

Aandrijving

Theorie

Autotechniek niveau 2-3

MK Publishing
Fokkerstraat 39, 3905 KV Veenendaal
Telefoon (0318) 52 42 92
e-mail info@mkpublishing.nl
www.mkpublishing.nl



Delta Press is een merknaam van MK Publishing

Eerste druk: 2015
© MK Publishing, Veenendaal
ISBN 978-94-6271-318-5



Dit werk, en al zijn delen inbegrepen, is auteursrechtelijk beschermd.
Ieder gebruik buiten de beperkte mogelijkheden die de auteurswet toelaat, is zonder de toestemming van de uitgever ontoelaatbaar, illegaal en dus strafbaar.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of op enige andere manier, zonder voorgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior permission from the publisher.

Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16B Auteurswet 1912^j het Besluit van 20 juni 1974, St.b. 351, zoals gewijzigd bij Besluit van 23 augustus 1958, St.b. 471 en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprerecht (Postbus 3051, 2130 KB Hoofddorp). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) dient men zich tot de uitgever te wenden.

Opmaak: RGA 2000

Inhoud

1	Versnellingsbak en eindaandrijving	5
1.1	Inleiding	5
1.2	Opbouw van de versnellingsbak	5
1.3	Eindaandrijving	10
1.4	Smering	14
2	De aandrijflijn	17
2.1	Inleiding	17
2.2	Versnellingsbakken met enkele overbrenging	18
2.3	Versnellingsbakken met dubbele overbrenging	20
2.4	Olie voor handgeschakelde versnellingsbakken	21
2.5	Sliding mesh en constant mesh	23
2.6	Synchromesh	24
2.7	Vergrendelinrichting en blokkeerinrichting	26
3	Overbrengingsverhouding en draaimoment	29
3.1	Inleiding	29
3.2	Overbrengingsverhouding	29
3.3	Draaimoment	31
3.4	Omtreksnelheid	36
3.5	Reeksen in versnellingsbakken	37
4	Transmissiesystemen	43
4.1	Automatische transmissies	43
4.2	Planetaire tandwielstelsels	44
4.3	Overbrengingsverhouding planetaire stelsels	46
4.4	Vloeistofkoppeling en koppelomvormer	52
4.5	Automatische versnellingsbak met planetaire tandwielstelsels	58
4.6	De vijftrapsautomaat (01V) van VW/Audi	62
4.7	Continu variabele transmissie (CVT)	70
4.8	Direct aangestuurde versnellingsbak	73
4.9	Differentieel-sperinrichtingen	77
	Register	83

1 Versnellingsbak en eindaandrijving

1.1 Inleiding

Bij het wegrijden is een veel grotere aandrijfkraft nodig dan bij het op gang houden van de auto. Dit merk je als je een auto moet duwen:

- Om de auto in beweging te brengen, is een flinke inspanning nodig.
- Als de auto eenmaal rolt, is er minder inspanning nodig.

De versnellingsbak zorgt ervoor dat de aandrijfkraft die de motor levert wordt aangepast aan de aandrijfkraft die nodig is.

Andere taken van de versnellingsbak zijn:

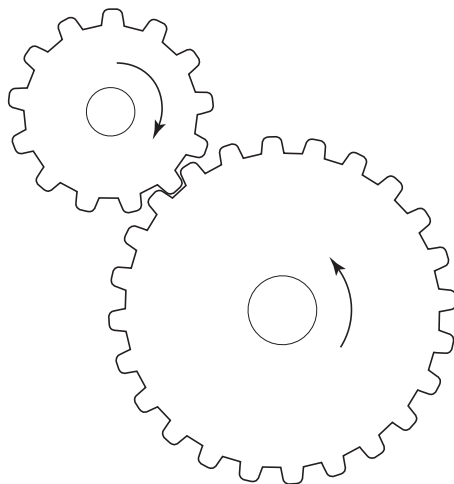
- achteruitrijden mogelijk maken (achteruitversnelling);
- de aandrijflijn onderbreken (vrijstand).

In de eindaandrijving zijn twee functiegroepen ondergebracht:

- De eindreductie, bestaande uit kroonwiel en pignon.
Taak: de aandrijfkraft van de uitgaande as van de versnellingsbak vergroten.
- Het differentieel, bestaande uit differentieelhuis, planeetwielen en zonnewielen.
Taak: toerentalverschillen tussen de aangedreven wielen mogelijk maken (dit is nodig bij het nemen van bochten).

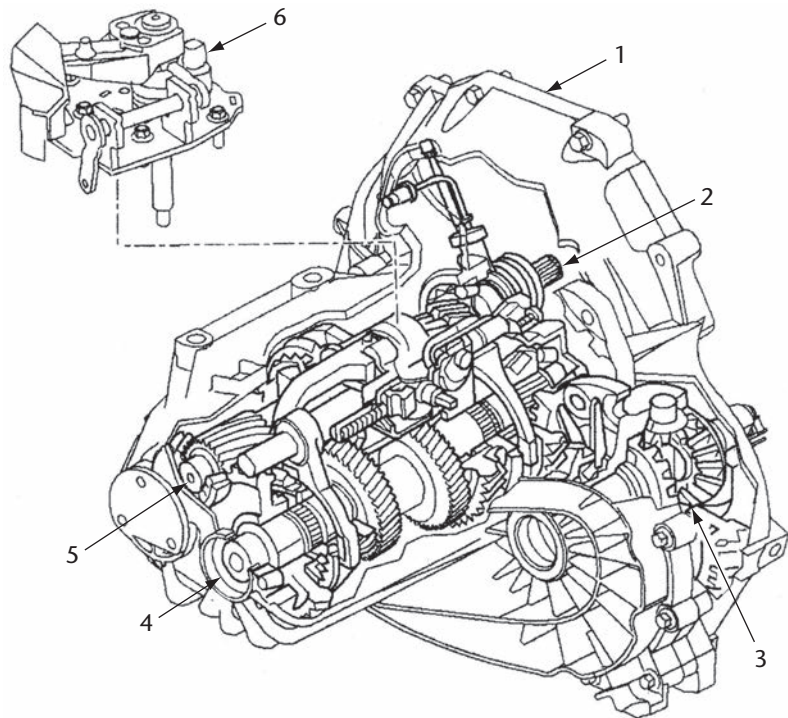
1.2 Opbouw van de versnellingsbak

Het veranderen van de overbrengingen gebeurt met tandwielen (afb. 1.1). Door telkens de energiestroom via andere tandwielen over te brengen, verandert de overbrengverhouding.



Afb. 1.1
Tandwieloverbrenging

De versnellingsbak in afbeelding 1.2 wordt toegepast in voorwiel-aangedreven auto's. De versnellingsbak en de eindaandrijving zijn samengevoegd.



Afb. 1.2

Versnellingsbak met enkele overbrenging

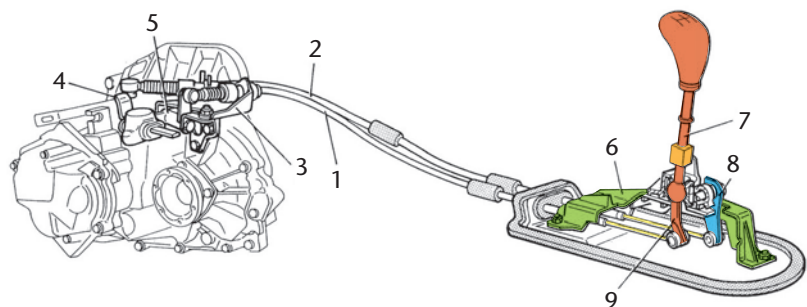
- 1 versnellingsbakhuis
- 2 ingaande as (primaire as)
- 3 eindaandrijving (eindvertraging en differentieel)
- 4 uitgaande as (secundaire as)
- 5 tussentandwiel achteruitversnelling
- 6 uitwendig schakelmechanisme

Op de ingaande as en de uitgaande as zitten tandwielen. Met behulp van deze tandwielen kunnen verschillende overbrengingen ('versnellingen') worden ingeschakeld.

Afb. 1.3

Versnellingsbak; bediening door kabels

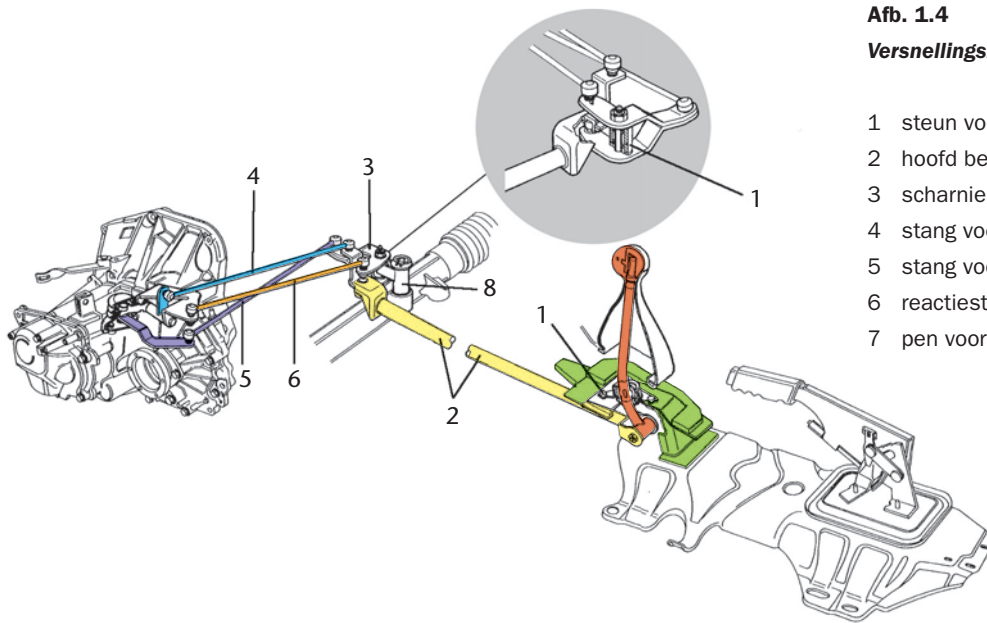
- 1 schakelkabel voor 'inschakelen' versnelling
- 2 schakelkabel voor 'kiezen' versnelling
- 3 steun voor schakelkabels
- 4 hefboom voor 'kiezen' versnelling
- 5 hefboom voor 'inschakelen' versnelling
- 6 steun voor schakelmechanisme
- 7 versnellingspook
- 8 mechanisme voor 'kiezen' versnelling
- 9 mechanisme voor 'inschakelen' versnelling



Bediening

De versnellingsbak wordt bediend met de versnellingshendel ('versnellingspook').

De overbrenging tussen de versnellingspook en de versnellingsbak kan met een kabel of een stangenstelsel (afb. 1.3 en 1.4).



Afb. 1.4

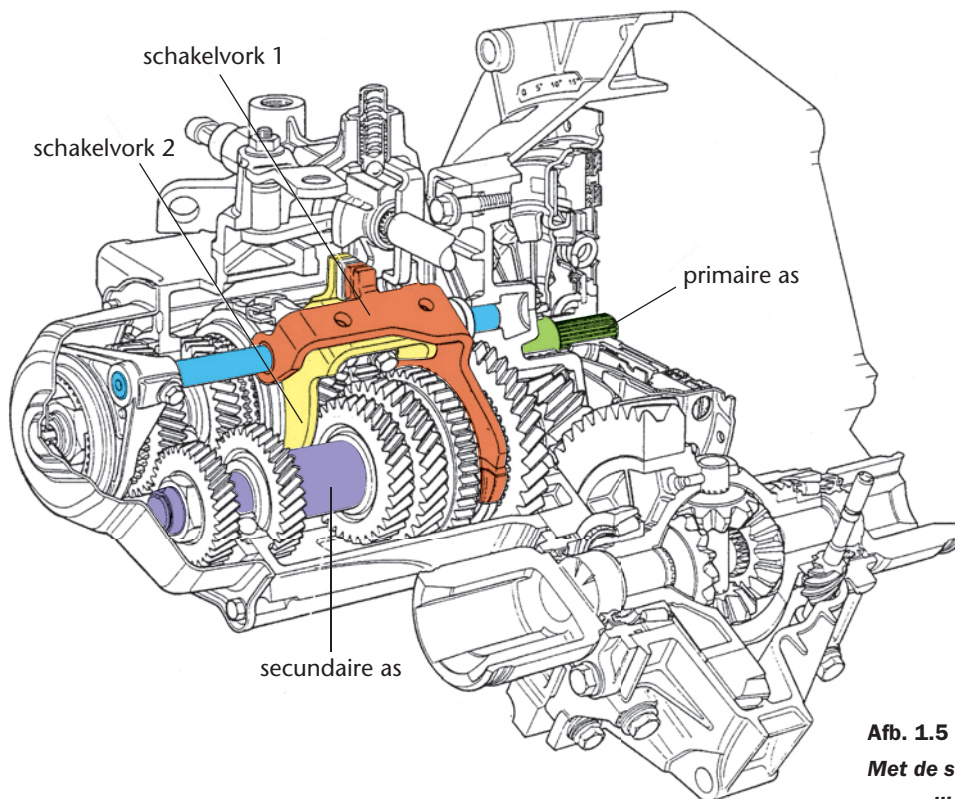
Versnellingsbak; bediening door stangen

- 1 steun voor de versnellingspook
- 2 hoofd bedieningsstang
- 3 scharniersteun voor schakelstangen
- 4 stang voor 'kiezen' versnelling
- 5 stang voor 'inschakelen' versnelling
- 6 reactiestang
- 7 pen voor scharniersteun (3)

Een overbrenging inschakelen

Het stangenstelsel of de kabels bedienen het schakelmechanisme op de versnellingsbak (6 in afb. 1.2).

Het schakelmechanisme bedient de schakelvorken in de versnellingsbak (afb. 1.5). Met de schakelvorken wordt een bepaalde versnelling ingeschakeld.



Afb. 1.5

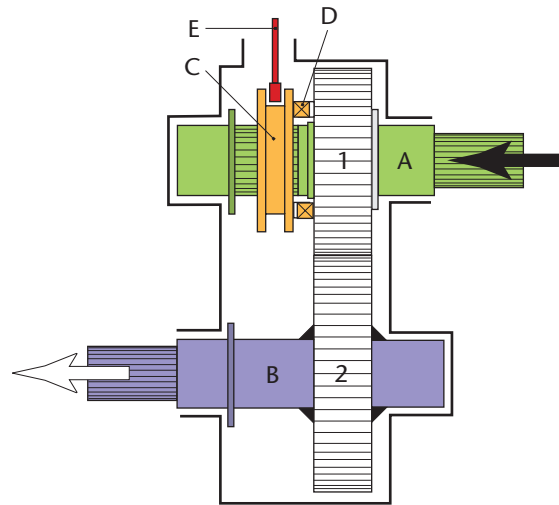
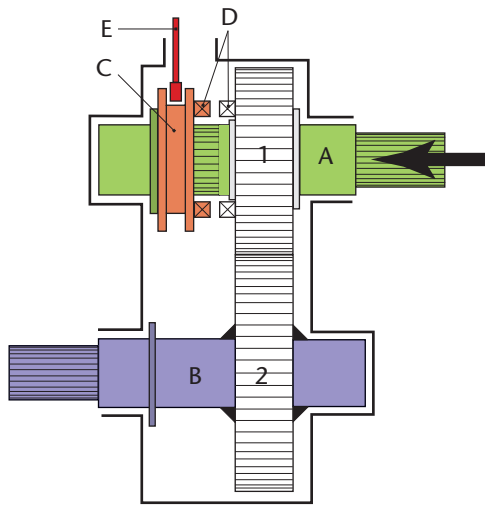
Met de schakelvorken wordt een bepaalde versnelling ingeschakeld

In afbeelding 1.6 is te zien hoe dit in zijn werk gaat:

- Tandwiel 1 kan vrij om as A draaien.
- De nokken D zijn niet in elkaar geschoven.
- Tandwiel 1 is daardoor niet verbonden met as A en draait dus niet mee met as A.
- Tandwiel 2 is vast met as B verbonden. In de getekende stand is hierdoor geen overbrenging mogelijk van as A naar as B.

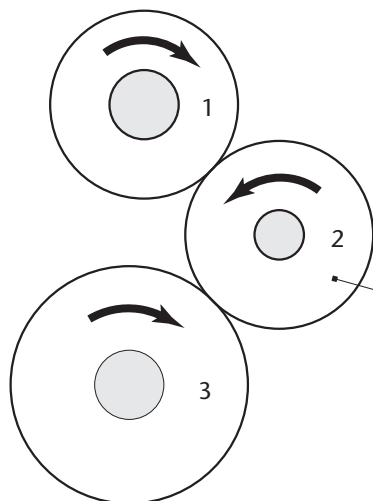
In afbeelding 1.7 is de schakelmof C door schakelvork E naar rechts geschoven waardoor de nokken D in elkaar vallen:

- Tandwiel 1 kan nu niet meer draaien ten opzichte van as A.
- As A kan as B in deze stand aandrijven.

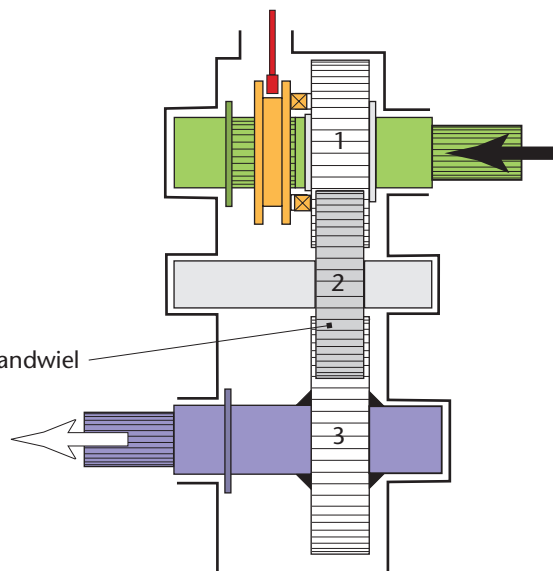


Afb. 1.6
Tandwiel 1 draait vrij rond as A

Afb. 1.7
Tandwiel 1 verbonden met as A



tussentandwiel



Afb. 1.8
Omkeren van de draairichting met een tussentandwiel

Achteruitversnelling

Om achteruit te kunnen rijden moet de draairichting van de wielen omkeren. Bij de versnellingsbak gebeurt dit door een extra tandwiel in te schakelen, een zogenaamd tussentandwiel. In afbeelding 1.8 is dit te zien.

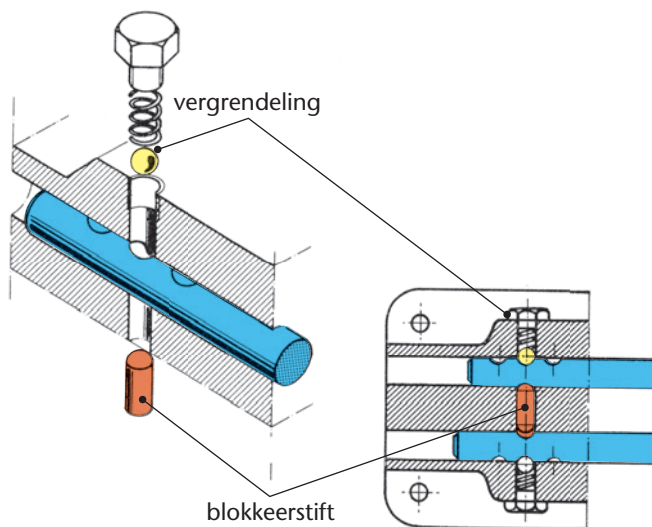
Als tandwiel 1 rechtsom draait, draait tandwiel 2 linksom. Dus tegengesteld. Tandwiel 3 draait vervolgens weer rechtsom.

Blokkeer- en vergrendelinrichting

Handbediende versnellingsbakken zijn uitgevoerd met een blokkeerinrichting en een vergrendelinrichting.

Blokkeerinrichting

De blokkeerinrichting voorkomt dat twee versnellingen tegelijk worden ingeschakeld (afb. 1.9). De blokkeerstift laat zoveel ruimte dat slechts een van de assen kan worden verschoven.



Afb. 1.9

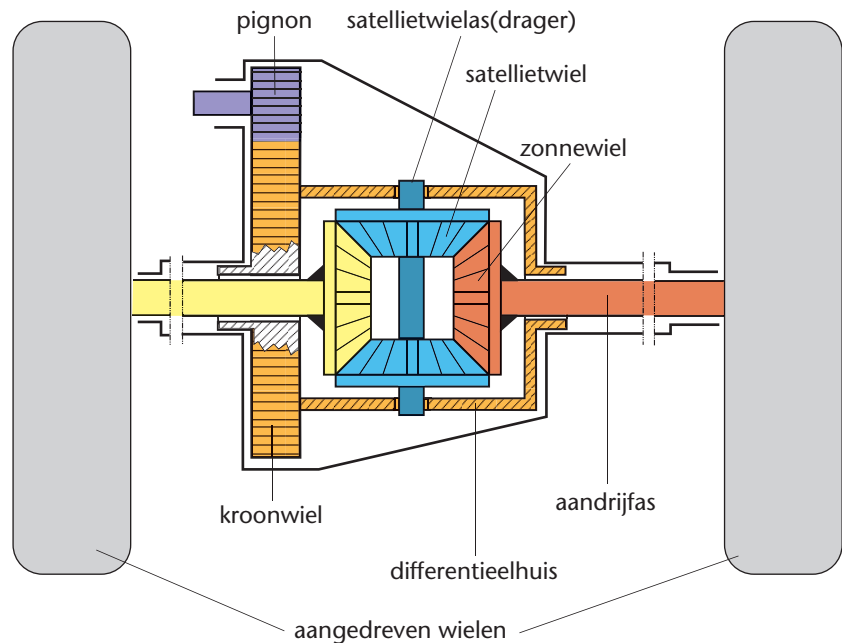
Blokkeer- en vergrendelinrichting

Vergrendelinrichting

Door trillingen kunnen de schakelvorken onder het rijden gemakkelijk verschuiven, waardoor de auto uit de versnelling gaat. De vergrendelinrichting moet dit voorkomen (afb. 1.9). De veerbelaste kogel houdt de as op de plaats.

1.3 Eind aandrijving

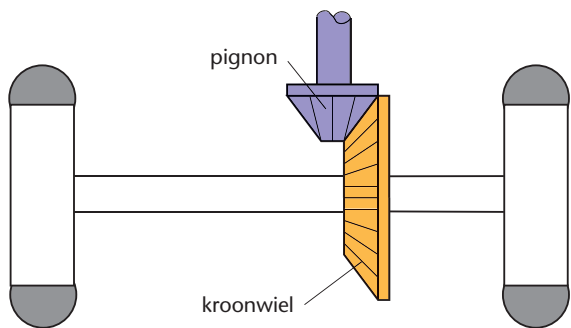
De eind aandrijving (afb. 1.10) bestaat uit de eindvertraging en het differentieel.



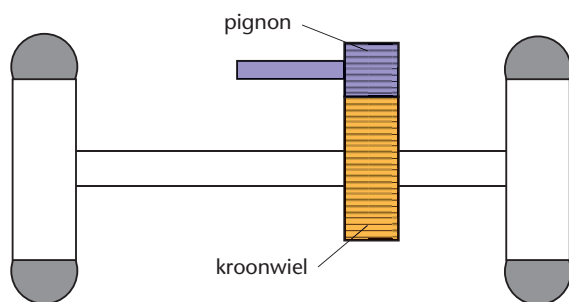
Afb. 1.10
Eind aandrijving

Eindvertraging

De eindvertraging is er met of zonder een haakse overbrenging (zie afb. 1.11 en 1.12).



Afb. 1.11
Eindvertraging met haakse overbrenging



Afb. 1.12
Eindvertraging zonder haakse overbrenging

De pignon wordt aangedreven door de uitgaande as van de versnellingsbak. Het kroonwiel is verbonden met de assen die naar de wielen gaan.

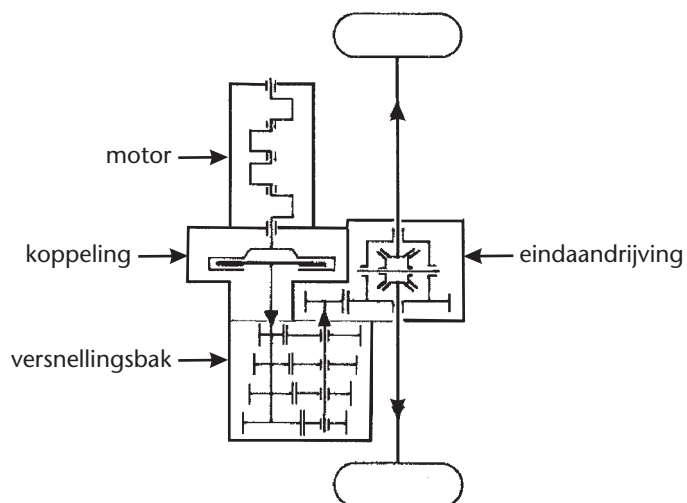
De pignon en het kroonwiel zorgen voor een vertraging na de versnellingsbak. Deze vertraging levert een vergroting van het draaimoment en daarmee ook van de aandrijfkraft tussen band en wegdek.

Bij een eindvertraging zonder haakse overbrenging worden 'rechte tandwielen' toegepast.

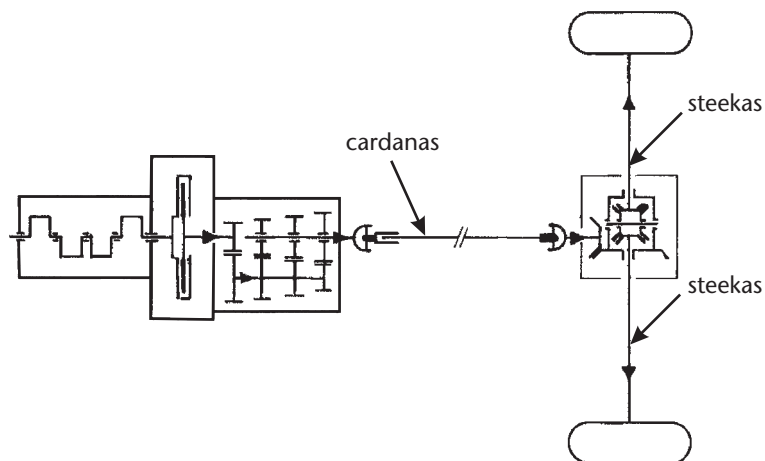
Een haakse overbrenging wordt verkregen door het toepassen van kegeltandwielen.

Een eindvertraging zonder haakse overbrenging wordt toegepast bij een in dwarsrichting geplaatste motor (afb. 1.13).

Een haakse overbrenging wordt toegepast als de motor in langsrichting is geplaatst (afb. 1.14).



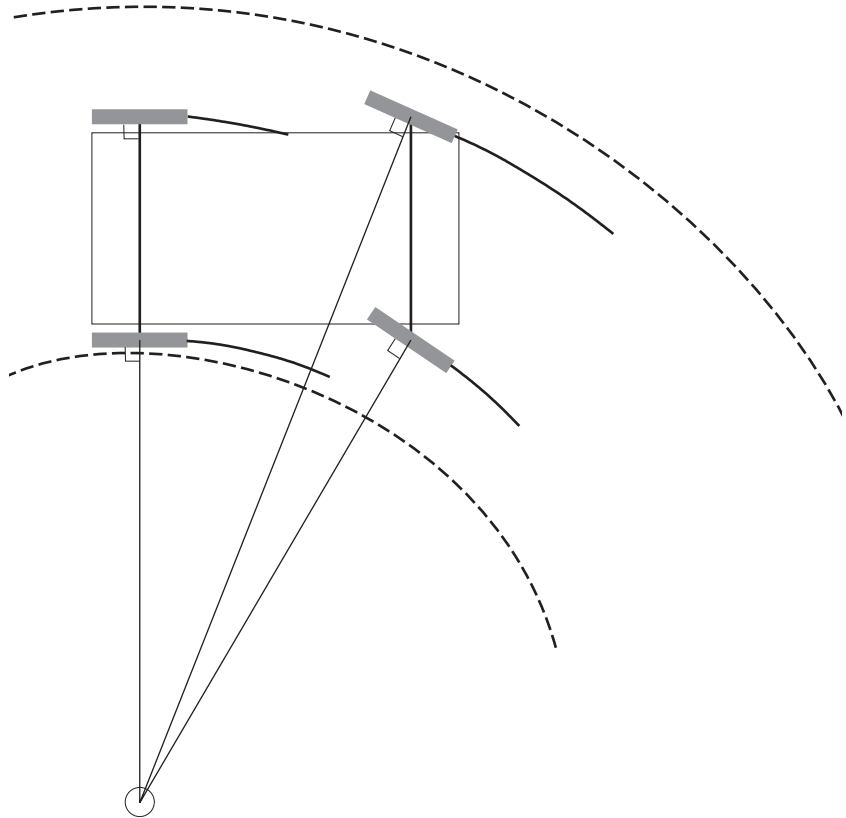
Afb. 1.13
Motor in dwarsrichting en voorwiel-aandrijving



Afb. 1.14
Motor in langsrichting en achterwiel-aandrijving

Differentieel

In afbeelding 1.15 is aangegeven hoe een auto door een bocht rijdt.

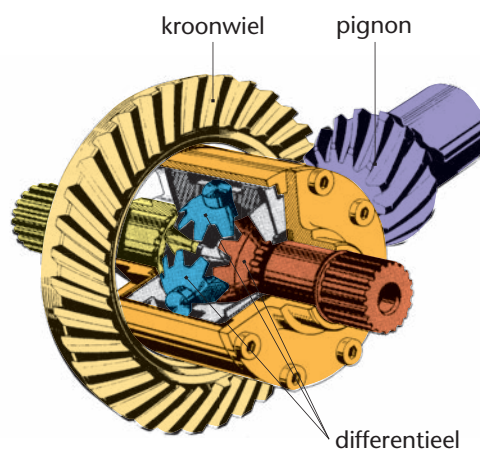


Afb. 1.15

In een bocht doorlopen alle wielen een andere cirkel

Elk van de vier wielen doorloopt een draaicirkel met een andere straal. Dit betekent dat de rotatiefrequentie (het toerental) van elk wiel anders moet zijn. Voor de niet aangedreven wielen is dit geen probleem. Die kunnen vrij draaien. De aangedreven wielen zijn echter verbonden met de aandrijflijn en de motor. Het differentieel maakt het mogelijk dat de aangedreven wielen met onderling verschillende toerentallen kunnen draaien.

In afbeelding 1.16 kun je zien hoe pignon, kroonwiel en differentieel zijn samengebouwd.

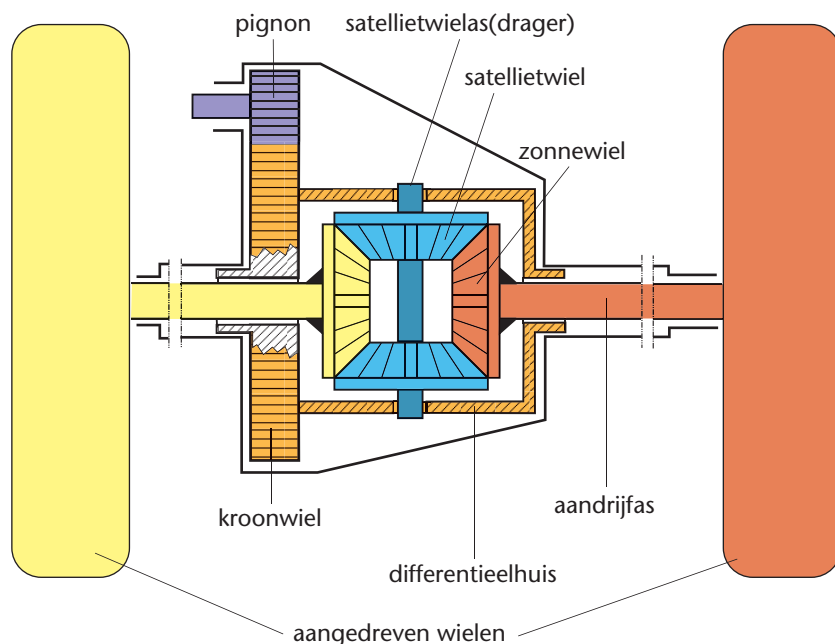


Afb. 1.16

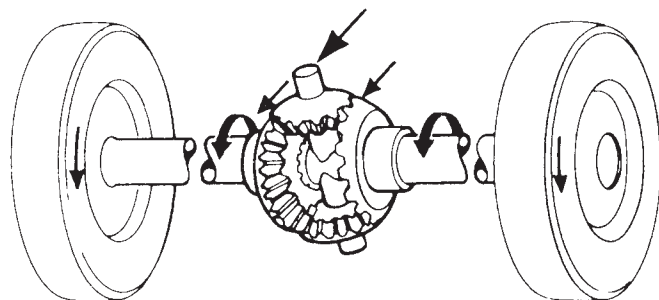
Eindaandrijving

Het differentieel bestaat in principe uit vier kleine kegeltandwielen. De grootste heten zonnewielen. Deze zijn via assen verbonden met de aangedreven wielen. De kleinste heten satellietwielen. Deze vormen de verbinding tussen de zonnewielen. Satellietwielen zijn gemonteerd op een kort asje of drager.

De satellietwielen zijn via de drager en het differentieelhuis verbonden met het kroonwiel (afb. 1.17). Ze draaien samen met het differentieelhuis met het kroonwiel mee. De satellietwielen zorgen voor de krachtoverbrenging tussen het kroonwiel en de zonnewielen.



Afb. 1.17
Schema van de eindaandrijving



Afb. 1.18
Principe differentieel

Bij het rechtuit rijden draaien de satellietwielen niet rond hun as. Het toerental van de beide zonnewielen is dan gelijk (afb. 1.18).

Bij het nemen van bochten draaien de satellietwielen rondom hun as. Het ene zonnewiel gaat daardoor sneller draaien, en het andere langzamer. Het toerental van de beide aangedreven wielen is dan verschillend.

Als het ene wiel bijvoorbeeld twee omwentelingen per seconde minder maakt, dan zal het andere wiel er twee meer maken per seconde.

1.4 Smering

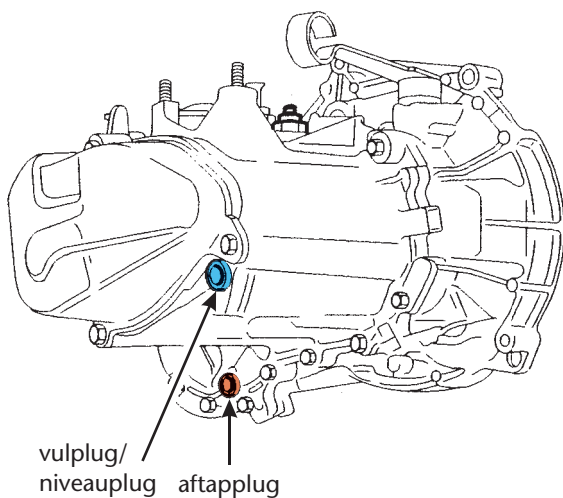
Bij personenauto's zijn de versnellingsbak en de eindaandrijving bijna altijd 'voor het leven' gevuld met olie. De volgende onderhoudswerkzaamheden zijn belangrijk:

- Controle op lekkage: olie lekkage kan optreden langs pakkingen en oliekeringen (aandrijfassen, schakel-assen).
- Controle van het olieniveau volgens voorschrift.

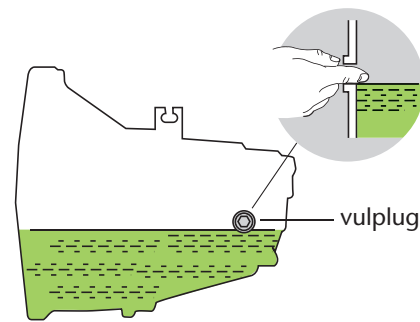
Olie aftappen en opnieuw vullen is nodig als de versnellingsbak of eindaandrijving uitgebouwd of gedemonteerd moet worden.

Olieniveau

Voor het controleren van het oliepeil en het aftappen van de olie zijn vul- en aftappluggen aangebracht (afb. 1.19 en 1.20).



Afb. 1.19
Aftapplug en vulplug van de versnellingsbak



Afb. 1.20
Bijvullen tot de onderrand van de vulopening

Gebruik de juiste olie

Oliën voor de versnellingsbak en de eindaandrijving worden transmissie-oliën genoemd. Gebruik de door de fabrikant voorgeschreven oliesoort (werkplaatsdocumentatie). Let op de juiste dikte en kwaliteit (specificaties).

Om transmissie-oliën duidelijk te onderscheiden van motoroliën zijn de aanduidingen op de verpakking verschillend.

De gebruikte SAE-getallen voor transmissie-oliën zijn hoger. Dit betekent niet dat transmissie-oliën een hogere viscositeit hebben en dus dikker zijn. De hogere getallen dienen er alleen voor om vergissingen te voorkomen.

API-classificatie van transmissie-oliën

Het **American Petroleum Institute** (API) heeft een classificatie opgesteld voor transmissie-oliën. De codering bestaat uit de letters GL (**G**ear **L**ubricant = tandwielsmeermiddel), gevolgd door een cijfer. Het cijfer geeft het toepassingsgebied aan en de eisen waaraan de olie voldoet.

Voor motorvoertuigen zijn de klassen GL-4 en GL-5 het belangrijkste.

Aan transmissie-oliën worden EP-dopes toegevoegd.

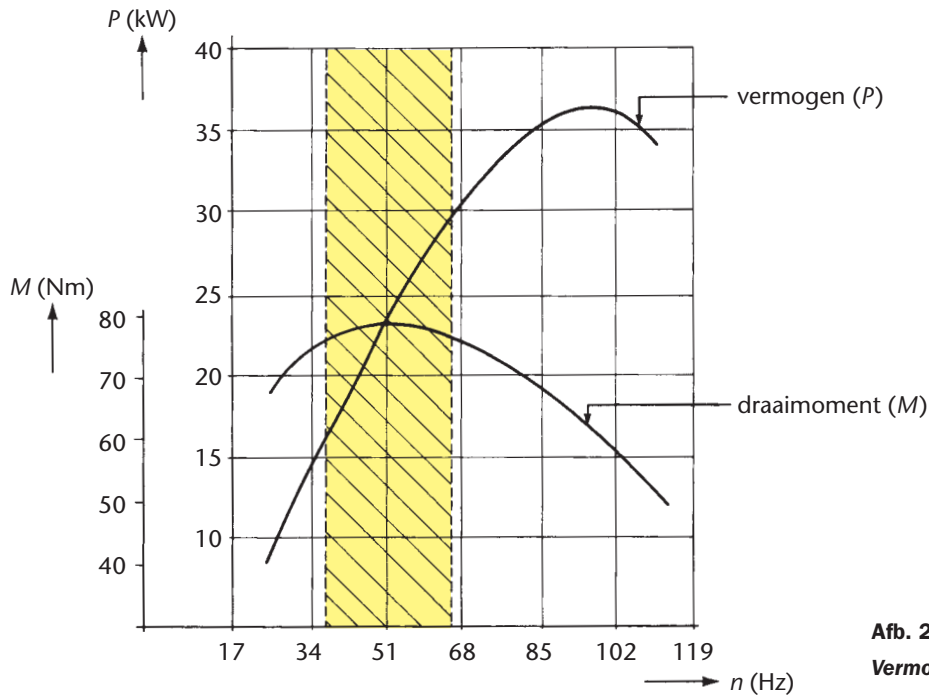
EP is de afkorting van **E**xtrême **P**ressure (= zeer hoge druk).

EP-dopes maken de olie bestand tegen de hoge drukken die tussen de tanden van de tandwielen in een versnellingsbak ontstaan.

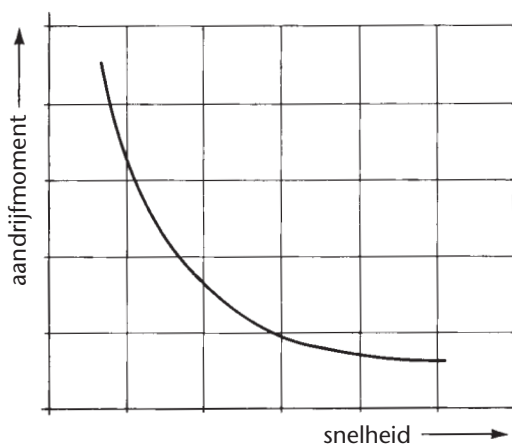
2 De aandrijflijn

2.1 Inleiding

In afbeelding 2.1 zie je een diagram dat het verloop weergeeft van het door de motor afgegeven vermogen en draaimoment. Je ziet dat het vermogen en draaimoment sterk afhankelijk zijn van de rotatiefrequentie van de motor.



Afb. 2.1
Vermogen en draaimoment als functie van de rotatiefrequentie



Afb. 2.2
Gewenst verloop van het aandrijfmoment als functie van de voertuigsnelheid

In afbeelding 2.2 is het benodigde aandrijfmoment gegeven tijdens het versnellen van een auto.

In deze afbeelding kun je aflezen dat er bij het wegrijden een groot draaimoment nodig is. Bij het toenemen van de snelheid neemt het benodigde draaimoment af.

Als je de afbeeldingen 2.1 en 2.2 met elkaar vergelijkt, zie je dat het draaimoment van de motor anders verloopt dan het benodigde aandrijfmoment. Het is daarom nodig dat het door de motor

geleverde draaimoment wordt 'aangepast' aan het benodigde aandrijfmoment. Om een acceptabele toename van de snelheid te krijgen, moet de rotatiefrequentie van de motor zodanig zijn dat er voldoende draaimoment wordt afgegeven. De rotatiefrequentie moet daarvoor in het gearceerde gebied van afbeelding 2.1 blijven. Dit wordt bereikt met behulp van de versnellingsbak.

De belangrijkste functie van de versnellingsbak is ervoor te zorgen dat het draaimoment van de motor wordt aangepast aan het benodigde aandrijfmoment. Dit vindt met behulp van tandwieloverbrengingen plaats.

Daarnaast moet de versnellingsbak zorgen voor een 'vrijstand'. In de vrijstand is de verbinding tussen de motor en de aangedreven wielen verbroken. Dit is bijvoorbeeld nodig als er aan de draaiende motor wordt gewerkt.

Verder moet de versnellingsbak het mogelijk maken dat met de auto zowel vooruit als achteruit kan worden gereden.

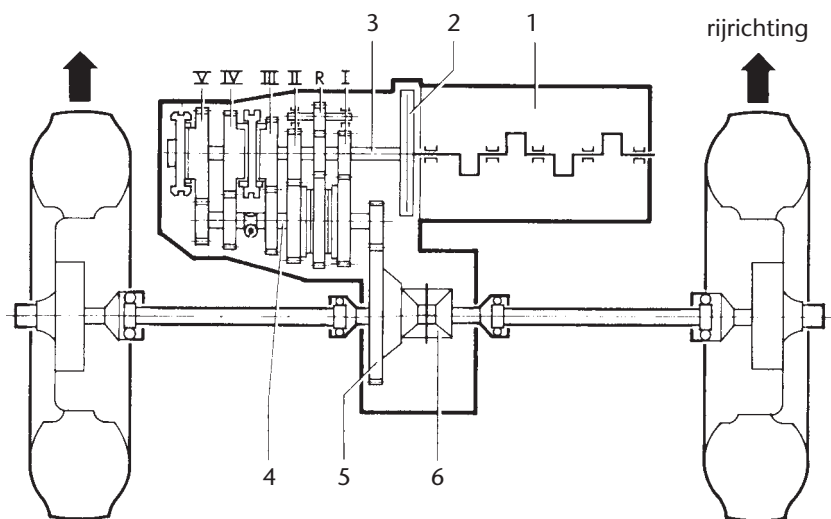
Samengevat zijn de functies van de versnellingsbak:

- draaimoment van de motor aanpassen aan het benodigde aandrijfmoment;
- zorgen voor vrijstand;
- mogelijk maken dat zowel vooruit als achteruit gereden kan worden.

De versnellingsbak is altijd tussen de koppeling en de eindaandrijving gemonteerd.

2.2 Versnellingsbakken met enkele overbrenging

Versnellingsbakken met enkele overbrenging kom je meestal tegen bij auto's met de motor in dwarsrichting voorin en voorwielaandrijving. Afbeelding 2.3 biedt een schematische tekening van een versnellingsbak met enkele overbrenging.



Afb. 2.3

Versnellingsbak met enkele overbrenging

- 1 motor
- 2 koppeling
- 3 primaire as
- 4 hoofdas
- 5 eindaandrijving
- 6 differentieel

De motor (1) drijft via de koppeling (2) de primaire as (3) aan. Tussen de primaire as en de hoofdas (4) zit steeds een tandwielpaar. Het gaat hier om een versnellingsbak met vijf versnellingen vooruit. De versnellingen worden aangegeven met de Romeinse cijfers I tot en met V.

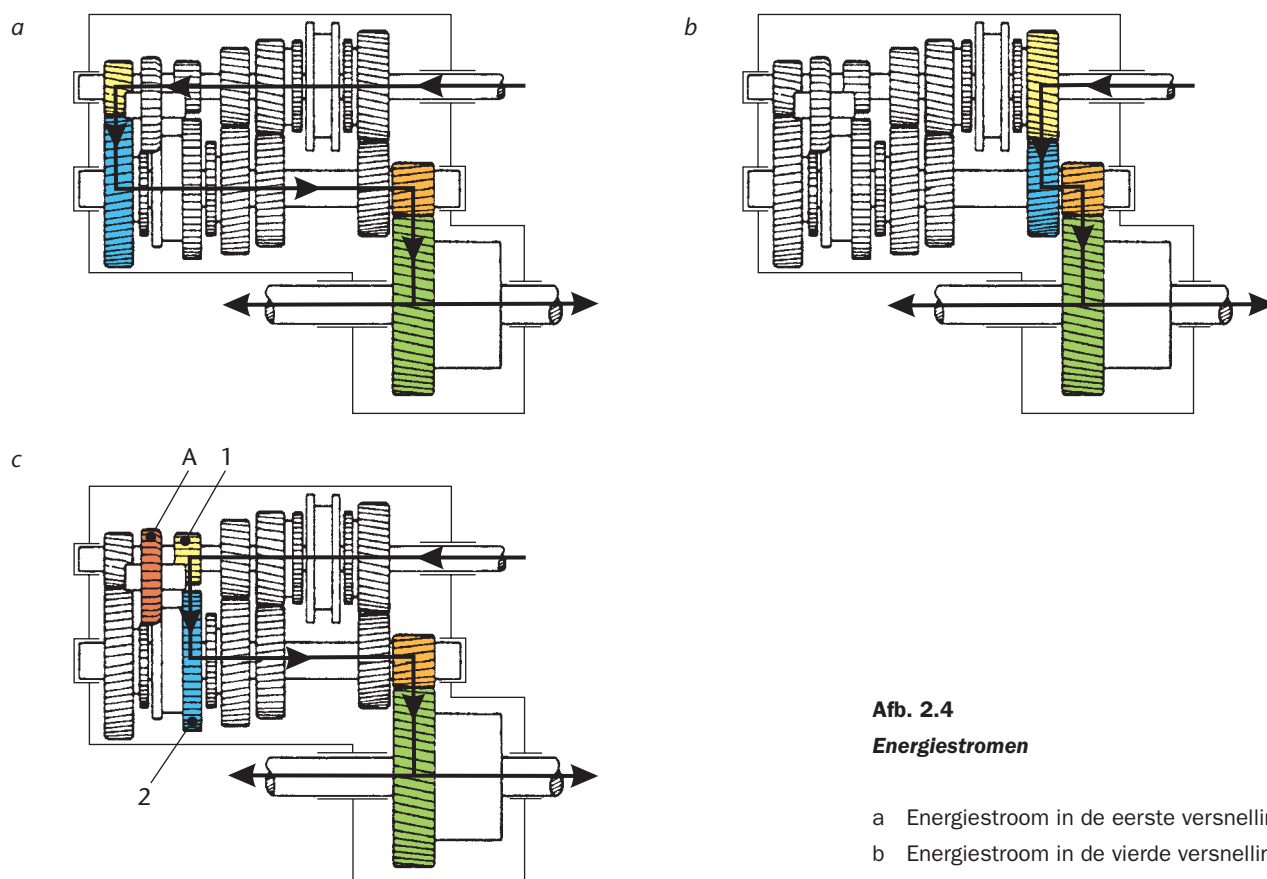
De letter R geeft het extra tandwiel aan dat nodig is voor de achteruit. Het tandwielpaar 5 vormt de eindaandrijving bestaande uit de pignon en het kroonwiel, terwijl het differentieel met het cijfer 6 wordt aangegeven.

Afbeelding 2.4 laat zien hoe de energiestroom door de versnellingsbak gaat in de eerste, vierde en achteruitversnelling.

In de eerste versnelling (afb. 2.4a) wordt het blauwe tandwiel ingeschakeld door de schakelmof naar links te bewegen. Het blauwe tandwiel wordt dan met de hoofdas verbonden. Het (kleine) gele tandwiel zit vast op de primaire as zodat de energiestroom volgens de pijlrichting overgebracht kan worden.

In de vierde versnelling (afb. 2.4b) wordt het gele tandwiel ingeschakeld door de schakelmof naar rechts te schuiven. Het gele tandwiel wordt dan met de primaire as verbonden. Het kleinere blauwe tandwiel zit vast op de hoofdas zodat de energiestroom volgens de pijlrichting overgebracht wordt.

Als de achteruitversnelling is ingeschakeld (afb. 2.4c), is het tandwiel A naar rechts verschoven. De overbrenging gaat dan van tandwiel 1, via tandwiel A naar tandwiel 2. Tandwiel 1 zit vast op de primaire as en tandwiel 2 zit vast op de hoofdas. Door het inschakelen van het 'extra' tandwiel (A) keert de draairichting van de hoofdas om.

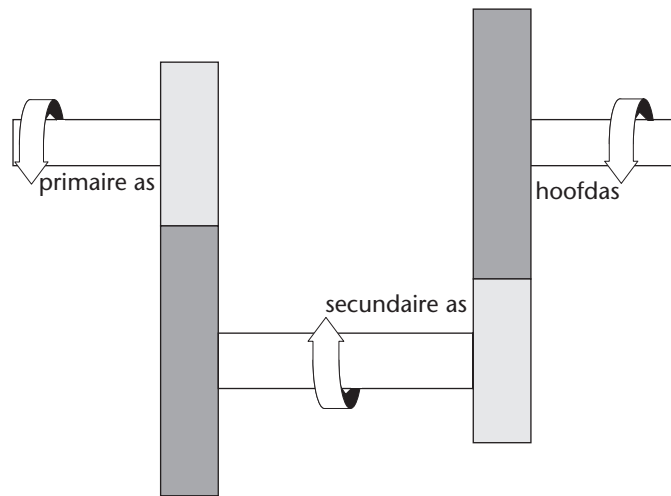


Afb. 2.4
Energiestromen

- a Energiestroom in de eerste versnelling
- b Energiestroom in de vierde versnelling
- c Energiestroom in de achteruitversnelling

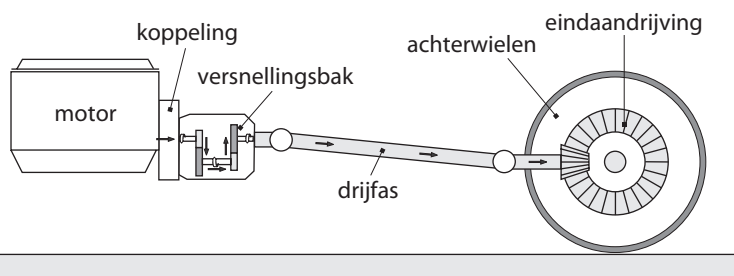
2.3 Versnellingsbakken met dubbele overbrenging

Versnellingsbakken met dubbele overbrenging vind je vooral bij auto's met de motor voorin en achterwielaandrijving. In afbeelding 2.5 kun je zien wat met een dubbele overbrenging wordt bedoeld.

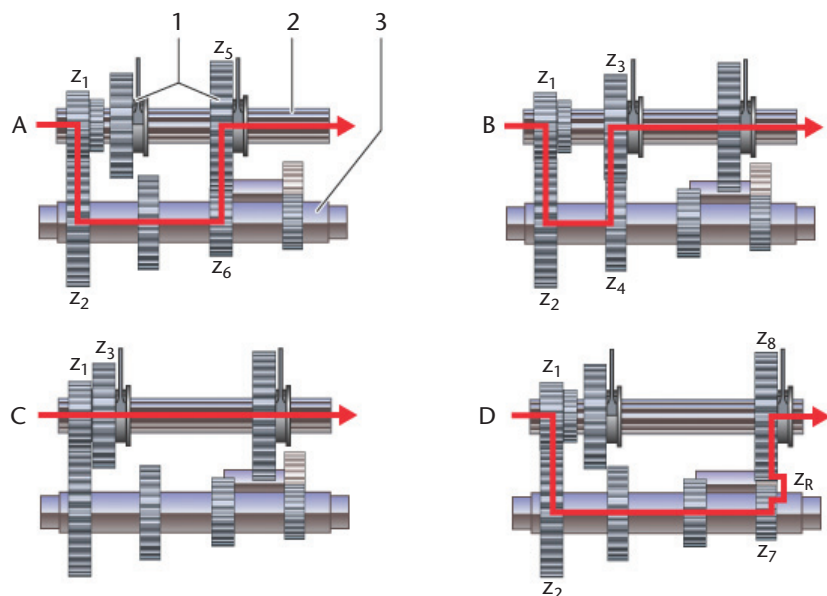


Afb. 2.5
Dubbele overbrenging

De motor drijft de primaire as via de koppeling aan. Tussen de primaire as en de hoofdas zien we de secundaire as. Er is steeds sprake van twee stellen tandwielen die samenwerken. Afbeelding 2.6 geeft het krachtverloop weer bij deze constructie.



Afb. 2.6
Dubbele overbrenging bij achterwiel-aandrijving



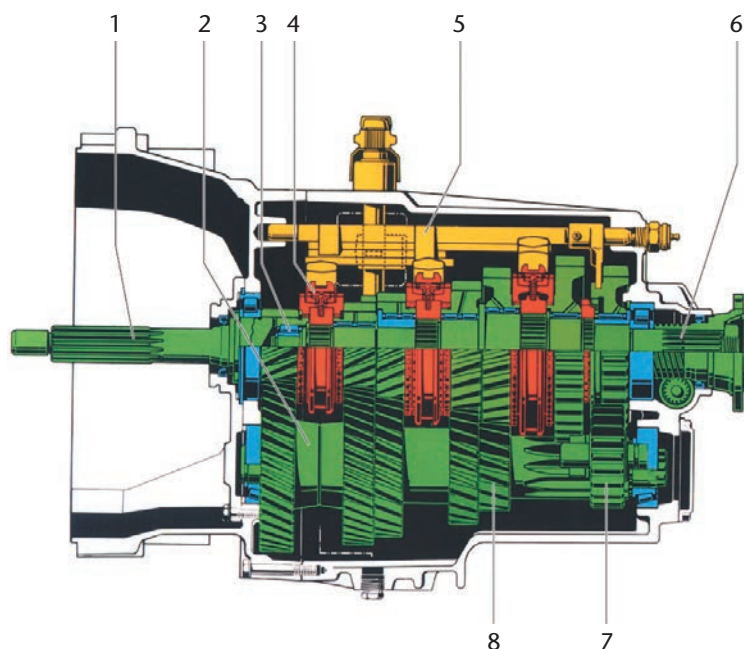
Afb. 2.7
Energiestromen bij een dubbele overbrenging

- A 1^e versnelling
- B 2^e versnelling
- C 3^e versnelling
- D achteruitversnelling
- 1 verschuifbare tandwielen
- 2 hoofdas
- 3 secundaire as

Afbeelding 2.7 toont hoe de energiestroom door de versnellingsbak gaat in de 1^e, 2^e, 3^e en achteruitversnelling.

Je kunt zien dat het 'extra' tandwiel (Z8) naar rechts is geschoven voor het inschakelen van de achteruit.

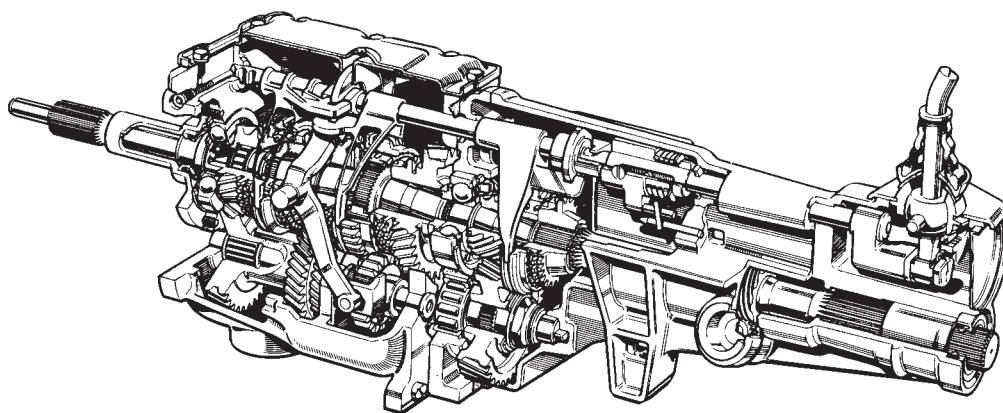
Afbeelding 2.8 is de doorsnede van een versnellingsbak met dubbele overbrenging. Deze bak wordt toegepast bij een vrachtauto.



Afb. 2.8

Doorsnede van een versnellingsbak met dubbele overbrenging

- 1 primaire as
- 2 secundaire as
- 3 lager
- 4 schakelmof
- 5 schakelvork
- 6 hoofdas
- 7 tandwiel met rechte vertanding (achteruit- en 1^e versnelling)
- 8 tandwiel met schuine vertanding (overige versnellingen)



In afbeelding 2.9 kun je zien hoe een versnellingsbak met dubbele overbrenging is opgebouwd. Het betreft hier een uitvoering voor een personenauto.

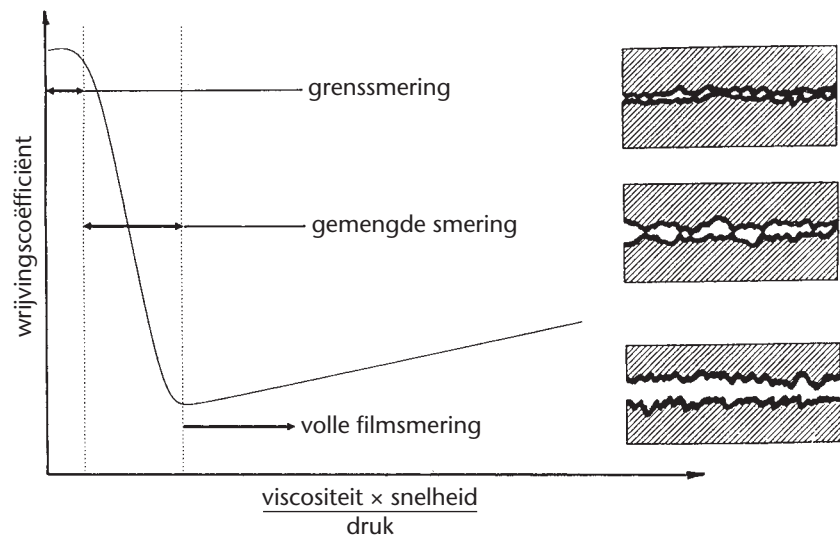
Afb. 2.9

Versnellingsbak met dubbele overbrenging

2.4 Olie voor handgeschakelde versnellingsbakken

Voor het smeren en koelen van versnellingsbakken wordt meestal een andere olie voorgeschreven dan motorolie. In tandwieloverbrengingen, zoals in versnellingsbakken, treden vaak hoge vlaktedrukken op. Hierdoor kan de olie tussen bijvoorbeeld de tandflanken weggedrukt worden. Er treedt dan grenssmering op waardoor grote schade kan ontstaan.

Om dit te voorkomen worden antislijtagedopes aan de olie toegevoegd. Deze dopes zorgen voor een noodsmeerlaagje op de te smeren onderdelen. Oliën met antislijtagedopes hebben in hun kwaliteitskenmerken vaak de letters EP (**E**xtrême **P**ressure) opgenomen.



Afb. 2.10

Verband tussen mate van smering en wrijving

In afbeelding 2.10 is het verband aangegeven tussen de wrijving en de mate van smering. Er zijn drie situaties aangegeven:

- Grenssmering: de oppervlakken raken elkaar op een groot aantal plaatsen.
- Gemengde smering: slechts enkele toppen van de oppervlakken raken elkaar.
- Volledige smering (volle filmsmering): er zit een oliefilm tussen de oppervlakken.

Gestreefd moet worden naar de situatie van volledige smering. Dan is er namelijk sprake van een zo klein mogelijke wrijving en de minste slijtage.

Viscositeitsaanduidingen

De viscositeit of dikvloeibaarheid wordt aangegeven met een SAE-getal. De SAE-waarden voor olie voor handgeschakelde versnellingsbakken lopen van SAE 75 tot en met SAE 250. Bij motorolie lopen de SAE-waarden van SAE 0 tot en met SAE 50. Dit betekent niet dat de olie voor versnellingsbakken altijd een hogere viscositeit heeft, en dus dikker is dan motorolie. De waarden voor versnellingsbakolie vormen een aparte groep ten opzichte van die van motorolie.

Toepassingsaanduidingen

We kunnen olie indelen naar toepassingsgebied. Het **American Petroleum Institute (API)** heeft hiervoor 5 coderingen (specificaties) opgesteld:

- API-GL-1
- API-GL-2
- API-GL-3
- API-GL-4
- API-GL-5

GL staat voor **G**ear **L**ubricant, wat staat voor ‘smeermiddel voor tandwieloverbrengingen’. Deze coderingen hebben te maken met de mate van bestand zijn tegen belasting. Zo is olie met de codering API-GL-1 bedoeld voor versnellingsbakken die niet zwaar belast worden en API-GL-5 voor versnellingsbakken die zeer zwaar belast worden.

2.5 Sliding mesh en constant mesh

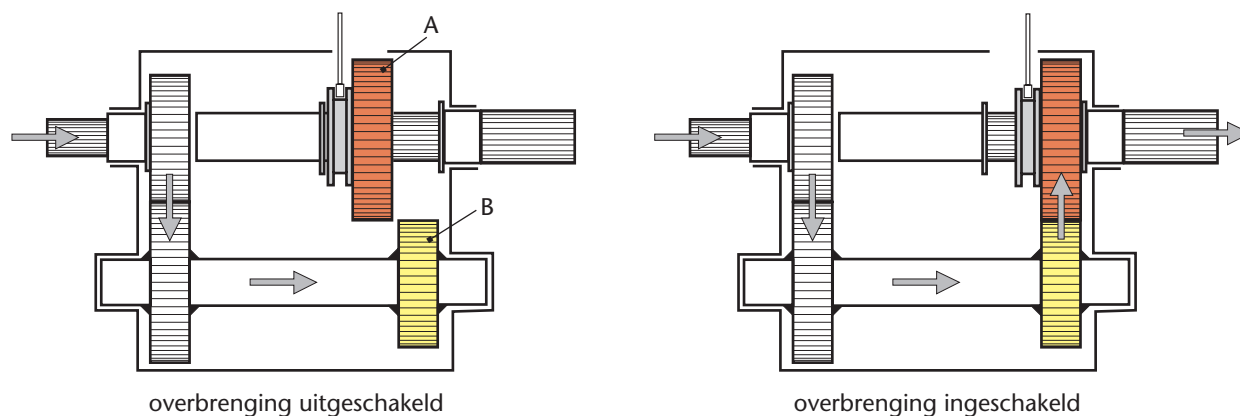
Met een versnellingsbak wordt ‘geschakeld’. Hiermee wordt bedoeld dat een bepaalde tandwieloverbrenging ingeschakeld of uitgeschakeld wordt. Dit schakelen kan in principe op twee manieren:

- volgens de sliding mesh-methode;
- volgens de constant mesh-methode.

De benamingen komen uit het Engels. ‘Sliding’ betekent ‘schuivend’, ‘mesh’ betekent ‘in elkaar grijpend’. Sliding mesh betekent dus ‘schuivend in elkaar grijpend’. Constant mesh betekent ‘constant in elkaar grijpend’.

Sliding mesh

In afbeelding 2.11 zien we een voorbeeld van sliding mesh. Als de ingaande as draait, draait de onderste as ook. Tandwiel A zit met spiebanen op de uitgaande as en kan naar rechts verschoven worden. Als tandwiel A naar rechts wordt geschoven, komt dit in aanraking met tandwiel B en is de overbrenging ingeschakeld.



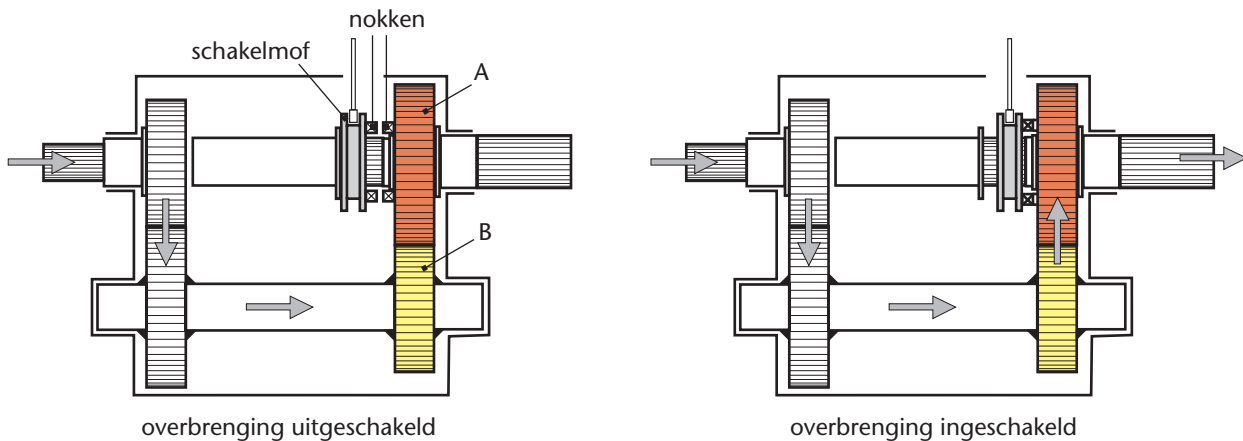
Deze manier van schakelen gaat meestal met veel tandengeknars gepaard. Dit komt doordat de tandwielen A en B met verschillende omtreksnelheid draaien.

Afb. 2.11

Een overbrenging met sliding mesh

Constant mesh

Afbeelding 2.12 laat een overbrenging met constant mesh zien.



Afb. 2.12

Een overbrenging met constant mesh

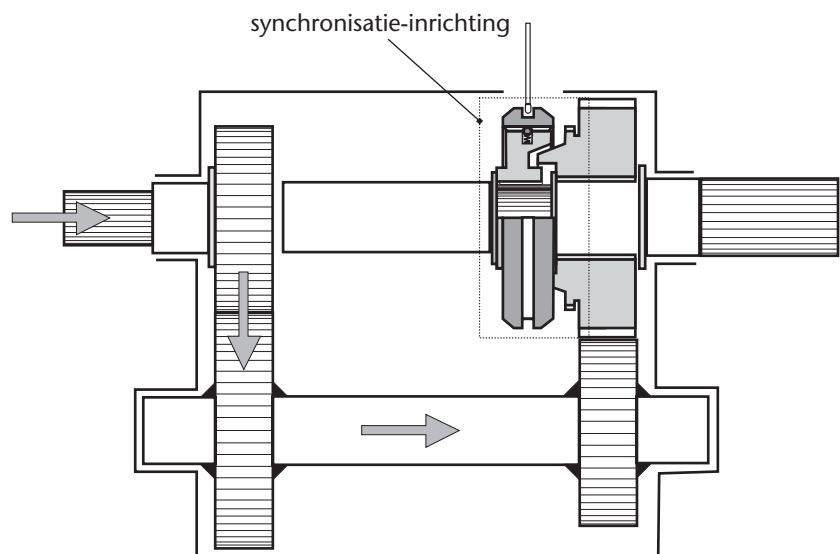
Alle tandwielen draaien als de ingaande as draait. Tandwiel A draait in uitgeschakelde stand wel, maar draait vrij van de uitgaande as. De schakelmof draait niet vrij van de uitgaande as, maar kan erop schuiven.

Zowel tandwiel A als de schakelmof zijn voorzien van nokken. Als de schakelmof naar rechts geschoven wordt, komen de nokken met elkaar in aangrijping. Tandwiel A is dan verbonden met de as en de overbrenging is ingeschakeld.

Bij deze manier van schakelen zal de geluidsproductie meestal minder zijn dan bij sliding mesh. Dit komt voornamelijk doordat zowel het tandwiel als de schakelmof op dezelfde as zitten en de te verbinden massa's kleiner zijn.

2.6 Synchromesh

Afbeelding 2.13 geeft een indruk van het principe van een overbrenging waarbij gebruik wordt gemaakt van synchromesh.



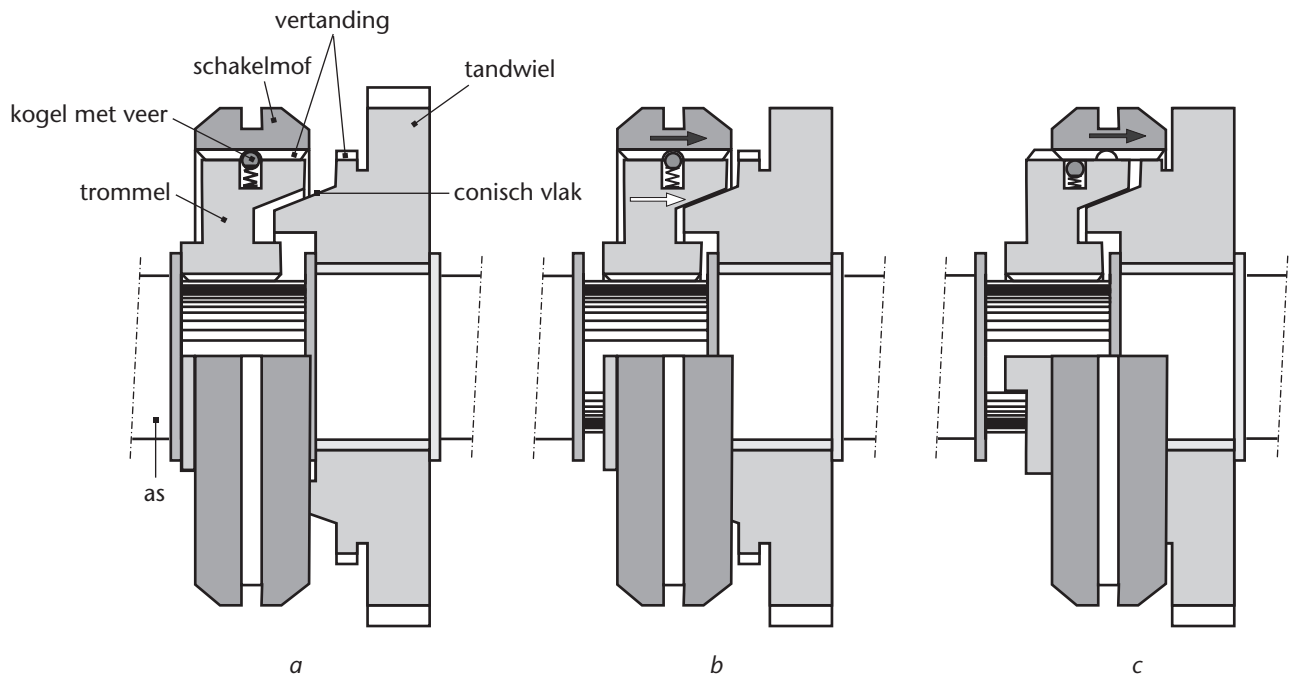
Afb. 2.13

Een overbrenging met synchromesh

Synchromesh is een speciale uitvoering van een constant mesh overbrenging. We zien dat alle tandwielen draaien als de ingaande as draait. De bij constant mesh toegepaste schakelmof met nokken is vervangen door een synchromesh.

Een synchromesh zorgt ervoor dat de rotatiefrequentie van de uitgaande as eerst gelijk wordt gemaakt aan de rotatiefrequentie van tandwiel A. Pas als de rotatiefrequenties gelijk zijn, wordt de verbinding tot stand gebracht.

Afbeelding 2.14 laat de drie schakelstanden zien.



De synchronisatie-inrichting van afbeelding 2.14 bestaat uit de volgende onderdelen:

- trommel: zit op spiebanen op de as en kan hierop schuiven;
- schakelmof: zit met een vertanding op de trommel en kan hierop schuiven; de schakelmof heeft aan de binnenkant een conisch vlak;
- kogels met veer: de kogels worden door de veren in uitsparingen van de schakelmof gedrukt; hierdoor gaat het schuiven van de schakelmof moeilijker;
- tandwiel: voorzien van een extra vertanding en een conisch vlak.

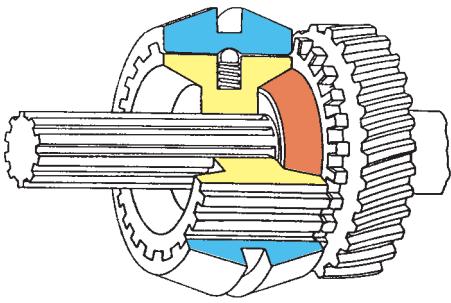
Bij afbeelding 2.14a is de overbrenging uitgeschakeld. Het tandwiel draait vrij om de as. De trommel en de schakelmof draaien met de as rond.

Bij afbeelding 2.14b is het synchroniseren bezig. Als er geschakeld wordt, beweegt de schakelmof naar rechts. Via de kogels wordt de trommel meegenomen naar rechts. Dit heeft tot gevolg dat de twee conische vlakken elkaar raken. Door de optredende wrijving worden de rotatiefrequenties van de as en van het tandwiel gelijk aan elkaar gemaakt. Als de rotatiefrequenties gelijk zijn, schuift de schakelmof verder naar rechts.

Bij afbeelding 2.14c is de overbrenging ingeschakeld. De schakelmof heeft de kogels naar binnen gedrukt en is verder naar

Afb. 2.14

De drie schakelstanden van een overbrenging met synchromesh



Afb. 2.15
Een ruimtelijke weergave van de synchronisatie-inrichting

rechts geschoven. De binnenvertanding van de mof grijpt nu ook in de extra vertanding van het tandwiel. Hierdoor is het tandwiel verbonden met de as.

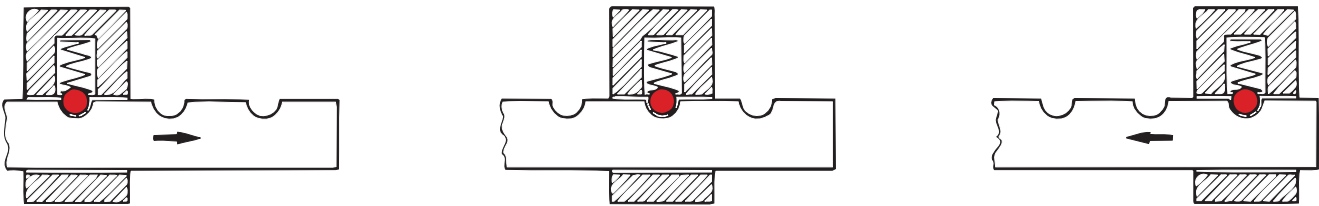
Doordat de definitieve verbinding pas tot stand komt als de rotatiefrequenties gelijk zijn, zal het inschakelen geruisloos verlopen. Afbeelding 2.15 geeft een indruk van hoe we ons dit ruimtelijk voor moeten stellen.

2.7 Vergrendelinrichting en blokkeerinrichting

De vergrendelinrichting voorkomt dat de auto 'uit de versnelling schiet'. Een blokkeerinrichting voorkomt dat er meerdere versnellingen tegelijk worden ingeschakeld.

Vergrendelinrichting

Afbeelding 2.16 laat een constructie met kogels en veren zien. In de schakelstangen zitten uithollingen. In bepaalde standen van de schakel-as wordt een kogel onder veerdruk in een uitholling gedrukt. Op deze manier kan de schakelstang in drie standen vergrendeld worden, zodat de stang altijd over de juiste afstand verschoven wordt.

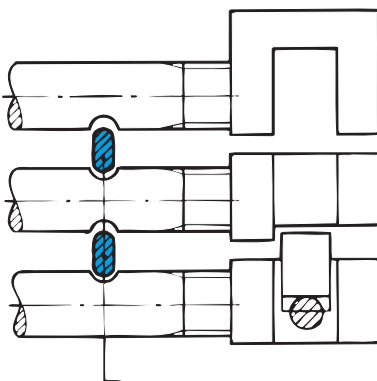


Afb. 2.16
Een vergrendelinrichting. Links en rechts: versnelling ingeschakeld. Midden: geen versnelling ingeschakeld

In de linker tekening staat een versnelling ingeschakeld. In de middelste tekening staat de schakel-as in de vrijstand en in de rechter tekening is weer een versnelling ingeschakeld. Het doel van een vergrendelinrichting is dus het op de juiste plaats fixeren van een schakel-as.

Blokkeerinrichting

De blokkeerinrichting moet voorkomen dat meer dan één versnelling tegelijk ingeschakeld kan worden. Het principe hiervan zullen we bespreken aan de hand van afbeelding 2.17.

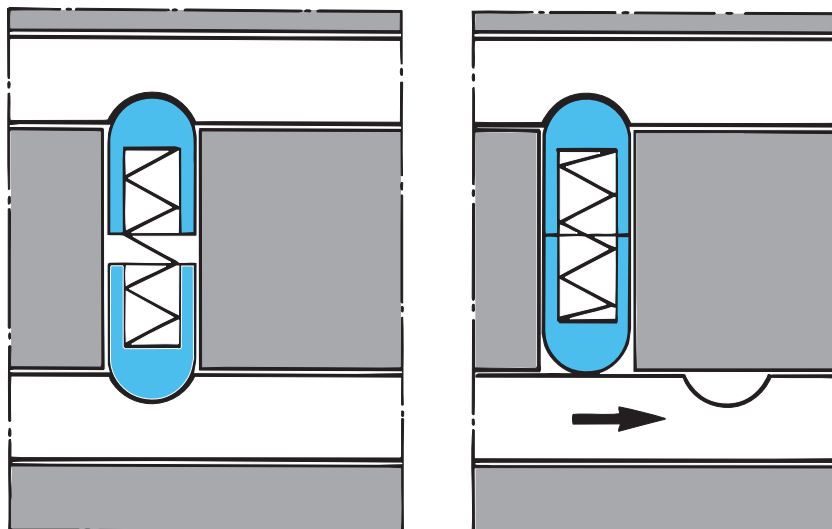


Afb. 2.17
Een blokkeerinrichting

Tussen de drie schakel-assen zitten twee afgeronde blokkeerpennen. Als bijvoorbeeld de middelste schakel-as wordt verschoven, worden de pennen in de uithollingen van de twee buitenste assen geschoven. Deze twee assen zijn dan geblokkeerd en kunnen niet meer verschoven worden.

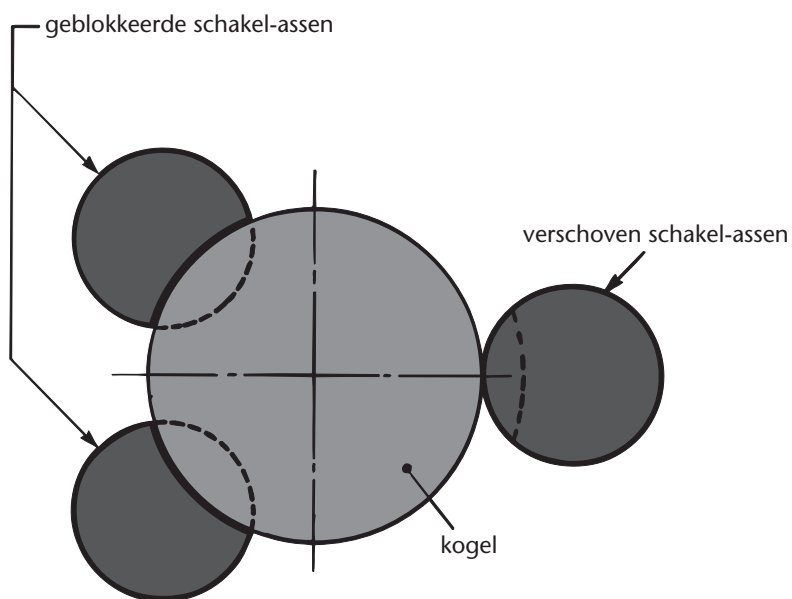
Als een van de twee buitenste assen wordt verschoven, wordt de middelste as geblokkeerd. De afstand tussen de twee buitenste assen is hier voldoende groot om te voorkomen dat deze gelijktijdig verschuiven.

In afbeelding 2.18 worden tussen twee assen twee afgeronde bussen toegepast. Tussen de bussen zit een drukveer. De ruimte tussen de twee bussen is zodanig dat als een as wordt verschoven, de andere niet meer verschoven kan worden. Door de verende werking kan deze constructie gelijktijdig dienst doen als vergrendelinrichting.



Afb. 2.18
Een blokkeerinrichting met veerbelaste bussen

In afbeelding 2.19 wordt een blokkering verkregen met behulp van een kogel tussen drie schakel-assen. Als een as is verschoven, zorgt de kogel ervoor dat de twee andere worden geblokkeerd.



Afb. 2.19
Een blokkeerinrichting met één kogel tussen drie schakel-assen

3 Overbrengingsverhouding en draaimoment

3.1 Inleiding

Als een auto wegrijdt, is een groot draaimoment nodig. Eenmaal op snelheid is het benodigde draaimoment kleiner. De versnellingsbak heeft als belangrijkste taak het aanpassen van het draaimoment van de motor aan het benodigde draaimoment. Dit gebeurt met behulp van tandwieloverbrengingen. De aanpassing van het draaimoment heeft echter als gevolg dat het toerental van de aangedreven assen verandert. Dit laatste heeft weer invloed op de snelheid.

Bij overbrengingen komen we in aanraking met de volgende begrippen:

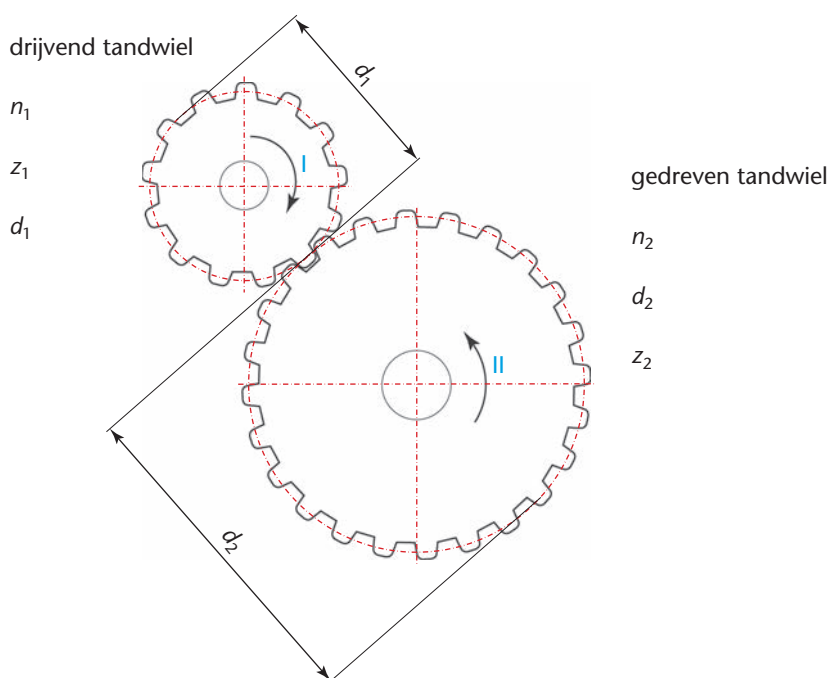
- Overbrengingsverhouding. Dit is de verhouding tussen de toerentallen van bijvoorbeeld twee tandwielen of twee assen.
- Draaimomentverhouding. Dit is de verhouding tussen de draaimomenten die bijvoorbeeld op twee assen werken.
- Omtreksnelheid. Dit is de snelheid waarmee een punt op de omtrek van bijvoorbeeld een schijf of tandwiel ronddraait.

De genoemde drie begrippen spelen bij versnellingsbakken en bij eindaandrijvingen een belangrijke rol. Hierna wordt uitgelegd wat de begrippen inhouden en hoe we er mee kunnen rekenen.

3.2 Overbrengingsverhouding

Onder de overbrengingsverhouding verstaan we:

De verhouding tussen het toerental van het drijvende tandwiel en het toerental van het gedreven tandwiel.



Afb. 3.1
Een vertraging

In afbeelding 3.1 is:

- n_1 het toerental van het kleine (drijvende) tandwiel (I).
- n_2 het toerental van het grote (gedreven) tandwiel (II).

De overbrengingsverhouding is dan:

$$\text{overbrengingsverhouding} = \frac{\text{toerental drijvend tandwiel}}{\text{toerental gedreven tandwiel}}$$

In formulevorm:

$$i = \frac{n_1}{n_2}$$

In afbeelding 3.1 heeft het drijvende tandwiel minder tanden dan het gedreven tandwiel. We spreken dan van een vertraging. Het toerental van het drijvende tandwiel is hoger dan dat van het gedreven tandwiel. De waarde van i is bij een vertraging altijd groter dan 1.

De waarde van i wordt geschreven als:

- Een getal, bijvoorbeeld 2.
- Een verhouding, bijvoorbeeld 2 : 1.

De overbrengingsverhouding is ook te berekenen uit het aantal tanden van de tandwielen.

- Het aantal tanden van tandwiel I noemen we z_1 .
- Het aantal tanden van tandwiel II noemen we z_2 .

De overbrengingsverhouding is dan:

$$i = \frac{z_2}{z_1}$$

In afbeelding 3.1 zijn ook de diameters van de zogenaamde steekcirkels van de tandwielen gegeven.

- De steekcirkel van tandwiel I noemen we d_1 .
- De steekcirkel van tandwiel II noemen we d_2 .

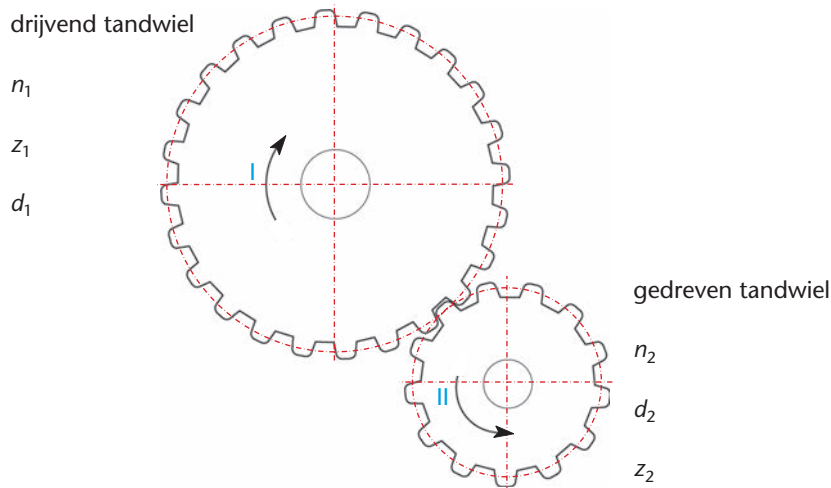
De steekcirkel is een cirkel die bij een tandwiel hoort. De diameter is gelijk aan de diameter van een wrijvingswiel dat het tandwiel kan vervangen. Uit de diameters van de steekcirkels is de overbrengingsverhouding ook te berekenen. Deze is dan:

$$i = \frac{d_2}{d_1}$$

Samengevat:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_2}{d_1}$$

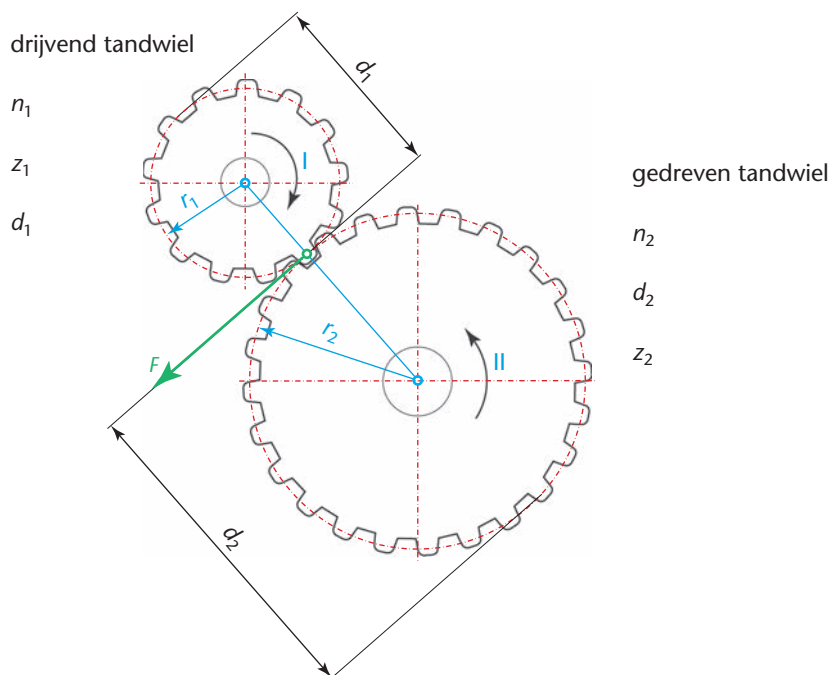
In afbeelding 3.2 spreken we van een versnelling. Het drijvende tandwiel (I) is nu groter dan het gedreven tandwiel (II). De waarde van i is bij een versnelling kleiner dan 1, bijvoorbeeld 0,5. Dit kan ook opgegeven worden als 0,5 : 1 of als 1 : 2.



Afb. 3.2
Een versnelling

3.3 Draaimoment

In de versnellingsbak en in de eindaandrijving wordt meestal gebruik gemaakt van vertragingen. Het doel hiervan is het draaimoment, dat door de motor wordt geleverd, vergroot over te brengen.



Afb. 3.3
Tussen de tanden werkt een kracht F

In afbeelding 3.3 is met de letter F een kracht aangegeven. Deze kracht oefenen de tanden op elkaar uit. De kracht werkt zowel op de tanden van het drijvende als op de tanden van het gedreven tandwiel. We mogen zeggen dat de tandwielen twee draaiende hefboomen zijn. Het moment M_1 dat op tandwiel I werkt is gelijk aan:

$$M_1 = F \times r_1$$

Het moment M_2 dat op tandwiel II werkt is gelijk aan:

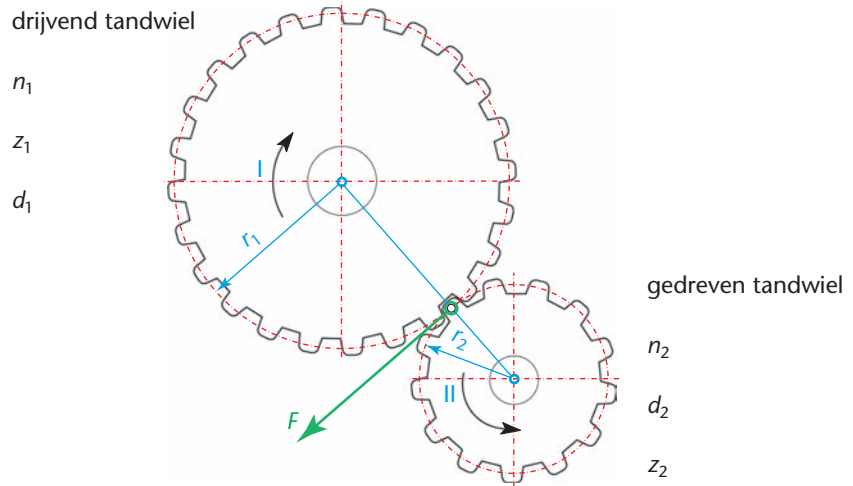
$$M_2 = F \times r_2$$

Omdat r_2 groter is dan r_1 , is er bij een vertraging sprake van een vergroting van het draaimoment. Er geldt ook dat de verhouding van de draaimomenten omgekeerd evenredig is met de overbrengingsverhouding, waaruit volgt:

$$i = \frac{M_2}{M_1} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_2}{d_1}$$

Voor een vertraging kunnen we stellen: Als het toerental x maal vertraagd wordt, dan wordt het draaimoment x maal vergroot.

Bij een versnelling volgens afbeelding 3.4 geldt het omgekeerde:

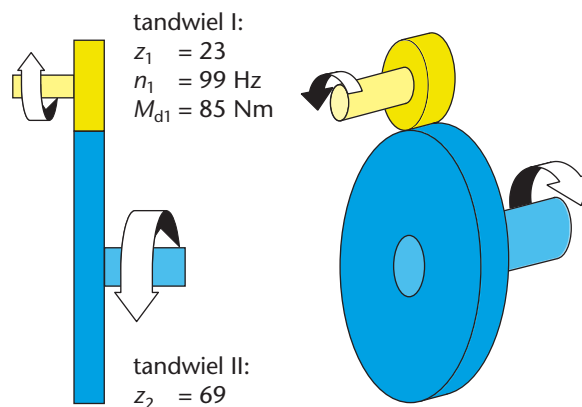


Afb. 3.4
Bij een versnelling hoort een momentverkleining

Als het toerental x maal versneld wordt, dan wordt het draaimoment x maal verkleind.

Rekenvoorbeeld 1

In afbeelding 3.5 heeft tandwiel I 23 tanden en tandwiel II 69 tanden. Verder is bekend dat tandwiel I draait met een rotatiefrequentie van 99 Hz. Dit gebeurt met een draaimoment van 85 Nm.



Afb. 3.5
Tandwielstelsel rekenvoorbeeld 1

Bereken de overbrengingsverhouding, het toerental van tandwiel II en het draaimoment aan tandwiel II.

Gegeven:

$$z_1 = 23$$

$$z_2 = 69$$

$$n_1 = 99 \text{ Hz}$$

$$M_{d1} = 85 \text{ Nm}$$

Gevraagd:

a i

b n_2

c M_{d2}

Oplossing:

$$a \quad i = \frac{z_2}{z_1} = \frac{69}{23} = 3$$

$$b \quad i = \frac{n_1}{n_2}$$

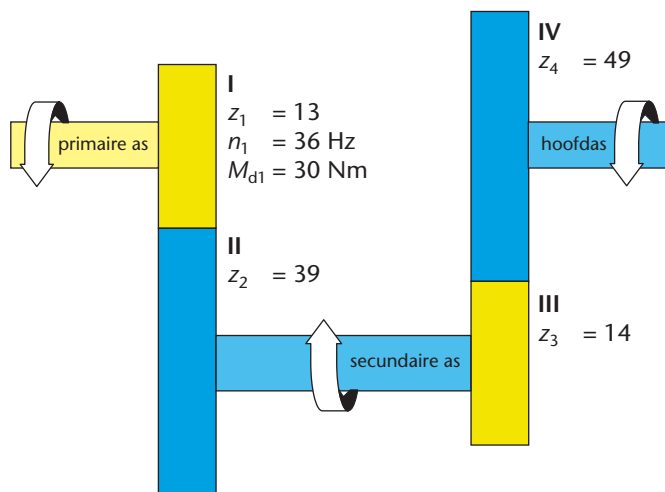
$$n_2 = \frac{n_1}{i} = \frac{99}{3} = 33 \text{ Hz}$$

$$c \quad i = \frac{M_{d2}}{M_{d1}}$$

$$M_{d2} = i \times M_{d1} = 3 \times 85 = 255 \text{ Nm}$$

Rekenvoorbeeld 2

Van het tandwielstelsel van afbeelding 3.6 heeft tandwiel I 13 tanden, tandwiel II 39 tanden, tandwiel III 14 tanden en tandwiel IV 49 tanden. As I draait met een rotatiefrequentie van 36 Hz. Het draaimoment op deze as is 30 Nm.



Afb. 3.6

Tandwielstelsel rekenvoorbeeld 2

Bereken:

- de totale overbrengingsverhouding;
- de rotatiefrequentie van tandwiel IV;
- het draaimoment op tandwiel IV.

Gegeven:

$$z_1 = 13$$

$$z_2 = 39$$

$$z_3 = 14$$

$$z_4 = 49$$

$$M_{d1} = 30 \text{ Nm}$$

$$n_1 = 36 \text{ Hz}$$

Gevraagd:

- a i_{totaal}
- b n_4
- c M_{d4}

Oplossing:

- a Methode 1:

Bereken eerst de overbrengingsverhouding tussen de tandwielen I en II.

$$i_1 = \frac{z_2}{z_1} = \frac{39}{13} = 3$$

Bereken vervolgens de overbrengingsverhouding tussen de tandwielen III en IV.

$$i_2 = \frac{z_4}{z_3} = \frac{49}{14} = 3,5$$

$$i_{\text{totaal}} = i_1 \times i_2 = 3 \times 3,5 = 10,5$$

- a Methode 2:

Een snellere manier is het in één keer berekenen van de totale overbrengingsverhouding. Bovendien is dit vaak nauwkeuriger in verband met eventuele afrondingen.

$$i_{\text{totaal}} = \frac{z_2}{z_1} \times \frac{z_4}{z_3} = \frac{39}{13} \times \frac{49}{14} = 3 \times 3,5 = 10,5$$

$$b \quad i_{\text{totaal}} = \frac{n_{\text{ingaaand}}(n_1)}{n_{\text{uitgaand}}(n_4)}$$

$$n_4 = \frac{n_1}{i_{\text{totaal}}} = \frac{36}{10,5} = 3,43$$

$$c \quad i_{\text{totaal}} = \frac{M_{d4}}{M_{d1}}$$

$$M_{d4} = i_{\text{totaal}} \times M_{d1} = 10,5 \times 30 \text{ Nm} = 315 \text{ Nm}$$

Rekenvoorbeeld 3

Met het tandwielstelsel van afbeelding 3.7 wordt de overbrenging in de eerste versnelling van een voertuig voorgesteld. De primaire as draait met een rotatiefrequentie van 70 Hz. De motor geeft op dat moment een draaimoment af van 89 Nm. De totale overbrengingsverhouding in de eerste versnelling is 3,87. Bereken de rotatiefrequentie van de hoofdas en het draaimoment aan de hoofdas.

Gegeven:

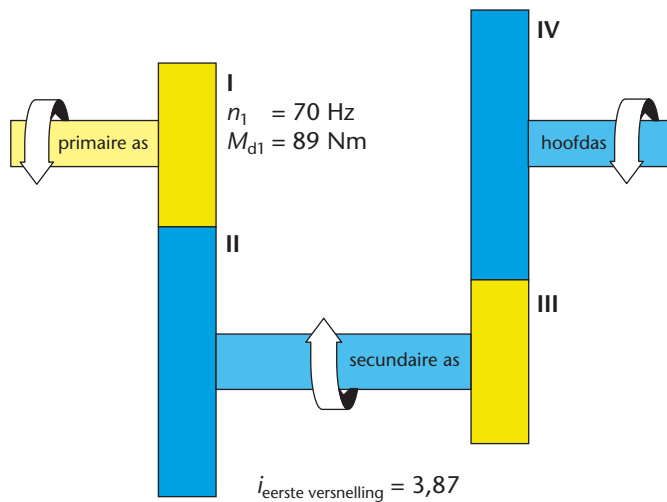
$$n_{\text{primaire as}} = n_1 = 70 \text{ Hz}$$

$$i_{\text{eerste versnelling}} = i_1 = 3,87$$

$$M_{d \text{ motor}} = M_{d1} = 89 \text{ Nm}$$

Gevraagd:

- a $n_{\text{hoofdas}} = n_2$
- b $M_{d \text{ hoofdas}} = M_{d2}$



Afb. 3.7
Tandwielstelsel rekenvoorbeeld 3

Oplossing:

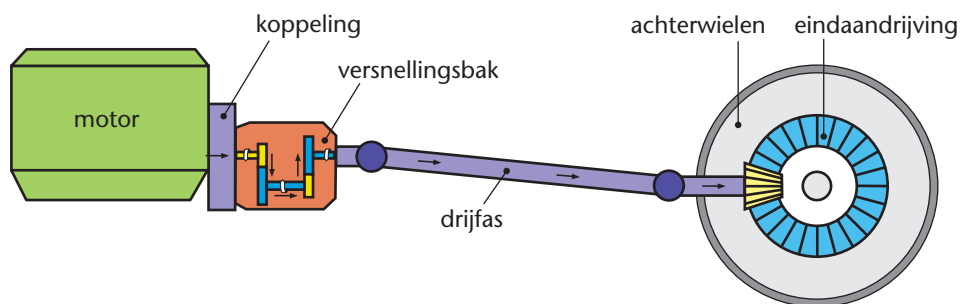
a $n_2 = \frac{n_1}{i_1} = \frac{70}{3,87} = 18,09 \text{ Hz}$

b $M_{d2} = i_1 \times M_{d1} = 3,87 \times 89 \text{ Nm} = 344,43 \text{ Nm}$

Rekenvoorbeeld 4

Bereken de rotatiefrequentie van het draaimoment aan de aangedreven wielen van een auto (afb. 3.8) als bekend is dat:

- de motor met een rotatiefrequentie van 30 Hz draait;
- de motor een draaimoment afgeeft van 1250 Nm;
- de ingeschakelde versnelling een overbrengingsverhouding heeft van 9,83;
- de eindoverbrenging een overbrengingsverhouding heeft van 13,7.



$n_{\text{motor}} = 30 \text{ Hz}$
 $M_{d \text{ motor}} = 1250 \text{ Nm}$

$i_{\text{versnellingsbak}} = 9,83$

$i_{\text{eindaandrijving}} = 13,7$

Gegeven:

$n_{\text{motor}} = n_1 = 30 \text{ Hz}$
 $M_{d \text{ motor}} = M_{d1} = 1250 \text{ Nm}$
 $i_{\text{versnellingsbak}} = i_1 = 9,83$
 $i_{\text{eindaandrijving}} = i_2 = 13,7$

Afb. 3.8
Aandrijflijn

Gevraagd:

a $n_{\text{aangedreven wielen}} = n_2$
b $M_{d \text{ aangedreven wielen}} = M_{d2}$

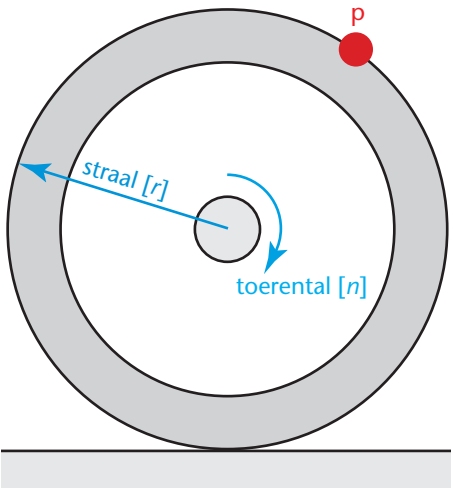
Oplossing:

$$a \quad i_{\text{totaal}} = i_1 \times i_2 = 9,83 \times 13,7 = 134,67$$

$$n_2 = \frac{n_1}{i_{\text{totaal}}} = \frac{30}{134,67} = 0,22 \text{ Hz}$$

$$b \quad M_{d2} = i_{\text{totaal}} \times M_{d1} = 134,67 \times 1250 \text{ Nm} = 168337,5 \text{ Nm}$$

3.4 Omtreksnelheid



Afb. 3.9

De snelheid van het punt 'p' is de omtreksnelheid van het wiel

Als een wiel draait, dan zal elk willekeurig punt aan de omtrek dezelfde snelheid hebben. In afbeelding 3.9 is als voorbeeld het punt 'p' gekozen. De snelheid van punt 'p' wordt de omtreksnelheid genoemd.

Als het wiel één keer rond draait, dan heeft punt 'p' een bepaalde afstand afgelegd. Deze afstand is gelijk aan de omtrek van het wiel. De omtrek wordt bepaald door de straal van het wiel. In afbeelding 3.9 is de straal aangegeven.

$$\text{Omtrek} = 2 \times \pi \times \text{straal} = 2 \times \pi \times r$$

Als we weten hoe groot de rotatiefrequentie (toerental) van het wiel is, dan kunnen we daarmee berekenen hoe groot de afgelegde afstand per seconde is. De afgelegde afstand per seconde is de snelheid.

De omtreksnelheid kun je op de volgende manier berekenen:

$$\begin{aligned} \text{omtreksnelheid} &= \text{rotatiefrequentie} \times \text{omtrek} \\ &= \text{rotatiefrequentie} \times 2 \times \pi \times \text{straal} \end{aligned}$$

In formulevorm:

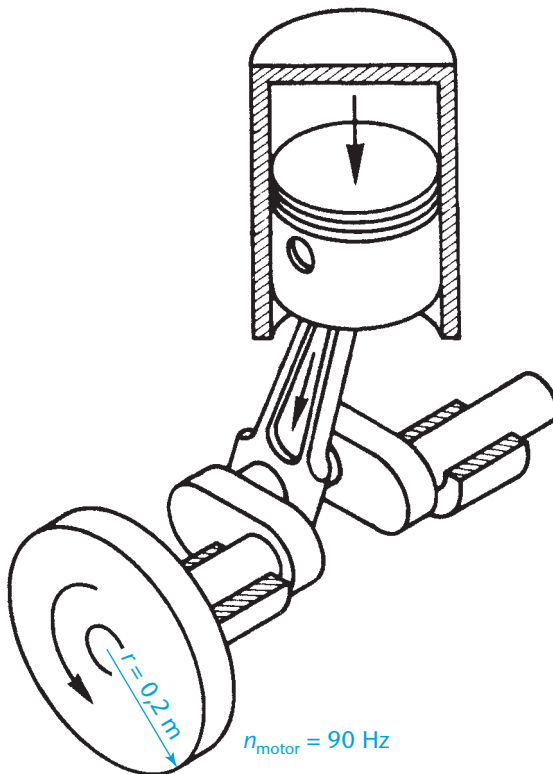
$$V_{\text{omtrek}} = n \times 2 \times \pi \times r$$

- De rotatiefrequentie wordt opgegeven in hertz (Hz).
- De straal wordt opgegeven in meters (m).

De eenheid voor de omtreksnelheid is daarom meters per seconde (m/s).

Rekenvoorbeeld 5

Het vliegwiel van een motor heeft een straal van 0,2 m (afb. 3.10). De motor draait met een rotatiefrequentie van 90 Hz. Hoe groot is de omtreksnelheid?



Afb. 3.10
Rekenvoorbeeld 5

Gegeven:

$$r = 0,2 \text{ m}$$

$$n = 90 \text{ Hz}$$

Gevraagd:

$$V_{\text{omtrek}}$$

Oplossing:

$$V_{\text{omtrek}} = n \times 2 \times \pi \times r = 90 \times 2 \times \pi \times 0,2 = 113,1 \text{ m/s.}$$

3.5 Reeksen in versnellingsbakken

Meetkundige reeks

Bij de keuze van het aantal tussenliggende versnellingen en de grootte van deze versnellingen speelt het begrip inwendige overbrenging van de versnellingsbak een belangrijke rol. Onder de inwendige overbrenging van de versnellingsbak wordt verstaan de verhouding tussen de snelheid van het voertuig in de hoogste versnelling (V_n) en de snelheid in de laagste versnelling (V_1), dit allemaal bij hetzelfde motortoerental.

In formulevorm:

$$\text{Inwendige overbrenging} = \frac{\text{snelheid hoogste versnelling}}{\text{snelheid laagste versnelling}} \rightarrow I_{\text{vb}} = \frac{V_n}{V_1}$$

Men gebruikt wel de uitdrukking ‘sprong’ als men de verhouding tussen eerste en de hoogste versnelling wil aangeven. Ook dit kan met een formule worden uitgedrukt:

$$\text{Sprong} = \frac{i_1 \text{ (bijv. } 3,75 : 1)}{i_5 \text{ (bijv. } 0,95 : 1)} \rightarrow I_{vb} = \frac{i_1}{i_n}$$

Dit geeft wel aan dat I_{vb} niet een overbrengingsgetal is, maar een gebied definieert waarbinnen alle overbrengingsgetallen van de versnellingsbak liggen.

Hoe groot I_{vb} is, hangt uiteindelijk af van het gebruiksdoel van het voertuig en het specifieke vermogen van de motor. Dit specifieke vermogen wordt uitgedrukt in kW motorvermogen per kg voertuigmassa [kW/kg]. Wanneer we het gebruiksdoel bekijken, komen we voor I_{vb} tot de volgende waarden:

- personenauto's: 3,5 – 4,5;
- autobussen voor toerdoeleinden: 4,0 – 4,5;
- bedrijfsauto's: 5,0 – 7,5;
- stadsbussen: 5,5 – 9,5.

Als we voor een personenauto het overbrengingsgetal van de eerste versnelling willen bepalen, dan moeten we rekening houden met de volgende punten:

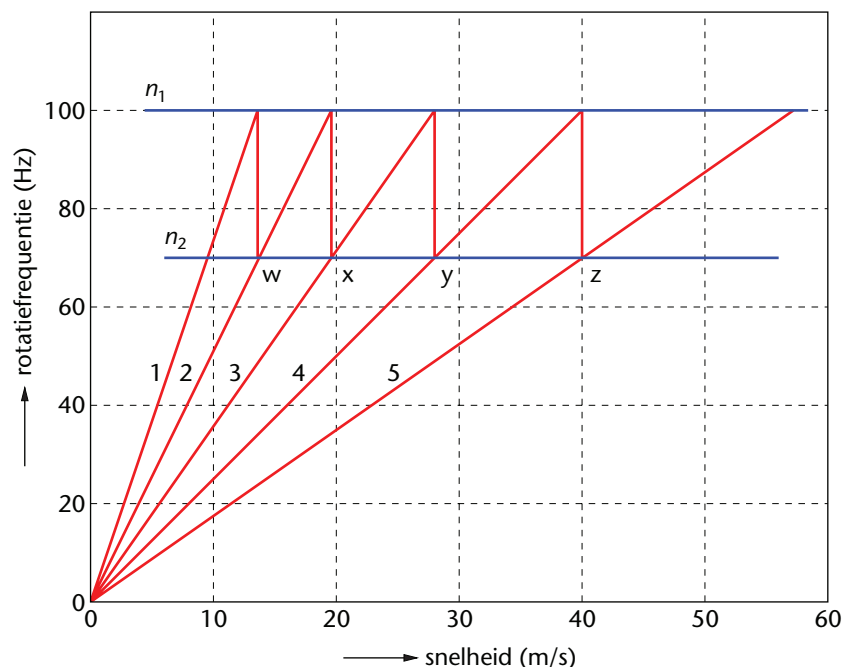
- Het voertuig moet met een minimaal stationair motortoerental tegen een helling van 30% op kunnen rijden, dit in verband met het rijden in file.
- Wanneer in een voertuig een motor wordt geplaatst met een relatief klein gebruiksgebied, dan zullen er veel tussenliggende versnellingen nodig zijn. Bij een motor met een groot gebruiksgebied kan men volstaan met een versnellingsbak met weinig versnellingen. Ditzelfde geldt natuurlijk ook voor voertuigen waarbij een automatische transmissie wordt toegepast.
- Bij de tegenwoordige voertuigen past men steeds vaker een versnellingsbak toe die beschikt over zes versnellingen. De achtergrond hiervan is dat door de bouw van het voertuig de luchtweerstandcoëfficiënt afneemt. Hierdoor zal de maximumsnelheid van het voertuig toenemen waardoor er een hogere hoogste versnelling nodig is, terwijl men aan de andere kant de laagste versnelling niet mag verhogen om soepel weg te kunnen rijden in een file.

Uit het bovenstaande volgt dat, bij de keuze van de grootte en het aantal van de tussenliggende versnellingen in de versnellingsbak, het belangrijk is om te weten wat het inwendige overbrengingsgetal van de versnellingsbak is.

Hierbij spelen de volgende factoren een rol:

- het motorvermogen;
- het gebruiksdoel, is het een:
 - personenauto;
 - bestelauto;
 - vrachtauto;
- het aantal aan te brengen versnellingen.

Als de gebruikte motor maar een klein vermogen en dus een klein gebruiksgebied heeft, dan zal men veel overbrengingstrappen moeten toepassen. Een voertuig dat is uitgerust met een motor met veel vermogen zal daarom goed met een versnellingsbak met drie versnellingen kunnen worden uitgerust, terwijl een kleine lichte motor al gauw een vijfversnellingsbak nodig heeft. De tussenliggende versnellingen worden door berekening vastgesteld.



Afb. 3.11
 Een zaagtanddiagram geeft de relatie weer tussen het toerental en de rijsnelheid in de verschillende versnellingen. Bij bedrijfswagens worden de tussenliggende versnellingen verdeeld volgens de meetkundige reeks

Met behulp van het zaagtanddiagram kunnen we vaststellen op welke wijze de fabrikant de tussenliggende versnellingen heeft bepaald. In afbeelding 3.11 zien we een zaagtanddiagram van een versnellingsbak met vijf versnellingen. Het schakelgebied of theoretische toereengebruiksgebied van de motor ligt tussen de 100 Hz en 70 Hz (het maximum- en minimum toereengebruiksgebied). De lijnen 1 t/m 5 zijn de snelheidslijnen. Hoe de fabrikant dit heeft gedaan, kunnen we te weten komen door horizontale lijnen te trekken vanuit het maximaal toelaatbaar toerental (n_1) naar de snelheidslijnen.

De punten w, x, y en z liggen op één lijn, wat inhoudt dat bij deze versnellingsbak een zogenaamde meetkundige reeks is toegepast. Dit wordt wel toegepast bij zware vrachtwagens. Het motortoerental valt dan steeds met dezelfde waarde terug. Deze meetkundige reeks is eenvoudig te bepalen omdat de toerentalsprong steeds gelijk is. In afbeelding 3.11 is te zien dat de toerentalsprong $100 - 70 = 30$ Hz. We spreken wel van een constante of rede c. Deze is:

$$\frac{100}{70} = 1,42$$

Nu kunnen we met behulp van de formule:

$$i_x = i_n \times C^{(n-x)}$$

de overbrengingsverhoudingen bepalen.

Hierin is:

$i_x = i$ betreffende versnelling

$i_n = i$ hoogste versnelling

$c = \text{rede } \left(\frac{n_2}{n_1}\right) = \text{toerengebruiksgebied}$

$n = \text{aantal versnellingen}$

$x = \text{betreffende versnelling}$

Is de overbrengingsverhouding in de hoogste versnelling (i_n) bijvoorbeeld 1 en het aantal versnellingen (n) = 5 dan is x de te berekenen versnelling.

Voorbeeld:

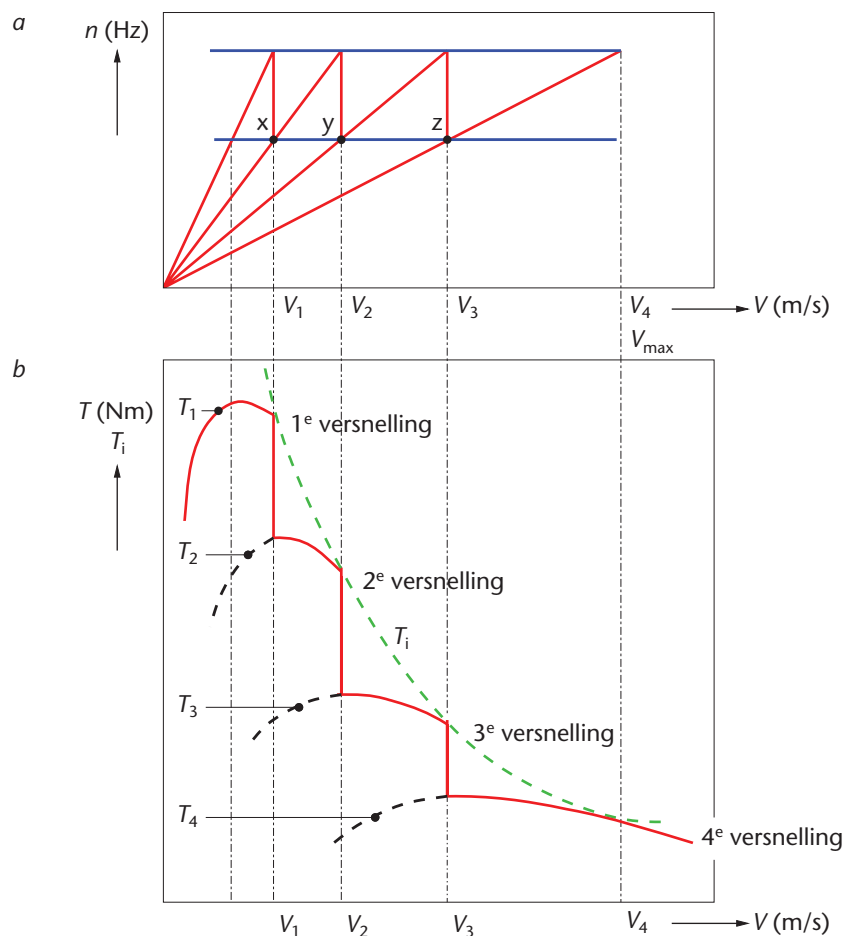
$$i_1 = 1 \times 1,42^{(5-1)} = 4,06$$

$$i_2 = 1 \times 1,42^{(5-2)} = 2,86$$

$$i_3 = 1 \times 1,42^{(5-3)} = 2,01$$

$$i_4 = 1 \times 1,42^{(5-4)} = 1,42$$

$$i_5 = 1 \times 1,42^{(5-5)} = 1$$



Afb. 3.12

a Zaagtanddiagram

b Vermogenskrommen

In afbeelding 3.12a is een zaagtanddiagram afgebeeld van een versnellingsbak met vier versnellingen en in afbeelding 3.12b een bijbehorend vermogensdiagram. De onderlinge verhoudingen tussen motortoerental, voertuigsnelheid en momenten aan de wielen zijn hier weergegeven.

De trekkrachtkrommen hebben dezelfde vorm en verhouding als de vermogenskrommen in de bepaalde overbrenging. Dat komt doordat het vermogen wordt gedeeld door de dynamische wielstraal.

In formulevorm:

$$F_{\text{trekkracht}} = \frac{T_{\text{wiel}}}{R_{\text{wiel}}}$$

De doorgetrokken lijnen in afbeelding 3.12 geven de beschikbare trekkracht weer in de versnellingen 1 t/m 4. De groene streepjeslijn geeft de ideale trekkrachtlijn weer.

Rekenkundige reeks

Het kan ook zo zijn dat er gekozen wordt voor een grotere toerentalsprong bij lagere versnellingen en een kleine toerentalsprong bij de hogere versnellingen. Dan kiest de fabrikant voor de rekenkundige reeks. Hierdoor wordt het rijgedrag van het voertuig gunstiger. De overbrengingsverhouding kan volgens de rekenkundige reeks op de volgende manier worden bepaald.

$$\frac{1}{i_x} = \frac{1}{i_n} + \left(\frac{1}{i_1} - \frac{1}{i_n} \right) \times \frac{n-x}{n-1}$$

Wanneer de hoogste versnelling (i_n) is uitgevoerd als prise-direct dan kunnen de overbrengingsverhoudingen als volgt worden bepaald.

$$i_x = \frac{i_1}{i_1 - \left((i_1 - 1) \times \frac{n-x}{n-1} \right)}$$

Wanneer we uitgaan van een versnellingsbak met vier versnellingen en we nemen de volgende waarden: $i_1 = 5$ en $i_4 = 1$, dan vinden we:

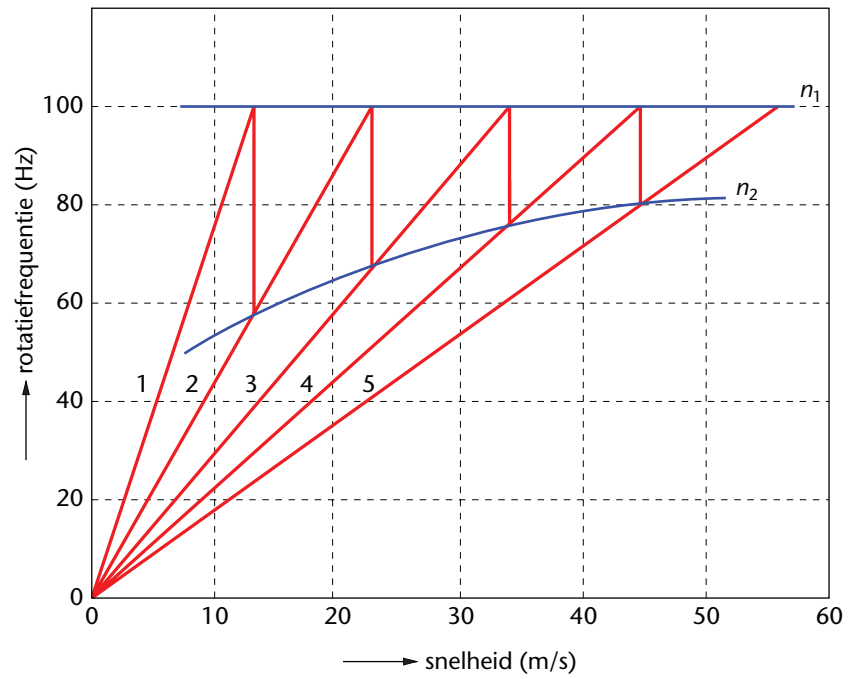
$$i_1 = \frac{5}{5 - \left((5 - 1) \times \frac{4-1}{4-1} \right)} = 5$$

$$i_2 = \frac{5}{5 - \left((5 - 1) \times \frac{4-2}{4-1} \right)} = 2,14$$

$$i_3 = \frac{5}{5 - \left((5 - 1) \times \frac{4-3}{4-1} \right)} = 1,36$$

$$i_4 = \frac{5}{5 - \left((5 - 1) \times \frac{4-4}{4-1} \right)} = 1$$

In het zaagtanddiagram van afbeelding 3.13 is deze situatie weergegeven.



Afb. 3.13
Zaagtanddiagram met de verdeling volgens de rekenkundige reeks. De holle lijn die ontstaat door de schakelpunten met elkaar te verbinden zegt iets over de gekozen trekkrachtverdeling

4 Transmissiesystemen

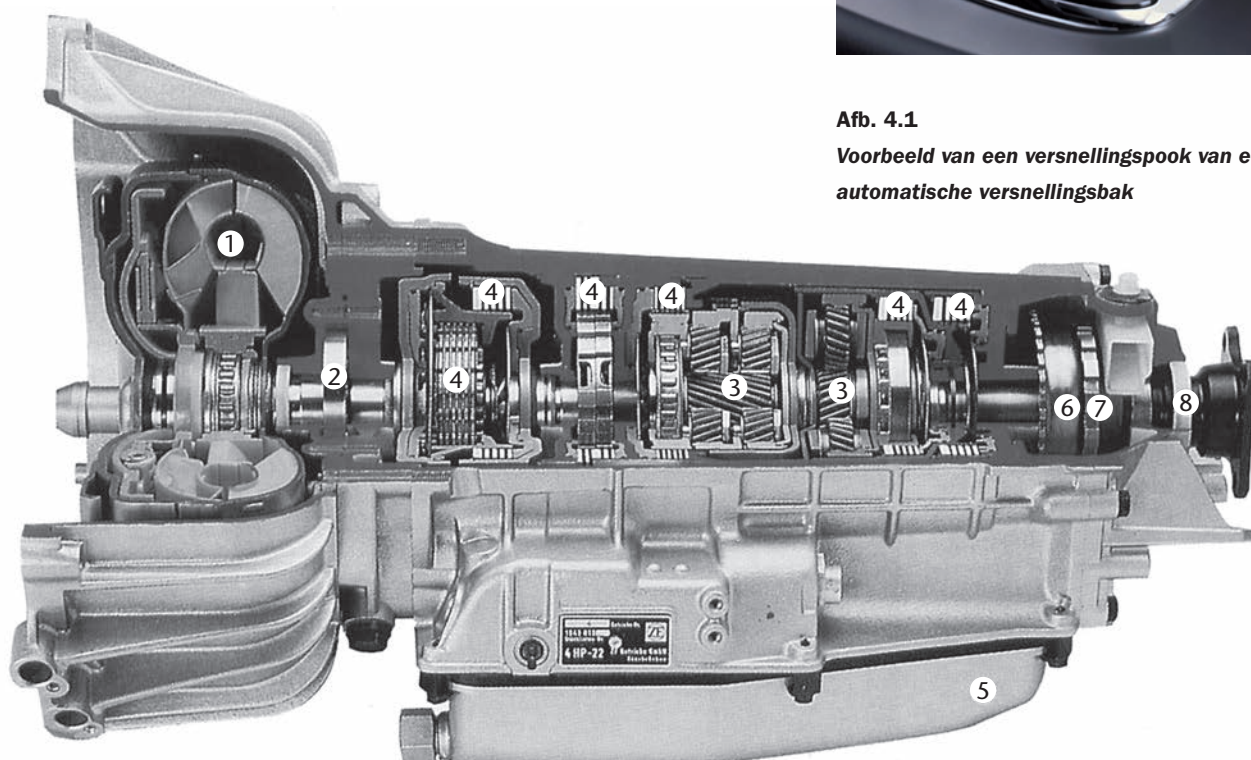
4.1 Automatische transmissies

Bij een automatische transmissie wordt, na het inschakelen van de overbrenging, automatisch overgeschakeld naar een andere overbrengingsverhouding. Daarbij wordt o.a. rekening gehouden met:

- de stand van het versnellingshendel (de 'versnellingspook') (afb. 4.1);
- de stand van het gaspedaal (de motorbelasting).



Afb. 4.1
Voorbeeld van een versnellingspook van een automatische versnellingsbak



Afb. 4.2
Voorbeeld van een automatische versnellingsbak met getrapte aanpassing van de overbrengingsverhouding

We onderscheiden twee soorten automatische versnellingsbakken:

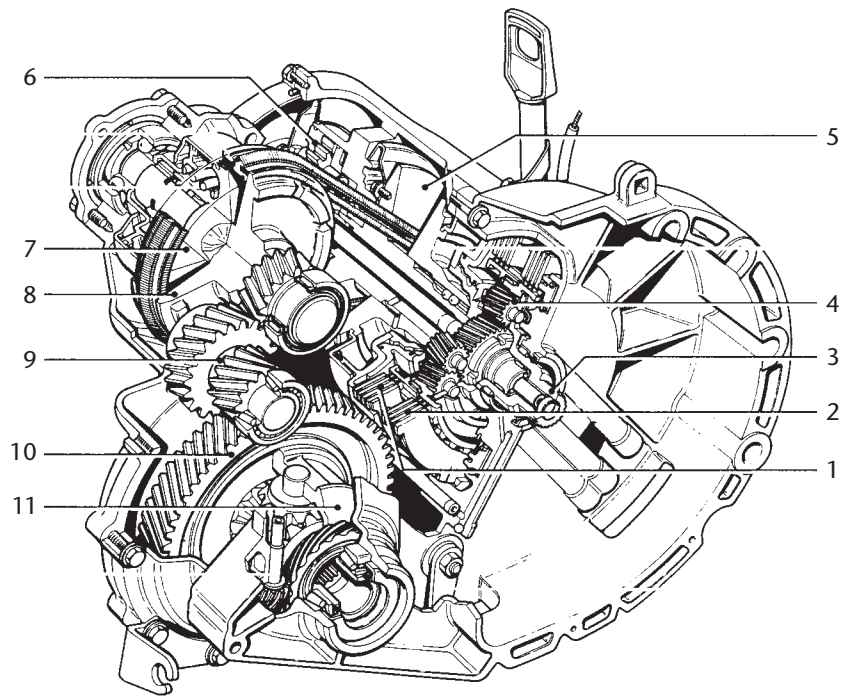
- Versnellingsbakken waarbij de overbrengingsverhouding aangepast wordt door middel van planetaire tandwielstelsels. Hierbij wordt, net als bij een handgeschakelde versnellingsbak, de overbrengingsverhouding trapsgewijs aangepast (afb. 4.2). Bij deze systemen wordt een koppelvormer toegepast tussen de motor en de versnellingsbak.
- Versnellingsbakken waarbij de overbrengingsverhouding aangepast wordt door middel van het veranderen van werkzame poeliediameters. Hierbij is sprake van een traploze verandering van de overbrengingsverhouding. Dit wordt een **Continu Variabele Transmissie (CVT)** genoemd (afb. 4.3). Hier wordt de ingaande as van de versnellingsbak rechtstreeks aangedreven door de motor.

- 1 koppelvormer
- 2 oliepomp
- 3 planetaire tandwielstelsels
- 4 lamellenkoppelingen
- 5 besturingseenheid
- 6 sensor
- 7 blokkeering (P-stand)
- 8 uitgaande as

Afb. 4.3

Voorbeeld van een automatische versnellingsbak met continu variabele overbrengingsverhouding (CVT)

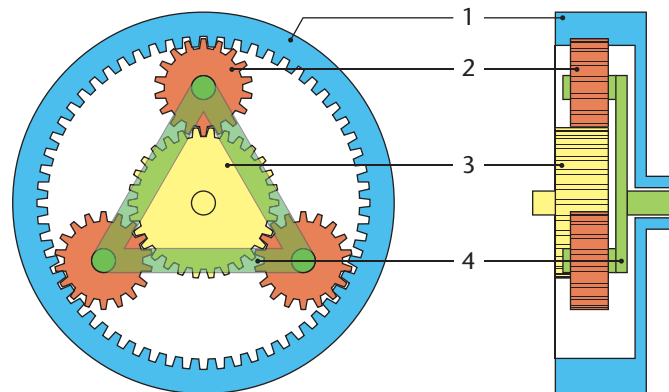
- 1 lamellenkoppeling
- 2 lamellenkoppeling
- 3 ingaande as (vanaf de motor)
- 4 planetair tandwielstelsel
- 5 poelie
- 6 oliepomp
- 7 duwband
- 8 poelie
- 9 tussenas met pignion
- 10 kroonwiel
- 11 differentieel



4.2 Planetaire tandwielstelsels

Afbeelding 4.4 toont de opbouw van een enkelvoudig planetair tandwielstelsel. Het is opgebouwd uit:

- een ringwiel (1) met inwendige vertanding;
- een aantal satellietwielen (2) met uitwendige vertanding;
- een zonnewiel (3) met uitwendige vertanding;
- een drager (4); hierop zitten assen waarop de satellietwielen zijn gelagerd.



Afb. 4.4

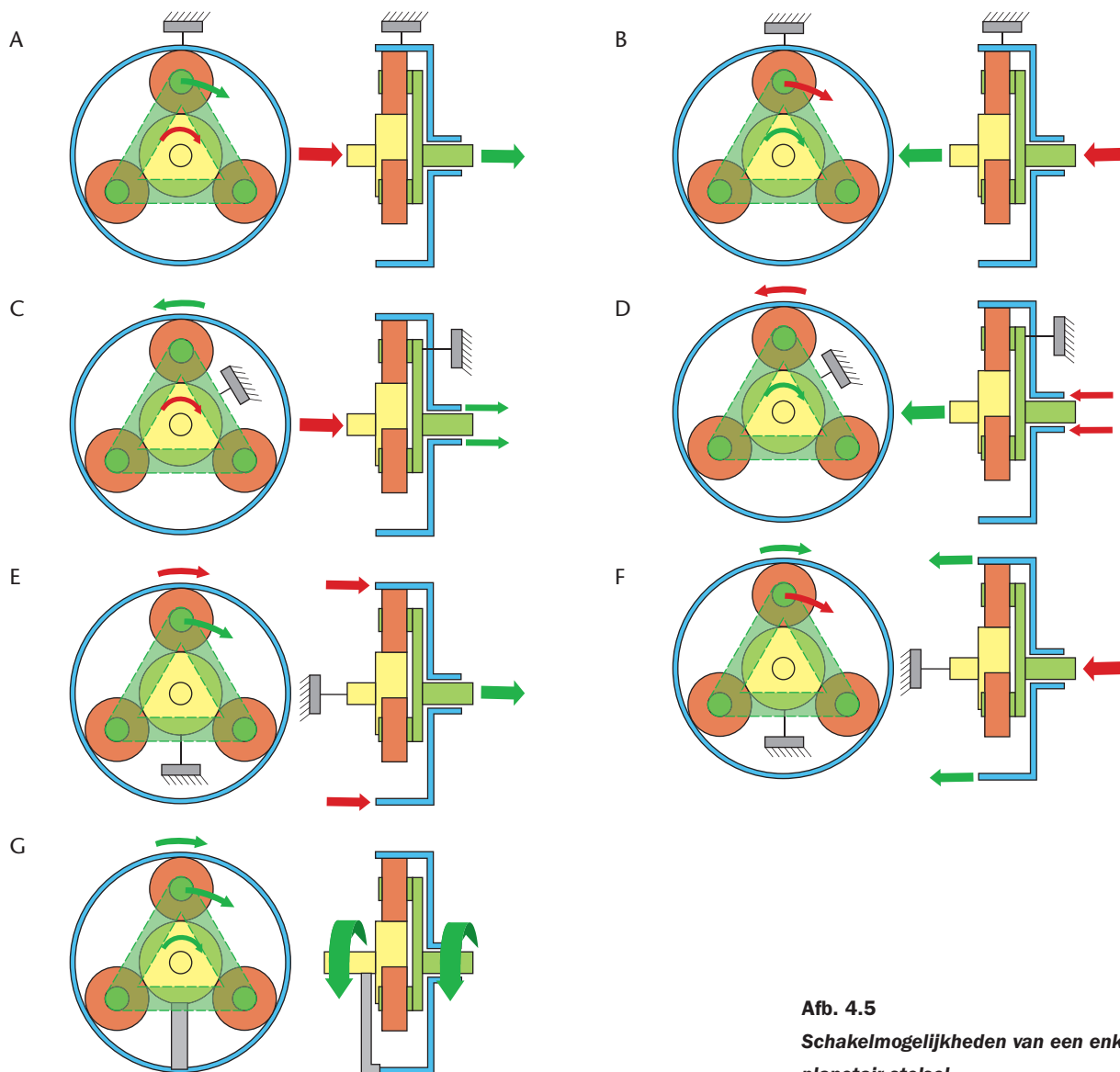
Opbouw van een enkelvoudig planetaire stelsel

De overbrengingsverhouding hangt af van:

- het aantal tanden van het ringwiel;
- het aantal tanden van het zonnewiel.

Het aantal tanden van de satellietwielen heeft geen invloed op de overbrengingsverhouding. Deze tandwielen kunnen we beschouwen als tussentandwielen.

Met één planetair tandwielstelsel kunnen zeven verschillende overbrengingen geschakeld worden. Dit vindt plaats door een onderdeel te blokkeren of door twee onderdelen met elkaar te verbinden. Aan de hand van afbeelding 4.6 en tabel 4.1 bekijken we de schakelmogelijkheden en eigenschappen.

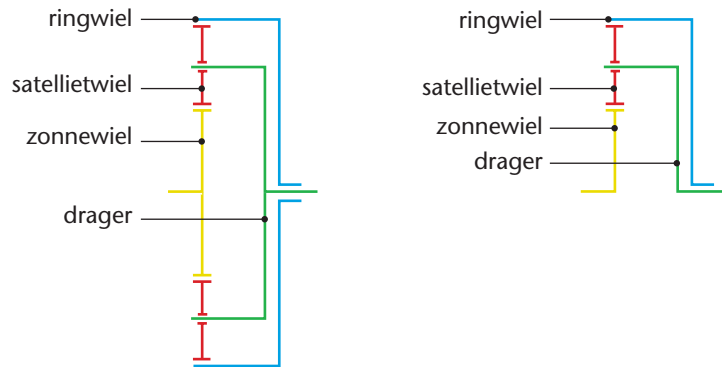


Afb. 4.5
Schakelmogelijkheden van een enkelvoudig planetair stelsel

Tabel 4.1 Bij afbeelding 4.5

	Ringwiel	Drager	Zonnewiel	Overbrenging	Draairichting
Situatie A	Vast	Gedreven	Drijvend	Vertraging	Gelijk
Situatie B	Vast	Drijvend	Gedreven	Versnelling	Gelijk
Situatie C	Gedreven	Vast	Drijvend	Vertraging	Tegengesteld
Situatie D	Drijvend	Vast	Gedreven	Versnelling	Tegengesteld
Situatie E	Drijvend	Gedreven	Vast	Vertraging	Gelijk
Situatie F	Gedreven	Drijvend	Vast	Versnelling	Gelijk
Situatie G	Twee elementen gekoppeld			1 : 1	Gelijk

In handleidingen worden planetaire tandwielstelsels meestal schematisch getekend. In afbeelding 4.6 zien we zo'n schematische tekening van een enkelvoudig stelsel. Links het complete stelsel, rechts het halve stelsel. De rechter 'halve' tekening komen we vaak tegen uit het oogpunt van ruimtebesparing.



Afb. 4.6
Schematische voorstelling van een enkelvoudig planetair stelsel

4.3 Overbrengingsverhouding planetaire stelsels

Overbrengingsverhouding bepalen van een enkelvoudig planetair stelsel

Voor de berekening van de overbrengingsverhouding van een enkelvoudig planetair tandwielstelsel hebben we nodig de diameter of het aantal tanden van:

- ringwiel;
- drager;
- zonnewiel.

De satellietwielen hebben twee bewegingen, namelijk:

- ze draaien om hun as;
- ze draaien rond met de drager.

Deze laten we bij de berekening buiten beschouwing.

Voor de aantallen tanden (afbeelding 4.6) nemen we:

- ringwiel: 60 tanden.
- zonnewiel: 20 tanden.

Het aantal tanden van de satellietwielen speelt geen rol.

Wanneer het zonnewiel één omwenteling rechtsom wordt gedraaid, zal dit tandwiel 20 tanden hebben verplaatst. Het satellietwiel heeft dus 20 tanden verplaatst en ook van het ringwiel zijn dan 20 tanden verplaatst, maar wel linksom. In deze situatie staat de drager stil. We nemen aan dat, wanneer een tandwiel rechtsom draait, dit wordt aangegeven met een (+) teken en wanneer het linksom draait met een (-) teken. Omdat we de drager stilzetten, omzeilen we de dubbele draaiing van de satellietwielen.

De gegevens die we hebben gevonden, noteren we voor de duidelijkheid in tabel 4.2.

Tabel 4.2

Zonnewiel	Verplaatst dan 20 tanden	Dit is 1 omwenteling rechtsom [+]
Drager	Staat stil	Dit is 0 omwentelingen
Ringwiel	Verplaatst ook 20 tanden	Dit is 1/3 omwenteling linksom [-]

Wanneer we de breuken wegwerken en we korten de namen van de elementen af, dan krijgen we het volgende:

$$Z = +3$$

$$D = 0$$

$$R = -1$$

De eerste overbrengingsverhouding is gevonden, want als de drager stilstaat en het zonnewiel draait 3x rechtsom rond, dan zal het ringwiel 1x linksom ronddraaien.

De overbrengingsverhouding is dan:

$$i = \frac{\text{drijvend}}{\text{gedreven}} = \frac{3}{-1} = -3$$

Wanneer we vervolgens de overbrengingsverhouding willen bepalen waarbij het ringwiel stilstaat, dan moet het volgende gebeuren. We tellen nu bij het getal dat achter het ringwiel staat (dat was -1) $+1$ op. Dan is de som uiteindelijk 0.

Deze $+1$ tellen we ook op bij de waarden die achter de drager en het zonnewiel staan.

Zo ontstaan dan de volgende waarden in tabel 4.3.

Tabel 4.3 Ringwiel staat stil

Z	$+3 + (+1)$	+4
D	$0 + (+1)$	+1
R	$-1 + (+1)$	0

In de eerste situatie stond de drager stil en in de tweede situatie stond het ringwiel stil. Nu blijft nog over de situatie dat het zonnewiel stilstaat. Dit kan als volgt worden gedaan. Om het zonnewiel op 0 te krijgen, moet van de bestaande waarde 4 worden afgetrokken of er moet -4 bij worden opgeteld. De situatie die dan ontstaat zie je in tabel 4.4.

Tabel 4.4 Zonnewiel staat stil

Z	$+4 + (-4)$	0
D	$+1 + (-4)$	-3
R	$0 + (-4)$	-4

Om een duidelijk overzicht te krijgen, zetten we de drie toestanden in tabel 4.5 nog eens op een rij:

Tabel 4.5 Drie situaties

Drager staat stil	Ringwiel staat stil	Zonnewiel staat stil
Z = +3	Z = +4	Z = 0
D = 0	D = +1	D = -3
R = -1	R = 0	R = -4

Als we nu de zes mogelijkheden uit het schema van afbeelding toepassen, dan vinden we de volgende overbrengingsverhoudingen:

$$i_1 = \frac{Z}{D} (R = 0) \rightarrow i_1 = \frac{4}{1} = 4$$

$$i_2 = \frac{Z}{R} (D = 0) \rightarrow i_2 = \frac{3}{-1} = -3$$

$$i_3 = \frac{D}{Z} (R = 0) \rightarrow i_3 = \frac{1}{4} = 0,25$$

$$i_4 = \frac{D}{R} (Z = 0) \rightarrow i_4 = \frac{-3}{-4} = 0,75$$

$$i_5 = \frac{R}{Z} (D = 0) \rightarrow i_5 = \frac{-1}{3} = -0,33$$

$$i_6 = \frac{R}{D} (Z = 0) \rightarrow i_6 = \frac{-4}{-3} = 1,33$$

Voorbeeld

We zullen nog een voorbeeld behandelen met de volgende waarden:

- aantal tanden zonnewiel = 21;
- aantal tanden ringwiel = 70.

Drager staat stil.

Wanneer het zonnewiel één omwenteling rechtsom wordt gedraaid, zal dit tandwiel 21 tanden zijn verplaatst. Het satellietwiel is dus 21 tanden verplaatst en ook van het ringwiel zijn dan 21 tanden verplaatst, maar wel linksom. In deze situatie staat de drager stil. De gegevens die we hebben gevonden, noteren we voor de duidelijkheid in tabel 4.6.

Tabel 4.6 Drager staat stil

Zonnewiel	Verplaatst dan 21 tanden	Dit is 1 omwenteling rechtsom [+]
Drager	Staat stil	Dit is 0 omwentelingen
Ringwiel	Verplaatst ook 21 tanden	Dit is 21/70 = 3/10 omwenteling linksom [-]

Wanneer we de breuken wegwerken en we korten de namen van de elementen weer af, dan krijgen we het volgende:

$$Z = +10$$

$$D = 0$$

$$R = -3$$

Als de drager stil staat en het zonniewiel draait 10 maal rechtsom rond, dan zal het ringwiel 3 maal linksom draaien, zie de waarden in tabel 4.7 onder 'drager staat stil'.

Tabel 4.7

	Drager staat stil	Ringwiel staat stil	Zonniewiel staat stil
Z	+10	(+10) + (+3) = +13	(+13) + (-13) = 0
D	0	0 + (+3) = +3	(+3) + (-13) = -10
R	-3	(-3) + (+3) = 0	0 + (-13) = -13

Ringwiel staat stil.

We tellen nu bij het getal dat achter het ringwiel staat (dat was -3) +3 op. Dan is de som 0. Deze +3 tellen we ook op bij de waarden die achter de drager en het zonniewiel staan. Zo ontstaan de waarden die in tabel 4.7 onder 'Ringwiel staat stil' staan.

Zonniewiel staat stil

Om het zonniewiel op 0 te krijgen, moet van de bestaande waarde 13 worden afgetrokken of er moet -13 bij worden opgeteld. De situatie die ontstaat zien we in tabel 4.7 onder 'Zonniewiel staat stil'. De overbrengingsverhoudingen zijn:

$$i_1 = \frac{Z}{D} (R = 0) \rightarrow i_1 = \frac{13}{3} = 4,33$$

$$i_2 = \frac{Z}{R} (D = 0) \rightarrow i_2 = \frac{10}{-3} = -3,33$$

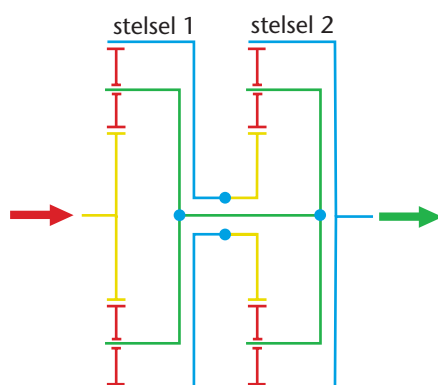
$$i_3 = \frac{D}{Z} (R = 0) \rightarrow i_3 = \frac{3}{13} = 0,23$$

$$i_4 = \frac{D}{R} (Z = 0) \rightarrow i_4 = \frac{-10}{-13} = 0,769$$

$$i_5 = \frac{R}{Z} (D = 0) \rightarrow i_5 = \frac{-3}{10} = -0,3$$

$$i_6 = \frac{R}{D} (Z = 0) \rightarrow i_6 = \frac{-13}{-10} = 1,3$$

In automatische versnellingsbakken worden meestal meer uitgebreide planetaire stelsels toegepast. Afbeelding 4.7 laat schematisch een systeem zien waarbij twee enkelvoudige stelsels aan elkaar gekoppeld zijn.



Afb. 4.7
Twee enkelvoudige planetaire stelsels aan elkaar gekoppeld

Overbrengingsverhouding bepalen van een gecombineerd stelsel

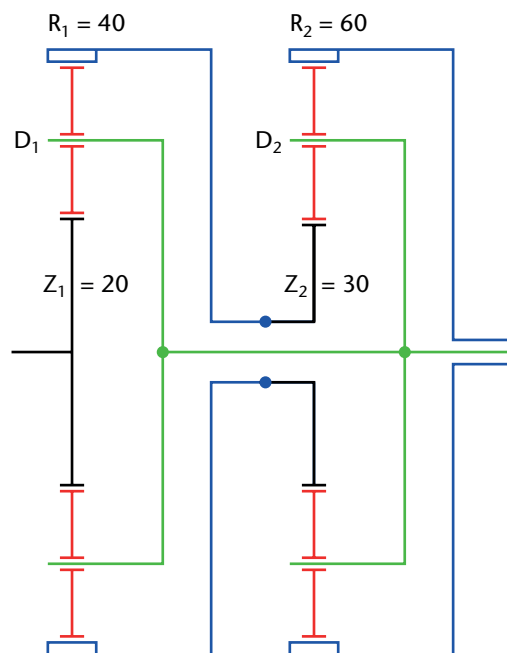
Een systeem waarbij twee enkelvoudige stelsels aan elkaar gekoppeld zijn, noemen we ook wel een gecombineerd stelsel of Simpsonstelsel. Bij een gecombineerd stelsel staan twee elementen uit het ene stelsel in verbinding met het andere stelsel. Eén element uit ieder stelsel heeft geen verbinding met het andere stelsel.

Aan de hand van afbeelding 4.8 zullen we dit uitleggen:

- ringwiel R_1 staat in verbinding met zonniewiel Z_2 ;
- drager D_1 staat in verbinding met drager D_2 ;
- zonniewiel Z_1 heeft geen verbinding met het tweede stelsel;
- ringwiel R_2 heeft geen verbinding met het eerste stelsel.

Voor de duidelijkheid zijn in afbeelding 4.8 het aantal tanden van de tandwielen vermeld. Zo heeft:

- zonniewiel Z_1 heeft 20 tanden;
- zonniewiel Z_2 heeft 30 tanden;
- ringwiel R_1 heeft 40 tanden;
- ringwiel R_2 heeft 60 tanden.



Afb. 4.8
Gecombineerd of Simpsonstelsel

Om de overbrengingsverhouding te bepalen, zetten we de drager 1 vast en wordt het zonniewiel 1 eenmaal rond gedraaid en wel rechtsom.

Dan zijn er ook 20 tanden verplaatst bij het ringwiel 1 en dat is dan $\frac{20}{40} = \frac{1}{2}$ omwenteling, maar wel linksom. Omdat het zonniewiel 2 aan het ringwiel 1 vastzit, heeft het zonniewiel 2 ook een halve omwenteling gemaakt. Dit komt dan overeen met $\frac{1}{2} \times 30 = 15$ tanden verplaatsing. Bij het ringwiel 2 zijn nu ook 15 tanden verplaatst.

Dit komt weer overeen met $\frac{15}{60} = \frac{1}{4}$ omwenteling.

Deze gegevens staan in de eerste rij van tabel 4.8. Wanneer we de breuken uit de eerste rij wegwerken, krijgen we in de tweede rij:

$$\begin{aligned} Z_1 &= +4 \\ D_1 = D_2 &= 0 \\ R_1 = Z_2 &= -2 \\ R_2 &= 1 \end{aligned}$$

Nu beschikken we over voldoende gegevens om het schema voor de verschillende overbrengingsverhoudingen te maken. Let goed op de juiste draairichting.

Zonnewiel Z_1 staat stil

Om het zonnewiel Z_1 op 0 te krijgen, moet van de bestaande waarde 4 worden afgetrokken of er moet -4 bij worden opgeteld. De situatie die ontstaat zien we in tabel 4.8 onder $Z_1 = 0$ (Zonnewiel staat stil). Deze -4 tellen we ook op bij de waarden die achter $D_1 = D_2$, $R_1 = Z_2$ en R_2 staan.

Tabel 4.8

20 tanden verdraaien	Breuken wegwerken			
$D_1 = D_2 = 0$	$D_1 = D_2 = 0$	$Z_1 = 0$	$R_1 = Z_2 = 0$	$R_2 = 0$
$Z_1 = 1$ omw.	$Z_1 = +4$	$+4 + (-4) = 0$	$0 + (+6) = 6$	$6 + (-3) = 3$
$D_1 = D_2 = 0$	$D_1 = D_2 = 0$	$0 + (-4) = -4$	$-4 + (+6) = 2$	$+2 + (-3) = -1$
$R_1 = Z_2 = -1/2$ omw.	$R_1 = Z_2 = -2$	$-2 + (-4) = -6$	$-6 + (+6) = 0$	$0 + (-3) = -3$
$R_2 = 1/4$ omw.	$R_2 = 1$	$1 + (-4) = -3$	$-3 + (+6) = 3$	$+3 + (-3) = 0$

Ringwiel R_1 en zonnewiel Z_2 staan stil

Om $R_1 = Z_2$ op 0 te krijgen tellen we bij het getal dat achter $R_1 = Z_2$ staat (dat was -6) $+6$ op. Dan is de som 0. Deze $+6$ tellen we ook op bij de waarden die achter Z_1 , $D_1 = D_2$ en R_2 staan. De waarden staan in tabel 4.8 onder $R_1 = Z_2 = 0$.

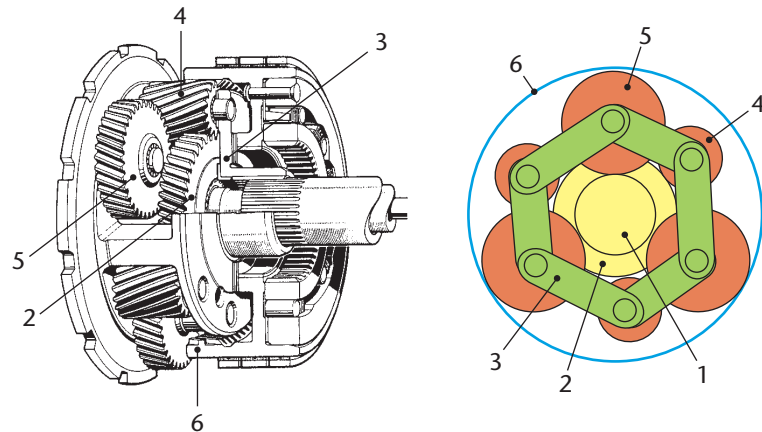
Ringwiel R_2 staat stil

Om R_2 op nul te krijgen tellen we bij het getal dat achter R_2 staat (dat was 3) -3 bij op. Dan is de som 0. Deze -3 tellen we ook op bij de waarden die achter Z_1 , $D_1 = D_2$ en $R_1 = Z_2$ staan. De waarden staan in tabel 4.8 onder $R_2 = 0$.

Afbeelding 4.9 geeft een indruk van een zogenaamd Ravigneaux-stelsel. Bij dit stelsel zien we:

- een klein zonnewiel (1)
- een groot zonnewiel (2)
- een drager (3)
- drie lange satellietwielen (4)
- die korte satellietwielen (5)
- een ringwiel (6).

Door het toepassen van dit soort stelsels wordt bespaard op afmetingen en gewicht.



Afb. 4.9
Een Ravigneaux-stelsel

4.4 Vloeistofkoppeling en koppelomvormer

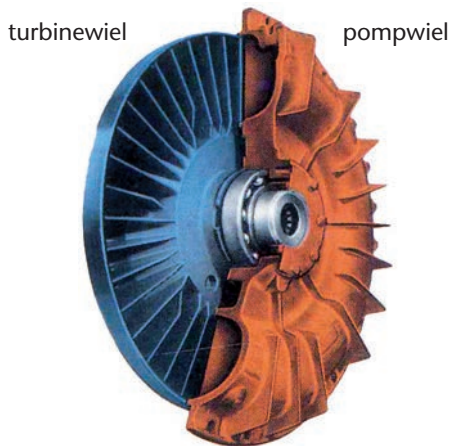
Tussen de motor en een automatische versnellingsbak vinden we meestal een koppeling die het motorkoppel via vloeistofstroming overbrengt. Dit kan zijn:

- een vloeistofkoppeling;
- een koppelomvormer.

Vloeistofkoppeling

Een vloeistofkoppeling bestaat in principe uit twee hoofdcomponenten:

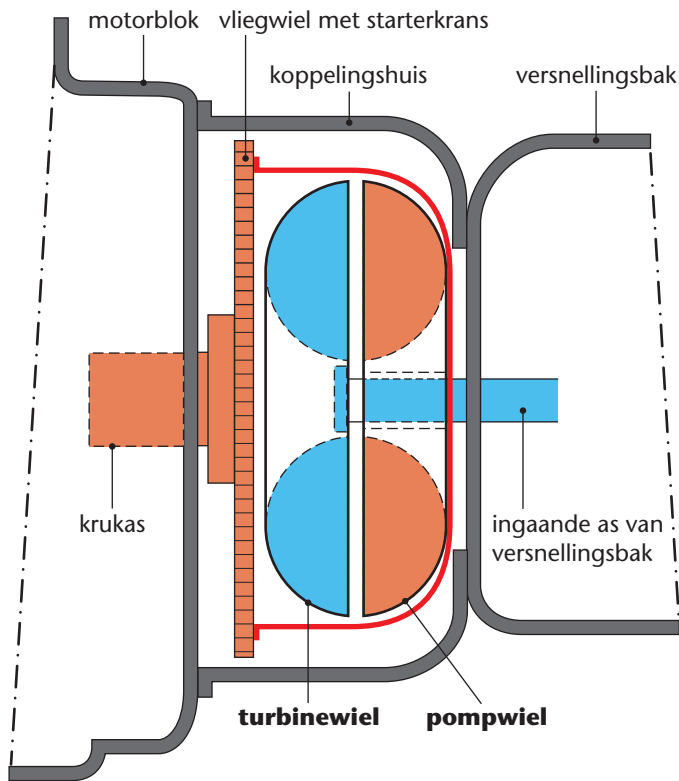
- een pompwiel;
- een turbinewiel.



Afb. 4.10
Pompwiel en turbinewiel zijn voorzien van schoepen

In afbeelding 4.10 kunnen we zien dat beide componenten aan de binnenkant voorzien zijn van schoepen. In afbeelding 4.11 is de vloeistofkoppeling schematisch getekend.

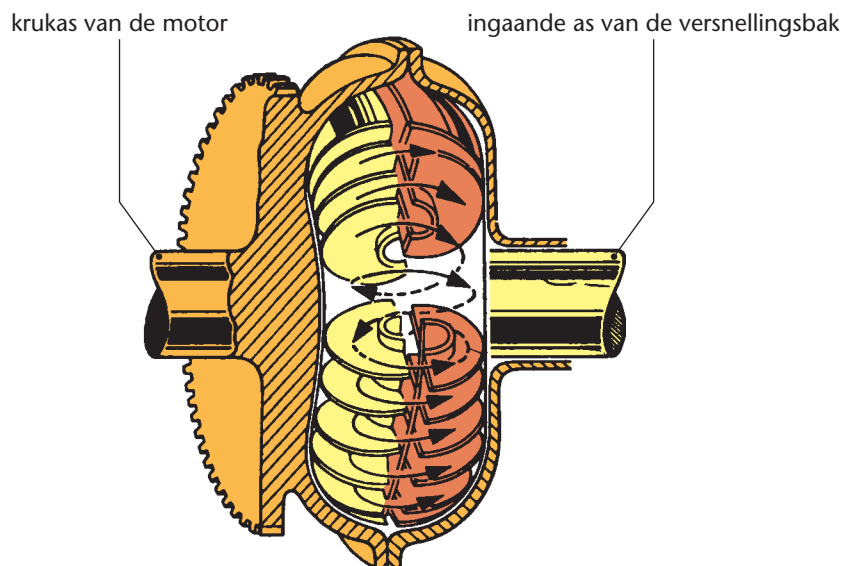
Het pompwiel is verbonden met het vliegwiel van de motor. Als de motor loopt, draait het pompwiel dus ook. Het geheel is dan gevuld met olie. Het vullen met olie wordt verzorgd door een oliepomp. Deze zit in de bijbehorende automatische versnellingsbak.



Afb. 4.11
Opstelling van een systeem met vloeistofkoppeling of koppelomvormer

Als de motor loopt zorgt het pompwiel ervoor dat de olie gaat stromen. De olie stroomt schroefvormig. Afbeelding 4.12 laat dit zien. Dit ontstaat door de combinatie van:

- het verdraaien van het pompwiel;
- de centrifugaalkracht die op de olie werkt.



Afb. 4.12
De oliestroom door pompwiel en turbine wiel bij draaiende motor

De door het pompwiel opgewekte oliestroom botst tegen de schoepen van het turbine wiel. Als de oliestroom krachtig genoeg is gaat het turbine wiel ook draaien. Bij ingeschakelde versnellingsbak en voldoende stroomkracht komt ook de auto in beweging. De grootte van de stroomkracht hangt af van:

- het toerental van pompwiel en turbine wiel;
- de afmetingen en de vorm van pompwiel en turbine wiel.

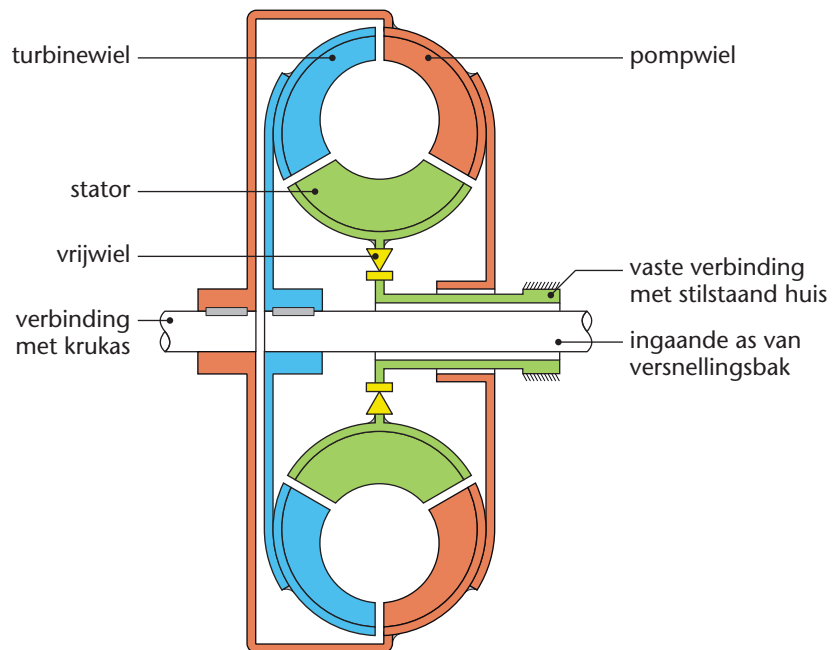
Als het turbinewiel gaat draaien ontstaat ook hier een oliestroom. Deze is tegengesteld gericht aan de oliestroom van het pompwiel. Als pompwiel en turbinewiel met hetzelfde toerental draaien, hebben de stromen dezelfde kracht. Er wordt dan geen koppel meer overgebracht. Het pompwiel zal daarom bij het leveren van trekkracht altijd sneller moeten draaien dan het turbinewiel. Dit wordt 'slippen' genoemd.

Bij constante snelheid bedraagt de slip ongeveer 2 procent. Dit is een nadeel van een vloeistofkoppeling omdat het een negatieve invloed heeft op het rendement. De vloeistofkoppeling wordt niet veel meer toegepast bij auto's. Meestal wordt een koppelomvormer toegepast.

Koppelomvormer

De vloeistofkoppeling geeft het motorkoppel onveranderd door aan de ingaande as van de versnellingsbak. Een koppelomvormer geeft, onder bepaalde omstandigheden, het motorkoppel versterkt door aan de versnellingsbak. Om dit te bereiken bestaat de koppelomvormer uit drie hoofdcomponenten (afb. 4.13):

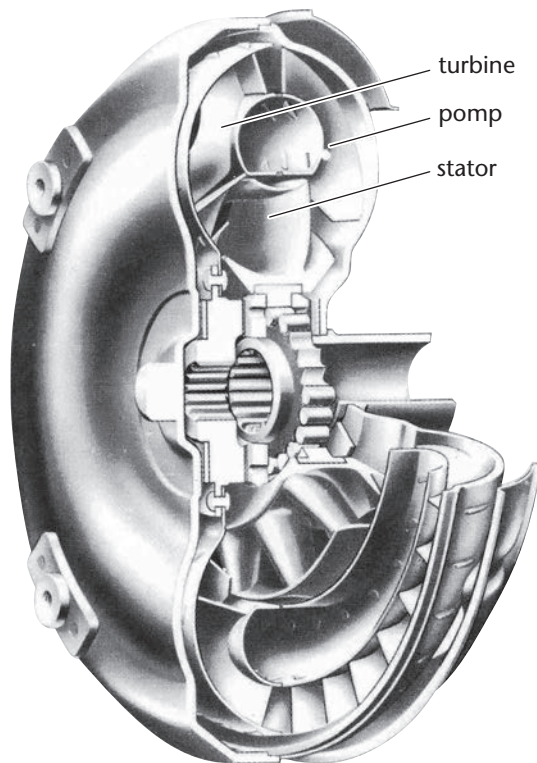
- een pompwiel;
- een turbinewiel;
- een stator.



Afb. 4.13
Schematische voorstelling van een koppelomvormer

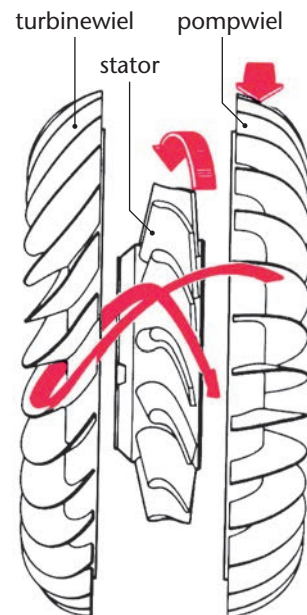
In afbeelding 4.14 zien we, in doorsnede, een voorbeeld van een werkelijke uitvoering.

Net als bij de vloeistofkoppeling bevinden de schoepenwielen zich in een met olie gevuld huis. Het pompwiel is via het huis verbonden met het vliegwielt van de motor. Als de motor loopt, draait daardoor het pompwiel ook. Hierdoor ontstaat een oliestroom als in afbeelding 4.15 is weergegeven.



Afb. 4.14

Voorbeeld van een werkelijke uitvoering van een koppelomvormer in doorsnede



Afb. 4.15

Vloeistofstroom door een koppelomvormer bij bijvoorbeeld wegrijden

Als de oliestroom het turbinewiel verlaat, botst de olie tegen de holle kant van de statorschoepen. De stator wil hierdoor tegengesteld aan de draairichting van het pompwiel gaan draaien. De vrijloopconstructie tussen stator en huis verhindert dit echter. De richting van de oliestroom wordt hierdoor afgebogen in de draairichting van het pompwiel. De hierdoor optredende reactiekracht zorgt ervoor dat het motorkoppel vergroot overgebracht wordt op het turbinewiel.

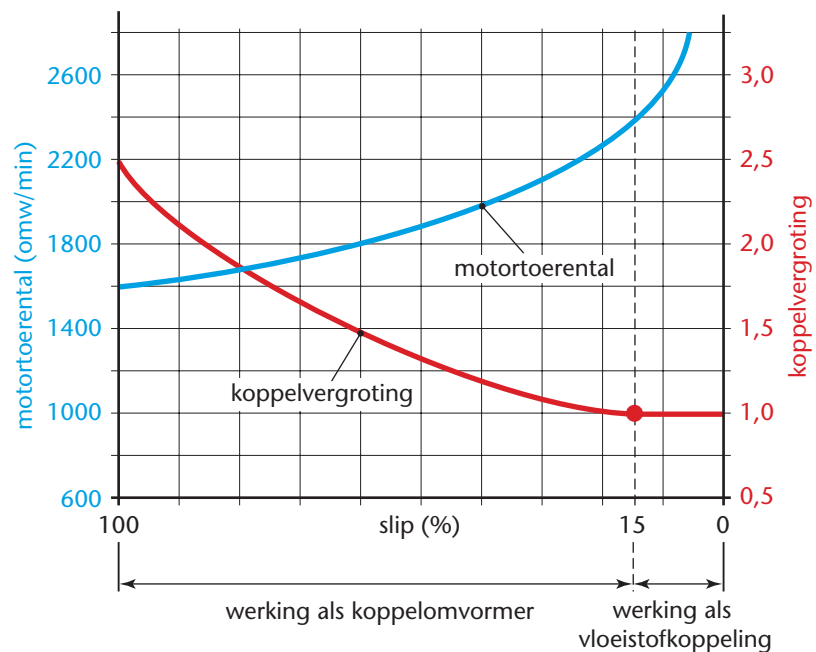
De maximale koppelvergroting treedt op bij wegrijden. De pomp draait dan bij stilstaande turbine. We kunnen dan ook zeggen dat de slip 100% is. Het koppel op de turbine is dan bijvoorbeeld 2,5 keer zo groot als het motorkoppel.

Als de turbine ook gaat draaien neemt de slip af. Er treedt dan een tegengestelde vloeistofstroom op. Deze werkt de vloeistofstroom van het pompwiel tegen. Hierdoor neemt de koppelvergroting af.

De richting waarmee de vloeistofstroom uit het turbinewiel treedt, verandert met het afnemen van de slip. Bij een slip van ongeveer 15% is de stroomrichting zodanig veranderd dat de vloeistof tegen de 'achterkant', de bolle kant, van de statorschoepen botst. Op dat moment is er geen koppelvergroting meer. De koppelomvormer werkt dan verder als vloeistofkoppeling.

Het vrijwiel zorgt ervoor dat de stator nu mee gaat draaien. Hierdoor wordt voorkomen dat de stator de vloeistofstroom tegenwerkt.

In afbeelding 4.16 is, als voorbeeld, het verloop van motortoerental, slip en koppilvergroting weergegeven.

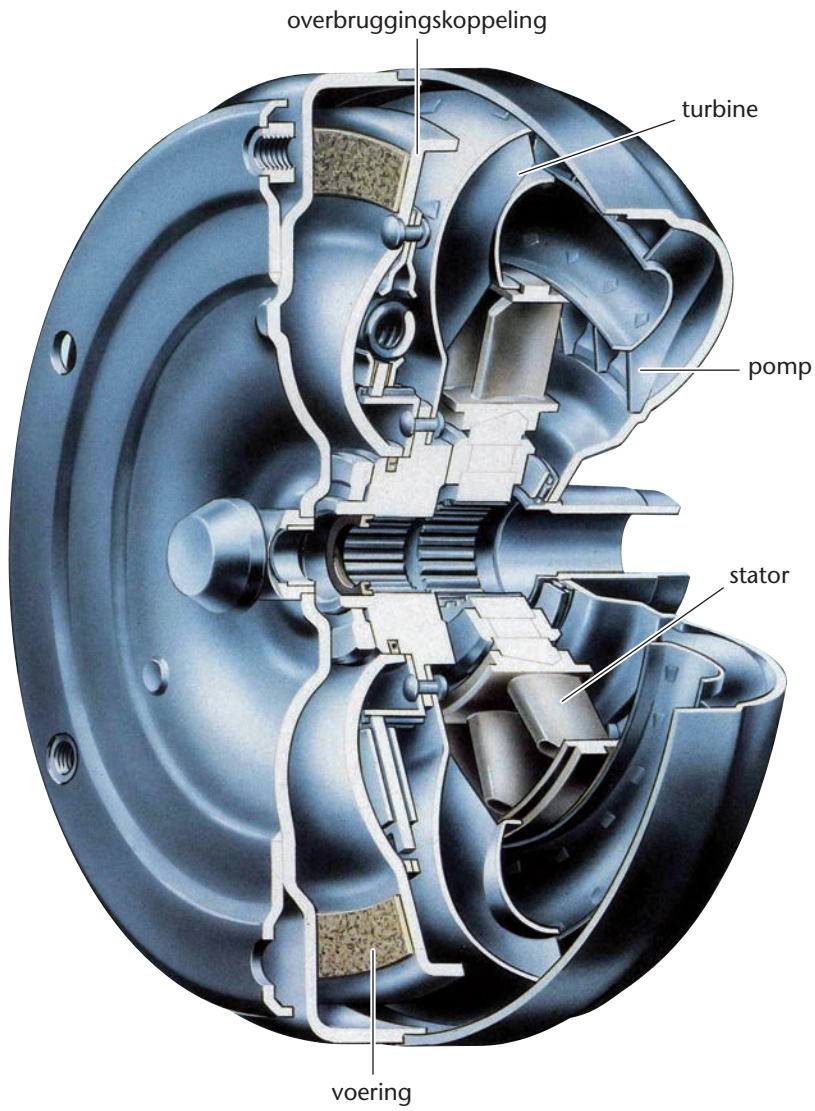


Afb. 4.16
Grafische voorstelling van het verloop van motortoerental, slip en koppilvergroting bij een koppelvormer (voorbeeld)

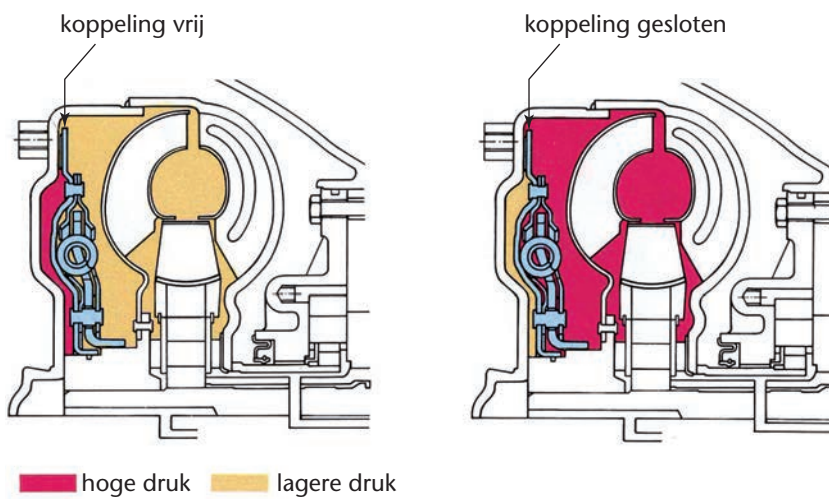
Overbruggingskoppeling

Een nadeel van een vloeistofkoppeling en een koppelvormer is dat ze alleen het motorkoppel over kunnen brengen als er sprake is van slip. Het pompwiel moet altijd sneller draaien dan het turbinewiel. Dit is nadelig voor het rendement. Men brengt daarom een wrijvingskoppeling aan tussen pompwiel en turbinewiel. Deze koppeling wordt 'overbruggingskoppeling' of 'lock-up-koppeling' genoemd. Op het moment dat een koppelvormer als vloeistofkoppeling gaat werken, worden pompwiel en turbinewiel met elkaar verbonden. In afbeelding 4.17 zien we zo'n constructie.

In afbeelding 4.18 is het werkingsprincipe in beeld gebracht. Als de koppeling vrij moet staan, heerst links een hogere oliedruk dan rechts. Door het drukverschil om te keren wordt de koppeling gesloten.



Afb. 4.17
Een koppelomvormer met overbruggingskoppeling



Afb. 4.18
Weringsprincipe van een overbruggingskoppeling

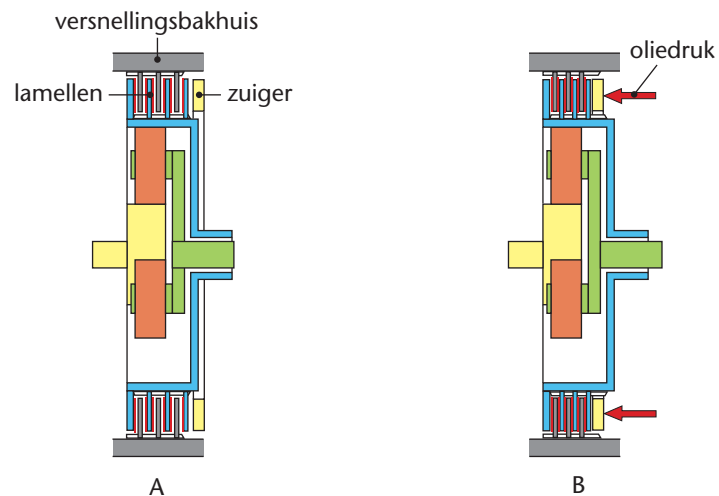
4.5 Automatische versnellingsbak met planetaire tandwielstelsels

Schakelen met planetaire tandwielstelsels

Hiervoor hebben we gezien dat met een planetair tandwielstelsel verschillende overbrengingen gerealiseerd kunnen worden. Dit vindt dan plaats door een deel van zo'n stelsel vast te zetten of door delen met elkaar te verbinden. Dit gebeurt met behulp van remmen en koppelingen.

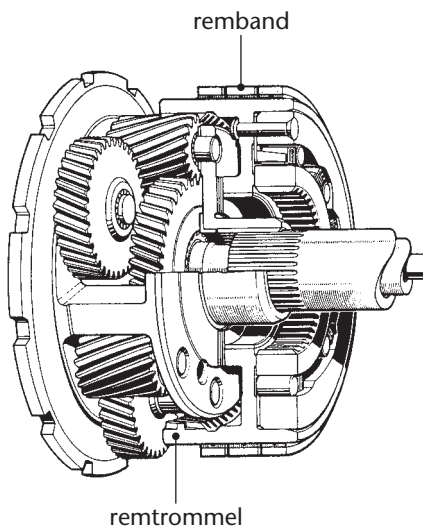
Rem

In afbeelding 4.19 is schematisch weergegeven hoe een deel vast gezet kan worden. Hier wordt het ringwiel vastgezet aan het huis van de versnellingsbak met behulp van een rem.



Afb. 4.19

Met een rem wordt een deel van een planetair stelsel verbonden met het huis van de versnellingsbak



Afb. 4.20

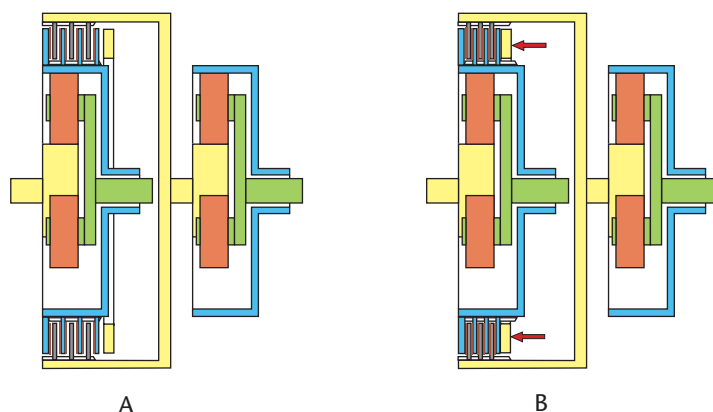
Hier wordt een remband toegepast om een deel met het huis te verbinden

In tekening A kunnen alle delen vrij rond draaien. In tekening B is het ringwiel verbonden met het huis. Deze rem is uitgevoerd met lamellen. Het komt ook voor dat gebruik wordt gemaakt van een bandrem.

In afbeelding 4.20 zien we hiervan een voorbeeld. Via hydraulische weg wordt hier een remband met voering om een trommel geklemd.

Koppeling

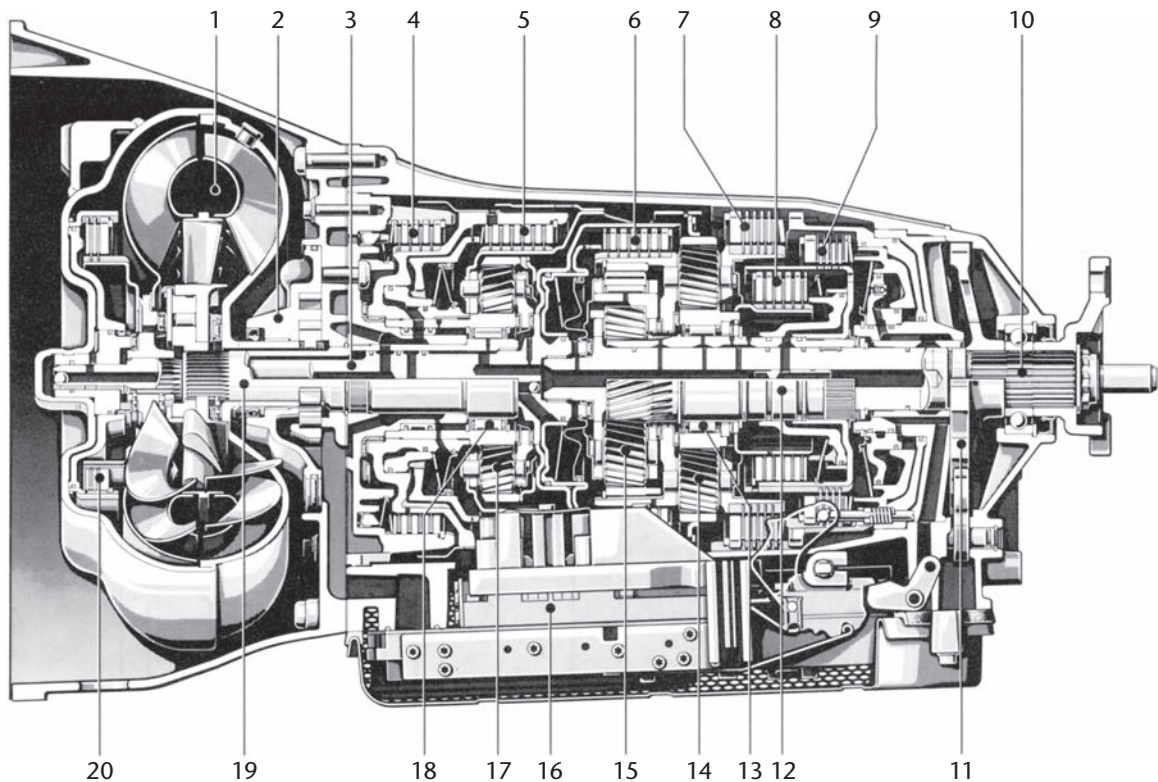
In afbeelding 4.21 is schematisch weergegeven hoe delen van twee planetaire stelsels met elkaar verbonden kunnen worden.



Afb. 4.21

Werkingsprincipe van een koppeling

Met behulp van een lamellenkoppeling wordt het ringwiel van het ene stelsel verbonden met het zonnewiel van het andere stelsel. In tekening A staan de delen los van elkaar. In tekening B zijn ze aan elkaar gekoppeld.



Vrijloop

Naast de rem en de koppeling komen we ook nog vrijloopconstructies tegen in een automatische versnellingsbak. Afhankelijk van de draairichting zijn delen hierdoor wel of niet met elkaar verbonden.

Afbeelding 4.22 toont een complete automatische versnellingsbak in doorsnede. Hierin zien we de toegepaste remmen, koppelingen en vrijlopen.

Enkele van de bij afbeelding 4.22 genoemde componenten hebben nog enige toelichting nodig.

Oliepomp

De oliepompe (2) wordt rechtstreeks aangedreven door de motor. Als de motor loopt, draait de oliepompe ook. De taken van de oliepompe zijn:

- de koppelomvormer vullen en gevuld houden met hydraulische olie (ATF);
- de olie (ATF) door een oliekoeler laten circuleren;
- de olie (ATF) door de te smeren delen laten circuleren;
- de olie (ATF) door het hydraulisch regelsysteem voeren.

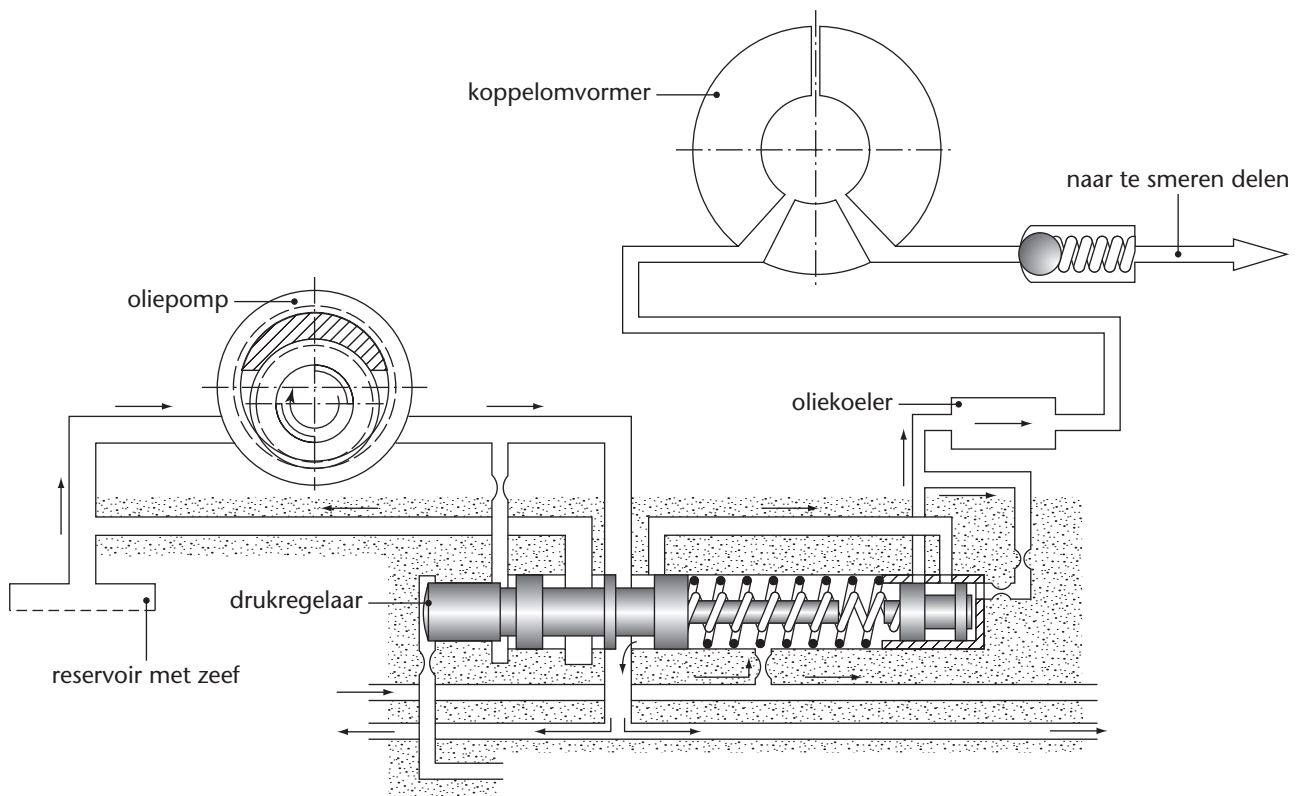
De letters ATF staan voor **A**utomatic **T**ransmission **F**luid. Dit is een minerale olie waaraan verschillende dopes zijn toegevoegd, speciaal ontwikkeld voor automatische versnellingsbakken.

Afb. 4.22

Complete automatische versnellingsbak in doorsnede

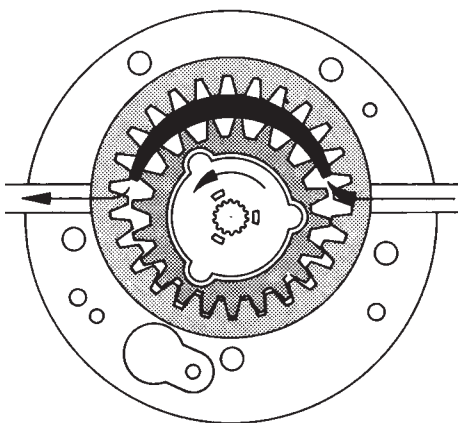
- 1 koppelomvormer
- 2 oliepompe
- 3 as tussen koppelomvormer en versnellingsbak
- 4 lamellenrem
- 5 lamellenkoppeling
- 6 lamellenkoppeling
- 7 lamellenrem
- 8 lamellenkoppeling
- 9 lamellenkoppeling
- 10 uitgaande as naar eindaandrijving
- 11 parkeermechanisme
- 12 tussenas
- 13 vrijloop
- 14 planetair tandwielstelsel
- 15 planetair tandwielstelsel
- 16 elektro-hydraulische eenheid
- 17 planetair tandwielstelsel
- 18 vrijloop
- 19 as van stator
- 20 overbruggingskoppeling (lock-up)

Afbeelding 4.23 geeft schematisch weer hoe een oliepomp opgenomen kan zijn in het hydraulisch systeem. Afbeelding 4.24 toont een veel toegepaste uitvoering van een oliepomp. Het gaat om een zogenaamde halve-maan tandwielpompe.



Afb. 4.23
Schematische opbouw van een oliecircuut
(voorbeeld)

Bij dit systeem kan de auto niet aangeslept worden. Dit omdat de oliepomp alleen draait bij lopende motor. Soms wordt daarom nog een tweede oliepomp toegepast. Deze wordt dan aangedreven door de uitgaande as van de versnellingsbak. Deze tweede pomp zorgt bij aanslepen voor het vullen van de koppelomvormer en het opbouwen van oliedruk voor het schakelen.

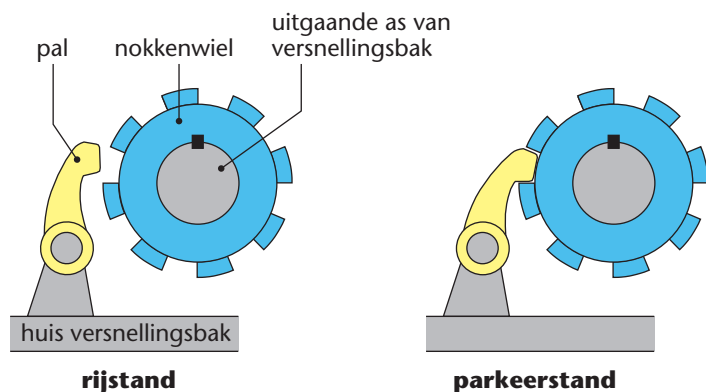


Afb. 4.24
Een veel in automatische versnellingsbakken
toegepaste oliepomp

Parkeermechanisme (11 in afbeelding 4.22)

Bij auto's met een handgeschakelde versnellingsbak kan bij parkeren een versnelling ingeschakeld worden. Het motormechanisme is dan verbonden met de aangedreven wielen. Hierdoor doet de motor dienst als parkeerrem. Bij een automatische versnellingsbak kan dit niet. Hierbij is alleen verbinding tussen motor en aangedreven wielen mogelijk als er oliedruk is. Dus als de motor loopt. Om toch over een vergelijkbare parkeerrem te kunnen beschikken, wordt gebruik gemaakt van een mechanisch werkend parkeermechanisme. Dit mechanisme wordt ingeschakeld door de versnellingspook in de stand 'P' te zetten.

Het mechanisme bestaat uit een schijf met uitsparingen en een pal. Als de versnellingspook in de P-stand wordt gezet, valt de pal in een uitsparing van de schijf. De pal is ook verbonden met het huis van de versnellingsbak. De uitgaande as en de aangedreven wielen kunnen nu niet meer draaien. In afbeelding 4.25 is dit op een eenvoudige manier weergegeven.

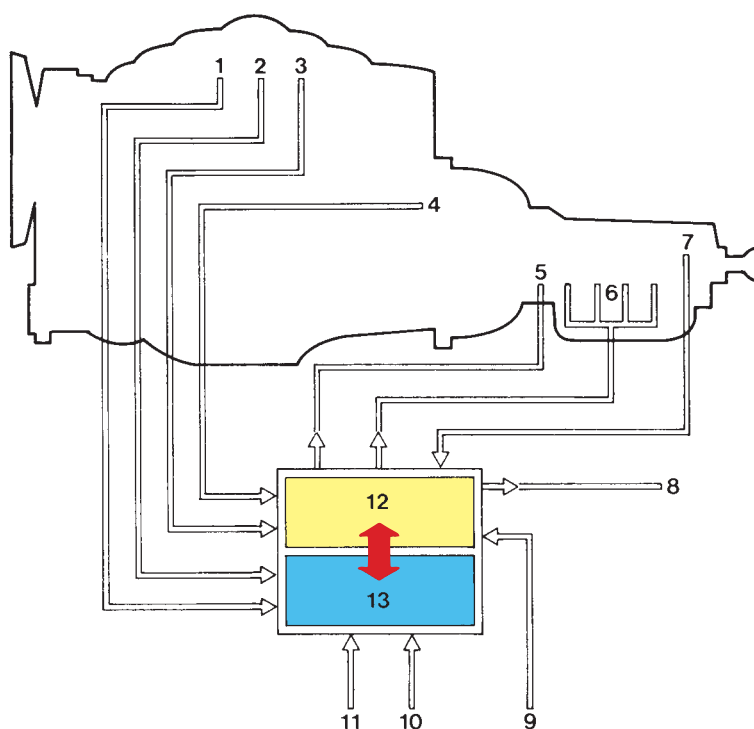


Afb. 4.25
Parkeerremmechanisme

Elektro-hydraulische eenheid (16 in afbeelding 4.22)

Het schakelen in een automatische versnellingsbak wordt geregeld door het openen en sluiten van kleppen. De door de oliepomp opgewekte druk wordt via deze kleppen naar de verschillende hydraulische onderdelen gestuurd. Het aansturen van de kleppen wordt geregeld vanuit een elektronische regeleenheid.

In afbeelding 4.26 is op een eenvoudige manier weergegeven hoe deze regeleenheid opgenomen is in het geheel.

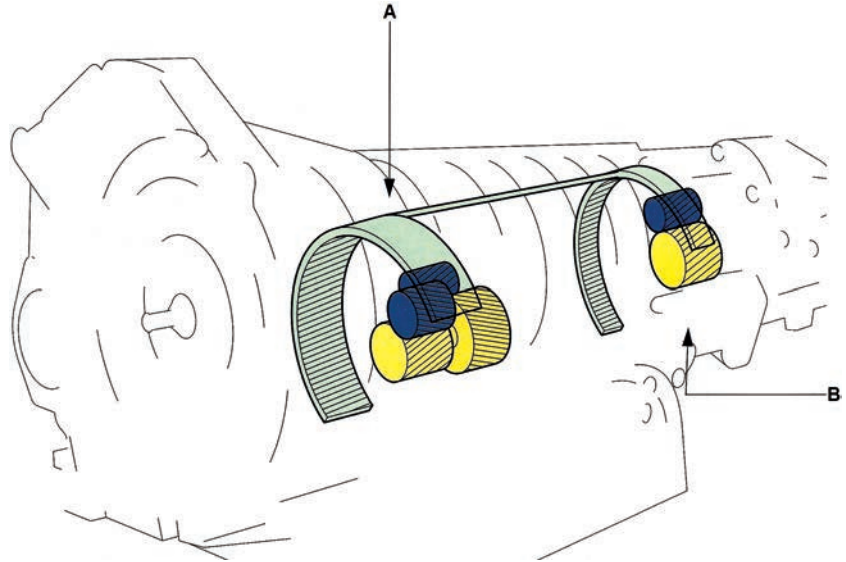


Afb. 4.26
Schematische voorstelling van de aansturing van een automatische versnellingsbak

- 1 gasklep potentiometer
- 2 luchtmassameter
- 3 temperatuursensor koelvloeistof
- 4 motortoerentalsensor
- 5 aansturing drukregelaar versnellingsbak
- 6 aansturing magneetkleppen versnellingsbak
- 7 toerentalsensor uitgaande as versnellingsbak
- 8 controlelamp op instrumentenpaneel
- 9 signaal van programmaschakelaar
- 10 kick-downschakelaar
- 11 stand van versnellingspook
- 12 elektronische regeleenheid versnellingsbak
- 13 elektronische regeleenheid motor

4.6 De vijftrapsautomaat (01V) van VW/Audi

De vijf vooruitversnellingen en één achteruitversnelling worden bij deze versnellingsbak ingeschakeld door een planetair Ravigneaux-tandwielstelsel en een erachter geplaatst enkelvoudig planetair tandwielstelsel, zie afbeelding 4.27, 4.28 en 4.29.



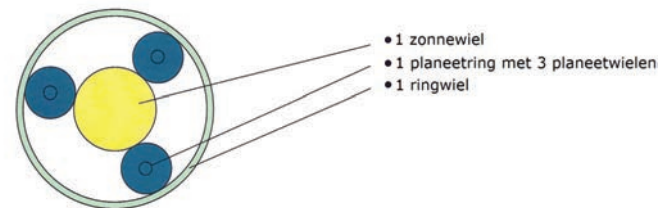
Afb. 4.27
Automatische versnellingsbak met een Ravigneaux-stelsel (A) en een enkelvoudig planetair stelsel (B)

Het planetaire Ravigneaux-tandwielstelsel bestaat uit:



Afb. 4.28
Ravigneaux-stelsel

Het erachter geplaatste planetaire tandwielstelsel bestaat uit:



Afb. 4.29
Enkelvoudig planetair stelsel

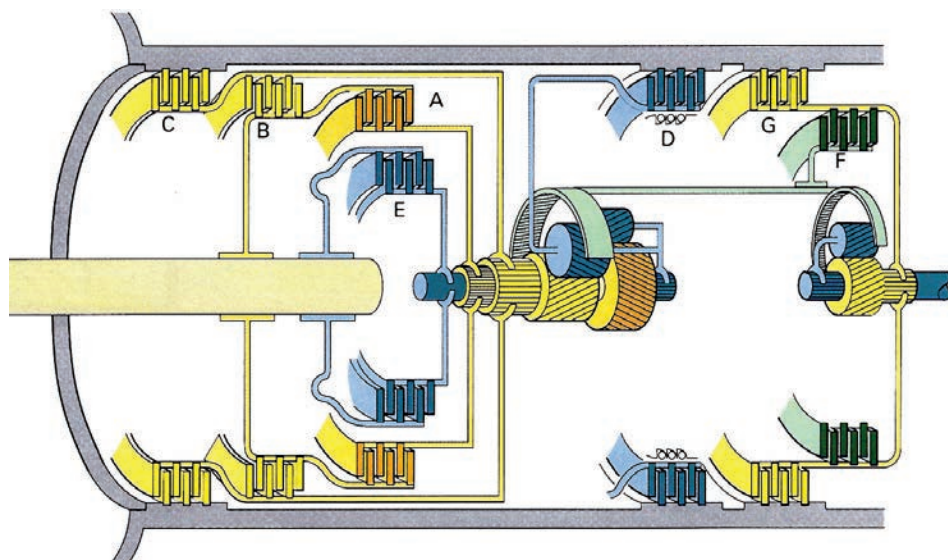
De ringwielen van beide planetaire tandwielstelsels zijn met elkaar verbonden en bewegen gelijktijdig.

Voor de krachtoverbrenging van het Ravigneaux-tandwielstelsel, zie afbeelding 4.30 en 4.31, zijn nodig:

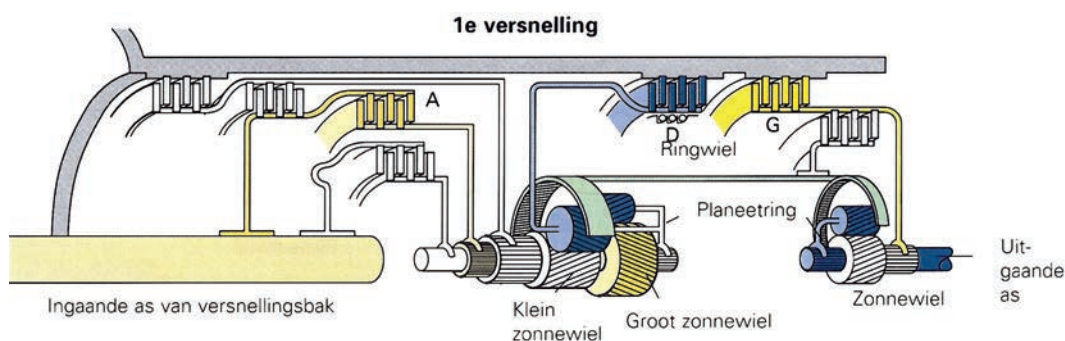
- koppeling A → drijft groot zonnewiel aan;
- rem C → blokkeert klein zonnewiel;
- koppeling B → drijft klein zonnewiel aan;
- rem D (vrijloop D) → blokkeert planeetring;
- koppeling E → drijft planeetring aan.

Voor de krachtoverbrenging van het erachter geplaatste planetaire tandwielstelsel zijn nodig:

- rem G → blokkeert zonnewiel;
- koppeling F → drijft zonnewiel aan.



Afb. 4.30
Overzicht van koppelingen en remmen in de vijftrapsautomaat 01V



Afb. 4.31
Overzicht werking 1^e versnelling

Het ringwiel wordt aangedreven door het Ravigneaux-tandwielstelsel en tegelijkertijd drijft het ringwiel het erachter geplaatste tandwielstelsel aan.

De uiteindelijke aandrijving van de versnellingsbak vindt plaats via de planeetring van het erachter geplaatste planetaire tandwielstelsel.

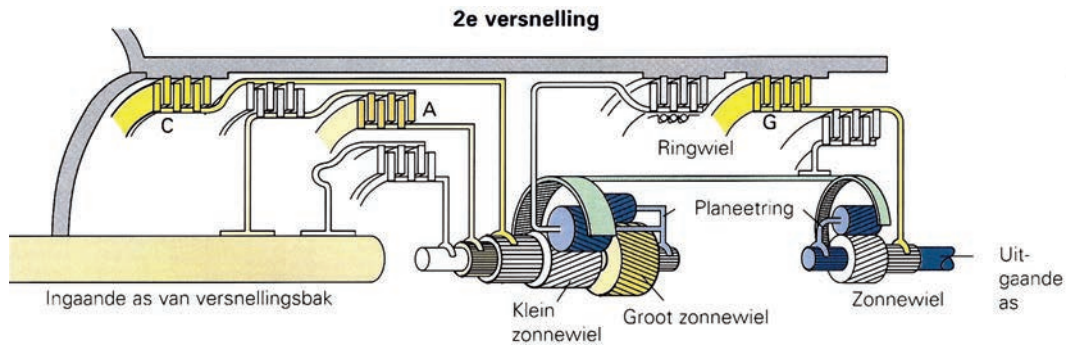
In de stand D (Drive) worden de 1^e t/m de 5^e versnelling automatisch geschakeld.

In de 1^e versnelling, zie afbeelding 4.31:

- drijft koppeling A het grote zonnewiel aan;
- blokkeert vrijloop D de planeetring;
 - het grote zonnewiel drijft de planeetring aan;
 - de planeetwielen drijven het ringwiel aan;
 - het ringwiel drijft het erachter geplaatste ringwiel aan.
- blokkeert rem G het erachter geplaatste zonnewiel;
 - het ringwiel drijft de erachter geplaatste planeetringen aan waardoor de uiteindelijke aandrijving ontstaat.

In de 2^e versnelling, zie afbeelding 4.32:

- drijft koppeling A het grote zonnewiel aan;
 - het grote zonnewiel drijft de planeetwielen aan.
- blokkeert rem C het kleine zonnewiel;
 - de planeetwielen rollen over het kleine zonnewiel;
 - de planeetwielen drijven het ringwiel aan;
 - het ringwiel drijft het erachter geplaatste ringwiel aan.
- blokkeert rem G het erachter geplaatste zonnewiel;
 - het erachter geplaatste ringwiel drijft de planeetwielen aan;
 - de planeetwielen rollen over het zonnewiel en zorgen voor de uiteindelijke aandrijving.

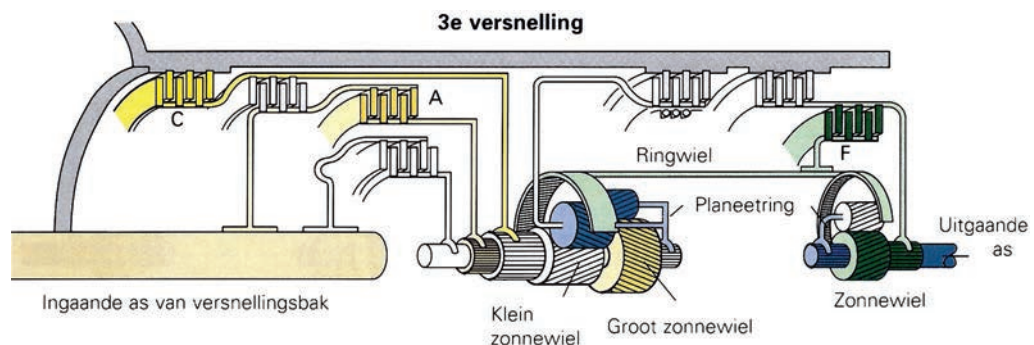


Afb. 4.32

Overzicht werking 2^e versnelling

In de 3^e versnelling, zie afbeelding 4.33:

- werkt het planetaire Ravigneaux-tandwielstelsel net zoals bij de 2^e versnelling;
 - het ringwiel drijft het erachter geplaatste ringwiel aan.
- koppeling F drijft het erachter geplaatste zonnewiel aan;
 - de planeetring blokkeert;
 - zonnewiel, planeetring en ringwiel draaien met hetzelfde toerental;
 - de overbrenging is dus 1 : 1.

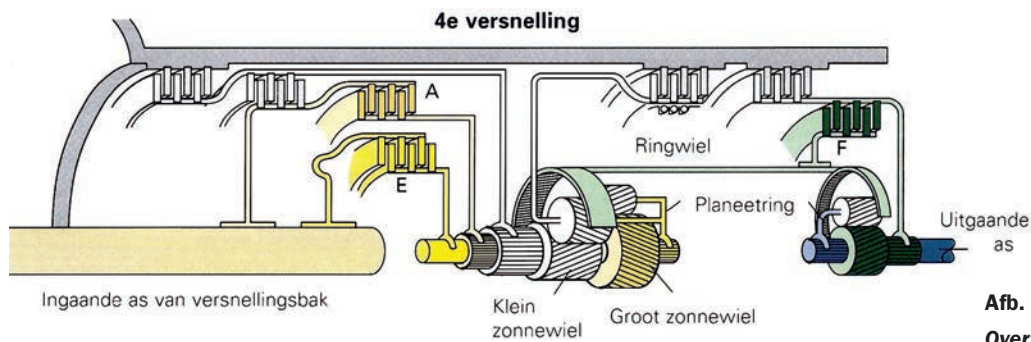


Afb. 4.33

Overzicht werking 3^e versnelling

In de 4^e versnelling, zie afbeelding 4.34:

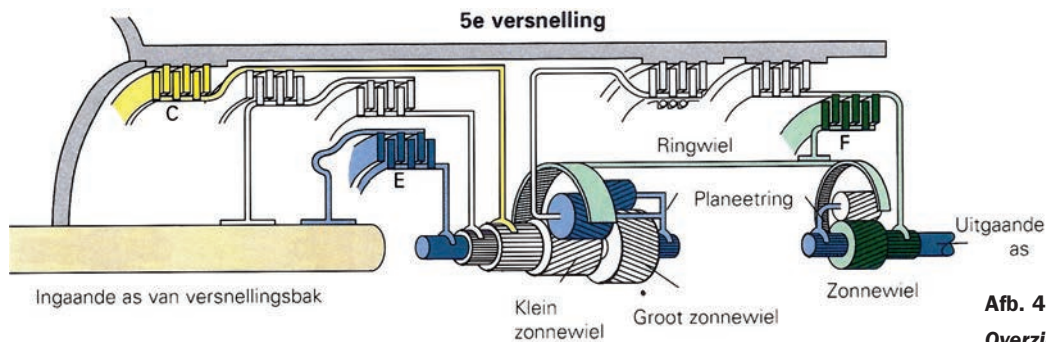
- drijven koppeling A en E de planeetringen en het grote zonnewiel aan;
 - deze blokkeren;
 - het ringwiel wordt met het ingangstoerental aangedreven.
- het erachter geplaatste tandwielstelsel blokkeert, net zoals bij de 3^e versnelling.



Afb. 4.34
Overzicht werking 4^e versnelling

In de 5^e versnelling, zie afbeelding 4.35:

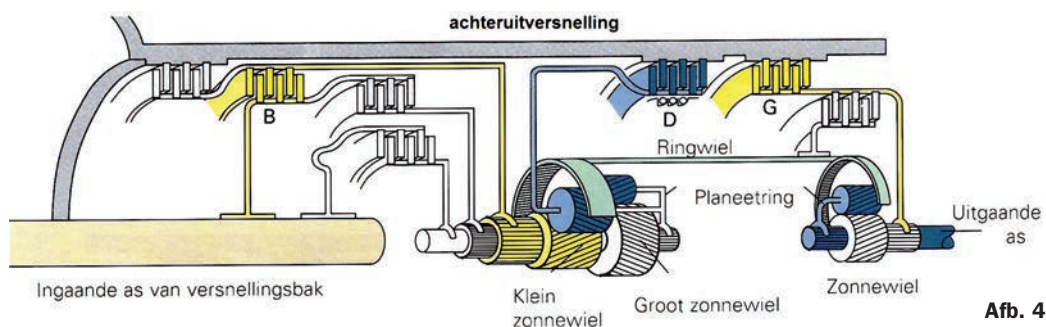
- drijft koppeling E de planeetring aan;
- blokkeert rem C het kleine zonnewiel;
 - de planeetwielen rollen over het kleine zonnewiel en drijven het ringwiel aan;
 - het ringwiel drijft het erachter geplaatste ringwiel aan;
 - het erachter geplaatste tandwielstelsel werkt tijdens de blokkering net zo als bij de 3e en 4e versnelling.



Afb. 4.35
Overzicht werking 5^e versnelling

In de achteruitversnelling, zie afbeelding 4.36:

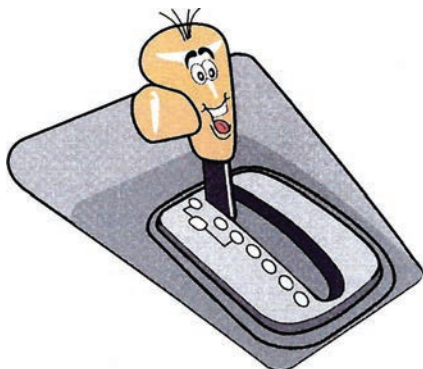
- drijft koppeling B het kleine zonnewiel aan;
- blokkeert rem D de planeetring;
 - het kleine zonnewiel drijft de planeetwielen in tegenovergestelde richting aan;
 - de planeetwielen drijven het ringwiel in tegenovergestelde richting aan;
 - het ringwiel drijft het erachter geplaatste ringwiel aan.
- rem G blokkeert het erachter geplaatste zonnewiel;
 - het ringwiel drijft de planeetwielen aan;
 - de planeetwielen rollen over het zonnewiel en zorgen voor de uiteindelijke aandrijving.



Afb. 4.36
Overzicht achteruitversnelling

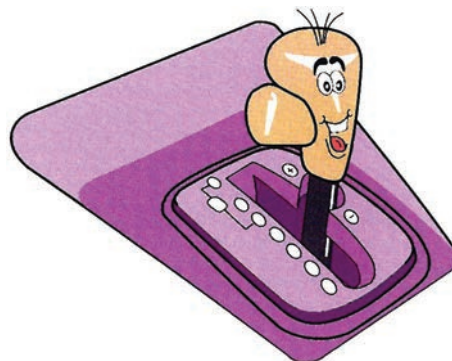
De selectiehefboom

De selectiehefboom zonder Tiptronic heeft één schakelweg. De hefboom kan in de standen P, R, N, D, 4, 3 en 2 worden gezet, zie afbeelding 4.37. De eerste versnelling kan niet door de bestuurder worden ingeschakeld. Deze wordt door het regelapparaat ingeschakeld, afhankelijk van de belasting van de auto.



Afb. 4.37

Selectiehefboom zonder Tiptronic



Afb. 4.38

Selectiehefboom met Tiptronic

De selectiehefboom van de automatische versnellingsbak met Tiptronic heeft twee schakelwegen. Als de hefboom in de linker schakelweg wordt gezet, is het **dynamische schakelprogramma** (DSP) actief, zie afbeelding 4.38. Net zoals bij de normale selectiehefboom kunnen de standen P, R, N, D, 4, 3 en 2 worden ingeschakeld.

De Tiptronic wordt geactiveerd wanneer de bestuurder de selectiehefboom vanuit stand 'D' in de rechterschakelweg zet, zie afbeelding 4.38. Het schakelen vindt plaats door kort aantippen van de selectiehefboom. Wanneer de selectiehefboom naar voren of naar achteren wordt gedrukt, schakelt de versnellingsbak op of terug. Richting + een versnelling hoger en richting – een versnelling lager. Op het instrumentenpaneel wordt de hogere of lagere ingeschakelde versnelling direct weergegeven, zie afbeelding 4.39.

Afb. 4.39








De hogere of lagere ingeschakelde versnelling wordt direct weergegeven op het instrumentenpaneel



De automatische versnellingsbak met Tiptronic schakelt in de volgende hogere versnelling, net voordat het maximale motortoerental wordt bereikt. Bij de kickdown schakelt de versnellingsbak voor het accelereren even terug.

Automatisch schakelen

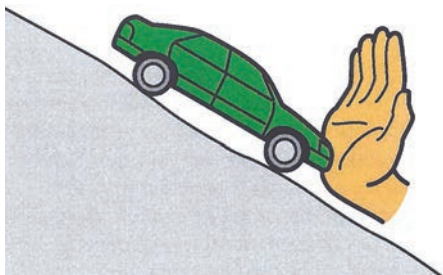
Op het instrumentenpaneel (afb. 4.40) is in één oogopslag te zien in welke stand de selectiehefboom staat.

	Parkeervergrendeling
	Achteruitversnelling
	Neutraal
	Drive: Automatisch schakelen van 1e - 5e versnelling
	Automatisch schakelen van 1e - 4e versnelling
	Automatisch schakelen van 1e - 3e versnelling
	Automatisch schakelen van 1e - 2e versnelling

Afb. 4.40

Stand selectiehefboom is zichtbaar op instrumentenpaneel

In stand 2 wordt bij bergaf rijden tevens gebruik gemaakt van de remmende werking van de motor, zie afbeelding 4.41. In de andere standen zorgt de helling voor een extra versnelling, zie afbeelding 4.42.



Afb. 4.41

In stand 2 wordt de remmende werking van de motor gebruikt



Afb. 4.42

De helling zorgt voor een extra versnelling

Overlappingsschakeling

De overlappingsschakeling heeft tot doel het overschakelen vloeiend te laten verlopen.

Tijdens het schakelen wordt het koppel verdeeld over de koppelingen. De druk op de inschakelende koppeling neemt toe. Tegelijkertijd neemt de druk op de uitschakelende koppeling af. De inschakelende koppeling neemt geleidelijk het koppel over.

Het regelapparaat van de automatische versnellingsbak regelt de overlappingsschakeling. Het heeft de volgende signalen nodig:

- motortoerental;
- brandstofverbruik;
- ingangstoerental versnellingsbak;
- toerental versnellingsbak (rijnsnelheid).

Dynamisch schakelprogramma (DSP)

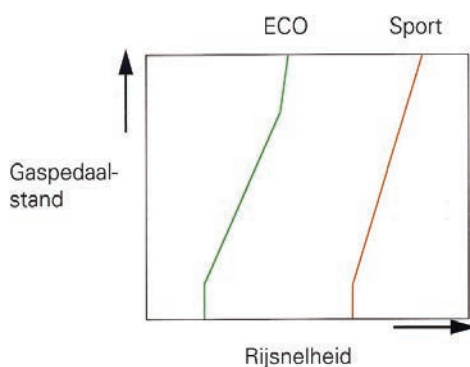
De automatische versnellingsbak heeft een dynamisch schakelprogramma dat zich instelt op de bestuurder(s).

Tot nu toe waren 2 schakelkarakteristieken (ECO en Sport) in het regelapparaat vastgelegd, zie afbeelding 4.43.

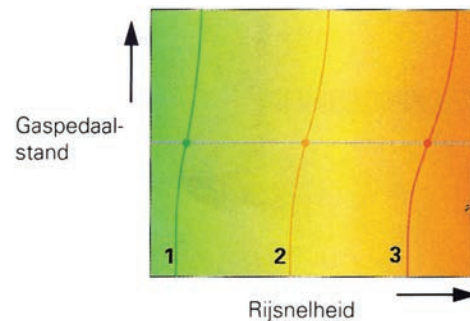
ECO: vroeg opschakelen en laat terugschakelen = lage toerentallen → laag brandstofverbruik.

Sport: bij dezelfde gaspedaalstand, maar bij hogere rijsnelheid op of terugschakelen = hoge toerentallen → hoge prestaties.

Bij de uitvoering met het dynamisch schakelprogramma legt het regelapparaat de schakelpunten via een kenveld vast. Er zijn nu ongeveer 240 verschillende schakelkarakteristieken. Hierdoor kan veel beter rekening gehouden worden met de bestuurders.



Afb. 4.43
ECO en Sportstand



Afb. 4.44
Kenveld met 3 schakelkarakteristieken

Aan de hand van de snelheid waarmee de bestuurder het gaspedaal intrapt, berekent het schakelapparaat volgens welke karakteristiek moet worden geschakeld. De stand van het gaspedaal en het motortoerental bepalen wanneer er geschakeld wordt. In afbeelding 4.44 zijn drie voorbeelden weergegeven.

Voorbeeld 1 (meer ECO): Het gaspedaal werd langzaam ingetrappt.
Voorbeeld 2: Het gaspedaal werd met gemiddelde kracht ingetrappt.
Voorbeeld 3 (meer Sport): Het gaspedaal werd snel ingetrappt.

Hoewel het gaspedaal in dezelfde stand staat, schakelt de automatische versnellingsbak volgens de karakteristiek bij verschillende snelheden en past zich zo aan de 'wens' van de bestuurder aan.

Het dynamische schakelprogramma zorgt er ook voor:

- dat de motor in koude toestand sneller warm wordt. Er wordt in eerste instantie pas bij hogere toerentallen geschakeld. Hierdoor wordt de katalysator sneller warm;
- dat bij ritten in bergachtig gebied het regelapparaat het overschakelen aanpast aan de hellingen. Het zorgt ervoor dat er niet te vaak wordt geschakeld.

Uitval van het regelapparaat

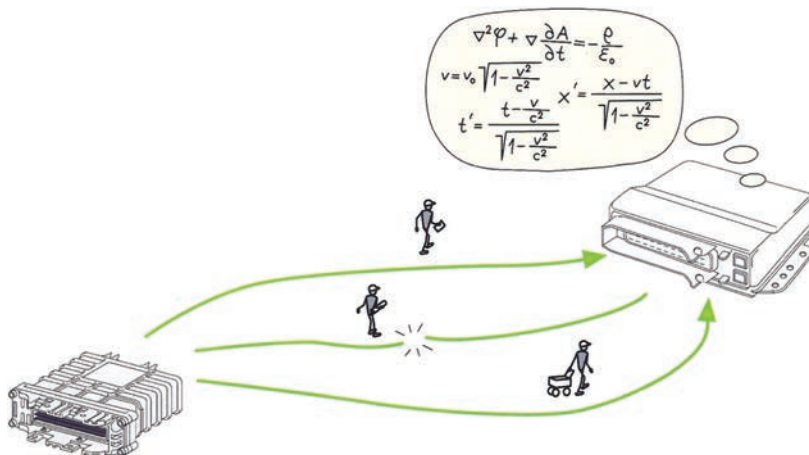
Bij uitval van het regelapparaat werkt de versnellingsbak in het noodprogramma, zie tabel 4.9.

Tabel 4.9 Noodprogramma versnellingsbak

Zelfdiagnose 'storingsmelding'	voedingsspanning signaal te zwak	aanduiding selectiehefboomstand donker
	voedingsspanning kortsluiting met massa	aanduiding selectiehefboomstand donker
	regeleenheid defect	alle segmenten van de aanduiding lichten op

Vervangende functies

Wanneer het signaal van een sensor wegvalt, probeert het regelapparaat van de automatische versnellingsbak een vervangend signaal aan de hand van de signalen van andere sensoren te berekenen. Als een vervangend signaal kan worden verkregen, blijven de versnellingsbakfuncties nagenoeg intact, zie afbeelding 4.45.



Afb. 4.45

Bij uitvallen van een sensor probeert het regelapparaat een vervangend signaal te berekenen

Voorbeeld:

Valt het kickdownsignaal weg, dan analyseert het regelapparaat van de automatische versnellingsbak de gasklepstand. Als de gasklep 95% of meer geopend is, worden de kickdownfuncties geactiveerd.

Bij een aantal vervangende functies moet rekening worden gehouden met twee beperkingen:

- de schakelovergangen verlopen minder vloeiend;
- het dynamische schakelprogramma is buiten werking.

Noodprogramma

Als er geen vervangend signaal kan worden verkregen, schakelt het systeem over op het noodprogramma. De auto kan dan blijven rijden.



Afb. 4.46

Tijdens het noodprogramma en actief regelapparaat branden alle segmenten



Afb. 4.47

Tijdens het noodprogramma en defect regelapparaat zijn alle segmenten gedooft

Tijdens het noodprogramma:

- zijn alle magneetkleppen stroomloos en worden ze door veren in een ruststand gedrukt;
- rijdt de auto alleen nog vooruit in de 4e versnelling;
- kan de achteruitversnelling worden ingeschakeld;
- werkt het hydraulische systeem met de maximale druk;
- wordt de koppelvormerkoppeling niet meer gesloten.

Tijdens het noodprogramma en bij een actief regelapparaat branden alle segmenten van de aanduiding selectiehefboomstand in het instrumentenpaneel, zie afbeelding 4.46.

Tijdens het noodprogramma en bij een defect regelapparaat zijn alle segmenten van de aanduiding selectiehefboomstand donker, zie afbeelding 4.47. De selectiehefboomvergrendeling is dan niet actief.

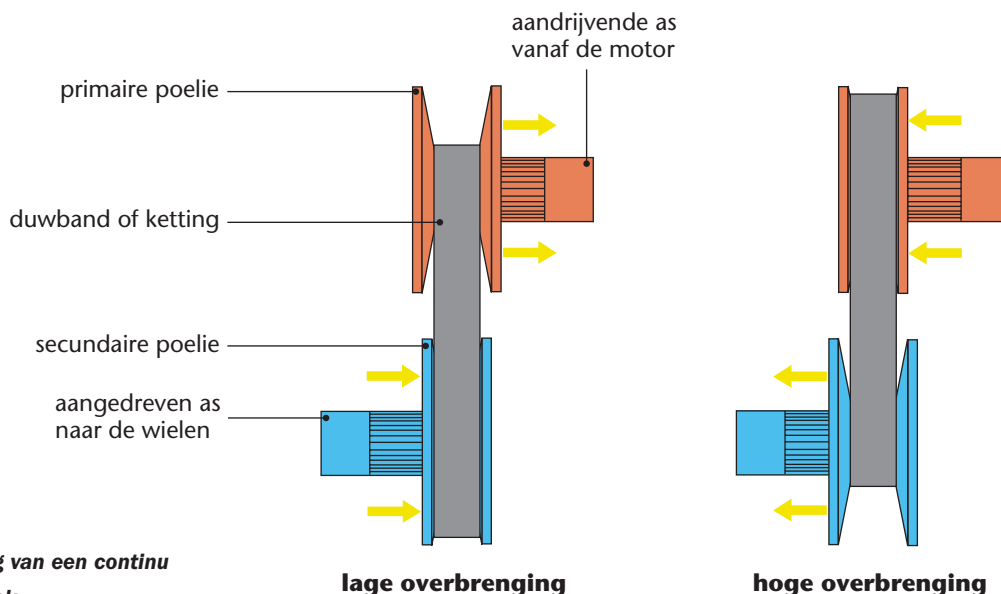
4.7 Continu variabele transmissie (CVT)

Bij een **continu variabele transmissie (CVT)** gebeurt het traploos schakelen door het veranderen van de aandrijfdiameter van de V-schijven.

In principe bestaat de continu variabele transmissie uit:

- twee V-schijven;
- een 'duw- of trekband'.

De V-schijven (poelies) bestaan uit twee helften. Deze helften zijn ten opzichte van elkaar te verschuiven. Afbeelding 4.48 geeft de opbouw weer.



Afb. 4.48

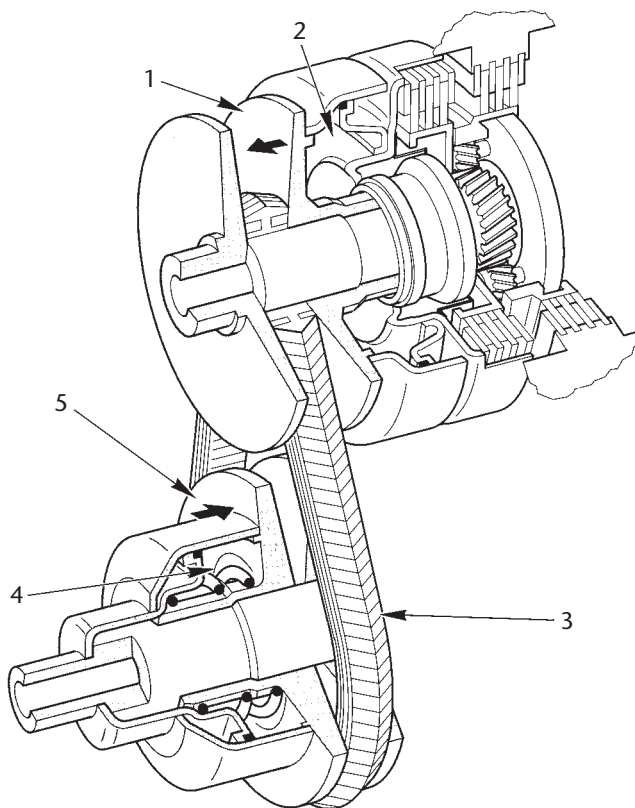
Principe van de werking van een continu variabele versnellingsbak

In de linker tekening loopt de riem diep in de primaire poelie. Deze poelie wordt door de motor aangedreven. In de secundaire poelie loopt de riem hoog. Deze poelie is via de eindaandrijving verbonden met de aangedreven wielen. Er is nu sprake van een vertraging. We zouden dit de 'eerste' versnelling kunnen noemen.

In de rechter tekening loopt de riem hoog in de primaire poelie. In de secundaire poelie loopt de riem laag. Er is nu sprake van een versnelling. We zouden dit de 'hoogste' versnelling kunnen noemen.

Tussen deze twee uiterste standen is elke stand van de poelies mogelijk. Op deze manier ontstaat een continu aanpasbare overbrengingsverhouding.

De doorsnedetekening (afb. 4.49) geeft een indruk van de werkelijke uitvoering. We zien dat de rechter helft van de primaire poelie axiaal kan verschuiven op de as. De linker helft van de secundaire poelie kan ook axiaal verschuiven. Dit verschuiven vindt plaats door hydraulische druk. In de ruimten 2 en 4 bevindt zich olie onder druk.



Afb. 4.49
Opbouw van een continu variabele
versnellingsbak

Als de druk in ruimte 2 hoger is dan in ruimte 4, dan:

- schuiven de poeliehelften van de primaire poelie naar elkaar toe. De riem gaat dan op een grotere diameter lopen.
- schuiven de poeliehelften van de secundaire poelie uit elkaar. De riem gaat hier dan op een kleinere diameter lopen.

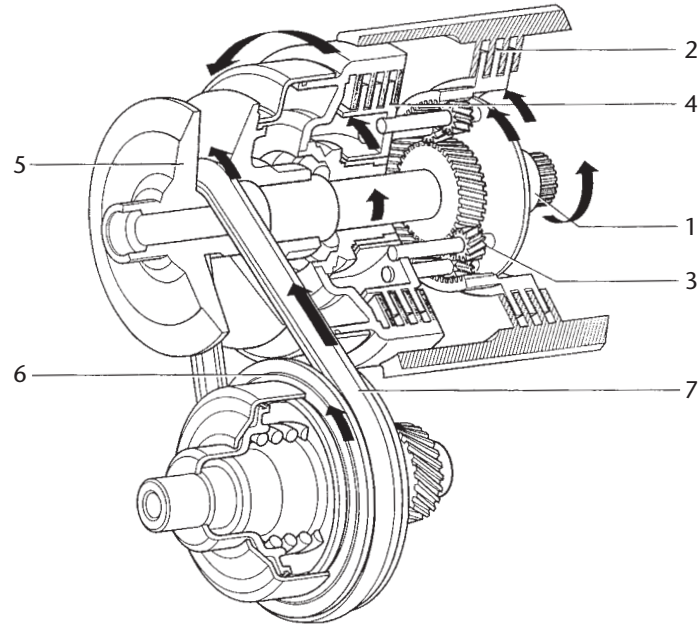
Het resultaat is een kleinere overbrengingsverhouding. Er is overgeschakeld naar een hogere versnelling.

Bij 'terugschakelen' vindt het omgekeerde plaats. De druk in ruimte 2 is dan lager dan in ruimte 4.

De regeling van de druk wordt via elektronische weg aangestuurd. Hierbij wordt rekening gehouden met:

- de stand van de versnellingspook (keuzehendel);
- de stand van het gaspedaal;
- de rijweerstanden;
- de rijnsnelheid;
- het toerental van de motor.

Om vooruit en achteruit te kunnen rijden is de constructie voorzien van een planetair tandwielstelsel en twee lamellenkoppelingen. In afbeelding 4.50 is dit in beeld gebracht.



Afb. 4.50

Werking als de versnellingspook in een stand 'vooruit' staat

- 1 ingaande as vanaf de motor
- 2 lamellenkoppeling 'achteruit'
- 3 planetair tandwielstelsel
- 4 lamellenkoppeling 'vooruit'
- 5 primaire poelie
- 6 secundaire poelie
- 7 stalen duwband of ketting

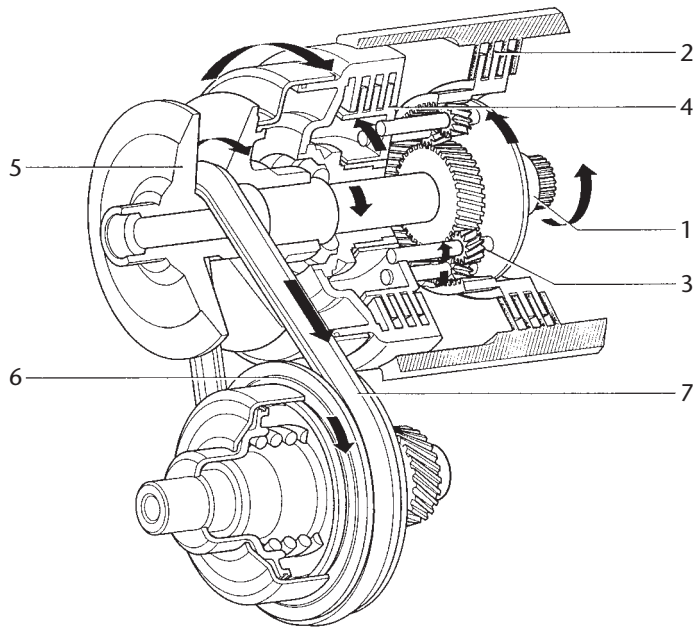
Als beide lamellenkoppelingen (2 en 4) vrij staan is er geen overbrenging. De versnellingsbak staat 'vrij'. Zonnewiel en poelies staan dan stil.

Om vooruit te rijden wordt alleen de vooruitkoppeling (4) ingeschakeld. Deze stand zien we in afbeelding 4.50. De primaire poelie is nu via de drager van het planetaire stelsel verbonden met de ingaande as.

Om achteruit te rijden wordt alleen de achteruitkoppeling (2) ingeschakeld. Deze stand zien we in afbeelding 4.51. Het ringwiel van het planetaire stelsel is nu geblokkeerd. De draairichting wordt hierdoor omgekeerd. De poelies blijven in deze stand voor achteruit rijden constant in de maximale overbrengingsverhouding staan.

Afhankelijk van de stand van de versnellingspook wordt bij het wegrijden de vooruit- of de achteruitkoppeling hydraulisch bekrachtigd. Deze inschakeling vindt soepel plaats, waarbij rekening gehouden wordt met:

- de stand van het gaspedaal;
- de temperatuur van de motor;
- de temperatuur van de versnellingsbakolie.



Afb. 4.51

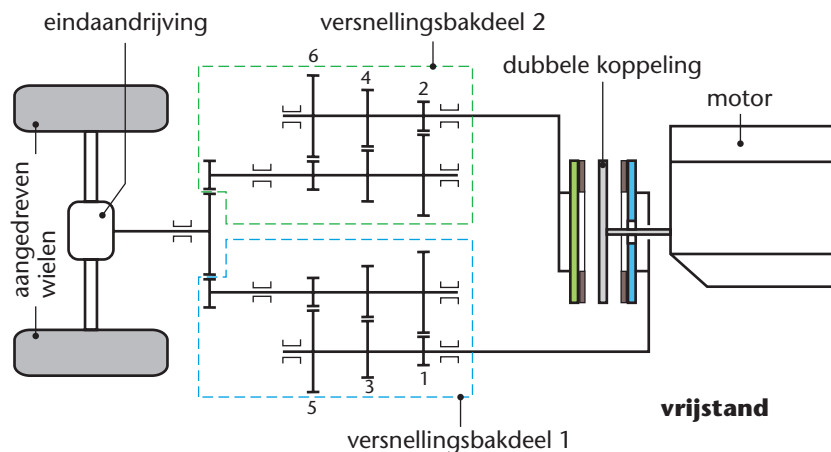
Werking als de versnellingspook in de stand 'achteruit' staat

4.8 Direct aangestuurde versnellingsbak

De direct aangestuurde versnellingsbak is een gesynchroneerde versnellingsbak die automatisch kan schakelen. Deze versnellingsbak schakelt zonder de aandrijving te onderbreken en is bekend onder verschillende benamingen:

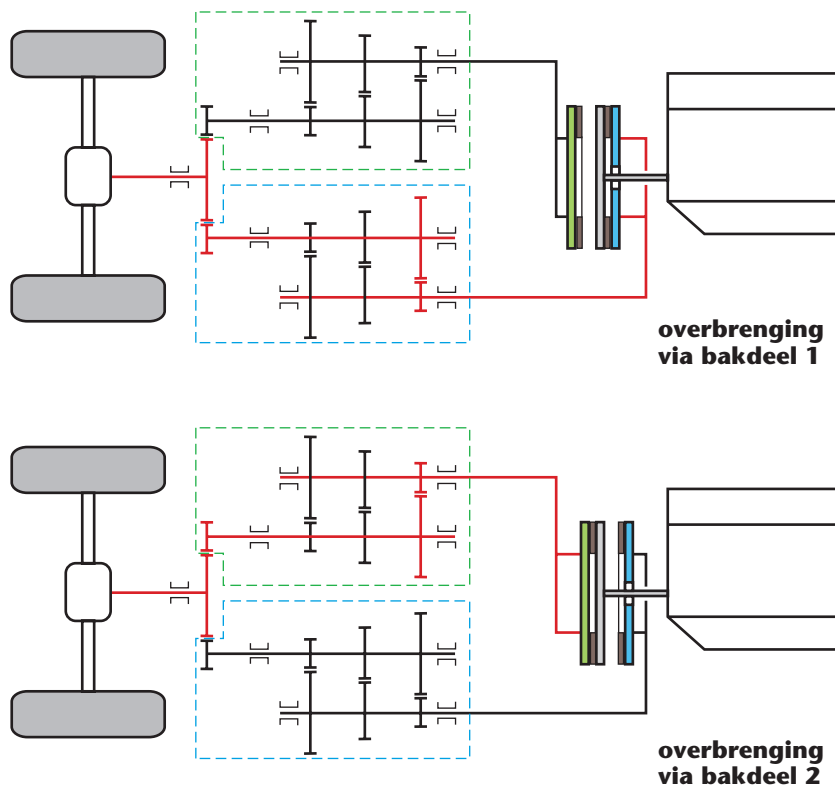
- **D**oppelkupplung **S**chalt**g**etriebe (DSG);
- **D**irect **S**chalt **G**etriebe (DSG);
- **D**irect **S**hift **G**earbox (DSG).

In afbeelding 4.52 zien we schematische tekeningen van de opbouw van zo'n versnellingsbak met 6 versnellingen vooruit. In principe bestaat deze uit twee complete versnellingsbakken: versnellingsbakdeel 1 en versnellingsbakdeel 2. Deze delen zijn samengebouwd tot één versnellingsbak. Versnellingsbakdeel 1 bevat de versnellingen 1,3 en 5. Versnellingsbakdeel 2 bevat de versnellingen 2, 4 en 6. Uiteraard hoort er nog een achteruit bij. Deze is niet in de afbeelding getekend.



Afb. 4.52

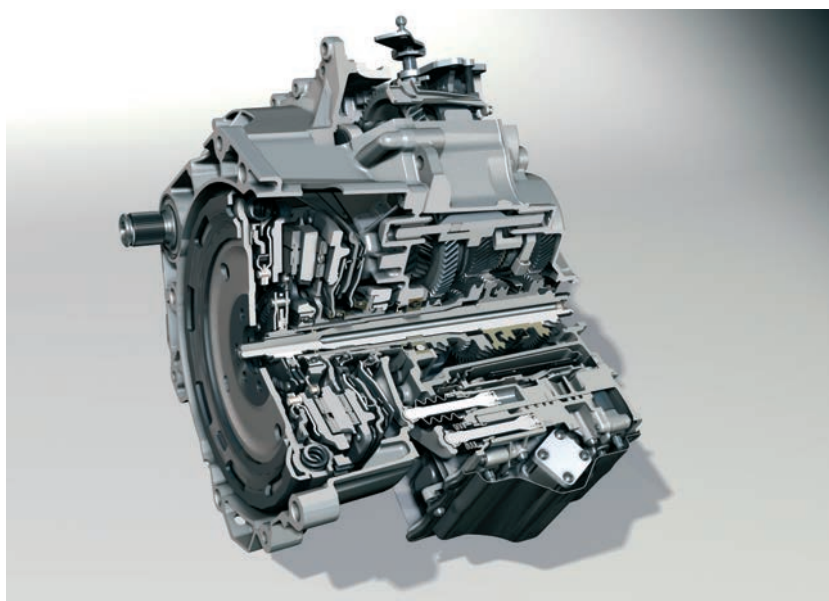
Het principe van een DSG-versnellingsbak



Afb. 4.52
Het principe van een DSG-versnellingsbak
 (vervolg)

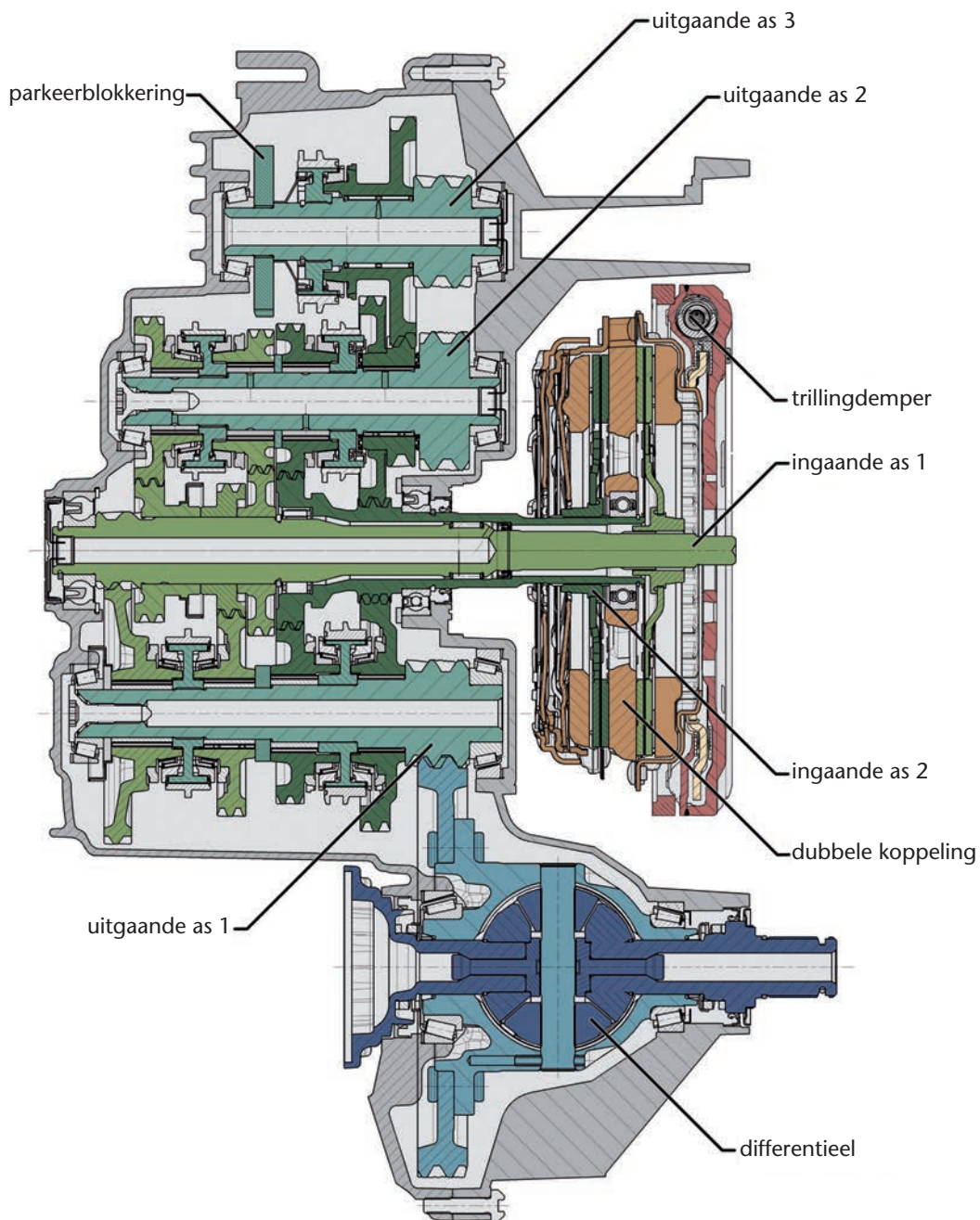
Een van de versnellingsbakken brengt de aandrijfkracht over. In de middelste tekening is dat via de eerste versnelling in bakdeel 1. Dit vindt plaats via de bijbehorende koppeling van de dubbele koppeling.

In bakdeel 2 is dan de tweede versnelling al ingeschakeld. Omdat de bijbehorende koppeling ontkoppeld is, wordt hier geen aandrijfkracht overgebracht. Bij het schakelen van de eerste naar de tweede versnelling opent de ene koppeling en sluit de andere. In de onderste tekening van afbeelding 4.52 is overgeschakeld naar de tweede versnelling.



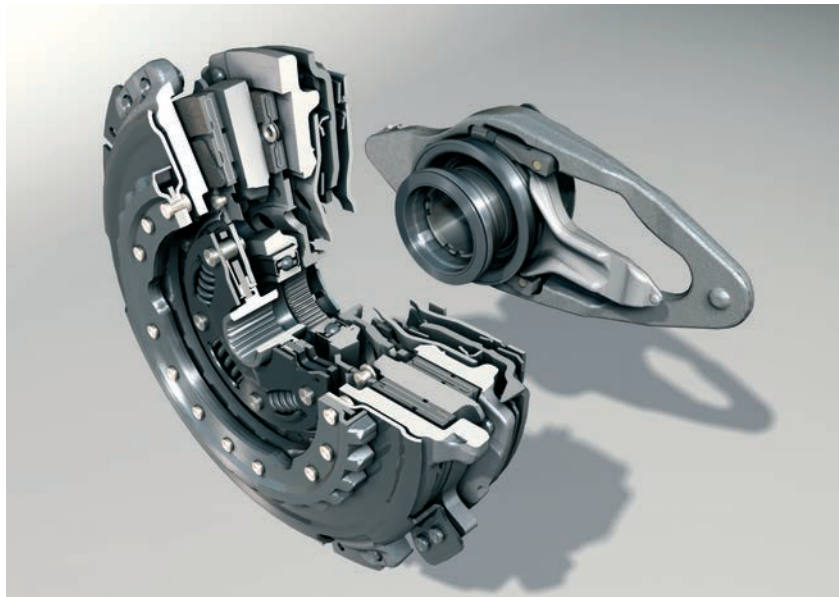
Afb. 4.53
Opengewerkt model van een
 DSG-versnellingsbak

De afbeeldingen 4.53 en 4.54 geven een indruk van de werkelijke opbouw. In afbeelding 4.55 is, gedeeltelijk in doorsnede, de dubbele koppeling apart afgebeeld. Let hier ook op het dubbele druklager.



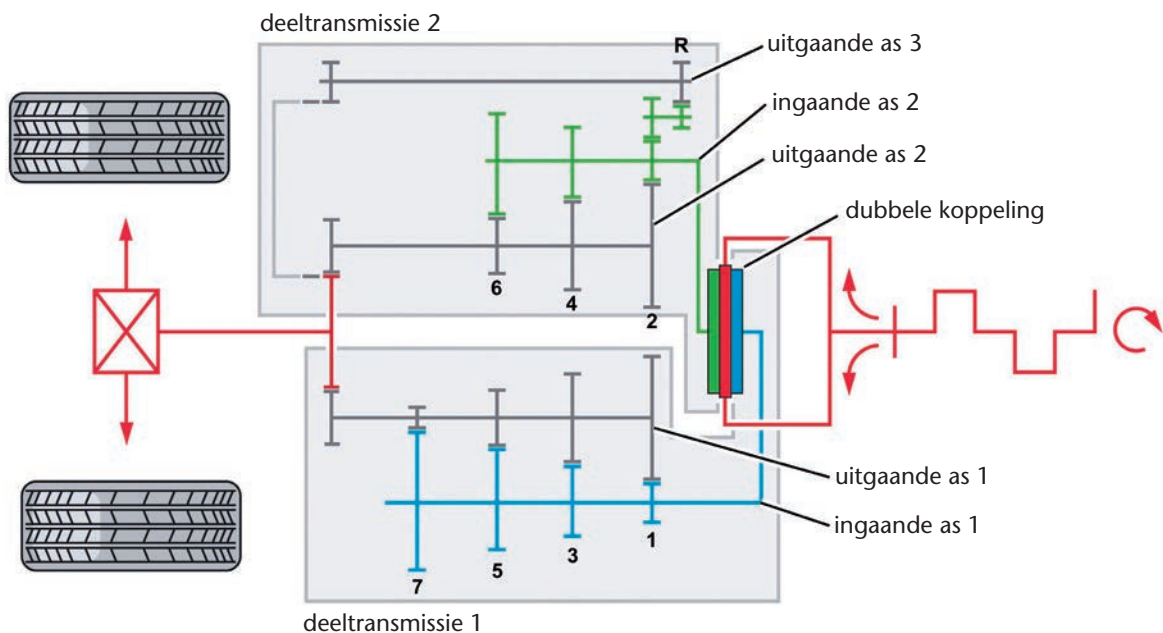
Afb. 4.54
Doorsnedetekening van een
DSG-versnellingsbak

Afb. 4.55
Opengewerkt model van de dubbele koppeling



Afbeelding 4.56 geeft nog een schematische voorstelling van een DSG-versnellingsbak met 7 versnellingen vooruit. Hier is ook weergegeven hoe de achteruitversnelling geschakeld kan worden. Uitgaande as 3 met tandwielen zorgt voor het omkeren van de draairichting.

Het schakelen kan automatisch plaatsvinden of handmatig door middel van Tiptronic.



Afb. 4.56
Schematische voorstelling van de toepassing van een DSG-versnellingsbak met 7 versnellingen vooruit

Voordelen van de DSG-versnellingsbak ten opzichte van een automatische versnellingsbak met koppelmovormer zijn:

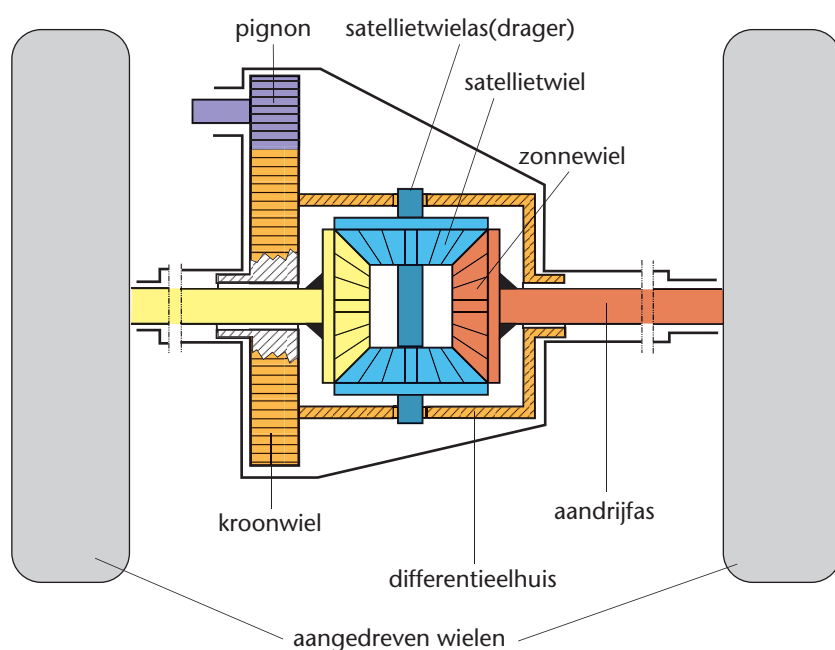
- Er is geen slip. Bij een koppelmovormer treedt slip op zolang de pomp en de turbine niet met elkaar verbonden zijn door middel van de lock-up. De DSG-bak heeft hierdoor een hoger rendement.
- Het rendement is ook hoger doordat er geen energie verloren gaat voor het aandrijven van de oliepomp, zoals bij de versnellingsbak met koppelmovormer.

4.9 Differentieel-sperinrichtingen

Differentieel

Tussen de aangedreven wielen van een auto vinden we een differentieel. Worden zowel de voorwielen als de achterwielen aangedreven dan zit tussen de vooras en de achteras nog een derde differentieel. Het doel van een differentieel is het opvangen van de toerentalverschillen van de aangedreven wielen of assen. Bijvoorbeeld in een bocht draaien alle wielen van een auto met verschillende toerentallen.

In afbeelding 4.57 zien we de opbouw van een eindaandrijving in zijn eenvoudigste uitvoering. Een nadeel van een dergelijke eindaandrijving is dat één wiel door kan slaan of slippen. Hierdoor krijgt het andere wiel geen of weinig aandrijving meer.



Afb. 4.57
Voorbeeld van een eindaandrijving

Een duidelijk voorbeeld waarbij dit doorslaan plaats vindt, is het volgende:

- het linker aangedreven wiel staat op een stroef wegdek;
- het rechter aangedreven wiel op sneeuw.

Het rechter wiel heeft dan te weinig grip en slaat door. Het voertuig zal dan niet of moeilijk in beweging komen. Er zijn constructies die dit nadeel niet of in mindere mate hebben.

Constructie met mechanische wrijving

In afbeelding 4.58 zien we een voorbeeld van een constructie waarbij wrijving zorgt voor het meer of minder sperren van het differentieel.

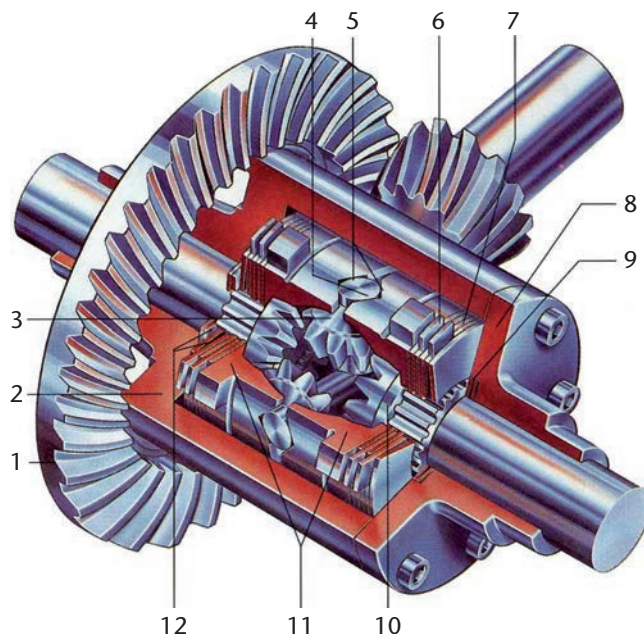
Tussen het differentieelhuis en de drukstukken zitten lamellenkoppelingen. De buitenste koppelingsplaten draaien mee met het differentieelhuis. De binnenste koppelingsplaten draaien rond met de zonnewielen. Ze worden door de schotelveren licht tegen elkaar gedrukt.

De satellietwielas zit opgesloten tussen twee drukstukken met schuine kanten. Bij toerentalverschil tussen links en rechts drukt de satellietwielas via de schuine kanten de drukstukken naar buiten. Hierdoor worden de koppelingsplaten vaster tegen elkaar gedrukt. De zonnewielen draaien nu moeilijker ten opzichte van het differentieelhuis. Beide wielen worden hierdoor gedwongen te blijven draaien. We noemen dit een differentieel met beperkte slip.

Afb. 4.58

Sperddifferentieel door middel van wrijving

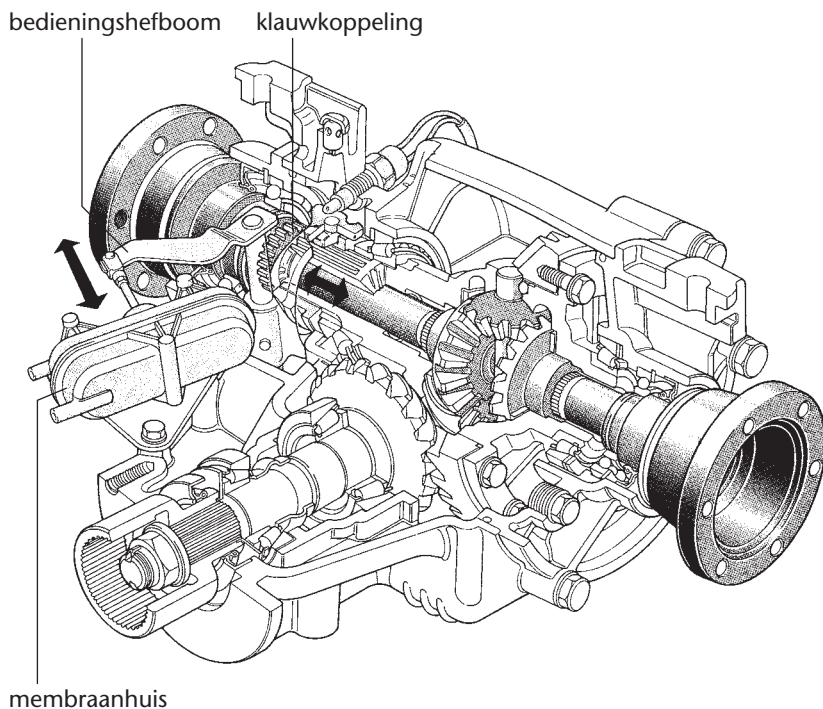
- 1 kroonwiel
- 2 differentieelhuis
- 3 satellietwiel
- 4 satellietwielas
- 5 schuine kanten
- 6 buitenste koppelingsplaten
- 7 binnenste koppelingsplaten
- 8 deksel
- 9 druklager
- 10 zonnewiel
- 11 drukstukken
- 12 schotelveer



Constructie met volledige blokkering

Bij deze constructie wordt een klauwkoppeling gebruikt. Deze koppeling kan een zonnewiel verbinden met het differentieelhuis. Als deze verbinding tot stand komt, kunnen de linker en rechter as niet meer met een verschillend toerental draaien. Er is dan sprake van een volledige blokkering van het differentieel. Het inschakelen kan hydraulisch, pneumatisch of elektrisch plaatsvinden.

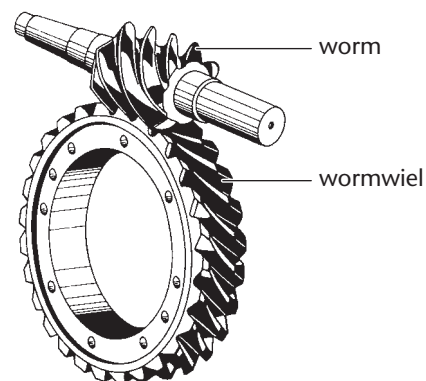
In afbeelding 4.59 zien we een pneumatische bediening. Het inschakelen van de blokkering mag alleen bij stilstand mogelijk zijn. Dit om te voorkomen dat bij grote toerentalverschillen het mechanisme plotseling ingeschakeld wordt.



Afb. 4.59
Constructie met volledige, mechanische blokkering

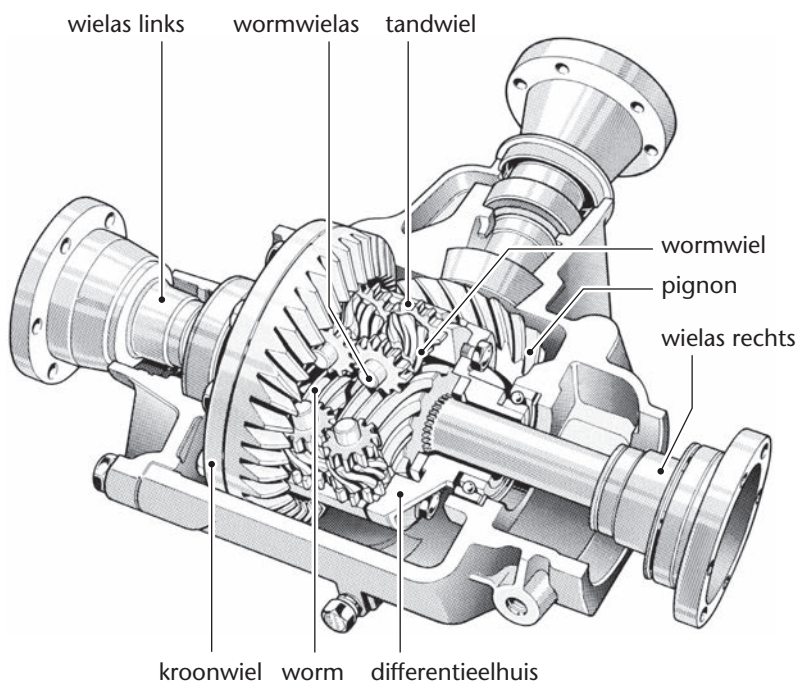
Torsen-differentieel

Bij deze constructie wordt gebruik gemaakt van wormen en wormwielen. In afbeelding 4.60 zijn een worm en wormwiel te zien. Door de worm te draaien, gaat ook het wormwiel draaien. Dit kost weinig kracht. Omgekeerd kan het wormwiel ook de worm aandrijven. Dit kost veel meer kracht. Door deze eigenschap heeft een torsen-differentieel een gedeeltelijke spereigenschap bij het doorslaan van een van de wielen.



Afb. 4.60
Voorbeeld van een overbrenging met worm en wormwiel

Afbeelding 4.61 geeft een indruk van de opbouw van een torsen-differentieel. Zowel de rechter als de linker wielas is uitgevoerd met een worm. De aandrijfkracht wordt vanaf het differentieelhuis met drie wormwielen overgebracht op elke worm.



Afb. 4.61
Torsen-differentieel

De wormwielen hebben op elk uiteinde een tandwiel met rechte tanden. Deze tandwielen verbinden de linker wormwielen met de rechter wormwielen. De wormwielen met tandwielen kunnen draaien op de bijbehorende wormwielas.

Werking bij rechttuit rijden

Bij een torsen-differentieel wordt de aandrijfkracht vanaf het kroonwiel overgebracht op het differentieelhuis. Het differentieelhuis brengt de aandrijfkracht via de wormwielassen en de wormwielen over naar de wormen. De wormen brengen de aandrijfkracht over naar het linker en het rechter wiel. Bij rechttuit rijden gaat 50% naar het linker wiel en 50% naar het rechter wiel. De tandwielen en wormwielen draaien nu niet om hun as.

Werking bij het nemen van een bocht

Bij het nemen van een bocht naar bijvoorbeeld rechts wordt het linker wiel gedwongen sneller te gaan draaien. Omdat de rechte tandwielen de linker en rechter wormwielen met elkaar verbinden, moet het rechter wiel langzamer draaien.

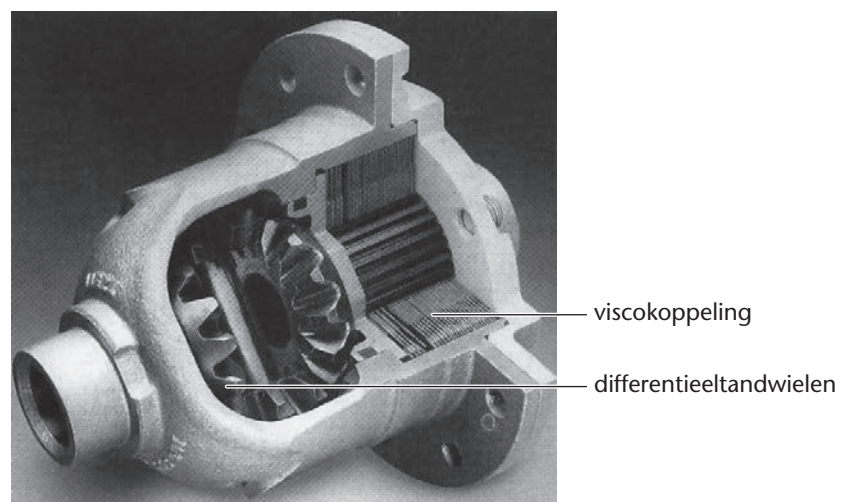
Bij verschil in toerental tussen links en rechts zal het wiel dat het langzaamst draait een groter deel van de aandrijfkracht ontvangen dan het sneller draaiende wiel. Dit betekent dat het wiel met het beste wegcontact de grootste aandrijfkracht krijgt.

Werking als een van de wielen door wil slaan

Als het rechter wiel door wil slaan, gaan de wormwielen om hun assen draaien. De linker wormwielen moeten dan de linker worm(wielas) aandrijven. Dit gaat moeilijk. Het gevolg is dat het doorslaan van het rechter wiel wordt tegengewerkt.

Constructie met viscokoppeling

In afbeelding 4.62 zien we een differentieelhuis met tandwielen. Ook vinden we hier een lamellenkoppeling. Met deze koppeling kan een van de zonnewielen meer of minder vast verbonden worden met het differentieelhuis. Als deze verbinding tot stand komt is het differentieel uitgeschakeld. De tandwielen kunnen dan niet meer draaien ten opzichte van het differentieelhuis.



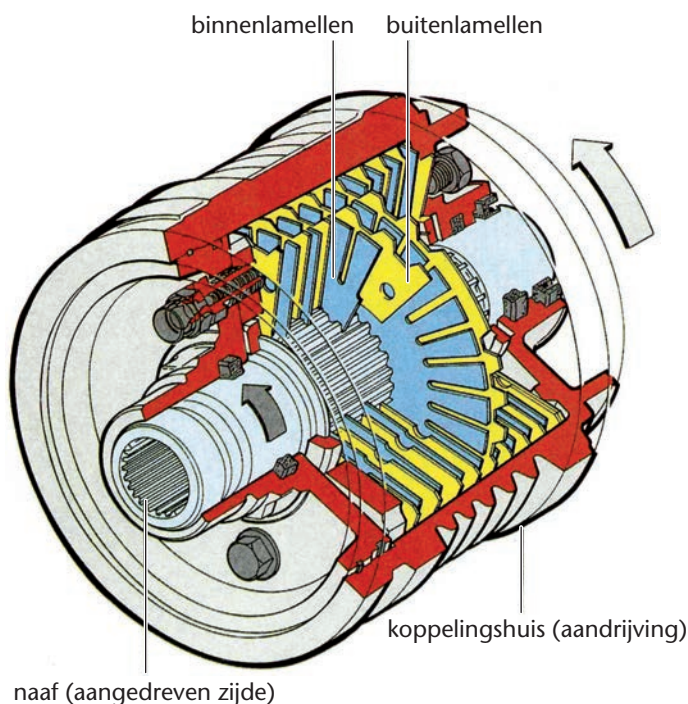
Afb. 4.62

Een differentieel met viscokoppeling

De toegepaste koppeling is uitgevoerd als een viscokoppeling. Dit type koppeling kan met veel slip en met weinig slip werken en is hierdoor erg geschikt als differentieelsper.

De opbouw van een viscokoppeling

De koppeling (afb. 4.63) bestaat uit een huis met daarin binnenlamellen en buitenlamellen. De binnenlamellen draaien rond met de naaf. De buitenlamellen met het huis. De lamellen zijn niet voorzien van wrijvingsmateriaal (voering) en draaien vrij van elkaar. Het huis is geheel gevuld met een speciale siliconenolie.



Afb. 4.63

Doorsnede van een viscokoppeling

Werking bij rechtuit rijden

Het zonnwiel en het differentieelhuis draaien bij rechtuit rijden met hetzelfde toerental. De viscokoppeling heeft dan geen enkele functie.

Werking bij het nemen van een bocht of bij het doorslaan van een wiel

In een bocht gaan het huis en het zonnwiel met verschillende toerentallen draaien. Door de optredende wrijving wordt de siliconenolie warm. De olie zet uit en de druk stijgt in het huis. De viscositeit (dikte) van de olie neemt hierdoor toe. Door het dikker worden van de olie neemt de wrijving tussen de lamellen toe. Hierdoor wordt de naaf min of meer met het huis verbonden. De dikte van de olie neemt toe met het stijgen van het toerentalverschil. Bij het differentieel worden het zonnwiel en het differentieelhuis min of meer met elkaar verbonden. De werking van het differentieel kan hierdoor grotendeels opgeheven worden waardoor de koppeling werkt als differentieelsper.

Register

A		hydraulische olie	59	S	
achteruitkoppeling	72			SAE-getal	22
aftappen	14	I		satellietwiel	13, 44
antislijtagedope	22	ingaande as	6	satellietwielas	78
API-GL	23	inwendige overbrenging	37	schakel-as	26
ATF	59			schakelmechanisme	7
Automatic Transmission Fluid	59	K		schakelmof	8, 24, 25
automatische transmissie	43	kegeltandwiel	11	schakelvork	7
		kenveld	68	schoepenwiel	54
B		kickdown	69	secundaire poelie	70
bandrem	58	klauwkoppeling	78	Simpsonstelsel	50
beperkte slip	78	kleppen	61	sliding mesh	23
binnenvertanding	26	koppelomvormer	54	slippen	54
blokkeerinrichting	9, 26	kroonwiel	5, 12, 80	sperren	78
blokkeerpennen	26			stator	55
blokkeerstift	9	L		statorschoep	55
		lamel	58	steekcirkel	30
C		lock-up	56	synchromesh	24
conisch vlak	25	luchtweerstandcoëfficiënt	38		
constant mesh	23			T	
CVT	43	M		tandwiel	6
		meetkundige reeks	39	Tiptronic	66
D		mof	26	torsen-differentieel	79
differentieel	5, 12			transmissie-olie	14
differentieelhuis	13, 80	N		turbinewiel	53
dikvloeibaarheid	22	nok	24	tussentandwiel	8
draaimoment	17, 29, 31	noodprogramma	69		
draaimomentverhouding	29			U	
drager	13, 44	O		uitgaande as	6
DSG	73	oliepeil	14		
dubbele koppeling	75	omtreksnelheid	29, 36	V	
dubbele overbrenging	20	overbrengingsverhouding	29, 30, 32	vergrendelinrichting	9, 26
		overbruggingskoppeling	56	vermogen	17
E				versnelling	32
eindaandrijving	5	P		versnellingsbak	5
eindvertraging	10	parkeermechanisme	60	vertraging	32
elektronische regeleenheid	61	pignon	5, 12	viscokoppeling	81
energiestroom	19	planetair tandwielstelsel	44	viscositeit	22
enkele overbrenging	18	poeliediameter	43	vloeistofkoppeling	52
EP-dopes	15	pompwiel	52, 53	vooruitkoppeling	72
		primaire as	19		
G		primaire poelie	70	W	
gecombineerd stelsel	50			worm	79
gemengde smering	22	R		wormwiel	79
GL-4	15	Ravigneaux-stelsel	52		
GL-5	15	Ravigneaux-tandwielstelsel	62	Z	
grenssmering	21, 22	rekenkundige reeks	41	zaagtanddiagram	39
		rem	58	zonnwiel	13, 44
H		ringwiel	44		
halve-maan tandwielpom	60				
hoofdas	19				

