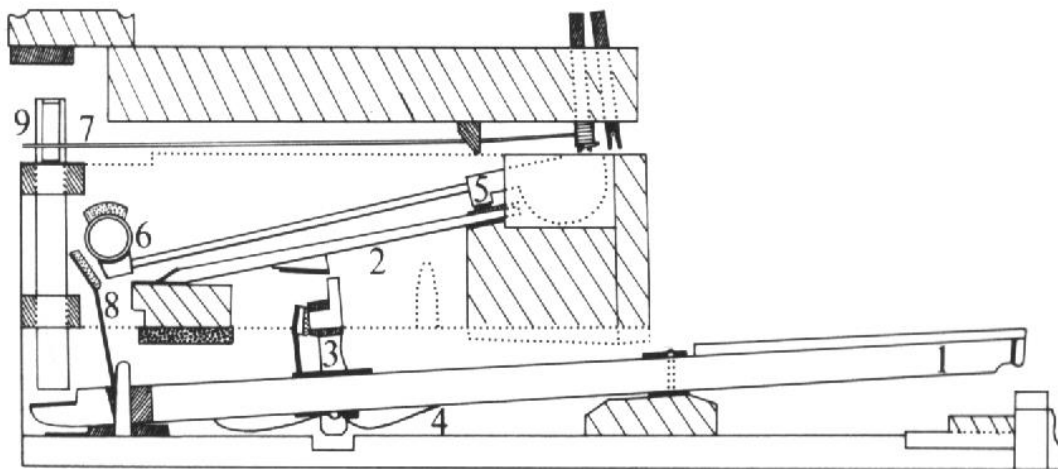


het pianomechaniek sterft in schoonheid

oproep tot bijdrage aan een evolutie

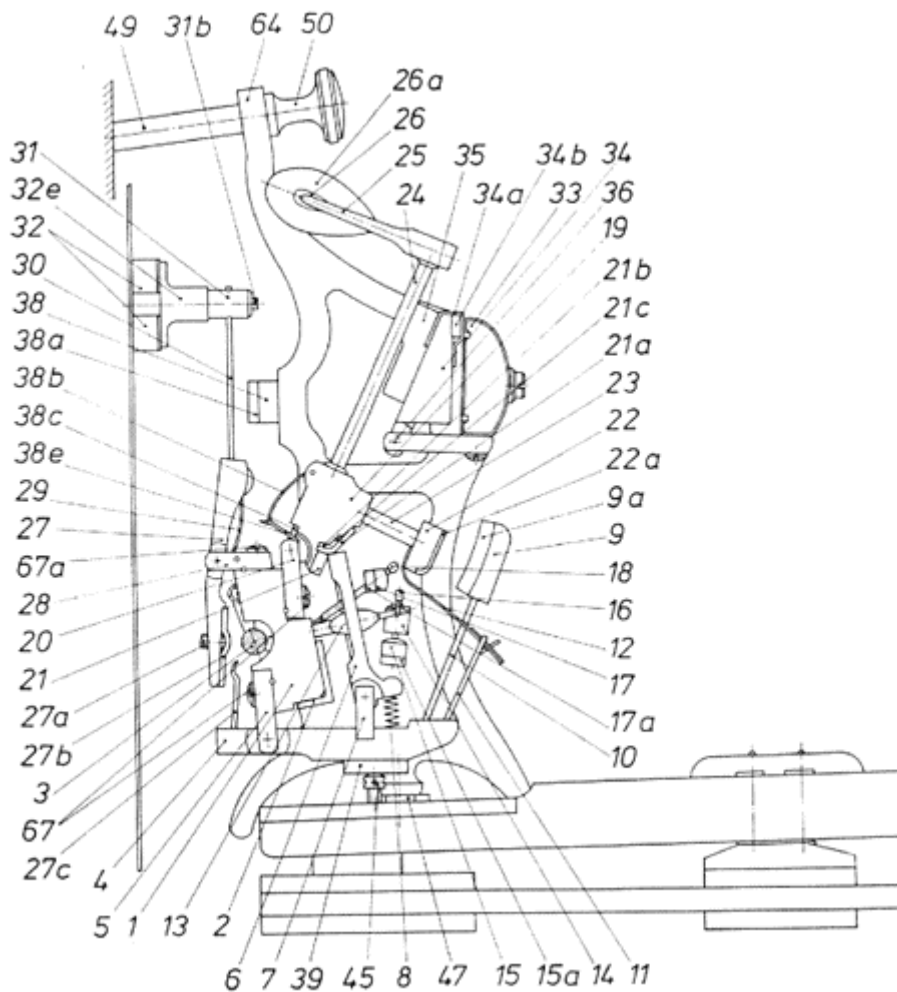
inleiding

Fig. 1 geeft het zij aanzicht van een pianomechaniek. De beweging van de toets wordt omgezet in een beweging van een hamer. De constructie is dermate ingewikkeld en elegant dat ze niet aan een menselijke geest ontsproten kan zijn, het mechanisme lijkt te zijn geboren of te zijn geschapen om vervolgens gedurende 200 jaar door bijdragen van ondernemende geesten te zijn geëvolueerd tot perfectie, zie fig. 2. In een piano functioneren 88 van deze mechanieken naast elkaar, soms wel 100 jaar lang al.



figuur A: oorspronkelijke constructie van Christofori, 1720.

Wie durft te beweren dat dit mechanisme voor verbetering vatbaar is? Dat getuigt van hoogmoed (de constructie van planten en dieren of andere door evolutie ontstane producten is immers niet te verbeteren) ofwel van onwetendheid (die nog niet doorgrond heeft hoe het huidige ontwerp het ultieme antwoord is op alle eisen en wensen). Misschien hebben we te maken met een optimale constructie en is de evolutie voltooid. Maar dan moeten we ook accepteren dat de 'diersoort' piano aan het einde van zijn mogelijkheden staat! Recente mutanten uit de familie der elektronische toetseninstrumenten staan er veel beter voor: zij vernieuwen zich razendsnel. Elektrische varianten uit de jaren '60 zijn voor tien guldens op rommelmarkten verkrijgbaar terwijl de nieuwe keyboards bijna even duur zijn als een echte piano. Zij zullen de snaarinstrumenten verdringen! Dat wensen wij als mechaniek liefhebbers niet te accepteren. Hoogmoed of onwetendheid, al is het heiligschennis, wij proberen verbeteringen te bedenken in het pianomechaniek, en wij vragen de lezer om adviezen om dit mechanische wezen aan een volgende stap in zijn evolutie te helpen maken. Er moet een nieuwe user interface komen, een nieuw toetsenbord. Er mogen de modernste sensoren en actuatoren toegepast worden, de piano mag van mij servo-bediend worden en aan het stopcontact komen te liggen, maar de snaren, de klankbodem en de hamers moeten blijven.



Figuur b:
zijaanzicht van
een
pianomechanisme

- 24. Hamersteel
- 25. Hamerko
pkern
- 26. Ondervilt en
hamervilt 26a
- 27. Demperarm
met
stelschroef 27
a en viltdoek
27b
- 28. Demperkapsel
- 29. Demperveer
- 30. Demperdraad
- 31. Dempnokkal
met
nokkelschroef
31b
- 32. Dempervilt
met demper
32e
- 33. Hamerlijst
- 34. Kantellijst met
voering van
kantellat 34a
bekleding 34b
- 35. Kantellijst

- | | | |
|--|---|---|
| 1. Dwarsbalk door het hele
mechaniek, van | 14. Afvaldoopje met vilt 15a | 36. Scharnier van kantellijst |
| 2. Metalen profiel | 16. Schroef van afvaldoopje | 37. |
| 3. Hefstang | 17. opstoterpral-lijst, met vilt
17a | 38. Demperpralijst voor
dempers met vilt 38a,
trekveertje 38b,
hamernootplaatje 38c en
touwte 38e |
| 4. Onderhamer | 18. Schroef van pralijst | 39. Viltkussen op
onderhamer, onderhamerzadel |
| 5. Kapsel (lagerbok) van
onderhamer | 19. Hamernoot | 45. Pilootschroef |
| 7. Kapsel van opstoter | 20. Hamerkapsel | 47. Stelschroef waarop
mechaniekstoel 64 rust |
| 8. Veer onder opstoter | 21. Hamernootkussen met
Leertje 21a
Inleggevilt
Onderlegvilt | |
| 9. Vanger met vangervilt 9a | 22. Contravanger met
hakjesleer 22a | |
| 10. Vangerdraad | 23. Contravangersteel | |
| 11. Treklintdraad | | |
| 12. Treklintje | | |
| 13. Gaffelschroef | | |

Laten we eerst het huidige monster proberen te begrijpen. We zouden graag het dynamisch gedrag ervan beschrijven. Daarna zullen we onderzoeken wat een pianist eigenlijk zou willen van een piano. Gewapend met kennis van de oude oplossingen en met een formulering van de vraag van de klant moet er dan toch een alternatief te construeren zijn? Uw opmerkingen, adviezen en bijdragen zijn welkom op de site van de Constructeur, waar U de bijdragen van anderen dan ook te zien zullen zijn.

De ontwikkeling

Rond 1700 concluderen meerdere personen gelijktijdig dat een hamer geschikter is voor het aanslaan van een snaar dan het plectrum in de klavecimbels. Net zoals bij de boekdrukkunst kent ieder land zijn eigen uitvinder¹. Christofori was de eerste (1711) en tegen 1720 had hij het 'all figured out', zie fig. 1². Bij toetsaanslag krijgt de hamer 6 via de tussenhefboom 2 een opstoot vlak bij het draaipunt. De kop raakt de snaar en bij de terugval wordt hij door de lepel 8 geremd om een tweede botsing met de snaar te voorkomen. Dit mechanisme stamt uit 1720 en er ontstaan enkele pianomakende families in Europa, ieder met eigen varianten en verfijningen. In 1777 bezoekt Mozart de firma Stein in Augsburg en raakt overtuigd van de kwaliteit van piano's in het algemeen en van het instrument van Stein in het bijzonder. Beethoven bespeelde in zijn leven klavieren van verschillende makelij, ook hij is bij Stein op bezoek geweest. Chopin is weg van de franse Pleyel vleugels. De familie Bach raakt onder de indruk, de piano geeft de muzikale geesten een instrument ter expressie van hun bedoelingen, het bevreugeld ze, zogezegd. In dit artikel gaat het over piano's omdat het voor de industrie een grotere uitdaging is om een voortreffelijk instrument voor iedereen te maken dan een hoogstandje voor een elite. Rond 1900 waren er 300 pianobouwers in Europa, een piano mag in een beschaafd interieur niet ontbreken.

De werking van het mechanisme.

Wij belanden in figuur 2³ voor een mechaniek volgens DIN 8992: aan de dwarsbalk 1 links beneden zijn met schroeven 67 en 67A drie lagerblokjes bevestigd. In het onderste lagerblokje 5 draait een tussenhefboom 4 die door de toets wordt bediend en die op zijn beurt weer de opstoter 6 draagt. In de lagerbok 20 scharniert de hamer, die bestaat uit een voet 19, een steel 24 en een hamerkop. Aan zijn voet heeft de hamer een oksel waar de opstoter in rust. Stel je een slowmotion voor van een toetsaanslag, dan zal de toets en tussenhefboom optillen en de tussenhefboom zal de opstoter meenemen en die versnelt de hamer totdat de opstoter aan zijn voet (bij de spiraalveer) tegen een (instelbare) stop 15 loopt en uit de oksel gelicht wordt. Dat gebeurt één millimeter voordat de hamerkop de snaar raakt.

Na de botsing met de snaar valt de hamer terug in de gebogen, met vilt bedekte vanger 9. Is de toets eerder dan de hamer terug in de ruststand dan wordt de hamer door het bandje 12 teruggehaald naar het opvangvilt 9. Uit eigen beweging zou die dat niet doen want alleen zijn eigen gewicht plus het veertje 38 zorgen voor een terugstelmoment om het draaipunt.

Het dempermechanisme spreekt voor zichzelf: zolang de toets ingedrukt is wordt de demper gelicht. Met een pedaal kunnen alle dempers tegelijkertijd worden gelicht.

Een ander pedaal verdraait bij indrukking alle hamerkoppen richting de snaren waardoor alle toetsen een vrije slag krijgen en de opstoter slechts kort onder de oksel blijft.

In de ruststand is een grote overbrengingsverhouding van opstoter naar hamer: ongeveer een factor 9. Alsof hij door een bokser onder zijn kin wordt geslagen en zijn hoofd achterover slaat, zo krijgt de hamer een uppercut van de opstoter. Je moet een pianotoets wel langzaam indrukken om géén geluid te produceren.

Omgekeerd: als je een toets snel indrukt is de hamer al gelanceerd in het eerste gedeelte van de slag van de toets (totaal 10 mm) en de rest dient alleen nog om de demper gelicht te houden. Hard drukken aan het einde van de slag heeft geen zin, de eindaanslag ligt direct onder de toets, niet in het mechanisme.

De constructie

Per toets tellen we een aantal houtjes, viltjes (zeker vier soorten), leertjes, draden, veertjes, verstellingen en passingen waar iedere monteur stapelgek van zou worden. Een heel mechaniek bevat 5500 onderdelen 'und ist somit vollendet'. Alles wat sinds DfA (design for assembly) verboden is wordt hier nog toegepast. Een levend fossiel van een constructie. Waar wordt dit gerestaureerd? Bijvoorbeeld bij Kwint in Eindhoven. Handwerk, zorgvuldigheid, alles in de werkplaats van Kwint is echt. Eenvoudige handgereedschappen voor de bewerking van materialen als hout, metaal, verschillende viltsoorten, messing, gietijzer, een pot lijm op een warmhoudplaat. Dhr. Ruissen wijst me op de lagerconstructie, de lagertjes (acht per toets) zijn juweeltjes van vilttechniek: de draaiende elementen hebben een stalen of messing asje van 1,5 mm dat aan beide uiteinden gelagerd is in een viltten lagerbusje. In de boringen (2,5 mm) van de lagerbokjes worden namelijk schuine reepjes zo ver geregen dat de randen tegen elkaar stuiten (daar is de breedte gelijk aan de omtrek van het gat) en dan worden aan beide uiteinden vlak afgesneden. Dit 'kernvilt' is 0,9 mm dik en bestaat uit drie lagen (zacht-hard-zacht). Wat ontstaat is een spelingvrij lager en dat moet ook wel: een hamer is zo'n 135 mm lang en staat op twee lagers met een basis van 10 mm. Tussen zijn buurhamers heeft hij 2 mm zijdelingse speling.

Wat willen we van een mechanisme?

Om te weten te komen wat pianisten van hun instrument willen praat ik met Jan Huijbers, erkend Bösendorfer pianotechnicus. Hij stemt, repareert en zorgt ervoor dat de twee Bösendorfers die Wibi Soerjadi mee op tournee heeft doen wat Soerjadi wil. Huijbers heeft, om te beginnen een troostende mededeling: mijn aanname dat de piano-industrie in Europa op sterven na dood is blijkt onjuist. Het gaat goed in de branche, er zijn 50 merken in Europa en er wordt veel, ook door hem zelf, over vernieuwing nagedacht.

Hij komt meteen tot de kern van de zaak: de pianist wil hard en zacht kunnen spelen, en dat is niet alleen zo vanwege de aard van het beestje (piano-forte betekent zacht-luid) maar ook vanwege de toonontwikkeling die na aanslagen van verschillende hardheid eveneens verschillend is. De dynamiek is groot, de klankkleur kent oneindig veel variaties. Een mechaniek moet volgens hem vooral precies (spelingsvrij?) en zonder variatie (spreiding op vereiste krachten) functioneren. Snaren, klankbodem en hamerkoppen blijken een essentiële rol te spelen in de klankontwikkeling zoals die plaats vindt na de aanslag. Die hamerkoppen moeten in een nieuw mechanisme dan ook maar blijven, concluderen wij. Het blijken wondertjes van over elkaar heen gespannen viltlagen van verschillende hardheden. De toon wordt door de hardheid en de spanning in het vilt bepaald, en dat allemaal in een botstijd die tussen de 1 en 4 msec. Ligt. Het indrukken van een toets duurt tussen de 80 msec (*ppp*) en 8 msec (*fff*)

In welke richtingen kunnen we optimaliseren?

- In het 'forte' is te winnen door een efficiënt mechanisme met weinig wrijving en demping. De overbrengingsverhouding zou moeten kloppen, een 'inertial match' (dank je, Adriaan Rankers) zoals in de mechatronica: de naar de motor vertaalde massa traagheid van de hamer moet overeenkomen met de massa traagheid van de motor.

- Een tweede optimalisatie moet leiden tot beheerst zachtjes spelen, zowel van één zachte noot als van een waterval van veel zachte nootjes na elkaar.

Welke sensoren staan de pianist ter beschikking? Zijn spieren voelen hoe hard ze drukken, daarnaast zitten in de vingertoppen zenuwen die behalve aanraking ook kracht-verschil signaleren. Bij langzame noten kan een pianist dus tijdens de aanslag reageren op de reactiekrachten, bij snelle noten (10 tot 14 per seconde) kun je je niet meer op individuele aanslagen concentreren. Er lijken soorten van aanslagen mogelijk⁴: een pianist kan de toets een kracht opleggen, een snelheid opdwingen of een verplaatsing opdwingen. De reactie van de toets is navenant:

- als de indrukking krachtgestuurd is dan volgt daaruit een bewegingsprofiel. Pianisten kunnen het moment voelen dat de opstoter onder de oksel van de hamer wordt weggehaald. Vlak daarvoor geven ze de toets een zwieper
- een snelheid opdwingen leidt tot een krachtsverloop dat van geleidelijk groeiend tot stotend kan zijn.
- een verplaatsing opdwingen levert sterk oplopende reactiekrachten, dat wordt slaan met starre vingers en veel massa 'achter de hand'. De hamer krijgt in het eerste deel van de aanslag een stoot waarin in de rest van de slag niets meer toe te voegen is. De reactiekracht die de hamer meldt wordt genegeerd. Het extreme van deze methode is om met de vuist op een toets te slaan.

Wat hier veel zou kunnen verhelderen is een model van het pianomechanisme en dan beschrijving van het dynamisch gedrag. Voor massa's en overbrengingsverhoudingen zijn gemakkelijk realistische getallen te geven, het schatten van stijfheden van lagers en vilt-partijen lijkt moeilijk. Mocht U over vaardigheden in Matlab en Simulink beschikken dat houd ik mij aanbevolen voor een modellering. Aan de uitgang komt een hamer met een zekere snelheid, ergens tussen de 1 en 10 m/sec., aanzeilen, zo veel is duidelijk. Maar wat gebeurt er aan de ingang? Wat kan een pianist een toets opleggen en voelt hij de massa'traagheid van de hamer of, vooral bij een langzame aanslag, het wegtrekken van de opstoter?

Natuurlijk mag de snaar slechts een keer per toetsaanslag geraakt worden, maar de aanslag moet 12 keer per seconde herhaalbaar zijn. Wij schatten dat het plaatsen van een aanslag in de tijd op 1/50 seconde precies plaats moet kunnen vinden.

De essentie van het probleem

Het beeld dat ik krijg is dat we een hoeveelheid impuls af willen meten om die vervolgens richting snaar te sturen. Wat kunnen we dan als input nemen? Elektrische piano's nemen als input de snelheid waarmee de toets wordt ingedrukt, althans de looptijd tussen twee meetsignalen.

Als we alleen tijdmeting doen dan is er geen terugkoppeling van traagheidskrachten die een mechanisme waarin een massa wordt versneld wel kan leveren. Figuur 3 geeft de massa die is toegevoegd aan toetsen van duurdere elektronische keyboards om de traagheid van een echte piano te imiteren.

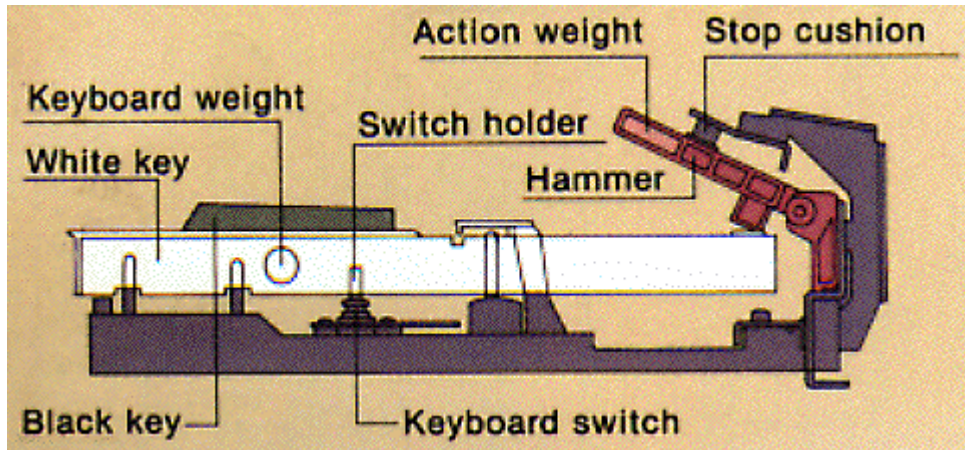
Als we spelvolume koppelen aan een tijdsmeting en een trigger-sigitaal ontlenen aan het bereiken van tweede meepunt voor het lanceren van de toon, zijn we er dan? Bijna, je kunt op een piano ook een toon genereren door de toets even fel naar beneden te tikken, zonder de eindaanslag te raken. De hamer heeft al voldoende snelheid terwijl de toets nog niet half ingedrukt is. We zijn er dus nog niet

Enkele getallen: het indrukken van een toets zal een minimale kracht vergen ten gevolge van gewicht, versnellingskrachten, wrijving en veerspanningen. Gemeten krachten liggen rond de

0,5 N, waarbij de betere piano's minder spreiden ($\pm 0,015$ N)⁵. Uit dezelfde bron stammen getallen die aangeven dat het rendement van een pianomechanisme toeneemt naarmate harder gespeeld wordt. Een vallend gewicht met 10 mJ leidt tot een *pp* zachte toon en duwt de toets in 80 msec in. Aan het andere einde van het spectrum heeft 290 mJ input de toets binnen 0,01 sec ingedrukt en leidt tot een *fff* toon.

De hamer raakt een snaar kort (1 msec) bij harde aanslag, tot 4 msec bij een harde aanslag.

Heeft U enig idee met wat voor constructie we pianisten een beter instrument kunnen bieden? Laat van U horen op de site van 'de Constructeur', of via een brief aan ons blad.



figuur C: toevoeging van een zwaaiende massa aan de toets van een elektronisch instrument

Hein Reinders

art&fact bureau voor productontwikkeling bv
Nuenen
hein.reinders@iae.nl

¹ Bouw en geschiedenis van het klavier, Bertha von Essen, Brusse's Uitgeversmaatschappij, Rotterdam 1948

² History of the piano, Ernst Closson, Elek books, 1947, isbn 0 236 17685 4

³ Der Piano und Flügelbau, Junghanss, das musikinstrument, Frankfurt am Main, 1960

⁴ The technique of piano playing, József Gát, Collet's London, 1968

⁵ The physics of musical instruments, Fletcher & Rossing., Springer-Verlag, 1991