

Louis Andriessen, Leo Geurts, Lambert Meertens

## Componist en computer

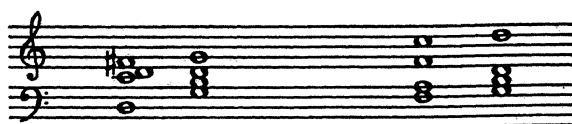
Na Kircher zou het drie eeuwen duren, voordat het Amerikaanse musicoloog-programmeur-duo Hiller-Isaacson in 1957 met de *Illiad suite* de 'mechanisch' gecomponeerde muziek een nieuwe impuls gaf. Sindsdien zijn computers meermalen met vrucht bij het componeren gebruikt, onder andere door Xenakis, Babbitt en Koenig. Voor sommigen mag dit iets incidenteels schijnen, in werkelijkheid zijn dit de eerste symptomen van een ontwikkeling in de kunst waaruit de computer niet meer weg te denken zal zijn.<sup>1</sup> De muziek gaat in deze ontwikkeling nog voorop, waarschijnlijk doordat haar notatie al een digitale code is en doordat men bij muziek niet zo onmiddellijk op een semantische barrière stuit als bij pogingen op bij voorbeeld literair terrein.

Om de lezer al direct wat vertrouwd te maken met het gebruik van een computer voor het componeren, bespreken we als voorbeeld een poging tot een compositie in klassieke stijl: het *Strijkkwartet no. 1 in C* van Lambert Meertens, geheel door de computer geproduceerd aan de hand van een programma van de componist.<sup>2</sup> We zullen de aspecten *harmonie*, *melodie* en *ritme* van het strijkkwartet ieder afzonderlijk behandelen, hoewel ze in de in het programma gevolgde procedure nauw verweven zijn.

Daar de componist op muzikaal gebied een leek is, behelst de *harmonieleer* die aan het programma – en daardoor aan het kwartet – ten grondslag ligt, niet meer dan wat Hindemith in het eerste kwart van zijn *Aufgaben für Harmonieschüler*<sup>3</sup> behandelt. Hierin worden

op duidelijke wijze regels gegeven voor de opeenvolging van twee vierstemmige akkoorden.

Enkele van deze regels zijn *constructief*, het merendeel daarentegen is in de vorm van een *verbod* gegoten. Een *constructieve* regel is: los een verminderde kwint of overmatige kwart in een akkoord – bij voorbeeld in een dominant-septiem-akkoord – op door met de ene stem bij het volgende akkoord naar boven en met de andere naar beneden te gaan, zodat een tert of een sext gevormd wordt. Een *verbod* is: twee stemmen in een akkoord die een kwint vormen, mogen niet door in dezelfde richting te veranderen, in het volgende akkoord weer een kwint vormen. Een voorbeeld van het oplossen van een overmatige kwart tussen sopraan en tenor, en een van een kwintenparallel tussen sopraan en bas:



Bij het omzetten in programmavorm van deze regels waren twee moeilijkheden op te lossen. De eerste was dat in het boek van Hindemith soms, ongetwijfeld met reden, regels worden ingevoerd, om enkele bladzijden verder

LOUIS ANDRIESSEN. Geb. 1939. Studeerde, na beëindiging van zijn studies hier te lande in piano, theorie en compositie (bij Kees van Baaren), in '62 en '63 compositie bij Luciano Berio in Milaan. Deze studie werd in '64 en '65 op uitnodiging van de Ford Foundation in Berlijn voortgezet. Sinds 1965 als componist woonachtig en werkzaam in Amsterdam.

LEO GEURTS. Geb. 1942. Is als programmeur verbonden aan het Mathematisch Centrum te Amsterdam.

LAMBERT MEERTENS. Geb. 1944. Is als programmeur verbonden aan het Mathematisch Centrum te Amsterdam.

plots te worden opgeheven. De tweede was dat niet bij voorbaat uitgesloten is dat een reeks akkoorden, volgens de regelen der kunst voortschrijdend, een doodlopende weg inslaat en ten slotte een akkoord bereikt vanwaar geen legitieme voortzetting meer mogelijk is. De eerste moeilijkheid is opgelost door de verbodsregels zo te interpreteren dat sommige verboden zeer sterk gelden, dat andere daarentegen veeleer aanduiden dat een bepaald verschijnsel weliswaar bij voorkeur vermeden dient, maar in gevallen waar het bezwaarlijk te omzeilen valt, desnoods mag voorkomen. Van ieder verbod is de sterkte uitgedrukt in een getal, de bijbehorende *boete*. Om nu vanuit het vorige vierstemmige akkoord te besluiten tot het volgende gaat het programma als volgt te werk. Eerst wordt volgens de constructieve regels een groot aantal nieuwe akkoorden als mogelijke voortzettingen van het oude akkoord gegenereerd. Elk van deze voortzettingen wordt dan getoetst aan alle verbodsregels en loopt, bij overtreding, steeds de bijbehorende boete op. Het akkoord dat met de kleinste totale boete uit deze slag te voorschijn komt, wordt de definitieve voortzetting. Deze werkwijze biedt ook voor de tweede gesignaleerde moeilijkheid een oplossing: in een moeilijk geval wordt toch nog de minst slechte voortzetting gekozen. Enkele voorbeelden van verboden met hun boete:

kwintenparallel	100 000
verdubbelde tert	30 000
bas is niet verdubbeld	5 000
twee stemmen kruisen	2 000
verandering in de middenstemmen	
voor iedere seconde verschil	200 à 300

Deze laatste verbodsregel vervangt de constructieve regel dat de middenstemmen (alt en tenor) over zo klein mogelijke intervallen bewegen, zodat een sprong in de middenstemmen verkozen zal worden boven een kwintenparallel.

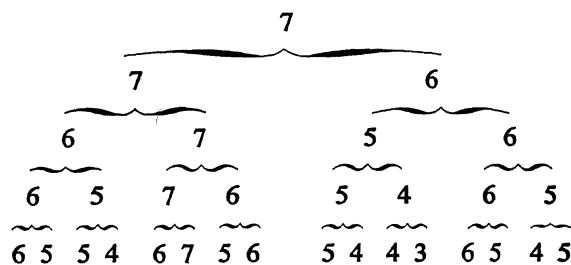
Over het tweede muzikale aspect, de *melodie*, werd in de literatuur weinig exacters gevonden dan dat kleinere intervallen vaker voorkomen dan grotere – met uitzondering van de relatief zeldzame priem –, dat een groot interval bij voorkeur stapsgewijze in de andere richting weer wordt opgevuld, of dat een stijging of daling

van de melodische lijn spanning verwekt respectievelijk oplost.

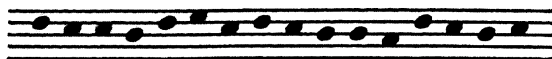
De procedure die in het programma de melodische lijn bepaalt, vloeit voort uit deze laatste aanwijzing, gecombineerd met de vrij algemene esthetische regel: in een muziekstuk dienen spanning en ontspanning elkaar regelmatig af te wisselen. In de melodische lijn dienen dus toppen en dalen elkaar regelmatig af te wisselen. Het werkt echter uitgesproken triviaal wanneer opeenvolgende hoogtepunten telkens op dezelfde toon vallen; ze kunnen beter iets verschillen. Dat wordt heel behoorlijk verkregen als volgt:

Iedere passage bereikt ergens zijn hoogste toon. Wanneer deze passage in tweeën verdeeld, heeft ook ieder van deze deelpassages een hoogste toon, en bij tenminste een van die twee deelpassages moet deze gelijk zijn aan de hoogste toon van de gehele passage. Het volstaat nu ervoor te zorgen dat de hoogste toon van de andere deelpassage iets lager is. Hetzelfde proces als op de gehele passage is toegepast, wordt vervolgens toegepast op de twee deelpassages.

Bij iedere tweedeling moet nu beslist worden of de eerste dan wel de tweede deelpassage de hoogste toon 'erft'. Het zou triviaal zijn als hiervoor een eenvoudig voorspelbaar criterium zou worden gebruikt, zoals: het eerste deel heeft het erfrecht, of: om beurten het eerste en het tweede. Een onvoorspelbaar criterium is hier gekozen: de (geprogrammeerde) toss. Steeds wordt in het programma als het ware een munt opgegooid; is het kop dan erft de eerste deelpassage, is het munt dan erft de tweede de hoogste toon van de gehele passage. Dit kan bij voorbeeld als volgt verlopen (de tonen zijn naar hun hoogte op de toonladder met een cijfer voorgesteld):



De hoogste toon in de hele passage is aangeduid met 7. Bij tossen bleek dat maximum zich in de eerste helft te moeten bevinden; het maximum van de tweede helft is één lager: 6. De 7 van deze eerste helft bleek bij tossen in de tweede helft daarvan voor te komen; de hoogste noot in de eerste helft van de eerste helft werd dus 6, etcetera. Als we de passage op het onderste niveau niet verder opsplitsen, dan geven de cijfers op de onderste regel de toonhoogten van de berekende melodie weer. In notenschrift:



Het is aardig een vergelijking te maken tussen frequentie van voorkomen van de intervallen in de melodische lijnen, gegenereerd volgens dit procédé, en die uit de klassieke muziek. Voor bovenstaand schema, nog drie niveaus verder uitgesplitst, kwamen we tot de volgende aantallen:

priem	18 maal
seconde	88 maal
terts	15 maal
kwart	6 maal
kwint of meer	0 maal

Dit blijkt dus goed in overeenstemming met wat in de literatuur gevonden werd.

Bovendien werden van de eenentwintig voorkomende sprongen er achttien gevolgd door een seconde in de andere richting. Blijkbaar geeft dit eenvoudige principe, gebaseerd op een esthetische overweging, en passant een verklaring voor twee bekende, schijnbaar onafhankelijke verschijnselen.

Wat het derde aspect, het *ritme*, betreft, laten

*Allegro*

de handboeken de programmerende componist ook al in de kou staan. Het programma zorgt ervoor dat de maten meestal wel, soms niet (toss!) in stukken worden gesplitst, die dan weer al of niet worden gedeeld, enzovoort.

Om nu het bedoelde resultaat, een strijkkwartet met klassieke opbouw, te verkrijgen, werd het procédé waarin de methoden voor harmonie, melodie en ritme geïntegreerd zijn, gebruikt voor het genereren van de afzonderlijke delen van zo'n strijkkwartet, elk in overeenstemming met passende aanwijzingen omtrent maatsoort, toonaard, ritme en lengte. Het eerste deel, een allegro in 3/4 maat en in C, is opgebouwd uit expositie, doorwerking en reprise. Het tweede deel is een adagio in 6/8 maat en in a, het derde deel een menuet, in een vorm zoals Haydn bij voorbeeld heeft gebruikt, in 3/4 maat en in C, en de finale is in 2/2-maat en in C.

Het is frappant hoe met behulp van steeds hetzelfde procédé – met slechts enkele aanwijzingen als 3/4 maat, C, acht maten etcetera – stukken van zeer verschillend karakter kunnen worden gecomponeerd. Dankzij de ingebouwde toss kunnen bij herhaald gebruik van het programma toch steeds nieuwe composities ontstaan, ook bij gelijk blijvende aanwijzingen.

Helaas zijn er (omdat het programma op tijd klaar moest zijn voor een wedstrijd<sup>4</sup>) nog wat fouten in het programma blijven zitten, die het onder andere op hun geweten hebben dat in de doorwerking van het eerste deel bitter weinig meer te bespeuren is van het oorspronkelijke thematische materiaal. Hieronder de eerste zin van het eerste deel van het strijkkwartet, en het slot van het tweede deel:

*Adagio*



Het belangrijkste tekort van het programma is echter wel de gebrekkigheid van de erin verwerkte theorie. Uitbreiding van het programma aan de hand van de gebreken die men gemakkelijk in het kwartet kan beluisteren (ontbreken van bij voorbeeld chromatiek, contrapunt en melodische bas) zal een beter resultaat leveren. Op de verschillen die dan weer gehoord worden ten opzichte van de bedoelde muzikale stijl kunnen weer nieuwe veranderingen gebaseerd worden, en ten slotte, als we tevreden zijn met het resultaat, hebben we de garantie dat de theorie als in het programma neergelegd, volledig is voor deze muzikale stijl. Hierbij zal ongetwijfeld blijken dat een programma voor Haydn-kwartetten weinig gelijkenis meer vertoont met een programma voor Mozart-kwartetten.

Deze gang van zaken is in de wetenschap niet onbekend: aan de hand van observaties van bepaalde verschijnselen wordt een theorie, een model, opgesteld, in een programma vertaald, en aan de hand van de resultaten net zolang veranderd totdat de output van het programma de te verklaren verschijnselen weergeeft. Dan is het juiste model gevonden. Het gebruik van de computer op dit gebied is vooral heilzaam omdat het de onderzoeker ertoe dwingt zijn model zeer nauwkeurig te beschrijven. Ook wanneer hij in feite niet op deze trial-and-error-maniër aan zijn onderzoek werkt, zal hij, de computer indachtig, zijn hypotheses scherp

formuleren. Deze invloed is te bespeuren in bij voorbeeld de economie, de taalkunde en helaas ook in de oorlogsvakken. Raoul Chapkis heeft over dit effect van de computer een mooi verhaal geschreven: *Giro*<sup>5</sup>. Het gaat over een eenmanscomputercentrum, waar de klanten bij hun in programmeertaal exact beschreven wetenschappelijke theorieën, ter controle de uitkomsten die ze verwachten moeten voegen. Als de eigenaar overlijdt, laat hij een brief na waarin hij vertelt dat zijn computer alleen een mahoniehouten schrijftafel was, en dat hij de wetenschapslieden steeds de resultaten stuurde die ze zelf al hadden bijgevoegd. Als iemand immers zijn probleem zo helder kon formuleren, dan waren de verwachte resultaten ook wel juist.

Zo functioneert de computer als een wetenschappelijk geweten, ieder kwellend die vlotte tapkasttheorie stelt in de plaats van een verifieerbaar constructief model.

In de kunst kan de computer een soortgelijke rol spelen. Waar een componist zegt uit te gaan van een bepaald idee en daarop langs die-en-die weg zijn partituur te baseren, zonder esthetische franje of literair-anekdotische strapatsen, daar zal de computer zijn artistieke geweten zijn. De componist kan aantonen dat hij zijn compositie op een cleane manier uit een idee afleidt, door die manier en dat idee in een programma vast te leggen en de computer hieruit de compositie te laten produceren. Er valt

over te twisten of het programma dan wel het klinkende resultaat het kunstwerk uitmaakt. In het geval dat een en hetzelfde programma een hele serie composities definieert en kan produceren (vergelijk het gebruik van de toos in het strijkkwartet), is het aannemelijk het programma, de werkwijze, als kunst aan te merken. Hoe dan ook, de werkwijze is een on-  
 vervreemdbaar onderdeel van het kunstwerk, ook al leent de gebruikelijke manier van presenteren van een muziekstuk in de concertzaal zich slecht voor het appreciëren van het werkwijze-aspect.

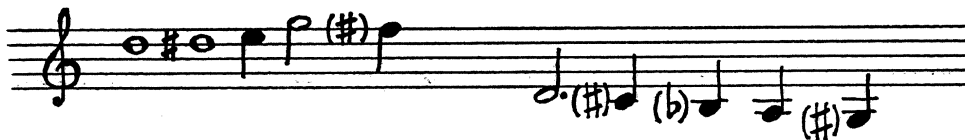
In gevallen waarin de componist zijn werk niet op een exact beschrijfbaar manier kan of wil laten ontstaan, kan toch de computer voor bepaalde deeltaken worden ingezet, niet alleen als werkbeparend apparaat, maar ook als garantie voor de consequente samenhang van, in dit geval, een aspect van zijn compositie. Als voorbeeld willen we hier behandelen de opera *Reconstructie*.<sup>6</sup>

De opera in zijn geheel is zeker niet zo'n 'pure' conceptie die in een programma beschreven zou kunnen worden. (Daarvoor zouden er ten aanzien van die conceptie veel te grote semantische moeilijkheden zijn geweest.) Maar een aspect van *Reconstructie*, namelijk het harmonische materiaal, is wel door de computer geproduceerd.<sup>7</sup> De opera wil een reconstructie van onder andere Mozarts *Don Giovanni* zijn, en de componisten hebben het harmonische materiaal op een strenge manier uit *Don Giovanni* willen afleiden. Twee motieven uit de overture zouden de vader en de moeder worden van de opera (omdat beide motieven in verschillende varianten voorkomen, worden de noten die in deze varianten verschillen, aangege-

buiten Mozart zich hebben doen gelden. Het gebruik van het 'domme rekentuij' heeft vreemde insluipsels hier zeker geweerd.

Voor het voortbrengen van het harmonische materiaal werd niet één speciale variant van de motieven gekozen, maar werd uitgegaan van de boven weergegeven gecombineerde varianten. Een noot met een alteratieteken tussen haakjes werd geacht één toon met twee mogelijke realisaties aan te duiden. Hierdoor ontstaan ook intervallen met meer realisaties: het interval tussen d en f-of-fis is een kleine-of-grote tert. Uit ieder motief kan een groot aantal vijfklanken worden geconstrueerd door de vijf tonen gelijktijdig te laten klinken, het ontstane akkoord zo te transponeren dat een van de tonen een D (of in het geval van een facultatieve alteratie een D-of-Des) wordt en deze toon tot onderste toon van het akkoord te maken door de andere tonen zo nodig een of meer octaven hoger te plaatsen. Het voor deze verplaatsingen gekozen procédé zorgt ervoor dat de intervallen in het hoge of lage gebied in het algemeen groter zijn dan in het middengebied. Er zijn zo evenveel verschillende mogelijkheden als er rangschikkingen van de noten uit het oorspronkelijke motief bestaan, namelijk honderdtwintig. Voor beide motieven zijn deze honderdtwintig akkoorden berekend en getekend door de *Electrologica XI* van het Mathematisch Centrum. Op bladzijde 309 staat het begin van een serie. (Enharmonisch gelijke tonen werden hierbij als gelijk beschouwd.)

Uit twee akkoorden kan een nieuw akkoord gecreëerd worden door een proces dat men *vermenigvuldiging* zou kunnen noemen: het ene akkoord wordt op ieder van de tonen van het andere akkoord gezet en het produktakkoord is



ven met een alteratieteken tussen haakjes):

De componisten zouden, met deze twee motieven voor ogen, natuurlijk zelf wel de harmonieën voor *Reconstructie* hebben kunnen bepalen, maar hoe licht zouden niet invloeden van

dan het complex van alle tonen die zo ontstaan, maar dan zo getransponeerd dat de onderste toon op een bepaalde grondtoon terecht komt.<sup>8</sup> Op deze wijze is ieder van de honderdtwintig akkoorden die op het eerste motief gebaseerd

12345      12354      12435      12453      12534      12543

zijn vermenigvuldigd met ieder van de honderd-twintig akkoorden bij het tweede motief. Hierbij moet nog opgemerkt worden dat de som van bij voorbeeld twee kleine-of-grote tertsen niet werd beschouwd als een verminderde-of-reine-of-overmatige kwint, maar als een reine kwint. De akkoorden werden geplaatst op een A<sub>1</sub> (of in geval de grondtoon van het ene factorakkoord een D en die van het andere een D-of-Des was, op een A<sub>1</sub>-of-As<sub>1</sub>).

Van de 14 400 zo berekende akkoorden werden verder alleen die beschouwd die een kleine-of-grote drieklank bevatten, dat wil zeggen: drie opeenvolgende tonen met twee maal het interval kleine-of-grote terts, waarbij de toon onder of boven die drieklank *niet* op een terts afstand staat – dat zou een vierklank geven. Bij ieder zo in aanmerking komend akkoord zijn twee realisaties gemaakt: met de kleine-of-grote drieklank in de ene als *grote*, in de an-

dere als *kleine* drieklank gerealiseerd. Deze drieklank bepaalt een tonaliteit met een eigen ladder (voor kleine drieklank de eolische ladder, dus bij a-c-e de ladder a-b-c-d-e-f-g-a). De tonen in het akkoord die zowel een ladder-eigen als een ladder-vreemde realisatie hebben (zo heeft bij de grote drieklank c-e-g de toon f-of-fis een ladder-eigen realisatie f en een ladder-vreemde realisatie fis) werden op hun ladder-vreemde realisatie gefixeerd. Ten slotte zijn de tweeënveertig realisatieparen van die produktakkoorden gekozen, waar de laddervreemdheid het hoogst opliep: bij die akkoorden zitten de drieklanken als een vreemde eend in de antononale bijt. Deze tweeënveertig akkoorden werden door de componisten als harmonisch materiaal geëxploiteerd. Het rekenwerk werd uitgevoerd op de EL X8, de resultaten werden in notenschrift getekend met de EL XI van het Mathematisch Centrum. Hieronder staan twee van de beste akkoorden.

15      31254 x 32514      31542 x 32514

De hoeveelheid dom rekenwerk is in dit karwei toch wel zo groot geweest, dat het door een mens doen uitvoeren ervan in pak weg twee maanden, op zijn minst een overtreding tegen de menselijkheid zou zijn.

Het feit dat de toehoorder bij het beluisteren van *Reconstructie* niet zal bespeuren dat de veelklanken die hij hoort, teruggaan op *Don Giovanni*, dringt ons ertoe nog eens te benadrukken dat de manier waarop het harmonisch materiaal van *Reconstructie* tot stand is gekomen, een wezenlijk deel van *Reconstructie* uitmaakt. Dit is overigens geen nieuw verschijnsel. De talloze allusies naar de getallemystiek in de werken van bij voorbeeld Bach of Obrecht, het verhaaltje in programmamuziek, de explicaties van Messiaen bij de ingenieuze aritmetiek die aan melodie en ritme van bij voorbeeld zijn *Chronochromie* ten grondslag liggen, de strenge seriele opbouw van twaalf-toonsstukken, het zijn evenzovele voorbeelden van aspecten die in de muziek zeker niet gehoord (kunnen) worden zonder dat men er eens op gewezen is, maar die toch een wezenlijk onderdeel van het muziekstuk vormen.

Ook buiten de muziek vinden we dergelijke elementen die aan het kunstwerk-in-engere-zin niet worden afgezien: de verhoudingen van allerlei maten in een middeleeuwse kathedraal, de beginletters van de regels van ons volkslied, het strenge schema van een sonnet, het aan de drieëndertig levensjaren van Christus herinnerende aantal zangen in elk der drie delen van Dante's in aan de drievuldigheid herinnerende terzinen geschreven *Divina commedia*.

Ten slotte willen we nog verslag doen van een zeer recent voorbeeld van componeren met computerhulp: Sonate opus 2 no. 1, voor piano en blazers.<sup>9</sup> Het stuk is bedoeld als een essay over Beethovens pianosonate opus 2 no. 1. De rol van de pianist is Beethoven te analyseren en erin rond te spelen; de blazers luisteren kritisch en corrigeren hem als hij te lang blijft herkauwen: zij willen op tijd naar huis. Het stuk bevat evenwel geen improvisatie; de partituur is helemaal door de computer vastgelegd.

Opdat het zover kwam heeft Louis An-

driessen eerst een keuze uit het eerste deel van Beethovens pianosonate gemaakt, bestaande uit ruim tweehonderd segmenten die hem de meeste muzikale informatie gaven: zeer korte van een tel tot langere van enkele maten, die dan vaak zelf een aantal kortere segmenten bevatten. Inmiddels werd een programma geschreven om uit deze segmenten een reeks aan te wijzen met een op te geven totale duur, en wel zo, dat het eerste segment bij het begin van Beethoven begint, en het laatste bij het einde van het eerste deel van de pianosonate eindigt. Tot zover niets bijzonders, maar in plaats van netjes van begin naar eind van Beethovens partituur te stappen, zoals de blazers zouden wensen, laat het programma wel netjes een vinger van voor naar achter door de partituur wijzen, maar hinkelt in feite van segment naar segment, in de buurt van die vinger, maar willekeurig daaromheen gespreid. Het spreidingsgebied wordt groter naarmate de geprogrammeerde vinger naar het midden van het stuk vordert, beslaat in het midden van het stuk een gebied van naar weerszijden een kwartlengte, om daarna weer af te nemen tot zeer klein bij het slot. Intussen houdt de computer ook bij hoever de blazers vinden dat de piano al gevorderd zou moeten zijn, en bepaalt uit de discrepantie het geduld van de blazers. Dat is in de aanvang nog tien, maar daalt geleidelijk tot nul, waarop de blazers een aanwijzing krijgen in te grijpen: ze spelen dan, tegelijk, het stukje uit Beethoven waar de pianist naar het idee van de blazers omheen aan het spelen is, en het stukje waar de pianist volgens hen had moeten zijn. Het effect laat niet op zich wachten: indien het volgende aangewezen segment vóór het eerste stukje ligt, speelt de piano dit niet, maar houdt een tel rust, net zo vaak oda een segmen voorbij dat punt wordt aangewezen. Het geduld van de blazers wordt dan weer tien, maar ze zullen nu sneller ongeduldig worden: ze zijn geïrriteerd. De computer gaat dan weer door, rond de vinger heen en weer hinkelend binnen de stijgende (of inmiddels dalende) spreiding, segmenten aan te wijzen voor de pianist en het slinkende geduld te berekenen van de blazers, tot de volgende terechtwijzing, etcetera.

Tot zover de beschrijving van het programma. De gewenste tijdsduur werd opgegeven als

twee en een halve maal de duur van het oorspronkelijke stuk Beethoven, en hieruit bepaalde de computer door voortdurend proberen een zodanige manier voor het toenemen van de

Het resultaat had inderdaad de gewenste duur; de blazers bleken eenendertig maal van hun afkeuring blijk te moeten geven. Het begin van het stuk ziet er als volgt uit:

The image shows a musical score for piano, consisting of two systems of music. The first system starts with a piano (p) dynamic marking and a forte (f) dynamic marking. It features a complex rhythmic pattern with various time signatures (3/4, 4/4) and rests. The second system continues the piece, also featuring complex rhythms and dynamic markings (p, f). The score is written in a standard musical notation with a treble and bass clef.

irritatie der blazers bij een terechtwijzing, dat het uiteindelijke stuk inderdaad twee en een halve maal zoveel tellen omvatte als het oorspronkelijke. Vervolgens drukte de computer dit uiteindelijke resultaat af: de segmenten Beethoven in de volgorde waarin ze volgens het beschreven proces waren aangewezen, met steeds het geduld van de blazers, en als dit op was dan ook de twee stukken die de blazers als teken van hun ongenoegen moeten spelen.

Dit waren drie toepassingen van een computer in muziek, drie beginnende schreden op een nieuw terrein. De film werd in zijn begintijd voor toneelstukken gebruikt, de televisie voor films. Nu zijn beide uitvindingen volgegroeid tot nieuwe media. De computer, nu nog voornamelijk gebruikt voor kunstvormen die eigenlijk al bestonden, zal ook een eigen ontwikkeling oproepen.

1. Inmiddels is een internationale Computer Arts Society opgericht. Belangstellenden kunnen zich met de auteurs in verbinding stellen.

2. Het programma werd gedraaid op de Electrologica X8 van het Mathematisch Centrum te Amsterdam. Een grammofoonplaatje van het kwartet werd gevoegd bij het nummer van december 1968 van het tijdschrift Informatie, waarin ook een artikel over het strikkwartet verscheen. Het grammofoonplaatje is nog verkrijgbaar bij het Mathematisch Centrum, Tweede Boerhaavestraat 49, Amsterdam, evenals de partituur, verschenen als rapport MR 96.

3. P. Hindemith, *Aufgaben für Harmonieschüler*. B. Schott's Söhne, Mainz. Edition 3602.

4. De Computer-Composed Music Competition 1968 van de International Federation for Information Processing. De inzending kreeg hier een eervolle vermelding.

5. Voorkomend in de bundel *Zes dagen onbedachtzaamheid kan maken dat men eeuwig schreit*, Querido, Amsterdam, 1966.

6. *Reconstructie*, een moraliteit door Louis Andriessen, Hugo Claus, Reinbert de Leeuw, Misja Mengelberg, Harry Mulisch, Peter Schat en Jan van Vlijmen, werd geschreven in opdracht van de Nederlandse Operastichting en werd voor het eerst opgevoerd tijdens het Holland Festival op 29 juni 1969, Jaar van de Beslissende Inspanning, in het Theater Carré te Amsterdam.

7. Behalve de hier behandelde harmonieën werd ook nog enig melodisch materiaal gerealiseerd met behulp van de computer.

8. Uit deze definitie volgt dat de vermenigvuldiging commutatief is: het produkt van akkoord a en akkoord b is hetzelfde akkoord als dat van b en a.

9. Gemaakt in samenwerking tussen de componist Louis Andriessen en de programmeurs Leo Geurts en Lambert Meertens; ging op 21 september 1969 in première in het Stedelijk Museum te Amsterdam.