

Controle-experiment voor Dynopt

Citation for published version (APA):

Verburg, A. J. (1992). *Controle-experiment voor Dynopt*. (DCT rapporten; Vol. 1992.135). Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1992

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

stageverslag:

**Controle-experiment
voor Dynopt**

door: A.J.Verburg
coll.nr.: 269964
stagebegeleider: Dr.ir.A.J.G. Schoofs
rapportnummer: WFW 92.135

december 1992

inhoud:

pag:

inleiding.....	1
samenvatting.....	1
hoofdstuk 1:het meten.....	2
de opstelling.....	2
reproduceerbaarheid.....	4
effect ophanging.....	5
hoofdstuk 2:aanpassingen in dynopt.....	9
cplace.f.....	9
collid.f.....	11
chertz.f.....	11
invoerfile.....	12
hoofdstuk 3: vergelijken metingen met simulaties...	13
conclusie.....	16

Inleiding.

Het reeds bestaande computer-programma, Dynopt, dat gebruikt wordt om de responsie van een klok na excitatie door een klepel te berekenen, leverde andere resultaten op dan metingen aan diezelfde klok. (Zie Rapport nr WFW 91.093) Waar dat aan lag, was onduidelijk. Bij de berekeningen werd het model van Herz gebruikt om de contactkracht tussen klok en klepelbol te berekenen. Onduidelijk was, of de veronderstellingen die gedaan worden bij het gebruik van dat model wel geoorloofd waren. Uit eerdere experimenten, waarbij een kogel tegen een balk botste, leek het contact-model van Hertz te voldoen, maar wat er dan fout ging bij het rekenen aan de botsing tussen een klok en een klepel, was onduidelijk. Het leek zinvol om een experiment te doen dat eenvoudiger was dan het klok-klepel-experiment, maar wel meer leek op de klok-klepel-opstelling dan het kogel-balk-experiment. Gekozen werd voor een experiment waarbij een stalen kogel botst tegen een stalen cylinder. Enkele onzekerheden die bij het klok-klepel-experiment aanwezig waren worden dan uitgesloten. Deze onzekerheden zijn:

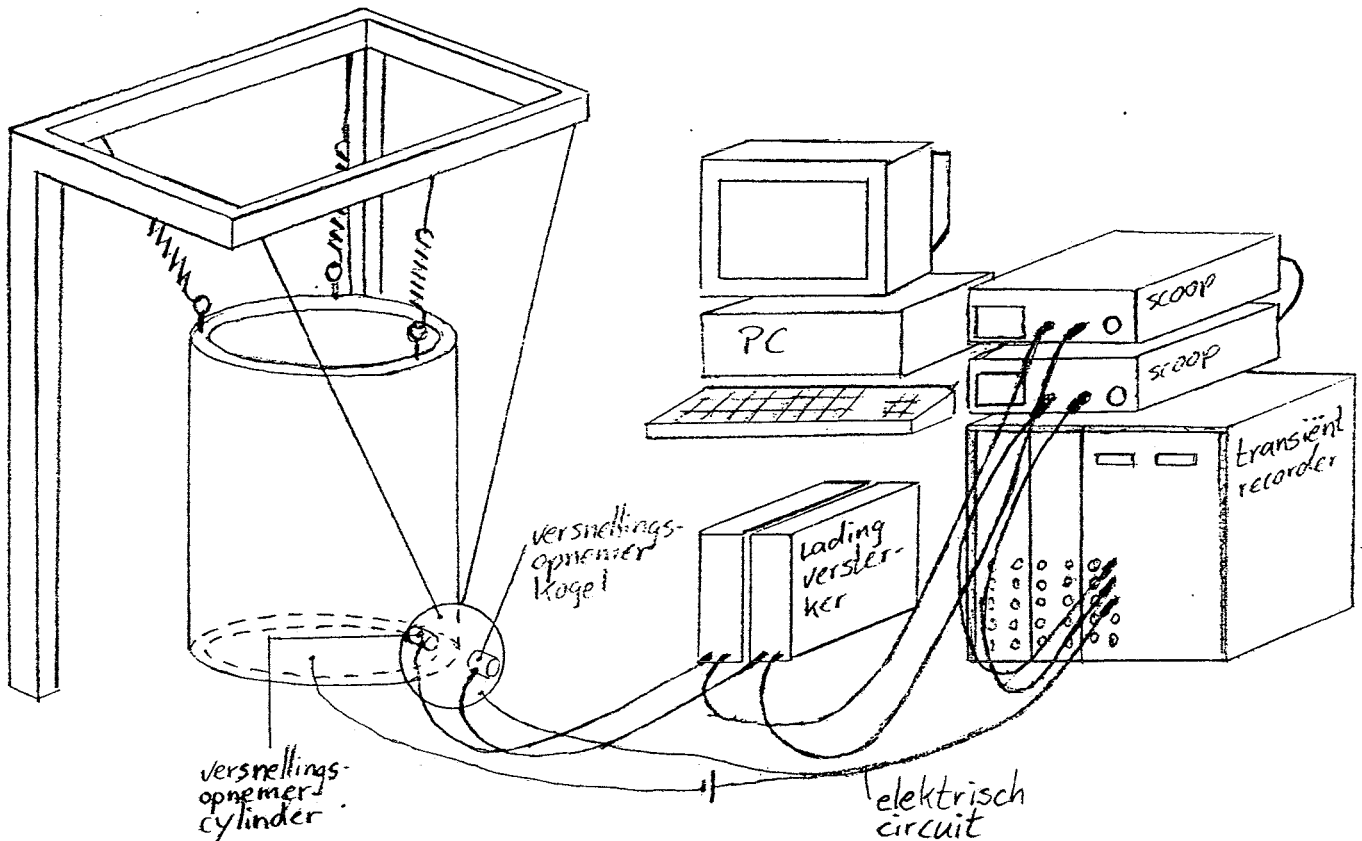
- De geometrie van de contactoppervlakken: Het model van Hertz gaat uit van gladde contactoppervlakken, maar de binnenwand van de klok is ruw afgedraaid, en staat afgedrukt op de klepel.
- Het materiaal: als de klepel enige malen hard tegen de klok is gebotst, zijn de materiaaleigenschappen plaatselijk veranderd en dus onbekend.
- De invloed van de vervorming van de klepelsteel, die in werkelijkheid wel, in de berekeningen niet optreedt.

Samenvatting

Met mijn stage heb ik gekeken of metingen aan een opstelling, waarbij een kogel tegen een cylinder botst, overeen komen met berekeningen aan diezelfde opstelling. Hoofdstuk 1 behandelt de gebruikte opstelling en het meten eraan. Hoofdstuk 2 behandelt de aanpassingen in Dynopt, die nodig waren om te kunnen rekenen aan de opstelling. In hoofdstuk 3 worden metingen en berekeningen met elkaar vergeleken, hetgeen leidt tot de conclusie dat het programma Dynopt toch goed bruikbaar is om te rekenen aan botsingen tussen een axi-symmetrische vorm en een kogel.

Hoofdstuk 1 het meten

De gebruikte opstelling zag er als volgt uit:



Om metingen te kunnen uitvoeren werd gebruik gemaakt van 2 versnellingsopnemers, waarvan er een op de bol en een op de cylinder werd geplaatst.

Beide bevonden zich ter hoogte van het contactpunt.

De versnellingsopnemers waren aangesloten op een scoop om het signaal dat ze afgeven continu te kunnen bekijken. Verder waren ze aangesloten op een transiënt-recorder, om een deel van het signaal op te kunnen slaan. Met behulp van een tweede scoop kon dat ingenomen deel van het signaal worden bekeken.

Behalve voor de twee versnellingsopnemers werd er ook een ingang van de transrec. gebruikt om de contacttijd te meten.

Dit gebeurde door een elektrisch circuit aan te leggen, dat werd gesloten wanneer de kogel de cylinder raakte.

Tenslotte werd nog gebruik gemaakt van een PC, om de meetdata te verwerken.

De snelheid waarmee de kogel de bol raakte kon worden ingesteld door de uitwijking uit de evenwichtsstand in te stellen. Dit werd gedaan door de kogel aan een draad uit de evenwichtsstand te trekken, waarbij de horizontale uitwijking van de kogel werd gemeten.

Een belangrijk gegeven bij de botsproeven die werden uitge-

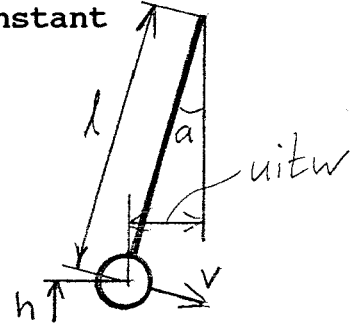
voerd, is de snelheid waarmee de kogel de cylinder raakt. Deze snelheid is afhankelijk van de uitwijking die de kogel in het begin heeft, en kan globaal worden berekend met de wet van behoud van energie: $W_{pot} + W_{kin} = \text{constant}$

$$m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

$$v = (2 \cdot g \cdot h)^{1/2}$$

$$h = l \cdot (1 - \cos(a))$$

$$v = (2 \cdot g \cdot l \cdot (1 - \cos(a)))^{1/2}$$



met $\sin(a) = \text{uitw}/l$ kan de beginsnelheid v voor iedere waarde van uitw worden berekend.

De snelheid kan echter ook worden bepaald uit het versnellingssignaal : Wanneer het versnellingssignaal van bol en cylinder twee maal wordt geïntegreerd, geeft dat de verplaatsing van beide als functie van de tijd. De grafiek van de verplaatsing van de cylinder heeft steeds dezelfde vorm, zie fig 1, lijn 1. Bij t_0 raakt de bol de cylinder.

De grafiek behorende bij de bol heeft een andere vorm, die afhankelijk is van de beginsnelheid (zie fig 1, lijn 2): van $t=0$ tot $t=t_0$ heeft de bol een constante snelheid, daarna neemt de snelheid af. Wanneer nu beide grafieken zo over elkaar worden gelegd dat $x_b = x_c = 0$ op $t=t_0$, dan is ieder snijpunt een punt waarop bol en cylinder elkaar juist raken of loslaten.

Dat raken en loslaten is ook direct gemeten, en wanneer ook de grafiek daarvan wordt toegevoegd ontstaan er plaatjes zoals het volgende, zie fig. 1.

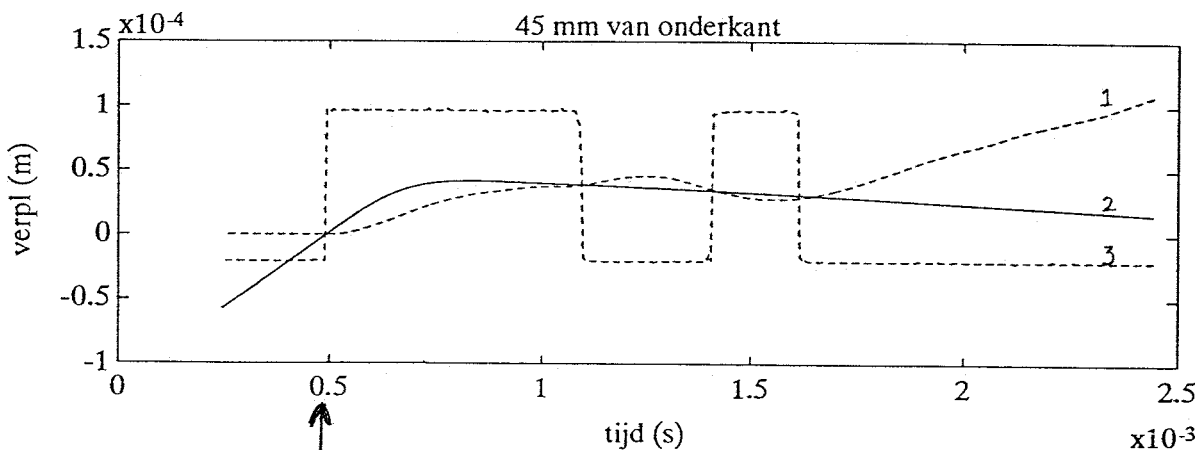


fig.1

t_0

- 1 verplaatsing cylinder
- 2 verplaatsing kogel
- 3 contactmeting

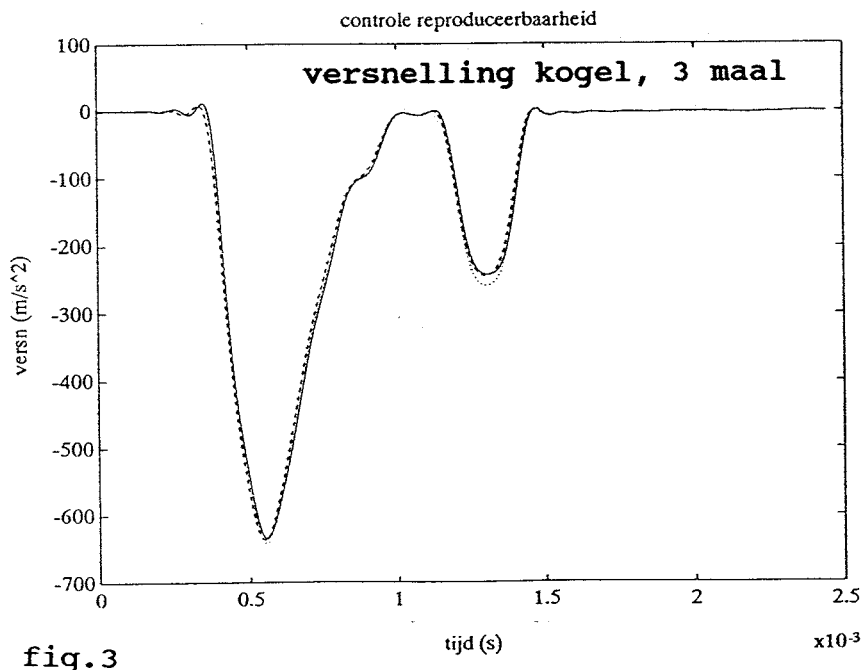
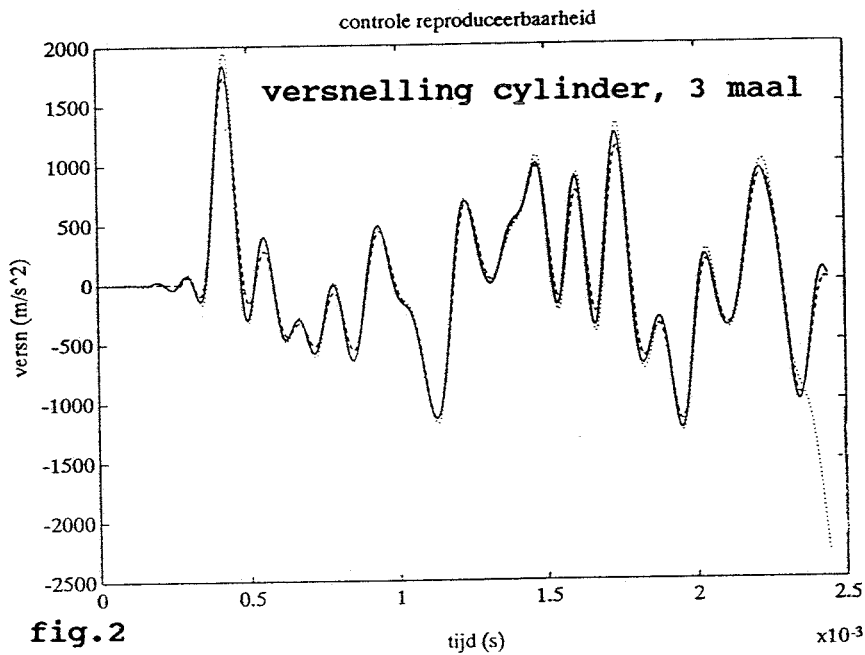
In fig.1 is de beginsnelheid, die nodig is bij het integreren van snelheid naar verplaatsing al zodanig aangepast, dat die snijpunten inderdaad samenvallen.

De zo bepaalde snelheid is ongeveer 7% lager dan de theoretische snelheid, gemiddeld over metingen bij verschillende v_0 . Deze afwijking kan verschillende oorzaken hebben:

- luchtwrijving op kogel en de touwen waarmee hij is opgehangen.
- onnauwkeurigheid bij het instellen van de horizontale uitwijking.

Reproduceerbaarheid.

Om te onderzoeken in hoeverre de metingen reproduceerbaar zijn, werden enkele metingen drie maal uitgevoerd. Fig 2 geeft 3 maal de versnelling van de cylinder als functie van de tijd, fig 3 de versnelling van de kogel. De grafieken vallen vrijwel over elkaar, de reproduceerbaarheid is dus uitstekend.



Effect ophanging.

De cylinder is aan 3 slappe veren opgehangen. Daartoe zijn 3 oogbouten in de bovenrand van de cylinder gedraaid. Het effect van deze ophanging moet worden onderzocht, omdat metingen aan deze opstelling later moeten worden vergeleken met berekeningen aan een model waarin die ophanging niet wordt meegenomen.

Om de invloed van de ophanging op de responsie van de cylinder te onderzoeken werd gekeken naar het verschil tussen een botsing op 45 mm onder de bovenrand en een botsing op 45 mm boven de onderrand van de cylinder. Dit is gedaan voor twee snelheden: 0.2 en 0.24 m/s.

In fig 4 staan de verplaatsingen van bol en cylinder uitgezet tegen de tijd, bij een botsing aan de bovenkant. De stippelijn geeft aan of er wel of geen contact is (hoog: wel contact, laag: geen contact) v_0 was 0.2 m/s. In fig 5 is hetzelfde gedaan voor een botsing aan de onderkant.

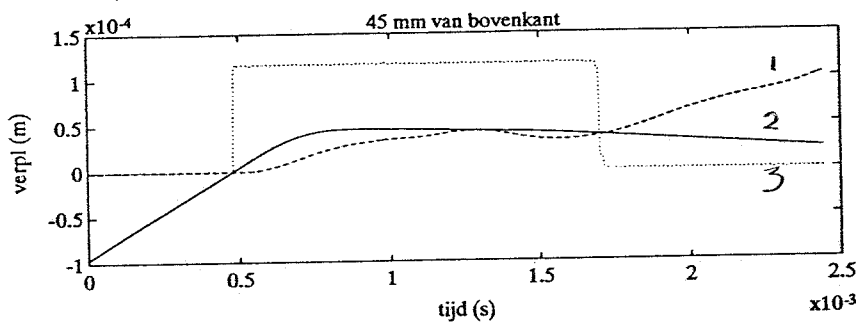


fig.4
1 verplaatsing cylinder
2 verplaatsing kogel
3 contactmeting

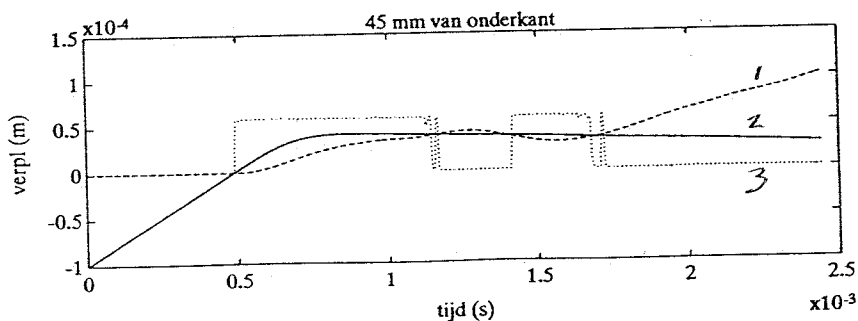


fig.5

De grafieken van cylinder en kogel hebben wel dezelfde vorm, maar zijn iets verschoven ten opzichte van elkaar, zodat bij de botsing aan de onderkant (fig.5) even het contact wordt verbroken.

In fig 6 en 7 was v_0 0.24 meter per seconde.

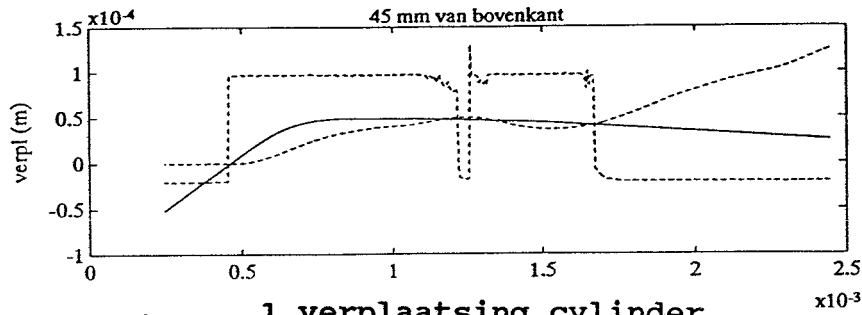


fig.6 1 verplaatsing cylinder
2 verplaatsing kogel
3 contactmeting

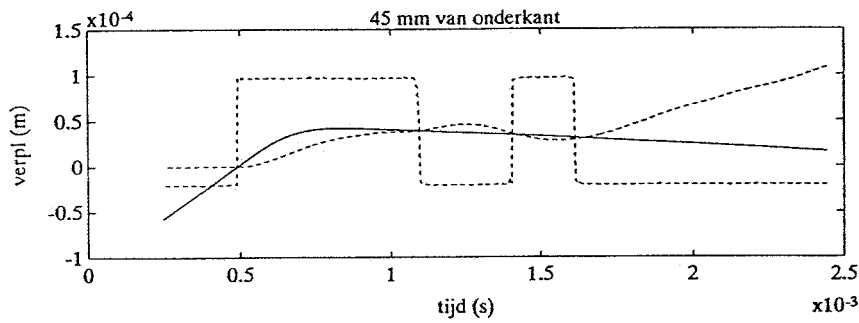


fig.7

Ook van de versnellingen is een grafiek gemaakt: zie fig 8.

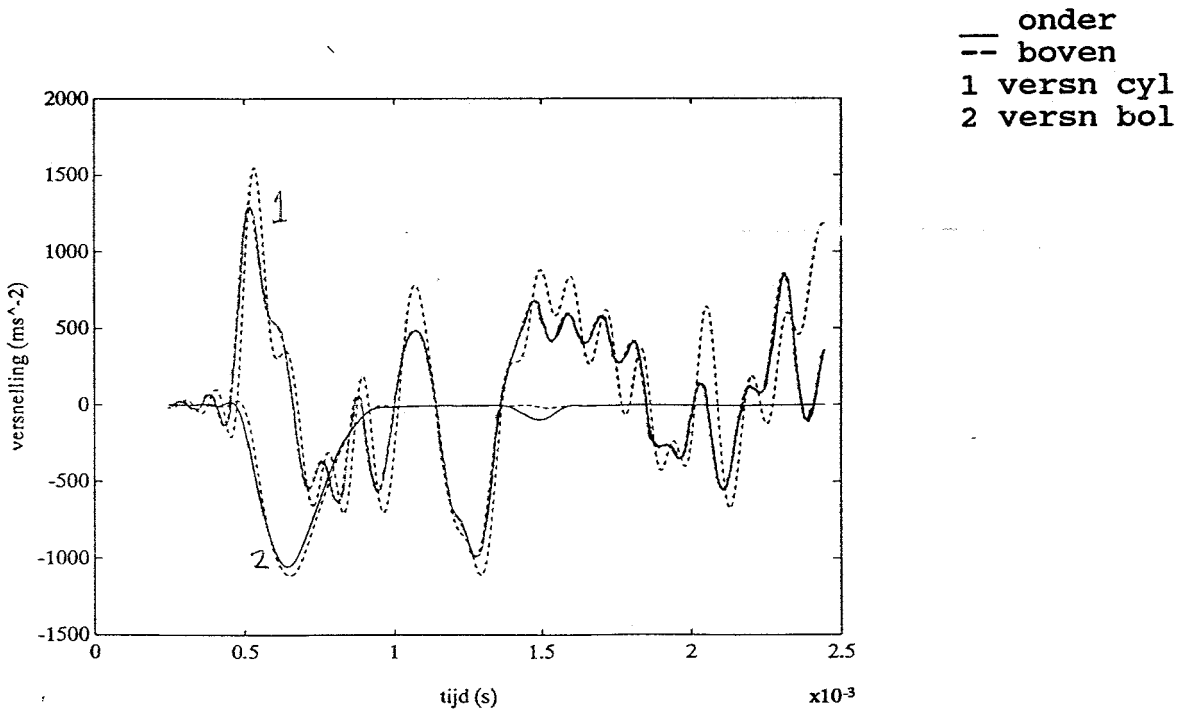
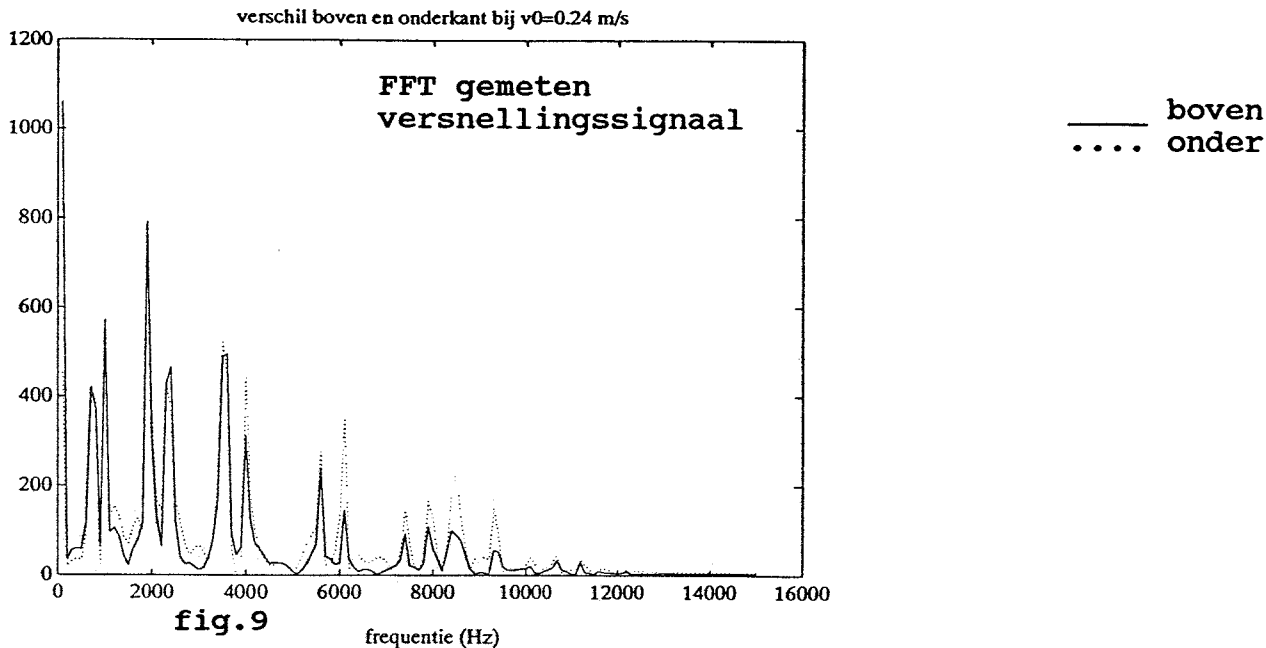


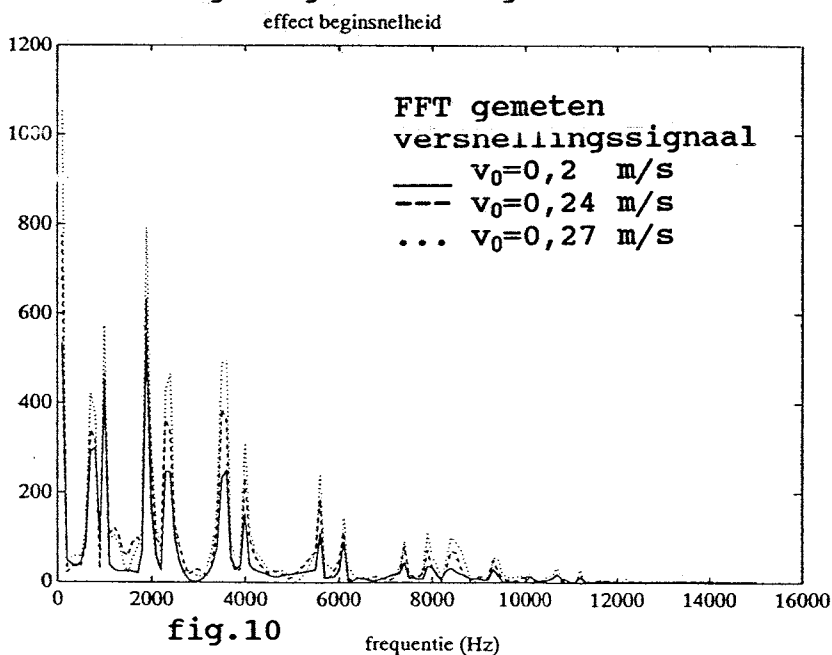
fig.8

De plaatjes lijken erg veel op elkaar, waarschijnlijk is het effect van de ophanging vrij klein.

Verder is op het ingenomen signaal een FFT-transformatie uitgevoerd, om te zien hoe de energie verdeeld wordt over de verschillende frequenties. (Zie fig.9) Uiteindelijk bepaalt dat immers de klank



De eerste vijf pieken zijn vrijwel gelijk. Vanaf ongeveer 4000 Hz loopt de grafiek behorende bij metingen aan de onderkant van de cylinder wel duidelijk boven de andere. Om te zien of dit niet wordt veroorzaakt door een iets andere beginsnelheid, zijn in fig.10 drie frequentie-spectra behorende bij 3 verschillende beginsnelheden (0.2, 0.24 en 0.27 m/s.)bij elkaar gezet. Hieraan is duidelijk te zien dat een grotere beginsnelheid alle toppen hoger maakt, maar de verdeling vrijwel onaangestast laat.



Om te zien of het verschil in figuur 8 geen effect is van bijvoorbeeld meten op een net iets andere plaats is een grafiek (fig. 11) bijgevoegd van twee metingen verricht onder dezelfde condities, alleen de plaats van de botsing is 4 mm opgeschoven.

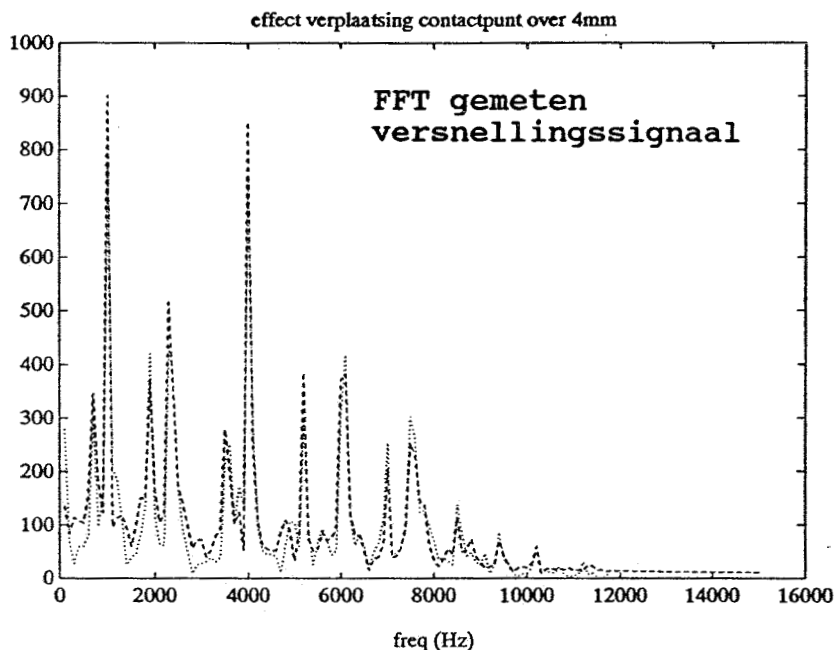


fig.11

De verplaatsing heeft weinig invloed op de verdeling van de energie.

Conclusie:

De ophanging heeft erg weinig effect op de responsie van de cylinder, alleen bij de hogere frequenties treden noemenswaardige verschillen op. Opgemerkt dient te worden, dat de FFT transformatie is uitgevoerd op het versnellingssignaal. Daardoor worden verschillen in amplitude van de bijbehorende trillingen vermenigvuldigd met de bijbehorende omega in het kwadraat.

Nu dit alles bekend was, werden enkele metingen uitgevoerd met verschillende beginsnelheid, om later te kunnen vergelijken met simulaties.

Hoofdstuk 2 Aanpassingen in dynopt.

Het programma Dynopt is eigenlijk gemaakt om te rekenen aan klokken. Het experiment dat ik heb uitgevoerd, verschilt hierdoor op een paar punten van de aannamen die in Dynopt worden gedaan:

- 1 De kogel botst tegen de buitenkant i.p.v. de binnenkant.
- 2 Het ophangpunt ligt niet op de as van de cylinder
- 3 De "klok" is zuiver cilindrisch.

punt 1: Het enige verschil is eigenlijk het teken van de kromtestraal van de klok in het horizontale vlak. Voor het berekenen van de constante van Hertz is dit belangrijk.

punt 2: De evenwichtsstand van de kogel zou bij berekening anders zijn dan in werkelijkheid. Dit kan echter worden gecompenseerd door een kracht op de kogel aan te brengen die hem de gewenste evenwichtsstand geeft. Verder maakt de snelheid van de kogel bij botsing een andere hoek met de normaal op de klok in het contactpunt. Dit kan worden verholpen door een grotere klepel-lengte in te voeren dan in werkelijkheid werd gebruikt. Tenslotte gaat het hier om kleine hoeken, waarvan ook nog eens de cosinus wordt genomen, zodat kleine verschillen niet zo erg zijn.

punt 3: Het cilindrisch zijn van de klokvorm bleek numerieke problemen op te leveren die hieronder besproken zullen worden.

Om het programma Dynopt te kunnen gebruiken om aan de gebruikte opstelling te kunnen rekenen, moest het programma op een paar punten worden aangepast: twee subroutines werkten niet, doordat de gebruikte vorm een cylinder was. In één subroutine kon geen negatieve straal worden ingevoerd.

De subroutines waar het hier om gaat zijn:

Cplace.f:

In Cplace.f wordt een contactpunt uitgerekend, en dan wordt per element gekeken of dat punt buiten het beschouwde element ligt. Dit wordt gedaan door te kijken naar zowel de straal als de z-coördinaat: als $r_{\text{cont.pnt}}$ niet in het bereik $[r_{\text{min}}, r_{\text{max}}]$ van element i ligt, of $z_{\text{cont.pnt}}$ niet in het bereik $[z_{\text{min}}, z_{\text{max}}]$ van dat element ligt springt de subroutine naar het volgende element. Wanneer nu echter $r_{\text{min}} = r_{\text{max}}$, dan zal een door de computer berekend getalletje ($RC = RN + RBALL * DCOS(\text{beta})$) altijd groter of kleiner zijn, zodat cplace.f naar het volgende element springt. Als alleen naar de z-coördinaat wordt gekeken treedt dit probleem niet op.

Verder was het eerst onmogelijk om een contactpunt op het onderste ringelement uit te rekenen. Dit was voor mij wel nodig, omdat ik juist daar had gemeten. I.p.v. met $I=1$ liet ik de teller met 0 beginnen.

Nadat het contactpunt is berekend wordt gekeken op welk element het ligt. Om dat uit te vinden kijkt cplace.f o.a. hoe

veel elementen grenzen aan een bepaald knooppunt. Aan de randen van de elementenverdeling werkt dit echter anders dan in het midden. Daarom is toegevoegd: If I=1 goto 40.
Zie programma uitdraai.

```

SUBROUTINE CPLACE(COOR,IELTYP,ELPNO,ICONN,NCCPNR,DPIVOC,A0,
C      112 regels verwijderd
→ I = 0
EPS = 1.D-6
10 I = I+1
IF(I.GT.NUMCCP-3) GOTO 200
C Once point (RN,ZN) is known, the (still to be approved) contact
C can be calculated:
RC = RN+RBALL*DCOS(BETA)
ZC = ZN+RBALL*DSIN(BETA)
C When contact point is not lying between points P and S, the
C description was wrong and search is continued:
C IF (DMIN1(RP,RS).GT.RC .OR. RC.GT.DMAX1(RP,RS) .OR.
→ IF (DMIN1(ZP,ZS).GT.ZC .OR. ZC.GT.DMAX1(ZP,ZS)) GOTO 10
C
C The computed contact point has our approval !
C Find out over the construction node points of which element, the
C tact force has to be devided (not necessary when JNDFOR = 1):
C
C Are current P,Q and S right nodes ?
J = NCCPNR(I)
K = NCCPNR(I+1)
L = NCCPNR(I+2)
IF (ELPNO(J).GE.2.AND.ELPNO(K).LT.2.AND.ELPNO(L).GE.2) GOTO 40
→ IF (I.EQ.1) GOTO 40

```

Collid.f:

In collid.f wordt een determinant uitgerekend die nul is als de 3 knooppunten van het ringelement dat door de klepel wordt geraakt dezelfde r-coördinaat hebben (x in de subroutine). Toegevoegd is daarom een if - then - else statement. Als de cylinderwand verticaal is kunnen de waarden van x_m , r_{vers} en y_m direct worden toegekend, als de wand horizontaal is werkt de subroutine niet, want aan de hand van de z-coördinaat wordt de r-coördinaat uitgerekend. Daarom de regel: call quit.

```
      SUBROUTINE COLLID(REA,INTG,DPIVOC,A0,BETA1,HERTZ)
C
      determ=2*(x1-x2)*(y1-y3)-2*(x1-x3)*(y1-y2)
C check whether determinant is zero or not.
      if (determ.eq.0) then
        write(7,*) ' determinant in collid.f = 0'
        if ((x1-x2).eq.0D0.and.(x1-x3).eq.0D0) then
          write(7,*) ' bell is vertical at contactpoint'
          xm=x1
          rvers=x1
          ym=zvers
        else
          write(7,*) ' but bell not vertical at contactpoint '
          write(7,*) ' impossible to compute coordinate rvers '
          call quit
        endif
        beta3=0D0
      else
        xm= (y1-y3)*(x1*x1-x2*x2+y1*y1-y2*y2)/determ
```

Chertz.f:

Bij de berekening van de constante van Hertz wordt ADIVB, de verhouding tussen twee getallen A en B gebruikt. A en B moeten echter zo worden gekozen dat ADIVB kleiner is dan 1. Anders stopt het programma met een onduidelijke mededeling. Bij berekeningen aan klik en klepel is van tevoren bekend hoe A en B gekozen moeten worden. In mijn geval echter was een krommingsstraal van de "klok" ineens negatief i.p.v. positief, waardoor A groter dan B was. Toegevoegd is daarom de regel: If ADIVB >1 ADIVB = B/A, plus de commentaarregel: A and B have to be chosen so that A/B<1.

```
      SUBROUTINE CHERTZ(RC,RCURVE,HERTZ)

      ADIVB = A/B
C
C → A and B have to be chosen so that A/B < 1
C
C → IF (ADIVB.GT.1) ADIVB=B/A
C For 0.3333 <= A/B <= 1.0000 the following expression for QK,
```


Hoofdstuk 3 Vergelijken van metingen met simulaties.

Voor verschillende waarden van v_0 zijn metingen gedaan. Dat gebeurde op de volgende manier: De beginsnelheid werd globaal ingesteld door de kogel een bepaalde uitwijking te geven. De signalen van kogel en cylinder werden 2 keer geïntegreerd om de verplaatsingen te krijgen, en vervolgens werd bij de verplaatsing van de kogel een extra verplaatsing $dx(i) = dv_0 * t(i)$ opgeteld, totdat de snijpunten klopten met de gemeten contacttijd. Er zijn 11 metingen gedaan. Ook zijn er met behulp van Dynopt simulaties uitgevoerd, voor dezelfde waarden van v_0 als bij de metingen. De maximale versnellingen van kogel en cylinder, die zowel bij de metingen als bij de berekeningen optreedt vlak na het eerste contact zijn hieronder in een tabel gezet.

v_0	meting		berekening		cyl afw(%)	kogel afw(%)
	cyl	kogel	cyl	kogel		
0.065	550	206	417	200	24	3
0.104	925	330	771	336	17	-1.8
0.133	1200	425	1152	450	4	-6
0.159	1800	558	1494	553	17	0.9
0.200	2400	685	2066	707	14	-3.2
0.226	2900	807	2467	806	15	0.1
0.270	2850	110	3145	974	-10	11
0.310	4000	1255	3810	1127	4.8	10
0.355	4400	1347	4505	1282	-2.4	5
0.390	5000	1453	5203	1452	-4	2
0.461	6500	1600	6620	1714	-1.8	-7

gemiddelde afwijking: 10.6% 4.5%

Opmerking: duidelijk is te zien, dat bij toenemende v_0 de afwijking van de versnelling die hoort bij de cylinder afneemt, en de afwijking behorende bij de kogel juist toeneemt. Waarschijnlijk komt dit doordat bij hogere beginsnelheid de ruis in het versnellingssignaal van de kogel sterk toenam, terwijl bij de cylinder steeds ongeveer evenveel ruis werd gemeten, en de ruis dus relatief afneemt bij toenemende v_0 .

De getabelleerde waarden zijn ook in een grafiek gezet, zie fig 12 en 13:

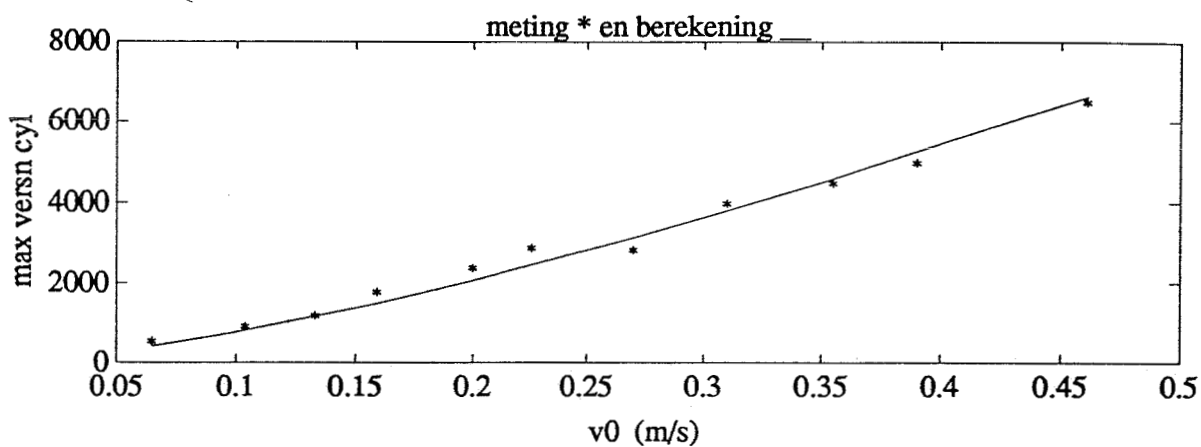


fig.12

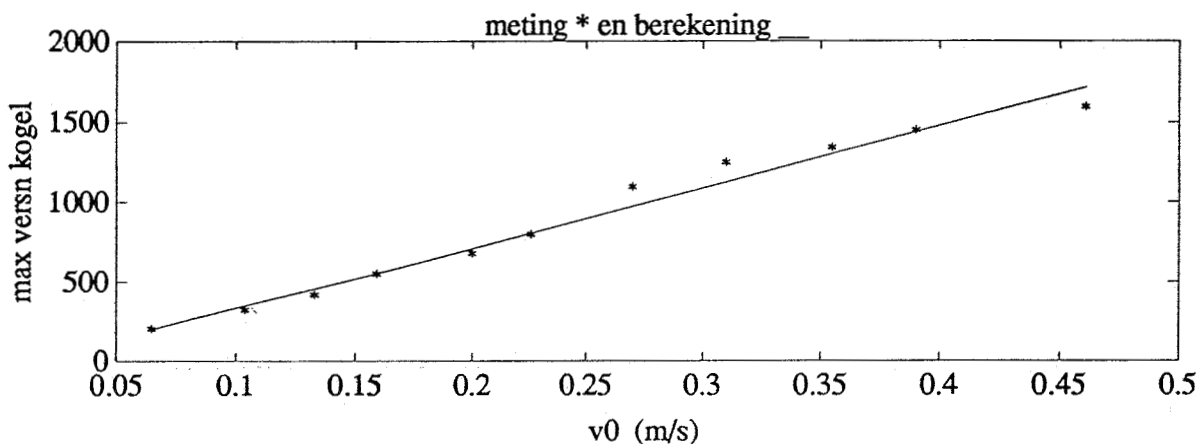


fig.13

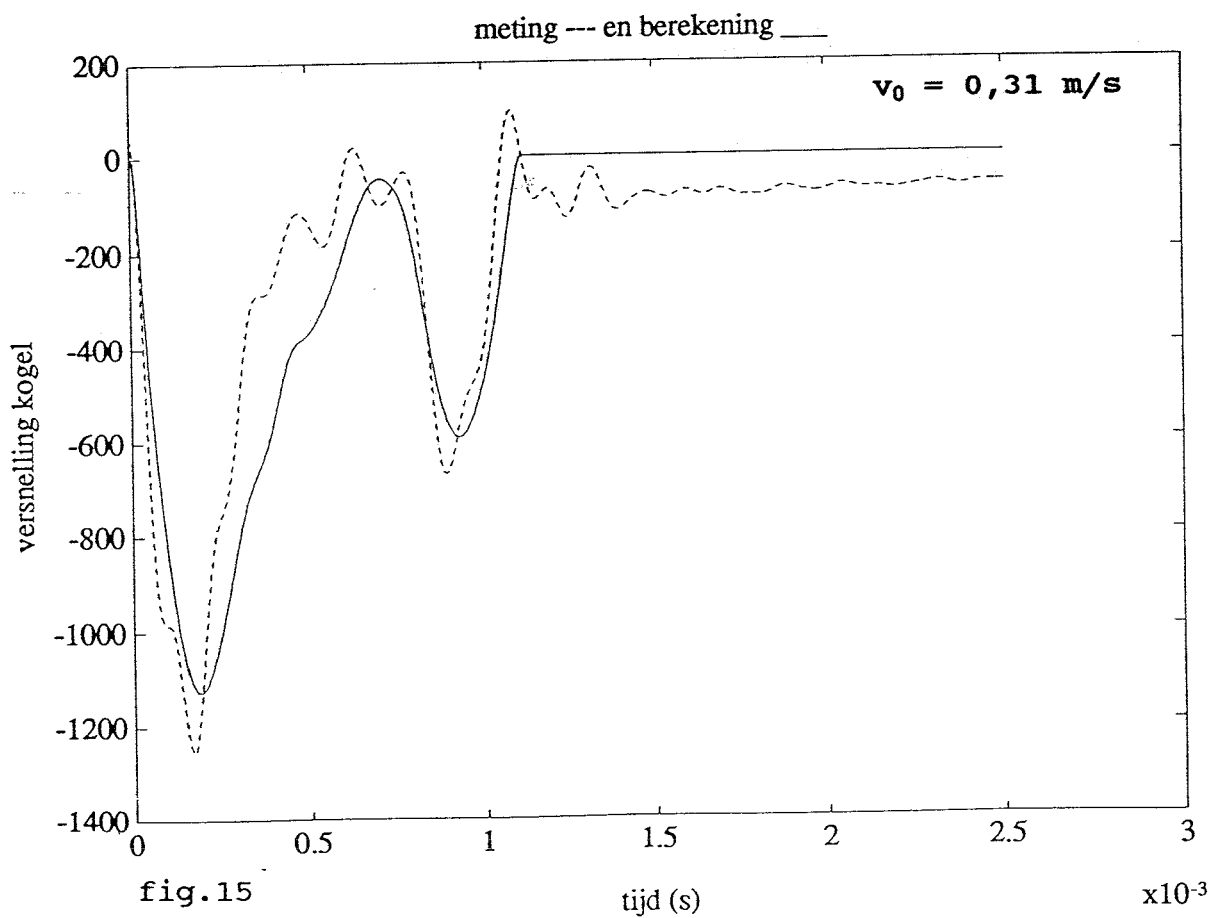
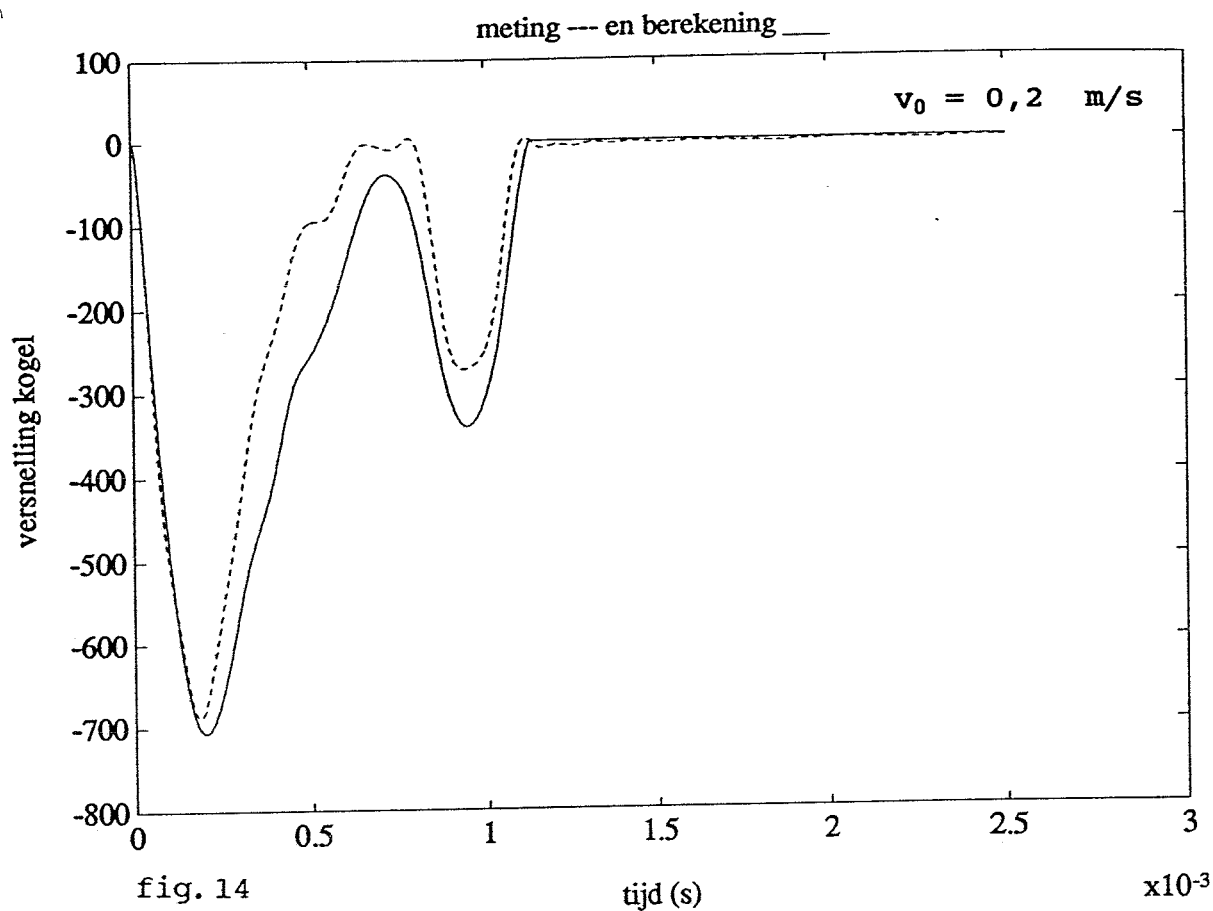
Ook zijn gemeten en berekende versnellingen van zowel kogel als cylinder in een grafiek gezet.

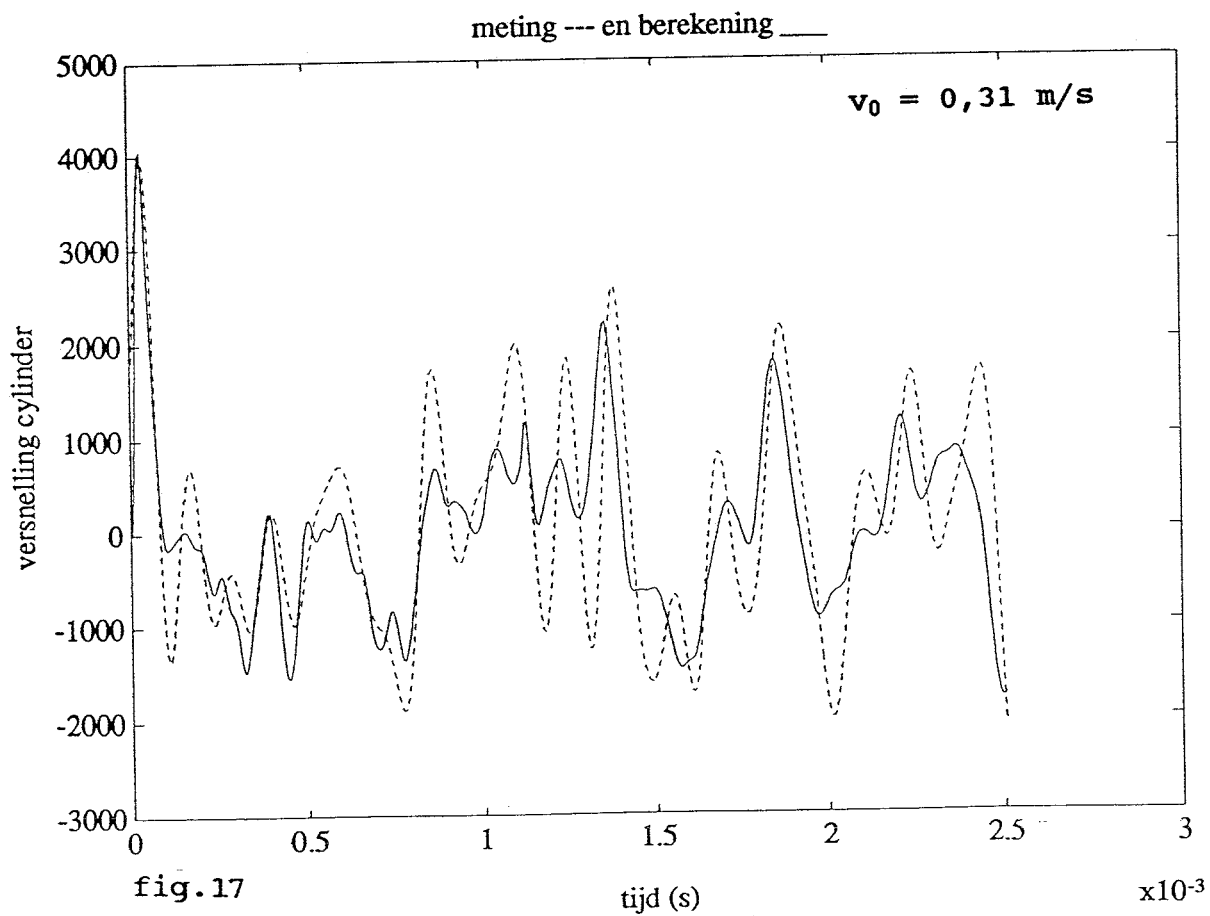
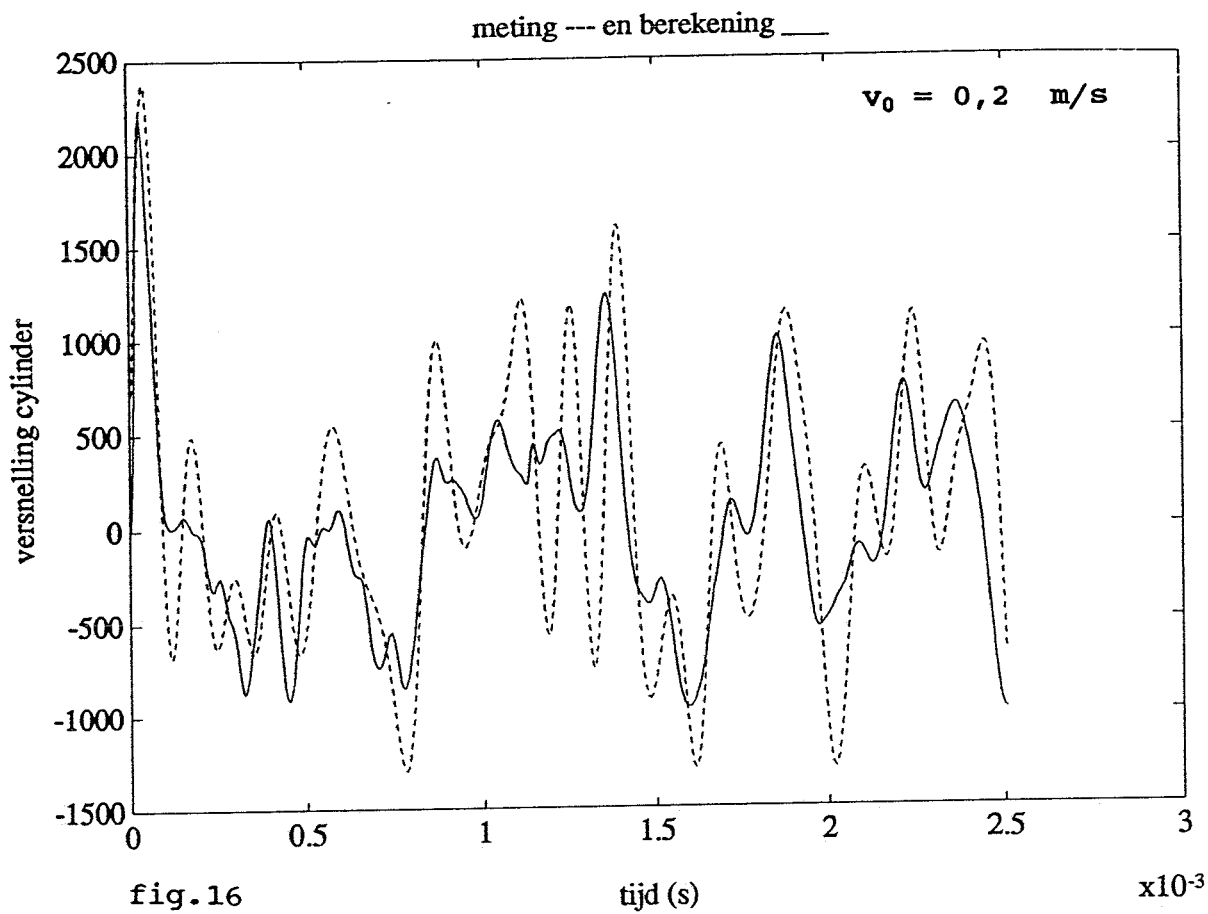
fig 14 : versnelling van de kogel, bij een beginsnelheid van 0,2 m/s

fig 15 : versnelling van de kogel, bij een beginsnelheid van 0,31 m/s

fig 16 : versnelling van de cylinder, bij een beginsnelheid van 0,2 m/s

fig 17 : versnelling van de cylinder, bij een beginsnelheid van 0,31 m/s





Het versnellingsignaal van de kogel klopt goed: Over de versnellingsignalen van de cylinder valt op te merken dat de eerste piek van meting en berekening heel goed met elkaar overeenkomen. Daarna gaan de grafieken uit elkaar, maar af en toe volgen ze elkaar nog.

Het signaal is natuurlijk opgebouwd uit allerlei harmonischen. Hierdoor kan het gebeuren dat beide signalen wel dezelfde frequenties met ongeveer dezelfde amplituden bevatten, maar door kleine faseverschillen niet meer op elkaar lijken. Het is dus zinvol om eens in het frequentiedomein te kijken.

Op de signalen van de cylinder is een Fast Fourier Transformatie uitgevoerd. Zie fig.18:

Het gesimuleerde versnellingsignaal heb ik daartoe ingelezen in matlab, en op dezelfde manier verwerkt als het gemeten signaal.

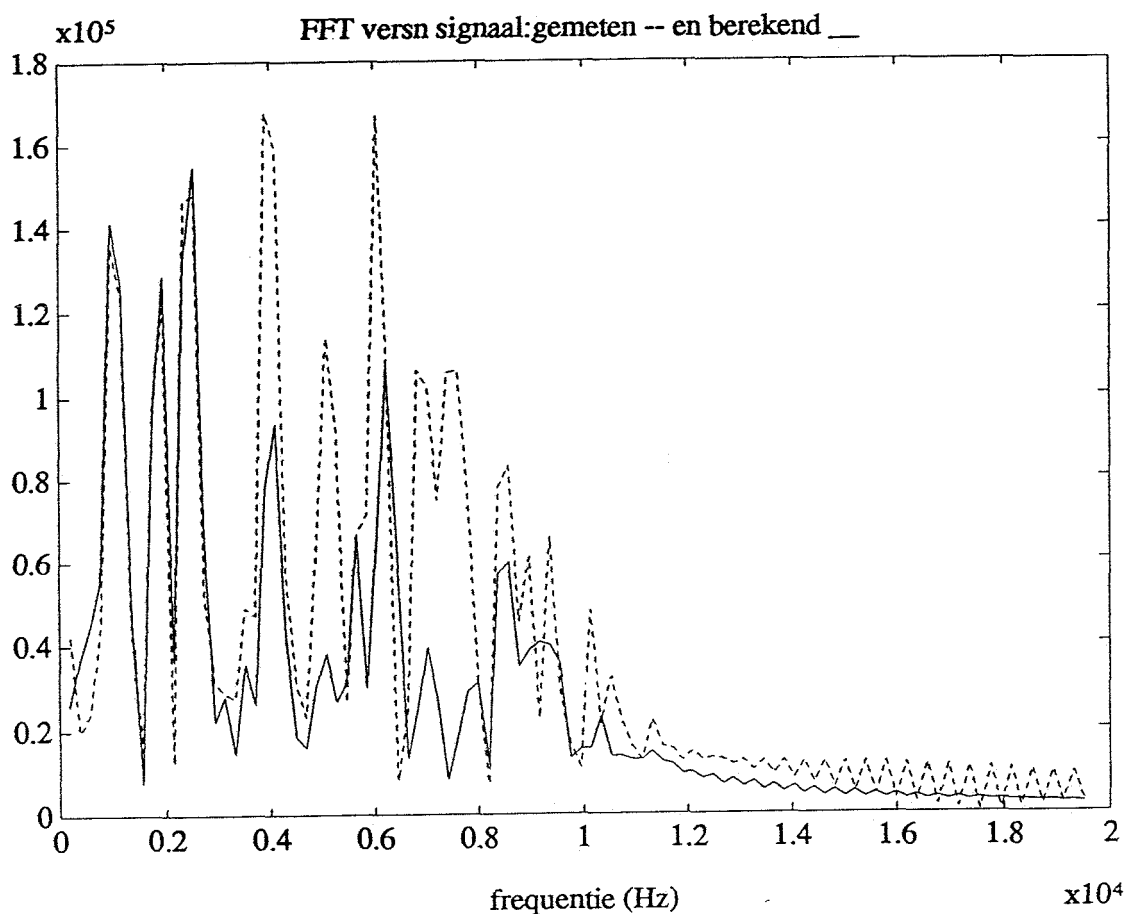


fig.18

De frequenties blijken vrijwel exact overeen te komen. De eerste 3 toppen zijn bovendien even hoog, wat betekent, dat ook de energie in de bijbehorende trillingsvorm klopt.

Conclusie

Meetresultaten en berekende resultaten komen zo goed met elkaar overeen, dat mag worden aangenomen dat Dynopt in de bestaande vorm goed gebruikt kan worden om botsingen tussen een kogel en een cylinder te simuleren.

De afwijkingen zijn kleiner dan bij het klok-klepel-experiment, hoewel bij dat experiment de straal van de klepelbol en de beginsnelheid waren aangepast om de uitkomsten meer op elkaar te laten lijken. Overigens was de aanpassing van de snelheid geheel terecht, omdat bij de afleiding van de beginsnelheid de formule:

$m * g * h = 1/2 * m * v_0^2$ (formule C6 in appendix C van het eerder genoemde rapport:WFW 91.093) werd gebruikt i.p.v:

$$m * g * h = 1/2 * J * \omega_0^2$$

Gebruik van deze formule levert een hogere beginsnelheid, die ongeveer 2% i.p.v. 18% afwijkt van de beginsnelheid in een controle-meting.

Rest natuurlijk de vraag, hoe het komt dat de versnellingen gemeten aan de wand van de klok gemiddeld 35% te hoog zijn, en de versnellingen van de cylinderwand gemiddeld maar 10% afwijken (afwisselend te hoog en te laag). Het probleem van te hoge versnellingen had ik eerst ook (afwijkingen van meer dan 50%), maar dat kwam door verkeerd filteren. Zo te zien is dat bij het klok-klepel-experiment goed gedaan.

De enige verschillen tussen de experimenten zijn, zoals in de inleiding al is gezegd, de onzekerheden wat betreft:

- het materiaal: wat zijn de eigenschappen na versteviging?
- de contactoppervlakken: de precieze vorm is onbekend, en mag Hertz nog wel worden toegepast?
- wat is de invloed van de klepelsteel, die in werkelijkheid wel, bij de simulaties niet flexibel is?

Het argument dat de flexibiliteit van de klepelsteel een tweede maximum in de contactkracht geeft, en dus moet worden meegenomen in de simulatie lijkt te worden ontkracht door het feit dat zowel bij mijn metingen als bij mijn simulaties dit tweede maximum optreedt.

Daarom denk ik dat de verschillen tussen metingen en simulaties door de eerste twee genoemde punten worden veroorzaakt.