

Analys och syntes

Om vetenskaplig metod, baserad på en studie av Bernhard Riemann

Tom Ritchey

Abstrakt - Denna artikel behandlar grundarna för analys och syntes som vetenskapliga metoder -- särskilt när det gäller förutsättningarna för dessa metoders tillämpning. Det finns viktiga omständigheter där en av metoderna är mer lämplig än den andra. Det gäller frågan om vilken metod som är bäst som utgångspunkt eller huvudprocedur för att studera en given typ av objekt eller problemställning. Valet av den lämpligaste metoden är till stor del beroende på vilka typer av kunskaper som är tillgängliga. Artikeln är baserad på ett kort, ofullbordat arbete av 1800-tals matematiker Bernhard Riemann.

Keywords - analys, syntes, vetenskaplig metod, metodologi, Bernhard Riemann.

© Tom Ritchey, 1991 - Adress: FOI, S-172 90 Stockholm - E-mail: ritchey@foi.se

FOA Rapport, C 10333-1.5, Mars 1991, ISSN 0281-0247

Nedladdad från det Svenska morfologiska sällskapet (www.swemorph.com).

Den ursprungliga engelska versionen kan hämtas vid: www.swemorph.com/pdf/anaeng-r.pdf

1. INLEDNING

A. Bakgrund

Orden analys och syntes kommer från (klassisk) grekiska och betyder bokstavligen att "lösa upp" respektive att "sätta ihop". Begreppen används inom de flesta moderna vetenskapliga ämnesområden -- från logik och matematik till ekonomi och psykologi -- för att beteckna likartade procedurer. I allmänhet definieras analys som den procedur genom vilken man löser upp en intellektuell eller substantiell helhet till dess beståndsdelar. Syntes definieras som den motsatta proceduren: att kombinera separata element eller substanser för att forma en sammanhängande helhet.

Oförsiktiga tolkningar av de här begreppen har ibland lett till märkliga påståenden: t ex att syntes är "bra" därför att den bygger upp helheter, medan analys är "dålig" för att den reducerar helheter till enstaka beståndsdelar. Enligt det här synsättet skulle den analytiska metoden representera det "gamla", reduktionistiska angreppssättet, medan den syntetiska metoden representerar "den nya vägen" till ett helhetsperspektiv¹.

Bortsett från det faktum att det egentligen förhåller sig tvärtom -- det är den syntetiska metoden som historiskt är förknippad med ett reduktionistiskt angreppssätt -- bygger sådana påståenden på en grundläggande missuppfattning när det gäller relationen mellan dessa två metoder.

Analys och syntes, som vetenskapliga metoder, går alltid hand i hand; de kompletterar varandra. Varje syntes vilar på resultaten av en föregående analys och varje analys kräver en efterföljande syntes för att kontrollera och korrigera resultaten. Att i det här sammanhanget tala om en av metoderna som "bättre" än den andra är helt meningslöst.

Det finns dock viktiga omständigheter där man kan tala om en av metoderna som mer lämplig än den andra. Det gäller frågan om vilken metod som är bäst som utgångspunkt eller huvudprocedur för att studera en given typ av objekt eller problemställning.

Den här artikeln handlar om grundvalarna för analys och syntes som vetenskapliga metoder, samt om förutsättningarna för dessa metoders tillämpning när det gäller att studera olika typer av system. Rapporten är byggd kring en kort, mycket insiktsfull metodologisk studie av Bernhard Riemann, 1800-talsmatematiker och en av den moderna vetenskapens störste nyskapare. Studien finns i inledningen till hans sista (ofullbordade) verk "Örats mekanism".

För att få ett bättre perspektiv på Riemanns intentioner när han skrev "Örats mekanism" fortsätter denna inledning med en kort biografisk skiss samt bakgrunden till att han överhuvudtaget gav sig in på studiet av örats fysiologi. I den därpå följande sektionen presenteras själva metodavsnittet i "Örats mekanism", översatt från tyska, med kommentarer till varje stycke.

Det är möjligt att många läsare redan har en egen uppfattning om den analytiska och den syntetiska metodens grundar. Jag tror dock att alla -- såväl praktiserande forskare och systemanalytiker som studenter och lärare -- har mycket att lära av Riemanns diskussion om förutsättningarna för dessa metoders tillämpningar.

B. Bernhard Riemann²

Bernhard Riemann föddes 1826 i det tyska kungariket Hannover. Han var son till en landsbygdspräst och väntades själv studera teologi vid universitet. Hans talang för matematik upptäcktes dock av hans lärare i gymnasiet, och han fick därigenom tillgång till en bred samling vetenskapliga klassiker. Här grundlades hans intresse för naturvetenskap i allmänhet och för vetenskapsteoretiska och metodologiska problemställningar i synnerhet.

Riemann började studera vid universitetet i Göttingen 1846, flyttade till universitetet i Berlin för att studera två år under Jacobi och Dirichlet, och disputerade till slut i Göttingen, för Karl Gauss, 1851. Han blev (oavlönad) privatdocent 1854 och professor i matematik 1859.

Riemann var berömd redan under sin livstid -- han erkändes som geni av de främsta matematikerna i sin omgivning. Ändå var han "arbetslös", d v s saknade anställning och fast inkomst, fram till 1859 då han efterträdde Dirichlet som professor. De knappa ekonomiska förhållandena i kombination med ett i stort sett oavbrutet arbete under åren som oavlönad privatdocent förstörde hans hälsa och han dog 1866, 39 år gammal, av tuberkulos.

Mer än någon annan individ påverkade Riemann den moderna matematikens utveckling. Under hans korta, intensiva karriär publicerade han endast ett fåtal artiklar, men samtliga anses vara viktiga. Flera har öppnat helt nya och produktiva matematiska områden och några har varit rent av revolutionerande.

Han är mest känd för de s k Cauchy-Riemann-ekvationerna, Riemannska ytor och Riemannsk geometri, Riemanns differentialekvation, Riemannintegralen, Riemanns zeta-funktion och Riemannhypotesen. Genom att fundamentalt utveckla teorin om komplexa funktioner kunde han tillämpa nya synsätt och metoder inom bl a analys och funktionsteori, geometri och talteori. Han gjorde därvid en rad grundläggande upptäckter inom vad som idag betraktas som helt oberoende matematiska områden³.

Riemanns idéer inom geometri presenterades i hans berömda invigningsföredrag vid Universitet i Göttingen 1854 -- "Om de hypoteser som ligger till grund för geometri"⁴. Detta korta, helt tekniska arbete betraktas som en av höjdpunkterna i vetenskapens historia. Där analyserade han geometrins grunder och utvecklade enhetsprinciper som gjorde det möjligt att både klassificera alla då kända former av geometri och skapa oändligt många nya typer av "rum". Senare utvecklade han de analytiska verktyg som Einstein skulle använda i sin teori om allmän relativitet.

Hans arbete med hydrodynamiska och aerodynamiska ekvationer ledde bl a till nya metoder i teorin för partiella differentiella ekvationer och till en matematisk beskrivning av stötvågor, ett fenomen som kunde bevisas experimentellt först 50 år senare. Så sent som under 1940-talet var hans klassiska behandling av aerodynamiska stötvågor unik inom matematisk fysik⁵.

Riemann har också gett matematiken ett av dess viktigaste ännu olösta problem: Riemannhypotesen. I ett kort arbete som allmänt betraktas som "det viktigaste papper som någonsin har publicerats inom talteori"⁶ behandlade han det gamla problemet om antalet primtal $F(x)$ som är mindre än ett givet tal x . Genom att tillämpa komplex analys på problemet kunde han lägga fram en hypotes som har gett matematiken en helt ny analytisk grund för studiet av primtal.

Lika viktiga som hans matematiska upptäckter var de nya metoder han utvecklade och det övergripande sätt på vilket han närmade sig olika problem. Han gjorde en rad viktiga metodologiska studier som visar själva tankeprocessen bakom hans upptäckter. Det enkla sätt på vilket han framförde innovativa matematiska tankar -- utan att skriva en enda formel eller ekvation -- läses fortfarande med beundran.

I det här sammanhanget är innebörden av Riemanns resonemang om den analytiska och den syntetiska metodens användbarhet när det gäller just örats fysiologi långt ifrån begränsad till detta specifika ämnesområde. Det finns här en allmängiltighet som i högsta grad beröra all vetenskap.

*C. Örats mekanism*⁷

Under sina sista levnadsår i Italien -- där han bodde av hälsoskäl -- arbetade Riemann med olika aspekter av naturfilosofi; bl a med en enhetsteori om ljus och gravitation, en allmän kunskapsteori och en teori om örats mekanism.

Riemann började arbetet med örats mekanism som ett svar på Herman Helmholtz' avhandling "Die Lehre von den Tonempfindungen" (1863).

Helmholtz var en ledande förespråkare för det reduktionistiska angreppssättet i fysiologi. Utgångspunkten i detta angreppssätt var 1) att biologi och fysiologi kan reduceras till klassisk fysik, och 2) att fysiken själv skall baseras på antagandet att alla fenomen kan härledas från interaktioner mellan fundamentala partiklar. Biologi och fysiologi borde därför vara baserade uteslutande på metoder grundade på den klassiska (Newtonska) mekaniken

Med denna utgångspunkt utvecklade Helmholtz en teori om örats mekanism. Det gjorde han genom att noggrant studera örats anatomi, inom ramen för dåtidens kända lagar om akustik. Sedan försökte han tillämpa sin teori för att förklara principerna bakom musikalisk komposition, harmonilära och kontrapunkt.

En av de viktiga punkterna i Helmholtz' teori gällde mellanörats funktion. Helmholtz menade, att när en komplex ton överförs från trumhinnan till innerörat (cochlean) via mellanörat (ossicelerna: de små benstrukturerna i mellanörats hållighet), överförs inte tonen som en geometrisk helhet -- som en gestalt -- utan i form av en uppsättning primärtoner. Mellanörat bryter alltså ner tonen till sina enstaka grundkomponenter, där varje komponent har en given frekvens och intensitet. Dessa i sin tur stimulerar var sin specifik ressonator i cochlean. De separata grundstämorna förs sedan till hjärnan via specifika nervtrådar. Det här kallade Helmholtz för "teorin om specifika energier".

Det är lätt att i efterhand le åt Helmholtz' överdrivet mekaniska synsätt när det gäller mellanörats funktion -- ett synsätt som betraktar örat som en relativ passiv ljudanalysator. Idag vet vi att organet är betydligt mer komplicerat. Man får dock komma ihåg att dåtidens experimentella teknik och mätinstrument var långt ifrån vad vi är vana vid idag. Att överhuvudtaget kunna genomföra en undersökning av ett friskt, levande öra -- ett öra "i aktion" så att säga -- måste ha varit mycket svårt om inte omöjligt.

Det fanns en rad problem med Helmholtz' teori -- problem som vi inte behöver gå in på i detalj här⁸. Poängen är att Helmholtz, för att rädda sin teori, formulerade en rad *ad hoc* förklaringar. T. ex. kunde inte hans teori förklara hur örat alstrar övertoner och kombinationstoner. För att förklara dessa fenomen menade Helmholtz att mellanörat alltid förvränger ljudet på ett sätt som skapar dessa "anomala" toner.

Förutom att vara en fysiker av betydande status var Helmholtz känd för sina noggranna anatomiska studier. Men hans "teori om specifika energier" delade tysk fysiologi i två läger. Man kan fråga sig varför just Riemann, sin tids största matematiker, skulle engagera sig i företaget att utforska ett alternativ till Helmholtz' teori om örat?

Svaret tycks vara en fråga om metod. Riemanns intentioner antyds i Henles förord till "Örats mekanism", publicerad i Henle och Pfeuffers Zeitschrift für rationelle Medicin kort efter Riemanns död.

"... offentliggörandet av dessa fragment är utan tvivel berättigat -- med tanke på författarens betydande ställning och värdet av hans utsagor -- som ett föredömligt exempel på den metodiska behandlingen av ämnet."⁹

Men det framgår tydligt i Riemanns text -- särskilt i det inledande avsnittet "Om den tillämpbara metoden för studiet av de finare sinnesorganens fysiologi" -- att han ville mer än enbart presentera en bättre metod för behandlingen av detta specifika ämne. Han använder det här speciella fallet för att diskutera de olika metodernas plats inom vetenskapen i stort. Det är just den här bredare diskussionen, som bl a innehåller en analys av själva den analytiska metoden, som är kärnpunkten i hans studie.

Innan vi tar itu med detta metodavsnitt är det intressant att se hur Riemann, som öppet förklarar att han inte vet mer om örats anatomi än vad han har läst i Helmholtz' utmärkta bok om ämnet¹⁰, går till väga när han ska utforska en alternativ teori om örat.

Han börjar sin undersökning, inte med utgångspunkt från örats anatomi, utan utifrån vad organet faktiskt presterar: dess känslighet, trovärdighet (fidelity) och urskilningsförmåga. Sedan frågar han vad det är för *uppgifter* som örat måste klara av för att kunna prestera vad det gör. Vad är det för problem som örat måste lösa? Det är formuleringen och analysen av örats *uppgift* som är det centrala här.

När det gäller örats anatomi tillämpar Riemann det angreppssätt som hans kolleger och personliga vänner Ernst Weber och Gustav Fechner förespråkade¹¹. I denna metod bestäms organets specifika anatomiska egenskaper, d v s varje komponents specifika roll och funktion, utifrån den uppgift som organet som helhet måste lösa. Inga specifika mekaniska relationer mellan organets enstaka anatomiska delar antas.

Slutligen tillämpar Riemann principen om "projektiv invarians", en princip som härstammar från matematik och matematisk fysik. För Riemann innebär denna princip att någon eller några fysiska kvantiteter hos ljudvågor måste förbli invarianta vid överföringen från luften till innerörat -- om man ska kunna förklara vad örat presterar. Riemann identifierade "klang" eller "timbre" -- det som normalt kallas för ljudets kvalitet, men som är helt kvantifierbart -- som en sådan invariant.

Även i manuskriptets ofullbordade form hinner Riemann dra ett antal specifika och allmänna slutsatser. För det första förkastar han Helmholtz' tes om att mellanörat endast överför primärtoner genom att bryta ner komplextoner till sina beståndsdelar. Mellanörat måste, med "stor trovärdighet", överföra ljudets timbre genom att "under varje moment överföra variationen i lufttrycket till vätskan i innerörat i en förstärkning av någon konstant proportion. .. vi anser det berättigat att anta att timbrekurvan ändras endast obetydligt i överföringen"¹². Med detta menar Riemann att örat "uppfattar" ljudets kvalitet som en geometrisk helhet -- som en gestalt. Det innebär också att han förkastar Helmholtz' *ad hoc* hypotes om att mellanörat "förvränger" ljudet och därmed skapar övertoner m.m.

I detta sammanhang har moderna studier i fysiologisk akustik visat att Riemanns slutsatser i stort är korrekta¹³. Men Riemanns huvudpoäng är inte endast att förkasta Helmholtz' *ad hoc* förklaringar; han har ett mycket större mål i sikte. För att verkligen förklara örats mycket särskilda egenskaper -- d v s de egenskaper som örat måste, på ett eller annat sätt, ha för att kunna prestera vad det gör -- behöver vi utveckla nya metoder och även nya vetenskapliga principer som "kan ge upphov till framsteg i vår kunskap om naturlagarna".

Riemann menade att det matematiska problemet som måste lösas för att förstå örats mekanik var av hydrodynamisk karaktär -- möjligen besläktat med hans arbete om olinjära, singulära vågor. Örat är alltså inget passivt mekaniskt instrument som endast analyserar komplexa toner och fördelar dessa längs cochleans membran i form av grundtoner. Processen är betydligt mer komplicerad: organet har förmågan att omforma ljudvågornas struktur på ett sätt som vi ännu inte helt förstår.

Men det stora problemet att lösa, menade Riemann, var att förklara örats förmåga att uppfatta ljudvågor vars energinivåer och fysiska förskjutning är så små, att de inte ens är mätbara.

[Örat]... "är en mekanisk apparat vars känslighet är oändligt överlägsen allting vi vet om känslighet hos mekaniska apparater. ... det är på inget sätt osannolikt att [mellanörat] helt troget överför soniska rörelser som är så små att de inte kan observeras av ett mikroskop."¹⁴

Moderna, kvantitativa mätningar av örats känslighet visar att cochleans sk hårceller kan urskilja fysiska förskjutningar av samma storleksordning som en atomisk radie; och att människor kan uppfatta musikaliska toner vars energiöverföring till trumhinnan är av storleksordning 10^{-18} joule¹⁵. Vi kan inte bortse ifrån möjligheten

att såväl örats, ögats och själva hjärnans funktion endast kan förklaras inom ramen för kvantumfysikaliska principer.

D. Om metodavsnittet i "Örats mekanism"

Som framgår av den föregående bakgrundsredovisningen var huvudproblemet som låg bakom uppkomsten av "Örats mekanism" just en fråga om vetenskaplig metod. Men förutom att presentera ett exempel på "den tillämpbara metoden för studiet av de finare sinnesorganens fysiologi", tar Riemann tillfället att, utifrån detta exempel, diskutera den analytiska metodens plats i vetenskaplig upptäckt i stort.

Detta gör han i de första 13 paragraferna av inledningen till "Örats mekanism". Det är dessa paragrafer, i svensk översättning, som presenteras i sektion II. I sektion III återges varje paragraf för sig, med mina kommentarer. Kommentarererna är avsedda både som ett hjälpmedel för att ytterligare klargöra Riemanns resonemang (om så behövs) och för att diskutera det bredare, mera allmängiltiga innehållet i hans idéer. Huvudsyftet är att presentera Riemanns analys av själva den analytiska metoden.

I kommentarererna tar jag mig friheten att använda begreppet *system*, ett ord som Riemann inte använder. Begreppet har stor relevans för diskussionen av metodbegreppen analys och syntes. Givetvis måste man vara försiktig här. I "Örats mekanism" behandlar Riemann en särskild typ av system; ett system med sina egna speciella drag m a p ursprung och experimentell tillgänglighet. Ändå är det helt berättigat att tillämpa systembegreppet i detta sammanhang, då det belyser viktiga aspekter av Riemanns resonemang.

Helt allmänt är ett system ett (avgränsat) objekt som består av ett antal identifierbara "delar" som på något sätt samverkar för att orsaka någon sorts övergripande effekt eller beteende. Idén bakom systembegreppet är så elementär och genomträngande att det är lönlöst att försöka ge en både fullständig och logiskt konsekvent definition. Vi kan endast konstatera att det mesta i världen (om inte allt) är en eller annan typ av system.

Det finns dock en viktig aspekt av systembegreppet som vi måste ta fasta på här. Oberoende av specifik definition kan vi konstatera att begreppet alltid skiljer mellan två abstraktionsnivåer, eller systemnivåer: systemet som en övergripande enhet och systemet som en uppsättning delar.

Som enhet kan vi tala om vad systemet utför eller om dess övergripande beteende. Som en uppsättning delar eller komponenter (vilka samverkar för att producera systemets övergripande beteende) kan vi tala om systemets konstruktion, d v s dess inre struktur och processer.

Det finns andra aspekter av systembegreppet som inte kommer fram här, men det är inte meningen att försöka ge en fullständig definition. Jag konstaterar endast att

systembegreppet, i alla dess former, är grundat på distinktionen mellan (minst) två abstraktionsnivåer. Begreppet är meningslöst utan denna distinktion.

De här två nivåerna utgör olika grundvalar för att hämta in kunskaper om ett system. Dessa grundvalar kan dock vara förknippade med olika typer av möjliga kunskaper. Vi kan således fråga: i vilken utsträckning har vi tillgång till klara och säkra kunskaper om de två olika nivåerna när det gäller ett givet system?

Distinktionen mellan "klar och säker" kontra "oklar och osäker" kunskap är givetvis relativ, och kan endast bestämmas empiriskt. Men, som vi ska se, är valet av den lämpligaste vetenskapliga metoden, för att studera ett givet system, till stor del beroende på vilka typer av kunskaper som är tillgängliga om systemets olika systemnivåer.

* * *

Om översättningen

Att översätta Riemann är sannerligen en utmaning. Hans texter utgör hårresande exempel på 1800-talets akademiska tyska med invecklade grammatiska konstruktioner med närmast obegripliga interna självreferenser. Lyckligtvis tillhör just "Örats mekanism" de (i språkhänseende) mer tillgängliga av hans arbeten.

Vid översättningen av metodavsnittet i "Örats mekanism" har jag använt en engelsk översättning av Gallagher, Cherry och Sigurdson¹⁶ som referens. Denna engelska översättning är stilistiskt välgjord med är tung och svårläst i vissa delar. I min svenska översättning har jag prioriterat "läsbarhet på svenska" framför en noggrann, ord för ord återgivning av Riemanns text.

Det är dock inte enbart språket som sådant som gör översättning (eller läsning) av Riemanns text till en utmaning. När man väl har kommit förbi språkets formella hinder finner man -- till sin förvåning -- att Riemann egentligen formulerar sig tämligen okomplicerat, och med en pedagogisk enkelhet som lätt bedrar. Se upp! Här handlar det om elementär vetenskaplig metod utifrån en väl avancerad ståndpunkt.

II. METODAVSNITTET I "ÖRATS MEKANISM" ¹⁷

- med kommentarer

Riemanns text återges indragen och med styckenumrering. I den här versionen har jag betonat vissa ord med understrykning samt tillfört texten ett antal förklarande ord och uttryck som visas inom hakparentes [].

Om den tillämpbara metoden för studiet av de finare sinnesorganens fysiologi

§1: För studiet av ett sinnesorgans fysiologi finns det -- förutom de allmänna naturlagarna -- två speciella, nödvändiga grundvalar: den ena psykofysisk, d v s den empiriska bestämningen av vad organet utför; den andra anatomisk, d v s utforskningen av organets konstruktion.

För att studera ett system – i det här fallet systemet **örat** – har vi till vårt förfogande tre grundvalar: en allmän grundval och två speciella grundvalar.

Den första, allmänna grundvalen består av våra (redan förvärvade) kunskaper om naturlagarna; kunskaper som har utvecklats under århundraden av vetenskaplig aktivitet. Dessa tar form av allmänna vetenskapliga principer och systematiskt, empiriskt validerade samband. Läran om (teoretisk) mekanik är ett utmärkt exempel på förvärvad systematisk kunskap om naturlagarna.

Dessa kunskaper är inte absoluta; de representerar inte slutliga sanningar. Men vi kan ändå lita på dem som approximativa sanningar inom sina tillämpningsområden, och som en språngbräda för nya vetenskapliga upptäckter.

De två "speciella" grundvalarna utgår från själva det systemet som vi ska undersöka. Den första bygger på vad systemet utför. Det här är en empirisk fråga: vi måste med observationer och experiment fastställa vad systemet, som helhet, gör och är kapabelt att prestera. Här behandlar vi studieobjektet som en "svart låda": hur beter sig systemet under olika omständigheter och inför olika yttre stimuli.

När det gäller bestämningen av vad just *örat* utför använder Riemann uttrycket "psykofysisk". Vad örat presterar, som sinnesorgan för oss, ligger så att säga i vårt eget huvud. Idén om sinnesorganens psykofysiska kontinuitet med världen utanför härstammar från Riemanns kollega, fysiologen Ernst Weber. Weber poängterade att, när det gäller de finare sinnesorganen som örat eller ögat, är det svårt att skilja mellan "sensation" (fysisk förnimmelse) och "perception" (psykisk förnimmelse). Endast under mycket särskilda omständigheter -- när vi t ex blir utsatta för mycket högt ljud eller ljud av mycket låg frekvens -- "känner" vi ljudvågorna på trumhinnan. Normalt "hör" vi ljudet som ett psykofysiskt fenomen. Det är som om örat är en direkt extension av hjärnan själv; en tentakel som känner av yttervärlden.

Den andra speciella grundvalen är systemets konstruktion. Denna får vi kunskaper om genom att i detalj studera systemets uppbyggnad (anatomik) och inre processer (fysiologi), och i synnerhet relationen mellan dess olika delar.

§2: Det finns således två möjliga sätt att uppnå kunskap om organets funktioner. Antingen kan man utgå från organets konstruktion, och utifrån denna försöka fastställa lagarna om växelverkan mellan dess delar samt hur dessa påverkas av externa stimuli; eller så kan man börja med vad organet [faktiskt] utför och sedan försöka förklara detta.

§3: I det första fallet drar man slutsatser om effekter på basis av givna orsaker, medan man i det andra söker orsaker utifrån givna effekter. Det första sättet kan man i enlighet med Newton och Herbart kalla det syntetiska, det andra det analytiska.

Riemann använder här den klassiska definitionen av analys och syntes, som uttrycks i form av orsak och effekt (verkan). Vi kan lätt se hur orsak-effekt-förhållandet överförs till en relation mellan de två identifierade systemnivåerna. Systemets inre processer -- d v s interaktionen mellan dess verksamma delar -- orsakar det som systemet utför eller uppvisar beteendemässigt, d v s en effekt.

Det syntetiska angreppssättet -- att dra slutsatser om effekten på basis av givna orsaker -- efterfrågas därför när principerna bakom systemets interna processer är kända, men då man inte har en detaljerad bild av hur systemet uppför sig som enhet. T.ex. har vi ingen klar bild över galaxernas eller solsystemets långtidsdynamik eftersom vi inte kan observera dessa objekt över de tusentals eller miljontals år som behövs för att fastställa deras "beteende" som helhet. Däremot känner vi till de mekaniska (och relativistiska) principer som ligger till grund för interaktionen mellan objektens delar (stjärnor eller planeter). Vi kan därför använda ett syntetiskt angreppssätt genom att simulera denna övergripande dynamik. Detta görs med datormodeller som beräknar varje dels interaktion med varje annan del över mycket långa (simulerade) tidsperioder.

Det analytiska angreppssättet -- att dra slutsatser om orsaker på basis av kända effekter -- efterfrågas när systemets övergripande beteende är känt, men där man inte har en klar eller detaljerad bild över systemets interna processer eller principerna som ligger bakom dessa. Vi kan inte t ex direkt observera jordens inre dynamik för att fastställa orsaken till kontinental drift, men våra kunskaper om kontinental drift -- som en effekt -- kan ge oss en grund för att dra slutsatser om de underliggande processerna.

Det finns givetvis gott om system där såväl effekter som orsaker är välkända: vi förstår både hur systemet uppför sig i det stora (eller "vad systemet utför") och precis hur dess interna delar samverkar för att orsaka detta beteende. Sådana system kan kallas för "genomskinliga" eller "kokta", i analogi med matematiska problem som formellt är lösta. Utifrån den metodologiska problemställning som vi här behandlar är sådana system triviala.

Det finns också system där vi varken har en klar, entydig bild över hur systemet uppför sig i det stora under längre tidsperioder, eller känner tillräkligt nog om detaljerna eller principerna bakom de interna processer som ger upphov till systemets övergripande beteende. Två exempel på sådana system är den mänskliga hjärnan och (sorligt nog) nationella ekonomier.

Det är intressant att Riemann nämner både Newton och Herbart som föregångsfigurer när det gäller begreppen analys och syntes, ty dessa tillhör två olika vetenskapsteoretiska och metodologiska traditioner. Själv tillhörde Riemann den s.k. kontinentala vetenskapliga traditionen som till stor del kan härledas från G. W. Leibniz (1646-1715). Leibniz var en av de första att ge uttryck för analys och syntes som moderna metodologiska begrepp:

"Syntes .. är processen genom vilken vi börjar från principer för att bygga upp teorier och problem ..; medan analys är processen genom vilken vi börjar med en given slutsats eller problemställning och söker principerna med vilka vi kan bevisa slutsatsen eller lösa problemet."¹⁸

Johann Fredrich Herbart (1776-1841), som ofta kallas för den vetenskapliga pedagogikens fader, var professor i filosofi vid universitet i Göttingen fram till 1841. Herbart bröt med sin läromästare Fichte, och med Kantiansk filosofi i allmänhet, och drev ett filosofiskt-pedagogiskt program baserat på Leibniz. Det innebar bl a att han förnekade Newtons och Kants antaganden om absolut rymd och tid.

Issac Newton (1642-1727) tillhörde en annan, delvis konkurrerande vetenskapsfilosofisk tradition -- den s k brittiska empiristiska skolan. Newton formulerade också principer för analys och syntes, t ex i "Opticks" (1704), som i stort sett överensstämmer med Leibniz. Då, som nu, var Newton upphöjd till nästan gudomlig status, men Riemann drog sig inte för att vara kritisk. I "Om de hypoteser som ligger till grund för geometri" pekar han på Newtons ogrundade antaganden om absolut rymd, ett spörsmål som hetlevrat debatterades av Leibniz och Newton i en korrespondens kort före Leibniz' död¹⁹.

I "Örats mekanism" är Riemann kritisk när det gäller Newtons (felvalt) påstående: "Jag hittar inte på några hypoteser" ("hypotheses non fingo"). Ty -- menar Riemann -- det är just det hypotesskapande momentet som är grunden till den analytiska metodens styrka när det gäller vetenskaplig upptäckt.

I de tre föregående paragraferna har Riemann förklarat den huvudsakliga skillnaden mellan syntes och analys som vetenskapliga metoder. Vad som återstår är en diskussion om hur man går till väga när man ska tillämpa dessa metoder.

§4: Det syntetiska tillvägagångssättet. Det första sättet är det som ligger anatomen närmast. Eftersom anatomen är upptagen med att undersöka organets enskilda beståndsdelar, är han intresserad av vilken inverkan varje enskild komponent kan ha på organets funktion. Detta tillvägagångssätt skulle med lika stor framgång kunna användas i undersökning av sinnesorganens fysiologi som när det gäller undersökning av de motoriska organen -- förutsatt att de fysiska egenskaperna hos organets enskilda delar kunde bestämmas [med tillräcklig säkerhet]. Men bestämningen av dessa egenskaper från observation av mikroskopiska objekt är alltid mer eller mindre osäker, och i högsta grad oprecis."

Här hänvisar Riemann till det sätt på vilket "anatomen" närmar sig sitt studieobjekt. Att med utgångspunkt från organets anatomi göra teoretiska slutsatser om hur örat fungerar är, enligt definition, att tillämpa den syntetiska metoden.

Med denna metod har anatomin haft stor framgång när det gäller att (på en övergripande nivå) undersöka hur de motoriska organen fungerar, särskilt de grovmotoriska organen som armar och ben. Här är det frågan om muskelligator och fästpunkter, kraftvektorer och vridmoment, m. m. Alla dessa faktorer kan studeras med lämplig precision och utifrån kända mekaniska lagar.

Riemann poängterar att man "med lika stor framgång" skulle kunna undersöka örats fysiologi med samma metod -- *om man med tillräcklig precision kunde bestämma egenskaperna hos örats enskilda delar*. Men kravet att fastställa på hur organets olika mikroskopiska delar faktiskt beter sig och samverkar med varandra var omöjligt att uppfylla under 1800-talet, och är knappt möjligt idag. Och det är just det här kravet som är själva förutsättningen för tillämpning av den syntetiska metoden. Vad blir då resultaten när vi använder den syntetiska metoden för att undersöka ett objekt som inte uppfyller kraven för denna metods tillämpning?

§5: För att komplettera en sådan undersökning är det därför nödvändigt att stödja sig på analogi eller teleologi, vilket oundvikligen leder till extrem godtycklighet. På grund av detta leder den syntetiska metoden, när det gäller sinnesorganens fysiologi, till resultat som sällan är korrekta eller överhuvudtaget särskilt säkra.

För att kompensera för det faktum att vi saknar kunskaper om hur systemets komponenter egentligen beter sig och samverkar med varandra, blir vi tvungna att hitta på några sannolika mekanismer som skulle kunna fungera som förklaring. Vi kan jämföra vissa systemdelar och förmodade processer med andra mekanismer och

processer som vi redan känner till (analogi), och vi kan tillskriva en viss komponent ett specifikt syfte som är förknippat med vad vi antar är komponentens "nytta" gentemot andra komponenter (teleologi). Vi, så att säga, tvingar systemets inre egenskaper till att överensstämma med redan kända föreställningar.

Med detta riskerar vi att introducera en godtycklighet i undersökningen som leder till resultat som antingen helt missar poängen eller som gör det svårt att avgöra om vi är på rätt spår eller ej.

§6: Den analytiska metoden. Med den andra metoden söker man förklaringen till vad organet utför. Detta företag kan brytas ner i tre delar.

- 1. Att söka efter en hypotes som är tillräcklig för att förklara vad organet utför.**
- 2. Att undersöka i vilken utsträckning denna förklaring är nödvändig [som förklaring].**
- 3. En jämförelse med erfarenhet för att verifiera eller korrigera förklaringen.**

Här radar Riemann upp tre moment när det gäller att utföra en klassisk analytisk undersökning. Dessa moment ska dock inte uppfattas som en rad enkla steg i en algoritm; de är både sekventiella och iterativa. Utförandet av en analys kräver ett ständigt samspel mellan ursprungliga antaganden, hypoteser och resultat, vilket tydligt framgår av det tredje momentet.

Man börjar med "att söka efter en hypotes som är tillräcklig för att förklara vad örat utför".

§7: I. Man måste, så att säga, [begreppsmässigt] återuppfinna organet, och i den mån man betraktar det som organet utför som dess syfte, måste man också betrakta organets utformning som ett medel att uppnå detta syfte. Detta syfte är dock inte någonting som kan baseras på förmodande, utan måste grundas på erfarenhet; och om man bortser från organets [faktiska fysiologiska] tillkomst kan alla idéer om slutliga orsaker [teleologier] lämnas helt utanför diskussionen.

För att formulera en hypotes om hur ett system fungerar -- ett system vars inre egenskaper inte går att bestämma med någon säkerhet -- måste vi uppdaga något hos systemet som är analyserbart, men som inte direkt är baserat på dess konstruktion. För detta ändamål måste vi skapa systemet på nytt, d v s bygga upp en abstrakt modell av systemet som, på något sätt, innehåller vissa förutsättningar för att förklara dess interna egenskaper. Det är denna "konceptuella modell" som, i första hand, är analysens objekt.

Men hur? På vilken grund "återuppfinner" vi systemet?

Det är här som vi ställer den "anatomens" metoden på huvudet: istället för att använda orsaken för att förklara effekten, använder vi effekten för att förklara orsaken. Om vi inte kan utgå ifrån hur örat är (fysiologiskt) utformat för att förklara vad det utför, bör vi utgå ifrån vad örat utför (d v s dess psykofysiska prestationsförmåga) för att (hjälpa) förklara dess utformning.

Om vi metodologiskt betraktar vad örat utför som dess syfte (för oss), då måste vi betrakta dess utformning som ett medel för att uppnå detta syfte. Och eftersom vi kan konstatera att organets utformning (konstruktion) faktiskt orsakar den effekt som den gör, har vi en hållhake på systemets inre egenskaper: dessa egenskaper måste, med nödvändighet, räcka för att klara av det som örat presterar.

Det här resonemanget, som inget annat är än vad som redan finns i själva begreppet analys, kan verka självklart och trivialt. Men det är lätt att missa hela dess innebörd. Riemanns mycket slående sätt att uttrycka saken -- särskilt hans användning av ordet *syfte* -- är inte någon tillfällighet. Inte heller är det ett uttryck för ett "omodernt sätt" att närma sig studiet av naturfenomen. Det är ett metodologiskt resonemang: Om det är örats "syfte", så att säga, att klara av det som det utför, då kan vi inte bortse från möjligheten att organet gör detta på sitt eget sätt, utan att ta hänsyn till den rådande vetenskapens begränsade föreställningar om naturlagarna. Det är naivt av oss att *ad hoc* tillskriva denna "otroligt känsliga apparat" enkla mekaniska egenskaper av det slag som Helmholtz gjorde.

Att Riemann använder ordet "syfte" i det här sammanhanget kan uppfattas som något av en provokation. Särskilt från traditionellt brittisk-empiristiskt håll är det nära nog förbjudet, åtminstone i naturvetenskapligt sammanhang, att använda detta ord. En sådan hållning är givetvis försvarbar när det gäller uttalanden som: "Gud eller Naturen skapade örat för att ...". Men det här är långt ifrån vad Riemann är ute efter. Han är mycket noggrann med att poängtera att "syftet" i detta sammanhang inte är något som kan baseras på spekulation; det måste grundas på erfarenhet, d v s på empirin.

Vad Riemann är ute efter är att, så förutsättningslöst som möjligt, betrakta vad örat utför, utan att -- vid det här stadiet -- behöva ta hänsyn till några föreställningar om hur eller på vilket sätt organet fysiologiskt klarar av sin uppgift.

§8: För att [till slut] förklara vad organet faktiskt utför, tittar man på dess konstruktion. [Men] när man [från början] söker efter denna förklaring måste man först analysera organets uppgift [eller problemet som organet måste lösa]. Detta i sin tur kommer att leda till en rad sekundära uppgifter [och problem som måste lösas, o s v]. Och endast efter det att man är övertygad om att [alla] dessa [uppgifter] måste lösas, kan man sedan se till organets konstruktion för att dra slutsatser om det sätt på vilket de löses.

För att få en fullständig förklaring till det örat faktiskt utför måste vi till slut undersöka dess konstruktion. Men vi kan inte börja här: vi saknar tillräckligt säkra kunskaper om örats interna egenskaper för att kunna dra några slutsatser om hur organet faktiskt fungerar. *Vi måste vända på problemet*: vi behöver istället någon sorts teoretisk ram inom vilken vi kan dra slutsatser om organets interna egenskaper. För att göra det måste vi *analysera själva uppgiften som örat måste klara av för att kunna prestera det som det gör*.

Det är vanligt att man skiljer mellan två olika typer eller nivåer av analys: kompositionsanalys (eller strukturanalys) och funktionsanalys. I en kompositionsanalys bryter man ner ett system i dess substantiella delar eller komponenter. I det här sammanhanget är en kompositionsanalys trivial: det är precis vad anatomen gör innan han tillämpar den syntetiska metoden. Men i fallet örat kan vi inte fullfölja en sådan analys till den "upplösningsgrad" som är nödvändigt för att få säkra kunskaper om organets interna egenskaper.

I en funktionsanalys bryter man ner ett system på basis av de olika funktionella processer eller verksamheter som systemet måste upprätthålla för att kunna fungera med avsedd effekt. Ett (levande) djur måste t ex ha förmåga att uppta och cirkulera energi, någon sorts perceptionsförmåga och förmåga att reproducera sig. De anatomiska förutsättningarna för dessa funktioner kan vara helt olika hos olika typer av djur, men de måste finnas i en eller annan form.

Man kan tänka på en uppgiftsanalys som en funktionsanalys på högre nivå. Örat har en teknisk uppgift att klara av. Det gäller att formulera denna uppgift som ett problem som örat måste lösa. Eftersom uppgiften formuleras utifrån vad örat presterar, och inom ramen för de kända fysikaliska lagarna, måste själva uppgiften kunna analyseras.

Det är den här "uppgiften i princip" -- örats huvuduppgift -- som skall analyseras. Det är viktigt att markera här att denna analys har inget att göra med örats konstruktion. I det här momentet är vi ointresserade av hur systemet är uppbyggt rent fysiskt.

Nu börjar uppgiftsanalysen i dess specifika mening. Huvuduppgiften analyseras genom att den bryts ner i en rad underordnade, "sekundära uppgifter" vars lösningar utgör förutsättningar för att huvuduppgiften ska kunna lösas. Man fortsätter med denna process till dess att man har ett nätverk eller en hierarki av över- och underordnade uppgifter, som alla måste lösas för att systemet ska kunna lösa sin huvuduppgift. Man avslutar processen när man märker att man inte längre formulerar uppgifter som ska lösas, utan har börjat formulera olika sätt på vilka de kan tänkas lösas.

En uppgiftsanalys av denna sort är inte lätt. Den kräver både noggranna empiriska kunskaper om vad systemet utför (eller ska utföra) och grundläggande kunskaper om de naturlagar som är relevanta för hur systemet kan tänkas fungera. Inte minst

kväver formuleringen av själva huvuduppgiften insikter om de vetenskapliga principer som kan tänkas ligga bakom "systemet som fenomen".

När man har lyckats formulera och analysera sig fram till en uppgiftshierarki som uppfyller alla villkor för att systemet ska fungera med avsedd effekt, då har man skapat en hypotes som är tillräcklig för att förklara vad organet utför.

§9: II. När man väl har kommit fram till en föreställning som är tillräcklig för att förklara [vad] organet [utför], kan man inte undgå att undersöka i vilken utsträckning förklaringen är nödvändig [som förklaring]. Man måste omsorgsfullt skilja mellan de förutsättningar som är ovillkorliga -- eller nödvändiga på basis av obestridliga naturlagar -- och de typer av föreställningar som lika väl kunde ersättas av andra. Därigenom skiljer man ut alla fullständigt godtyckliga, påklistrade [dvs *ad hoc*] idéer. Endast på detta sätt kan man undgå de ofördelaktiga följderna av att använda analogier i undersökningen. Detta gör det dessutom betydligt lättare att mot bakgrund av erfarenhet testa förklaringen (d v s genom att formulera frågor som ska besvaras).

Att en förklaring till ett fenomen är tillräcklig betyder, att om alla villkor i förklaringen är uppfyllda då måste fenomenet existera och fungera enligt förklaringen. Det betyder att en tillräcklig förklaring är en möjlig förklaring för ett redan existerande fenomen. Men en tillräcklig förklaring för ett givet fenomen är inte nödvändigtvis den korrekta förklaringen: det kan finnas andra förklaringsmodeller med andra, delvis olika villkor, som också räcker för att förklara fenomenet.

I fallet örat har vi byggt upp en hierarki av villkor i form av uppgifter som örat måste klara av. Villkoren är tillräckliga i den meningen att, om örat faktiskt löser alla dessa uppgifter, då måste organet uppvisa den effekt som det gör. Vi har, så att säga, bevisat örats möjlighet, men vi har inte bevisat att organet med nödvändighet måste lösa just alla dessa specifika uppgifter.

En nödvändig förklaring består av villkor som alltid måste uppfyllas om fenomenet överhuvudtaget ska komma till stånd. En nödvändig förklaring behöver inte vara tillräcklig, men den är "ovillkorlig". Vi måste således försöka komma från en förklaringsmodell som endast är tillräcklig till en som är nödvändig, även om det betyder att vår förklaringsmodell till slut blir ofullständig.

Därför måste vi "omsorgsfullt" skilja mellan de förutsättningar (i förklaringsmodellen) som är ovillkorliga -- som alltid måste vara fallet -- och de aspekter av förklaringsmodellen som endast är möjliga men som lika väl kunde bytas ut mot andra (möjliga) förutsättningar. Detta gör vi för att gardera oss mot helt godtyckliga, *ad hoc* föreställningar som kan smyga sig in i vår förklaringsmodell till följd av analogier som vi använt i den ursprungliga hypotesen.

Om vi lyckas identifiera och skilja ut de nödvändiga villkoren i vår förklaringsmodell -- de som måste vara fallet "på basis av obestridliga naturlagar" -- har vi en säker grund för att kunna formulera frågor som vi kan testa på basis av redan kända vetenskapliga principer.

§10: III. För att testa förklaringen mot bakgrund av erfarenhet kan vi lita dels till de slutsatser som vi har kunnat dra från erfarenhet om vad organet utför; dels till vad denna förklaring förutsätter för fysiska egenskaper hos organets beståndsdelar. När det gäller vad organet utför, är det mycket svårt att med någon precision jämföra detta med erfarenhet, och vi måste begränsa oss till frågan om teorin motsäges av experimentella resultat eller observation. När det däremot gäller slutsatser angående de fysiska egenskaperna hos organets beståndsdelar, kan dessa ha en allmängiltighet som kan ge upphov till framsteg i våra kunskaper om naturlagar. Så var t ex fallet med Eulers försök att förklara ögats akromatism.

När vi har kommit till det stadiet där vi kan börja testa vår förklaringsmodell har vi återigen två grundvalar att utgå ifrån: vad organet utför och organets konstruktion.

När det gäller just örat är det svårt att dra detaljerade slutsatser från våra empiriska kunskaper om vad organet utför. Det ligger i sakens natur att vad örat presterar psykofysiskt kan uppfattas på ett säkert, men ändå endast mycket oprecist sätt. När det t ex gäller att urskilja en mycket svag ton är det svårt att ge något annat svar än "ja" eller "nej". Däremot kan vi kontrollera om vår förklaring rent av motsäges av erfarenhet eller av nya (psykofysiska) experiment som vi bedriver med utgångspunkt från vår förklaringsmodell.

Den andra grundvalen, organets fysiska konstruktion, kan ge mer spektakulära resultat. Vi tillämpar den analytiska metoden just därför att säkra kunskaper om studieobjektets interna egenskaper inte är direkt tillgängliga. Hela poängen med metoden är att bygga upp en ram inom vilken vi kan dra vissa nödvändiga slutsatser om dessa egenskaper. Vi vet alltså vad organets konstruktion faktiskt klarar av. Genom att analysera örats uppgift, d v s de tekniska problem som örat måste lösa, kan vi börja dra slutsatser om vad vår förklaringsmodell "förutsätter för fysiska egenskaper hos systemets beståndsdelar".

Dessa slutsatser kan dessutom ge oss nya perspektiv på, och antyda hittills okända aspekter av, de fysikaliska lagar som vi arbetar med. Riemann ger här exemplet på Eulers undersökning av ögat för att lösa problemet om att bygga en akromatisk lins.

* * *

Här lämnar Riemann redovisningen av den analytiska metoden och börjar summera sina slutsatser.

§11: För övrigt motsvarar dessa två motsatta forskningssätt endast a potiori beteckningarna "syntetiskt" och "analytiskt". Strängt taget är varken ren syntetisk eller ren analytisk forskning möjlig. Varje syntes vilar på resultaten av en [medveten eller omedveten] föregående analys, och varje analys kräver en efterföljande syntes genom vilken den kan, mot bakgrund av erfarenhet, kontrolleras eller korrigeras. Med den förra, syntetiska proceduren, bygger de allmänna lagarna om mekanik på de antagna resultaten av en tidigare analys.

Först poängterar Riemann att det inte är frågan om att på ett absolut sätt höja den ena proceduren över den andra. Betraktade var för sig representerar de två metoderna "två motsatta forskningssätt", men i själva verket utgör de alltid nödvändiga förutsättningar för varandra. Alltså: vi kan betrakta ett visst forskningssätt som analytiskt eller syntetiskt endast utifrån vilken av dessa procedurer är utgångspunkten eller den huvudsakliga proceduren.

Att de två metoderna utgör nödvändiga förutsättningar för varandra är lätt att se när det gäller att använda den analytiska metoden som huvudprocedur. Den analytiska proceduren -- såsom Riemann har beskrivit processen -- skapar en teoretisk ram inom vilken man kan studera och dra slutsatser om det sätt på vilket ett system löser sin uppgift. Hela poängen är, att denna ram ger oss en möjlighet att bedriva en efterföljande syntes på ett meningsfullt sätt, för att kontrollera om förklaringsmodellen överensstämmer med erfarenhet.

Att se hur den syntetiska metoden alltid föregås av en analys kan vara svårare -- åtminstone tills dess att man tänker tillbaka till utgångspunkten för hela Riemanns resonemang. Där pekade han på tre grundvalar när det gäller att studera örat. Två av dessa grundvalar handlar om örat själv, och motsvarar de två tidigare redovisade systemnivåerna: vad örat utför respektive dess konstruktion. Den tredje grundvalen, som Riemann nämner endast i förbigående, är "de allmänna naturlagarna" och särskilt lagarna om mekanik.

Men våra kunskaper om naturlagarna är inte bara givna av Gud eller naturen. De är intellektuella konstruktioner som har utvecklats under århundraden genom precis samma process som Riemann beskriver när det gäller att studera örat; d v s en växelverkan mellan analytiska och syntetiska procedurer. Lagarna om (teoretisk) mekanik bygger huvudsakligen på ett analytisk arbete baserat på hypoteser om rymd, tid och kausalitet. T ex är Newtons antaganden om absolut (Euklidisk) rymd och tid en analytisk hypotes, även om Newton själv inte ville medge detta.

Men även om den analytiska och den syntetiska metoden utgör två sidor av samma mynt, kvarstår det faktum att varje givet objekt för vetenskaplig undersökning har

sina egna specifika egenskaper m a p vilken typ och grad av empirisk kunskap som är tillgänglig för oss. Det är just tillgängligheten till kunskaper om de två olika systemnivåerna som utgör förutsättningarna för vilken metod som är lämpligast, som huvudmetod och utgångspunkten, när det gäller att studera ett givet system.

§12: Den syntetiska metoden, som huvudprocedur, bör därför undvikas när det gäller en teori för de finare sinnesorganen, eftersom förutsättningarna för denna procedurs användbarhet är ofullständiga, och en komplettering av dessa förutsättningar genom analogi och teleologi förblir helt godtycklig.

Förutsättningarna för tillämpningen av den syntetiska metoden, när det gäller att studera ett system vars interna egenskaper inte kan bestämmas med någon säkerhet, är ofullständiga. Det ligger i själva definitionen av den syntetiska proceduren: att dra slutsatser om effekter på basis av kända eller givna orsaker. Om man försöker bota denna brist genom att införa specifika, *ad hoc* egenskaper baserade på ytliga liknelser med redan kända fenomen (analogi), eller tillskriver enstaka systemkomponenter ett specifikt "syfte" gentemot andra komponenter (teleologi), riskerar vi att sluta med helt godtyckliga förklaringar.

Men Riemann förkastar inte helt användningen av analogi och teleologi, om bara dessa hjälpmedel används på rätt sätt:

§13: När det gäller den andra, i huvudsak analytiska proceduren, kan man ändå inte helt undgå att utnyttja teleologi och analogi, men man kan undvika ett godtyckligt användande av dessa om man:

1) begränsar användningen av teleologi till frågan om medlet genom vilket organet faktiskt utför sin uppgift, utan att ta upp frågan om nyttigheten hos organets enstaka beståndsdelar; och

2) inte, som hos Newton, helt förnekar användningen av analogi ("hypotesens poesi"), utan efteråt drar fram de villkor som måste uppfyllas för att förklara vad organet utför, och förkastar de förställningar som inte är nödvändiga, utan som har uppstått endast till följd av analogin.

Det finns alltså en viktig skillnad i användningen av analogi och teleologi när det gäller de två olika metoderna. Denna skillnad har att göra med att metoderna gör sitt "intrång" i studieobjektet på olika abstraktionsnivåer – eller systemnivåer. Den analytiska metoden utgår från systemets övergripande "effektnivå" medan den syntetiska metoden börjar med systemets "kompositionsnivå", d v s dess inre uppbyggnad.

När det gäller den analytiska metoden kan teleologiska resonemang användas på ett metodologiskt sunt sätt, eftersom det gäller medlet med vilket systemet utför sin uppgift. Eftersom vi redan vet vad systemet utför, vet vi också att dess inre konstruktion måste, på något sätt, klara av uppgiften. Så länge vi håller oss till frågan om hur systemet som helhet förhåller sig till sin uppgift (och inte till hur dess olika beståndsdelar förhåller sig till varandra) kan vi använda teleologiska resonemang som ett hjälpmedel i vår förklaringsmodell.

Att använda teleologiska förklaringar när det gäller systemets kompositionsnivå är en helt annan sak. Här gäller det att beskriva den enstaka komponentens relation till andra komponenter. Att i detta sammanhang tillskriva en komponent ett visst "syfte" eller en viss "nyttighet" gentemot en annan komponent -- när det är precis det som vi inte har lyckats fastställa i våra observationer av systemet -- gör att vi tillför systemet godtyckliga egenskaper. Å andra sidan, om systemet i frågan faktiskt uppfyller förutsättningarna för tillämpningen av den syntetiska metoden -- d v s om vi faktiskt har lyckats fastställa systemkomponenternas egenskaper -- då är teleologiska resonemang helt överflödiga.

Att detta resonemang kan tänkas vara en analytisk sanning -- d v s förhållandet är inbyggt i själva begreppen som används -- minskar inte dess värde. Vad Riemann egentligen säger är: om vi bara reder ut begreppen är hela resonemanget självklart. Man kan knappast tillskriva enstaka systemkomponenter specifika funktionella roller när det är precis det som är frågan.

Samma resonemang gäller också för användning av analogi, men här är saken mer komplicerad. Analogi -- i det här sammanhanget -- är förknippad med ett slags associativt tänkande, som på samma gång är fritt och disciplinerat. Analogier ger oss en formell koppling mellan tillsynes olika typer av fenomen; en koppling baserad på någon underliggande princip eller gemensamt mönster som båda fenomen delar, men som går bortom alla specifika strukturer eller processer. Riemann kallar analogi för "hypotesens poesi" -- d v s ett medium för hypotesskapande.

Både analogins plats i vetenskaplig metod och frågan om den kreativa processen som ligger bakom hypotesskapande har diskuterats i årtusenden²⁰. När det gäller just användning av analogi får vi tillsynes motsägande budskap från det vetenskapliga samfundet. Många av historiens största nyskapare, bl a Leibniz, Gauss, Poincaré, Weyl och Gödel, har deklarerat att analogi är själva motorn bakom vetenskaplig upptäckt. Samtidigt blir vi varnade för analogins faror: när vi försöker tillämpa formella likheter mellan olika fenomen kan vi lätt gå för långt och tillskriva dessa fenomen funktionella och kausala egenskaper som de inte har.

Det finns ingen egentlig motsättning här, påpekar Riemann. Analogi är medlet med vilket vi kan tänka på studieobjektet -- systemet -- "på nytt", utifrån vetenskapliga principer som kan tänkas dölja sig bakom systemets funktion. Analogi används för att skapa en hypotes om systemets grundläggande principer och villkor, men inte om det sätt på vilket systemets beståndsdelar fungerar gentemot varandra. Om vi

bara håller oss till frågan om villkoren som måste uppfyllas ("på basis av obestridliga naturlagar") för att förklara vad systemet utför, har vi ingenting att frukta.

Noter

¹ Ett exempel på sådana tolkningar återfinns hos R. Ackoff i *Redesigning the Future - A Systems Approach to Societal Problems* (New York: John Wiley & Sons, 1974), s. 8f:

"Machine Age thinking was *analytical* and based on the doctrines of *reductionism* and *mechanism*".

"*Analytical thinking* is a natural complement to the doctrine of reductionism. It is the mental process by which anything to be examined, hence understood, is broken down into parts."

² Denna biografiska skiss är baserad på Lewys inledning till B. Riemanns *Gesammelte Mathematische Werke* (Dover, New York, 1953), D. Struik, *A Concise History of Mathematics* (New York, 1967).. och L. Steen (ed.) *Mathematics Today* (New York, 1985).

³ I samlingsboken "Mathematics Today", Steen (1985), är Riemann banbrytande insatser nämnt i inte mindre än fyra olika områden inom modern matematik: geometri, teorin för komplexa funktioner, talteori och partiella differentialekvationer.

⁴ Riemann, *op. cit.*, 1953, s. 272-287

⁵ J. von Neumann, "Discussion of the Existence and Uniqueness or Multiplicity of Solutions of the Aerodynamical Equations", J. i von Neumann, *Collected Works*, vol. 6 (New York, 1963) pp. 384-356.

⁶ Steen, *op. cit.*, kapital om talteori.

⁷ Tack till: Gallagher, R: "Riemann and the Göttingen School of Physiology", *Fusion*, 6:3 (1989), s. 24-38; Hudspeth, A.: "How the ear's works work", *Nature*, 341, 1989, s. 397-404. Gallagers syn på Riemann-Helmholtz kontroversen är något överdrivet, men jag håller med om hans centrala tes, att Helmholtz' reduktioniska synsätt gjorde det svårt för honom att förstå Riemanns kritik.

⁸ Se E. Wever & M. Lawrence, *Physiological Acoustics* (Princeton: Princeton University Press, 1954), s. 145-172.

⁹ Från Henle's Forward in B. Riemann, *op. cit.*, 1953.

¹⁰ B. Riemann, *op. cit.*, 1953, s. 354.

¹¹ Weber och Fechner är kända bl a för deras samarbete om att formulera den s k Weber-Fechner-lag om psykofysik: att i en serie sinnesförnimmelser måste stimulinen öka geometriskt för att ökningen ska kunna förnimmas. Senare demonstrerade de att ett ljuds uppfattade styrka är proportionellt till intensitetens logaritm.

-
- ¹² B. Riemann, *op. cit.*, 1953, s. 343.
- ¹³ E. Wever & M. Lawrence, *op. cit.*, 1954, s. 145-172.
- ¹⁴ B. Riemann, *op. cit.*, 1953, s. 343.
- ¹⁵ A. Hudspeth, *op. cit.*, 1989.
- ¹⁶ Gallager, R, *op. cit.* , 1989.
- ¹⁷ Riemann, *op. cit.*, 1953, p. 338f.
- ¹⁸ G. W. Leibniz, *Philosophical Papers and Letters*, i L. Loemkar, (Chicago, 1956), s. 286. Ur ett brev till Herman Corning, 1678, i Leibniz, W. G. (1956), s. 287. Leibniz utveckling av matematisk analys -- differential och integral kalkyl -- var sedan länge etablerade på kontinenten, men mycket få av hans skrifter var opublicerade fram till början av 1900-talet. Det mesta som han skrev om metod återfanns i brev (av vilka han skrev upp mot 15.000!) och privata uppsatser. Man kan förmoda att Riemanns kunskaper om Leibniz metodologiska studier härstammar främst från Herbart.
- ¹⁹ "The Leibniz-Clarke Correspondence" from 1714-1715, in Leibniz, *op. cit.*, 1956, s. 1085-1169. Se särskilt Leibniz tredje brev. Newton ville inte synas direkt i denna debatt och utnyttjade en vän, prästen Thomas Clarke, som förmedlare.
- ²⁰ Platons diskussion om att analysera antaganden, för att komma fram till primära antaganden. Plato, 1963, "Republic", Bok VI, § 510 b-c, 551 b-c.