

Het effect van een voetbal

Eigen onderzoek natuurkunde: Magnus effect



Maart 2000

**Hans Slender
Cees Oskam**

Inhoudsopgave

INHOUDSOPGAVE	2
INLEIDING	3
1. THEORIE	4
1.1 HET SCHIETEN VAN EEN BAL	4
1.2 HEINRICH GUSTAV MAGNUS	4
1.3 HET MAGNUS EFFECT	5
1.4 TOEPASSINGEN VAN HET MAGNUS EFFECT	6
1.5 HET RAKEN VAN DE BAL	6
1.6 SAMENVATTING	7
2. TESTEXPERIMENTEN	8
2.1 DE EERSTE TESTFASE	8
2.2 DE VALLENDE CILINDER	8
2.3 VOETBALLEN	9
2.4 CONCLUSIE	9
3. ONTWERPEN	10
3.1 HET SIMULEREN VAN HET MAGNUS EFFECT	10
3.2 DE EERSTE ONTWERPEN	10
3.3 ONTWERPEN VERGELEKEN	11
3.4 HET TWEEDE ONTWERP	11
4. DE UITVOERING VAN DE EXPERIMENTEN	13
4.1 INLEIDING	13
4.2 RESULTATEN	14
5. CONCLUSIE	16
6. DISCUSSIE	17
7. ANALYSE	18
8. BRONVERMELDING	18
9. WERKPLAN	20
BIJLAGE	21

Inleiding

Het komt regelmatig voorbij bij het zien van een voetbalwedstrijd op tv, en als je zelf een bal schiet gebeurt het wel ook eens: een bal met veel effect schieten. Als je veel voetbalt, gaat het je steeds beter af, je leert hoe je de bal moet raken om meer effect te geven. Je leert door ervaring, want hoe het precies werkt heb je geen idee van. Want, waarom krijgt een bal effect? En waar moet je de bal raken om het meeste effect te kunnen geven? En krijgt de ene bal meer effect dan de andere? Tijdens dit onderzoek hebben we geprobeerd om deze vragen te beantwoorden.

Om tot de beste resultaten te komen wouden we bij dit onderzoek zo systematisch mogelijk te werk gaan. Daarom hebben we eerst besloten om veel literatuur op te zoeken en door te werken, om zo veel mogelijk over het onderwerp te weten te komen. Die kennis hebben we vervolgens gebruikt bij het ontwerpen van een soort machine die het schieten van een bal simuleert. Om er zeker van te zijn of we met dat ontwerp kans hebben op goede resultaten, hebben we nog een testexperiment uitgevoerd. Vervolgens kwam het bouwen van de machine en het uitvoeren van de proeven. Als resultaat daaruit is dit verslag ontstaan.

Dit verslag bevat alle fases van ons onderzoek beschreven. Vervolgens staan hier de uitwerkingen van de door ons uitgevoerde proeven en de daarbij behorende conclusies. Dit alles wordt in dit verslag chronologisch weergegeven, dus in dezelfde volgorde als dat we alle onderdelen uitgevoerd hebben. We hopen daarmee dat we de onderzoeksvragen naar behoren hebben kunnen beantwoorden, zodat de volgende keer als ik een bal met effect wil schoppen, ik niet gok waar ik hem moet raken, maar dat ik weet waar ik hem moet raken.

1. Theorie

1.1 Het schieten van een bal

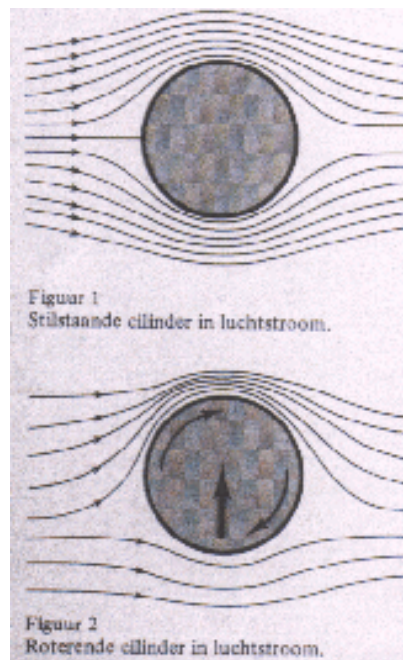
Tijdens het voetballen, kom je er zelf wel ongeveer achter wanneer een bal wel effect krijgt en wanneer niet. Je ziet dat als je de bal precies in het midden raakt, hij soms wel een beetje gaat zwabberen in de lucht, maar om nou te zeggen dat hij effect naar één kant krijgt, nee. Het effect dat wij met ons onderzoek voor ogen hebben is: dat je de bal in een bepaalde richting schiet, en dat hij vervolgens door een draaiing van de richting ergens anders terecht komt. Zo schiet je hem bijvoorbeeld in eerste instantie richting een paal rechts voor je, en dan komt hij terecht bij een paal links voor je. Je ziet dat als je de bal op die manier raakt, hij om zijn as draait, als je rechtdoor schiet hangt de bal meestal stil in de lucht, dus de kans is groot dat deze rotatie om zijn eigen as iets met het effect te maken heeft. Er bestaat een natuurkundige theorie die met deze waarnemingen rekening houdt, en dat is de theorie van Heinrich Gustav Magnus.

1.2 Heinrich Gustav Magnus

In 1672 was het Newton die voor het eerst beseftte dat de baan van een vliegend projectiel werd beïnvloed door rotatie. In 1742 was het Robins die er een kracht heerste loodrecht op de richting van het projectiel, die er voor zorgde dat de baan van het voorwerp van richting



veranderde. Daarom wordt het Magnus effect ook wel eens aangeduid als het Robins effect. Maar de eerste die echt krediet kreeg voor het verklaren van de baan van een afgevuurde bal was Magnus. Dit werd beschreven door Lord Rayleigh. Rayleigh gaf aan dat Magnus als eerste had bewezen dat de afwijking van een bal afhankelijk was van de snelheid en de hoeveelheid spin van een bal. Magnus was een Duits technoloog, die zijn proeven vooral deed met cilinders en niet met ballen, maar bij een bal kwamen de resultaten op hetzelfde neer.



1.3 Het Magnus effect

Maar wat is nu precies de theorie van Magnus? Hij formuleerde het zo: 'een cilinder of bol, draaiend in een gas- of vloeistofstroom, ondervindt een kracht loodrecht op die stroom'. Dit betekent dus dat als een bal draait in de lucht, dan ondervindt die bal een kracht loodrecht op de richting waarin hij gaat, en zal hij dus gaan afwijken. Het principe staat hierboven afgebeeld. In figuur 1 is een cilinder getekend, geplaatst in een evenwijdige luchtstroom naar rechts. In dit geval zal de luchtdruk boven en onder de cilinder gelijk zijn. Op de cilinder werkt geen kracht loodrecht op de stroomrichting. In figuur 2 wordt de cilinder in rotatie gebracht. Dit heeft tot gevolg dat de deeltjes die boven passeren door de draaiende beweging worden meegetrokken, als gevolg van de wrijving. De deeltjes die aan de onderkant van de cilinder passeren worden in hun beweging geremd. Dit heeft als gevolg dat de stroming rond de cilinder verandert, zoals in het plaatje te zien is. Lucht kiest altijd de weg van de minste weerstand, en daardoor zal er nu meer lucht bovenlangs gaan, en minder lucht onderlangs. Daardoor is de cilinder niet meer in balans, de cilinder krijgt een reactiekracht naar boven om deze onbalans weer teniet te doen. Dat komt door de natuurkundige regel, dat waar de lucht het snelst stroomt, de luchtdruk het laagst is. Aan de onderkant van de cilinder is er een hogere luchtdruk dan aan de bovenkant. Als gevolg hiervan ontstaat er een stuwkracht loodrecht op de stroomrichting. Dit alles is ook

van toepassing op een bal die roterend wordt weggeschoten. Ook bij die bal zal er een kracht ontstaan loodrecht op de richting van de rotatie. Het Magnus effect is dus hetzelfde als wat in voetbaltermen gewoon effect wordt genoemd. Ook de topspin van een tennisbal werkt op een soortgelijke manier.

1.4 Toepassingen van het Magnus effect

De meest gebruikte toepassing van het Magnus effect is in de sport. Bij vele sporten speelt het Magnus effect een rol. Bij voetbal om de bal een curve te geven om de muur heen. Bij tennis topspin, om de bal vlak voor de achterlijn plotseling weer naar beneden te laten komen. Bij tafeltennis wordt ditzelfde principe gebruikt. Of de bal vlak over het net leggen, door de bal een effect te geven waardoor hij terug gaat draaien. Maar volgens dit principe is vroeger ook een roterschip gebouwd, dat door zijwind voorwaarts gestuwd kon worden. Op het dek wentelden een paar torenachtige cilinders, die door dieselmotoren worden aangedreven en zo draaien om hun verticale as. Komt de wind van de zijkant, bij een juiste draairichting van de cilinders, dan krijgt het schip een stuwkracht vooruit. Wij gaan echter alleen het effect bij een voetbal bestuderen. De hele theorie gaat er van uit dat hoe meer spin de bal heeft, hoe meer afwijking de bal krijgt. Maar dan blijft de vraag, hoe krijgt de bal spin?

1.5 Het raken van de bal

Het allerbelangrijkste bij het schieten van de bal is, waar raak je de bal. Er zijn duizenden verschillende manieren waarop je de bal kan raken. Je kan de stand van je been veranderen, of de stand van je voet. Maar het allerbelangrijkste is de plaats waar je de bal raakt. Op de tekening hierboven zijn verschillende gebieden aangegeven waar je de bal kan raken.

1. Precies in het midden, de bal krijgt geen spin, maar gaat wel zwabberen in de lucht. De Amerikanen noemen dit een knuckle ball.
2. Iets boven het midden, de bal krijgt geen spin, maar gaat glijden over de grond.
3. Bovenkant van de bal, de bal krijgt geen spin, maar gaat rollen/stuiteren over de grond.
4. Aan de linkerkant van de bal, de bal krijgt een spin rechtsom, en hij wijkt af naar rechts.
5. Aan de rechterkant van de bal, de bal krijgt een spin linksom, en hij wijkt af naar links.
6. Onderkant van de bal, de bal gaat omhoog.

Voor ons onderzoek zijn vooral nummer 4 en 5 belangrijk, dat is Magnus effect naar links of naar rechts. Als je op die plaatsen de bal raakt, gaat hij roteren, waardoor hij een afwijking krijgt. Het hangt ervan af hoever naar links en rechts je de bal raakt hoeveel die afwijking bedraagt. Je kunt de bal ook niet te ver aan de zijkant raken, want dan gaat de bal op zijn plaats roteren, zonder dat hij nog voorwaartse snelheid krijgt. Ook is de snelheid die je de bal meegeeft belangrijk, hoe groter de snelheid, hoe groter de afwijking. Zo is in theorie verklaard waarom de bal effect krijgt. Maar kloppen al deze theorieën en zo ja, waar is de grens, waar krijg je het meeste effect?

1.6 Samenvatting

Kort en schematisch komt het er op neer dat het Magnus effect een afwijking veroorzaakt bij het schieten van een bal. Dit effect is afhankelijk van het gewicht van de bal, de omgeving waarin de bal zich bevindt (gas of vloeistof), de oppervlakte van de bal, de snelheid waarmee de bal om zijn eigen as draait (spin) en de snelheid van de bal (in wat voor stroming de bal zich bevindt). Bij het schieten van een bal zijn alleen de snelheid van de bal en de hoeveelheid spin variabel. Dat zijn dan ook de twee zaken die wij willen onderzoeken. De hoeveelheid spin is afhankelijk van de plaats waar je de bal raakt. Dus moeten gaan wij onderzoeken, waar je de bal moet raken om het meeste effect te geven.

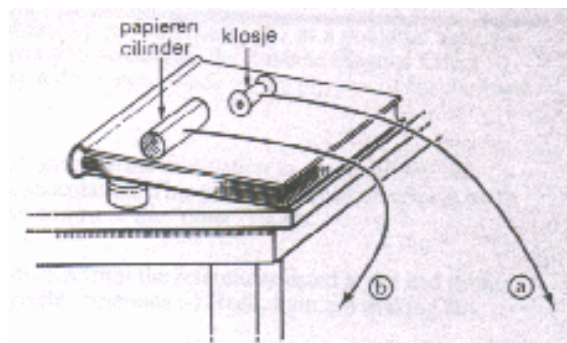
2. Testexperimenten

2.1 De eerste testfase

Om te kunnen beginnen met het ontwerpen van een constructie om experimenten rondom het Magnus effect te kunnen uitvoeren, moet je eerst weten wat het Magnus effect in praktijk inhoudt. We hebben de theorie inmiddels door gekeken, maar werkt het in praktijk wel precies zo als in theorie? Daarom hebben we eerst een paar kleine experimenten gedaan, zodat we zeker wisten dat we weten waar we mee bezig zijn. We hebben eerst een proef van Heinrich Gustav Magnus zelf gedaan, en later zelf wat testjes met een voetbal gedaan.

2.2 De vallende cilinder

Men neme een stuk papier, rondgevouwen in de vorm van een cilinder. De doorsnede moet zo'n vijf tot tien centimeter zijn. En men neme een klosje. Vervolgens laten we beide van een schuin op tafel liggend boek afrollen.



Duidelijk te zien is het gevolg van het Magnus effect, beide cilinders worden van hun originele lijn afgebogen. Het effect is echter veel duidelijker af te lezen bij de papieren cilinder dan bij het klosje. Dit is het gevolg van het feit dat het klosje veel zwaarder is, en dus niet zo snel is af te buigen is als de papieren cilinder. Hiermee klopt dus de theorie dat het Magnus effect afhankelijk is van het gewicht van de bal (hier cilinder). En ook is het hier duidelijk dat het Magnus effect optreedt, aangezien vooral bij de papieren cilinder de afwijking heel erg duidelijk is waar te nemen.

2.3 Voetballen

We hebben ook even geprobeerd om na te gaan wat het Magnus effect inhoudt op het voetbalveld zelf. We hebben simpelweg nagegaan, of de verschillende plaatsten van de bal raken, inderdaad tot gevolg hebben wat de theorie aangeeft. Sommige verschillen waren moeilijk waar te nemen, zoals het verschil tussen schuiven en rollen van de bal. Ook de knuckle-ball was moeilijk waar te nemen. Het Magnus effect was echter zo duidelijk als wat. Of je de bal nou met de binnenkant, buitenkant of wreef raakt, zolang je de bal aan de zijkant raakt geef je hem effect mee. Ook werd duidelijk dat als je de bal op de grens van twee gebieden raakt, ze beide gebeuren. Raak je de bal dus linksonder, dan gaat hij met effect, en hij gaat de lucht in. Ook werd duidelijk dat je de bal niet te ver aan de zijkant moet raken, omdat hij dan wel gaat spinnen, maar gewoon op de plek blijft liggen. Dus, de theorie klopt.

2.4 Conclusie

Bij de test met de cilinder hebben we kunnen zien dat het Magnus-effect wel degelijk optreedt. Vooral omdat dit een proef was die Magnus zelf ook uitvoerde om tot zijn theorie te komen. Deze proef gaf ons inzicht in de wijze waarop Magnus zijn theorie opstelde, waardoor je hem zelf ook beter gaat begrijpen. De proef met de voetbal gaf ons inzicht in hoe we de metingen het best konden gaan uitvoeren. Deze test lag al heel dicht bij ons uiteindelijke experiment. Waardoor we zeker wisten dat ons experiment kans van slagen heeft.

3. Ontwerpen

3.1 Het simuleren van het Magnus effect

Om te kunnen meten hoeveel effect een bal meekrijgt zal je het schieten, stoten, of op wat voor manier dan ook effect meegeven van een bal moeten simuleren. Wij hadden als doel voor ogen een constructie te bouwen die de bal in beweging zet, zodat de bal telkens even veel snelheid meekrijgt. Dit zorgt er voor dat de metingen goed te vergelijken zijn. Als eerste moet je dan goed bedenken wat de constructie allemaal teweeg moet brengen. Ten eerste moet hij de bal een verstelbare hoeveelheid effect meegeven, hij moet de bal telkens evenveel vaart meegeven, de resultaten moeten goed te meten zijn, en de uitvoering moet binnen onze mogelijkheden liggen. Vervolgens zijn we gaan brainstormen, om te kijken wat voor machines we allemaal konden verzinnen. Daar kwamen in eerste instantie de volgende ontwerpen uit:

3.2 De eerste ontwerpen

Tekeningen van de volgende drie ontwerpen zijn op de komende bladzijden te bekijken.

1. Het idee van deze constructie berust op het feit dat als je een bal al draaiende loslaat, hij dan weg stuitert door de spin die de bal heeft meegekregen. De bal moet geklemd worden tussen twee ijzeren staven, die op een redelijke afstand van de grond zijn geplaatst. Vervolgens wordt de bal spin meegegeven door simpelweg aan het wiel te draaien. Als de bal snel genoeg draait kan je de ene ijzeren staaf wegtrekken, waarna de bal naar draaiend naar beneden valt. Op het moment dat hij de grond raakt, zal hij al stuitend zijn weg vervolgen. Je kunt dan meten of de bal verder weg stuitert naarmate je de snelheid van de rotaties opvoert.
2. Het idee van deze opstelling berust op de biljartsport. In deze sport wordt de bal altijd veel effect meegegeven. Dit valt simpel na te bootsen, ook met een voetbal. Je neemt een blok, met daarin verschillende gaten, waar je een biljartkeu door kan steken. Vervolgens stoot je de bal, waardoor de keu de bal raakt waar jij dat wilt. De bal gaat vervolgens roteren, net zoals je tegen een voetbal schopt. Je kunt de afwijking van de bal meten, door te kijken waar hij terecht komt.
3. Bij dit model wordt het schoppen van een voetbal gesimuleerd. Door een voetbalschoen te gebruiken als een soort slinger, die telkens evenveel vaart meekrijgt, kan je met een schoen tegen de bal 'trappen'. Je kunt zelf kijken waar je de bal wilt raken, waardoor de bal voorwaartse snelheid en spin krijgt. Je kunt dan net als bij het tweede ontwerp meten hoever de bal van zijn originele baan afgeweken is.

Deze constructies zijn alledrie technisch en financieel haalbaar voor ons, aangezien de enige benodigdheden wat ijzer en wat hout zijn, daar valt wel aan te komen. We hadden nog wel meer ideeën (met bijvoorbeeld perslucht) maar daar hebben we al geen ontwerpen van gemaakt, omdat dat voor ons niet haalbaar was.

3.3 Ontwerpen vergeleken

Nu is het de grote vraag welk van deze ontwerpen we verder gaan uitwerken om er vervolgens proeven mee te gaan uitvoeren. Daarvoor hebben we de voors en tegens tegen elkaar uitgezet, en vervolgens bekeken welke opstelling als beste uit de vergelijking komt.

1. Deze heeft als voordeel dat de meting vrij gemakkelijk en precies te doen zijn, in vergelijking met de andere twee opstellingen. Ook is het mogelijk om de snelheid van de rotaties vrij redelijk te benaderen, wat met beide andere ontwerpen eigenlijk onmogelijk is. Nadelen zijn dat je niet echt het bedoelde effect meet. Je simuleert niet het trappen van een voetbal, en dus is het niet echt de soort meting waar we naar op zoek zijn. En de machine is ook nog eens vrij ingewikkeld te maken, aangezien het moeilijk is om de bal te laten zitten tussen twee losse ijzeren staven.
2. Voordeel is dat er gemakkelijk veel effect mee te geven is aan de bal. Het is echter niet mogelijk om de rotaties van de bal te meten. Maar het grootste nadeel is dat je de bal niet telkens evenveel snelheid kan meegeven, aangezien je moet stoten. Hierdoor zal het moeilijk worden om de metingen te kunnen vergelijken.
3. Deze proef heeft veelal dezelfde voors en tegens als het tweede ontwerp, behalve dan dat deze wel degelijk ongeveer even hard schopt tegen de bal. Dat komt omdat de snelheid van de schoen afhankelijk is van de zwaartekracht. Dit is wel een zeer belangrijk punt. Verder is dit ook het ontwerp dat het meest in de buurt komt van het daadwerkelijk schoppen van de bal. Omdat het schoppen daadwerkelijk gesimuleerd wordt zal het makkelijker zijn om de conclusies op de sport zelf toe te passen dan bij andere ontwerpen.

Volgens deze vergelijking komt het derde ontwerp als beste uit de bus. Toch zaten er enkele nadelen aan, die we proberen met een tweede ontwerp er zoveel mogelijk uit te halen.

3.4 Het tweede ontwerp

Aan het eerste ontwerp moesten enkele dingen veranderd worden. Er moest gewerkt worden aan de stabiliteit van de constructie. De schoen moest verstelbaar worden, zodat je de bal op verschillende manieren kan raken. Er moest een manier gevonden worden, waarop we makkelijker konden meten wat de afwijking was. En natuurlijk moesten we bekijken hoe zwaar de schoen moest zijn om de bal genoeg vaart mee te geven. Al deze problemen waren best op te lossen. Het enige probleem waar we geen oplossing voor konden vinden was de snelheid van de rotaties van de bal meten. Daarom waren we genoodzaakt om dat buiten beschouwing te laten.

Als eerste berekenen we hoe zwaar de schoen moet zijn om de bal ver genoeg weg te schoppen. Dat is nodig om te weten of we de schoen wel of niet moeten verzwaren. Ik ga er hierbij vanuit dat 25 meter wegschieten van de bal ver genoeg, gewoon omdat de meeste schoten tijdens een voetbalwedstrijd vanaf minder dan 25 meter afstand zijn. Om een bal effect mee te geven hoeft deze niet de lucht in te gaan, zoals we in de theorie al zijn tegengekomen. Je raakt de bal aan de zijkant om hem effect mee te geven, dan is het niet noodzakelijk dat de

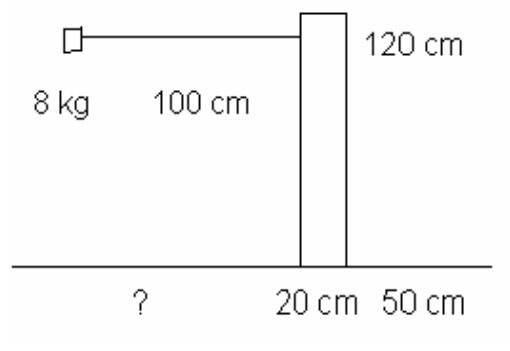
bal ook nog door de lucht gaat. Als de bal met volle snelheid het doel wil bereiken, dan zal de totale afstand die hij aflegt 50 meter moeten zijn. Een gemiddelde voetballer die een pass geeft doet dat ongeveer met 50 km per uur (testen met een snelheidsmeter en een voetbal wijzen dit uit). Dat betekent dus dat de gemiddelde snelheid tijdens de baan van het schot op ongeveer 25 km per uur ligt. Het gewicht van een voetbal is ongeveer een halve kilo. De energie die dan nodig is voor zo'n schot is

$$0,5 \cdot m \cdot (v \cdot v) = 0,5 \cdot 0,5 \cdot 625 = 156 \text{ J}$$

Dit moet dus gelijk zijn aan de energie die de slinger heeft. De slinger is ongeveer een meter lang, wat dus betekent dat hij een slingering van twee meter maakt, aangezien je hem van helemaal boven, tot helemaal beneden een draaiing van 180 graden laat maken. Moer een slingering telt

$$m \cdot g \cdot h = E \quad m \cdot g \cdot h = 156 \quad m \cdot 10 \cdot 2 = 156 \quad m = 8 \text{ kg}$$

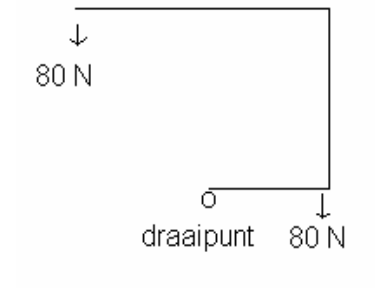
De slinger zal dus ongeveer 8 kg moeten zijn. Dit is wel haalbaar, omdat alleen de ijzeren staaf al een paar kilogram weegt, dan hoef je hem helemaal niet zo erg meer te verzwaren om



tot het gewenste resultaat te komen.

Het volgende probleem is stabiliteit. Deconstructie staat onder een best wel zware last, aangezien er een slinger van 8 kg aan trekt. Het is natuurlijk niet de bedoeling dat hij omvalt, daarom zal je zeker moeten zijn dat de constructie stabiel genoeg is. De constructie is als volgt schematisch weer te geven.

De hoogte is 120 cm omdat de slinger 100 cm is en de constructie natuurlijk nog iets groter moet zijn aangezien de schoen niet over de grond mag slepen. Aan de voorkant mag de constructie niet langer dan een halve meter uitsteken, omdat hij anders de bal hindert. Op de plaats van de schoen is er een kracht van 80 N naar beneden. Het draaipunt zit in het vraagteken.



Als het draaipunt precies in het midden zit, en dus het vraagteken 50 cm is, dan is er evenwicht. Aangezien de constructie zelf ook nog een redelijk gewicht heeft, loop je dus het risico van omvallen volledig mis, als je de constructie verstevigt met een latje van ongeveer 50 cm. Op deze manier is een evenwichtige constructie dus gewaarborgd.

De problemen die nog overblijven, van de meetbaarheid en de verstelbare schoen, zijn makkelijk op te lossen. De meetbaarheid verhoog je zeer, als je alles op camera (videocamera of digitale fotocamera) opneemt, waarna je alles nog eens rustig kunt analyseren en stilzetten. Dan kan je er zeker van zijn dat je het goed afleest. De verstelbare schoen is in de tweede tekening te zien hoe dat ongeveer is op te lossen. Uiteindelijk hebben we het opgelost door een houten constructie onder aan de ijzeren staaf, die verstelbaar was met een schroef die er doorheen geschroefd was. De schoen was dus niet rechtstreeks aan de staaf bevestigd, maar vis twee dwarshouten (in de tekening in dezelfde kleur als het ijzer) die door een schroef te verschuiven waren, en die waren weer bevestigd aan de schoen. Dit alles lijdt tot ons uiteindelijke ontwerp dat op de volgende twee pagina's staat afgebeeld.

4. De uitvoering van de experimenten

4.1 Inleiding

Nu het ontwerp is afgerond kan het uitvoeren van de experimenten beginnen. Belangrijk is om de bal precies midden onder de constructie te leggen, zodat je bij de metingen van het effect de goede afwijking te kunnen noteren. Daarom hebben we eerst een streepje gezet, waar we de bal precies neer moeten leggen. Om dit te controleren hebben we de bal vervolgens door middel van de slinger een schop gegeven. De afwijking was minimaal (helemaal rechtdoor gaat hij nooit, onder andere door de oneffenheden in het veld), we konden dus concluderen dat we het middelpunt gevonden hadden. Nu konden we gaan beginnen met het verschuiven van de slinger zodat hij de bal meer aan de zijkant begon te raken. Het experiment kon beginnen.

4.2 Resultaten

Dutchy bal

Plek waar je de bal raakt vanuit het midden (cm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Afwijking 1e	3	16	41	62	83	104	126	150	-
Afwijking 2e	3	20	45	65	81	101	123	154	-
Afwijking 3e	5	19	43	64	84	106	124	147	-
Gemiddelde	3.6	18.3	43	63.7	82.7	103.6	124.3	150.3	-

Aera bal

Plek waar je de bal raakt vanuit het midden (cm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Afwijking 1e	4	17	39	61	81	101	127	149	-
Afwijking 2e	3	18	42	64	85	104	125	153	-
Afwijking 3e	5	23	40	62	82	103	123	147	-
Gemiddelde	4	19.3	40.3	62.3	82.7	102.7	125	149.7	-

Umbro bal

Plek waar je de bal raakt vanuit het midden (cm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Afwijking 1e	5	21	40	63	82	108	126	152	-
Afwijking 2e	3	19	38	61	85	105	124	154	-
Afwijking 3e	5	22	41	58	79	110	127	148	-
Gemiddelde	4.3	20.7	39.7	60.7	82	107.7	125.7	151.3	-

Adidas bal

Plek waar je de bal raakt vanuit het midden (cm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Afwijking 1e	3	22	41	63	81	104	125	147	-
Afwijking 2e	6	24	39	63	83	106	123	152	-
Afwijking 3e	7	20	43	59	86	109	128	150	-
Gemiddelde	5.3	22	41	61.7	83.3	106.3	125.3	149.7	-

5. Conclusie

Naar het verrichten van de metingen kunnen we concluderen dat de theorie van Magnus klopt. Na het raken van de bal links of rechts van het centrum van de bal krijgt deze effect, waardoor hij niet rechtdoor gaat, maar steeds verder naar rechts of naar links. Dit gebeurt niet alleen als de bal door de lucht gaat, maar ook als de bal over de grond rolt. We kunnen uit de metingen eigenlijk alleen concluderen dat de bal meer effect krijgt wanneer je hem verder aan de zijkant van de bal raakt, maar je kunt tegelijkertijd ook zien dat de bal dan meer roteert. Hieruit kan je dus opmaken dat het optredende Magnus-effect inderdaad optreedt door een grotere of kleinere rotatiesnelheid.

De plek waar je de bal het best kan raken is zo'n 7 cm vanaf het midden, hier krijgt de bal het meeste effect. Als je hem verder van het midden raakt, dan gaat de bal op zijn plaats roteren, zonder dat de bal nog vooruit gaat. Het meeste effect dat wij de bal mee konden geven zorgde voor een afwijking van ongeveer 1,5 m. Volgens de theorie van Magnus zou de bal alleen maar meer effect kunnen krijgen als de bal meer snelheid krijgt, dat verklaart dat de schoten die je tijdens voetbalwedstrijden ziet soms nog meer effect krijgen.

Ook kan geconcludeerd worden dat het niet erg veel uitmaakt wat voor voetbal je gebruikt. Aangezien ballen aan veel regels moeten voldoen hebben ze allemaal ongeveer dezelfde omtrek en hetzelfde gewicht. Daardoor zijn er weinig verschillen te merken tussen het effect dat de verschillende ballen meekrijgen.

6. Discussie

Ondanks dat we ten alle tijden hebben geprobeerd om zo precies mogelijk te zijn bij het maken van de metingen, blijft dat altijd moeilijk. Er zijn bepaalde omstandigheden die het experiment beïnvloeden, die we niet hebben kunnen uitbannen.

Ten eerste is er de invloed van het weer. De wind is natuurlijk van grote invloed op de richting die een bal krijgt. Ondanks dat we een vrij zware voetbal gebruikten (en niet een lichte plastic bal) kan de wind de bal net een klein stukje opzij duwen. De grond kan hetzelfde effect hebben. Omdat het met deze opstelling niet mogelijk was om de bal de lucht in te krijgen (je kunt de schoen niet goed onder de bal krijgen) heeft de gesteldheid van de grond veel invloed op de bal. We hebben de proeven vooral op straat uitgevoerd, omdat in deze tijd van het jaar de velden er zeer slecht bij liggen, maar ook de straat is nooit precies recht. De bal kan van richting veranderd worden door een iets hoger gelegen steen, en ook de rotaties kunnen daardoor veranderen, waardoor de bal meer of minder effect krijgt. Deze twee omstandigheden kan je wel uitbannen, door het experiment in de zaal uit te voeren, maar die hadden wij ten tijde van het uitvoeren van de proeven niet tot onze beschikking.

Verder is het moeilijk om de bal precies recht onder de constructie te leggen, waardoor je precies weet waar je de bal raakt. We hebben dat opgelost door een streepje te zetten op de plaats waar de bal moest liggen, maar erg precies is dat niet. Ook zou de bal net een beetje kunnen weggrollen op het moment dat de slinger aan zijn slingering begonnen is. Dit komt de precisie van de meting niet ten goede.

Het moeilijkst te meten is wel de afwijking die de bal krijgt. De bal gaat door het effect met een bocht, maar die is nooit telkens hetzelfde. Je moet dus twee dingen in de gaten houden: de plaats waar de bal de grootste uitwijking heeft, en hoeveel die uitwijking op dat moment is. Aangezien beide met het blote oog waargenomen worden, kan dat niet op de millimeter nauwkeurig gebeuren. We hebben dat geprobeerd met het maken van foto's en het gebruik van een camera proberen op te lossen, maar ook die foto's lees je met het blote oog af. De metingen zullen dus nooit helemaal nauwkeurig zijn.

Toch hopen we alles bij elkaar precies genoeg te werk zijn gegaan om tot een goede conclusie te komen. We hebben toch redelijk kunnen bepalen waar je de bal moet raken om deze zo veel mogelijk effect mee te geven. Waarschijnlijk heeft het feit dat de meting niet altijd even nauwkeurig zijn daar wel wat invloed op gehad, maar tot op een zeker niveau kan de plek waar je de bal raken moet toch wel aangegeven worden. Ik denk dat we die plaats preciezer kunnen aanwijzen dan de gemiddelde voetballer de bal kan raken.

7. Analyse

Hiermee hebben we dus de beginvragen beantwoord, en bekeken waarom we niet tot betere resultaten zijn gekomen. Dit was vooral te wijten aan het gebrek aan nauwkeurigheid bij onze meetmethode. En het verschil tussen verschillende ballen gaf vooral geen duidelijke uitkomst, dit kan aangeven dat verschillende voetballen wel heel erg op elkaar lijken, of dat onze metingen niet toerijkend zijn voor het analyseren van het verschil tussen verschillende ballen.

Ik heb al aangegeven hoe dit onderzoek verbeterd uitgevoerd zou kunnen worden. Een vervolg onderzoek zou bijvoorbeeld in een sporthal gedaan kunnen worden, waardoor de metingen een stuk nauwkeuriger zouden kunnen zijn. Ook een professionele videoanalyse zou kunnen lijden tot nauwkeuriger meetresultaten. Als je de beschikking hebt tot goede apparatuur zou je bijvoorbeeld op de millimeter nauwkeurig kunnen aflezen hoe groot de afwijking is. Ook zou je beeldje voor beeldje kunnen kijken hoeveel rotaties de bal per seconde maakt (door middel van een gemarkeerde bal). Zo zou je tot betere resultaten kunnen komen.

Er zijn ook nog verdere onderzoeken mogelijk naar het effect van de bal. Zo zou je de proef ook nog in een windtunnel kunnen uitvoeren. Dan kan je onderzoeken of het oppervlak van de bal tot verschillende resultaten kan lijden, of je kan onderzoeken wat de invloed is van wind op het effect van een bal. Ook zou je kunnen onderzoeken of verschillende luchtdruk van invloed is op het effect dat de bal krijgt, door de proef in afgesloten ruimte uit te voeren, waarvan je de luchtdruk kan veranderen.

Deze uitbreidingen waren voor ons niet mogelijk vanwege onze beperkte financiële mogelijkheden. Zulke onderzoeken zouden slechts uitgevoerd kunnen worden met een groot budget, net zoals er bij wielrennen en schaatsen van dit soort onderzoeken gedaan worden. Dit zal echter bij voetbal niet zo gauw gebeuren, omdat dit onderzoek niet echt tot een andere manier van voetbal zal lijden.

8. Bronvermelding

- Physics of Sports, Selected Reprints edit by Cliff Frohlich
- Archimedes
- Scoop, Hubert Biezeveld en Louis Mathot
- www.madsci.org/posts/archives/nov98/912136446.Ph.r.html
- saber.towson.edu/physics/demo/fluid/Demos/c2060.html
- www.b-bop.com/mak/magnus.html
- www.Phys.virginia.edu/classes/311/notes/aero/node2.html

Verder interessante literatuur:

"Aerodynamics of sports balls", Rabindra D. Mehta, in Annual Reviews of Fluid Mechanics, 1985. 17: pp. 151-189.

"On the swing of a cricket ball in flight", N. G. Barton, *Proc. R. Soc. of London. Ser. A*, 1982. 379 pp. 109-31.

"An experimental study of cricket ball swing", Bentley, K., Varty, P., Proudlove, M., Mehta, R. D., Aero. Tech. Note 82-106, Imperial College, London, England, 1982.

"The effect of humidity on the swing of cricket balls", Binnie, A. M., *International Journal of Mechanical Sciences*. 18: pp.497-499, 1976.

"The swing of a cricket ball", Horlock, J. H., in "Mechanics and sport", ed. J. L. Bleustein, pp. 293-303. New York, ASME 1973.

"The swing of a cricket ball", Imbrosciano, A., Project Report 810714, Newcastle College of Advanced Education., Newcastle, Australia. 1981.

"The swing of a cricket ball", Lyttleton, R. A., *Discovery*, 18: pp.186-191. 1957.

"Aerodynamics of the cricket ball", Mehta, R. D., Wood, D. H., *New Scientist*, 87: pp.442-447, 1980

"Factors affecting cricket ball swing", Mehta, R. D., Bentley, K., Proudlove, M., Varty, P., *Nature*, 303: pp. 787-788, 1983.

"Aerodynamics of a cricket ball", Sherwin, K., Sproston, J. L., *Int. J. Mech. Educ.* 10: pp. 71-79. 1982.

"The Aerodynamics of a cricket ball", BSc dissertation. Dept Mech Eng. Univ. of Newcastle, England. 1983.

"A Flettner Rotor Ship Demonstration", George Barnes, *AJP* 55, 1040-1041, (1987).

"Essays in Science, The Flettner Ship", Albert Einstein, 92-97, Philosophical Library, NY.

"A Forgotten Magnus-Effect Demonstration", Thomas B. Greenslade, Jr., *TPT* 9, 43-44, (1971).

Comment on "A Flettner Rotor Ship Demonstration" by G. Barnes, A. B. Murphy, *AJP* 57(2), 181-182, (1989).

"Effect for Smooth Spheres", *AJP* 27, 589-596, (1959).

"Bernoulli Demonstration", R. E. Worley, *TPT* 3, 320, (1965).

"Bernoulli and Newton in Fluid Mechanics", Norman F. Smith, *TPT* 10, 451-455 (1972).

"Questions Students Ask: The Cylindrical Wing, why does it fly?", *TPT* 16, 662 (1978).

"String and Sticky Tape Experiments", R. D. Edge, *TPT* 18, 308-309, (1980).

"Demonstrating Curved Trajectories of a Spinning Ball", George Barnes, *TPT* 19, 403, (1981).

"Spinning a 1600 rpm Surprise Toward Home", John A. Perkins, *Wash. Post*, A3, Oct 18, 1993, with E. Schrier and W. Allman ref.

"Physics and Golf? You must be joking!", Steve Haake, *Physics World* _10_, 76 (1997)

, *Journal of Applied Physics* 20, 821 (1949) by Davies.

, *American Journal of Physics* 56, 933 (1988) by McPhee and Andrews.

"The Physics of Golf", by Theodore P. Jorgensen

"The Magnus effect - early investigations and a question of priority", Johnson, W. (1986) *International Journal of Mechanical Sciences*, 28, 859-872.

"The Magnus effect; a summary of investigations to date", Swanson, W.W. (1961), *J. Basic Eng.* 83, Series D, 461.

"The Physics of Sports.", Armenti, Angelo, Jr. American Institute of Physics, New York, 1992.

"Patterns of Human Motion.", Plagenhoef, S. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1971.

9. Werkplan

Hieronder volgt hoe wij onze tijd besteed hebben tijdens het werken aan het eigen onderzoek. We hebben ons daarbij zo veel mogelijk gehouden aan van tevoren gemaakte plannen (planformulier) De onderdelen waar geen naam bij genoemd staat hebben we gezamenlijk gedaan. De onderdelen waar wel een naam bij genoemd staat hebben we na overleg afzonderlijk uitgevoerd.

9/11	onderwerp bedacht, planformulier ingevuld	1 lesuur
13/11	Cees literatuur opgezocht op het internet	2 uur
14/11	opgezochte literatuur doorgewerkt	3 uur
15/11	Hans eerste ontwerpen gemaakt	3 uur
16/11	ontwerpen besproken, en verdere plannen gemaakt	1 lesuur
22/11	test met bal en schoen en met cilinder uitgevoerd	3 uur
23/11	analyse eerste ontwerpen, verbeteringen bedacht	1 lesuur
7/12	berekeningen tweede ontwerp en ontwerp getekend	1 lesuur
14/12	besproken waar aan materiaal te komen	1 lesuur
22/12	materiaal verzameld, begonnen met bouw constructie	4 uur
27/12	bouw constructie afgerond	4 uur
5/1	eerste tests met constructie	1 uur
5/1	constructie verstevigd	2 uur
6/1	metingen uitgevoerd	3 uur
7/1	metingen uitgevoerd	4 uur
21/1	metingen analyseren	2 uur
23/1	werken aan verslag	4 uur
24/1	werken aan verslag	3 uur

Bijlage

This page on the Magnus or Robin's Effect was born out of a seminar I presented circa 1987 as a potential topic for my Master's Thesis in Mechanical Engineering. (Actually I was going to investigate the Reverse Magnus Effect :-) My advisor at the time, Dr. Robert G. Watts has numerous papers and a popular book on the physics of baseball and he is considered an authority on the subject.

Seeing a spate of posts on rec.sport.cricket on this topic, gave me the motivation to dig up all my old references and start writing something that will be more than just speculation. This page will focus on cricket ball aerodynamics and includes preliminary discussions of the "other" sports.

Brief history of scientific studies of the "Magnus Effect"

Sir Isaac Newton (did this guy have something to say about everything?) in 1672 noted how a tennis ball's flight was affected by spin. In 1742, Robins showed that a transverse aerodynamic force could be detected on a rotating sphere. (Hence it is also referred to sometimes as the "Robin's Effect"). The first explanation of the lateral deflection of a spinning ball is credited by Lord Rayleigh to Magnus, from which the phenomenon derives its name, the "Magnus Effect". Rayleigh also gave a simple analysis for a "frictionless fluid," which showed that the side force was proportional to the free stream velocity and the rotational speed. This was all before the introduction of the boundary-layer concept by Prandtl in 1904.

The science

The commonly accepted explanation is that a spinning object creates a sort of whirlpool of rotating air about itself. On the side where the motion of the whirlpool is in the same direction as that of the windstream to which the object is exposed, the velocity will be enhanced. On the opposite side, where the motions are opposed, the velocity will be decreased. According to Bernoulli's principle, the pressure is lower on the side where the velocity is greater, and consequently there is an unbalanced force at right angles to the wind. This is the magnus force. The more recent studies agree that the magnus force results from the asymmetric distortion of the boundary layer displacement thickness caused by the combined spinning and flow past the spherer. In the case of a sphere(or cylinder), the so-called whirlpool, or more accurately the circulation, does not consist of air set into rotation by friction with a spinning object. Actually an object such as a sphere or a cylinder can impart a spinning motion to only a very thin layer next to the surface. The motion imparted to this layer affects the manner in which the flow separates from the surface in the rear. Boundary layer separation is delayed on the side of the spinning object that is moving in the same direction as the free stream flow, while the separation occurs prematurely on the side moving against the free stream flow. The wake then shifts toward the side moving against the free stream flow. As a result, flow past the object is deflected, and the resulting change in momentum flux causes a force in the opposite direction(upwards in the case shown in figure 1).

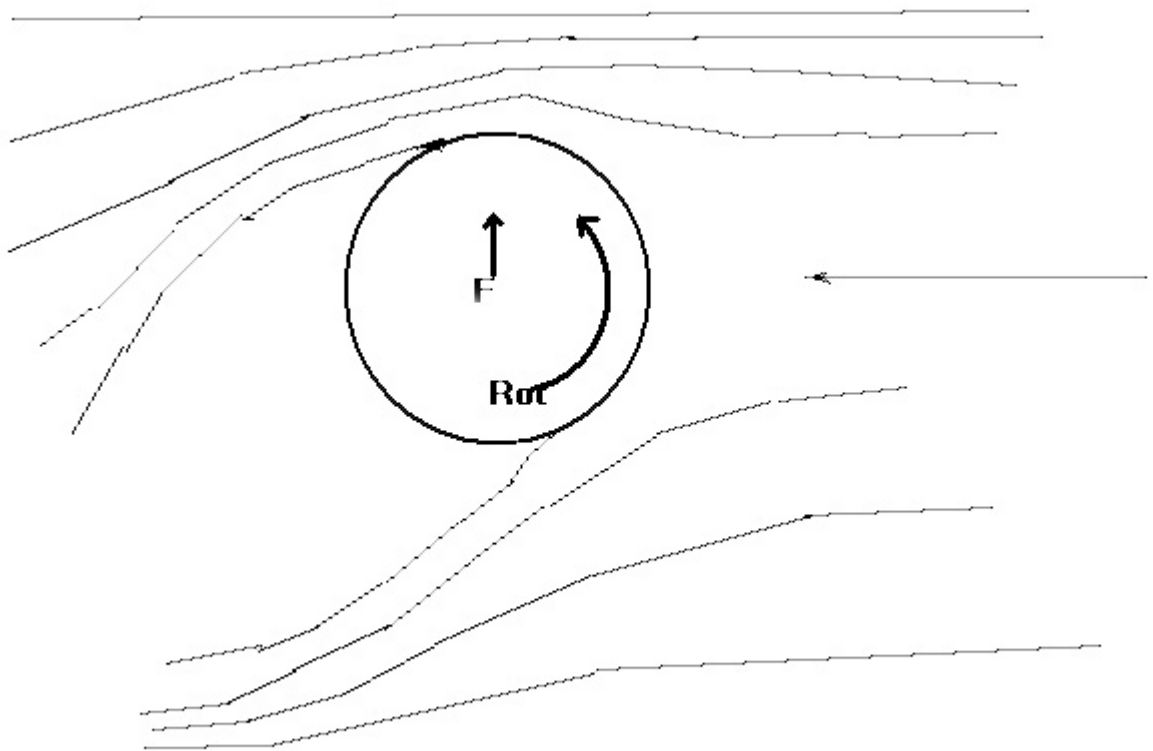


Figure 1. (Flow from right to left)

This phenomenon is influenced by the conditions in the thin layer next to the body, known as the boundary layer, and there may arise certain anomalies in the force if the spin of the body introduces anomalies in the layer, such as making the flow turbulent on one side and not the other. One such is the reverse Magnus effect which may occur for smooth spheres. Rough balls such as cricket balls, baseballs, golf balls and tennis balls, do not show this anomalous effect.