

WB3110 - Evolving Design

**Ontwikkeling
Aandrijftechnologie
Koppelingen en Transmissies**

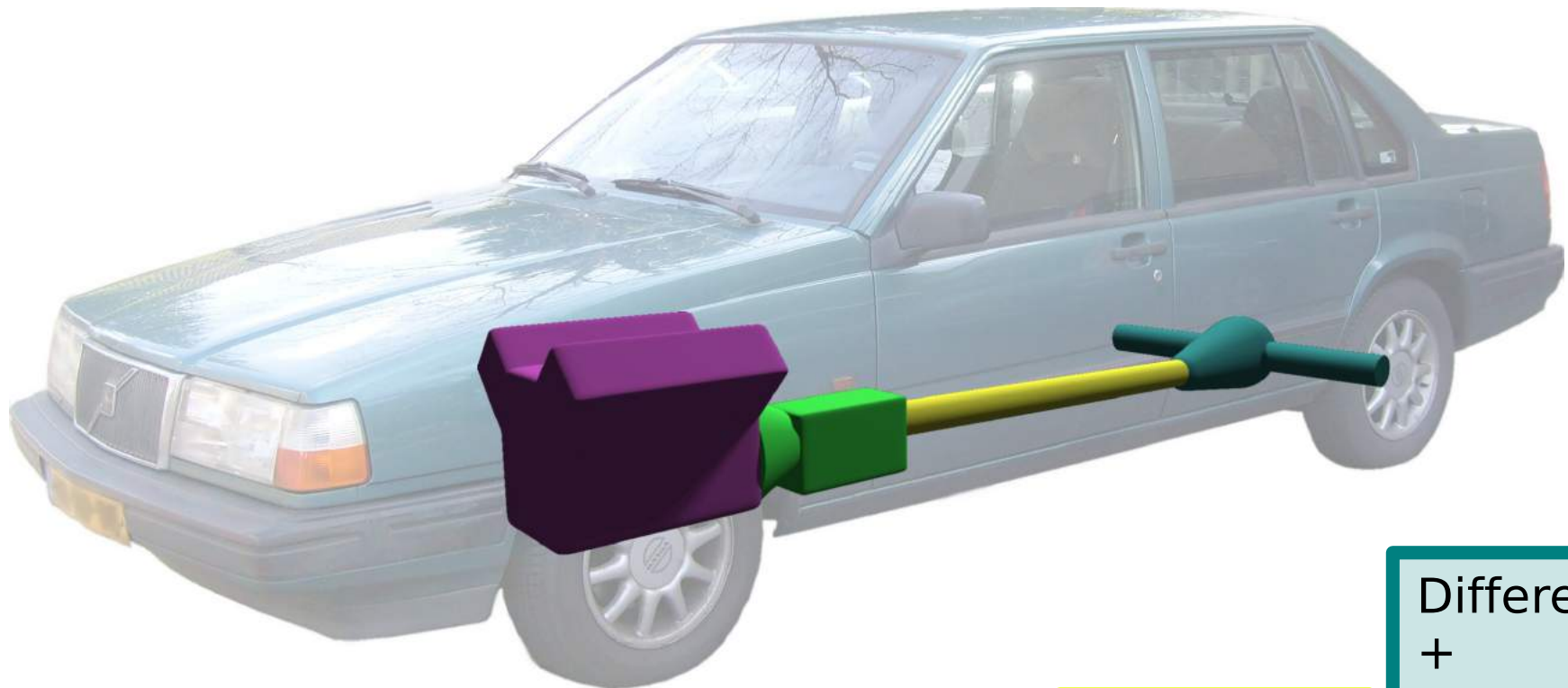
Marco de Beurs
Examiner EPO

Auto als leidraad



Aandrijflijn, actuatoren en alternatieven

Aandrijflijn



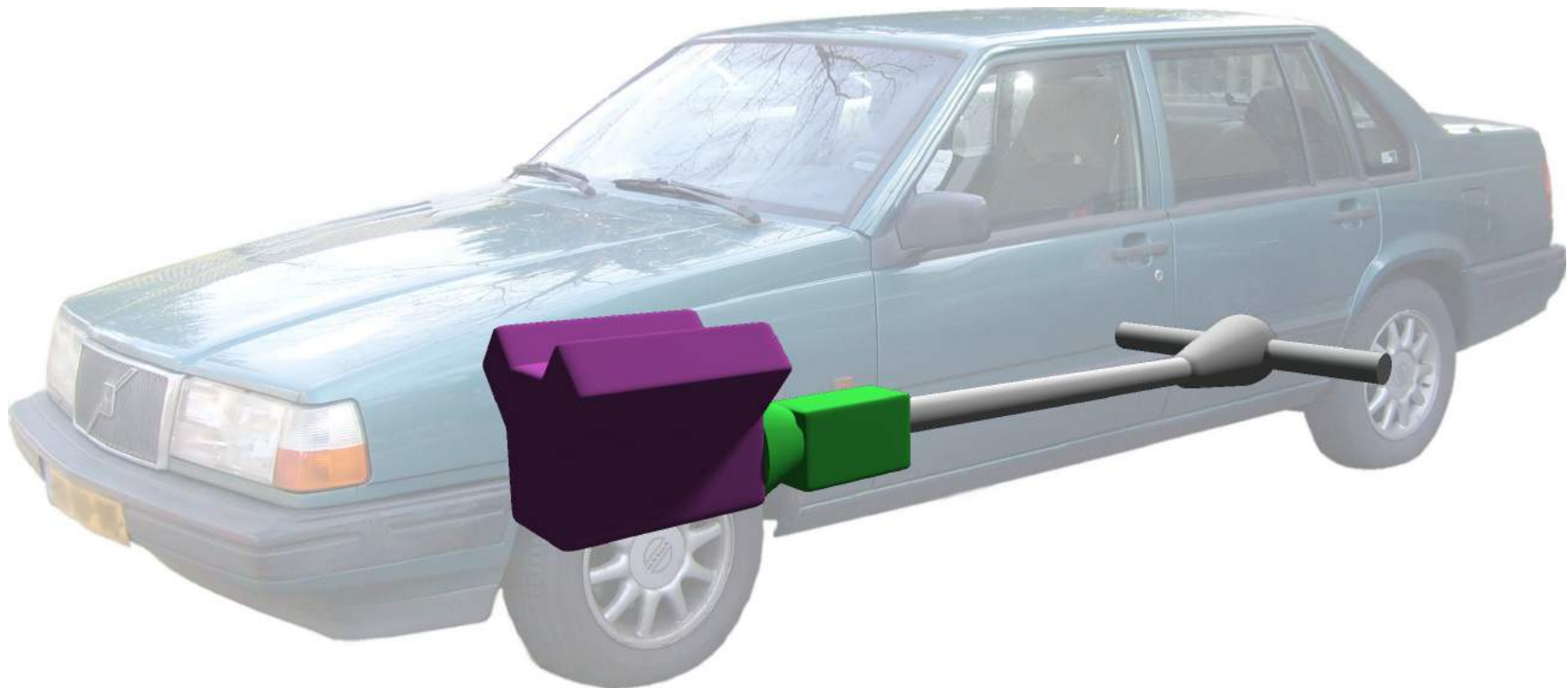
Motor

Transmissie

Cardan as

Differentieel
+
achteras

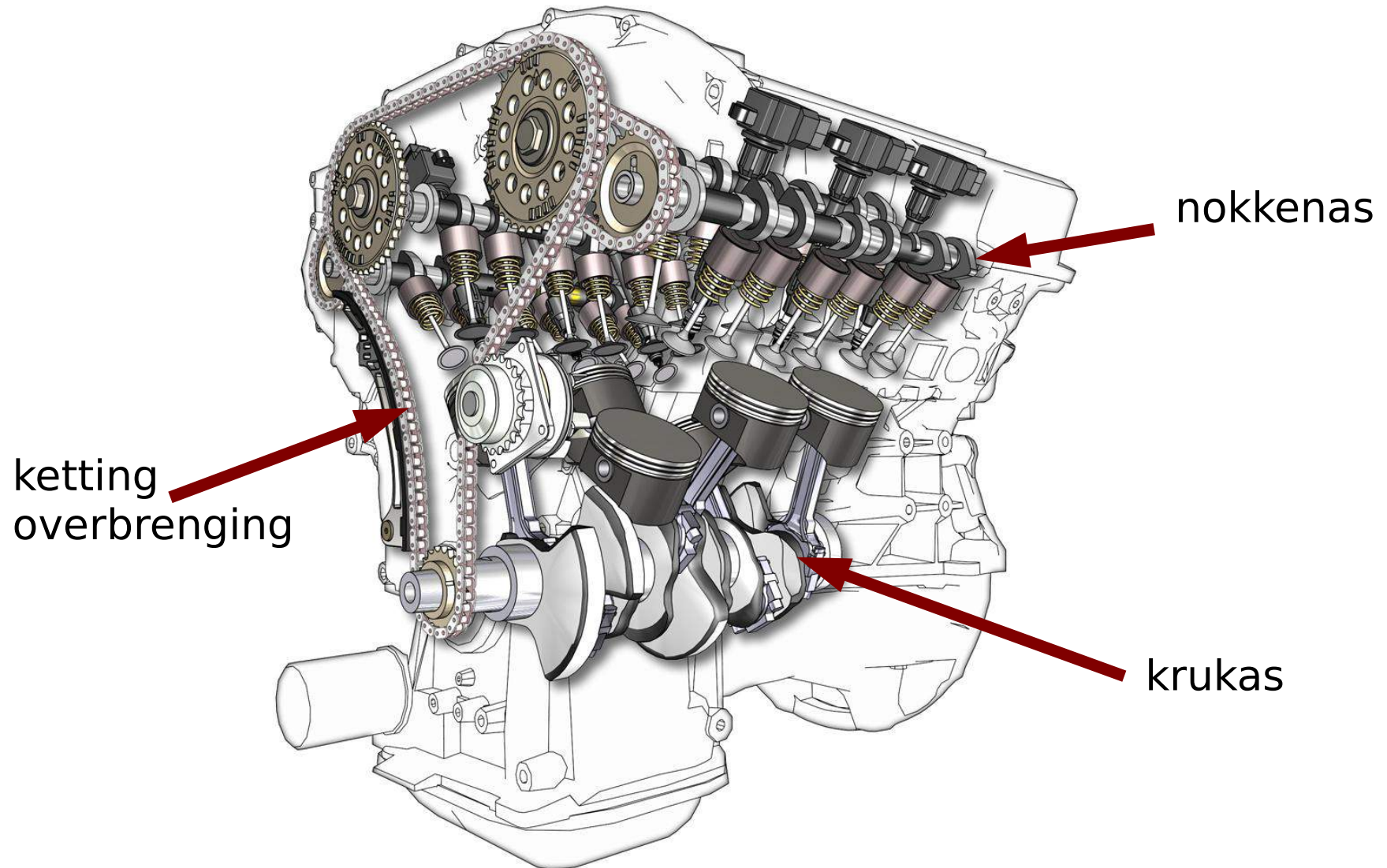
Aandrijflijn



Motor

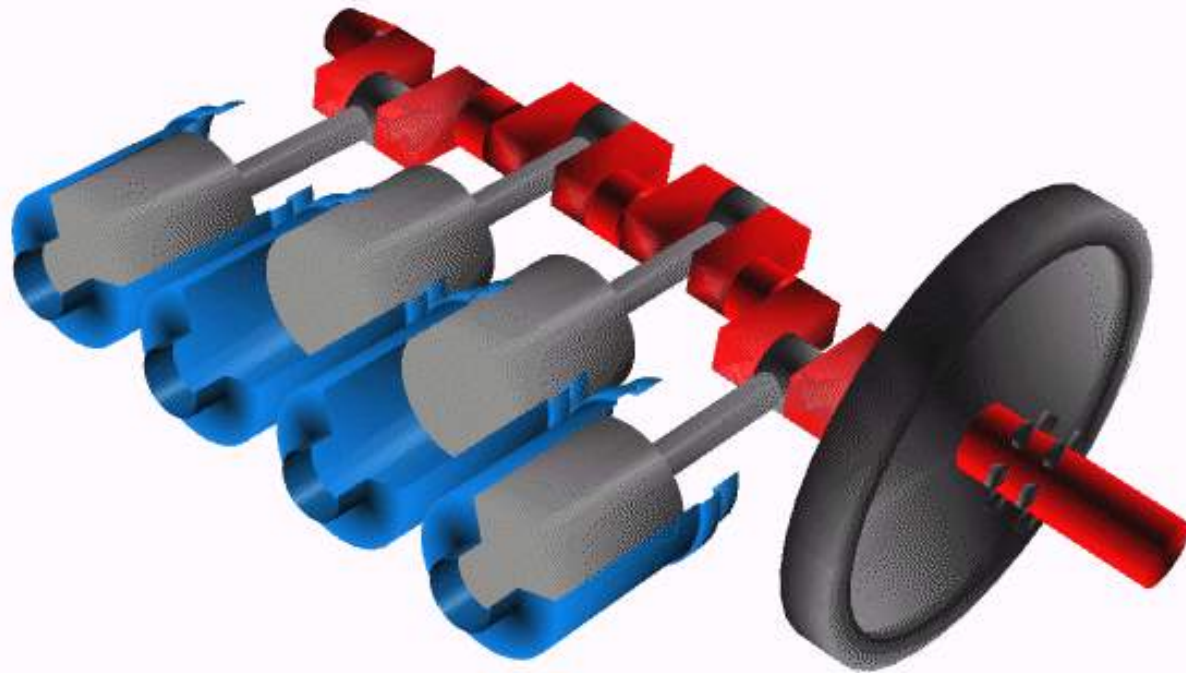
Transmissie

Aandrijvingen in de motor



Krukas

Korte lineaire beweging naar rotatie



Nokken

Rotatie naar korte lineaire beweging

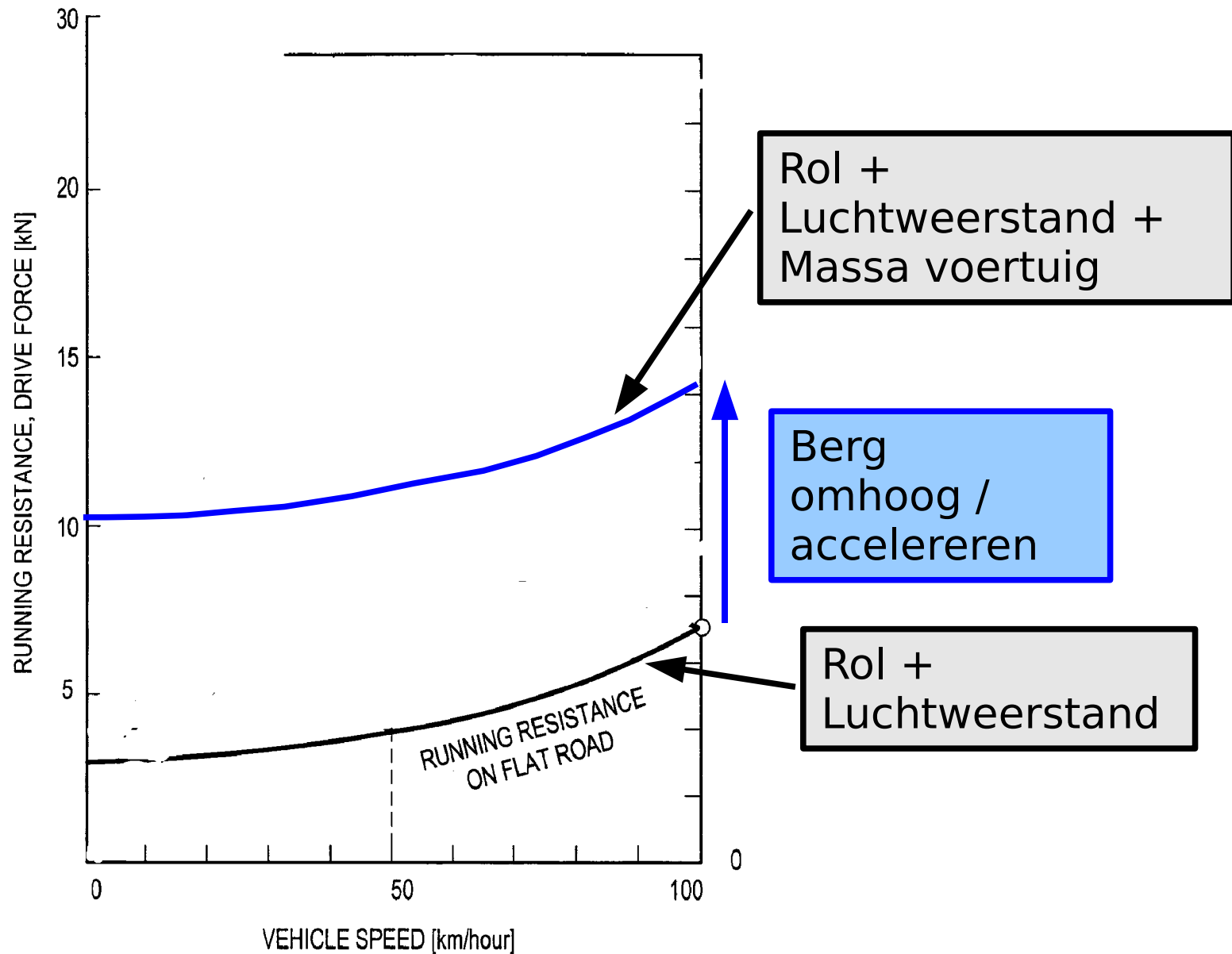


Ketting / tandriem

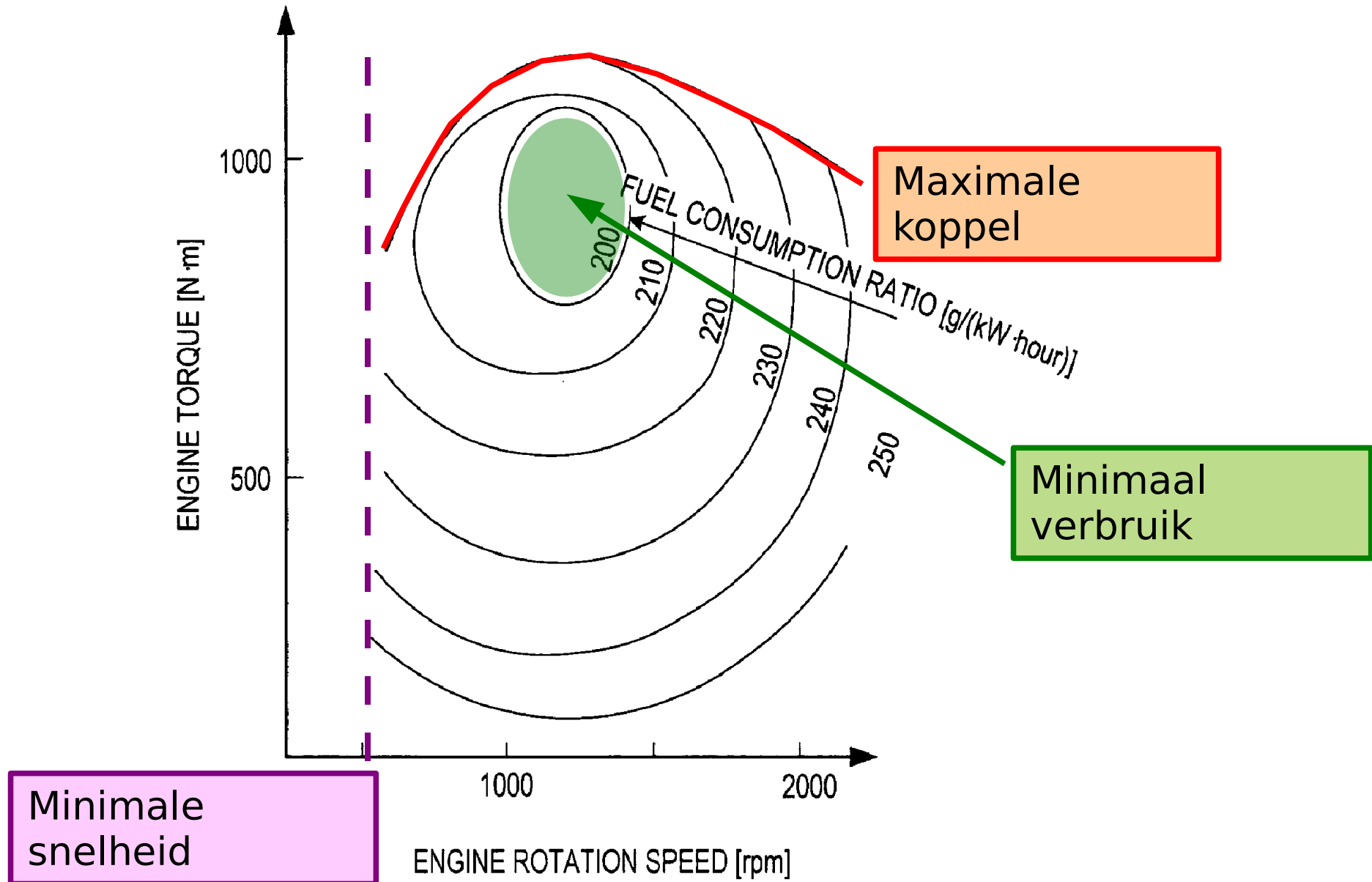
- Grote afstand tussen aandrijvende en aangedreven as
- Geschikt om verband van rotatie tussen assen te behouden (niet bij snaar aandrijving)

Waarom een transmissie?

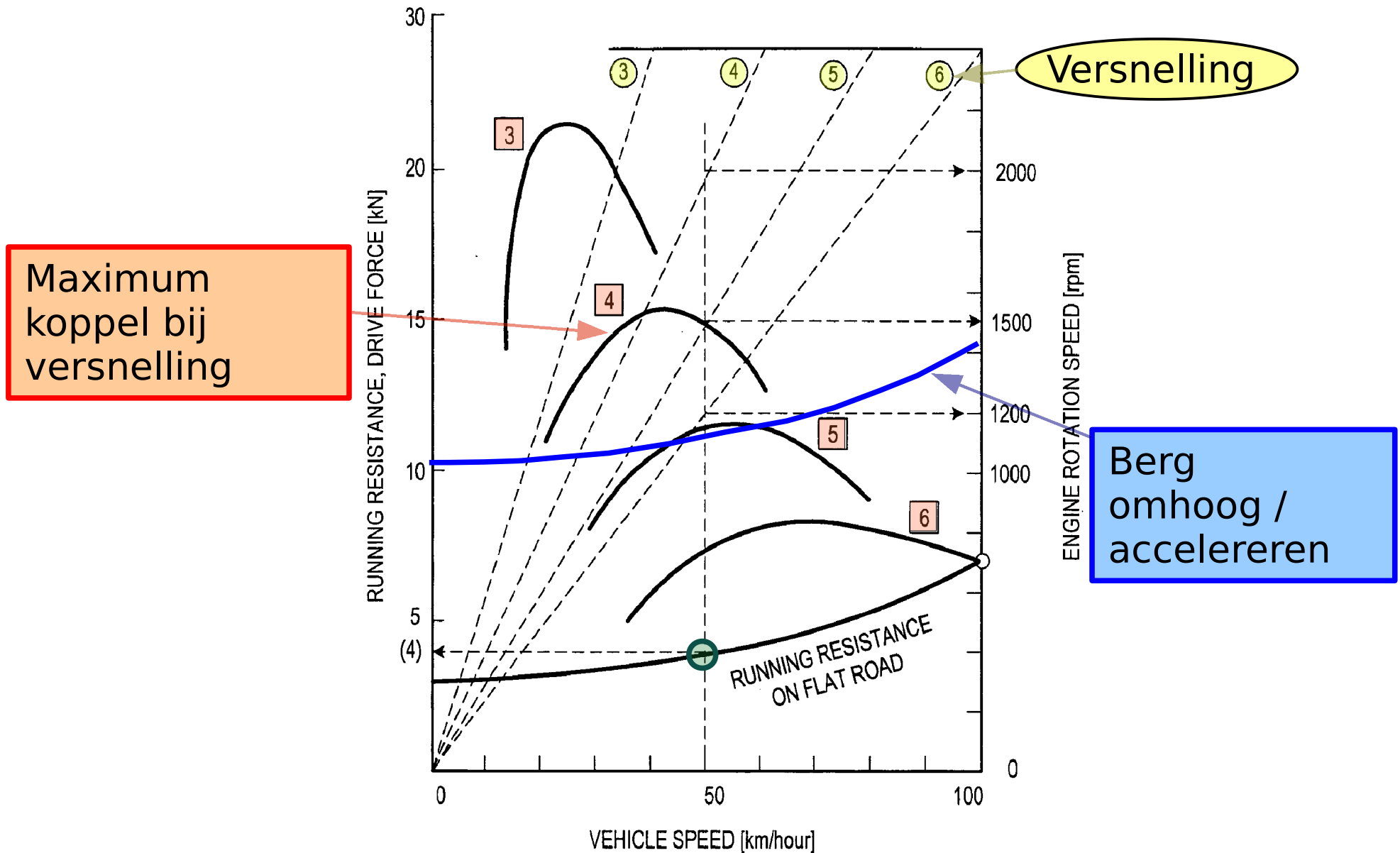
Eigenschappen last



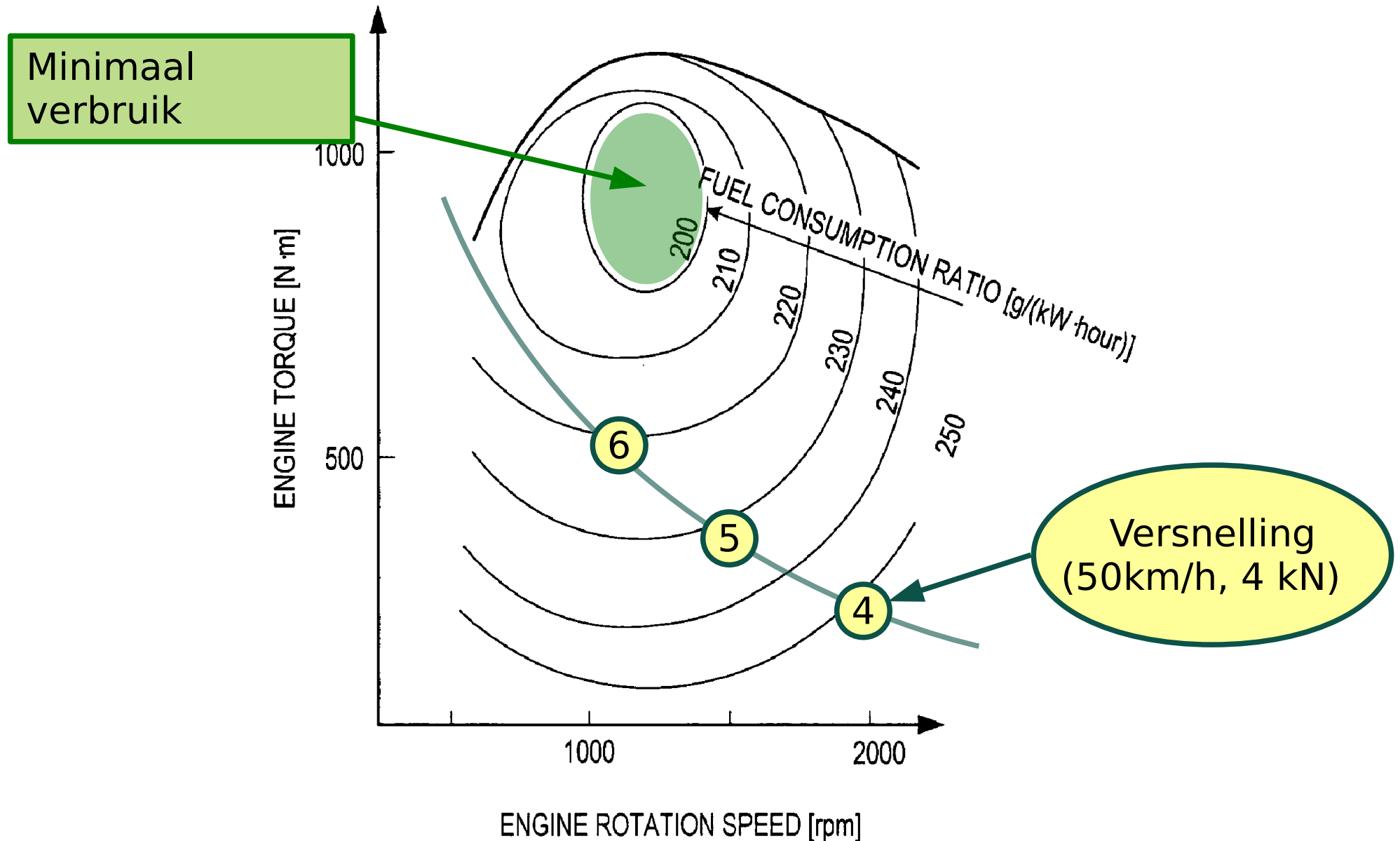
Eigenschappen motor



Motor-last diagram



Optimaal verbruik



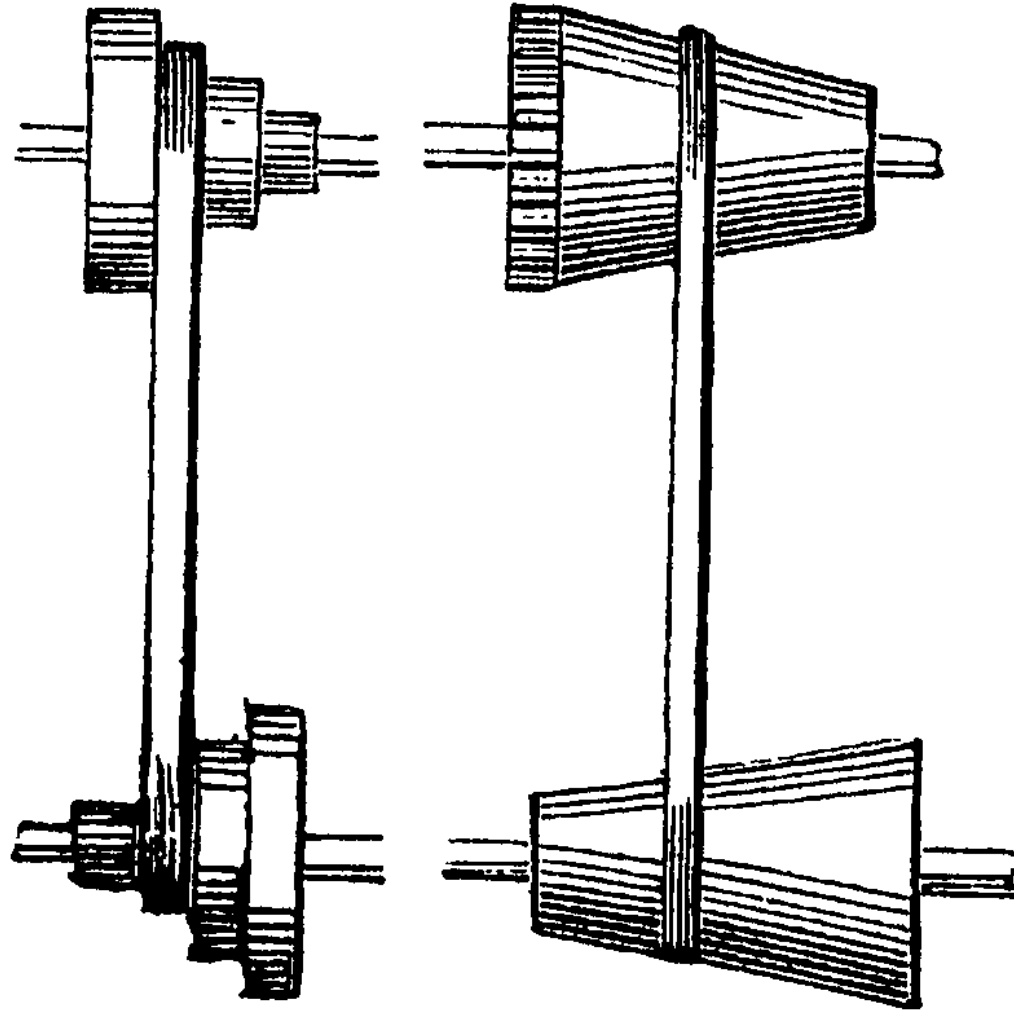
Aanpassen motor aan last

- Minimum snelheid motor  Koppeling
- Maximum koppel  Transmissie
- Optimaal verbruik  Transmissie
- Achteruit  Transmissie

Transmissies

- Handgeschakelde transmissie, droge koppeling
- Automaat, koppelomvormer (torque converter)
- Continu Variabele Transmissie
 - Duwband (van Doorne)
 - Toroid
 - Hybride

Basis: variable transmissie



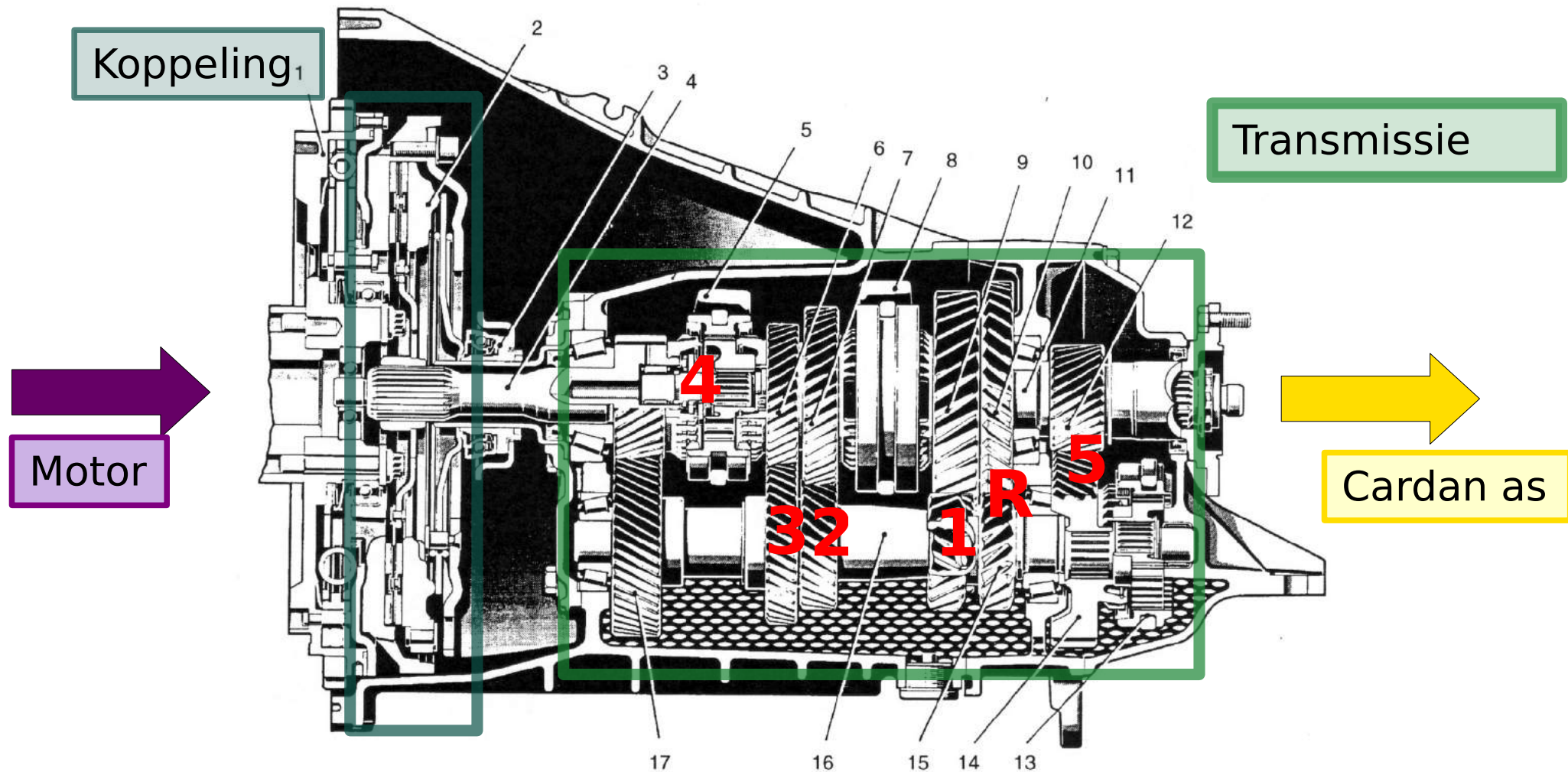
Discreet

Continu

Transmissies

- Handgeschakelde transmissie, droge koppeling
- Automaat, koppelomvormer (torque converter)
- Continu Variabele Transmissie
 - Duwband (van Doorne)
 - Toroid
 - Hybride

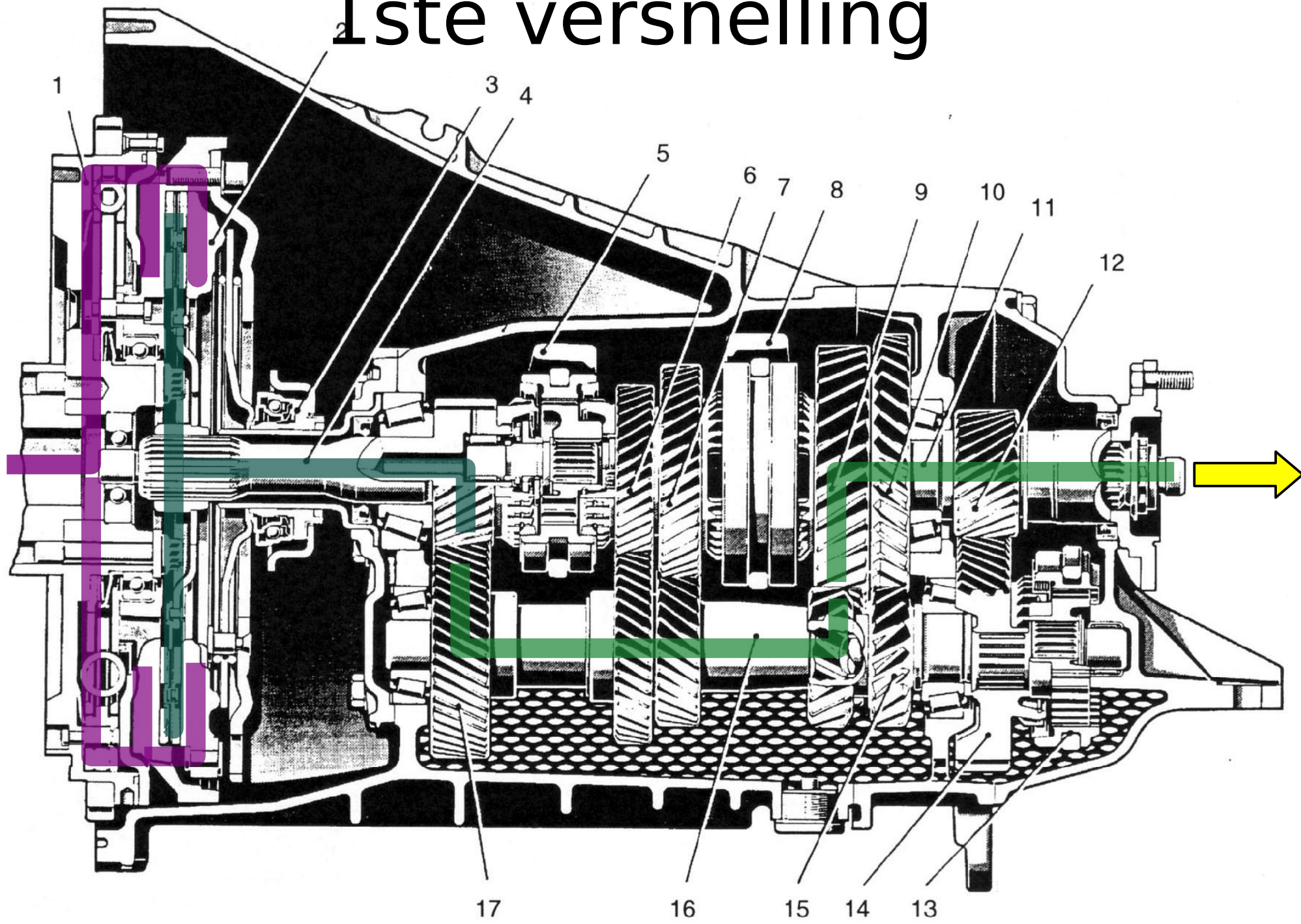
Handbediende transmissie



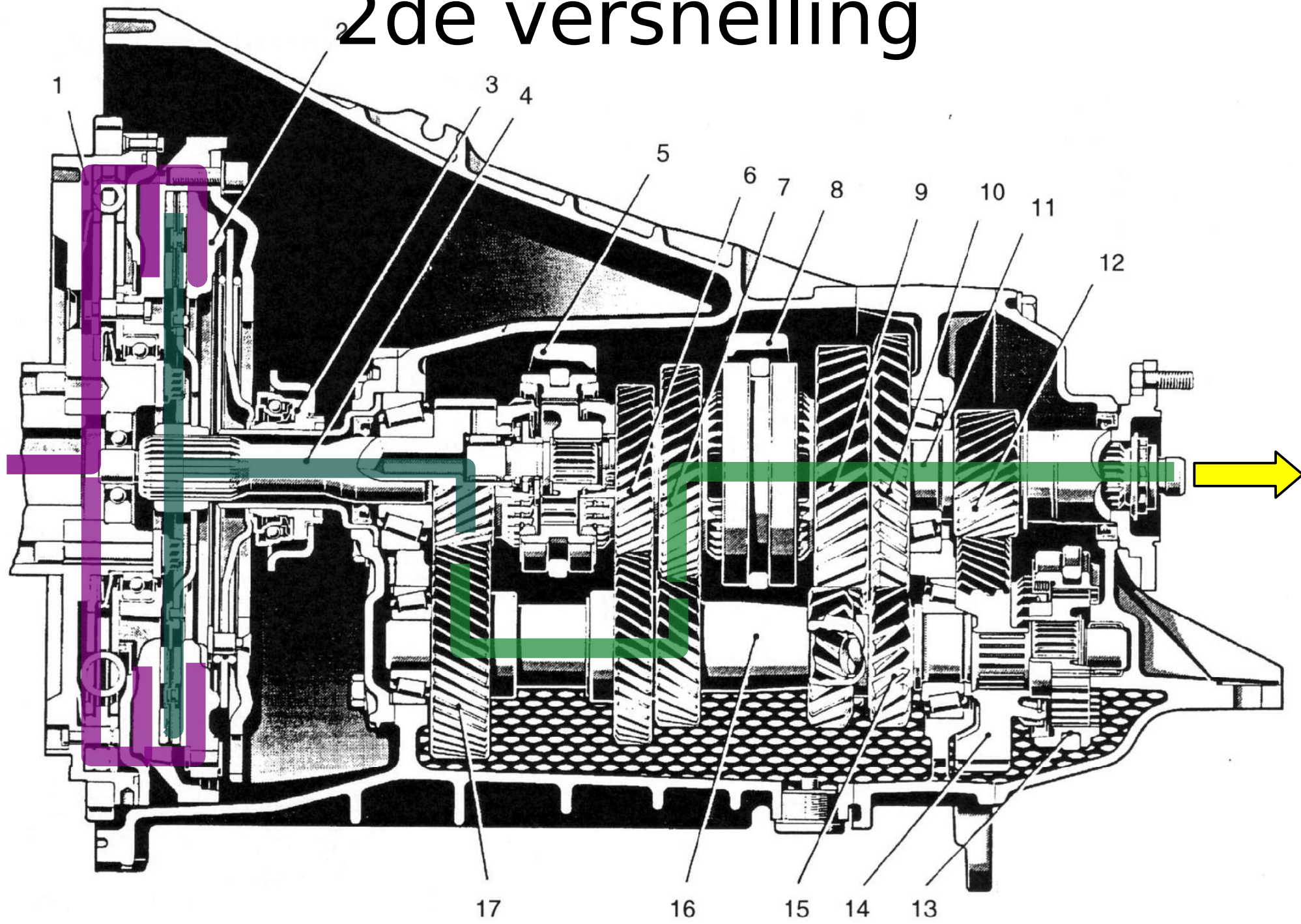
- 1 gedeeld vliegwiel
- 2 koppeling
- 3 druklager
- 4 prise-as
- 5 synchroniseerinrichting 3e en 4e versnelling
- 6 tandwiel 3e versnelling
- 7 tandwiel 2e versnelling
- 8 synchroniseerinrichting 1e en 2e versnelling
- 9 tandwiel 1e versnelling

- 10 achteruittandwiel-hoofdas
- 11 hoofdas
- 12 tandwiel 5e versnelling
- 13 synchroniseerinrichting 5e versnelling
- 14 hulpastandwiel 5e versnelling
- 15 achteruittandwiel-hulpas
- 16 hulpas
- 17 hulpastandwiel

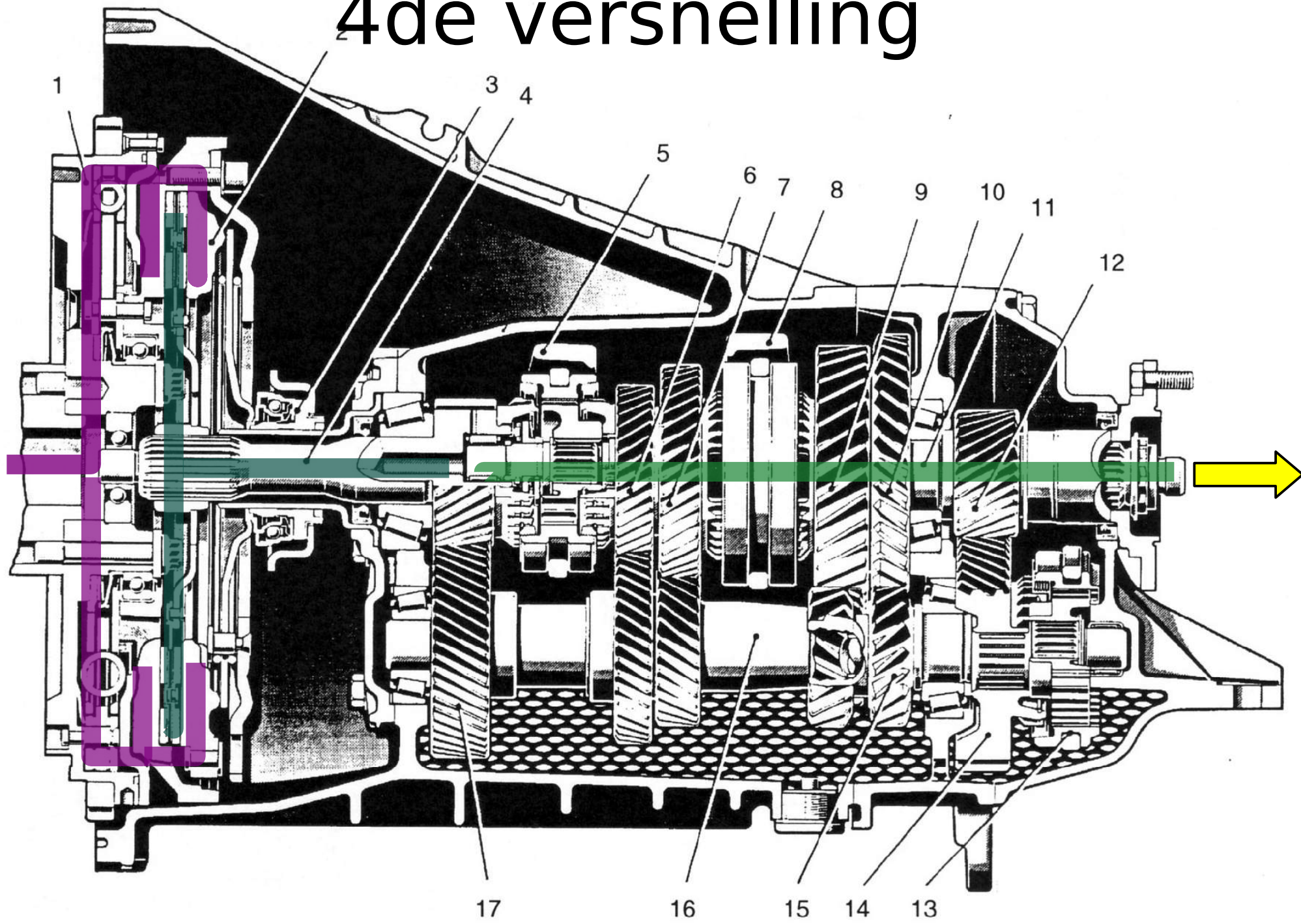
1ste versnelling



2de versnelling

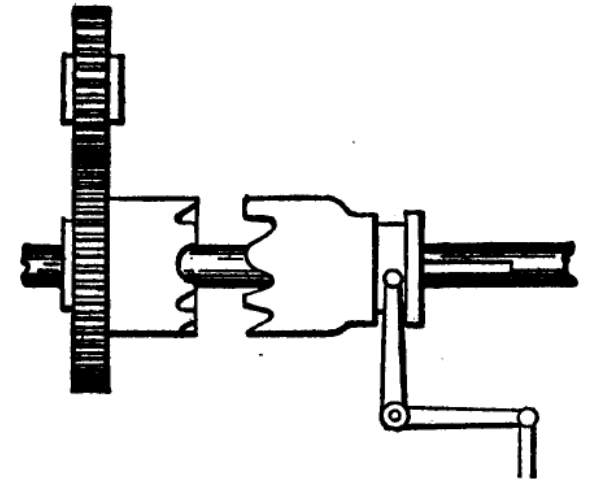
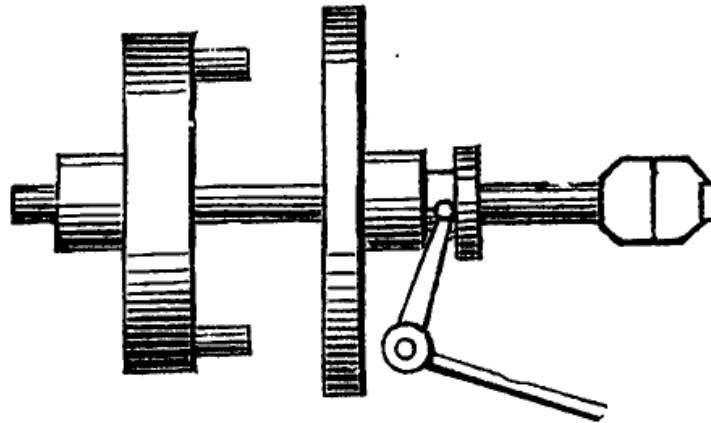


4de versnelling

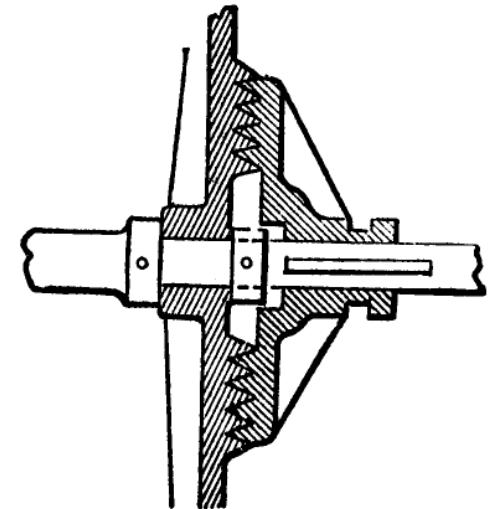
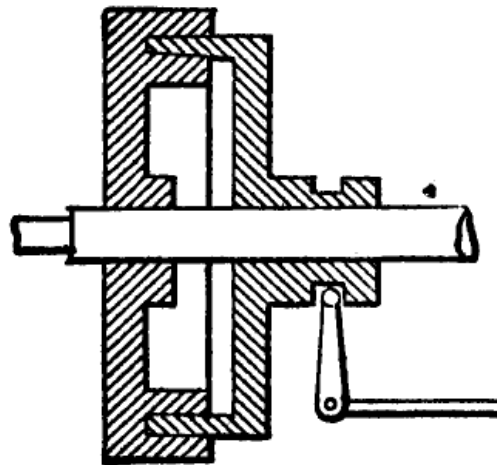


Basis: schakelbare koppelingen

- Vormgesloten:



- Krachtgesloten op wrijving:



Schakelen in een handmatige transmissie

- Hoofdkoppeling open (motor ontkoppelen)
- Huidige versnelling ontkoppelen
- Nieuwe versnelling:
 - Synchroniseren ingaande as (wrijving)
 - Koppelen nieuwe versnelling (vorm)
- Hoofdkoppeling sluiten

Synchroniseer koppeling

synchroniseer ring

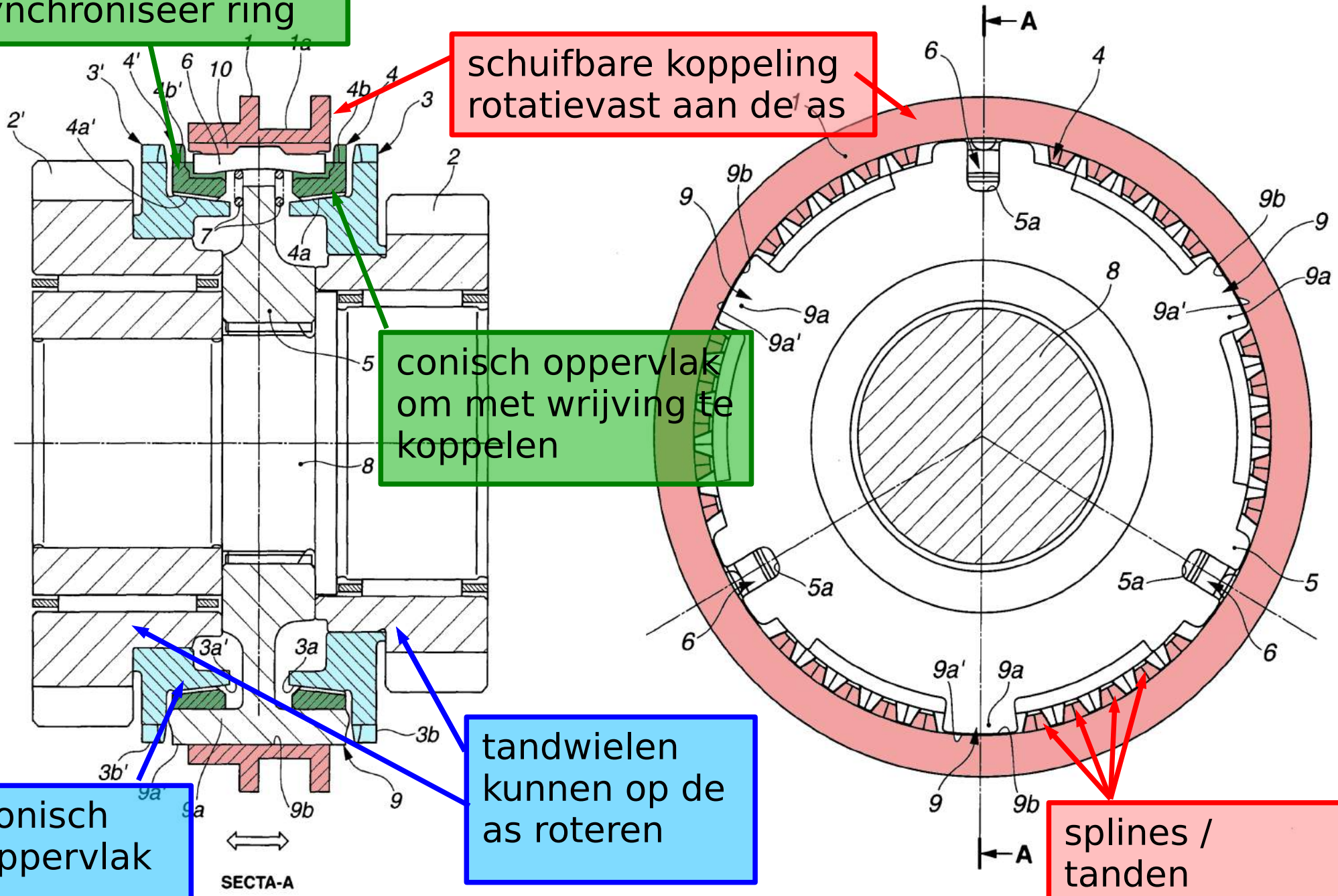
schuifbare koppeling
rotatievast aan de as

conisch oppervlak
om met wrijving te koppelen

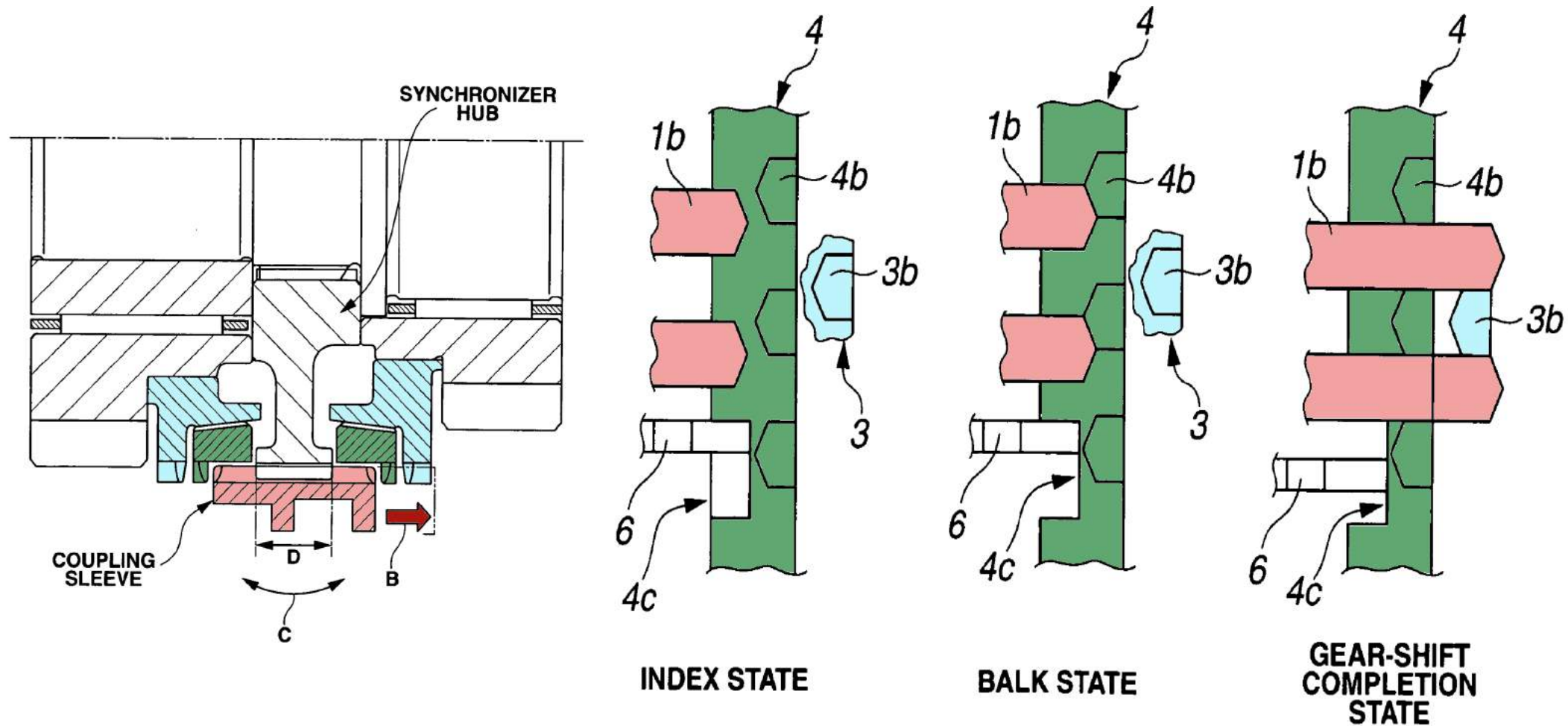
tandwielen
kunnen op de
as roteren

conisch
oppervlak

splines /
tanden



Synchroniseren

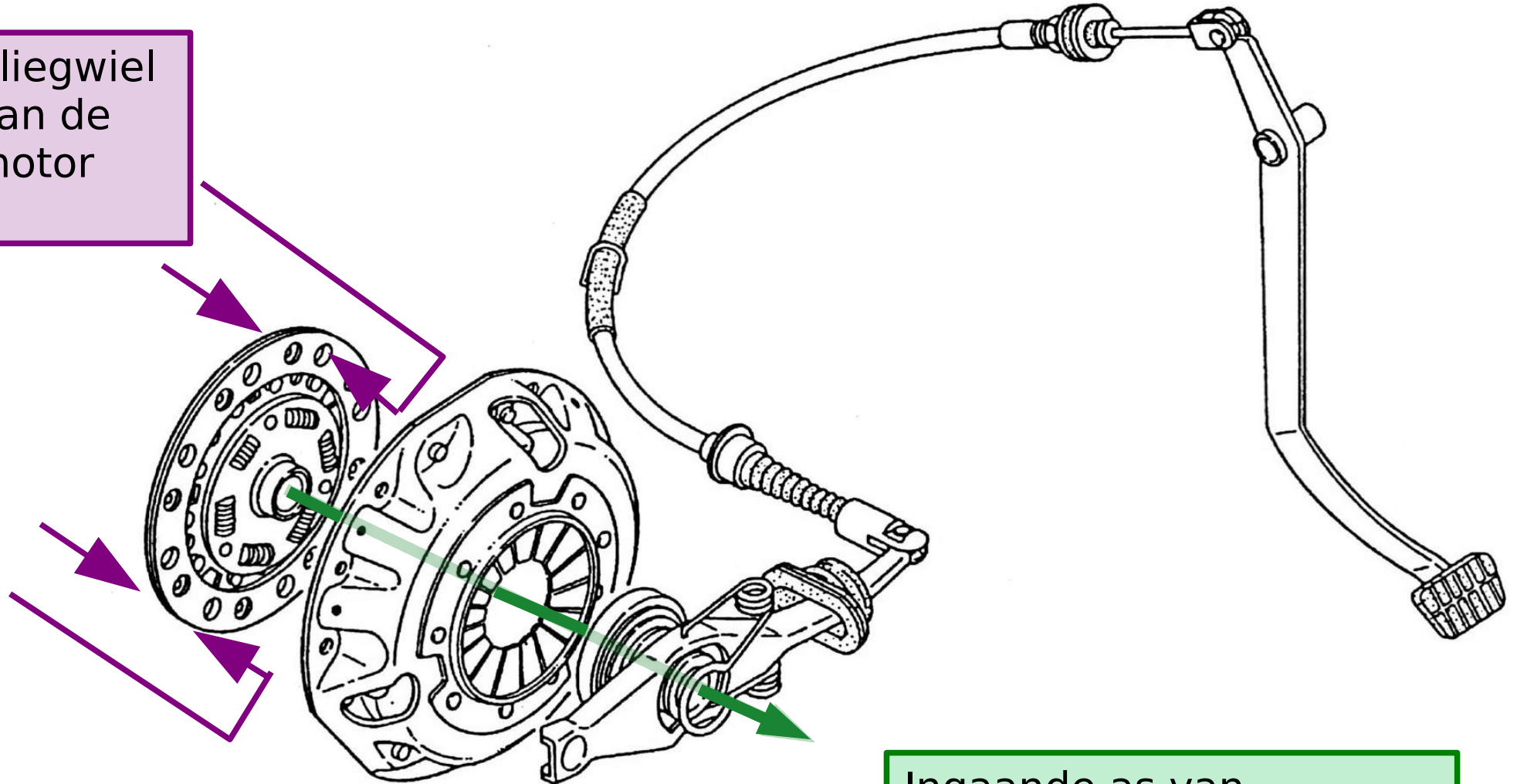


Tandwiel wordt gesynchroniseerd:
Synchroniseer ring maakt contact
met tandwiel

Tandwiel is gekoppeld

Droge koppeling

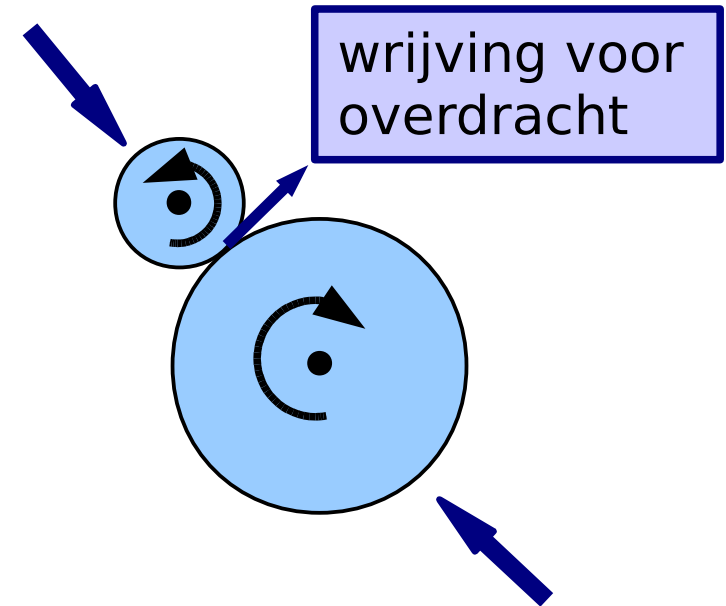
Vliegwiel
van de
motor



Ingaande as van
transmissie

Waarom tandwielen?

Met wielen kan via wrijving de beweging worden overgebracht



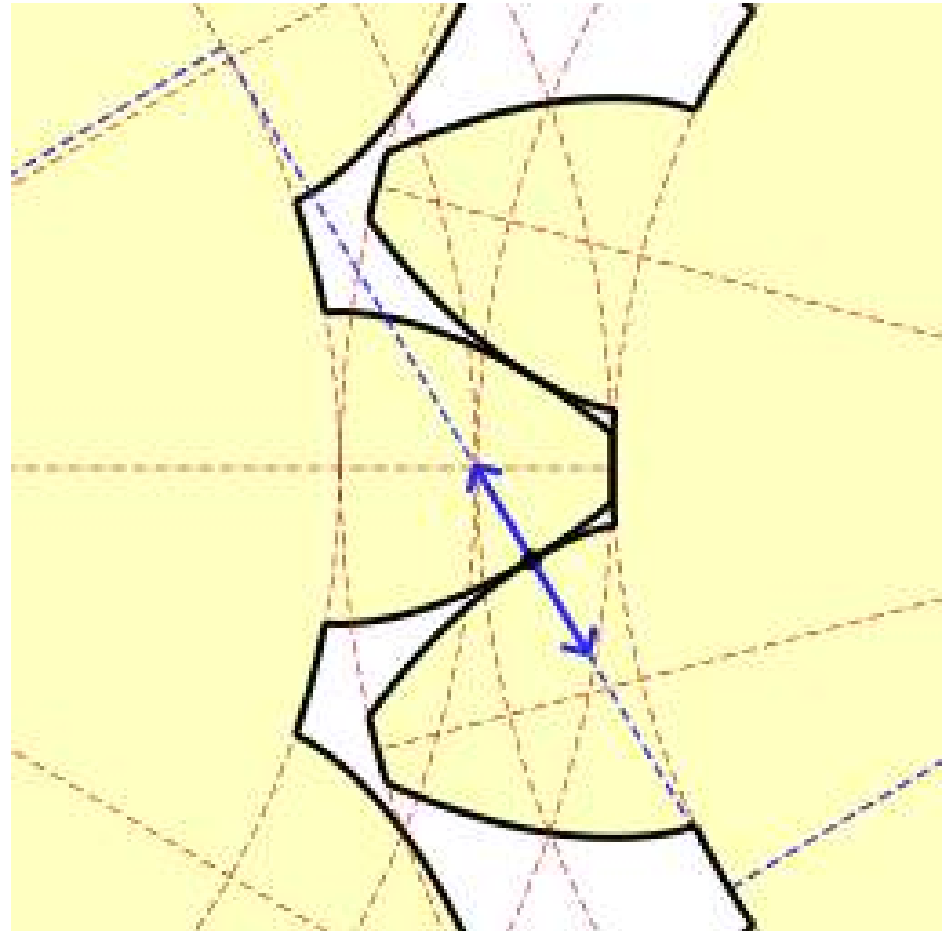
Aandrukkracht nodig voor wrijving. Te weinig wrijving: Slip

Gebruik tanden

Probleem opgelost ?!

Werking evolvente tanden

- Constante hoeksnelheid (onafhankelijk van afstand)
- Minimale wrijving door rollend contact
- Makkelijk in productie



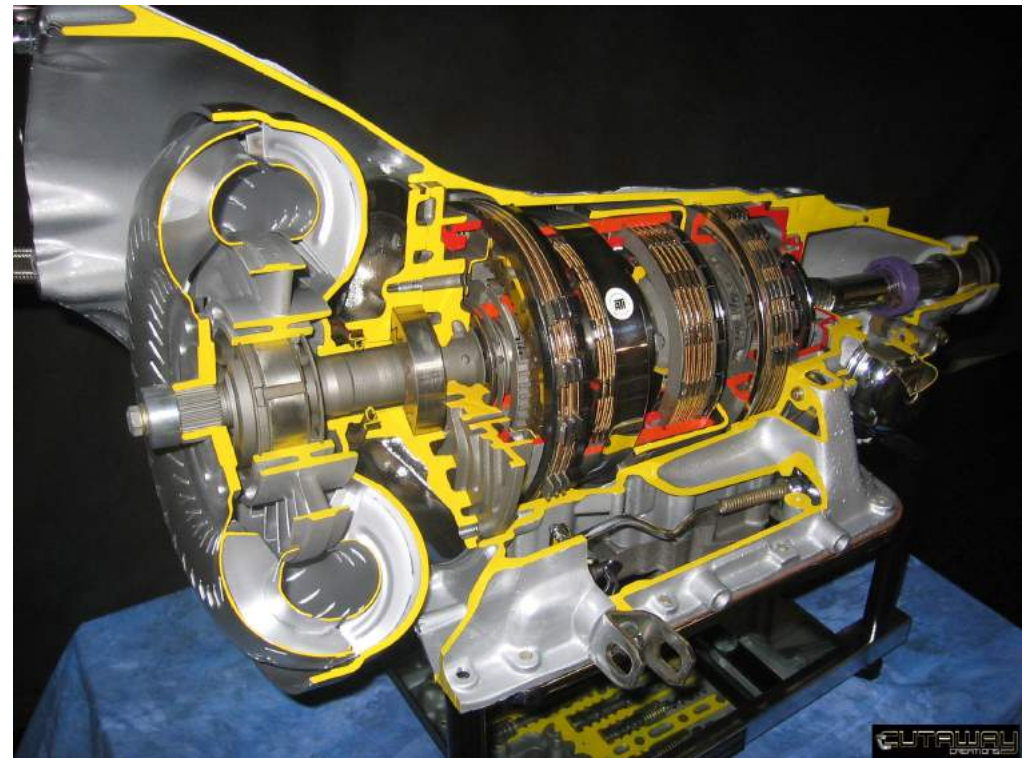
voor meer info bijvoorbeeld: www.sdp-si.com

Transmissies

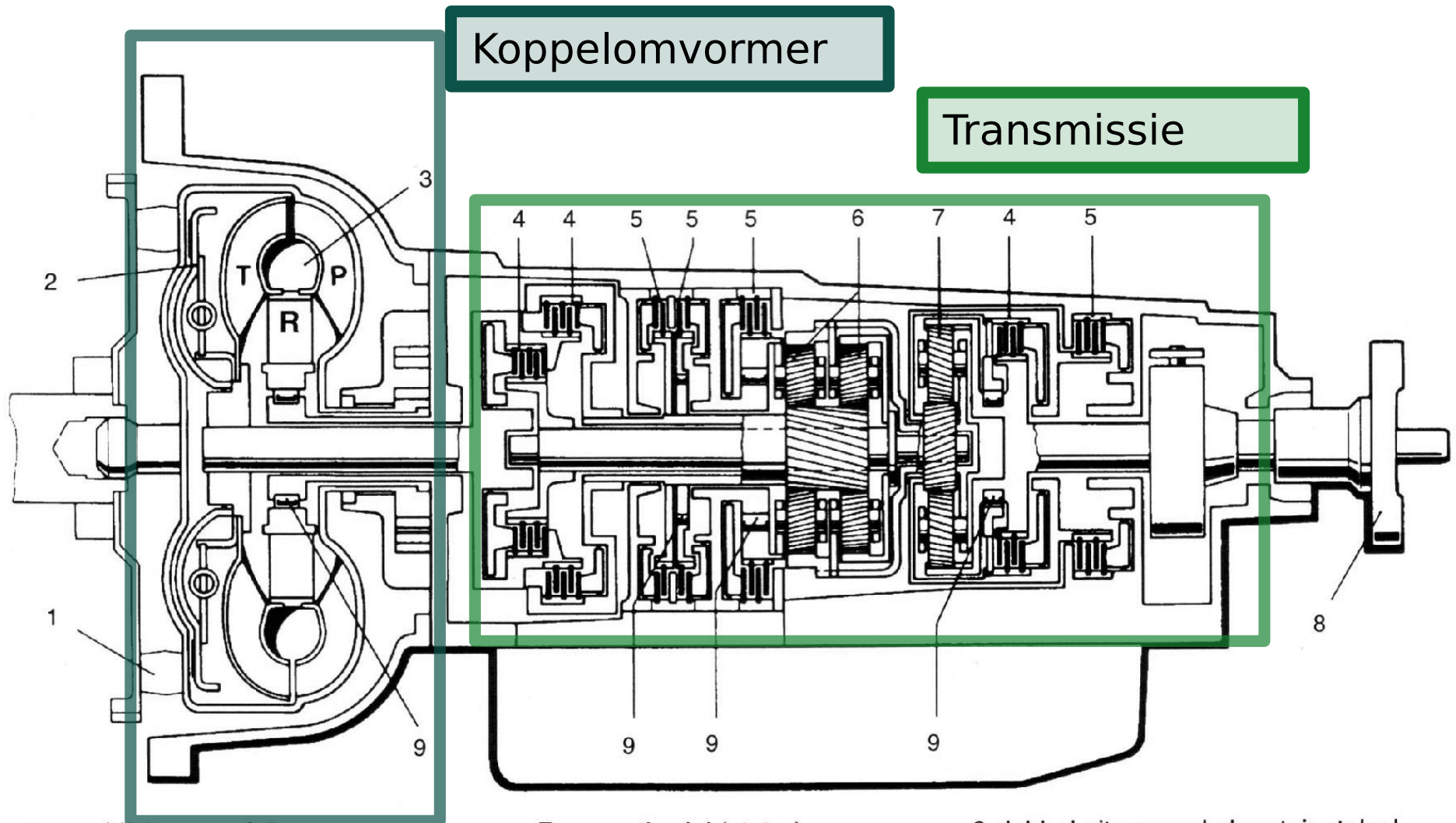
- Handgeschakelde transmissie, droge koppeling
- Automaat, koppelomvormer (torque converter)
- Continu Variabele Transmissie
 - Duwband (van Doorne)
 - Toroid
 - Hybride

Automaat

- Koppelomvormer (vloeistof koppeling)
- Planeet overbrengingen
- Hydraulisch aangestuurd



Automaat



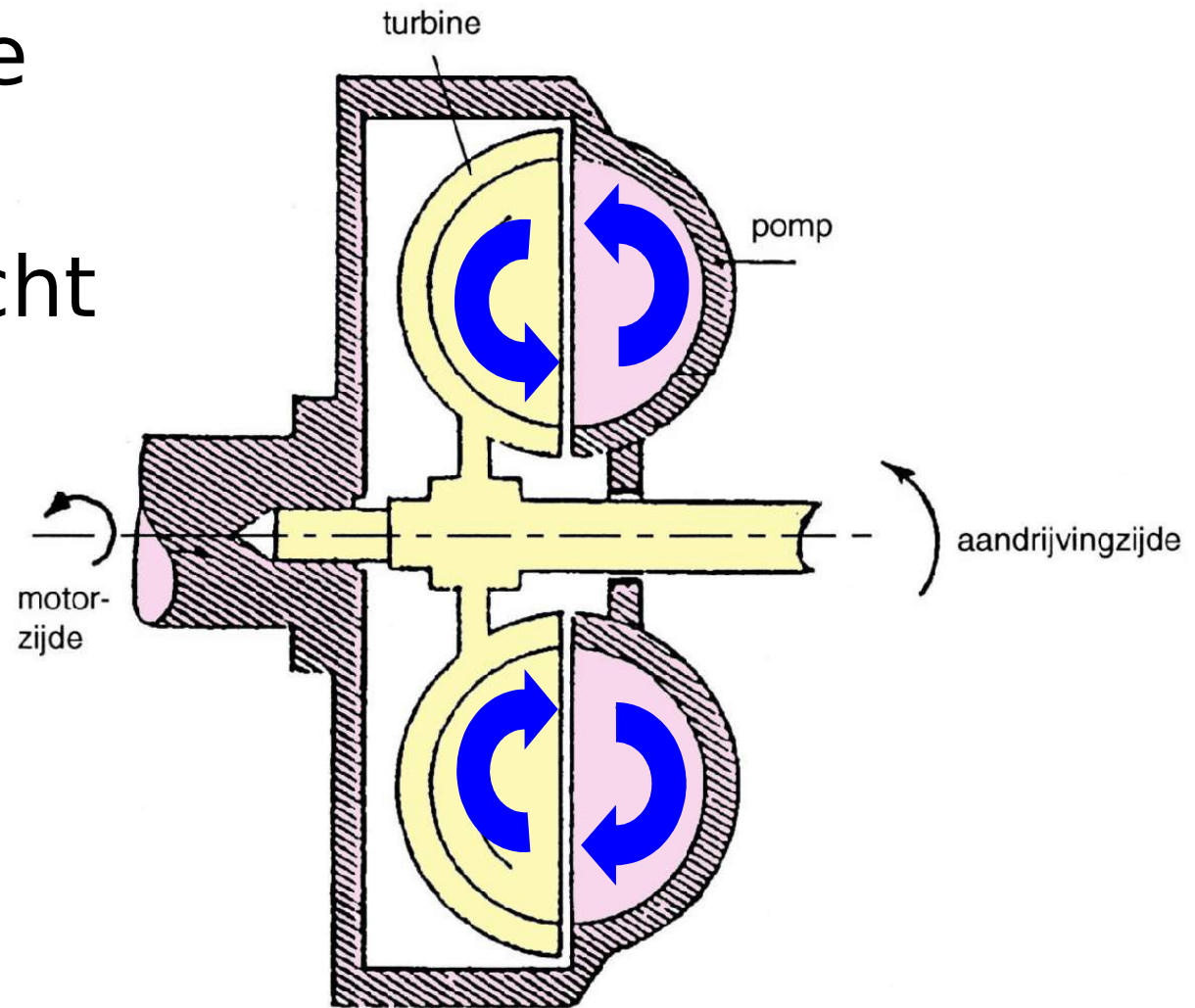
1 aandrijving vanaf de motor
 2 koppelomvormer lock-up koppeling
 3 hydrodynamische koppelomvormer
 P = pompwiel

R = reactiewiel (stator)
 T = turbinewiel
 4 meedraaiende lamellenkoppeling
 5 vastzittende lamellenkoppeling

6 dubbel uitgevoerd planetair stelsel
 7 planetair stelsel 4e versnelling
 8 uitgaande as
 9 vrijloop

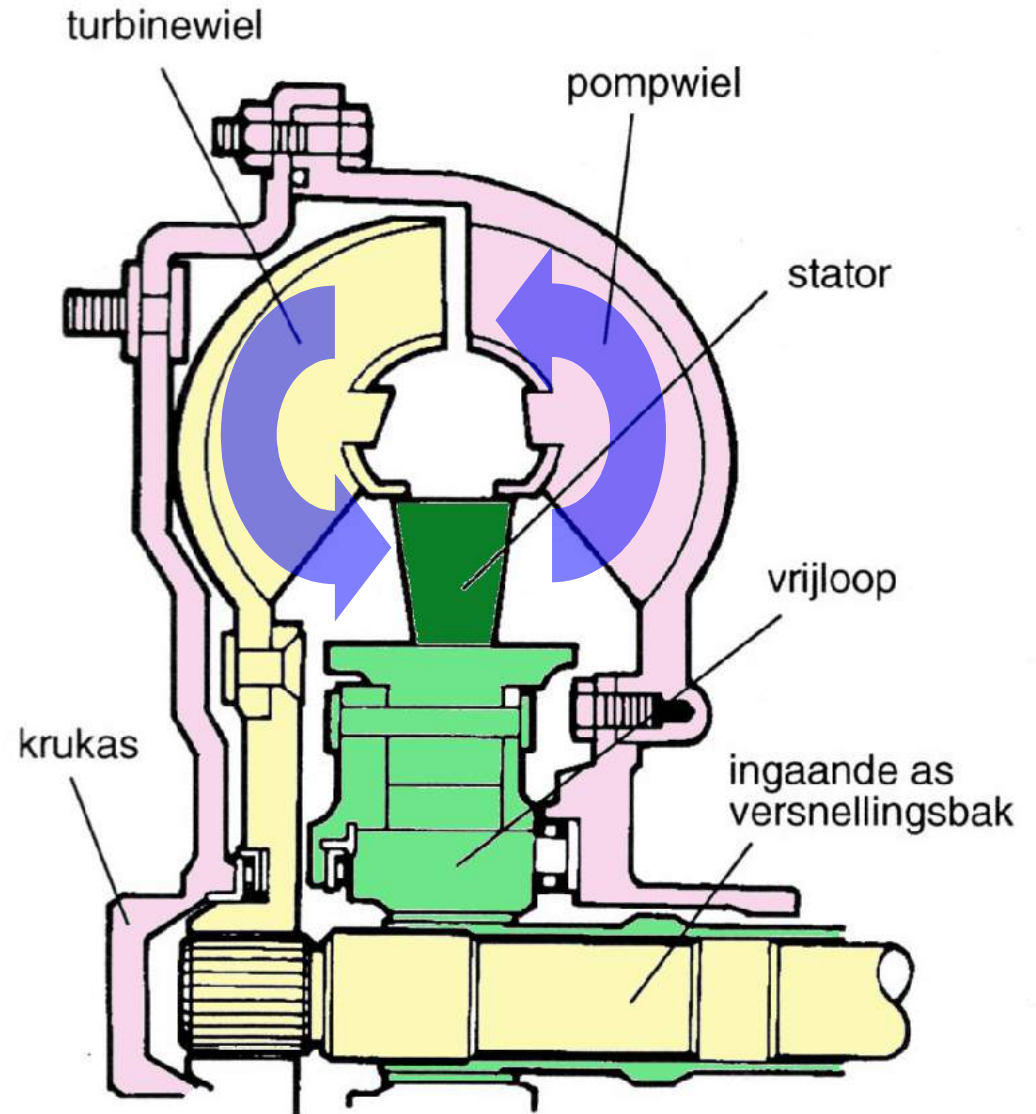
Vloeistofkoppeling

- Pomp en turbine
- Via **vloeistof** impuls overdracht

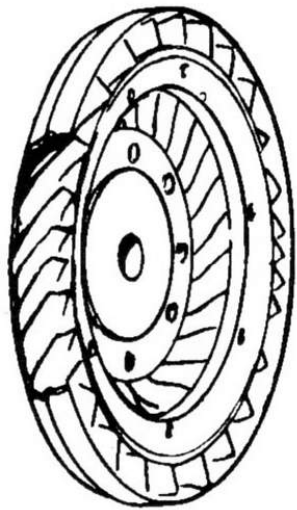


Koppelomvormer

Koppelomvormer =
vloeistofkoppeling
+ stator →
versterking van
koppel



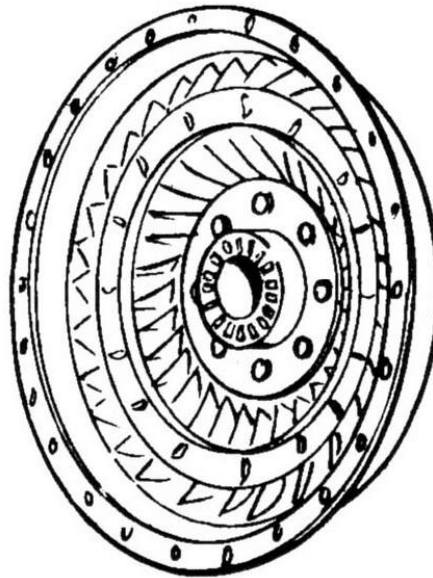
Koppelomvormer



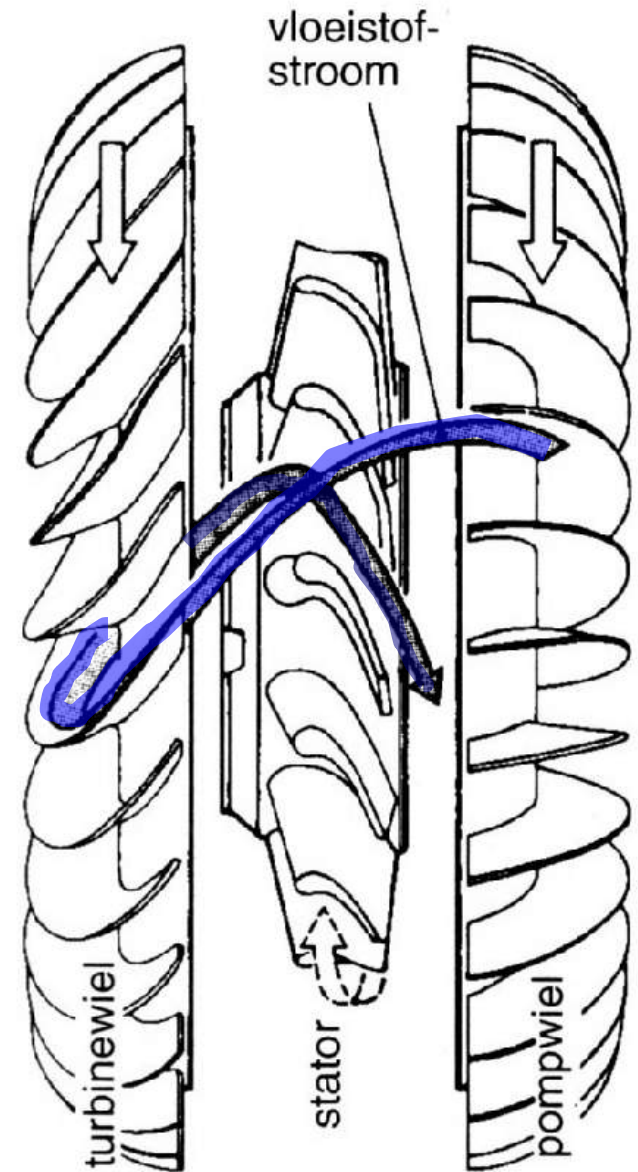
turbine



stator



pomp

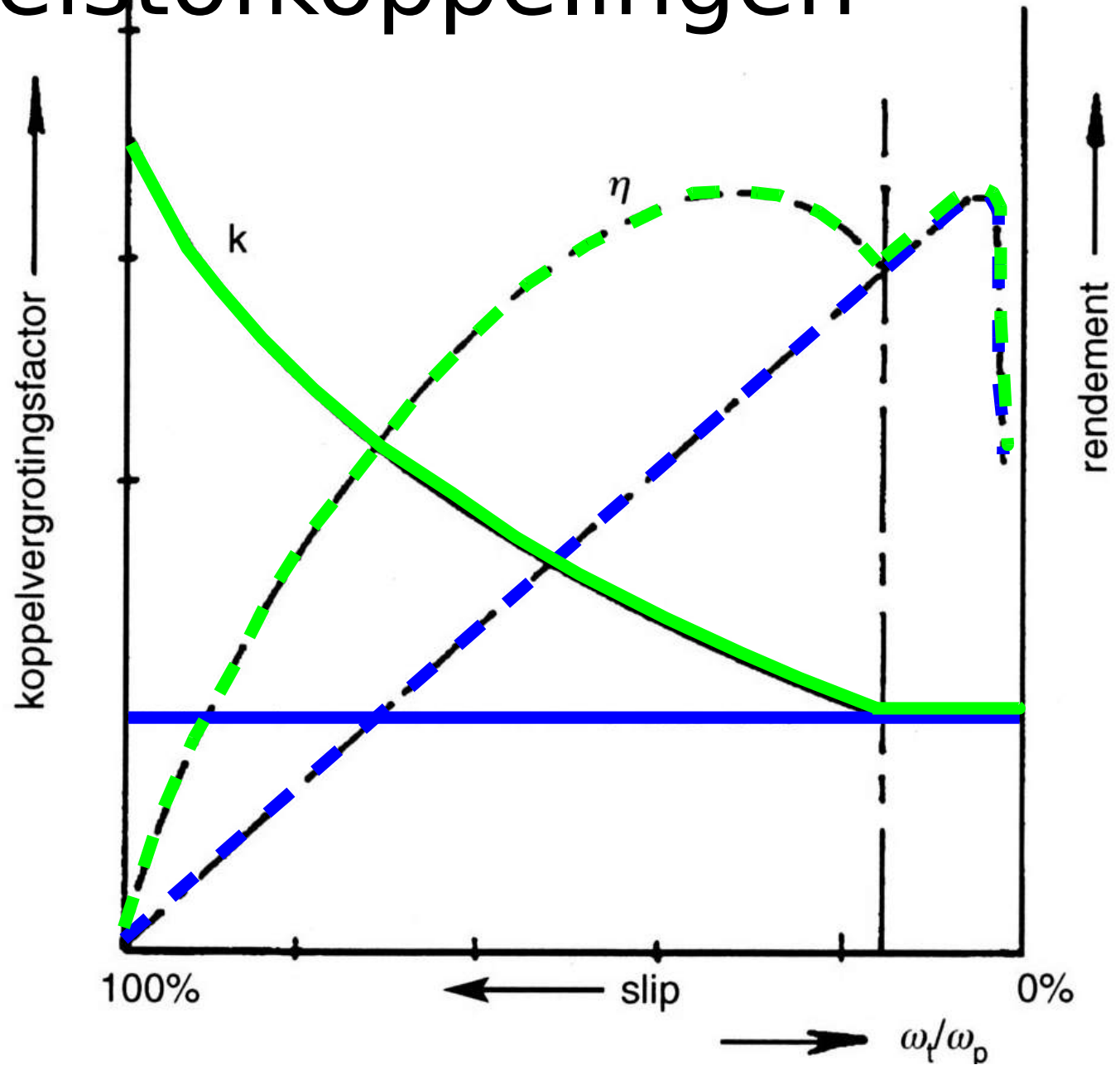


Karakteristiek vloeistofkoppelingen

Koppelomvormer

Koppel uit =
koppelvergrotingsfact
or x koppel in

Vloeistofkoppeling

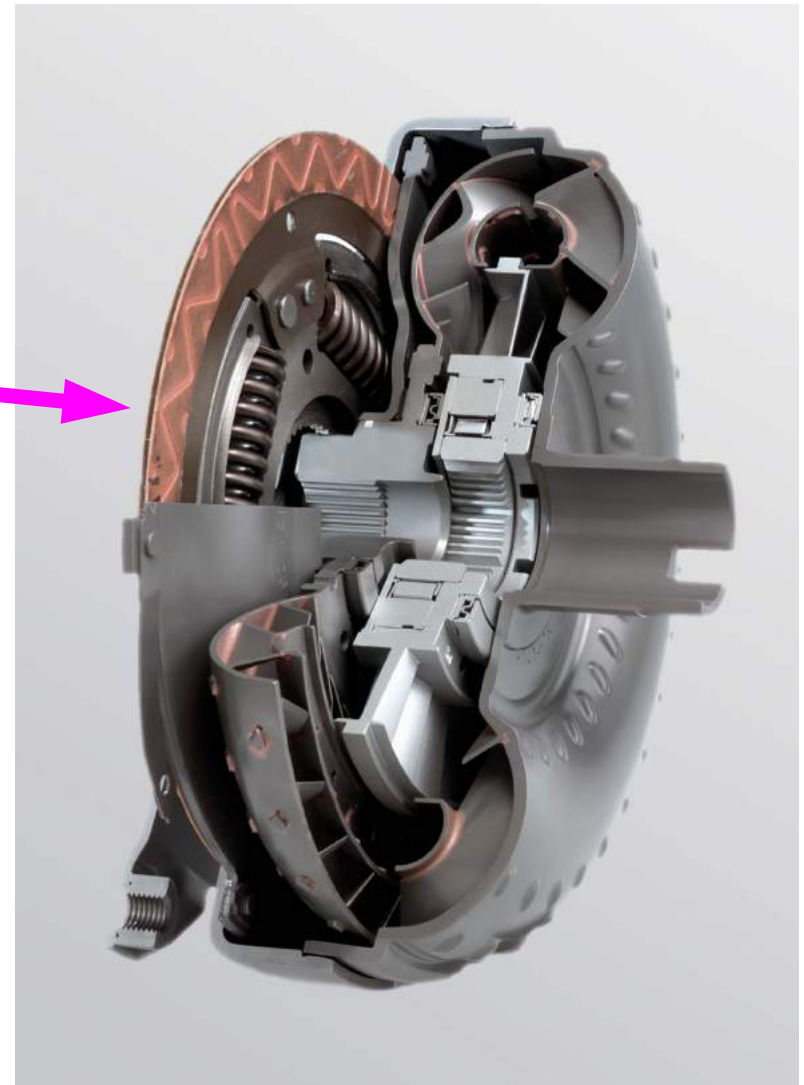


Koppelomvormer met lock-up

Lock-up koppeling
om
koppelomvormer
te overbruggen →

Geen slip →

Geen verlies



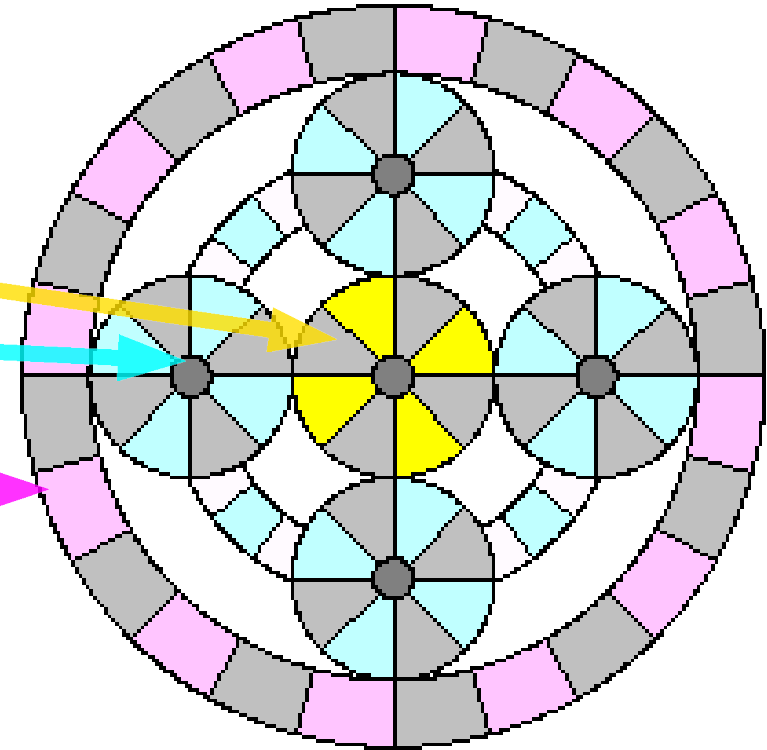
Planeet overbrenging

Tandwielen:

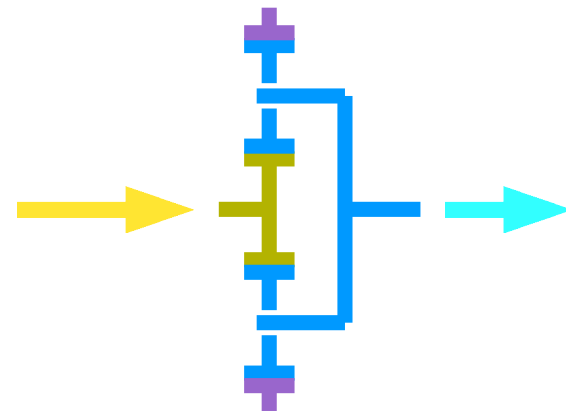
Zon

Planeten met
drager

Ringwiel

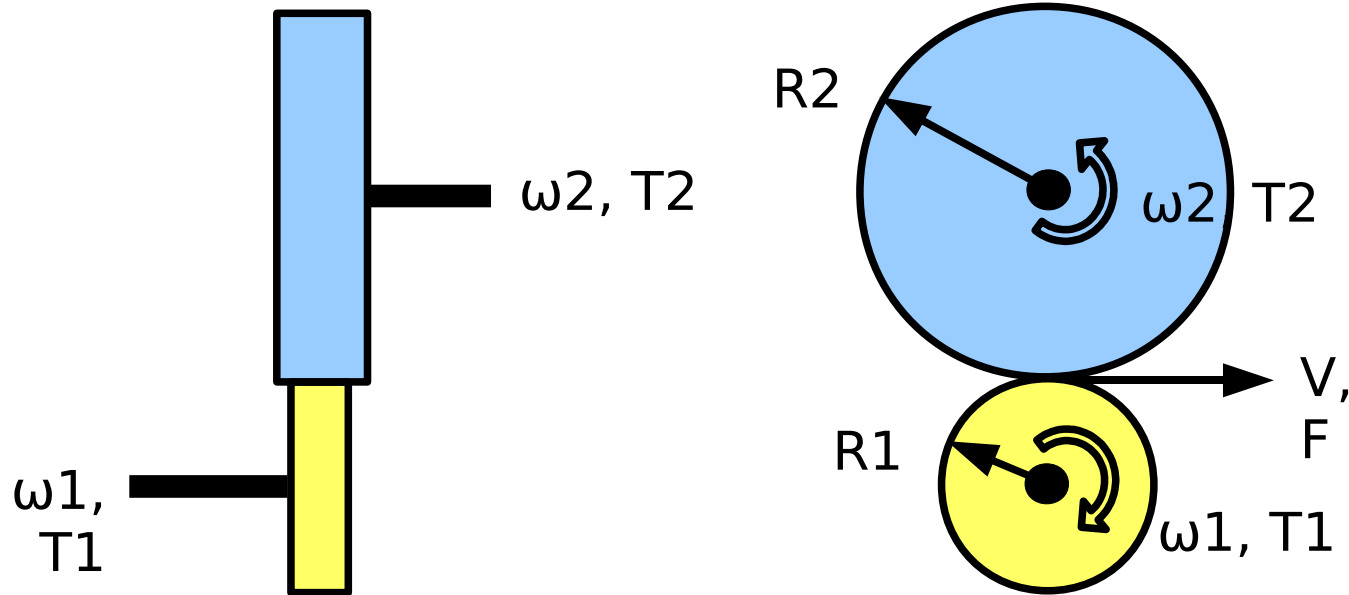


- Krachtverdeling over meerdere tanden en tandwielen
- Assen op één lijn

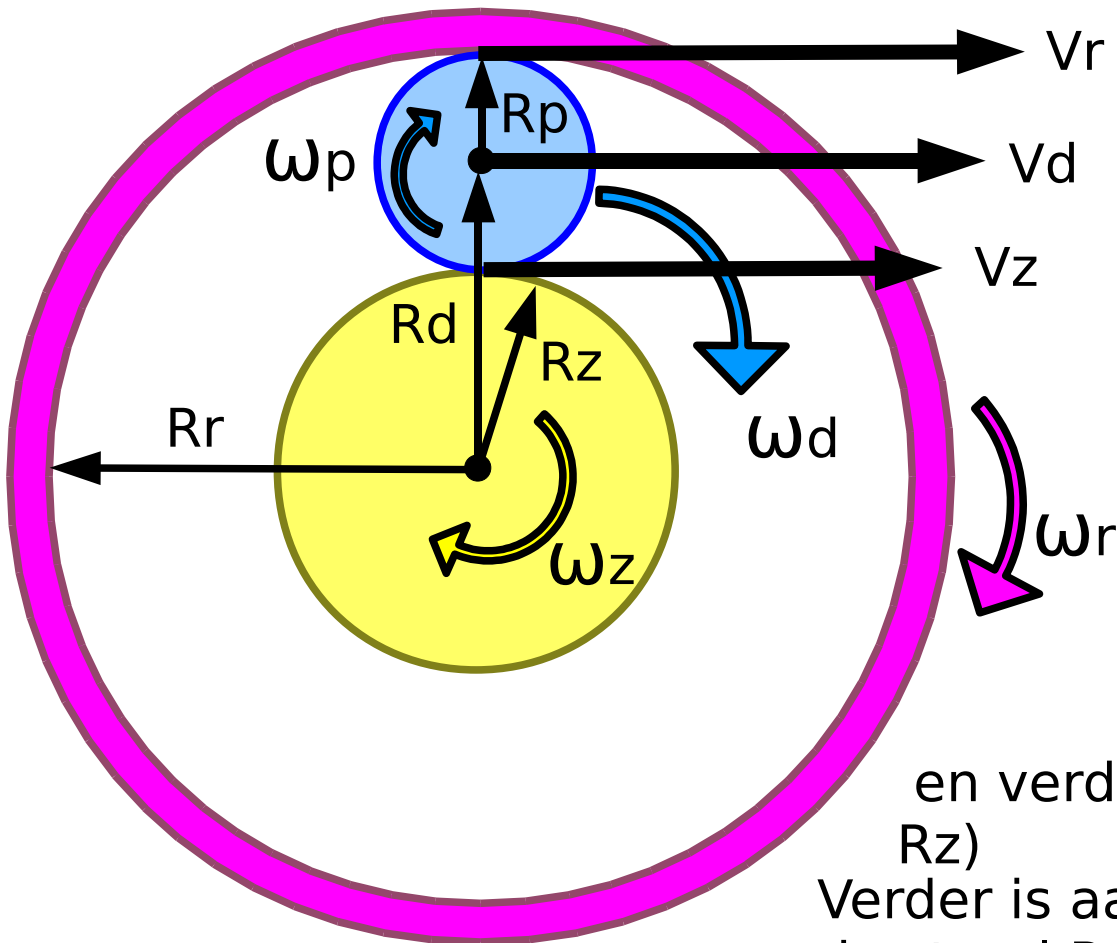


Basis: transmissie

- $V = \omega_1 R_1 = \omega_2 R_2$
- $F = T_1 / R_1 = T_2 / R_2$



Afleiding planeet overbrenging



$$V_r = \omega_r R_r$$

$$V_d = \omega_d R_d$$

$$V_z = \omega_z R_z$$

$$V_d = \frac{1}{2} (V_r + V_z)$$

$$2 \omega_d R_d = \omega_r R_r + \omega_z R_z$$

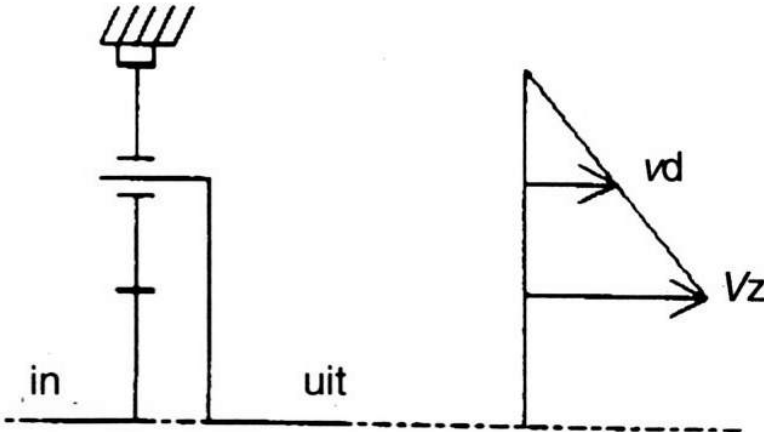
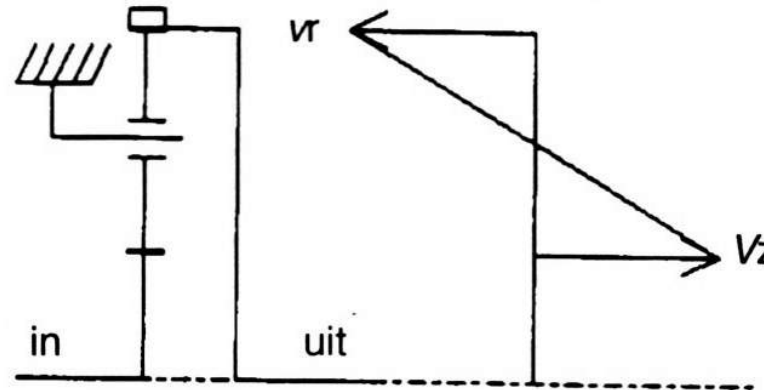
en verder: $R_d = R_z + R_p = \frac{1}{2} (R_r + R_z)$

Verder is aantal tanden Z evenredig met de straal R , dus kan R door Z worden vervangen

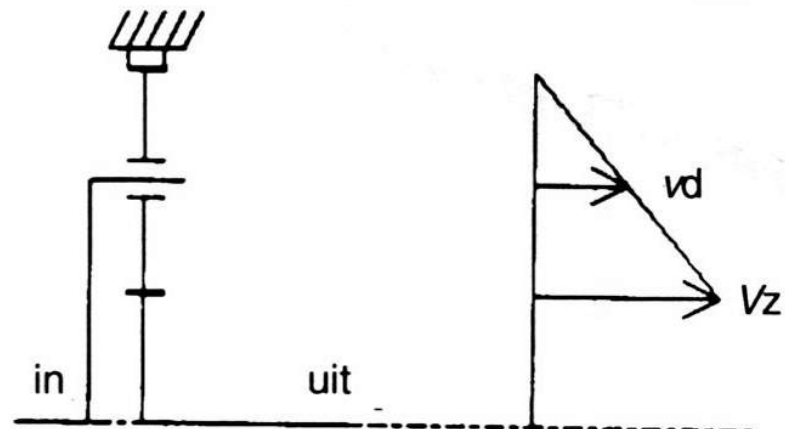
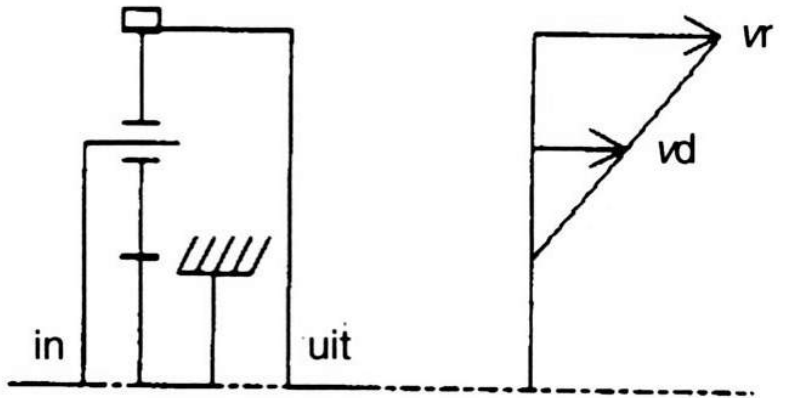
r = ring wiel
d = planeetdrager
z = zon
p = planeet

$$\omega_d (Z_r + Z_z) = \omega_r Z_r + \omega_z Z_z$$

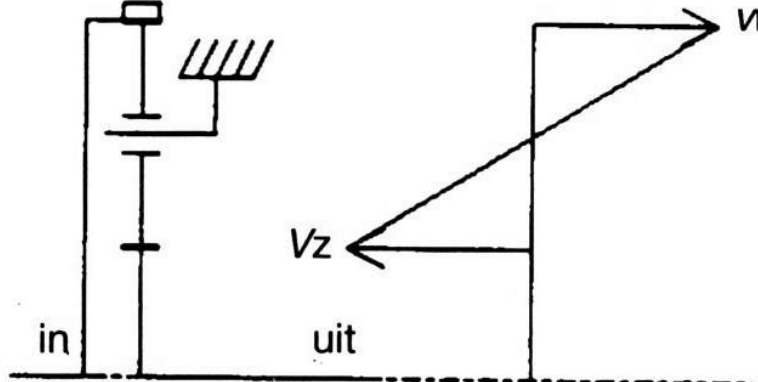
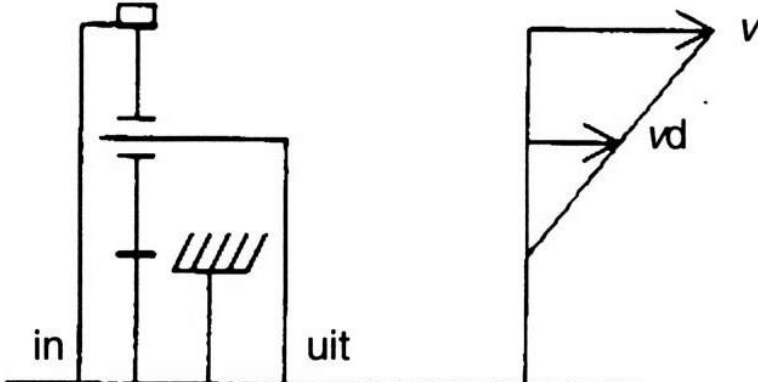
Planeet overbrengingen

geval	formule	overbrengings-verhouding	draairichting	afbeelding	omtreksnelheid
I	$i_1 = \frac{z_Z + z_R}{z_Z}$	i_1 groter dan 2. Want ringwiel is groter dan zonnewiel	vooruit vertraging		
II	$i_2 = \frac{z_R}{z_Z}$	i_2 groter dan 1.	achteruit vertraging		

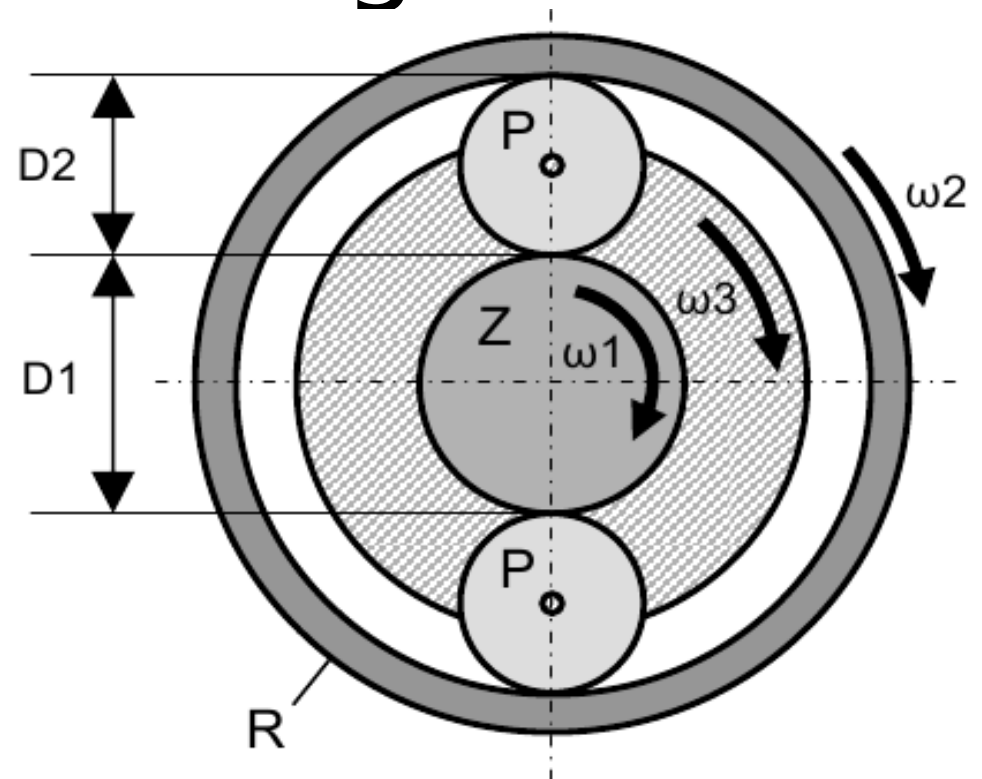
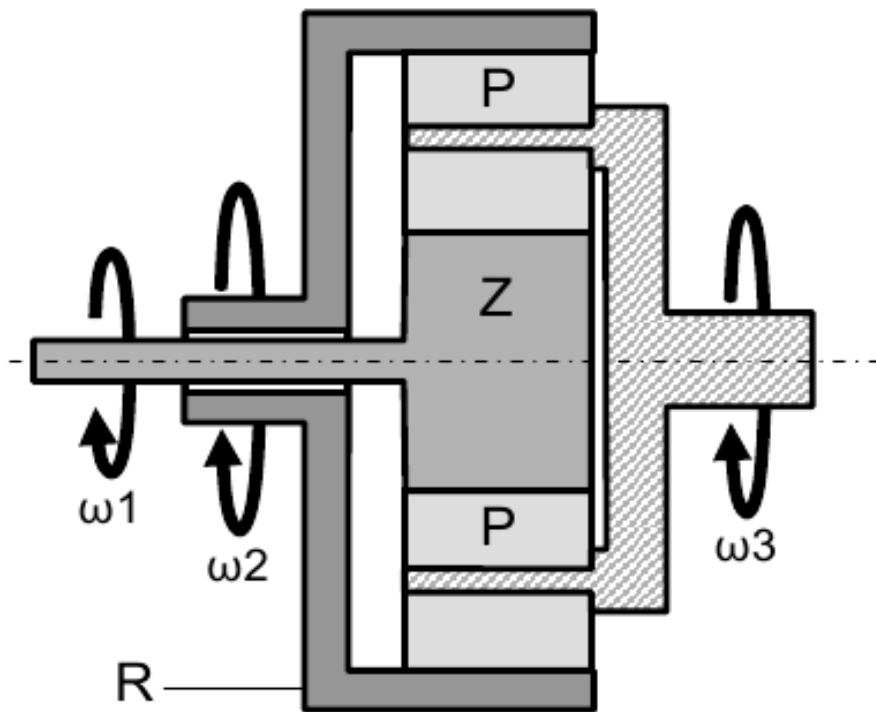
Planeet overbrengingen

geval	formule	overbrengings-verhouding	draairichting	afbeelding	omtreksnelheid
III	$i_3 = \frac{z_Z}{z_Z + z_R}$	i_3 kleiner dan 0,5. Want z_R is groter z_Z .	vooruit versnelling		
IV	$i_4 = \frac{z_R}{z_Z + z_R}$	i_4 ligt tussen 0,5 en 1.	vooruit versnelling		

Planeet overbrengingen

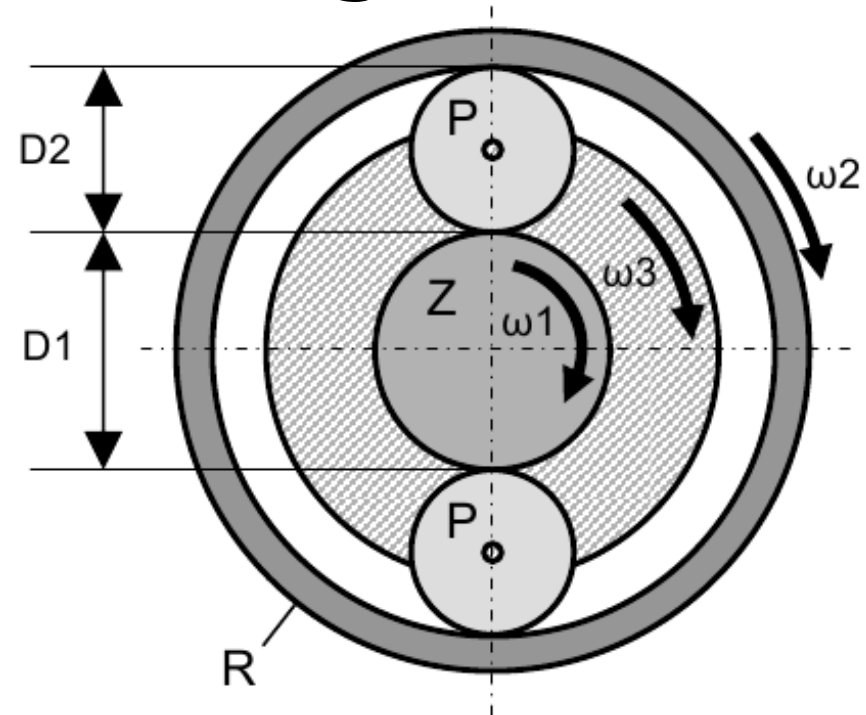
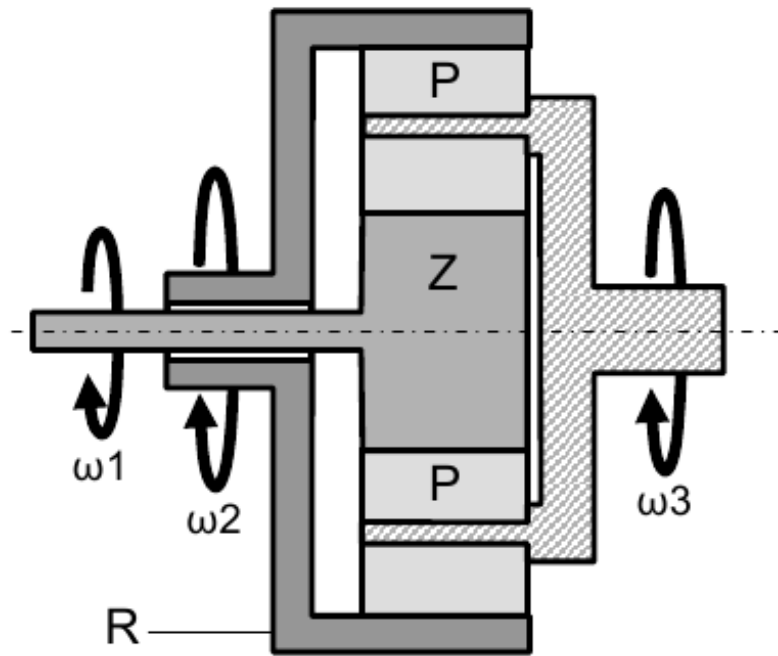
geval	formule	overbrengings-verhouding	draairichting	afbeelding	omtreksnelheid
V	$i_5 = \frac{z_z}{z_R}$	i_5 kleiner dan 1.	achteruit versnelling		
VI	$i_6 = \frac{z_z + z_R}{z_R}$	i_6 ligt tussen 1 en 2	vooruit vertraging		

Tentamenvraag B



De figuur hierboven laat een planeetoverbrenging zien met 4 tandwielen: een “zon” (Z), twee “planeten” (P) en een “ringwiel” (R). De zon en de planeten hebben een buitenvertanding en het ringwiel heeft een binnenvranging, waardoor zon, planeten en ringwiel langs elkaar afrollen (vertandingen zijn niet getekend in de figuur). De zon zit vast aan een ingaande as met hoeksnelheid ω_1 . Het ringwiel zit vast aan een tweede ingaande as die om de eerste ingaande as heendraait. De hoeksnelheid van deze tweede ingaande as is gelijk aan ω_2 . De 2 planeten zijn draaibaar verbonden aan een drager die uitmondt in een uitgaande as die hoeksnelheid ω_3 heeft. De diameter van de zon is gelijk aan D_1 , de diameter van beide planeten is gelijk aan D_2 .

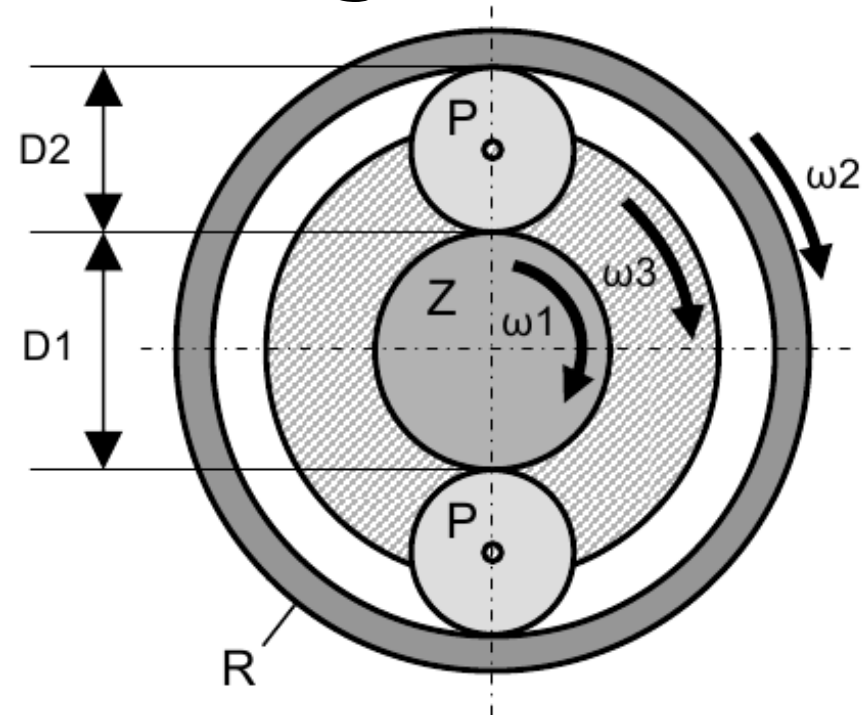
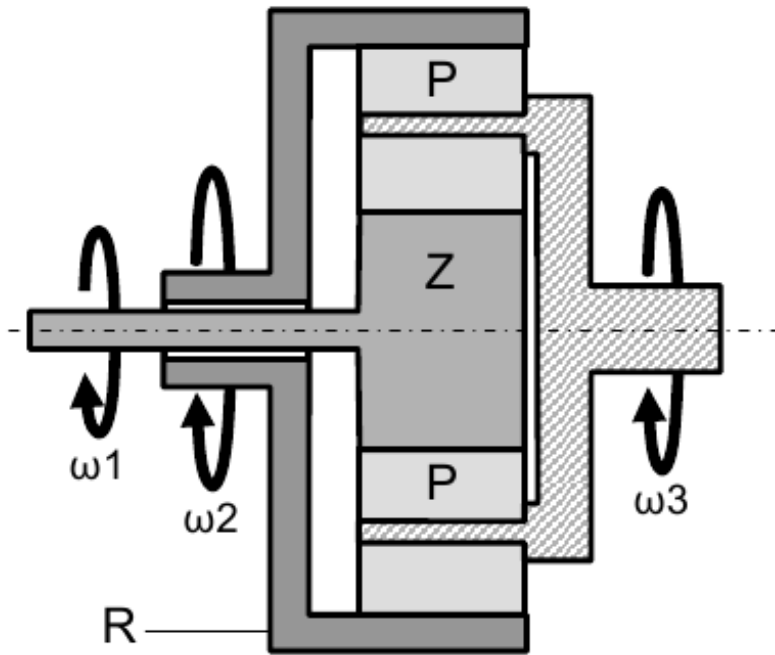
Tentamenvraag B1



B1. De planeetoverbrenging in de figuur bevat 2 planeten. Vaak worden planeetoverbrengingen uitgerust met 3 planeten en soms zelfs met 6 planeten. Wat is de motivatie om een planeetoverbrenging met zoveel planeten uit te rusten?

Antwoord B1

Tentamenvraag B1

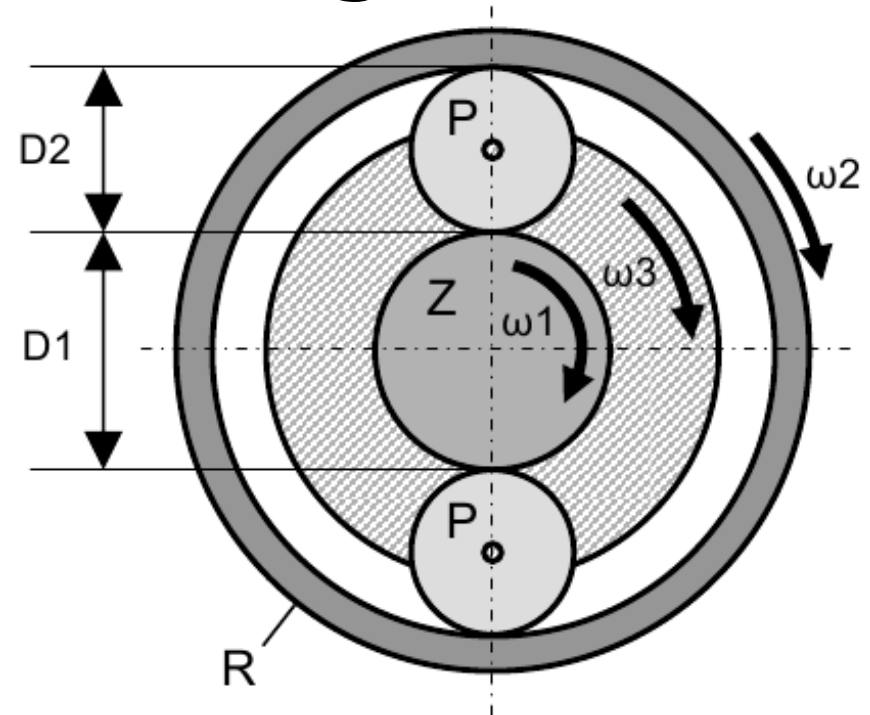
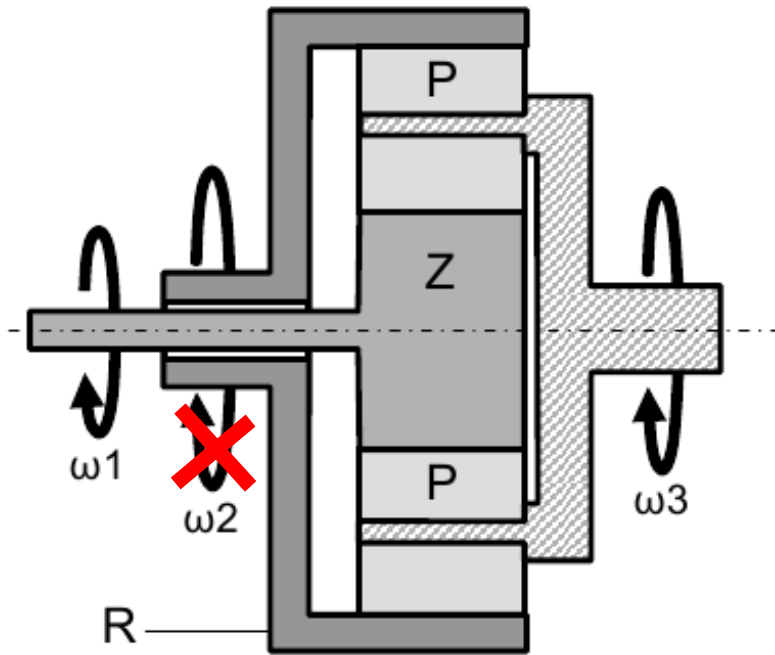


B1. De planeetoverbrenging in de figuur bevat 2 planeten. Vaak worden planeetoverbrengingen uitgerust met 3 planeten en soms zelfs met 6 planeten. Wat is de motivatie om een planeetoverbrenging met zoveel planeten uit te rusten?

Hogere torques en/of langere levensduur

Antwoord B1

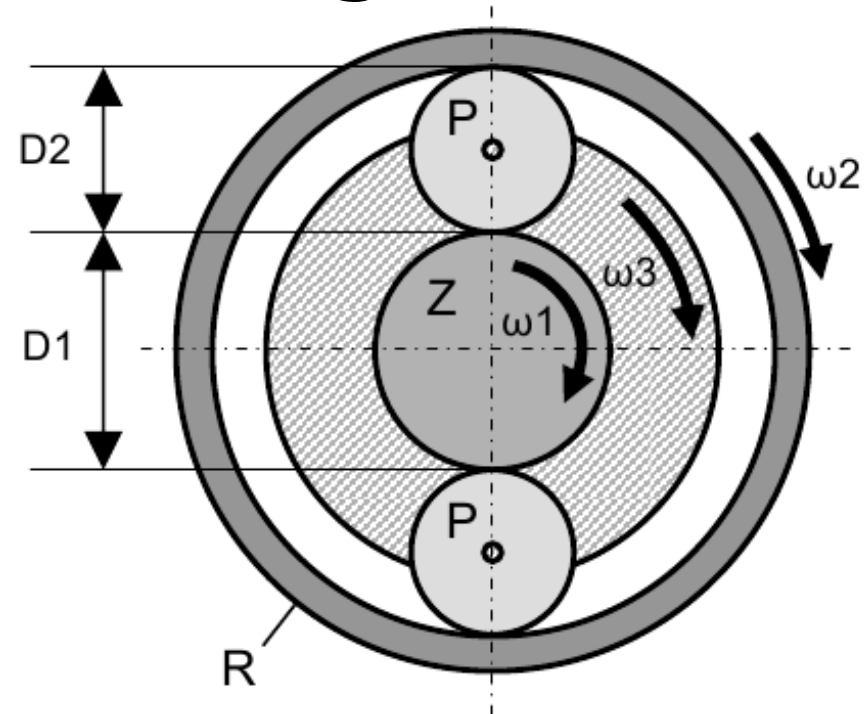
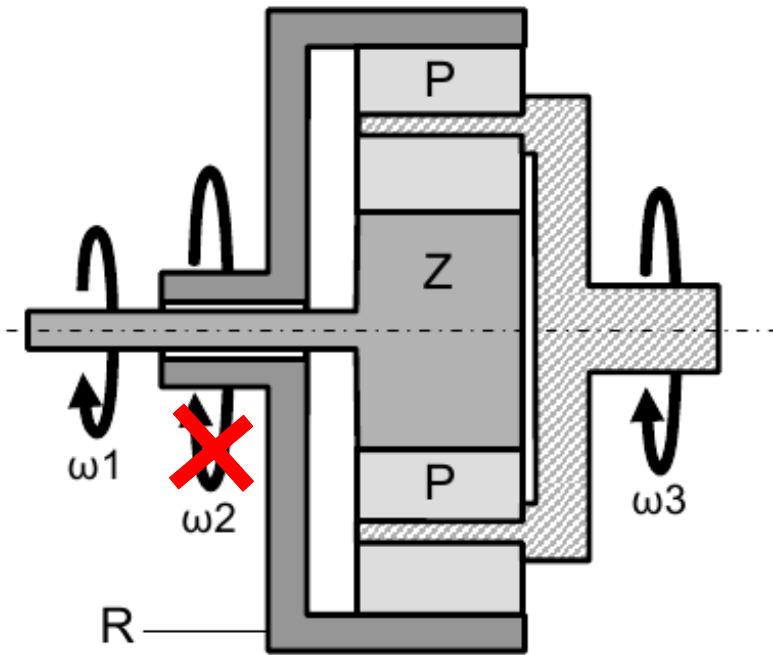
Tentamenvraag B2



B2. Bekijk de situatie dat van de ingaande assen alleen de zon draait, dus $\omega_2=0$. Druk ω_3 uit in ω_1 , $D1$ en $D2$.

Antwoord B2

Tentamenvraag B2



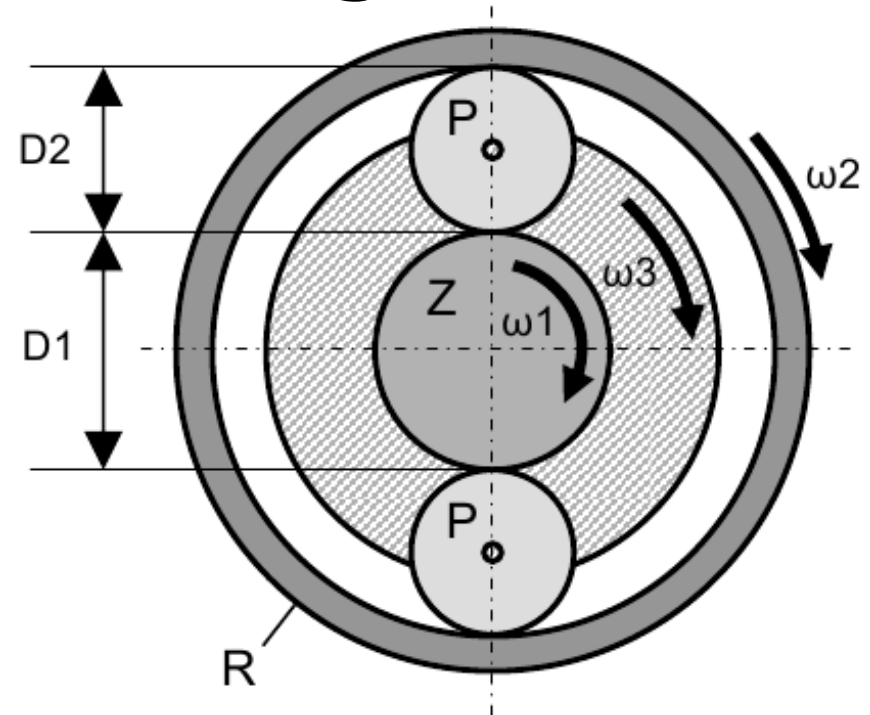
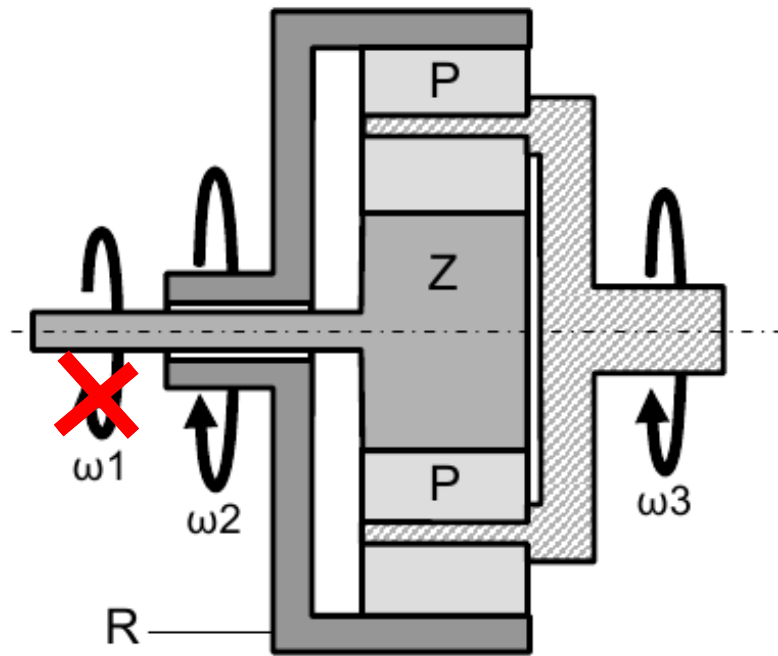
B2. Bekijk de situatie dat van de ingaande assen alleen de zon draait, dus $\omega_2=0$. Druk ω_3 uit in ω_1 , D_1 en D_2 .

$$\omega_d (Z_r + Z_z) = \omega_r Z_r + \omega_z Z_z$$

$$\omega_3 = \omega_1 \cdot D_1 / (2D_1 + 2D_2)$$

Antwoord B2

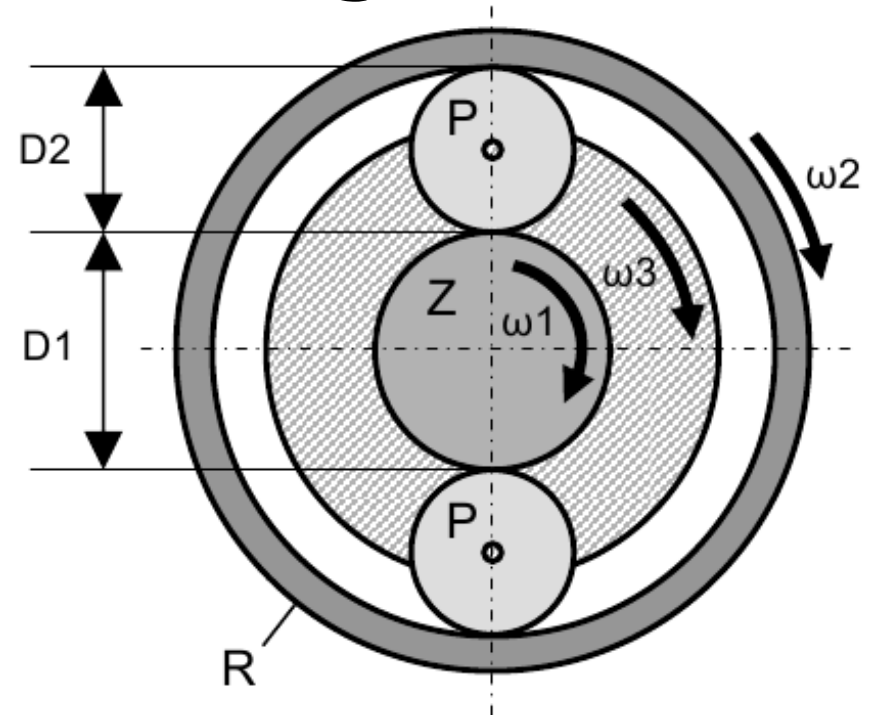
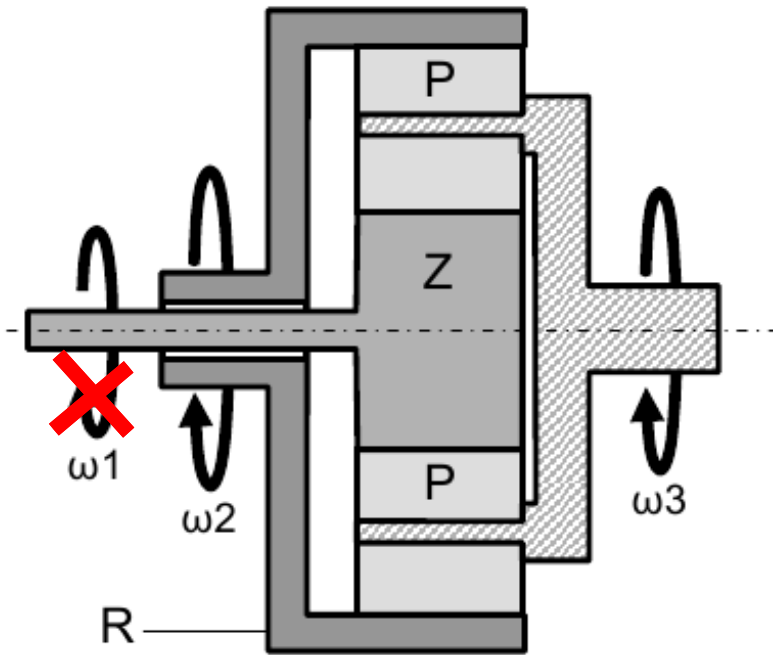
Tentamenvraag B3



B3. Bekijk de situatie dat van de ingaande assen alleen het ringwiel draait, dus $\omega_1=0$. Druk ω_3 uit in ω_2 , D_1 en D_2 .

Antwoord B3

Tentamenvraag B3



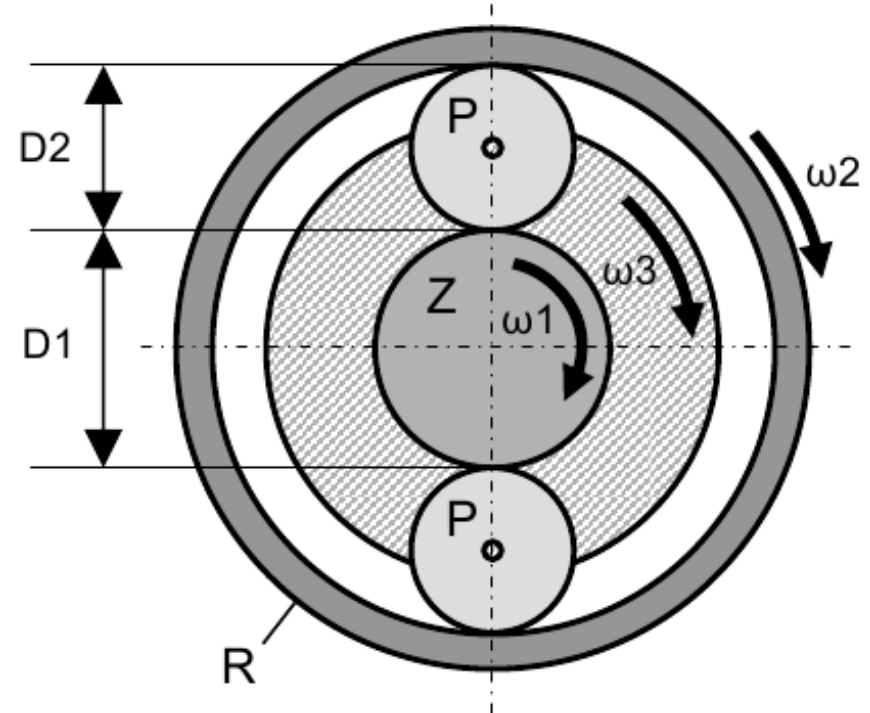
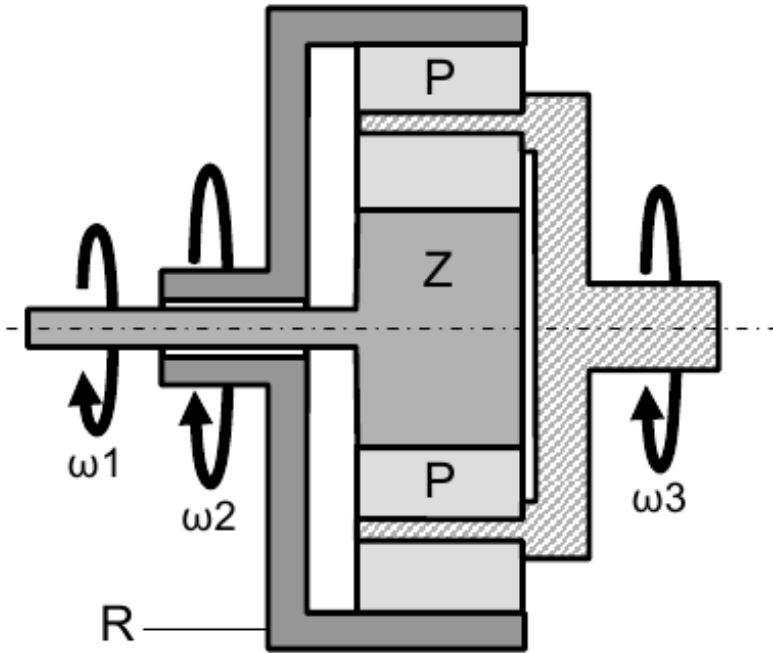
B3. Bekijk de situatie dat van de ingaande assen alleen het ringwiel draait, dus $\omega_1=0$. Druk ω_3 uit in ω_2 , D_1 en D_2 .

$$\omega_d (Z_r + Z_z) = \omega_r Z_r + \omega_z Z_z$$

$$\omega_3 = \omega_2 \cdot (D_1 + 2D_2) / (2D_1 + 2D_2)$$

Antwoord B3

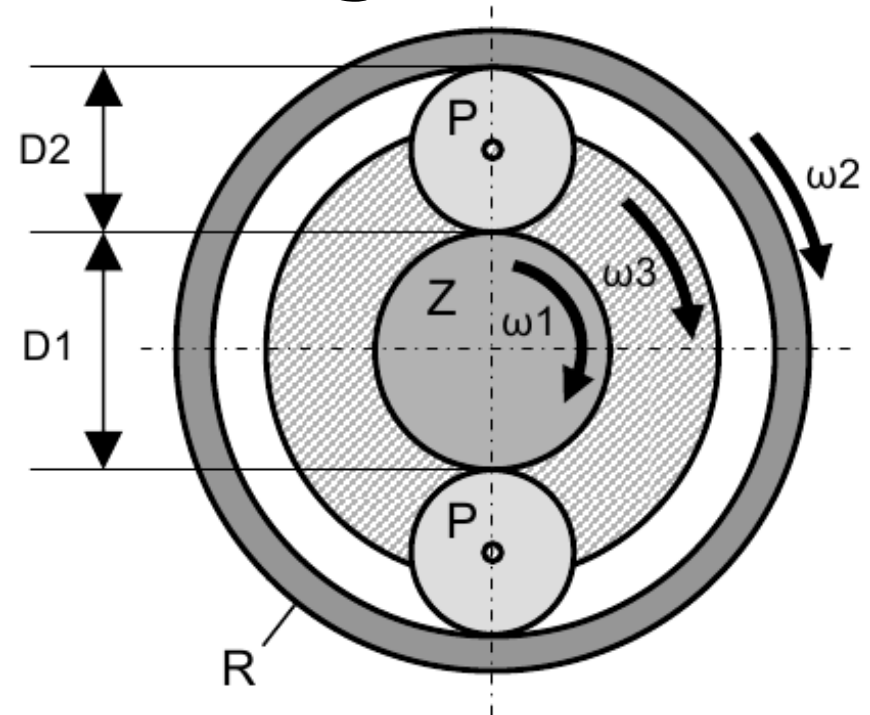
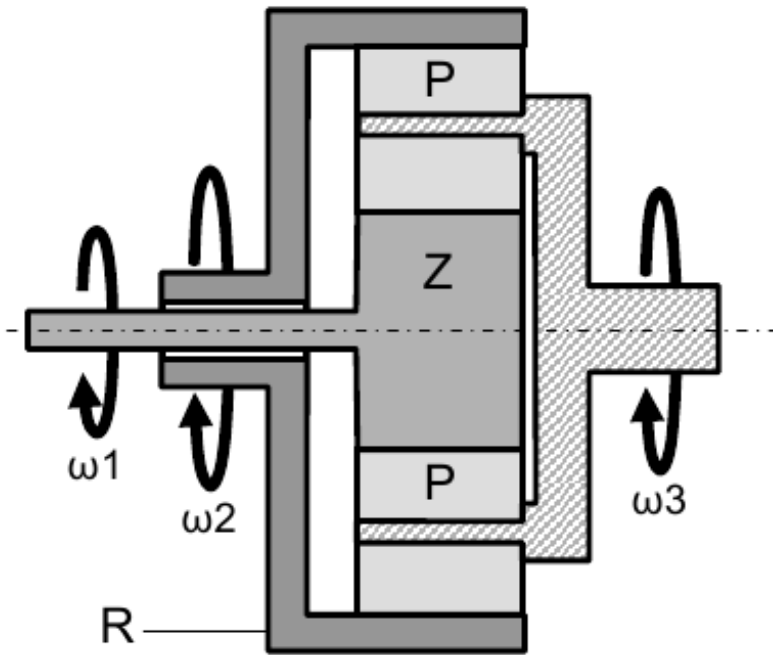
Tentamenvraag B4



B4. Bekijk nu de situatie dat zowel de zon als het ringwiel draaien, dus ω_1 en ω_2 beide ongelijk aan 0. Druk ω_3 uit in ω_1 , ω_2 , D1 en D2.

Antwoord B4

Tentamenvraag B4



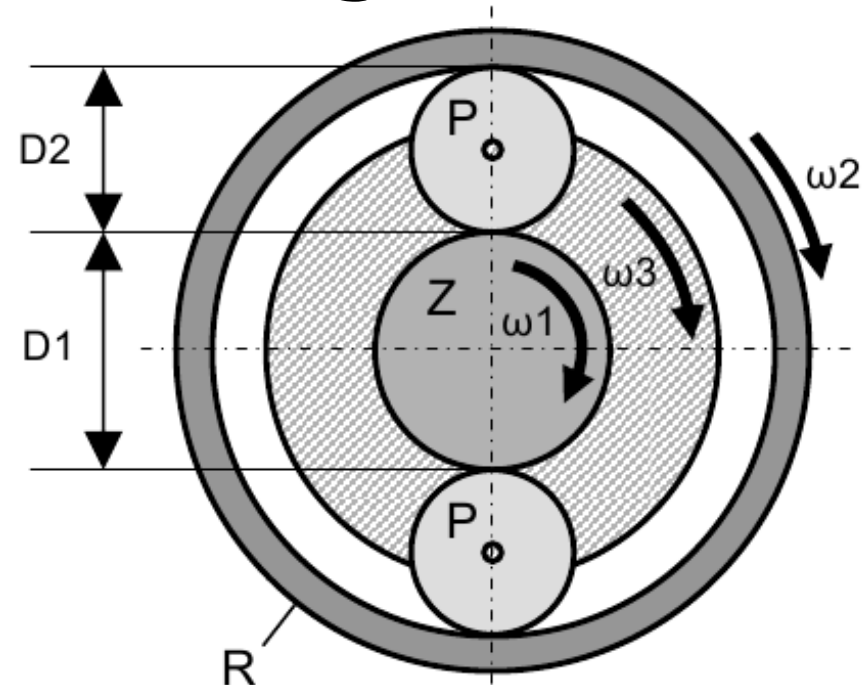
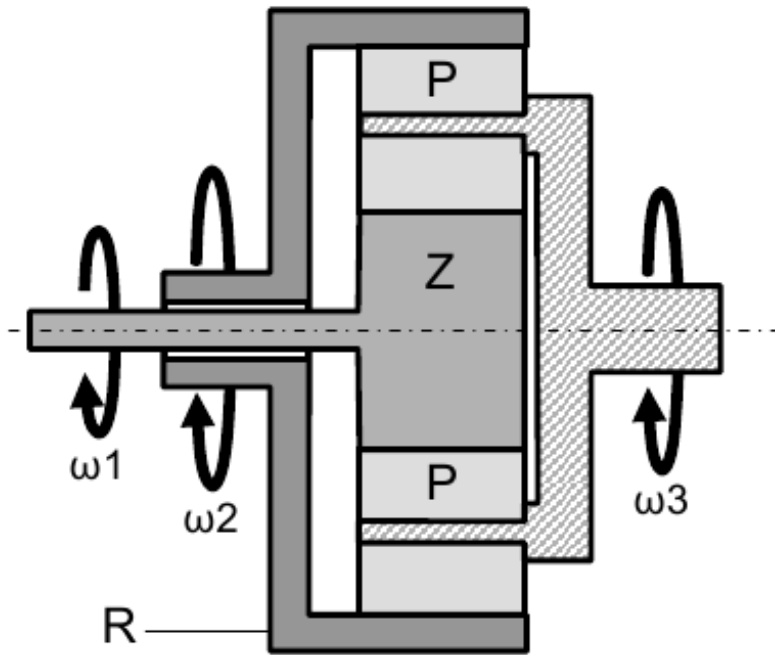
B4. Bekijk nu de situatie dat zowel de zon als het ringwiel draaien, dus ω_1 en ω_2 beide ongelijk aan 0. Druk ω_3 uit in ω_1 , ω_2 , D_1 en D_2 .

$$\omega_d (Z_r + Z_z) = \omega_r Z_r + \omega_z Z_z$$

$$\omega_3 = \omega_1 \cdot D_1 / (2D_1 + 2D_2) + \omega_2 \cdot (D_1 + 2D_2) / (2D_1 + 2D_2)$$

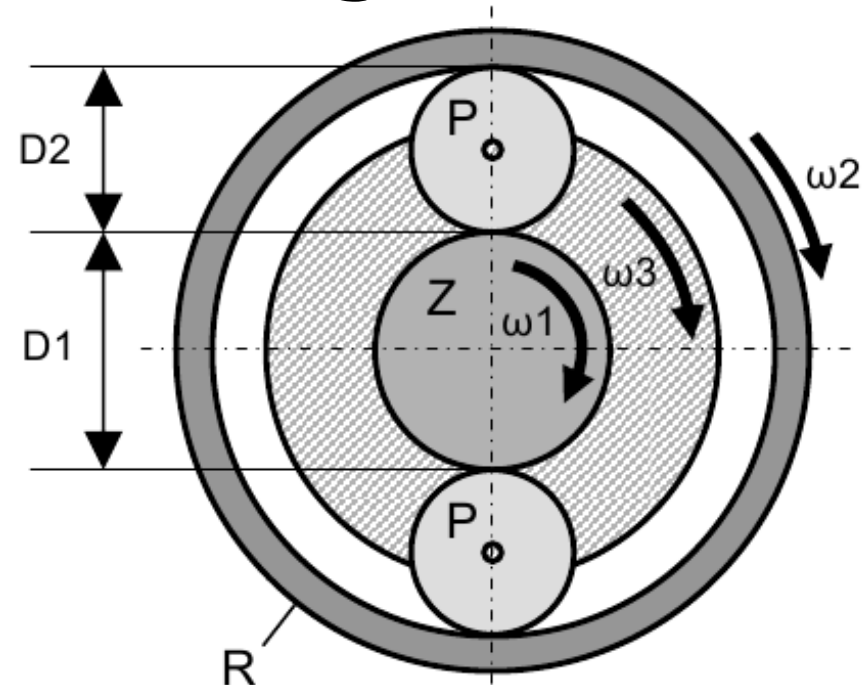
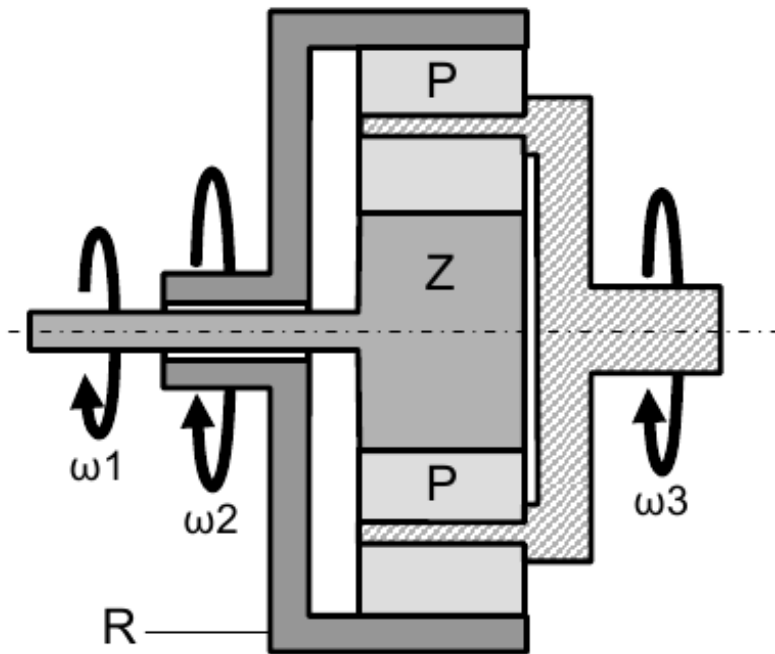
Antwoord B4

Tentamenvraag B5



- B5. Stel dat we de planeetoverbrenging in de figuur willen gebruiken in een mechanische rekenmachine om getallen bij elkaar op te tellen. Tijdens het ontwerp van de planeetoverbrenging willen we dan de verhouding tussen D_1 en D_2 eenmalig zodanig kiezen dat voor elke willekeurige waarde van ω_1 en ω_2 geldt dat $\omega_1 + \omega_2 = \omega_3$. Is dit mogelijk? Zo niet: waarom niet, en zo ja: wat is dan de verhouding tussen D_1 en D_2 ?

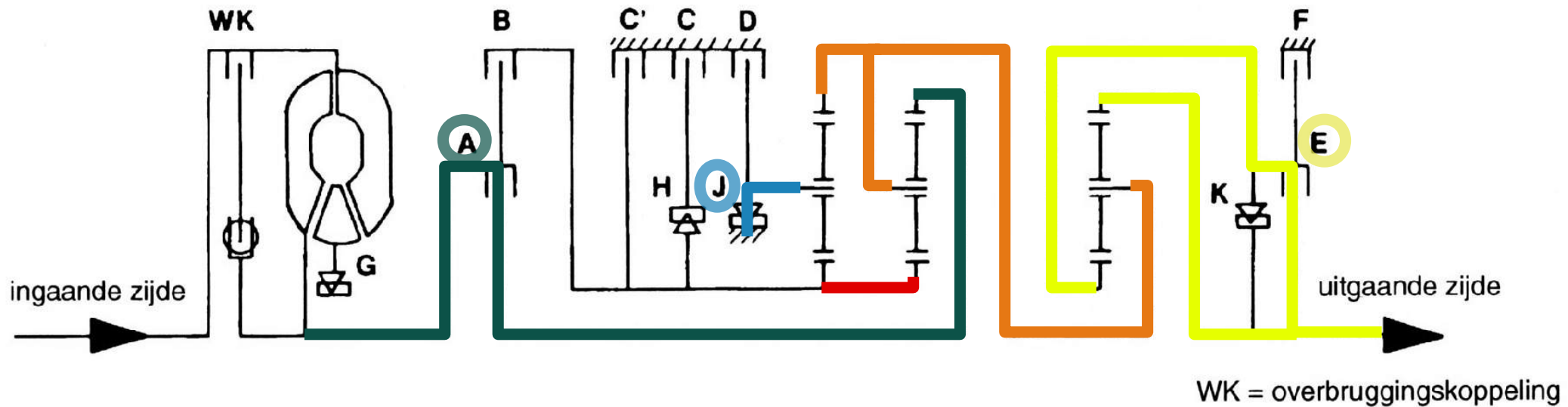
Tentamenvraag B5



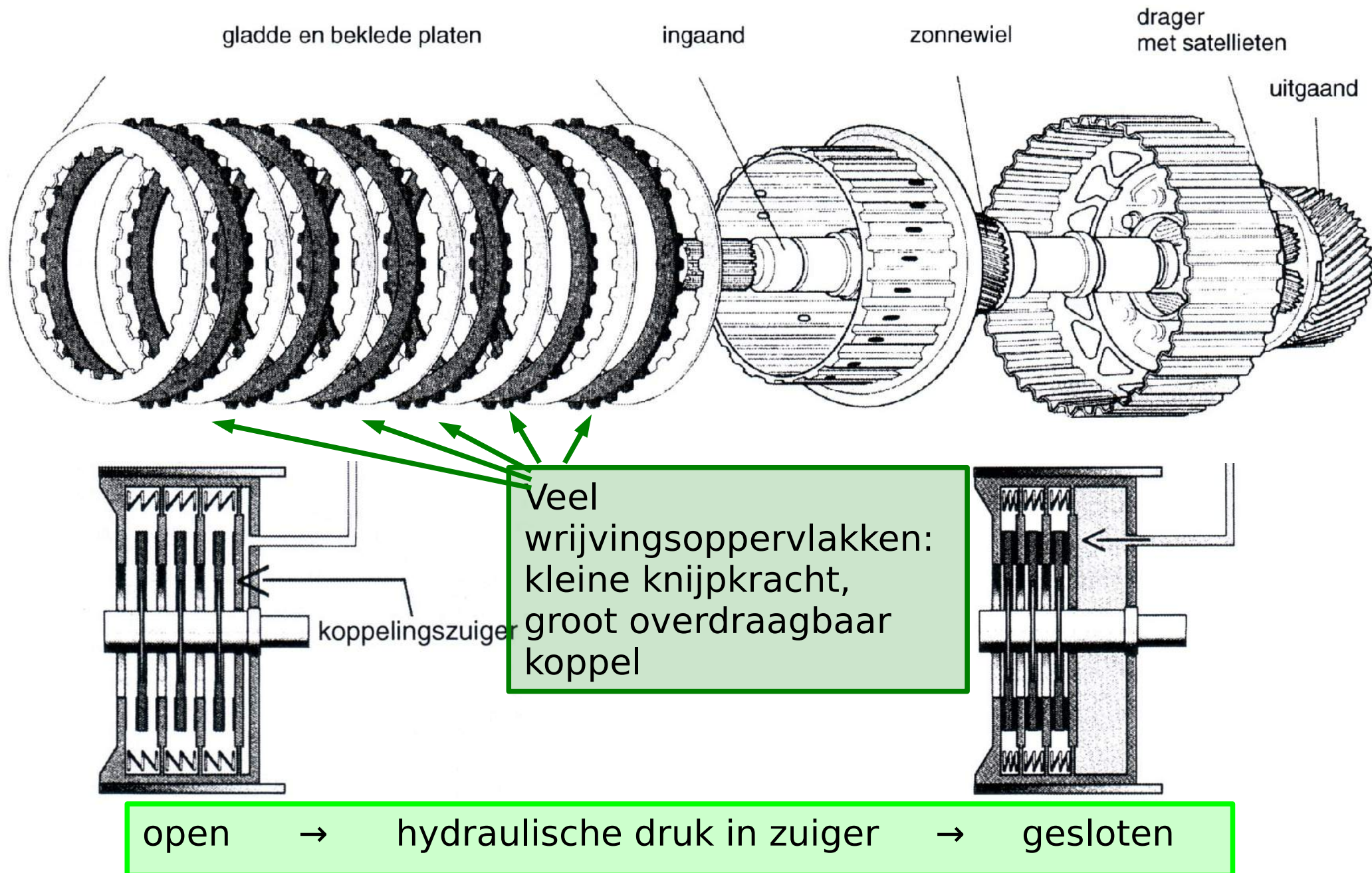
B5. Stel dat we de planeetoverbrenging in de figuur willen gebruiken in een mechanische rekenmachine om getallen bij elkaar op te tellen. Tijdens het ontwerp van de planeetoverbrenging willen we dan de verhouding tussen $D1$ en $D2$ eenmalig zodanig kiezen dat voor elke willekeurige waarde van $\omega1$ en $\omega2$ geldt dat $\omega1 + \omega2 = \omega3$. Is dit mogelijk? Zo niet: waarom niet, en zo ja: wat is dan de verhouding tussen $D1$ en $D2$?

Dan moet gelden $D1 / (2D1 + 2D2) = (D1 + 2D2) / (2D1 + 2D2) = 1$
 Dat kan alleen maar als $D1 = D2 = 0$. Het kan dus niet.

Automaat 1ste versnelling



Lamellenkoppeling



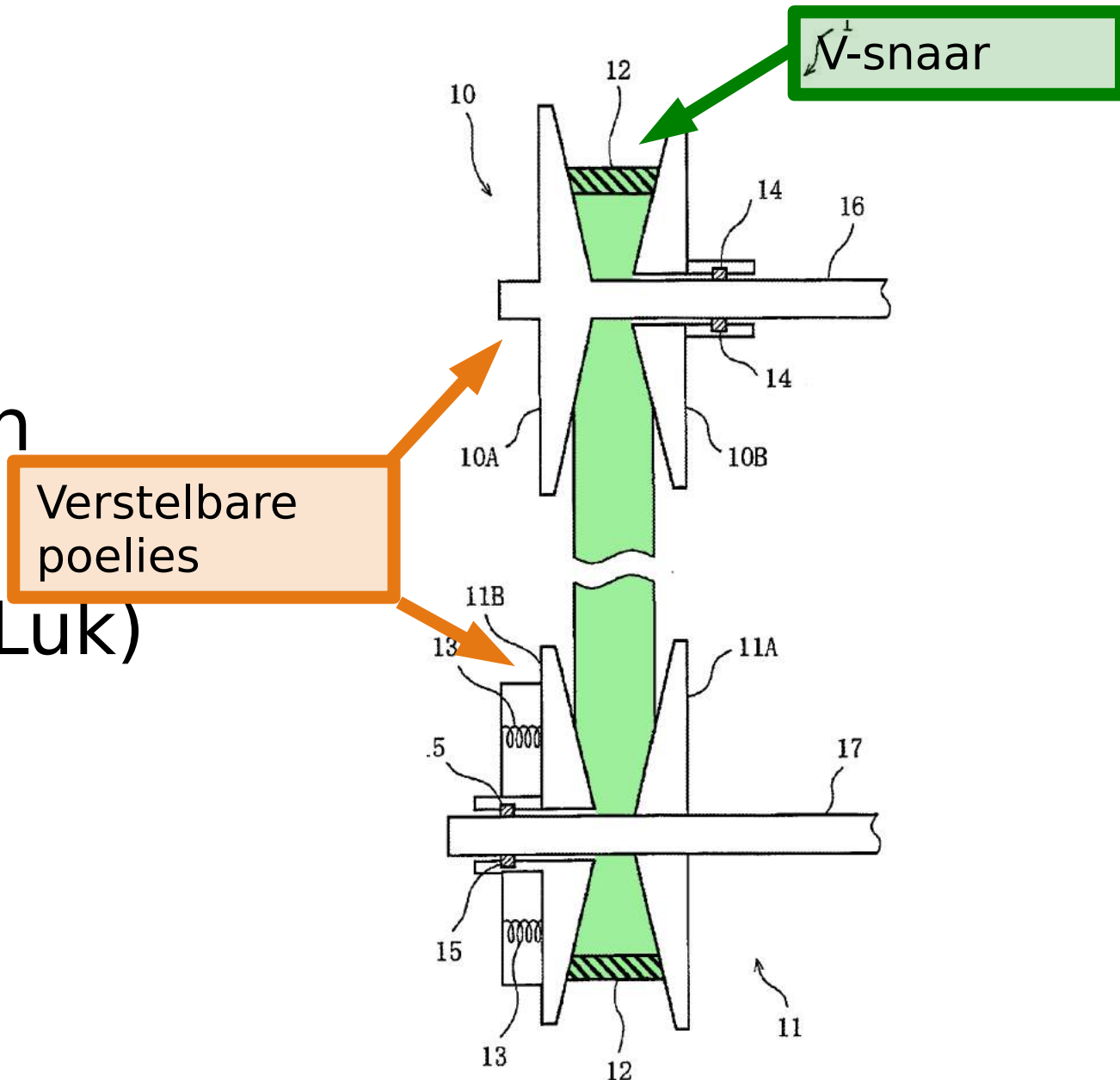
Transmissies

- Handgeschakelde transmissie, droge koppeling
- Automaat, koppelomvormer (torque converter)
- Continu Variabele Transmissie
 - Duw / trekband (van Doorne, Luk)
 - Toroid (Torotrak)
 - Hybride

Continu Variabele Transmissie

Wrijving:

- V-snaar
- Duwband (van Doorne)
- Ketting (Piv / Luk)



V-snaar CVT

Grote diameter

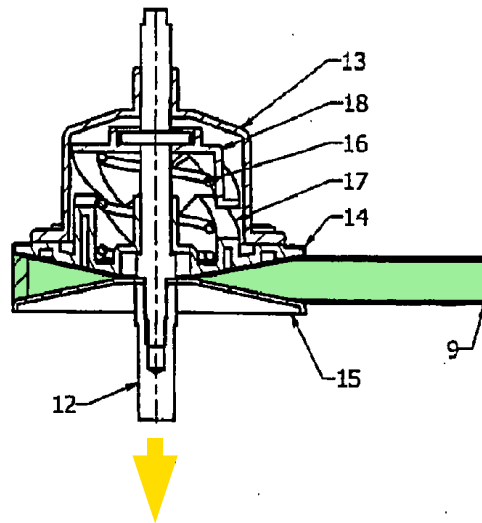
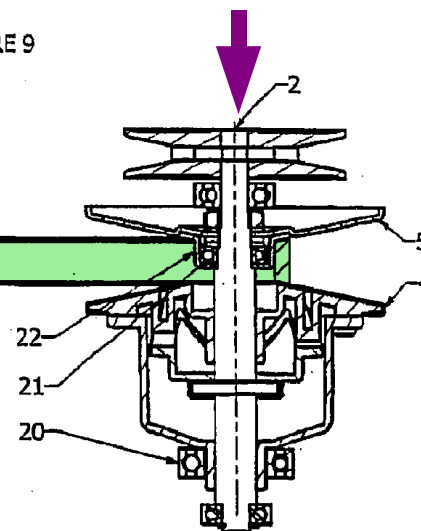


FIGURE 9



Kleine diameter

Kleine diameter

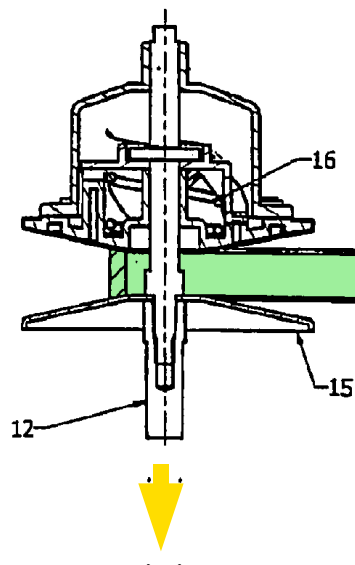
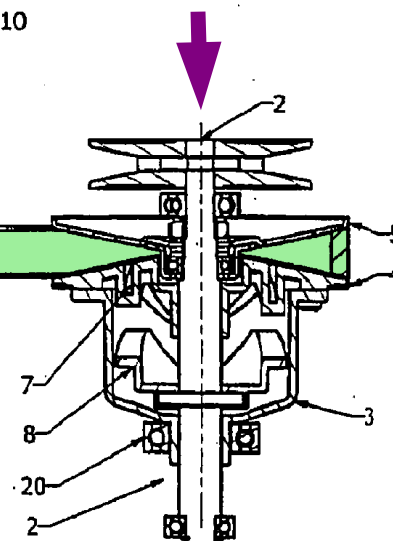


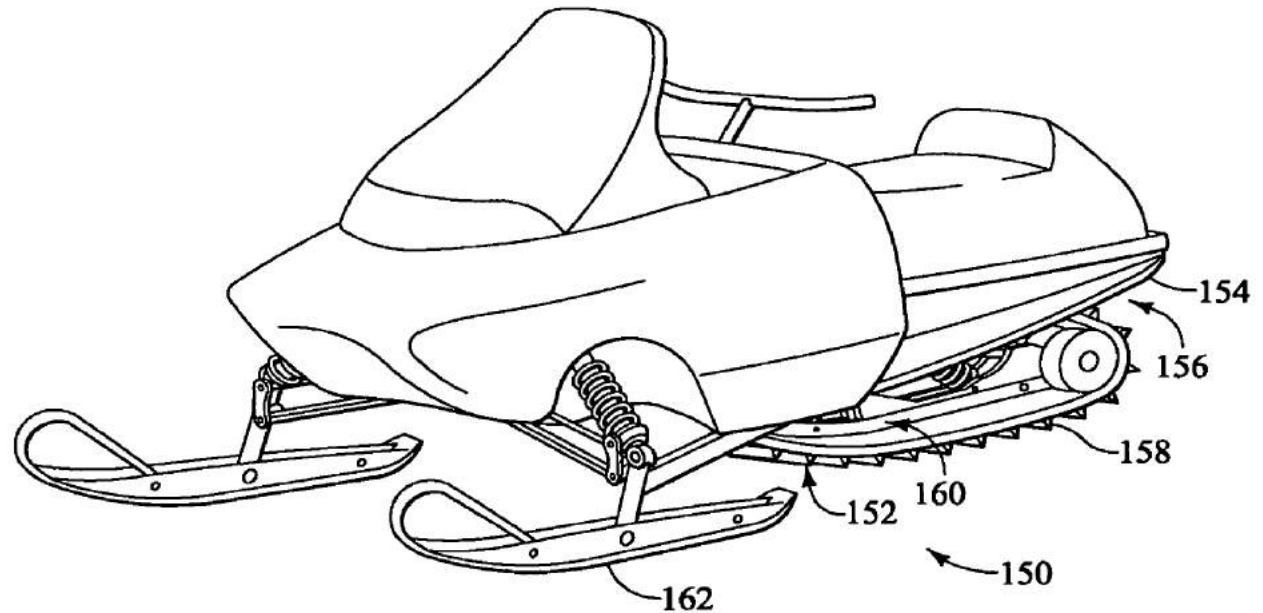
FIGURE 10



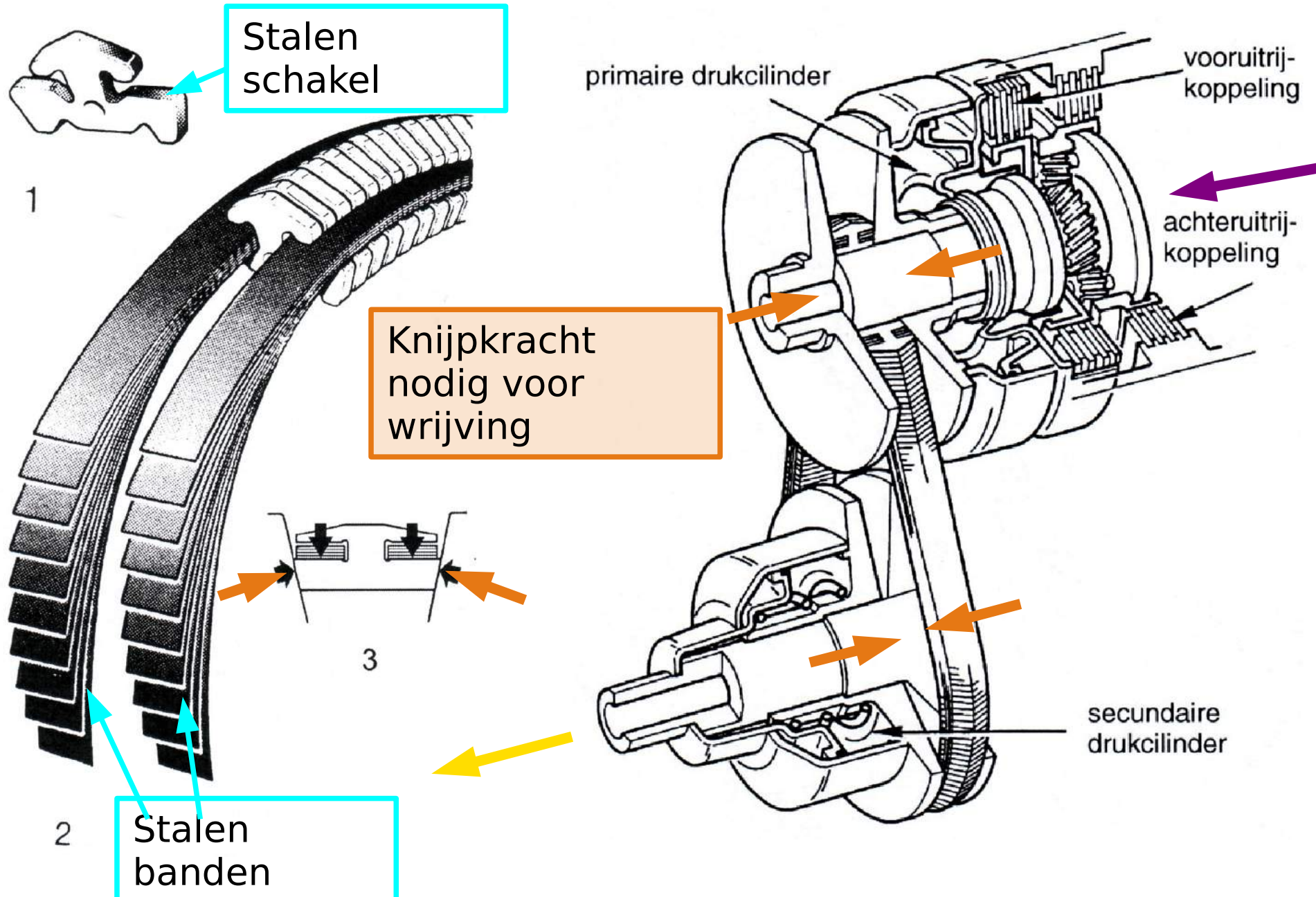
Grote diameter

V-snaar CVT toepassingen

- Scooters / brommers
- Sneeuwscooters
- Agrarische machines bijv. combines
- Daf variomatic



Duwband CVT (van Doorne)

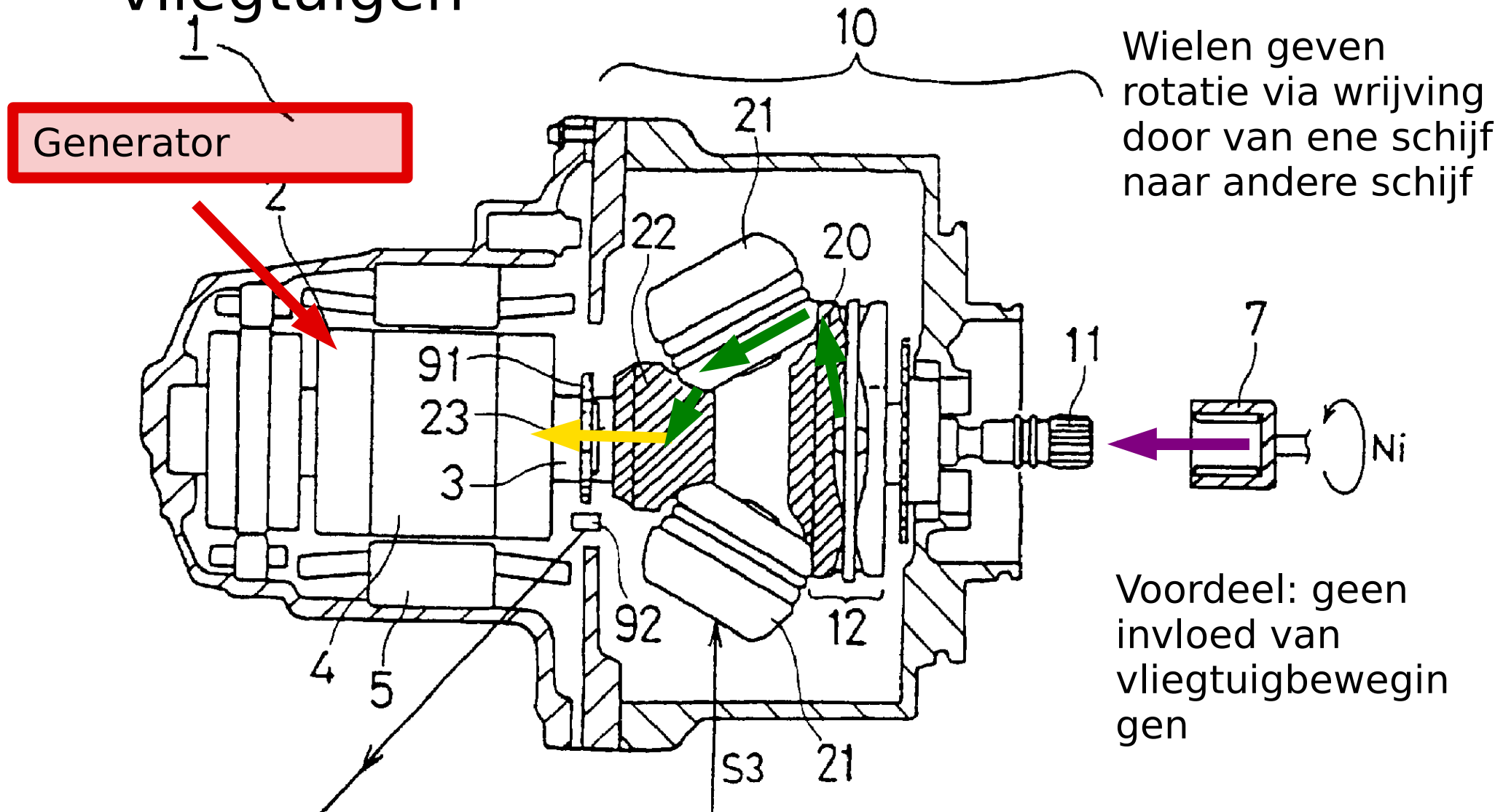


Duwband CVT



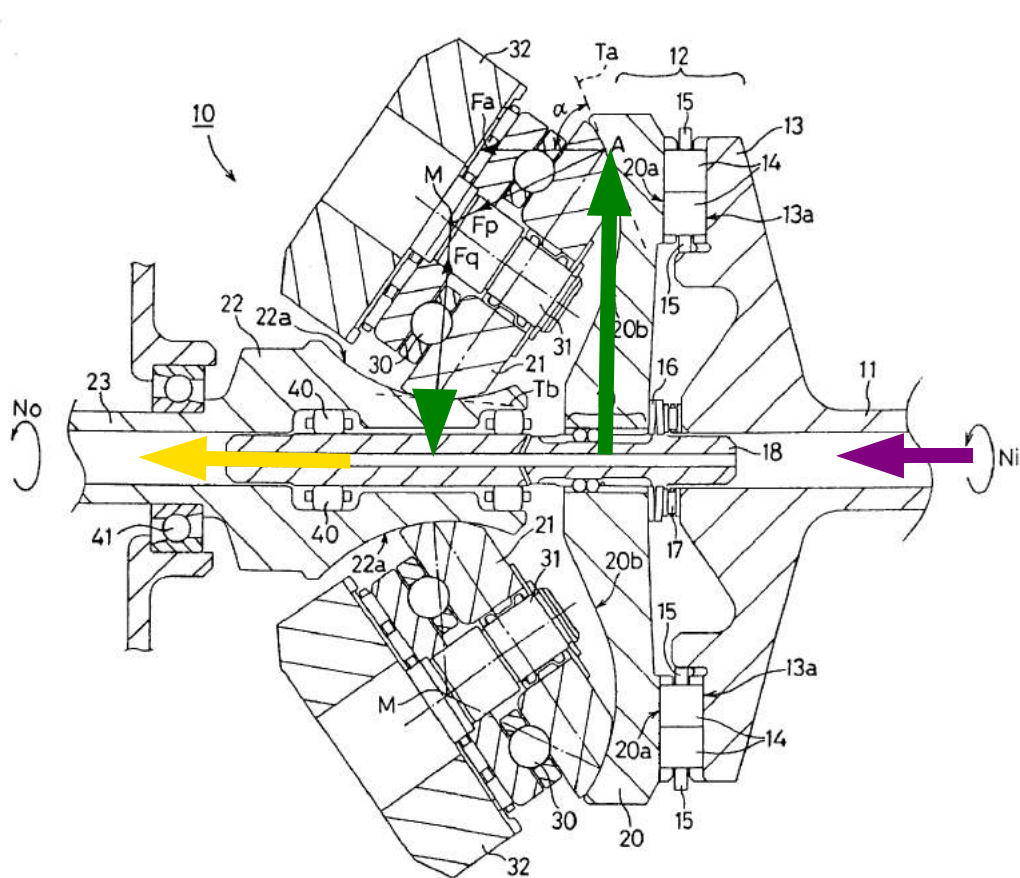
Toroid CVT

Toepassing: Constant Speed Drive in vliegtuigen

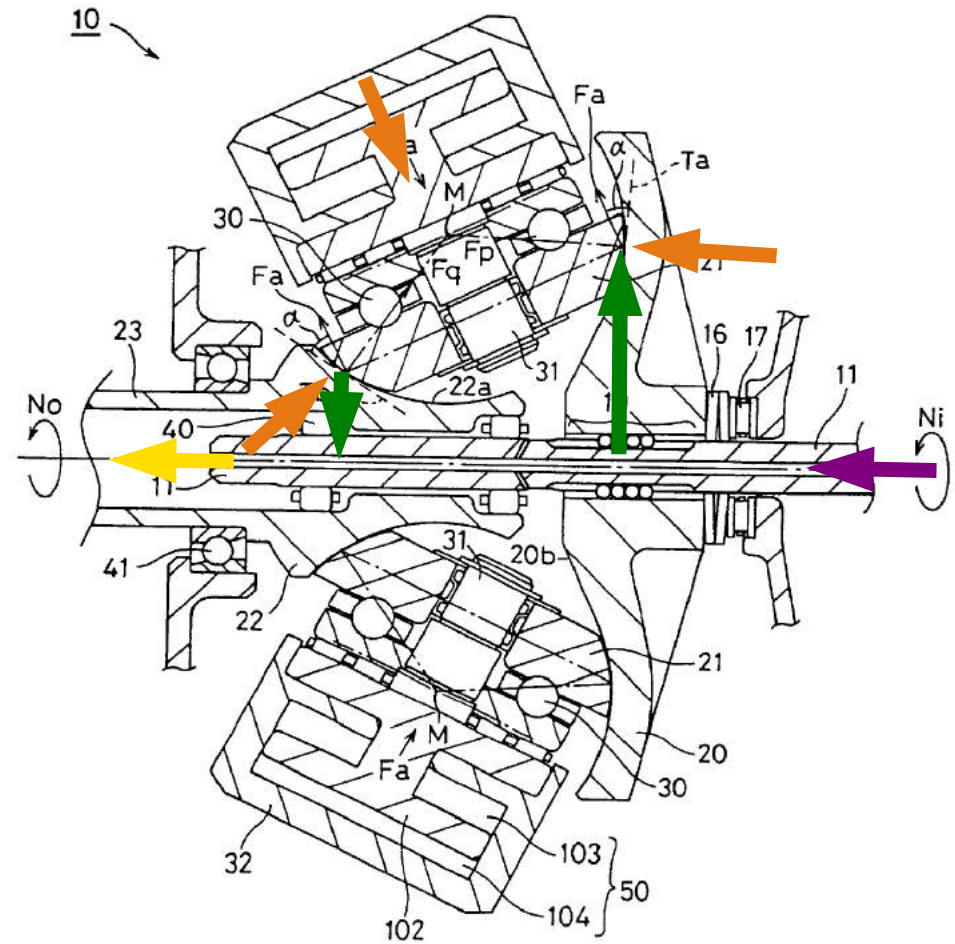


Toroid CVT

Knijpkracht
nodig voor
wrijving

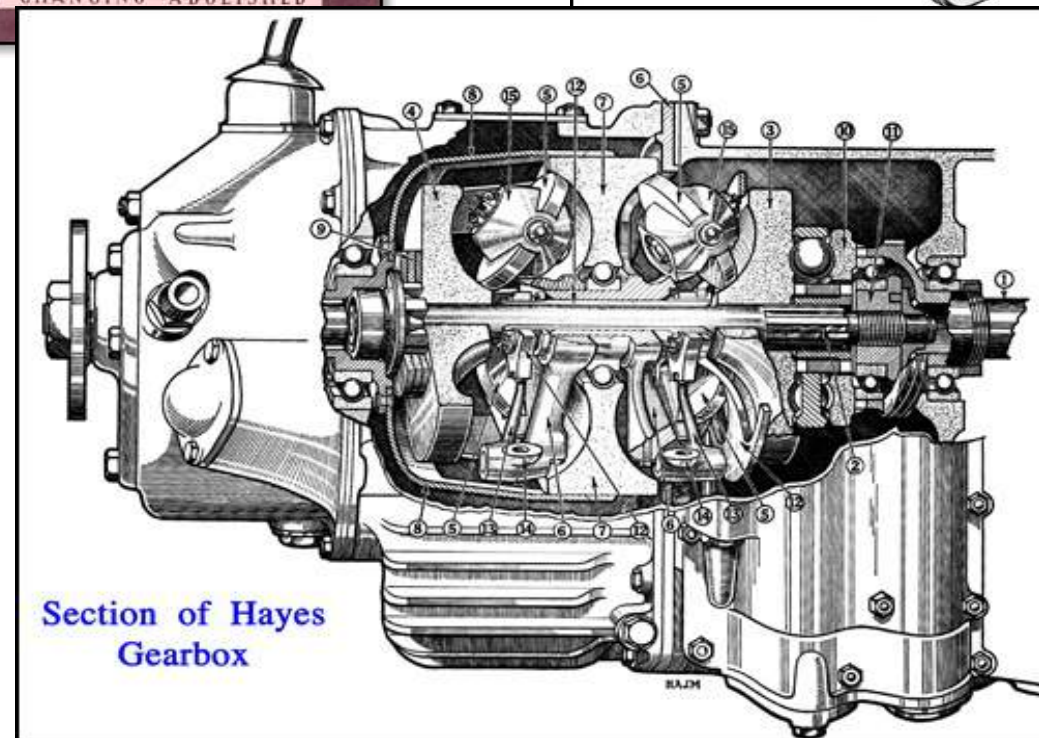
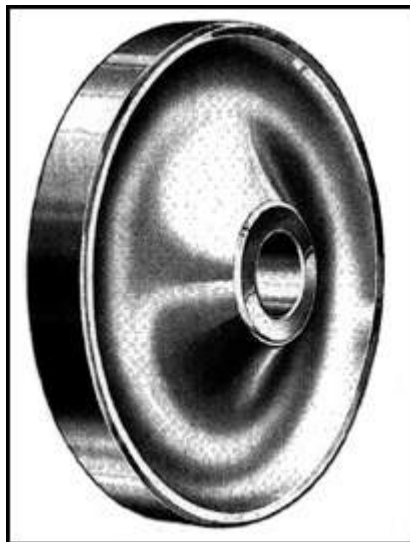
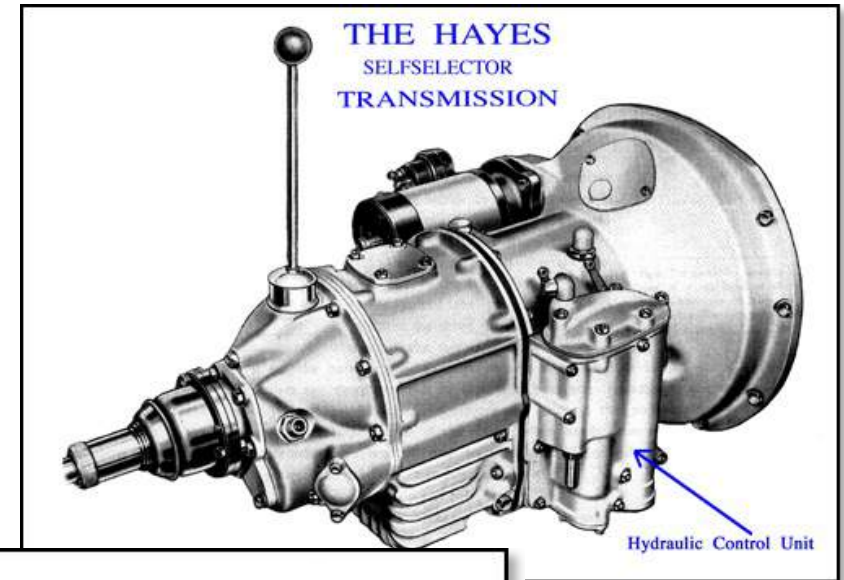


Grote
versnelling

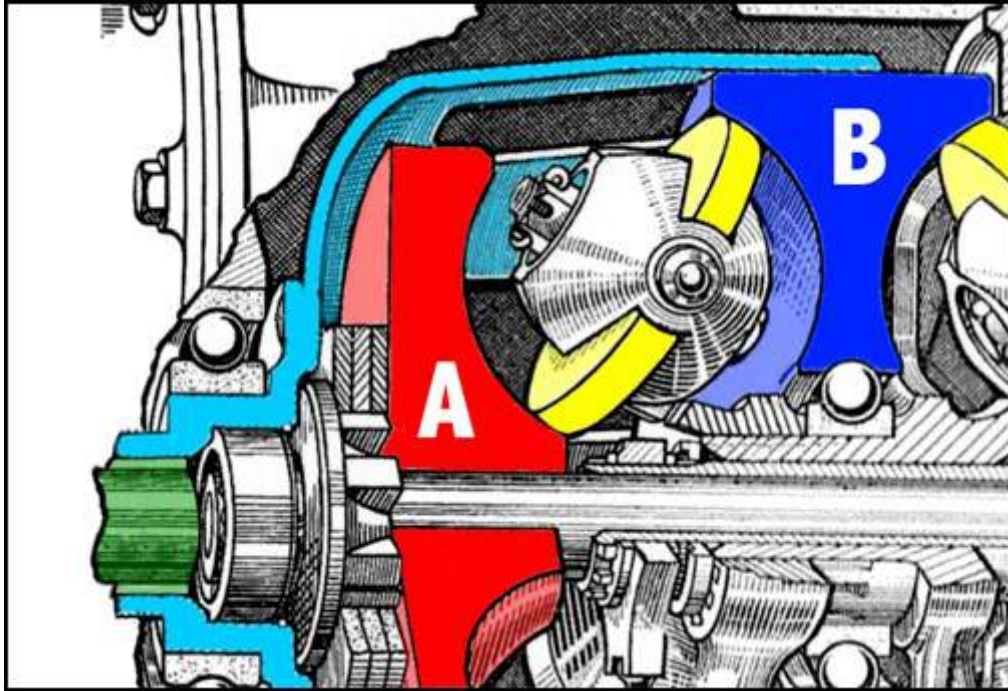


Kleine
versnelling

Hayes toroid CVT 1925,1933



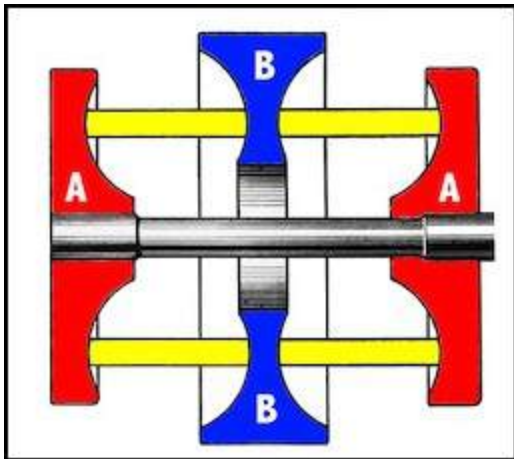
Hayes toroid CVT



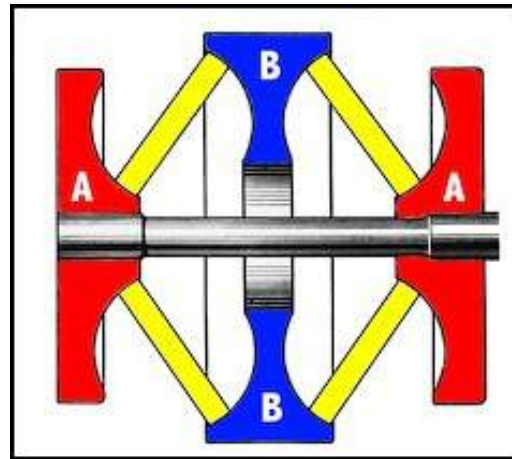
Toroid A door motor via koppeling aangedreven

Rol geeft draaiing van A naar B door

Toroid B uitgaande beweging via link naar uitgaande as



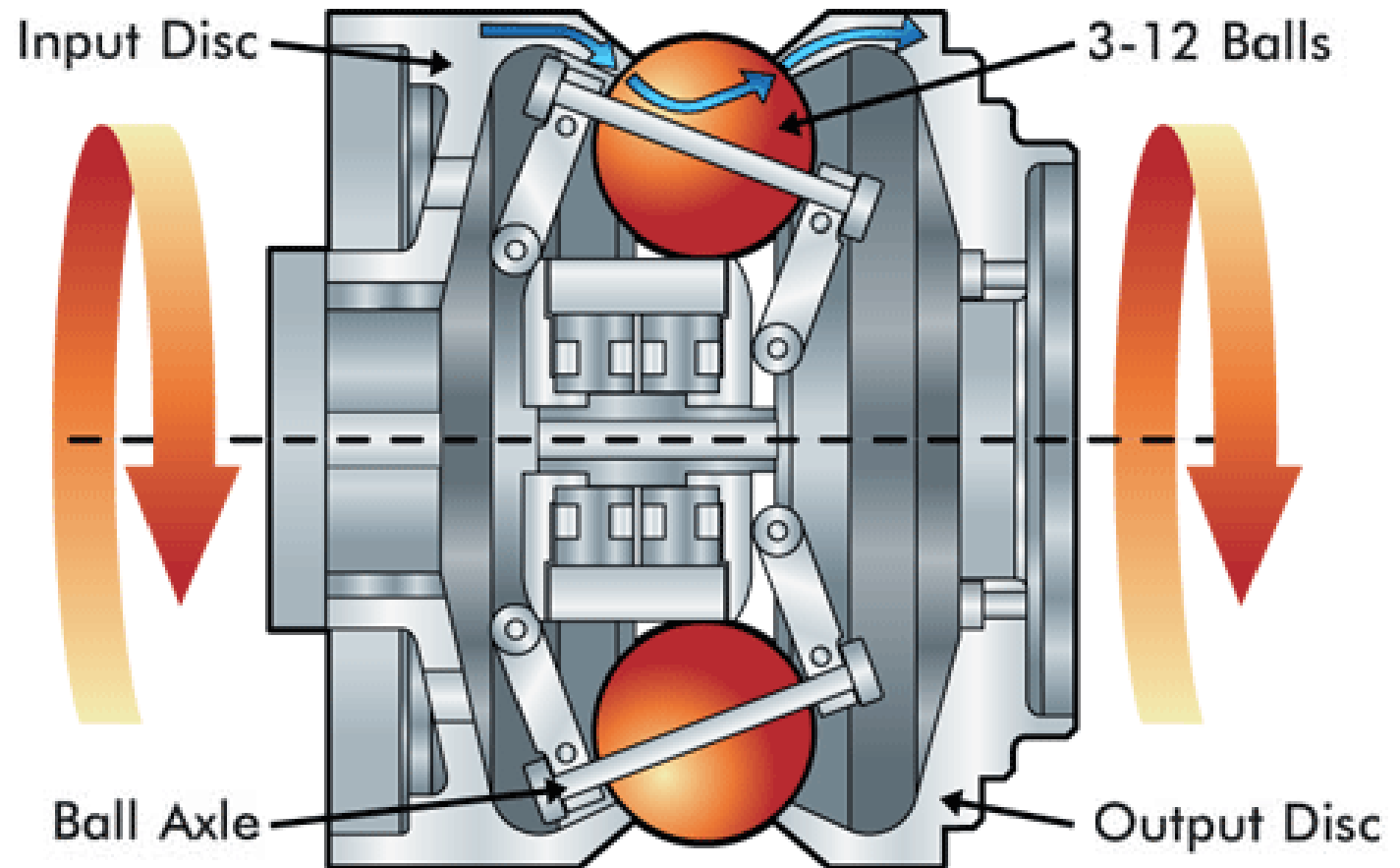
Low ratio



High ratio

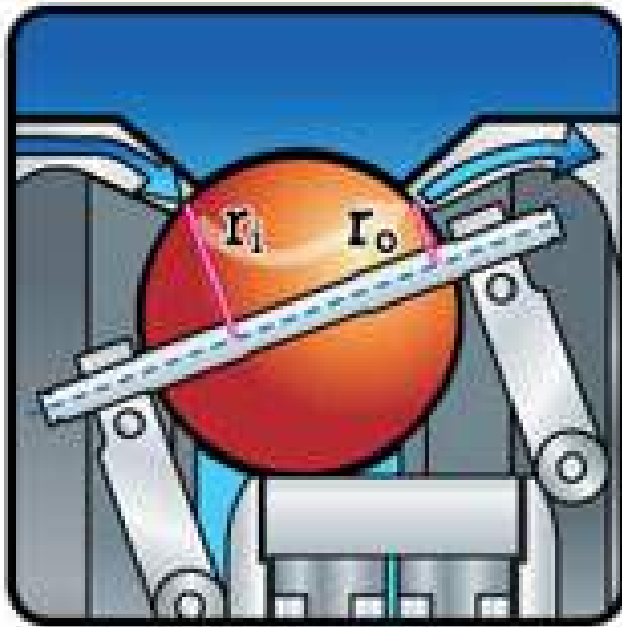
NuVinci®

- CVT met kogels
- Toegepast bij fietsen

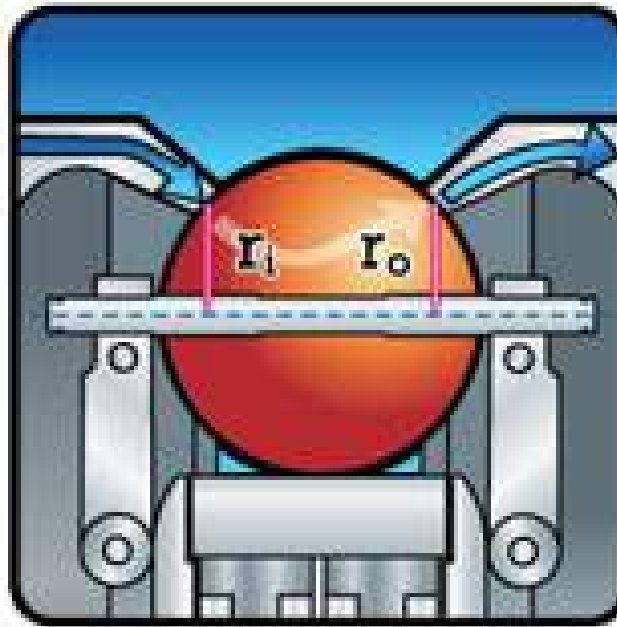


© 2007, Fallbrook Technologies Inc.

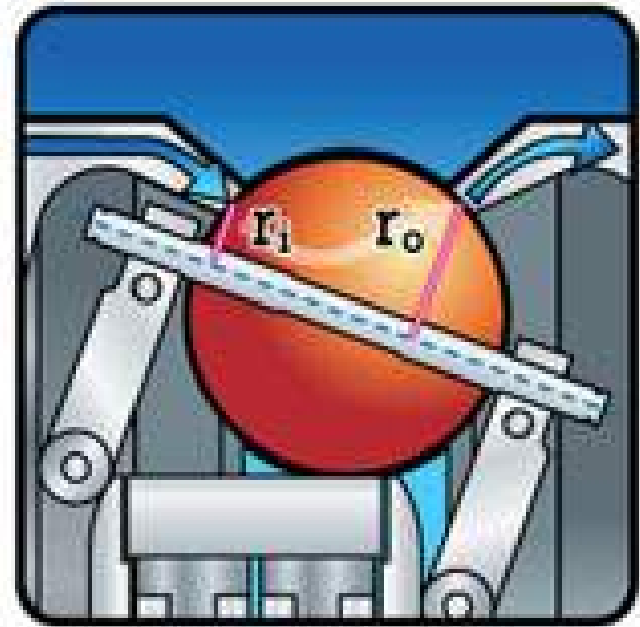
NuVinci®



$I_i > I_o$
Underdrive



$I_i = I_o$
1:1

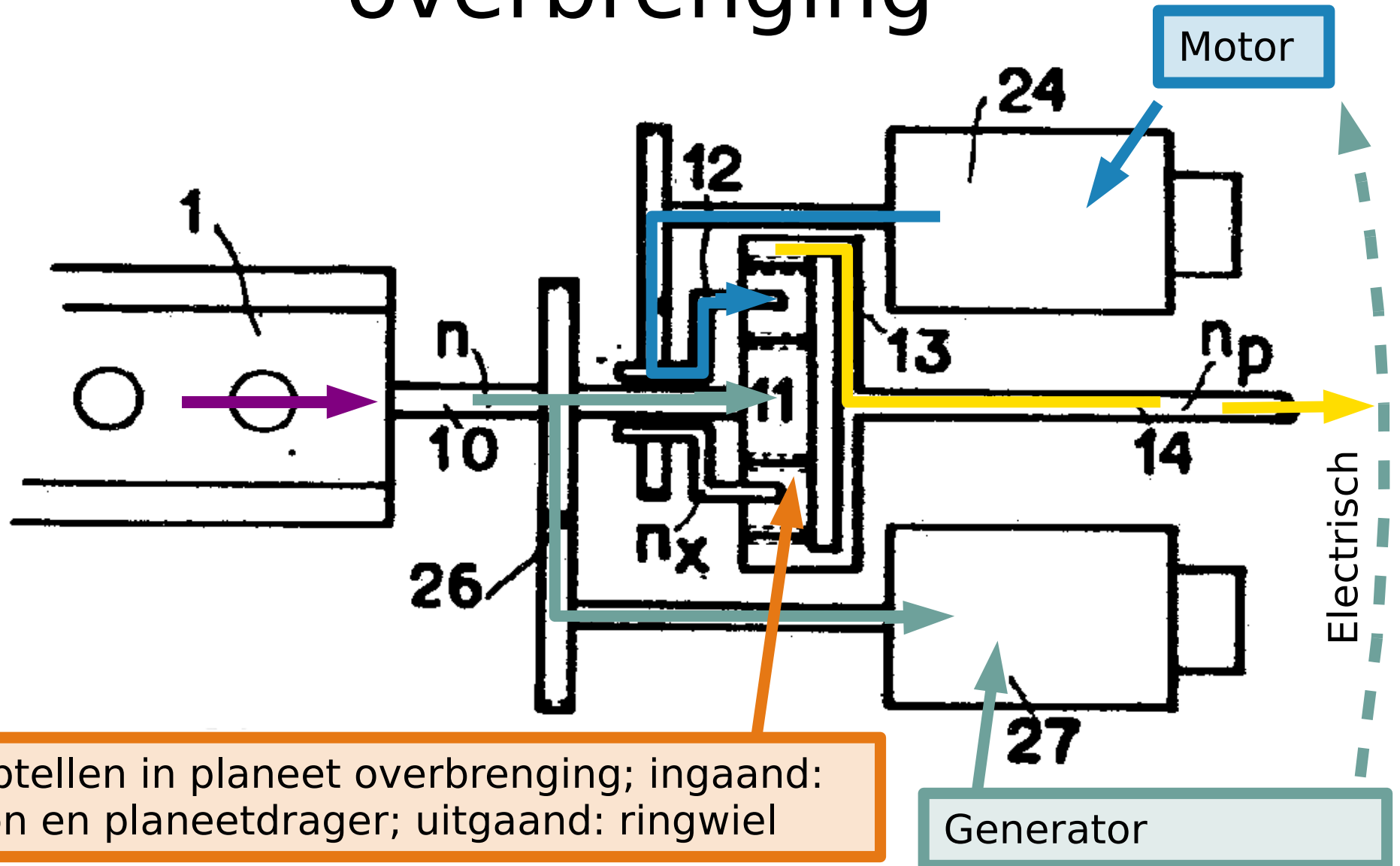


$I_i < I_o$
Overdrive

Hybride CVT

- Verdeling van koppel, een deel vast mechanisch, ander deel variabel:
 - Electrisch
 - Hydraulisch
 - Mechanisch
- Optellen van snelheden met planetaire overbrenging

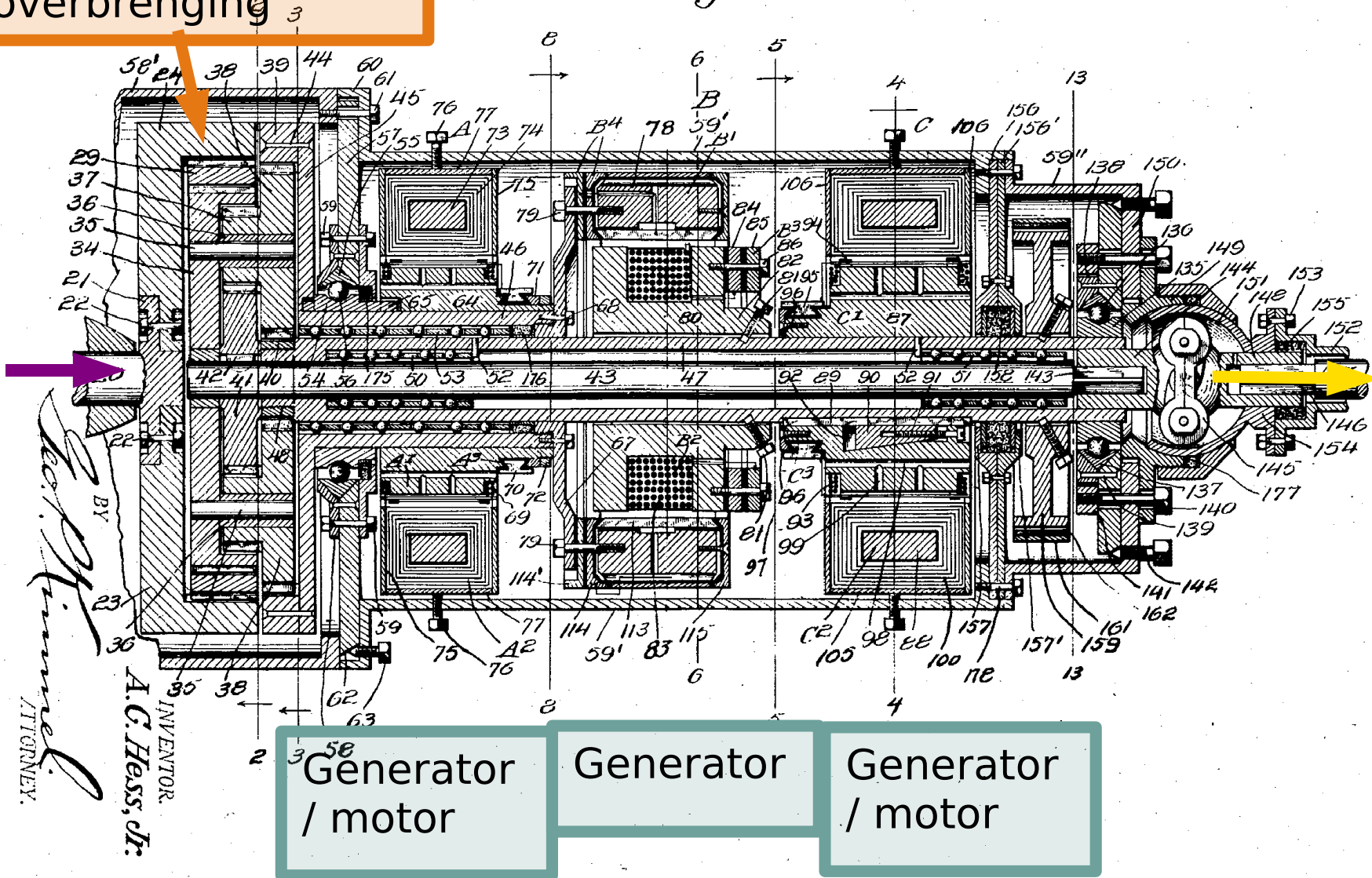
Optellende planeet overbrenging



Hybride Ford T

Planeet
overbrenging

Fig. 1.



Oct. 27, 1925.

A. C. HESS, JR

1,558,806

ELECTROMECHANICAL POWER TRANSMISSION MECHANISM

Filed Dec. 7, 1921

5 Sheets-Sheet 1

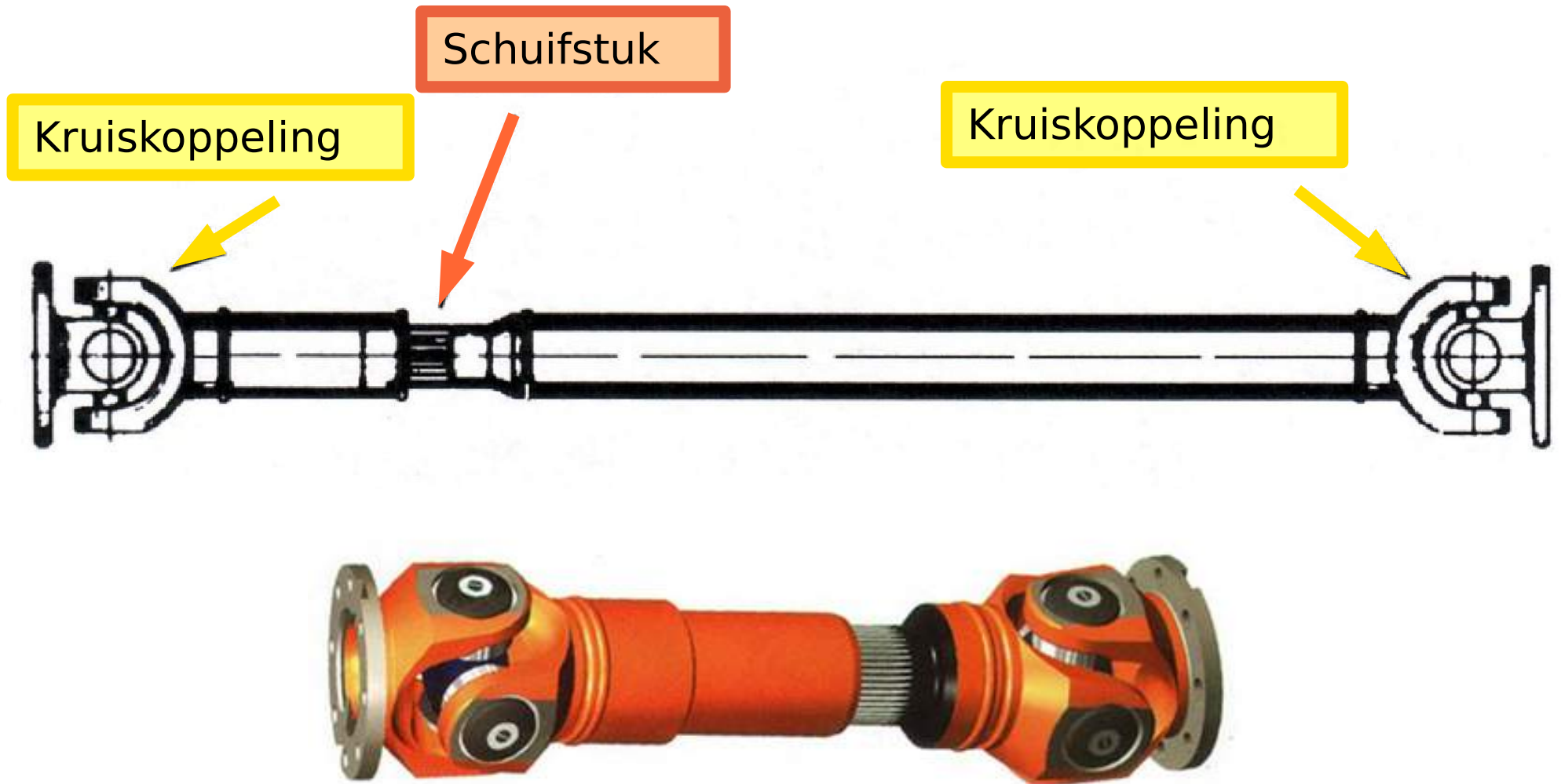
Aandrijflijn



Cardan as

Differentieel
+
achteras

Cardan as

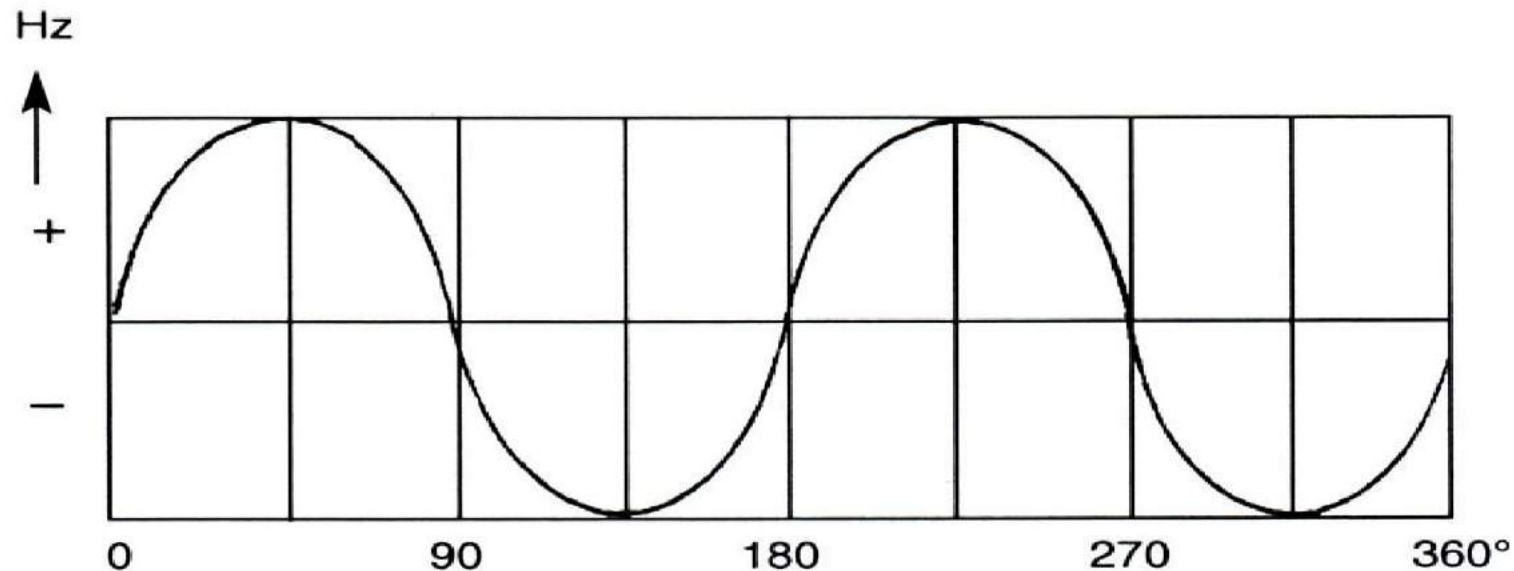


Kruiskoppeling



Eigenschappen kruiskoppeling

- Hoek tussen assen
- Geen verplaatsing van de assen, assen moeten elkaar kruisen
- Rotatie wordt niet gelijkvormig overgedragen:



Toch eenparige overdracht

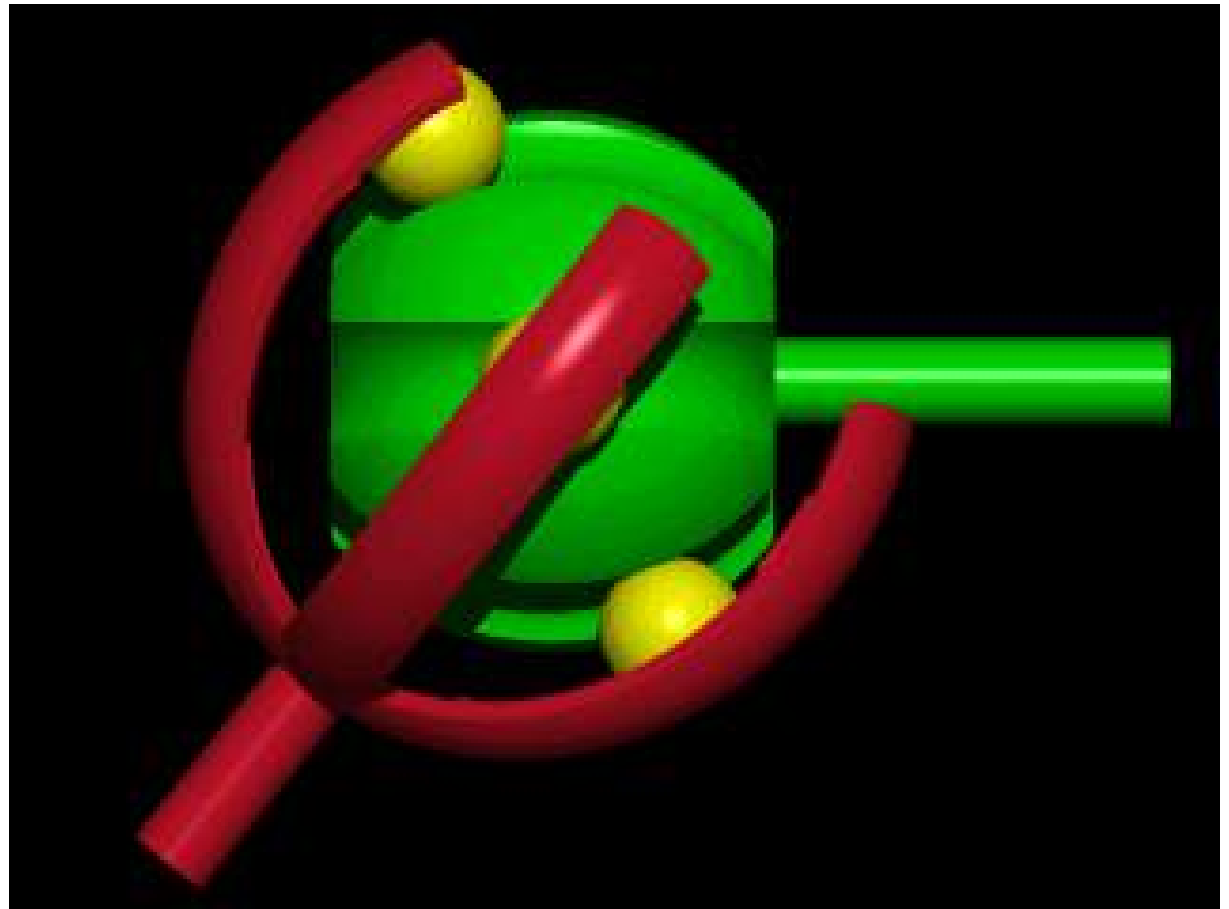


- Gelijke hoeken
- Assen liggen in één vlak



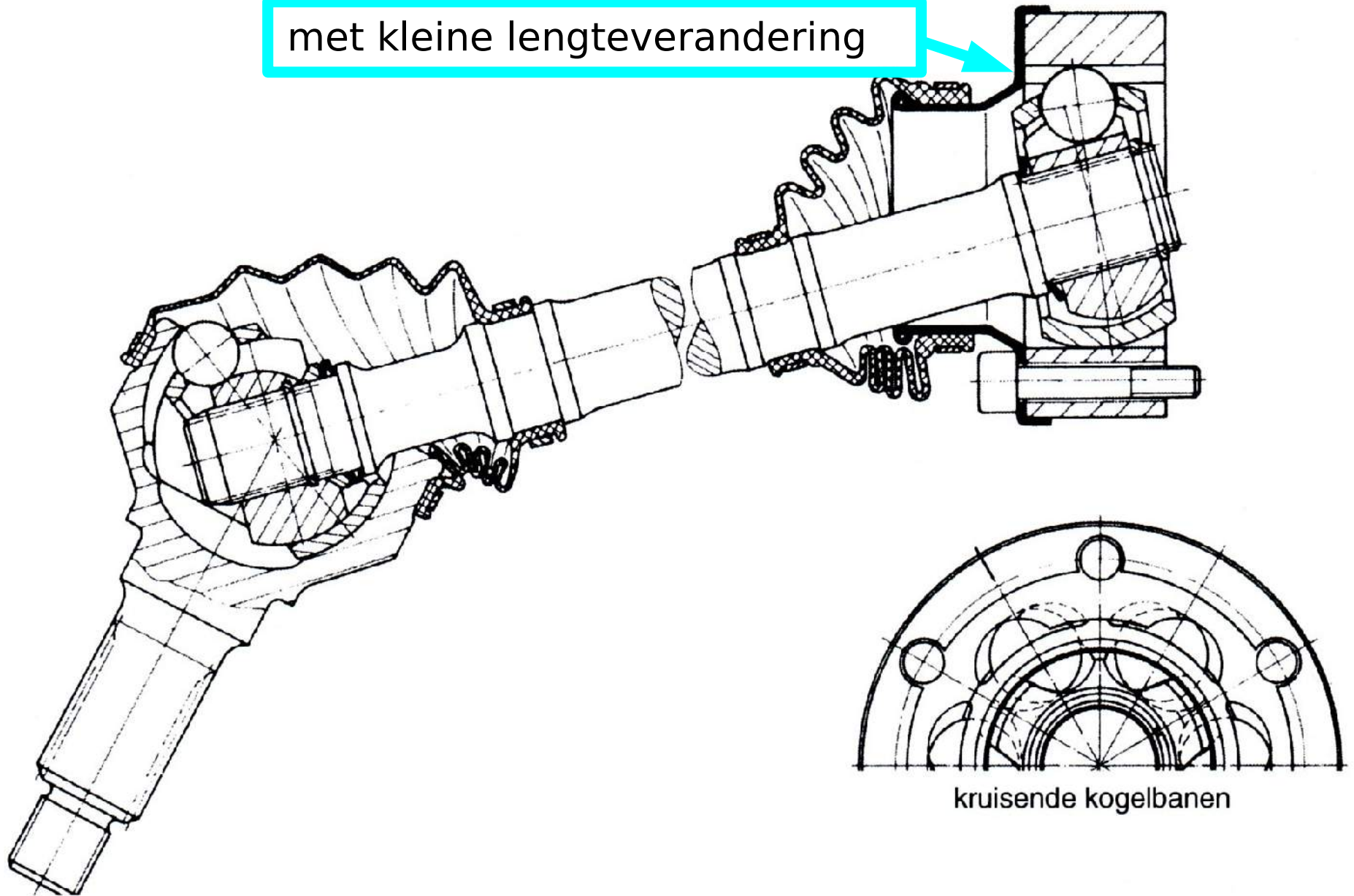
Homokinetische koppeling

Eenparige
rotatie tussen
in- en uitgang

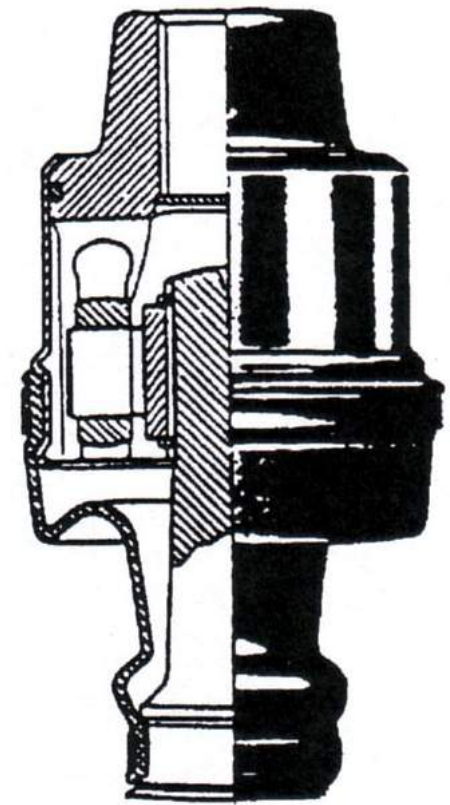
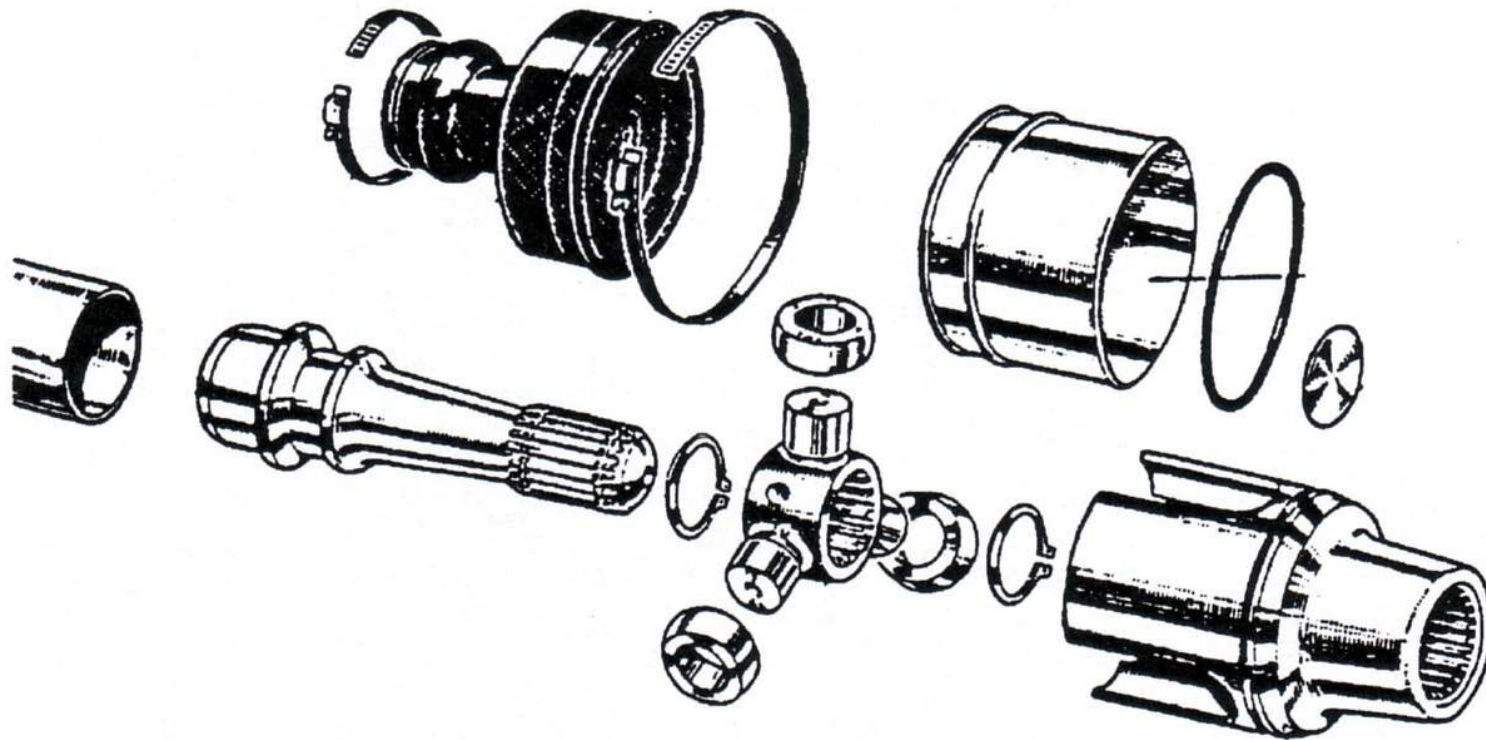


Homokinetische kogelkoppeling

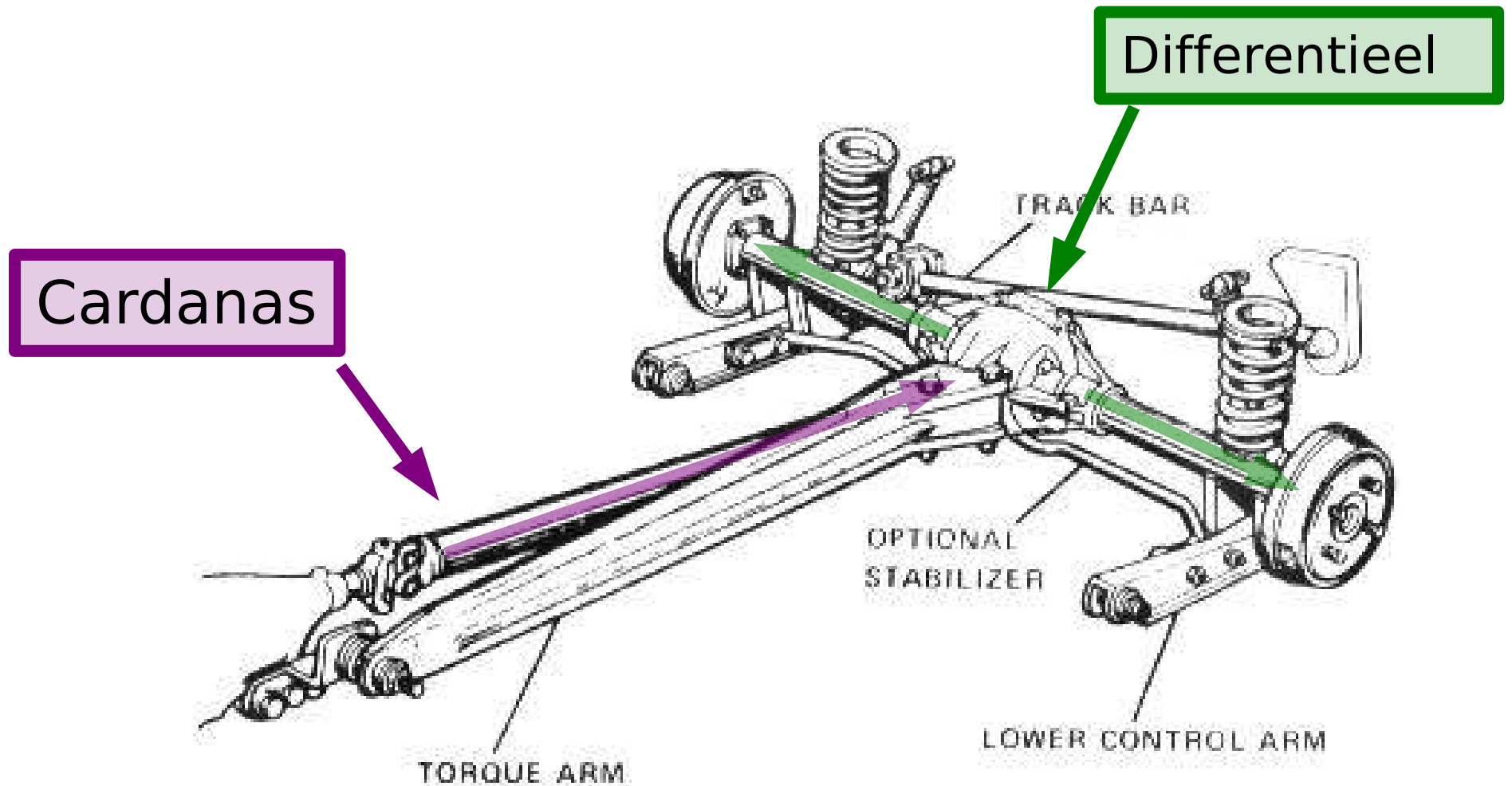
met kleine lengteverandering



Tripodekoppeling

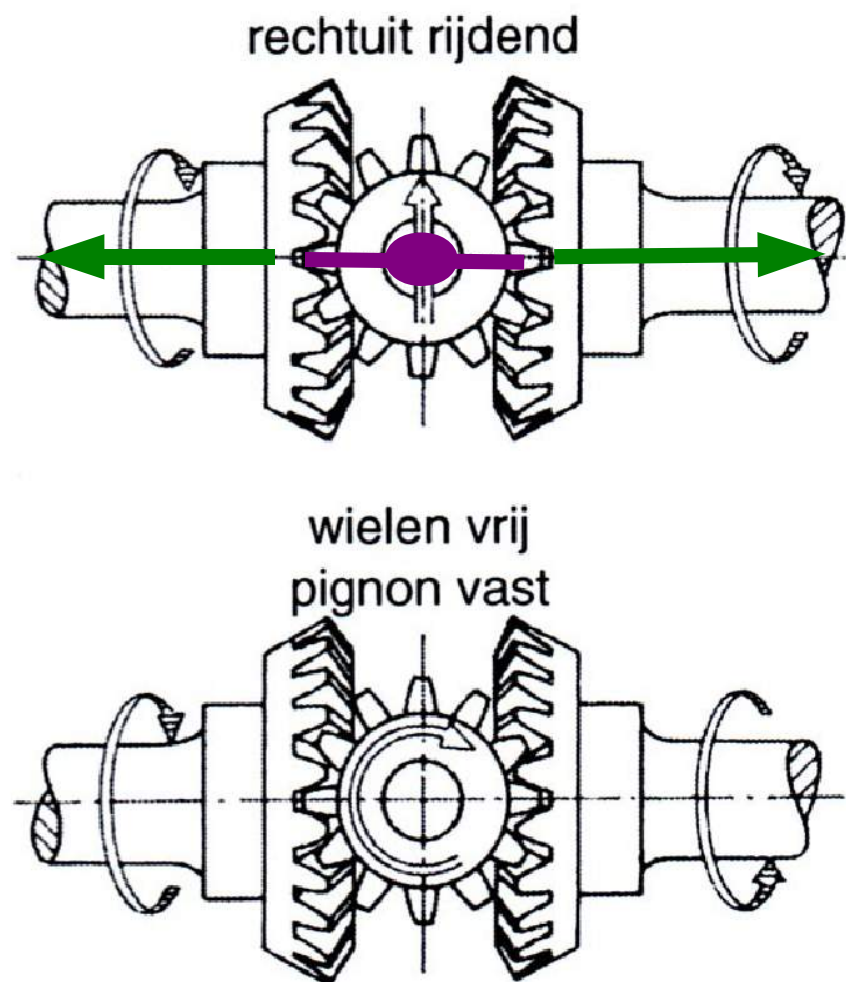
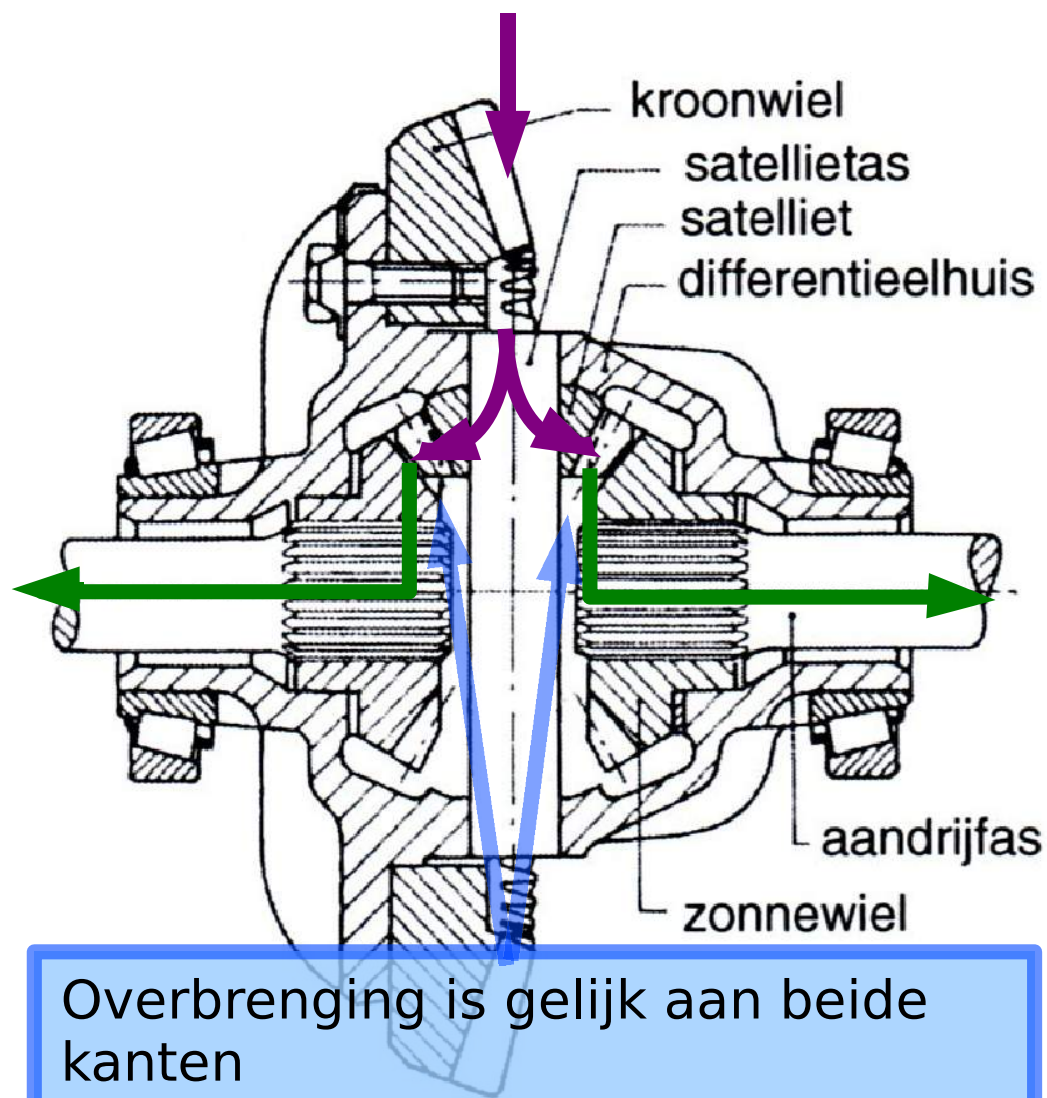


Differentieel in achteras



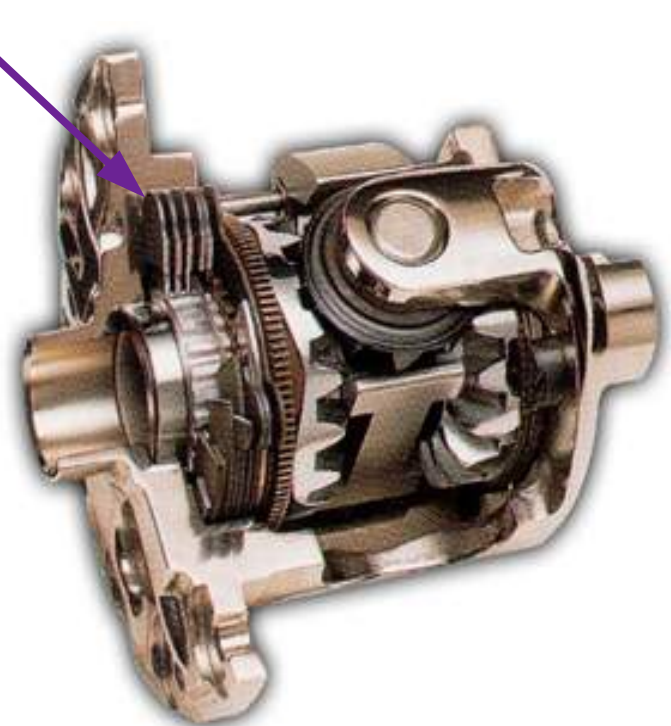
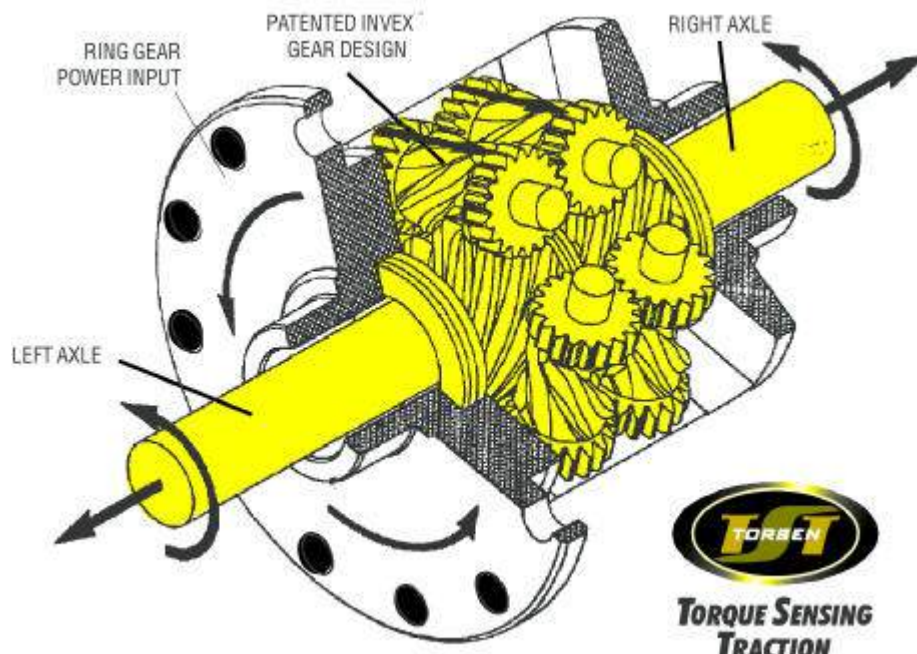
Differentieel

Gelijke verdeling van koppel bij ongelijke snelheid van 2 uitgaande assen



Nadelen differentieel

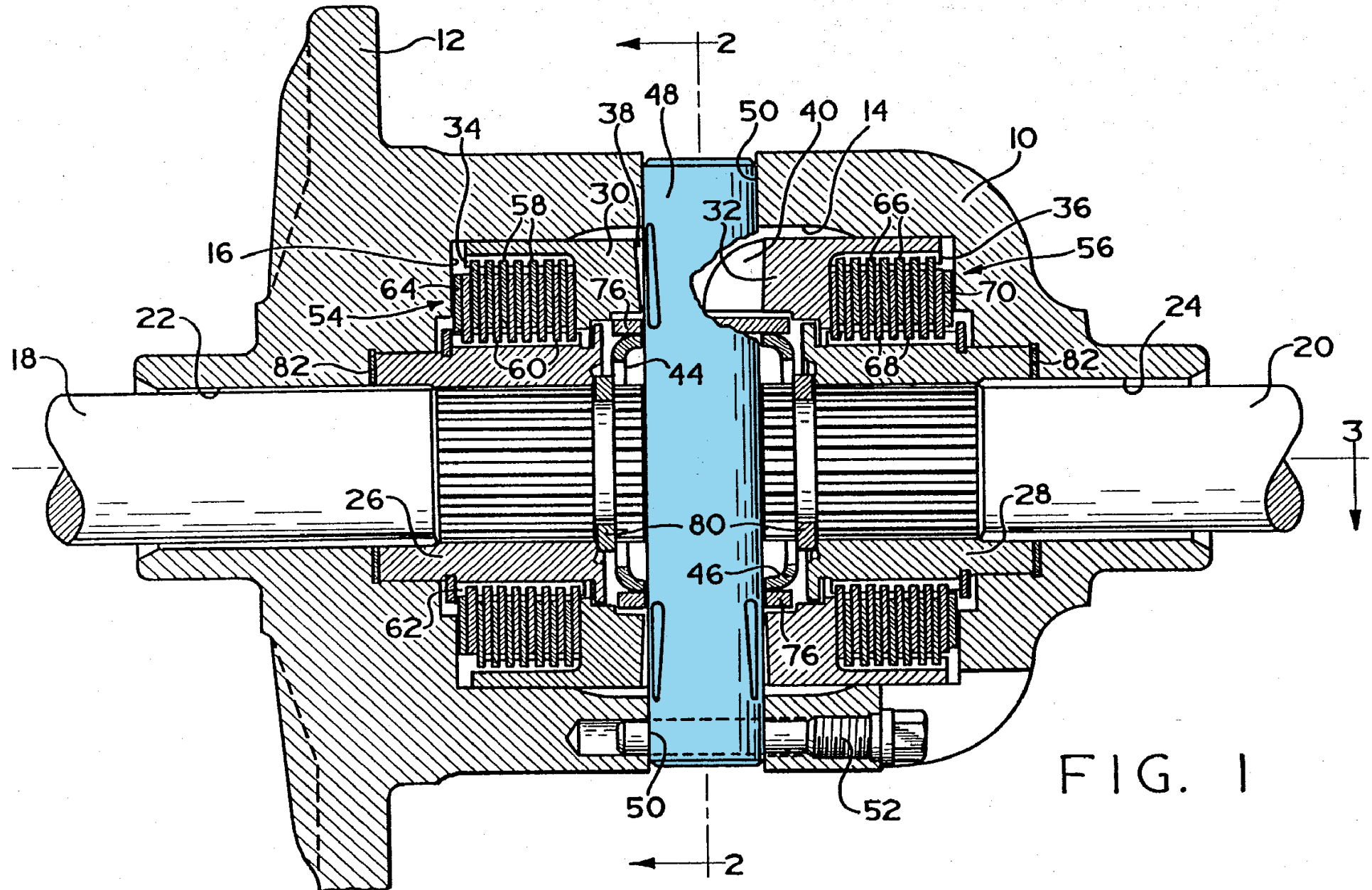
- Slippend wiel → **beide** wielen weinig koppel
- Oplossing: limited slip
 - Slippende koppelingen tussen assen
 - Tandwielen met grote wrijving



Alternatieven differentieel

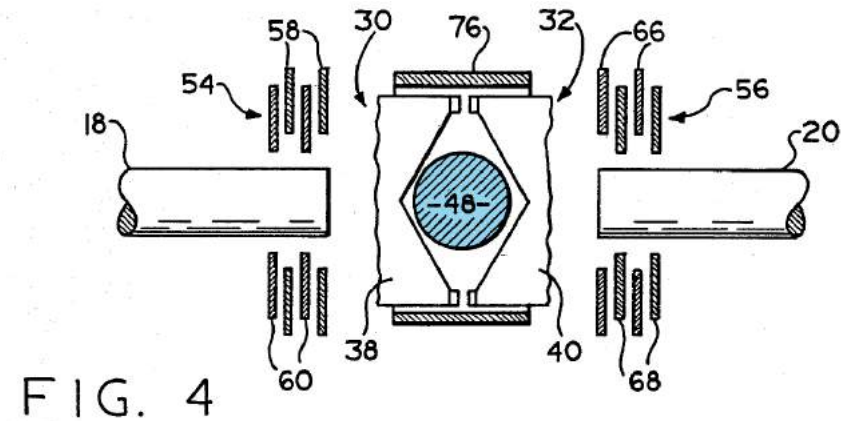
- One way koppelingen
- Slippende koppelingen

Differentieel met koppelingen

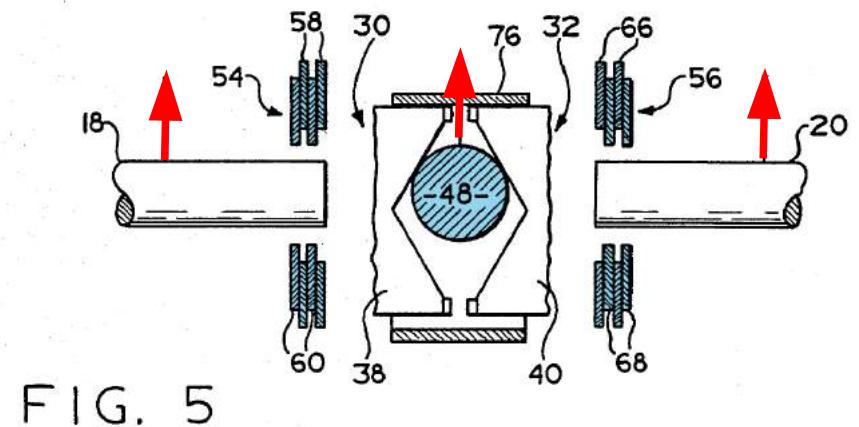


Differentieel met koppelingen

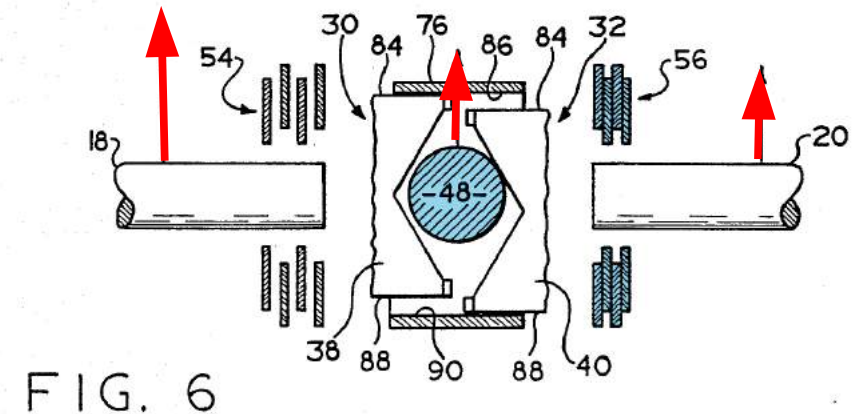
Geen aandrijving



Beide aangedreven



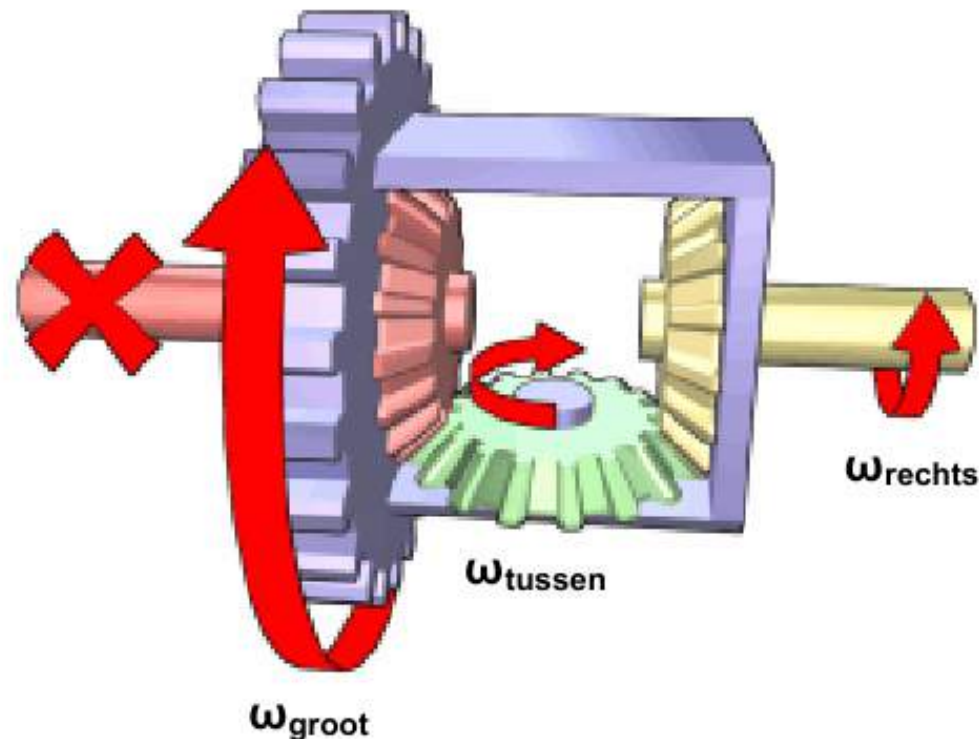
Links geen aandrijving



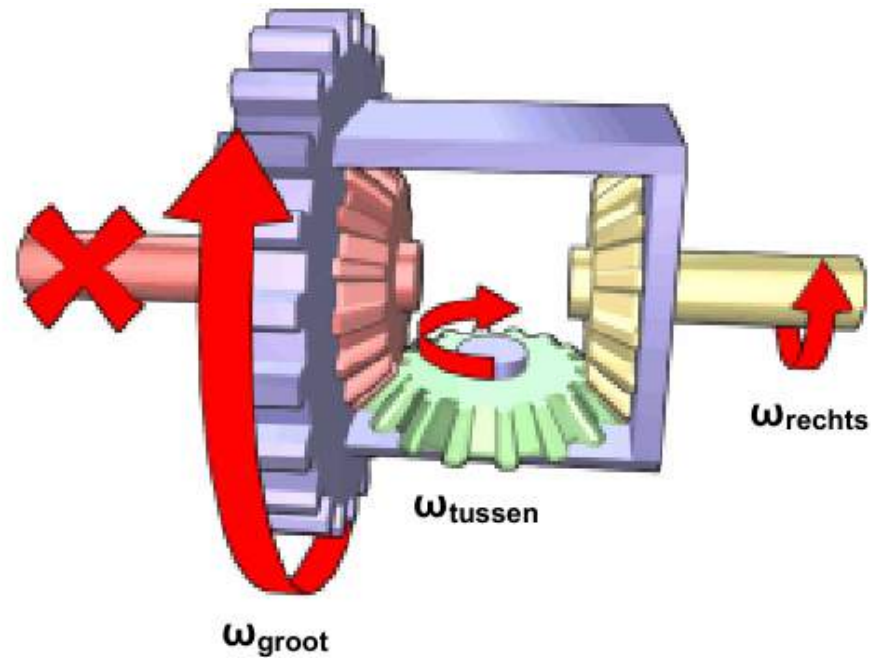
Tentamenvraag D

Tentamenvraagstuk D

Beschouw een differentieel zoals die in achterassen van auto's wordt toegepast. De linkeras staat stil en het grote paarse tandwiel waaraan het paarse huis is verbonden drijft via het differentieel de rechteras aan. De drie "tussentandwielen" in het huis hebben allemaal dezelfde diameter D_{tussen} terwijl de diameter van het grote paarse tandwiel gelijk is aan D_{groot} . Stel dat de hoeksnelheid van het grote paarse tandwiel gelijk is aan ω_{groot} , dat de hoeksnelheid van het groene tussentandwiel ten opzichte van het huis gelijk is aan ω_{tussen} , en dat de hoeksnelheid van de rechteras is gelijk aan ω_{rechts} .



Tentamenvraag D1

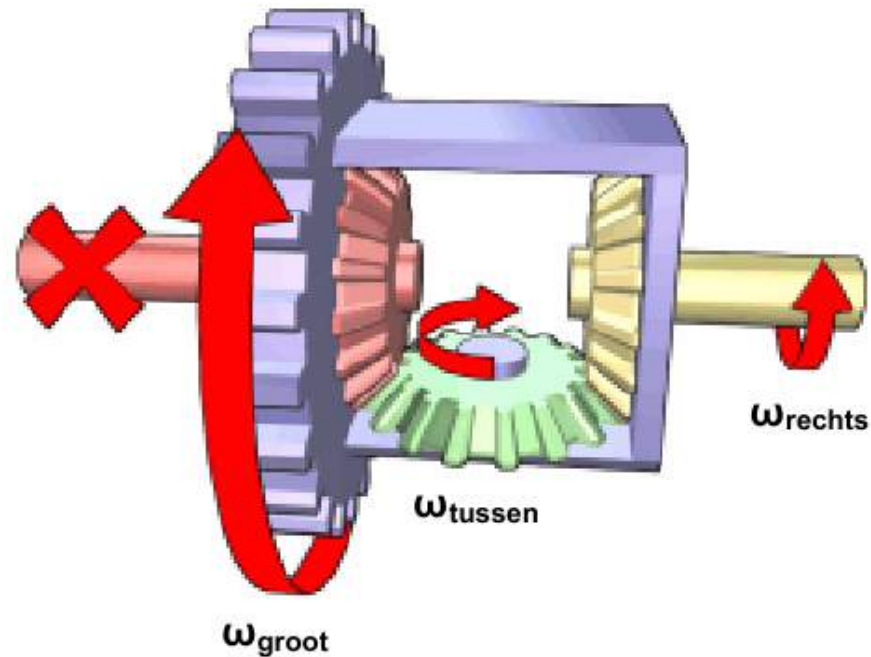


D1 (weegfactor 1)

Wanneer is het differentieel uitgevonden en wat was de eerste toepassing?

Antwoord D1

Tentamenvraag D1



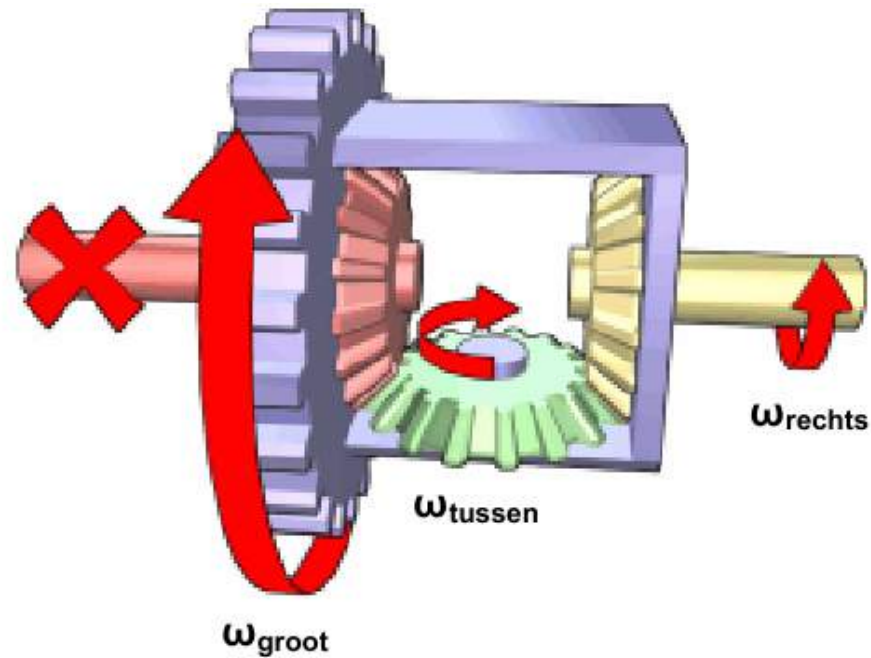
D1 (weegfactor 1)

Wanneer is het differentieel uitgevonden en wat was de eerste toepassing?

China, 1050-771 voor Christus, "South Pointing Chariot"

Antwoord D1

Tentamenvraag D2

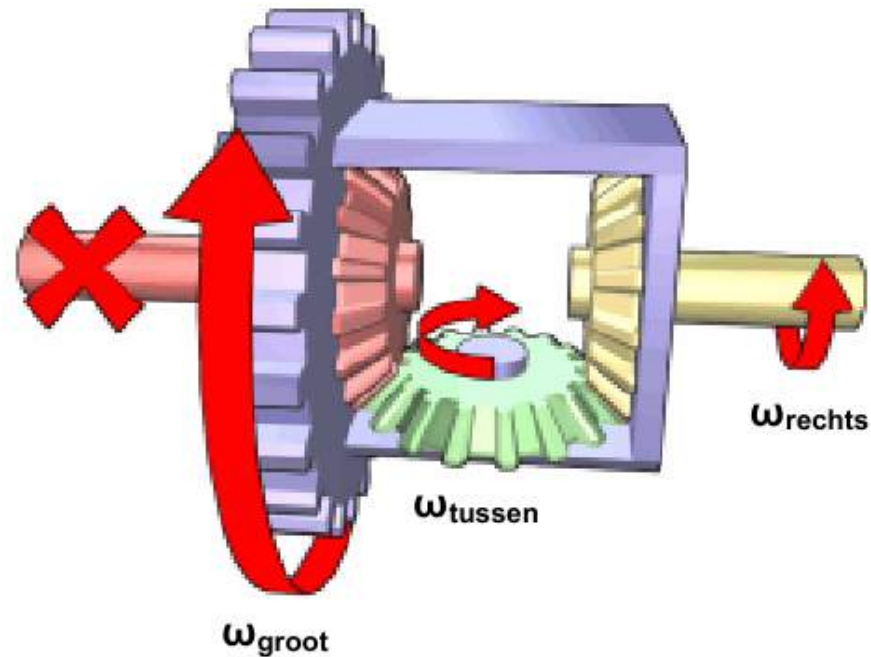


D2 (weegfactor 3)

Druk ω_{tussen} uit in ω_{groot} , D_{groot} en D_{tussen}

Antwoord D2

Tentamenvraag D2



D2 (weegfactor 3)

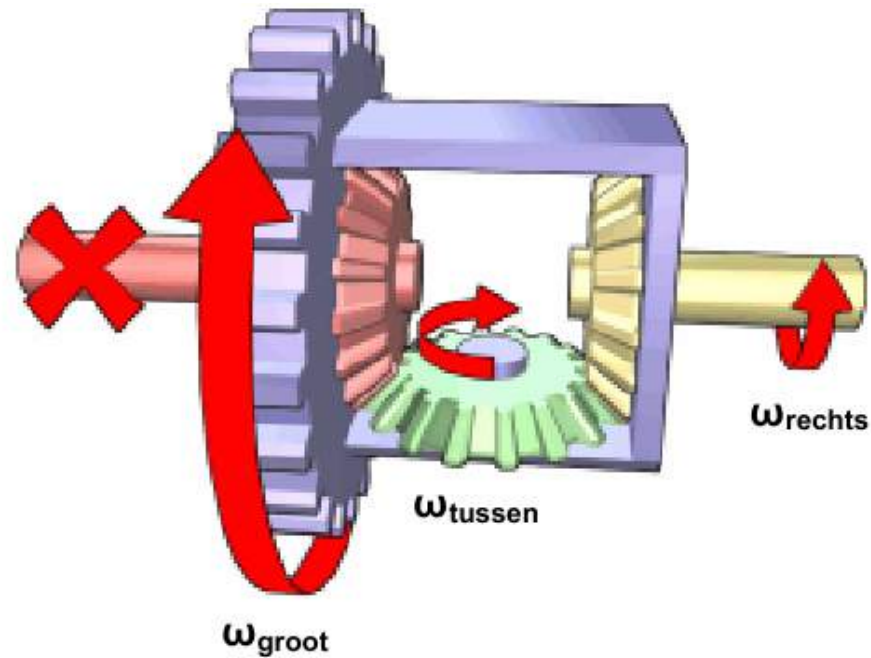
Druk ω_{tussen} uit in ω_{groot} , D_{groot} en D_{tussen}

Relativeer de beweging van
 ω_{groot} en de stilstaande as

$$\omega_{\text{tussen}} = \omega_{\text{groot}}$$

Antwoord D2

Tentamenvraag D3

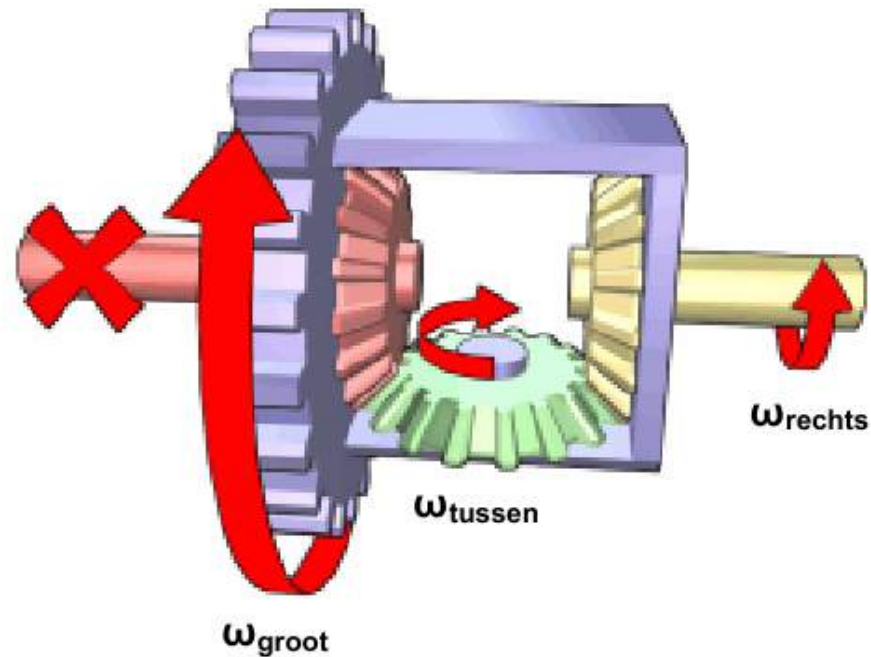


D3 (weegfactor 3)

Druk ω_{rechts} uit in ω_{groot} , D_{groot} en D_{tussen}

Antwoord D3

Tentamenvraag D3



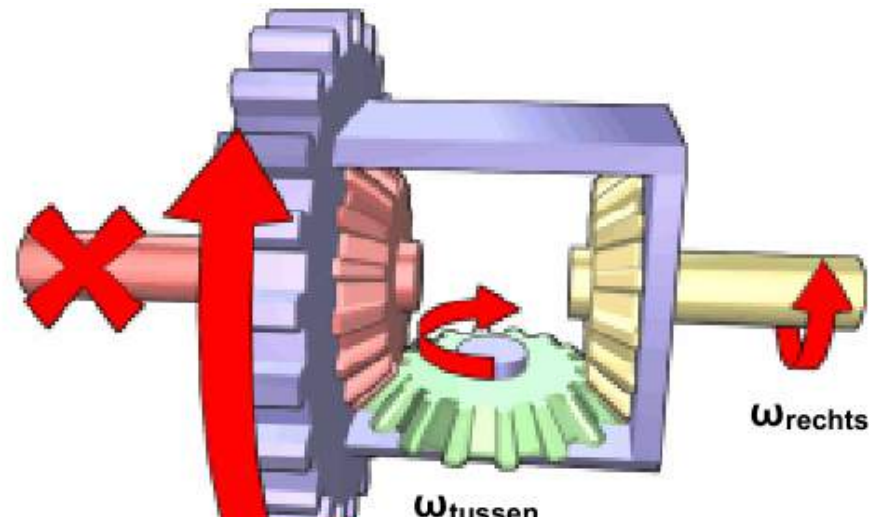
Relativeer de beweging van ω_{groot} en de stilstaande as

D3 (weegfactor 3)
Druk ω_{rechts} uit in ω_{groot} , D_{groot} en D_{tussen}

$$\omega_{\text{rechts}} = 2 \cdot \omega_{\text{groot}}$$

Antwoord D3

Tentamenvraag D4

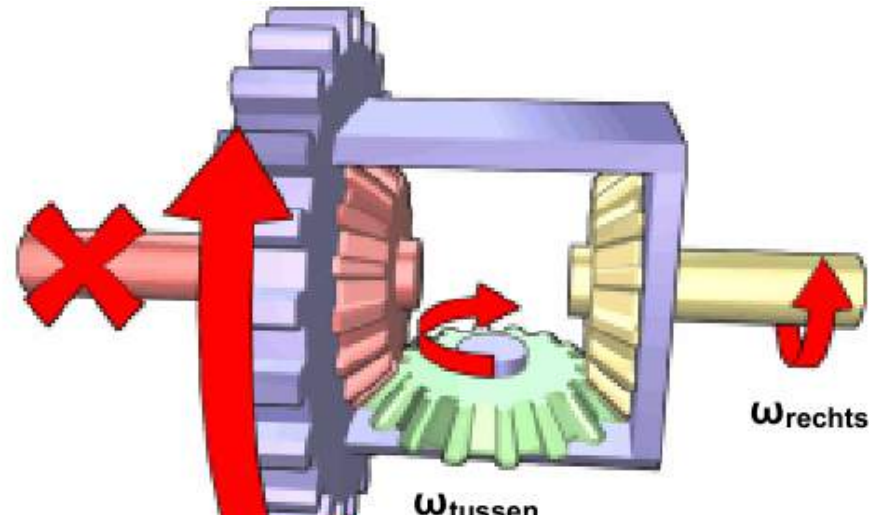


D4 (weegfactor 3)

Stel dat het differentieel in de achteras van een auto is ingebouwd en dat de auto een heel scherpe bocht maakt waardoor het linkerwiel stilstaat. Druk de verhouding tussen de schuifkrachten die de wielen op het wegdek uitoefenen uit in D_{groot} , ω_{groot} , D_{tussen} , ω_{tussen} en ω_{rechts} . Veronderstel dat de wrijving tussen de onderdelen van het differentieel verwaarloosbaar is.

Antwoord D4

Tentamenvraag D4



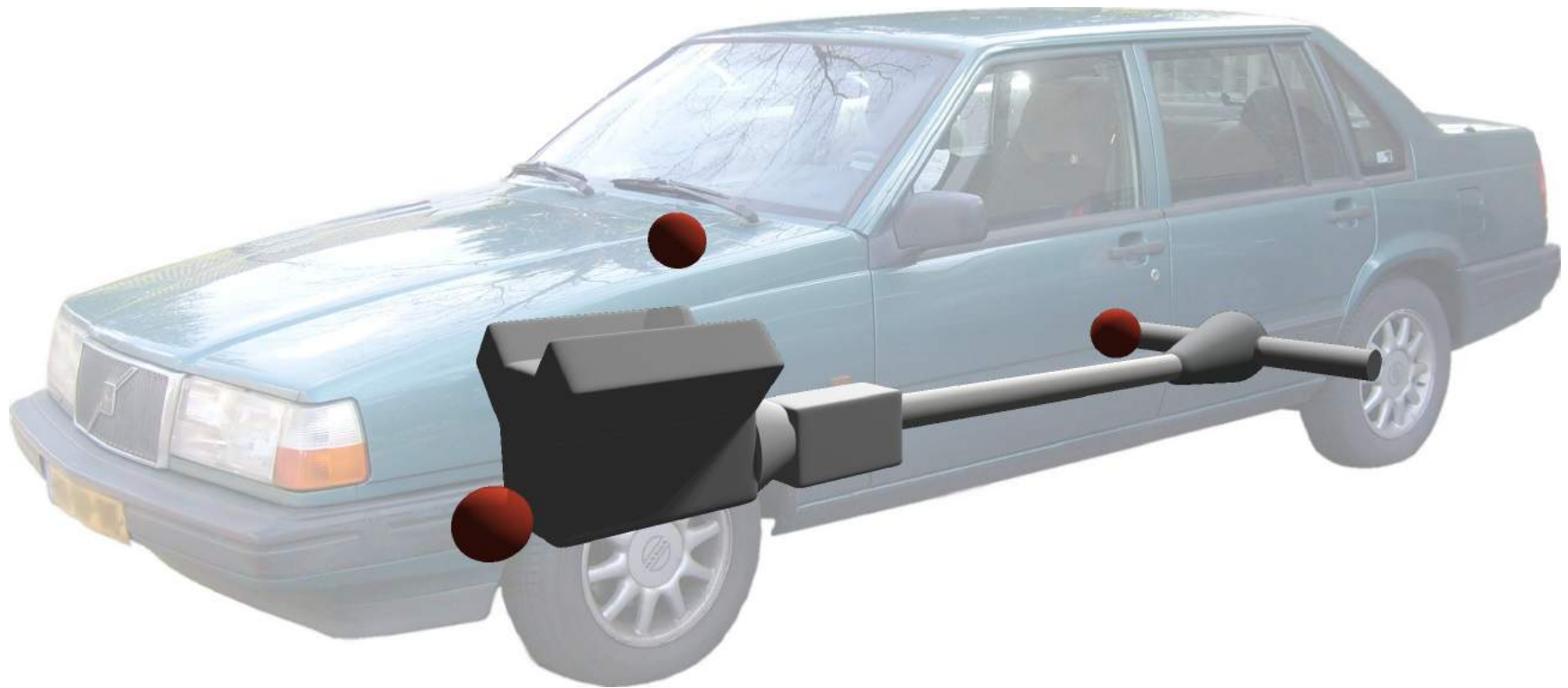
D4 (weegfactor 3)

Stel dat het differentieel in de achteras van een auto is ingebouwd en dat de auto een heel scherpe bocht maakt waardoor het linkerwiel stilstaat. Druk de verhouding tussen de schuifkrachten die de wielen op het wegdek uitoefenen uit in D_{groot} , ω_{groot} , D_{tussen} , ω_{tussen} en ω_{rechts} . Veronderstel dat de wrijving tussen de onderdelen van het differentieel verwaarloosbaar is.

Een differentieel is een krachtverdeler. De schuifkrachten die de wielen op het wegdek uitoefenen zijn dus gelijk en hun verhouding is gelijk aan 1.

Antwoord D4

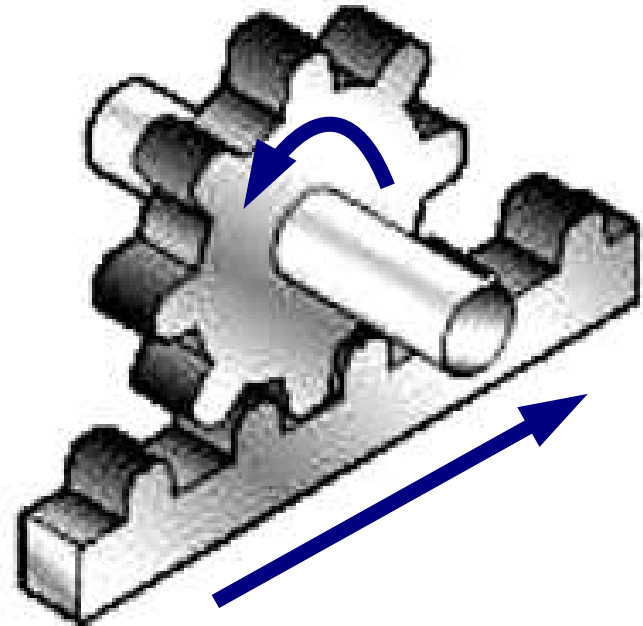
Actuatoren



Stuur mechanisme

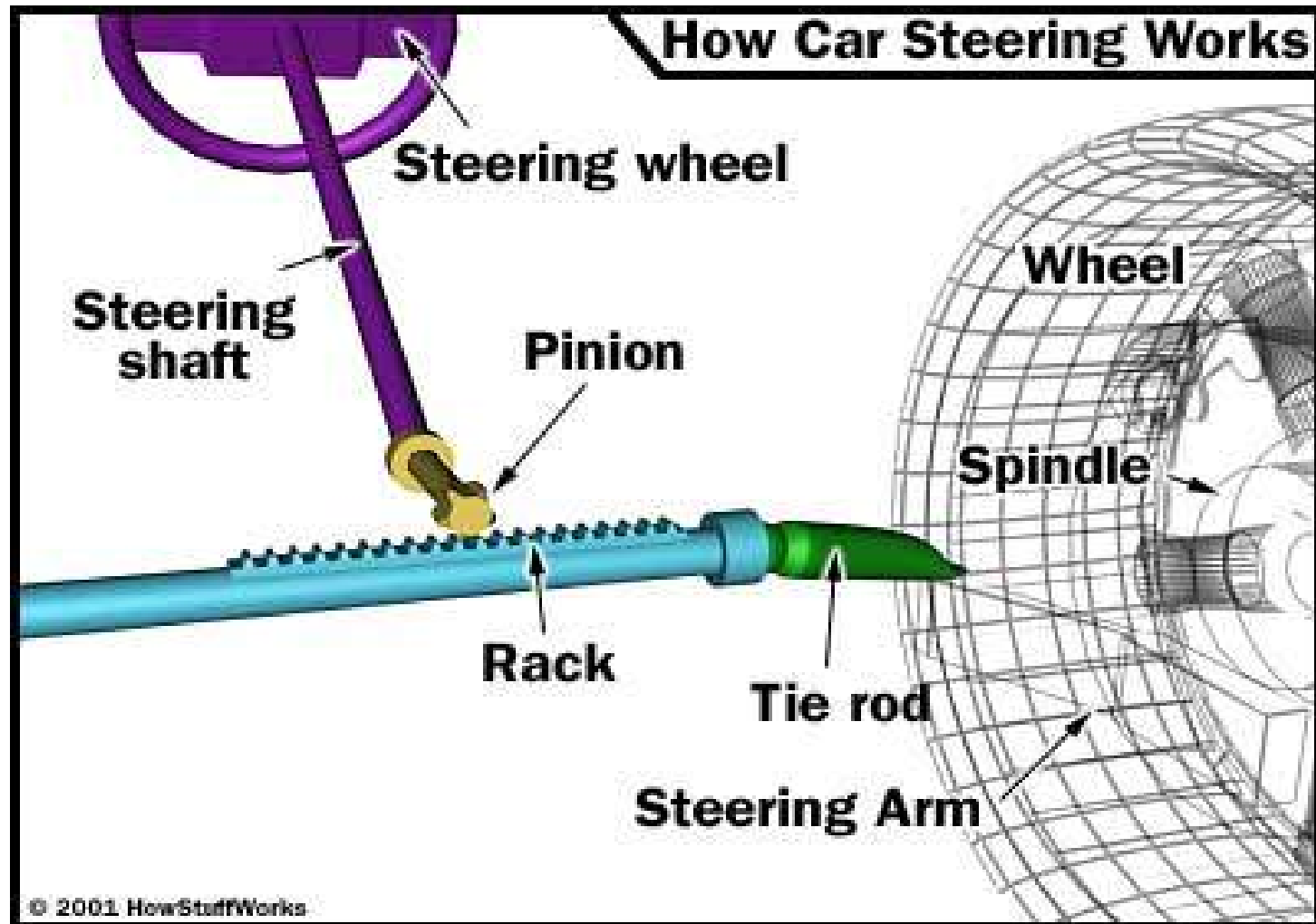
rotatie naar lineair

- Tandheugel
- Spindel



Stuur mechanisme

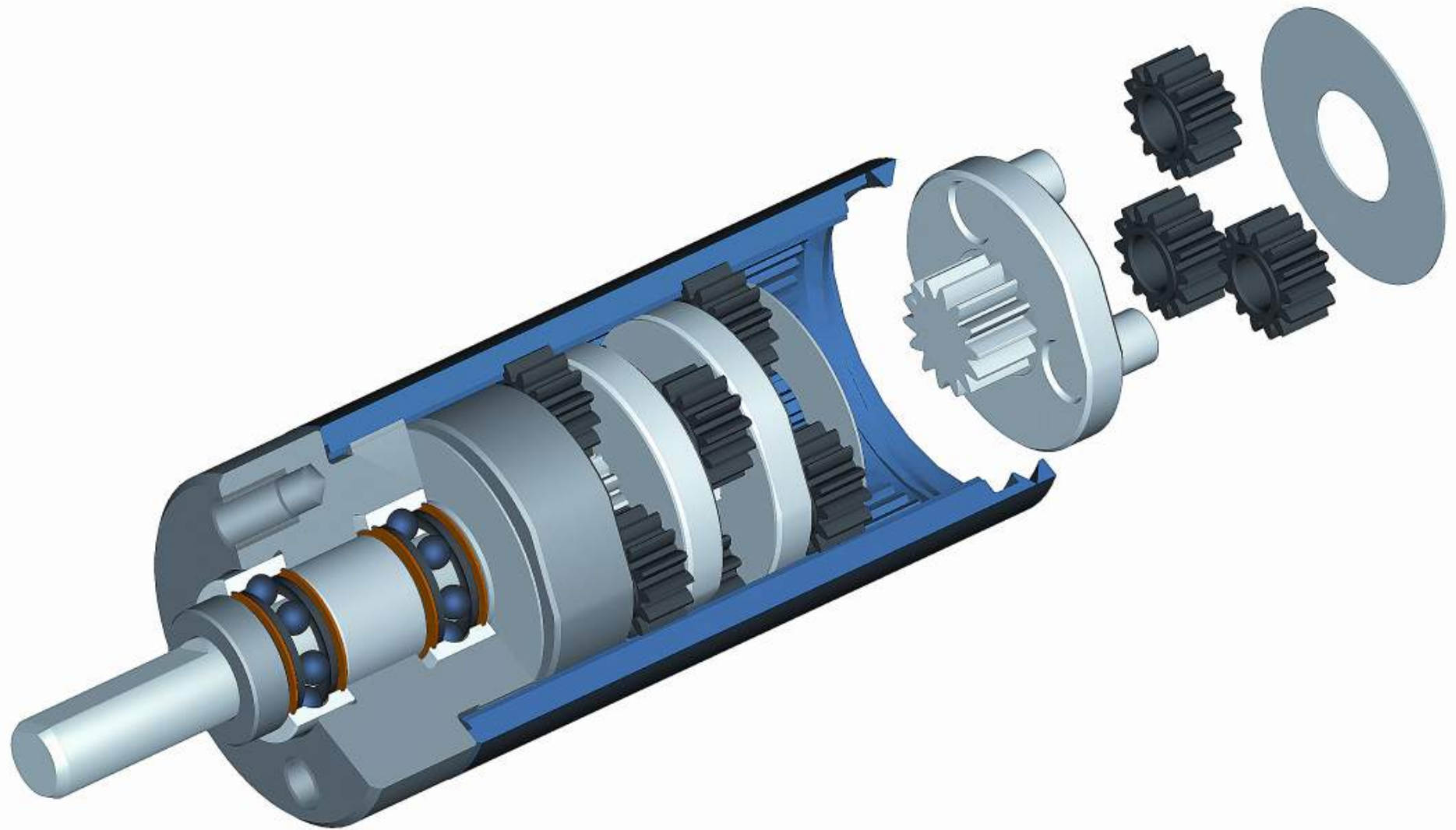
Tandheugel



Actuatoren

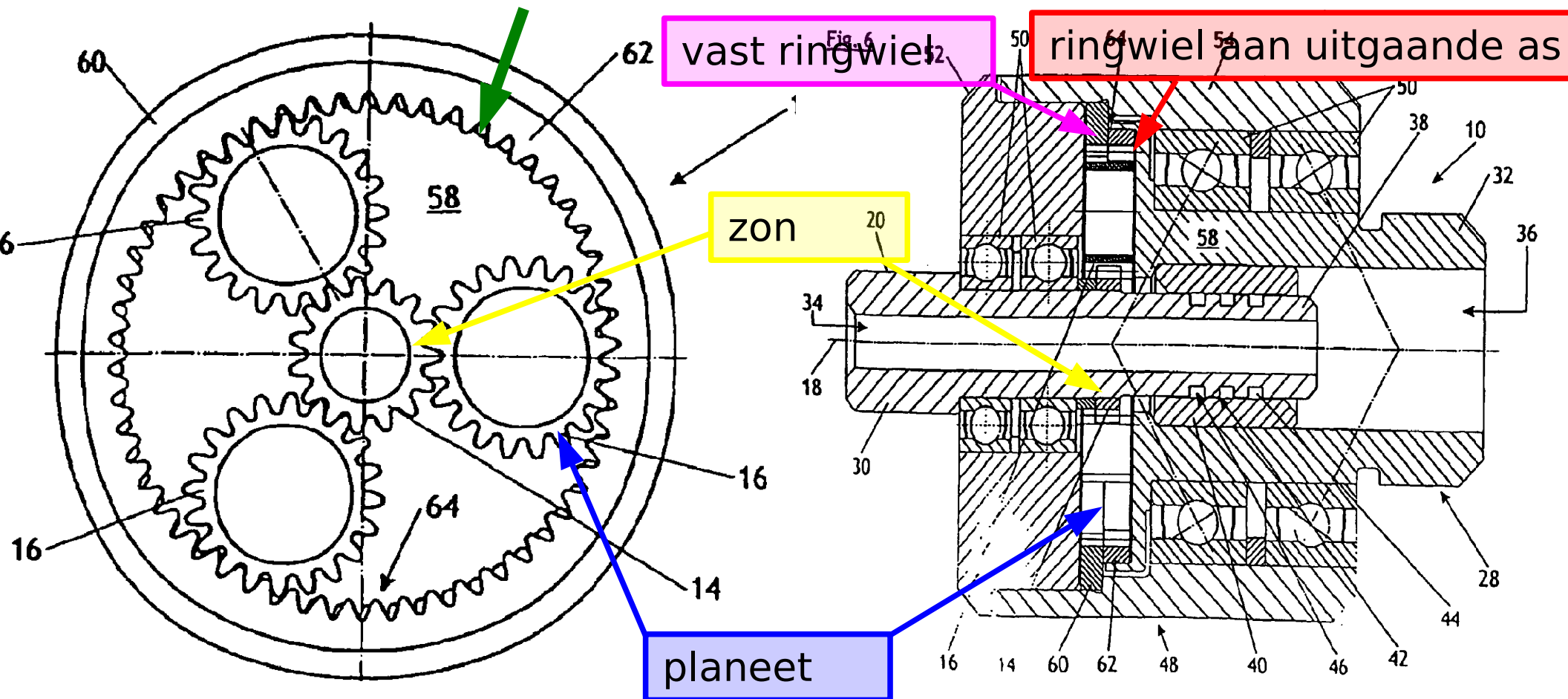
- Relatief veel kracht, weinig beweging, intermitterend, klein vermogen
- Grote vertraging
- Planeet overbrengingen
 - Enkel / meerdere planeten
 - Wolfrom
 - Cyclo
 - Harmonic drive
- Worm

Meerdere planeet sets



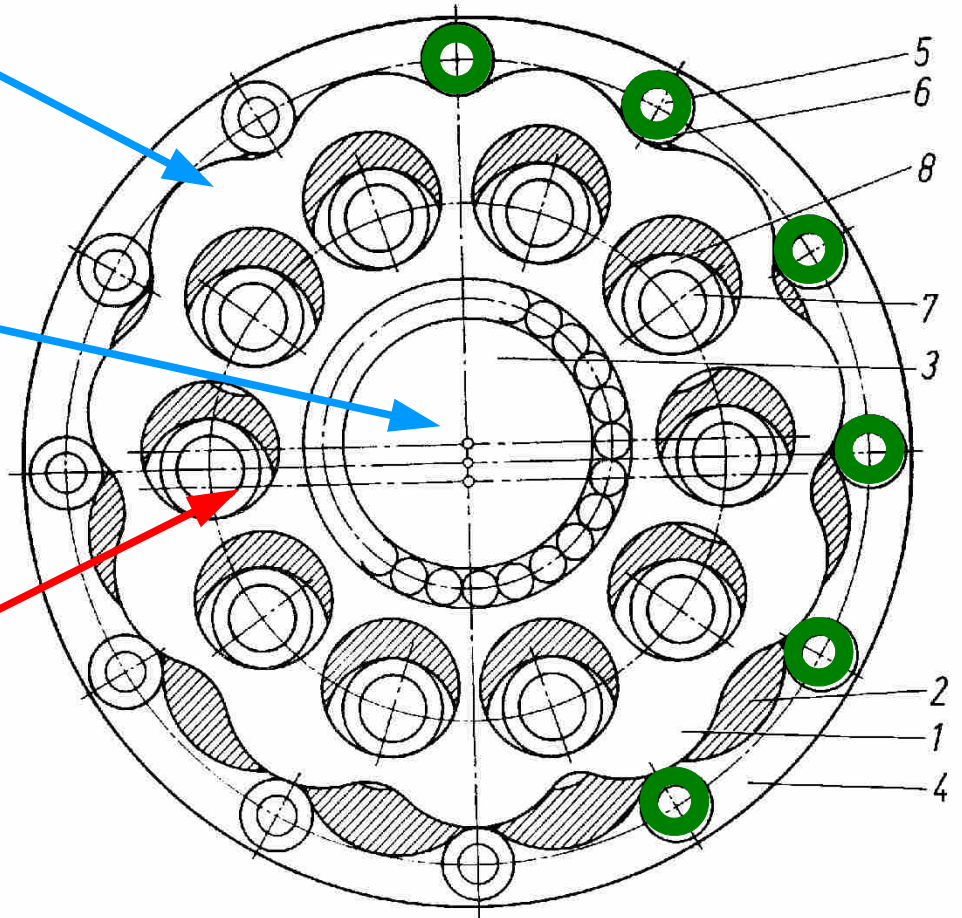
Wolfrom planeet overbrenging

2 Ringtandwielen met een klein verschil in tanden: bij iedere volledige rotatie van de planeetdrager roteren de ringtandwielen met het verschil in tanden ten opzichte van elkaar.



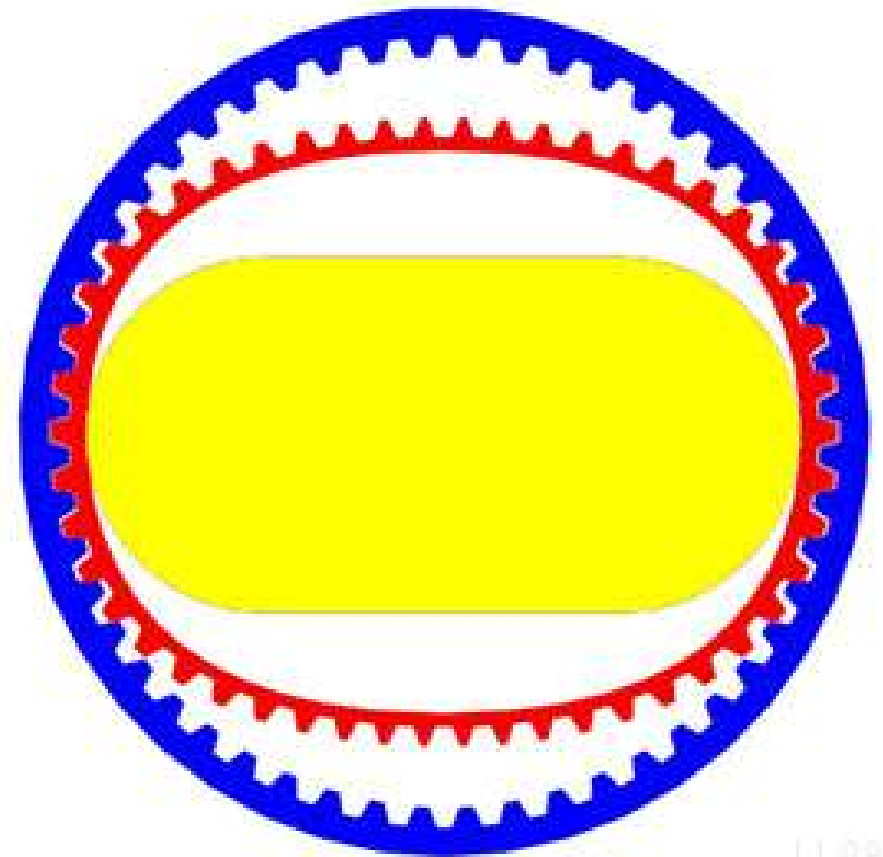
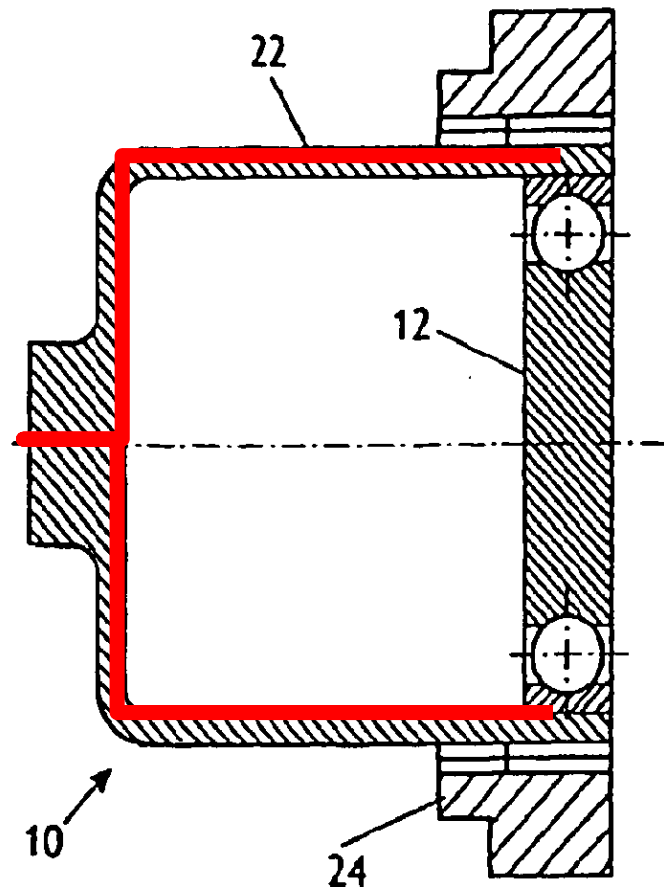
Cyclo planeet overbrenging

- Planeten maximale grootte
- Planeetdrager (excenter) is ingaande as
- Rotatie van planeet naar uitgaande as
- Robuust door veel tandcontact



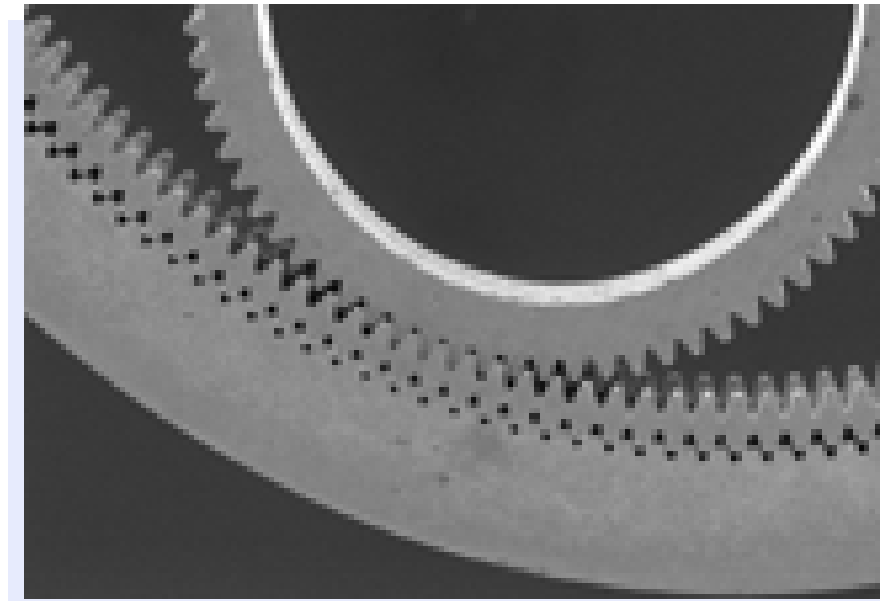
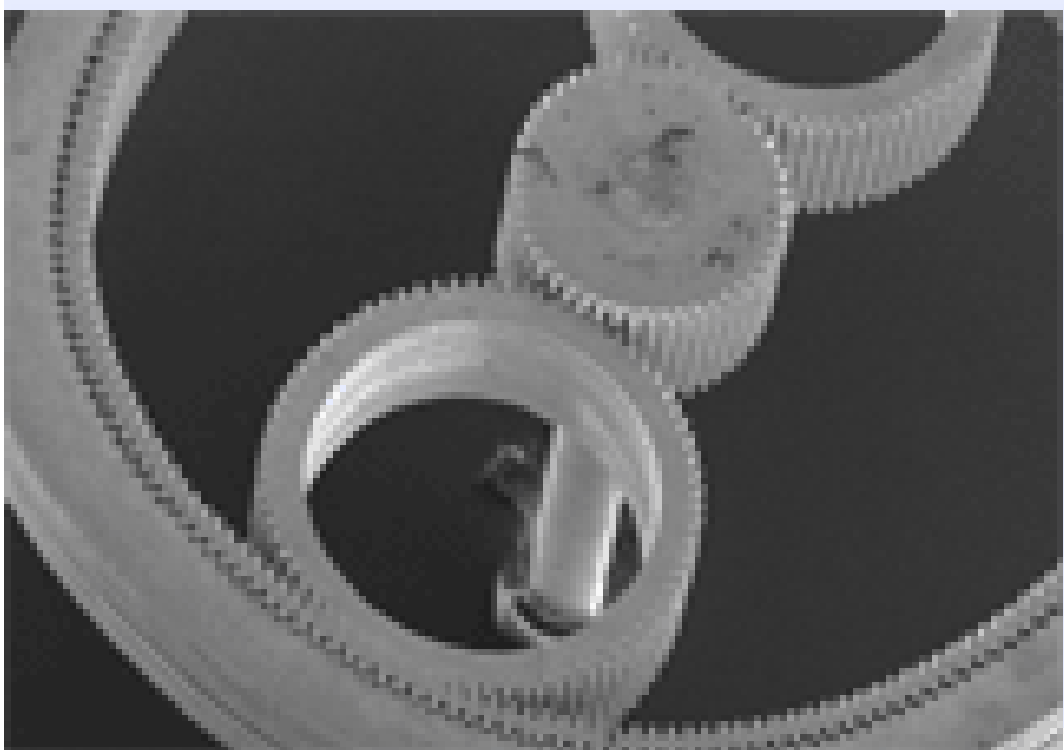
Harmonic drive

Flexible verbinding naar uitgang (**Flex spline**)



Micro harmonic drive

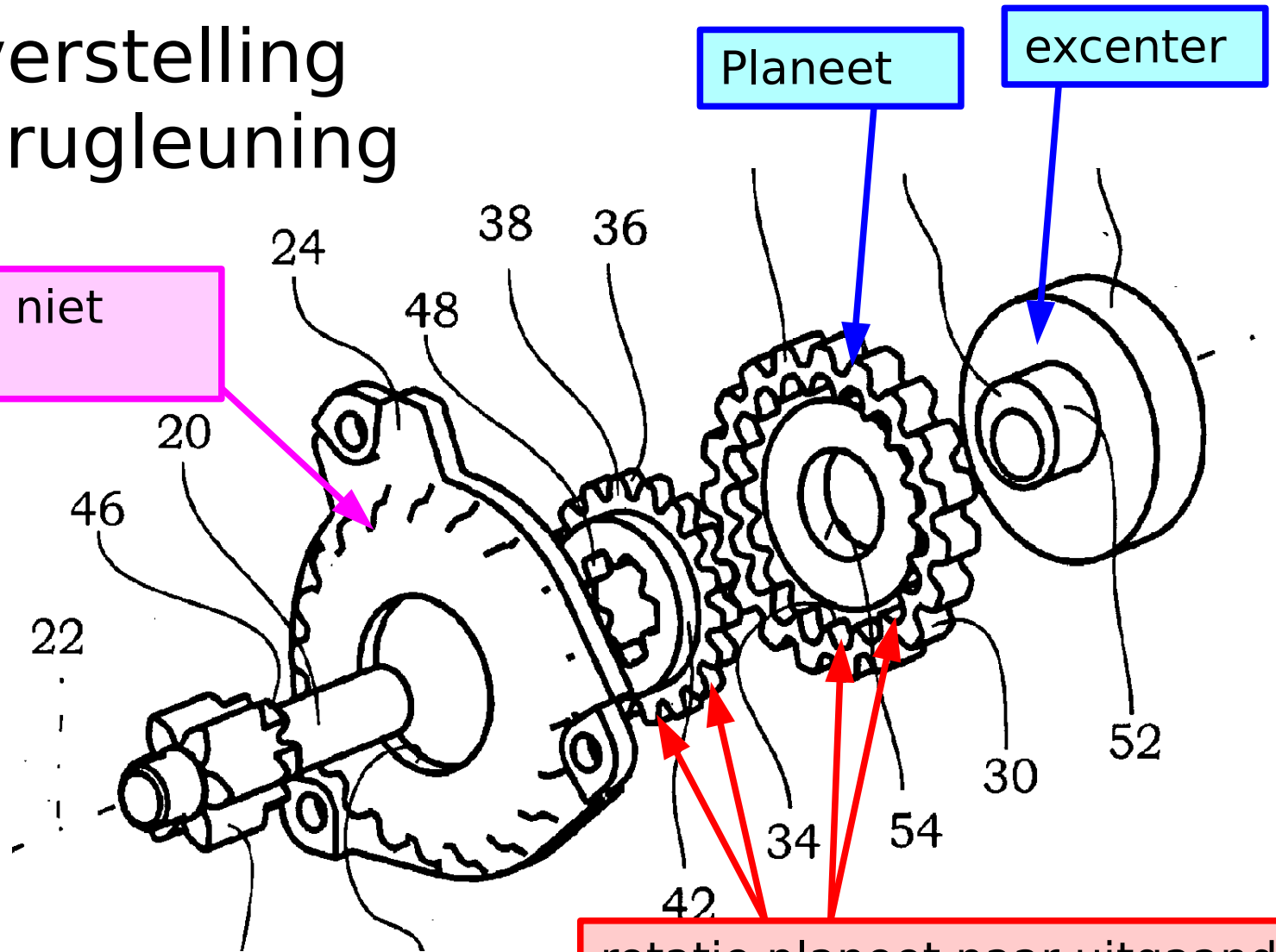
Micro harmonic drive gecombineerd met
Wolf from



Voorbeeld actuator in stoel

Cyclo in verstelling
van de rugleuning

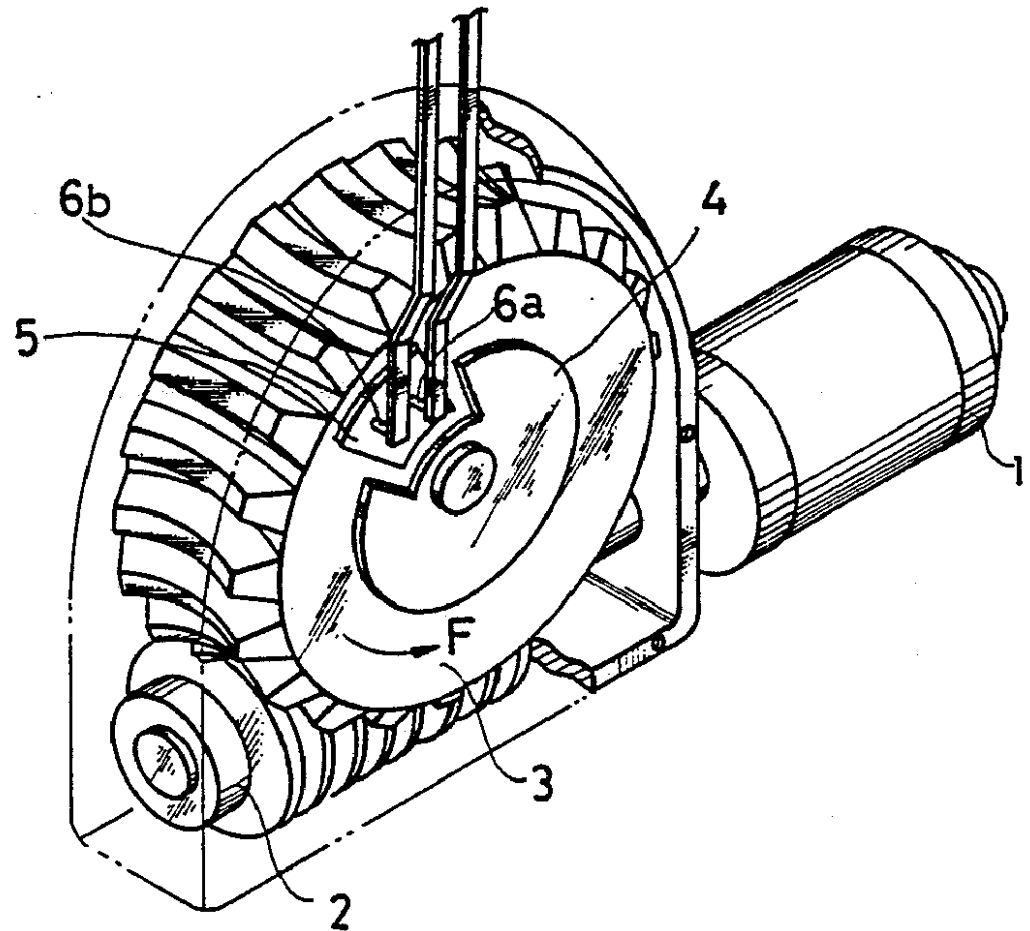
Ringwiel (tanden niet
zichtbaar)



rotatie planeet naar uitgaande
as via koppeling met tanden

Worm overbrenging

- Haakse overbrenging
- Eenvoudig
- Grote ratio
- Voorbeeld: ruitenwissers



Einde

