsnitt 3. Huruvida det går att ge någon slags ”förklaring” av dessa sambands lagkaraktär är oklart för mig.

Det finns också samband som trots att de utgör relationer mellan kvantitativa storheter inte låter sig inordnas i en teoretisk struktur via definitioner grundade på mer primitiva storheter. Skall man säga att dessa samband är naturlagar ändå? Jag är skeptisk; varje sådant samband grundar sig på en begränsad mängd observationer och hur vet man att det är en naturlag och inte blott en accidentiell generalisering? Varje kriterium i termer av empiriskt stöd är otillräckligt för att skilja en naturlag från en accidentiell generalisering. Men man kan inte heller kategoriskt avfärda möjligheten att sambandet, eller en närliggande variant där begreppen getts vissa preciseringar, visar sig vara härledbart från redan etablerade lagar. Det enda vi vet säkert är att det ännu inte låtit sig göras. Min slutsats är att vi skall avvakta med att kalla ett samband för en naturlag tills vi lyckats inordna det i en teori vars grunder utgör redan kända naturlagar, även om det har gott empiriskt stöd.

## 7. Lagars nödvändighet

Naturlagar uppfattas som nödvändiga sanningar. Det är inte logisk nödvändighet som avses utan ett slags fysikalisk nödvändighet. Men vad är det?

Med utgångspunkt från ovan föreslagna tolkningar av lagkaraktären kan man hävda att nödvändigheten är en underförstådd konsekvensrelation. I stället för att säga ’Om man med kraft och massa menar de kvantiteter som definieras i SI-systemet, så har man också accepterat Newtons andra lag och gravitationslagen’, så säger man att Newtons lag och gravitationslagen är nödvändiga. I stället för att säga ’Om man vill hävda naturbeskrivningens oberoende av val av nollpunkt och riktning i rums- och tids-koordinaterna, så följer energi-, rörelsemängds- och rörelsemängdsmomentkonservering’, så säger man att energiprincipen

osv är nödvändiga sanningar. Vidare, alla härledda lagar är logiska konsekvenser av andra redan tidigare accepterade lagar. En liknande analys har Quine (1966) gjort vad avser många vardagliga användningar av uttrycket 'nödvändigt'. Vi säger t ex: 'det är nödvändigt att betala sina räkningar', vilket kan tolkas som en förkortad version av villkorssatsen 'om man vill undvika besök av kronofogden, så skall man betala sina räkningar'. Man använder ordet 'nödvändigt' när man underförstår ett villkor som samtidigt uppfattas som välkänt och helt okontroversiellt sant.

### 8. *Sammanfattning*

Begreppet naturlag omfattar en ganska heterogen samling av teoretiska satser i naturvetenskaperna. En helt generell analys av begreppet naturlag är inte möjlig. Alla säkra exempel på naturlagar ingår dock i någon teori och hänger logiskt samman med ett stort antal andra satser. En stor del av dessa naturlagar utgörs av all-kvantifierade villkorssatser där predikaten i både antecedenten och konsekventen uttrycker kvantitativa egenskaper hos tingen. Dessa naturlagar kan återföras på ett litet antal grundläggande lagar, vilka i sin tur kan ses som definitioner av teoretiska begrepp. Om vi godtar principen P så följer att lagkaraktären ärvs av alla allkvantifierade satser som logiskt kan härledas ur dessa grundläggande samband.

Konserveringslagarnas lagkaraktär kan också ges en rimlig förklaring. De är ytterst konsekvenser av kravet att en viss observatörs subjektiva position eller val av koordinatsystem inte skall påverka innehållet i naturbeskrivningen. Detta är ett objektivitetskrav.

Det kvarstår dock ett antal samband, oklart hur många eller exakt vilka, som nog betraktas som naturlagar men som inte kan förstås på något av ovanstående sätt. Huruvida de kommer att kunna ges en tillfredsställande analys eller ej är en öppen fråga. Likaså är det en öppen fråga om ett rent empiriskt samband, dvs ett samband som inte hittills kunnat inordnas i en teori grundad på tidigare accepterade naturlagar, är en första approximation till en naturlag eller en accidentiell generalisering.

## *Litteratur*

DRETSKE, FRED: "Laws of Nature", *Philosophy of Science*, 44, 1977, s 248–68.

GOODMAN, NELSON: "De kontrafaktiska villkorssatsernas problem", i Marc-Wogau (utg): *Filosofin genom tiderna, 1900-talet*. Ursprungligen i *Journal of Philosophy* (1946) och omtryckt i hans *Fact, Fiction and Forecast*, London, 1954.

LEWIS, DAVID: *Counterfactuals*, Harvard University Press, 1973.

McCall, STOLLS: "Counterfactuals based on Real Possible Worlds", *Nous* 18, 1984, s 463–77.

PARGETTER, ROBERT: "Laws and Modal Realism", *Philosophical Studies* 46, 1984, s 335–47.

QUINE, V.W.O: "Necessary Truth" s 68–76 i *The Ways of Paradox and other Essays*. Harvard University Press, 1966.

TOOLEY, MICHAEL; "The Nature of Law", *Canadian Journal of Philosophy*, 7, 1977, s 667–98.

VALLENTYNE, PETER: "Explicating Lawhood", *Philosophy of Science*, 55, 1988.

VAN FRAASSEN, BAS: *Laws and Symmetry*, Clarendon Press, 1989.