

# Plastische eigenschappen van RSP en conventioneel geproduceerde aluminiumlegeringen

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

Raijmakers, M. A. (1992). *Plastische eigenschappen van RSP en conventioneel geproduceerde aluminiumlegeringen*. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Vakgroep Produktietechnologie : WPB; Vol. WPA1262). Technische Universiteit Eindhoven.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/1992

**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.

**Plastische eigenschappen van RSP en  
conventioneel geproduceerde aluminiumlegeringen.**

Verslag van de onderzoeksopdracht.

M.A.Raijmakers.

feb. 1992

WPA-nr:1262

**TECHNISCHE UNIVERSITEIT EINDHOVEN.**

**FACULTEIT WERKTUIGBOUWKUNDE.**

Vakgroep WPA.

## SAMENVATTING.

Dit verslag behandelt de invloed van de RSP productie op de ductiliteit, ofwel vervormbaarheid van materialen bij verschillende omvormprocessen. Centraal staat de faalkromme-theorie, die, uitgaande van de ductiliteit bij de eenvoudige trek- en torsieproef de ductiliteit bij andere processen voorspelt. Maatgevend is de spannings-toestand.

De onderzochte materialen zijn RSP en conventioneel geproduceerd AA7075 en AA7029. Dit zijn twee hoogwaardige aluminiumlegeringen met zink als belangrijkste legeringselement. De betreffende legeringen zijn in zachtgegloeide toestand onderzocht, omdat hier nog maar weinig van bekend is vanuit de literatuur. De zachtgegloeide toestand is de toestand waarin veel aluminium wordt verwerkt in de industrie.

Trek- en torsieproeven zijn bij verschillende temperaturen uitgevoerd om de materiaaleigenschappen te bepalen. Tevens zijn er trekproeven uitgevoerd onder verschillende hoeken met de extrusierichting.

De RSP AA7075 legering blijkt een lichte winst op te leveren ten opzichte van het conventioneel vervaardigd materiaal. De AA7029 legeringen voldoen, door één of andere oorzaak, niet aan de verwachtingen ten aanzien van de kenmerken van zachtgegloeid materiaal.

<b>SAMENVATTING.</b>	blz.
<b>INHOUDSOPGAVE.</b>	
<b>OPDRACHT.</b>	
<b>1 INLEIDING.</b>	
1.1 Algemeen.	1
1.2 Faalkrommetheorie.	1
1.3 Materiaalparameters.	2
<b>2 PROEFOPZET.</b>	
2.1 Uitgangsmateriaal.	3
2.2 Bepaling van de materiaalparameters.	5
<b>3 RESULTATEN.</b>	
3.1 Faalkromme	8
3.2 Specifieke spanning en verstervigingsexponent.	8
3.3 Anisotropie	8
<b>4 DISCUSSIE.</b>	9
<b>5 CONCLUSIES.</b>	10
<b>LITERATUUR.</b>	11
<b>GRAFIEKEN 1 t/m 5</b>	11 t/m 15
<b>BIJLAGE 1 : Overige grafieken.</b>	16
<b>BIJLAGE 2 : Vloeikromme's.</b>	

Onderzoeksopdracht van : M.A. Raijmakers

Begintijdstip : 1 sept. 1991

Begeleiding : Dr. ir. J.H. Dautzenberg  
Ir. F.A.C.M. Habraken

Onderwerp : Invloed van RSP op vloeï- en breukgedrag van aluminiumlegeringen.

Toelichting : Hooggelegeerde aluminium legeringen verkregen via snelle stolling (RSP) hebben, t.o.v. conventionele legeringen met dezelfde samenstelling, vaak superieure eigenschappen. Enkele belangrijke eigenschappen zijn corrosie-bestendigheid, en sterkte en breukrek in geharde toestand. In zachtgegloude toestand is echter weinig bekend over de invloed van RSP op het materiaalgedrag.

Opdracht : Bepaal bij verschillende temperaturen voor een aantal conventionele en RSP materialen het vloeï- en breukgedrag in trek- en torsieproeven.

# 1 INLEIDING.

## 1.1 Algemeen.

Hooggelegerde Al-Zn legeringen worden vanwege hun hoge sterkte/massa verhouding onder andere veel toegepast in de vliegtuigindustrie. Verdere verbetering van materiaaleigenschappen en of verlaging van de kostprijs zal dus interessant zijn voor die industrie. De kostprijs van aluminium wordt grotendeels bepaald door energiekosten die benodigd zijn voor de electrolyse van bauxiet. Deze energiekosten kunnen worden gereduceerd door gebruikt aluminium te recyclen. Dit gebeurt door omsmelting. Zeer snelle afkoeling van de smelt kan ook nog eens verbeterde materiaaleigenschappen opleveren. Dit vanwege de hoge afkoelsnelheid zodat diffusie wegens de zeer korte tijd wordt beperkt. Het resultaat is dat de gevormde metaalkristallen klein zijn en dat ook de uitscheiding van legeringselementen veel fijner is dan bij normaal gestold materiaal. Dit snelle afkoelen van de smelt wordt rapid solidification processing of RSP genoemd.

RSP-aluminium heeft door de fijnere structuur andere materiaal eigenschappen dan de legeringen, die via de conventionele weg zijn verkregen. Het onderzoeken en vergelijken van de materiaaleigenschappen van de twee verschillende aluminium structuren bij verschillende temperaturen en spanningstoestanden is het doel van dit onderzoek. Gekozen is om de desbetreffende materialen in zachtgegloeide toestanden te onderzoeken omdat hiervan nog maar weinig bekend is vanuit de literatuur.

## 1.2 Faalkrommetheorie.

De faalkromme is een belangrijk hulpmiddel om te bepalen of een produkt al dan niet maakbaar is op grond van vervormbaarheid bij een bepaalde temperatuur en spannings-toestand. Het is daardoor zeer bruikbaar in de omvormtechnologie. De faalkromme geeft het verloop weer van de relatieve spanning ( $\sigma_m/\sigma_f$ ) als functie van de effectieve rek. Deze relatieve spanning wordt de triaxialiteit genoemd. Het is mogelijk elk deeltje in een omvorm-proces te volgen en hiervan momentaan de effectieve rek  $\epsilon$  en de triaxialiteit  $\sigma_m/\sigma_f$  te bepalen. Hierin is  $\sigma_m$  de gemiddelde hoofdspanning (hydrostatische spanning) en  $\sigma_f$  de vloeispanning. Elk materieel punt doorloopt dus een kromme in het  $(\epsilon, \sigma_m/\sigma_f)$ -vlak. Op het moment van falen kruist de kromme de ductiliteits-curve. Het vervaardigen van een produkt met een bepaald omvormproces (dus spanningstoestand) en bij een bepaalde bewerkings-temperatuur is alleen mogelijk indien de bijbehorende faalkromme niet overschreden wordt. Twee punten van de faalkromme worden verkregen door trek- en torsieproef uit te voeren. Verondersteld wordt, dat deze faalkromme te benaderen is door een rechte door deze 2 punten. De faalkromme is temperatuur-afhankelijk: voor hogere temperatuur verschuift hij in de meeste gevallen naar hogere rekken.

### 1.3 Materiaalparameters.

De onderzochte materiaalparameters zijn ductiliteit, specifieke spanning  $C$ , het versterkingsgedrag en anisotropie. Ductiliteit en specifieke spanning zijn bepaald bij kamertemperatuur onder verschillende hoeken met de extrusierichting enerzijds en bij oplopende temperaturen onder verschillende spanningssituaties ( trek en torsie ) anderzijds. Het anisotropiegedrag is echter alleen bij kamertemperatuur bepaald ( onder trekspanning ).

Ductiliteit is de mate van vervorming dat een materiaal kan ondergaan alvorens er scheur- of holtevorming ontstaat. Ductiele materialen zijn makkelijker te vervormen dan minder ductiele en dus belangrijker voor de omvormtechnologie. De mate van vervormbaarheid van een materiaal hangt af van een aantal factoren. Ten eerste van het materiaal zelf en de warmtebehandeling die er op is toegepast. Vervolgens van de bewerkings- of verwerkingstemperatuur van een materiaal. En ten slotte van de spanningstoestand ofwel van het toegepaste bewerkingsproces.

Naast de vervormbaarheid is de sterkte van belang. Deze kan bijvoorbeeld worden uitgedrukt in de specifieke spanning (  $C$ -waarde ) en de versterkingsexponent ( $n$ ). Deze specifieke spanning blijkt ook weer sterk samen te hangen met materiaal, de materiaaltoestand, de bewerkingstemperatuur en de spanningstoestand van het toegepaste bewerkingsproces. De sterkte van een materiaal bij een bepaalde bewerkingstemperatuur en spanningstoestand is van belang voor bijvoorbeeld de levensduur van een bewerkingsgereedschap.

Anisotroop materiaal heeft eigenschappen die verschillend zijn in de verschillende richtingen. Deze kunnen een hinderlijke invloed hebben bij vervorming van materialen. Onderzocht zijn anisotropiefactor  $R_\gamma$ , de planaire anisotropie  $R$  en de normaalanisotropie  $\Delta R$ . Uit de anisotropiefactor  $R_\gamma$  kunnen de normaal- en de planaire anisotropiefactor bepaald worden. De normaalanisotropiefactor  $R$  geeft inzicht in het materiaalgedrag in dikterichting. Een hoge  $R$ -waarde betekent bij ons materiaal een relatief hoge vervorming in het vlak van het extrusieprofiel en een relatief lage vervorming er loodrecht op. Dit is gunstig voor omvormende bewerkingen zoals dieptrekken. De planaire anisotropiefactor  $\Delta R$  is de gemiddeld grootste variantie van  $R_\gamma$  in het vlak van het extrusieprofiel en is verantwoordelijk voor het ontstaan van "oren" aan een diepgetrokken produkt.

## 2. Proefopzet.

### 2.1 Uitgangsmateriaal.

De uitgangsmaterialen zijn hooggelegeerde geëxtrudeerde AlZn legeringen in RSP en normaalgestolde toestand. Deze normaalgestolde toestand is via Direct Chill cast verkregen waarna extrusie en een T6 warmtebehandeling volgde. De legeringen worden aangeduid met AA7075 en AA7029, voor de chemische samenstelling zie tabel 1.

---

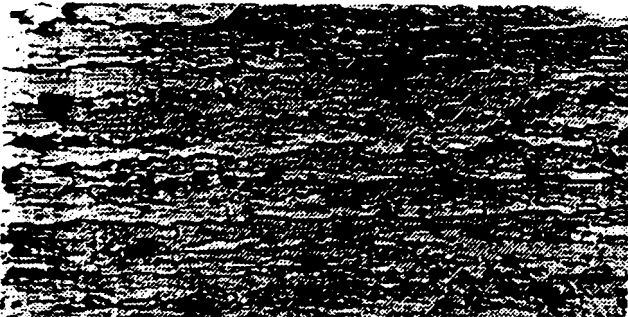
	Al%	Si%	Fe%	Cu%	Mn%	Mg%	Cr%	Zn%	Ti%
AA7075:	88.6	0.40	0.50	1.60	0.30	2.50	0.27	5.60	0.20
AA7029:	93.0	0.08	0.15	0.60	0.02	1.45	0.02	4.70	0.03

---

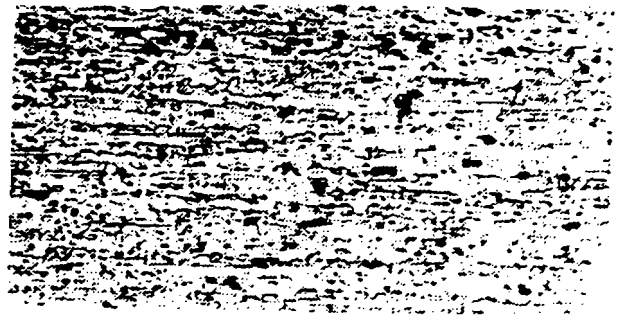
*Tabel 1: Chemische samenstelling van de onderzochte legeringen.*

De legeringen zijn volgens de O-gloeibehandeling zachtgegloeid zie MetalsHandbook. Deze bestaat uit 2 uur op 415° Celsius gloeien, langzaam afkoelen tot onder 200° Celcius en vervolgens 4 uur op 230° Celsius nagloeien. Deze zachtgloeibehandeling is gebruikelijk voor AA7075. De breukrek voor AA7075 in een torsieproef is na deze warmtebehandeling ca. 2 maal zo groot als die voor niet gegloeid materiaal ( $\epsilon_f=0.80$  resp.  $\epsilon_f=0.45$ ). Gloeien op 345° Celcius gedurende twee uur liet weinig verbetering in de ductiliteit bij torsie ( $\epsilon_f=0.49$ ) zien t.o.v. de als geëxtudeerde toestand.

Voor de materiaalstructuur van AA7075 zie onderstaande foto's (vergroting 1000x):

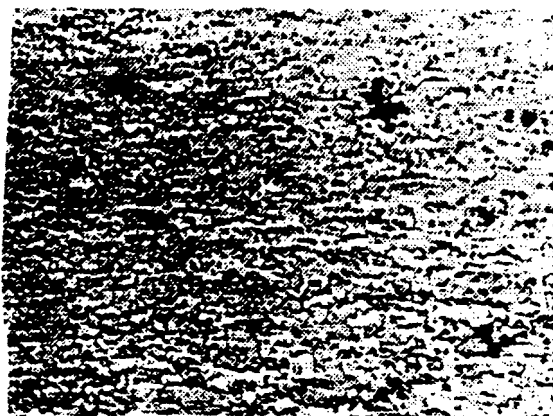
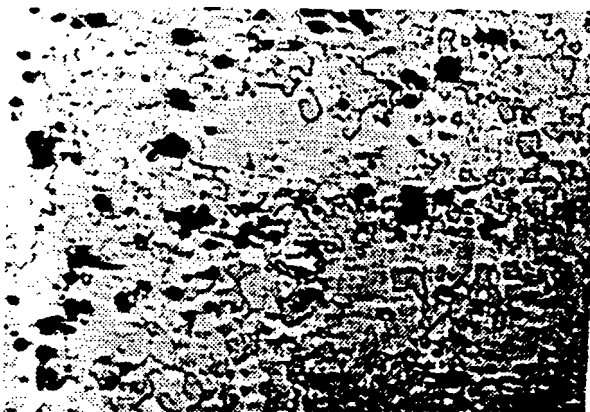


*Normaal AA7075 gloeibehandeling T6*



*RSP materiaal evenwijdig aan extrusierichting.*





*Normaal AA7075 gloeibehandeling T6*      *RSP materiaal loodrecht op de extrusierichting.*

De metaalkristallen en uitscheidingen zijn duidelijk zichtbaar alsmede de extrusierichting.

De nominale proefstukafmetingen zijn:

Trekstaven	Ø	lengte:	30.8 mm
		diameter:	4 mm
	□	lengte:	40 mm of 20 mm
		breedte:	6 mm
		dikte:	3.4 mm
Torsiestaven	Ø	lengte:	25 mm
		diameter:	8 mm

Voor de proefstukafmetingen en orientatie ervan in het extrusieprofiel zie fig 1.

Aan reproduceerbaarheid is zoveel mogelijk aandacht besteed, alle proeven zijn minimaal dubbel uitgevoerd; dit was het maximaal haalbare vanwege de hoeveelheid proefstukmateriaal.

Trek- en torsieproeven op het cilindrische gedeelte van het zgn. hondebot-profiel (fig. 1) zijn bij 20, 150, 200 en 250° Celsius uitgevoerd. Als bovenste beproevingstemperatuur is 250° Celsius genomen. Dit omdat boven 250° Celsius de reksnelheid wellicht een grote rol gaat spelen. Daarnaast kan er bij deze temperatuur korrelgroei op treden. Trekproeven op materiaal uit het vlakke gedeelte van het hondebot-profiel zijn alleen bij kamertemperatuur uitgevoerd.

## 2.2 Bepaling van de materiaalparameters.

De metingen bestaan uit trek- en torsieproeven:

Trekproeven zijn uitgevoerd op een verticale Houndsfield trekbank om de één-assige spanningstoestand te garanderen. Trekproeven zijn discontinu uitgevoerd. Met een micrometer is telkens de kleinste doorsnede tot ongeveer het moment van teruglopende kracht  $F$  opgemeten. Als rekintervallen voor de discontinue metingen is circa 0,01 genomen.

Voor de effectieve rek  $\epsilon_a$  in lengterichting geldt:

$$\epsilon_a = \ln A_0/A$$

waarin  $A$  = kleinste doorsnede en  $A_0$  = oorspronkelijke doorsnede.

Voor ronde trekstaven geldt dat de rek in doorsnederichting  $\epsilon_d$  is:

$$\epsilon_d = \ln d/d_0$$

waarin  $d$  = kleinste diameter en  $d_0$  = oorspronkelijke diameter.

Voor trekstaven met rechthoekige doorsnede geldt:

$$\epsilon_n = \ln s/s_0$$

waarin  $s$  de dikte tijdens de proef en  $s_0$  de oorspronkelijke dikte voorstelt.

De rek in breedterichting van de platte trekstaven is  $\epsilon_d$

$$\epsilon_d = \ln d/d_0$$

waarin  $d$  de breedte tijdens de proef en  $d_0$  de oorspronkelijke breedte voorstelt ( zie fig1 ).

De breukrekken zijn evenzo gedefinieerd behalve wordt dan voor de momentane maat  $m$  de breukmaat  $m_f$  genomen.

Voor de effectieve spanning  $\sigma_f$  geldt:

$$\sigma_f = ( C_b * F)/A.$$

De factor  $C_b$  is de zogenaamde Bridgman-correctiefactor. Voor deze  $C_b$  geldt:

$$C_b = 1/[(1+R/d)*\ln(1+d/4R)]$$

waarin  $R$  de afrondingsstraal is in de insnoering.

Deze Bridgman-correctiefactor geeft een correctie t.a.v. de insnoering op de spanningstoestand weer. Indien er nog geen insnoering is opgetreden geldt  $C_b=1$  ( afrondingsstraal  $R$  is dan  $\infty$  ), na insnoering wordt de correctiefactor kleiner dan 1.

De spanningen en rekken van de discrete meetpunten zijn nu bekend en worden ingevoerd in het programma NCMOD. Met dit programma kan een bestpassende lijn gefit worden door de discrete punten. De functie die gebruikt wordt om de lijn te fitten is de vloeifunctie van Hollomon :

$$\sigma = C \cdot \epsilon^n.$$

De specifieke spanning C en de verstevigingsexponent n zijn nu bekend. De effectieve breukrek en de Bridgman-correctiefactor  $C_b$  worden bepaald door video-opnames gemaakt van de breuk.

**Torsieproeven** zijn uitgevoerd met continue registratie van moment M en hoekverdraaiing  $\phi$  op een XY- schrijver. Effectieve rek  $\epsilon$  is te bepalen met:

$$\epsilon = (\theta \cdot d) / (2 \cdot l \cdot \sqrt{3})$$

waarin  $\theta$ =de hoekverdraaiing,  $d/2$ =de radius van het torsiestaafje en  $l$ =de lengte van het torsiestaafje. Met behulp van moment M, proefstukgeometrie en correctiefactor p (zie Pöhlandt [lit.4]) is de effectieve schuifspanning  $\tau$  te bepalen. Voor  $\tau$  geldt:

$$\tau = 3^{0.5} \cdot ((4 \cdot M) / (\pi \cdot d^3)) \cdot (3 + p) / (\exp(3 \cdot p + p \cdot p))$$

waarin p een correctiefactor is waarvoor geldt:

$$p = n + m$$

waarin m een reksnelheidsafhankelijke factor is die voor lage reksnelheden gelijk is aan 0. Tijdens de proeven is er sprake van een lage reksnelheid dus  $p=n$ . De bepaalde effectieve rekken en schuifspanningen worden in NCMOD ingevoerd om de bestpassende lijn te bepalen. De functie om de bestpassende lijn te fitten is weer de functie van Hollomon. Hieruit volgen weer de C- en n-waarden.

Bij de proeven met verhoogde temperatuur wordt deze bepaald m.b.v. een thermocoax koppel van het K-type. Deze is met thermisch-geleidende gel op het proefstukoppervlak bevestigd. Temperaturen die op verschillende plaatsen op het proefstuk worden gemeten zijn geregistreerd tijdens de proef. Het temperatuurverschil op de verschillende plaatsen van het proefstukoppervlak is kleiner dan 5° Celsius. Om bij de trekproef de doorsnede te meten is de oven weggeschoven. Vervolgens wordt de doorsnede van het trekstaafje gemeten en de oven weer terug geplaatst.

Het gedrag van anisotroop materiaal kan uitgedrukt worden in een anisotropiefactor, de zgn.  $R_\gamma$ -factor.

Voor de anisotropiefactor  $R_\gamma$  geldt:

$$R_\gamma = \epsilon_d / \epsilon_n \text{ [lit.1]}$$

waarbij  $\gamma$  de hoek aangeeft tussen de extrusie- en trekproefrichting. Met deze  $R_\gamma$  waarden is het nu mogelijk om de normaalanisotropiefactor  $R$  en de planaire anisotropiefactor  $\Delta R$  te berekenen.

Voor de normaalanisotropiefactor  $R$  geldt:

$$R = (R_0 + 2 \cdot R_{45} + R_{90}) / 4$$

en voor de planaire anisotropiefactor geldt:

$$\Delta R = (R_0 - 2 \cdot R_{45} + R_{90}) / 2.$$

### 3 RESULTATEN.

#### 3.1 Faalkrommes.

De faalkrommes van het RSP en normaalgestold materiaal zijn in dezelfde figuur geplaatst waardoor de verschillen tussen de twee materialen direct zichtbaar worden. Bij oplopende temperatuur verschuift de faalkromme naar hogere rekken; vanwege de grotere insnoering en de bijbehorende kleinere insnoeringsstraal  $R$  verschuift deze naar hogere triaxialiteiten. Voor de faalkrommes zie grafiek 2 en 3.

#### 3.2 Specifieke spanning en verstevigingsexponent.

De specifieke spanning is bepaald onder verschillende hoeken met de extrusierichting zie grafiek 4. Tevens zijn de specifieke spanningen van trek- en torsieproeven bij oplopende temperaturen onderzocht. Bij het bepalen van de specifieke spanning zijn ook de stevigings-exponenten bepaald. Voor  $C$  en  $n$  waarden bij oplopende temperaturen zie bijlage 1. Voor vloeikromme's zie bijlage 2. Voor  $C$  en  $n$  waarden onder verschillende hoeken met de extrusierichting zie grafiek 4.

#### 3.3 De plastische anisotropie.

Uit de meetresultaten zijn de anisotropiefactor  $R_\gamma$  de normaalanisotropie  $R$  en de planaire anisotropie  $\Delta R$  berekend. Van de anisotropiefactor  $R_\gamma$  is  $\gamma$  de hoek tussen de trekstaaf en het geëxtrudeerde profiel. De  $R_\gamma$  waarden als functie van de hoek  $\gamma$  zijn voor de verschillende materialen weergegeven in grafiek 5. Voor de  $R_\gamma$  waarden als functie van de effectieve rek in lengterichting zie bijlage 1. De waarden voor de normaalanisotropie  $R$  en de planaire anisotropie  $\Delta R$  zijn weergegeven in tabel 2.

---

		$R$	$\Delta R$
RSP	AA7075	0.863	-0.355
Conv.	AA7075	0.915	-0.510
RSP	AA7029	0.893	-0.515
Conv.	AA7029	0.615	0.570

---

Tabel 2: Normaal- en planaire anisotropie van de materialen.

#### 4 DISCUSSIE.

Afwijkingen van de triaxialiteit in de faalkromme's worden veroorzaakt door onjuiste berekening van de Bridgman-correctiefactor  $C_b$  [lit. 3]. Deze wordt berekend door de straal in de insnoering na breuk op te meten. Echter ductiel falen treedt al eerder op door de vorming van holtes in de insnoering. Het bepalingsmoment van de  $C_b$ -factor is dus principieel onjuist, en dient op het begintijdstip van definitief falen plaats te vinden.

De specifieke spanning  $C$  en de verstevigingsexponent  $n$  uit de trekproef zijn in vergelijking met die uit de torsieproef hoger. Dit geldt voor alle materialen. Oorzaak kan textuur zijn [lit.2].

De resultaten voor conventioneel en RSP AA7029 beantwoorden niet aan wat redelijkerwijs verwacht mocht worden. De ductiliteit in het ronde gedeelte van het hondebot-profiel is lager dan die van AA7075. In het vlakke gedeelte van het profiel voldoen de gevonden breukrekken wel aan de verwachtingen, maar de anisotropiefactor van conventioneel AA7029 komt volstrekt niet overeen met die van de overige materialen. Mogelijke oorzaken zijn: een extrusiefout of de warmtebehandeling die het materiaal niet in de gewenste zachtgegloeide toestand heeft gebracht.

De relevantie van  $R\gamma$ -waarden zijn afhankelijk van de hoofdspanningsrichtingen in een productieproces. In een buigproces zijn bijvoorbeeld alleen de 0 en de 90 richting interessant.

## 5 CONCLUSIES.

De ductiliteit bij RSP AA7075 is hoger dan bij het conventionele AA7075 vooral bij hogere triaxialiteit. Dit is gunstig voor productieprocessen met een soortgelijke spanningstoestand, zoals bijvoorbeeld buigen. De overige materiaaleigenschappen van de twee onderzochte AA7075 legeringen zijn nagenoeg gelijk. Dit betreft torsie en trek bij verschillende temperaturen en trek onder verschillende hoeken met het extrusieprofiel. Oorzaak kan zijn dat de oxide huid die ontstaat bij RSP produktie de te verwachten positieve effecten van de fijnere materiaalstructuur vrijwel geheel te niet doet.

Interpretatie van de AA7029 resultaten is moeilijk, vanwege een extrusiefout of vanwege een ontoereikende warmtebehandeling. Aanvullende experimenten op AA7029 zijn noodzakelijk.

RSP productie op grond van materiaaleigenschappen lijkt voor deze materialen alleen zinvol bij hoge triaxialiteiten. Bij lage triaxialiteit is er namelijk nagenoeg geen verschil tussen RSP en conventioneel geproduceerd materiaal.

De sterkte is onafhankelijk van de hoek tussen het proefstukmateriaal en de extrusierichting. Dit geldt voor ieder beproefd materiaal. Vanwege structuurverschil in het extrusieprofiel komt de sterkte in het ronde gedeelte van het extrusieprofiel hoger uit dan in het platte gedeelte. Het ronde gedeelte heeft namelijk meer een "spaghetti"-achtige structuur terwijl in het platte gedeelte van het hondebotprofiel de structuur meer "pannekoek"-achtig is.

Vanwege textuur ligt de treksterkte bij ieder proefstukmateriaal hoger dan de torsiesterkte. Textuur is materiaalafhankelijk [lit. 2].

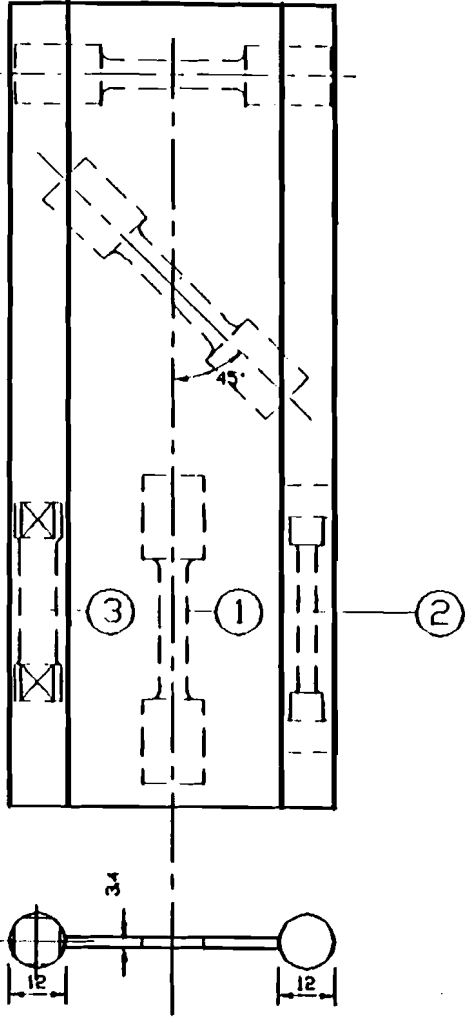
De gemeten anisotropie is sterk afhankelijk van het extrusieproces. Eerdere metingen aan RSP scrap Aluminium gaven kwalitatief en kwantitatief dezelfde resultaten te zien [lit. 5].

## LITERATUUR.

- [1] J.A.G.Kals,  
dictaat "Bewerkingstechnologie",  
dictaatnr. 4558 T.U-Eindhoven (1983).
- [2] W.F.Hosford,  
"Texture strengthening",  
Metals engineering quarterly, nov. 1966 pp. 13-19.
- [3] P.J.Bolt,  
"Prediction of ductile failure",  
Dissertatie T.U-Eindhoven (1989).
- [4] K.Pöhlandt,  
"Prüfung des plastischen Verhaltens metallischer Werkstoffe in Torsionsversuchen",  
Z. Werkstofftechn.14, 1983 pp.181-189.
- [5] J.H.Yang,  
"Plastic Anisotropy of Recycled Aluminium"  
WPA rapport 1010 T.U-Eindhoven (1991).



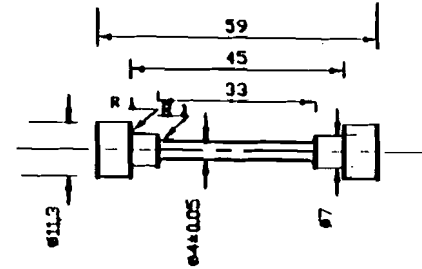
EXTRUSIERICHTING



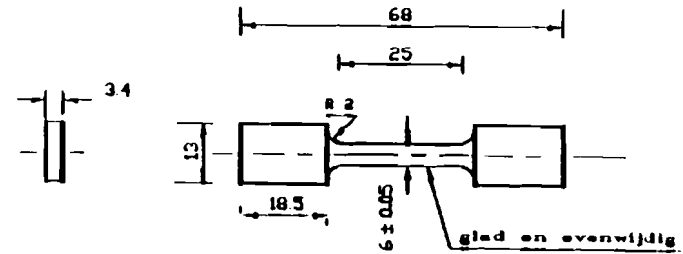
- 1] Platte Trekstaaf
- 2] Ronde Trekstaaf
- 3] Torsiestaaaf

Ligging van proefstukmateriaal in het extrusieprofiel

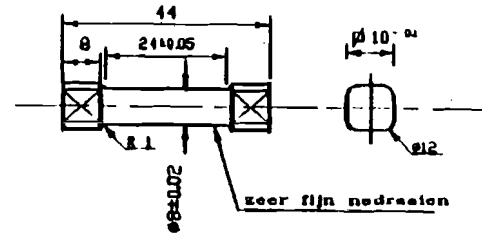
TREKSTAAF ROND



TREKSTAAF PLAT

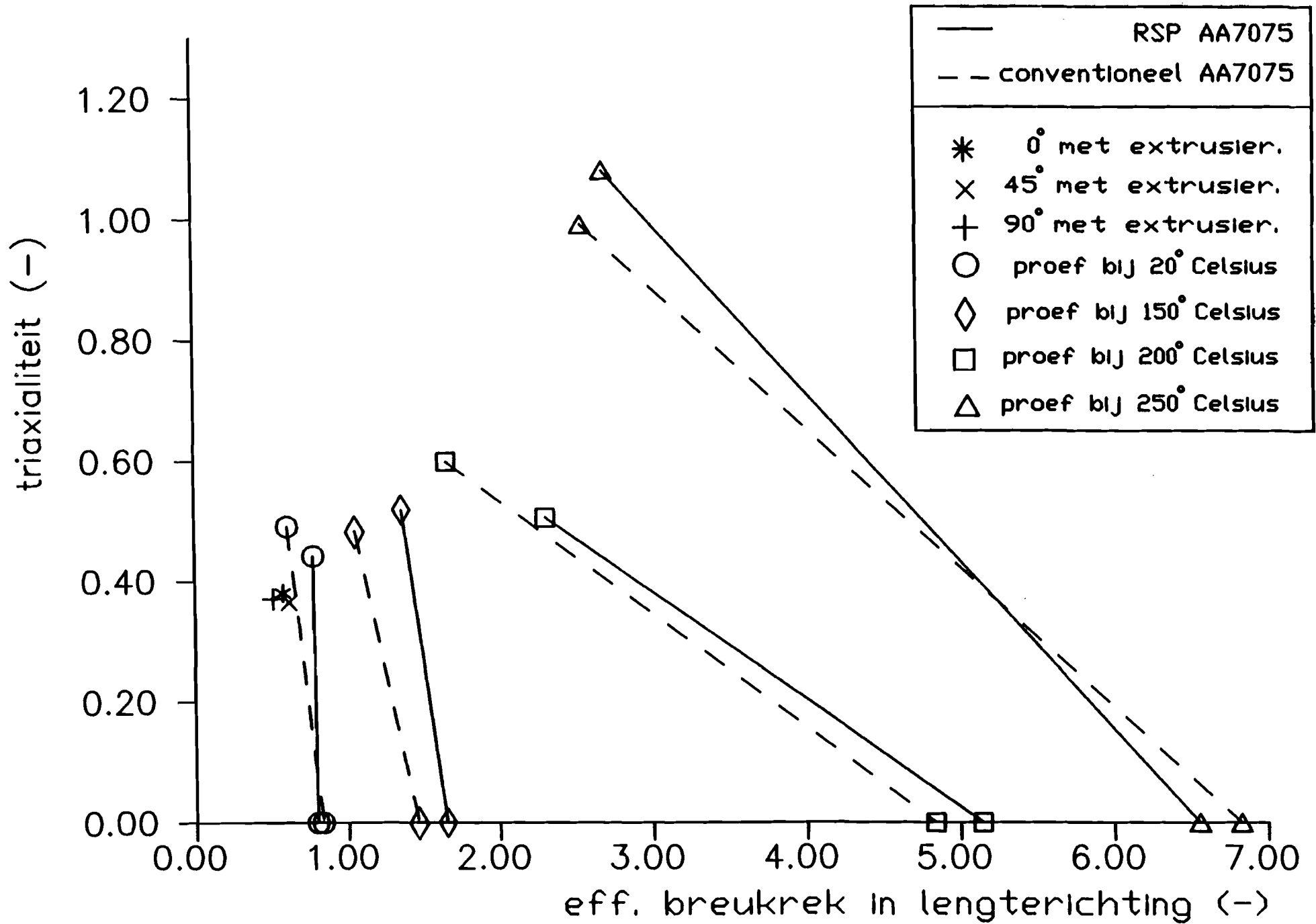


TORSIESTAAF

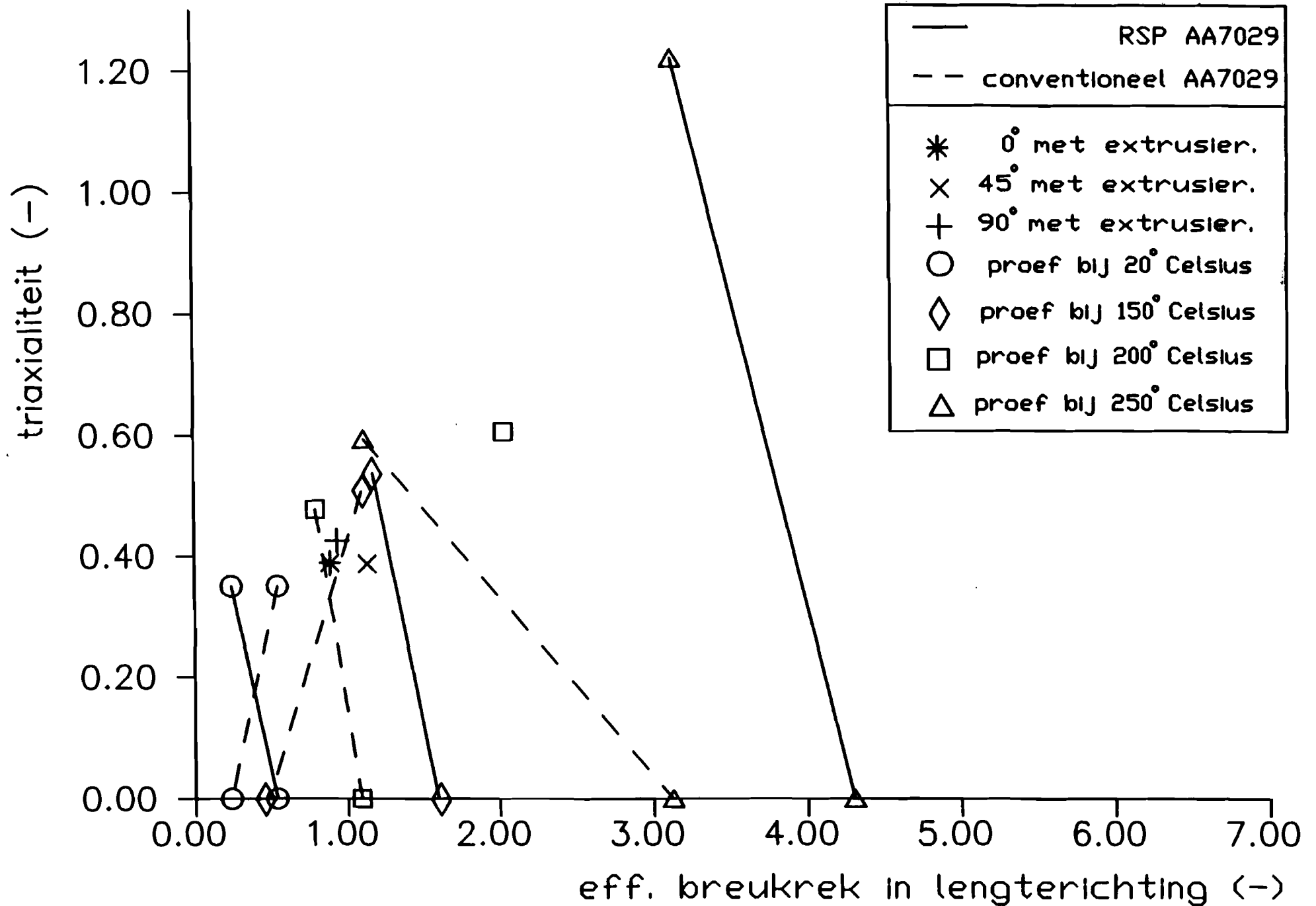


Alle toleranties 0.2, tenzij anders aangegeven

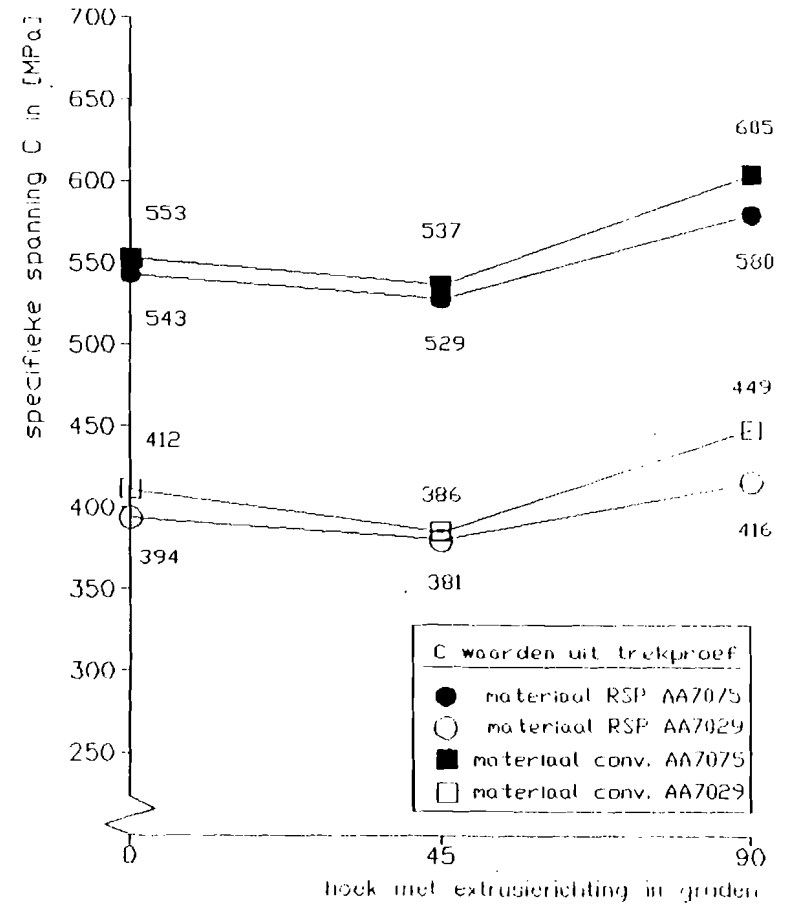
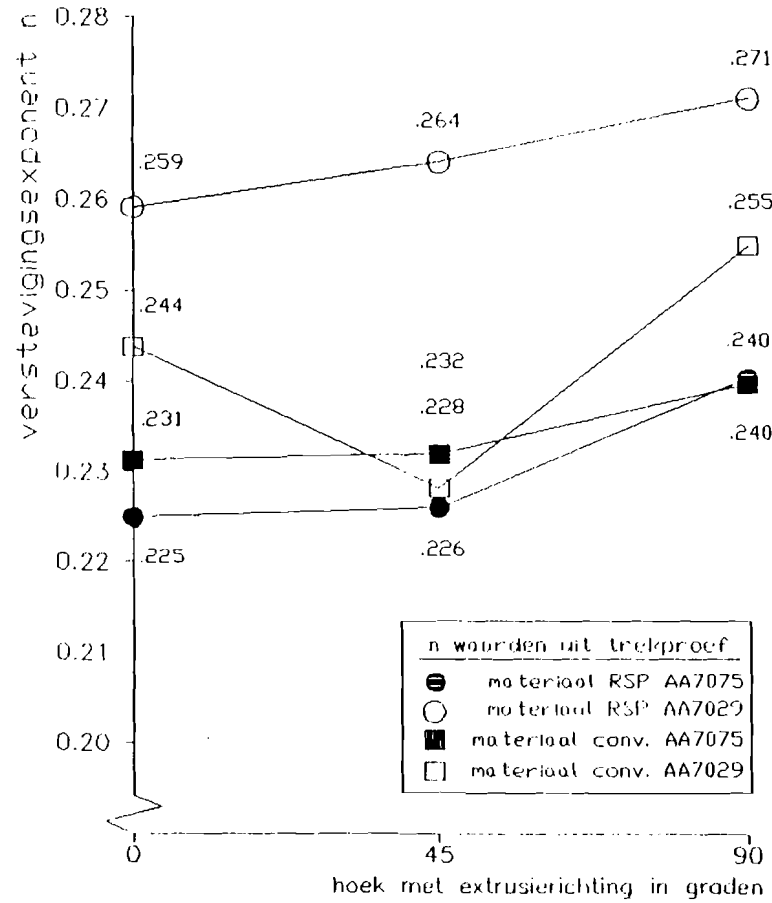
Proefstukafmetingen



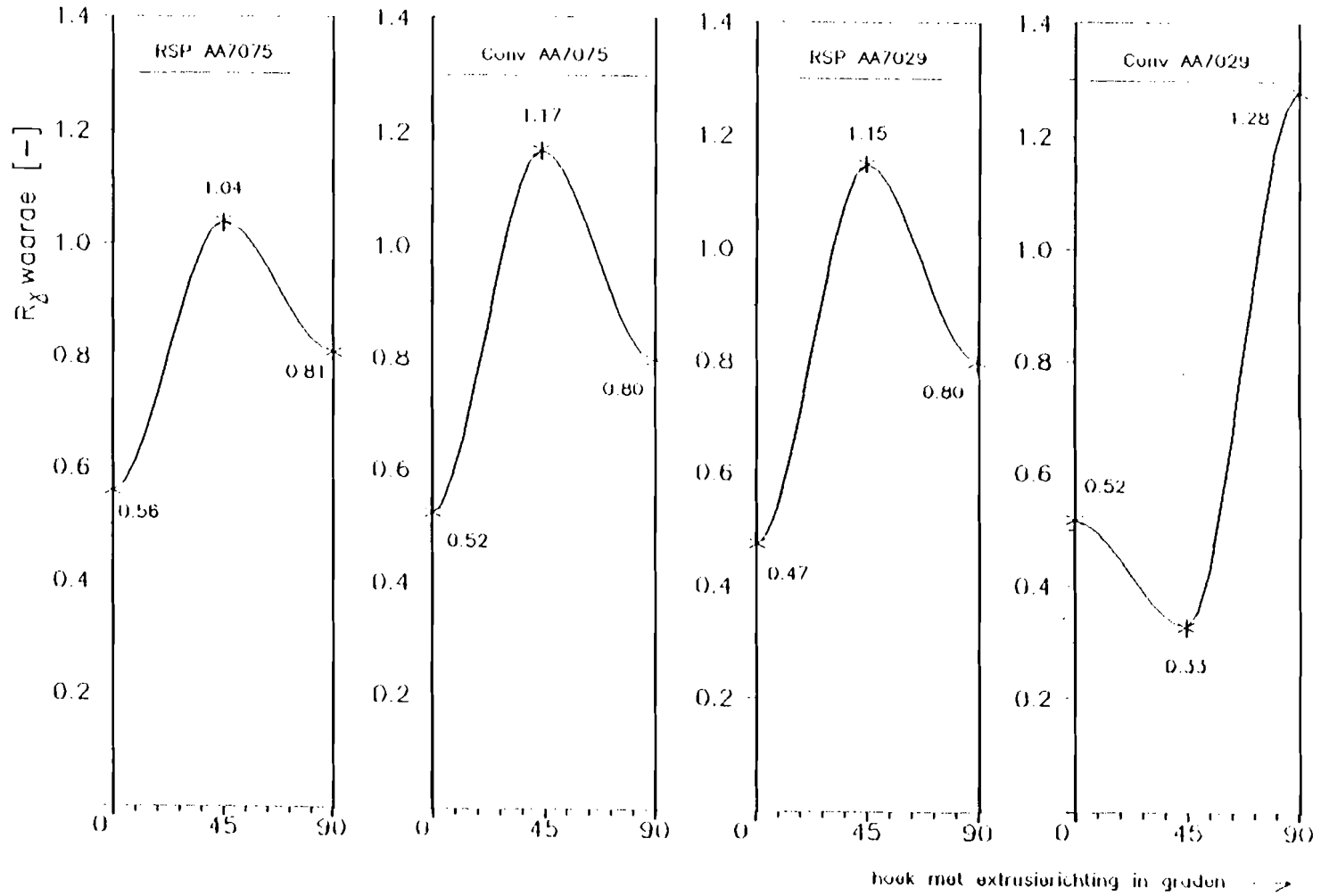
Grafiek 2: De triaxialiteit als functie van de breukrek bij verschillende temperaturen voor AA7075.



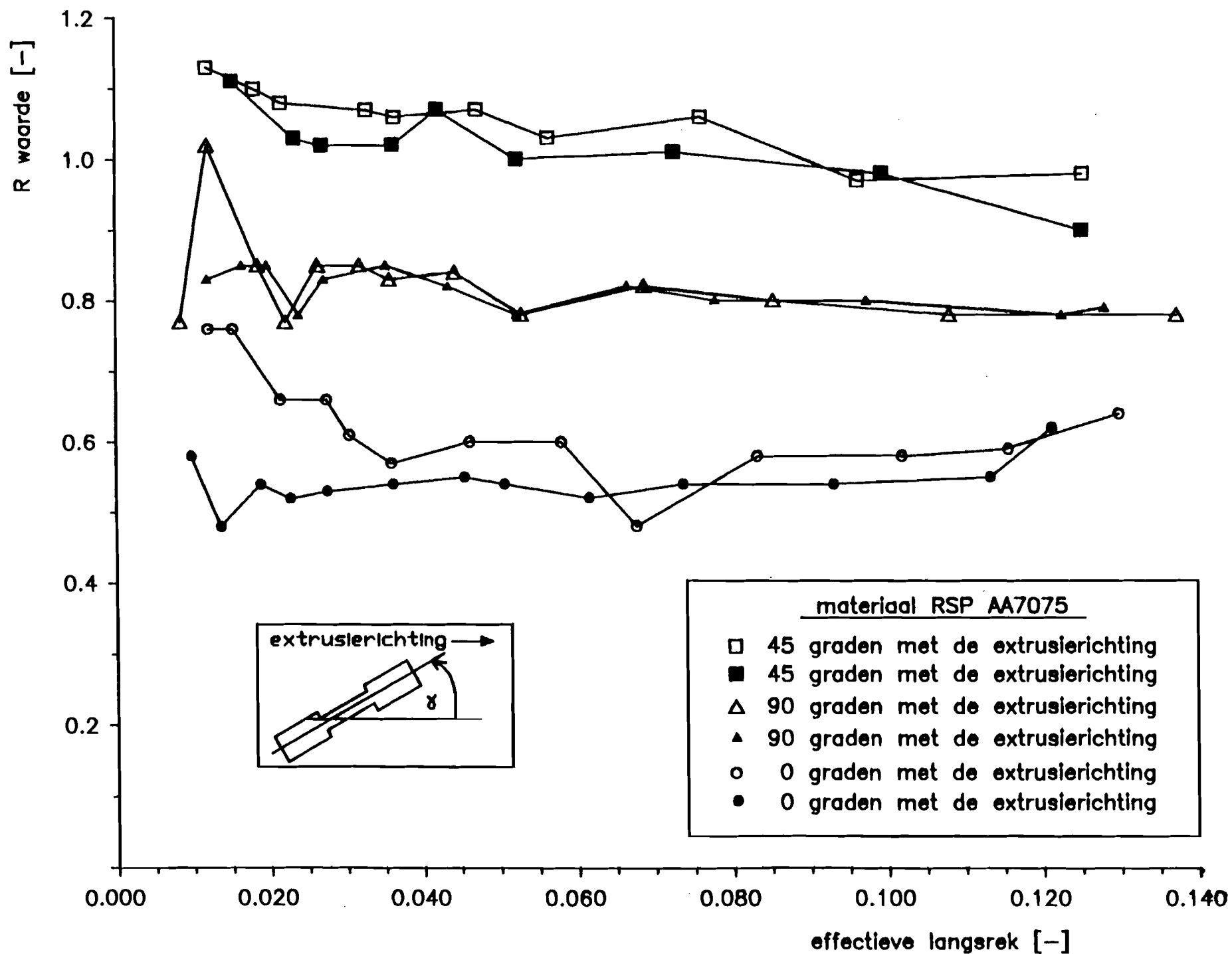
Grafiek 3: De triaxialiteit als functie van de breukrek bij verschillende temperaturen voor AA7029.

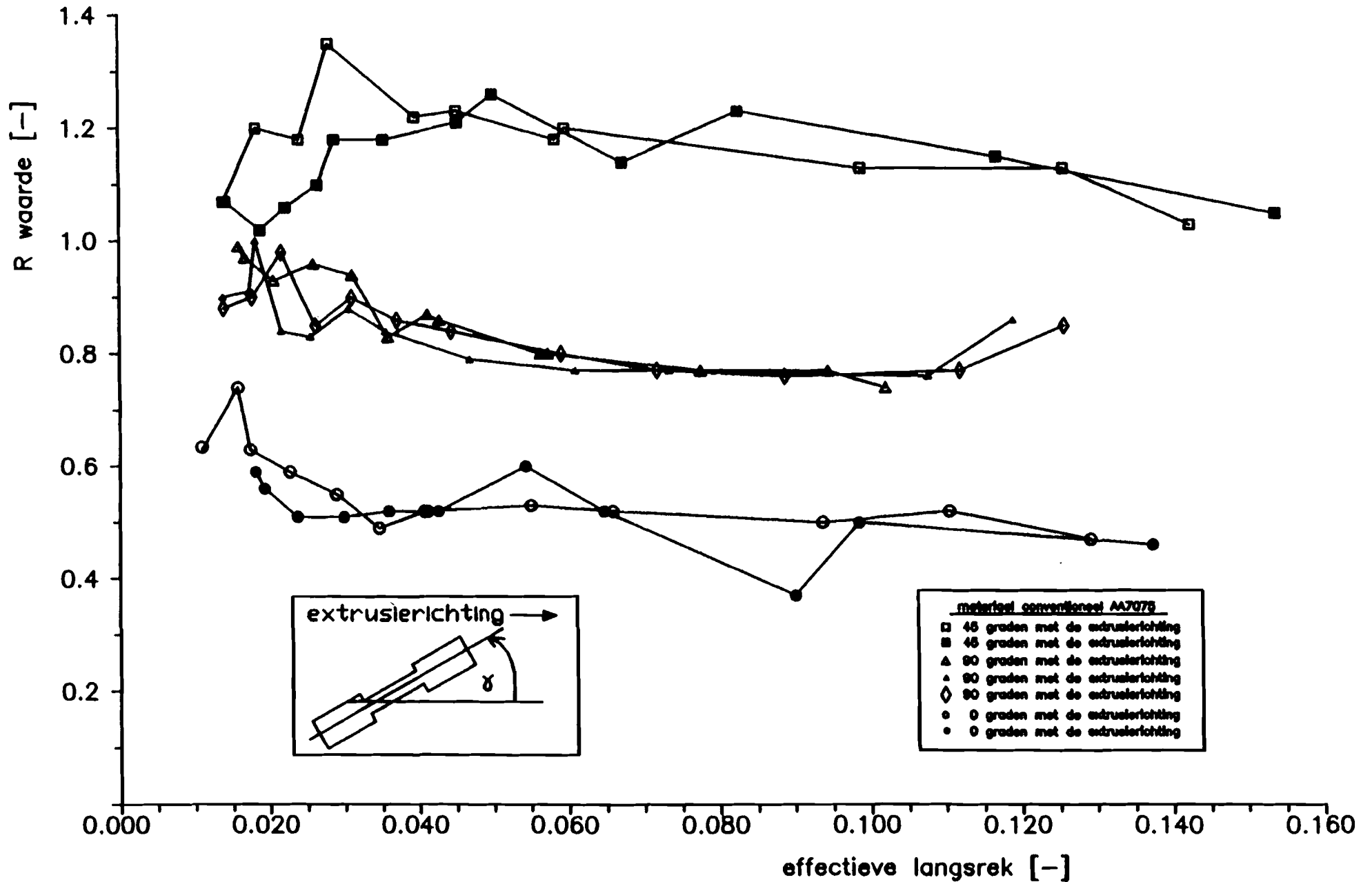


Grafiek 4: Verstevingsexponent en specifieke spanning als functie van de hoek met de extrusierichting.

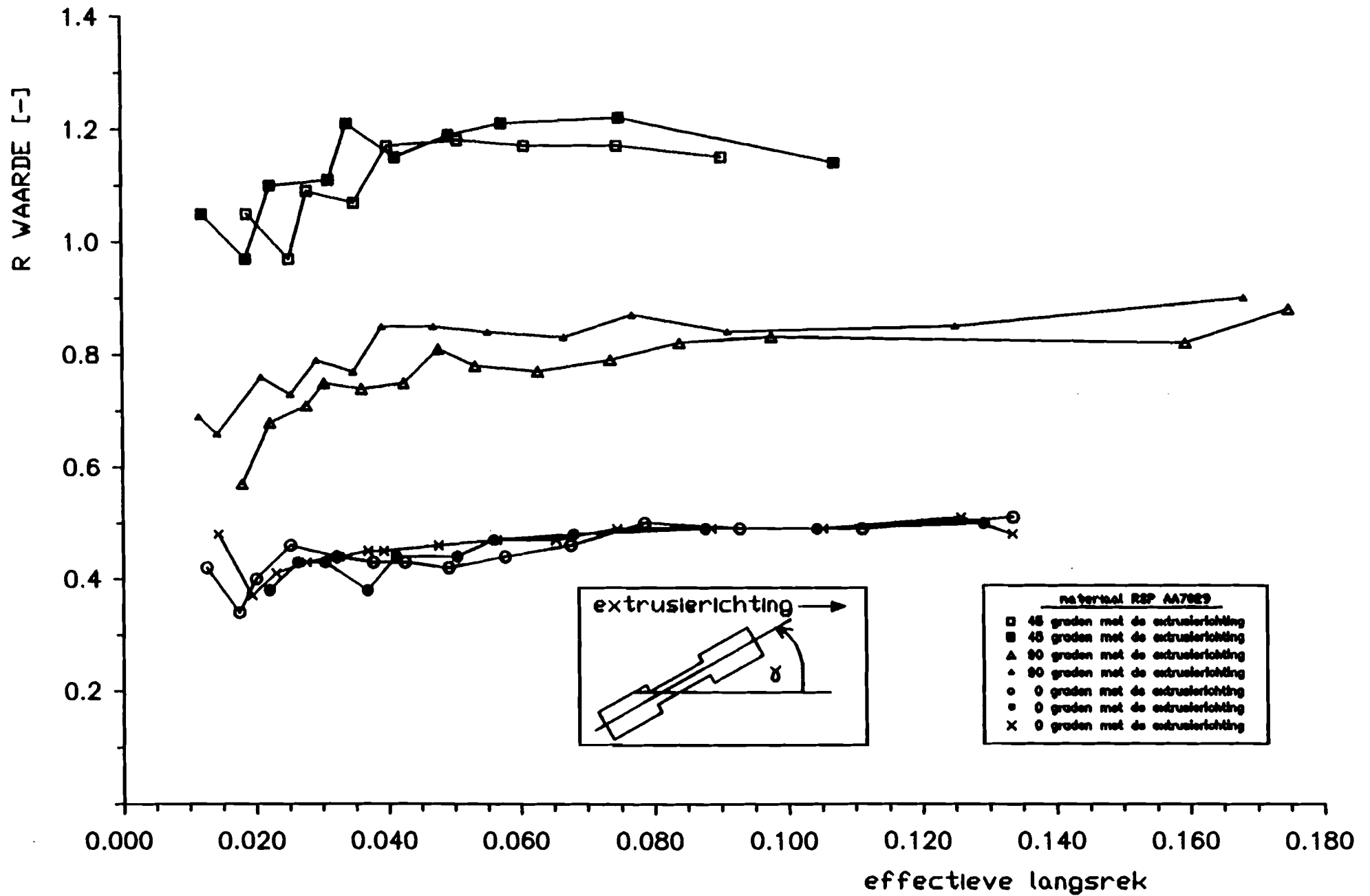


Grafiek 5: De anisotropiefactor  $R_\gamma$  als functie van de hoek met de extrusierichting.



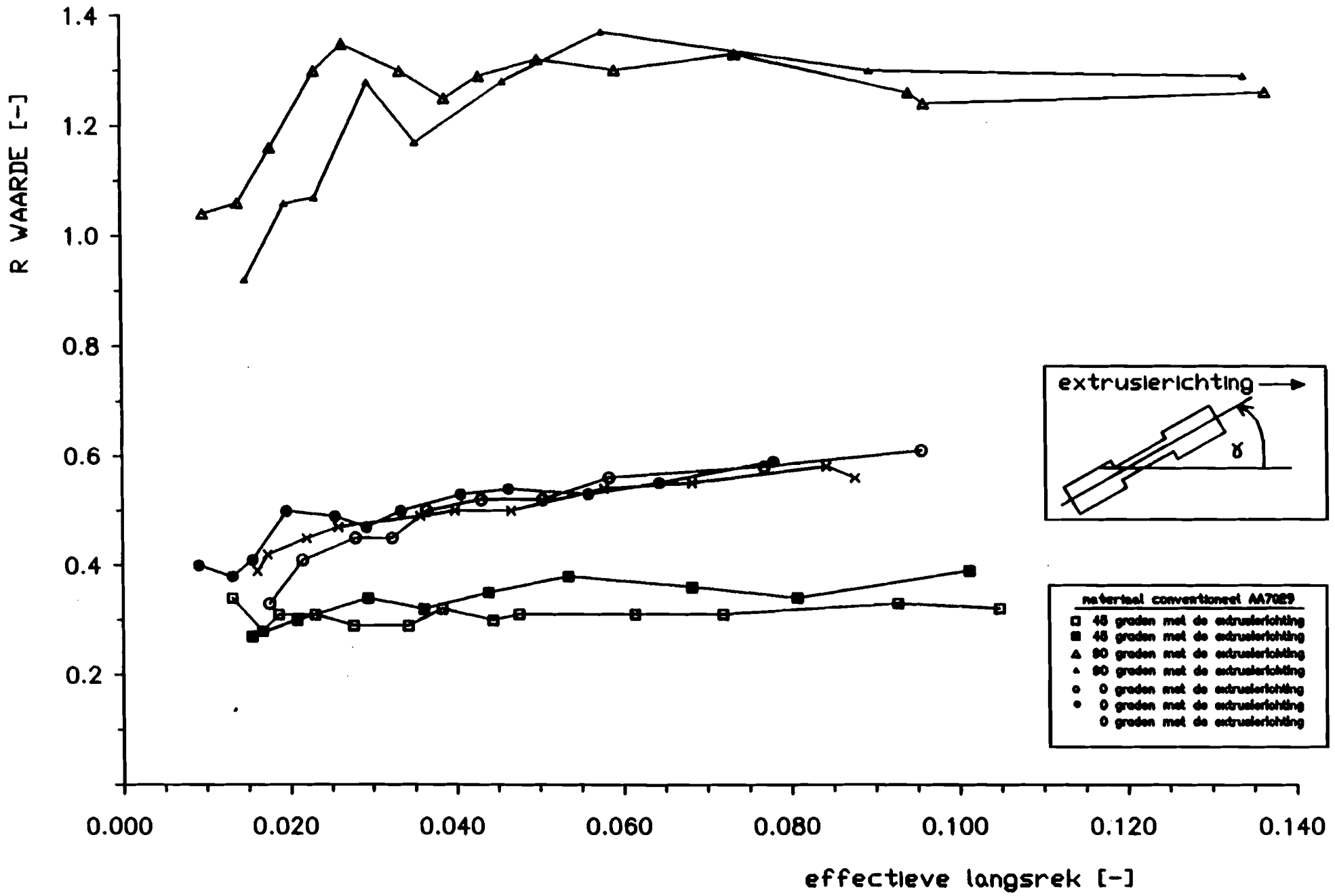


Grafiek 7: De anisotropiefactor  $R_{\gamma}$  als functie van de effectieve rek in lengterichting van conv. AA7075.

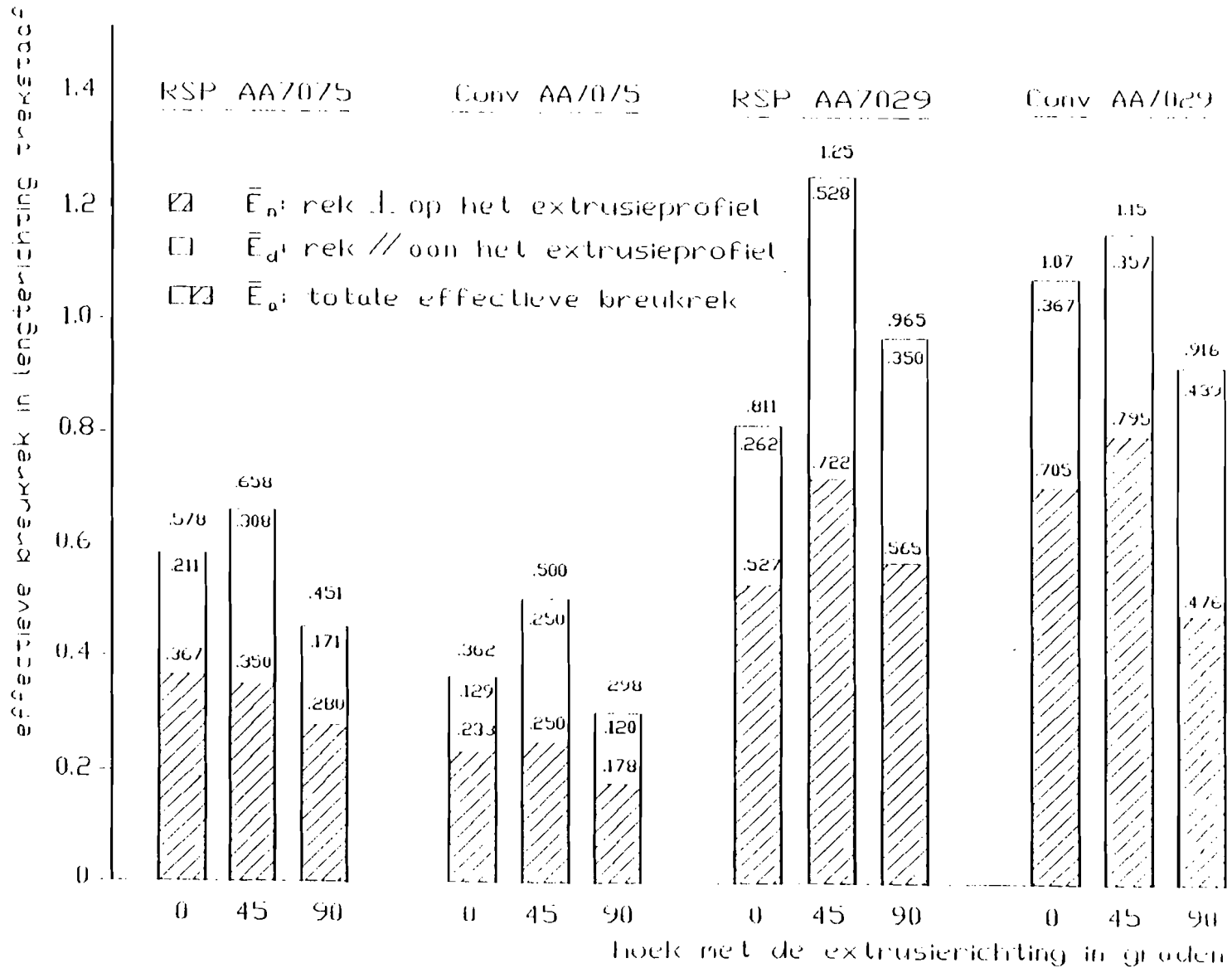


Grafiek 8: De anisotropiefactor  $R_y$  als functie van de effectieve rek in lengterichting van RSP AA7029.



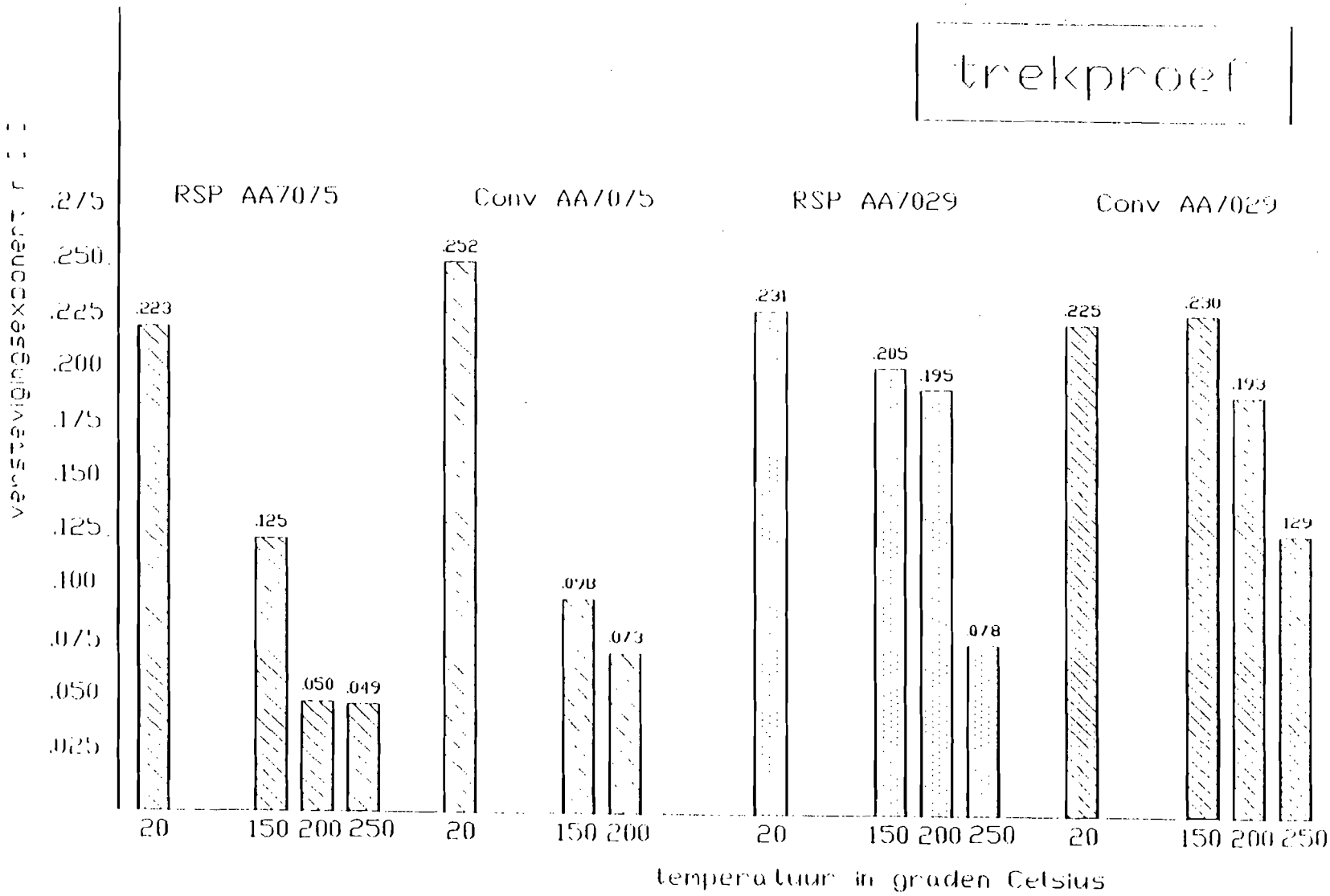


Grafiek 9: De anisotropiefactor  $R_y$  als functie van de effectieve rek in lengterichting van conv. AA7029.

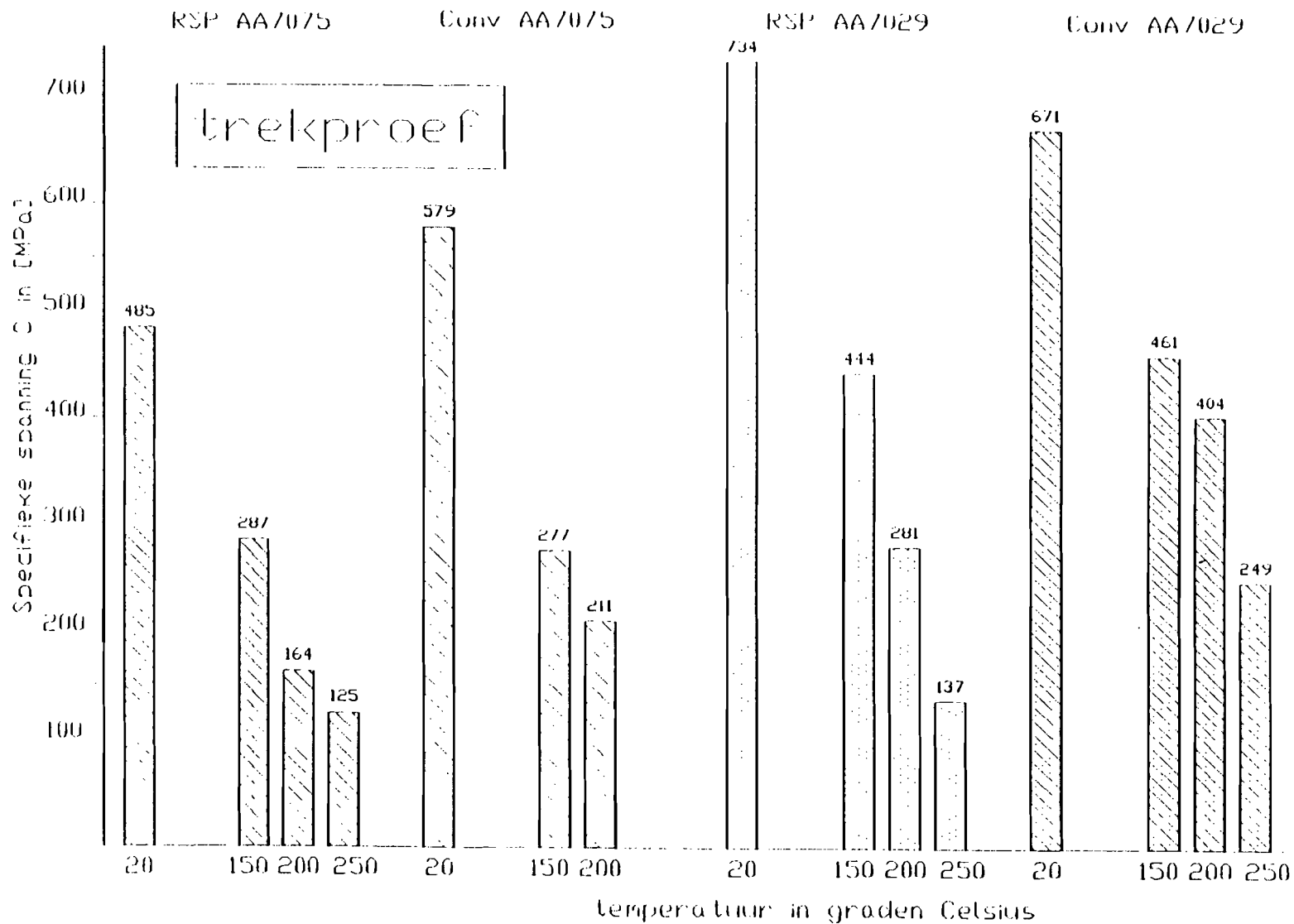


Grafiek 10: De breukrekken als functie van de hoek met de extrusierichting.

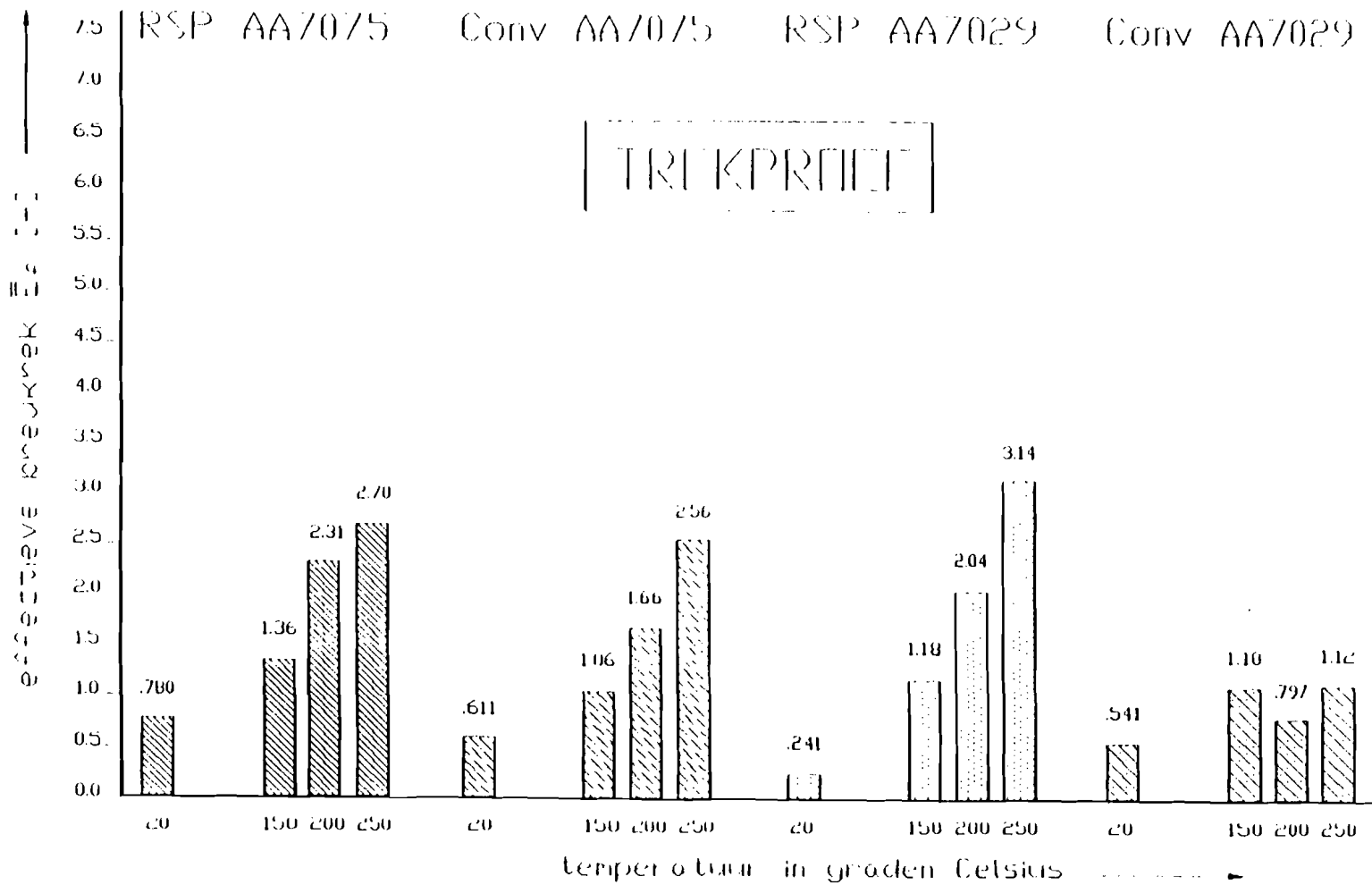
trekproef



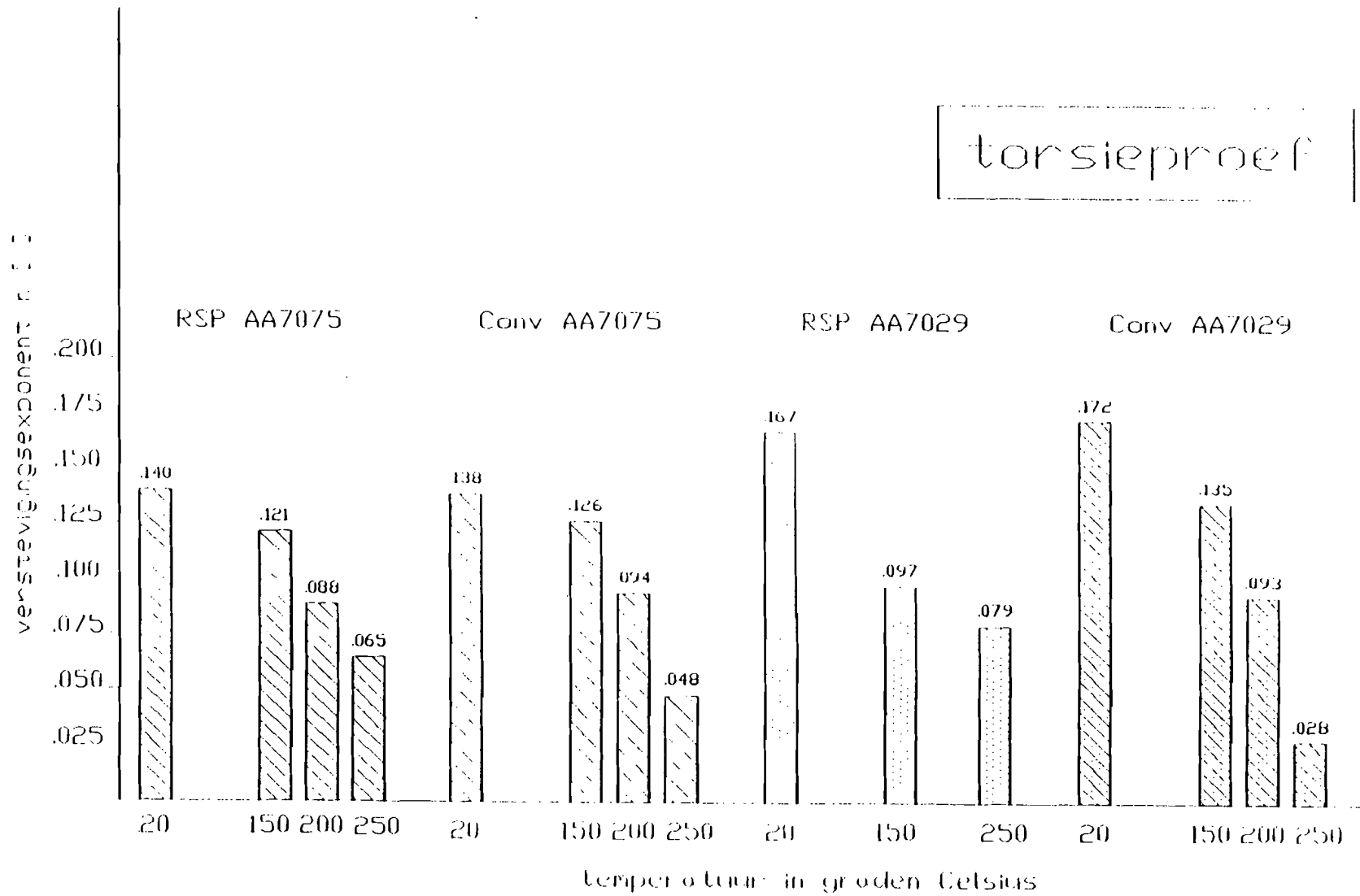
Grafiek 11: De verstevingsexponent als functie van de temperatuur bij de trekproef.



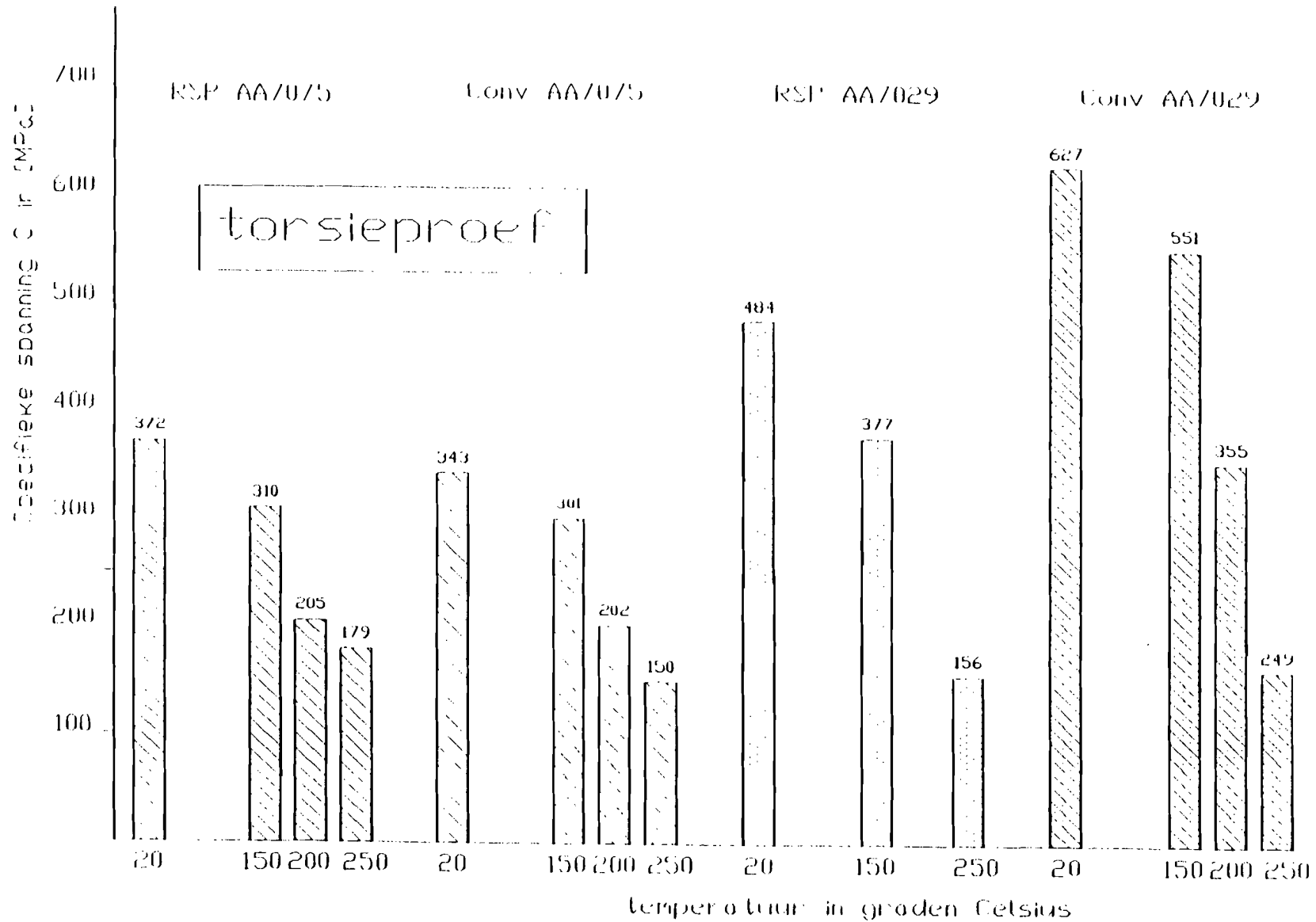
Grafiek 12: De specifieke spanning als functie van de temperatuur bij de trekproef.



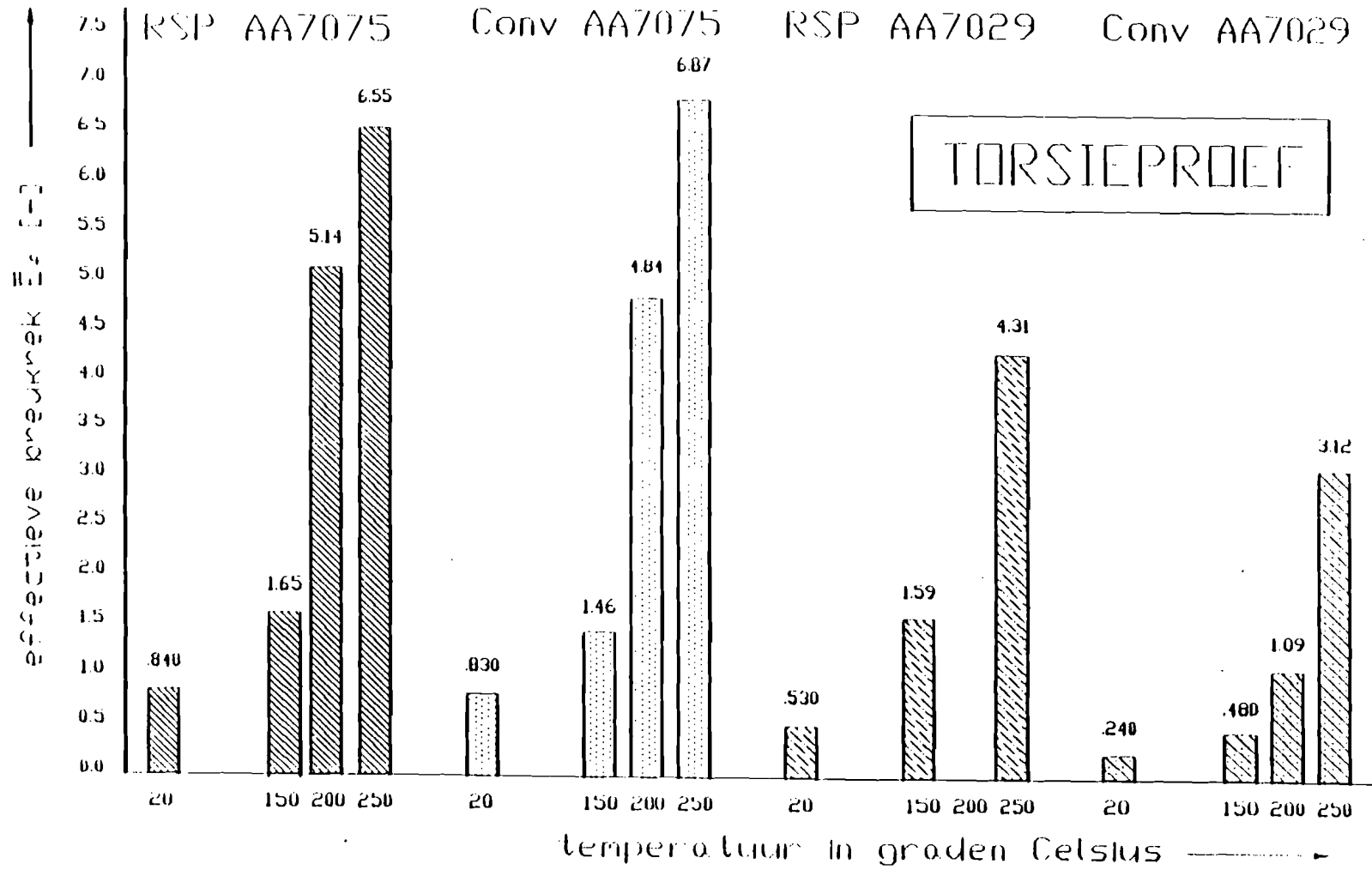
Grafiek 13: De breukrek als functie van de temperatuur bij de trekproef.



Grafiek 14: De verstevingsexponent als functie van de temperatuur bij de torsieproef.



Grafiek 15: De specifieke spanning als functie van de temperatuur bij de torsieproef.



Grafiek 16: De breukrek als functie van de temperatuur bij de torsieproef.