

Sportsfysik i Basketball

Hvad er det bedste skud?

Af Jérôme W. H. Baltzersen

I mit projekt ønsker jeg at studere den optimale måde at skyde en basketball i kurven på, når man tager hensyn til, at man kan bruge pladen.

Med "optimal" mener jeg følgende: der er uendelig mange mulige baner, bolden kan følge og stadig gå i kurven, da man kan blive ved med at skyde højere og højere. Hvis mennesker var i stand til at udføre præcis den samme bevægelse hver eneste gang – selv under pres, ville det ikke være interessant at finde den optimale bane. Da dette naturligvis ikke er muligt i praksis, gælder det om at skyde på en sådan måde, at man kan tillade sig størst mulig afvigelse fra det tiltænkte skud. Netop denne bane vil være den optimale, og den vi interesserer os for.

Den måde basketballspillere lærer at skyde på er fundet gennem praksis, og det vil derfor være interessant om denne teknik nu også stemmer overens med fysikkens resultater, eller om der stadig er forbedringer at foretage. Fra en fysikers synsvinkel er basketballskuddet et try-and-error eksperiment som nu har fundet sted i mere end 110 år¹, og som inden for de sidste 40 år er resulteret i en fælles konklusion om, hvordan man bør skyde². Hvis fysikere kan bekræfte denne måde at skyde på, har de kunne anvende den newtonske mekanik med succes. Med andre ord kan både fysikere og basketballspillere få bekræftet deres virke gennem dette projekt.

Jeg håber på at kunne inspirere undervisere i fysik til at bruge dagligdags eksempler i undervisningen. I stedet for at regne på fiktive boldbevægelser kunne man lige så godt udnytte den mangfoldighed, der findes blandt boldsportsgrene, og regne på eksempler fra disse. Hele projektet vil måske være for tidskrævende til gymnasiet, og først kunne blive behandlet på universitetet, men der vil stadig være en stor del af det, som kan anvendes i gymnasiet. Basketball er let at regne realistisk på, da sporten foregår indendørs, hvorfor man ikke skal tage højde for vindstød.

For at kunne regne på boldens bane gennem luften må jeg have kendskab til den newtonske mekanik, og inden for den især ballistikken. Det er stof, man begynder med at lære i gymnasiet, og som udbygges i det første semester i fysik på universitetet. Placeringen på første semester på universitetet betyder, at der ikke kræves mere matematisk kunnen, end hvad man typisk ville lære på højniveau i det almene gymnasium. Jeg har taget kontakt til Poul Georg Hjorth, der sammen med Jens Martin Knudsen, har forfattet den lærebog, jeg arbejder ud fra. Poul Georg Hjorth har indvilget i at være min vejleder gennem mit projekt.

Eksperimentelt:

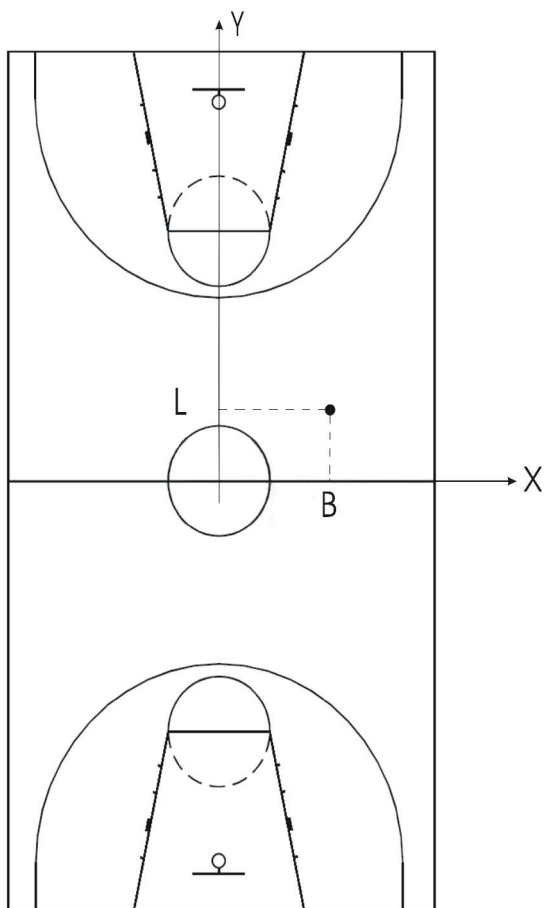
Mit projekt er inspireret af en videnskabelig artikel fra American Journal of Physics. I denne artikel bliver det beskrevet, i hvilken vinkel man skal skyde, hvilken fart der skal skydes med, og hvilken effekt luftmodstanden har. Målet for artiklen var at finde den optimale skudvinkel og fart, ud fra de kriterier som jeg har opstillet. Artiklen tager dog ikke højde for, at man med fordel kan bruge pladen fra visse positioner på banen³. Jeg ønsker altså at finde ud af, om denne tilføjelse vil ændre på det i artiklen fundne resultat. Desuden har artiklen en overvejende teoretisk indgang til emnet, hvor min

¹ Basketball blev opfundet af Dr. James Naismith (1861-1939) i 1891.

² Der er kun meget få aspekter af kunsten at skyde, som der stadig diskuteres. Man er dog enige om vinklen der skal skydes med, og at jo mere backspin (inden for de praktisk opnåelige grænser i kampsituation) jo bedre.

³ Dette er en accepteret opfattelse inden for basketball. Jeg kan selv bekræfte påstanden.

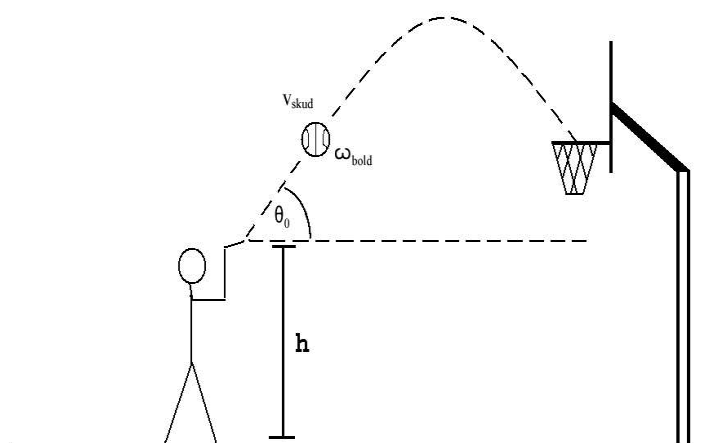
artikel først ønsker at bestemme to størrelser eksperimentelt: boldens rotation og boldens impulstab under sammenstød med pladen. Efterfølgende vil de teoretiske udregninger blive udført med det formål at bestemme, hvorfra det er fornuftigt (optimalt) at skyde via pladen, og som sidste led i mit projekt: en eksperimentel efterprøvning af teorien.



Der er netop fire variable, som vi må kende for at

kunne regne på skuddet:

- 1) skudvinklen mellem vandret og boldens bane kaldet θ_0 .
- 2) farten bolden har, når den sendes af sted kaldet v_{skud} .
- 3) hastigheden hvormed bolden roterer om sin egen akse kaldet ω_{bold} .
- 4) boldens placering i skudmomentet bestående af $(h;L;B)$, hvor h er højden over gulvet, L afstanden fra centerlinien, og B afstanden fra linien, der går gennem midten af kurven, og står ortogonalt på centerlinien.



θ_0 og v_{skud} fastlægger boldens bane, men man behøver tre variable for at bestemme boldens bane i rummet. Planen som specialtilfælde er vist på figuren oven for. Det er klart, at man, når man står ortogonalt på pladen (altså på Y-aksen), kan skyde via pladen, og stadig kun bruge to variable. Så snart vi dog bevæger os ud ad X-aksen, har vi brug for endnu en variabel. Dette problem løses ved

at beskrive punktet på pladen, $P(A;B)$, hvor bolden rammer. Der er kun én mulig bane, bolden kan bevæge sig hen til $P(A;B)$, når θ_0 og v_{skud} er fastlagte.

De to størrelser, der er at bestemme gennem eksperimenter, vil alle blive udført med videokamera med tilhørende analyseprogram, basketballrekvisitter og tre til fem elitespillere.

Bestemmelse af boldens rotationshastighed:

I basketball ønsker man en bagudrettet rotation, som kaldes backspin. Jeg ønsker at bestemme hastigheden af en basketbolds rotation under et almindeligt skud. Bolden opnår sin rotation pga. strækket spilleren foretager i håndledet til slut i skuddet – benene tilføjer kun kraft til skuddet. Man kan derfor lægge en spiller på ryggen, og bede ham skyde direkte op i luften med samme arm- og håndbevægelser som i sit almindelige skud. Der vælges en almindelig orangefarvet bold, hvorpå der sættes et hvidt mærke. Bolden bliver så filmet under skuddet, og man kan derefter måle rotationshastigheden. I basketball ønskes det kun, at boldens rotation er omkring en vandret akse, og at rotationen er rettet direkte tilbage mod skytten⁴.

Undersøgelse af det uelastiske sammenstød mellem bold og plade:

Det Internationale Basketball Forbund (FIBA) har fastsat en række krav til boldens størrelse, dens vægt, banens dimensioner, og en række andre forhold. Dog er der ikke fastsat noget krav til hårdheden af pladens materiale - pladen må ifølge FIBA være fremstillet i et hvilket som helst materiale, blot den har de korrekte mål.

For at gøre mit projekt mere lig virkeligheden er det derfor vigtigt at finde en kurv, der på bedst mulige måde opfylder de krav, som FIBA specificerer, at gennemføre min eksperimentelle del på. Langt de fleste plader er lavet i plexiglas eller træ, og jeg vil derfor måle på tre af hver type. Skulle det vise sig, at der er meget stor afvigelse i resultaterne på de forskellige typer plader af samme materiale, må jeg måle på mere end tre eller sætte strammere krav til udvalget af pladerne. FIBA fastsætter, at bolden sluppet fra 1.800 mm skal springe tilbage i en højde mellem 1.200 mm og 1.400 mm efter at have ramt gulvet.

Da gulvet absorberer mindre impuls end pladen, vil det betyde, at vi skal regne sammenstødet mellem bold og plade som uelastisk. Den impuls, som stativet, som pladen er ophængt i absorberer, kan der under skud ses bort fra. Vi kan da måle boldens impulstab ved at montere en plade vandret på en måde, så dens absorberingsevne ikke ændrer sig i forhold til, at den havde været ophængt som sædvanligt. Der findes transportable kurve, der kan lægges ned, hvorfor de ville egne sig perfekt til brug i dette forsøg. Desværre plejer de dog ikke at ligne ”rigtige” plader, idet de ofte er mindre eller for bløde/hårde. Hvis dette skulle være tilfældet kan de naturligvis ikke bruges til mit eksperiment. Vi kan let finde impulstabt udfra mekanikkens læresætning:

⁴ Dette gælder ikke i en lay-up situation, hvor man befinder sig meget tæt på kurven, og kan benytte andre rotationer til at styre bolden. Nærmere forklaret i artiklen af Peter J. Brancazio.

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h \text{ og } E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \text{ og } E_{\text{mek}} = E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}}$$

$$v_1 : m \cdot g \cdot h_{\text{sluppet}} + 0 = 0 + \frac{1}{2} m \cdot v_1^2 \Leftrightarrow v_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_{\text{sluppet}}}$$

$$v_2 : \frac{1}{2} m \cdot v_2^2 + 0 = 0 + m \cdot g \cdot h_{\text{tilbage}} \Leftrightarrow v_2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_{\text{tilbage}}}$$

$$\rho = m \cdot v, \Delta\rho = m \cdot (v_1 - v_2) = m \cdot \left(\sqrt{2 \cdot g \cdot h_{\text{sluppet}}} - \sqrt{2 \cdot g \cdot h_{\text{tilbage}}} \right) \Leftrightarrow$$

$$\Delta\rho = m \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot \left(\sqrt{h_{\text{sluppet}}} - \sqrt{h_{\text{tilbage}}} \right)$$

Hvor m er boldens masse, g er tyngdeaccelerationen, v_1 er farten lige før bolden rammer pladen, v_2 er farten lige efter bolden har ramt pladen og h_{sluppet} og h_{tilbage} , som det fremgår af figuren nedenfor.



Når man så kender boldens impulstab og dens rotations hastighed, kan vi ved beregninger forudsige, hvordan bolden vil ændre sin retning, når den rammer pladen i et skudforsøg.

Skulle det ikke være muligt at finde en plade, der kan lægges ned, så har jeg tænkt mig at filme sammenstødet fra siden. Man bør skyde bolden som normalt (hastighed og rotation) for at undgå, at bolden og pladen deformeres mere eller mindre, end hvad der er realistisk. Da vi kender boldens rotation, kan vi beregne, hvordan bolden ville ændre retning, såfremt der ikke var et impulstab. Ved at betragte forskellen på vores teoretiske beregninger, og det i praksis målte, kan vi finde impulstabet. Førstnævnte metode ville dog være lettere, da vi isolerer den størrelse, vi vil bestemme i stedet for at skulle modregne rotationen.

Bestemmelse af luftmodstand:

Vi bruger følgende formel til at beregne luftmodstanden på bolden:

$$F = \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot \rho \cdot A \cdot v_{\text{skud}}^2$$

Hvor c_w er en konstant, ρ er luftens densitet, A er arealet af den flade, der fremkommer ved et snit gennem boldens centrum, og v_{skud} er boldens fart. Samme formel valgte Brancazio at bruge, og vi skal da blot bestemme formfaktoren c_w . Brancazio henviser til en metode af Parker til

eksperimentelt at bestemme c_w på et projektil. Jeg har endnu ikke haft mulighed for at studere denne metode, og er derfor ikke sikker på, hvordan jeg skal designe mit forsøg.

Det er vigtigt, at bolden har en realistisk rotation, når vi bestemmer c_w . Vi ved bl.a. fra fodbold og volleyball, at boldens rotation kan have afgørende indflydelse på luftens bevægelse omkring den, hvilket vi ser på baneændringen.

En måde at bestemme luftmodstanden på bolden ville være at skyde bolden mod kurven, som man ellers ville gøre det, da man så har den realistiske rotationen. Man kan da bestemme v_{skud} , og på den måde bestemme boldens teoretiske bane i et vakuum. Ved at sammenligne boldens reelle bane med den teoretiske kan luftmodstanden bestemmes.

Efter at have udført ovenstående forsøg, er jeg klar til at regne på boldens bevægelser i de ønskede situationer. De numeriske resultater efterprøves ved at sammenligne med virkeligheden. Jeg forestiller mig, at jeg vil filme et sted mellem 100 og 200 skud, som analyseres ved hjælp af VIANA. Nogle af skudene vil gå i kurven, mens andre vil ramme ved siden af. Man kan undersøge, om de skud der går i kurven, opfylder de fra teorien fundne krav til optimal vinkel og kraft.

Apparatur:

Da jeg til min eksperimentelle del af projektet skal bruge noget udstyr, er mit budget som følger:

- 1) Afgørende for videokameraet er det, at det er digitalt, så jeg lettest muligt kan få det filmede over på computeren. Stort set alle kameraer er digitale, så dette indskrænker ikke udvalget væsentligt. Et kamera optager 25 billeder i sekundet, men afgørende for skarpheden af dette billede er lukketiden. Lukketiden er den tid, hvori kameraet indsamler lys til hvert enkelt billede. Jo større lukketid, jo uskarpere bliver hurtige bevægelser, da objekter når at bevæge sig inden kameraet har indsamlet lyset. En mindre lukketid betyder derfor et skarpere billede, men også behov for mere lys. Det er derfor vigtigt, at lukketiden på kameraet kan indstilles tilstrækkelig lavt, og man må da eventuelt anskaffe en ekstra lyskilde. Ved eksperimenter hos forhandlere af kameraer, er jeg nået frem til, at en lukketid på 1/2000 sekund eller mindre vil være tilfredsstillende. Et sådan kamera kan i Danmark erhverves for omkring kr. 6.000, mens det dog er muligt at købe det selv samme i Tyskland for omkring kr. 5.000. Til dette kommer DV videobånd, og et kamerastativ. Programmet jeg skal bruge for at udføre min analyse på computeren hedder VIANA (VIdeo ANAlyse), og er gratis. Programmet virker dog kun optimalt, når kontrasten mellem farverne i optagelserne er tilstrækkelig stor. Normalt burde dette ikke være et problem, men hvis optagelser bliver for mørke på grund af den lave lukketid, kan det være nødvendigt at anskaffe en ekstra lyskilde.
- 2) For at få det filmede over på computeren kræves der en Firewire indgang, som kan fås i form af et udvidelseskort til kr. 245.

Der vil altså blive brugt omkring kr. 6.000-7.000 på teknisk udstyr. Dette betyder, at der er mulighed for at tilfredsstille uforudsete tekniske behov – fx flere videobånd, ekstra lyskilde m.m.

Når først jeg har de fornødne færdigheder, vil resten af den eksperimentelle del være anvendelse og sammentænkning af det lærte, måling af konstanter og efterprøvning af teori. Jeg vil regne med, at det tager 20 timer at beregne, 20 timer at bestemme størrelser (måling og videoanalyse) og 50 timer (200 skud a 15 minutter) at efterprøve teorien. Altså omkring 90 timer.

Jeg har svært ved at forestille mig, hvor lang tid det vil tage at tilegne mig de færdigheder, jeg har brug for for at kunne regne på boldens bane. Dette skyldes dels, at jeg ikke har den store erfaring med at læse i universitetsbøger, dels at jeg på nuværende tidspunkt ikke ved, hvor mange sider jeg skal læse. Da jeg sikkert skal regne mange opgaver for at forstå indholdet af teksten, vil det nok tage mig et sted mellem 50 og 60 timer at lære. Det samlede tidsforbrug kommer derved op på omkring 150 timer – dertil kommer evt. konsultationer med Poul Hjorth.

Referencer:

Lærebøger og andre kilder:

J. M. Knudsen og P. G. Hjorth (2000): Elements of Newtonian Mechanics, Third Edition.
Om Dr. James Naismith: <http://www.ku.edu/heritage/graphics/people/naismith.html>

Foreliggende forskning:

Peter J. Brancazio, Am. J. Phys., Vol. 49, No.4, April 1981
G. W. Parker, Am. J. Phys., Vol. 45, 606 (1977)

Vejleder:

Poul Georg Hjorth: <http://www.mat.dtu.dk/people/P.G.Hjorth/briefcv.html>

FIBAs standarder:

FIBA Basketball Equipment Appendix 2000 artikel 2, 3 og 7. se
http://www.fiba.com/general/fiba/rules/PDF/App_Equip_E.pdf

Apparatur:

Digitalt videokamera, fx Canon 600, 600i, 630i eller 650i:

Specifikationer: http://www.canon.dk/bodyframes/attachment/D73_sj_dnk_dnk_lr_19mrt03.pdf

Priser: <http://www.itbutikken.dk/default.asp> [klik på "kamera-video" og så "Canon"]

Firewire: <http://www.zitech.dk/Product/Details.aspx?ID=3511>

Videoanalyseprogram: <http://agnes.dida.physik.uni-essen.de/viana/>