

Fysik og Musik i videnskabshistorien

- fra enhed til modsætning

Videnskabshistorie

Musikken og fysikken opfattes i dag som tilhørende to forskellige kulturer: Den humanistiske og den naturvidenskabelige. Men i mere end et årtusinde bidrog de to fag i frugtbar vekselvirkning til beskrivelsen og forståelsen af omverdenen. Her fortælles historien om de to fags udvikling fra enhed til modsætning.



Musikken og fysikkens historiske udvikling kan groft set beskrives som gående fra enhed til modsætning. Bruddet mellem de to fag kan måske bedst forstås som en konsekvens af det ændrede verdensbillede, som fulgte i kølvandet på den såkaldte "Naturvidenskabelige Revolution", som fandt sted igennem 15- og 1600-tallet. Men betingelsen for et brud var selvfølgelig, at der før havde været tale om en enhed. Og denne fortælling starter næsten 2000 år tidligere.

Pythagoras og de skønne klange

Ifølge en legende var den græske filosof Pythagoras (ca. 570-500 f. Kr.) en dag ude at gå tur, da han kom forbi en smedje, hvorfra han hørte nogle skønne klange. Klangene opstod, når smedenes hamre ramte jernet. Det viste sig, at hamrenes toner afhang af hammerhovedernes vægt, og ved at veje de enkelte hamre i forhold til hinanden fandt Pythagoras, at de skønneste klange, *konsonanserne*, blev frembragt, når hammerhovederne havde de enkleste indbyrdes vægtforhold. De klange, som Pythagoras havde genkendt, var de velkendte musikalske intervaller oktav, kvart

Planet	Måne	Sol	Venus	Merkur	Mars	Jupiter	Saturn
Afstand fra Jorden	1	2	3	4	8	9	27
Interval fra forgående planet		Oktav	Kvint	Kvart	Oktav	Sekund	Oktav + Kvint

Platon forsøgte at forklare afstandene mellem planetsfærerne i det græske verdensbillede ved hjælp af de harmoniske intervaller, der kan dannes ud fra rækken af fordoblinger 1, 2, 4, 8 og rækken af tredoblinger 1, 3, 9, 27.

og kvint. Pythagoras havde dermed for første gang påvist en sammenhæng mellem musik og matematik.

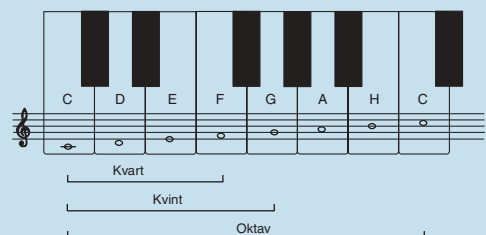
Pythagoras studerede også de musikalske intervaller ved hjælp af en såkaldt monokord – et enstrengt instrument. Her fandt han, at hvis man anslog en streng, som var delt i forholdet 2:1 dannedes en oktav, når forholdet var 3:2 var det en kvint, og når det var 4:3 var det en kvart. Hvis strengen derimod blev opdelt i andre forhold, var resultatet *dissonerende*, dvs. ikke vellydende.

Sfærernes musik

Den filosofiske skole, *pythagoræerne*, som var inspireret af Pythagoras, udviklede en filosofi baseret på talspekulation, som bl.a. var inspireret af de

musikalske intervaller simple talforhold. De mente, at tallene var den grundliggende realitet i universet, og at alt værende således kunne beskrives ved forhold mellem hele tal. Tal og talforhold symboliserede derfor det guddommelige.

Efter at have fundet de harmoniske forhold i musikteorien søgte pythagoræerne efter lignende simple talforhold i stort set alle andre videnskaber. De var overbevist om, at universet var skabt så godt og smukt, dvs. harmonisk, som muligt. Derfor mente de f.eks., at Jorden var en kugle – den mest regelmæssige form, der fandtes, og de forestillede sig, at planeterne sad fast på ligeledes kugleformede skaller, der drejede omkring Jorden. Når de kæmpestore skaller, som planeterne sad



Gennem eksperimenter opdagede Pythagoras for over 2500 år siden, at der er en sammenhæng mellem de velklingende musikalske intervaller og simple talforhold. Dette er et af de allerførste eksempler på en matematisk naturbeskrivelse.

Af Hans Buhl og Carsten R.Kjaer

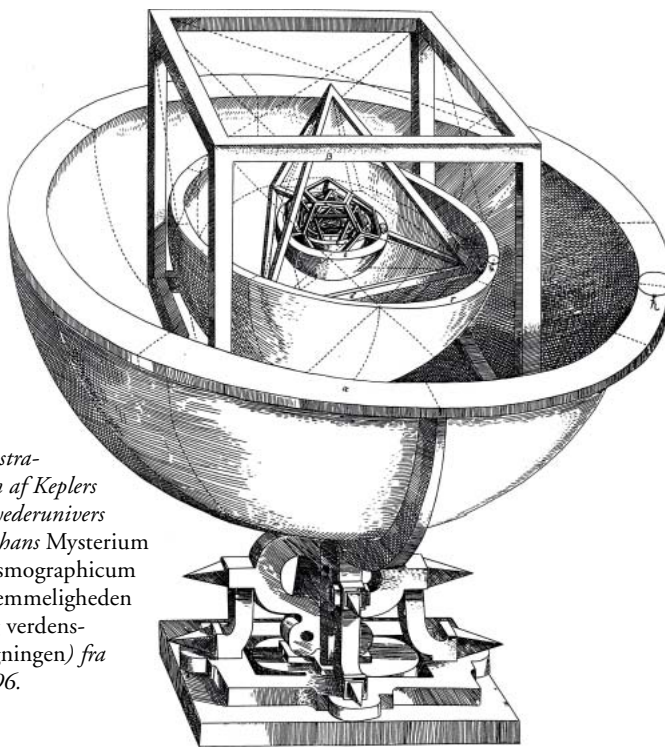
på, roterede inde i hinanden, måtte der opstå lyd. Grunden til, at vi ikke hører lydene er, at vi har vænnet os til dem siden fødslen. Denne ide om "sfærernes musik" medførte, at det var naturligt for de græske naturfilosoffer at bruge talforhold fra de harmoniske intervaller i deres teorier for forholdene mellem afstandene til planterne.

Middelalderens frie kunster

Antikkens musikteori blev mere end af nogen anden viderebragt til middelalderen af den romerske statsmand, matematiker og filosof A.M.S. Boethius (475-524). Boethius anviste bl.a. en rangorden af forskellige slags musik, hvor den praktiske musikudøvelse (*musica instrumentalis*) figurerer lavest på rangstigen. Herover står den menneskelige musik (*musica humana*), som er en musik, der ikke kan høres, men er et udtryk for den indre menneskelige harmoni, som f.eks. kommer til udtryk i form af symmetrien mellem vore lemmer og forholdet mellem legeme og sjæl. Øverst står verdens musik (*musica mundana*), som er sfærernes musik, og som er fundamentet for hele vor verden og himmellegemernes bevægelse.

Denne forbindelse mellem musik og "naturvidenskaben" understreges af fordelingen af fag ved middelalderens universiteter. *Artes liberales* (de frie kunster) udgjorde fundamentet for den verdslige undervisning, og de kaldtes således, fordi de kunne frigøre sjælen fra dens medfødte uvidenhed. Tilsammen bestod *Artes Liberales* af syv fag: Dialektik, Retorik og Grammatik, som samlet også kaldtes *trivium* (den trefoldige vej) samt Geometri, Aritmetik, Astronomi og Musik, som samlet kaldtes *quadrivium* (den firefoldige vej). Med tiden blev *trivium* til de humanistiske fag, mens *quadrivium* blev til de naturvidenskabelige fag. Oprindeligt har musikteori altså tilhørt gruppen af "naturvidenskabelige" fag, og først i løbet af 1700-tallet fik musik status af et humanistisk fag.

Illustration af Keplers polyederunivers fra hans *Mysterium Cosmographicum* (Hemmeligheden bag verdensbygningen) fra 1596.



Kepler

I begyndelsen af 1600-tallet udarbejdede den tyske astronom Johannes Kepler det sidste store forsøg på en kosmologi baseret på musikteori. Selvom dette arbejde var inspireret af klassisk teori, blev resultaterne heraf samtidig en del af grundlaget for den moderne videnskab.

Kepler var overbevist om, at Gud havde skabt og ordnet universet efter geometriske og harmoniske principper – en overbevisning, som var inspireret af platoniske forestillinger om en sammenhæng mellem form og tal i universet. At søge de principper, som Gud havde ordnet universet efter, var således at søge Gud.

Kepler tilsluttede sig den polske astronom Nicolaus

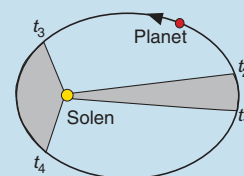
Copernicus' teori om, at det var Solen og ikke Jorden, der var centrum i universet – en teori som Copernicus fremsatte i 1543. Copernicus havde også beregnet forholdet mellem planeternes afstande til den centrale sol. Kepler forsøgte at forklare disse afstande ud fra forskellige geometriske principper. Han kom frem til, at han stort set kunne genskabe de rigtige afstandsforhold ved at forestille sig, at planeterne bevægede sig i nogle tænkte kugleskaller, som var adskilt fra hinanden af de fem regulære polyedre – også kaldet de platoniske legemer (se figur).

Senere fik Kepler den ide, at forholdet mellem planeternes hastigheder i deres baner omkring solen kunne beskrives

som en musikalsk harmoni. Denne harmoniske model gav dog ikke bedre resultater end hans geometriske model. Dette skyldtes, at ingen af modellerne tog hensyn til, at planeterne bevæger sig i ellipser med varierende hastighed. Dette problem løste Kepler i *Harmonices mundi* (*Verdens harmoni*) fra 1619. I stedet for en enkelt tone tildelte han hver planet en skala, som gik fra den tone, der svarede til planetens laveste banehastighed, til den tone, der svarede til den højeste.

Han forestillede sig planeterne som et seksstemmigt kor, hvori stemmerne gled jævnt op og ned af deres respektive skala,

Keplers love



1. lov: Planeterne bevæger sig om Solen i ellipser med Solen i det ene brændpunkt.
2. lov: En tænkt linie fra Solen til en planet overstryger lige store arealer i lige store tidsrum.
3. lov: Forholdet mellem en planets omløbstid i anden potens og dens middelfasthed til Solen i tredje potens er det samme for alle planeter.

hver med sit tempo. Derved dannede de normalt voldsomme dissonanser, men en gang imellem opstod der universelle harmonier mellem to eller flere planeter. Han regnede med, at der kun havde været harmoni mellem alle seks planeter ved verdens skabelse.

I forbindelse med analysen af de mange kombinationsmuligheder mellem planetskalaerne fandt Kepler sin 3. lov for planetbevægelserne også kaldet den harmoniske lov.

Den naturvidenskabelige revolution

I løbet af 1600-tallet udviklede naturvidenskaben sig efterhånden til at blive en selvstændig disciplin løsrevet fra tidligere



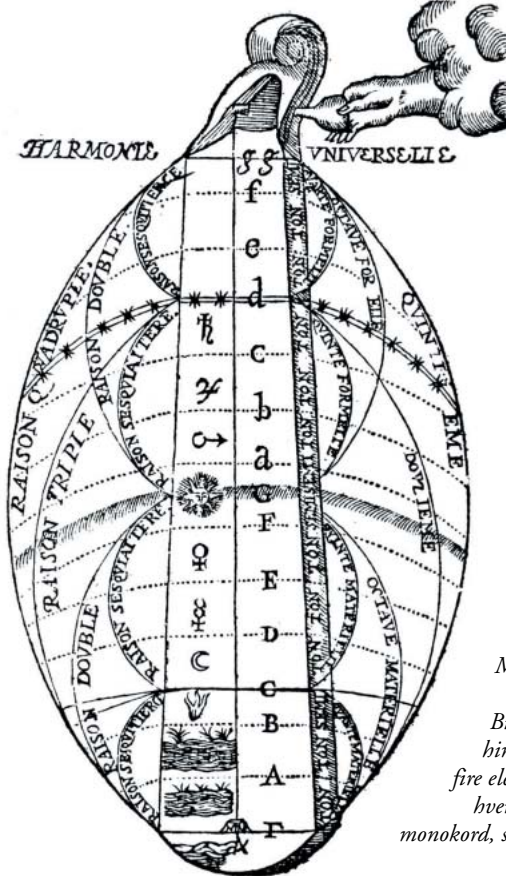
Kepler brugte musikalske skalaer i sit forsøg på at forstå solsystemets opbygning. Dette tog højde for planeternes varierende hastighed. Fra Kepler, *Harmonices mundi*, 1619.

tiders nære forhold til religion, filosofi og kunst. Dette manifesterede sig bl.a. i et opgør med gamle græske forestillinger om tingenes iboende egenskaber, og i store ændringer i naturvidenskabens metode.

Dette kom f.eks. til udtryk i den eksperimentelle metode, hvor systematiske forsøg førte til matematiske teorier, som kunne testes med nye forsøg osv. Mange tidligere læresætninger blev således forkastet på grund af eksperimentelle undersøgelser.

Udviklingen mod et mere eksperimentelt studium af musikken blev ført til en foreløbig kulmination af den franske matematiker, naturfilosof og teolog Marin Mersenne i begyndelsen af 1600-tallet. Han troede på, at musikken afspejlede den guddommelige harmoni, der gennemtrænger verden, men mente samtidig, at man kun kunne forstå den fysiske verden gennem en stadig vekselvirkning mellem eksperimenter og hypoteser.

Mersenne studerede f.eks. svingningsfrekvenser, konsonans og lydens hastighed, og han opdagede bl.a. sammenhængen mellem en strengs tonehøjde og dens længde, tykkelse og spænding. Mersenne mente, at tonehøjden var proportional med antallet af "rystelser" i luften pr. tidsenhed – det vi i dag kalder frekvensen. Dette demonstrerede han ved



Den guddommelige Monokord fra M. Mersenne, Harmonie Universelle, 1636. Billedet viser, hvordan himmellegemerne og de fire elementer er knyttet til hvert sit tonenavn på en monokord, som stemmes af Gud.

først at tælle de langsomme vibrationer af meget lange strenge i bestemte tidsrum, og på grundlag af disse målinger at beregne frekvensen af toner fra strenge, der svingede for hurtigt, til at det kunne tælles. Eksemplet illustrerer, hvordan man gennem eksperimenter synliggjorde fænomener, som hidtil havde ligget uden for sansernes rækkevidde.

Fra musikteori til akustik

Igennem 1700-tallet og frem til midten af 1800-tallet interesserede mange af de betydnende

videnskabsmænd sig for musikteori såvel som lyd i almindelighed. De fleste studier var nu ikke længere drevet af tidligere tiders søgen efter universets harmoni, men snarere af et ønske om at skabe en rationel beskrivelse af den fysiske verden. Mange nye opdagelser blev gjort i denne tid, og der skete en væsentlig udvikling i den matematiske beskrivelse af f.eks. mekaniske svingninger.

Som eksempel på denne tids tilgang til studierne af musikken kan nævnes fysikeren Joseph Sauveur, som hverken var

særlig musikalsk eller specielt interesseret i musikken som sådan. Hans interesse var rettet mod de fysiske principper, der lå til grund for musikken. Han indførte flere af de fagudtryk, som bruges den dag i dag, f.eks. ordet *akustik* for studiet af lyd i almindelighed. Inden for studiet af svingende strenge indførte han begreberne *overtoner* for de toner, som en streng kan svinge med udover sin grundtone, og *knudepunkter* for de stationære punkter, der kan dannes på en svingende streng.

Det var dog ikke kun musikken, der inspirerede fysikerne. Deres opdagelser fandt også anvendelse inden for musikteorien. F.eks. udgav komponisten og musikteoretikeren Jean-Philippe Rameau i 1722 en musikalsk harmonilære, som byggede på naturlovene for svingende legemer. I de tilfælde, hvor der ikke fandtes en fysisk forklaring, henviste han til ørets dom eller den gode smag.

Chladni og Helmholtz

Studierne af svingende strenge førte i 1700-tallet til en generel matematisk forståelse af svingninger i én dimension. I 1800-tallet gentog dette udviklingsforløb sig for todimensionale svingninger. Omkring 1800 havde den tyske fysiker Ernst Chladni udviklet en metode, hvor man kunne synliggøre todimensionale svingninger ved at drysse fint sand på en glas- eller metalplade og derefter sætte pladen i svingninger. Sandet samlede sig så langs de såkaldte knudelinier, hvor pladen ikke bevægede sig. Herved blev der dannet symmetriske (og ofte flotte) mønstre. Chladni mente, at pladens forskellige svingningsmønstre svarede til dens overtoner. Dette blev senere bekræftet af generelle teorier om svingninger i flere dimensioner.

Midt i 1800-tallet fremsatte den tyske fysiker og fysiolog Hermann von Helmholtz en sammenhængende teori for, hvordan vi opfatter lyd. Ud fra sit kendskab til ørets anatomi såvel som de mange nye teorier vedrørende musikalsk akustik,



Hans Buhl eksperimenterer med en svingende streng på udstillingen "Sfærenes harmoni" på Steno Museet.



Hans Buhl demonstrerer, hvordan sand på en metalplade ordner sig i sirlige klangmønstre, når man stryger på kanten med en violinbue. Mønstrene opstår fordi sandet samler sig langs de såkaldte "knudelinier", hvor pladen ikke svinger.

forsøgte han bl.a. at forklare, hvorfor vi oplever visse samklange som konsonerende. Siden oldtiden havde konsonans været defineret ud fra rent numerologiske overvejelser.

Men siden midten af 1500-tallet var der gjort adskillige mere eller mindre vellykkede forsøg på at give en fysisk forklaring på konsonansfænomenet. Helmholtz' forklaring var baseret på studier af den række af overtoner, som giver enhver lyd sin særlige klang. Han analyserede overtone-spektret ved hjælp af nogle særlige resonatorer, hvormed han kunne isolere og forstærke de enkelte overtoner. På grundlag af sine undersøgelser mente Helmholtz, at konsonans mellem to toner skyldtes, at de havde en eller flere overtoner til fælles. Dette er ikke helt forklaret, omend den moderne forklaring er væsentligt mere kompliceret.

De to kulturer

Fysikken og musikken eksemplificerer den opdeling i en naturvidenskabelig og en humanistisk kultur, som præger vor tid. Mange oplever fysik

som svært og verdensfjernt, hvorimod musik er en behagelig og naturlig del af vores hverdag. Det er tankevækkende, at to fag, som op gennem historien har været i frugtbar vekselvirkning, i dag nærmest er blevet hinandens modsætninger.

Der er ingen simpel forklaring på, hvorfor det er gået sådan, men det skyldes uden tvivl ændringer inden for begge fag. Musikken blev indtil 1700-tallet af mange opfattet som noget, der rakte langt ud over dens nuværende status som kunst eller underholdning. Siden oldtiden var den nærmest blevet betragtet som et udtryk for den fysiske verden i den forstand, at musikken afspejlede den himmelske harmoni. En stor del af musikken indeholdt således filosofiske og religiøse aspekter - f.eks. er Bachs musik i høj grad et forsøg på at skildre den store guddommelige harmoni.

Siden romantikken er inspirationens fokus imidlertid flyttet fra den store helhed til f.eks. kunstnerens følelsesmæssige indre. Og i megen popmusik virker det som om, at fokus er rettet mere mod kommer-

cielle end universelle forhold. Naturvidenskabens bidrag til nedbrydningen af det årtusind gamle samarbejde tager sit udgangspunkt i den naturvidenskabelige revolution. Indtil denne havde det været normalt at inddrage religiøse og filosofiske elementer i naturbeskrivelsen, og derfor var det oplagt at søge efter universets harmoni. Siden da er det i stadig højere grad lykkedes naturvidenskaben at give rationelle forklaringer på den fysiske verdens fænomener. Det har bl.a. betydet, at musikken fra at være en integreret del af naturbeskrivelsen blot blev et middel til at opnå generel indsigt i f.eks. mekaniske svingninger. Siden hen er musikken som forskningsobjekt forsvundet helt ud af fysikkens *mainstream*. Men en uofficiel rundspørge på CERN for nogle år siden tyder dog på, at der er en væsentlig overhyppighed af fysikere, der har musik som deres primære fritidsinteresse. ☺

Om forfatterne

Hans Øllgaard Buhl er Ph.d. og museumsinspektør på Steno Museet
C.F. Møllers Alle
8000 Århus C
Tlf.: 8942 3992
e-mail: stenohb@au.dk
<http://www.au.dk/~stenomus/>

Carsten R. Kjaer
Aktuel Naturvidenskab

Her kan du læse videre:

Hans Buhl m.fl., *Sfærernes harmoni*, Steno Museets Venner, 1999. (Under udgivelse)

Jamie James: *The Music of the Spheres*, Abacus, 1995.

Aktuel særudstilling:

Steno Museet – Danmarks Videnskabshistoriske Museum i Århus viser frem til den 5. december 1999 særudstillingen "Sfærernes harmoni" om forholdet mellem fysik og musik. Udstillingen fortæller bl.a. den her skitserede historie om en udvikling fra enhed til adskillelse.

Udstillingen rummer også et mindre lyd-eksperimentarium, som giver en generel introduktion til fænomenet lyd, f.eks. lydbølger, klang, overtoner, resonans og stødtoner m.v.

Den sidste del af udstillingen giver et rids over de vigtigste metoder til at optage og gengive lyd. Plancher og gentande fortæller historien fra selvspillende instrumenter over fonografer til digitalisering og CD-afspillere.