
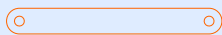


MET 
STANGEN
MEER
 **STEAM**

Opzet lesmateriaal

Domas Syaifoel

mei 2026



Deze pagina bevat de opzet en verwachte inhoud van dit project.

Leerdoelen

1. Machines en mechanismen identificeren, gegeven een foto. (A)
2. Het principe achter de eenvoudige machines uitleggen, aan de hand van arbeid. (B)
3. De ontbrekende kracht of afstand berekenen van eenvoudige machine. (C)
4. Uitleggen wat een vrijheidsgraad is. (D)
5. Het aantal vrijheidsgraden benoemen van een gegeven situatie. (E)
6. Vrijheidsgraden tellen van een 2D stangenmechanisme. (F)
7. Voorbeelden geven van actuatoren en end-effectoren. (G)
8. Uitleggen wat een singulariteit is. (H)
9. Een vierstangenmechanisme ontwerpen met de methode van het instantaan rotatiecentrum, gegeven drie outputstanden. (I)
10. Bepalen of een vierstangenmechanisme Grashof is. (J)
11. De stand van de outputstang van een vierstangenmechanisme bepalen, aan de hand van cirkelsneden. (K)
12. De stand van de outputstang van een stangenmechanisme bepalen, aan de hand van de Freudensteinvergelijking. (L)
13. De locatie van de end-effector van een vijfstangenmechanisme bepalen, aan de hand van cirkelsneden. (M)

Ontwerpprojecten

1. Vierstangenmechanisme-toepassing: ladekast
 - a) Een vierstangenmechanisme grafisch ontwerpen aan de hand van de methode van instantaan rotatiecentrum (I)
 - b) Een fysiek vierstangenmechanismen van papier en prikpenen beoordelen
2. Zuigermotor (heen en weer naar draaibeweging, zoals stoommachine)
 - a) Geometrische eisen van dit mechanisme benoemen
 - b) Een fysiek mechanisme van technisch LEGO beoordelen
 - c) Uitleggen wat een singulariteit is (H)
 - d) Uitleggen welke positieve en negatieve aspecten traagheid heeft in een mechanisme
3. Pantograaf:
 - a) Gegeven een pantograaf $ABCDEF$ met staaf ABC , staaf CDE , parallellogram $BCDF$, en gegeven $AC/AB = CE/CD$, bewijzen dat AFE op een lijn ligt en dat $AE/AF = AC/AB (= CE/CD)$
 - b) Een fysiek mechanisme van technisch LEGO beoordelen
4. Rechthoekmechanisme:

Bewijzen dat een Peaucellier-Lipkin inversor een rechte lijn beschrijft.

5. Tekenrobot

- a) Gegeven twee cirkels, de snijpunten bepalen.
- b) Gegeven een lijnsegment vanuit de oorsprong en een hoek, de coördinaten van het uiteinde bepalen door middel van de sinus en cosinus.
- c) Een vergelijking inprogrammeren in een robot, en diens gedrag beoordelen

6. Gebalanceerde kunst

- a) Het zwaartepunt bepalen van een samengesteld object.
- b) Uitleggen waarom een kogellager minder wrijving heeft dan een glijlager.
- c) Een gebalanceerd kunstobject bouwen en het gedrag beoordelen.

Uiteindelijke inhoud website/boekje

1. Voorbeelden van machines

- a. Machines zijn overal (voorbeelden)
- b. Machines zijn ontworpen voor een specifieke beweging
- c. Voorbeelden en opgaven (A)
 - i. Bureaulamp
 - ii. Deurdranger
 - iii. Knikkende slagboom
 - iv. Ophaalburg
 - v. Verbrandingsmotorzuiger
 - vi. Graafmachine
 - vii. Deltarobot
 - viii. Noem nog drie machines uit het dagelijks leven
- d. Machines bestaan uit onderdelen, zoals wielen
- e. Er zijn zes "eenvoudige machines"
- f. Elk werkt doordat kracht maal afstand (is arbeid) altijd gelijk blijft (als we wrijving negeren)
- g. Rekenvoorbeelden en opgaven (B, C)
 - i. Hefboom (x2)
 - ii. Wiel (x2)
 - iii. Katrol (x2)
 - iv. Helling (x2)
 - v. Wig (x2)
 - vi. Schroef (x2)
 - vii. (Eventueel experiment)
- h. Een mechanisme is een abstracte vorm van een machine
 - i. De simpelste niet-eenvoudige machines zijn stangenmechanismes

- j. Deze bestaan uit stangen en scharnieren (elke stang is eigenlijk een raargevormd wiel)

2. Vrijheidsgraden

- a. Het aantal vrijheidsgraden van een systeem is het aantal waardes dat je moet weten om de staat van het systeem te beschrijven.
- b. Het aantal vrijheidsgraden is afhankelijk van je situatie en je doel
- c. In 2D heeft een punt 2 vrijheidsgraden.
- d. In 2D heeft een object 3 vrijheidsgraden: twee positie-componenten (x , y) en een hoek (θ)
- e. In 3D heeft een punt 3 vrijheidsgraden.
- f. In 3D heeft een object 6 vrijheidsgraden: drie positie-componenten (x , y , z) en drie hoeken (θ , ϕ , ψ)
- g. Rekenvoorbeelden en opgaven (D, E)
 - i. Hoeveel vrijheidsgraden heb je nodig als je een persoon probeert te vinden op het strand?
 - ii. ... in een wolkenkrabber?
 - iii. Hoeveel vrijheidsgraden heeft een auto die over een parkeerplaats rijdt?
 - iv. Hoeveel vrijheidsgraden heeft een fiets die over een parkeerplaats rijdt?
 - v. Hoeveel vrijheidsgraden heeft een boot op een spiegelglad meer?
 - vi. ... op een zee met enorme golven?
 - vii. Hoeveel vrijheidsgraden heeft een vliegtuig?
 - viii. Hoeveel vrijheidsgraden heeft een vliegtuig, als we ook belangrijk vinden hoeveel brandstof het vliegtuig nog heeft?

3. Vierstangenmechanismen

- a. Een vierstangenmechanisme bestaat uit drie stangen (want het zit ook ergens aan vast, dat noemen we de vierde stang)
- b. Een vierstangenmechanisme heeft één vrijheidsgraad
- c. Voorbeelden en opgaven (D, E)
 - i. Van welke stang(en) zijn de andere stangen afhankelijk?
 - ii. Welke waarde kunnen we meten om de volledige staat van dit mechanisme vast te leggen?
- d. Vierstangenmechanismen kunnen heel ingewikkelde bewegingen maken, ook al zijn ze simpel
- e. Voorbeelden en opgaven (A)
 - i. Welke vorm genereert dit vierstangenmechanisme?
 - ii. Wat zou een toepassing kunnen zijn van dit mechanisme?

4. Scharnieren, sliders en vrijheidsgraden tellen

- a. Een scharnier haalt 2 vrijheidsgraden weg in 2D en 5 vrijheidsgraden in 3D
- b. Hetzelfde geldt voor een slider

- c. We kunnen het aantal vrijheidsgraden van een aantal mechanismen tellen door het aantal stangen(lichamen) te tellen en het aantal scharnieren te tellen. Dan is het aantal vrijheidsgraden $3 \cdot (\text{aantal stangen}) - 2 \cdot (\text{aantal scharnieren})$
- d. Voorbeelden en opgaven (F)
 - i. Hoeveel vrijheidsgraden hebben deze mechanismen?
5. Actuatoren en end-effectors
 - a. Mechanismen worden aangedreven, bijvoorbeeld door een motor, een zuiger, een zwengel, ... Dit worden actuatoren genoemd
 - b. Een mechanisme verplaatst meestal iets nuttigs, bijvoorbeeld het wegdek van een brug, een graafbak, een robothand, ... Dit worden end-effectoren genoemd.
 - c. Een machine heeft minstens evenveel actuatoren als vrijheidsgraden
 - d. Voorbeelden en opgaven (G)
 - i. Vind een voorbeeld van een machine, en leg uit wat de actuator(en) en end-effector(en) zijn.
6. Frames
 - a. Een stangenmechanisme met nul vrijheidsgraden is een frame
 - b. Een scharnier waar drie stangen vastzitten, zijn eigenlijk twee scharnieren
 - c. Voorbeelden en opgaven (F)
 - i. Hijskraan
 - ii. Brug
 - iii. Narekenen
7. Vijfstangenmechanismen
 - a. Een vijfstangenmechanisme heeft twee vrijheidsgraden
 - b. Een vijfstangenrobot heeft twee actuatoren nodig
 - c. We kunnen de positie van de end effector bepalen door cirkels te snijden
 - d. Voorbeelden en opgaven (K)
 - e. Ontwerpproject: tekenrobot
 - f. Het balanceren van een stangenmechanisme
 - g. Het balanceren van een vijfstangenrobot
8. Singulariteiten
 - a. Een mechanisme kan een stand hebben waar de end-effector instantaan minder of meer vrijheidsgraden heeft dan in bijna alle andere standen
 - b. Dit heet een singulariteit
 - c. Voorbeelden en opgaven (H)
 - i. In welke stand heeft dit mechanisme een singulariteit?
 - ii. Heeft de end-effector hier meer of minder vrijheidsgraden?
9. Vierstangenmechanismen ontwerpen en doorrekenen
 - a. We kunnen een vierstangenmechanisme ontwerpen dat door drie posities heen gaat, aan de hand van de methode van het instantaan rotatiecentrum

- b. Voorbeelden en opgaven (I)
 - c. Een vierstangenmechanisme kan wiebelen of draaien
 - d. Voorbeelden en opgave
 - i. Welke toepassingen hebben grashof en niet-grashofmechanismen?
 - e. Hij draait als de kortste plus de langste stang, kleiner is dan de som van de overige twee stangen (de Grashofvergelijking)
 - f. Voorbeelden en opgaven (J)
 - i. Kan dit mechanisme wiebelen of draaien?
 - ii. Ontwerp een mechanisme dat wiebelt
 - iii. Ontwerp een mechanisme dat draait
 - g. We kunnen de hoek van de end-effectorstang bepalen als functie van de hoek van de actuatorstang
 - h. We kunnen dit ook weer doen door cirkels te snijden
 - i. Voorbeelden en opgaven (K)
 - j. We kunnen dit ook doen met de Freudensteinvergelijking
 - k. Voorbeelden en opgaven (L)
 - l. We kunnen de hoek van de koppelstang bepalen als functie van de actuatorhoek en end effector hoek
 - m. (vanaf hier extra dingen, geen leerdoelen?)
 - n. De koppelstang kan ook een koppellichaam zijn
 - o. Een punt op een koppellichaam volgt een zogenoemde koppelcurve
 - p. Het robertsmechanisme is een vierstangenmechanisme waarbij een koppelcurve ongeveer een rechte lijn is
 - q. Alle snijpunten van een koppelcurve liggen op een cirkel
 - r. De Syaifoel-frequentieverdubbelaar bestaat uit vierstangenmechanismes die aan elkaar zitten
10. Rechtlijnmechanismen
- a. Een inversor is een stangenmechanisme waarbij een koppelkromme een exact rechte lijn is
 - b. Het 't Hooft-mechanisme bestaat uit twee inversors, en heeft een koppellichaam dat een exacte translatie ondergaat
 - c. Ontwerpproject
11. Statisch balanceren
- a. Potentiële energie
 - b. Ontwerpproject gebalanceerde wip: kunst
 - c. Veren en ideale veren
 - d. Anglepoiselamp
 - e. Twee vrijheidsgraden balanceren met een enkele veer
 - f. Andere mechanismen

12. Compliantie mechanismen

- a. Waarom compliant?
- b. Waar zit het scharnier?

DIT IS EEN TEST c. Energiemethoden om ze op te lossen

- d. Statisch balanceren: waarom? En kan dat?