

# INSTITUUT VOOR LANDBOUWTECHNIEK EN RATIONALISATIE

Rapport 163      september 1970

## ENKELWIELTESTER

Meettechniek en verwerking van de  
meetgegevens op het Institut für

Betriebstechnik

te Braunschweig - Völkenrode

W. Rossing en M.G. Telle

Dr. S. L. Mansholtlaan 12 - Wageningen

tel. 08370-6411

2016

32

2207297

Rapport 163 september 1970

**ENKELWIELTESTER**

Meettechniek en verwerking van de  
meetgegevens op het Institut für  
Betriebstechnik  
te Braunschweig - Völkenrode

W. Rossing en M.G. Telle

Overneming alleen toegestaan na overleg met de schrijver

Stnr.129-175-1-10-1970

vH

2287297

## INLEIDING

In verband met de door het I.L.R. te bouwen enkelwieltester en de daarbij toe te passen meetmethodieken werd een bezoek gebracht aan de Forschungsanstalt für Landwirtschaft te Braunschweig.

Bij het Institut für Betriebstechnik werd de daar gebouwde enkelwieltester bestudeerd. Er werd bekeken welke meetapparatuur zij gebruiken, welke meetmethoden worden toegepast en hoe de verkregen meetresultaten worden verwerkt. Tevens werd een kort bezoek gebracht aan het Institut für Landtechnische Grundlagenforschung en het Institut für Landmaschinenforschung.

## PROGRAMMA

- Maandag 14.00 - 17.30 Oriëntering over Einzelradprüfgerät en bijwonen van veldmetingen.  
Dipl.Ing. Steinkampf.
- Dinsdag 8.00 - 17.00 Uitwerking van de metingen en bespreking benodigde apparaturen en uitwerkmethode. Uitwisseling van gedachten over onze plannen, vooral slipmeting, trekkrachtmeting, uitwerken van gegevens.
- Woensdag 8.00 - 10.00 Bezoek aan Institut für Landtechnische Grundlagenforschung. Rondleiding door de werkplaats en bezichtiging van verschillende projecten.
- 10.00 - 12.00 Bezoek aan Institut für Landmaschinenforschung. Rondleiding door de werkplaats en bezichtiging van verschillende technische projecten.

## ENKELWIELTESTER VAN HET INSTITUT FÜR BETRIEBSTECHNIK

### Constructie en meetapparatuur

De heer Dipl.Ing. H. Steinkampf begon vier jaar geleden met de ontwikkeling van een enkelwieltester (afb. 1 en 2). Het ontwikkelen van een opnemer voor het bepalen van de krachten die in de diverse richtingen optreden leidde tot een constructie waarmee het mogelijk is d.m.v. één opnemer de wielbelasting, de trekkracht, het draaimoment en de zijdelingse kracht te meten. De opnemer bestaat in principe uit een kruis, waarbij d.m.v. rekstrookjes de krachten worden bepaald. Het meetwiel met verdragingsbak (1:4) en oliemotor vormen een geheel. Dit geheel is bevestigd aan de opnemer.

Door de keuze van de opnemer kon de verdere constructie, daar nergens meer krachten behoeften te worden gemeten, eenvoudig worden. De opnemer is via een parallellogramophanging bevestigd aan de driepuntsbevestiging van de trekker (afb. 3). De oliepomp, die ook in de driepuntsbevestiging is bevestigd, wordt aangedreven door de aftakas van de trekker. De wielbelasting wordt verkregen door gewichten aan te brengen op het frame. Deze gewichten worden aangebracht en afgenomen met behulp van een trekker met voorlader. Het max. koppel dat aan het meetwiel kan worden afgegeven bedraagt 1000 kgm. De max. belasting van het meetwiel is tot nu toe 1800 kg geweest.

Het toerental van het meetwiel wordt gemeten d.m.v. een opnemer die 600 pulsen/omw. geeft (afb. 4). De werkelijke snelheid van de combinatie wordt gemeten d.m.v. een kabel. Deze wordt in de grond vastgezet en loopt af via een rol met een pulsgever. Deze meetmethode geeft redelijk exact de snelheid aan en vraagt tijdens de metingen weinig extra werk.

De slip wordt bepaald met een oud type slipmeter (kegelvormige trommel met rol). Hierop moet de belaste straal worden ingesteld. Daar deze meter nogal wat problemen geeft, zal deze in de toekomst niet meer worden gebruikt (afb. 5). De diverse opnemers zijn via kabels verbonden met de meetapparatuur die in een Volkswagenbusje is opgesteld. De gegevens worden op een Philips magneetbandrecorder vastgesteld.

#### Werkwijze tijdens de metingen

Het meetframe was verbonden aan een Deutz trekker 9006 (90 pk). De trekker draaide tijdens de metingen volgas; doordat deze weinig gevoelig was voor de belastingsveranderingen tijdens de metingen bleef de rijsnelheid praktisch constant. Op de trekker bevonden zich tijdens de metingen twee man, een trekkerbestuurder en een bedieningsman voor de regeling van de snelheid van het meetwiel. Deze bedieningsman had voor zich drie indicatoren: één voor de slip, één voor de trekkracht en één voor het koppel. Door middel van een hefboom varieerde hij de snelheid van het meetwiel. Er werd begonnen met een negatieve slip; langzaam werd het toerental van het meetwiel opgevoerd en er werd getracht de snelheid bij een trekkracht gelijk 0 een korte tijd constant te houden. Hierna werd het toerental opgevoerd tot de slip 50-60% bedroeg. Het meettraject bedroeg bij een rijsnelheid van  $\pm 5$  km ongeveer 15 m.

De metingen werden tijdens ons bezoek uitgevoerd bij twee bandenspanningen en twee belastingen; elke combinatie werd in duplo uitgevoerd. Voor elke twee metingen werd de apparatuur uitgebalanceerd en werden de nullijnen en de ijkwaarden op de band aangebracht. Door middel van een spreekkanaal op de magneet-

band werden de instellingen van de apparatuur en de ijkwaarden op de band gesproken.

Tijdens de metingen waren vijf man aanwezig, twee op de trekker (bestuurder + bedieningsman), twee in de meetbus (chauffeur + meettechnicus) en één voor de bijkomende werkzaamheden.

### Berekeningsmethoden en gebruikte symbolen

De uiteindelijke resultaten worden door het Institut für Betriebstechnik uitgezet in grafiekvorm.

Voor de berekening van de diverse grootheden wordt gebruik gemaakt van de volgende formules en symbolen.

Gemeten grootheden:

Koppel	M
Trekkracht	T
Belasting	p <i>omtrekkracht</i>
Voortbewegingssnelheid	v <sub>1</sub>
Omtrekssnelheid band	v <sub>0</sub>
Slip	σ (sigma)

Berekende grootheden  $U = \frac{M}{r_0}$

U omtrekkracht

r<sub>0</sub> belaste straal

$$\mu = \frac{U}{p}$$

μ (mu) nuttige trekkrachtcoëfficiënt

*bruto trekkrachtcoëff*

$$\kappa = \frac{T}{p}$$

κ (kappa) bruto trekkrachtcoëfficiënt

*netto trekkrachtcoëff*

$$\rho = \frac{R}{p} = \frac{U - T}{p} = \mu - \kappa$$

ρ rolweerstandcoëfficiënt

R rolweerstand

$$\eta = \frac{T}{U} (1 - \sigma) = \frac{T}{R + T} (1 - \sigma) = \frac{\kappa}{\kappa + \frac{U}{T}} (1 - \sigma)$$

η (eta) rendement van de band

We kunnen ook schrijven:

$$\eta = \frac{T v_1}{M \omega}$$

ω hoeksnelheid van de band in radialen

$$v_0 = r_0 \omega \quad \omega = \frac{v_0}{r_0}$$

$$\eta = \frac{T v_1}{M \omega} = \frac{T v_1}{U r_0 \frac{v_0}{r_0}} = \frac{T v_1}{U v_0}$$

$$\sigma = \frac{v_0 - v_1}{v_0} = 1 - \frac{v_1}{v_0}$$

$$\text{of } \frac{v_1}{v_0} = 1 - \sigma$$

dus  $\eta = \frac{T}{U} (1 - \sigma)$

De grootheden  $\mu$ ,  $\kappa$ ,  $\rho$ ,  $\eta$  en  $P$  worden allen in een grafiek uitgezet tegen de slip ( $\sigma$ ).

Bepaling slip

De bepaling van de slip is nog steeds niet voldoende vastgelegd. Bij het Institut für Betriebstechnik werd ervan uitgegaan dat de slip 0 is als de trekkracht 0 is. Hiervoor werd op het veld ook getracht enige tijd de snelheid van het wiel zo in te stellen, dat de trekkracht 0 is, opdat men bij het uitwerken het tijdstip waarop de slip 0 is kan bepalen.

Bij de metingen in het veld werd op de slipmeter ongeveer de belaste straal ingesteld. Omdat deze niet exact kan worden bepaald moeten tijdens de uitwerking hiervoor correcties worden aangebracht. De procedure hiervoor is als volgt. In een grafiek wordt de trekkracht uitgezet tegen de slip. Als de belaste straal  $r_0$  niet juist is ingesteld

gaat de lijn niet door de oorsprong bij  $T + 0$

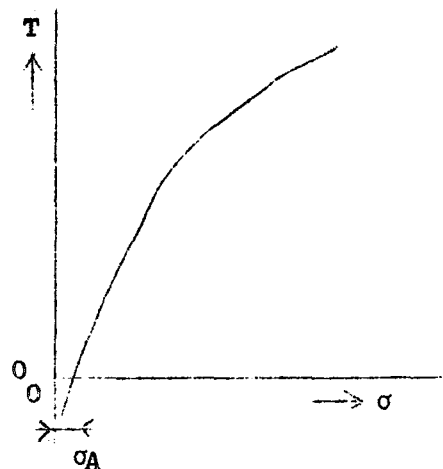
$$C = \frac{1 - \sigma_\omega}{1 - \sigma_A}$$

$C$  is correctie

$\sigma_\omega$  is werkelijke slip

$\sigma_A$  is verschil bij 0 slip

Bij nulslip  $\sigma_\omega = 0$  dan  $C = \frac{1}{1 - \sigma_A}$



Nu kan ook de werkelijke belaste straal  $r_\omega$  worden bepaald.

$$r_\omega = \frac{r_0}{C} \quad r_0 \text{ is de ingestelde belaste straal.}$$

$$\sigma_\omega = 1 - (1 - \sigma_A)C$$

Zoals reeds is opgemerkt zal in de toekomst de mechanische slipmeter, die nu nog op de machine is gebouwd, niet meer worden gebruikt; dan zal de slip worden berekend uit de snelheid van de wagen en het aantal omwentelingen van het meetwiel. De berekenwijze is dan als volgt.

$I_1$  is aantal pulsen per m (snelheid wagen)

$I_0$  is aantal pulsen per omw. van het meetwiel

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{v_1}{v_0} \quad \frac{v_1}{v_0} = \frac{v_1}{n_0 \cdot 2\pi r_0}$$

$n_0$  aantal omw./min van meetwiel  
als de slip = 0  $v_1 = v_0$   $\frac{v_1}{v_0} = 1 = \frac{v_1}{n_0 2\pi r_0}$   
als T = 0 slip = 0 dan kan belaste straal worden bepaald,  $r_0 = \frac{v_1}{n_0 2\pi}$

Bij deze methode wordt met digitale waarden gerekend.

Als met analoge waarden wordt gewerkt wordt de volgende methode toegepast.

$$v_1 \rightarrow f \cdot l / I_1$$

$$n_0 \rightarrow f \cdot 0 / I_0 \quad v_0 = 2\pi r_0 \cdot f \cdot 0 / I_0$$

$$\frac{v_1}{v_0} = \frac{f \cdot l \cdot I_0}{f \cdot 0 \cdot I_1 \cdot 2\pi r_0}$$

$$\text{bij slip} = 0, \frac{v_1}{v_0} = 1 = \frac{f \cdot l \cdot I_0}{f \cdot 0 \cdot I_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_0}$$

$$\text{en } r_0 = \frac{f \cdot l \cdot I_0}{f \cdot 0 \cdot I_1 \cdot 2\pi}$$

Uit deze laatste formule kan ook weer de werkelijke belaste straal worden bepaald.

### Uitwerking

Voor het uitwerken der gegevens is men geheel "self supporting". In het laboratorium staan een analoge rekeninstallatie en een x - y schrijver, waarmee de te verkrijgen grafieken worden berekend en opgeschreven. De rekenapparatuur is zelf uitgedacht en vervaardigd en bestaat uit relatief goedkope componenten, die normaal in de handel verkrijgbaar zijn. Dit heeft het voordeel, dat een zeer specifiek apparaat is gebouwd met alles erin wat nodig is, en toch niet duur (ca. DM 800 aan onderdelen). Verder kan men nu op elk willekeurig moment, passend in het eigen werkschema, over de uitwerkapparatuur beschikken zonder anderen te hinderen of derden in te schakelen.

Het analoge rekentuig bevat ingangen voor:

1. de slip  $\sigma_A$  (sigma);
2. het aandrijfmoment M;
3. de trekkracht T;
4. de wielbelasting p.

De uitgangen van het apparaat zijn:

1. de berekende slip  $\sigma_n$ , uitgaande van de belaste straal  $r_0$ ;
2. de bruto trekkrachtcoëfficiënt  $\mu = \frac{M}{r_0 \cdot p}$ ;

3. de netto trekkrachtcoëfficiënt  $\kappa = \frac{T}{p}$ ;
4. de wielbelasting  $p$ ;
5. het rendement  $\eta_T = \frac{\kappa}{\mu} \cdot (1 - \sigma_A) C_{cor}$ .

In afb. 6 wordt in schemavorm de benodigde apparatuur voor de rekenkundige bewerkingen gegeven. De symbolen, gemerkt met A, zijn operationele versterkers, die de eigenschap hebben de binnenkomende signalen te versterken, bij elkaar op te tellen en vervolgens hun som van teken om te keren. De symbolen, gemerkt M en D, zijn resp. vermenigvuldigers en delers. Tenslotte zijn de symbolen die met C of K gemerkt zijn, potentiometers met behulp waarvan het signaal met een zekere in te stellen factor verkleind kan worden.

In het schema zijn de algebraïsche symbolen van de signaalgroottes vermeld en het behoeft ons inziens verder geen verklaring.

Voor het uitwerken worden de vier ingangen op de overeenkomstige sporen van het bandopname-apparaat aangesloten. De slipuitgang 1 komt aan het y-kanaal van de schrijver, de overige uitgangen komen na elkaar aan het x-kanaal. Op het veld is de tape voorzien van ijksignalen, zodat de gehele instelling van de apparatuur gecontroleerd en gecorrigeerd kan worden. Hierna wordt de band evenzo vele keren afgedraaid als er grafieken te noteren zijn.

#### CONCLUSIE

Het Institut für Betriebstechnik heeft een eenvoudige enkelwieltester gebouwd die aan de driepuntsbevestiging van een trekker kan worden bevestigd. Hoewel deze machine misschien enkele tekortkomingen heeft, (max. op het wiel uit te oefenen koppel 1000 kgm, max. aan te brengen wiellast 1800 kg en een niet al te grote afstand tussen trekkerwielen en meetwiel) zijn zij er ons inziens in geslaagd een installatie te bouwen waarmee snel veel gegevens kunnen worden verzameld; er zouden  $\pm 40$  metingen per dag kunnen worden verricht.

Het meest opmerkelijke was wel de methode om de op het veld verkregen gegevens te verwerken. De eenvoudige analoge rekenmachine gaf zeer snel alle gewenste gegevens in grafiekvorm weer. De meetresultaten van één dag konden in twee dagen worden verwerkt.

Gezien de mogelijkheden die wij nu hebben en de problemen die worden verwacht als onze gegevens bijv. in Den Haag moeten worden verwerkt, lijkt het ons aantrekkelijk zelf een dergelijke kleine rekeneenheid te bouwen. Het voordeel hiervan is tevens dat de uitwerking kan geschieden door diegenen die met het probleem en proefopzet op de hoogte zijn, terwijl hier snel kan worden nagegaan of de gewenste gegevens goed op de band staan.



HET INSTITUT FÜR LANDTECHNISCHE GRUNDLAGENFORSCHUNG

Wij werden ontvangen door de heer Dipl.Ing. Hesse, die ons na kennisname van onze interesse in meettechniek, aan enkele van zijn medewerkers de heren Muller en Wiemann overgaf.

Na een rondgang door het laboratorium met verschillende proefopstellingen hadden wij een gesprek met de heer Wiemann van de afdeling meettechniek, waarbij ervaringen werden uitgewisseld. Evenals bij ons wordt voor opnemers en instrumenten zoveel mogelijk de voorkeur gegeven aan standaardapparatuur. Slechts in het geval van speciale toepassingen gaat men over tot het zelf vervaardigen. Ook proeven in het veld probeert men zoveel mogelijk te vermijden en te vervangen door simuleringstechnieken waarvoor men opgenomen signalen van de bandrecorder gebruikt.

Een belangrijk hulpmiddel bij hun werkwijze is de analoge computer EAI type TR 48, met er aan gekoppeld een x - y schrijver. Is eenmaal het wiskundig model van een regelsysteem bekend, dan kan dit op de computer worden nagebouwd, waarna alle gedragingen kunnen worden bekeken door het invoeren van bekende grootheden.

Het opbouwen en het bewaren van een schakeling behoeft niet aan de computer zelf te gebeuren, zodat geen kostbare gebruikstijd verloren gaat door het opzetten van schakelingen of het blokkeren van de computer door gemaakte schakelingen.

HET INSTITUT FÜR LANDMASCHINENFORSCHUNG

Hier werden wij ontvangen en rondgeleid door de heer Dipl.Ing. Krause. Het onderzoek houdt zich niet bezig met de machine als geheel, doch met de daarin optredende elementaire bewerkingen, zoals snijden, drukken, sorteren, enz. Men tracht deze bewerkingen zo goed mogelijk te analyseren, enerzijds door de eigenschappen van het materiaal te bestuderen, anderzijds de functie van het werktuigonderdeel te bepalen. Voorts wordt de loop van het materiaal en de energie van en naar de bewerkingsplaats bestudeerd.

Het meest opzienbarende was de uitvinding van een nieuwe scheidingsmethode van stro en graankorrels door het mengsel te versnellen met behulp van een soort dorstommel en het daarna te laten botsen tegen draaiende schijven, die de vorm hebben van een bietenkopper. Het graan vliegt rechtdoor en het stro valt omlaag.

Een meettechnisch interessante proef is de bepaling van de dwarskrachten en bewegingen van halmen bij het doorsnijden met een cirkelmaaiër. Op een

ronddraaiende arm (30 m/sec) zijn messen aangebracht, die een van tevoren opgehangen halm of een nabootsing in de vorm van een plastic snoer, op commando doorsnijden. Hierbij wordt de snijkracht gemeten en de beweging van de halm gefotografeerd.

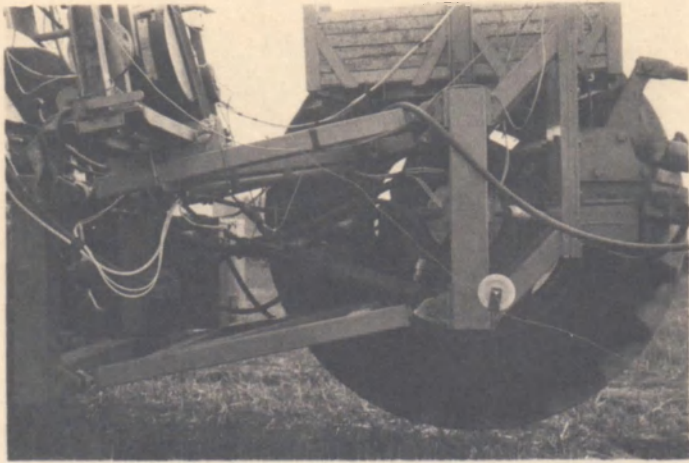
Tenslotte werden enkele proefopstellingen bekeken waar men de snijkrachten voor samengeperst materiaal bepaalde en waar men trachtte een optimum te vinden tussen de mate van verdichten en de benodigde snijkracht.



Afb. 1 Enkelwieltester en meetbus



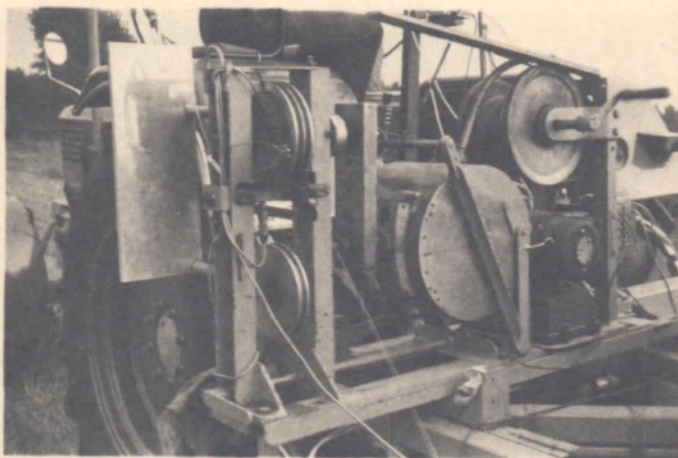
Afb. 2 Enkelwieltester van achteren gezien



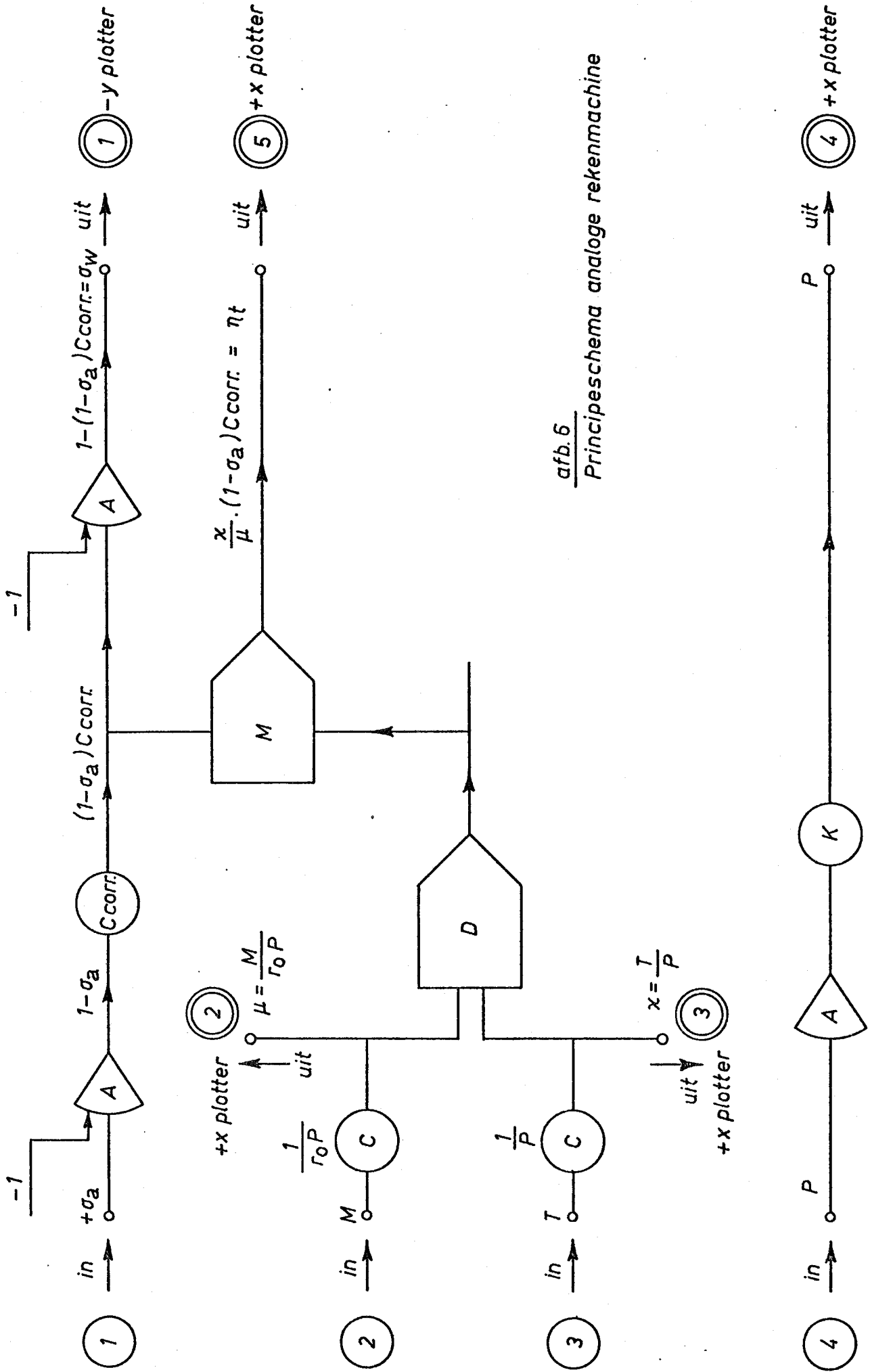
Afb. 3 Parallelogramophanging voor het meetwiel



Afb. 4 Meetwiel met snelheidsopnemer



Afb. 5 Snelheidsbepaling van de installatie d.m.v. kabel met rol en slipmeter



afb. 6  
Principeschema analoge rekenmachine