

# UITWENDIGE BALLISTIEK.

De wet van Newton zegt ons dat:

$$\vec{F} = m \times \vec{a}$$

Formule 1

In gewone mensentaal kan men dat vertalen als: een voorwerp (hier aangeduid door zijn massa  $m$ ) zal slechts een versnelling ( $a$ ) ondergaan als er een kracht ( $F$ ) op uitgeoefend wordt.

In de formule staan er pijltjes op de  $F$  en op de  $a$  om aan te duiden dat de richting van de kracht een invloed zal hebben op de richting van de versnelling.

In het wapen ondergaat het projectiel een versnelling onder invloed van de druk van de gassen die gevormd worden bij de verbranding van het kruit, of door de druk van een samengeperst gas dat plots vrijgelaten wordt. Het projectiel heeft dus bij het verlaten van de loop een bepaalde initiële snelheid en een bepaalde richting.

Het projectiel zou die initiële snelheid en zijn richting blijven behouden, ware het niet dat er allerlei krachten op inwerken.

## DE ZWAARTEKRACHT.

Een eerste kracht die op het projectiel inwerkt is de zwaartekracht. De zwaartekracht is een gevolg van de aantrekkingskracht tussen twee lichamen (hier de aarde en het projectiel). Het spreekt vanzelf dat de massa van het projectiel te verwaarlozen is ten opzichte van de massa van de aarde. We kunnen dan ook zonder meer aannemen dat het projectiel zich zal bewegen in de richting van de aarde en niet omgekeerd. Praktisch gezien kunnen we aannemen dat voor de omgeving waarin het schieten gebeurt de zwaartekracht constant is. In werkelijkheid is de zwaartekracht afhankelijk van de plaats op de aarde en de afstand van het middelpunt van de aarde tot het middelpunt van het projectiel. Deze verschillen zijn echter, toch voor wat betreft kleine wapens, zo klein dat ze gerust kunnen verwaarloosd worden.

Aangezien we de zwaartekracht constant beschouwen en de massa van de aarde oneindig groot ten opzichte van die van het projectiel, kunnen we eruit afleiden dat de zwaartekracht zorgt voor een constante versnelling ( $g$ ) die gericht is naar het middelpunt van de aarde en die gelijk is aan  $9.81 \text{ m/s}^2$ .

Dat wil zeggen dat, wanneer we vanaf een hoge toren een steen laten vallen deze de eerste seconde zal versnellen van  $0 \text{ m/s}$  naar  $9,81 \text{ m/s}$ .

Zijn snelheid op ieder tijdstip, wanneer we alleen rekening houden met de zwaartekracht) is dus gelijk aan de steen valt (uitgedrukt in seconden) maal de versnelling die hij heeft ten gevolge van de zwaartekracht ( $9,81 \text{ m/s}^2$ )

$$V = \bar{g} \times t$$

Formule 2

We kunnen ook zeggen dat de gemiddelde snelheid zal gelijk zijn aan de beginsnelheid ( $0 \text{ m/s}$ ) plus de eindsnelheid ( $9,81 \text{ m/s}$ ) gedeeld door 2. Hier:  $4,905 \text{ m/s}$ .

$$\bar{V} = \frac{V(\text{begin}) + V(\text{eind})}{2}$$

Formule 3

Het streepje boven de  $v$  duidt aan dat het om een gemiddelde gaat.

Als we aannemen dat de beginsnelheid van het projectiel te wijten aan de zwaartekracht gelijk is aan  $0$ , dan wordt de formule:

$$\bar{V} = \frac{V(\text{eind})}{2}$$

Formule 4

Als we de gemiddelde snelheid kennen dan is het eenvoudig om de afgelegde weg ( $d$ ) te vinden. Deze is namelijk gelijk aan de gemiddelde snelheid vermenigvuldigd met de tijd.

$$d = \bar{V} \times t$$

Formule 5

Als we beschouwen dat we vertrekken van een beginsnelheid van 0 m/s, dan kunnen we de gemiddelde snelheid in de formule 5 vervangen door formule 4, en op zijn beurt de eindsnelheid in formule 4 door formule 2. We krijgen dan:

$$d = \frac{1}{2} g t^2$$

Formule 6

Dit is onafhankelijk van de andere krachten die op een projectiel inwerken! We kunnen die gegeven dus uitwerken en een tabel opstellen.

t (in seconden)	d(in meter)
1	4,91
2	19,62
3	44,15
4	78,48
5	122,63
6	176,58
7	240,35
8	313,92
9	397,31
10	490,50
11	593,51
12	706,32
13	828,95
14	961,38
15	1103,63
16	1255,68
17	1417,55
18	1589,22
19	1770,71
20	1962,00

Als we nu de verschillende soorten wapens beschouwen dan kunnen we als een benadering van de mondingssnelheid volgende waarden nemen:

- Luchtpistool en luchtgeweer : 170 m/s
- Pistool en revolver: 220 – 450 m/s
- Geweren: 750 – 1200 m/s

We kunnen gaan kijken hoelang deze projectiele erover vliegen om 1 m af te leggen in de veronderstelling dat ze niet gedurende dat traject niet vertragen:

V (snelheid)	Tijd om 1 m af te leggen (seconden)
170	0,005882353
220	0,004545455
450	0,002222222
750	0,001333333
1200	0,000833333

De tijden zijn zeer klein.

We kunnen nu berekenen hoe groot de afstand is dat de projectielen dalen tijdens die eerste meter. We grijpen daarvoor terug naar formule 6.

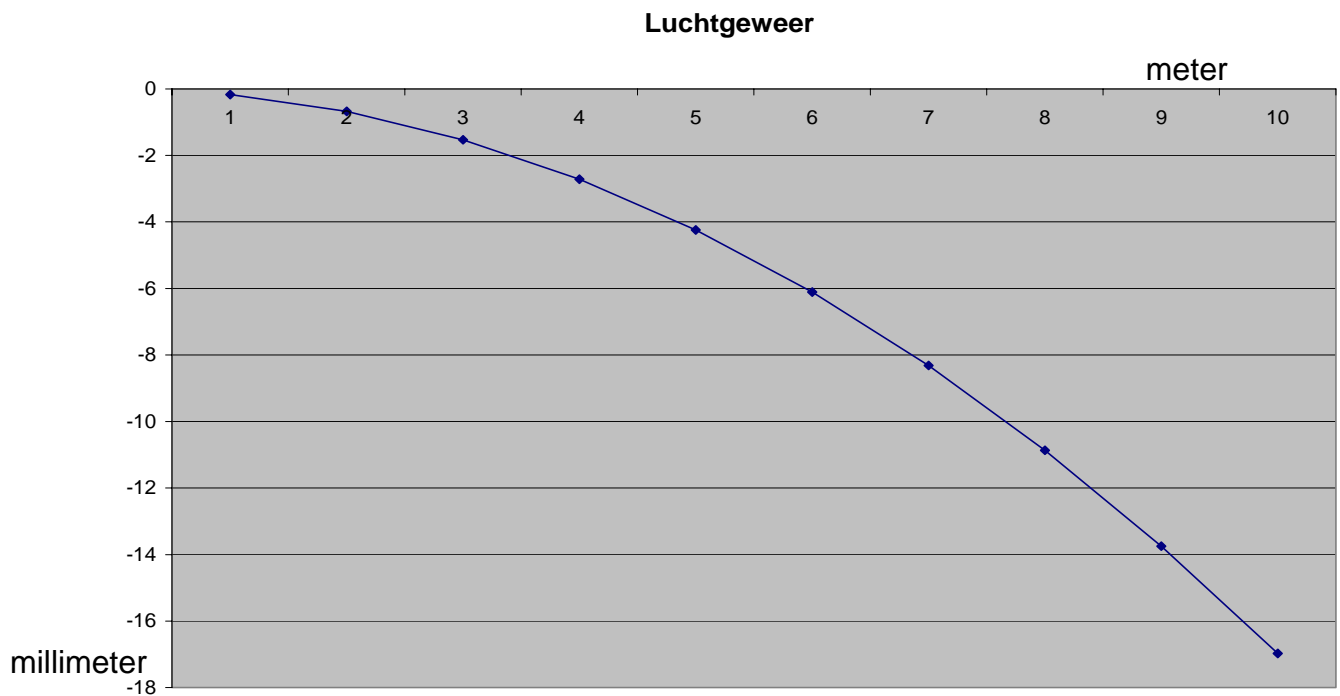
V (snelheid)	d, na 1 meter vliegen (in mm)
170	0,169723183
220	0,101342975
450	0,024222222
750	0,008720000
1200	0,003406250

Als we dat los bekijken van andere krachten dan kunnen we per wapen een tabel opstellen waarbij we de afstand geven dat een projectiel daalt per afgelegde weg. Het spreekt vanzelf dat we dat in een grafiek gaan uitzetten in functie van de afgelegd weg, maar we weten uit het voorgaande dat de daling zuiver een functie is van de tijd. De gevolgde benadering voldoet echter voor het moment.

Eerst het luchtgeweer, van 0 m tot 10 m met een constante snelheid van 170 m/s.

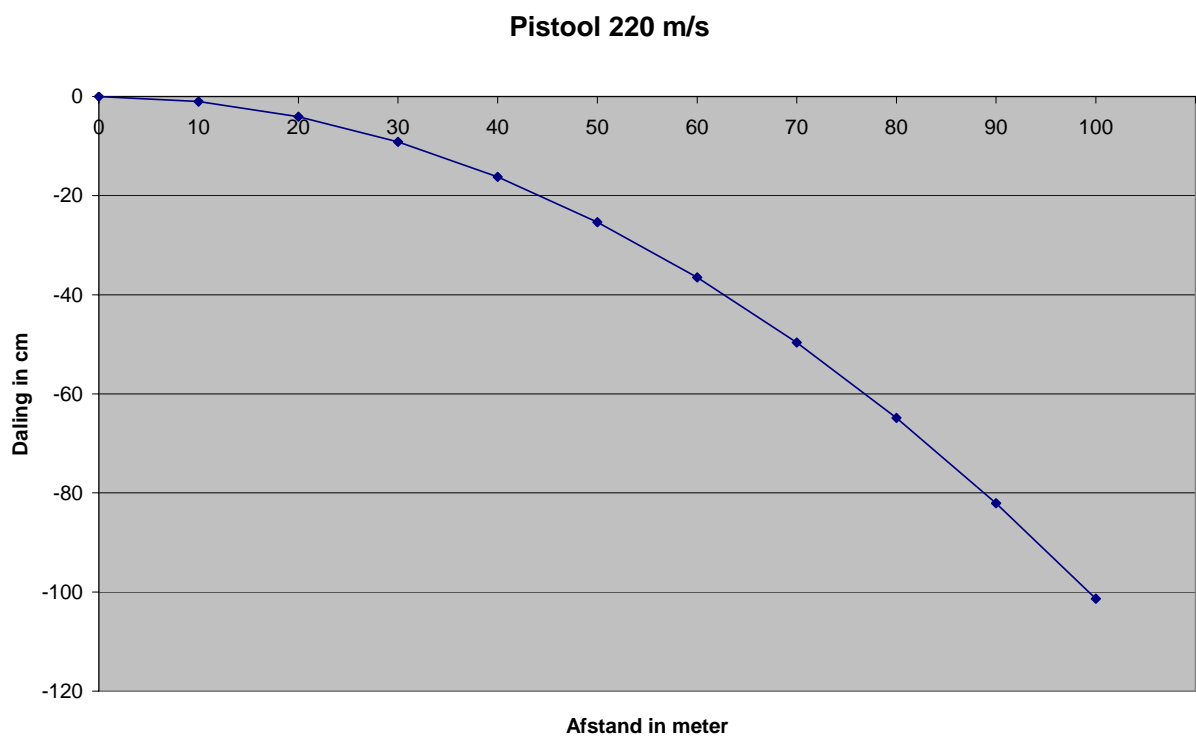
Afstand in meter	Daling in mm
1	0,169723183
2	0,678892734
3	1,527508651
4	2,715570934
5	4,243079585
6	6,110034602
7	8,316435986
8	10,86228374
9	13,74757785
10	16,97231834

We kunnen deze gegevens ook uitdrukken in een grafiek:



Vervolgens het pistool aan 220 m/s, per 10 m van 0 m tot 100 m.

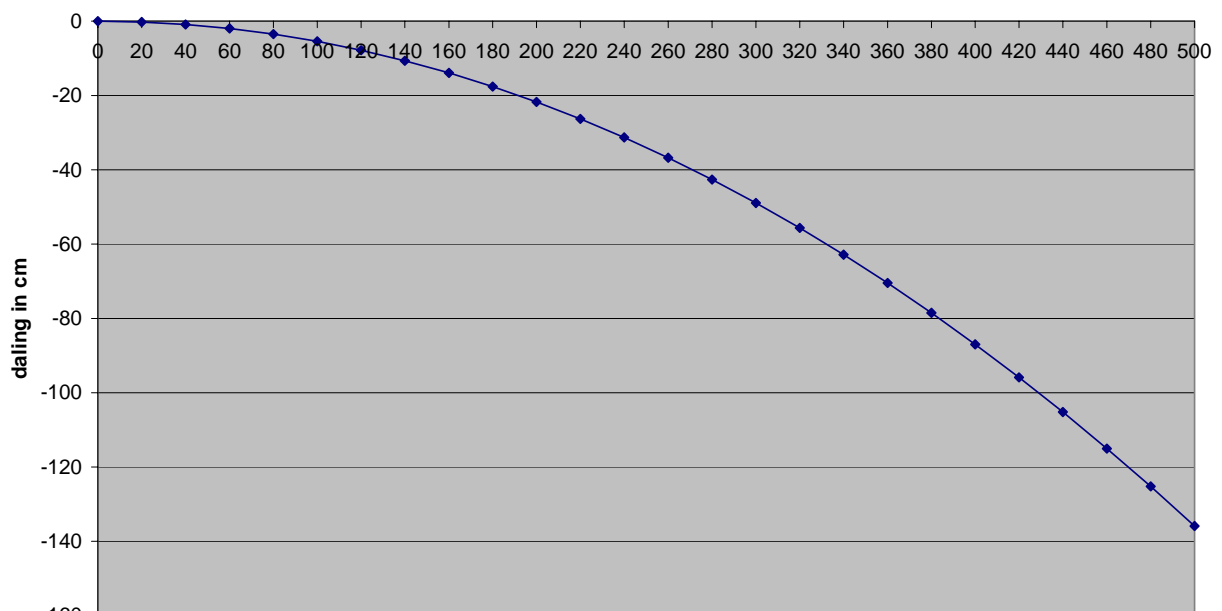
Afstand in meter	daling in cm
1	0,0101
10	1,0134
20	4,0537
30	9,1209
40	16,2149
50	25,3357
60	36,4835
70	49,6581
80	64,8595
90	82,0878
100	101,3430



Voor wat betreft het geweer aan 950 m/s per schijf van 20 meter van 0 m tot 500 m geeft dat volgende waarden:

Afstand in meter	Daling in centimeter
0	0,0000000000
20	-0,2173961219
40	-0,8695844875
60	-1,9565650970
80	-3,4783379501
100	-5,4349030471
120	-7,8262603878
140	-10,6524099723
160	-13,9133518006
180	-17,6090858726
200	-21,7396121884
220	-26,3049307479
240	-31,3050415512
260	-36,7399445983
280	-42,6096398892
300	-48,9141274238
320	-55,6534072022
340	-62,8274792244
360	-70,4363434903
380	-78,4800000000
400	-86,9584487535
420	-95,8716897507
440	-105,2197229917
460	-115,0025484765
480	-125,2201662050
500	-135,8725761773

**Geweer 950 m/s**



Bovenstaande benaderingen houden dus alleen rekening met de invloed van de zwaartekracht en we veronderstellen dat het projectiel niet vertraagd tijdens zijn vlucht. De werkelijkheid is echter totaal anders.

## **DE LUCHTWEERSTAND.**

Als het projectiel door de atmosfeer vliegt ondergaat het de invloed van die atmosfeer. Het voornaamste gevolg is dat het projectiel zal vertragen. Het is zeer moeilijk om via een wiskundige of natuurkundige benadering een idee te krijgen van die vertraging. Die is namelijk afhankelijk van een heleboel factoren zoals:

- De dichtheid van de atmosfeer
- De snelheid waarbij het projectiel zich verplaatst
- De vormen de afwerking van het projectiel
- De massa van het projectiel
- Het materiaal waaruit het projectiel is gemaakt
- Enz...

Er zijn in de geschiedenis verschillende pogingen gedaan om de invloed van de atmosfeer te kwantificeren. Gewoonlijk ging men zich baseren op proefondervindelijk onderzoek namelijk het vuren met een bepaald type patroon op verschillende afstanden. Daarbij werden de verschillende waarden gemeten, deze werden dan gecorreleerd naar bepaalde formules en/of tabellen. Dit zijn de ballistische tabellen van gekende ballistische experts zoals INGALLS (1900), MAYEVSKI (1888), BASHFORTH (1929), enz.

Met de ontwikkeling van de computer was het veel eenvoudiger om een rekenkundige benadering te doen. Daar volgt verder in de les een demonstratie over.

Alle variabelen, eigen aan een bepaald projectiel worden gecombineerd in een bepaald getal dat een maat is voor de manier waarop dat projectiel de invloed van de atmosfeer ondergaat. Dit getal wordt "**Ballistische Coëfficiënt , (BC)**" genoemd. Dit getal is gelegen tussen 0 en 1. Hoe dichter bij 1 men komt, hoe minder het projectiel onderhevig is aan de luchtweerstand, dus hoe beter het zijn snelheid behoudt. In de



praktijk variëren de BC van projectielen voor kleine vuurwapens tussen 0,05 voor een loden .38 WC en 0,6 voor een super gestroomlijnd zwaar .308 mantelprojectiel.

We kunnen dit illustreren met gewoon enkele gegevens uit een herlaadhandboek

(Hornady Handbook of Cartridge Reloading Sixth Edition – Volume 2, 2003) We kiezen twee projectielen met dezelfde beginsnelheid maar met een verschillende BC.

- |                                       |           |
|---------------------------------------|-----------|
| A. 7 mm 139 grs Boat Tail Spire Point | BC= 0,453 |
| B. 7 mm 139 grs Flat Point            | BC= 0,196 |

Als we beide projectiele afvuren met een snelheid van 3500 fps ( 1067 m/s) dan zien we dat ze op 500 yards (457 m) afstand nog een snelheid hebben van respectievelijk:

- A. 2436 fps (742,5 m/s) dus een vertraging van 324 m/s
- B. 1390 fps (423.5 m/s) dus een vertraging van 643 m/s

Een verschil in vertraging tussen beide projectielen van 319 m/s (ongeveer één derde van de beginsnelheid)

Als we ze echter trager afvuren, namelijk aan 1600 fps (487,5 m/s) dan zien we volgende resultaten op 500 yards:

- A. 1074 fps (327 m/s) dus een vertraging van 160,5 m/s
- B. 831 fps (253 m/s) dus een vertraging van 234,4 m/s

Een verschil in vertraging tussen beide projectielen van 74 m/s (ongeveer één zesde van de beginsnelheid)

De vertraging over dezelfde afstand (500 yds) is dus veel kleiner geworden en het verschil in vertraging tussen beide projectielen ook.

We kunnen eens een benadering doen voor een pistool en een geweer. We weten uit ervaring dat de afname van de snelheid te wijten aan de luchtweerstand NIET lineair is, het is onder andere functie van de snelheid van het projectiel ten opzicht van de atmosfeer, dus hoe kleiner de snelheid, hoe kleiner de luchtweerstand en bijgevolg hoe kleiner de vertraging van het projectiel te wijten aan die luchtweerstand. Laten we echter voor onze benadering de vertraging wel lineair nemen. We doen een benadering

met volgende waarden:

- Handvuurwapen,  
beginsnelheid: 240 m/s  
eindsnelheid op 50 m: 210 m/s,  
.38 WC, 148 grs BC = 0,047
- Geweer,  
beginsnelheid : 1000 m/s  
eindsnelheid op 500 m: 725 m/s  
7mm, 162 grs BC = 0,550

Voor onze lineaire benadering van het handvuurwapen gaan we de afstand van 50 m opsplitsen in stukken van 10 m, telkens gemiddelde snelheid berekenen per stuk van 10 m, de tijd berekenen die telkens nodig is om met die gemiddelde snelheid de 10 m af te leggen, met die tijd de afstand berekenen dat het projectiel daalt en dat dan in een grafiek zetten.

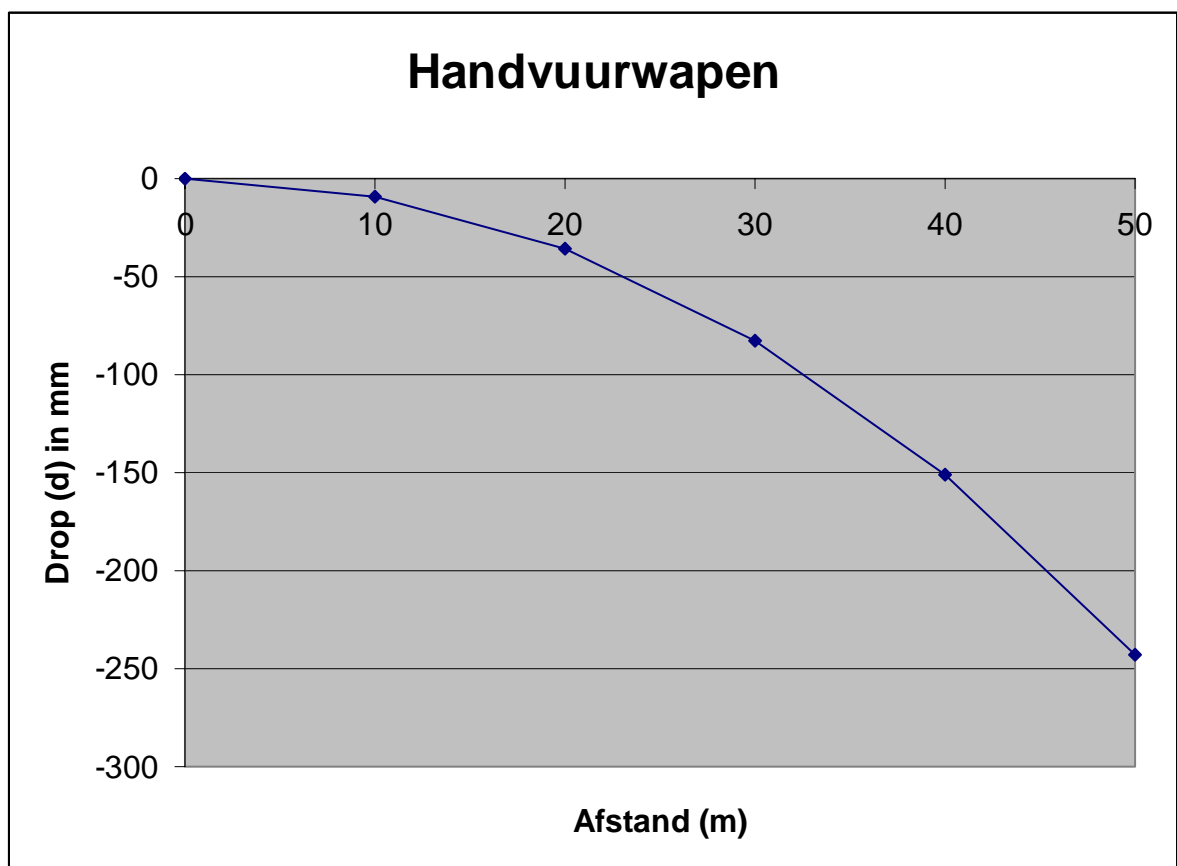
Voor onze lineaire benadering van het geweer gaan we de afstand van 500 m opsplitsen in stukken van 100 m, telkens gemiddelde snelheid berekenen per stuk van 100 m, de tijd berekenen die telkens nodig is om met die gemiddelde snelheid de 100 m af te leggen, met die tijd de afstand berekenen dat het projectiel daalt en dat dan in een grafiek zetten.

We vertrekken ook beide malen met de veronderstelling dat we de wapens met de loop horizontaal afvuren.

## Handvuurwapen:

Beginsnelheid	240 m/s
Eindsnelheid	210 m/s
verschil	30 m/s
Per 10 m	6 m/s

	Begin	Eind	Gemidd.	Tijd	Totale tijd	Drop (d)mm
0-10m	240	234	237	0,04219	0,04219	8,73257
10-20m	234	228	231	0,04329	0,08548	35,84347
20-30m	228	222	225	0,04444	0,12993	82,80344
30-40m	222	216	219	0,04566	0,17559	151,23139
40-50m	216	210	213	0,04695	0,22254	242,91337

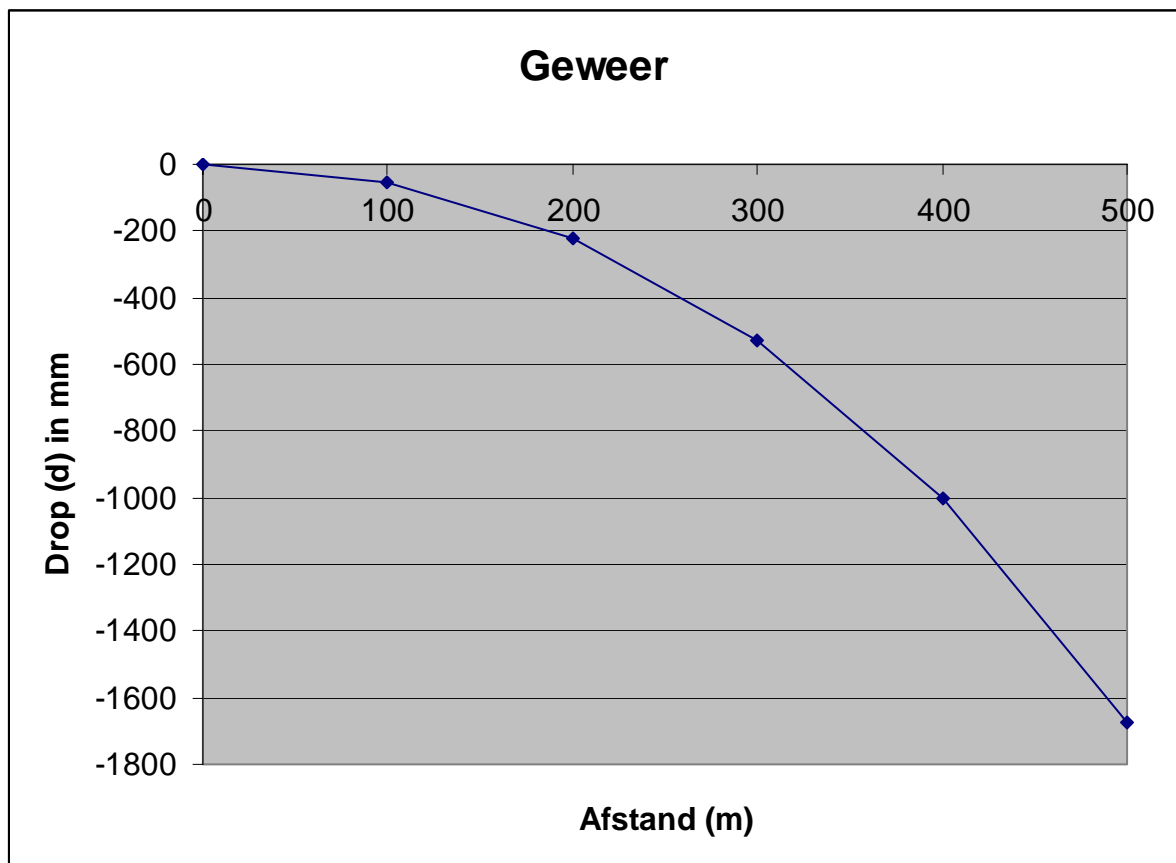


We zien dat het projectiel op 50 m ongeveer 24 cm gedaald is.

## Geweer:

Beginsnelheid	1000 m/s
Eindsnelheid	725 m/s
verschil	275 m/s
Per 100 m	55 m/s

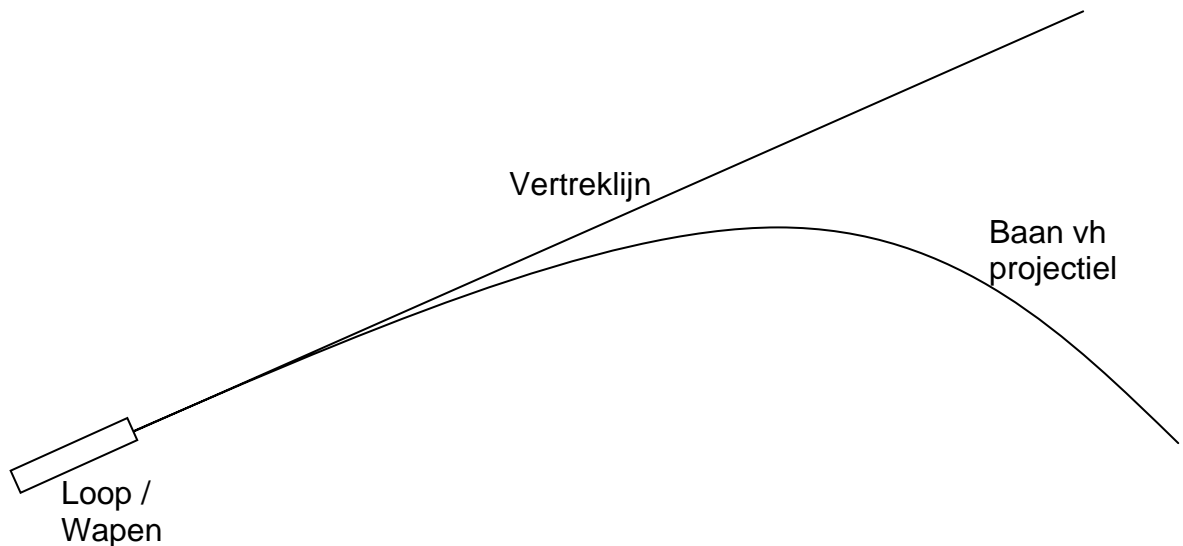
	Begin	Eind	Gemidd.	Tijd	Totale tijd	Drop (d)mm
0-100m	1000	945	972,5	0,10283	0,10283	51,86326
100-200m	945	890	917,5	0,10899	0,21182	220,07528
200-300m	890	835	862,5	0,11594	0,32776	526,93276
300-400m	835	780	807,5	0,12384	0,45160	1000,34104
400-500m	780	725	752,5	0,13289	0,58449	1675,69378



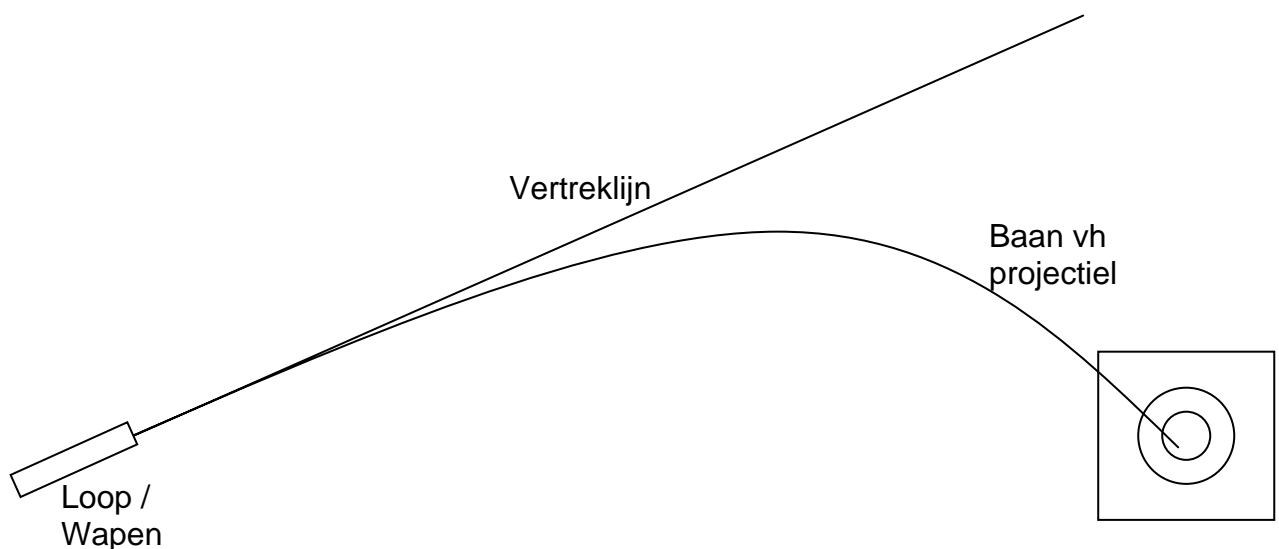
We zien dat het projectiel op 500m ongeveer 1,67 m gedaald is.

## Het schieten op een doel.

In de werkelijkheid schieten we niet met de loop horizontaal maar gaan we proberen een doel te raken. Om ons projectiel op een bepaalde afstand op een bepaalde plaats te krijgen gaan we onze loop een bepaalde hoek moeten geven.

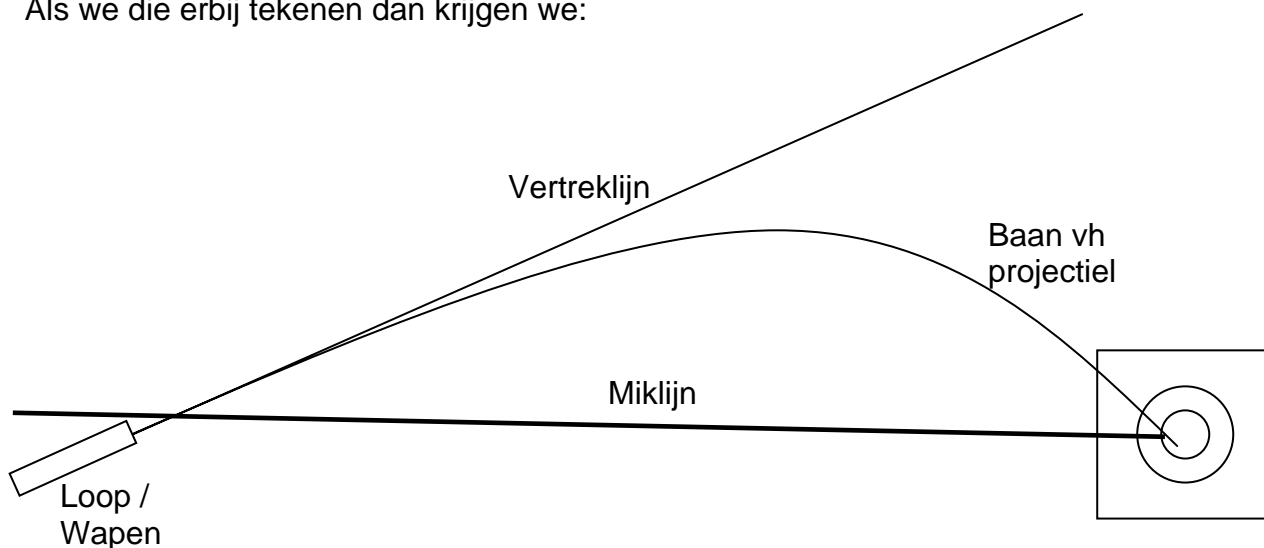


Als we er het doel bijtekenen krijgen we het volgende:

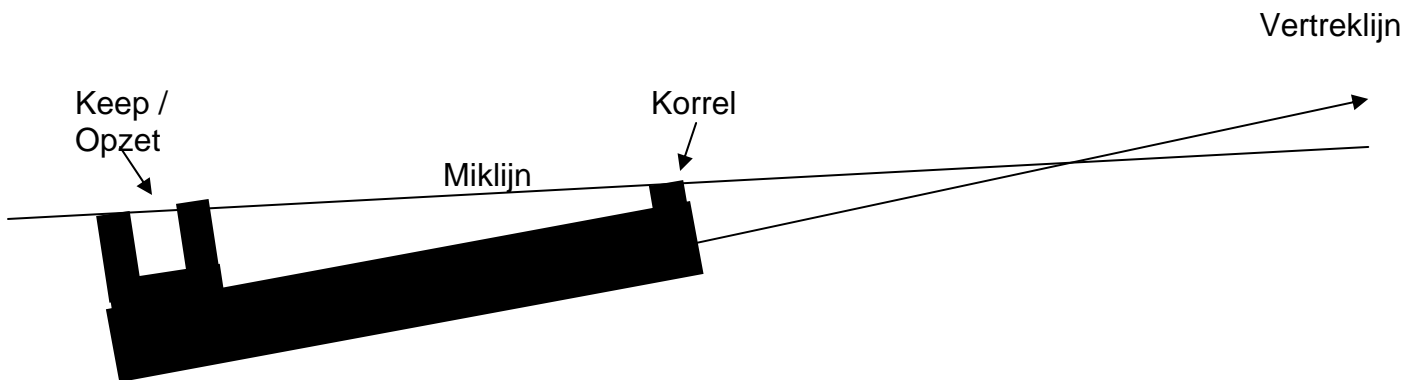
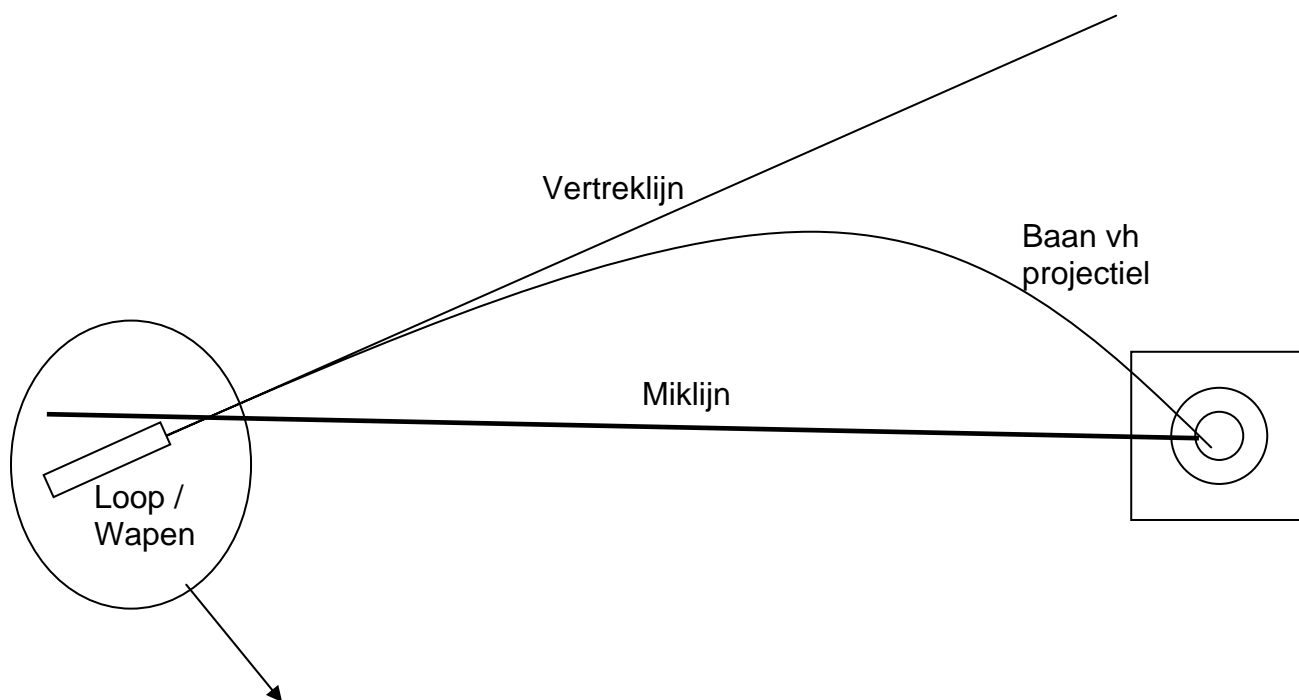


We moeten echter kunnen mikken en daar voor hebben we een miklijn nodig:

Als we die erbij tekenen dan krijgen we:



Hoe gaan we die miklijn nu materialiseren, dit doen we door twee punten te maken op het wapen en daar met het oog langs te kijken.



Dit systeem is geldig voor alle types van vuurwapens. Het geeft geen belang of de miklijn nu gematerialiseerd wordt door een keep en een korrel, een diopter en een mikoog, een kijker met kruisdraad, of een andere optische of red-dot kijker. De regeling gebeurt door de mikorganen bij te regelen zodat de hoek van de loop en de miklijn veranderd en de baan van het projectiel de miklijn kruist op het doel.

### **Praktische oefening:**

Met bovenstaande gegevens heb je voldoende om te bepalen hoe de impact op de schijf zal veranderen als men het wapen naar links of rechts kantelt.

### **Hoe ziet de baan van het projectiel eruit als schuin omhoog schiet?**

We hebben gezien dat de beginsnelheid en de beginrichting van belang zijn. Als we het wapen niet langer horizontaal afschieten maar onder een bepaalde hoek, dan kan men de vector die de beginsnelheid voorstelt ontbinden in een verticale en een horizontale component. De verticale component zal tegengesteld zijn aan de versnelling veroorzaakt door de zwaartekracht.

We kunnen dit terug voorstellen door een voorbeeld. Laten we terug ons voorbeeld nemen van het pistool maar nu de loop een hoek geven van  $0,545^\circ$ .

Beginsnelheid	240	m/s				
Eindsnelheid	160	m/s				
Verschil	80	m/s				
Per 10 m	8	m/s				
	Begin	Eind	Gemidd.	Tijd	Tot Tijd	Drop (d)
0-10m	240	232	236	0,04237	0,04237	0,00881
10-20m	232	224	228	0,04386	0,08623	0,03647
20-30m	224	216	220	0,04545	0,13169	0,08506
30-40m	216	208	212	0,04717	0,17886	0,15691
40-50m	208	200	204	0,04902	0,22788	0,25471
50-60m	200	192	196	0,05102	0,27890	0,38153
60-70m	192	184	188	0,05319	0,33209	0,54094
70-80m	184	176	180	0,05556	0,38764	0,73706
80-90m	176	168	172	0,05814	0,44578	0,97474
90-100m	168	160	164	0,06098	0,50676	1,25963

Hoek loop  $0,545^\circ$  Sin  $0,55^\circ = 0,00951$   
 Vertikale component = 200 m/s X 0,00951 1,9023362 m/s

	Tot Tijd	Vv*t	Drop(d)	Verschil
0m	0,00000	-0,02	0	-0,02
10m	0,04219	0,06	0,0088	0,05
20m	0,08548	0,14	0,0365	0,11
30m	0,12993	0,23	0,0851	0,14
40m	0,17559	0,31	0,1569	0,16
50m	0,22254	0,40	0,2547	0,15
60m	0,27085	0,50	0,3815	0,11
70m	0,32060	0,59	0,5409	0,05
80m	0,37188	0,69	0,7371	-0,05
90m	0,42479	0,79	0,9747	-0,19
100m	0,47944	0,89	1,2596	-0,37

**0,1651**

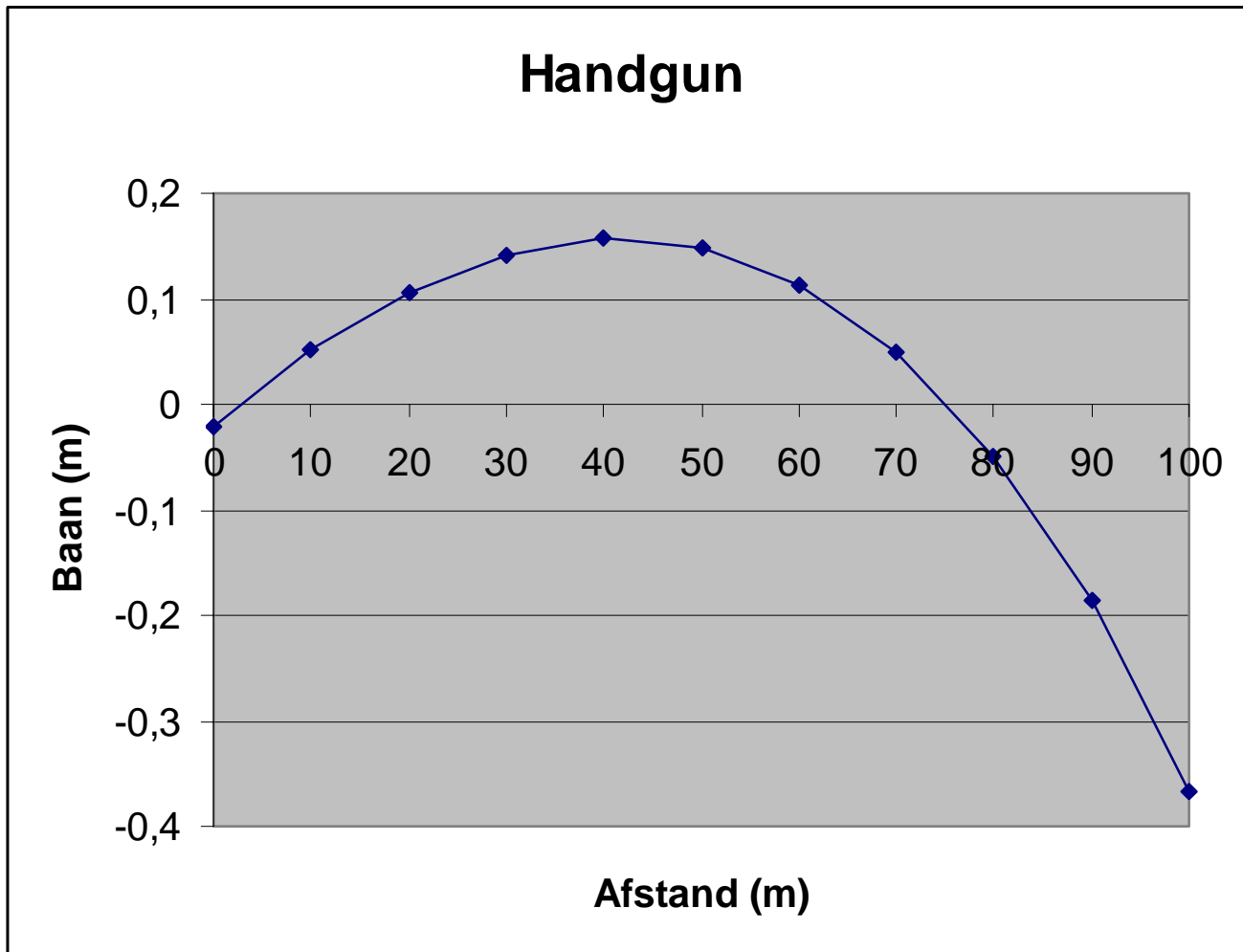
We zien uit de resultaten dat onze berekeningen de realiteit sterk benaderen. We vinden in het herlaadhandboek voor een zero op 75 m dat de maximale pijl boven de as gelijk is aan 16,51 cm.

Met onze berekeningen komen we daar op een halve cm van.

Het spreekt vanzelf dat deze berekeningen een puur voorbeeld zijn van een theoretische benadering en dus heel weinig praktisch nut hebben. Voor de praktische uitwerking gebruiken we de bestaande commerciële programma's.

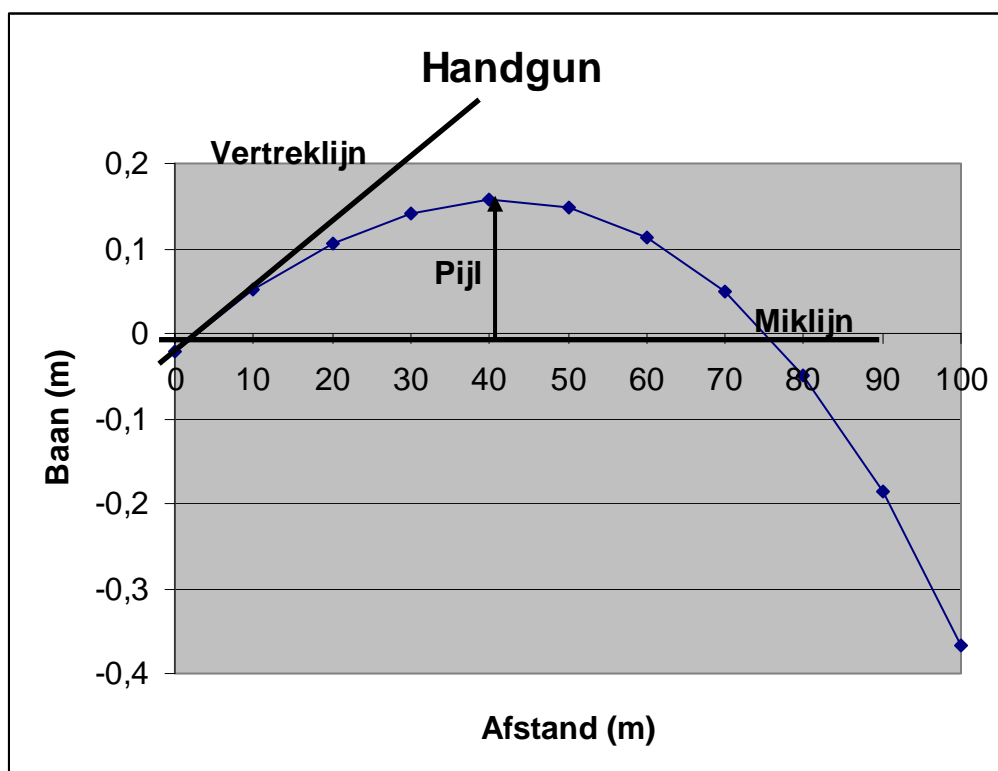
Als we de curve uittekenen dan krijgen we volgende figuur:





We zien dat de baan van het projectiel begint onder 0, dat is logisch aangezien het midden van de loop zich een zekere afstand onder de mikmiddelen bevindt.

Als we nu de tekening vervolledigen dan krijgen we volgende figuur:



## **BESLUIT.**

Het spreekt vanzelf dat het bovenstaande slechts een sterk vereenvoudigde benadering is van het fenomeen van de uitwendige ballistiek. Het heeft enkel de bedoeling aan de hand van enkele eenvoudige berekeningen de kandidaat een indruk te geven van enkele van de invloeden die een rol spelen bij het schieten.

Verdere uitdieping kan gevonden worden in de literatuur. Ik hierbij vooral de herlaadhandboeken van **Sierra, Hornady, Speer**, en **Vihtuavori** aanraden. Zij geven een goed algemeen beeld en bruikbare tabellen. Wanneer men over een PC beschikt dan kan men beroep doen op commerciële programma's die veel meer mogelijkheden bieden en hun bruikbaarheid reeds bewezen hebben (**Sierra Infinity Suite**).

Ook niet alle krachten werden besproken, denk maar aan de coriolis-kracht en de magnus-kracht, die bij het schieten op lange afstanden met zwaardere wapens een invloed hebben.

Interessant voor gevorderde studenten in de ballistiek zijn ook:

**UNDERSTANDING BALLISTICS** door **Robert A. RINKER** (ISBN: 0-9645598-2-X) dit is een eenvoudige populaire benadering maar bevat enkele minder correcte stukken.

**A BALLISTIC HANDBOOK** door **Geoffery KOLBE** (ISBN: 0-9537537-0-0) dit is een zeer goed boek maar vereist een zekere kennis van wiskunde en natuurkunde om alles te verstaan.

**HATCHER'S NOTEBOOK** door **Major-General Julian S. HATCHER** (Library of Congress Card Number: 62-12654) Third edition, second print 1966. The Stackpole Company, Harrisburg, Pennsylvania. Een uitstekende verzameling van artikels die door de auteur tijdens zijn lange militaire carrière geschreven zijn. Allerlei onderwerpen betreffende wapens en munitie komen aan bod. Soms wat gedateerd maar altijd interessant.