

## Literatuuronderzoek naar overbrengingen, rotatie en lineair

**Citation for published version (APA):**

Zwol, van, C. (1990). *Literatuuronderzoek naar overbrengingen, rotatie en lineair*. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Vakgroep Produktietechnologie : WPB; Vol. WPA0922). Technische Universiteit Eindhoven.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1990

**Document Version:**

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

**Please check the document version of this publication:**

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.



## Inhoudsopgave.

	bldz.
1. INLEIDING.	3
2. CONCLUSIES BETREFFENDE DE GEVONDEN LITERATUUR.	3
3. ADVIES TEN AANZIEN VAN HAPKLARE BRUIKBARE MIDDELEN.	4
3.1. Tandwieloverbrengingen.	4
3.1.1. Spelingsbronnen.	4
3.1.2. Manieren om de speling te beheer- sen en te elimineren.	7
3.1.3. Slechte manieren om de speling te elimineren.	16
3.2. Wormwielen.	17
3.2.1. Manieren om de speling te beheer- sen en te elimineren.	17
3.3. Harmonic Drive.	18
3.4. Schroefdraad en kogelgeleidingen.	18
3.5. Spelingsvrije omzettafel.	18
4. OVERZICHT GEVONDEN LITERATUUR.	20

## 1. Inleiding.

Er worden tegenwoordig steeds hogere eisen gesteld aan produktie-middelen, met name op het gebied van snelheid en positionerings-nauwkeurigheid. Om aan die eisen te kunnen voldoen zijn vaak spelingsarme of spelingsvrije overbrengingen nodig.

Het doel van deze literatuurstudie is te onderzoeken of er literatuur bestaat over spelingsarme en spelingsvrije overbrengingen, en indien dat het geval is daar een lijst van te maken (zie hoofdstuk 4) en kort te beschrijven wat er in die literatuur staat (zie hoofdstuk 3).

## 2. Conclusies betreffende de gevonden literatuur.

Uit het onderzoek blijkt dat in de literatuur over overbrengingen zonder vertanding nauwelijks aandacht wordt besteed aan het begrip speling. De gevonden literatuur betreft dan ook voornamelijk overbrengingen met tanden. Verder wordt de Harmonic Drive als spelingsarme overbrenging genoemd (maar die heeft ook een vertanding), is er een artikel over het spelingsvrij maken van een omzettafel en wordt summier het spelingsvrij maken van overbrengingen met schroefdraad (al dan niet met kogeltjes) besproken.

Het zou nuttig kunnen zijn om eens te onderzoeken hoe het met de speling bij andere soorten overbrengingen staat, bijvoorbeeld bij continu variabele overbrengingen.

### 3. Advies ten aanzien van hapklare bruikbare middelen.

Bij het ontwerpen van een machine waaraan de eis van spelingsvrijheid wordt gesteld, is het nuttig als al in de eerste fase van het ontwerp met die eis rekening wordt gehouden. Enkele suggesties voor de stijfheid van het ontwerp en de lay-out van de aandrijving worden gedaan in lit(9) in DDP nummers 1, 2, 19 en 20.

#### 3.1. Tandwieloverbrengingen.

In het ideale geval hebben elkaar ingrijpende tandwielen geen speling en hebben ze die ook niet nodig om goed te werken. Echter, maattoleranties op de tanden, tandwielen, as-afstand, lagerafmetingen en dergelijke resulteren onvermijdelijk in speling. In de praktijk is enige speling in een tandwielaandrijving ook vereist om ruimte te maken voor een smeerfilm op de tandwielen of voor de thermische uitzetting die wordt veroorzaakt door de wrijvingswarmte die bij bedrijf onder belasting ontstaat ( zie bijvoorbeeld lit.(3) ).

##### 3.1.1. Spelingsbronnen.

De speling in een tandwieloverbrenging is afkomstig van een aantal bronnen, die in vijf hoofdgroepen zijn in te delen.

Deze hoofdgroepen zijn:

###### 1. Ontworpen speling.

Deze speling wordt bewust in het ontwerp gebracht om een goed functioneren van de tandwieloverbrenging te verzekeren, bijvoorbeeld door de tanden wat dunner te maken.

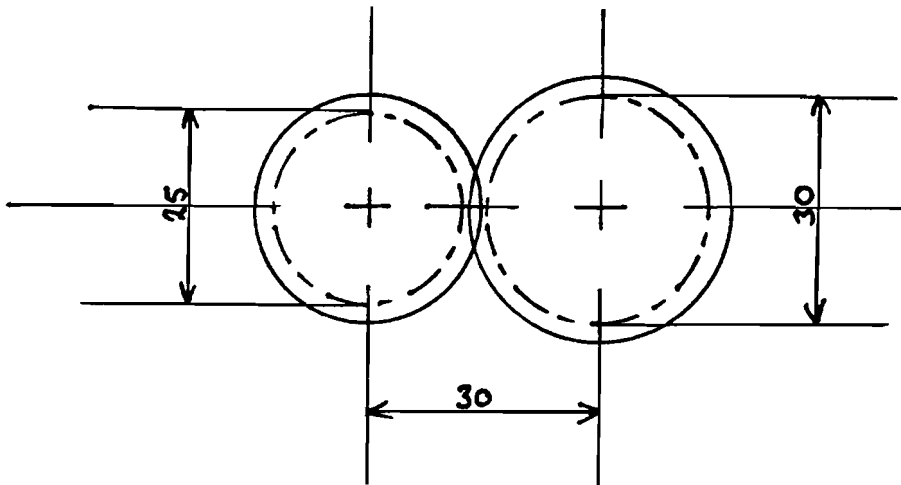


fig.1 Voorbeeld van ontworpen speling.

2. Speling ten gevolge van de toleranties.

Speling veroorzaakt door de toleranties op bijvoorbeeld de tanddikte, de tandwieldiameter of de asafstand.

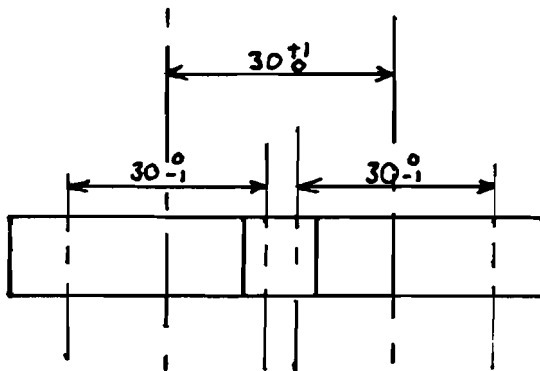


fig.2 Voorbeeld van speling tgv de toleranties.

3. Speling ten gevolge van asafstand-afwijkingen door secundaire oorzaken.

Speling doordat de asafstand afwijkt als gevolg van afwijkingen en toleranties in bijvoorbeeld de lagers, het huis en dergelijke.

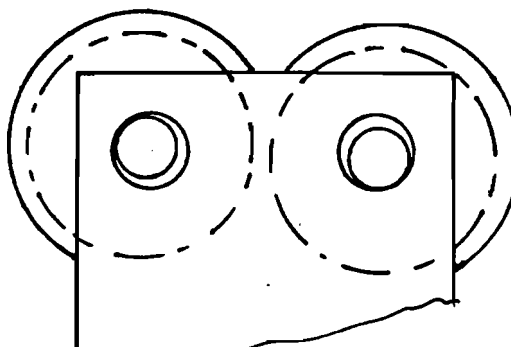


fig.3 Voorbeeld van speling veroorzaakt door asafstand-afwijkingen door secundaire oorzaken.

#### 4. Speling die gedurende de beweging variëert.

Deze speling ontstaat bijvoorbeeld als een tandwiel niet centrisc h op een as is bevestigd, als de tanden niet allemaal even dik zijn of als de as uitbuigt onder belasting.

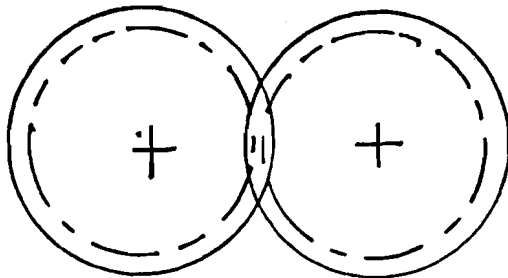


fig.4 Voorbeeld van speling die gedurende een omwenteling varieert.

#### 5. Overige spelingsbronnen.

Hieronder valt speling veroorzaakt door vervormingen ten gevolge van thermische effecten, belasting en dergelijke. Verder speling die veroorzaakt wordt door externe factoren zoals trillingen.

### 3.1.2. Manieren om de speling te beheersen en te elimineren.

De ongewenste effecten die speling tot gevolg kan hebben, hebben ertoe geleid dat nogal wat moeite is gedaan om de speling te beheersen en te elimineren.

#### 1. Ultra-precisie tandwielen.

De meest voor de hand liggende manier om de speling tot een minimum te beperken is gebruik te maken van ultra-precisie-tandwiel-overbrengingen. Op die manier kan de tandflankspeling, afhankelijk van de grootte van de tandwielen, beperkt worden tot enkele tientallen micrometers en de hoekverdraaiing van de uitgaande as (bij geblokkeerde ingaande as) tot ruimschoots beneden de één boogminuut. Het gebruik van ultra-precisie-tandwielen is echter een erg kostbare aangelegenheid. Daarom is gezocht naar andere manieren om de speling te beperken.

#### 2. Verstelbare as-afstand. (lit 3, 5, 10)

Door de as-afstand van de tandwielen te verstellen kan een acceptabele hoeveelheid speling worden ingesteld. Door dit principe toe te passen kan echter alleen de constante speling worden geëlimineerd (dus niet de speling die gedurende een omwenteling variëert). Het maakt bij dit principe niet uit hoe groot de tandwielbelasting is. Een nadeel van dit principe is dat het ontwerp complexer wordt, dat bij vervanging van de tandwielen opnieuw de as-afstand moet worden ingesteld en dat voor het instellen goede monteurs nodig zijn.

#### 3. Met een veer voorgespannen gedeelde tandwielen en tandwieltreinen. (lit 3, 5, 7, 10)

Hierbij wordt gebruik gemaakt van één of meerdere gedeelde tandwielen, waarvan de beide helften ten opzichte van elkaar zijn voorgespannen. In figuur 5 zijn een aantal uitvoeringsvormen te zien waarbij die voorspanning op verschillende



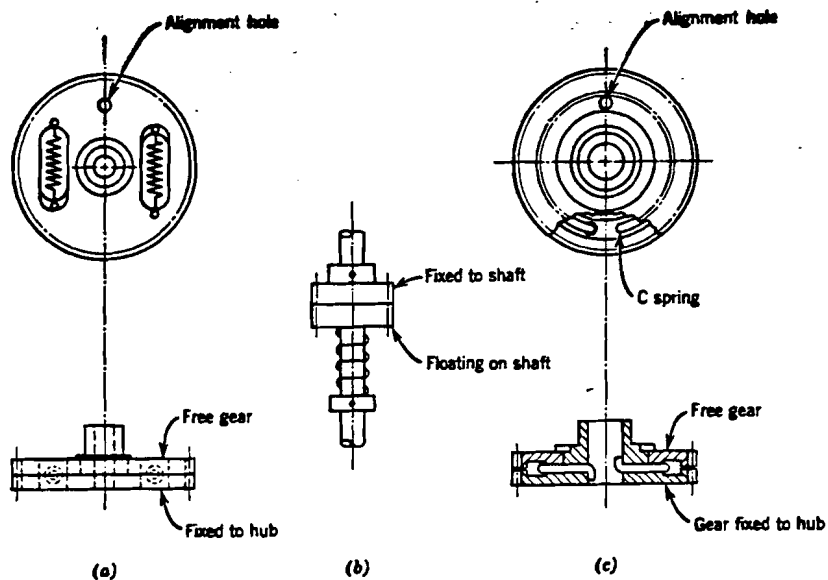


fig.5 Drie verschillende manieren om de voorspanning aan te brengen: a) trek of drukveer b) torsieveer c) C-veer.

manieren is aangebracht. Een vierde manier om die voorspanning aan te brengen is gebruik te maken van het Niemann-principe (lit 12). Daarbij worden de twee tandwielhelften uit elkaar gedrukt door een wig op een manier die toch geen aanleiding geeft tot het klemlopen van de tandwieloverbrenging. Een voordeel hiervan is dat een kleinere veer(-kracht) voldoet voor het aanbrengen van de voorspanning. Door het toepassen van gedeelde tandwielen onder voorspanning wordt alle speling onderdrukt. De belasting die verwerkt kan worden moet echter kleiner zijn dan de voorspanning, dus kan dit type overbrenging relatief slechts licht belast worden. De consequenties voor het ontwerp zijn gering bij het toepassen van dit principe, er moet alleen ruimte voor de tweede helft van het tandwiel gereserveerd worden. Alle onderdelen zijn uitwisselbaar en het geheel is zelfstellend. Op basis van het principe van gedeelde voorgespannen tandwielen zijn nog andere varianten bedacht, zoals de variant die in figuur 6 te zien is waarbij beide tandwielhelften niet hetzelfde aantal tanden hebben. Dat heeft tot gevolg dat de voorspankracht toeneemt naarmate

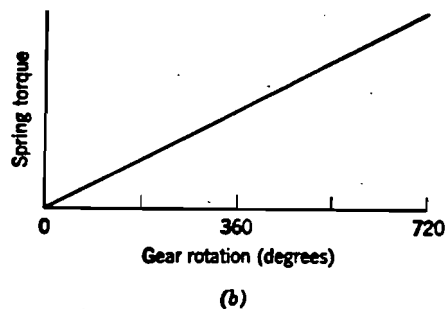
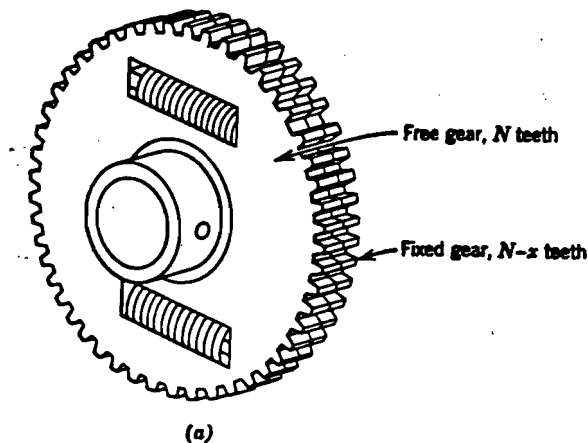


fig.6 Gedeeld tandwiel met op beide helften een verschillend aantal tanden.

de verdraaiing van het tandwiel groter wordt (zie ook fig.6). De toelaatbare verdraaiing is echter beperkt. Een derde variant is een hele tandwieltrain van gedeelde tandwielen waarvan alleen de laatste is voorgespannen met een veer.

#### 4. Het elimineren van de speling door toepassing van een schaduw-tandwieltrain. (lit 5, 7)

Figuur 7 laat het principe zien waarbij naast de functioneel gewenste tandwieltrain een tweede identieke tandwieltrain is toegepast. Deze twee tandwieltrainen worden ten opzichte van elkaar voorgespannen en op die manier wordt alle speling geëlimineerd. Dit principe kan alleen worden toegepast bij een lage over te brengen belasting. Een nadeel is dat in plaats van één tandwieltrain nu twee tandwieltrainen gebruikt worden (ruimte en kosten). Een variatie op dit type is die waar in plaats van door een voorspanning de speling wordt geëlimineerd door het instellen van het fase-verschil

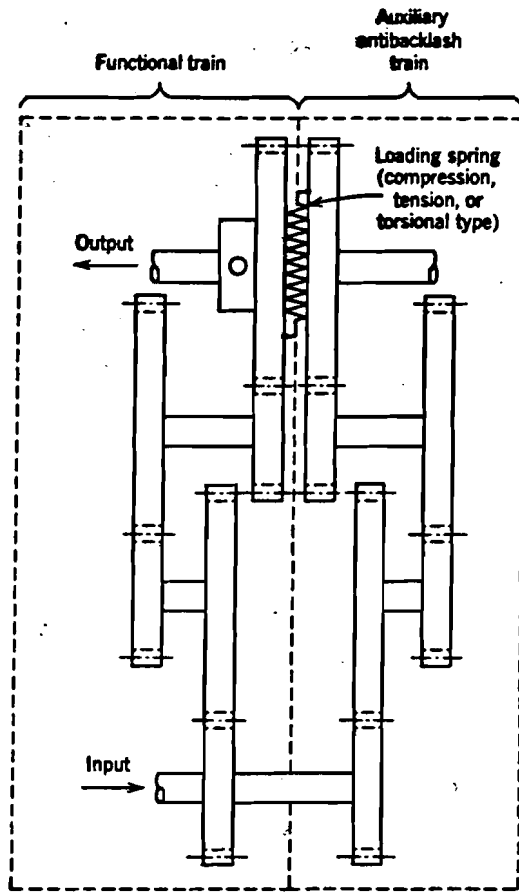


fig.7 Toepassing van een schaduw-tandwieltrain.

tussen de twee tandwieltrainen. Op die manier kan wel met hoge belastingen gewerkt worden, maar blijft de variabele speling aanwezig.

5. Voorspannen met een torsieveen (horlogeveen). (lit 5, 7)  
 Bij licht belaste tandwielen waarbij het laatste tandwiel slechts een beperkte verdraaiing hoeft te maken, kan dat laatste tandwiel worden voorgespannen met een torsieveen aan de vaste wereld. Om beschadiging van de veer te voorkomen moet een beveiliging worden ingebouwd. Figuur 8 laat zien hoe dit principe werkt. Op deze manier wordt alle speling geëlimineerd op een constructief erg eenvoudige wijze.

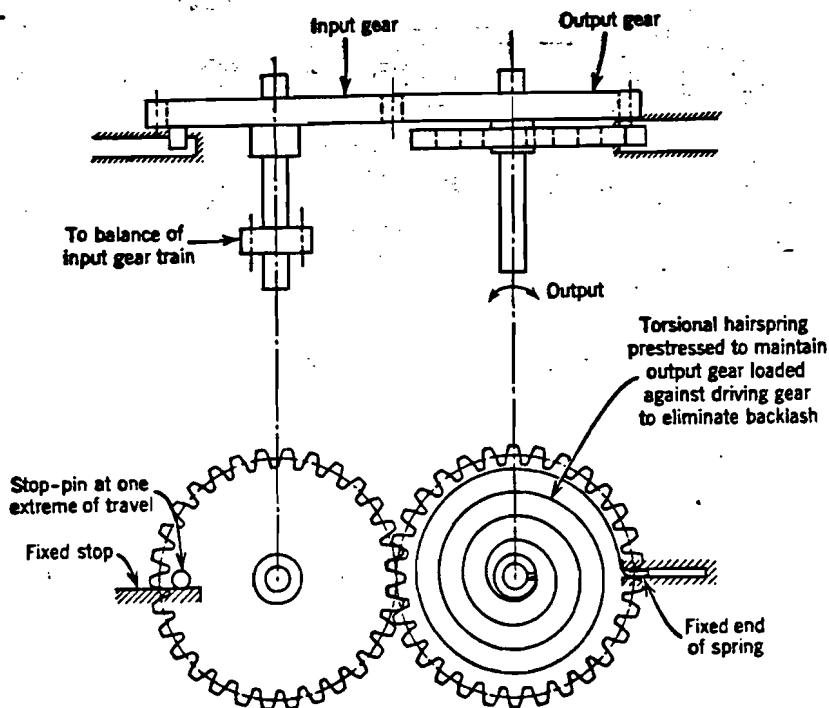


fig.8 Toepassing van een torsieveer.

#### 6. Het voorspannen van de as-afstand. (lit 5, 10)

Dit principe lijkt op het onder 2 besproken principe van verstelbare as-afstand. In plaats van één as verstelbaar te maken wordt die bij dit principe met een veer voorgespannen. Bij het voorspannen van de as-afstand wordt alle speling geëlimineerd met een relatief kleine veerkracht. De nadelen zijn de constructieve moeilijkheden een "zwevende" as te ontwerpen, dat er slechts een kleine belasting doorgeleid kan worden en dat het maximaal toelaatbaar toerental laag is om dynamische complicaties te voorkomen.

#### 7. Instelbare gedeelde tandwielen. (lit 3, 5)

Dit principe lijkt op het onder 3 besproken principe van met een veer voorgespannen gedeelde tandwielen en tandwiel-treinen. In plaats van de twee helften met een veer voor te spannen worden ze nu ten opzichte van elkaar ingesteld en daarna gefixeerd. Op die manier kan een veel grotere belasting worden doorgeleid. Nadelen van deze manier zijn dat slechts de variabele speling wordt geëlimineerd, dat

het instellen bekwame monteurs vereist en dat als er iets vervangen of veranderd wordt in de overbrenging de instelling opnieuw gemaakt moet worden.

### 8. Instelbare tanddikte. (lit 5)

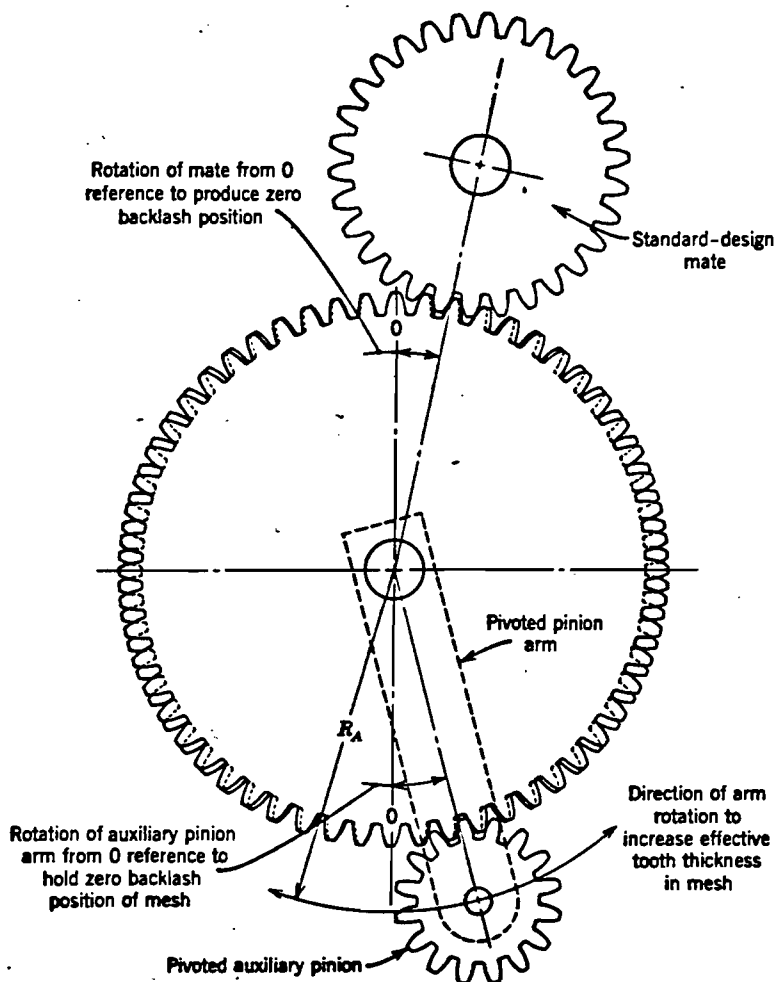


fig.9 Toepassing van het principe van instelbare tanddikte.

Bij dit principe wordt een gedeeld tandwiel gebruikt waarvan beide helften niet hetzelfde aantal tanden hebben. Op de manier die te zien is in figuur 9 wordt met een ongedeelde hulptandwiel de fase-verschuiving die de speling elimineert ingesteld. Dit hulptandwiel moet sterk genoeg zijn om het doorgeleide koppel aan te kunnen. Op deze manier kan een grote belasting worden doorgeleid, het instellen van de speling is erg eenvoudig en kan zelfs tijdens bedrijf gebeuren. De nadelen zijn dat de variabele speling niet

wordt geëlimineerd, dat er ruimte moet zijn voor het hulptandwiel en dat de losse tandwielhelft goed gelagerd moet zijn omdat er een constante relatieve snelheid tussen de twee tandwielhelften is.

### 9. Hulpmotor. (lit 5, 10)

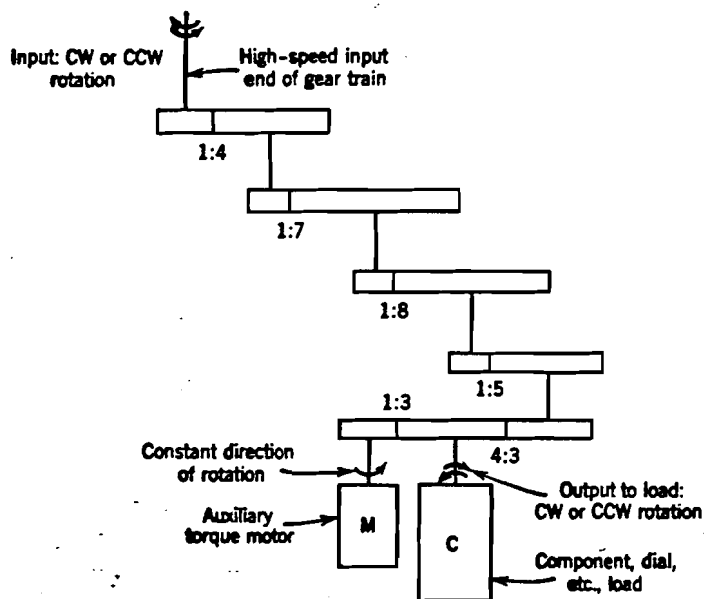


fig.10 Toepassing van een hulpmotor.

Bij dit principe wordt gebruik gemaakt van een hulpmotor die continu een moment levert dat op de uitgang van de tandwieltrain werkt. Op die manier wordt voorkomen dat er speling doorlopen wordt. Hoe dit eruit kan zien is te zien in figuur 10. Dit principe kan alleen toegepast worden bij tandwieltrainen met een grote reductie, omdat anders de hulpmotor de beweging kan omdraaien. De voordelen van deze manier zijn dat alle relevante (in de laatsts trappen) speling wordt geëlimineerd en dat de hulpmotor op momenten dat hij niet nodig is kan worden uitgeschakeld. De nadelen zijn dat deze manier een extra motor vereist die energie verbruikt (kostenaspect) en dat die motor de nodige ruimte inneemt. Nog een nadeel is dat voor grote belastingen een kleine hulpmotor niet voldoet en een grote motor leidt tot een slecht ontwerp.

#### 10. Selectieve montage. (lit 5)

Bij deze manier worden tandwielen uitgezocht die goed bij elkaar passen, zodat de speling binnen de gestelde grenzen blijft. Het voordeel van deze manier is dat er geen constructieve maatregelen voor nodig zijn. Deze manier kan toegepast worden bij alle soorten tandwielen. De nadelen zijn dat er flinke produktie-aantallen nodig zijn om bij elkaar passende tandwielparen te kunnen selecteren, alleen de constante speling wordt geëlimineerd en bij vervanging moeten de tandwielen per paar worden vervangen.

#### 11. Taps toelopende (kegelvormige) tandwielen. (lit 3, 5, 10)

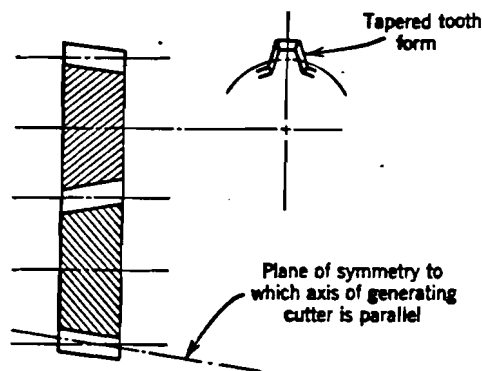


fig.11 Toepassing van taps toelopende tandwielen.

In figuur 11 is te zien dat als taps toelopende tandwielen worden gebruikt de constante speling kan worden geëlimineerd door de tandwielen axiaal ten opzichte van elkaar te verstellen. De onderdelen zijn uitwisselbaar maar daarna moet de instelling wel opnieuw gemaakt worden. Nadelen van deze manier zijn dat een as axiaal verstelbaar moet zijn en dat er een speciale machine voor nodig is om deze tandwielen te maken.

#### 12. Magnetische tandwielen. (lit 7)

Bij zeer licht belaste overbrengingen kan gebruik gemaakt worden van magnetische tandwielen die magnetisch aan elkaar blijven "plakken". Deze staan afgebeeld in figuur 12.

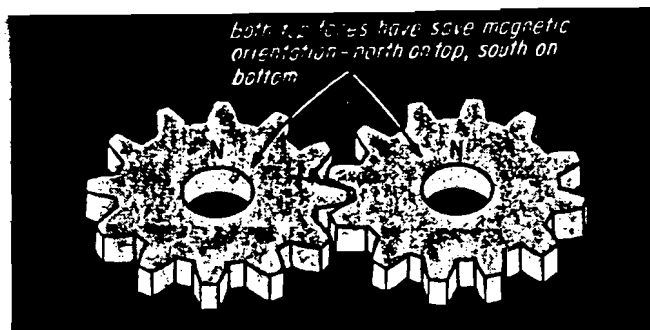


fig.12 Magnetische tandwielen.

13. Gelaagde tandwielen. (lit 7)

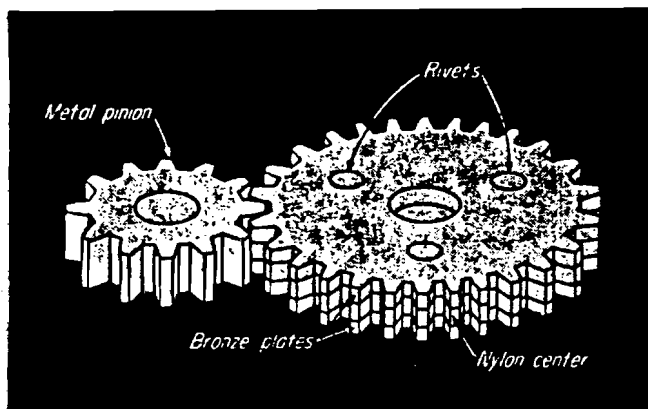


fig.13 Gelaagde tandwielen.

Hier wordt gebruik gemaakt van een gewoon tandwiel en een tandwiel dat gelaagd is opgebouwd uit metaal-nylon-metaal. Het nylon zal iets uitzetten en zal tijdens bedrijf tussen de tandwielen worden samengedrukt en zo de speling elimineren. Dit principe kan ook alleen maar worden toegepast bij licht belaste overbrengingen.

14. Verkoperen van de tandwielen. (lit 10)

Verkoperde tandwielen kunnen strak tegen elkaar gemonteerd worden omdat het koperlaagje "vreten" zal voorkomen als de tandwielen dreigen te gaan klemmen.



## 15. Verstelbare ingrijping. (lit 5)

Bij tandwielsoorten anders dan rechte tandwielen met rechte vertanding, bijvoorbeeld tandwielen die haaks staan ten opzichte van elkaar of tandwielen met een schuine vertanding, kan de constante speling geëlimineerd worden door de assen of tandwielen op die assen axiaal verstelbaar te maken.

### 3.1.3. Slechte manieren om de speling te elimineren.

#### 1. Inloop-tandwielen. (lit 5)

Hiermee wordt bedoeld dat te grote tandwielen worden gemonteerd of dat de tandwielen te strak op elkaar worden gemonteerd, waarna het de bedoeling is dat ze tijdens het inlopen ( al dan niet met een abrasief "smeermiddel" ) zullen slijten tot ze precies goed passen. Dit is een manier die niet werkt en tot grote schade kan leiden, en dus nooit toegepast moet worden.

#### 2. Scheefstelling van de as. (lit 5)

Door evenwijdige assen met tandwielen met rechte vertanding een beetje scheef te stellen kan de constante speling geëlimineerd worden. Dit leidt echter tot een verkeerde belasting van de tandwielen en mag daarom ook nooit toegepast worden.

#### 3. Het gebruiken van een vullend smeermiddel. (lit 5)

Door gebruik te maken van vet of heel visceuze olie kan bij licht belaste tandwieloverbrengingen de speling gereduceerd worden. Dit effect is echter niet voorspelbaar en niet constant (afhankelijk van de toestand van het smeermiddel, de snelheid enzovoort). Dit is dus ook geen techniek die aanbevelenswaardig is. (Vergelijk het toevoegen van zaagsel aan de olie van een rammelende versnellingsbak door malafide autohandelaren.)

### 3.2. Wormwielen.

Hoewel een aantal technieken die bij tandwielen worden gebruikt ook bij wormwielen kunnen worden gebruikt, zijn er ook een aantal technieken die speciaal voor wormwiel-overbrengingen geschikt zijn.

#### 3.2.1. Manieren om de speling te beheersen en te elimineren.

##### 1. Worm met verlopende tanddikte. (lit 5, 7, 10, 11, 13)

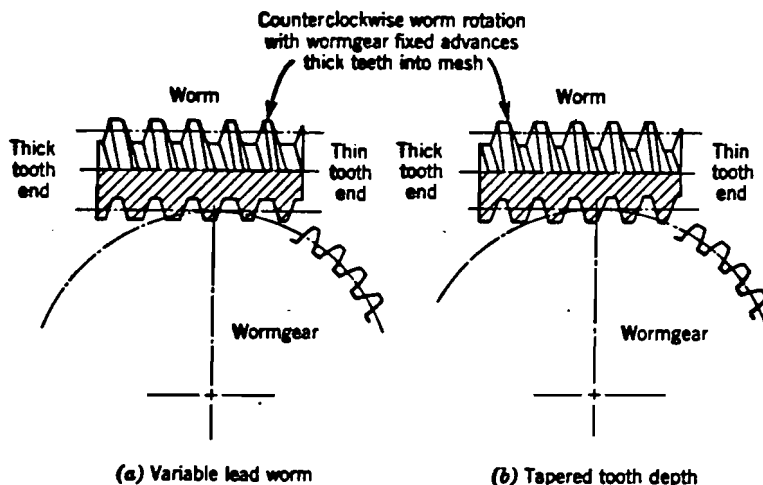


fig.14 Wormen met verlopende tanddikte.

Hier heeft de vertanding op de worm aan beide zijden een iets andere spoed, of een verlopende tandhoogte, beide resulterend in een axiaal verlopende tanddikte (zie fig.14). Door de worm axiaal te verstellen komen dikkere tanden in aangrijping. Op die manier wordt de variabele speling geëlimineerd.

##### 2. De worm op het wormwiel drukken. (lit 5)

In figuur 15 is te zien hoe de worm met een veer op het wormwiel gedrukt kan worden. Op die manier wordt alle speling geëlimineerd. De nadelen van deze manier zijn dat slechts een geringe belasting mogelijk is en dat het scheef gaan staan van de as waarop de worm bevestigd is

constructief grote problemen oplevert voor de rest van het ontwerp.

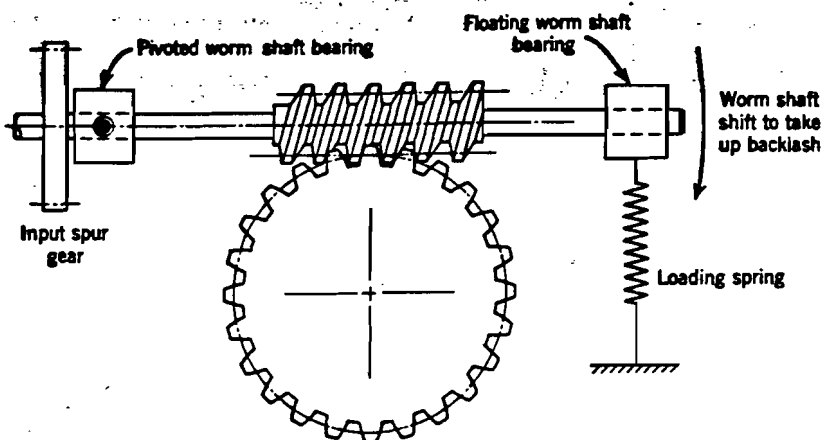


fig.15 De worm voorgespannen op het wormwiel.

### 3.3. Harmonic Drive.

Het principe van de Harmonic Drive wordt hier en daar genoemd als een spelingsarme of spelingsvrije overbrenging, maar het hoe en waarom daarvan wordt in de gevonden literatuur niet beschreven.

### 3.4. Schroefdraad en kogelgeleidingen.

Deze soorten overbrengingen kunnen spelingsvrij gemaakt worden waarbij voorspanning het toverwoord is.

### 3.5. Spelingsvrije omzettafel. (lit 13)

Hierbij wordt gebruik gemaakt van een groefnokschijs en een draaitafel waaraan op een bepaalde steekcirkel en op een vaste afstand ten opzichte van elkaar nokrollen bevestigd zijn. Als ervoor gezorgd wordt dat steeds meerdere nokrollen in de groefnokschijs lopen (zie figuur 16) en de spoed van de groefnokschijs iets verschilt van de afstand tussen de

nokrollen onderling (in figuur 17 is te zien hoe dat kan),  
ontstaat een voorspanning die alle speling elimineert.

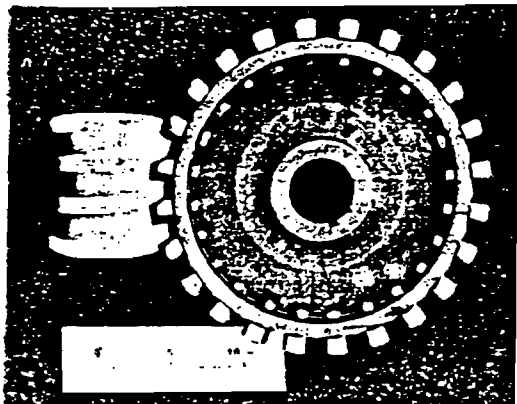


fig.16 De groefnokschijf met de omzettafel.

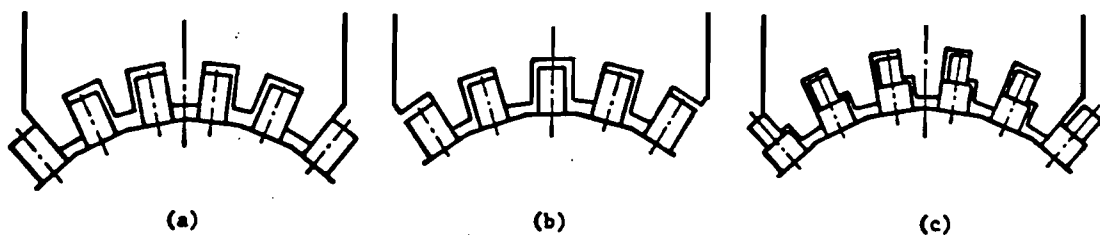


fig.17 Verschillende manieren van voorspannen.

#### 4. Overzicht gevonden literatuur.

- (1) Zahnräder, Zirpke, 1985, Lizenznummer 114-210/27/85, DDR
- (2) Zahnradtechnik Band I, Roth, 1989, ISBN 3 540 51186 7
- (3) Gear Engineering, Merrit, 1971, ISBN 0 237 42977 9
- (4) Theory of Gearing, Litvin, 1989, NASA ref.publ.1212 AVSCOM techn.rep.88-C-035
- (5) Precision Gearing, Theory and Practice, Michalec, 1966, Library of Congress Catalog Card Number 66-21045
- (6) 2nd World Congress on Gearing 3,4,5 maart 1986, Proceedings, Harmonic Gear Drive for use in Large Optical Instrument, Lin-zhi Sun(blđz 795), 1986
- (7) Mechanisms, Linkages and Mechanical Controls, Mc Graw-Hill, 1965, Library of Congress Catalog Card Number 66-23552
- (8) Ingenious Mechanisms for Designers and Inventors Vol.IV, 1957, Library of Congress Catalog Card Number 30-14992
- (9) Het voorspellen van dynamisch gedrag en positioneringsnauwkeurigheid van konstrukties en mechanismen, v. Hoek, 1985, TUE Dictaatnr. 4007
- (10) Maschinen-Elemente Band II, Niemann, Winter, 1989, ISBN 3 540 11149 2
- (11) Spielarme Schneckengetriebe nach dem Duplex-Prinzip, Predki, (Technica 14-1989)
- (12) Bespreking van het Niemann-principe, Broekhuizen, 1986, CFT SAQ 2410
- (13) A Study on Zero-backlash Reduction Mechanism, Motohashi, Emura, Sakai, (Bulletin of JSME, Vol.29, No.255, September 1986)
- (14) Antriebskomponenten für Roboter auf dem Prüfstand, Gerstmann, (Industrie-Anzeiger 3/4/1989)
- (15) Spielarme Schneckengetriebe, Schumann, (Antriebstechnik 25 (1986) Nr.11)
- (16) Vergelijkend Onderzoek Reduktiekasten, Verheecke, 1980, CFT 014/80