

KfK 4994
April 1992

Versuche zur Untersuchung der erosiven Wirkung oxidischer Gießstrahlen auf Strukturen

B. Stuka, H. Knauß, B. Kammerer, D. Perinić
Hauptabteilung Ingenieurtechnik
Projekt Nukleare Sicherheitsforschung

Kernforschungszentrum Karlsruhe

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Hauptabteilung Ingenieurtechnik
Projekt Nukleare Sicherheitsforschung

KfK 4994

**Versuche zur Untersuchung der erosiven Wirkung
oxidischer Gießstrahlen auf Strukturen**

B. Stuka
H. Knauß
B. Kammerer
D. Perinić

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Als Manuskript gedruckt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 3640, 7500 Karlsruhe 1

ISSN 0303-4003

Zusammenfassung

Die durchgeführten Versuche liefern einen Beitrag zur Untersuchung der erosiven Wirkung oxidischer Gießstrahlen auf Stahlplatten. Die Versuche erfolgten im Rahmen eines Projektvorhabens des Projektes Nukleare Sicherheitsforschung (PSF). Es wurden 40 mm dicke, horizontale Edelstahlplatten mit einem aluminothermisch erzeugten oxidischen Gießstrahl von \varnothing 20 mm und 1,0 m Fallhöhe an freier Luftatmosphäre beaufschlagt. Versuchsparameter waren unterschiedliche Vorheiztemperaturen der Platten (900 u. 1200 °C).

Mittels einer tiefengestaffelten Bestückung der Platte mit Thermoelementen konnte die Temperaturverteilung in der Platte zeitkorreliert erfaßt und dargestellt werden.

Hinsichtlich der direkten erosiven Wirkung eines oxidischen Gießstrahls in Abhängigkeit von der Vorheiztemperatur der Platte hat es sich gezeigt, daß eine hohe Anfangstemperatur der Edelstahlplatte (1200 °C) nur zu einer breiteren Auswaschung von Material an der Oberfläche führt, jedoch keine größere Erosionstiefe verursacht.

Wichtige Erkenntnisse konnten bereits aus den vorausgegangenen, umfangreichen Vorversuchen gewonnen werden (s. Anhang).

Experiments to Study the Erosive Effect of Oxide Casting Streams on Structures

Summary

The experiments performed under an activity of the Nuclear Safety Project (PSF) make a contribution to the study of the erosive effect of oxide casting streams on structures. An aluminothermically generated oxide casting stream, 20 mm in diameter, was applied from 1.0 m dropping height to 40 mm thick horizontal stainless steel plates in free air atmosphere. The test parameters were different temperatures of preheating of the plates (900 and 1200°C).

By means of thermocouples offset in depth in the plates it was possible to record and represent the temperature distribution in the plate correlated with time.

Regarding the direct erosive effect of an oxide casting stream as a function of the temperature of plate preheating it appeared that a high initial temperature of the stainless steel plate (1200°C) causes an increased erosion area at the surface only, but does not exert a macroscopically visible influence on erosion depth.

Important findings have already been obtained in the previous comprehensive preliminary tests (s. Annex).

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abbildungen

	Seite
1. Einleitung und Problemstellung	1
2. Festlegungen zu den durchzuführenden Versuchen	5
2.1 Gießstrahl	5
2.2 Versuchsplatte	5
2.3 Zusammenstellung der Versuche	5
3. Versuchstechnik	6
3.1 Erzeugung der Schmelze	6
3.2 Versuchsaufbau	7
4. Meßtechnik und Instrumentierung	8
4.1 Temperatur des THERMIT-Tiegelfutters	8
4.2 Temperatur des THERMIT-Pulvers	8
4.3 Temperatur des metallischen Gießstrahls	8
4.4 Temperatur des oxidischen Gießstrahls	9
4.4.1 Teilstrahlungspyrometer (Meßstellenkurzbezeichnung P-T29)	9
4.4.2 Kombinations-Quotientenpyrometer	9
4.5 Temperatur der Versuchsplatte	10
4.6 Zeitsignale zum Versuchsablauf	11
4.6.1 Versuchsdauer	11
4.6.2 Zeitpunkt des Tiegelabstichs	11
4.6.3 Beaufschlagungsdauer der Versuchsplatte	11
4.6.4 Zeitpunkt des Gießstrahldurchbruchs	12
4.7. Meßdatenerfassung und Verarbeitung	12
4.8. Bildaufzeichnungen	12
5. Versuchsdurchführung	13
5.1 Versuchsvorbereitung	13
5.2 Operationen bei der Versuchsdurchführung	15
6. Auswertung und Dokumentation	18
7. Bewertung und Diskussion der Ergebnisse	20
Literatur	27
Abbildungen und Diagramme zu den Versuchen E 018 u. E 019	28
Anhang	55
Einführung	56
Verzeichnis der Test -Versuche	57
Tabellarische Übersicht sämtlicher EROS - Versuche	58
Kurzfassung der EROS -Test -Versuche E001 bis E017	59

Verzeichnis der Abbildungen

Schema der Versuchsanlage EROS	Abb. 1
Schnitt durch Reaktionstiegel mit Düse und Stift	Abb. 2
Heizplanskizze der THERMIT-Tiegelheizung	Abb. 3
Anordnung der Thermoelemente in der Versuchsplatte	Abb. 4
Blockschema Steuerung, Meßwert- u. Bildaufzeichnung	Abb. 5
W/Re-Thermoelementtauchsonde, Schnittbild	Abb. 6
Gesamtansicht der Versuchsanlage, Foto	Abb. 7
Versuch E018, Stahlplatte nach Versuch, mit Kruste, Foto	Abb. 8
Versuch E019, Stahlplatte nach Versuch, mit Kruste, Foto	Abb. 9
Versuch E018, Stahlplatte nach Versuch, ohne Kruste, Foto	Abb. 10
Versuch E019, Stahlplatte nach Versuch, ohne Kruste, Foto	Abb. 11

Versuch E018; Meßwerte:

Übersichtsplot:	Abb. 12
W-T25	W/Re-Thermoelement
P-T27	Pyrometer, Spektrale Strahlungstemperatur T_s
P-T28	Pyrometer, Verhältnistemperatur T_v

Übersichtsplot:	Abb. 13
P-T27	Pyrometer, Spektrale Strahlungstemperatur T_s
NA-T1	TE, 4 mm tief, 15 mm von Plattenmitte
NA-T2	TE, 4 mm tief, 30 mm von Plattenmitte
NA-T3	TE, 4 mm tief, 60 mm von Plattenmitte
NA-T4	TE, 4 mm tief, 120 mm von Plattenmitte

Übersichtsplot:	Abb. 14
P-T27	Pyrometer, Spektrale Strahlungstemperatur T_s
NB-T6	TE, 8 mm tief, 15 mm von Plattenmitte
NB-T7	TE, 8 mm tief, 30 mm von Plattenmitte
NB-T8	TE, 8 mm tief, 60 mm von Plattenmitte
NB-T9	TE, 8 mm tief, 120 mm von Plattenmitte

Übersichtsplot:

Abb. 15

P-T27 Pyrometer, Spektrale Strahlungstemperatur T_s
NC-T11 TE, 20 mm tief, 15 mm von Plattenmitte
NC-T12 TE, 20 mm tief, 30 mm von Plattenmitte
NC-T13 TE, 20 mm tief, 60 mm von Plattenmitte
NC-T14 TE, 20 mm tief, 120 mm von Plattenmitte

Übersichtsplot:

Abb. 16

Temperaturverteilung in 4 mm Plattentiefe für fünf Zeitpunkte nach Beginn der Beaufschlagung

Übersichtsplot:

Abb. 17

Temperaturverteilung in 8 mm Plattentiefe für fünf Zeitpunkte nach Beginn der Beaufschlagung

Übersichtsplot:

Abb. 18

Temperaturverteilung in 20 mm Plattentiefe für fünf Zeitpunkte nach Beginn der Beaufschlagung

Übersichtsplot:

Abb. 19

Temperaturverteilung in 3 Plattentiefen bei 25 s nach Beginn der Beaufschlagung

Versuch E019; Meßwerte:

Übersichtsplot:

Abb. 20

W-T25 W/Re-Thermoelement
P-T27 Pyrometer, Spektrale Strahlungstemperatur T_s
P-T28 Pyrometer, Verhältnistemperatur T_v

Übersichtsplot:

Abb. 21

P-T27 Pyrometer, Spektrale Strahlungstemperatur T_s
NA-T1 TE, 4 mm tief, 15 mm von Plattenmitte
NA-T2 TE, 4 mm tief, 30 mm von Plattenmitte
NA-T3 TE, 4 mm tief, 60 mm von Plattenmitte
NA-T4 TE, 4 mm tief, 120 mm von Plattenmitte

Übersichtsplot:

Abb. 22

P-T27	Pyrometer, Spektrale Strahlungstemperatur T_s
NB-T6	TE, 8 mm tief, 15 mm von Plattenmitte
NB-T7	TE, 8 mm tief, 30 mm von Plattenmitte
NB-T8	TE, 8 mm tief, 60 mm von Plattenmitte
NB-T9	TE, 8 mm tief, 120 mm von Plattenmitte

Übersichtsplot:

Abb. 23

P-T27	Pyrometer, Spektrale Strahlungstemperatur T_s
NC-T11	TE, 20 mm tief, 15 mm von Plattenmitte
NC-T12	TE, 20 mm tief, 30 mm von Plattenmitte
NC-T13	TE, 20 mm tief, 60 mm von Plattenmitte
NC-T14	TE, 20 mm tief, 120 mm von Plattenmitte

Übersichtsplot:

Abb. 24

Temperaturverteilung in 4 mm Plattentiefe für fünf Zeitpunkte nach Beginn der Beaufschlagung

Übersichtsplot:

Abb. 25

Temperaturverteilung in 8 mm Plattentiefe für fünf Zeitpunkte nach Beginn der Beaufschlagung

Übersichtsplot:

Abb. 26

Temperaturverteilung in 20 mm Plattentiefe für fünf Zeitpunkte nach Beginn der Beaufschlagung

Übersichtsplot:

Abb. 27

Temperaturverteilung in 3 Plattentiefen bei 25 s nach Beginn der Beaufschlagung

1. Einleitung und Problemstellung

Die Erosions-Experimente (EROS) wurden initiiert im Hinblick auf das Sicherheitsgutachten 8/2-7 zum SNR-300, in dem die Penetration des Tankbodens durch einen Schmelzstrahl aus flüssigem Brennstoff als mögliche Versagensursache angesehen worden ist.

In Kooperation mit CEA, Grenoble und INTERATOM, Bensberg, wurde die Relevanz der Experimente, mit Bezug auf Sicherheitsuntersuchungen zu In-pile-Experimenten im SCARABEE-Reaktor bzw. zum EFR, bestätigt.

Die physikalischen Bedingungen und Vorgänge beim erosiven Angriff auf das Wandmaterial eines Reaktortanks durch Gießstrahlen konnten bisher noch nicht mit verlässlichem, empirischem Datenmaterial belegt werden.

Daher sind experimentelle Untersuchungen unter simulierten, vereinfachten, jedoch eindeutig einstellbaren Rand- und Anfangsbedingungen von besonderem Interesse. Bereits aus Versuchen mit Einwirkung aluminothermisch erzeugter Gießstrahlen auf Edelstahlplatten werden wesentliche, empirische Erkenntnisse zum Erosionsvorgang erwartet, die zumindest zur Vorabverifizierung von Modellrechnungen herangezogen werden können.

Zur Entwicklung der technologischen Grundlagen für die Untersuchung der Auswirkung von Schmelzstrahlen beim Auftreffen auf Strukturen wurden zahlreiche Vorversuche unter Variation verschiedener Versuchsparameter durchgeführt. Eine ausführliche Darstellung dieser Test-Versuche findet sich im Anhang dieses Berichtes.

Diese Vorversuche hatten den Charakter von Orientierungsversuchen zur qualitativen Vorklärung der parameterspezifischen Effekte sowie zur Optimierung der gerätetechnischen Einzelheiten.

- In den ersten fünf Vorversuchen (s. Anhang E001 bis E005) wurden nicht vorgeheizte 40 mm dicke Edelstahlplatten unter verschiedenen Neigungswinkeln mit thermitisch erzeugten metallischen oder oxidischen Gießstrahlen beaufschlagt.

Dabei zeigte es sich, daß rein oxidische Schmelzstrahlen makroskopisch kaum Angriffsspuren in der Platte hinterlassen.

Im Gegensatz dazu perforieren metallische Gießstrahlen in wenigen Sekunden die Edelstahlplatten und bewirken in Abfließrichtung Auswaschungen, deren Form vom Neigungswinkel abhängt.

- Zur Anhebung der Kontakttemperatur wurde eine 40 mm dicke Edelstahlplatte auf 400 °C vorgeheizt und dann bei einem Neigungswinkel von 45° mit einem reinen Oxidstrahl beaufschlagt (s. Anhang E006). Auch die Vorheizung auf 400°C bewirkte noch keinen nennenswerten, erosiven Plattenangriff.
- Zur Erzielung einer höheren Kontakttemperatur wurde der Versuch unternommen, die Temperatur der Schmelze anzuheben. Hierfür wurde in Vorversuchen mit Hilfe einer speziell konzipierten elektrischen Tiegelheizung (Abb. 2 u. 3) untersucht, ob durch eine Vorwärmung des THERMIT-Pulvers auf im Mittel 460 °C eine Anhebung der Temperatur des Gießstrahls zu erreichen ist. Zugleich wurden in diesen Vorversuchen zur Gewährleistung eines möglichst konstanten Gießstrahldurchmessers Auslaufdüsen aus Graphit, ZrO₂ und MgO getestet (s. Anhang E007 bis E010).

Der Vergleich mit und ohne Vorwärmung des THERMIT-Pulvers vor dessen Zündung zeigte jedoch, daß kein unterschiedliches Niveau der Spektralen Strahlungstemperaturen der Gießstrahlen pyrometrisch gemessen wurde.

Als Ursache dafür, daß die Vorheizung des THERMIT-Pulvers nicht zu der gewünschten Temperaturanhebung der Schmelze führte, wird das Erreichen des Aluminium-Siedepunktes ($S_p = 2740\text{K}$) während der THERMIT-Reaktion angesehen. Dabei bewirkt die Pulvervorheizung lediglich eine stärkere Al-Dampfbildungsrate in der Reaktionszone, d.h., daß wegen der damit verbundenen latenten Verdampfungswärme keine Temperaturerhöhung möglich ist.

Aufgrund dieses Ergebnisses wurde bei den Hauptversuchen, zur Vereinfachung der Versuchsdurchführung, auf die Vorwärmung des THERMIT-Pulvers verzichtet.

Wegen der sehr starken Auswaschung scheidet Graphit als Ausflußdüsenmaterial von vornherein aus. Unter den keramischen Werkstoffen hat sich hingegen am besten MgO bewährt.

- Zur Reduktion der Wärmekapazität des Plattenmaterials wurden vergleichsweise nur 5 mm dicke Edelstahlplatten mit oxidischen Gießstrahlen beaufschlagt (s. Anhang E011 bis E014).

Hierbei hat es sich gezeigt, daß selbst dünne, nicht vorgeheizte Edelstahlplatten durch oxidische Gießstrahlen erosiv nicht angegriffen werden.

- Die restlichen Vorversuche (s. Anhang E015 bis E017) dienten hauptsächlich der Betriebserprobung der für die Bedürfnisse der Hauptversuche technisch nachgerüsteten Versuchsanlage.

Grundsätzlich werden für das Erosionsverhalten folgende physikalische Einflüsse als bedeutsam angesehen:

1. Anfangstemperatur der Edelstahlplatte unmittelbar vor Auftreten des Gießstrahls
2. Krustenbildung durch erstarrende Schmelze und damit verbundene Schutzwirkung vor erosivem Angriff auf die Platte durch den Gießstrahl.

Diese Einflüsse stehen im funktionellen Zusammenhang mit der erreichbaren Kontakttemperatur.

Theoretische Betrachtungen haben gezeigt, daß im Fall einer Kontakttemperatur unter der Solidustemperatur des Plattenwerkstoffs kaum ein erosiver Angriff aufgrund einer sich bildenden, schützenden Pufferkruste zu erwarten ist.

Liegt hingegen die Kontakttemperatur über der Solidustemperatur der Edelstahlplatte, so muß mit einem lokalen Aufschmelzen der Platte gerechnet werden.

Unter Annahme eines Gießstrahls aus reinem UO_2 im Temperaturbereich 3500 bis 4000 °C und einer Anfangstemperatur der Edelstahlplatte von 500 °C ergäbe sich eine Kontakttemperatur im Bereich 1200 bis 1300 °C. Ein solches Temperaturniveau liegt einerseits unweit des Solidus von Edelstahl, andererseits jedoch weit unterhalb des Erstarrungspunktes von UO_2 . Hierbei erhebt sich also die Frage nach einer stabilen UO_2 Krustenbildung und der damit verbundenen, die Platte vor erosivem Angriff schützenden Wirkung.

Bei modellmäßiger Übertragung der Betrachtung auf die Beaufschlagung einer 40 mm dicken, nicht vorgeheizten Edelstahlplatte mit einer aluminothermisch (THERMIT-Verfahren) erzeugten oxidischen Schmelze von ca. 2400 °C wäre mit einer Kontakttemperatur von 500 °C zu rechnen.

Das Beispiel zeigt, daß die Kontakttemperatur sowohl weit unterhalb des Soliduspunktes der Edelstahlplatte, als auch weit unterhalb des Erstarrungspunktes von

Al₂O₃ liegt. Zur Simulation von reaktorrelevanten Randbedingungen mit Al₂O₃-Schmelzen sollte eine Kontakttemperatur im Bereich 1200 - 1300 °C angestrebt werden.

Als geeignete Maßnahmen kommen in Frage:

- Anhebung der Gießstrahltemperatur und / oder
- Vorheizung der Edelstahlplatte

Zur Erzielung einer Kontakttemperatur ≥ 1200 °C mit einem Al₂O₃-Gießstrahl von ca. 2400 °C wird die Anfangstemperatur der Edelstahlplatte mit 900 °C veranschlagt.

Für den Fall niedrigerer Gießstrahltemperatur muß von entsprechend höheren Anfangstemperaturen der Platte ausgegangen werden.

2. Festlegungen zu den durchzuführenden Versuchen

Gemäß den Anforderungen der Aufgabenstellung, unter Berücksichtigung der derzeit verfügbaren, technischen Möglichkeiten der Versuchsanlage, werden die speziellen, z.T. durch Vorversuche bestimmten Rand- und Anfangsbedingungen zu den durchzuführenden Hauptversuchen nachstehend beschrieben.

2.1 Gießstrahl

Zur Erzielung einer möglichst hohen Gießstrahltemperatur, d.h. einer möglichst geringen Abkühlung während der Falldauer, wird der Abstand zwischen U.K. Ausflußdüse und O.K. Edelstahlplatte (Fallhöhe) auf den kleinsten an der Anlage möglichen Wert von 1000 mm festgelegt. Der Durchmesser der Ausflußdüse beträgt 20 mm.

Die eingesetzte THERMIT-Pulvermasse wird auf 100 kg begrenzt. Das eingesetzte THERMIT-Pulver hat die Typen-Bezeichnung R 70SSH, Lieferung 1988, Hersteller: Fa. ELEKTROTHERMIT, Essen.

2.2 Versuchsplatte

Die Plattendicke wurde entsprechend der Dicke der Reaktortankwand auf 40 mm festgelegt (Abb. 4).

Die übrigen Plattendaten sind: Länge / Breite = 280 / 280 mm, Werkstoff Nr. 1.4571.

Hinsichtlich Ausrichtung der Platte zum Gießstrahl gilt das Hauptinteresse dem Anströmwinkel von 90° (horizontale Plattenanordnung). Zur Anhebung der Kontakttemperatur wird die Anfangstemperatur der Platte zwischen 900 und 1200 °C variiert.

2.3 Zusammenstellung der Versuche

Entsprechend den Erläuterungen in 2.1 und 2.2 zu den Versuchsbedingungen werden folgende vergleichende Versuche definiert:

Versuchs Nr. *	E 018	E 019
Rand- und Anfangsbedingungen		
Strahl \varnothing in mm	20	20
Strahlart	oxidisch (Al ₂ O ₃)	oxidisch (Al ₂ O ₃)
Strahltemperatur in °C	$\geq 2\ 200$	2 200
Fallhöhe des Strahls in mm	1 000	1 000
THERMIT - Masse in kg	100	100
Platten-Werkstoff Nr.	1.4571	1.4571
Platten-Abmessungen in mm	280x280, 40 dick	280x280, 40 dick
Anströmwinkel (Ausrichtung)	90 ° (horizontal)	90 ° (horizontal)
Platten-Anfangstemp. in °C	900	$\geq 1\ 200$
THERMIT-Trocknungstemp. in °C	120	120

* Die Versuchsnummern entsprechen der fortlaufenden Nummerierung incl. aller Vorversuche (Test-Versuche) gem. Anhang.

3. Versuchstechnik

3.1 Erzeugung der Schmelze

Zur Erzeugung der Schmelze wurde das THERMIT-Verfahren angewendet. Dabei wird die große Affinität des Aluminiums zum Sauerstoff genutzt, um Eisenoxide zu reduzieren.

Die THERMIT-Reaktion läuft nach punktförmiger Entzündung des Pulvers mit einem elektrischen Zünder in einem Tiegel über das gesamte Pulvervolumen in wenigen Sekunden, stark exotherm ab. Die etwa 2500 °C heißen Reaktionsprodukte, 55 Gew.% Fe und 45 Gew.% Oxide, trennen sich danach, wobei die

spezifisch leichtere Schlacke (Mischoxid aus hauptsächlich Al_2O_3 + Mg-, Fe-Oxiden) auf dem Eisen schwimmt.

3.2 Versuchsaufbau

Die Versuche wurden in der Halle, Bau 650 (Abb. 1 und 7) durchgeführt. Zwei oben in der Hallenrückwand fest installierte große Axialgebläse sorgen für einen schnellen Luftwechsel in der Halle, wodurch Versuche mit extremer Rauch- und Wärmeentwicklung möglich sind.

In Abb. 1 ist der Gesamtaufbau der Versuchsanlage ersichtlich. Zur Aufnahme des THERMIT-Reaktionstiegels sowie der Befestigung der Probeplatte und aller übrigen Hilfseinrichtungen dient ein in Schweißkonstruktion ausgeführtes Stahlgerüst aus Winkelstahlprofilen.

Der konische, nach unten spitz zulaufende Reaktionstiegel (Abb. 2) der Fa. ELEKTROTHERMIT, Essen, besteht aus einem Stahlblechmantel in welchen das MgO -Tiegelfutter mit einer dicken Klebsandschicht eingebettet ist. Zur Isolation der Schmelzbadoberfläche gegen Abstrahlung dient eine Oxidkeramik-Fasermatte (Opferschicht).

Außerdem ist das MgO -Tiegelfutter selbst in einem eng anliegenden Blechmantel eingefast. Zum Austreiben der Feuchtigkeit aus dem THERMIT-Pulver wurde die äußere Fläche dieses Blechmantels mit haarnadelförmigen, dicht nebeneinander liegenden Mantelheizleitern bestückt (Abb. 3). Das Fassungsvermögen beträgt 150 kg THERMIT-Pulver. Den unteren Tiegelabschluß bildet ein gesinterter keramischer Ausflußbodenstein, dessen Ausflußöffnung ($\varnothing 20$) düsenförmig ausgebildet ist und vor jedem Versuch mit einem Stahlstift, geschützt mit Schichten aus Asbestflocken, Klebsand und Quarzsand, verschlossen wird (Abb. 2). Durch Einschlagen des Stahlstiftes in die Schmelze mittels eines fernbedienten Hebels wird der Tiegel abgestochen. Am besten bewährt haben sich Bodenstopfen aus MgO -Feinkeramik. Über eine unterhalb der Abstichdüse angeordnete, verfahrbare Rinne kann der zuerst herausströmende Eisenstrahl in einen seitlich angeordneten Behälter abgeleitet werden. Durch seitliches Verfahren der Rinne zum richtigen Zeitpunkt können die Probeplatten direkt mit reinem Oxidstrahl beaufschlagt werden.

Zum Auffangen des von der Probeplatte ablaufenden Schmelzstrahls und der Spritzer wurde am Boden ein 10 cm dickes Sandbett angeordnet. Zur Vorheizung

der Edelstahlplatte dient ein innerhalb des Stahlbaugerüsts horizontal verfahrbarer Widerstandsofen in selbsttragender Sinterfaserausführung.

Zur Gewährleistung eines programmgemäßen Versuchsverlaufs der sehr kostenintensiven Einzelversuche wurde die Versuchsanlage konstruktiv so nachgerüstet, daß alle Bewegungsabläufe durch ferngesteuerte, elektropneumatische Mechanismen betätigt werden (Tiegelabstich, Verfahren des Vorheizofens der Platte, Verfahren der Ableitrinne des Gießstrahls). Damit wird eine Bedienungsvereinfachung sowie eine automatische Zeitmarkenerfassung durch Aufschaltung der entsprechenden elektrischen Impulsgeber auf das Datenerfassungssystem erreicht.

4. Meßtechnik und Instrumentierung

4.1 Temperatur des THERMIT-Tiegelfutters

Alle neun haarnadelförmigen Mantelheizleiter (entsprechend Heizplanskizze Abb. 3) sind mit NiCr/Ni-Mantelthermoelementen instrumentiert. Die Temperatursignale (Meßbereich 0-800 °C) sind auf den 12-Punktendrucker Nr. 1 (H + B, Type Polycomp 2) aufgeschaltet.

Da diese nur zur Überwachung der Heizstabtemperatur, der Trocknungstemperatur nach Ausbesserungsarbeiten am Tiegelfutter und zum Austreiben der Restfeuchtigkeit aus dem THERMIT-Pulver dienen, sind sie nicht Null-grad-kompensiert.

4.2 Temperatur des THERMIT-Pulvers

Zum Überwachen der THERMIT-Pulvertemperatur beim Austreiben der Restfeuchtigkeit sind sowohl in der vertikalen Mittelachse als auch an der inneren Tiegelfwand je ein NiCr/Ni-Thermoelement auf gleiche Höhe positioniert. Die Meßsignale (Meßbereich 0-600 °C) sind auf den 12-Punktendrucker Nr. 2 (H + B, Type Polycomp 2) aufgeschaltet. Zur Vereinfachung sind auch diese Orientierungsmeßstellen nicht Null-grad-kompensiert.

4.3 Temperatur des metallischen Gießstrahls

Zwecks Beaufschlagung der Edelstahlplatte mit einem oxidischen Gießstrahl muß direkt nach Tiegelabstich der zuvor ausfließende, rein metallische Schmelzenan-

teil über die verfahrbare Rinne abgeleitet werden. Für diese Zeitspanne ist der Gießstrahl durch den Einlauftrichter der Rinne verdeckt und somit pyrometrisch nicht meßbar.

Daher wird in der Rinne eine Tauchsonde (Abb. 1 und 6) mit WRe-Thermoelement, Meßbereich 0-2300 °C, am Auftreffpunkt des Strahles im Einlauftrichter positioniert. Diese Meßstelle soll auch Rückschlüsse auf die Anfangstemperatur des Oxidstrahls ermöglichen, sie wird aber schon unmittelbar nach Kontakt mit dem Gießstrahl zerstört.

4.4 Temperatur des oxidischen Gießstrahls

Nach Wegfahren der Umlenkrinne wird der Gießstrahl gleichzeitig mit zwei verschiedenen Strahlungsthermometern (Pyrometern) aus horizontal um 90° versetzten Richtungen, ca. 200 mm unterhalb der Ausflußdüsenkante gemessen.

4.4.1 Teilstrahlungs-pyrometer (Meßstellenkurzbezeichnung P-T29)

Hersteller: Fa. Dr. G. Maurer, Kohlberg

Typ TMR 32-d, Meßwellenlänge 850 nm,

Photomultiplier als Strahlungsempfänger, Meßwert = "Spektrale Strahlungstemperatur", Meßbereich 1480 bis 4000 °C.

Die Eich-tabelle für dieses Pyrometer wurde gewonnen durch Anbindung an eine kalibrierte Wolfram-Bandlampe, als Sekundärstrahlungsnormale, bis 2300 °C Spektrale Strahlungstemperatur. Der darüber hinausgehende, hier benötigte Meßbereich bis 2500 °C ist durch Extrapolation der Eich-tabelle abgedeckt worden.

Das Meßsignal ist auf den PC und parallel dazu auf einen Zweilinienschreiber Nr. 4 (W + W, Type Recorder 600 TARKAN) aufgeschaltet (Abb. 5).

4.4.2 Kombinations-Quotientenpyrometer

Hersteller: Fa. Dr. G. Maurer, Kohlberg

Dieses Gerät vereinigt in sich folgende zwei unterschiedliche Pyrometerprinzipien mit separaten Ausgangssignalen:

Teilstrahlungs-pyrometer (Meßstellenkurzbezeichnung P - T28)

Typ TMR 485-d-s, Meßwellenlänge $\lambda = 920$ nm, Photodiode als Strahlungsempfänger, Meßwert = "Spektrale Strahlungstemperatur", Meßbereich 1300 bis 3200 °C.

Zwei-Farben-Quotientenpyrometer (Meßstellenkurzbezeichnung P - T27)

Typ QPMR 465-d-S, Meßwellenlängen $\lambda_1 / \lambda_2 = 920 / 1040$ nm, Photodioden als Strahlungsempfänger, Meßwert = "Verhältnistemperatur", Meßbereich 1300 bis 3200 °C.

Die Kalibration dieser Pyrometerkombination wurde vom Institut für Kernenergetik (IKE), Stuttgart, vor einem "Schwarzen Strahler" durchgeführt.

Die Meßsignale sind auf den PC und parallel auf einen 2-Linienschreiber Nr. 5 (W + W, Type Recorder 600 TARKAN) geschaltet (Abb. 5).

4.5 Temperatur der Versuchsplatte

Zur Ermittlung der Temperaturverteilung in der Edelstahlplatte ab Beginn der Beaufschlagung mit dem Gießstrahl wurde die jeweilige Platte entlang einer Halbdagonalen mit NiCr-Ni-Mantelthermoelementen bestückt. Entlang dieser Halbdagonalen wurden drei dicht nebeneinander liegende Thermoelement-Reihen in 4, 8 und 20 mm Tiefe (gemessen von O.K. Platte) angeordnet. Die radiale Verteilung der tiefengestaffelten TE-Positionen wurde, ausgehend von der Plattenmitte, auf 15, 30, 60 und 120 mm festgelegt.

Meßbereich		0 - 1400 °C
Kurzbezeichnung der Meßstellen:	in 4 mm Tiefe	NA - T1
		NA - T2
		NA - T3
		NA - T4
	in 8 mm Tiefe	NB - T6
		NB - T7
		NB - T8
		NB - T9
	in 20 mm Tiefe	NC - T11
		NC - T12
		NC - T13
		NC - T14

Alle 12 Meßstellen werden mit dem PC erfaßt. Vier davon sind parallel zur Überwachung der Plattenvorheizung auf den 4-Linienschreiber Nr. 3 (W + W, Type Recorder 900 TARKAN) aufgeschaltet (Abb. 4 und 5).

4.6 Zeitsignale zum Versuchsablauf

4.6.1 Versuchsdauer (Signalkurzbezeichnung : X - Z1)

Der Versuch beginnt mit der Anfangsphase zum Zeitpunkt Null (Zeitmarke AP) mit Auslösung der elektrischen Zündung des THERMIT-Pulvers per Tasterdruck am Starterkasten. Mit diesem Signal wird zugleich die Datenerfassung im PC und dessen Uhr gestartet (Abb. 5). Die Endphase des Versuchs (Zeitmarke EP) setzt ein mit Ende des kompakten Gießstrahls nach Leerlaufen des Tiegels. Mit dieser Zeitmarke endet im wesentlichen auch die Wärmeeintragung in die Edelstahlplatte. Der Zeitablauf wird mit dem Timer der Videoanlage gemessen und als digitale Anzeige in den Videofilm eingeblendet.

4.6.2 Zeitpunkt des Tiegelabstichs

Der Abstich erfolgt gemäß Beobachtung, nach Beruhigung der Thermitreaktion (Ende der Auswürfe aus dem Reaktionstiegel). Der Erfahrungswert liegt bei 40 s. Für die Versuchsauswertung wird der genaue Zeitpunkt anhand der Videoaufzeichnung ermittelt.

4.6.3 Beaufschlagungsdauer der Versuchsplatte (Signalkurzbezeichnung X - Z2)

Die Gießstrahlbeaufschlagung der Platte beginnt mit dem Wegfahren der Rinne nach Ende der Ableitung der metallischen Phase, spätestens 23 s nach Abstichbeginn (Zeitmarke GB). Das Kommando Wegfahren erfolgt anhand des SignalhöhenSprungs im Linienschrieb für die Spektrale Strahlungstemperatur. Zur automatischen Gießstrahlkennung mittels PC dient ein elektrisches Signal nach Durchschmelzen eines stromdurchflossenen Schmelzdrahtes, der den Gießstrahl direkt unter der Rinne kreuzt. Der Schmelzdraht kann nur einmal verwendet werden. Alternativ kann für die Versuchsauswertung der Zeitpunkt des Beginns der Gießstrahlbeaufschlagung dem Videofilm entnommen und von Hand dem Rechner eingegeben werden.

Der Endzeitpunkt der Plattenbeaufschlagung wird anhand der Videoaufzeichnung und der eingeblendeten Digitalzeit ermittelt und vor der Versuchsauswertung von Hand in den Rechner eingegeben.

4.6.4 Zeitpunkt des Gießstrahldurchbruchs

Der Zeitpunkt des Gießstrahldurchbruchs (Zeitmarke GD) kann im Ereignisfall aus der Videoaufzeichnung bestimmt werden.

4.7 Meßdatenerfassung und Verarbeitung

Zur rationellen Erfassung und Verarbeitung der relevanten Meßwerte dient ein PC-System (Abb. 5) auf der Basis eines IPC AT Turbo, den notwendigen Peripheriegeräten nebst der speziell für die Versuchsdurchführung und Auswertung entwickelten Software.

Schnittstellen für das Datenerfassungssystem sind die Ausgänge der Meßverstärker zu den entsprechenden analogen Meßstellen.

4.8 Bildaufzeichnungen

Zur lückenlosen, bildmäßigen Dokumentation aller Versuchsstadien werden Farbvideoaufzeichnungen angefertigt. Aufgenommen wird der Versuchsaufbau vor dem Versuch, der eigentliche Versuchsablauf und die Edelstahlplatte nach dem Versuch sowie zusätzlich ein Vorspann mit den notwendigen Erläuterungen der Versuchsbedingungen.

Außerdem werden vor, während und nach dem Versuch je nach Bedarf Farbfotografien gemacht.

5. Versuchsdurchführung

5.1 Versuchsvorbereitung

Zur Gewährleistung einer lückenlosen Durchführung aller notwendigen Vorbereitungsarbeiten wurde die Vorgehensweise wie folgt systematisiert:

- 5.1.1 Bei Bedarf Tiegelfutter ausbessern und trocknen
- 5.1.2 Auslaufdüse einsetzen und ausrichten
- 5.1.3 Bereitstellung der Druckluftflasche
- 5.1.4 Erprobung der Pneumatik
- 5.1.5 Montage der Versuchsplatte unter Verwendung von keramischen Unterlegscheiben zur Verbesserung der Wärmeisolierung
- 5.1.6 Anschluß der TE's, nicht benötigte Ausgleichsleitungen mit Stecker kurzschließen
- 5.1.7 Schmelzdraht für die Gießstrahldetektion montieren
- 5.1.8 Gießstrahl-Pyrometer 1 und 2 auf die mit der Ausflußdüse kaoxidale Lotschnur, 230 mm unter U. K. Ausflußdüse ausrichten
- 5.1.9 Tiegelheizung erproben
- 5.1.10 Plattenheizung erproben
- 5.1.11 Alle fünf Schreiber kontrollieren: Papier, Schreibstifte, Vorschübe

12-Punktdrucker Nr. 1: Vorschub: 2 cm/h	Tiegelheizung mit Thermoelementen, Meßstellen H1 - H9
--	---

12-Punktdrucker Nr. 2: Vorschub: 2 cm/h	Temperaturüberwachung mit Thermoelementen im THERMIT-Pulver, Meßstellen T1 und T2
--	---

4-Linienschreiber Nr. 3: Vorschub: 20 cm/h	Temperaturüberwachung der Plattenvorheizung, Meßstellen NA-T1, NA-T4, NC-T11, NC-T14
---	--

- 5.1.26 Videoanlage aufbauen, Anschluß an Starterkasten
- 5.1.27 Videovorspann anfertigen
- 5.1.28 Einteilung des Versuchspersonals: 5 Mann
 - 5.1.28.1 Eine Person für PC, Vorschubumstellung am Platten-TE-Schreiber Nr. 3 und Startmarkierung
 - 5.1.28.2 Eine Person für Vorschubumstellung am Gießstrahlpyrometer-Schreiber 1 und 2 sowie Startmarkierung und Pneumatiksteuerung
 - 5.1.28.3 Eine Person für Countdown
 - 5.1.28.4 Eine Person für Videobedienung, Starttaste und Stopuhr
 - 5.1.28.5 Eine Person für Fotoaufnahmen und Hallengebläse
- 5.1.29 Zünder montieren
- 5.1.30 Pyrometer-Signalkabel anschließen, Graufilter aufstecken
- 5.1.31 Zünder am Trafo elektr. anklemmen
- 5.1.32 Ca. 3 - 4 Stunden vor Versuchsstart Plattenheizung einschalten und jeweiligen Sollwert ansteuern.

5.2 Operationen bei der Versuchsdurchführung

Die schematische Darstellung des Versuchsaufbaues, der Steuerung sowie der Meßwert- und Bildaufzeichnung ist aus Abb. ersichtlich.

Die Steuerung der Antriebe für den Ofen zur Vorheizung der Platten, für die Abstichrinne und der Abstich selbst erfolgt elektropneumatisch von einer Zentraleinheit aus. Die Vorgänge werden von Hand ausgelöst.

Ebenfalls von Hand ausgelöst wird die elektr. Zündung der THERMIT-Reaktion. Mit diesem Signal wird automatisch und zeitgleich auch die Meßwerterfassung mit dem PC und der Videotimer gestartet. Damit wird eine für die Versuchsauswertung ausreichend genaue Übereinstimmung der Computeruhr mit der Videouhr erreicht.

Die einzelnen Operationen zur Einleitung und Steuerung des jeweiligen Versuchs wurden nach folgendem telegrammstilmäßigen Ablaufschema durchgeführt:

- 5.2.1 Sprechanlage prüfen (4 Garnituren)
- 5.2.2 EDV < Warten auf Zündung > steht an
- 5.2.3 Plattenschreiber läuft mit 20 cm/h, $T \approx 900\text{ °C}$ (bzw. 1200 °C)
- 5.2.4 0 °C -Vergleichsstelle ein und auf Sollwert
- 5.2.5 Pneumatikkasten eingeschaltet
- 5.2.6 Preßluftflasche auf $> 30\text{ bar}$
- 5.2.7 Stopuhr eingeschaltet, steht auf 0 vorwärts
- 5.2.8 GW an Stopuhr 40" eingestellt
- 5.2.9 Zündtrafo Netz Ein
- 5.2.10 Schreiber für Pyrometer 1 läuft mit 20 cm/h
- 5.2.11 Schreiber für Pyrometer 2 läuft mit 30 cm/h
- 5.2.12 Pyrometer-Netzkasten ein, 0-Pkt. und Eichp. geprüft, Optik-Abdeckung weg
- 5.2.13 Fotoapparat bereit
- 5.2.14 Hallentüren nach 3 Seiten offen
- 5.2.15 Videobänder eingelegt, "Rec Play", Micro. Ein
- 5.2.16 Hauptschalter ein, Hallengebläse ein
- 5.2.17 Plattenschreiber Nr. 3 auf 20 cm/min (Markierung !)
- 5.2.18 Schreiber für Pyrometer 1 auf 20 cm/min (Markierung !)
- 5.2.19 Schreiber für Pyrometer 2 auf 30 cm/min (Markierung !)
- 5.2.20 Countdown 5 bis 0 Achtung !

- X** Countdown = 0, dann folgende Punkte gleichzeitig:
- **Starttaste 5" halten** und Stopuhr Ein
 - Schreiber Nr. 3 Markierung
 - Schreiber Nr. 4 und 5 Markierung
 - Beobachtung Schreiber Nr. 4 und 5
- 5.2.21 bei 25" Videofilter Nr. 5 (Fahrdauer des Filterrevolvers 3,5")
- 5.2.22 bei 40" **Abstich** und Handstopuhr ein
- 5.2.23 bei 45" **Platten-Ofen weg**
- 5.2.24 Fotoaufnahmen
- 5.2.25 auf Anweisung, jedoch spätestens nach 1'3" (23 sec. nach Abstich, auch bei Selbstabstich) **Rinne weg**
- 5.2.26 bei 2' Schreiber Nr. 4, 5 und Pyrometer aus, Videofilter Nr. 2
- 5.2.27 bei 10' Rechner und Schreiber Nr. 1, 2, und 3 aus
- 5.2.28 Hallengebläse aus
- 5.2.29 Fotoaufnahmen Platte und Umgebung
- 5.2.30 Start-, Pneumatik- und Trafoschaltkasten aus
- 5.2.31 Video-Anlage aus
- 5.2.32 Preßluft zu
- 5.2.33 Ofenheizung aus
- 5.2.34 Tiegelheizung aus

6. Auswertung und Dokumentation

Mit Hilfe eines Prüfprogrammes erfolgt vor jedem Versuch eine Überprüfung der einzelnen Meßstellen im gesamten Meßbereich mit Ausgabe von Meßstellenbezeichnung, Meßwert und Dimension per Bildschirm und Drucker. Dabei werden die echten, bzw. durch Einspeisung simulierten Meßwerte mit den Eich Tabellen verglichen und zugleich die gesamten Meßketten kontrolliert.

Die während des Versuchs mittels des PC aufgenommenen Rohdaten in Form von Spannungssignalen im Bereich 0 - 10 V für die einzelnen Meßstellen und den zugehörigen Erkennungsdaten zum jeweiligen Versuch werden nach dem Versuch auf Diskette überspielt.

In allen zu erstellenden Tabellen und Plots werden zur Kennzeichnung der Versuchsphasen die vorgesehenen Zeitmarken gesetzt (in Plots als senkrechte Linien mit Kurzbezeichnung). Die Marken für die Signalstellen X-Z1 und X-Z2 werden automatisch gesetzt, die übrigen, sowie alternativ für X-Z2, werden anhand der Auswertung der Videoaufzeichnung manuell wie folgt eingegeben:

THERMIT-Zündung = <u>A</u> nfangsphase (X-Z1)	AP
<u>G</u> ießstrahl <u>b</u> eaufschlagung der Platte = Hauptphase (X-Z2)	GB
<u>G</u> ießstrahl <u>d</u> urchbruch durch die Edelstahlplatte (nur im Ereignisfall)	GD
Ende des Gießstrahls = <u>E</u> ndphase	EP

Die Meßwerte werden als mehrspaltige Listen mit Kopfbeschriftung und zugeordneten Abfragezeiten, Versuchsphasenmarken und der jeweiligen Maßeinheit ausgedruckt.

Der Ausdruck ist sowohl in frei wählbarer, reduzierter Form (z.B. jeder hundertste Wert), als auch als Ausschnitt aus der gesamten Versuchsdauer nach Eingabe des gewünschten Zeitabschnitts (markanter Versuchsablauf z.B. 80 - 108 s) als Fensterdarstellung möglich.

Die Darstellung aller Größen erfolgt auf dem Bildschirm und als Plots, als Funktion der Versuchszeit mit Ordinaten- und Abszissenbeschriftung einschl. Maßeinheiten sowie Schriftfeld und Legende unterhalb des Diagrammes auf DIN A4-Querformat.

Alle Plots können in Fensterdarstellung -bei beliebiger Variation der Amplitude für die Abszisse und die Ordinate- ausgegeben werden. Die Kurvendarstellung

für die TE-Meßstellen wird nach Erreichen von 1400 °C (obere Meßbereichsgrenze nach Zerstörung des Thermoelements) abgebrochen.

Im Dokumentationsbestandteil werden zu jedem Versuch folgende Plotdarstellungen wiedergegeben:

- Übersichtsplot für jeweils in einer Tiefe gelegene 4 Thermoelemente und ein Spektralpyrometerausgang
- Übersichtsplot für Spektralpyrometer- und Verhältnispyrometerausgang sowie die WRe-Thermoelementtauchsonde in der Gießstrahlrinne
- Übersichtsplot mit der Temperaturverteilung in je einer Plattentiefe zu fünf ausgewählten Zeitpunkten nach Beginn der Gießstrahlbeaufschlagung
- Übersichtsplot mit Temperaturverteilung in drei Plattentiefen zu einem ausgewählten Zeitpunkt nach Beginn der Gießstrahlbeaufschlagung

7. Bewertung und Diskussion der Ergebnisse

Gestützt auf das gewonnene Datenmaterial, die direkte visuelle Beobachtung sowie die Auswertung der Videoaufzeichnungen werden im Folgenden die physikalischen Einflußgrößen bezügl. ihrer Relevanz auf die charakteristische Gestalt der ausgeplotteten Kurvenzüge zum jeweiligen Versuchsverlauf diskutiert.

Die Temperatur des oxidischen Gießstrahls wurde gleichzeitig, berührungslos mit zwei Pyrometern gemessen (s. 4.). Dabei zeigte es sich, daß das Spektralpyrometer, das als Strahlungsempfänger einen Photomultiplier benutzt, unsystematisch verzögerte, mit hoher Frequenz schwankende Meßsignale liefert. Als Ursache dafür wird die systembedingt trägere Abgleichcharakteristik des Photomultipliers bei schwankender Strahlungsleistung pro Fläche (Strahldichte), wie es bei einem Gießstrahl der Fall ist, angesehen. Gerätebedingt vermag das Pyrometersignal einerseits nicht den echten Strahldichteschwankungen exakt zu folgen und neigt andererseits zum Überschwingen in beide Richtungen.

Demgegenüber zeigt das Kombinationspyrometer, welches mit Photodioden als Strahlungsempfänger ausgestattet ist, sowohl für die Spektrale Strahlungstemperatur T_s (Meßstellenkurzbezeichnung P-T27) als auch für die Verhältnistemperatur T_v (Meßstellenkurzbezeichnung P-T28) ein günstigeres Zeitverhalten hinsichtlich des Meßsignalabgleiches. Daher werden als Basis der pyrometrischen Messungen nur die Meßsignale des Kombinationspyrometers benutzt.

Für einen nicht-schwarz-strahlenden Körper (hier Gießstrahl) ergibt sich bei der jeweiligen Meßwellenlänge eine niedrigere Spektrale Strahlungstemperatur (Schwarze Temperatur) T_s , bei der ein Schwarzer Strahler die gleiche Spektrale Strahldichte L_λ wie der betrachtete Körper bei Wahrer Temperatur T hat [4].

Bei Verwendung des Wienschen Strahlungsgesetzes ergibt sich folgender Zusammenhang zwischen der gemessenen Spektralen Strahlungstemperatur T_s und der Wahren Temperatur T :

$$T = \frac{1}{\frac{1}{T_s} + \frac{\lambda}{c_2} \ln \varepsilon(\lambda, T) \cdot \tau(\lambda, T)}$$

Obige Gleichung enthält außer dem wellenlängen- und temperaturabhängigen Spektralen Emissionsgrad ε den Transmissionsgrad τ , der den Gießstrahl

umgebenden Rauchwolke. Darin ist $C_2 = 1,43879 \cdot 10^{-2}$ mK die zweite Strahlungskonstante.

Hingegen ist die Verhältnistemperatur T_v eines Körpers (hier: Gießstrahl) die Temperatur eines Schwarzen Strahlers, bei der das Verhältnis der Spektralen Strahldichten für zwei Wellenlängen (hier: $\lambda_1/\lambda_2 = 920/1040\text{nm}$) ebenso groß ist wie bei dem betrachteten Strahler.

Auch hierfür ergibt sich unter Verwendung des Wienschen Strahlungsgesetzes der Zusammenhang zwischen der Wahren Temperatur T und der Verhältnistemperatur T_v wie folgt:

$$T = \frac{1}{\frac{1}{T_v} + \ln \frac{\varepsilon_1(\lambda_1, T) \cdot \tau_1(\lambda_1, T)}{\varepsilon_2(\lambda_2, T) \cdot \tau_2(\lambda_2, T)} \cdot \frac{1}{c_2} \cdot \frac{1}{\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2}}}$$

Hierin bedeuten $\tau_1(\lambda_1, T)$ und $\tau_2(\lambda_2, T)$ die wellenlängen- und temperaturabhängigen Transmissionsgrade der den Gießstrahl umgebenden Rauchwolke.

Nur bei hinreichend verlässlicher Kenntnis des stoffabhängigen Quotienten

$$q = \frac{\varepsilon_1 \cdot \tau_1}{\varepsilon_2 \cdot \tau_2}$$

ließe sich die Wahre Temperatur T aus der gemessenen Verhältnistemperatur bestimmen. T_v kann somit Werte annehmen die größer, kleiner oder gleich der Wahren Temperatur sein können. In Ermangelung der in q enthaltenen Stoffwertgrößen läßt sich die Wahre Temperatur selbst der Tendenz nach nicht angeben.

Im Gegensatz dazu ist die Spektrale Strahlungstemperatur T_s der Tendenz nach immer kleiner als die Wahre Temperatur T . Da für flüssige Oxide in der Literatur keine Spektralen Emissionsgrade zu finden sind, wurde versucht, die fehlenden Daten durch Extrapolation aus dem Kurvenverlauf für festes Al_2O_3 zu gewinnen [5]. Wie es sich jedoch herausstellte, ist durch eine rein formale Iterationsrechnung die Wahre Temperatur nicht ermittelbar, da das Rechenverfahren nicht

konvergiert. Eine Extrapolation der ε -Werte vom festen auf flüssigen Aggregatzustand ist somit weder rein formal noch physikalisch sinnvoll.

Einen weiteren Anhaltspunkt für die erreichte Gießstrahltemperatur bietet die in der Rinne zur Ableitung der Metallphase positionierte Tauchsonde (Abb. 6). Hierbei handelt es sich um eine Kurzzeitmessung, da das WRe-Thermoelement bei Kontakt mit dem Eisengießstrahl bereits nach ca. 2 s versagt und darüber hinaus keine verwertbaren Meßwerte mehr liefert. Das instationäre Meßsignal zeichnet sich durch einen extrem steilen Anstieg aus, ohne erkennbares Halteplateau nach Erreichen des höchsten Anzeigeniveaus. Dies wird darauf zurückgeführt, daß das Thermoelement nach Kontakt mit dem Eisenstrahl aufgrund seiner geringen Masse sofort aufschmilzt und die Thermospannung zusammenbricht. Andererseits kann aus demselben Grund eine geringere Trägheit bezüglich seines Zeitverhaltens angenommen werden. Es besteht dennoch eine gewisse Unsicherheit darüber, ob die höchste angezeigte Temperatur T_{th} die Temperatur der Eisenschmelze darstellt, oder ob diese Anzeige lediglich der Versagenstemperatur des Thermoelementes entspricht. Aufgrund dieser Überlegung wird angenommen, daß die Wahre Temperatur der Eisenschmelze nicht unter der Versagenstemperatur des Thermoelementes T_{th} liegen dürfte.

Unter der Annahme, daß der nach der Eisenschmelze ausfließende oxidische Anteil der Schmelze sich hinsichtlich seiner Temperatur in erster Näherung nicht nennenswert von der Eisenschmelze unterscheidet, werden im folgenden die maximale Thermoelementanzeige T_{th} , die maximale Spektrale Strahlungstemperatur T_s und die maximale Verhältnistemperatur T_v des Gießstrahls aus dem jeweiligen Versuch gegenübergestellt.

	max. Thermo- elementanzeige T_{th} °C	max. Spektr. Strahlungstemp. T_s °C	max. Verhältnis- temperatur T_v °C
Versuch Nr. E018	2266	2185	2129
Versuch Nr. E019	2162	2138	2072

Die Gegenüberstellung der gemessenen Strahlungstemperatur T_s und der Verhältnistemperatur T_v als Funktion der Ausflußzeit ist in Abb. 12 und 20 dargestellt.

Da gemäß obiger Ausführungen die Wahre Temperatur T eines Gießstrahls prinzipiell größer als die gemessene max. Spektrale Strahlungstemperatur T_s ist und außerdem der Maximalwert von T_{th} systematisch über dem Maximalwert von T_s liegt, dürfte der Vertrauensbereich für die Wahre Temperatur T des Gießstrahls nicht unter der maximalen Thermoelementanzeige T_{th} angesiedelt sein.

Auffällig ist, daß trotz weitgehend gleicher Versuchsdurchführung das gemessene Temperaturniveau des Gießstrahls bei Versuch E018 geringfügig höher liegt als bei Versuch E019. Da die Spektrale Strahlungstemperatur T_s als Maß für das jeweils erreichte Temperaturniveau herangezogen werden kann, zeigt allein schon die Differenz der Maximalwerte aus E018 und E019, daß die maximale Gießstrahltemperatur in Versuch E018 etwa 47K höher lag als in Versuch E019. Diese quantitative Aussage wird durch folgende weitere Feststellungen qualitativ bestätigt:

- In der Videoaufzeichnung erscheint der Gießstrahl in E018 deutlich heller als in E019
- Die Auslaufdauer in E018 beträgt 24s gegenüber 26s in E019. Die längere Auslaufdauer wird der etwas höheren Zähigkeit bei entsprechend niedrigerer Temperatur zugeschrieben
- Am Ende der Auslaufzeit war bei E019 im Unterschied zu E018 eine ausgeprägte Auftürmung der Kruste auf der Edelstahlplatte festzustellen (Abb. 8 und Abb. 9)

Die NiCr/Ni-Mantelthermoelemente in der gießstrahlbeaufschlagten Edelstahlplatte zeigten ein weitgehend reproduzierbares Niveau der Versagenstemperatur von ca. 1380 °C. Diese Temperatur entspricht in etwa auch dem Solidus des Plattenmaterials, ab dem ein erosiver Angriff der Plattenoberfläche durch den Gießstrahl angenommen wird.

Unmittelbar vor der jeweiligen Gießstrahlbeaufschlagung der Platte betrug die Temperaturdifferenz zwischen dem Solidus und der Temperatur der Platte an der Auftreffstelle rd. 480 K bei Versuch E018 und 180 K bei Versuch E019. Dem entsprechend versagte jeweils folgerichtig das 4 mm tief, nahe des Auftreffpunktes positionierte Thermoelement, in Versuch E018 16s und in Versuch E019 10s nach Beginn der Gießstrahlbeaufschlagung. Es zeigt sich jedoch, daß der Verringerung der Differenz der Plattenanfangstemperatur zum Solidus um den Faktor 2,7 nur eine Verkürzung der Zeitdauer bis zum Versagen des jeweiligen ersten

Thermoelements um den Faktor 1,6 entspricht. Dieser Sachverhalt ist ein erster grober Hinweis darauf, daß für die erosive Wirksamkeit weniger die Höhe der Anfangstemperatur der Platte, als viel mehr die ebenfalls den Wärmeübergang beeinflussende, schlechte Wärmeleitfähigkeit des oxidischen Gießstrahls bestimmend sein dürfte.

Der Temperaturverlauf von jeder Thermoelementposition in der Versuchsplatte, als Funktion der Versuchszeit, ist in den Abb. 13 bis 15 für Versuch E018 und in der Abb. 21 bis 23 für Versuch E019 ersichtlich. Jede dieser Abbildungen enthält einen Übersichtplot, bestehend aus jeweils den in einer Tiefe, entlang der Halbdiaagonalen angeordneten Thermoelementen, den Gießstrahlpyrometerausgang T_s und den eingetragenen Marken für Beginn (GB) und Ende (EP) der Gießstrahlbeaufschlagung. Auffällig ist, daß die in der Nähe der Gießstrahlachse (15 u. 30 mm) angeordneten Thermoelemente bis 8 mm Tiefe noch innerhalb der Beaufschlagungsdauer in beiden Versuchen aufgeschmolzen wurden. Dieses schnelle Versagen der Thermoelemente wird hauptsächlich auf die Plattenerosion im oberflächennahen Einwirkungsbereich des Gießstrahls zurückgeführt.

Im Gegensatz dazu erreichen die radial 60 mm entfernten Thermoelemente in 4 mm Tiefe das relative Maximum erst nach Ende der Gießstrahlbeaufschlagung, wobei der Versagenspunkt von 1380 °C nur in der höher vorgeheizten Platte in Versuch E019 erreicht wird.

Entsprechend wird in der 20 mm tief gelegenen Schicht bei den Versuchen das relative Maximum der Thermoelementanzeigen erst nach einem Vielfachen der Gießstrahlbeaufschlagungsdauer erreicht. Dabei wird in dieser Tiefe, selbst nahe der Gießstrahlachse, die Versagenstemperatur (Solidus) nicht mehr erreicht. Die Ursache dafür dürfte hauptsächlich in der schlechten Wärmeleitfähigkeit von Edelstahl begründet sein (z.B. $\lambda_{\text{Edelstahl}} \approx 1/5 \lambda_{\text{Eisen}}$).

In Versuch E019 wurden die 3 radial entferntesten Thermoelemente, aufgrund geringfügiger Verformung der heißen Platte unter der Eigenlast, beim Wegfahren des Vorheizofens mechanisch beschädigt. Die Temperaturverteilung in der Platte läßt sich dennoch anhand der Anfangstemperatur mit guter Näherung rekonstruieren.

In den Abb. 16 für E018 und Abb. 24 für E019 ist jeweils die Temperaturverteilung in 4 mm Schichttiefe der Platte in Form von Kurvenscharen, mit der Zeit als Parameter aus den Meßwerten der Einzelmeßstellen gewonnen worden. Darin ist erwartungsgemäß in Versuch E019 die früher erreichte, erosionsbedingte Versa-

genstemperatur (Solidus) sowie eine stärkere Dichte der Kurvenzüge deutlich erkennbar. Eindeutige Ursache dafür ist die wesentlich höhere Starttemperatur (1200 °C). Ein der Tendenz nach ähnliches Verhalten in der 8 mm - Schichttiefe zeigt sich beim Vergleich der Kurvenscharen in Abb. 17 und Abb. 25.

In größerer Plattentiefe (hier 20 mm) haben die Temperaturverteilungskurven während der gesamten Gießstrahlbeaufschlagungsdauer, in beiden Versuchen eine wesentlich flachere Gestalt und erreichen in diesem Zeitintervall nicht das maximale Niveau. Das höchste Temperaturverteilungsniveau wird in dieser Schichttiefe erst durch allmählichen Temperatúrausgleich nach dem Mehrfachen der Gießstrahlbeaufschlagungsdauer erreicht, wobei die maximalen Temperaturwerte noch einen deutlichen Abstand zum Solidus behalten.

Die Temperaturverteilung in drei Schichttiefen (4, 8 und 20 mm) gleichzeitig, etwa am Ende der Gießstrahlbeaufschlagung (nach 25 s), in Gegenüberstellung beider Versuche, zeigen die Abb. 19 und 27. Es erweist sich, daß innerhalb dieser Zeitspanne in der 4 mm tiefen Schicht, nur im Versuch E019 (mit hoher Anfangstemperatur der Platte ≥ 1200 °C) sämtliche Thermolemente ihren Versagenspunkt von 1380 °C erreichen.

Eine Bestätigung für dieses, über die gesamte Fläche gleichförmige Eindringverhalten, liefert der visuelle, makroskopische Vergleich der Platten nach dem Versuch (Abb. 10 und 11).

In der Mitte der Platte aus Versuch E018 ist eine runde kraterähnliche Auswaschung mit einem Durchmesser von ca. 120 mm und einer max. Tiefe von ca. 14 mm entstanden. Am Boden des Kraters sind einzelne oxidische Einschlüsse bis zu 40mm Größe zu erkennen. Am Rande und in der Mitte des Kraters sind einige kleine punktuelle Auswaschungen mit scharfkantigen Rändern erkennbar. Bemerkenswert ist der über die Plattenfläche erhabene Kraterrand entlang des größten Teils seines Umfangs. Die größte Erhebung über der Plattenebene beträgt ca. 6 mm. Außerhalb des Kraters gibt es an den Rändern der Platte 5 kleinere Auswaschungen zwischen 5 und 15 mm breit und max. 3 mm tief. Auch diese Auswaschungen haben scharfe Kanten.

In der Platte aus Versuch E019 entstand im Aufprallbereich des Gießstrahls ein runder Krater mit abgerundetem Rand und Boden (Durchmesser ca. 50 mm, Tiefe ca. 11 mm).

Um den Aufprallpunkt wurde in einem radialen Abstand von 65 bis 135 mm die Platte lokal an verschiedenen Stellen ungleichförmig bis zu einer Tiefe von ca. 8mm ausgewaschen. Typisch für diese Auswaschungen sind scharfkantige Ränder oberhalb der verbliebenen Vertiefungen, die auf einen Schutz infolge ungleichförmiger, scharf begrenzter Krustenbildung hinweisen. Bemerkenswert ist, daß sich die tiefsten Auswaschungen an zwei Stellen in ca. 50 und ca. 120 mm von dem Aufprallpunkt des Gießstrahls befinden.

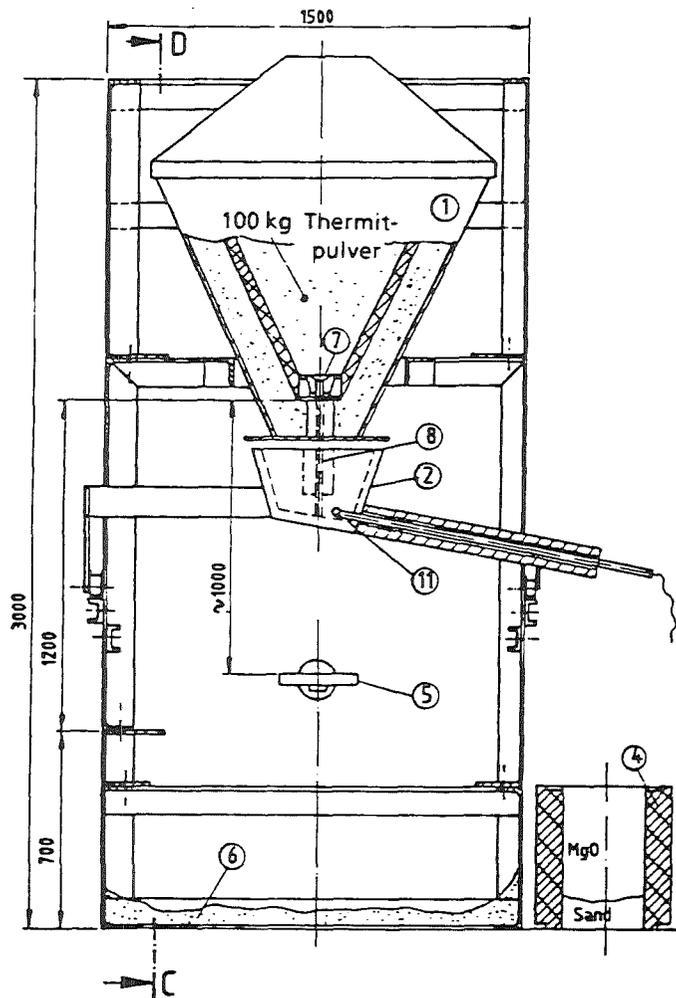
An dem der Platteneinspannung gegenüberliegenden Rand ist in der Platte, senkrecht zur Abfließrichtung der Schmelze eine längliche, scharfkantige Auswaschung von 200 mm Länge, max. 20 mm Breite und einer max. Tiefe von 7 mm entstanden, die auf ein Überlaufen der Schmelze aus der lokalen Aufschmelzung über die unbeschädigte Kante hindeutet. Nach dem Versuch zeigte die Platte in dieser Richtung eine geringfügige Neigung ($< 5^\circ$). Auch an dieser Stelle läßt die verbliebene, scharfe Überlaufkante am Rande der Platte auf eine lokal schützende Kruste schließen.

Der Kraterboden beider Versuche ist im Bereich des Gießstrahl -Auftreffpunktes mit einer fest anhaftenden, dünnen Oxidkruste bedeckt geblieben.

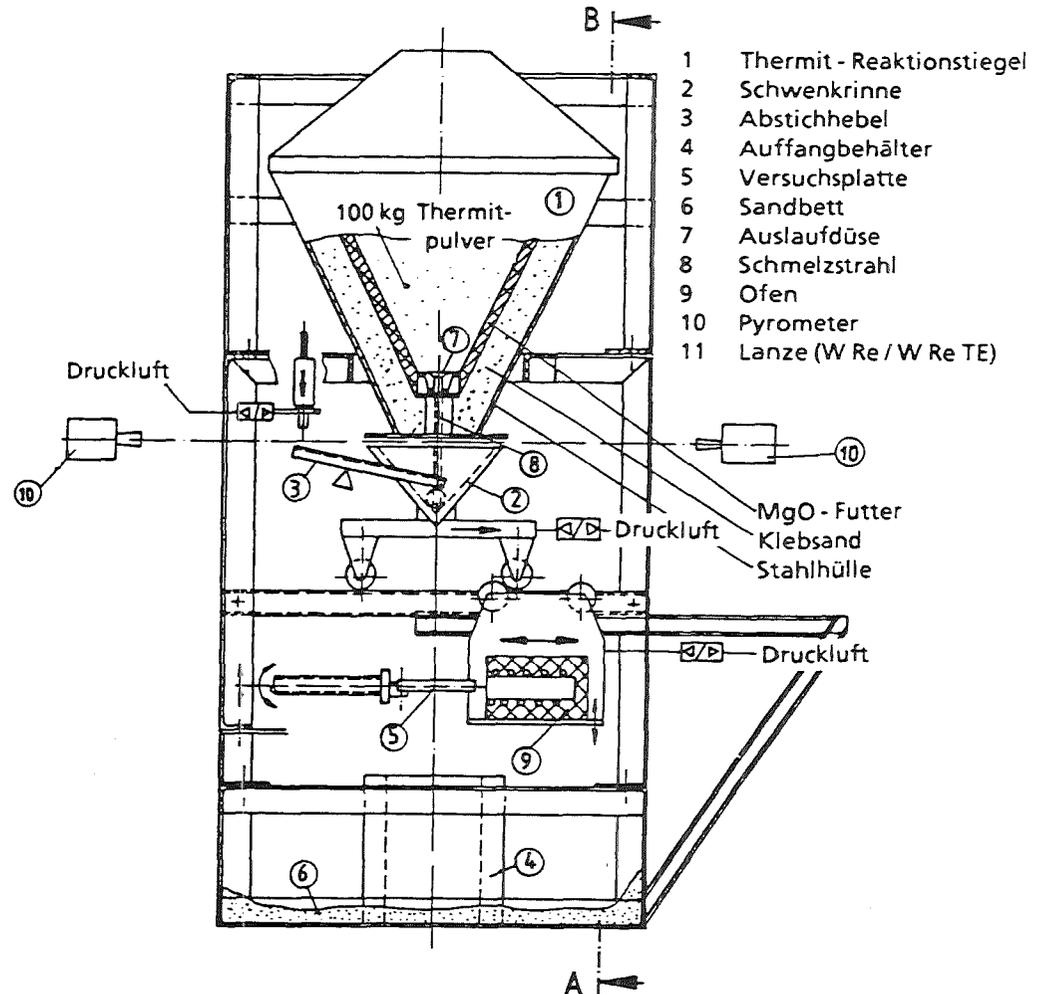
Zusammenfassend läßt sich anhand der Versuchsergebnisse feststellen, daß eine hohe Anfangstemperatur der Edelstahlplatte, bei Beaufschlagung mit oxidischem Gießstrahl (Al_2O_3), nur zu einer breitflächigeren, nicht jedoch zu einer tieferen Plattenerosion führt. Als Ursache dafür wird einerseits der schlechte Wärmeübergang auf der Seite des oxidischen Gießstrahls und andererseits die schützende, feste Pufferschicht in Form einer oxidischen Krustenbildung an der Kontaktfläche angesehen. Dabei wird der Vorgang dieser Krustenbildung durch die hohe Temperaturdifferenz zwischen dem Erstarrungspunkt des Oxids (ca. 2000°C) und der Kontakttemperatur (1380°C) sowie zusätzlich durch die latente Schmelzwärme des Plattenmaterials, als Wärmesenke für die Oxidschmelze, begünstigt.

Literatur

- [1] Jochim, H.; Kammerer, B.; Perinic, D.; Stuka, B.; Zimmerlin, D.:
unveröffentlichter Bericht, Kernforschungszentrum Karlsruhe, 1985
- [2] Knauß, H.; Kammerer, B.; Perinic, D.; Stuka, B.;
unveröffentlichter Bericht, Kernforschungszentrum Karlsruhe, 1986
- [3] Neuer, G.: unveröffentlichter Bericht,
Institut für Kerntechnik und Energiewandlung e.V., Stuttgart, 1990
- [4] Lieneweg, F.: Handbuch der technischen Temperaturmessung
Vieweg (1976)
- [5] Touloukian, Y.S.: Thermal Radiative Properties, Plenum (1972), Vol. 8



Teilschnitt A - B



Teilschnitt C - D

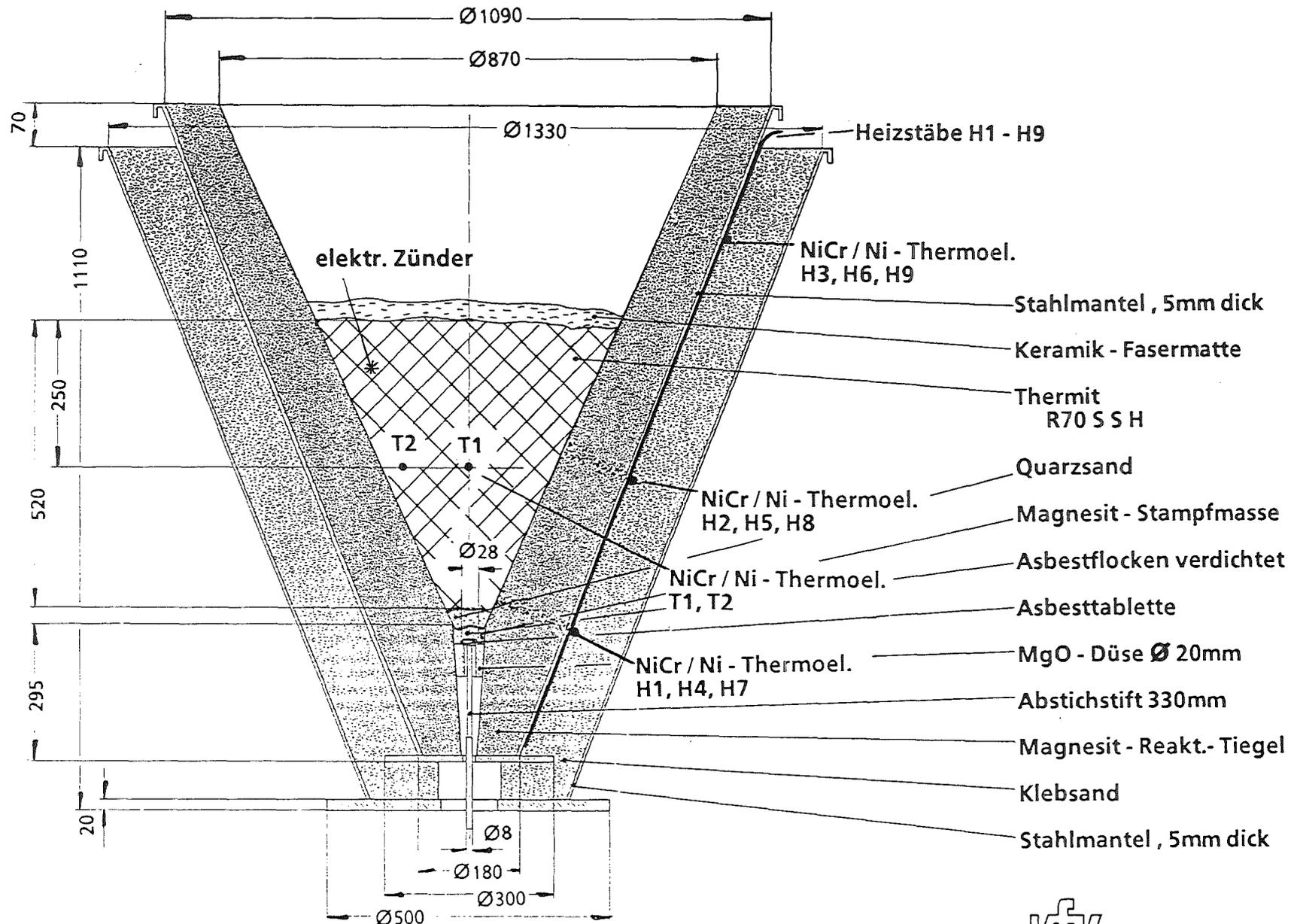
- 1 Thermit - Reaktionstiegel
- 2 Schwenkrinne
- 3 Abstichhebel
- 4 Auffangbehälter
- 5 Versuchsplatte
- 6 Sandbett
- 7 Auslaufdüse
- 8 Schmelzstrahl
- 9 Ofen
- 10 Pyrometer
- 11 Lanze (W Re / W Re TE)

MgO - Futter
Klebsand
Stahlhülle



HIT 1991
18.02.05
Abb.:1

EROS, Schema der Versuchsanlage

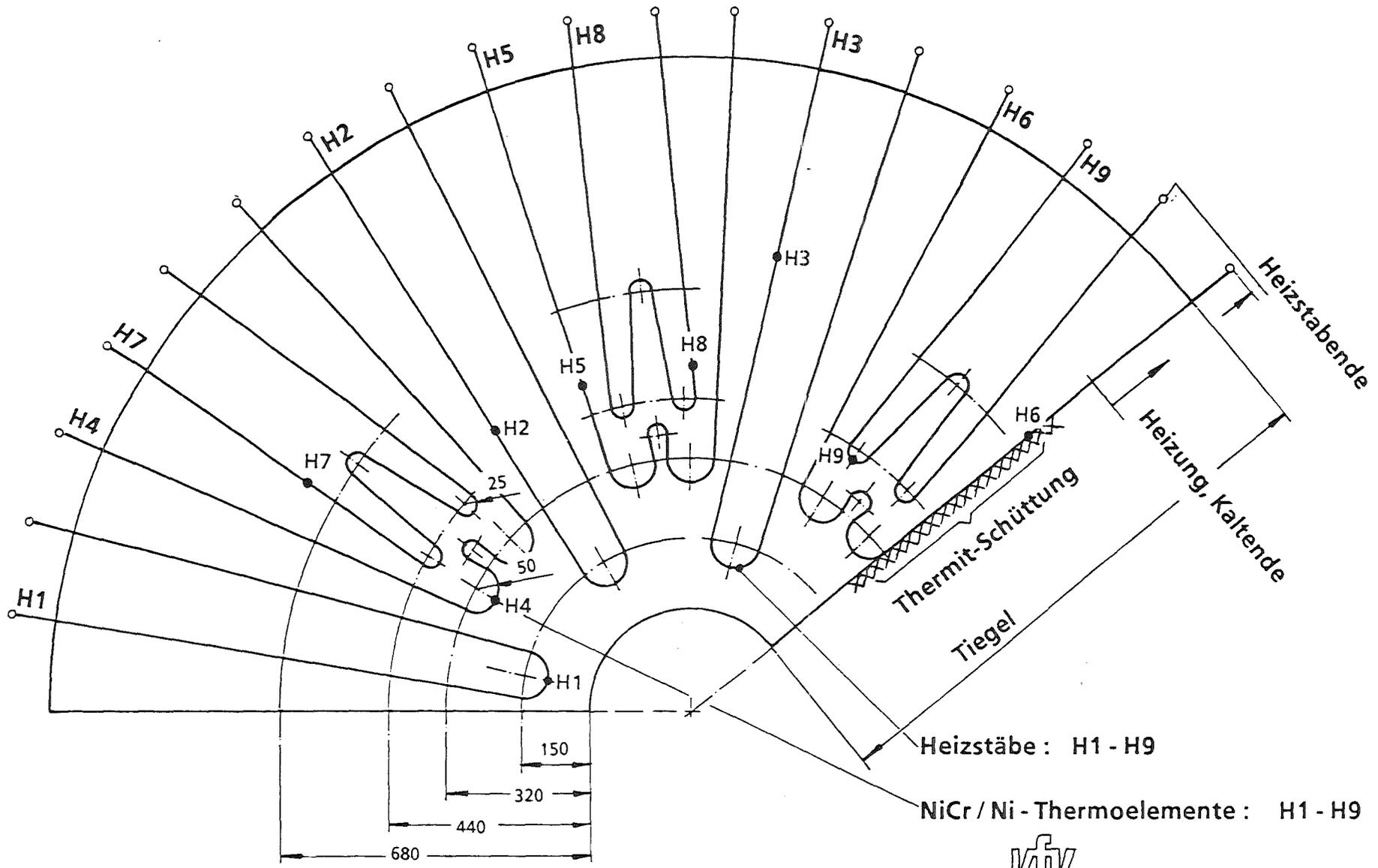


**EROS, Anordnung von Reaktionstiegel,
Düse und Abstichstift**

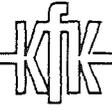


HIT 1991
18.02.05

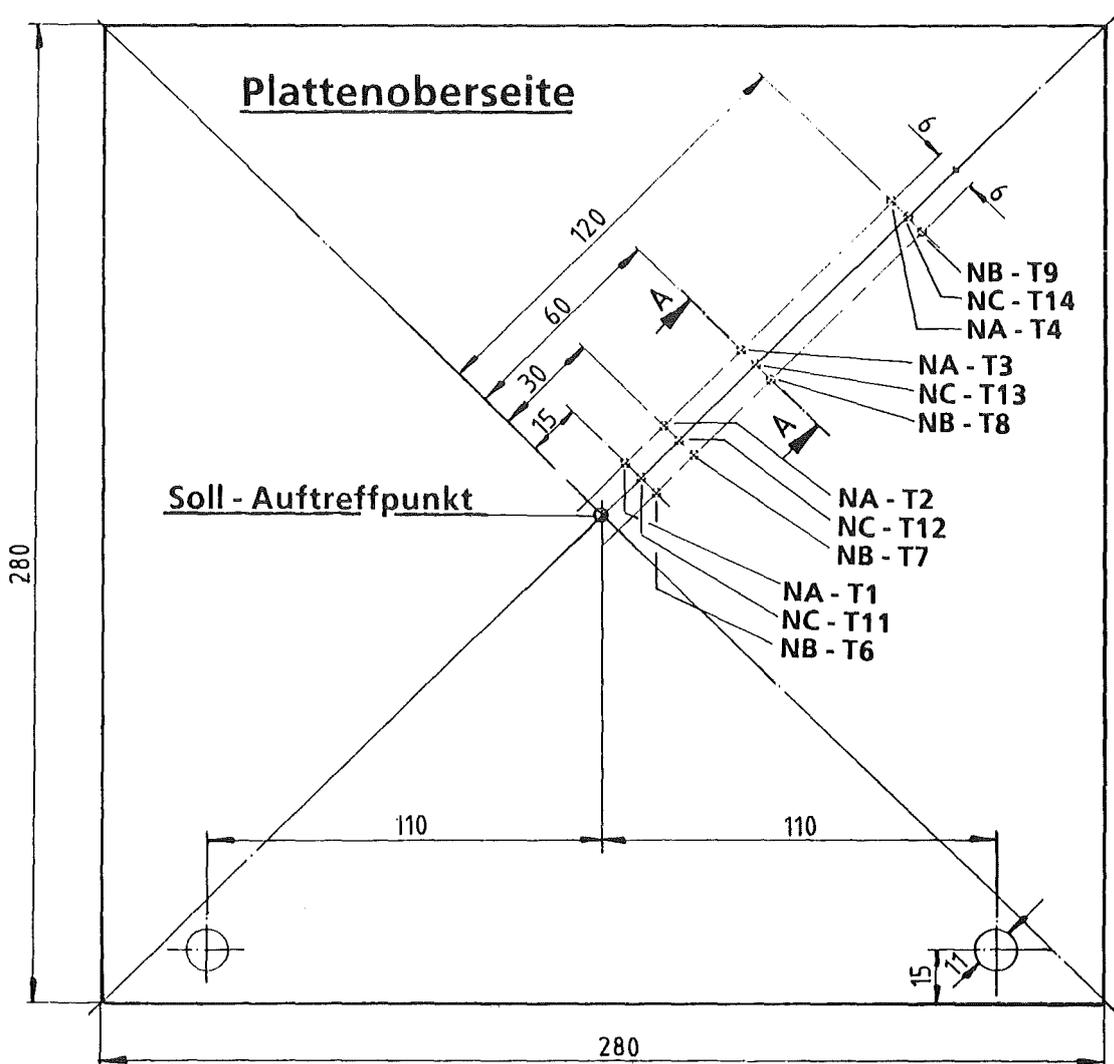
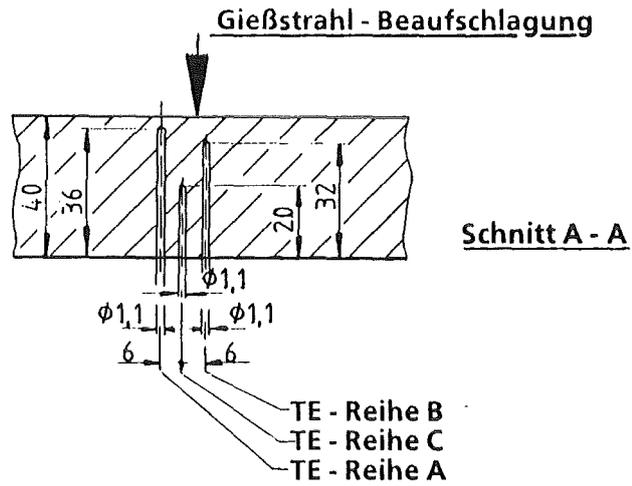
Abb.:2



Heizplanskizze der THERMIT - Tiegelheizung



HIT 1991
18.02.05
Abb.:3

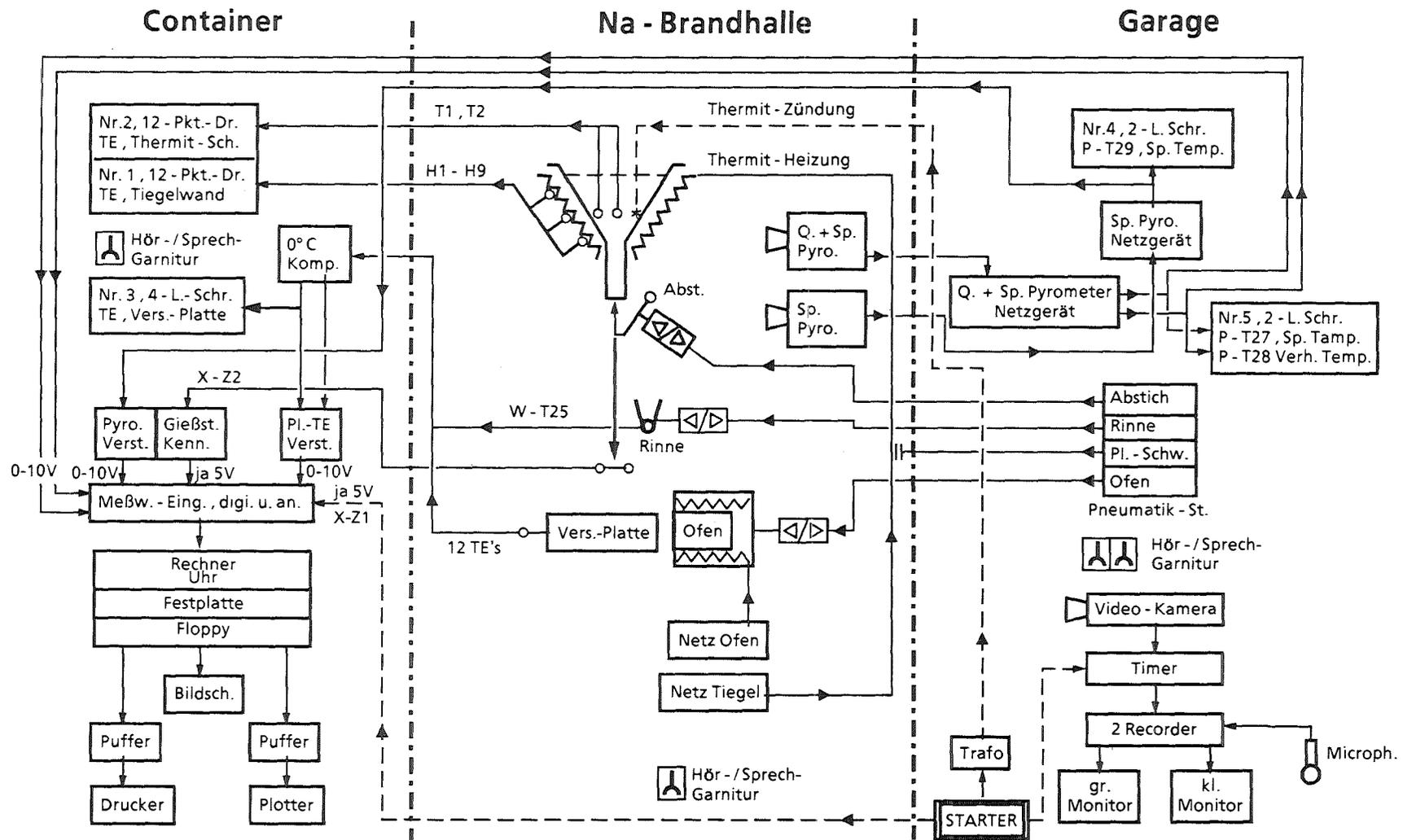


**Anordnung der Thermoelemente in der
Edelstahl-Versuchsplatte (1.4571)**



HIT 1991
18.02.05

Abb.:4

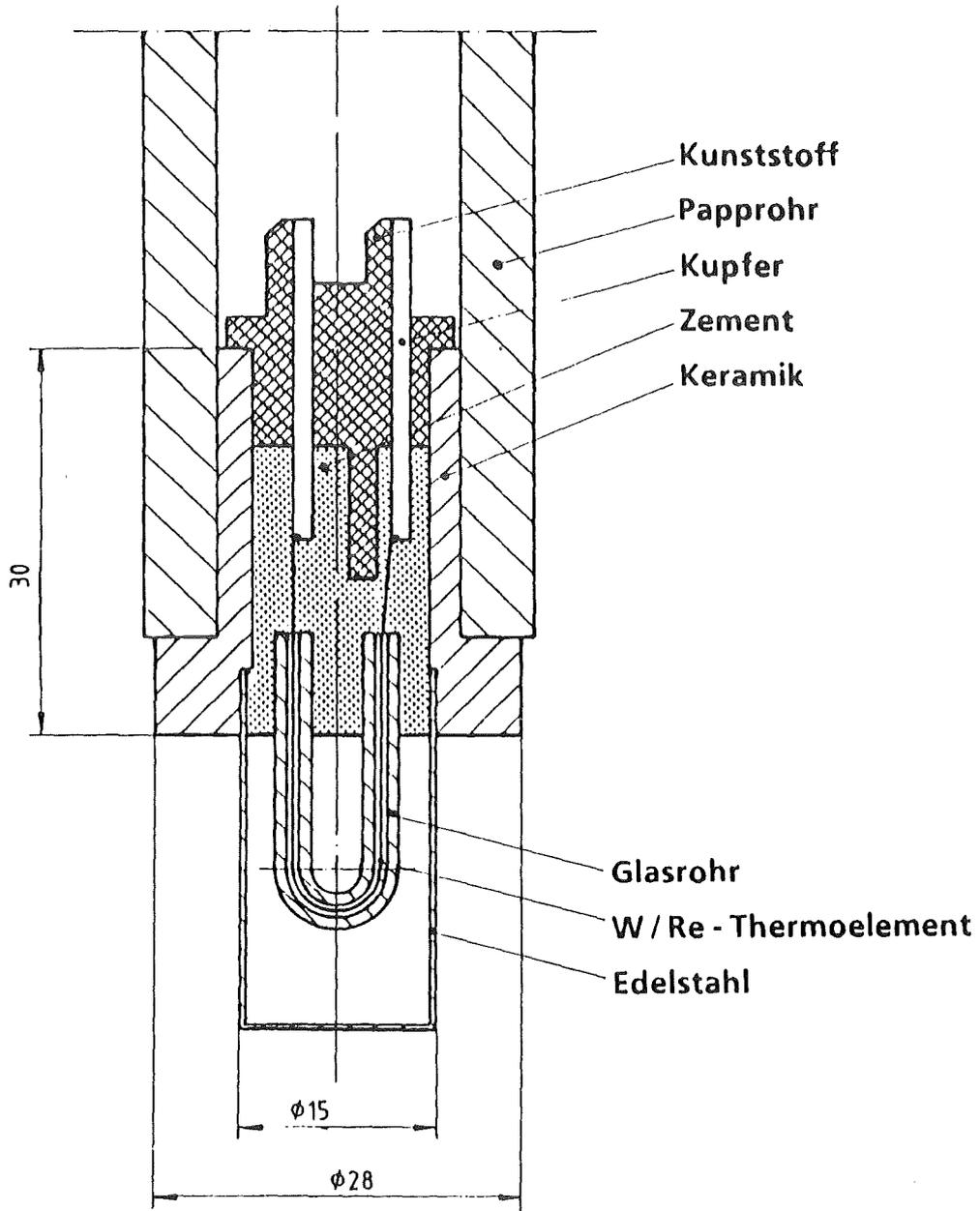


1
32
1

EROS - Versuchsanlage , Blockschema



HIT 1991
18.02.05
Abb.:5

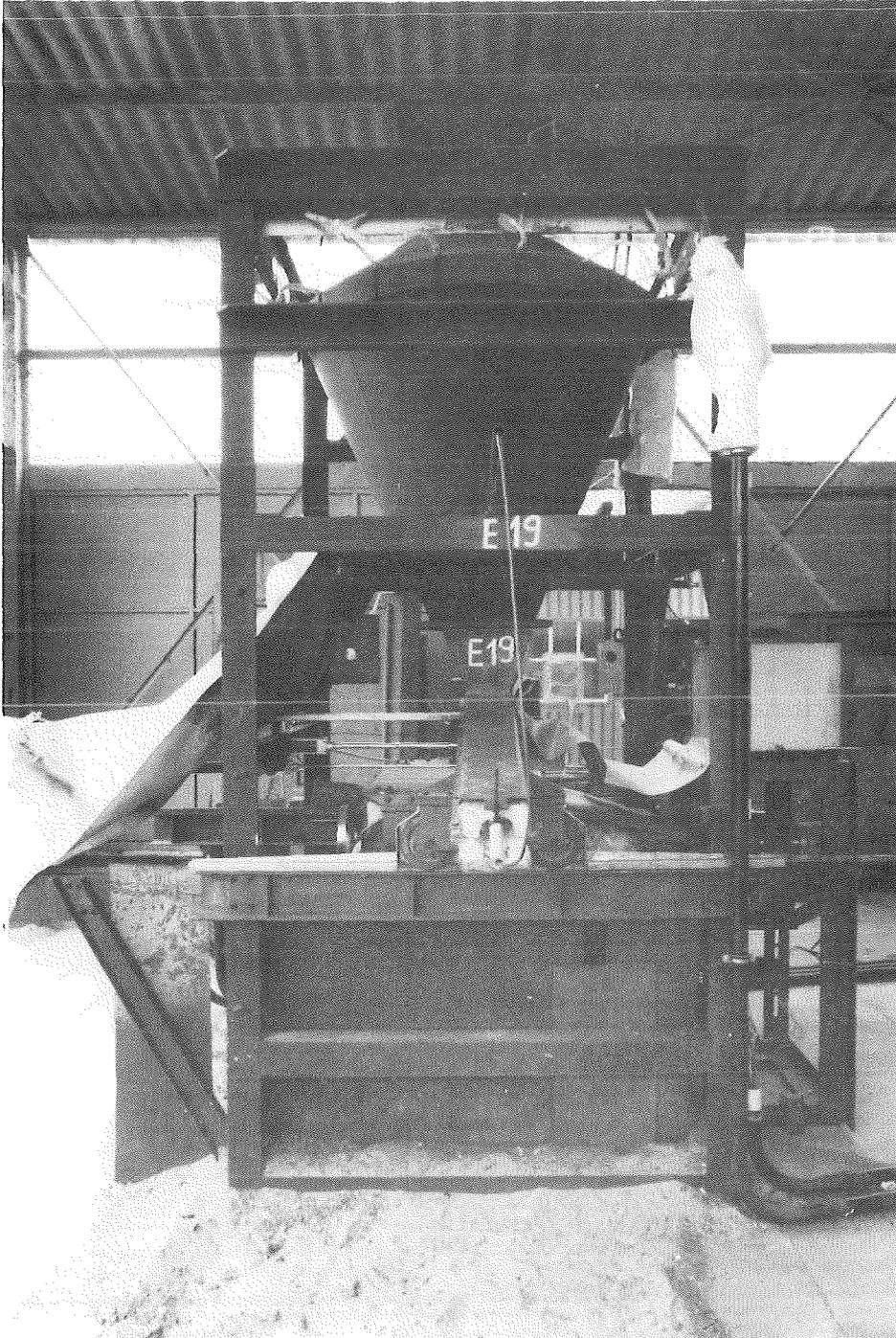


Meßkopf der
W / Re - Thermoelementtauchsonde



HIT 1991
18.02.05

Abb.:6



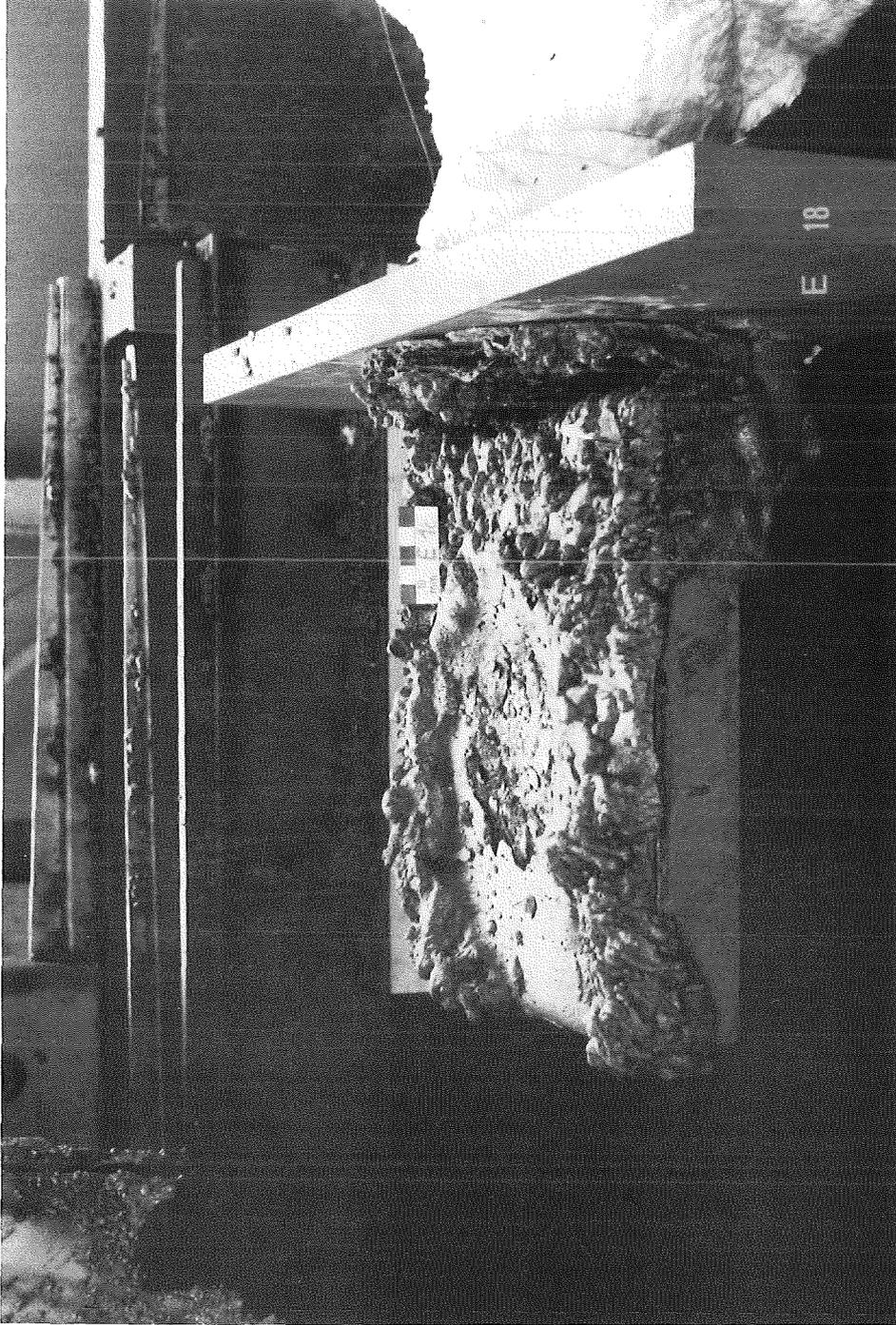
Neg.: Nr. 181/0



HIT 1991
18.02.05

Gesamtansicht der Versuchsanlage EROS

Abb.:7



Neg.: Nr. 181 / 29



HIT 1991
18.02.05

Abb.: 8

Versuch E018 Edelstahlplatte nach dem Versuch, mit Kruste



Neg.: Nr. 182 / 29

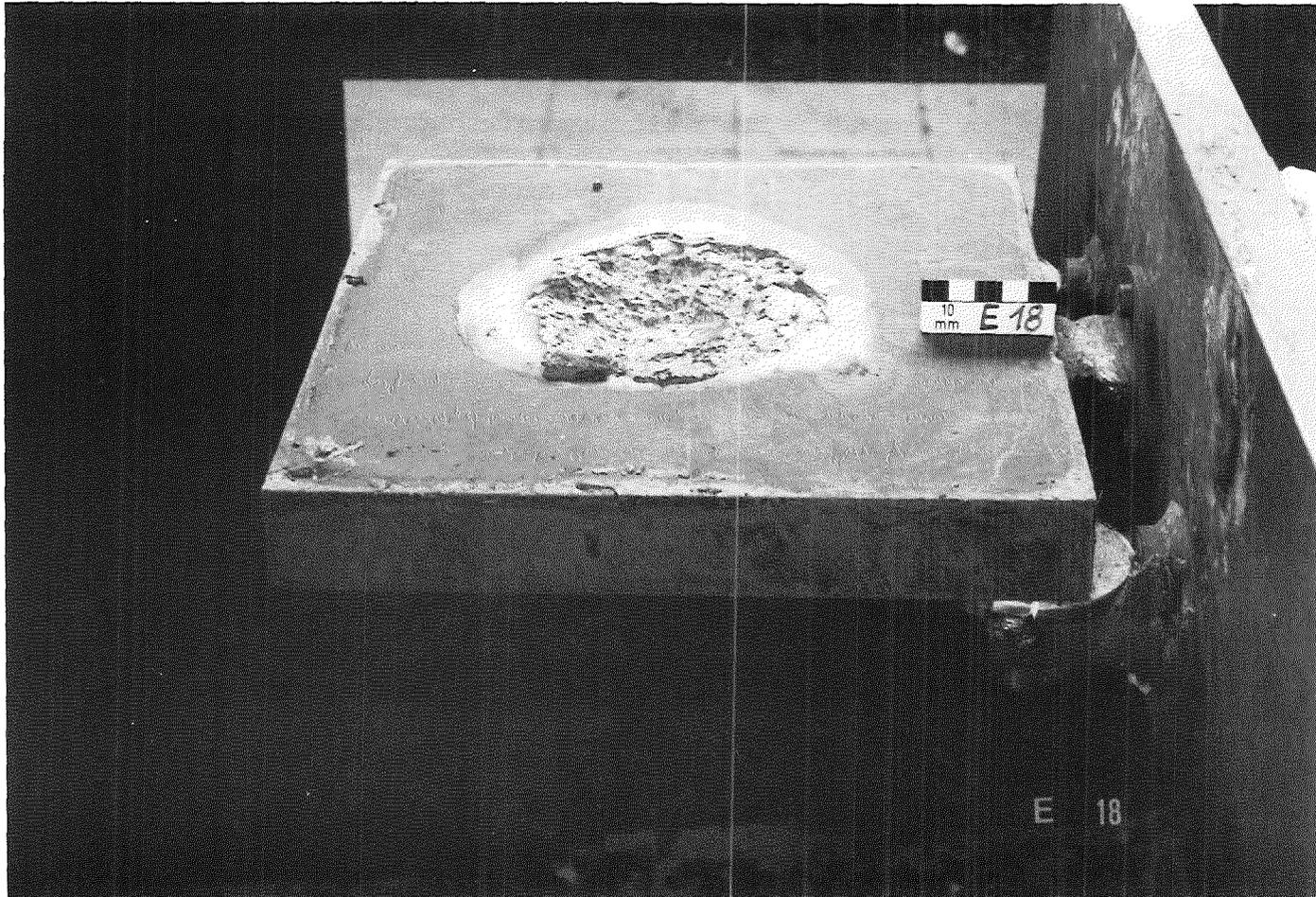
Versuch E019

Edelstahlplatte nach dem Versuch, mit Kruste

kfk

HIT 1991
18.02.05

Abb.:9



Neg.: Nr. 181 / 30

- 37 -

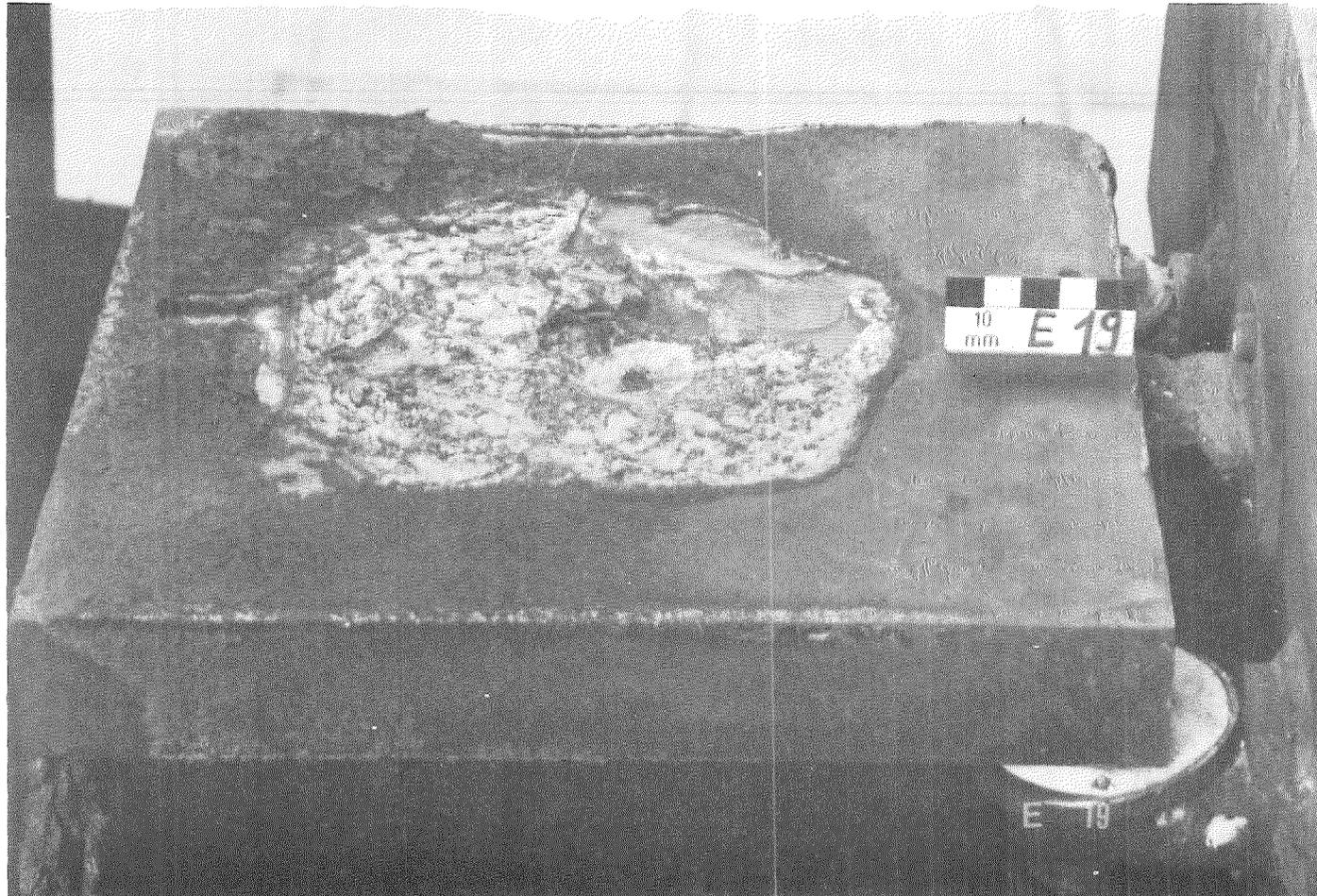
Versuch E018

Edelstahlplatte nach dem Versuch, ohne Kruste



HIT 1991
18.02.05

Abb.: 10



Neg.: Nr. 182 / 34

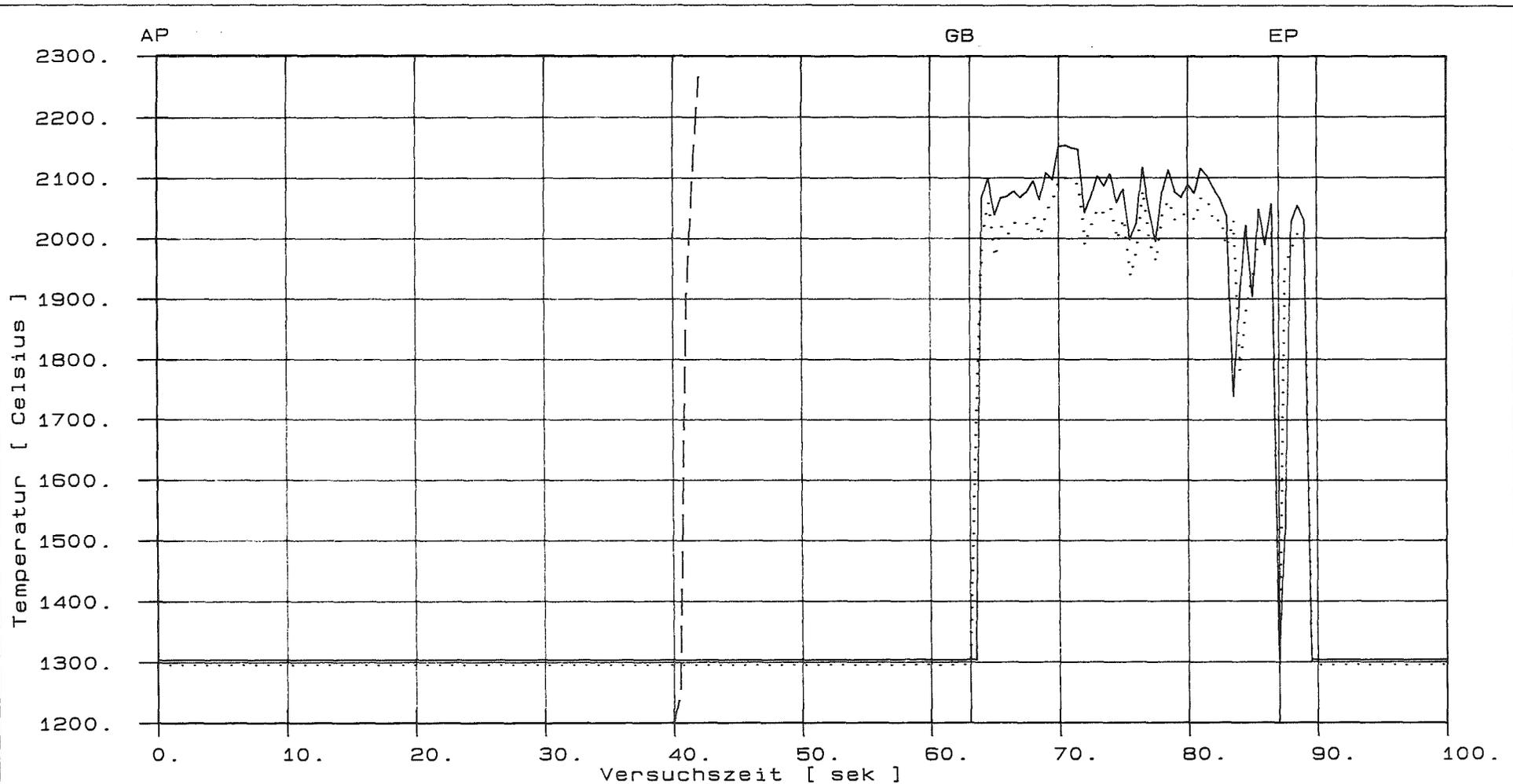
Versuch E019

Edelstahlplatte nach dem Versuch, ohne Kruste

KfK

HIT 1991
18.02.05

Abb.: 11

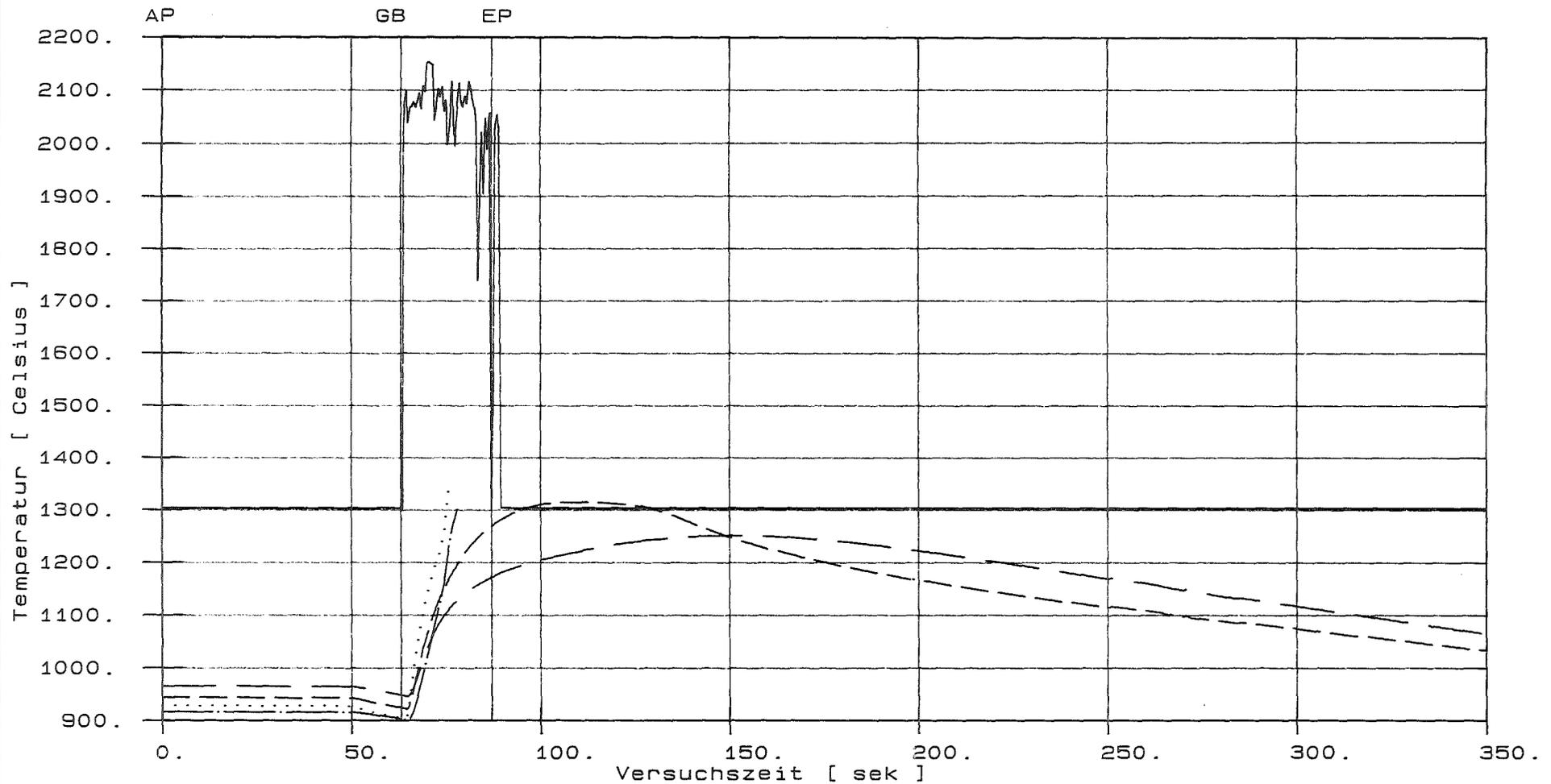


----- Kernforschungszentrum Karlsruhe HIT/PA -----
 Projekt/Versuch: *EROS-6N9R* F+E-Nr.18.02.05/03A / Nr. E018 v. 16.05.91
 Versuchsart: Erosionsversuch
 Kommentar: Al2O3-Giesstr. 20 mm, 100 kg Thermit
 Edelstahl-Platte 40 mm dick, 900 grd.C, Fallh. 1000 mm
 Anstroemwinkel 90 grd., Reduktion 10

----- W-T25 WRe-Thermoelement (Lanze in Abstichrinne)
 P-T27 Pyrometer, Fa.Dr.Maurer, Spektrale Strahlungstemp. Ts
 P-T28 Pyrometer, Fa.Dr.Maurer, Verhaeltnistemp. Tv

HIT 1991
 18.02.05

Abb.:12

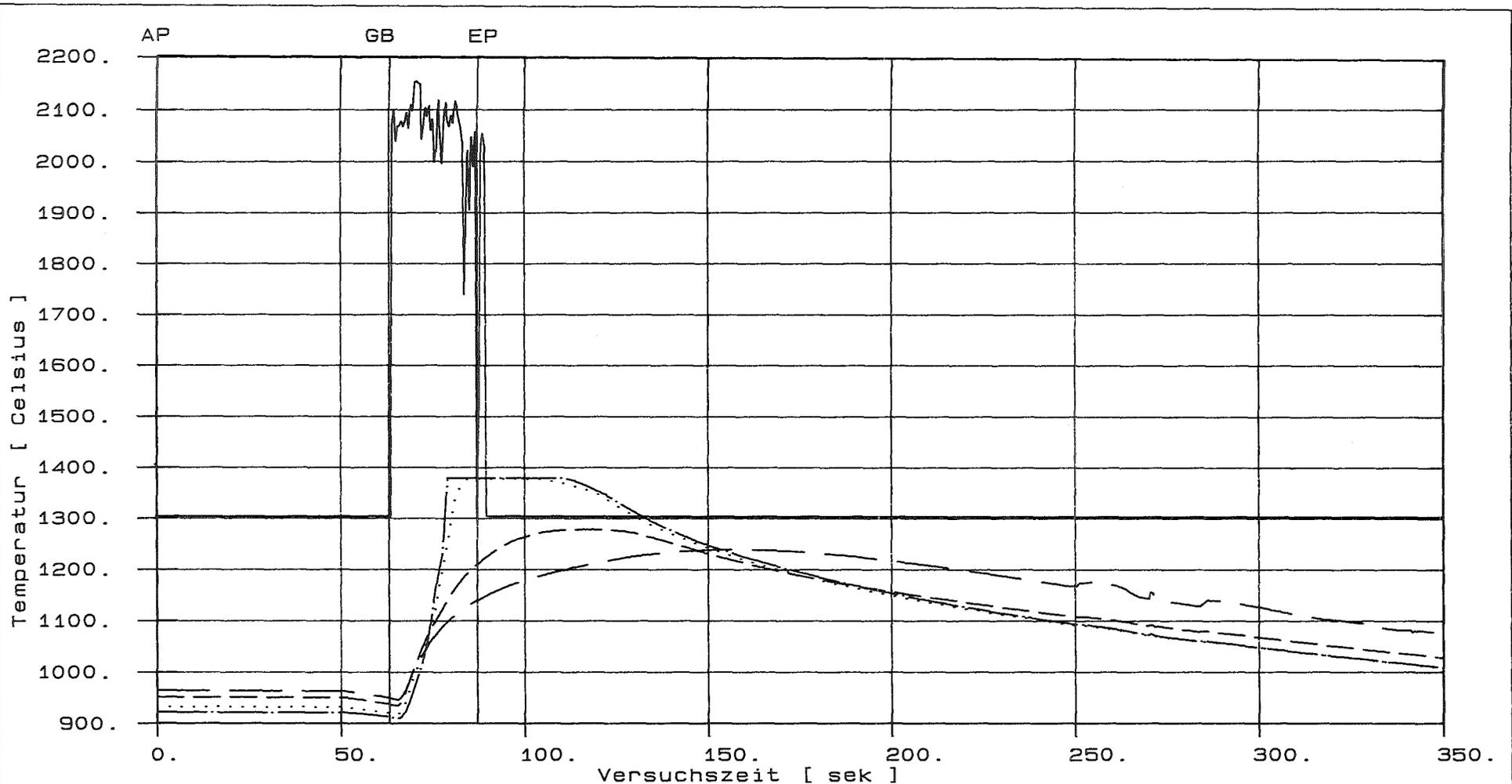


----- Kernforschungszentrum Karlsruhe HIT/PA -----
 Projekt/Versuch: *EROS-6N9R* F+E-Nr.18.02.05/03A / Nr. E018 v. 16.05.91
 Versuchsart: Erosionsversuch
 Kommentar: Al2O3-Giesstr. 20 mm, 100 kg Thermit
 Edelstahl-Platte 40 mm dick, 900 grd.C, Fallh. 1000 mm
 Anstroemwinkel 90 grd., Reduktion 10

—————	P-T27	Pyrometer, Fa.Dr.Maurer, Spektrale Strahlungstemp.Ts
—————	NA-T1	TE 4 mm tief, 15 mm von Plattenmitte
.....	NA-T2	TE 4 mm tief, 30 mm von Plattenmitte
-----	NA-T3	TE 4 mm tief, 60 mm von Plattenmitte
-----	NA-T4	TE 4 mm tief, 120 mm von Plattenmitte

HIT 1991
 18.02.05

Abb.:13

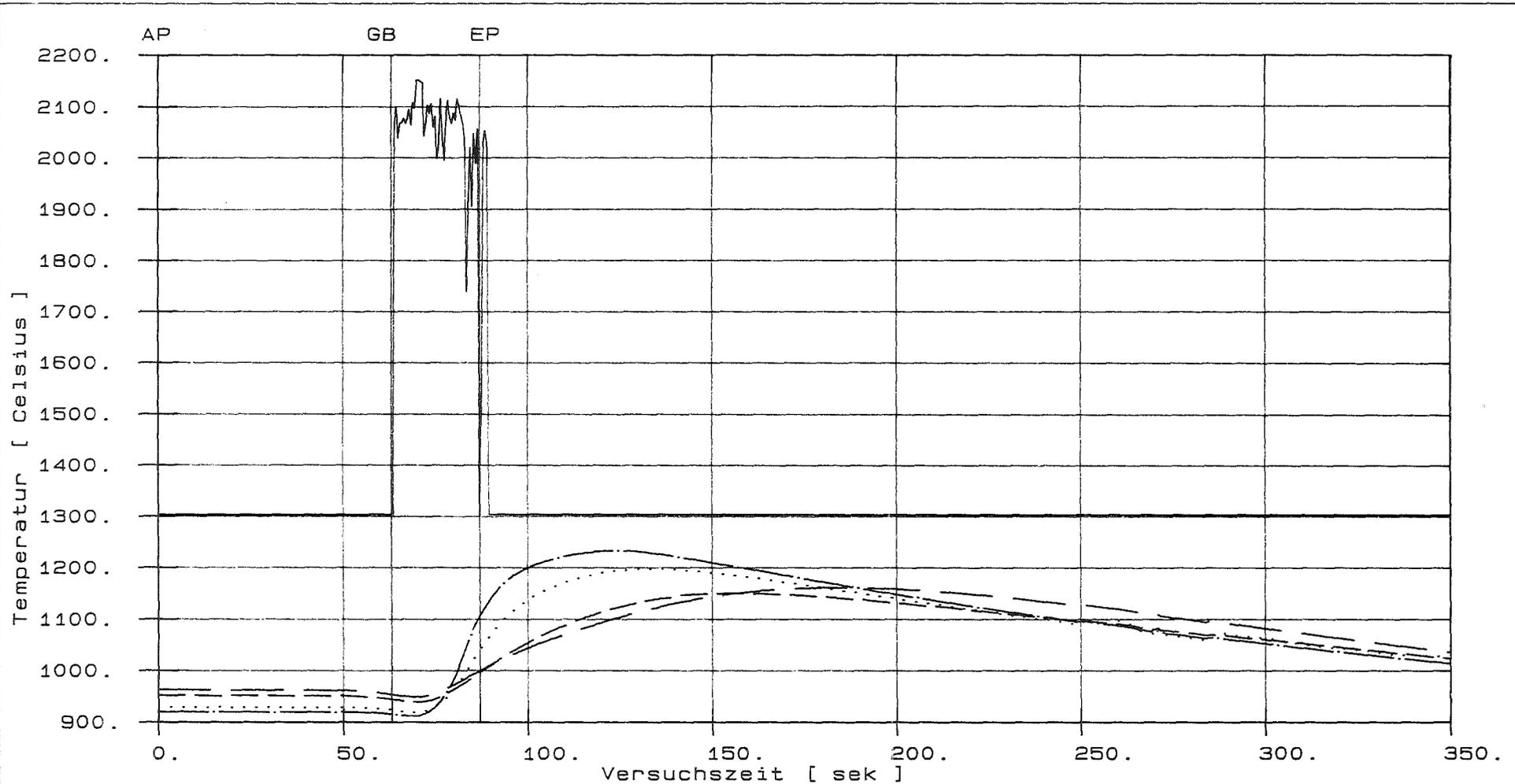


----- Kernforschungszentrum Karlsruhe HIT/PA -----
 Projekt/Versuch: *EROS-6N9R* F+E-Nr.18.02.05/03A / Nr. E018 v. 16.05.91
 Versuchsart: Erosionsversuch
 Kommentar: Al2O3-Giesstr. 20 mm, 100 kg Thermit
 Edelstahl-Platte 40 mm dick, 900 grd.C. Fallh. 1000 mm
 Anstroemwinkel 90 grd., Reduktion 10

-----	P-T27	Pyrometer, Fa.Dr.Maurer, Spektrale Strahlungstemp.Ts
-----	NB-T6	TE 8 mm tief, 15 mm von Plattenmitte
.....	NB-T7	TE 8 mm tief, 30 mm von Plattenmitte
-----	NB-T8	TE 8 mm tief, 60 mm von Plattenmitte
-----	NB-T9	TE 8 mm tief, 120 mm von Plattenmitte

HIT 1991
 18.02.05

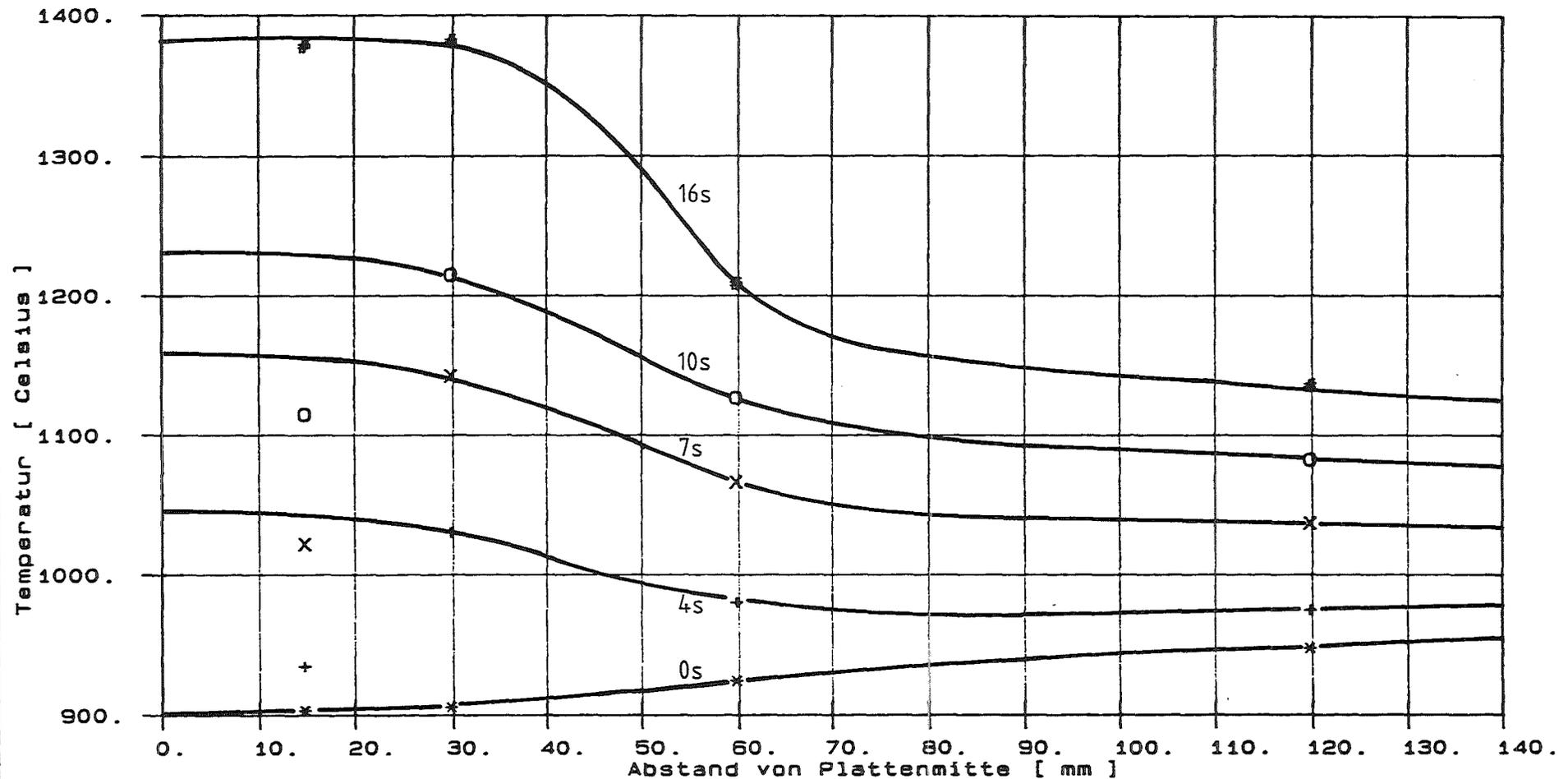
Abb.:14



----- Kernforschungszentrum Karlsruhe HIT/PA -----
 Projekt/Versuch: *EROS-6N9R* F+E-Nr.18.02.05/03A / Nr.E018 v.16.05.91
 Versuchsart: Erosionsversuch
 Kommentar: Al2O3-Giesstr. 20 mm, 100 kg Thermit
 Edelstahl-Platte 40 mm dick, 900 grd.C, Fallh. 1000 mm
 Anstroemwinkel 90 grd., Reduktion 10
 P-T27 Pyrometer, Fa.Dr.Maurer, Spektrale Strahlungstemp.Ts
 NC-T11 TE 20 mm tief, 15 mm von Plattenmitte
 NC-T12 TE 20 mm tief, 30 mm von Plattenmitte
 NC-T13 TE 20 mm tief, 60 mm von Plattenmitte
 NC-T14 TE 20 mm tief, 120 mm von Plattenmitte

HIT 1991
 18.02.05

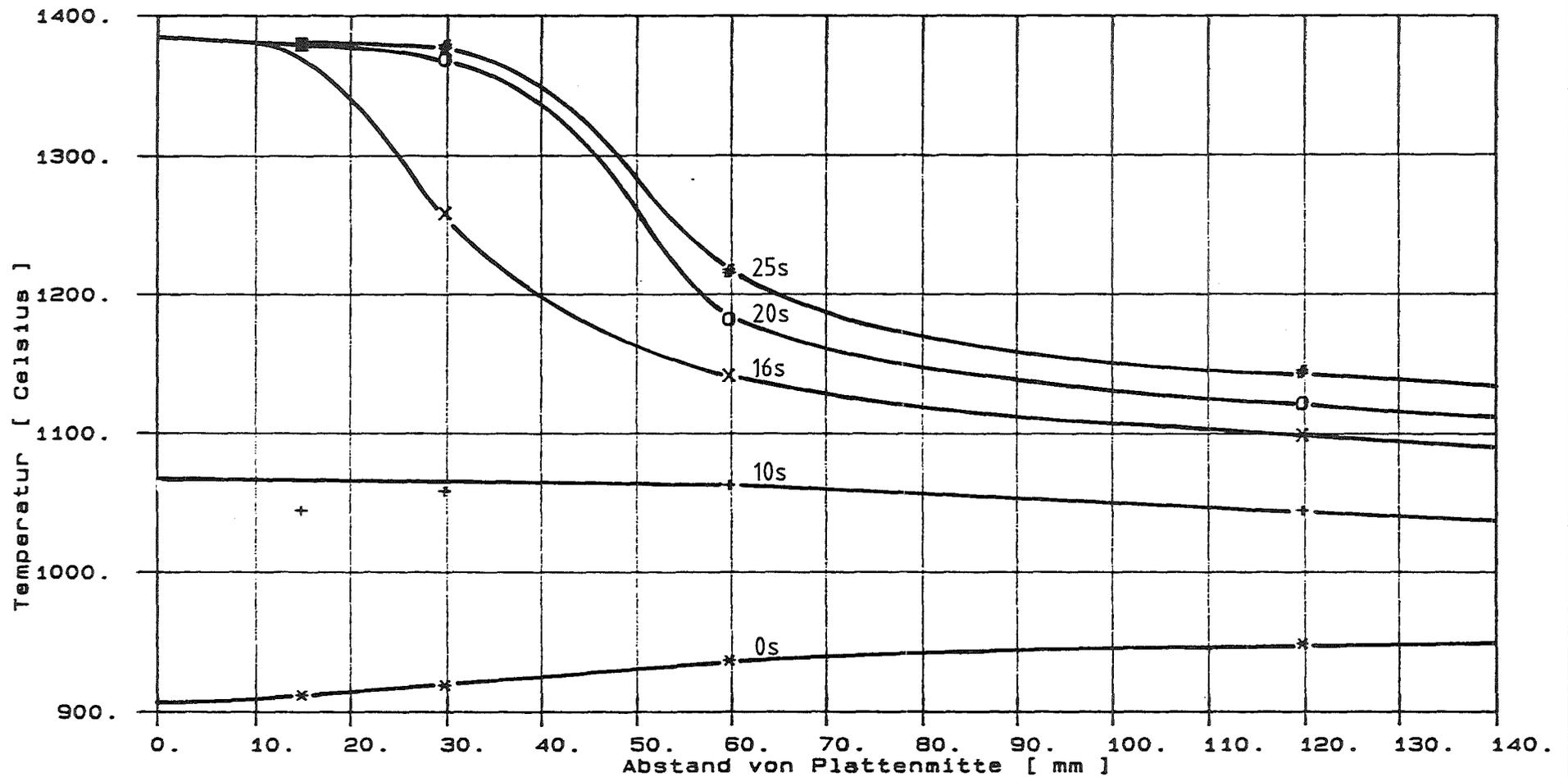
Abb.:15



----- Kernforschungszentrum Karlsruhe HIT/PA -----
 Projekt/Versuch: *EROS-6N9R* F+E-Nr.18.02.05/03A / Nr.E018 v.16.05.91
 Versuchsart: Erosionsversuch
 Kommentar: Al2O3-Giesstr. 20 mm, 100 kg Thermit
 Edelstahl-Platte 40 mm dick, 900 grd.C, Fallh. 1000 mm
 Anstroemwinkel 90 grd.

Temperaturverteilung in 4mm Plattentiefe; 0, 4, 7, 10, 16s
 nach Beginn der Giesstrahlbeaufschlagung

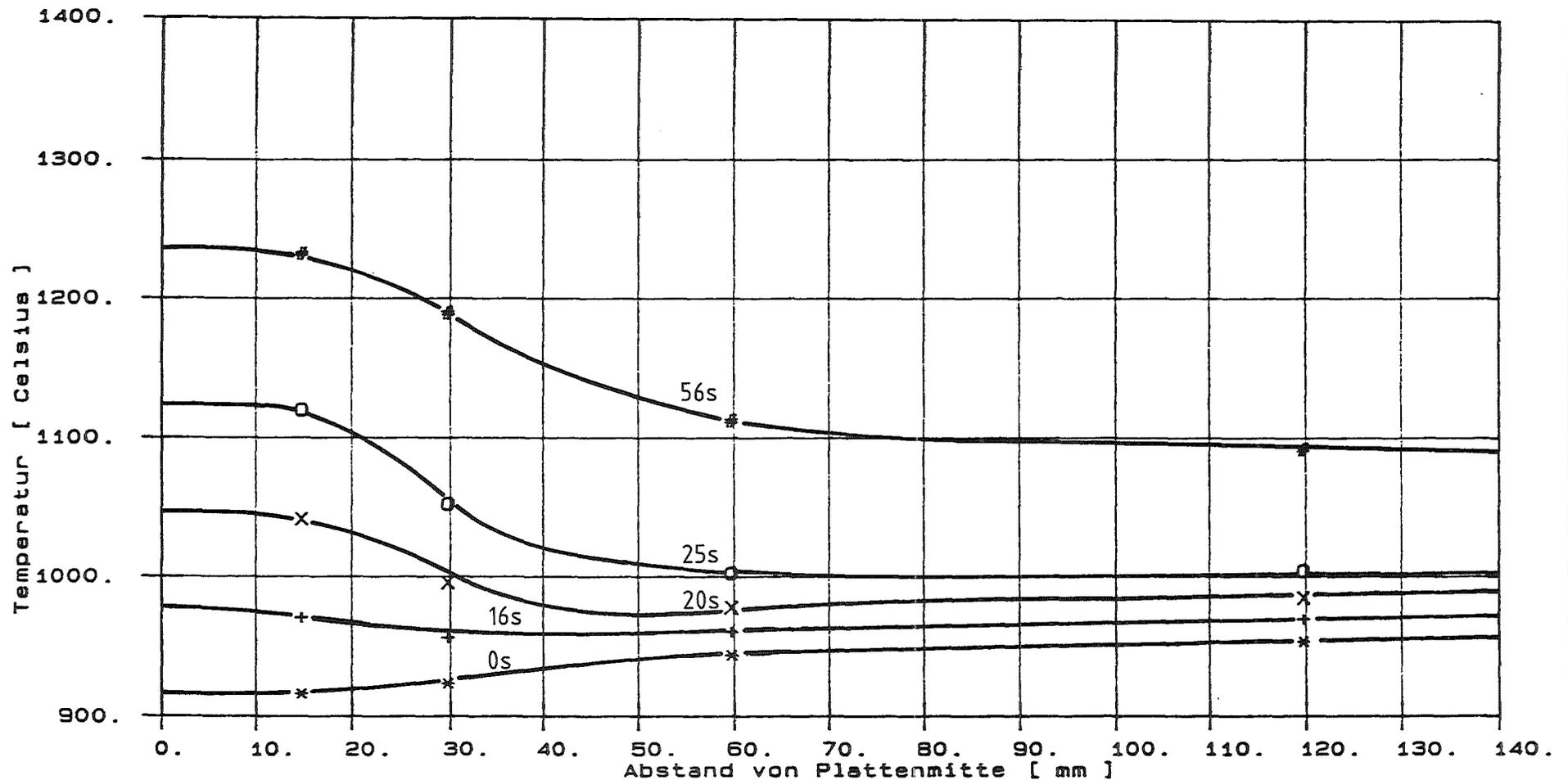
HIT 1991
 18.02.05
Abb.:16



----- Kernforschungszentrum Karlsruhe HIT/PA -----
 Projekt/Versuch: *EROS-6N9R* F+E-Nr.18.02.05/03A / Nr.E018 v.16.05.91
 Versuchsart: Erosionsversuch
 Kommentar: Al2O3-Giesstr. 20 mm, 100 kg Thermit
 Edelstahl-Platte 40 mm dick, 900 grd.C. Fallh. 1000 mm
 Anstroemwinkel 90 grd.

Temperaturverteilung in 8mm Plattentiefe; 0, 10, 16, 20, 25 s
 nach Beginn der Giesstrahlbeaufschlagung

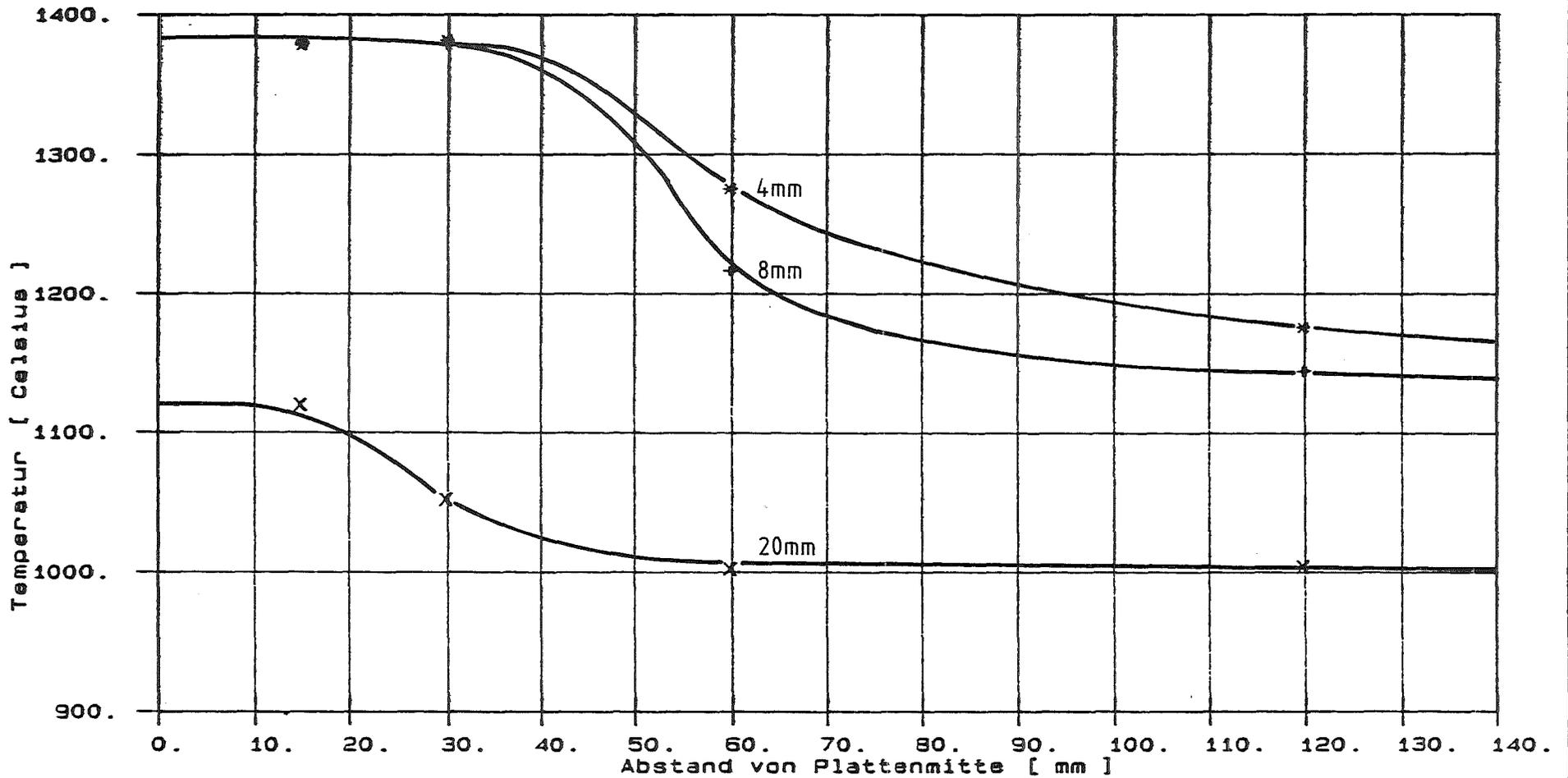
HIT 1991
 18.02.05
Abb.:17



----- Kernforschungszentrum Karlsruhe HIT/PA -----
 Projekt/Versuch: *EROS-6N9R* F+E-Nr. 18.02.05/03A / Nr.E01B v.16.05.91
 Versuchsart: Erosionsversuch
 Kommentar: Al2O3-Giesstr. 20 mm, 100 kg Thermit
 Edelstahl-Platte 40 mm dick, 900 grd.C, Fallh. 1000 mm
 Anstroemwinkel 90 grd.

Temperaturverteilung in 20mm Plattentiefe; 0, 16, 20, 25, 56 s
 nach Beginn der Giesstrahlbeaufschlagung

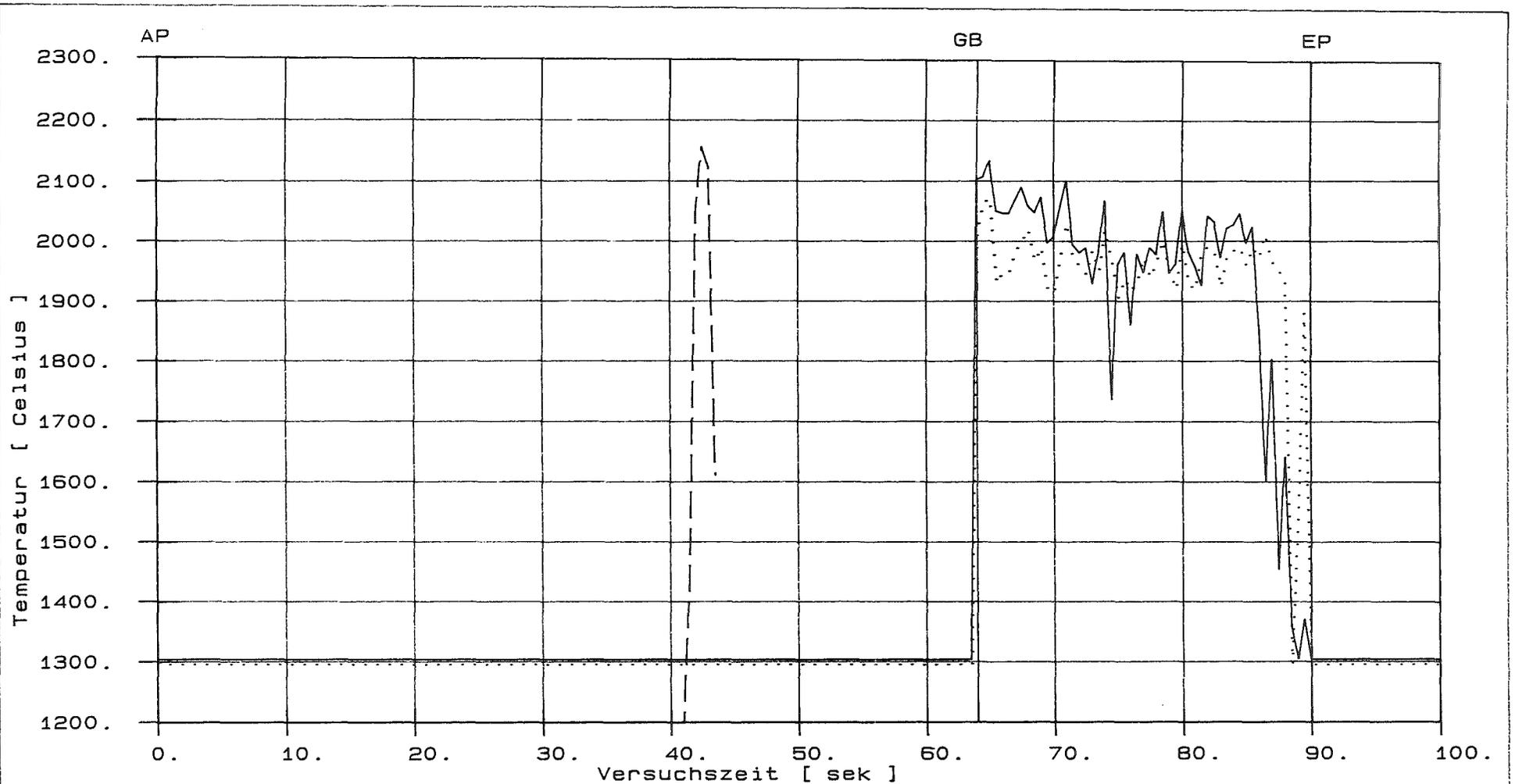
HIT 1991
 18.02.05
Abb.:18



----- Kernforschungszentrum Karlsruhe HIT/PA -----
 Projekt/Versuch: *EROS-6N9A* F+E-Nr.18.02.05/03A / Nr.E018 v.16.05.91
 Versuchsart: Erosionsversuch
 Kommentar: Al2O3-Giesstr. 20 mm, 100 kg Thermit
 Edelstahl-Platte 40 mm dick, 900 grd.C. Fallh. 1000 mm
 Anstroemwinkel 90 grad.

Temperaturverteilung 25 s nach Beginn der Giesstrahlbeaufschlagung
 in 4, 8 und 20mm Plattentiefe

HIT 1991
 18.02.05
Abb.:19

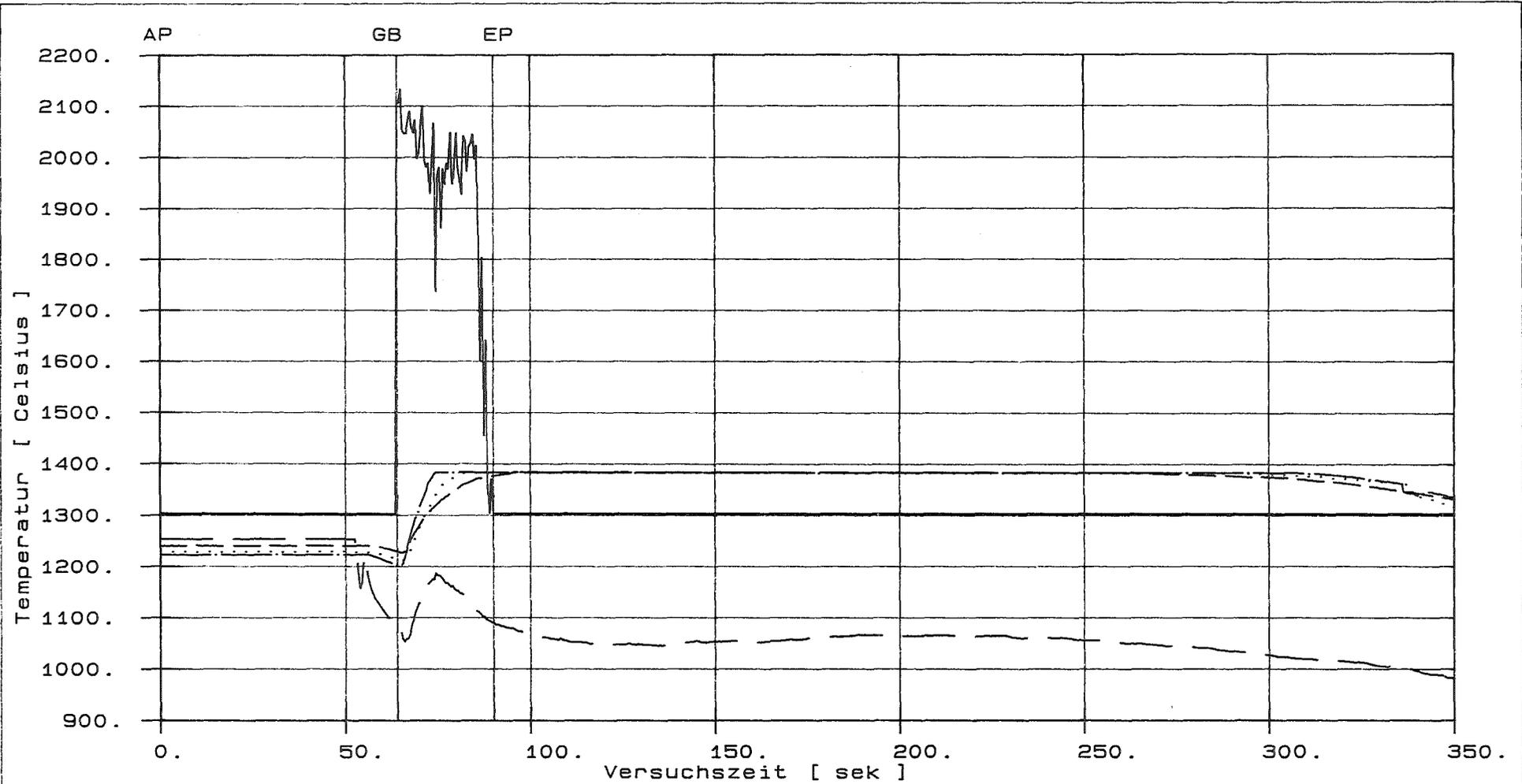


----- Kernforschungszentrum Karlsruhe HIT/PA -----
 Projekt/Versuch: *EROS-6N9R* F+E-Nr.18.02.05/03A / Nr.E019 v. 07.06.91
 Versuchsart: Erosionsversuch
 Kommentar: Al2O3-Giesstrahl 20 mm, 100 kg Thermit
 Edelstahl-Platte 40 mm dick, 1200 grd.C, Fallh. 1000 mm
 Anstroemwinkel 90 grd., Reduktion 10

----- W-T25 WRe-Thermoelement (Lanze in Abstichrinne)
 ----- P-T27 Pyrometer, Fa.Dr.Maurer, Spektrale Strahlungstemp.Ts
 P-T28 Pyrometer, Fa.Dr.Maurer, Verhaltnistemp. Tv

HIT 1991
 18.02.05

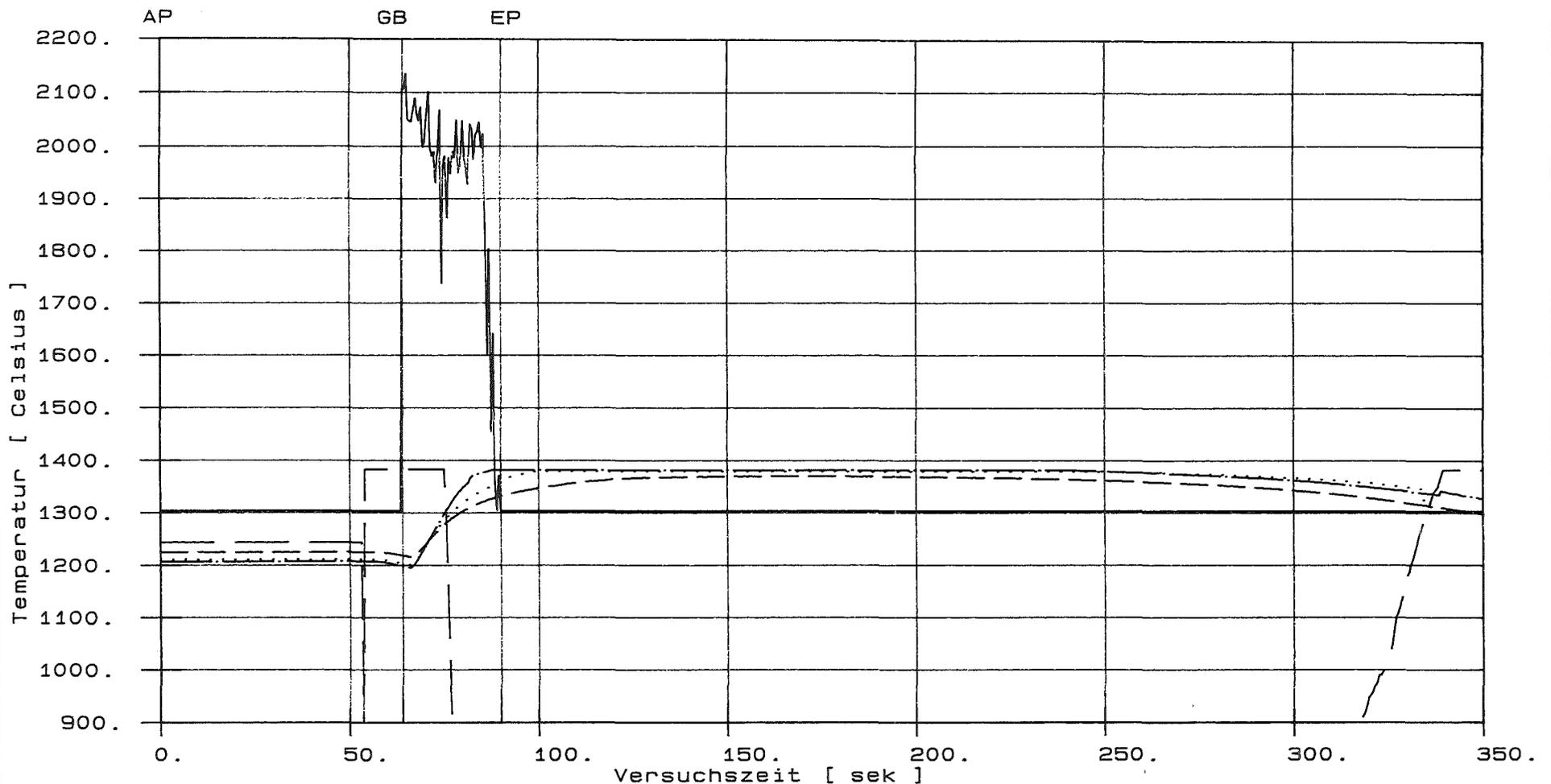
Abb.:20



----- Kernforschungszentrum Karlsruhe HIT/PA -----
 Projekt/Versuch: *EROS-6N9R* F+E-Nr.18.02.05/03A / Nr.E019 v. 07.06.91
 Versuchsart: Erosionsversuch
 Kommentar: Al2O3-Giesstrahl 20 mm, 100 kg Thermit
 Edelstahl-Platte 40 mm dick, 1200 grd.C, Fallh. 1000 mm
 Anstroemwinkel 90 grd., Reduktion 10

—————	P-T27	Pyrometer, Fa.Dr.Maurer, Spektrale Strahlungstemp.Ts
—————	NA-T1	TE 4 mm tief, 15 mm von Plattenmitte
.....	NA-T2	TE 4 mm tief, 30 mm von Plattenmitte
-----	NA-T3	TE 4 mm tief, 60 mm von Plattenmitte
- - - - -	NA-T4	TE 4 mm tief, 120 mm von Plattenmitte

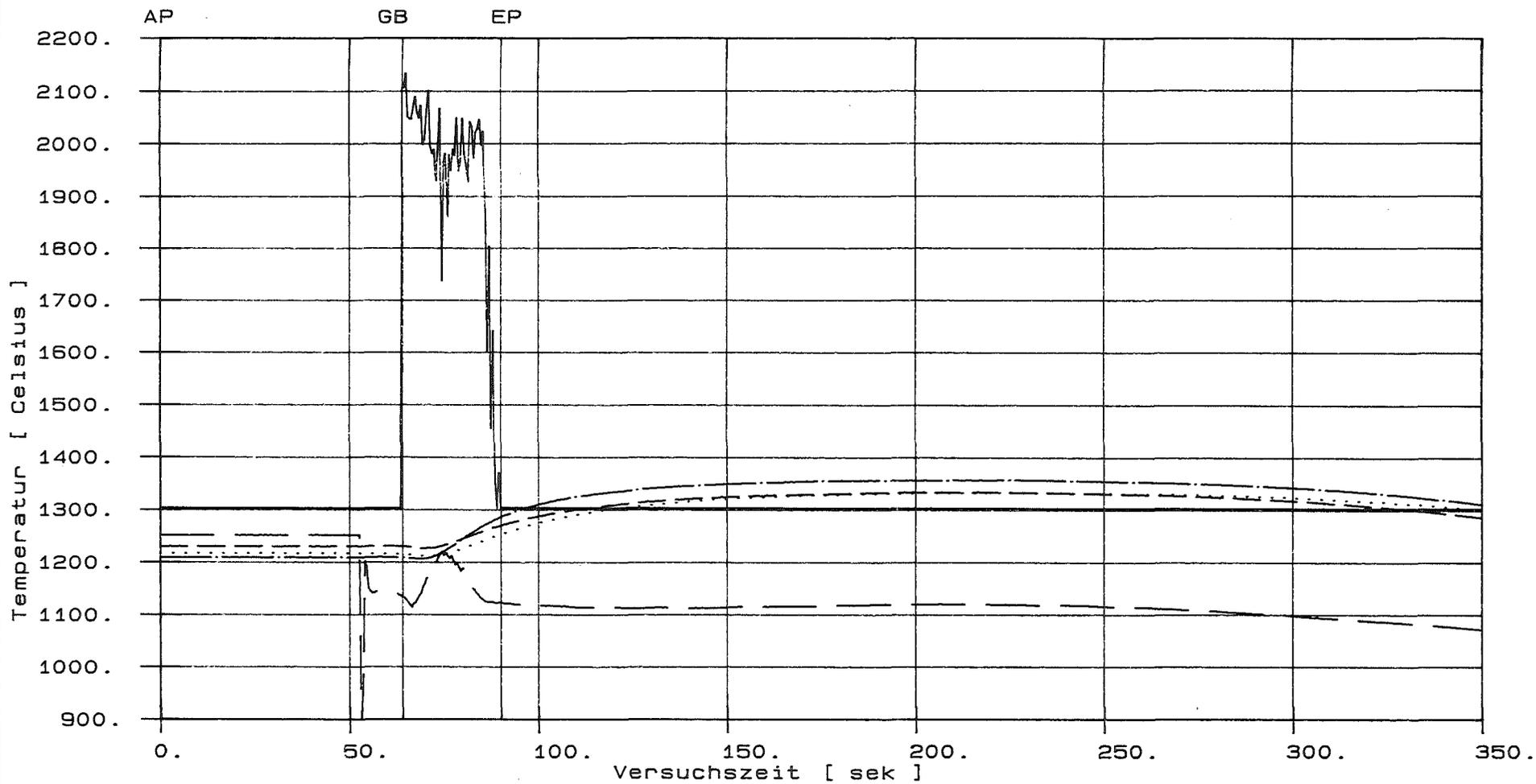
HIT 1991
 18.02.05
Abb.:21



----- Kernforschungszentrum Karlsruhe HIT/PA -----
 Projekt/Versuch: *EROS-6N9R* F+E-Nr.18.02.05/03A / Nr.E019 v. 07.06.91
 Versuchsart: Erosionsversuch
 Kommentar: Al2O3-Giesstrahl 20 mm, 100 kg Thermit
 Edelstahl-Platte 40 mm dick, 1200 grd.C, Fallh. 1000 mm
 Anstroemwinkel 90 grd., Reduktion 10

—————	P-T27	Pyrometer, Fa.Dr.Maurer, Spektrale Strahlungstemp.Ts
-----	NB-T6	TE 8 mm tief, 15 mm von Plattenmitte
.....	NB-T7	TE 8 mm tief, 30 mm von Plattenmitte
-----	NB-T8	TE 8 mm tief, 60 mm von Plattenmitte
-----	NB-T9	TE 8 mm tief, 120 mm von Plattenmitte

HIT 1991
 18.02.05
Abb.:22

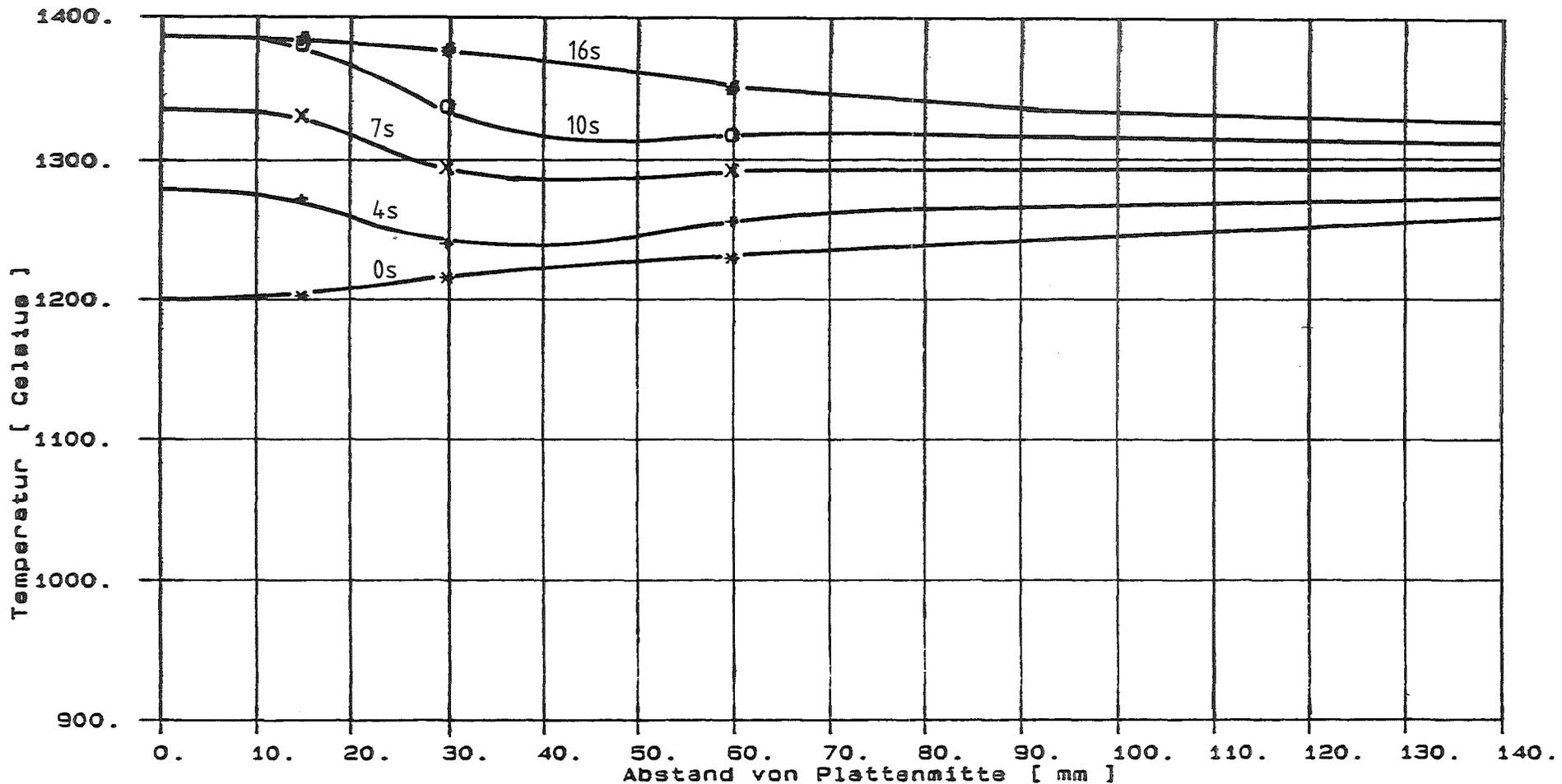


----- Kernforschungszentrum Karlsruhe HIT/PA -----
 Projekt/Versuch: *EROS-6N9R* F+E-Nr.18.02.05/03A / Nr.E019 v. 07.06.91
 Versuchsart: Erosionsversuch
 Kommentar: Al2O3-Giesstrahl 20 mm, 100 kg Thermit
 Edelstahl-Platte 40 mm dick, 1200 grd.C, Fallh. 1000 mm
 Anstroemwinkel 90 grd., Reduktion 10

-----	P-T27	Pyrometer, Fa.Dr.Maurer, Spektrale Strahlungstemp.Ts
-----	NC-T11	TE 20 mm tief, 15 mm von Plattenmitte
.....	NC-T12	TE 20 mm tief, 30 mm von Plattenmitte
-----	NC-T13	TE 20 mm tief, 60 mm von Plattenmitte
-----	NC-T14	TE 20 mm tief, 120 mm von Plattenmitte

HIT 1991
 18.02.05

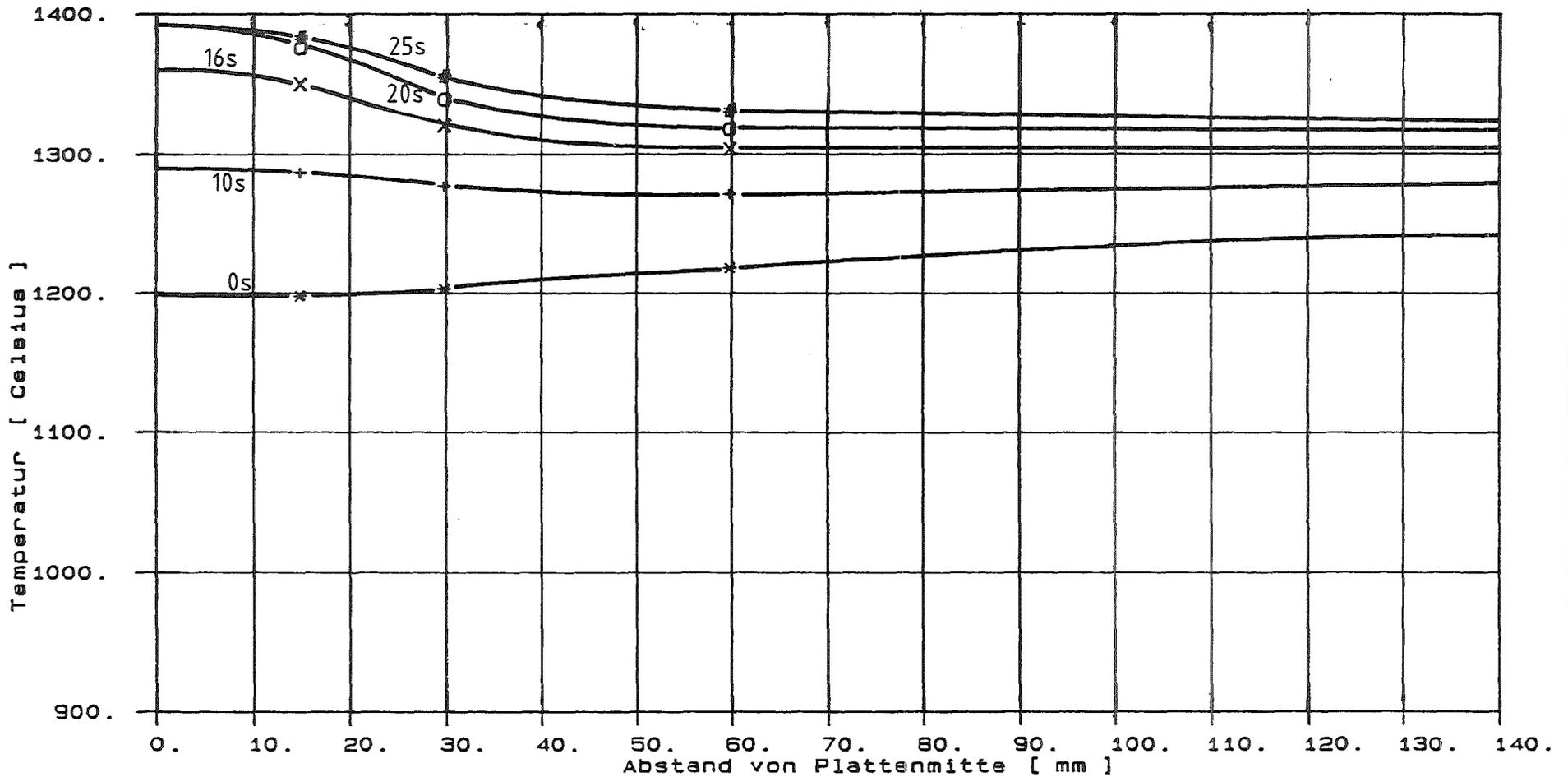
Abb.:23



----- Kernforschungszentrum Karlsruhe HIT/PA -----
 Projekt/Versuch: *EROS-6N9R* F+E-Nr.18.02.05/03A / Nr.E019 v. 07.06.91
 Versuchsart: Erosionsversuch
 Kommentar: Al2O3-Giesstrahl 20 mm, 100 kg Thermit
 Edelstahl-Platte 40 mm dick, 1200 grd.C. Fallh. 1000 mm
 Anstroemwinkel 90 grd.

Temperaturverteilung in 4mm Plattentiefe; 0, 4, 7, 10, 16 s
 nach Beginn der Giesstrahlbeaufschlagung

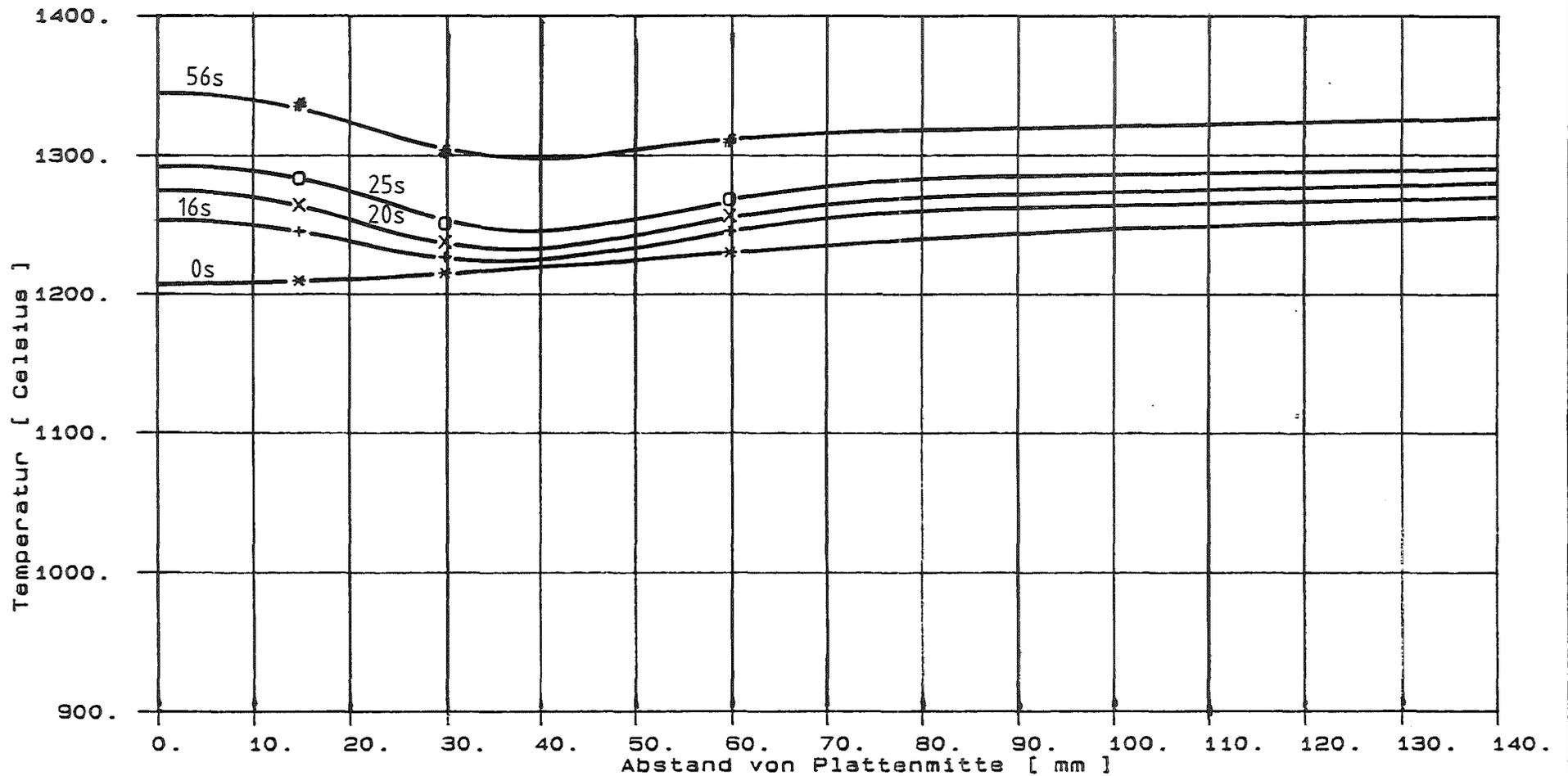
HIT 1991
 18.02.05
Abb.:24



----- Kernforschungszentrum Karlsruhe HIT/PA -----
 Projekt/Versuch: *EROS-6N9R* F+E-Nr.18.02.05/03A / Nr.E019 v. 07.06.91
 Versuchsart: Erosionsversuch
 Kommentar: Al2O3-Giesstrahl 20 mm, 100 kg Thermit
 Edelstahl-Platte 40 mm dick, 1200 grad.C, Fallh. 1000 mm
 Anstroemwinkel 90 grad.

Temperaturverteilung in 8mm Plattentiefe; 0, 10, 16, 20, 25 s
 nach Beginn der Giesstrahlbeaufschlagung

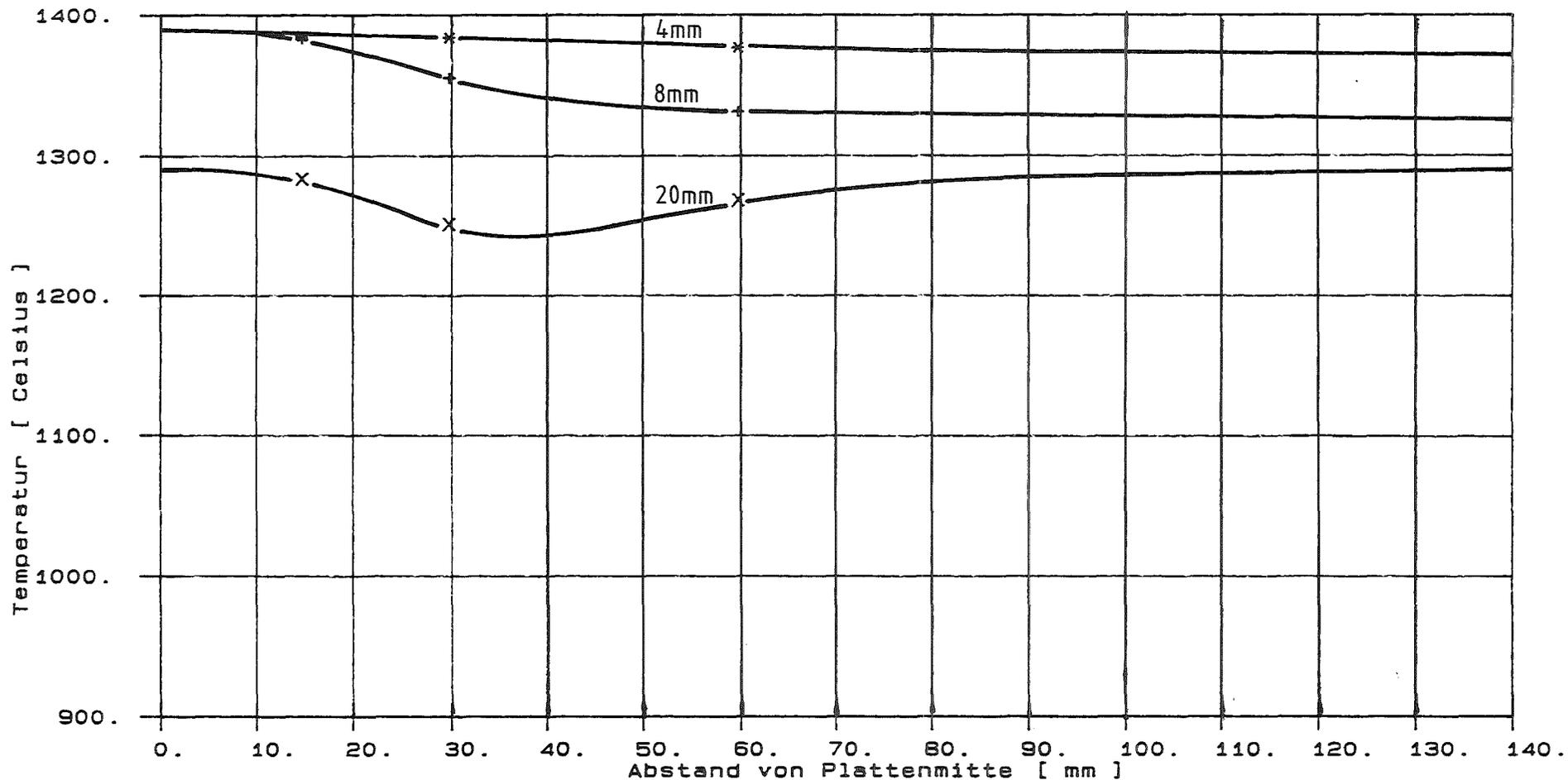
HIT 1991
 18.02.05
Abb.:25



----- Kernforschungszentrum Karlsruhe HIT/PA -----
 Projekt/Versuch: *EROS-6N9R* F+E-Nr.18.02.05/03A / Nr.E019 v. 07.06.91
 Versuchsart: Erosionsversuch
 Kommentar: Al2O3-Giesstrahl 20 mm, 100 kg Thermit
 Edelstahl-Platte 40 mm dick, 1200 grad.C, Fallh. 1000 mm
 Anstroemwinkel 90 grad.

Temperaturverteilung in 20mm Plattentiefe; 0, 16, 20, 25, 56s
 nach Beginn der Giesstrahlbeaufschlagung

HIT 1991
 18.02.05
Abb.:26



----- Kernforschungszentrum Karlsruhe HIT/PA -----
 Projekt/Versuch: *EROS-6N9R* F+E-Nr.18.02.05/03A / Nr.E019 v. 07.06.91
 Versuchsart: Erosionsversuch
 Kommentar: A1203-Giesstrahl 20 mm, 100 kg Thermit
 Edelstahl-Platte 40 mm dick, 1200 grad.C, Fallh. 1000 mm
 Anstroemwinkel 90 grad.

Temperaturverteilung 25 s nach Beginn der Giesstrahlbeaufschlagung
 in 4, 8 und 20mm Plattentiefe

HIT 1991
 18.02.05
Abb.:27

A n h a n g

Kurzfassung der EROS-Testversuche

E001 bis E017

Einführung

Die nachfolgende Zusammenstellung vermittelt eine Gesamtübersicht über Versuchsbedingungen und Ergebnisse aller durchgeführten Orientierungsversuche. Dabei handelt es sich um Test-Versuche zur qualitativen Vorklärung der auftretenden Effekte sowie zur Entwicklung der spezifischen, verfahrens- und geräte-technischen Einzelheiten. Aus Gründen der Versuchsökonomie wurde bei diesen Test-Versuchen der technische Aufwand hinsichtlich geräte- und meßtechnischer Ausrüstung auf das jeweils notwendige Mindestmaß begrenzt.

Eine zusammenfassende Bewertung aller Test-Versuche ist in der Einleitung und Problemstellung (S. 1) zum Hauptbericht enthalten.

Verzeichnis der Test-Versuche

Nr. E001	Edelstahlplatte 40 mm dick, horizontal; Eisengießstrahl \varnothing 30 mm	Seite 59
Nr. E002	Edelstahlplatte 40 mm dick, Anströmwinkel 45°; Eisengießstrahl \varnothing 20 mm	Seite 63
Nr. E003	Edelstahlplatte 40 mm dick, Anströmwinkel 45°; Oxidgießstrahl	Seite 66
Nr. E004	Edelstahlplatte 40 mm dick, Anströmwinkel 45°; Oxidgießstrahl	Seite 69
Nr. E005	Edelstahlplatte 40 mm dick, Anströmwinkel 5°; Eisengießstrahl	Seite 72
Nr. E006	Edelstahlplatte 40 mm dick, auf 400 °C vorgeheizt; Anströmwinkel 45°; Oxidgießstrahl	Seite 75
Nr. E007	Anhebung der Gießstrahltemperatur durch THERMIT-Vorheizung 500 °C	Seite 79
Nr. E008	Erprobung einer Ausflußdüse aus Graphit mit THERMIT-Vorheizung 500 °C	Seite 81
Nr. E009	Erprobung einer Ausflußdüse aus ZrO ₂ mit THERMIT-Vorheizung 500 °C	Seite 82
Nr. E010	Erprobung einer Ausflußdüse aus MgO mit THERMIT-Vorheizung 500 °C	Seite 83
Nr. E011	Edelstahlplatte 5 mm dick, horizontal; Oxidgießstrahl	Seite 84
Nr. E012	Edelstahl-Doppelplatte je 5 mm dick, horizontal; THERMIT-Vorheizung 500 °C; Oxidgießstrahl	Seite 86
Nr. E013	Edelstahl-Doppelplatte je 5 mm dick, horizontal; Oxidgießstrahl	Seite 92
Nr. E014	Edelstahlplatte 5 mm dick, horizontal mit Ar-Spülung; THERMIT-Vorheizung 500 °C; Oxidgießstrahl	Seite 96
Nr. E015	Edelstahlplatte 40 mm dick, horizontal; auf 900 °C vorgeheizt; Oxidgießstrahl	Seite 101
Nr. E016	1. Wiederholung	Seite 104
Nr. E017	2. Wiederholung	Seite 105

Tabellarische Übersicht über sämtliche EROS - Versuche

Identische Parameter für alle Versuche :

Werkstoff der Versuchs - Platten : Edelstahl Nr. 1.4571
 THERMIT - Type : R70 SSH
 THERMIT - Masse : 100 kg
 Schmelze : 55 Gew. % Fe und 45 Gew. % Oxide (Al₂O₃ + MgO + Fe - Oxide)

Versuchs - Nr.	E 001	E 002	E 003	E 004	E 005	E 006	E 007	E 008	E 009	E 010	E 011	E 012	E 013	E 014	E 015	E 016	E 017	E 018	E 019
Dicke der Platte [mm]	40	40	40	40	40	40	-	-	-	-	5	2 x 5	2 x 5	5	40	40	40	40	40
Neigungswinkel zur Horizontalen [°]	0	45	45	45	85	45	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Anfangstemperatur [°C]	20	20	20	20	20	400	-	-	-	-	20	20	20	20	900	900	900	900	1200
Gießstrahl	Eisen + Oxid	Eisen + Oxid	Rest-Fe + Oxid	Oxid	Eisen + Oxid	Oxid	Eisen + Oxid	Eisen + Oxid	Eisen + Oxid	Eisen + Oxid	-	Oxid	Oxid	Oxid	Oxid	-	Oxid	Oxid	Oxid
Länge (Düse - Auftreffpunkt) [mm]	1200	1200	1200	1200	1000	1000	1000	1000	1000	1000	435	435	475	480	1000	1000	1000	1000	1000
Düsendurchmesser [mm]	30	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Anfangstemperatur des THERMIT - Pulvers [°C]	20	20	20	20	20	20	470	395	470	430	20	500	20	500	120	120	120	120	120
Spektrale Strahlungstemperatur T _s [°C] :																			
für Eisenstrahl	-	-	1950	1900	2040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
für Oxidstrahl	-	2200	2250	2200	2200	2122	2150	2180	2050	-	-	2100	2160	2160	1740	-	2100	2185	2138
Platte durchgeschmolzen	ja	ja	ja	nein	ja	nein	-	-	-	-	-	nein	nein	nein	nein	-	nein	nein	nein
Zeit ab Beaufschlagung [s]	14	7,3	3	-	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

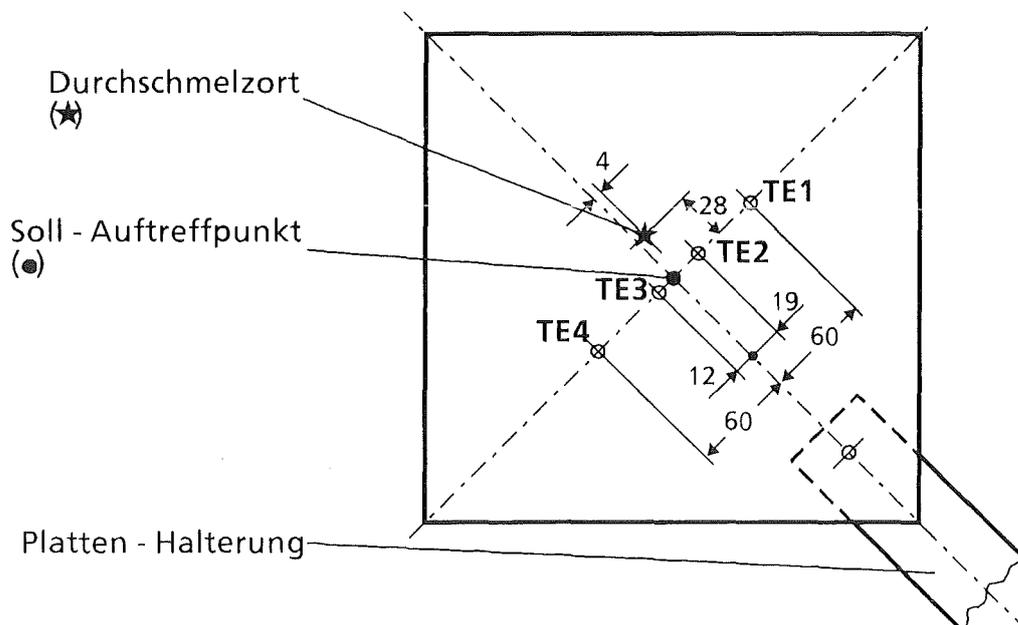
Zu Test-Versuch Nr. E001

Ziel:

Beaufschlagung einer horizontalen Edelstahlplatte mit Eisen- und nachfolgendem Oxidgießstrahl.

Rand- und Anfangsbedingungen: Abb. 28

- Thermoelementinstrumentierte Edelstahlplatte L/B/D = 280 / 280 / 40 mm, Werkstoff Nr. 1.4571



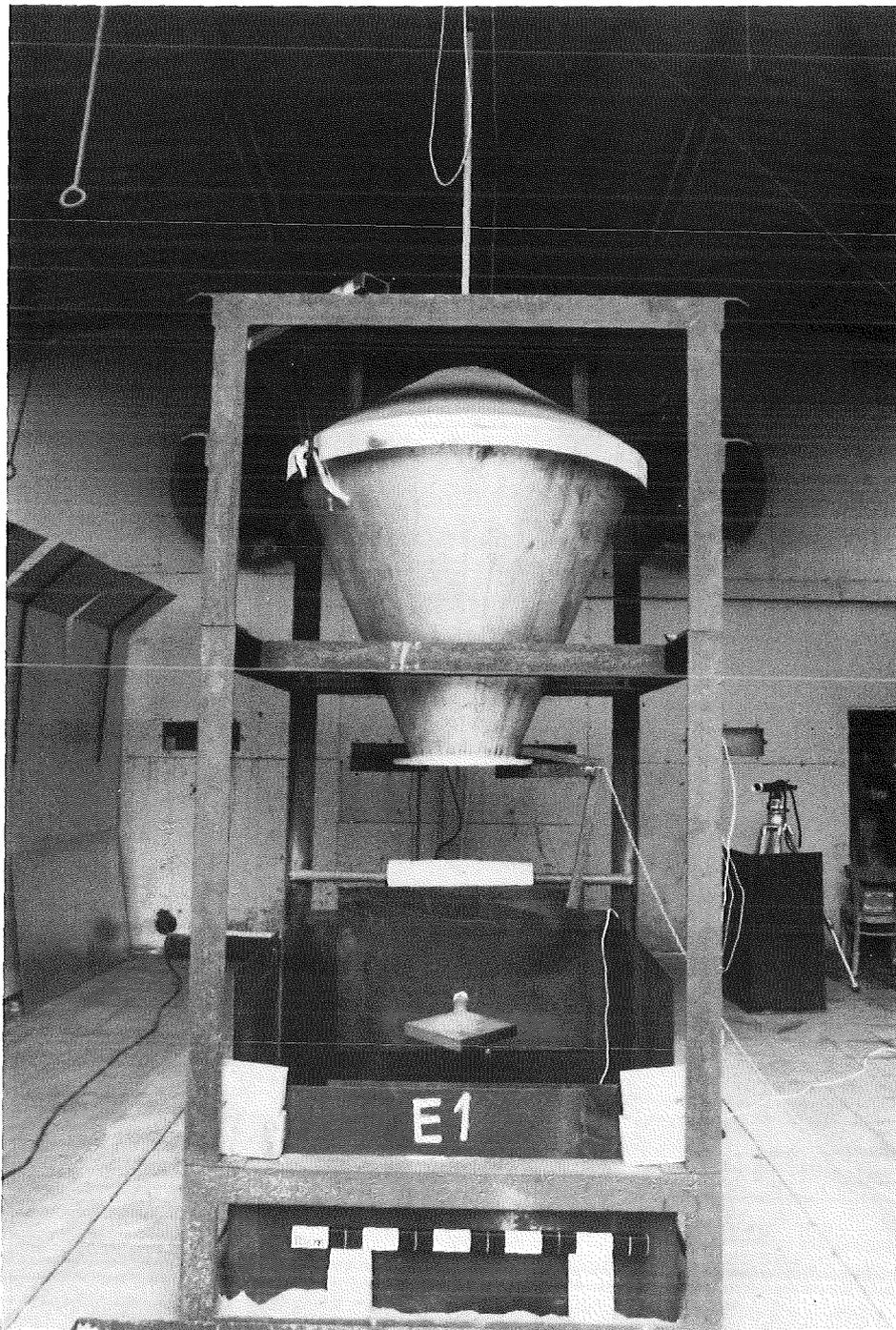
- Anströmwinkel 90° (horizontale Platte)
- Durchmesser der Gießstrahlausflußdüse 30 mm, Werkstoff MAGNESIT
- Abstand Auftreffpunkt-Düse (Fallhöhe des Gießstrahls) 1200 mm
- THERMIT-Masse/Type 100 kg / R 70 SSH
- Gießstrahlpyrometrierung 200 mm unter Düsenunterkante mit Quotientenpyrometer Type Chopper-Q2-500, der Fa. Schmidt, Hamburg, Referenzwellenlängen $\lambda_1/\lambda_2 = 500/580$ nm

Ergebnisse:

- Max. Temperaturanzeige der WRe-Thermoelementtauchlanze in der Schmelze vor dem Abstich im THERMIT-Tiegel 2200 °C (≈ Versagenspunkt des Thermoelements)
- Gießstrahlpyrometer lieferte nur nichtabgeglichene und daher nicht auswertbare Meßsignale der Verhältnistemperatur
- Maximale Temperaturen in der Edelstahlplatte

Mantel-Thermoelement		TE-Abstand von der Oberfläche mm	max. Temp. °C	Zeit nach Abstich s
Nr.	Werkstoff			
1	NiCr-Ni	20	> 1400	< 1
2	NiCr-Ni	20	> 1400	< 1
3	NiCr-Ni	6,5	> 1400	< 1
4	NiCr-Ni	6,5	> 1400	1

- Plattenangriff: . Gießstrahl durchdringt nach 14 s Beaufschlagungsdauer die Platte
. Durchbruchöffnung unrund $d_{\min}/d_{\max} = 58/70$ mm mit kraterartiger Randauswaschung s. Abb. 29



Neg. - Nr.: 133 / 30

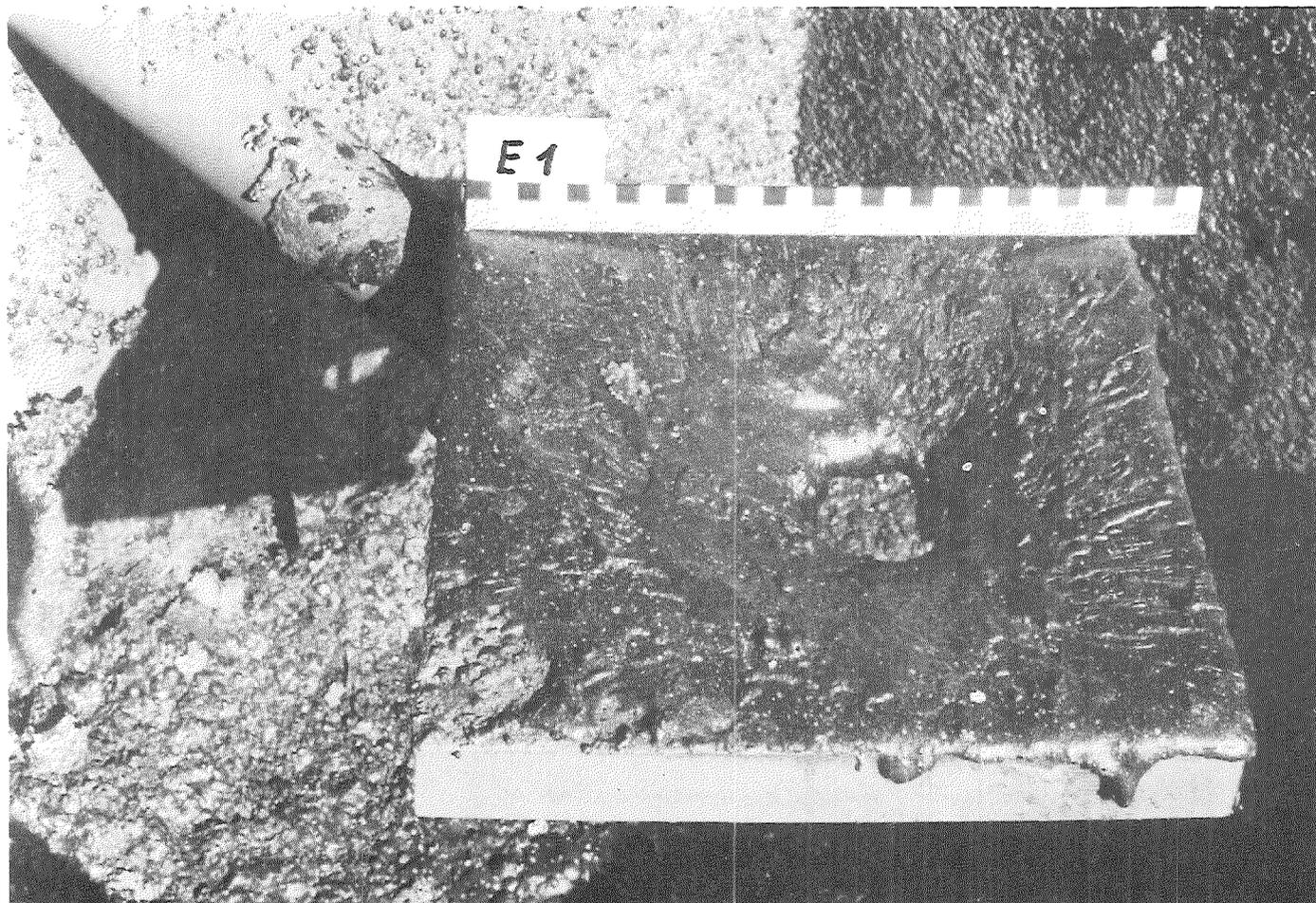
KIK

Test-Versuch Nr. E001

**Gesamtansicht der Versuchsanordnung
mit montierter Edelstahlplatte
(40mm dick)**

HIT 1991
18.02.05

Abb.:28



Neg. - Nr.: 133 / 56

Test-Versuch Nr. E001

Edelstahlplatte nach dem Versuch,
Anströmwinkel 90° (horizontal)

KIK

HIT 1991
18.02.05

Abb.:29

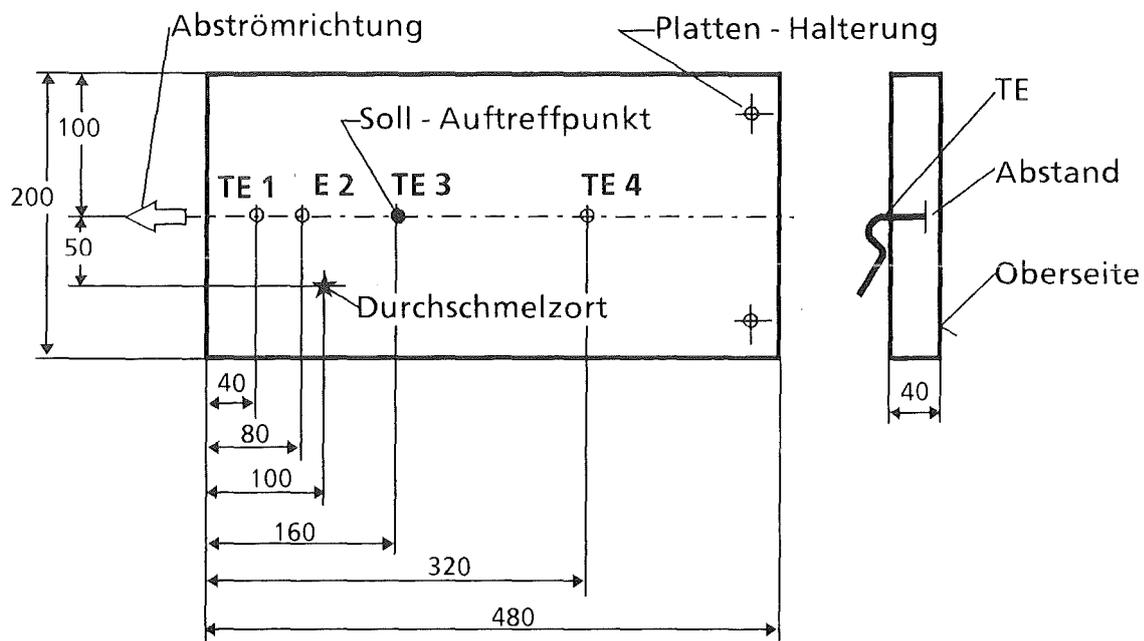
Zu Test-Versuch Nr. E002

Ziel:

Beaufschlagung einer 45° gegen die Horizontale geneigten Edelstahlplatte mit einem Eisen- und Oxidgießstrahl

Rand- und Anfangsbedingungen:

- Thermoelementinstrumentierte Edelstahlplatte L/B/D = 480 / 200 / 40 mm, Werkstoff Nr. 1.4571



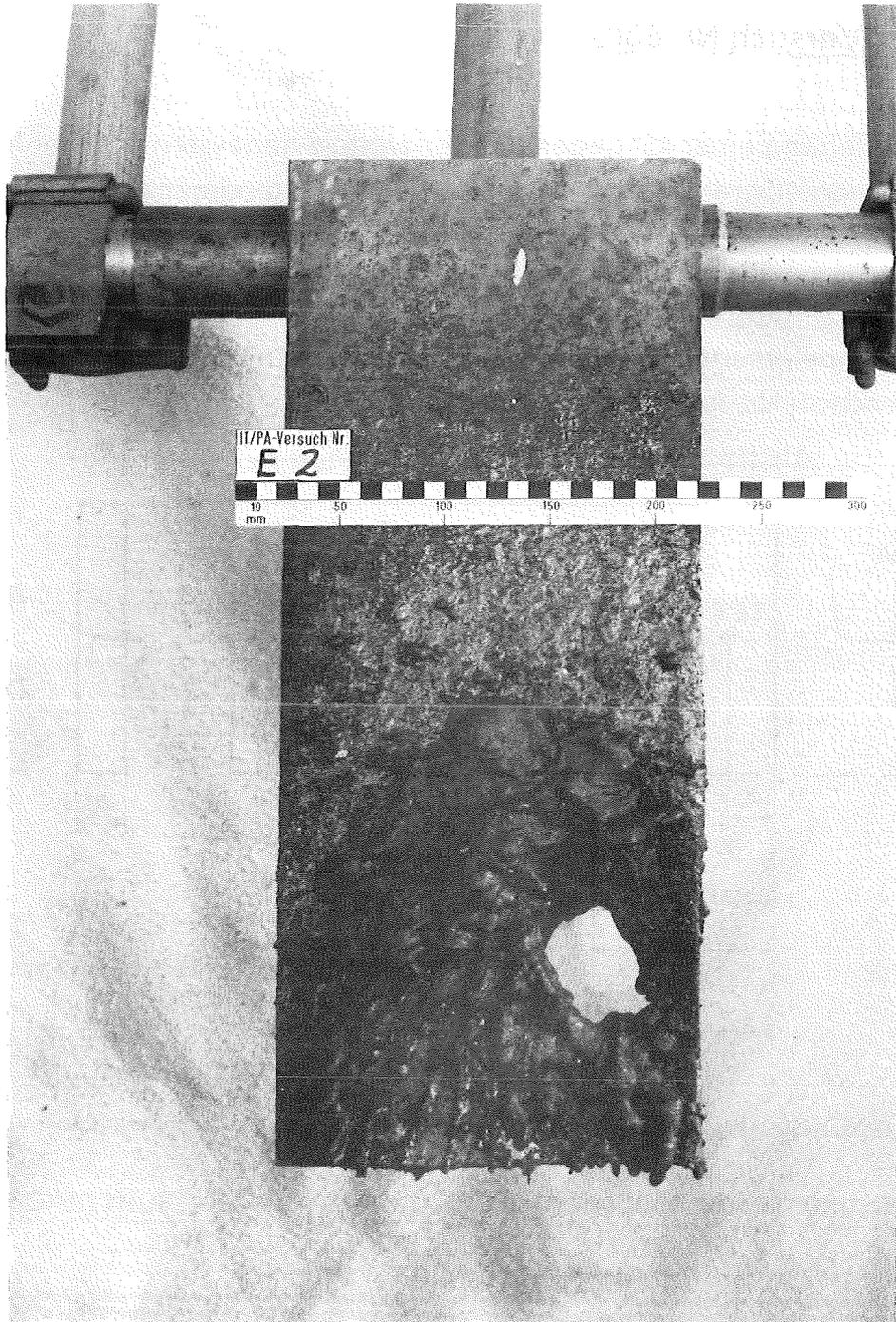
- Anströmwinkel 45° (d.h. Plattenneigung 45° zur Horizontalen)
- Durchmesser der Gießstrahlauslaufdüse 20 mm, Werkstoff MAGNESIT
- Abstand Auftreffpunkt-Düse (Fallhöhe) 1200 mm
- THERMIT-Masse / Type 100 kg/R 70 SSH
- Gießstrahlpyrometrierung 200 mm unter Düsenunterkante mit Spektralpyrometer Type TMR 32-d, der Fa. Dr.G. Maurer, Kohlberg, Meßwellenlänge $\lambda = 850 \text{ nm}$

Ergebnisse:

- Max. Pyrometeranzeige der Spektralen Strahlungstemperatur des Gießstrahls (oxidische Phase) 2200 °C
- Maximale Temperaturen in der Edelstahlplatte

Mantel-Thermoelement		TE-Abstand von der Oberfläche mm	max. Temp. °C	Zeit nach Abstich s
Nr.	Werkstoff			
1	NiCr-Ni	6,5	> 1400	6
2	NiCr-Ni	6,5	640	28
3	PtRh-Pt	6,5	552	9
4	NiCr-Ni	3,2	465	13

- Plattenangriff: . Gießstrahl durchdringt nach 7,3 s Beaufschlagungsdauer die Platte
. Durchbruchöffnung ca. 60 mm (unrund) s. Abb. 30



Neg. - Nr.: 137/63



Test-Versuch Nr. E002

Edelstahlplatte nach dem Versuch,
mit Anströmwinkel 45°

HIT 1991
18.02.05

Abb.:30

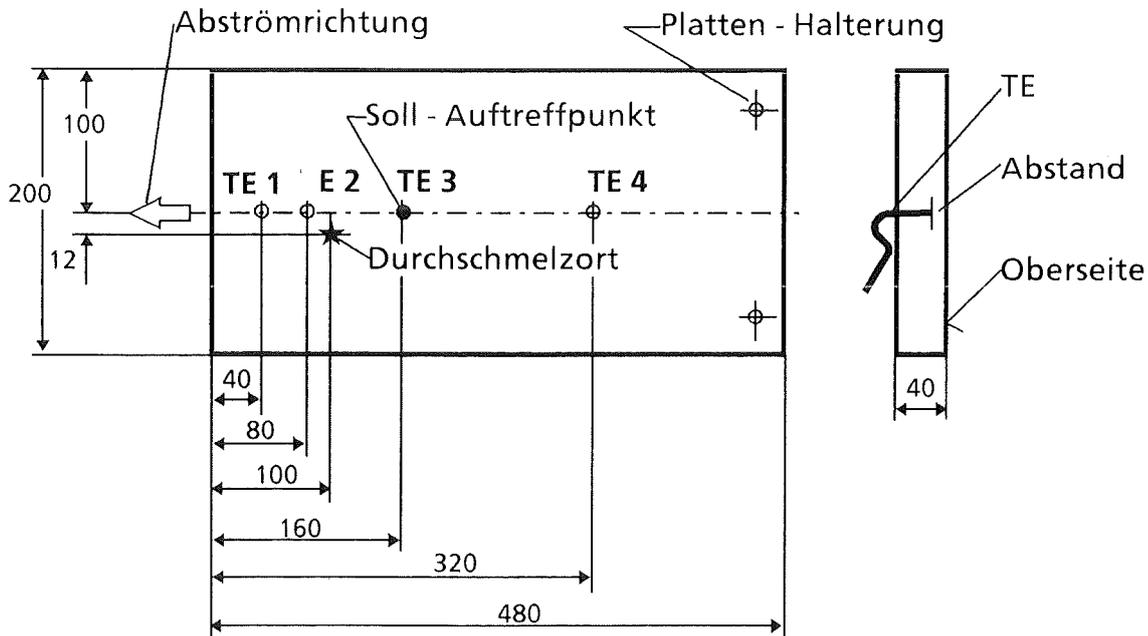
Zu Test-Versuch Nr. E003

Ziel:

Beaufschlagung einer 45° gegen die Horizontale geneigten Edelstahlplatte mit einem Oxidgießstrahl (Fehlversuch infolge unvollständiger Ableitung der Eisen-schmelze).

Rand- und Anfangsbedingungen:

- Thermoelementinstrumentierte Edelstahlplatte L/B/D = 480 / 200 / 40 mm, Werkstoff Nr. 1.4571



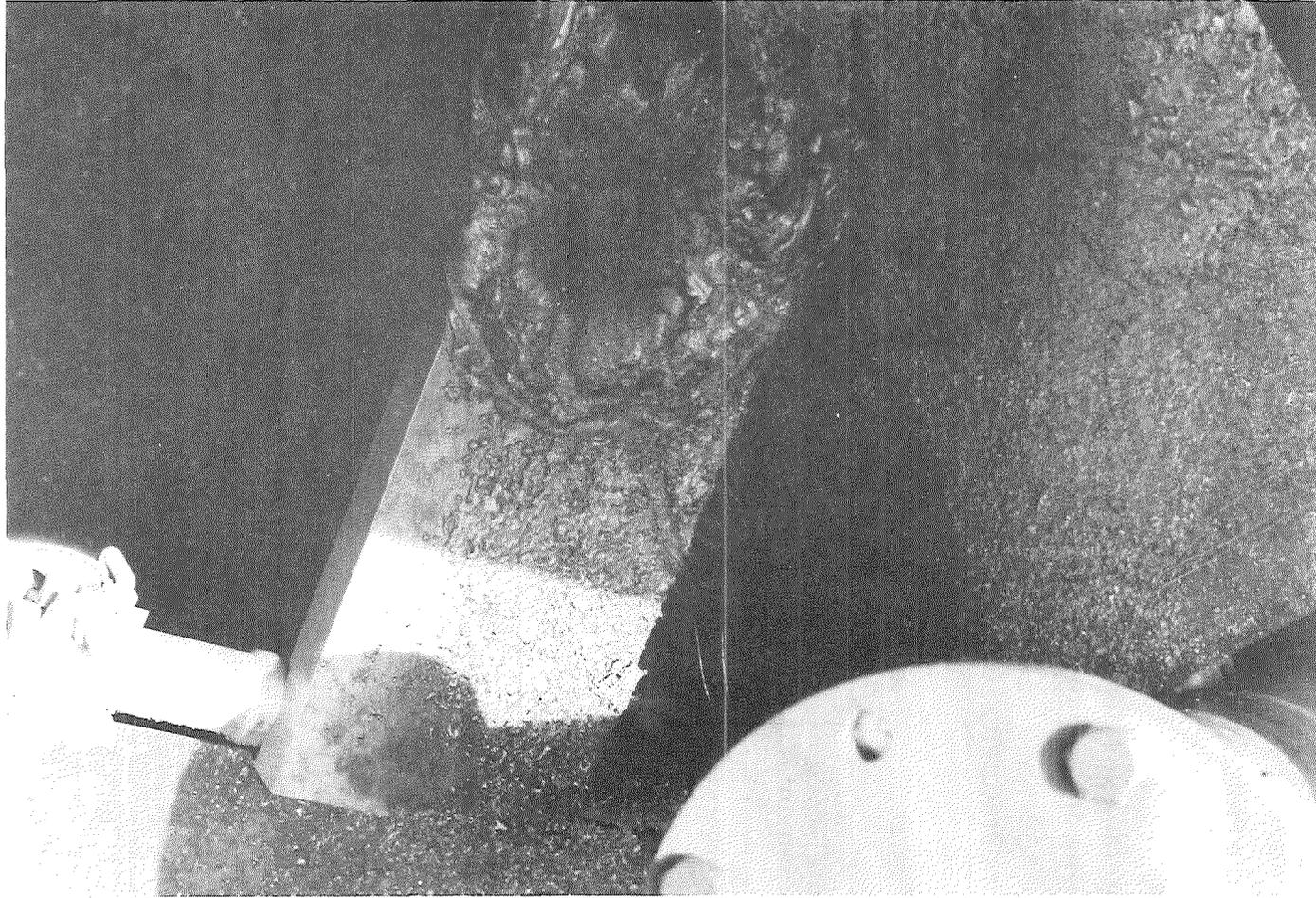
- Anströmwinkel 45° (d.h. Plattenneigung 45° zur Horizontalen)
- Durchmesser der Gießstrahlausflußdüse 20 mm, Werkstoff MAGNESIT
- Abstand Auftreffpunkt-Düse (Fallhöhe) 1200 mm
- THERMIT-Masse/Type 100 kg / R70 SSH
- Gießstrahlpyrometrierung 200 mm unter Düsenunterkante mit Spektralpyrometer Typ TMR32-d der Fa. Dr.G. Maurer, Kohlberg, Meßwellenlänge $\lambda = 850 \text{ nm}$
- Ableitung der Eisenphase über eine Schwenkrinne

Ergebnisse:

- Infolge eines vorzeitigen Wegschwenkens der Rinne zur Ableitung der Eisenphase wurde die Platte noch von einem Resteisengießstrahl getroffen und perforiert
- Max. Pyrometeranzeige der Spektralen Strahlungstemperatur des Gießstrahls (oxidische Phase) 2250 °C
- Maximale Temperaturen in der Edelstahlplatte

Mantel-Thermoelement		TE-Abstand von der Oberfläche mm	max. Temp. °C	Zeit nach Abstich s
Nr.	Werkstoff			
1	NiCr-Ni	6,5	> 1400	1
2	NiCr-Ni	6,5	> 1400	0,5
3	PtRh-Pt	6,5	1150	35
4	NiCr-Ni	3,2	150	50

- Plattenangriff: - Wegen zu frühem Wegschwenken der Strahlableitrinne wurde die Platte noch vom Resteisenstrahl getroffen und innerhalb von 3,04 s durchdrungen
 - . Durchbruchöffnung in der Platte unrund $d_{\min}/d_{\max} = 36/55$ mm, s. Abb. 31



Neg. - Nr.: 140 / 48

Test-Versuch Nr. E003

Edelstahlplatte nach dem Versuch,
mit Anströmwinkel 45°

KIK

HIT 1991
18.02.05

Abb.:31

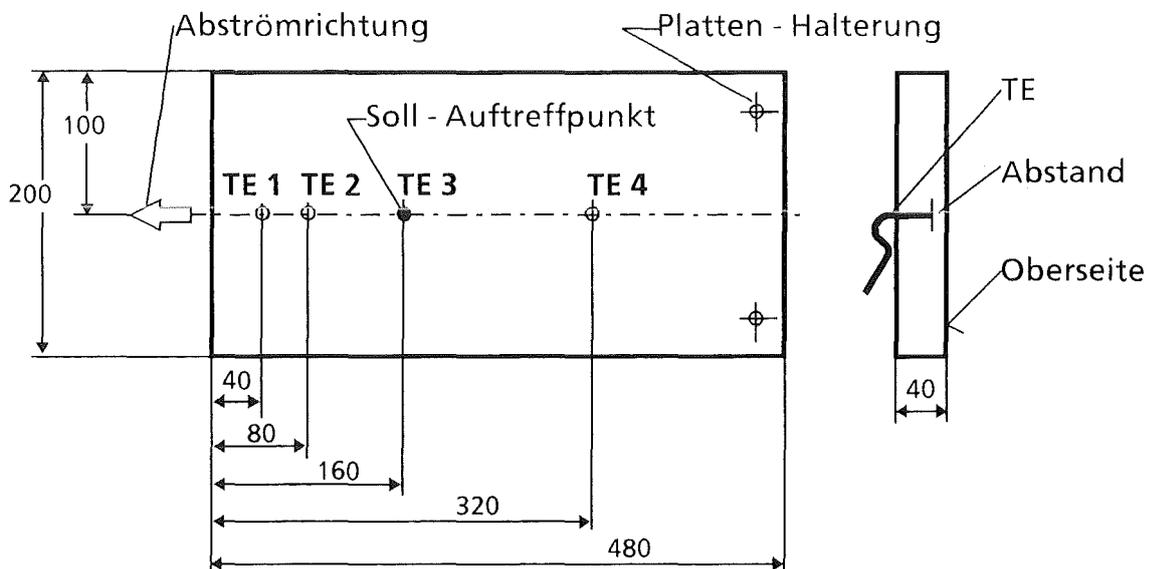
Zu Test-Versuch E004

Ziel:

Beaufschlagung einer 45° gegen die Horizontale geneigten Edelstahlplatte mit einem Oxidgießstrahl (Fehlversuch infolge Selbstabstich).

Rand- und Anfangsbedingungen:

- Thermoelementinstrumentierte Edelstahlplatte L/B/D = 480 / 200 / 40 mm
Werkstoff Nr. 1.4571



- Anströmwinkel 45° (d. h. Plattenneigung 45° zur Horizontalen)
- Durchmesser der Gießstrahlausflußdüse 20 mm, Werkstoff MAGNESIT
- Abstand Auftreffpunkt - Düse (Fallhöhe) 1200 mm
- THERMIT-Masse/Type 100 kg / R 70 SSH
- Gießstrahlpyrometrierung 200 mm unter Düsenunterkante mit Spektralpyrometer, Type TMR32-d der Fa. Dr.G.Maurer, Kohlberg, Meßwellenlänge $\lambda = 850 \text{ nm}$

Ergebnisse:

- Infolge Selbstabstich wurde die Ableitrinne für die Eisenphase zu spät, d. h. erst nachdem ein größerer Teil Oxidschmelze abgeleitet wurde, weggeschwenkt

Die Edelstahlplatte wurde somit nur mit einem Teil der ursprünglich verfügbaren Oxidschmelze beaufschlagt

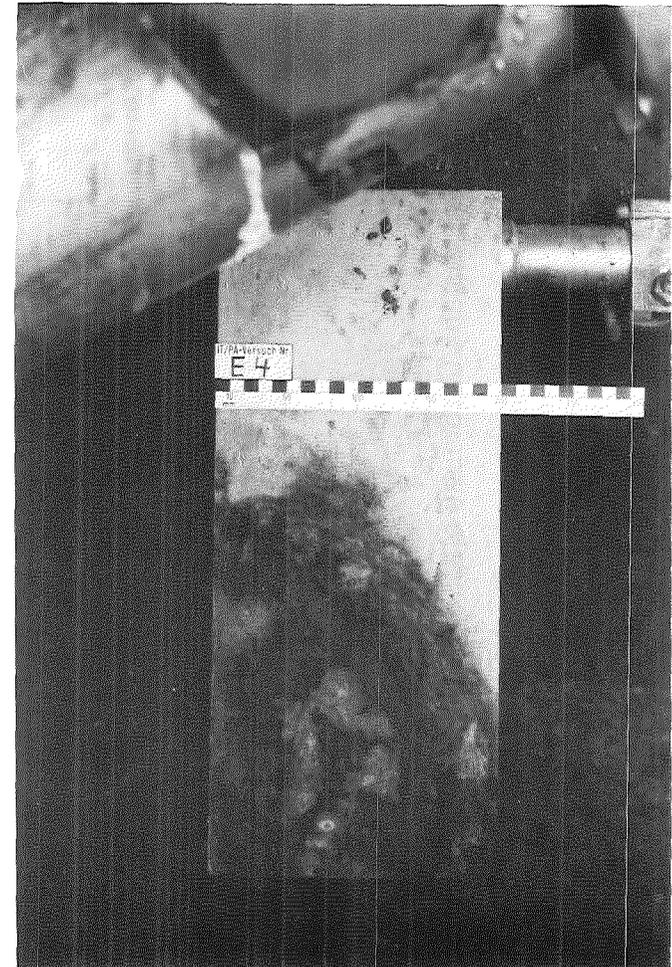
- Max. Pyrometeranzeige der Spektralen Strahlungstemperatur des Gießstrahls (oxidische Phase) ca. 2200 °C
- Maximale Temperaturen in der Edelstahlplatte

Mantel-Thermoelement		TE-Abstand von der Oberfläche mm	max. Temp. °C	Zeit nach Abstich s
Nr.	Werkstoff			
1	NiCr-Ni	6,5	504	23
2	NiCr-Ni	6,5	520	22
3	PtRh-Pt	6,5	250	30
4	NiCr-Ni	3,2	157	23

- Plattenangriff: Makroskopisch ist kein erosiver Plattenangriff infolge der rel. kurzzeitigen Einwirkungsdauer des oxidischen Gießstrahls erkennbar, s. Abb. 32



Neg. - Nr.: 141 / 16



Neg. - Nr.: 141 / 20

Test-Versuch Nr. E004

**Edelstahlplatte nach dem Versuch mit Oxid und nach
Entfernung des Oxids, Anströmwinkel 45°**

KIK

HIT 1991
18.02.05

Abb.:32

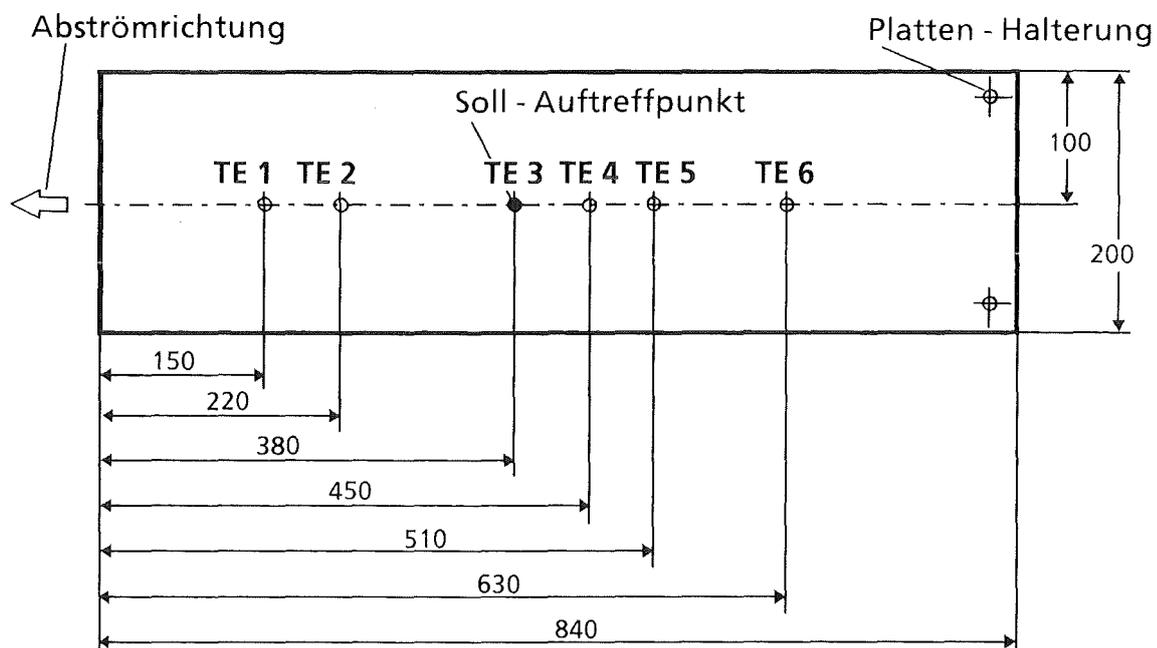
Zu Test-Versuch Nr. E005

Ziel:

Beaufschlagung einer 85° gegen die Horizontale geneigten Edelstahlplatte mit einem Eisen- und nachfolgenden Oxidgießstrahl.

Rand- und Anfangsbedingungen:

- Thermoelementinstrumentierte Edelstahlplatte L/B/D = 840 / 200 / 40 mm, Werkstoff Nr. 1.4571



- Anströmwinkel 5° (d.h. Plattenneigung 85° zur Horizontalen)
- Durchmesser der Gießstrahlausflußdüse 20 mm, Werkstoff MAGNESIT
- Abstand Auftreffpunkt-Düse (Fallhöhe) 1000 mm
- THERMIT-Masse/Type 100 kg / R 70 SSH
- Gießstrahlpyrometrierung 200 mm unter Düsenunterkante mit Spektralpyrometer, Type TMR32-d der Fa. Dr.G.Maurer, Kohlberg, Meßwellenlänge $\lambda = 850$ nm

Ergebnisse:

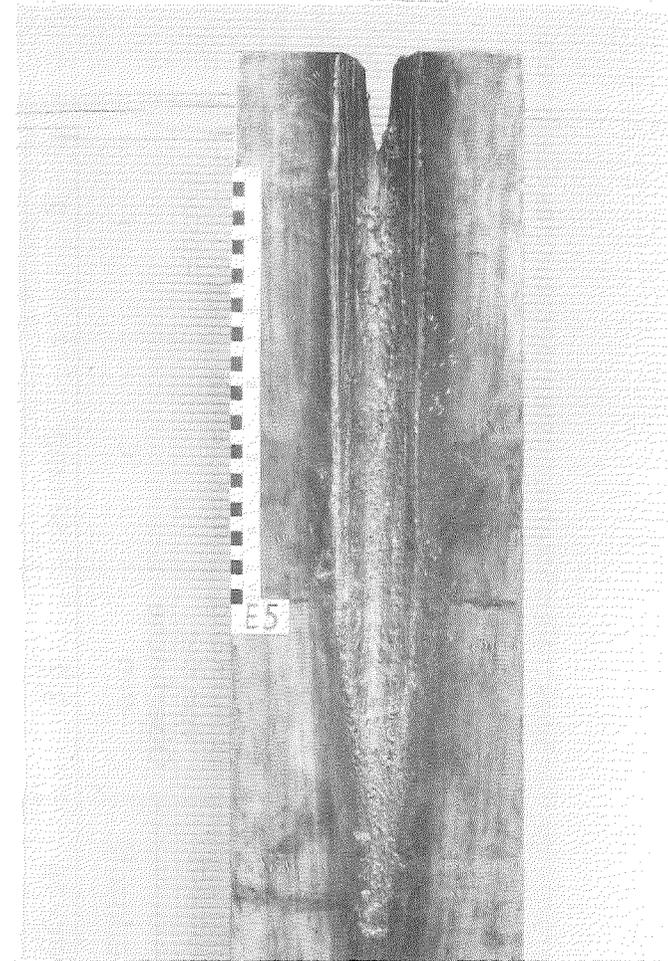
- Max. Pyrometeranzeige der Spektralen Strahlungstemperatur des Gießstrahles (oxidische Phase) 2200 °C
- Maximale Temperaturen in der Edelstahlplatte

Mantel-Thermoelement		TE-Abstand von der Oberfläche mm	max. Temp. °C	Zeit nach Abstich s
Nr.	Werkstoff			
1	NiCr-Ni	3,2	> 1400	2
2	NiCr-Ni	20	> 1400	6
3	NiCr-Ni	20	440	70
4	NiCr-Ni	3,2	> 1400	3
5	NiCr-Ni	20	260	100
6	NiCr-Ni	3,2	300	44

- Plattenangriff: - Wegen des sehr spitzen Anströmwinkels wäscht der metallische Gießstrahl zunächst einen Graben in der Platte aus und durchdringt diese am unteren Ende nach ca. 11s
 - Die so entstandene langgestreckte Auswaschung ist ab dem Auftreffpunkt kontinuierlich tiefer und spaltet die Platte an ihrem unteren Ende auf eine Länge von 55 mm, s. Abb. 33



Neg. - Nr.: 155/2



Neg. - Nr.: 155/8

Test-Versuch Nr. E005

Edelstahlplatte nach dem Versuch mit und nach Entfernung
der Schlacke, Anströmwinkel 5°

KIK

HIT 1991
18.02.05

Abb.:33

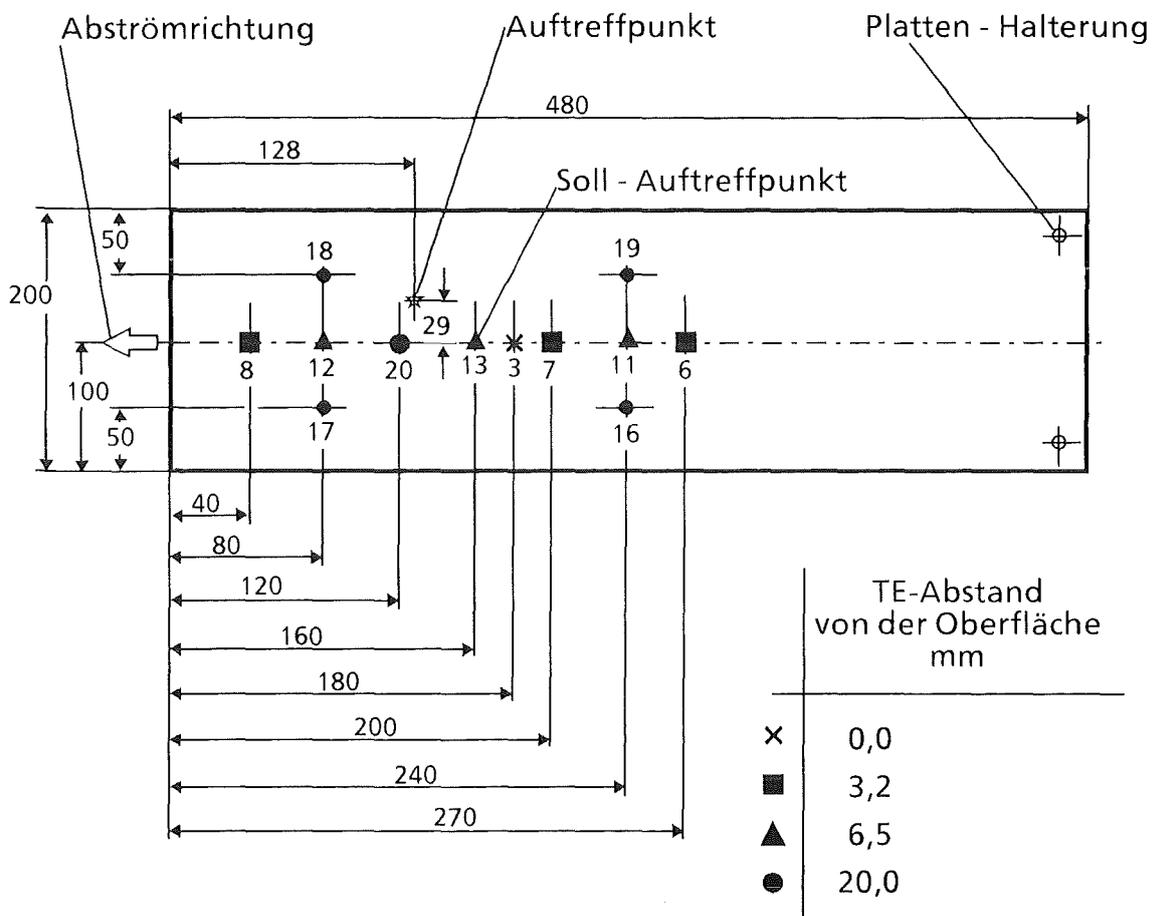
Zu Test-Versuch Nr. E006

Ziel:

Beaufschlagung einer auf 400 °C vorgeheizten, 45° gegen die Horizontale geneigten Edelstahlplatte mit einem Oxidgießstrahl.

Rand- und Anfangsbedingungen:

- Thermoelementinstrumentierte Edelstahlplatte L/B/D = 480/200/40 mm, Werkstoff Nr. 1.4571



- Anströmwinkel 45° (d.h. Plattenneigung 45° zur Horizontalen)
- Platte elektrisch vorgeheizt auf 400°C
- THERMIT-Masse/Type 100 kg/R70SSH
- Durchmesser der Gießstrahlausflußdüse 20 mm, Werkstoff MAGNESIT
- Abstand Auftreffpunkt-Düse (Fallhöhe) 1000 mm

- Gießstrahlpyrometrierung 200 mm unter Düsenunterkante mit Spektralpyrometer, Type TMR32-d der Fa. Dr.G.Maurer, Kohlberg, Meßwellenlänge $\lambda = 850 \text{ nm}$

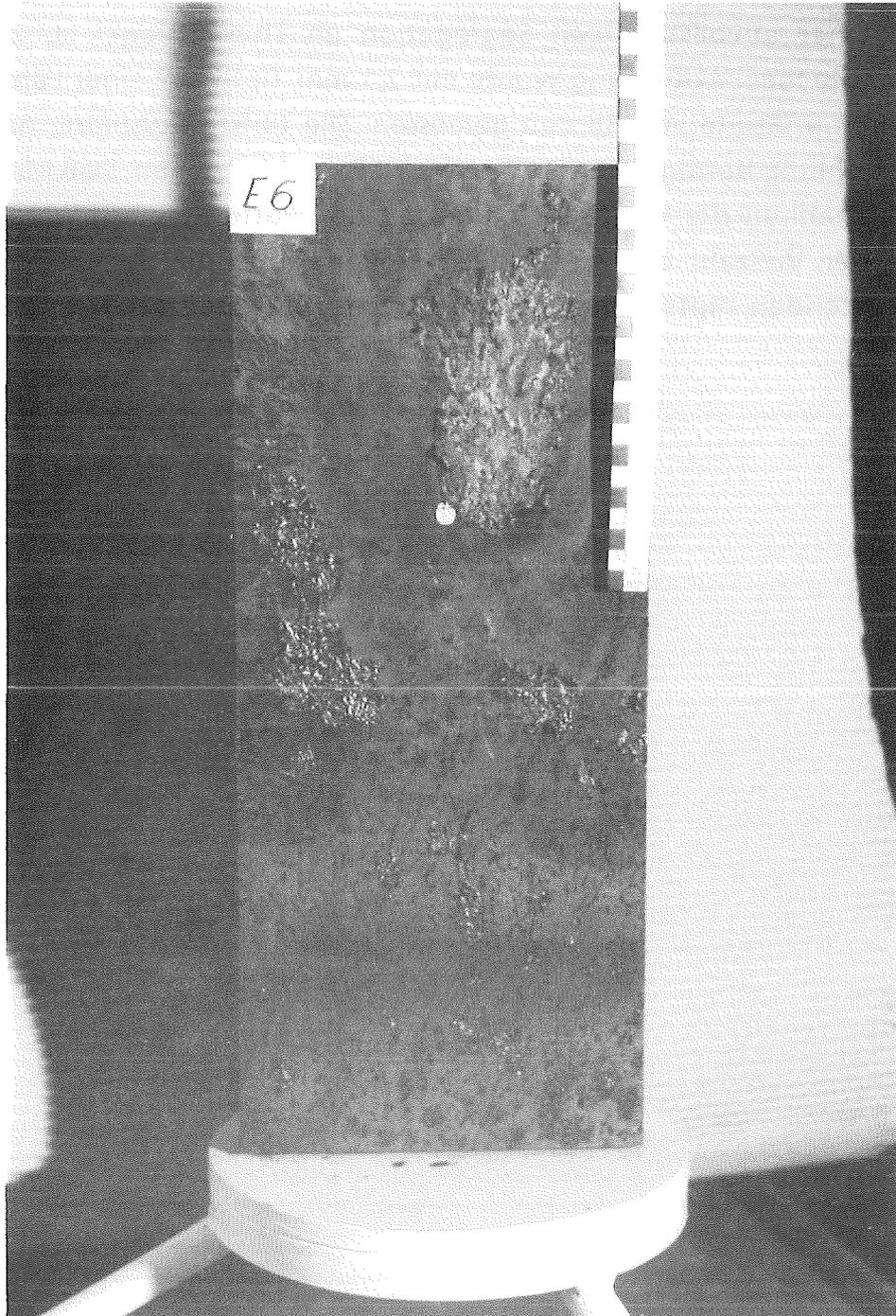
Ergebnisse:

- Beaufschlagungsdauer der Platte mit kompaktem Oxidgießstrahl ca. 21s
- Max. Pyrometeranzeige der Spektralen Strahlungstemperatur des Gießstrahls (oxidische Phase) 2122 °C
Die Gießstrahltemperatur lag am Ende des Ausflußvorganges mit Sicherheit nahe des Erstarrungspunktes, da im Tiegel eine nicht ausgeflossene, erstarrte Restoxidmenge von ca. 15 % verblieben ist
- Maximale Temperaturen in der Edelstahlplatte

Mantel-Thermoelemente Ø 1 mm		TE-Abstand von der Oberfläche mm	max. Temp. °C
Nr.	Werkstoff		
6	NiCr-Ni	3,2	426
7	NiCr-Ni	3,2	548
8	NiCr-Ni	3,2	724
11	NiCr-Ni	6,5	511
12	NiCr-Ni	6,5	650
13	NiCr-Ni	6,5	742
16	NiCr-Ni	20,0	417
17	NiCr-Ni	20,0	582
18	NiCr-Ni	20,0	832
19	NiCr-Ni	20,0	489
20	NiCr-Ni	20,0	634

- Plattenzustand nach dem Versuch:
Der oxidische Gießstrahl verursachte makroskopisch keine nennenswerten Auswaschungen in der Platte (Abb. 34). Die geringfügige Oberflächenabtragung, grübchenartige Aushöhlungen und Aufrauhung unterhalb des Auf-

treffpunktes, dürfte vornehmlich auf metallische Resteinschlüsse im Strahl aus einer unvollständigen Segregation im Thermittiegel zurückzuführen sein. Die max. Abtragung wurde mit 2,1 mm Tiefe auf einer Länge von ca. 65 mm u. Breite von 35 mm gemessen. Die tiefste singuläre, narbenartige Aushöhlung beträgt Länge x Breite x Tiefe = 14x8x2 mm. Daß Metallreste im Gießstrahl an der Wechselwirkung mit der Platte beteiligt waren, läßt sich aus der Vielzahl der außerhalb der Peripherie des Auftreffpunktes fest anhaftenden, metallischen Perlen, Spritzern u. Fladen schließen.



Neg. - Nr.: 159 / 22



Test-Versuch Nr. E006

**Edelstahlplatte nach dem Versuch
und nach Entfernung der Oxidkruste**

HIT 1991
18.02.05

Abb.:34

Zu Test-Versuch Nr. E007

Ziel:

Anhebung der Gießstrahltemperatur durch Vorheizung des THERMIT-Pulvers auf ca. 500 °C.

Rand- und Anfangsbedingungen:

- Elektrisch beheiztes Tiegelfutter mittels Mantelheizleiter an der Blecheinfassung des Tiegelfutters (Abb. 3 Hauptbericht)
- THERMIT-Type/Masse R 70 SSH/100 kg
- Verteilung der 6 NiCr-Ni-Mantelthermoelemente (\varnothing 1 mm) in der THERMIT-Pulverschüttung:
 - 3 Stück entlang einer Mantellinie an der Innenfläche des Tiegelfutters
 - 3 Stück entlang der Tiegelachse
- Die Heizleistung wurde so gesteuert, daß selbst die heißeste Stelle noch einen ausreichenden Abstand zum Aluminiumschmelzpunkt hatte
- Durchmesser der Gießstrahlausflußdüse 20 mm, Werkstoff MAGNESIT (Fa. Elektrothermit, Essen)
- Gießstrahlpyrometrierung 200 mm unter Düsenunterkante mit Spektralpyrometer, Type TMR 32-d der Fa. Dr.G.Maurer, Kohlberg, Meßwellenlänge $\lambda = 850$ nm

Ergebnisse:

- Die höchste Vorheiztemperatur im Beharrungszustand wurde an der tiefsten Stelle nahe der inneren Tiegelfutterwand mit 530 °C gemessen. An dieser Stelle ist die Heizleiterdichte am größten
- Die niedrigste Vorheiztemperatur im Beharrungszustand wurde in der Tiegelachse, nahe der Oberfläche der THERMIT-Pulverschüttung mit 405 °C gemessen
- Die mittlere Vorheiztemperatur des THERMIT-Pulvers betrug ca. 470 °C

- Maximale Pyromteranzeige der Spektralen Strahlungstemperatur des Gießstrahls (oxidische Phase) 2150 °C
- Fazit:
 - Eine Vorheizung des THERMIT-Pulvers führt nicht zur Anhebung des Temperaturniveaus des Gießstrahls
 - Als Ursache dafür wird die Begrenzung, bedingt durch die latente Verdampfungswärme beim Sieden des Aluminiums während der THERMIT-Reaktion angesehen

Zu Test-Versuch Nr. E008

Ziel:

Erprobung der Auswaschbeständigkeit einer Graphit-Ausflußdüse und Wiederholung der THERMIT-Pulvervorheizung zwecks Anhebung der Gießstrahltemperatur.

Rand- und Anfangsbedingungen:

- Gießstrahlausflußdüse \varnothing 20 mm aus elektrographitierter Kunstkohle Type EK41, Ringsdorf-Werke
- THERMIT-Type / Masse R 70 SSH/100 kg
- Verteilung der 6 Thermoelemente in der THERMIT-Pulverschüttung (s. E007)
- Gießstrahlpyrometrierung 200 mm unter Düsenunterkante mit Spektralpyrometer, Type TMR32-d der Fa. Dr.G.Maurer, Kohlberg, Meßwellenlänge $\lambda = 850$ nm

Ergebnisse:

- 32s nach der THERMIT-Zündung kommt es zum "Selbstabstich" (vorgesehener programmgemäßer Abstich 40s nach der Zündung)
- Die versuchsweise eingesetzte Graphit-Düse erfährt eine Aufweitung infolge Wechselwirkung mit dem Gießstrahl von ursprünglich \varnothing 20 mm auf \varnothing 37 mm an der engsten Stelle
Fazit: Wegen dieser starken Aufweitung durch den Gießstrahl ist das eingesetzte Graphit als Düsenwerkstoff wesentlich schlechter als MAGNESIT (s.E007) und daher für die Versuche untauglich
- Mittlere Vorheiztemperatur der THERMIT-Pulverschüttung zum Zeitpunkt der Zündung ca. 395 °C
- Maximale Pyromteranzeige der Spektralen Strahlungstemperatur des Oxidgießstrahls 2180 °C
- Es bestätigt sich abermals, daß mittels Vorheizung der THERMIT-Pulverschüttung keine Anhebung der Temperatur des Gießstrahls möglich ist (s. E007)

Zu Test-Versuch Nr. E009

Ziel:

Erprobung der Tauglichkeit einer Ausflußdüse aus ZrO₂-Feinkeramik mit vorgeheiztem THERMIT-Pulver.

Rand- und Anfangsbedingungen:

- Gießstrahlausflußdüse Ø 20 mm aus ZrO₂-Feinkeramik, Type ZR25, Fa. Friedrichsfeld, FRIALIT-DEGUSSIT, Mannheim
- THERMIT-Type/Masse R70 SSH/100 kg
- Verteilung der 6 Thermoelemente in der THERMIT-Pulverschüttung (s. E007)
- Gießstrahlpyrometrierung 200 mm unter Düsenunterkante mit Spektralpyrometer, Type TMR 32-d der Fa. Dr.G.Maurer, Kohlberg, Meßwellenlänge $\lambda = 850 \text{ nm}$

Ergebnisse:

- Wegen Fehlbedienung erfolgte der Abstich erst 120s nach der Thermitzündung, anstatt planmäßig nach ca. 40s
- Mittlere Vorheiztemperatur des THERMIT-Pulvers zum Zeitpunkt der Zündung ca. 470 °C
- Maximale Pyromteranzeige der Spektralen Strahlungstemperatur des Oxidgießstrahles 2050 °C

Das rel. niedrige Temperaturniveau ist auf die Abkühlung der Schmelze im Tiegel infolge des verspäteten, fehlbedienungsbedingten Abstichs zurückzuführen

- Der Düsendurchmesser wird durch den Gießstrahl von 20 auf 23 mm aufgeweitet. Die rel. geringe Aufweitung wird auf die niedrige Temperatur der Schmelze zurückgeführt

Zu Test-Versuch Nr. E010

Ziel:

Erprobung der Tauglichkeit einer Ausflußdüse aus MgO-Feinkeramik mit vorgeheiztem THERMIT-Pulver.

Rand- und Anfangsbedingungen:

- Gießstrahlausflußdüse \varnothing 20 mm aus MgO-Feinkeramik, Fa. Friedrichsfeld, FRIALIT-DEGUSSIT, Mannheim
- THERMIT-Type/Masse R70 SSH/100 kg
- Verteilung der 6 Thermoelemente in der THERMIT-Pulverschüttung (s. E007)
- Gießstrahlpyrometrierung 200 mm unter Düsenunterkante mit Spektralpyrometer, Type TMR 32-d der Fa. Dr.G.Maurer, Kohlberg, Meßwellenlänge $\lambda = 850$ nm
- WRe-Thermoelementmeßblanzen:
 - vertikal im THERMIT-Tiegel, Eintauchzeitpunkt 21s nach Abstich
 - horizontal im Gießstrahl, Eintauchzeitpunkt 11s nach Abstich

Ergebnisse:

- Abstich erfolgt nach ca. 42s durch Selbstabstich
- Mittlere Vorheiztemperatur des THERMIT-Pulvers zum Zeitpunkt der Zündung ca. 430 °C
- Maximale Pyrometeranzeige der Spektralen Strahlungstemperatur des Oxidgießstrahls wurde nicht gemessen wegen unbemerkter Fehlstellung der Pyrometeroptik
- Max. Temperaturanzeigen der WRe-Thermoelementmeßblanzen (Versagenspunkte):
 - im THERMIT-Tiegel 21s nach Abstich 2250 °C
 - im Gießstrahl 11s nach Abstich 2300 °C
- Düsendurchmesser wurde infolge Wechselwirkung mit dem Gießstrahl auf \varnothing 24 mm aufgeweitet

Fazit:

- Trotz der hohen Gießstrahltemperatur ist die Aufweitung der MgO-Düse nur unwesentlich größer als die der ZrO₂-Düse
- Wegen der geringeren Thermoschockempfindlichkeit werden in den nachfolgenden Versuchen nur Ausflußdüsen aus MgO-Feinkeramik verwendet

Zu Test-Versuch Nr. E011

Ziel:

Beaufschlagung einer dünnen, horizontalen Edelstahlplatte mit oxidischem Gießstrahl (Fehlversuch).

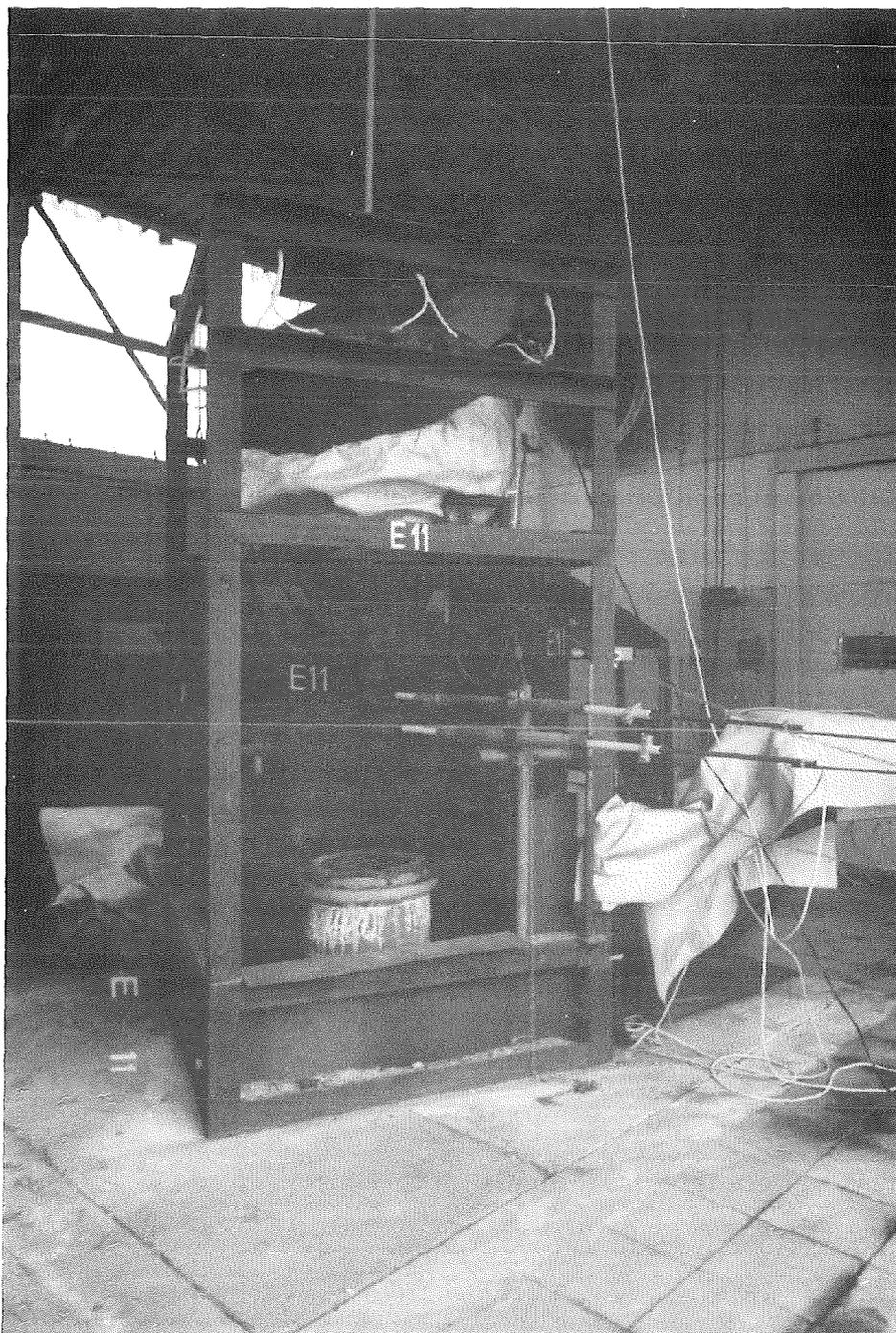
Rand- und Anfangsbedingungen: Abb. 35

- Nichtinstrumentierte Edelstahlplatte L/B/D = 250/250/5 mm, Werkstoff Nr. 1.4571
- Anströmwinkel 90° (d.h. horizontale Platte)
- Gießstrahlausflußdüse, \varnothing 20 mm aus MgO-Feink Keramik, Fa. Friedrichsfeld, FRIALIT-DEGUSSIT, Mannheim
- THERMIT-Type/Masse R 70 SSH/100 kg
- Verteilung der 6 Thermoelemente in der THERMIT-Pulverschüttung (s. E007)
- Gießstrahlpyrometrierung 200 mm unter Düsenunterkante mit Spektralpyrometer, Type TMR 32-d der Fa. Dr.G.Maurer, Kohlberg
Meßwellenlänge $\lambda = 850 \text{ nm}$
- WRe-Thermoelementmeßblanzen:
 - vertikal im THERMIT-Tiegel, Soll-Eintauchzeitpunkt 20s nach Abstich
 - horizontal für Eisengießstrahl, Soll-Eintauchzeitpunkt 10s nach Abstich
 - horizontal für Oxidgießstrahl, Soll-Eintauchzeitpunkt 30s nach Abstich
- Abstand Ausflußdüse-Platte 435 mm

Ergebnisse:

Fehlversuch, da kein Abstich möglich.

Vermutliche Ursache: Vorzeitiges Ausfrieren der Schmelze über dem Abstichstift.



Neg. - Nr.: 165 / 10



Test-Versuch Nr. E011

**Gesamtansicht der Versuchsanordnung
mit Edelstahlplatte 5mm dick und
W Re - Thermoelement - Meßblazen**

HIT 1991
18.02.05

Abb.:35

Zu Test-Versuch Nr. E012

Ziel:

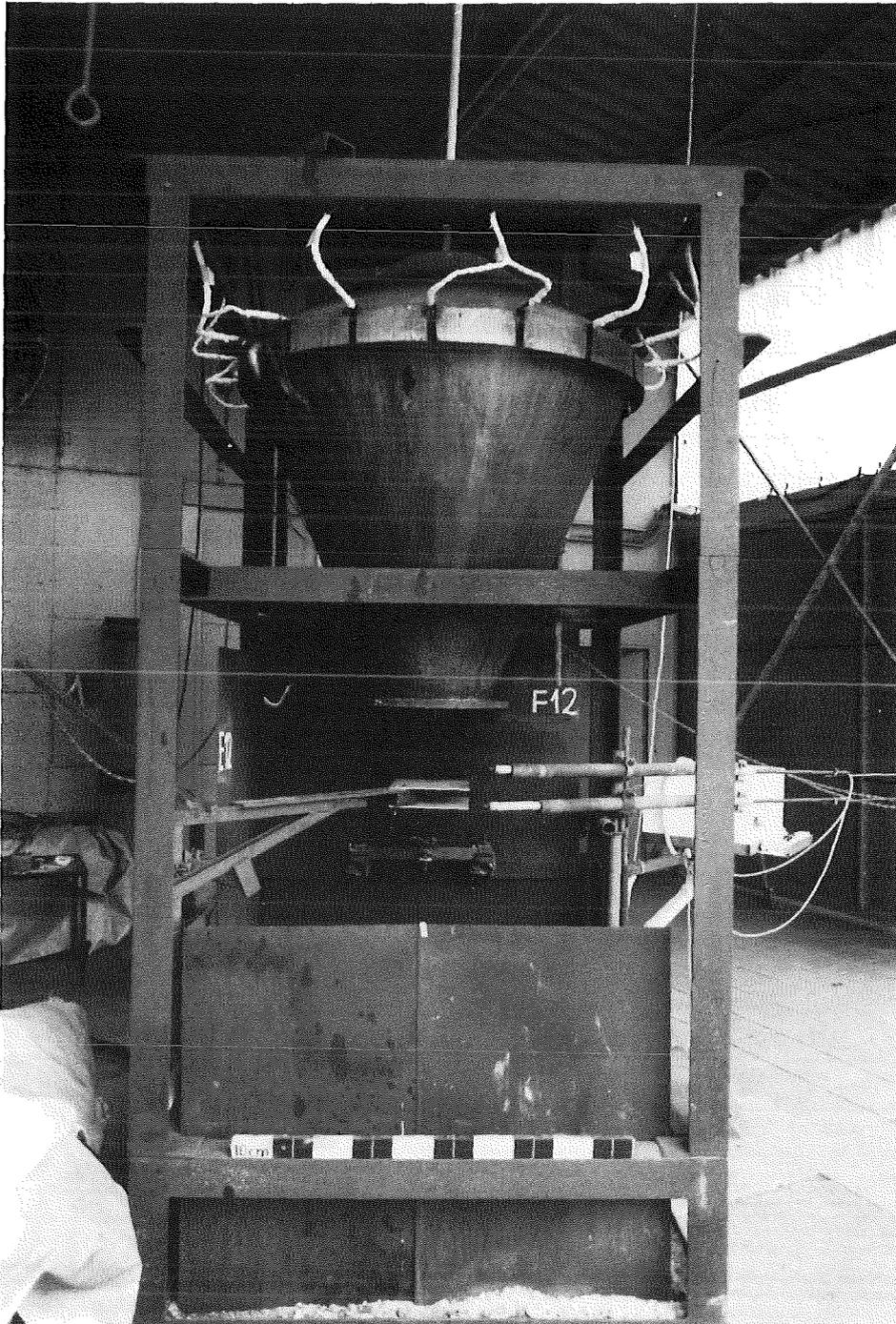
Beaufschlagung einer dünnen, horizontalen Doppelplattenanordnung mit oxidischem Gießstrahl und vorgeheiztem THERMIT-Pulver.

Rand- und Anfangsbedingungen:

- Nichtinstrumentierte Doppedelstahlplatten L/B/D = 250/250/5 mm, Werkstoff Nr. 1.4571, ausgeführt als zwei übereinander angeordnete planparallele Platten mit 50 mm Abstand
- Anströmwinkel 90° (horizontale Plattenanordnung), Abb. 36
- Gießstrahlausflußdüse, \varnothing 20 mm aus MgO-Feinkeramik, Fa. Friedrichsfeld, FRIALIT-DEGUSSIT, Mannheim
- Abstand Ausflußdüse-Platte 435 mm
- THERMIT-Type/Masse R 70 SSH/100 kg
- Mit Vorheizung des THERMIT-Pulvers
- Verteilung der 6 Thermoelemente in der THERMIT-Pulverschüttung (s. E007)
- Gießstrahlpyrometrierung 200 mm unter Düsenunterkante mit Spektralpyrometer, Type TMR 32-d der Fa. Dr.G.Maurer, Kohlberg, Meßwellenlänge $\lambda = 850$ nm
- WRe-Thermoelementmeßblanzen:
 - Lanze 1, horizontal für Eisengießstrahl
 - Lanze 2, horizontal für Oxidgießstrahl
 - Lanze 3, vertikal für Schmelze im Tiegel

Ergebnisse:

- Mittlere Vorheiztemperatur des THERMIT-Pulvers zum Zeitpunkt der Zündung ca. 500 °C
- Tiegelabstich 40s nach Zündung
- Maximale Pyrometeranzeige der Spektralen Strahlungstemperatur 2100 °C
- Maximale Anzeigen der WRe-Thermoelementmeßblanzen (Versagenszeitpunkt):
 - Lanze 1 5s nach Abstich im Eisengießstrahl 2300 °C



Neg. - Nr.: 165 / 16

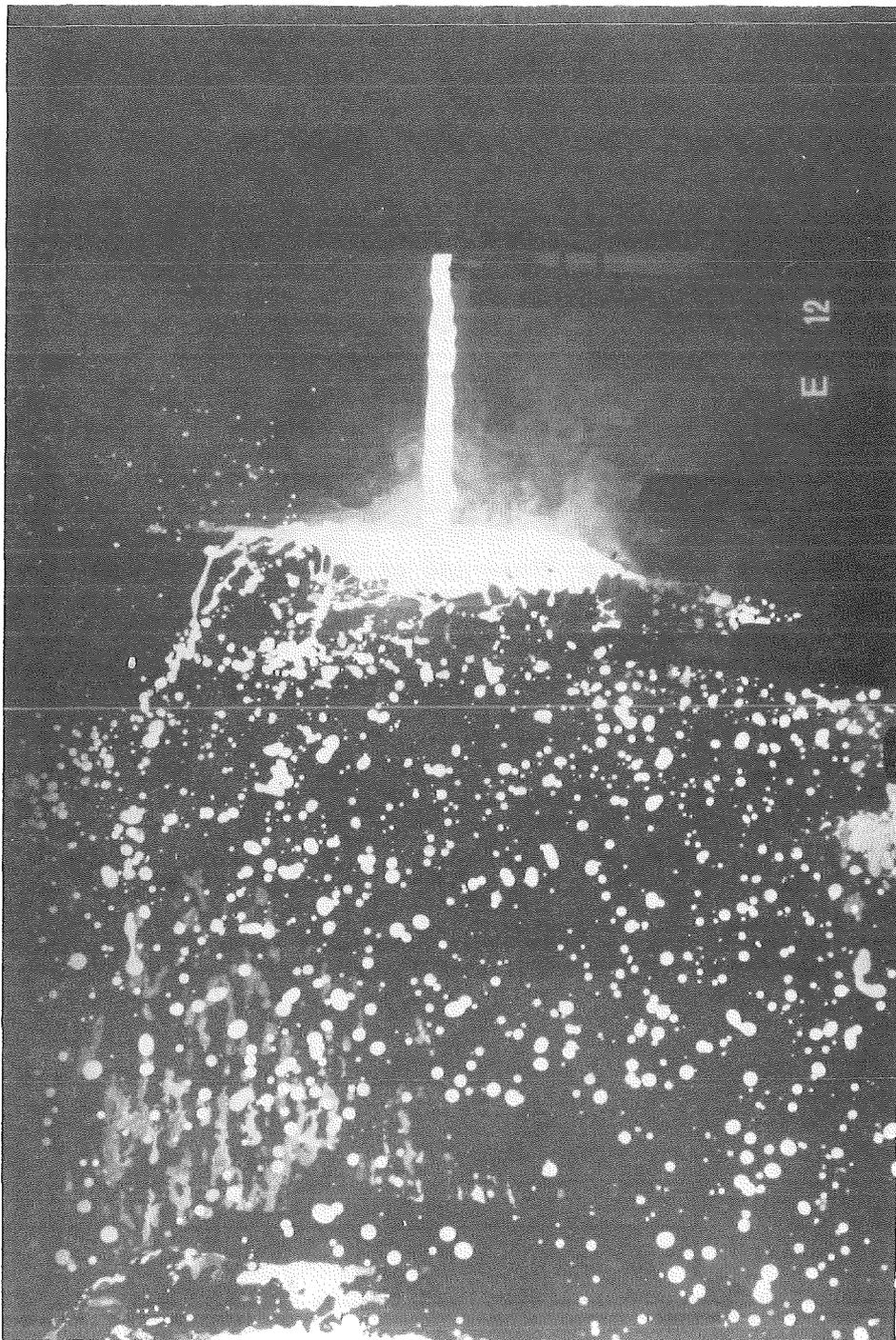


Test-Versuch Nr. E012

Gesamtansicht der Versuchsanordnung
mit eingeschwenkter Doppelplatte

HIT 1991
18.02.05

Abb.: 36



Neg. - Nr.: 166 / 30



Test-Versuch Nr. E012

Beaufschlagung der Doppelplatte
mit oxidischem Gießstrahl

HIT 1991
18.02.05

Abb.:37

- Lanze 2 17s nach Abstich im Oxidstrahl 1920 °C
- Lanze 3 29s nach Abstich im Tiegel 2100 °C
- Einschwenken der Plattenanordnung in den Oxidgießstrahl, 22s nach Abstich
- Im Bereich des Auftreffpunktes des Gießstrahls ist kein erosiver Angriff der 5 mm dicken Platte erkennbar
- Die starke Beschädigung der Platte an den Rändern wird auf einen Metallbrennschmelzvorgang in freier Luftatmosphäre infolge starker Erwärmung der Platten durch die abfließende Oxidschmelze zurückgeführt (s. Abb. 38 und 39)



Neg. - Nr.: 167 / 22



HIT 1991
18.02.05
Abb.:38

**Test-Versuch Nr. E012 Doppelplatte nach dem Versuch,
mit Oxidkruste**



→ 91 ←

Neg. - Nr.: 167 / 26

Test-Versuch Nr. E012

Draufsicht auf die obere Edelstahlplatte,
nach Entfernung der Oxidkruste



HIT 1991
18.02.05

Abb.:39

Zu Test-Versuch Nr. E013

Ziel:

Beaufschlagung einer dünnen, horizontalen Doppelplattenanordnung mit oxidischem Gießstrahl, ohne Vorheizung des THERMIT-Pulvers.

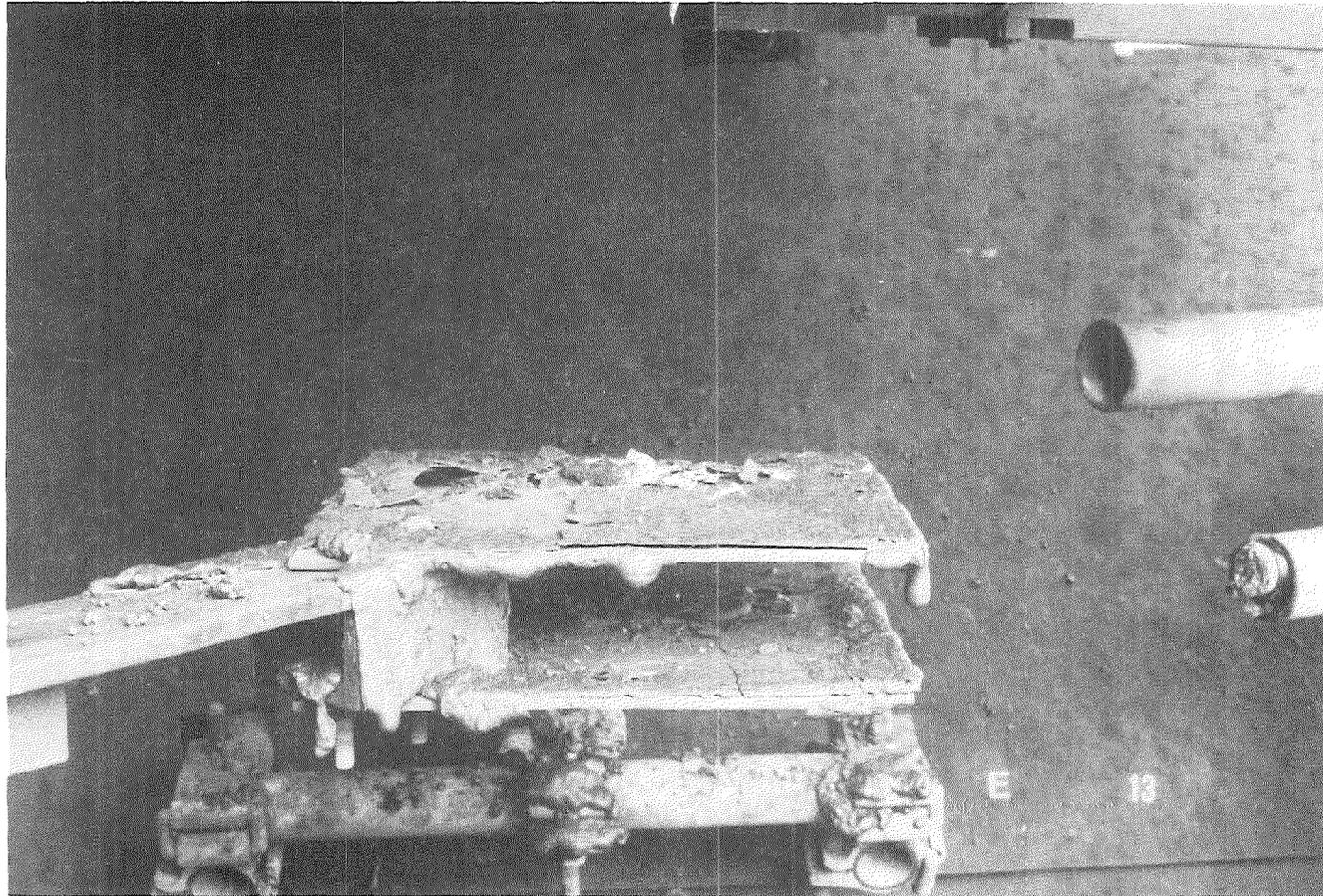
Rand- und Anfangsbedingungen:

- Nichtinstrumentierte Doppel-Edelstahlplatte L/B/D = 250/250/5 mm, Werkstoff Nr. 1.4571, ausgeführt als zwei übereinander angeordnete, parallele Platten mit 50 mm Abstand
- Anströmwinkel 90° (d.h. horizontale Plattenanordnung)
- Gießstrahlausflußdüse, Ø 20 mm aus MgO-Feink Keramik, Fa. Friedrichsfeld, FRIALIT-DEGUSSIT, Mannheim
- Abstand Ausflußdüse-Platte 475 mm
- THERMIT-Type/Masse R 70 SSH/100 kg
- Ohne Vorheizung des THERMIT-Pulvers, daher auch keine Thermoelementinstrumentierung in der Pulverschüttung
- Gießstrahlpyrometrierung 200 mm unter Düsenunterkante mit Spektralpyrometer, Type TMR 32-d der Fa. Dr.G.Maurer, Kohlberg, Meßwellenlänge $\lambda = 850 \text{ nm}$
- WRe-Thermoelementmeßblenzen:
 - Lanze 1 horizontal für Eisengießstrahl
 - Lanze 2 horizontal für Oxidgießstrahl

Ergebnisse:

- Tiegelabstich 40s nach Zündung
- Maximale Pyrometeranzeige der Spektralen Strahlungstemperatur 2160 °C
- Maximale Anzeigen der WRe-Thermoelementmeßblenzen (Versagenszeitpunkt):
 - Lanze 1 5s nach Abstich im Eisengießstrahl 2100 °C
 - Lanze 2 17s nach Abstich im Oxidstrahl 2200 °C
- Einschwenken der Plattenanordnung in den Oxidgießstrahl, 25s nach Abstich
- Nach 32s durchdringt der Gießstrahl die obere Platte (Abb. 41)
- Nach 39s durchdringt der Gießstrahl auch die untere Platte

- Die Platte zeigt im Bereich des ungleichförmigen Plattendurchbruchs keinerlei Randauswaschungen, die auf einen echten, erosiven Durchbruch schließen lassen. Als Grund für den Strahldurchbruch wird vielmehr die lokale Materialerweichung infolge Überschreitung der Solidustemperatur, verstärkt durch eine Metallverbrennung auf der Plattenunterseite angesehen
- Aufgrund dieser Perforation sind die Plattenränder weniger durch die abfließende Schmelze berührt worden und weisen deshalb auch kaum abgebrannte Stellen auf (Abb. 40)



Neg. - Nr. 168 / 30

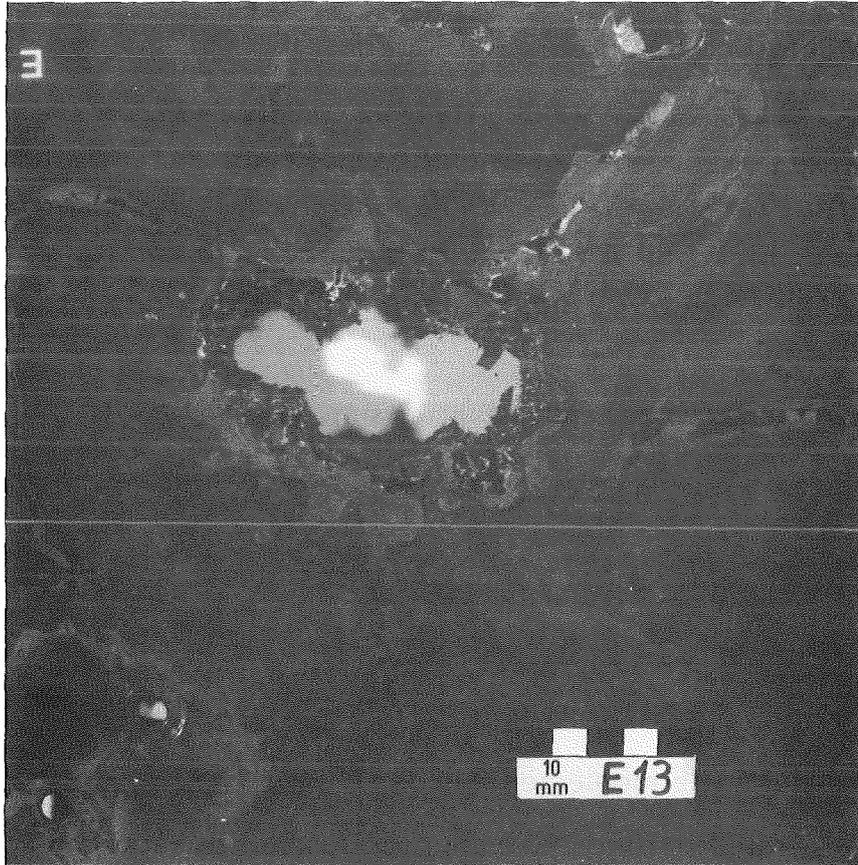
Test-Versuch Nr. E013

Doppelplatte nach dem Versuch, mit Oxidkruste



HIT 1991
18.02.05

Abb.:40



Neg. - Nr. 168 / 36



Test-Versuch Nr. E013

Draufsicht auf die obere Edelstahl-
platte, nach Entfernung der Oxid-
schicht

HIT 1991
18.02.05

Abb.:41

Zu Test-Versuch Nr. E014

Ziel:

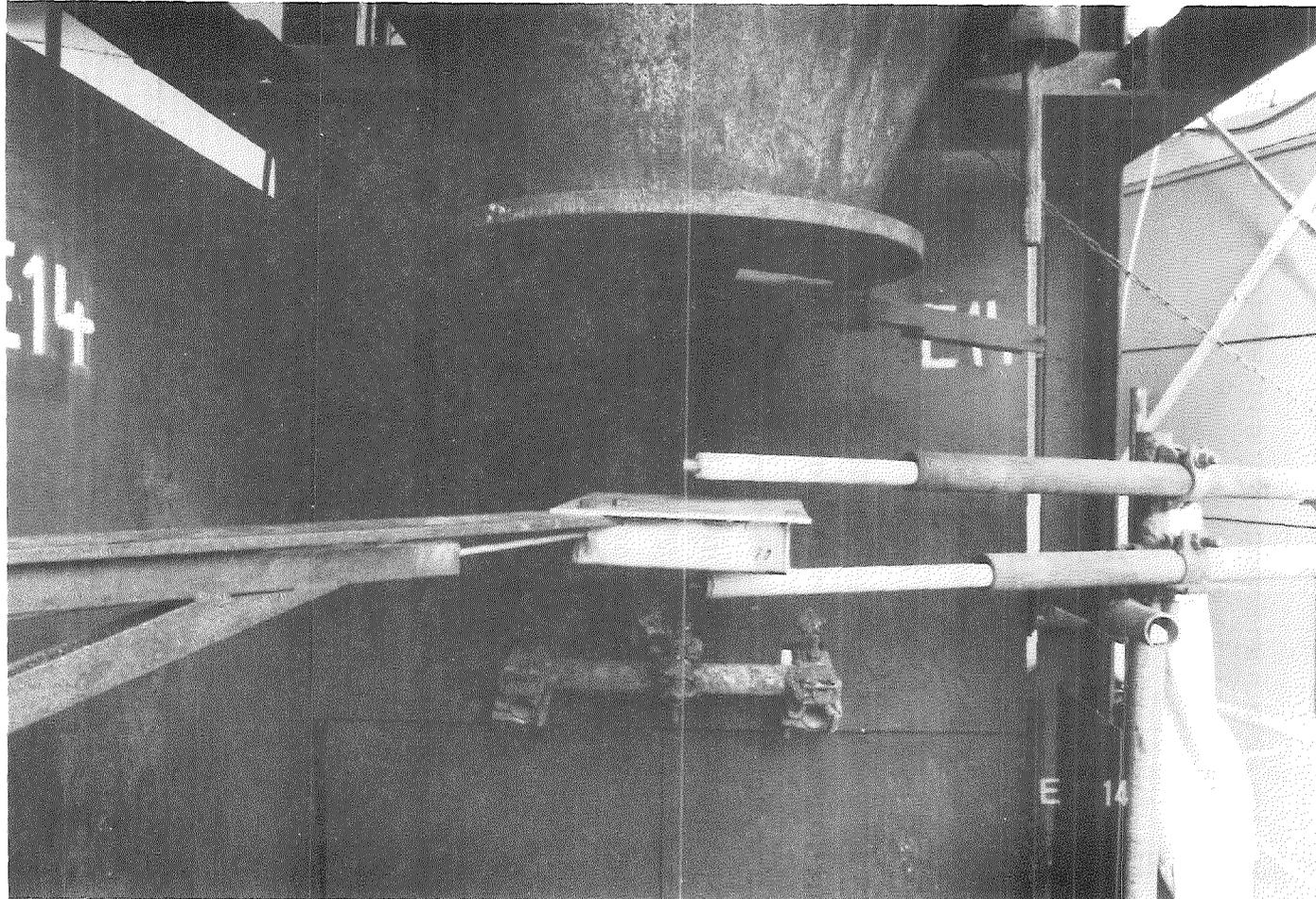
Beaufschlagung einer dünnen, horizontalen Plattenanordnung mit oxidischem Gießstrahl mit Vorheizung des THERMIT-Pulvers.

Rand- und Anfangsbedingungen:

- Nichtinstrumentierte Edelstahlplatte L/B/D = 250/250/5 mm, Werkstoff Nr. 1.4571. Unter diese Platte wurde eine quadratische Blechwanne mit 50 mm Zargenhöhe geschweißt, die mit der Platte einen geschlossenen Kasten bildet (Abb. 42). Zur Unterbindung einer Verbrennungsreaktion der Plattenunterseite wird dieser Kasten mit 25l/min Argon als Schutzgas quer durchspült
- Anströmwinkel 90° (horizontale Plattenanordnung)
- Gießstrahlausflußdüse, \varnothing 20 mm aus MgO-Feinkeramik, Fa. Friedrichsfeld, FRIALIT-DEGUSSIT, Mannheim
- Abstand Ausflußdüse-Platte 480 mm
- THERMIT-Type/Masse R 70 SSH/100 kg
- Mit Vorheizung des THERMIT-Pulvers
- Verteilung der 6 Thermoelemente in der THERMIT-Pulverschüttung (s. E007)
- Gießstrahlpyrometrierung 200 mm unter Düsenunterkante mit Spektralpyrometer, Type TMR 32-d der Fa. Dr.G.Maurer, Kohlberg, Meßwellenlänge $\lambda = 850$ nm
- WRe-Thermoelementmeßblanzen:
 - Lanze 1 horizontal für Eisengießstrahl
 - Lanze 2 horizontal für Oxidgießstrahl
 - Lanze 3 vertikal für Schmelze im Tiegel, fest eingebaut

Ergebnisse:

- Mittlere Vorheiztemperatur des THERMIT-Pulvers zum Zeitpunkt der Zündung ca. 500 °C
- Nicht programmgemäßer Selbstabstich nach 30s
- Maximale Pyrometeranzeige der Spektralen Strahlungstemperatur 2160 °C



Neg. - Nr.: 170 / 15

Test-Versuch Nr. E014

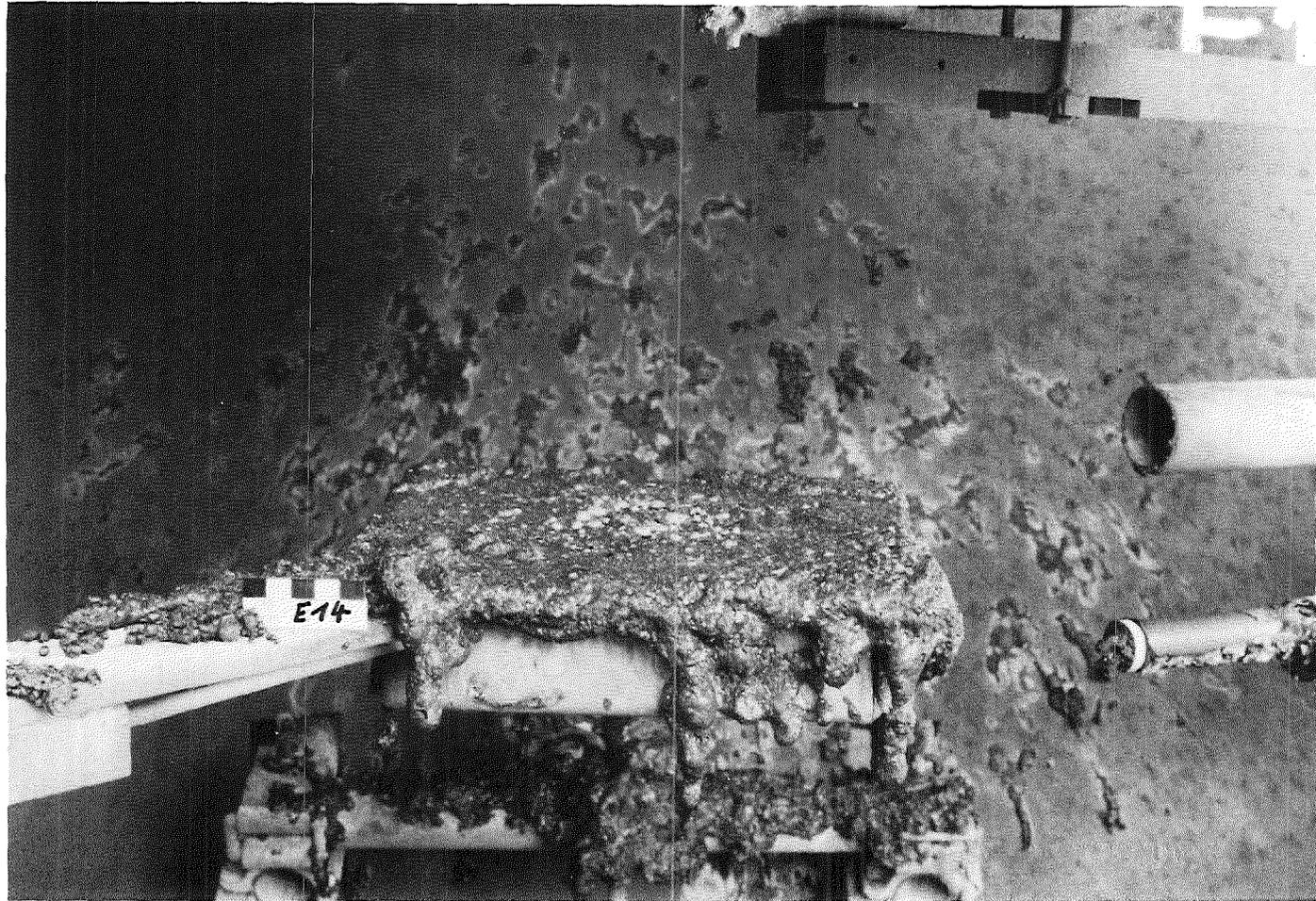
**Seitenansicht der Edelstahlplatte mit dem
Schutzgas-Spülkasten auf der Unterseite**

KfK

HIT 1991
18.02.05

Abb.:42

- Maximale Anzeigen der WRe-Thermoelementmeßblenzen (Versagenszeitpunkt):
 - Lanze 1 5s nach Abstich im Eisengießstrahl (Gießstrahl verfehlt) keine Anzeige
 - Lanze 2 19s nach Abstich im Oxidgießstrahl 2500 °C
 - Lanze 3 50s nach Zündung 2300 °C
- Einschwenken der Plattenanordnung in den Oxidgießstrahl, 23s nach Abstich
- Keine Durchdringung der Plattenanordnung während der Beaufschlagungsdauer erkennbar
- Nach Entfernen der Oxidkruste (Abb. 43) nach dem Versuch ist nahe dem Gießstrahlauftreffpunkt kein erosionsbedingter Plattenangriff feststellbar
Lediglich am Auftreffpunkt selbst ist eine kleine Öffnung in der Platte durch Abtropfen von lokal erweichtem Material entstanden, Abb. 44. Auch hier sind ähnlich wie in Versuch Nr. E012 die Plattenränder, über welche die Schmelze abgelaufen ist, stark abgebrannt



Neg. - Nr.: 171/3

Test-Versuch Nr. E014

Plattenanordnung nach dem Versuch,
mit Oxidkruste

kf

HIT 1991
18.02.05

Abb.:43



Neg. - Nr.: 173 / 1



Test-Versuch Nr. E014

Draufsicht auf die Edelstahlplatte
(5mm dick) nach entfernen der Oxid-
kruste

HIT 1991
18.02.05

Abb.:44

Zu Test-Versuch Nr. E015

Ziel:

Echterprobung der kompletten Versuchseinrichtung nach der Umrüstung auf elektropneumatische Betätigung aller Bewegungsabläufe.

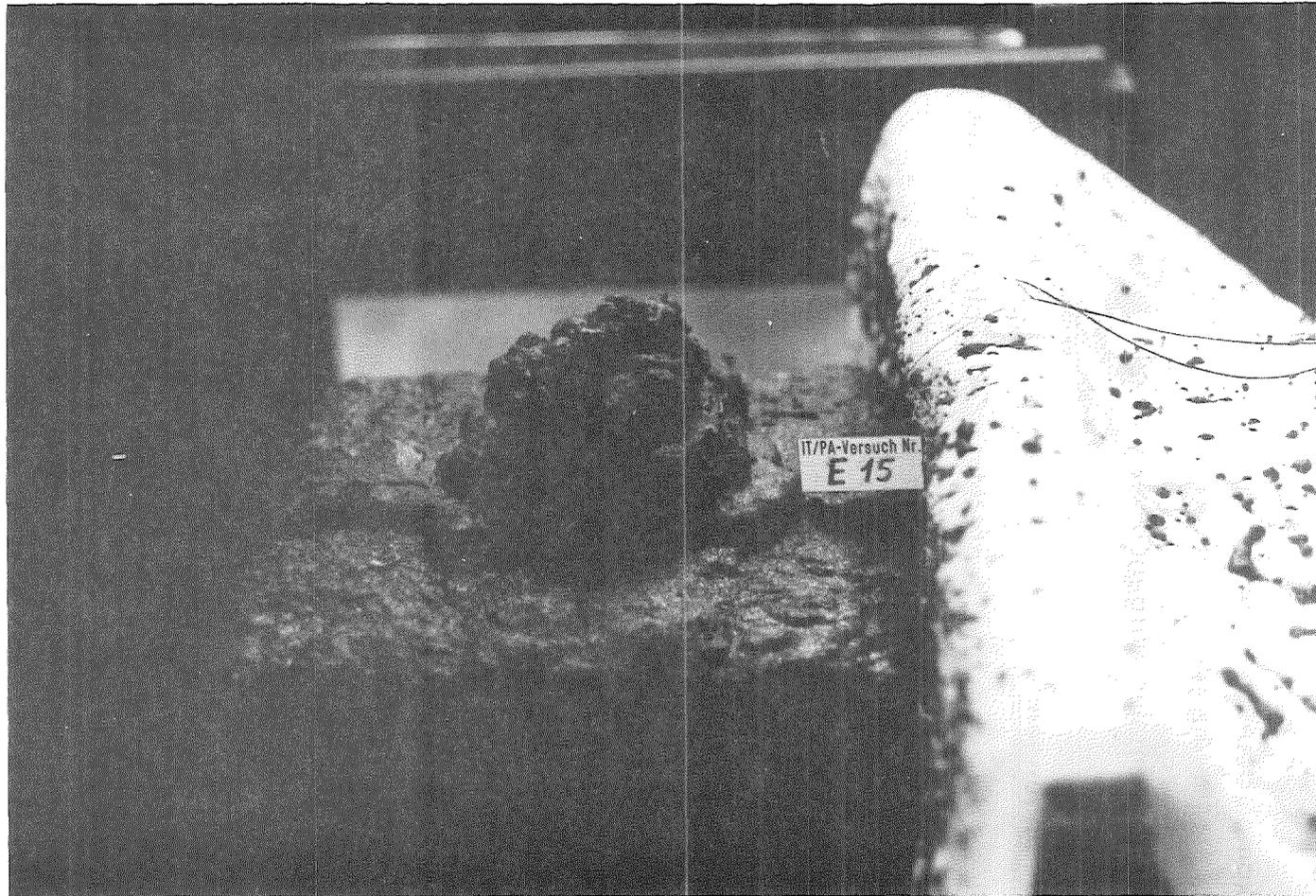
Beaufschlagung einer horizontalen, vorgeheizten Edelstahlplatte mit oxidischem Gießstrahl.

Rand- und Anfangsbedingungen:

Alle Bedingungen dieses Versuches sind identisch mit den Bedingungen des Hauptversuches E018.

Ergebnisse:

- Maximale Pyrometeranzeige der Spektralen Strahlungstemperatur 1740 °C
- Maximale Thermoelementanzeige der Plattentemperatur in unmittelbarer Nähe des Gießstrahlauftreffpunktes 1220 °C
- Die niedrige Gießstrahltemperatur führt zu einer raschen Erstarrung und einer hohen Krustenaufdürmung auf der Platte, Abb. 45
- Nach Entfernen der Kruste ist kein erosiver Angriff der Platte durch den Gießstrahl erkennbar, Abb. 46
- Aufgrund der viel zu niedrigen Gießstrahltemperatur wurde auf eine detaillierte Versuchsauswertung verzichtet



Neg. - Nr.: 177/2

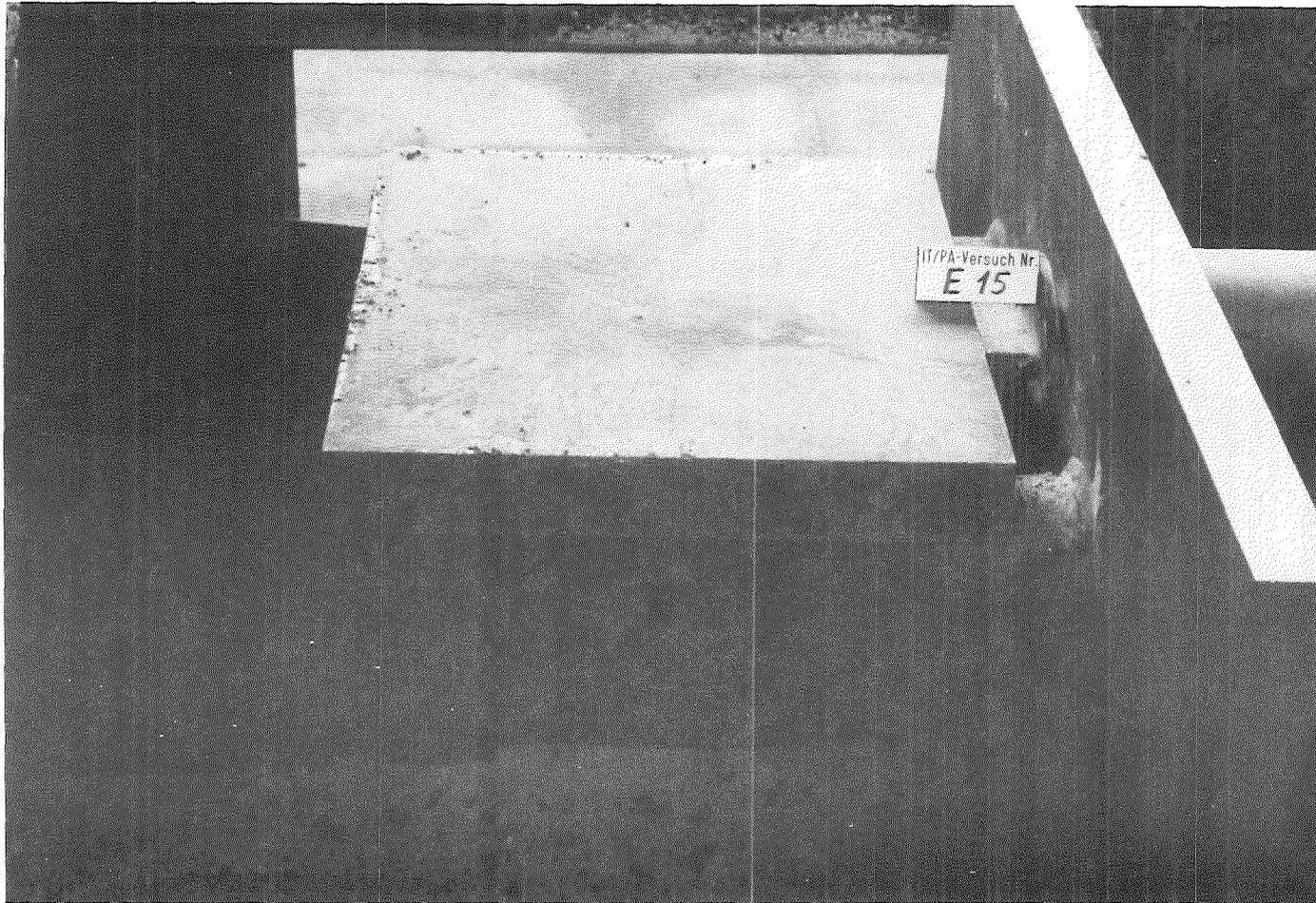
Test-Versuch Nr. E015

**Edelstahlplatte nach dem Versuch ,
mit Oxidkrustenaufbau**



HIT 1991
18.02.05

Abb.:45



Neg. - Nr.: 177/1

Test-Versuch Nr. E015

Edelstahlplatte nach dem Versuch und
nach Entfernung der Oxidkruste

kf

HIT 1991
18.02.05

Abb.:46

Zu Test-Versuch Nr. E016

Ziel:

Beaufschlagung einer horizontalen, vorgeheizten Edelstahlplatte mit oxidischem Gießstrahl (Fehlversuch).

Rand- und Anfangsbedingungen:

s. Hauptversuch Nr. E018

Ergebnisse:

- Platte konnte nicht mit Oxidstrahl beaufschlagt werden, da Rinne zur Ableitung des Eisenstrahls blockierte und nicht verfahren werden konnte

Zu Test-Versuch Nr. E017

Ziel:

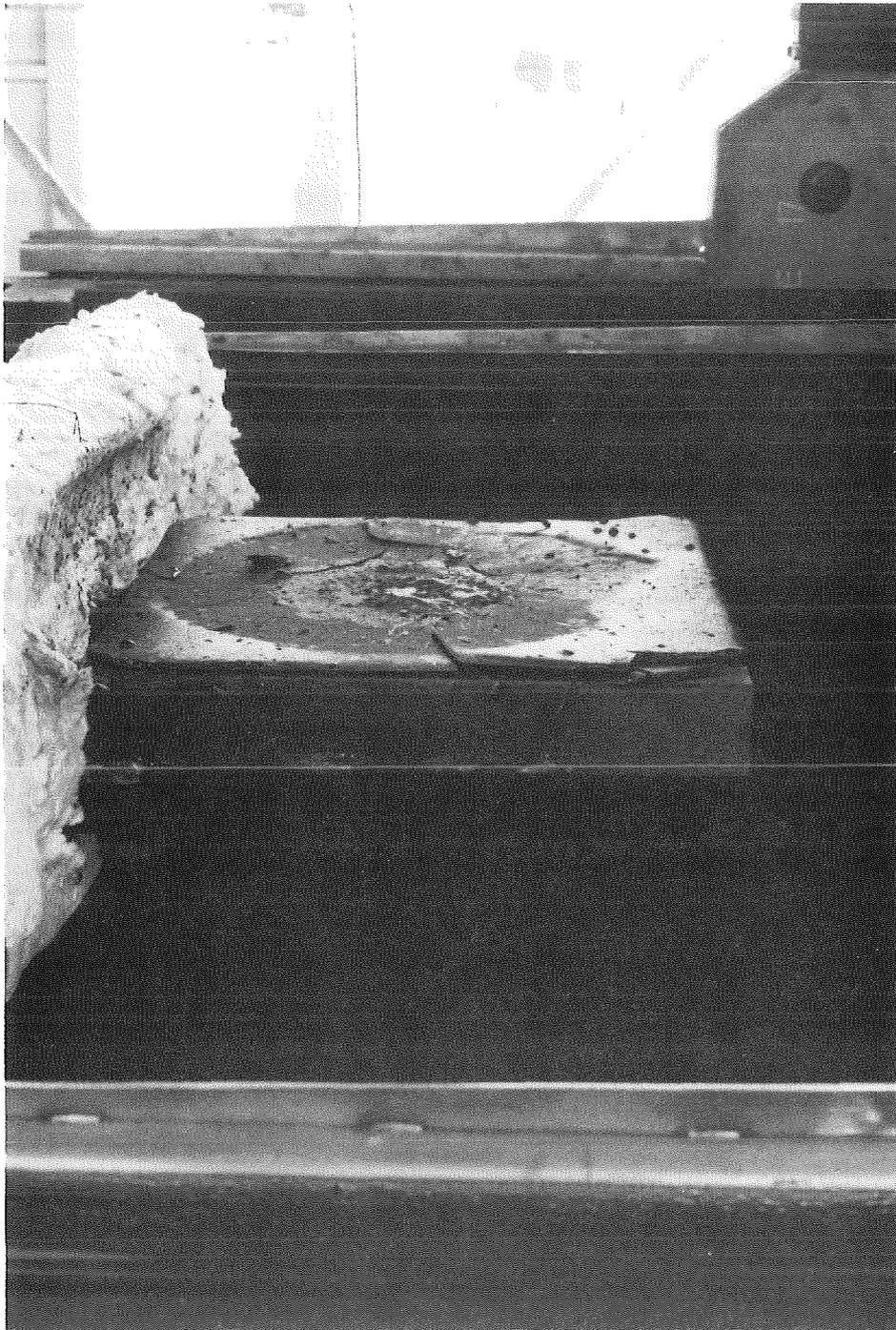
Beaufschlagung einer horizontalen, vorgeheizten Edelstahlplatte mit oxidischem Gießstrahl (Fehlversuch).

Rand- und Anfangsbedingungen:

s. Hauptversuch Nr. E018

Ergebnisse:

- Schmelze beginnt bereits 2s vor dem planmäßigen Abstich durch Selbstabstich auszulaufen
- Wegen technischer Fehler an der Pneumatik ließ sich die Strahableitrinne viel zu spät fortbewegen
- Daher betrug die Beaufschlagungsdauer der Platte mit oxidischem Gießstrahl nur ca. 3s (anstatt erwartungsgemäß > 20s)
- Maximale Pyrometeranzeige der Spektralen Strahlungstemperatur 2100 °C
- Maximale Thermoelementanzeige der Plattentemperatur in unmittelbarer Nähe des Gießstrahlauftreffpunktes 1150 °C
- Nur eine dünne, kaum anhaftende Oxidkruste bedeckt die Plattenoberfläche, (Abb. 47)
- Da sowohl die Edelstahlplatte als auch die Thermoelemente völlig intakt geblieben sind, ist eine Wiederverwendung möglich
- Aufgrund der Verfehlung des Versuchszieles, nämlich ausreichend lange Beaufschlagungsdauer der Platte mit oxidischem Gießstrahl, muß der Versuch wiederholt werden, um den Erfordernissen eines Hauptversuches hinsichtlich Auswertbarkeit zu genügen



Neg. - Nr.: 178/24



Test-Versuch Nr. E017

**Edelstahlplatte nach dem Versuch,
mit dünner Oxidkruste bedeckt**

HIT 1991
18.02.05

Abb.:47