

## Bepaling van de nauwkeurigheid van een verdeelkop

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

Zweekhorst, E. T. W. (1964). Bepaling van de nauwkeurigheid van een verdeelkop. *Metaalbewerking*, 29(21), 456-458.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1964

**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.

## Bepaling van de nauwkeurigheid van een verdeelkop

door ir. E. T. W. Zweekhorst

Technische Hogeschool Eindhoven

Doorgaans bestaat een verdeelkop uit een worm en wormwiel met een overbrenging 40:1, waarbij met behulp van een snapperpen en een gatenschijf een nauwkeurig bepaalde hoekverdraaiing van de worm kan worden verkregen. Door middel van wisselwielen kan deze gatenschijf soms ook nog aan de wormwielas worden gekoppeld waardoor „differential” verdeeld kan worden.

De nauwkeurigheid van een verdeling hangt af van de nauwkeurigheid van de overbrenging worm — wormwiel, van de eventuele tandwieloverbrenging en van de arrêtering van de zwengel door snapperpen en gatenschijf. Het lijkt het eenvoudigste bij een gegeven overbrenging de nauwkeurigheid van het verdelen op te meten aan een proef-werkstuk.

De nauwkeurigheid van de arrêtering hangt af van de steekfout van de gaten en van de speelruimte in het mechanisme. Indien wordt aangenomen dat in tangentiële richting een verplaatsing van de zwengel ten opzichte van het arrêteergat  $x = 0,2$  mm mogelijk is, zal de verdeelfout het grootst zijn bij de steekcirkel met de kleinste straal. Als deze straal  $r = 40$  mm bedraagt, dan is de mogelijke verdeelfout  $\varphi$ , uitgedrukt in hoekverdraaiing van de wormwielas:

$$\varphi = \frac{1}{40} \frac{x}{r} = \frac{0,2}{1600} \text{ rad} = 0,4'$$

De nauwkeurigheid van de worm — wormwielcombinatie kan tezamen met de arrêteernauwkeurigheid worden bepaald, door de hoekverdraaiing van de wormwielas te vergelijken met die van een bekend nauwkeuriger meetinstrument. In de hier beschreven opstelling is een bekend landmeetkundig instrument, de theodoliet, gebruikt, die op de verticaal gestelde verdeelkop op een hulpstuk is geplaatst (figuur 1). Het hulpstuk is met een waterpas horizontaal gesteld, evenals de theodoliet. Door de as van de verdeelkop een hoekverdraaiing te geven en de theodoliet daarna terug te draaien naar het instelmerk (een ver verwijderd punt) kan de hoekverdraaiing van de verdeelkop die in werkelijkheid heeft plaatsgevonden, worden gemeten.

Min of meer noodzakelijk is, dat de hartlijn van de theodoliet samenvalt met die van de verdeelkop. Bij een eventuele excentriciteit  $e = 2$  mm en een afstand tussen theodoliet en instelmerk  $l = 500$  m, zal een systematische, periodieke fout worden gemaakt, waarvan de amplitude  $\varepsilon_{\max}$  bedraagt:

$$\varepsilon_{\max} = \frac{2}{500 \times 10^3} \text{ rad} \ll 0,1'$$

Op deze wijze kan de totale fout van de verdeelkop  $\beta_{\text{tot}}$  als verschil van de ingestelde en werkelijke hoekverdraaiingen worden gemeten en in een grafiek worden weergegeven (figuur 2).

Er moet rekening gehouden worden met de speelruimte tussen worm en wormwiel. Deze bedraagt bij de verdeelkop van figuur 2 slechts  $0,3'$  en door steeds in dezelfde richting draaiende de instelwaarde te bereiken, kan een fout ten gevolge van deze speelruimte worden vermeden. Om deze reden is niet nagegaan of de speelruimte constant is.

Belangrijker is de reproduceerbaarheid van de hoekverdraaiing. Deze moet worden bepaald door de worm over vele omwentelingen heen en terug te verdraaien, zodat meerdere tanden van het wormwiel in ingrijping zijn gekomen. De reproduceerbaarheid over een kleine hoek  $\alpha < 9^\circ$  is  $0,3'$ ; de reproduceerbaarheid bij grote hoekverdraaiing bedraagt daarentegen  $3'$ . Deze reproduceerbaarheid is in figuur 2 aangegeven door middel van een band van  $3'$  breed.

Uit figuur 2 blijkt dat deze verdeelkop een periodieke fout bezit van maximaal  $6'$ , zijnde  $2 \times$  de amplitude van de sinuslijn die het gemiddelde van de waarnemingen

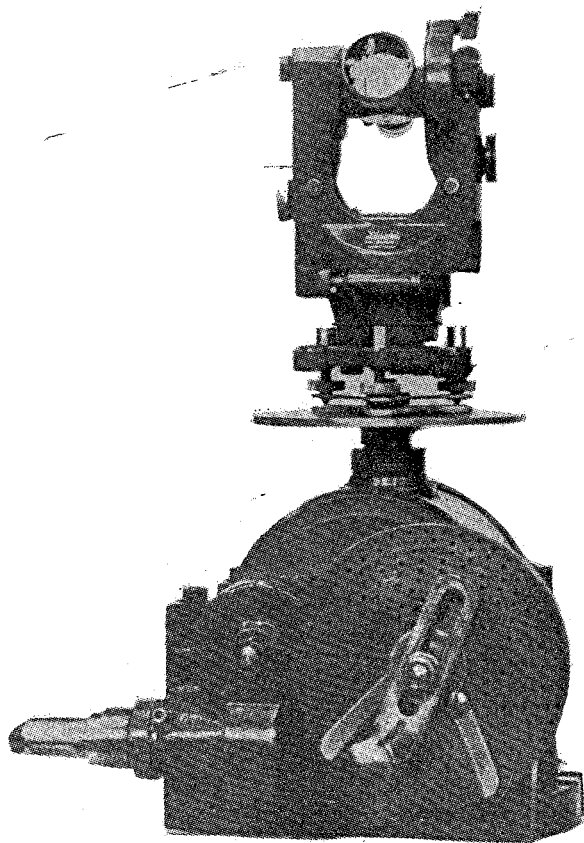


Fig. 1. Meetopstelling

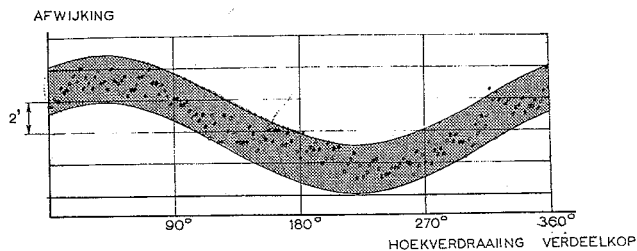


Fig. 2. Totale fout van de verdeelkop I

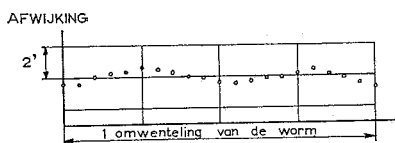


Fig. 3. Fout van de worm van verdeelkop I

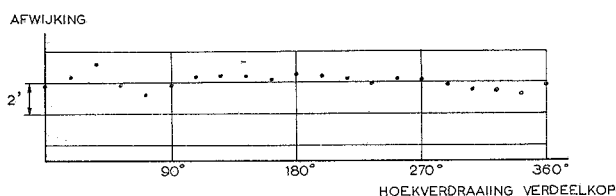


Fig. 4. Totale fout van de verdeelkop II

voorstelt. Deze fout is veroorzaakt door het wormwiel en kan niet van de worm afkomstig kan zijn, zoals blijkt uit figuur 3, waarin de fout van de worm is getekend. Deze is bepaald over één omwenteling van de worm bij een vlak gedeelte (figuur 2). Als dit vlakke stuk zou garanderen, dat de fout van het wormwiel ter plaatse

constant zou zijn, dan betekent dit dat het gemeten hoekverschil (dat maximaal 1' blijkt te zijn) een gevolg is van een fout in de worm.

De totale fout van de betrokken verdeelkop blijkt voornamelijk te worden bepaald door de fout van het wormwiel (6') en de reproduceerbaarheid (3'). De nauwkeurigheid bedraagt 9' of  $\pm 4\frac{1}{2}'$ . De prijs van de verdeelkop is circa f 1500,—.

Een verdeelkop van circa f 4000,— blijkt veel beter te zijn (figuur 4). De nauwkeurigheid van deze verdeelkop bedraagt  $\pm 1'$ , waardoor hij voldoet aan de eis van Schlesinger. De reproduceerbaarheid — over een grote hoekverdraaiing gemeten — bedraagt 0,2'.

Bij vergelijking van de meetresultaten van de verdeelkoppen valt het op, dat de reproduceerbaarheid enigermate in constante verhouding tot de nauwkeurigheid staat. Natuurlijk kan uit dit resultaat, verkregen bij vergelijking van slechts twee verdeelkoppen, nog niet worden geconcludeerd dat een dergelijke verhouding altijd zal optreden. Maar mede op grond van ervaring met meetapparaten kan men althans verwachten een indruk te krijgen omtrent de nauwkeurigheid van de verdeelkop door de reproduceerbaarheid te bepalen. Dit is een eenvoudige meting die bijvoorbeeld aldus zou kunnen worden uitgevoerd: zet een 1/100 mm comparator tegen een aanslag, bevestigd aan de wormwielas, en bepaal de klokstanden als de zwengel herhaaldelijk vele malen wordt teruggedraaid en vervolgens weer in de gearreëerde stand wordt geplaatst. Aangezien verdeelkop II een periodieke fout van het wormwiel gehad zou kunnen hebben van dezelfde grootte als die van verdeelkop I, vormt deze werkwijze geen meetmethode voor de nauwkeurigheid. Een systematische fout is immers reproduceerbaar en komt bij de bepaling van de reproduceerbaarheid niet aan het licht.

## ONTVANGEN UITGAVEN

**Betriebsbücher no. 1 t/m 5.** Redacteur Dipl. Ing. D. H. Bruins. Carl Hanser Verlag. München 1963.

De reeks Betriebsbücher is speciaal afgestemd op de praktische toepassing van de behandelde onderwerpen. De boekjes zijn dan ook speciaal geschikt voor lezers die, zonder zich direct tot expert te willen ontwikkelen, toch graag iets meer willen weten van een bepaald detail van hun vakgebied. De boekjes zijn over het algemeen ruim voorzien van foto's, constructietekeningen etc.

**No. 1: H. Martini. Waagrechtbohren I.** 3<sup>de</sup> dr. 84 pp.

In dit deeltje worden constructieve principes van de horizontale boor- en freesmachine gegeven, waarbij tevens de mogelijkheden van automatisering worden nagegaan. Vervolgens geeft schrijver richtlijnen voor de keuze van het werkstuk en bespreekt hij de verschillende op de horizontale boor- en freesmachine te gebruiken gereedschappen, o.a. boren, ruimers, frezen, draadsnij- en kottergeedschap. Naast de vorm en geometrie van het gereedschap vindt men tevens een beschrijving van verschillende soorten gereedschapsbevestiging en een bespreking van de instelnauwkeurigheid van het gereedschap, de bereikende bewerkingsnauwkeurigheid en oppervlaktekwaliteit van het werkstuk.

**No. 2: H. Martini. Waagrechtbohren II.** 3<sup>de</sup> dr. 65 pp.

Hierin worden voorbeelden gegeven van typische, met de horizontale boor- en freesmachine uit te voeren bewerkingen, waaronder boren, kottelen, ruimen, draadsnijden en frezen. Besproken worden voorts enkele systemen voor het instellen van de machine en het opspannen van de werkstukken, waarbij een aantal spanvoorbeelden wordt gegeven. Het boekje wordt afgesloten met een korte literaturopgave ten dienste van hen, die zich iets verder in het onderwerp willen verdiepen.

**No. 3: K. Stübner und W. Rüggen. Kupplungen im Betrieb.** 72 pp. Het korte bestek van dit werkje stond niet toe dat de schrijvers

een volledig overzicht gaven van alle aan de markt zijnde uitvoeringsvormen van koppelingen. Hoewel constructief verschillend, berusten vrijwel alle koppelingen slechts op een beperkt aantal principes. Deze worden door de schrijvers verduidelijkt, terwijl van de meest belangrijke vaste en verstelbare koppelingstypen aan de hand van duidelijke tekeningen constructieve details worden gegeven. Tevens wordt de berekeningsmethode van het max. draaimoment besproken en geven literatuurverwijzingen de mogelijkheid van verdere studie.

**No. 4: R. Hänchen. Dauerfestigkeitsbilder für Stahl und Gusseisen.** 58 pp.

In een inleiding worden de verschillende soorten vermoeiingssterkte, nl. de wisselbuigsterkte, de wisseltrek- en druksterkte en de wisseltorsiesterkte, gedefinieerd. Het boekje geeft vervolgens de sterkte-waarden en de vermoeiingsdiagrammen voor de meest gebruikte staal- en gietijzersoorten, t.w. normaal constructiestaal (DIN 17100), ongeleerd staal, chroomstaal, chroommolybdeenstaal en chroomnikkelmolybdeenstaal (DIN 17200) en inzetstaalsoorten (DIN 17210). Voor gegoten materialen wordt onderscheid gemaakt tussen materialen, waarbij het wisselsterktediagram een duidelijke strekgrens vertoont (nodulair gietijzer, tempergietijzer en gietstaal) en materialen met een diagram zonder strekgrens (lamellair gietijzer en Meehanite). Schrijver geeft richtlijnen voor de toepassing van de diagrammen. Na een overzicht van de huidige (1963) basisprijzen (in DM) van de besproken staal- en gietijzersoorten wordt het boekje besloten met een korte literatuurlijst.

**No. 5: V. Boetz. Die Kaltumformung von Stahl und NE-Metallen.** 75 pp.

Dit boekje geeft een algemeen overzicht van het koudextruderen. Na een overzicht van de verschillende extrusiemethoden, de toepassingsgebieden (aluminium en aluminiumlegeringen, edelmetalen), worden achtereenvolgens de voorbehandeling van het materiaal, de diverse typen werkstukvormen en de eigenschappen van koud geëxtrudeerde werkstukken besproken. Voorts worden richtlijnen gegeven betreffende de keuze van de machine en de constructie van de gereedschappen, waarbij vorm, materiaal, standtijd en vervaardigingskosten ter sprake komen. Schrijver besluit met een opsomming van de economische voordelen van koudextruderen ten opzichte van andere produktiemethoden. Een korte lijst met literatuurverwijzingen is bijgevoegd.

A. VAN KLEEF

**Dr. Ing. Habil M. Kronenberg. Grundzüge der Zerspanungslehre, II. Band: Mehrschneidige Zerspanung, Stirnfräsen, Bohren.** Springer, 16 × 24 cm, 361 blz, DM 72,—.

Nu van dit bekende werk het tweede deel is verschenen, is het goed ook enige aandacht te besteden aan deel I: „Einschneidige Zerspanung“, dat voor het eerst verscheen in 1927 en dat in 1954 zijn tweede druk beleefde.

In dit eerste deel behandelt de schrijver eerst de natuurkundige aspecten van het verspaningsproces om vervolgens met deze kennis formules op te stellen voor de gebruiksduur van het gereedschap en voor de hoofdsnijkracht. Het verspaningsproces wordt voorgesteld als een afschuiving die in een plat vlak, het afschuifvlak, plaats vindt. Deze beschouwingswijze leidt tot het opstellen van de zogenaamde hoofdvergelijking van de verspaningsnatuurkunde, namelijk die voor de afschuifhoek. Kronenberg vermeldt de resultaten van diverse onderzoekers op dit gebied, waarbij de meest moderne ontbreken. Onvermeld blijven ook de effecten die een zeer hoge snijsnelheid veroorzaakt, verschijnselen die onder meer door Kronenberg werden onderzocht. Wel wordt de invloed van de verspaningsomstandigheden op de restspanningen en de vervormingsversteving van het werkstukmateriaal genoemd, doch niet wordt ingegaan op de thermische aard van deze verschijnselen en het verband met de verspaningsomstandigheden.

Via dimensie-analyse leidt Kronenberg een formule af voor de gemiddelde beiteltemperatuur. Deze formule wordt geverifieerd met resultaten van diverse onderzoekers, onder andere Loewen en Shaw. Op soortgelijke wijze voert de dimensie-analyse tot een thermische verklaring van de Taylor-formule. Deze conclusie wordt niet door de feiten bevestigd.

De verspaningsnatuurkunde wordt afgesloten met een hoofdstuk, gewijd aan de meetkunde der beitelvormen. Dit hoofdstuk valt uit de toon, temeer daar de beitelhoeken en -vlakken niet in verband worden gebracht met de snijdende werking van het gereedschap. Het effect van de hellingshoek van de snijkant, waaraan Stabler veel aandacht besteedde, komt dan ook niet tot uiting.

In het gedeelte dat door de schrijver: „Technische Verspaningsleer“ is getiteld, vergelijkt Kronenberg vele experimentele resultaten en toetst deze aan de kennis van het verspaningsproces. Hij leidt ten slotte een betrekking af tussen de snijsnelheid en de gebruiksduur en geeft een uitdrukking voor de hoofdsnijkracht als functie van de verspaningsomstandigheden en materiaal-eigenschappen. Kronenberg wijst op het belangrijke werk van Klopstock die wees op het verband tussen de Meyer-hardheid en de hoofdsnijkracht. Op fraaie wijze is het verband te leggen tussen de Brinell-hardheid, de Meyer-exponent, de spaanvorm en de specifieke snijkracht.

De schrijver bepaalt de numerieke waarden van de coëfficiënten en exponenten in de formules voor de snijsnelheid en de hoofdsnijkracht, die zo goed mogelijk overeenkomen met de experimenten. Met behulp van deze betrekkingen stelt hij een draaidiagram op, waarin de hoofdsnijkracht en de snijsnelheid die de gewenste gebruiksduur garandeert als functies van de spaandorsnede voorkomen. Voor een gegeven beschikbaar netto verspanend vermogen is dan een tweede betrekking voor de snijsnelheid op te stellen. Kronenberg wijdt veel aan-

dacht aan de invloed van deze verbanden op de verspaningstechniek. Het boek bevat ten slotte tabellen met numerieke gegevens voor de genoemde relaties en vermenigvuldigingsfactoren die de invloed van koeling en dergelijke hierin tot uitdrukking brengen.

De opzet van het tweede boek, handelend over kopfrezen en boren, is dezelfde. Waar mogelijk wordt de nadruk gelegd op de overeenkomst met het enkelvoudig snijdende gereedschap. Tabellen en nomogrammen maken het ook hier mogelijk kracht- en gebruiksduurformules op te stellen. De schrijver meende geen aandacht te moeten besteden aan de dynamica van het frees- en het boorproces en het dynamisch gedrag van het gereedschap. Bij een behandeling van het meervoudig snijdende gereedschap kan echter de dynamica bezwaarlijk gemist worden.

In het eerste gedeelte analyseert Kronenberg de wijze van ingrijpen van een meskop-freestand en de meetkunde van de spaanvorming. De aansnijtijd en de vorm van het aanvangscontact van de freestand met het werkstuk blijken invloed te hebben op de gebruiksduur. Welk gebruiksduurkenmerk is aangehouden vermeldt schrijver evenwel niet en zijn verklaring dekt de experimentele resultaten nog niet volledig.

Bij de afleiding van de formule voor de snijsnelheid mist men een overtuigende demonstratie van de overeenkomst met het draaiproces. Het werk van Colding had hier vermelding verdiend, al zijn diens onafhankelijke variabelen anders gekozen. Bij het aantonen van de overeenkomst tussen de betrekkingen voor de gebruiksduur bij draaien en frezen voert de schrijver onnodig een verhoudingsfactor in, nadat hij een vergissing gemaakt heeft in de berekening van het spaanvolume per tand per omwenteling.

De formule voor de hoofdsnijkracht komt op dezelfde wijze tot stand als in het eerste boek. De berekening van het vermogen berust in feite op het bepalen van het product van een gemiddelde snijdruk en de spaanproductie. In dit hoofdstuk is geen freesdiagram opgenomen.

In het tweede gedeelte wordt de meetkundige vorm van de spiraalboor duidelijk behandeld. Uitvoerig gaat Kronenberg in op de mechanische belasting van de boor. Zonder verklaring berekent hij de torsiestijfheid uit het aanzicht van de boorpunt in plaats van uit de doorsnede van de boor. Op omslachtige wijze toont hij aan dat de belasting van de boor bepaald wordt door wringing. Uit deze beschouwingen trekt hij geen conclusies ten aanzien van de constructie van de boor.

Voor het bepalen van de snijkrachtformules beschikt schrijver over zeer oude gegevens. Opmerkelijk is zijn conclusie, dat voor boren dezelfde exponenten in de krachtsvergelijking gelden als bij draaien en dat er één constante verhouding bestaat tussen de waarden van de specifieke snijkracht bij deze processen. Voor de aanzetkracht kon geen relatie opgesteld worden.

Bij spiraalboren is de keuze van een goed gebruiksduurkenmerk lastig, hetgeen het onderzoek van Kronenberg zeer bemoeilijkt. Hij bepaalt veel lagere waarden voor de Taylorexponent dan bij draaien en constateert dat richtwaarden die men in de praktijk zou moeten hanteren, niet altijd verantwoord zijn. De schrijver geeft een boordigram, waarin als functie van de diameter een machine- en een gereedschapsrelatie voorkomen. Ten slotte vermeldt Kronenberg gegevens over lang-gatboren.

Het boek is zeer goed verzorgd en bevat een indringende analyse van het verspaningsproces door een onderzoeker met een levenslange ervaring op dit gebied, alhoewel hier en daar storende slordigheden staan. Al met al is het jammer dat dit boek niet veel eerder werd geschreven.

Ir. E. T. W. ZWEEKHORST