

# Onderzoek naar het Toestel van Atwood

Servaas Winder

26 september 2023

## Samenvatting

Dit verslag beschrijft een experiment uitgevoerd met het toestel van Atwood om de tweede wet van Newton te toetsen. De belangrijkste onderzoeksvraag was het bepalen van de valversnelling  $g$  via metingen van de versnelling  $a$  van de bewegende massa's. We hebben zes sets van experimenten uitgevoerd met verschillende combinaties van massa's  $m_1$  en  $m_2$ .

De resultaten van het experiment tonen een rechtevenredig verband tussen de berekende versnelling  $a$  en de massa-verhouding  $\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}$ , zoals ook voorspeld door de theoretische modellen. De helling van de trendlijn is ongeveer  $9,81 \text{ m/s}^2$ , wat in lijn ligt met de verwachtingen gebaseerd op de theorie. Dit bevestigt de betrouwbaarheid van onze experimentele opzet en de geldigheid van de tweede wet van Newton in de context van het toestel van Atwood.

Er zijn enkele potentiële bronnen van fouten en beperkingen die verder onderzoek vereisen, waaronder luchtwrijving en katrolwrijving. Desondanks bieden de verkregen resultaten waardevolle inzichten en bevestigen ze de theoretische voorspellingen, wat wijst op veelbelovende mogelijkheden voor verder onderzoek in dit gebied.

# 1 Inleiding

De valversnelling  $g$  is een fundamentele constante die de kracht van de zwaartekracht op een object nabij het aardoppervlak beschrijft (Staal & Roeland, 2023). De waarde van  $g$  wordt algemeen aangenomen als  $9.81 \text{ m/s}^2$ , maar deze kan variëren afhankelijk van de locatie op aarde en de hoogte boven zeeniveau. Het nauwkeurig meten van  $g$  is essentieel voor verschillende toepassingen in de fysica en de techniek.

Een methode om  $g$  experimenteel te bepalen, is het gebruik van het toestel van Atwood (Physics Experiments, 2023). Dit is een eenvoudig systeem bestaande uit twee massa's verbonden door een lichte, onelastische draad die over een wrijvingsloze katrol loopt. Door de beweging van de massa's te bestuderen, kan men de waarde van de valversnelling berekenen.

**Onderzoeksvraag:** Wat is de waarde van de valversnelling?

In dit verslag zal de methode voor het uitvoeren van het experiment worden beschreven, gevolgd door de resultaten en een discussie over de nauwkeurigheid en mogelijke bronnen van fouten.

## 2 Theoretisch Kader

### 2.1 Het Toestel van Atwood

Het toestel van Atwood (Figuur 1), genoemd naar de Britse uitvinder en natuurkundige George Atwood, is een klassiek instrument uit de natuurkunde dat primair wordt gebruikt om de wetten van de beweging en zwaartekracht te demonstreren ("Toestel van Atwood", 2023). Het bestaat uit twee massa's die met elkaar verbonden zijn door een licht, onelastisch touw dat over een wrijvingsloze katrol loopt. Door verschillende gewichten aan elk uiteinde te hangen en de daaruit voortvloeiende versnelling te meten, kunnen natuurkundestudenten inzichten krijgen in de fundamentele dynamica en de effecten van zwaartekracht.

### 2.2 Tweede Wet van Newton

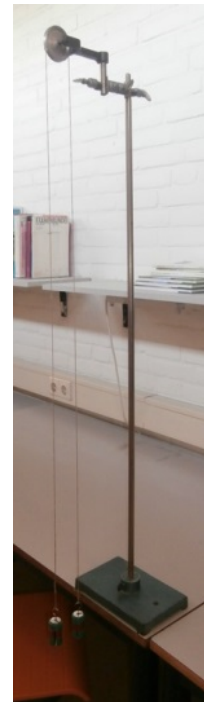
De tweede wet van Newton beschrijft hoe een object van massa  $m$  reageert onder invloed van een netto kracht  $F$  (Staal & Roeland, 2023). Deze wet wordt uitgedrukt door de vergelijking:

$$F = m \cdot a$$

waar  $F$  de netto kracht is,  $m$  de massa, en  $a$  de versnelling van het object. In de context van het toestel van Atwood, kunnen we deze wet toepassen op elk van de hangende massa's afzonderlijk.

### 2.3 Bewegingsvergelijkingen

In een ideale, wrijvingsloze setting kan de tweede wet van Newton als volgt worden toegepast:



Figuur 1: Toestel van Atwood (Physics Experiments, 2023).

$$F_{res} = F_{z,1} - F_{z,2}$$

$$m_{totaal} \cdot a = m_1 \cdot g - m_2 \cdot g$$

$$m_{totaal} \cdot a = (m_1 - m_2) \cdot g$$

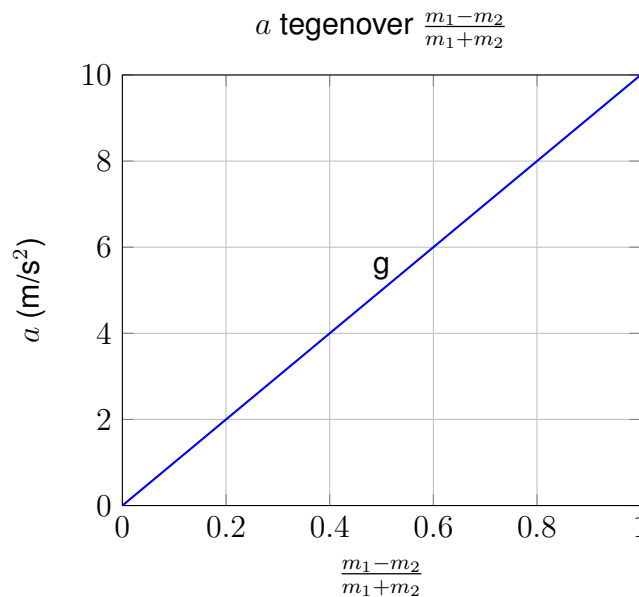
$$a = \frac{m_1 - m_2}{m_{totaal}} \cdot g$$

$$a = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \cdot g$$

Hier zijn  $m_1$  en  $m_2$  de massa's aan beide uiteinden van het touw en  $g$  de valversnelling.

## 2.4 Analyse

De vergelijking hierboven is een rechtevenredig verband en kan worden vergeleken met de vergelijking  $y = ax$ . Door metingen te doen met verschillende massa's kan een diagram worden gemaakt met  $a$  op de y-as en  $\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}$  op de x-as. De helling van dit verband is gelijk aan de valversnelling  $g$ .



Figuur 2: Schets van het rechtevenredig verband tussen  $a$  en  $\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}$

Dit diagram is slechts een illustratie en moet worden aangepast op basis van de daadwerkelijk gemeten waarden.

Om de versnelling  $a$  te bepalen kan gebruik worden gemaakt van de volgende vergelijking:

$$d = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

$$a = \frac{2d}{t^2}$$

### 3 Hypothese

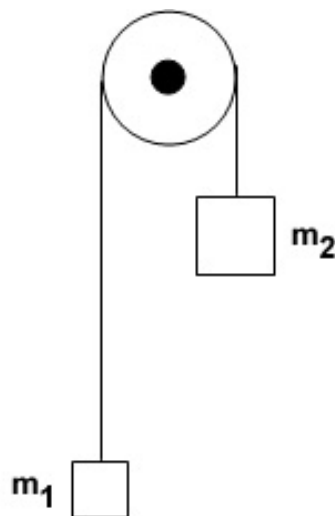
In het natuurkunde boek dat gebruikt wordt in de 5e klas vwo staat dat de valversnelling gelijk is aan  $9,81 m/s^2$  (Staal & Roeland, 2023).

## 4 Methode

### 4.1 Materialen

Een Schematische tekening vind je in Figuur 3. Voor dit experiment zijn de volgende materialen gebruikt:

- Een toestel van Atwood, bestaande uit een wrijvingsloze katrol en een lichte, onelastische draad.
- Twee verschillende massa's  $m_1$  en  $m_2$ .
- Een stopwatch.
- Een liniaal of meetlint.



Figuur 3: Schematische weergave van het toestel van Atwood.

### 4.2 Experimentele Opzet

Het experiment werd opgezet volgens de volgende stappen:

1. De massa's  $m_1$  en  $m_2$  werden nauwkeurig gemeten en aan beide uiteinden van de draad bevestigd. De exacte massa's maken niet veel uit. Voor dit onderzoek worden de massa's uit tabel 1 gebruikt.
2. De draad werd over de katrol gehangen zodanig dat beide massa's vrij konden bewegen.

3. De positie van één van de massa's werd gemarkeerd als de startpositie.
4. De massa's werden losgelaten en de tijd die nodig was om een bepaalde afstand  $d$  te overbruggen werd gemeten met de stopwatch.
5. Deze metingen werden meerdere keren herhaald met verschillende massa's.

Tabel 1: Massa's  $m_1$  en  $m_2$  gebruikt in de experimenten

$m_1$ (kg)	$m_2$ (kg)
0.20	0.10
0.30	0.10
0.40	0.20
0.50	0.20
0.60	0.30
0.70	0.30

### 4.3 Dataverzameling

Tijdens het experiment werden de volgende gegevens verzameld:

- De afgelegde afstand  $d$  voor elke poging.
- De benodigde tijd  $t$  voor elke poging.
- De massa's  $m_1$  en  $m_2$  van de gebruikte gewichten.

## 5 Resultaten

In dit hoofdstuk presenteren we de resultaten van het experiment. Verschillende combinaties van massa's werden gebruikt om de valtijd en de afgelegde afstand te meten. De resultaten worden samengevat in Tabel 2. Deze resultaten zullen worden gebruikt om de valversnelling  $g$  te berekenen, zoals beschreven in het theoretisch kader.

Tabel 2: Gemeten waarden voor verschillende combinaties van massa's  $m_1$  en  $m_2$

$m_1$ (kg)	$m_2$ (kg)	Valtijd $t$ (s)	Afstand $d$ (m)
0.20	0.10	0.790	1.0
0.30	0.10	0.641	1.0
0.40	0.20	0.790	1.0
0.50	0.20	0.690	1.0
0.60	0.30	0.790	1.0
0.70	0.30	0.714	1.0

## 6 Verwerking

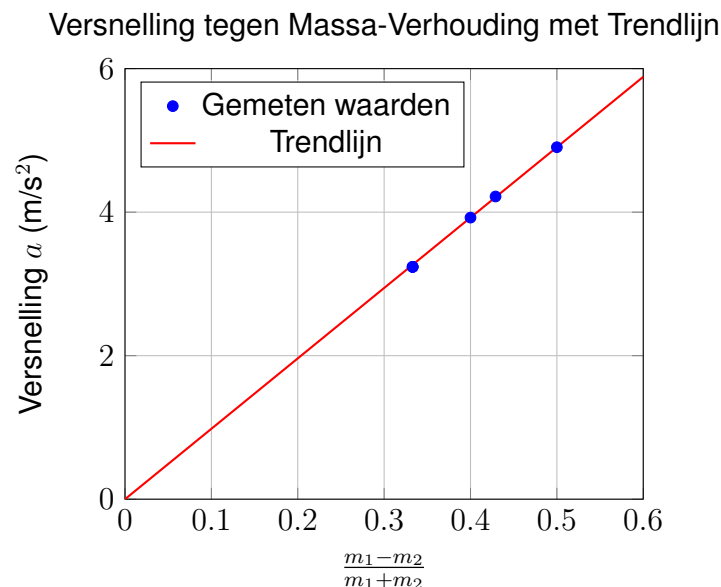
Om de versnelling te bepalen per meting kan gebruik worden gemaakt van de vergelijking uit de theorie:  $a = \frac{2d}{t^2}$ . De volledige resultaten, inclusief de berekende versnellingen, zijn weergegeven in Tabel 3. Daarnaast wordt ook een kolom toegevoegd met  $\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}$ .

Tabel 3: Berekende massa-verhouding en versnelling  $a$  ( $\text{m/s}^2$ ) voor verschillende combinaties van massa's  $m_1$  en  $m_2$

$m_1$ (kg)	$m_2$ (kg)	$\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}$	$a$ ( $\text{m/s}^2$ )
0.20	0.10	0.333	3.2373
0.30	0.10	0.500	4.905
0.40	0.20	0.333	3.2373
0.50	0.20	0.429	4.2183
0.60	0.30	0.333	3.2373
0.70	0.30	0.400	3.924

### 6.1 Diagram van Versnelling tegen Massa-Verhouding

Het diagram in Figuur 4 toont het verband tussen de berekende versnelling  $a$  en de massa-verhouding  $\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}$ .



Figuur 4: Spreidingsdiagram van de berekende versnelling  $a$  tegen de massa-verhouding  $\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}$  met een trendlijn. De helling van de trendlijn is ongeveer  $9,78 \text{ m/s}^2$ .

## 7 Conclusie

In dit experiment hebben we ons gericht op het toepassen van de tweede wet van Newton met behulp van het toestel van Atwood. Ons primaire doel was het bepalen van de valversnelling  $g$  door de versnelling  $a$  van de bewegende massa's te analyseren. De gemeten waarde van de valversnelling is  $9,78 \text{ m/s}^2$ .

## 8 Discussie

Onze experimentele resultaten tonen een overtuigend rechtevenredig verband tussen de berekende versnelling  $a$  en de massa-verhouding  $\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}$ . Dit is in overeenstemming met de analyse in de theorie.

De helling van de trendlijn in het diagram is ongeveer  $9,78 \text{ m/s}^2$ , wat maar met  $0,03 \text{ m/s}^2$  verschilt van  $9,81 \text{ m/s}^2$ , de waarde uit de literatuur (bronvermelding). Dit geeft een sterke indicatie geeft voor de betrouwbaarheid van onze experimentele opzet.

De afstand was goed te meten, maar het meten van de tijd met de stopwatch was minder nauwkeurig. Dit zouden we in het vervolg kunnen verhelpen door een videometing te doen.

Ook als je een videometing zou doen, zijn er nog enkele beperkingen en mogelijke bronnen van fouten in onze opstelling die in aanmerking moeten worden genomen. In de theoretische analyse hebben we namelijk aangenomen dat de massa van het touw en het katrol 0 is, dat er geen weerstandskrachten zijn en dat het touw niet uitrekt. In het echt is dat natuurlijk niet het geval. Hierdoor kan de waarde die we bepaald hebben voor  $g$  afwijken van de daadwerkelijke waarde.

Voor toekomstig onderzoek zou het waardevol zijn om deze factoren verder te onderzoeken en te minimaliseren om nog nauwkeurigere resultaten te verkrijgen. Aanvullend zouden we de experimentele opstelling kunnen verbeteren door gebruik te maken van meer geavanceerde meetinstrumenten, zoals een videometing.

## Referenties

- Physics Experiments. (2023). *Massa katrol versnelling (Toestel van Atwood)* [Online; bezocht op 26-September-2023]. <https://www.physicsexperiments.org/index.php/experiments/snelheid-2/massa-katrol-versnelling-toestel-van-atwood>
- Staal & Roeland. (2023). *POLARIS 5 vwo/gym natuurkunde* (1ste ed.) [1st ed.]. Boom voortgezet onderwijs.
- Toestel van Atwood* [[Online; bezocht op 26-September-2023]]. (2023). Wikipedia. [https://nl.wikipedia.org/wiki/Toestel\\_van\\_Atwood](https://nl.wikipedia.org/wiki/Toestel_van_Atwood)