

## Technologie programma U-buigen : analyse U-buigen

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

Hoogenboom, S. M., Melis, A. C. E. C., & Perduijn, A. B. (1989). *Technologie programma U-buigen : analyse U-buigen*. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Vakgroep Produktietechnologie : WPB; Vol. WPA0791). Technische Universiteit Eindhoven.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1989

**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.

Laboratorium voor Omvormtechnologie  
Technische Universiteit Eindhoven

Technologie programma U- BUIGEN

Auteurs: ir. S.M. Hoogenboom  
ir. A.C.E.C. Melis  
ir. A.B. Perduijn

ANALYSE U- buigen

10 september 1989

IOP- Metalen

WPA rapport 0791

ir. L. J. A. Houtackers

1989 Laboratorium voor Omvormtechnologie TUE

In opdracht van TNO Metaalinstituut,  
in het kader van IOP- Metalen Buigen van voorbeklede plaat

## Inhoudsopgave

Symbolenlijst

Literatuuroverzicht

### 1 Inleiding

### 2 Deterministisch model U- buigen

#### 2.1 Inleiding

#### 2.2 Berekening van de gereedschapsbelasting

##### 2.2.1 Tegenhouderkracht $F_t$

##### 2.2.2 Matrijsbelasting ( $F_N$ ) en stempelbelasting $F_P$

#### 2.3 Geometrie na terugvering

### 3 Resultaten

### Bijlagen

A. Flowcharts

B. Procedurestructuur

## Nr     AUTEUR

- [1]     S.M. Hoogenboom                     ANALYSE STRIJKBUIGEN  
         A.C.E.C. Melis                     Interne publicatie TUE  
         A.B. Perduijn                     WPA- rapport 0767  
                                                 Eindhoven (augustus 1989)
- [2]     S.M. Hoogenboom                     PLAATBUIGEN: Modellen en analyse; deel2  
                                                 Interne publicatie TUE  
                                                 WPA - rapport 0709  
                                                 Eindhoven (september 1989)
- [3]     S.M. Hoogenboom                     ANALYSE VRIJBUIGEN  
         A.C.E.C. Melis                     Interne publicatie TUE  
         A.B. Perduijn                     WPA- rapport 0694  
                                                 Eindhoven (mei 1988)

Symbolenlijst

SYMBOOL	EENHEID	OMSCHRIJVING
$b_o$	(mm)	plaatbreedte
$b_P$	(mm)	stempelbreedte
$C$	(N/mm <sup>2</sup> )	karacteristieke deformatieweerstand
$E$	(N/mm <sup>2</sup> )	elasticiteitsmodulus
$F_A$	(N)	normaalkracht ter plaatse van A (zie fig. 2.1)
$F_{Fr}$	(N)	wrijvingskracht
$F_N$	(N)	normaalkracht
$F_P$	(N)	stempelkracht
$F_t$	(N)	tegenhouderkracht
$M_B$	(Nmm)	buigend moment
$M_{Be}$	(Nmm)	elastisch buigend moment
$M_{Bp}$	(Nmm)	plastisch buigend moment
$n$	(-)	verstevigingsexponent
$q$	(mm)	vlak deel tegenhouder
$s_o$	(mm)	plaatdikte
$t$	(mm)	zetspleet
$u$	(mm)	procesweg
$w_o$	(mm)	een gereedschapsmaat ( $\rho_D + \rho_P + t$ )
$w_1$	(mm)	een geometrische maat ( $\rho_D + \rho_P + s_o$ )
$\alpha$	(rad)	produkthoek
$\alpha_{bel}$	(rad)	buighoek onder belasting
$\alpha_{onb}$	(rad)	buighoek na terugvering

---

$\beta_t$	(rad)	halve hoek waarover de tegenhouder afgerond is.
$\Delta\alpha$	(rad)	hoekverandering ten gevolge van terugvering
$\Delta\gamma$	(rad)	totale hoekverandering ten gevolge van terugvering
$\epsilon_0$	(-)	voordeformatie
$\varphi_a$	(rad)	hoek waarover plaat aanligt aan het stempel
$\mu$	(-)	wrijvingsconstante volgens Coulomb
$\nu$	(-)	dwarscontractiecoëfficiënt
$\rho$	(mm)	kromtestraal
$\rho_D$	(mm)	matrijsradius
$\rho_P$	(mm)	stempelradius
$\rho_t$	(mm)	radius van de tegenhouder
$\rho_v$	(mm)	kromtestraal van de plaat als die voor het eerst plastisch begint te deformeren

Dimensieloze grootheden

SYMBOOL	FORMULE	OMSCHRIJVING
$E^*$	$\frac{E}{C}$	Dimensieloze elasticiteitsmodulus
$F_{Fr}^*$	$\frac{F_{Fr} \cdot w_0}{C \cdot b_0 \cdot s_0^2}$	Dimensieloze wrijvingskracht
$F_N^*$	$\frac{F_N \cdot w_0}{C \cdot b_0 \cdot s_0^2}$	Dimensieloze normaalkracht
$F_P^*$	$\frac{F_P \cdot w_0}{C \cdot b_0 \cdot s_0^2}$	Dimensieloze stempelkracht
$F_t^*$	$\frac{F_t \cdot w_0}{C \cdot b_0 \cdot s_0^2}$	Dimensieloze tegenhouderkracht
$M_B^*$	$\frac{M_B}{C \cdot b_0 \cdot s_0^2}$	Dimensieloze buigend moment
$q^*$	$\frac{q}{w_0}$	Dimensieloze maat vlak deel tegenhouder
$s_0^*$	$\frac{s_0}{w_0}$	Dimensieloze plaatdikte
$t^*$	$\frac{t}{w_0}$	Dimensieloze zetspleet
$u^*$	$\frac{u}{w_0}$	Dimensieloze procesweg
$w_0^*$	$\frac{w_0}{w_0} = 1$	Dimensieloze eenheidsmaat
$w_1^*$	$\frac{w_1}{w_0}$	Dimensieloze geometrische maat ( $\rho_D^* + \rho_P^* + s_0^*$ )
$\rho_{bel}^*$		Dimensieloze kromtestraal tijdens belasting
$\rho_D^*$	$\frac{\rho_D}{w_0}$	Dimensieloze matrijsradius
$\rho_{onb}^*$		Dimensieloze kromtestraal na terugvering

$\rho_P^*$	$\frac{\rho_P}{w_0}$	Dimensieloze stempelradius
$\rho_t^*$	$\frac{\rho_t}{w_0}$	Dimensieloze radius van de tegenhouder
$\rho_v^*$	$\frac{\rho_v}{s_0}$	Dimensieloze kromtestraal van de plaat als die voor het eerst plastisch begint te deformeren; dimensieloos naar de plaatdikte.



## 1 Inleiding

Bij het U- buigen kan er een gecombineerde bewerking van een U- profiel gerealiseerd worden waarbij tevens de mogelijkheid bestaat om door aanbrengen van een (eventueel blijvende ) kromming ( $\rho_t$ ) in de bodem van het profiel, de terugvering ter plaatse van de stempelradius ( $\rho_p$ ) te compenseren (zie fig. 1.1).

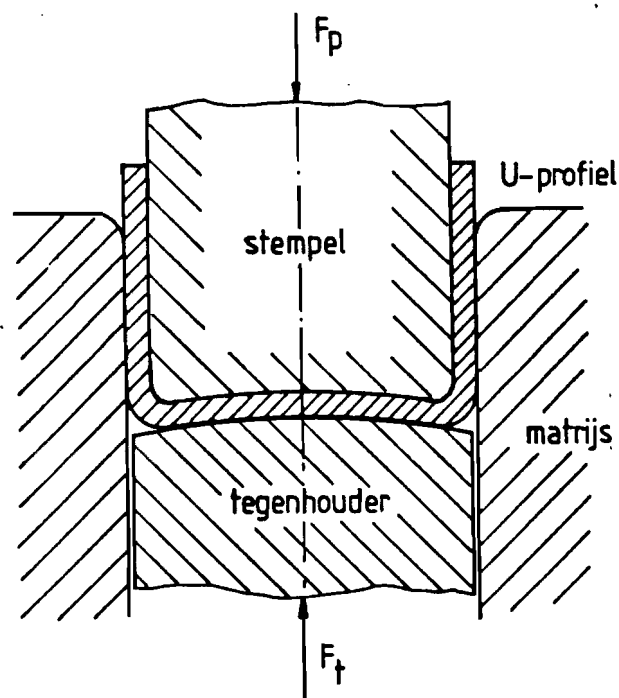


Fig. 1.1.: U- buigen.

Het procesverloop is dan als volgt. Eerst wordt met behulp van de tegenhouder de bodem van het U- profiel gebogen totdat de plaat tussen stempel en tegenhouder zit opgesloten. Vervolgens bewegen stempel en tegenhouder naar beneden en worden de zijkanten van het profiel gebogen; de tegenhouderkracht moet daarbij voldoende groot zijn zodat tegenhouder en stempel niet uit elkaar bewegen.

In hoofdstuk 2 wordt een procesanalyse gegeven die gebaseerd is op een deterministische modellering; dit betekent dat de momentane geometrie van de plaat wordt voorgeschreven. Berekend worden de tegenhouderkracht, de matrijsbelasting en de stempelbelasting; een en ander afhankelijk van de stempelweg.

Tevens wordt een formulering afgeleverd waarmee de geometrie van het U- profiel na terugveren kan worden bepaald.

In hoofdstuk 3 worden met name ten aanzien van de geometrie na terugvering enige resultaten gegeven voor twee materialen.

2. Deterministisch model U- buigen

2.1 Inleiding

Er wordt ten aanzien van de momentane plaatgeometrie een deterministische modelering toegepast; dit wil zeggen dat de plaatgeometrie wordt voorgeschreven.

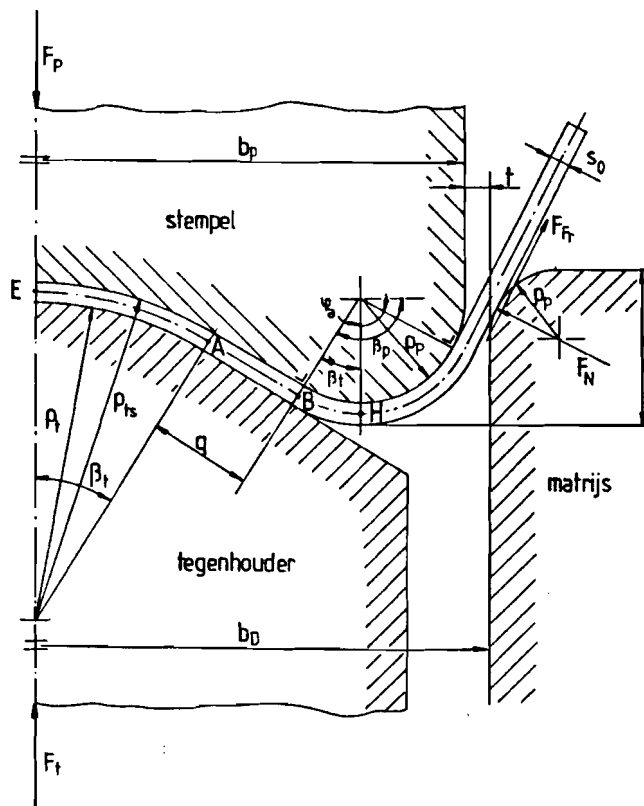


Fig. 2.1: deterministische modellering U- buigen.

Met betrekking tot de modellering wordt het nu volgende aangenomen (zie figuur 2.1):

- De plaatdikte verandert niet.
- In de eerste fase van het proces wordt de plaat tussen stempel en tegenhouder gebogen en daarbij volledig opgesloten.

De invloed van de wrijving op de daarvoor benodigde krachten wordt verwaarloosd.

- In de tweede fase vindt buiging plaats rond de stempelradius. Eis is daarbij dat de opsluiting tussen stempel en tegenhouder blijft gehandhaafd. Het deel van de plaat tussen stempelradius en matrijsradius wordt recht verondersteld.

Het voorgaande betekent dat de resultaten zoals die bij strijkbuijen zijn gevonden [Lit. 1] kunnen worden gebruikt.

- Het buigend moment ter plaatse van de grens tussen een recht en gebogen deel van de plaat wordt gerelateerd aan de kromtestraal van het gebogen deel ; het elastisch - star plastisch buigmodel [Lit. 2] wordt daarbij toegepast.

Er worden de nu volgende dimensieloze grootheden toegepast:

$$\rho_D^* = \frac{\rho_D}{w_0} \quad (2.1a)$$

$$\rho_P^* = \frac{\rho_P}{w_0} \quad (2.1b)$$

$$\rho_t^* = \frac{\rho_t}{w_0} \quad (2.1c)$$

$$t^* = \frac{t}{w_0} \quad (2.1d)$$

$$q^* = \frac{q}{w_0} \quad (2.1e)$$

$$\boxed{b_P^* = \frac{b_P}{w_0}} \quad (2.1f)$$

$$\boxed{s_0^* = \frac{s_0}{w_0}} \quad (2.1g)$$

$$\boxed{u^* = \frac{u}{w_0}} \quad (2.1h)$$

waarin:

$$\boxed{w_0 = \rho_D + \rho_P + t} \quad (2.2a)$$

Verder is

$$w_1 = \rho_D + \rho_P + s_0 \quad (2.2b)$$

en dimensieloos:

$$w_0^* = \frac{w_0}{w_0} = \rho_D^* + \rho_P^* + t^* = 1 \quad (2.2c)$$

$$\boxed{w_1^* = \frac{w_1}{w_0} = \rho_D^* + \rho_P^* + s_0^*} \quad (2.2d)$$

De krachten  $F_t$ ,  $F_P$ ,  $F_N$ , en  $F_{Fr}$  worden dimensieloos geschreven door te delen door

$$\frac{C \cdot b_0 \cdot s_0^2}{w_0}$$

Verder is

$$M_B^* = \frac{M_B}{C \cdot b_0 \cdot s_0^2} \quad (2.3)$$

en

$$\boxed{E^* = \frac{E}{C}} \quad (2.4)$$

Het Coulombse wrijvingsmodel wordt toegepast, zodat

$$F_{Fr} = \mu \cdot F_N \quad (2.5)$$

## 2.2 Berekening van de gereedschapsbelasting

### 2.2.1 Tegenhouderkracht $F_t$

De kracht  $F_t$  (zie fig. 2.1) moet voldoende groot zijn om de plaat tussen stempel en tegenhouder op te sluiten, zowel tijdens het buigen van de bodem als tijdens het buigen van de plaat rond de stempelafronding. Het is met name deze laatste bewerking die bepalend is voor de grootte van  $F_t$ .

Wordt er toegelaten dat de plaat bij het begin van buigen rondom de stempelafronding over de afstand AB iets vrij mag komen van de tegenhouder, dan geldt voor de normaalkracht ter plaatse van A:

$$F_A = \frac{M_B(\rho = \rho_P + \frac{s_0}{2})}{q} \quad (2.6)$$

en voor  $F_t$ :

$$F_t = 2 \cdot F_A \cdot \cos(\beta_t) = 2 \cdot \frac{M_B(\rho = \rho_P + \frac{s_0}{2})}{q} \cdot \cos(\beta_t) \quad (2.7)$$

of dimensieloos:

$$F_t^* = \frac{2 \cdot \cos(\beta_t)}{q} \cdot M_B^* \left( \rho^* = \frac{\rho_P}{s_0} + \frac{1}{2} \right) \quad (2.8)$$

waarin:

$$q^* = \frac{b_P^* - \rho_P^*}{\cos(\beta_t)} - (\rho_t^* + \rho_P^* + s_0^*) \cdot \tan(\beta_t) \quad (2.9)$$

In het voorgaande is aangenomen dat de plaat over AB vrij mag komen, dit betekent dat over dat deel van de plaat de kromtestraal niet bepaald is. Een en ander heeft een negatieve invloed op de voorspelde produktgeometrie.

Het toepassen van een grotere tegenhouderkracht dan de berekende zal wat dat betreft een

gunstige invloed hebben. Om dit in rekening te brengen zal de in (2.8) berekende kracht vermenigvuldigd worden met een factor f.

Dus:

$$F_t^* = 2 \cdot f \cdot \frac{\cos(\beta_t)}{q} \cdot M_B^* \left( \rho = \frac{\rho_P}{s_0} + \frac{1}{2} \right) \quad (2.10)$$

Voor  $M_B^*$  geldt [Lit. 2]:

$$M_B^* = M_{Be}^* \quad \text{voor } \rho^* > \rho_v^* \quad (2.11a)$$

$$M_B^* = M_{Be}^* + M_{Bp}^* \quad \text{voor } \rho^* < \rho_v^* \quad (2.11b)$$

waarin

$$\rho_v^* = \frac{E^* \cdot (\nu^2 - \nu + 1)^{1/2}}{2 \cdot (1 - \nu^2) \cdot \epsilon_0^n} \quad (2.11c)$$

$$M_{Be}^* = \frac{2 \cdot \epsilon_0^{3n} \cdot (1 - \nu^2)^2 \cdot (\rho^*)^2}{3 \cdot (E^*)^2 \cdot (\nu^2 - \nu + 1)^{3/2}} \quad (2.11d)$$

$$M_{Bp}^* = \frac{3^{1/2} \cdot (\rho^*)^2}{(n+1) \cdot (n+2)} \cdot \left[ \left( \frac{1}{3^{1/2} \cdot \rho^*} + \epsilon_0 \right)^{n+1} \cdot \left( \frac{n+1}{3^{1/2} \cdot \rho^*} - \epsilon_0 \right) + \right. \\ \left. - \left( \frac{1}{3^{1/2} \cdot \rho_v^*} + \epsilon_0 \right)^{n+1} \cdot \left( \frac{n+1}{3^{1/2} \cdot \rho_v^*} - \epsilon_0 \right) \right] \quad (2.11e)$$

### Opmerkingen:

- Om te voorkomen dat  $F_t^*$  ontoelaatbaar groot zou worden ten gevolge van een kleine  $q^*$ , zou als nevenvoorwaarde bij (2.8) een minimaal toelaatbare waarde voor  $q^*$  gehanteerd kunnen worden; dus  $q^* > q_{\min}^*$
- Van welke ordegröote f moet zijn, zal experimenteel bepaald moeten worden.

### 2.2.2 Matrijbelasting ( $F_N$ ) en stempelbelasting $F_P$

Bij de bepaling van deze krachten kan direct gebruikt worden gemaakt van de resultaten uit de analyse van het strijkbuigen [Lit. 1, vergelijking (2.18)], zodat voor de normaalkracht geldt:

$$F_N^* = \frac{M_B^* \left( \rho^* = \frac{\rho_P}{s_0} + \frac{1}{2} \right)}{a_t^* + \frac{\mu}{2} \cdot s_0^*} \quad (2.12)$$

Voor de stempelkracht geldt:

$$F_P^* = F_N^* \cdot [\cos(\varphi_a) + \mu \cdot \sin(\varphi_a)] + F_t^* \quad (2.13)$$

of volgens [Lit. 1, vergelijking (2.19)]

$$F_P^* = 2 \cdot \left[ \left[ \left( 1 - \mu \cdot \frac{a_t^*}{w_1} \right) \cdot \frac{a_t^* + w_1^* \cdot (w_1^* - u^*)}{1 + (w_1^* - u^*)^2} + \frac{\mu}{w_1} \right] \cdot \frac{M_B^* \left( \rho^* = \frac{\rho_P}{s_0} + \frac{1}{2} \right)}{a_t^* + \frac{\mu}{2} \cdot s_0^*} + \right. \\ \left. f \cdot \frac{\cos(\beta_t)}{q} \cdot M_B^* \left( \rho^* = \frac{\rho_P}{s_0} + \frac{1}{2} \right) \right] \quad (2.14)$$

waarin:

$$a_t^* = [1 + (u^*)^2 - 2 \cdot w_1^* \cdot u^*]^{1/2} \quad (2.15)$$



### 2.3 Geometrie na terugvering

Voor de terugvering van een gebogen plaat geldt (zie [Lit. 3])

$$\frac{\rho_{\text{bel}}^*}{\rho_{\text{onb}}^*} = 1 - \frac{12 \cdot (1 - \nu^2)}{E} \cdot M_B^*(\rho^* = \rho_{\text{bel}}^*) \cdot \rho_{\text{bel}}^* \quad (2.16)$$

waarin  $\rho_{\text{bel}}^*$  de dimensieloze straal is tijdens belasting en  $\rho_{\text{onb}}^*$  de dimensieloze straal na terugvering.

Omdat het middenvlak van de plaat niet van lengte verandert tijdens terugveren geldt voor de buighoek

$$\frac{\alpha_{\text{onb}}^*}{\alpha_{\text{bel}}^*} = \frac{\rho_{\text{bel}}^*}{\rho_{\text{onb}}^*} \quad (2.17)$$

Voor de hoekverandering ten gevolge van terugvering

$$\Delta \alpha = \alpha_{\text{bel}}^* - \alpha_{\text{onb}}^* \quad (2.18)$$

geldt dan

$$\Delta \alpha = \frac{12 \cdot (1 - \nu^2)}{E} \cdot M_B^*(\rho^* = \rho_{\text{bel}}^*) \cdot \alpha_{\text{bel}}^* \cdot \rho_{\text{bel}}^* \quad (2.19)$$

Hiermee is een algemene formulering gevonden betreffende de terugveerhoek  $\Delta \alpha$ .

In het geval van een U-profiel moet worden nagegaan wat na terugvering de hoek  $\alpha$  is tussen de benen van het profiel (zie fig. 2.2)

Hierbij moet worden opgemerkt dat in de praktijk in het algemeen geldt:  $\alpha = 0$

Er geldt (zie fig. 2.1)

$$\frac{\alpha}{2} = \frac{\pi}{2} - \varphi_a + \Delta \gamma \quad (2.20)$$

waarin  $\Delta\gamma$  de totale hoekverandering is ten gevolge van de terugvering.

De diverse terugveercomponenten van  $\Delta\gamma$  in rekening gebracht, geldt (zie fig. 2.1)

$$\Delta\gamma = \Delta\varphi_a - \Delta\beta_t(EA) + \Delta\beta_t(BH) + \Delta\alpha_e \quad (2.21)$$

waarin:

- $\Delta\varphi_a$  : de terugvering over  $\varphi_a$
- $\Delta\beta_t(EA)$  : de terugvering over de boog EA
- $\Delta\beta_t(BH)$  : de terugvering over de boog BH
- $\Delta\alpha_e$  : de terugvering over het rechte deel tussen stempel- en matrijsafronding.

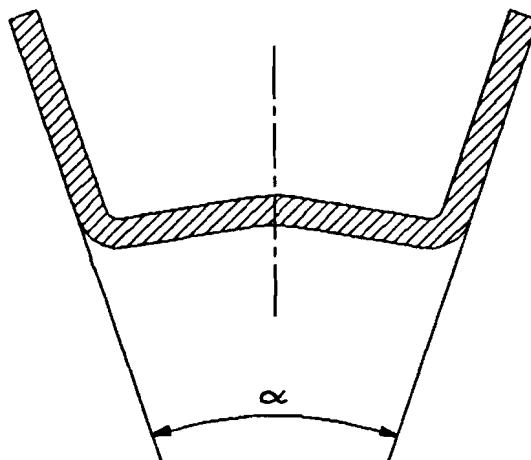


Fig. 2.2 : definiëring van de produkthoek  $\alpha$  bij U- buigen

Uitwerking hiervan met betrekking tot de drie aangegeven termen geeft het nu volgende:

1. Voor  $\varphi_a$  geldt (zie [Lit. 1, vergelijking (2.16) ] )

$$\cos(\varphi_a) = \frac{a_t^* + w_1^* \cdot (w_1^* - u^*)}{1 + (w_1^* - u^*)^2} \quad (2.22)$$

Met (2.19) is

$$\Delta \varphi_a = \frac{12 \cdot (1 - \nu^2)}{E^*} \cdot M_B^* \left( \rho = \frac{\rho_P}{s_0} + \frac{1}{2} \right) \cdot \left( \frac{\rho_P}{s_0} + \frac{1}{2} \right) \cdot \left( \frac{\pi}{2} - \cos(\varphi_a) \right) \quad (2.23)$$

2. Met (2.19) is

$$\begin{aligned} \Delta \beta_t(\text{BH}) - \Delta \beta_t(\text{EA}) = & \frac{12 \cdot (1 - \nu^2)}{E^*} \cdot \beta_t \cdot \left[ M_B^* \left( \rho = \frac{\rho_P}{s_0} + \frac{1}{2} \right) \cdot \left( \frac{\rho_P}{s_0} + \frac{1}{2} \right) + \right. \\ & \left. - M_B^* \left( \rho = \frac{\rho_t}{s_0} + \frac{1}{2} \right) \cdot \left( \frac{\rho_t}{s_0} + \frac{1}{2} \right) \right] \quad (2.24) \end{aligned}$$

3. Voor  $\Delta \alpha$  geldt (zie [Lit. 1, vergelijking (2.31) ] )

$$\Delta \alpha_e = \frac{6 \cdot F_N^* \cdot (a_t^*)^2}{E^* \cdot s_0} \quad (2.25)$$

Verwerking van (2.21), (2.23), (2.24) en (2.25) in (2.20) geeft

$$\begin{aligned} \alpha = & \pi - 2 \cdot \varphi_a + \\ & + \frac{24 \cdot (1 - \nu^2)}{E^*} \cdot \left[ M_B^* \left( \rho^* = \frac{\rho_P}{s_0} + \frac{1}{2} \right) \cdot \left( \frac{\rho_P}{s_0} + \frac{1}{2} \right) \cdot (\varphi_a + \beta_t) + \right. \\ & \left. - M_B^* \left( \rho^* = \frac{\rho_t}{s_0} + \frac{1}{2} \right) \cdot \left( \frac{\rho_t}{s_0} + \frac{1}{2} \right) \cdot \beta_t \right] + \\ & + \frac{12 \cdot F_N^* \cdot (a_t^*)^2}{E^* \cdot s_0} \end{aligned} \quad (2.26)$$

Een veel voorkomend geval betreft

$$\alpha = 0 \quad \text{en} \quad t = s_0$$

Dan is met  $u = \rho_D + \rho_P + s_0$

$$w_1^* = 1 \quad \text{en} \quad u^* = 1$$

zodat

$$a_t^* = 0, \quad \cos(\varphi_a) = 0 \quad \text{en} \quad \varphi_a = \frac{\pi}{2}$$

Hiermee wordt (2.26)

$$\begin{aligned} M_B^* \left( \rho^* = \frac{\rho_P}{s_0} + \frac{1}{2} \right) \cdot \left( \frac{\rho_P}{s_0} + \frac{1}{2} \right) \cdot \left( \frac{\pi}{2} + \beta_t \right) = \\ M_B^* \left( \rho^* = \frac{\rho_t}{s_0} + \frac{1}{2} \right) \cdot \left( \frac{\rho_t}{s_0} + \frac{1}{2} \right) \cdot \beta_t \end{aligned} \quad (2.27)$$

Opmerking: Bij de berekening van  $M_B^* \left( \rho^* = \frac{\rho_t}{s_0} + \frac{1}{2} \right)$  moet uiteraard worden nagaan of

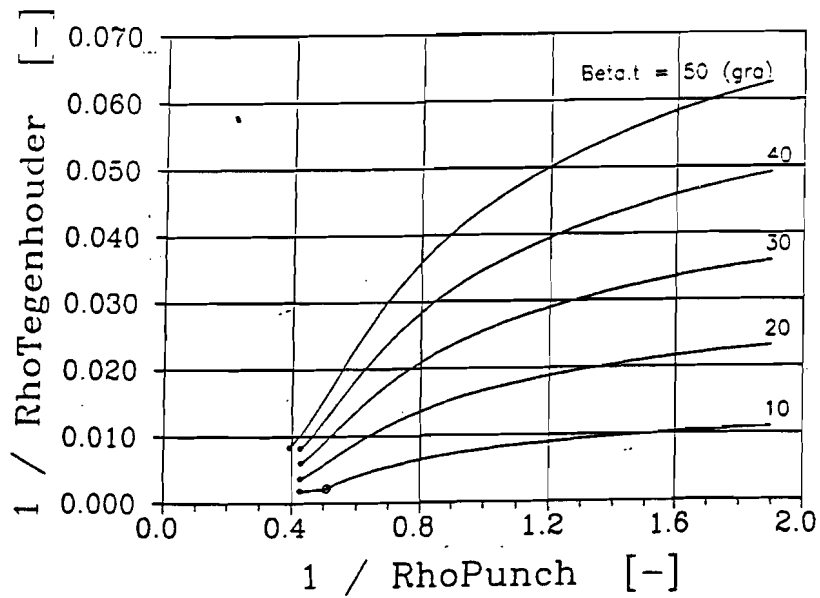
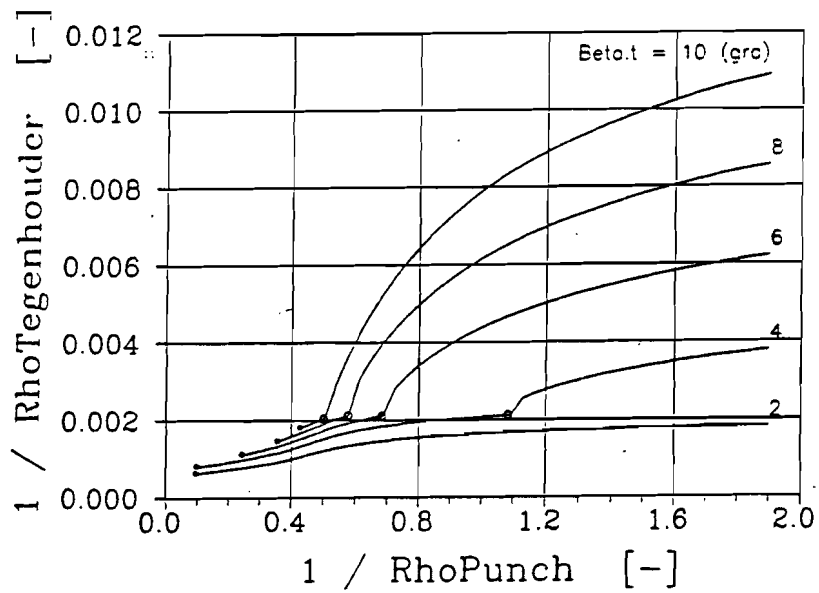
$$\rho^* > \rho_v^* \quad \text{dan wel} \quad \rho^* < \rho_v^* \quad (\text{zie (2.11)}).$$

### 3 Resultaten

Afgezien van de tegenhouderkracht ( $F_t$ ) is het verloop van de gereedschapsbelasting tijdens het proces identiek aan het verloop bij het strijkbuijen [Lit. 1]. Met betrekking tot de grootte van  $F_t$  moet worden opgemerkt dat (2.10) alleen een schatting geeft; bepaling van de factor  $f$  daarin zal experimenteel moeten geschieden.

Met behulp van (2.26) kan worden berekend hoe, gegeven de gereedschapsgeometrie, de produktgeometrie wordt; met name kan worden nagegaan hoe de terugvering ter plaatse van de stempelradius gecompenseerd kan worden door het aanbrengen van een (al dan niet blijvende) kromming in de bodem van het U- profiel. Daarbij blijkt dat de combinatie van de hoek  $\beta_t$  en de kromtestraal  $\rho_t^*$  van belang is.

In figuur 3.1 en 3.2 is aangegeven hoe, voor een bepaalde geometrie van het U- profiel en voor een tweetal materialen, afhankelijk van  $\rho_t^*$ , en met  $\beta_t$  als parameter, de  $\rho_t^*$  moet zijn om een produkthoek  $\alpha = 0$  te realiseren. Het beginpunt van iedere lijn (aangegeven met  $\bullet$ ) wordt bepaald door te eisen dat moet gelden  $q^* > 0$  (2.9). Verder geeft het teken  $\odot$  het punt aan waarbij elastische deformatie van de bodem juist overgaat in een blijvende kromming.



Materiaalgegevens:

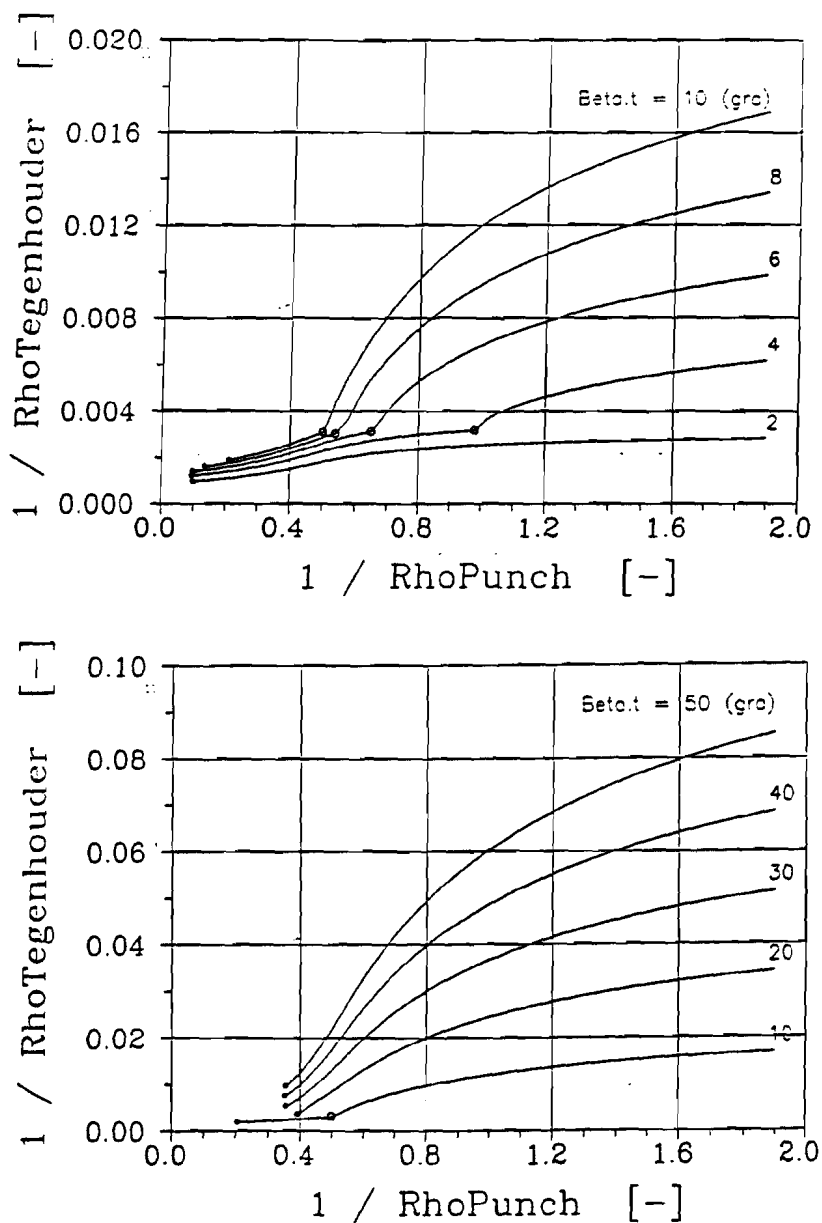
Staal:

- C = 620 (N/mm<sup>2</sup>)
- n = 0.23 (-)
- ε<sub>0</sub> = 0.01 (-)
- E = 210000 (N/mm<sup>2</sup>)
- ν = 0.28 (-)

Overige gegevens:

- ε<sub>0</sub> = 1.0 (mm)
- α = 0.0 (gra)
- u = 4.0 (mm)
- ρ<sub>D</sub> = 1.0 (mm)
- b<sub>P</sub> = 100 (mm)
- t = 1.05 (mm)

Fig. 3.1: relatie tussen produkt - en gereedschapsgeometrie (staal)



## Aluminium:

$C = 139$	(N/mm <sup>2</sup> )
$n = 0.05$	(-)
$\epsilon_0 = 0.01$	(-)
$E = 70000$	(N/mm <sup>2</sup> )
$\nu = 0.33$	(-)

## Overige gegevens:

$s_0 = 1.0$	(mm)
$\alpha = 0.0$	(gra)
$u = 4.0$	(mm)
$\rho_D = 1.0$	(mm)
$b_p = 100$	(mm)
$t = 1.05$	(mm)

Fig. 3.2: relatie tussen produkt - en gereedschapsgeometrie (aluminium)

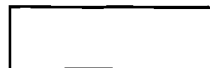
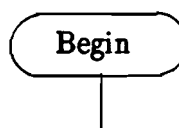
**Bijlage A:****Flowcharts Technologieprogramma U- buigen**



Verklaring van de gebruikte symbolen in de flowcharts

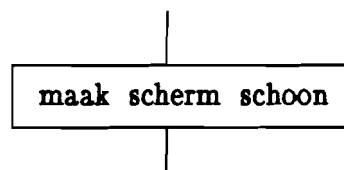
Aanduiding van een knooppunt.

Voorbeeld:



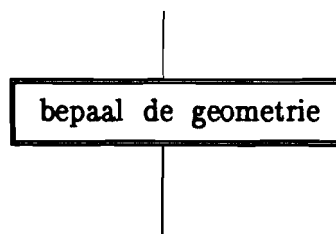
Aanduiding voor een eenvoudig blok waar één of meerdere acties plaatsvinden.

Voorbeeld:



Aanduiding voor een complex blok waar meerdere acties plaatsvinden die nog apart in een stroomschema toegelicht worden.

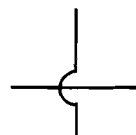
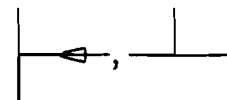
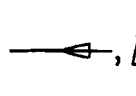
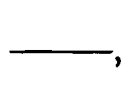
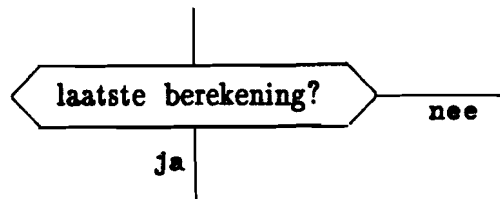
Voorbeeld:





Aanduiding voor een vraag. Bij de vertakkingslijnen staan dan de antwoorden die leiden tot die tak.

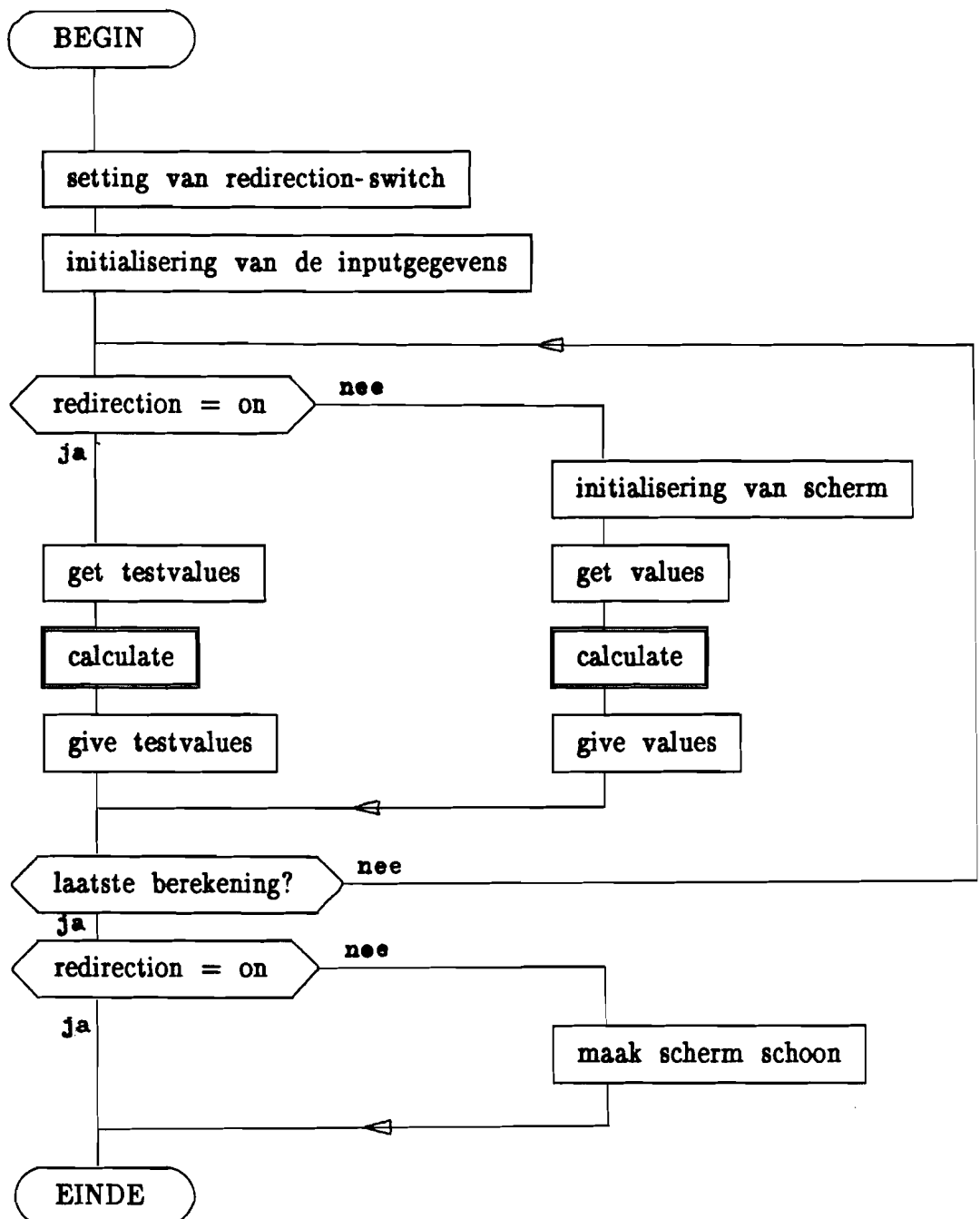
Voorbeeld:

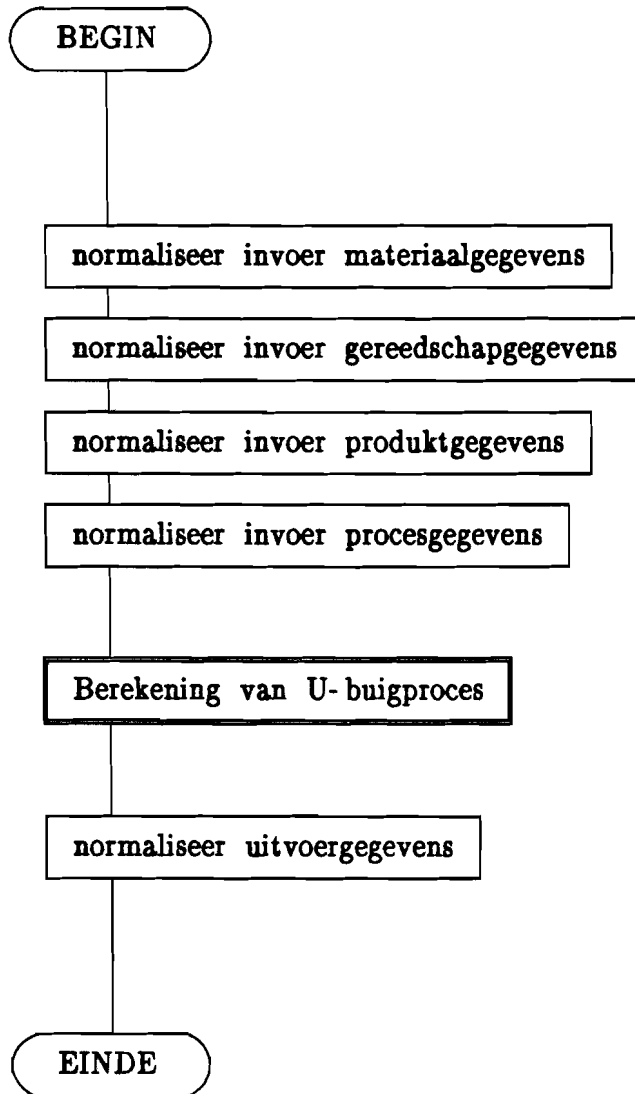


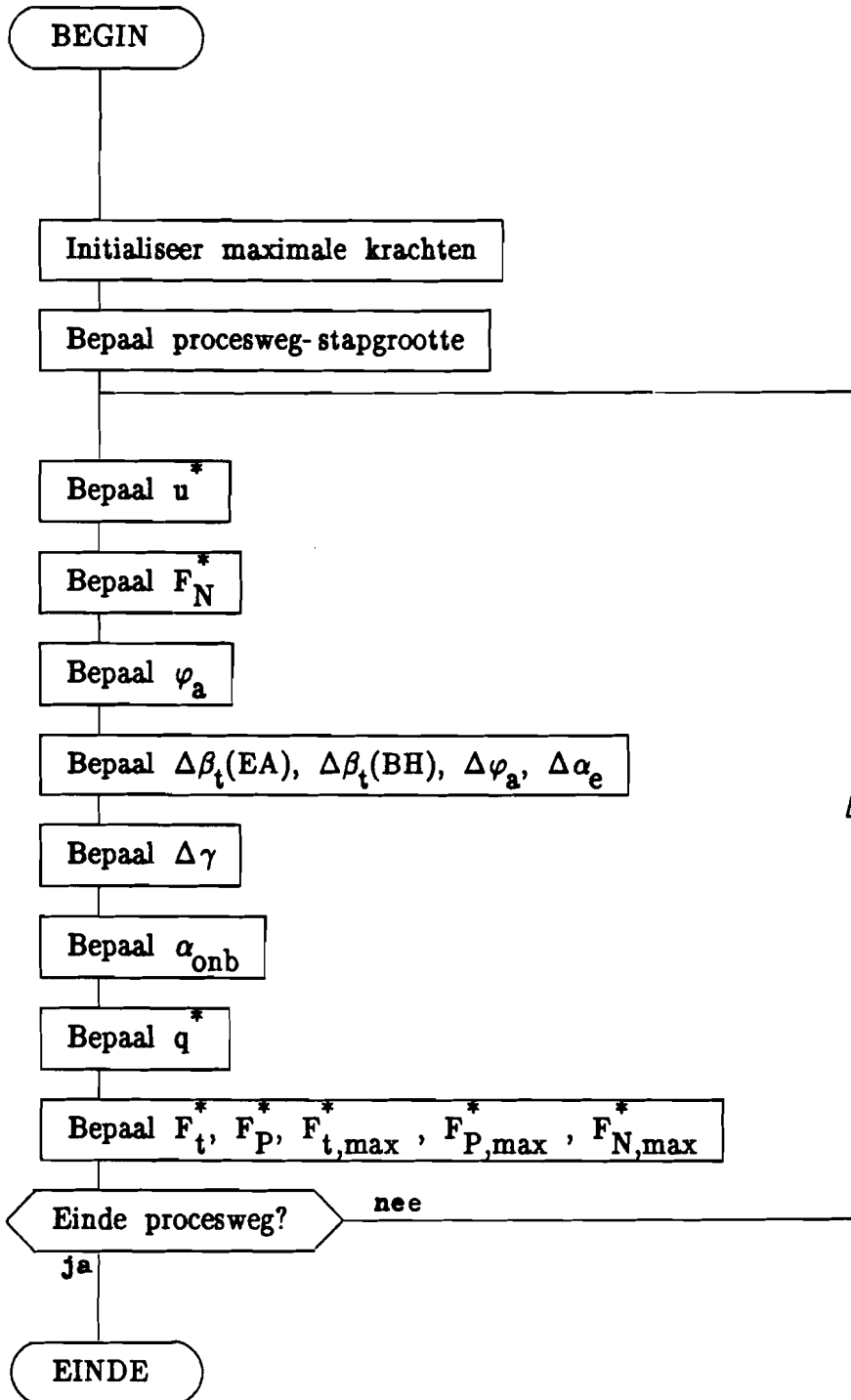
Aanduidingen voor stroomlijnen (eenrichting-verkeer). Conventie: als er geen pijlen in de stroomlijn staan aangegeven, moet de stroomlijn van links naar rechts, resp. van boven naar beneden doorlopen worden.

Aanduidingen voor samenkomen van de stroomlijnen waarbij de ene stroomlijn overgaat in de andere.

Aanduiding voor kruisen van stroomlijnen waarbij de ene stroomlijn niet overgaat in de andere.

Technologieprogramma U- buigen

Procedure Calculate

Procedure Berekening van U- buiggegevens

**Bijlage B:**

**Procedurestructuur**

ProcedurestructuurHOOFDPROGRAMMA : UBUIG

PROGRAM UBuig;

Uses

UBVar, (\* Globale variabelen \*)  
UBCalcul; (\* Rekenmodule voor U- buigen \*)

PROCEDURE set\_cursor( line, tab : integer\_2);

PROCEDURE leeg\_keyboardbuffer;

PROCEDURE video( switch : l\_string );

FUNCTION ask\_conf( comment, response : l\_string ) : confirm;

PROCEDURE prolog;

PROCEDURE un\_do;

PROCEDURE get\_test\_values;

PROCEDURE get\_values;

PROCEDURE get\_real( VAR data : facts );

PROCEDURE get\_ang( VAR data : facts );

PROCEDURE one\_value( VAR data : facts; field : format );

PROCEDURE calculate;

PROCEDURE give\_test\_values;

FUNCTION give\_ang( hoek : facts ):real; (\* hoek.val in radialen \*)

```
PROCEDURE give_values;
    PROCEDURE give_real( data : facts );
    PROCEDURE give_ang( hoek : facts ); (* hoek.val in radialen *)
    PROCEDURE one_value( VAR data : facts; field : format );
FUNCTION get_exit : confirm;
PROCEDURE epilog;

BEGIN (***** program.body *****)
END.(***** end program.body *****)
```



**UNIT : UBCalcul**

UNIT UBCalcul;

INTERFACE

USES

UBVar;

PROCEDURE BerekenUBuigen;

IMPLEMENTATION

FUNCTION macht(mantisse,exponent : real) : real;

PROCEDURE BerekenUBuigen;

FUNCTION BuigMomentSter(Rho\_ster : real) : real;

END.{of unit UBCalcul}

**UNIT : UBVar**

UNIT UBVar;

INTERFACE

END. {of unit UBVar}