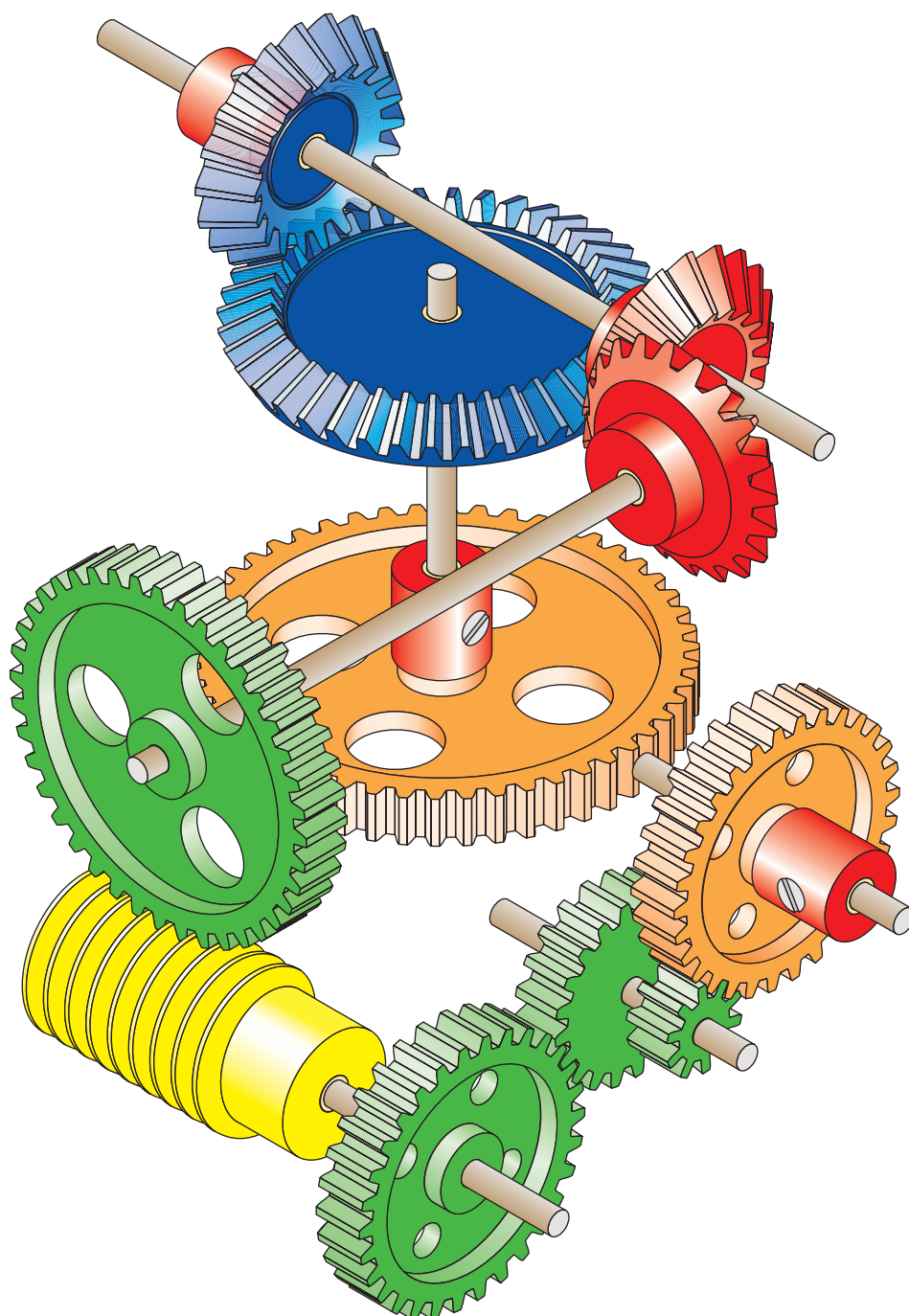


Tandrielen



Inhoudsopgave

<u>Blz. 1</u>	Geschiedenis Oudheid en Middeleeuwen	<u>Blz. 5</u>	Afmetingen Moduul of steek Voorbeeld Vraagstuk (3)
<u>Blz. 2</u>	Industriële revolutie Evolvente vertanding	<u>Blz. 6</u>	Andere tandwielen Asrichting Wormwiel Kegeltandwiel
<u>Blz. 3</u>	Bewegings- overbrenging Drijfwiel, volgwiel en as Overbrenging Snelheid Kracht Draairichting Tussentandwiel	<u>Blz. 7</u>	Tandheugel Spoorwegen Kroonwiel
<u>Blz. 4</u>	Wacht even! (1) Flink versnellen! Dubbeltandwiel Vraagstuk (2)	<u>Blz. 8</u>	Ringwiel Automatische versnelling
			Antwoorden

[Toetsvragen](#)
[Webquest tandwielen](#)

Aanwijzingen bij het gebruik van dit PDF-bestand.

Dit bestand bevat zgn. bookmarks die aangeklikt kunnen worden.

- De bladzijnummers hierboven verwijzen naar de gewenste pagina.
- 'Tandwielen' rechtsboven verwijst naar de inhoudsopgave.
- Afbeeldingen verwijzen (vaak) naar het bronbestand, tenzij het eigen materiaal is.
- Het NIUtec-logo verwijst naar de startpagina van de website.

Terug in de website kan door op de -pijl linksboven in de browser te klikken of door het gewenste tabblad aan te klikken.

Vanwege auteursrechten is het niet toegestaan dit bestand te bewerken.

Indien gewenst kan hierover contact opgenomen worden met de auteur, [P. Jongejan](#)

Geschiedenis

Oudheid en Middeleeuwen

Tandwielen zijn heel lang geleden uitgevonden en waren al bij de Grieken in gebruik. Van de wijsgeer Archimedes (287 - 212 v. Chr.) is bekend dat hij tandwielconstructies ontwierp. Ook bestaat er een uit een Grieks wrak opgedoken tandwielmechanisme, ontworpen om de loop van de zon, de maan en 5 planeten nauwkeurig te kunnen voorspellen. Dit bronzen voorwerp is bij Antikythera gevonden, en wordt gedateerd op ± 150 vóór Chr.!

Zie: [Wikipedia](#)



Verwaarloosde torenklok

Een ander gebied waar tandwielen al vroeg in te vinden zijn, zijn torenuurwerken. De eerste zijn in kloostertorens te vinden aan het einde van de 13e eeuw, want de kloosterlingen moesten toch op tijd zijn voor hun kerkdiensten!

In het midden van de 15e eeuw verschenen de eerste torenuurwerken met wijzerplaat. Deze klokken vervulden een belangrijke rol in het dagelijks leven. Voor het aangeven van begin- en eindtijden van markten, betaalde arbeid en het openen en sluiten van de stadspoorten was een nauwkeurige tijdsmeting noodzakelijk.

Tenslotte bevindt zich een prachtig voorbeeld van een vroeg gebruik van tandwielen in Franeker. Daar kun je het oudste nog werkende planetarium ter wereld bezoeken. Dit nauwkeurig bewegend model van het zonnestelsel werd tussen 1774 en 1781 gebouwd door de Friese wolkamer Eise Eisinga.

Kijk voor meer info op de volgende sites:

[Planetarium](#)

[JactenHoeve](#)

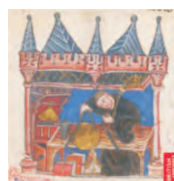
Doesburger molen in Ede, Nederland.



Later is veel van deze kennis verloren gegaan, pas in de 7e eeuw na Chr. zijn er weer tandwielen te vinden in windmolens.

Veel later, vooral in de 17e eeuw, zijn ook in Nederland talloze windmolens gebouwd, met vaak reusachtige tandwielen van hout.

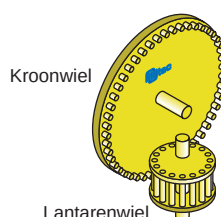
Aandrijving van de maalstenen, bovenwiel met lantarenwiel. Het bovenwiel is een kroonwiel. [Zie kroon- en lantarenwiel.](#) [Zie ook blz. 7.](#)



Abt Richard of Wallingford bouwde in de 13e eeuw een beroemd uurwerk. (helaas verloren gegaan)



Aandrijving van de maalstenen, detail lantarenwiel.



Geschiedenis

Industriële revolutie

Door de uitvinding van de **stoommachine**, en voornamelijk door de verbeteringen daaraan door James Watt, was het vanaf einde van de 18e eeuw mogelijk om continue mechanische energie ter beschikking te hebben. Vóór die tijd kon men alleen gebruikmaken van mensen, paarden, watermolens en windmolens voor de benodigde aandrijfkraft.

Zie: **Industriële revolutie**

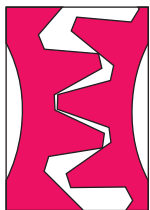
Deze ontwikkeling was de aanleiding voor de opkomst van fabrieken, waarin met behulp van machines op een veel grotere schaal geproduceerd kon worden dan vóór die tijd in ambachtelijke en kleinschalige werkplaatsen aan huis.

Om het mechanische vermogen dat een stoommachine leverde, om te zetten in bruikbare beweging, was een nieuw soort tandwielen nodig. Immers, de houten exemplaren uit windmolens gaven veel te veel wrijving en waren veel te lomp om in machines te gebruiken!

Evolvente vertanding

De vorm van de vertanding bleek van groot belang voor een regelmatige bewegingsoverbrenging.

In plaats van tanden met rechte driehoekszijden, ontdekte men dat tanden met een op een speciale manier gekromd zijvlak het meeste geschikt waren. Vertanding met deze kromming wordt **evolvente** vertanding genoemd.



Recht



Evolvent

Naast een andere tandvorm, ging men de tanden vaak ook **schuin** plaatsen. Hierdoor ontstaat een geruislozer overgang van de ene tand naar de volgende, maar het gaat ten koste van een hogere wrijving. Schuin vertande tandwielen kosten daardoor meer energie.

Verder werd er **hoogwaardig staal** gebruikt in plaats van hout of messing, om de tandwielen slijtvaster te maken.

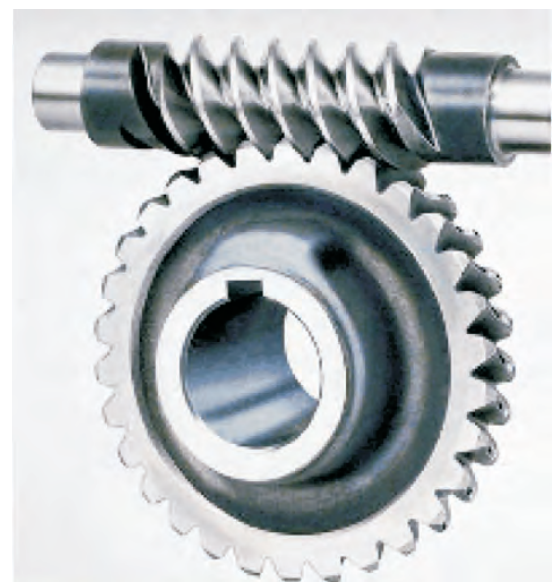
En tenslotte werden er speciale freesmachines ontwikkeld om de tandwielen zo **maatvast** mogelijk te maken. Er komt heel wat kijken bij een tandwiel!



evenwijdige overbrenging met rechte vertanding



helicoïde overbrenging, schuine vertanding (45°), assen loodrecht



Worm en wormwiel-overbrenging, let op de holgefreesde schuine tanden.

Bewegingsoverbrenging

Drijfwiel, volgwiel en as

Het **drijfwiel** is het oranje tandwiel links.
 Het **volgwiel** is het groene tandwiel rechts.
 De **as** is de staaf door het midden van het wiel.
*Het drijfwiel wordt altijd links getekend,
 het volgwiel altijd rechts.*

Overbrenging

Tandwielen zijn om beweging van de ene as op een andere over te brengen.
 Daarbij kunnen er drie dingen gebeuren:
 1- de **snelheid** kan veranderen
 2- de **kracht** kan veranderen
 3- de **draairichting** kan veranderen

Snelheid

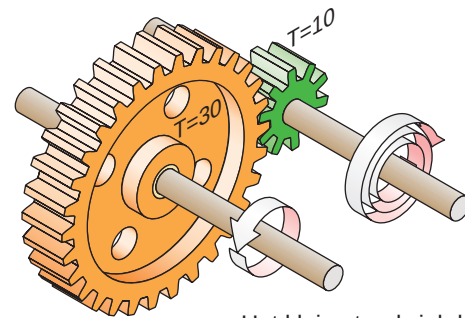
De snelheid kan veranderd worden door twee tandwielen met een verschillend aantal tanden in elkaar te laten grijpen. Het tandwiel met de meeste tanden zal het langzaamst draaien, het kleinste tandwiel het snelst.

*De snelheidsverhouding is het omgekeerde van de tandverhouding.
 Kleiner dan 1 is een versnelling,
 groter is een vertraging.*

Kracht

De kracht waarmee de tandwielen ronddraaien (dat heet eigenlijk het **moment**) vermindert evenveel als de snelheid vermeerderd. Als het ene tandwiel drie keer zo snel draait als het andere, kan je het ook drie keer zo makkelijk tegenhouden. Eigenlijk wel logisch hè?

De krachtsverhouding is gelijk aan de tandverhouding.



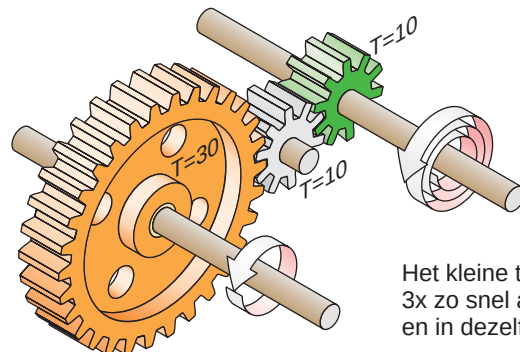
Het kleine tandwiel draait 3x zo snel als het grote en tegengesteld.

Draairichting

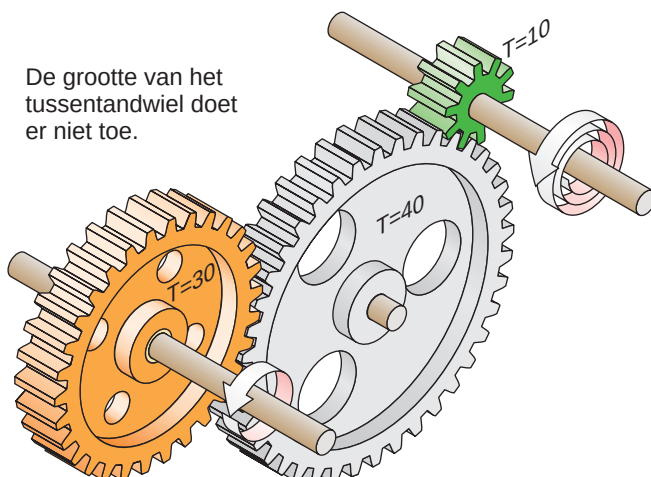
Behalve de snelheid is er nóg iets veranderd: de **draairichting**!

Het grote tandwiel draait rechtsom, en het kleine linksom.

*Bij een even aantal tandwielen draaien het drijfwiel en het volgwiel tegengesteld.
 Bij een oneven aantal draaien ze in dezelfde richting.*



Het kleine tandwiel draait 3x zo snel als het grote en in dezelfde richting.



De grootte van het tussentandwiel doet er niet toe.

Tussentandwiel

Hierboven zie je hoe met een **tussentandwiel** (grijs) de draairichting van het drijfwiel en het volgwiel hetzelfde worden.

Het maakt daarbij niet uit hoe groot het tussentandwiel is, en het hoeft er ook niet midden tussenin te zitten. Dus de oplossing links werkt net zo goed!

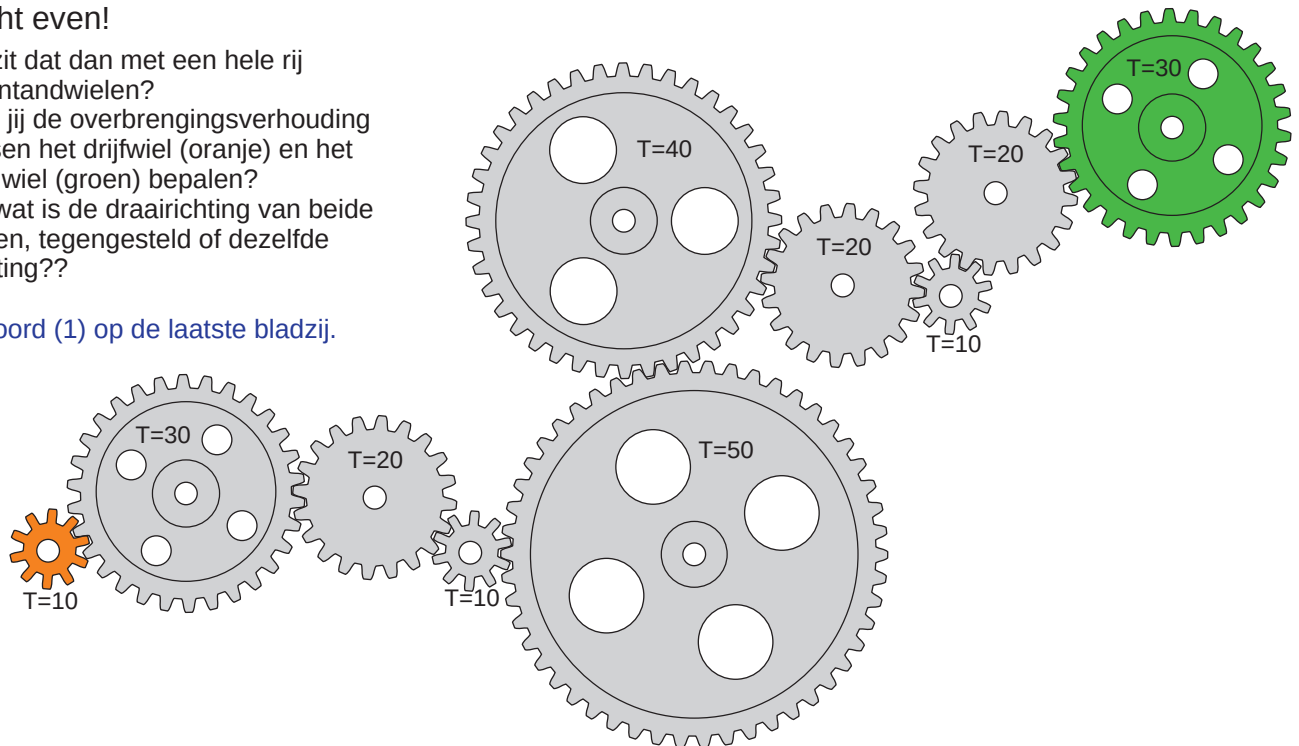
Een tussentandwiel draait alleen de draairichting om, maar verandert niets aan de overbrenging.

Wacht even!

Hoe zit dat dan met een hele rij
tussentandwielen?

- Kan jij de overbrengingsverhouding tussen het drijf wiel (oranje) en het volg wiel (groen) bepalen?
- En wat is de draairichting van beide assen, tegengesteld of dezelfde richting??

Antwoord (1) op de laatste bladzij.



Flink versnellen!

Dubbeltandwiel

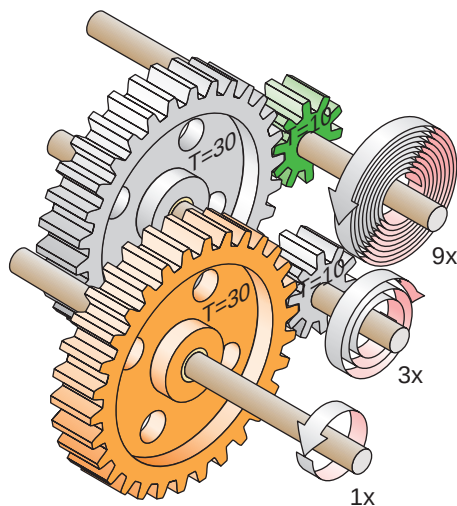
Kan je met tandwielen van bijvoorbeeld 10 en 30 tanden dan nooit een grotere versnelling krijgen dan 3 keer? Jawel, met gekoppelde tandwielen!

Hiernaast zie je twee keer een overbrenging van 1:3, met zo'n **dubbeltandwiel** (grijs getekend).

Het kleine grijze tandwiel draait 3 keer zo snel als het drijfwiel. Omdat de grijze tandwielen aan elkaar gekoppeld zijn, draait de grote partner van het dubbeltandwiel dus óók drie keer zo snel.

Daardoor draait het groene volgwiel 3×3 , dus wel negen keer zo snel! (denk erom, niet $3+3=$ zes keer!) De keerzijde . . . hij draait ook met negen keer minder kracht als het drijf wiel.

- Een dubbeltandwiel zorgt ervoor dat de snelheid vermenigvuldigd wordt.
- Zoveel sneller het draait, zoveel minder kracht er geleverd wordt.

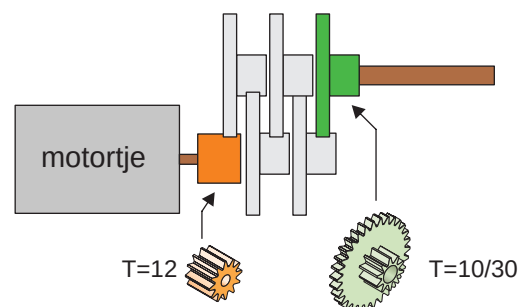


Vraagstuk

In het plaatje hiernaast is het vertragskastje van een elektromotortje afgebeeld. Het rondselte (=kleine tandwielte) op de motoras heeft 12 tandjes. De dubbeltandwieltes hebben 10/30 tanden. Kan jij uitrekenen hoe vaak het motorasje moet ronddraaien om de uitgaande as 1 keer rond te krijgen?

Antwoord (2) op de laatste bladzij.

Hoe zit dat in een uurwerk? Klik [HIER](#)



Afmetingen

Moduul of steek

Tandwielen moeten in elkaar passen ook al worden ze in verschillende fabrieken geproduceerd. Daarom zijn de afmetingen van veel tandwielen **genormeerd**, ze voldoen aan een aantal vaste regels.

Een belangrijke voorwaarde waaraan tandwielen moeten voldoen is een vaste verhouding tussen het **aantal tanden** en de doorsnede in millimeters van de **steekcirkel**. De steekcirkel is de cirkel die midden door de tandjes getrokken kan worden (hiernaast grijs). Deze verhouding heet het **moduul** of de **steek**. Dus: Als de doorsnede 30 mm is en het aantal tandjes is óók 30, dan hebben we moduul 1. Als de doorsnede 15 mm is en het aantal tandjes is 30, dan hebben we moduul 0,5

Het moduul of de steek van een tandwiel is de doorsnede van de steekcirkel gedeeld door het aantal tanden.

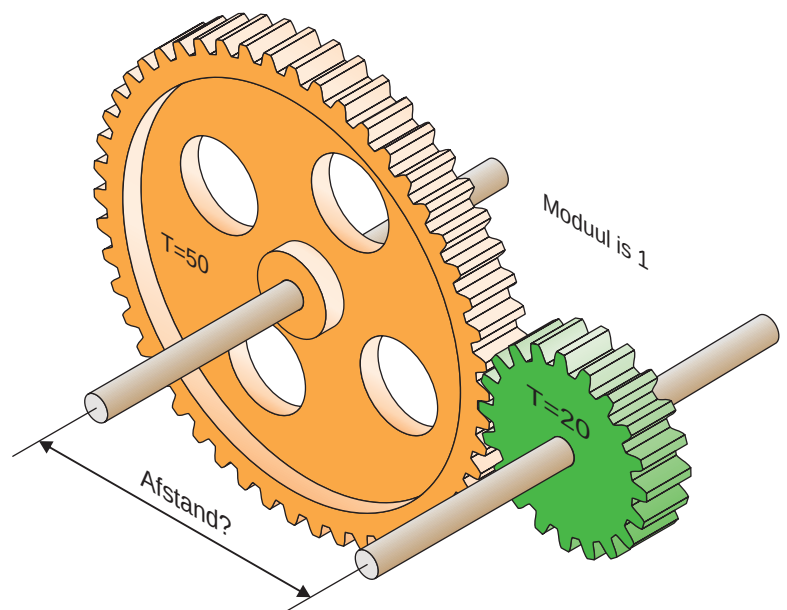
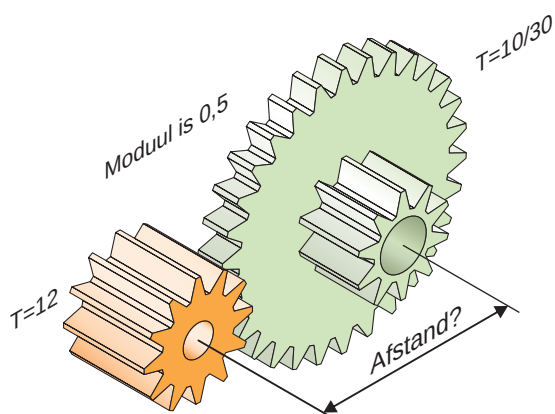
$$\text{moduul} = \frac{\text{diameter}_{\text{steekcirkel}}}{\text{tandaantal}}$$

Voorbeeld

Het moduul van de tandwielen hiernaast is 1. Dus de doorsneden zijn gelijk aan de tand-aantallen van de wielen, 20 en 50 mm. De hartafstand tussen de assen van de tandwielen is de som van beide **halve** doorsneden in millimeter,

dus: $\frac{20 + 50}{2} \times 1 = 35 \text{ mm}$

Dit is het **moduul**



Vraagstuk

Van het rondsel met dubbeltandwiel hiernaast is de steek 0,5. Het rondsel heeft 12 tandjes, het dubbeltandwiel heeft 30 (en 10) tandjes. Wat is de hartafstand tussen de assen?

Antwoord (3) op de laatste bladzij.

Andere tandwielen

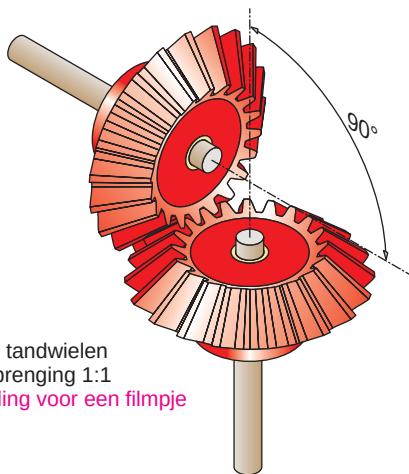
Asrichting

De plaatjes op de vorige pagina's laten overbrengingen zien waarbij de asrichting evenwijdig blijft. Daarvoor worden **cilindrische** (damsteenvormige) tandwielen gebruikt, met een **rechte vertanding**.

Deze soort tandwielen zijn te vinden in versnellingsbakken, hoewel in verband met een gelijkmatiger beweging meestal een **schuine vertanding** wordt gebruikt (zie blz. 2).

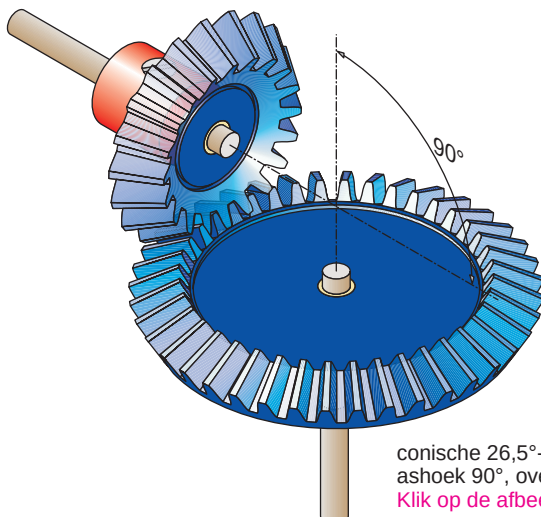
Naast het veranderen van de overbrengingsverhouding kan met tandwielen ook de asrichting veranderd worden.

- **Conische** of **kegelvormige** tandwielen kunnen gebruikt worden voor loodrechte (haakse) overbrengingen.
- Een **wormwiel** is geschikt voor een kruisende overbrenging.
- Een **tandheugel** is te gebruiken om van een draaiende beweging een rechte (lineaire) beweging te maken.



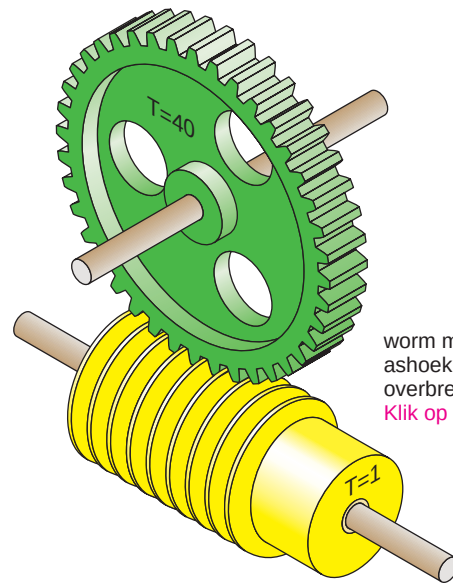
conische 45°- 45° tandwielen
ashoek 90°, overbrenging 1:1

[Klik op de afbeelding voor een filmpje](#)



conische 26,5°- 63,5° tandwielen
ashoek 90°, overbrenging 2:1

[Klik op de afbeelding voor een filmpje](#)



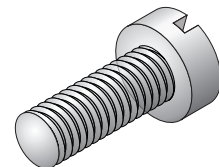
worm met cilindrisch tandwiel,
ashoek 90°, kruisende assen,
overbrenging 40:1

[Klik op de afbeelding voor een filmpje](#)

Wormwiel

Een wormwiel is eigenlijk een soort schroef; je zou kunnen zeggen dat het een erg schuin vertand tandwiel is met maar één tand, die als een spiraal om de as is gewonden. Omdat een wormwiel maar één tand heeft, wordt de overbrengingsverhouding erg groot, in het plaatje 40:1.

Een wormwiel blokkeert als het als volgwiel wordt gebruikt. Je kunt dus met een wormwiel wel vertragen, maar niet versnellen!



Eigenlijk is
schroefdraad ook
een soort wormwiel!

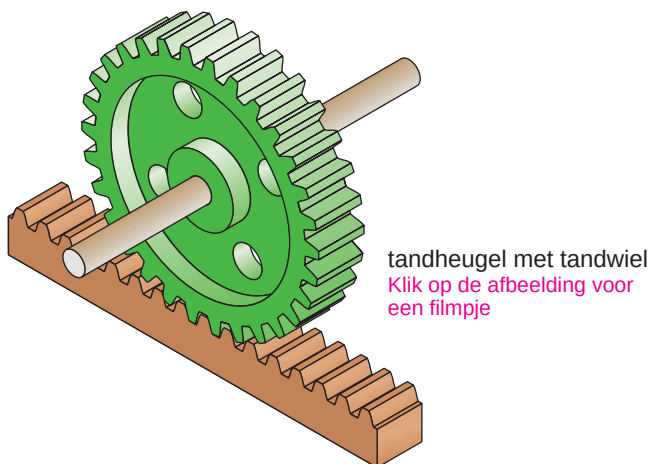
Kegeltandwiel

Conische- of kegeltandwielen worden gebruikt om een ashoek van (meestal) 90° graden te maken. Een veel voorkomende toepassing vind je in auto's, waar het in combinatie met een differentieel gebruikt wordt.

zie: **Differentieel**

Naast een rechte vertanding voor langzaam draaiende toepassingen, worden ook schuine vertandingen gebruikt bij hoge snelheden.

Kijk ook eens op: **Howstuffworks**



Tandheugel

Een tandheugel is geen tandwiel, maar een staaf met tandjes. Je kunt er een ronddraaiende beweging mee omzetten in een rechte of *lineaire* (dat betekent hetzelfde) beweging. Soms wordt ook wel een rondstaf als tandheugel gebruikt, kijk maar eens naar de kurkentrekker hieronder.

Een gereedschap dat met dezelfde overbrenging werkt, maar met nog een extra vertragsmechanisme, is de dommekracht. Het is een soort krik, die lasten kan opduwen tot soms wel 15 ton!

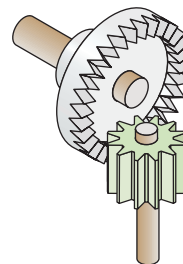


Spoorwegen

Op steile trajecten in de Alpen zijn soms spoorlijntjes aangelegd met een tandheugel als middenrails.



Tandheugelspoor bij Schneeberg - Oostenrijk



Kroonwiel met rondsel

Zie je de overeenkomst met het bovenwiel in een windmolen?

[Kijk op blz. 1](#)

Kroonwiel

Het **kroonwiel** is een tandwiel waarvan de tanden niet radiaal (dwars op de as, als een ster) maar axiaal (in dezelfde richting als de as, als een kroontje) staan. Daardoor kun je er met een rondsel een ashoek van 90° mee maken, net als met een conisch tandwiel.

Het probleem met een kroonwiel is, dat de tandjes naar het midden toe steeds kleiner moeten worden, terwijl het rondsel overal dezelfde maat blijft houden.

Daarom kunnen de kroonwieltandjes maar héél smal zijn, en zijn daarom niet zo geschikt voor zwaar werk.

Een Nederlandse firma heeft hiervoor een nieuw soort tandwiel ontwikkeld.

Klik op het plaatje voor meer info.



Het ringwiel

Het laatste bijzondere tandwiel is het **ringwiel**.

Je zult het niet vinden in de set tandwielen die je op school kunt gebruiken, te bijzonder!

Een ringwiel is een ring met de tandwieltandjes aan de binnenkant.

Je vindt het bijvoorbeeld in een grasmaaier, waar een klein rondsel binnenin het ringwiel zorgt voor de aandrijving van de messen. Een tweede voorbeeld vond ik in een elektrische puntenslijper.



Ringwielaandrijving in een grasmaaier



Elektrische puntenslijper met ringwielaandrijving.

Automatische versnelling

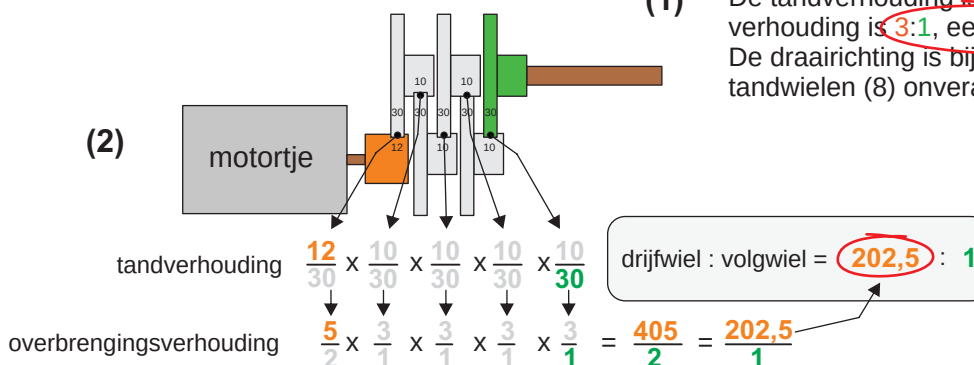
Veel vaker wordt het ringwiel toegepast in vertragsbakken, zoals de versnellingsnaaf van een fiets en de automatische versnelling van een auto.

Zie hiervoor:

Planeetwiel

Antwoorden

- (1) De tandverhouding is **1:3**, dus de overbrengingsverhouding is **3:1**, een vertraging. De draairichting is bij een even aantal tussentandwielen (8) onveranderd, dus **tegengesteld**.



- (3) $\frac{12 + 30}{2} \times 0,5 = 21 \times 0,5 = \mathbf{10,5 \text{ mm.}}$