



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

Vienna University of Technology

## DIPLOMARBEIT

### LANGZEITKRIECHPRÜFANLAGE

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades  
eines Diplom-Ingenieurs unter der Leitung von

Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Guillermo Carlos Requena  
E 308

Institut für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie

eingereicht an der Technischen Universität Wien  
Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften  
von

**Dominik Piermayr**  
Matrikelnummer: 0525993  
Oberriedl 19  
4170 St. Stefan am Walde

Wien, im Februar 2011

.....  
Dominik Piermayr

# Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all jenen danken, die durch ihre fachliche und persönliche Unterstützung zum Gelingen dieser Diplomarbeit beigetragen haben.

Zuerst bedanke ich mich sehr herzlich bei Herrn Prof. Guillermo Carlos Requena für die hervorragende Betreuung meiner Diplomarbeit und für die Möglichkeit, dadurch Einblicke in den Bereich des Kriechens von Werkstoffen zu erlangen. Gracias! Fue un placer trabajar contigo!

Ein ganz besonderer Dank gebührt Herrn Prof. Hans-Peter Degischer, welcher viele Stunden seiner Zeit gewidmet und einen wesentlichen Teil zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.

Ebenso möchte ich mich bei allen MitarbeiterInnen am Institut für die freundliche und angenehme Arbeitsatmosphäre bedanken.

Besonders möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die mich während meiner gesamten Ausbildungszeit gefördert haben. Ohne ihre moralische und finanzielle Unterstützung hätte ich dieses Studium niemals absolvieren können.

Bei Martin Haudum und Rainhard Prieschl möchte ich mich für die (fast immer) informativen Gespräche und hilfsbereiten Taten über die gesamte Studienzeit danken. Ich möchte diese gemeinsame Zeit nicht missen.

Weiters möchte ich an dieser Stelle meine WI-MB Kollegen Bernhard Voraberger, Ernst Lugmayr, Florian Hollensteiner und Stefan Springer erwähnen, mit denen ich tolle Studienjahre verbracht habe.

Großer Dank gebührt auch meiner Freundin Maria Bindeus, die auch in schwierigen Situationen stets ein offenes Ohr hatte und mir mit Rat und Tat zur Seite stand. Meiner Tochter Mila Luisa möchte ich danken, das sie mir durch ihr Lächeln stets neue Kraft gab.

# Kurzfassung

Die Untersuchungen an neuen Materialien, wie zum Beispiel Metall-Matrix-Verbundwerkstoffen (MMC), haben bei Raumtemperatur vielversprechende technische Eigenschaften gezeigt (z.B.: höhere Festigkeit, höheres E-Modul). Um Aussagen über deren Eigenschaften unter Belastung bei erhöhter Temperatur treffen zu können, müssen verschiedene Tests durchgeführt werden. Einer dieser Tests ist der Zeitstandversuch nach DIN EN 10291. Mit einem Zeitstandversuch können Werkstoffeigenschaften bestimmt werden wie zum Beispiel die Kriechdehnung und die Bruchzeit bei einer vorgeschriebenen Temperatur.

Das Institut für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie an der TU Wien besitzt seit über 10 Jahren eine Kriechprüfmaschine, die aus zwei Prüfstandsgruppen mit je 6 voneinander unabhängigen Einprobenprüfmaschinen besteht, wobei davon momentan nur 10 funktionsfähig sind. In dieser Arbeit wurden die für die Erwärmung der Kriechproben verwendeten Öfen durch neue Klapprohröfen ersetzt. Durch die Verwendung der neuen Öfen wurde eine leichtere Bestückung der Anlage mit neuen Proben realisiert. Die elektrische Versorgung der Öfen musste aufgrund des neuen Innenwiderstands der Klapprohröfen neu gestaltet werden. Die Stromversorgung wurde komplett neu aufgebaut und mit Sicherheitseinrichtungen, wie einem Fehlerstromschutzschalter und Temperaturbegrenzer, erweitert. Nicht nur die elektrische Versorgung wurde neu und übersichtlich strukturiert, sondern auch die Mess- und Ausgleichsleitungen zu den einzelnen Geräten.

Für spätere Bediener der Versuchsanlage wurde eine Montageanleitung für eine Neubestückung der Kriechmaschine mit einer Probe erstellt. Zum Starten eines Versuches wurde weiters ein „Quick - Guide“ des Versuchsprogrammes Catman erstellt.

Alle Kriechversuche wurden unter konstanter Belastung (konstante Kraft) bei  $300^{\circ}\text{C}$  und Luftatmosphäre durchgeführt (isothermes Kriechverhalten).

Damit die Funktionsfähigkeit und richtige Arbeitsweise der Anlage nach dem Umbau überprüft werden konnte, wurden zahlreiche Tests mit und ohne Kriechproben durchgeführt. Der Einfluss der Umgebungstemperatur auf die Längenänderung wurde untersucht. Dieser wird bei der Aufzeichnung der Längenänderung erfasst, welcher einen relativen Messfehler ergibt. Dieser relative Fehler ist wegen der Umgebungstemperaturschwankung (24h-Zyklus) von der Tageszeit und von der Länge der Versuchsdauer abhängig. Je länger die Versuchsdauer, desto geringere Kriechraten können ohne größeren relativen Fehler aufgezeichnet werden.

Zum Abschluss dieser Arbeit wurde das isotherme Kriechverhalten von einem Verbundwerkstoff  $\text{BM2124/SiC}/25p < 5\mu\text{m}$ , welcher aus einer AlCu4 (AW2124) Legierung als Matrix und SiC Partikeln mit 25 Vol.% und einem Partikeldurchmesser  $< 5\mu\text{m}$  als Verstärkung bestand, untersucht. Dieser Werkstoff wurde mit einem Kugelmühlverfahren BM (Ball Milling) zerkleinert und gemischt und mittels Pulvermetallurgie (PM) hergestellt. Die Proben wurden mit  $70\text{MPa}$  belastet. Der Vergleich der neuen Ergebnisse mit den Ergebnissen einer früheren

Arbeit (Bernd Bauer [8]) zeigte kleinere Kriechraten (um den Faktor 10). Diese Steigerung der Kriechbeständigkeit lässt sich mit einem zu frühen Abbruch des Kriechversuchs der vorangegangenen Arbeit begründen.

# Abstract

Tests of new materials such as metal matrix composites (MMC) have shown promising properties at room temperature (e.g.: higher strength, higher modulus). In order to be able to make statements on their properties under load at elevated temperature, various tests must be run. One of these tests is the creep test according to DIN EN 10291. A creep test helps to determine material properties such as the creep strain and the breaking time at a prescribed temperature.

The Institute of Materials Science and Technology at the Vienna University of Technology have, for over 10 years, owned a creep rig which consists of 12 independent creep testing machines. At the moment, only 10 of the 12 machines are functional. In the context of this thesis, new furnaces (vertical split tubes) for heating the creep samples were installed. As a result, it has become easier to place new samples in the creep testing machine. Because of the new internal resistance of the vertical split tube furnaces, the electric power supply of the furnaces had to be redesigned. The electric power supply was completely rebuilt and extended with safety devices such as a residual current circuit breaker (GFCI) and a temperature limiter. Not only the electric power supply has been restructured and arranged clearly, but also the measuring and compensating cables attached to each device.

For future operators of the plant, an assembly manual for placing new samples in the creep testing machine was created. In addition, a quick guide of the test program Catman was created for starting a test.

All creep tests were done at constant loads (constant strengths) at  $300^{\circ}\text{C}$  and in air atmosphere (isothermal tensile creep test).

Numerous tests were performed (with or without creep samples) in order to check the proper functioning of the whole system after reconstruction.

The influence of ambient temperature on the change in length was studied. This influence is recorded in the logging of the elongation and results in a relative measurement error. This relative error depends on the day time and the test duration because of the fluctuation in the ambient temperature (24-hour cycle). The longer the duration of the experiment, the lower creep rates can be recorded without major relative errors.

To conclude this thesis, the isothermal tensile creep behaviour of a metal matrix composite,  $\text{BM2124/SiC}/25p < 5\mu\text{m}$ , was investigated.  $\text{BM2124/SiC}/25p < 5\mu\text{m}$  consists of an AlCu4 alloy (AW2124) as the matrix which is reinforced by 25 vol% SiC particles with a particle diameter of  $< 5\mu\text{m}$ . This material was ground and blended by ball milling (BM) and was produced by powder metallurgy (PM). The creep samples were loaded with  $70\text{MPa}$ . The comparison of the new results with the results of a previous thesis (Bernd Bauer [8]) showed lower creep rates (by a factor of 10). The reason for this increase of creep resistance might be that the author of the previous thesis stopped testing too soon.

# Inhaltsverzeichnis

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. Allgemeine Grundlage des Kriechens</b>                          | <b>1</b>  |
| 1.1. Diffusion . . . . .  | 2         |
| 1.1.1. Definition Diffusion . . . . .                                 | 2         |
| 1.1.2. Diffusionskoeffizienten . . . . .                              | 3         |
| 1.1.3. Diffusionsmechanismen . . . . .                                | 5         |
| 1.2. Kriechen und Kriechmechanismus . . . . .                         | 7         |
| 1.2.1. Definition Kriechen . . . . .                                  | 7         |
| 1.2.2. Definition Relaxation . . . . .                                | 8         |
| 1.2.3. Kriechen Allgemein . . . . .                                   | 8         |
| 1.2.4. Kriechbereiche . . . . .                                       | 8         |
| 1.2.5. Kriechgesetz in allgemeiner Form für Sekundärbereich . . . . . | 11        |
| 1.2.6. Kriechmechanismen . . . . .                                    | 13        |
| 1.2.7. Extrapolation der Zeitstandsergebnisse . . . . .               | 16        |
| <b>2. Experimentelles</b>   | <b>17</b> |
| 2.1. Versuchsanlage Ausgangszustand . . . . .                         | 17        |
| 2.2. Technische Geräte . . . . .                                      | 20        |
| 2.2.1. Ofenregler . . . . .   | 20        |
| 2.2.2. Wegmesssystem . . . . .  | 22        |
| 2.2.3. Messelektronik . . . . .                                       | 23        |
| 2.3. Temperaturmessung . . . . .                                      | 26        |
| 2.3.1. Thermoelement . . . . .  | 26        |
| 2.3.2. Ausgleichsleitung . . . . .                                    | 26        |
| 2.3.3. Messung . . . . .  | 27        |
| 2.4. Temperaturverteilung . . . . .                                   | 27        |
| 2.5. Temperaturabhängigkeit der Längenmessung . . . . .               | 28        |
| 2.6. Kriechdummies . . . . .  | 28        |
| 2.7. Kriechproben <i>BM2124/SiC/25p &lt; 5μm</i> . . . . .            | 28        |
| 2.7.1. Werkstoff . . . . .  | 28        |
| 2.7.2. Proben Geometrie: . . . . .                                    | 30        |
| 2.7.3. Wärmebehandlung . . . . .                                      | 31        |
| <b>3. Ergebnisse</b>  | <b>32</b> |
| 3.1. Umbau . . . . .  | 32        |
| 3.1.1. Ofenmontage . . . . .  | 32        |
| 3.1.2. Elektroinstallation . . . . .                                  | 35        |
| 3.2. Versuchsanlage Endzustand . . . . .                              | 42        |
| 3.3. Neue Technische Geräte . . . . .                                 | 44        |
| 3.3.1. Temperaturbegrenzer . . . . .                                  | 44        |

|  |            |
|--|------------|
| 3.3.2. Thyristor-Leistungsschalter . . . . .               | 48         |
| 3.4. Versuchsablauf . . . . .                              | 49         |
| 3.4.1. Versuchsbedingungen . . . . .                       | 49         |
| 3.4.2. Versuchsvorbereitung . . . . .                      | 49         |
| 3.4.3. Zusammenbau der Zugvorrichtung . . . . .            | 50         |
| 3.4.4. Versuchsauswertung . . . . .                        | 57         |
| 3.4.5. Catman Kurzanleitung . . . . .                      | 59         |
| 3.5. Temperaturmessung . . . . .                           | 61         |
| 3.6. Temperaturverteilung . . . . .                        | 61         |
| 3.6.1. Dichtungsscheiben . . . . .                         | 63         |
| 3.7. Temperaturabhängigkeit der Längenmessung . . . . .    | 64         |
| 3.8. Kriechdummies . . . . .                               | 65         |
| 3.9. Kriechproben <i>BM2124/SiC/25p &lt; 5μm</i> . . . . . | 72         |
| <b>4. Diskussion</b>                                       | <b>74</b>  |
| <b>5. Schlussfolgerung</b>                                 | <b>76</b>  |
| <b>Anhang</b>  | <b>78</b>  |
| <b>A. Kostenübersicht</b>                                  | <b>79</b>  |
| <b>B. Technische Zeichnungen</b>                           | <b>81</b>  |
| <b>C. Datenblätter</b>                                     | <b>87</b>  |
| <b>Literaturverzeichnis</b>                                | <b>121</b> |

# Kapitel 1.

## Allgemeine Grundlage des Kriechens

Bei einem Zugversuch wird eine Probe bis zum Bruch belastet. Dabei wird die Spannung und die Dehnung aufgezeichnet. Zu jeder Spannung gibt es eine entsprechende Dehnung (*siehe Abbildung 1.1*). Würde die Spannung im Zugversuch konstant gehalten, bleibt die Dehnung konstant. Folglich ist die Verformung  $\epsilon$  – gültig für die meisten metallischen und keramischen Werkstoffe – eine Funktion der Spannung  $\sigma$ .

$$\epsilon = f(\sigma) \quad (1.1)$$

Die oben genannte Gleichung 1.1 besitzt die Gültigkeit für elastische/plastische Festkörper.

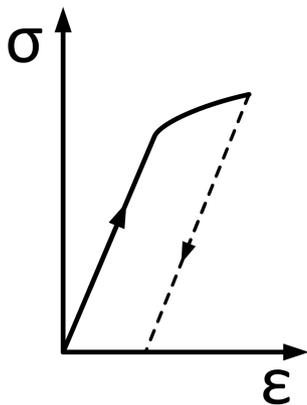


Abbildung 1.1.: elastischer/plastischer Festkörper

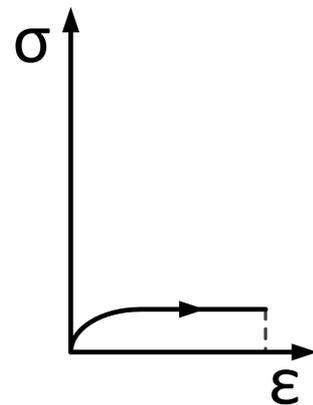


Abbildung 1.2.: zeitabhängige plastische Verformung; kriechender Festkörper (viskos)

Belastet man eine Zugprobe mit einer konstanten Spannung bei einer erhöhten Temperatur und beobachtet diese einige Zeit, stellt man eine Veränderung der Dehnung fest. Dieses Verhalten wird als Kriechen bezeichnet (*siehe Abbildung 1.2*). Das bedeutet, dass bei erhöhter Temperatur langsame, stetige Verformungen ablaufen, die nicht nur von der Spannung abhängen, sondern auch von der Temperatur  $T$  und der Zeit  $t$ .

$$\epsilon = f(\sigma, T, t) \quad (1.2)$$

Folglich gibt es einen fließenden Übergang von zeitunabhängiger  $\epsilon = f(\sigma)$  zu zeitabhängiger  $\epsilon = f(\sigma, T, t)$  Festigkeit und Verformung. Dieser Übergang liegt bei metallischen Werkstoffen bei etwa  $0,4 T_s$ <sup>1</sup>. Bei Vorgängen die unterhalb der  $\sim 0,4 T_s$  ablaufen, spricht man von

<sup>1</sup> $T_s$  ... Schmelztemperatur:  $0,4 T_s$  entspricht einer Temperatur von 40% der Schmelztemperatur [K]

der Tieftemperatur- oder Kaltverformung; die oberhalb der  $\sim 0,4 T_s$  ablaufen von Warm- oder Hochtemperaturverformungen. Nach einer Belastung im Tieftemperaturbereich hört die Verformung auf. Im Gegensatz dazu bleiben die Versetzungen nach einer Belastung im Hochtemperaturbereich nicht eingefroren [4], [7].

Dies bedeutet, dass Werkstoffkennwerte aus Zugversuchen oder ein anderes Prüfverfahren mit zügiger stetiger Belastung für einen Werkstoff bei erhöhten Temperaturen, Kriechen mit berücksichtigt werden muss. Um für den Werkstoff charakteristische Kennwerte zu erhalten, werden Kriechversuche (Zeitstandversuche nach DIN 10291) durchgeführt. Bei diesem Prüfverfahren werden Proben unter konstanter Temperatur über eine längere Zeit, meistens bis zum Bruch der Probe, einer gleichbleibender Belastung ausgesetzt. Näheres zu den Kriechversuchen unter Kapitel 3.4 *Versuchsablauf* [5].

Kriechen und deren Mechanismen werden in den nachfolgenden Unterkapiteln noch näher erläutert. Zuvor wird jedoch der für das Kriechen wichtiger Begriff *Diffusion* erklärt.

## 1.1. Diffusion

### 1.1.1. Definition Diffusion

„Unter Diffusion versteht man den Stofftransport in gasförmigen, flüssigen oder festen Medien, wobei der Stofftransport durch Platzwechselforgänge der jeweiligen Elementarbausteine (Atome, Ionen, Moleküle) erfolgt“ [2]. Diffusion hängt stark von der Temperatur ab. Je höher die Temperatur umso öfter findet ein Platzwechselforgang statt. Die für die Werkstoffkunde relevante Diffusion ist die *Diffusion in festen Medien*, die nachfolgend detailliert erklärt wird. Jedes Atom schwingt mit einer Frequenz  $f$ , deren Größenordnung bei  $10^{13} \frac{1}{s}$  liegt, um seinen Gitterplatz. Wird die Temperatur erhöht, steigt die kinetische Energie der schwingenden Atome. Ein schwingendes Atom besitzt bei einer bestimmten Temperatur  $T$  im Mittel eine Energie (potenzielle und kinetische) von  $3kT$ , wobei  $k$  die Boltzmann-Konstante<sup>2</sup> ist. Im Atomgitter stoßen die Atome (Moleküle) durch das Schwingen oft aneinander, sodass Energie zwischen den Atomen ausgetauscht wird. Das bedeutet, dass eine bestimmte Anzahl von Atomen eine geringere Energie bzw. eine höhere Energie aufweisen als der Mittelwert  $3kT$ . Diese Energieverteilung verhält sich gemäß einer Gauss'schen Glockenkurve. Um jedoch auf einen benachbarten freien Platz im Kristallgitter zu springen, wird für das Sprungatom eine Energie benötigt, die viel größer ist als  $3kT$ . Diese Energie ist nötig, um die benachbarten Atome aus ihrer Gleichgewichtslage zu verschieben (*siehe Abbildung 1.3*) und um die kurzzeitig energetisch ungünstige Position zu überwinden (Zwischenzustand). Das Ausmaß der Energieerhöhung bezeichnet man als Anregungsenergie oder Aktivierungsenergie  $q$ . Da diese Platzwechselforgänge der statistischen Thermodynamik unterliegen, ist die Sprungwahrscheinlichkeit  $p$  durch

$$p = e^{-\frac{q}{k \cdot T}} \quad (1.3)$$

gegeben. Die Sprungwahrscheinlichkeit  $p$  sinkt mit steigender Anregungsenergie  $q$  und geringerer Temperatur  $T$  [2],[4].

Die Anregungsenergie ist bei der Diffusion von Zwischengitteratomen kleiner als bei der Leerstellendiffusion, da die Zwischengitteratome kleiner sind (*siehe Abbildung 1.4*). Aktivierungsenergien

---

<sup>2</sup> $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$

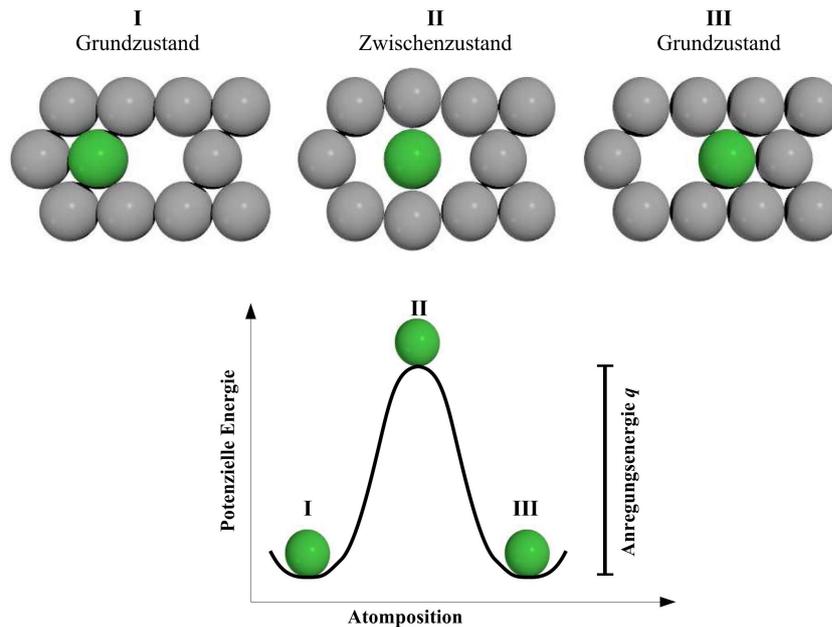


Abbildung 1.3.: Platzwechselvorgang über Leerstellendifusion erfolgen beim Überschreiten der Aktivierungsenergie  $q$  [2]

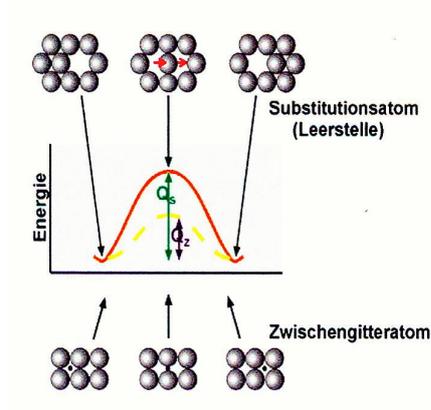


Abbildung 1.4.: Gegenüberstellung des Platzwechselvorgang von Leerstellen- und Zwischengitteratomen [3]

sind für die Diffusion in dicht gepackten Kristallstrukturen größer als für die Diffusion in Strukturen kleinerer Packungsdichte. Da die Aktivierungsenergie mit der Stärke der atomaren Bindung ansteigt, ist sie für die Diffusion in Stoffen mit hoher Schmelztemperatur relativ groß [3].

### 1.1.2. Diffusionskoeffizienten

Mikroskopisch laufen die Diffusionsprozesse willkürlich ab. Betrachtet man diesen Prozess jedoch makroskopisch, kann ein gerichteter Materialfluss entlang des Konzentrationsgradienten  $\frac{dc}{dx}$  beschrieben werden. Der Konzentrationsgradient ist die Änderung der Konzentration  $dc$  bezogen auf die Länge  $dx$  (siehe Abbildung 1.5). Der Materialfluss  $J$  gibt die Anzahl der

Atome (Moleküle) an, die pro Zeiteinheit entlang des Konzentrationsgradienten durch eine Einheitsfläche hindurchtreten (diffundieren). Der Materialfluss ist also ein Maß für die Ablaufgeschwindigkeit eines Diffusionsvorganges (Abbildung 1.6). Mathematisch kann der Materialfluss  $J$  durch das 1. Fick'sche Gesetz beschrieben werden:[2][4]

$$J = -D \frac{dc}{dx} = -D_0 * e^{-\frac{Q}{R*T}} * \frac{dc}{dx} \tag{1.4}$$

$$\text{mit } D = D_0 * e^{-\frac{Q}{R*T}} \tag{1.5}$$

Zeichenerklärung

- $J$  ... Materialfluss  $[\frac{Mol}{m^2*s}]$
- $D$  ... Diffusionskoeffizient  $[m^2 * s^{-1}]$
- $D_0$  ... Diffusionskonstante  $[m^2 * s^{-1}]$
- $Q$  ... Anregungsenergie pro  $Mol$  (Aktivierungsenergie)  $[\frac{J}{Mol}]$
- $R$  ... universelle Gaskonstante  $[\frac{J}{mol*K}]$

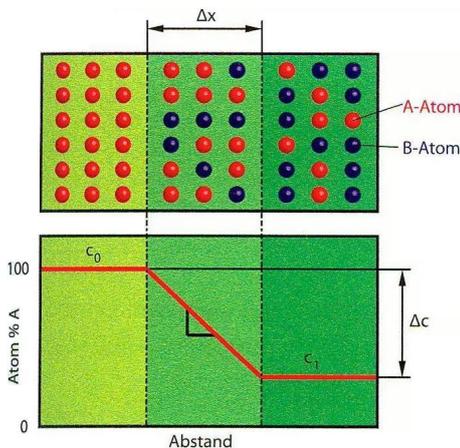


Abbildung 1.5.: Schematische Darstellung eines Konzentrationsgefälles [3]

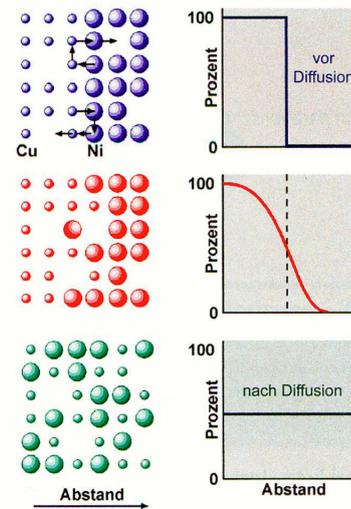


Abbildung 1.6.: Diffusion von Kupferatomen in Nickel [3]

Auf die Herleitung der Gleichung 1.4 wird hier nicht näher eingegangen und auf [4], Seite 201ff verwiesen und/oder auf weiterführende Literatur.

Bei der Gleichung 1.5 handelt es sich um die sogenannte Arrhenius-Beziehung. Sie beschreibt die Temperaturabhängigkeit des Diffusionskoeffizienten (siehe Abbildung 1.7). Wird die Gleichung 1.5 logarithmiert, erhält man:

$$\ln(D) = \ln(D_0) * -\frac{Q}{R} * \frac{1}{T} \tag{1.6}$$

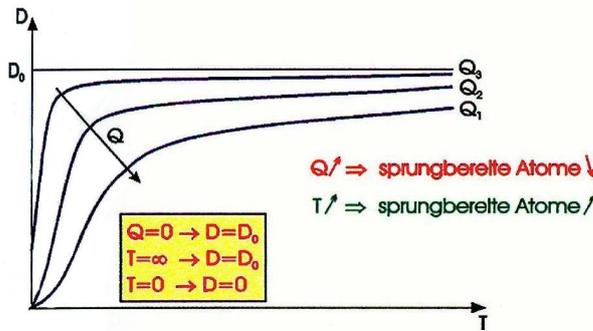


Abbildung 1.7.: Abhängigkeit Diffusionskoeffizienten  $D_0$  und Temperatur  $T$  [3]

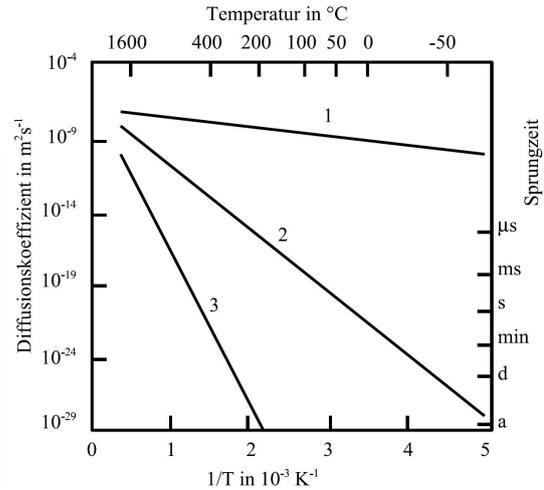


Abbildung 1.8.: Diffusionskoeffizienten und Zeit für einen Platzwechsel verschiedener Elemente in  $\alpha$ -Eisen [5]  
 1 Wasserstoff  
 2 Zwischengitteratome  
 3 substituierte Atome und Selbstdiffusion

Die Gleichung 1.6 beschreibt nun eine Geradengleichung  $\ln(D) = f\left(\frac{1}{T}\right)$ , wobei  $-\frac{Q}{R}$  der Steigung der Geraden und  $\ln(D_0)$  der Schnittpunkt der Geraden mit der Ordinate entspricht. Wird die Temperaturabhängigkeit von dem Diffusionskoeffizienten  $D$  empirisch ermittelt, kann man auf die für die Diffusion wichtige Aktivierungsenergie  $Q$  rückrechnen.

### 1.1.3. Diffusionsmechanismen

In diesem Abschnitt wird erklärt, in welcher Weise sich die Atome in einem Festkörper bewegen. Grundsätzlich wird zwischen Volumendiffusion und Grenzflächendiffusion unterschieden. Bei der Volumendiffusion wandern Teilchen im Inneren der Struktur, wobei hier weiter zwischen Zwischengitterdiffusion und Leerstellendiffusion unterschieden werden kann. Von Grenzflächendiffusion spricht man, wenn die Diffusion an Korngrenzen (Korngrenzendiffusion), an Versetzungskernen (Versetzungskernendiffusion) oder an äußeren Oberflächen (Oberflächendiffusion) statt findet (Abbildung 1.9) [6].

#### 1.1.3.1. Volumendiffusion

##### Zwischengitterdiffusion

In einem realen Kristall herrschen immer sogenannte Zwischengitterplätze. Kleine Atome, die in einem Kristall gelöst sind, können zwischen diesen Plätzen hin und her diffundieren, wenn sie die entsprechende Aktivierungsenergie  $Q$  überwinden um sich zwischen den anderen Atomen (Moleküle) durchzuzwängen (Abbildung 1.10). Kohlenstoff (C), Sauerstoff (O), Wasserstoff (H), Stickstoff (N) und Bor (B) sind typische Vertreter dieses Diffusionsmechanismus (in Metallkristallen).

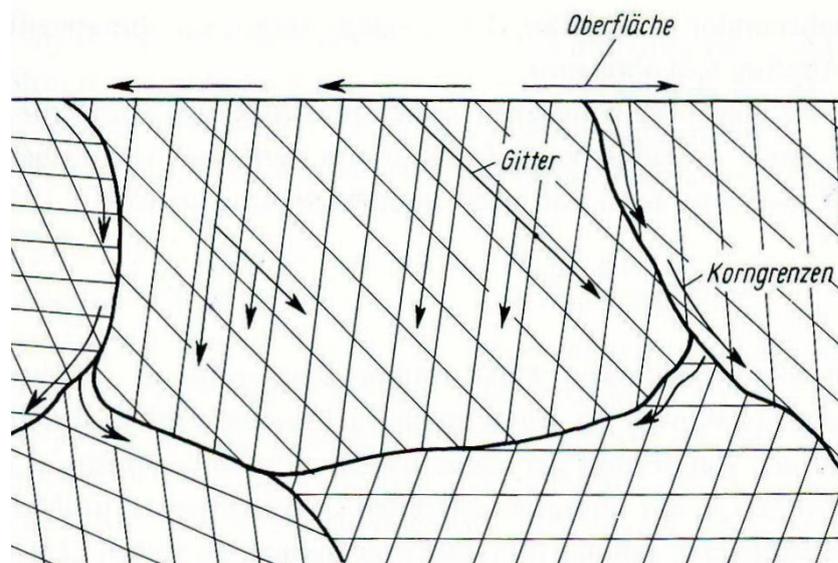


Abbildung 1.9.: Diffusionswege [6]

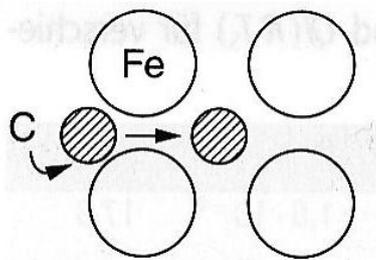


Abbildung 1.10.: Zwischengitterdiffusion [4]

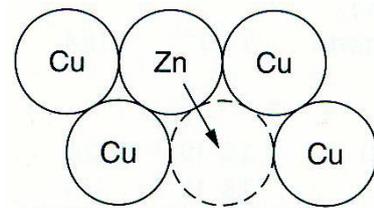


Abbildung 1.11.: Leerstellendiffusion [4]

### Leerstellendiffusion

Bei diesem Mechanismus verlässt das diffundierende Atom seinen Gitterplatz und besetzt eine Leerstelle (*Abbildung 1.11*). So können zum Beispiel Zinkatome in Messing diffundieren, obwohl die Atomgröße der Zinkatome annähernd gleich der Kupferatome ist. Über Leerstellen wechseln die Atome ihre Plätze umso öfter, je höher die Temperatur ist (Eigendiffusion). Anzumerkend hierbei ist, dass die Leerstellen mit steigender Temperatur exponentiell zunehmen.

#### 1.1.3.2. Grenzflächendiffusion

Die für die Aktivierung der Grenzflächendiffusion benötigte Energie ist kleiner als bei der Volumendiffusion, da Atome an Grenzflächen weniger fest an ihre Struktur gebunden sind. Weiter herrschen an Grenzflächen stark gestörte Bereiche (*Abbildung 1.12*, *1.13*). Dies hat zur Folge, dass Diffusion an Grenzflächen schneller vor sich geht, als Volumendiffusion (*Abbildung 1.14*).

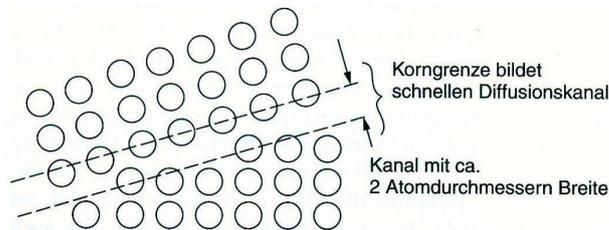


Abbildung 1.12.: Korngrenzendiffusion [4]

Versetzungskern wirkt als schneller Diffusionskanal, Querschnitt  $(2b)^2$

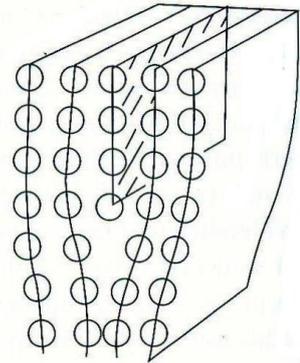


Abbildung 1.13.: Versetzungkernendiffusion [4]

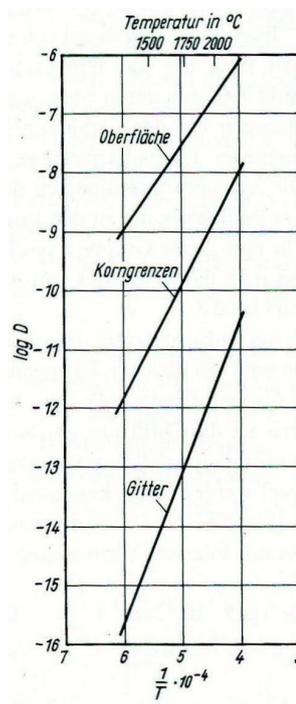


Abbildung 1.14.: Temperaturabhängigkeit der Diffusionskoeffizienten (von Thorium in Wolfram) [6]

## 1.2. Kriechen und Kriechmechanismus

### 1.2.1. Definition Kriechen

„Unter Kriechen versteht man die zeitabhängige, fortschreitende plastische Verformung bei konstanter Belastung.“ [1] oder „Kriechen ist eine zeitabhängige Zunahme der Dehnung einer Probe oder eines Bauteils bei konstanter Spannung.“ [2] Als Beispiel ist hier das Turbinenrad zu erwähnen: Ein Turbinenrad wird hohen Temperaturen und mechanischen Belastungen ausgesetzt. Eine Verformung des Turbinenrades aufgrund von Kriechvorgängen erfolgt. Das bedeutet, dass das Kriechverhalten des Werkstoffes für Turbinenräder ein Auslegungsgrund ist.

### 1.2.2. Definition Relaxation

„Die zeitabhängige Abnahme der Spannung bei konstanter Verformung heißt Spannungsrelaxation.“ [1] oder „Von Relaxation spricht man, wenn bei vorgegebener Dehnung die Spannung zeitlich abnimmt.“ [2] Ein Beispiel für Relaxation ist eine Schraubverbindung unter Wärmeeinfluss: Eine Schraube wird mit einem Bauteil fest verschraubt. Die Dehnung in der Schraube ist konstant. Wird die Schraube thermisch beansprucht, wird sich im Laufe der Zeit die Spannung durch Relaxation abbauen und die Schraube lockert sich [2].

### 1.2.3. Kriechen Allgemein

Beide Vorgänge – Kriechen und Relaxation – sind thermisch aktivierte Prozesse. Zu den thermisch aktivierten Prozessen gehören [1]:

- Erholung und Rekristallation,
- Diffusion,
- und Kriechvorgänge.

Das Kriechen erlangt bei metallischen Werkstoffen, die im elastischen Bereich belastet sind, erst bei erhöhten Temperaturen Bedeutung für die Anwendung. Da die Schmelztemperatur von Metallen sehr unterschiedlich ist, ist der Begriff „erhöhte Temperatur“ nicht eindeutig. Es wird der Begriff der „homologen Temperatur“ eingeführt. Die homologe Temperatur ist das Verhältnis aus Umgebungstemperatur zu Schmelztemperatur (in Kelvin). Das heißt, die Temperatur  $T$  bei der der Werkstoff zu kriechen beginnt, ist von der Schmelztemperatur  $T_s$  abhängig. Ist die Umgebungstemperatur  $T > 0,4 * T_s$  so spricht man von erhöhter Temperatur [4].

Temperaturbereiche für das Kriechen:

- $T > 0,3 - 0,4T_s$  bei Metallen
- $T > 0,4 - 0,5T_s$  bei Keramiken
- $T \geq T_G$  bei Kunststoffen
- $T_s$  ... Schmelztemperatur
- $T_G$  ... Glasübergangstemperatur

### 1.2.4. Kriechbereiche

Am Anfang des Kapitels 1 wurde erklärt, weshalb Kriechversuche benötigt werden. Aus den Kriechversuchen erhält man als primäres Ergebnis die Kriechkurven (*Abbildung 1.15*), aus denen gut ersichtlich, dass Kriechprozesse in drei Bereiche eingeteilt werden können [5]: Primäres Kriechen, Sekundäres Kriechen und Tertiäres Kriechen.

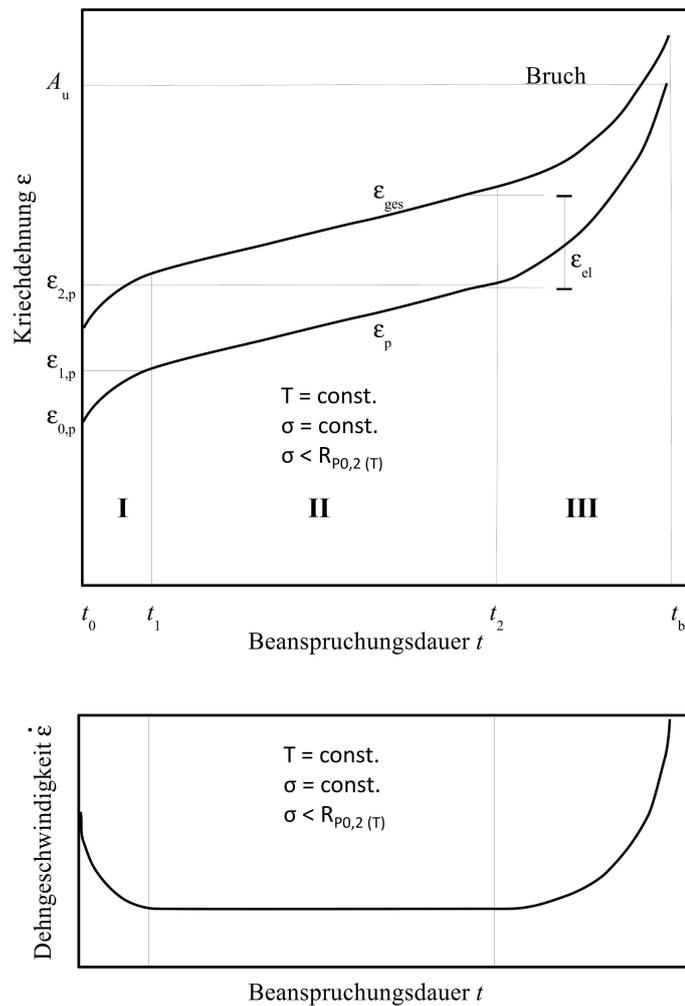


Abbildung 1.15.: Kriechkurve mit den drei ausgeprägten Bereichen [5]

#### 1.2.4.1. Primäres Kriechen

Der erste Bereich der Kriechkurve wird als Primär- oder Übergangskriechen bezeichnet. Die am Beginn dieses Bereichs große Kriechgeschwindigkeit<sup>3</sup>  $\dot{\epsilon}$  nimmt mit der Zeit ab. Das hängt damit zusammen, dass die durch plastische Verformung verursachte Zunahme der Verfestigung (Anzahl der Versetzung nimmt zu) größer ist als die durch die Kristallerholung bewirkende Entfestigung [4].

#### 1.2.4.2. Sekundäres Kriechen

Der für die Lebensdauer wichtige II. Abschnitt wird als stationäres oder sekundäres Kriechen bezeichnet. In diesem Bereich hat sich ein dynamisches Gleichgewicht zwischen Entfestigung und Verfestigung eingestellt, sodass die Kriechgeschwindigkeit  $\dot{\epsilon}$  einen konstanten Wert annimmt (siehe *Abbildung 1.15*). Das dynamische Gleichgewicht entsteht dadurch, dass die

<sup>3</sup>synonym: Dehnrage oder Kriechrate

Versetzungen die die plastische Verformung hervorrufen, multipliziert werden und für eine Verfestigung der Probe zuständig sind. Parallel kommt es durch die erhöhte Temperatur zu thermisch aktivierten Prozessen, wie zum Beispiel Leerstellendiffusion oder Klettern von Versetzungen, die bevorzugt an den Subkorn Grenzen sammeln und eine Entfestigung bewirken.

Genau genommen gilt eine konstante Kriechgeschwindigkeit  $\dot{\epsilon}$  im stationären Bereich nur, wenn die Probe (des zu prüfenden Werkstoffs) mit konstanter Spannung belastet wird. Bei den meisten Prüfanlagen für Zeitstandversuche wird die Probe jedoch mit einer konstanten Kraft belastet, sodass die Spannung als auch die Kriechgeschwindigkeit im stationären Bereich mit der Zeit zunimmt, da der Probenquerschnitt durch die Längenänderung abnimmt. In der *Abbildung 1.16* ist der Unterschied zwischen Belastung mit konstanter Spannung  $\sigma$  und Belastung mit konstanter Last  $F$  gut ersichtlich. Der geradlinige Anstieg der Kriechkurve im sekundären Bereich für konstante Spannung ist für eine konstante Belastung mit einer Kraft nicht mehr gegeben, sondern weist eine kontinuierlich ansteigende Kriechgeschwindigkeit auf (Querschnitt  $\downarrow$ , Spannung  $\uparrow$ ) [5],[7].

Bei technischen Legierungen kann auch das Prinzip der Dreiteilung der Kriechkurve vorgenommen werden, jedoch gelingt es aber nicht immer, die einzelnen Abschnitte eindeutig zu trennen und ihnen einen dominierenden Mechanismus zuzuordnen. Häufig findet sich auch keine konstante stationäre Kriechgeschwindigkeit, da sich auch das Gefüge der mehrphasigen Legierungen mit der Zeit ändert. Als Ersatz für die konstant stationäre Kriechgeschwindigkeit wird häufig die minimale Kriechgeschwindigkeit (minimale Kriechrate) angegeben.[7]

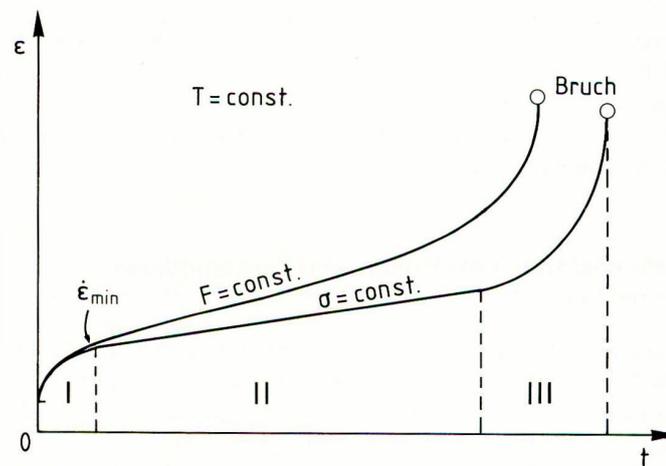


Abbildung 1.16.: Gegenüberstellung einer idealen Kriechkurve unter konstanter Spannung  $\sigma$  mit einer Kriechkurve unter konstanter Last  $F$  [7]

### 1.2.4.3. Tertiäres Kriechen

Der letzte Bereich wird als tertiäres Kriechen bezeichnet. Dieser Bereich ist durch einen starken Anstieg der Kriechgeschwindigkeit gekennzeichnet. In dieser Phase entstehen Poren und Risse die wachsen und die dazu führen, dass die Probe schlussendlich zum Bruch kommt [5].

### 1.2.5. Kriechgesetz in allgemeiner Form für Sekundärbereich

Wie schon erwähnt, ist der stationäre Bereich für die nutzbare Lebensdauer eines Werkstoffes ausschlaggebend. Um nun zu verstehen, wie die plastische Verformung unter Einwirken der Spannung und Temperatur vor sich geht, werden diese Mechanismen nachfolgend erklärt. Zuvor wird noch der formelmäßige Zusammenhang zwischen stationärer Kriechgeschwindigkeit, der Temperatur und der angelegten Spannung erklärt:

Die Dehngeschwindigkeit  $\dot{\epsilon}$  ist eine abhängige Variable von der Spannung  $\sigma$ , der Temperatur  $T$ , der Zeit  $t$ , den Materialkonstanten  $P_j$  und den Gefügeparametern  $S_j$ .

$$\dot{\epsilon} = f(\sigma, T, t, P_j, S_j) \quad (1.7)$$

Für den Stationärbereich kann  $t$ ,  $P_j$  und  $S_j$  als konstant angenommen werden und die Funktion 1.7 vereinfacht sich:

$$\dot{\epsilon}_s = f(\sigma, T) \quad (1.8)$$

Da die Spannung  $\sigma$  und Temperatur  $T$  voneinander unabhängige Größen sind, kann die Gleichung 1.8 folgend geschrieben werden:

$$\dot{\epsilon}_s = u(\sigma) * w(T) \quad (1.9)$$

Für die Funktion der Spannungsabhängigkeit  $u(\sigma)$  der Kriechgeschwindigkeit  $\dot{\epsilon}_s$  gilt bei einer Spannung wesentlich unter der bei dieser Temperatur wirksamen Elastizitätsgrenze ein Potenzgesetz, das Norton'sche Kriechgesetz:

$$\dot{\epsilon}_s = B * \sigma^n \quad (1.10)$$

In diesem Bereich spricht man vom Kriechen nach dem Potenzgesetz. Normalerweise nimmt der Kriechexponent  $n$  Werte zwischen 3 und 8 an (*Abbildung 1.17*). Bei hohen Spannungen wurde festgestellt, dass diese Gleichung keine Gültigkeit besitzt (Power-law-breakdown „plb“) sondern eine  $e$ -Funktion die Spannungsabhängigkeit besser beschreibt. Treten jedoch sehr niedrige Spannungen auf, können Kriechexponenten von  $n \approx 1$  auftreten. Dieses Kriechen wird als Diffusionskriechen bezeichnet, was Verformungen durch Versetzungsbewegung ausschließt [7].

Für die Temperaturabhängigkeit  $w(T)$  der Kriechgeschwindigkeit  $\dot{\epsilon}_s$ , gilt die Arrhenius-Beziehung, da es sich hierbei um Diffusion gesteuerte Prozesse handelt (siehe Kapitel 1.1 *Diffusion*).

$$\dot{\epsilon}_s = C * e^{-\frac{Q}{R*T}} \quad (1.11)$$

Wird die Gleichung 1.10 und 1.11 in Gleichung 1.9 eingesetzt, erhält man das Kriechgesetz für den Stationärbereich in allgemeiner Form [2]:

$$\dot{\epsilon}_s = A * \sigma^n * e^{-\frac{Q}{R*T}} \quad (1.12)$$

Zeichenerklärung

- $A$  ... Kriechkonstante
- $n$  ... Kriechexponent
- $Q$  ... Aktivierungsenergie
- $R$  ... universelle Gaskonstante

Die Konstanten  $A$ ,  $n$  und  $Q$  charakterisieren das Kriechverhalten eines bestimmten Werkstoffes. Sind diese bereits empirisch ermittelt worden, kann man Mithilfe der Gleichung 1.12 die Dehngeschwindigkeit bei beliebiger Spannung und Temperatur berechnen.

Den Kriechexponent  $n$  erhält man, wenn die Gleichung 1.10 logerithmiert und die Kriechgeschwindigkeit und die Spannung doppelt-logarithmisch in ein Diagramm aufgetragen wird. Die Steigung der so entstehenden Geraden entspricht  $n$  (Abbildung 1.17).

Logarithmiert man die Gleichung 1.11 mit dem natürlichen Logarithmus und trägt  $\ln(\epsilon_s)$  über  $\frac{1}{T}$  auf, erhält man eine Gerade mit der Steigung  $-\frac{Q}{R}$  (Abbildung 1.18).

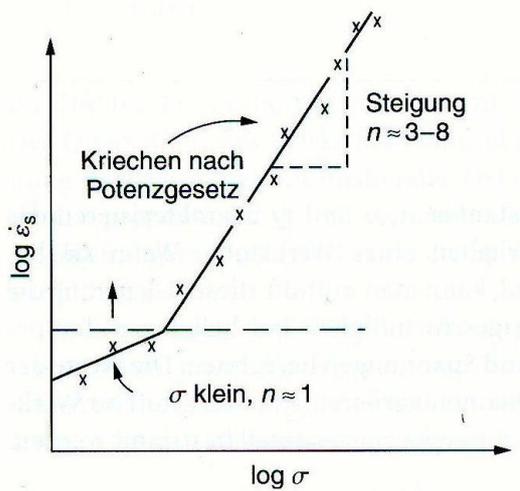


Abbildung 1.17.: Abhängigkeit der stationären Kriechgeschwindigkeit  $\dot{\epsilon}_s$  von der Spannung  $\sigma$  [4]

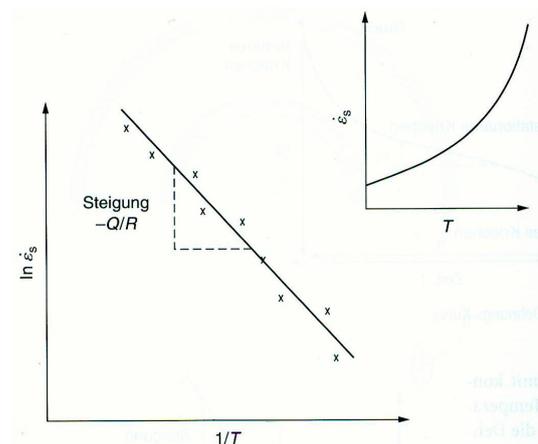


Abbildung 1.18.: Abhängigkeit der stationären Kriechgeschwindigkeit  $\dot{\epsilon}_s$  von der Temperatur  $T$  [4]

Bei isothermem Kriechen kann man die Gleichung 1.12 vereinfachen:

$$\dot{\epsilon}_s = A_k * \sigma^n \tag{1.13}$$

Der Vorfaktor  $A_k$  ist konstant und  $\sigma$  ist die angelegte Spannung. Der Kriechexponent  $n$  wird zur Bestimmung des herrschenden Kriechmechanismus angewandt. Bei Legierungen wird grundsätzlich zwischen Diffusionskriechen  $n = 1$  (Korn- und Korngrenzendiffusion), Versetzungsgleiten  $n = 3$  unter Mitnahme gelöster Fremdatome und Versetzungskriechen  $n = 5$  mit Versetzungsklettern über Gleithindernisse unterschieden. Es ist jedoch schwierig den tatsächlichen Kriechmechanismus zu bestimmen, da es immer Kombinationen aus den genannten Mechanismen sind, wobei der schnellste dominiert [8].

## 1.2.6. Kriechmechanismen

### 1.2.6.1. Diffusionskriechen $n = 1$

Laut Potenzgesetz nimmt die Kriechgeschwindigkeit mit der Spannung stark ab. Das Kriechen stoppt aber nicht, sondern ein anderer Kriechmechanismus kommt zu tragen  $\rightarrow$  das Diffusionskriechen. Das Diffusionskriechen basiert auf der Annahme, dass Leerstellen- und Gitteratomdiffusion zuständig für das Kriechen von Werkstoffen sind. Die zugbeanspruchten Korngrenzen geben Leerstellen ab (Leerstellequelle) und werden in Bereichen, die unter Druckspannung stehen, verbraucht (Leerstellensenke). Entgegen dieser Leerstellen – Diffusionsstrom – fließt ein Atomstrom. Durch diesen in Zugrichtung gerichteten Materialfluss tritt eine Formänderung entsprechend der angelegten Spannung ein (*Abbildung 1.20, 1.19*). Bei einer hohen homologen Temperatur  $\frac{T}{T_s}$  findet dieser Prozess im Volumen des Kristalles statt [4],[5]. Man spricht von Nabarro-Herring-Kriechen.

$$\dot{\epsilon}_s = \frac{C' * \sigma * e^{-\frac{Q}{R*T}}}{d^2} \quad (1.14)$$

$C'$  ist eine Konstante,  $\sigma$  die angelegte Spannung,  $Q$  ist die Aktivierungsenergie,  $R$  die universelle Gaskonstante,  $T$  die Temperatur und  $d$  gibt die Korngröße an. Die Dehnrate ist proportional zu  $\frac{1}{d^2}$ , da mit ansteigender Korngröße die Atome einen weiteren Diffusionsweg durch das Volumen haben.

Sinkt die homologe Temperatur, so nimmt auch die Volumendiffusion ab und die Korngrenzendiffusion herrscht vor. Diese Diffusion entlang der Korngrenzen wird als Coble-Kriechen bezeichnet [4],[5].

Der Zusammenhang zwischen Spannung  $\sigma$ , Temperatur  $T$ , Korngröße  $d$  und Aktivierungsenergie  $Q$  wird durch Gleichung 1.15 angegeben:

$$\dot{\epsilon}_s = \frac{C'_{gb} * \sigma * e^{-\frac{Q_{gb}}{R*T}}}{d^3} \quad (1.15)$$

Der Volumen-Selbstdiffusionskoeffizient  $C'$  muss durch den Korngrenzen-Selbstdiffusionskoeffizient  $C'_{gb}$  ersetzt werden, welche etwa die Hälfte der Aktivierungsenergie der Volumendiffusion (Nabarro-Herring) entspricht [8].

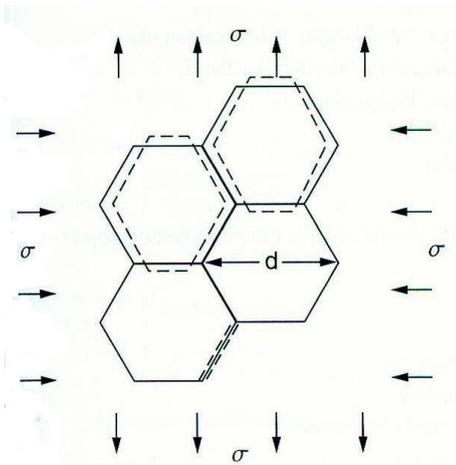


Abbildung 1.19.: Kriechen infolge von Diffusion [4]

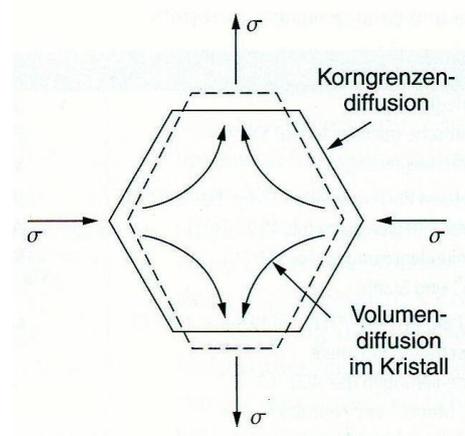


Abbildung 1.20.: Nabarro-Herring-/Coble-Kriechen [4]

**1.2.6.2. Versetzungsgleiten  $n = 3$**

Bernd Bauer [8] beschreibt in seiner Arbeit „*Enhancement of Creep Resistance by Particle Reinforcement*“, dass Versetzungen an gelösten Legierungsatomen im Gitter „angehängt“ sind. Mit steigender Temperatur erfolgt Diffusion und als Folge der angelegten Spannung sind die gelösten Atome in der Lage, die Versetzung durch das Gitter zu ziehen. Der daraus resultierende Kriechexponent ist mit  $n = 3$  angegeben [8].

**1.2.6.3. Versetzungskriechen  $n = 5$**

Durch Spannung und erhöhte Temperatur können Versetzungen durch Gleiten und Klettern, Versetzungshindernisse (z.B. Ausscheidung) überwinden (Abbildung 1.21). Dadurch geht die Verfestigungswirkung der Versetzungshindernisse verloren. Diese Entfestigung bewirkt, dass das Material kriecht. Versetzungskriechen tritt bei Spannungen auf, die Klettern der Versetzungen bewirken [2]. Beim Klettern müssen Atome aus dem untern Teil der Halbebene heraus diffundieren können (Abbildung 1.22) um so nach oben auf eine parallele Gleitebene gehoben zu werden. So können nun Versetzungen, die vor einem Versetzungshindernis stehen, klettern und dannach über dieses Hindernis durch die angelegte Spannung gleiten [4].

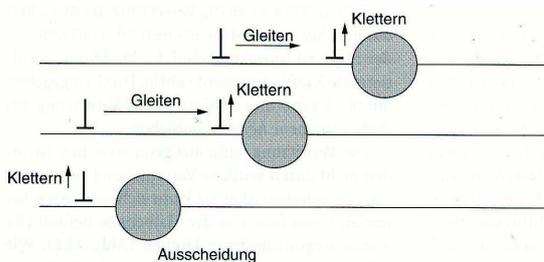


Abbildung 1.21.: Abfolge von Klettern und Gleiten [4]

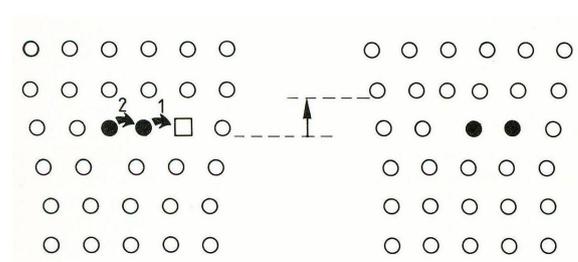


Abbildung 1.22.: Klettern von Versetzung durch Diffusion [7]

Die *Abbildung 1.23* zeigt den Verformungsmechanismus bei verschiedenen Spannungen und Temperaturen. [4]

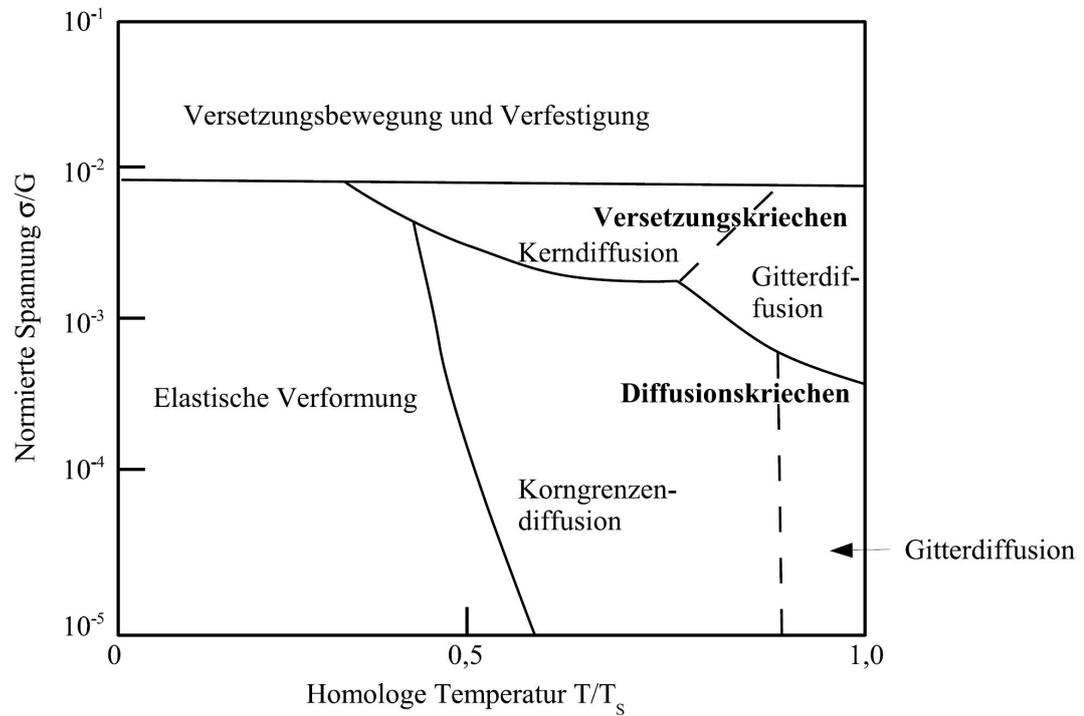


Abbildung 1.23.: Verformungsmechanismen bei verschiedenen Temperaturen  $T$  und Spannungen  $\sigma$  [4]

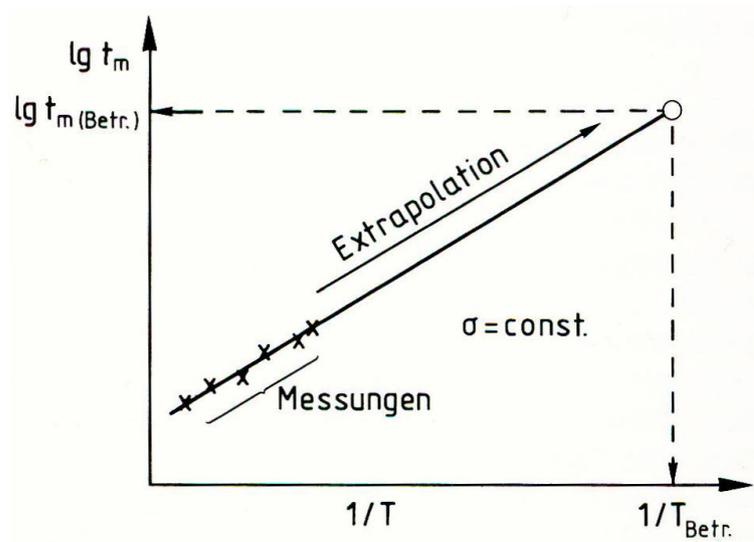


Abbildung 1.24.: Schematische Darstellung des Extrapolationsverfahrens nach Larson-Miller für konstante Spannungen [7]

### 1.2.7. Extrapolation der Zeitstandsergebnisse

Um bei neu entwickelten Legierungsarten relativ schnell Aussagen über deren Lebens- bzw. Servicedauer treffen zu können, wurden verschiedene Extrapolationsmethoden entwickelt. Zwei Beispiele sind hier erwähnt.

#### Monkman-Grant-Beziehung:

Hier wird versucht, die Tests zu beschleunigen indem die Belastung hinaufgesetzt und so die Zeit der Kriechversuche verkürzt wird. Problematisch ist nur, wenn die Extrapolation der Testergebnisse die Grenzen eines Kriechmechanismus überschreitet und ein anderer Mechanismus zum Tragen kommt [4][7].

#### Larson und Miller:

Eine andere Möglichkeit um Zeit zu sparen ist der Ansatz von Larsen und Miller. Hier wird „Zeit gegen Temperatur“ getauscht. Das heißt, bei gleicher Belastung sollte mit höherer Temperatur und kürzeren Versuchszeiten auf das Langzeitverhalten bei einer betriebsrelevanter Temperaturen geschlossen werden können (Abbildung 1.24) [7].

# Kapitel 2.

## Experimentelles

### 2.1. Versuchsanlage Ausgangszustand

Die Versuchsanlage besteht aus einem Schaltschrank, aus zwei Prüfständen mit Belastungsvorrichtungen und Zugvorrichtungen, aus Ofenreglern, Messaufnehmern und Messelektronik. Mit dem Prüfstand wird die für die Versuchsdurchführung notwendige Belastung und Temperatur an der Probe erzeugt. Das Institut erhielt den Prüfstand (Losenhausen) 1997 als Geschenk von der Firma Schoeller Bleckmann Edelstahlrohr GmbH Ternitz. In den darauf folgenden Jahren wurde die Prüfmaschine, die über zwei Prüfstandsgruppen mit je 6 voneinander unabhängigen Einprobenprüfmaschinen, auf insgesamt 10 voll funktionstüchtigen Einprobenprüfmaschinen aufgerüstet. Dazu wurden fliegend montierte, zylinderförmige Öfen zur Erwärmung der Proben installiert, welche aus einem Keramikhohlzylinder mit umwickelten Heizdraht bestanden.

Zur Regelung der Prüftemperatur werden kompakte Mikroprozessorregler vom Typ dTRON 04.1 (Ofen 1 bis 6) und Typ dTRON 304 (Ofen 7 bis 12) eingesetzt. Die Temperaturregelung erfolgt durch Freigabe oder Sperre der Stromversorgung. Der Istwert für den Regler wird über Thermoelemente an der Probe und über eine Ausgleichsleitung an den jeweiligen Regler herangeführt (Siehe Kapitel 2.2.1).

Für die Aufzeichnung der Längenänderung der Probe werden induktive Wegaufnehmer, die fix mit einem Extensometer verbunden sind, verwendet. Die Längenänderung sowie auch die Prüftemperatur werden mit einer Messelektronik *Spider8* ausgewertet und an einen PC für Datensicherung weitergegeben. (Siehe Kapitel 2.2.2, 2.2.3)

Der Schaltschrank ermöglicht die Bedienung der Öfen durch getrenntes Ein- und Ausschalten.

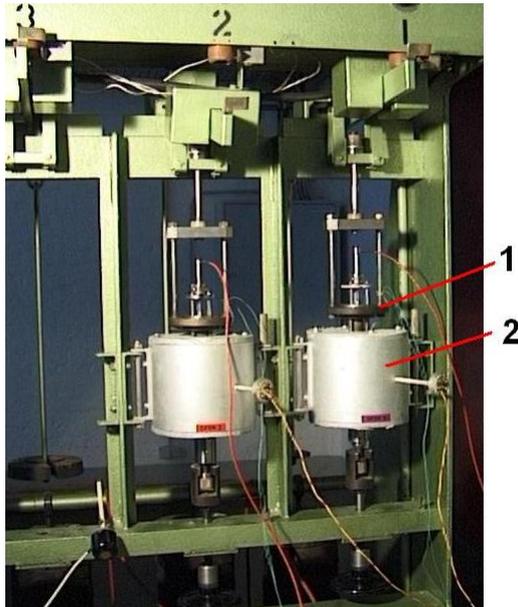


Abbildung 2.1.: Zwei Einprobenprüfmaschinen vor dem Umbau: 1 Zugvorrichtung; 2 Ofen

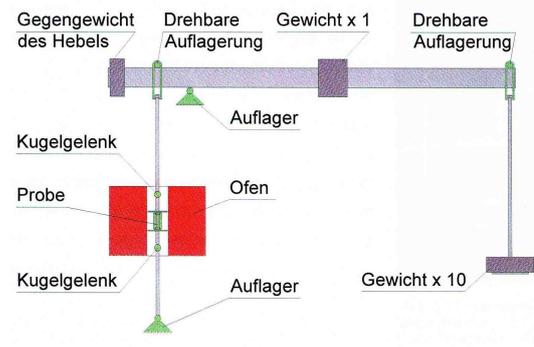


Abbildung 2.2.: Prinzipskizze der Einprobenprüfmaschine

Die nachfolgenden Bilder geben einen Überblick, in welchem Zustand sich die Versuchsanlage vor dem Umbau befand.



Abbildung 2.3.: Vorderansicht des Prüfstands

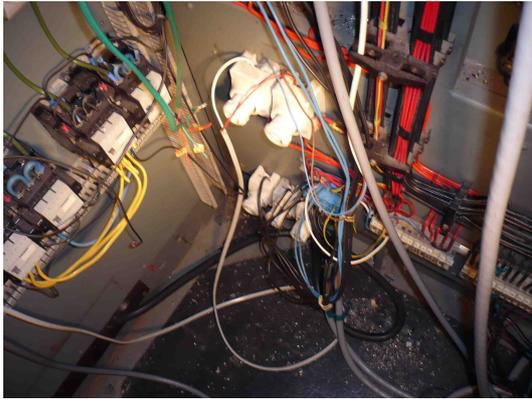


Abbildung 2.4.: Im inneren des Schaltschranks



Abbildung 2.5.: Verkabelung auf der Oberseite des Schaltschranks



Abbildung 2.6.: Rückansicht einer Prüfstandgruppe

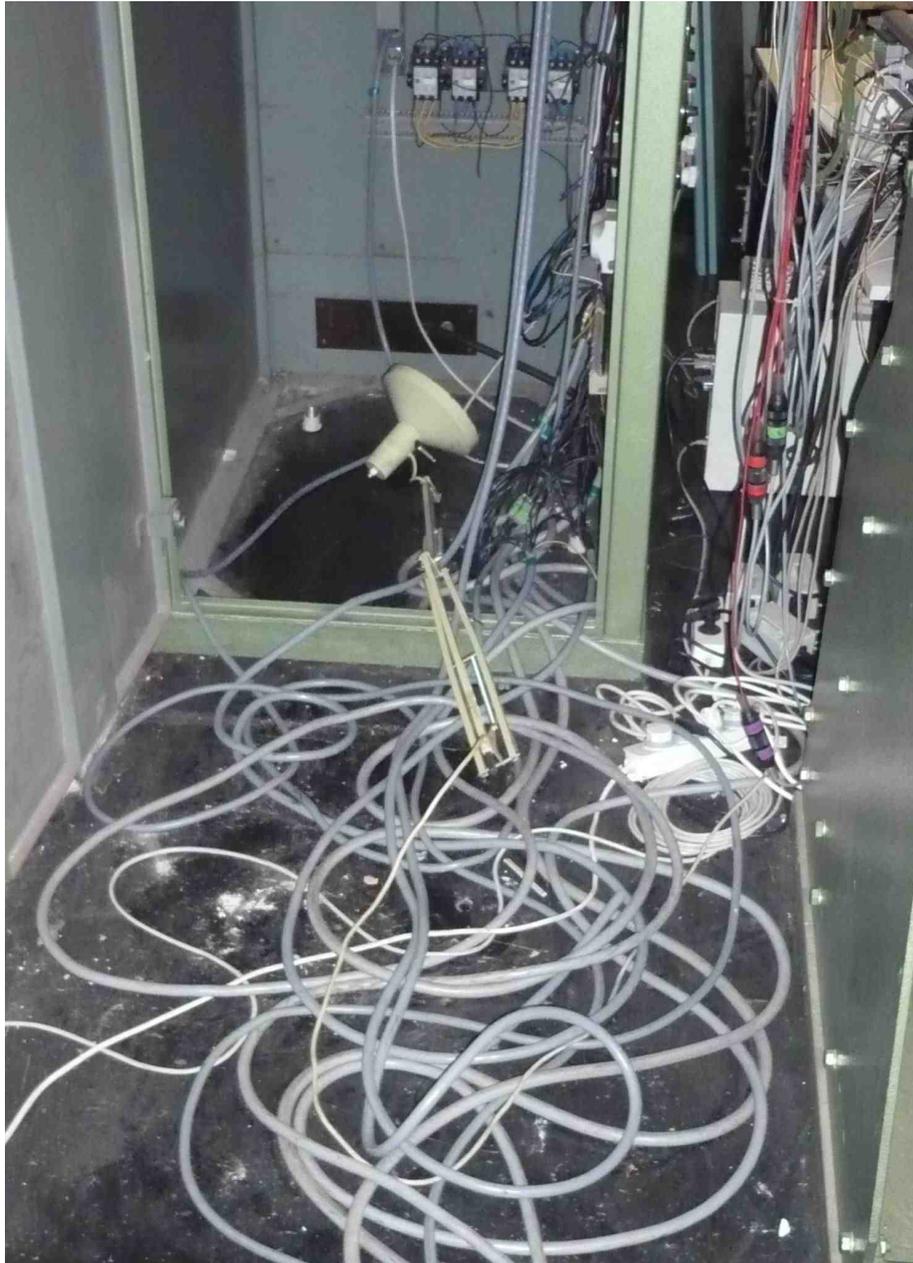


Abbildung 2.7.: Seitenansicht des Schaltschranks

## 2.2. Technische Geräte

### 2.2.1. Ofenregler

Die Temperaturregelung der Öfen erfolgt durch einen Kompaktregler von Typ dTRON 04.1 (Ofen 1 bis 6) und dTRON 304 (Ofen 7 bis 9, 12) der Firma **JUMO**. Für das Bedienen, Parametrieren und Konfigurieren genügen die vier frontseitigen Tasten. Beide Reglertypen können als Zweipunkt-, Dreipunkt-Schrittregler oder stetige Regler eingesetzt werden. Der Regler

verfügt über zwei vierstellige 7-Segmentanzeigen für Istwert (rot) und Sollwert (grün). Während der Programmierung dienen die Anzeigen zur Kommentierung der Eingaben. Für die Bedienung der Regler an der Kriechanlage (Einstellung der Soll-Temperatur), besteht zwischen den beiden Reglertypen – bis auf die Selbstoptimierung und Kommentierung – kein Unterschied. Nachfolgend wird der Begriff Regler für beide Typen verwendet.

Der Regler ist für die Anwendung in der Kriechanlage als Zweipunktregler ausgeführt. Die Temperaturregelung erfolgt durch einfaches Ein- bzw. Ausschalten eines reglerinternen Relais. Der Stellgrad  $Y$  des Reglers ist dann  $> 0$ , wenn der Istwert ( $x$ ) kleiner als der Sollwert ( $w$ ) ist (Abbildung 2.10, 2.11) [13],[14].

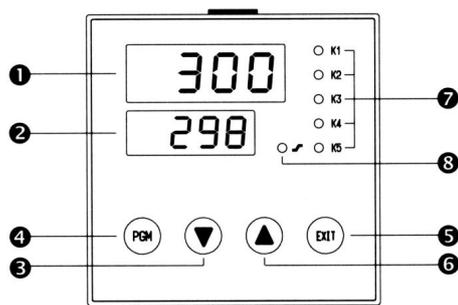


Abbildung 2.8.: Ofenregler dTron 04.1 [13]

- 1 Istwertanzeige
- 2 Sollwertanzeige
- 3 Dekrement-Taste
- 4 PGM-Taste
- 5 EXIT-Taste
- 6 Inkrement-Taste
- 7 Schaltstellungenanzeigen
- 8 LED für Rampenfunktion



Abbildung 2.9.: Ofenregler dTron 304 [14]

- 1 Istwertanzeige
- 2 aktiver Sollwert
- 3 Sollwertanzeige
- 4 Tasten
- 5 Signalisierung
- 6 Einheitsanzeige

Für die Anpassung des Reglers an die Regelstrecke kann ein Standardreglerentwurf entworfen werden. Das Problem ist jedoch das Erfassen des dynamischen, sehr komplizierten Verhalten der Öfen. Durch das Starten einer Selbstoptimierung des Reglers, werden die optimalen Parameter vom Regler selbst bestimmt.

### 2.2.1.1. Selbstoptimierung

Die Selbstoptimierungsfunktion (SO) ist eine reine Software-Funktionseinheit und im Regler integriert. Die SO untersucht nach einem speziellen Verfahren die Reaktion der Regelstrecke (Ofen) auf Stellgradsprünge. Aus der Regelstreckenantwort (Istwert) werden über einen umfangreichen Rechenalgorithmus die Regelparameter berechnet und gespeichert. Die Optimierung arbeitet nach zwei unterschiedlichen Verfahren, die je nach dem dynamischen Zustand des Istwertes und des Abstands zum Sollwert, beim Start automatisch ausgewählt werden. Liegen bei der Aktivierung Ist- und Sollwert weit auseinander, so wird eine Schaltgerade ermittelt, um welche die Regelgröße (Temperatur) im Laufe des Selbstoptimierungsvorgangs eine erzwungene Schwingung ausführt. Die Schaltgerade wird so festgelegt, daß der Istwert den Sollwert möglichst nicht überschreitet. Bei einer geringeren Differenz zwischen Soll- und Istwert, z.B. bei eingeschwingenem Regelkreis, wird eine Schwingung um den Sollwert erzwungen. Aus den ermittelten Streckendaten werden schließlich die Regelparameter berechnet [13],[14].

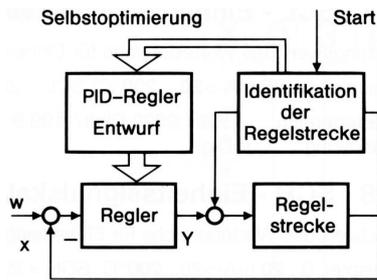


Abbildung 2.10.: Prinzip der Selbstoptimierung [13]

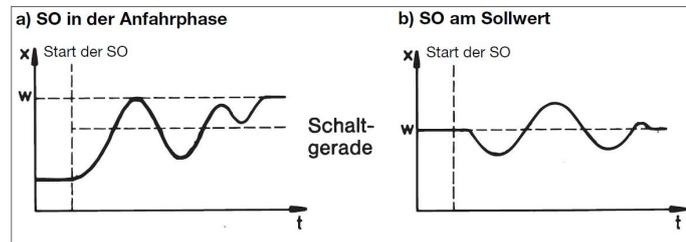


Abbildung 2.11.: Die in Abhängigkeit von der Größe der Regelabweichung von Regler selbst gewählte Verfahren a) oder b) [13]

### Starten der Selbstoptimierung bei dTron 04.1 [13]:

- Starten der Selbstoptimierung mit **EXIT** (Taste mindestens 2s drücken)
- Abbruch mit **EXIT** (Während laufender Selbstoptimierung.)
- Blinkt "tunE" nicht mehr, ist die Selbstoptimierung beendet.
- Bestätigung der Selbstoptimierung mit **EXIT** (Taste mindestens 2s drücken)

### Starten der Selbstoptimierung bei dTron 304 [14]:

- Starten mit **▼** und **▲** (gleichzeitig mindestens 2 s)
- Auf der unteren Anzeige wird "tUnE" blinkend dargestellt.
- Die Selbstoptimierung ist beendet, wenn die Anzeige automatisch in die Normalanzeige wechselt. (Die Dauer der Selbstoptimierung ist abhängig von der Regelstrecke)

## 2.2.2. Wegmesssystem

Die Erfassung der Längenänderung der Probe wird durch einen induktiven Wegaufnehmer nach dem LVDT Prinzip der Serie DTA der Firma Micro-Epsilon durchgeführt.

Vorteile:

- Äußerst genau – auch bei schwierigen Umgebungsbedingungen
- Langzeitstabil
- Verschleißfrei
- Einfache Montage/Handhabung

Die genaue Typenbezeichnung für die eingesetzten Wegaufnehmer lauten: DTA-5D-3-CR-H und DTA-5D-1,5-CR-H. Der Messbereich der beiden Aufnehmer beträgt  $5\text{mm}$  und die Empfindlichkeit liegt bei ca.  $50\text{mV/V}\cdot\text{mm}$ .

Das Wegmesssystem nach dem **Linearer-Variabler-Differential-Transformator** kurz LVDT-Prinzip ist aus einer Primär- und zwei Sekundärspulen mit einem gemeinsamen weichmagnetischen Kern aufgebaut.

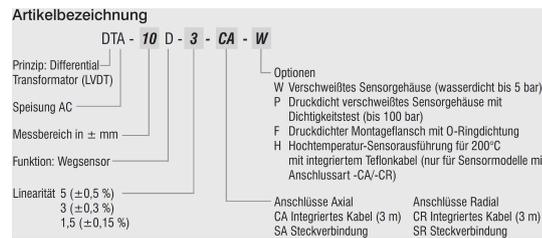


Abbildung 2.12.: Typenbezeichnung [18]

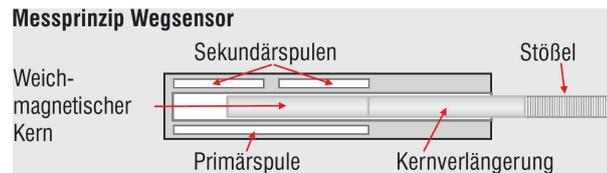


Abbildung 2.13.: Messprinzip [18]

Die Primärspule wird durch die Messelektronik (*Spider8*) mit einem Wechselstrom konstanter Frequenz angespeist. Abhängig von der Position des weichmagnetischen Kerns, werden die beiden Sekundärspulen mit einer Wechselspannung induziert. Je nach Position des Kerns, wird in der einen Sekundärspule mehr Spannung induziert als in der anderen Sekundärspule. Diese Spannungsdifferenz ist proportional der Kernverschiebung und wird in der Messelektronik (*Spider8*) als Längenänderung wiedergegeben. In der „Nulllage“ des Kerns ist die Kopplung von der Primärspule auf die beiden Sekundärspulen gleich groß. Durch diesen differentialen Aufbau des Wegmessensors besitzt dieses Ausgangssignal eine sehr große Stabilität. Die hohe Auflösung von ca.  $0,01\mu\text{m}$  des Sensors ist nur durch das Rauschsignal begrenzt [18].

Die Messung der Längenänderung wird nicht direkt an der Kriechprobe, sondern über ein eingebautes Extensometer, welches mit dem induktiven Wegaufnehmer verbunden ist, ermittelt. Der Einsatz des Extensometers ist wegen der in dem Ofen herrschenden hohen Temperaturen und des Platzmangels notwendig. Der Extensometer steht mit den drei Füßen auf der Bodenscheibe (siehe *Abbildung 3.23 rechts*). Durch die drei Füße ist ein statisch bestimmtes System gegeben. Seitlich wird der Extensometer mit Führungshülsen geführt. An dem oberen Ende des Extensometers wird der Wegaufnehmer mit einem ringförmigen Anbau befestigt. Die Kennlinien der Wegaufnehmer wurden in der Vergangenheit mit einem Parallelendmaßsatz ermittelt und im Messprogramm hinterlegt [10],[18].

### 2.2.3. Messelektronik



Für die Kriechanlage werden drei *Spider8* der Firma Hottinger Baldwin Messtechnik verwendet. Das Einsatzgebiet des *Spider8* ist das elektrische Messen mechanischer Größen wie Dehnungen, Drücke, Wege, Beschleunigungen und für Temperaturen. Die gesamte Signalkonditionierung – Speisung für passive Aufnehmer und Verstärkung, Digitalisierung, Rechnerinterface und Anschlusstechnik für maximal 8 Kanäle – ist in einem Gehäuse vereinigt. Der

Datenaustausch vom *Spider8* zum Rechner kann über den Druckeranschluss oder über eine RS-232-Schnittstelle erfolgen. Für die Kriechanlage erfolgt der Datenaustausch über den Druckeranschluss.

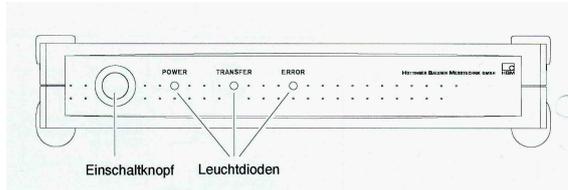


Abbildung 2.14.: Ansicht des *Spider8* von Vorne  
[12]

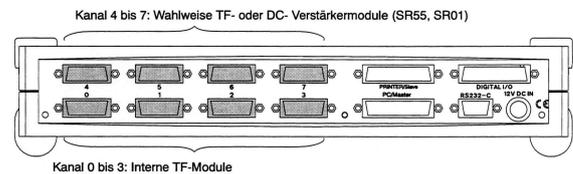


Abbildung 2.15.: Ansicht des *Spider8* von Hinten  
[12]

Die Kanäle 0 bis 3 sind vier komplette digitale Messverstärker in 4,  $8\text{kHz}$ -Trägerfrequenztechnik für DMS- oder Induktivaufnehmer. Die Kanäle 4 bis 7 wurden mit einem DC-Modul erweitert. Das DC-Modul erweitert die Messmöglichkeiten des *Spider8* für die folgenden elektrischen Größen: Temperatur (Thermoelementen J, K, T, S oder Pt100/Pt1000). Spannung (bis  $10\text{V}$  =), Strom (bis  $200\text{mA}$ ) und Widerstand (bis  $4000\Omega$ ).

Über die Buchse PC/Master kann ein PC oder ein weiterer *Spider8* angeschlossen werden (bis zu acht *Spider8*). Ohne eine weitere Einstellung präsentieren sich die untereinander verbundenen *Spider8* für den Rechner als ein Gerät mit 8, 16, ..., 64 Kanälen. Die Kanäle des ersten Geräts haben automatisch die Nummer 0 bis 8, am zweiten 10 bis 18 ... und am letzten 60 bis 68 [12].

An der Frontseite des *Spider8* befindet sich der Einschaltknopf und drei Leuchtdioden (siehe Abbildung 2.14). Nach dem Einschalten leuchten die LED's

- POWER (Grün)
- TRANSFER (Gelb)
- ERROR (Rot)

auf.

Die einzelnen Leuchtdioden haben während des Betriebes folgende Bedeutung:

- POWER: Der Funktionstest ist erfolgreich verlaufen, der *Spider8* ist betriebsbereit.
- TRANSFER: Der *Spider8* sendet oder empfängt Daten.
- ERROR: Ein Fehler ist aufgetreten.

### Die Verbindung der *Spider8* untereinander und mit dem PC:

- Printer/Slave: Verbindung des *Spider8* zum nächsten *Spider8*
- PC/Master: Verbindung des *Spider8* zum vorherigem *Spider8* oder zum PC.

Bei dem *Spider8* der direkt mit dem PC verbunden ist, leuchtet nach dem Einschalten die POWER-Anzeige. Bei den anderen beiden *Spider8* blinken die POWER-Anzeigen so lange, bis eine Kommunikation mit dem Rechner stattgefunden hat (Abbildung 2.16).

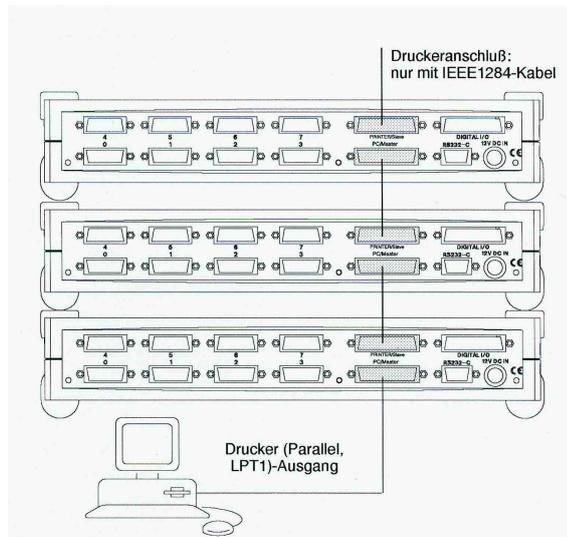


Abbildung 2.16.: Verbinden von mehreren *Spider8* [12]

**Verbindung mit dem induktiven Wegaufnehmer**

Die Kanäle 0 bis 3 werden für die Messung der Längenänderung verwendet (*Abbildung 2.17, 2.18*).

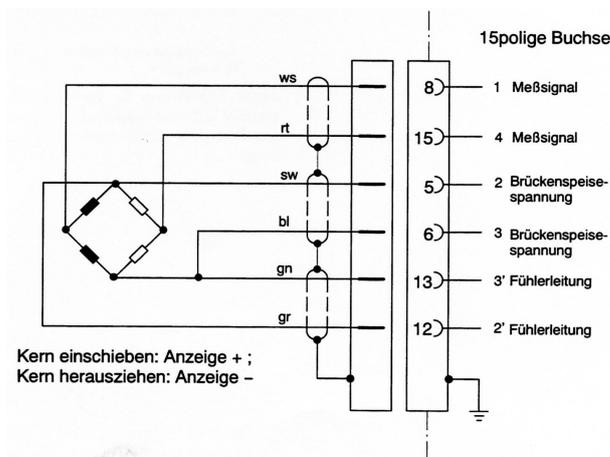


Abbildung 2.17.: Anschluß des Wegmesssystems an das TF-Modul [12]

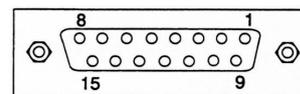


Abbildung 2.18.: 15polige Buchse [12]

**Verbindung mit Thermoelementen**

Die Kanäle 4 bis 7 werden für die Temperaturmessung verwendet (DC-Modul). Das Thermo-  
element wird mit Hilfe einer Ausgleichsleitung bis an den Stecker des *Spider8* geführt. Die  
Vergleichsmessstelle befindet sich im Aufnehmerstecker (*Abbildung 2.19, 2.20*).

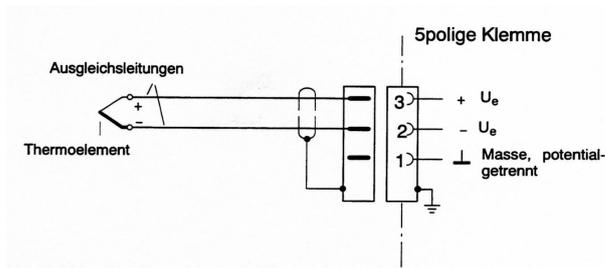


Abbildung 2.19.: Anschluß des Thermoelements an das DC-Modul [12]

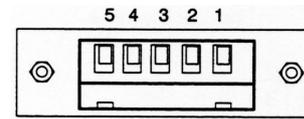


Abbildung 2.20.: Klemmenanschluß [12]

## 2.3. Temperaturmessung

### 2.3.1. Thermoelement

Thermoleitungen sind Leiter, deren Adern/Litzen denselben Werkstoff besitzen, wie das entsprechende Thermoelement. Sie werden gekennzeichnet mit dem Buchstaben X. Verbindet man die Enden der Thermoleitungen, so werden sie ein Thermoelement<sup>1</sup>, das den thermoelektrischen Effekt für die Temperaturmessung nutzt. *“Der thermoelektrische Effekt, bekannt unter dem Seebeck-Effekt, ist die Erzeugung einer elektromotorischen Kraft (EMK) durch eine Temperaturdifferenz zwischen 2 Verbindungsstellen zweier unterschiedlicher Metalle oder Legierungen, die Teil eines gemeinsamen Stromkreises sind.“* [20]

Die verwendeten Thermoelemente des Typs K werden entsprechend ihrer chemischen Zusammensetzung bezeichnet (NiCr-Ni oder NiCr-NiAl). Der positive Thermodraht (KP) ist eine Legierung aus ca. 89% bis 90% Nickel und 9% bis 9,5% Chrom sowie geringe Mengen an anderen Elementen, wie zum Beispiel Silizium, Eisen, Mangan und Kohlenstoff (Bezeichnung: NiCr). Der negative Thermodraht (KN) ist eine Legierung aus ca. 95% bis 96% Nickel, 1% bis 2,3% Aluminium sowie aus anderen Elementen wie zum Beispiel Silizium, Mangan und Kobalt (Bezeichnung: Ni oder NiAl).

Die Farbkennzeichnung der Isolierung ist nach DIN EN 60584 [20] genormt. Die Isolierung des negativen Leiters muss für alle Thermopaare weiß sein. Die Isolierung des positiven Leiters und des Außenmantels ist für das Thermopaar des Typ K grün. Der Anwendungsbereich liegt bei K-Elementen bei  $-270^{\circ}\text{C}$  bis  $1372^{\circ}\text{C}$ . Grundmetall-Thermoelemente des Typs K sollten entweder nur bei Temperaturen unter  $400^{\circ}\text{C}$  oder bei höheren Temperaturen nur für Zeiten bis 1 000 h genutzt werden. Diese Thermoelemente sollten nach einem Versuch nicht wiederverwendet werden [19].

### 2.3.2. Ausgleichsleitung

Die Adern/Litzen der Ausgleichsleitung bestehen im Gegensatz zu Thermoleitungen aus Legierungen, die nicht identisch dem Thermoelement sind. Sie besitzen in dem zulässigen Temperaturbereich jedoch dieselben thermoelektrischen Eigenschaften wie das entsprechende Thermoelement. Sie werden mit dem Kennbuchstaben C gekennzeichnet [20].

<sup>1</sup>synonym: Thermopaar

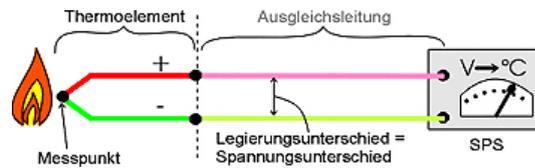


Abbildung 2.21.: Prinzipsskizze Thermoelement und Ausgleichsleitung [21]

### 2.3.3. Messung

Die Höhe der aufgebauten Spannung (EMK) hängt von den verwendeten Werkstoffen und von der Temperaturdifferenz der Kontaktstellen (Messstelle und Vergleichsmessstelle) ab. Innerhalb gewisser Grenzen ist die Spannung proportional der Temperaturdifferenz der Kontaktstellen und folgt dem Wandlergesetz:

$$U_{th} = k_{AB} * (T_A - T_B) \quad (2.1)$$

$k_{AB}$  ist dabei die Temperaturempfindlichkeit in  $\frac{V}{K}$ . Thermoelemente des Typs K zeigen eine Temperaturempfindlichkeit von  $3,65 * 10^{-5} \frac{V}{K}$  [10].

Die Vergleichsmessstelle befindet sich bei allen Geräten intern. Die Messstelle befindet sich direkt an der Probe. Dazu werden die Thermodrähte ca.  $4mm$  abisoliert, miteinander verdreht und durch die Bohrung eines an der Probe geschraubten Messringes bis an die Probenoberfläche herangeführt. Das Thermoelement wird durch zwei Schrauben am Messring in seine richtige Lage fixiert. Wie die Thermoelemente in den Messringes befestigt werden, ist im Kapitel 3.4.3 erklärt.



Abbildung 2.22.: Kriechprobe mit einem Messring zur Befestigung der Thermoelemente

## 2.4. Temperaturverteilung

Um die Temperaturverteilung über die gesamte Kriechprobe bestimmen zu können, wurden auf einer Länge von  $55mm$  fünf Thermoelemente appliziert. Die Probe wurde bei einer konstanten Temperatur von  $300^\circ C$  geringfügig belastet (ca.  $5MPa$ ). Eine maximale Temperaturabweichung von  $\pm 3^\circ C$  zwischen den beiden äußeren Thermoelementen (Messring oben und Messring unten) wird toleriert.



Abbildung 2.23.: Probe mit 5 Thermoelementen bestückt

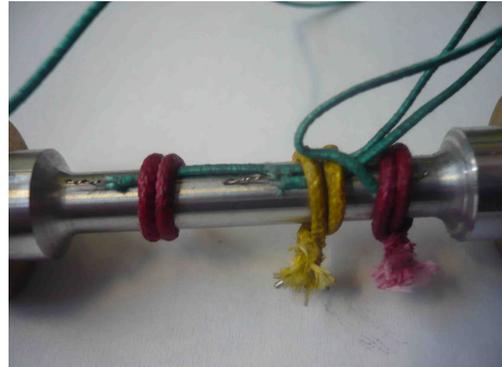


Abbildung 2.24.: Detailansicht der Probe mit 5 Thermoelementen

## 2.5. Temperaturabhängigkeit der Längenmessung

Ein Einfluss der schwankenden Umgebungstemperatur auf die Kriechanlage, genauer gesagt auf die Messung der Längenänderung, konnte festgestellt werden. Die Auswertung wurde anhand von Daten einer aktuell laufenden Messung durchgeführt. Für die Berechnung der Längenänderung aufgrund der Temperaturschwankung wurde die Formel

$$\Delta x = L_0 * \alpha_s * \Delta T \quad (2.2)$$

verwendet.

## 2.6. Kriechdummies

Um nach dem Umbau der Kriechanlage den Prüfstand auf Funktionsfähigkeit zu testen, wurde jede Einprobenprüfmaschinen (1 bis 9 und 12) mit einer Probe bestückt. Da hier nicht die Messdaten wie bei einem klassischen Kriechtest von Bedeutung waren, sondern nur das einwandfreie Arbeiten der Kriechmaschine, wurden Aluminium-Legierungen (Kriechdummies) die bei früheren Kriechtests keine Verwendung fanden, verwendet. Die Kriechdummies wurden mit  $70\text{MPa}$  belastet. Zuvor befanden sich die Proben eine Stunde lang bei  $300^\circ\text{C}$  und einer Belastung von  $5\text{MPa}$  in den Kriechöfen.

Die Durchführung und Handhabung dieses Test entsprach einem normalen Kriechtest. Die Erklärung zur Durchführung eines Kriechversuchs finden Sie im Kapitel 3.4.

## 2.7. Kriechproben $BM2124/SiC/25p < 5\mu\text{m}$

### 2.7.1. Werkstoff

#### Unverstärkte Legierung

Die Aluminium-Kupferlegierung AW2124 dient als Matrixwerkstoff für den Verbundwerkstoff. Die Aluminium Kupferlegierung (2XXX) ist eine ausscheidungsgehärtete Legierung. Die genaue Zusammensetzung des Matrix-Werkstoffes siehe Tabelle 2.2.

### Siliziumkarbid Partikel

Siliziumkarbid  $SiC$  ist ein Keramik-Verbund, welcher säure- und laugenbeständig ist und Temperaturen bis zu  $1500^{\circ}C$  widersteht. Weil sich Siliziumkarbid in flüssigem Al mit weniger als 7%  $Si$  Anteil (bezogen auf die Masse) in  $Si$  und  $Al_4C_3$  zersetzt, wird der Verbundwerkstoff mittels Pulvermetallurgie hergestellt. Die Eigenschaften des  $SiC$  siehe Tabelle 2.1 [8].

Tabelle 2.1.: Eigenschaften der  $SiC$  Partikeln die typischerweise zur Verstärkung von Al-Legierungen eingesetzt werden [8].

|  |                                    |                    |
|--|------------------------------------|--------------------|
| relative Molmasse                                  | $\left[\frac{g}{mol}\right]$       | 40.097             |
| Chemische Zusammensetzung                          | $[\%]$                             | Si 70.05 / C 29.95 |
| Dichte   | $\left[\frac{g}{cm^3}\right]$      | 3, 21              |
| Young's Modulus                                    | $[GPa]$                            | 200 – 300          |
| Härte nach Mohs                                    | -                                  | 9.5 – 9.75         |
| Schmelzpunkt                                       | $[^{\circ}C]$                      | > 2300             |
| spez. Wärmekapazität $20^{\circ}C / 1000^{\circ}C$ | $\left[\frac{J}{g \cdot K}\right]$ | 0.67/1.27          |

### Verbundwerkstoff

Der Verbundwerkstoff  $BM2124/SiC/25p < 5\mu m$  besteht aus einer AW2124 Matrix, die mit  $SiC$  Partikeln verstärkt ist, wobei 25p den Volumenanteil an Partikeln in % des Verbundwerkstoffes angibt. Die zur Verstärkung verwendeten Partikel haben eine irreguläre Form (eckig) und einen Durchmesser kleiner  $5\mu m$  (siehe Abbildung 2.25).

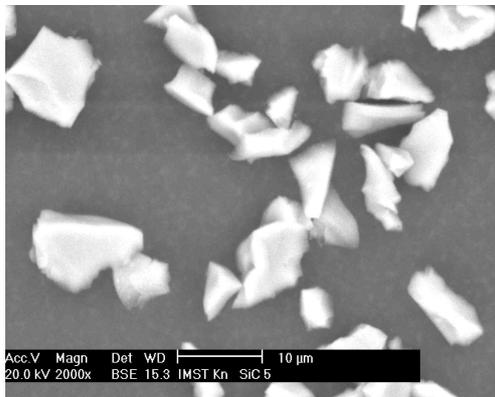


Abbildung 2.25.:  $SiC$  Partikeln  $< 5\mu m$  [8]



Abbildung 2.26.: Kugelmühlverfahren mit 4 Behälter [8]

Der Werkstoff  $BM2124/SiC/25p < 5\mu m$  wurde durch das hochenergetische Kugelmühlverfahren (BM = Ball Mill) hergestellt. Dafür wurde eine Kugelmühle mit 4 Behältern verwendet (Abbildung 2.26). Die Rotationsgeschwindigkeit der Behälter betrug  $200U/min$ . In jedem Behälter wurden 60g der Pulvermischung aus Matrixwerkstoff und  $SiC$  gemischt. 12 Stahlkugeln mit einem Durchmesser von je 14,4mm und 31g wurden in jedem Behälter verwendet, um das Pulver (AW2124 mit  $SiC$ ) zu mischen. Die Pulverteilchen wurden während dem Verfahren verformt, zerkleinert und kaltverschweißt. Die Mischzeit betrug 4h. Alle Werkstoffe die nachfolgend mit BM bezeichnet sind, wurden mit dieser Technik hergestellt.

Nach dem Mischen wurde das Pulver für die nachfolgende Heißextrusion bei  $450^{\circ}C$  in einem

Al-Rohr kalt verdichtet. Ein Werkzeug (Matrize) mit einem Durchmesser von  $11,8\text{mm}$  wurde verwendet, um ein Verformungsverhältnis (billet/bar) von  $12 : 1$  zu erreichen [8].

Tabelle 2.2.: Chemische Zusammensetzung des extrudierten 2124 Matrix mit Kugelmühleverfahren, ohne Kugelmühleverfahren und Grenzwerte nach den Vorgaben der Aluminium Association [8]

| Werkstoff | Si   | Fe   | Cu   | Mn  | Mg   | Cr          | Ni          | Zn          | Ti          |
|-----------|------|------|------|-----|------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| AW2124    | 0,03 | 0,07 | 3,93 | 0,6 | 1,46 | $\leq 0,01$ | $\leq 0,01$ | $\leq 0,01$ | $\leq 0,01$ |
| BM2124    | 0,03 | 0,08 | 3,9  | 0,6 | 1,45 | $\leq 0,01$ | $\leq 0,01$ | $\leq 0,01$ | $\leq 0,01$ |
| Limits    | 0,2  | 0,3  | 3,8  | 0,3 | 1,2  | 0,1         | —           | 0,25        | 0,15        |
| AW2124    |      |      | 4,9  | 0,9 | 1,8  |             |             |             |             |

### 2.7.2. Proben Geometrie:

Die Probengeometrie ist nach der DIN 10291 (alt DIN 50118) [19] genormt. Die Geometriewerte stellen Nennmaße dar (Abbildung 2.27). Das Bild 2b: *Beispiel von Proben* der DIN 10291 entspricht der Geometrieabmessung dieser Arbeit. Das heißt, dass die Bezugslänge  $L_r$  (Länge zur Berechnung der Dehnung) gleich der Anfangsmesslänge  $L_0$  (Länge zwischen Messmarken auf der Probe) ist und  $36\text{mm}$  entspricht. Diese Länge von  $36\text{mm}$  wird für die Berechnung der wahren<sup>2</sup> Dehnung verwendet. Die Formel für die Berechnung der wahren Dehnung siehe Kapitel 3.4.4.

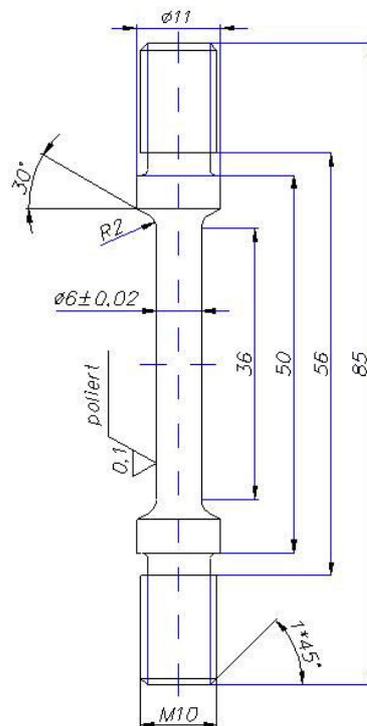


Abbildung 2.27.: Probengeometrie

<sup>2</sup>synonym: logarithmische

### **2.7.3. Wärmebehandlung**

Um sicher zu gehen, dass sich alle Proben in dem selben Zustand befinden, wurde vor Beginn der Testphase eine Wärmebehandlung durchgeführt. Die Schmelztemperatur des Werkstoffes liegt bei ca.  $505^{\circ}\text{C}$ . Die Proben wurden bei  $490^{\circ}\text{C}$  20 Minuten lang in einen Ofen erwärmt. Anschließend wurden sie in kaltem Wasser abgeschreckt. Die Überalterung des Werkstoffes erfolgte direkt bei den Kriechöfen bei  $300^{\circ}\text{C}$  für 2 Stunden.

# Kapitel 3.

## Ergebnisse

### 3.1. Umbau

Wegen der umständlichen Weise der Bestückung der Kriechanlage mit neuen Proben und die lange Einsatzdauer der Öfen, entschied sich das Institut für die Erneuerung der Öfen zur Erwärmung der Kriechproben.

In diesem Kapitel wird zuerst die Montage der neuen Öfen und deren Realisierung beschrieben. Die durch die neuen Öfen entstandene Situation brachte eine Neugestaltung der Stromversorgung mit sich, die im Anschluss an die Ofenmontage erklärt wird.

#### 3.1.1. Ofenmontage

##### 3.1.1.1. Ofendaten

Die neu verwendeten Öfen sind Klapprohröfen des Typs VST 10/150 der Firma CARBOLITE GmbH. Sie werden vertikal eingebaut und verfügen über einen Klappmechanismus zum öffnen. Die maximal erreichbare Temperatur beträgt  $1000^{\circ}\text{C}$  (10 in der Typen Bezeichnung =  $1000^{\circ}\text{C}$ ). Die Heizleistung eines Ofens beträgt ca. 900 Watt. Die Heizdrähte sind in einer vakuumgeformte Faserisolierung (Keramikfaser) eingebettet und gehen senkrecht von oben nach unten. Zum Schutz der Heizdrähte dient das eingebaute Inconel-Schild (korrosionsbeständige Nickelbasislegierung). Die Zahl 150 bei der Typenbezeichnung gibt die beheizbare Länge des Ofens in mm an. Der Ofen wird bei 230 V Wechselspannung und maximal 4 Ampe-re betrieben. Er verfügt über ein integriertes Thermoelement des Typ K. Durch regelmäßiges Warten und Ersetzen von Teilen, kann die Lebensdauer eines Ofens verlängert werden. Wird die filigrane Ofenisolierung beschädigt, kann dieser Bauteil komplett oder teilweise getauscht werden. Dadurch kann die Leistungsfähigkeit des Ofens wieder hergestellt werden.



Abbildung 3.1.: Klappprohrofen

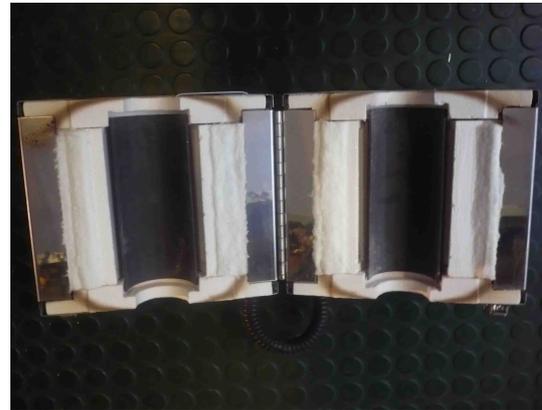


Abbildung 3.2.: Klappprohrofen geöffnet

### 3.1.1.2. Vorgabe Ofeneinbau

Die Vorgaben für den Einbau der Öfen waren die Vereinfachung der Bestückung der Kriechanlage (durch Klappmechanismus) und eine konstant herrschende Temperatur im Ofeninnenraum.

Früher wurde der Ofen samt der Zugvorrichtung in die Anlage gehoben und montiert. Nun sollen die neuen Öfen fix mit der Anlage montiert werden und nur mehr die Zugvorrichtung wird in die Anlage eingesetzt und fixiert. Für die Montage der neuen Öfen musste man folgende Restriktionen zu berücksichtigen:

- Die Breite des Gestells für eine Vorrichtung ist fix vorgegeben (*Abbildung 3.3; B*).
- Die Einbauhöhe des Ofens soll so gewählt werden, dass die Probe sich mittig im Ofen befindet (*Abbildung 3.3; H*).
- Die vertikale Ausrichtung der Öfen soll ebenfalls mittig sein (*Abbildung 3.4; r*).
- Der Außendurchmesser der Öfen ist größer als der der alten Öfen und hat außen zusätzlich zwei Klemmabdeckungen montiert (*Abbildung 3.4; R*).
- Die Funktion des Klappmechanismus muss gewährleistet sein (Eine Ofenhälfte ist fixiert; die andere Ofenhälfte ist beweglich)

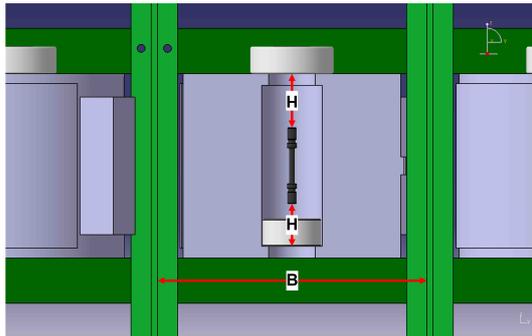


Abbildung 3.3.: Vorderansicht mit Restriktionen

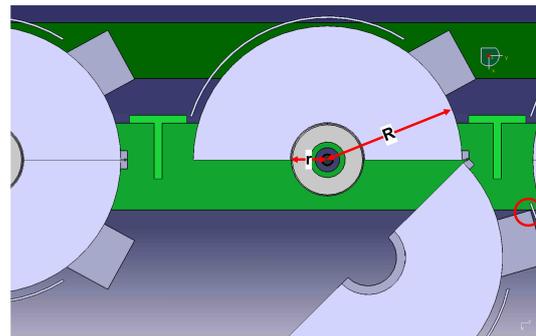


Abbildung 3.4.: Draufsicht mit Restriktionen

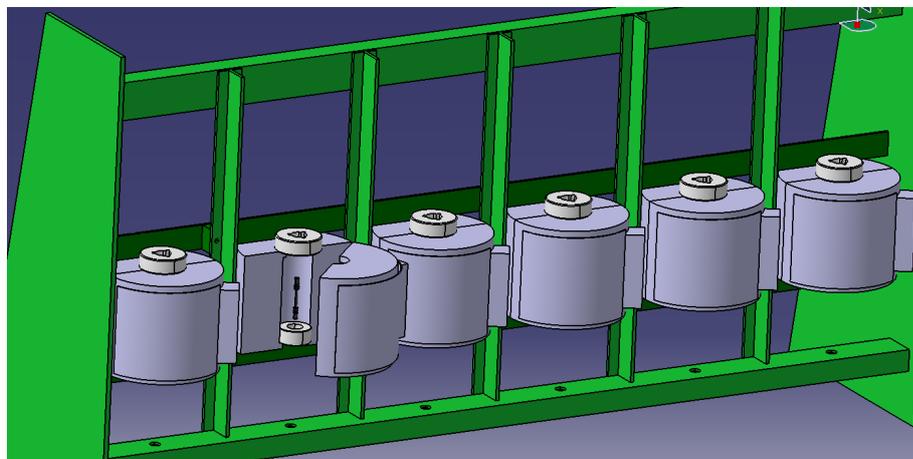


Abbildung 3.5.: Gesamtansicht des Prüfstands mit Öfen, Dichtungsscheiben und Kriechprobe

### 3.1.1.3. Vorgehensweise/Realisierung

Eine günstige Lösung zur Montage der neuen Öfen die alle Restriktionen berücksichtigt, wurde durch Verwendung von einem Stahl L-Profil realisiert. An der Rückseite des Gestells der Kriechanlage wurden mit Abstandhalter je zwei Stahl L-Profile für einen Ofen montiert. Es wurde zuerst das untere Profil mit dem Gestell und dem Abstandhalter montiert. Der Ofen (eine Ofenhälfte) wurde auf diesen Ausleger gestellt und ausgerichtet. Das zweite L-Profil wurde oben mit Anpressdruck auf den Ofen aufgelegt und mit dem Gestell verbunden. Zusätzlich wurden die Öfen durch je 2 Schrauben oben und unten mit dem L-Profil verbunden. Die geringe Wärmeausdehnung bei laufendem Betrieb gibt zusätzlichen Halt. Es wurde bewusst kein L-Profil, welches über die ganze Prüfstandgruppe (6 Öfen) geht, gewählt, da bei Wartungsarbeiten oder Austausch von Öfen jeweils nur dieser getauscht werden kann, ohne dabei alle 6 Öfen der gesamten Prüfstandgruppe demontieren zu müssen.

Die Öfen wurden so montiert, dass eine Ofenhälfte fix mit dem Gestell verbunden und eine Ofenhälfte frei beweglich ist. So kann man den Ofen öffnen, die Zugvorrichtung samt Probe einbauen und den Ofen schließen. Ein Problem entstand dadurch, dass durch den geringen Platz zwischen Ofen und Gestell der seitlich montierte Verschluss nicht mehr geöffnet werden konnte. Zur Behebung dieses Problems wurden die Verschlüsse demontiert und an der Oberseite der Öfen befestigt. Dadurch ist ein sicheres und einfaches Verschließen der Öfen

gewährleistet. Zusätzlich wurden weitere Verschlüsse an der Ofenunterseite angebracht, um die Anpresskraft gleichmäßig über die gesamte Ofenlänge zu verteilen. Gleichzeitig dadurch das Durchhängen der Scharniere verhindert.

Aufgrund des vorgegebenen Platzbedarfes durch das Prüfgestell, (*Abbildung 3.3; B*) kann die frei bewegliche Ofenhälfte nicht komplett ( $180^\circ$ ) geöffnet werden, da sie durch den Öffnungswinkel von lediglich  $50^\circ$  den benachbarten Ofen berührt (siehe *Abbildung 3.5*). Eine Drehung des Ofens um einen größeren Öffnungswinkel zu erzielen ist nicht möglich, da entweder die Klemmabdeckung das Prüfgestell berührt oder bei Drehung in die andere Richtung das Verschließen des Ofens nicht möglich ist.

### 3.1.2. Elektroinstallation

Zu Beginn dieser Arbeit wurden Tests zur Erreichung der Ofentemperatur durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, dass die gewünschte Temperatur von  $300^\circ\text{C}$  mit den neuen Öfen nicht mehr erreicht wurde. Elektrische Messungen an den Keramikhohlzylinder-Öfen (alte Öfen) und Klapprohröfen (neue Öfen) ergaben, dass die neuen Öfen einen geringeren Innenwiderstand besitzen als die alten Öfen (siehe *Tabelle 3.1, 3.2*). Drehte man das Stellrad des Drehtransformators (dieses Bauteil ist nach dem Umbau nicht mehr in Verwendung) auf den Winkel  $330^\circ$  (max. Ausgangsspannung), konnte eine max. Leistung von ca. 190 Watt erreicht werden. Die alten Öfen wurden hingegen bei einem Stellradwinkel von ca.  $220^\circ$  betrieben und erreichten eine Leistung von ca. 360 Watt. Die Leistung der neuen Öfen war für die Erwärmung auf  $300^\circ\text{C}$  zu wenig. Demzufolge war eine Neu-Planung und Installation von der Stromversorgung nötig. Weitere Gründe für die Neugestaltung der Stromversorgung waren:

- In den letzten 10 Jahren wurde von 2 auf 10 Öfen aufgerüstet und dabei ein unübersichtliches Stromversorgungsnetz aufgebaut.
- Es gab keine Sicherheitseinrichtungen, wie zum Beispiel einen Fehlerstromschutzschalter.
- Keine thermische Sicherheitseinrichtung

#### 3.1.2.1. Neugestaltung und Verbesserungen

Zu Beginn wurden im Schaltschrank und bei den beiden Kriechprüfständen alle Bauteile und Kabeln – bis auf die Strommessung mit Stromanzeige – demontiert. Um Geld zu sparen, wurden ausschließlich die bereits vorhanden Kabel für die neue Stromversorgung verwendet. Bei den Bauteilen wurden die Schmelzsicherungen, 24V Schalter, 4 Thyristor-Leistungsschalter, Regler und Schalter übernommen. Neu gekauft wurden ein Fehlerstromschutzschalter FI, ein 24V Netzteil, 6 Thyristore-Leistungsschalter, 10 Temperaturbegrenzer und Kleinteile wie zum Beispiel Aderendhülsen, Schmelzsicherungseinsätze, Kabelkanäle, Hutschiene. *Abbildung 3.6* gibt einen schematischen Überblick der umgebauten Kriechanlage.

Tabelle 3.1.: Keramikhohlzylinder (max. 360 Watt): Strom bzw. Spannung in Abhängigkeit des Stellrades

| Stellrad Winkel<br>[°C] | Spannung<br>gemessen<br>[V] | Strom<br>gemessen<br>[A] | Ohmscherwiderstand<br>gemessen [ $\Omega$ ] | Ohmscherwiderstand<br>berechnet [ $\Omega$ ] |
|-------------------------|-----------------------------|--------------------------|---|--|
| 300                     | 88,2                        | 7,5                      | 11,5  | 11,76  |
| 280                     | 82,2                        | 7                        | 11,5  | 11,74  |
| 260                     | 76,4                        | 6,5                      | 11,5  | 11,75  |
| 240                     | 70,7                        | 6                        | 11,5  | 11,783                                       |
| 220                     | 65,1                        | 5,5                      | 11,5  | 11,84  |
| 200                     | 59,2                        | 5                        | 11,5  | 11,84  |
| 180                     | 53,3                        | 4,5                      | 11,5  | 11,84  |
| 160                     | 47,1                        | 4                        | 11,5  | 11,78  |
| 140                     | 41,1                        | 3,5                      | 11,5  | 11,74  |
| 120                     | 35,5                        | 3                        | 11,5  | 11,83  |
| 100                     | 30                          | 2,5                      | 11,5  | 12   |
| 80                      | 24,5                        | 2,1                      | 11,5  | 11,67  |

Tabelle 3.2.: Klapprohröfen (max. 180 Watt): Strom bzw. Spannung in Abhängigkeit des Stellrades

| Stellrad Winkel<br>[°C] | Spannung<br>gemessen<br>[V] | Strom<br>gemessen<br>[A] | Ohmscherwiderstand<br>gemessen [ $\Omega$ ] | Ohmscherwiderstand<br>berechnet [ $\Omega$ ] |
|-------------------------|-----------------------------|--------------------------|---|--|
| 330                     | 103                         | 1,78                     | 60  | 57,87  |
| 300                     | 93                          | 1,6                      | 60  | 58,13  |
| 270                     | 85,5                        | 1,45                     | 60  | 58,97  |
| 240                     | 76,4                        | 1,29                     | 60  | 59,22  |
| 210                     | 66,8                        | 1,13                     | 60  | 59,12  |
| 180                     | 57,7                        | 0,97                     | 60  | 59,48  |
| 150                     | 47,5                        | 0,8                      | 60  | 59,38  |
| 120                     | 38,4                        | 0,65                     | 60  | 59,08  |
| 90                      | 29,4                        | 0,5                      | 60  | 58,8   |

### 3.1.2.2. Realisierung Elektroinstallation

#### Stromversorgung (Abbildung 3.8)

Die Stromversorgung für die gesamte Anlage erfolgt über ein  $5 \times 6 \text{ mm}^2$  Kabel (DIN57100). Das Kabel wird über eine Bohrung mit Kabelverschraubung<sup>1</sup> links oberhalb des Fehlerstromschutzschalters FI in den Schaltschrank geführt (siehe Abbildung 3.7).

Es gibt insgesamt drei verschiedene Bauteiltypen – die Ofenregler (OR), das 24V Netzteil (NT) und die Temperaturbegrenzer (TB) – die mit Strom versorgt werden. Alle drei Bauteiltypen benötigen das 230 V Wechselstrom-Netz. Nach dem eingebauten FI fließt der Strom über eine 5 Ampere Schmelzsicherung zu zwei Klemmen. Es wurden zwei Außenleiter für die Versorgung dieser oben genannten elektrischen Bauteile gewählt, um eine gleichmäßige Belastung der Außenleiter zu gewährleisten. Die Stromverteilung zu den einzelnen Bauteilen erfolgt aus-

<sup>1</sup>synonym: Zugentlastung

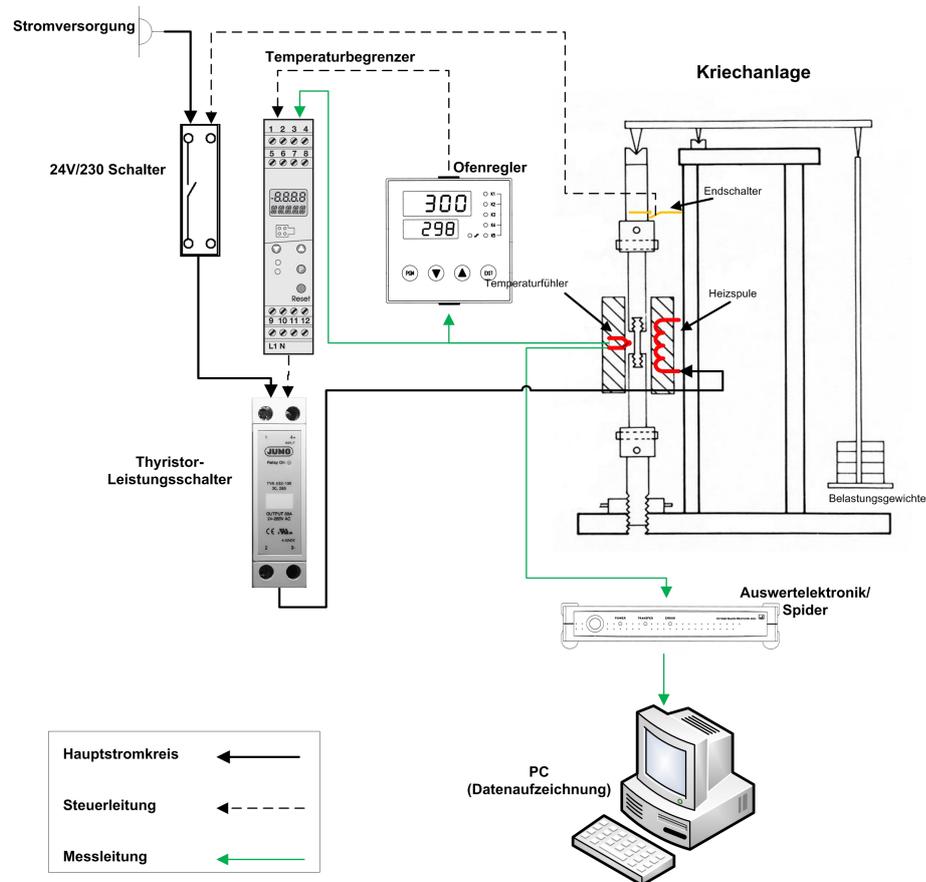


Abbildung 3.6.: schematische Darstellung der Elektroinstallation

gehend von den beiden Klemmen  $K-U$  und  $K-V$  (siehe Abbildung 3.8).

Der Neutralleiter wird direkt nach dem FI zu einer NL-Klemmleiste geführt. Von dort erfolgt die Verteilung der Neutralleiter zu den einzelnen elektrischen Bauteilen.

Abkürzungsverzeichnis:

- NT ... Netzteil
- TB-X ... Temperaturbegrenzer für Ofen X
- OR-X ... Ofenregler für Ofen X
- K-X ... Klemmleiste X
- FI ... Fehlerstromschutzschalter mit Fehlerstrom 100 mA
- OR-X/L1 ... Klemmbezeichnung: Gerätebezeichnung mit Nummer / Klemme am Bauteil
- ESR-X ... Endschaltrelais für Ofen X
- MS-X ... Mikroschalter für Ofen X

**Hauptstromkreis** (Abbildung 3.9)

Für die Stromversorgung der Öfen wurde versucht, die Belastung auf alle drei Außenleiter



Abbildung 3.7.: Elektroinstallation im inneren des Schaltschranks

gleichmäßig zu verteilen. Auf zwei Außenleiter sind jeweils vier Öfen und auf einem Außenleiter zwei Öfen angeschlossen. Ein Ofen benötigt im Betrieb ca. 3,8 A Strom. Das bedeutet, dass ein Außenleiter mit vier Öfen mit bis zu maximal 11,5A Strom belastet wird.

Nach dem FI werden alle drei Außenleiter für die Stromversorgung des Ofens über einen Hauptschalter (Drehschalter) geführt. Nach dem Hauptschalter werden die drei Außenleiter an der Klemmleiste *K1* den Öfen entsprechend aufgeteilt. Ofen 1 bis einschließlich Ofen 4 werden mit dem ersten Außenleiter angespeist. Ofen 5 bis einschließlich Ofen 8 mit dem zweiten Außenleiter. Für Ofen 9 und Ofen 12 wird der dritte Außenleiter verwendet. Für ein späteres Aufrüsten der Kriechanlage wurden bereits die Kabel/Leitungen für Ofen 10 und Ofen 11 verlegt. Diese Öfen sind wie Ofen 9 und Ofen 12 an dem dritten Außenleiter installiert.

Die Stromversorgung wird anschließend nur für Ofen 1 erklärt, da die weiteren Öfen analog aufgebaut sind und sich nur in der Bezeichnung unterscheiden.

Kurzbeschreibung:

Klemmleiste *K1* (*K1-1*) → Amperemeter → Drehschalter → Schmelzsicherung 6A → Klemm-

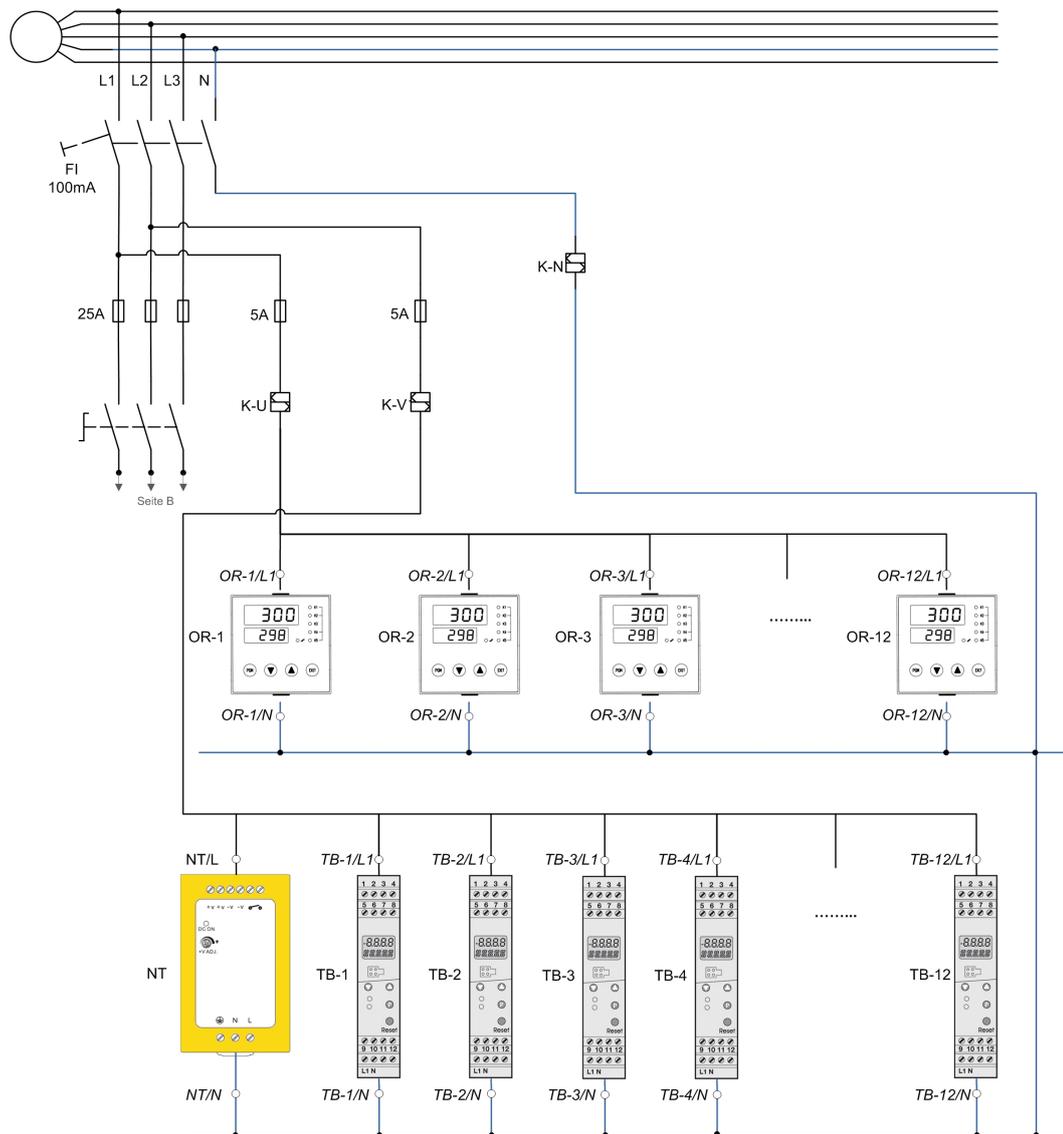


Abbildung 3.8.: Stromversorgung der Kriechanlage

leiste  $K1$  ( $K1-2$ ) → Endschaltrelais  $ESR-01$  → Thyristor-Leistungsschalter (Halbleiterrelais)  $THY-01$  → Klemmleiste  $K2$  ( $K2-1$ ) → Ofen1.

Ausführliche Beschreibung des Hauptstromkreises (Abbildung 3.9):

Ab der Klemmleiste  $K1$  ( $K1-1$ ) fließt der Strom über ein Amperemeter (Strommessung) mit analoger Anzeige. Aus der Analogenanzeige ist während dem Betrieb ersichtlich welcher Ofen gerade mit Strom versorgt wird und heizt. Der nachfolgende Drehschalter ermöglicht ein getrenntes Ein- und Ausschalten der einzelnen Öfen. Die Schmelzsicherung von 6 Ampere schützt vor zu hoher Überlastung des Ofen und der Kabel. Anschließend geht die Leitung zurück zur Klemmleiste  $K1$  ( $K1-2$ ). Nach der Klemme  $K1-2$  fließt der Strom zur ersten Sicherheitseinrichtung (siehe nachfolgende Beschreibung *Steuerstromkreis*), dem Endschaltrelais  $ESR-01$ . Ist dieses Relais geschlossen, kann der Strom zum nächsten Bauteil – dem

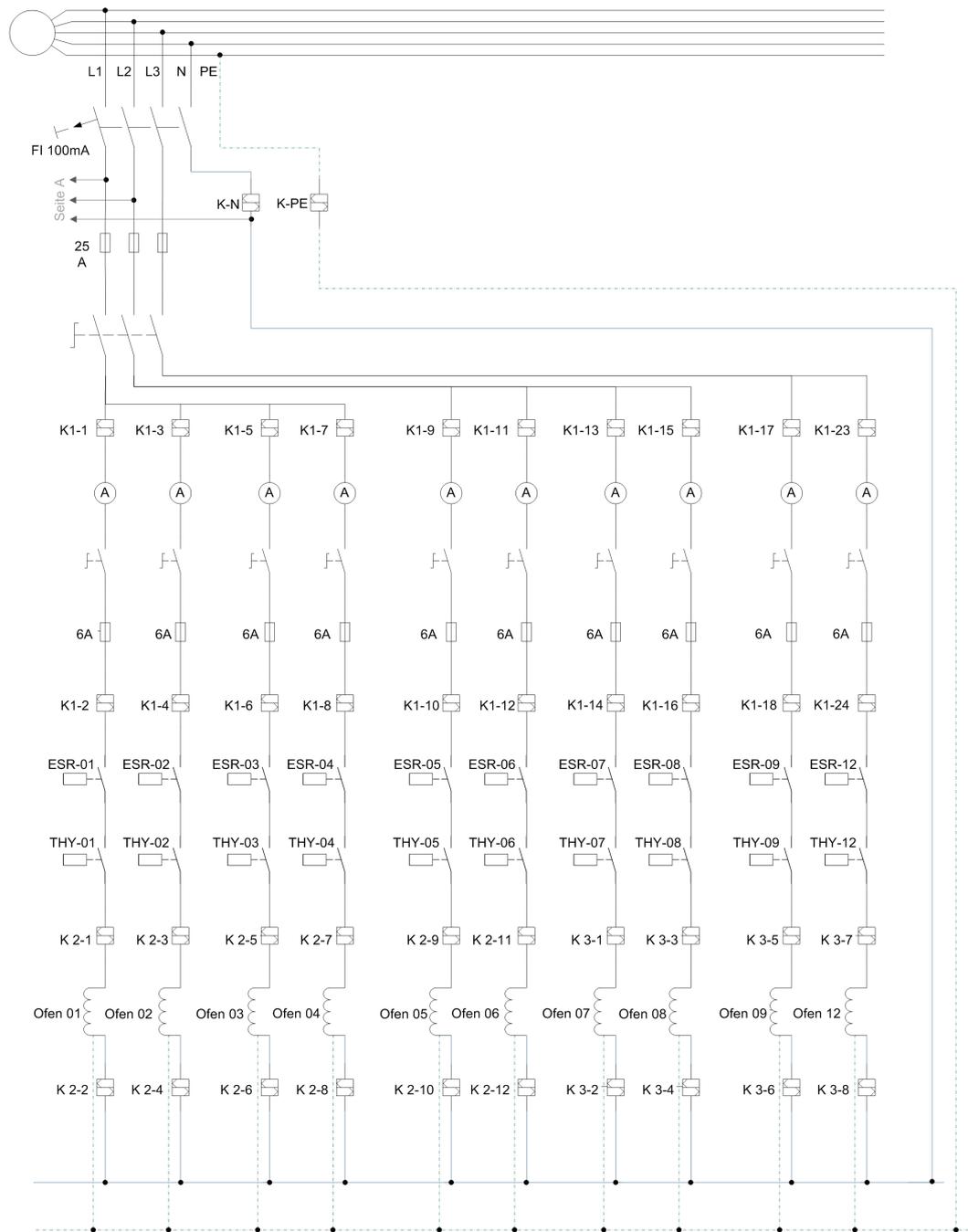


Abbildung 3.9.: Hauptstromkreis der Kriechanlage

Thyristor-Leistungsschalter (Halbleiterrelais) *THY-01* – fließen. Das Halbleiterrelais *THY-01* ist die zweite Sicherheitseinrichtung (siehe nachfolgende Beschreibung *Steuerstromkreis*). Vom Thyristor-Leistungsschalter führt die Leitung aus dem Schaltschrank zu der Klemmleiste *K2* (*K2-1*) im Kriechprüfstand. Mit einem Ölflexkabel wird die Klemmleiste *K2* (*K2-1*) mit dem Ofen 1 verbunden. Ölflexkabel halten Umgebungstemperaturen bis zu  $180^{\circ}\text{C}$  aus. Der Neutraleiter und der Erdungsleiter werden über die Neutraleiterklemme *K-N* und die Erdungsklemme *K-PE* im Schaltschrank direkt mit dem Kriechprüfstand durch ein Kabel

verbunden. Im Kriechprüfstand gibt es wiederum eine eigene Klemmleiste für den Neutralleiter und für die Erdung, welche mit der Klemmleiste des Schaltschranks und der einzelnen Öfen verbunden ist.

### Steuerstromkreis

#### *Erste Sicherheitseinrichtung*

Berührt der Belastungsbalken den darüber montierten Mikroschalter nicht, so ist der 24 V DC Steuerstromkreis geschlossen und die Spule des Endschaltrelais *ESR-01* wird mit Strom versorgt. Dies hat zur Folge, dass der Schließer des Relais *ESR-01* angezogen wird und den Strom für den Hauptstromkreis frei gibt. Berührt jedoch der Belastungsbalken den Mikroschalter, so kippt der Schalter des Mikroschalters *MS-01* und der 24 V DC Stromkreis ist über eine rote Signallampe geschlossen. Die Spule des *ESR-01* fällt ab und der Schließer im Hauptstromkreis öffnet sich. Gleichzeitig wird durch die rote Signallampe eine Störung angezeigt (*Abbildung 3.10*). (In dieser Arbeit wurde die Montage der Mikroschalter nicht durchgeführt. Die Leitungen und Anschlüsse für den Anschluss an die Mikroschalter sind jedoch schon vorhanden und wurden mit einer Klemme, um den Steuerstromkreis zu schließen, kurz geschlossen. Das heißt, *ESR-01* ist dadurch immer mit Strom versorgt.)

Gilt für Ofen 1 bis 12

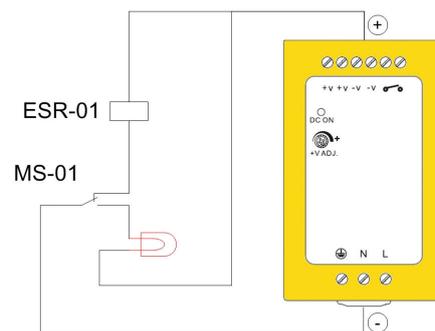


Abbildung 3.10.: Steuerstromkreis für Mikroschalter (hier für Ofen 1 dargestellt)

#### *Zweite Sicherheitseinrichtung*

Das Halbleiterrelais *THY-01* wird leitend, wenn der Ofenregler *OR-1* den Steuerstromkreis freigibt (internes Relais) und der Schließer des Temperaturbegrenzers *TB-1* geschlossen ist. Ist dies der Fall, so ist der Steuerstromkreis geschlossen und der Thyristor-Leistungsschalter wird leitend (*Abbildung 3.11*). Der Ofenregler gibt den Steuerstrom frei, wenn ein interner Temperaturgrenzwert (durch Selbstoptimierung bestimmt) der Solltemperatur gegenüber dem Messwert (Isttemperatur) unterschritten wird (Siehe Kapitel 2.2.1 *Ofenregler*). Der Temperaturbegrenzer *TB* ist eine Sicherheitseinrichtung, welche bei der Überschreitung einer fest definierten Temperatur den Schließer öffnet und diesen auch bei einer Unterschreitung der Temperaturgrenze nicht mehr frei gibt (siehe Kapitel 3.3.1 *Temperaturbegrenzer*).

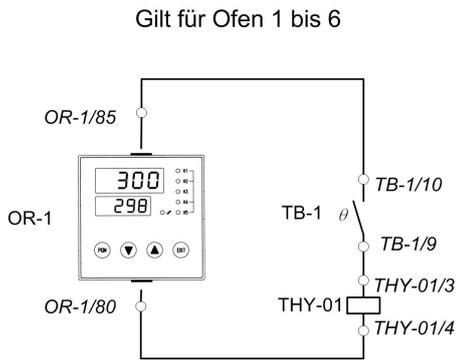


Abbildung 3.11.: Steuerstromkreis Ofenregler dTRON 04.1 (hier für Ofen 1 dargestellt)

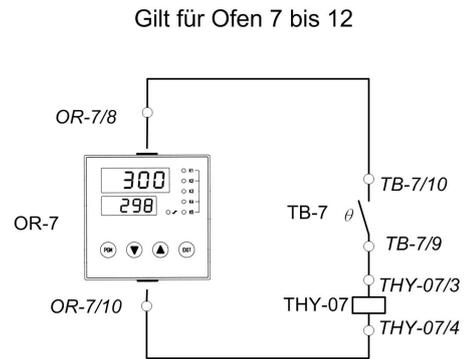


Abbildung 3.12.: Steuerstromkreis Ofenregler dTRON 304 (hier für Ofen 7 dargestellt)

### 3.2. Versuchsanlage Endzustand

Durch die Neuinstallation der Klapprohröfen wurde eine leichtere Bestückung der Prüfvorrichtung mit neuen Proben ermöglicht. Die Zugvorrichtung wird, bis auf die Ausnahme der Dichtungsscheiben und Thermoelementen, wie vor dem Umbau zusammengestellt. Die komplette Zugvorrichtung wird in den zuvor geöffneten und fix montierten Ofen gehoben und montiert. Durch Schließen des Verschlusses, der aus Platzmangel an die Ofen Oberseite montiert werden musste, wird der Ofen verschlossen. Der zusätzlich montierte Verschluss an der Ofen-Unterseite verhindert ein Durchhängen der Schaniere.



Abbildung 3.13.: Kabelkanal vom Schaltschrank zu den Prüfständen



Abbildung 3.14.: Kabelkanal von der Messelektronik zu den Prüfständen

Die Neugestaltung der elektrischen Versorgung brachte eine klar strukturierte Übersicht. Alte und stark abgenutzte Kabel sind durch neue ersetzt worden, um einen sicheren Betrieb der Anlage zu gewährleisten. Die gesamten elektrischen Bauteile und Kabel des Stromkreises (Hauptstromkreis und Steuerstromkreis) wurden im Schaltschrank zusammengefasst und montiert. Erst nach dem Thyristor-Leistungsschalter (letztes Bauteil im Hauptstromkreis) geht eine Stromleitung vom Schaltschrank zum Prüfstand und zu den jeweiligen Verbrauchern (Öfen). Die Kabel im Schaltschrank und zu den zwei Prüfstandsgruppen wurden in Kabelkanäle verlegt, um sie vor äußerlichen Einflüssen zu schützen. Die Bauteile und deren Klemmen wurden laut der Stromlaufpläne (Abbildung 3.8 bis 3.11) beschriftet. Dies ermöglicht bei eventuellen nachfolgenden Umbauten oder Reparaturen einen schnelleren Überblick

über die Elektroinstallation. Ein weiterer positiver Effekt durch die Neuverlegung der Stromversorgung ist, dass die Schaltschranktüre geschlossen werden kann, was bisher nicht möglich war.



Abbildung 3.15.: Vorderansicht von Einprobenprüfmaschinen



Abbildung 3.16.: Rückansicht der Versuchsanlage

#### *Neue elektrische Bauteile:*

Zusätzlich wurde ein Fehlerstromschutzschalter (kurz FI) – zum Schutze des Menschen – der bis dato fehlte, eingebaut. Zum Schutz der Öfen und der gesamten Kriechanlage wurden Temperaturbegrenzer, welche die DIN EN 14597 erfüllen, eingesetzt. Die für den Temperaturbegrenzer notwendige Temperaturwerte werden über das ofenintere Thermoelement bereitgestellt. Bei einem Probenbruch könnte zum Beispiel das Thermoelement des Ofenreglers reißen und der Ofen heizt sich unkontrolliert auf. Dieser TB schaltet bei Erreichen einer Grenztemperatur ( $450^{\circ}\text{C}$ ) die Stromzufuhr automatisch ab. Ein 24 V Netzteil, das für die Spannungsversorgung der Mikroschalter (die in dieser Arbeit nicht in Betrieb genommen wurde) dient, wurde anstatt der Trafos mit nachgeschalteten Gleichrichtern ersetzt. Sechs neue Thyristor - Leistungsschalter (Halbleiterrelais) wurden, zur Montage an eine Hutschiene im Schaltschrank, benötigt.

Die Ausgleichsleitungen und Kabelverbindungen der Wegaufnehmer zur Messelektronik wurden ausgebessert und neu verlegt. Sie wurden in zwei Kabelkanäle über den zwei Prüfstandsgruppen verlegt und mit der Messelektronik verbunden. Als sicheren Stellplatz für die Messelektronik (*Spider8* und *Agilen*) wurde die Schaltschrankoberseite gewählt. Aus den Kabelkanälen über den Prüfstandsgruppen wurde zu den jeweiligen Einprobenprüfmaschinen die benötigten Messleitungen – mit Spiralschlauch zur Bündelung - verlegt. Die Steckverbindung der Messleitungen wurde ausgebessert und neu beschriftet (Bezeichnung der Beschriftung siehe 3.4.3)



Abbildung 3.17.: Vorderansicht der Versuchsanlage

### 3.3. Neue Technische Geräte

In diesem Kapitel werden die zuvor erwähnten Bauteile *Temperaturbegrenzer* und *Thyristor-Leistungsschalter* im Detail erklärt.

#### 3.3.1. Temperaturbegrenzer

Temperaturwächter (TW) und Temperaturbegrenzer (TB) überwachen thermische Prozesse in Anlagen daraufhin, ob der Messwert einen einstellbaren Grenzwert über- oder unterschreitet. Wird der eingestellte Grenzwert über- bzw. unterschritten, schaltet das eingebaute Relais die Anlage in einen betriebssicheren Zustand und das LED K1 schaltet von grün auf rot. Kommt die Anlage wieder in den Gutbereich und der Temperaturwächter/Temperaturbegrenzer ist als TW konfiguriert, stellt sich das Gerät ohne äußere Einwirkung wieder zurück. Ist das Gerät als TB konfiguriert und die Anlage kommt in den Gutbereich, kann die Rückstellung nur von Hand – Drücken der Reset-Taste – erfolgen. [15]

Der eingesetzte Temperaturbegrenzer/Temperaturwächter nach DIN EN 14597 für die Überwachung des thermischen Prozesses in der Kriechanlage wird als Temperaturbegrenzer TB konfiguriert. Die gemessene Temperatur von einem ofeninternen Temperaturfühler wird über eine Ausgleichsleitung zum Analogeingang 2 (+) und 3 (-) des TB übertragen. Die ofeninterne Temperaturmessstelle ist für den Einsatz als Ofenregler-Temperaturfühler zu ungenau,

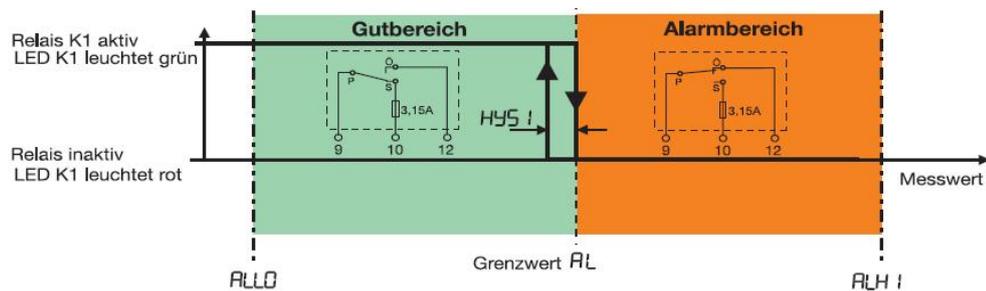


Abbildung 3.18.: Gutbereich-Alarmbereich des Temperaturbegrenzers [15]

da sich dieser direkt neben den Heizspiralen befindet und eine höhere Temperatur als in der Ofenmitte (Kriechprobe) besitzt. Dieser Temperaturunterschied zwischen Ofenmitte und interner Ofenmessstelle beläuft sich nach dem eingeschwungenen Zustand auf ca.  $60^{\circ}\text{C}$ . Für die Überwachung ist dieser interne Ofenfühler jedoch ausreichend. Weiters kann auch die Temperaturobergrenze des Ofens – die  $1000^{\circ}\text{C}$  beträgt – durch die Verwendung des internen Ofenfühlers ohne Mehraufwand kontrolliert werden. Der Einsatz des TB für die Kriechanlage dient als Schutzeinrichtung. Mögliche Fehler, die während des Betriebes auftreten können sind zum Beispiel:

- Bei einem Probenbruch könnte das Thermoelement des Ofenreglers aus dem Ofen fallen und eine falsche Temperatur(z.B. Hallentemperatur) anzeigen.
- Bei einem Probenbruch könnte das Thermoelement des Ofenreglers reißen.
- Bei einer schlechten Montage der Thermoleitung des Ofenreglers kann ein Kontaktfehler falsche Messwerte liefern.

Bei diesen Beispielen kann es passieren, dass der Ofenregler mit falschen Temperaturwerten den Ofen ununterbrochen heizt. Dies würde zu einer Schmelzung der Versuchsprobe bis hin zum Ausbrennen des Ofens führen.

Die Spannungsversorgung dieses Bauteils erfolgt über das 230 V Netz (Siehe Kapitel 3.1.2.2). Die Ausgleichsleitung für die Temperaturmessung wird an den ofeninternen Anschluss und an den Analogeingängen 2 und 3 des TB angeschlossen. Ist der Temperaturwert im „Gutbereich“ (siehe *Abbildung 3.18*) wird am Relaisausgang der Schließer geschlossen (Kontakt 9 und 10) und das Signal vom Ofenregler wird zum Thyristor durchgeschaltet. Beim Aufwärmvorgang zu Beginn des Versuches, schwingt die Temperatur über die  $300^{\circ}\text{C}$ . Zusätzlich muss man die  $60^{\circ}\text{C}$  Unterschied der ofeninternen Messstelle berücksichtigen. Deshalb wurde für den Temperaturgrenzwert  $450^{\circ}\text{C}$  festgelegt. Zur Festlegung des Temperaturgrenzwertes siehe Beschreibung *Einstellen des Grenzwertes AL* weiter unten im Text. Bei Überschreitung des Temperaturgrenzwertes wird der Schließkontakt geöffnet und der Steuerstromkreis ist unterbrochen.

Der TB kann nur mit Hilfe eines geeigneten Werkzeuges (z.B. Schraubendreher) durch Drücken der Resettaste rückgesetzt werden.

Der verwendete TB/TW ist von der Firma Jumo. Grundtyp: 701160/8-0153-001-23. Die nachstehende *Abbildung 3.19* zeigt einen Überblick über die Anzeige- und Bedienelemente.

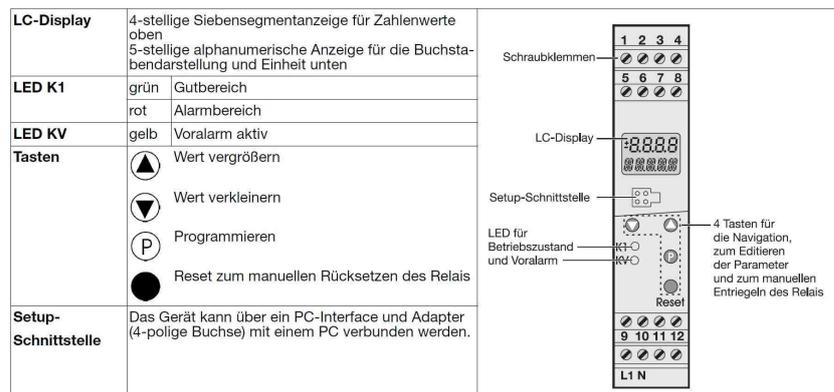


Abbildung 3.19.: Anzeige/Bedienelement [15]

### Einstellen des Grenzwertes AL

Der Grenzwert AL ist jener Temperaturwert, ab dem sich das eingebaute Relais (Kontakt 9 und 10) auf AUS schaltet. Wie diesen Grenzwert eingestellt wird, zeigt die *Abbildung 3.20*

|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
| 1 | länger als 2 sec drücken                                |  | 1. Wert in der Parameterebene erscheint                           |
| 2 | Mit  erhöhen oder mit  verringern                       |  | AL blinkt   |
| 3 | kurz drücken  |  | Grenzwert blinkt zur Kontrolle oben und unten in der Anzeige      |
| 4 | zur Bestätigung kurz drücken. Der Wert ist gespeichert. |  | Mit  +  zurück in die Normalanzeige oder automatisch nach Timeout |

Abbildung 3.20.: Einstellung des Grenzwertes [15]

### Konfigurationsebene:

Konfiguriert wird durch Drücken der Taste P länger als 2 Sekunden aus der Normalanzeige heraus. Im LC-Display erscheint AL. Taste nochmals länger als 2 Sekunden drücken und C111 erscheint. Jedes erneute Drücken auf die Taste schaltet zum nächsten Parameter weiter. Durch Drücken der Taste Wert verkleinern oder Wert vergrößern kann der Parameter geändert werden. Nachfolgend wird angegeben, welcher Parameter wie konfiguriert ist.

*C111 Analogeingänge: 043*

NiCr-Ni „K“ ; Thermoelement DIN EN 60584

*C112 Einstellung für Doppelthermoelement: 0*

Doppelthermoelement nein

*C113 Einheit, Nachkommastelle: 0*

°C, keine Nachkommastelle

*C114 Gerätefunktion: 1*

Temperaturbegrenzer TB; Entriegelung nur bei Temperaturüberschreitung nötig

**C115 Schaltverhalten: 0**

Invers: Bei Überschreitung des Grenzwertes AL schaltet das eingebaute Relais AUS. Die LED K1 leuchtet rot und im Display blinkt der Grenzwert. Der Temperaturbegrenzer bleibt in diesem Zustand, auch wenn der Messwert unter den Grenzwert AL absinkt. Erst wenn die Taste „Reset“ mit einem Werkzeug gedrückt wird oder eine entsprechende Konfiguration des Binäreingangs ein Schalter betätigt wird, schaltet das Relais wieder EIN und die LED K1 leuchtet grün.

**C116 Anzeige nach dem Einschalten: 0**

Grenzwert

**C117 Funktion Binäreingang: 0**

Ohne Funktion

**C118 Anzeigenabschaltung nach Timeout: 0**

Inaktiv: Anzeige ist dauernd eingeschaltet

**C119 Funktion Voralarm: 1**

Absolutwert: Der Voralarmgrenzwert liegt fest

**AL LO: 200**

Unterer Grenzwert des Einstellbereiches für Grenzwert AL und Voralarm VA

**AL HI: 900**

Oberer Grenzwert des Einstellbereiches für Grenzwert AL und Voralarm VA

**OFFS: 0**

Messwertoffset: Mit dem Messwertoffset kann ein gemessener Wert um einen programmierten Wert korrigiert werden.

**HYS1: 1**

Schaltdifferenz Grenzwert

**HYS2: 1**

Schaltdifferenz Voralarm

**C120 Gesamtzahl der Relais-Schaltspiele: 9999**

Hier wird die Gesamtzahl der zulässigen Relais-Schaltspiele eingestellt. Ist der Zählerstand für Relais-Schaltspiele (C121) größer als die Gesamtzahl (C120), wird sofort Fehlermeldung 0001 angezeigt und das Relais fällt ab. Wird „0“ eingestellt, ist die Funktion inaktiv.

**C121 Zählerstand für Relais-Schaltspiel: 0**

Hier werden die Schaltspiele für das Relais gezählt. Ist die unter C120 eingestellte Anzahl erreicht, wird die Fehlermeldung 0001 angezeigt und das Relais fällt ab. Wird dieser Fehler quittiert, beginnt die Zählung von 0 an.

**C122 Betriebsstundenzähler: 0**

Er zeigt an, wieviele Stunden das Gerät in Betrieb war. Dabei werden die Zeiten addiert, in denen das Gerät an die Spannungsversorgung angeschlossen war. Dieser Zähler ist nicht quittierbar und zeigt ab 1000 Stunden ganze tausend Stunden an (10t). [15]

Weitere Information und technische Daten siehe Betriebsanleitung [15].

### 3.3.2. Thyristor-Leistungsschalter

Thyristor-Leistungsschalter sind Halbleiter-Relais und werden zum kontaktlosen Schalten von Wechselstromverbraucher verwendet. Die Anwendungsgebiete liegen im industriellen Bereich, wie z.B. in der Kunststoffverpackungs-Industrie, in der Klima- und Wärmetechnik und im Industrieofenbau. Der große Vorteil gegenüber Relais ist, dass das Steuer- und Leistungsteil durch einen Optokoppler galvanisch getrennt ist und dadurch eine höhere Schalthäufigkeit besitzt [16]. Durch die höhere Schalthäufigkeit (höhere Lebensdauer), wird ein Ausfallen der Kriechanlage verringert. Weiters ist der Steuersignalebereich kompatibel zu dem Logikausgang der Ofenregler. Wird die Temperatur unterschritten, bekommt der Thyristor-Leistungsschalter vom Ofenregler über den Temperaturbegrenzer (Sicherheitseinrichtung) ein Steuersignal und schaltet den Lastkreis frei. Wie in der *Abbildung 3.22* ist der Steuerkreis über Anschluss 3 (-) und 4 (+) beziehungsweise der Lastkreis über Anschluss 1 und 2 angeschlossen. Ist ein Steuersignal vorhanden und der Lastkreis freigegeben, so wird dies durch das Leuchten von LED angezeigt.



Abbildung 3.21.: Thyristor THY 432-100/30,265 [16]

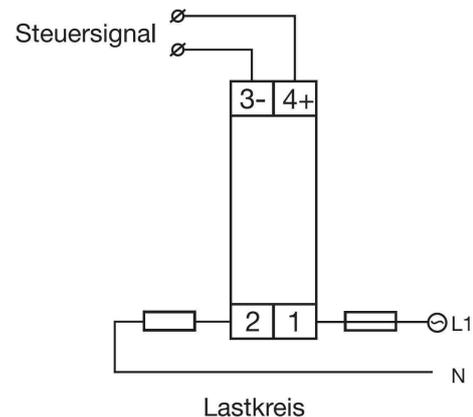


Abbildung 3.22.: Anschlussplan [16]

Für die Kriechanlage wird ein Thyristor-Leistungsschalter vom Typ TYA 432-100/30, 265 der Firma Jumo verwendet.

#### Technische Daten [16]

Tabelle 3.3.: Technische Daten – Thyristor-Leistungsschalter

|                               |                                     |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| Abmessungen (BxHxT)           | 22,5mm x 80mm x 103mm               |
| Lastspannung                  | 24...265 $V_{eff}$                  |
| Laststrom (max.)              | 30 $A_{eff}$ ( $T_u = 40^\circ C$ ) |
| Laststrom (min)               | 105 $mA_{eff}$                      |
| Steuersignalebereich          | 4 ... 32 $VDC$                      |
| Eingangsstrom                 | 12 $mA$ bei 32 $VDC$                |
| Betriebsart                   | Nullspannungsleiter                 |
| zulässige Umgebungstemperatur | $-30^\circ C$ ... $+70^\circ C$     |
| Schutzart                     | IP20                                |
| Gewicht                       | 200g                                |

## 3.4. Versuchsablauf

### 3.4.1. Versuchsbedingungen

Die Kriechanlage besteht bis dato aus 10 Einprobenprüfmaschinen für einen einachsigen, nicht unterbrochenen Zeitstandversuch unter Zugbelastung entsprechend der DIN EN 10291. Die Versuche werden unter einer konstanten Temperatur von  $300^{\circ}\text{C}$  durchgeführt. Es werden zur Temperaturmessung zwei Thermoelemente verwendet, die laut Norm, bis zu einer Parallellänge von  $50\text{mm}$ , mindestens eingesetzt werden müssen. Die Thermoelemente befinden sich jeweils an einem Ende der Parallellänge. Eine Temperaturabweichung von  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  zwischen den beiden Thermoelementen wird toleriert.

Ein Versuch ist als ungültig zu betrachten, wenn:

- die Probe außerhalb der Parallellänge  $L_C$  bricht (nach DIN EN 10291),
- die Messtemperatur außerhalb der vorgegebener Toleranz liegt oder
- ein Problem mit der Versuchsanlage während des Betriebes auftritt ( z.B.: Klemmen des Extensometers).

Alle Versuche werden unter Luftatmosphäre durchgeführt.

### 3.4.2. Versuchsvorbereitung

#### 3.4.2.1. Belastung

Die Probe wird mit Hilfe von Gewichten mit einer konstanten Kraft beaufschlagt. Es gibt zwei Möglichkeiten um die Belastung auf die Probe zu bringen (Abbildung 2.2).

**Schiebegewicht am Balken:** Auf dem Belastungsbalken befindet sich eine bewegliche Masse die entlang des Balkens verschoben werden kann. Der Belastungsbalken ist zusätzlich mit einer Gewichtsskala beschriftet die von  $0\text{kg}$  bis  $50\text{kg}$  – Teilung  $0,5\text{kg}$  – reicht. Die Skalierung am Balken und der Belastung an der Probe entspricht einem Verhältnis von 1:1. Das bedeutet, dass zum Beispiel  $20,5\text{kg}$  an der Skala,  $20,5\text{kg}$  Belastung an der Probe bewirken.

**Gewicht an der Aufhängung:** Am hinteren Ende des Belastungsbalken befindet sich eine Stange mit Auflage. Die Stange ist am Balken über ein Gelenk drehbar gelagert. Es existieren Belastungsgewichte von  $200\text{g}$  bis  $5\text{kg}$  die je nach Größe der Belastung unterschiedlich kombinierbar sind. Das Verhältnis *Belastung an der Aufhängung* zur *Belastung an der Probe* ist 1:10. Wird auf die Aufhängung ein Belastungsgewicht von  $5\text{kg}$  gegeben, wird die Probe mit  $50\text{kg}$  belastet. Dieses Verhältnis kommt aufgrund der unterschiedlichen Abstände zum Auflager zustande (Hebelwirkung).

Selbst im unbelasteten Zustand wirken Kräfte auf die Proben, die jedoch verschwindend gering sind ( $< 1\text{kg} \equiv 0,34\text{MPa}$ ). Um diese Kräfte zu ermitteln, ist es am einfachsten, das Schiebegewicht am Balken solange zu verschieben, bis der Balken in Gleichgewicht ist. Dazu muss die Zugvorrichtung eingespannt sein.

Das nachfolgende Beispiel zeigt eine Berechnung der zu benötigten Gewichte bei einer vorgegebenen Belastung von  $\sigma = 40MPa$  und eines Probendurchmesser von  $d = 6mm$  :

$$F = \sigma * A \quad (3.1)$$

$$A = \frac{d^2 * \pi}{4} \quad (3.2)$$

mit  $1Pa = \frac{N}{m^2}$ :  $40MPa = 40 \frac{N}{mm^2}$

$$F = \frac{40 \frac{N}{mm^2} * (6 * mm)^2 * \pi}{4} = 1130,79N \quad (3.3)$$

mit  $N = kg * \frac{m}{s^2}$

$$M = \frac{1130,79N}{9,81 \frac{m}{s^2}} = 115kg \quad (3.4)$$

Eine Belastung von  $40MPa$  bedeutet eine Masse  $M$  von  $115kg$ . Um die Probe mit diesem Gewicht zu belasten, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Eine Möglichkeit ist, das Schiebengewicht auf  $15kg$  (1:1) zu stellen und die Aufhängung mit  $10kg$  (1:10) zu belasten.

### 3.4.2.2. Parametrisierung der Ofenregler

Um das thermische Verhalten von Ofen, Belastungseinheit und Kriechprobe an den Regler anzupassen, muss man die Reglerparameter bestimmen. Die einfachste Methode ist die Selbstoptimierung vom Regler durchzuführen (Siehe Kapitel 2.2.1 *Ofenregler*). Die Parametrisierung der Ofenregler ist dann durchzuführen, wenn:

- Veränderungen am Versuchsaufbau erfolgen,
- sich das thermische Verhalten im Laufe der Zeit wesentlich ändert.

### 3.4.3. Zusammenbau der Zugvorrichtung

Bevor die Probe in die Zugvorrichtung der Kriechanlage eingebaut wird, muss sie vermessen und ein mittlerer Probendurchmesser für die weitere Berechnung bestimmt werden. Nachfolgend wird der Zusammenbau der Zugvorrichtung beschrieben. Eine technische Zeichnung der Zugvorrichtung ist im Anhang beigefügt.

- Die Probe wird in einer Abdeckhülse gekapselt und beiderseits mit Messingringen, die der Aufnahme des Thermoelements dienen, verschraubt. Danach wird die Auflage- und Führungsscheibe des Extensometers montiert (mittlere Baugruppe). Um die Verschraubung nach dem Versuch auch wieder lösen zu können, sollte man zuvor jedes Gewinde schmieren (*Abbildung 3.23, 3.24*).



Abbildung 3.23.: Einzelteile der mittleren Baugruppe

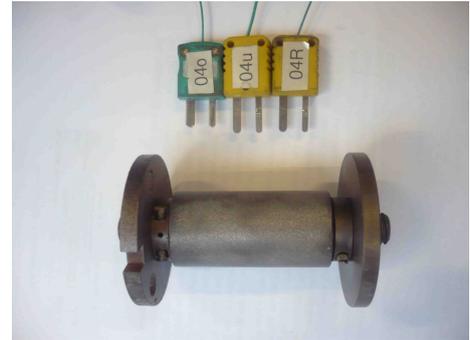


Abbildung 3.24.: mittlere Baugruppe montiert

- Die obere Baugruppe der Zugvorrichtung besteht aus der Übertragungsbühne, dem Exensometer (Messstangen mit Führungshülsen) und Spannbolzen (Bolzen mit sphärischer Auflage). Diese Baugruppe wird auf korrekten Zusammenhalt geprüft. Für Kriechversuche mit längeren Versuchsdauern, muss der Spannbolzen geschmiert werden. Mindestens jedoch jedes zweite Mal (*Abbildung 3.25*).
- Zur Abdichtung des Ofeninnenraums wird die obere Dichtungsscheibe über die Führungshülsen der Messstangen des Exensometers geschoben. Die Verschiebung der Messstangen soll durch die Dichtungsscheibe nicht beeinträchtigt werden (Kontrolle durch Verschiebung des Exensometers) (*Abbildung 3.26*).



Abbildung 3.25.: obere Baugruppe



Abbildung 3.26.: obere Baugruppe mit Dichtungsscheibe

- Die Thermoelemente werden nun sorgfältig an der Probe verklemmt. Dazu werden die Thermoleitungen zwischen der oberen Dichtungsscheibe und der Übertragungsbühne zu den Messringen geführt (*Abbildung 3.27*). Durch diese Art der Thermoleitungsführung, ist ein Schutz der filigranen Ofenisolation gegeben. An den unteren Messring werden die Thermoelemente für den Ofenregler und für die Messelektronik *Spider8*

angeschlossen. Dazu werden die Drähte der Thermoleitungen des Ofenreglers und des *Spider8* ca. 4mm abisoliert und miteinander verdreht (*Abbildung 3.28*). Danach werden die beiden Thermoelemente miteinander verdreht (*Abbildung 3.29*) und durch die Bohrung des unteren Messingrings an die Probe herangeführt und mit Schrauben fixiert. An den oberen Messingring wird das Thermoelement für die Messelektronik Agilent angeschlossen. Hier werden die Thermodrähte der Thermoleitung abisoliert (ca. 4mm), miteinander verdreht und durch die Bohrung des oberen Messingrings an die Probe herangeführt und mit Schrauben fixiert (*Abbildung 3.30*). Näheres siehe Kapitel 3.5.

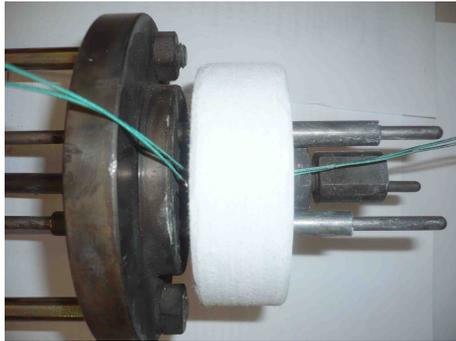


Abbildung 3.27.: Führung der Thermoleitung

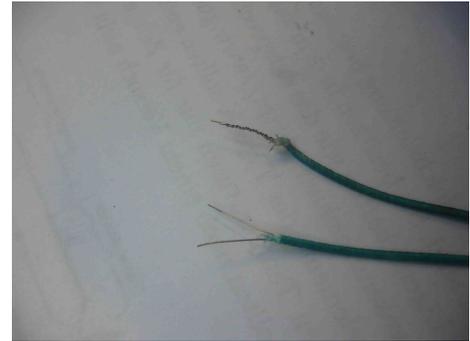


Abbildung 3.28.: Thermoleitung abisoliert und verdreht

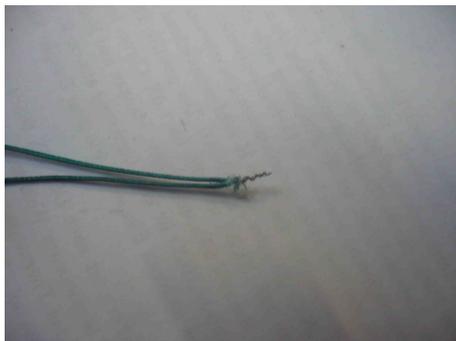


Abbildung 3.29.: zwei Thermoelemente verdreht (für unteren Messingring)

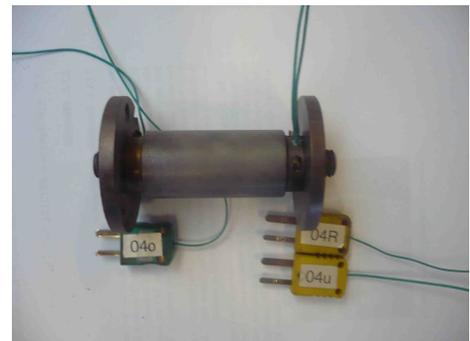


Abbildung 3.30.: Thermoelemente mit mittlerer Baugruppe verbunden

- Die mittlere Baugruppe wird durch eine Gewindekupplung mit der oberen Baugruppe der Zugvorrichtung verbunden.
- Die untere Dichtungsscheibe wird zusammen mit der unteren Baugruppe (*Abbildung 3.31*) durch eine Gewindekupplung mit der mittleren Baugruppe verbunden. Zuvor muss auch hier, wie bei der oberen Baugruppe auf korrekten Zusammenhalt geprüft und bewegliche Teile geschmiert werden (*Abbildung 3.32*).



Abbildung 3.31.: untere Baugruppe mit Dichtungsscheibe



Abbildung 3.32.: komplette Zugvorrichtung

- Die Thermoelemente werden an ein Hand-Temperaturmessgerät (z.B.: Fluke 52) angeschlossen und auf deren korrekte Funktion überprüft.
- Die Zugvorrichtung wird vorsichtig in den Ofen eingeführt und mit der oberen Zugstange befestigt (*Abbildung 3.33*). Bei der Montage der Zugvorrichtung muss die obere sowie die untere Dichtungsscheibe bis zum Anschlag nach oben gehalten werden, um eine Beschädigung der Ofenisolation zu verhindern (*Abbildung 3.34*).



Abbildung 3.33.: Einführung der Zugvorrichtung



Abbildung 3.34.: Anhebung der Dichtungsscheiben zum Schutz der Ofenisolation

- Mit dem Handrad wird die Zugvorrichtung gespannt (*Abbildung 3.35*), bis der Balken sich in horizontaler Lage befindet (*Abbildung 3.36*). Dabei wird die Probe durch Anbringen von Lastgewichten mit  $5\text{MPa}$  vorbelastet.

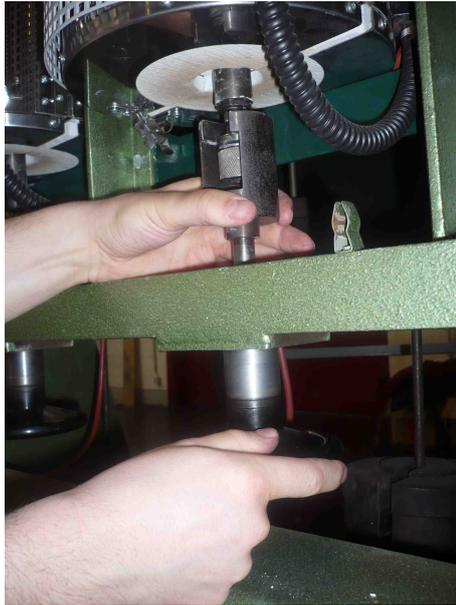


Abbildung 3.35.: Handrad



Abbildung 3.36.: Einstellung des Belastungsbalkens

- Die untere Dichtungsscheibe liegt im Inneren der Ofenisolation (Abbildung 3.37). Die obere Dichtungsscheibe liegt auf der Oberseite der Ofenisolation (Abbildung 3.38).

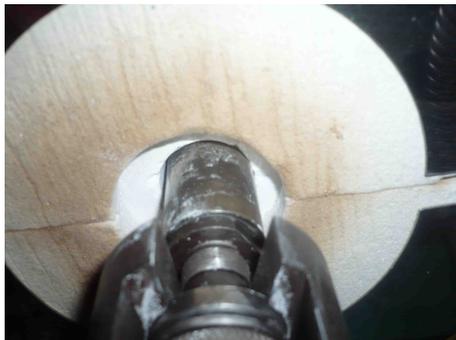


Abbildung 3.37.: Dichtungsscheibe unten

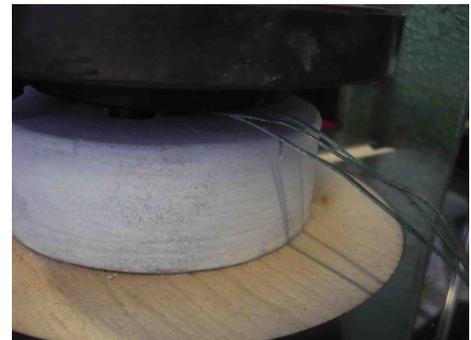


Abbildung 3.38.: Dichtungsscheibe oben

- Die Messstangen des Extensometers können sich leicht verformen und dann an den Führungshülsen reiben. Die Leichtgängigkeit des Extensometers ist deshalb durch Heben und Senken desselben zu prüfen (Abbildung 3.39, 3.40).



Abbildung 3.39.: Kontrolle des Extensometers (Heben)

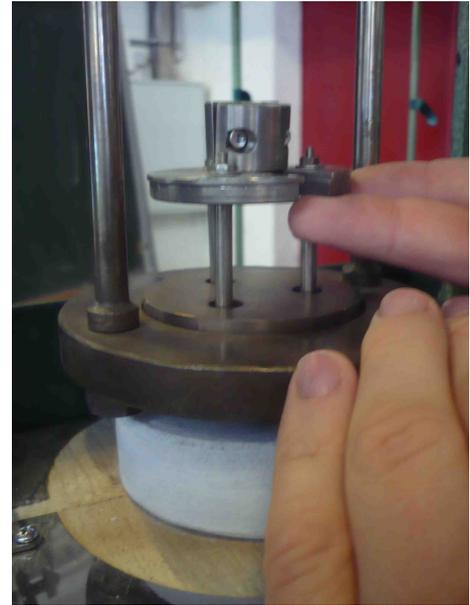


Abbildung 3.40.: Kontrolle des Extensometers (Senken)

- Bei allen drei Thermoelementen soll auf eine kleine Leitungsreserve im Inneren des Ofenraumes geachtet werden, um bei einer Probenverlängerung (oder Bruch) eine intakte Messleitung zu besitzen.
- Der Ofen wird mit zwei Verschlussklemmen (oben und unten) verschlossen. Dabei sollen sich die beiden oberen Isolationsschichten der Ofenhälften in einer Ebene befinden. Dadurch entsteht eine ebene Auflagefläche für die obere Dichtungsscheibe, was eine gute Dichtung gewährleistet. Verliert die Verschlussklemme mit der Zeit an Spannkraft, kann diese durch einfaches Zusammendrücken des Spannrings nachjustiert werden.
- Die Funktion der Ofenendabschaltung wird überprüft. Die Mikroschalter müssen schalten, wenn der Balken am Kunststoffzylinder aufsitzt und die Probe entlastet wird. Der Ofenendabschalter kann in der Lage und Neigung verändert werden. (Der Einbau der Ofenendabschaltung wurde in dieser Arbeit nicht durchgeführt.)
- Die Thermoelemente werden über Steckverbindungen an den Ausgleichsleitungen angeschlossen, die mit der Messelektronik verbunden sind. Die Bezeichnung der Leitungen lauten:
  - R01: Messleitung für Ofenregler des Ofens 1 (Messingring unten),
  - u01: Messleitung zum Spider8 des Ofens 1 (Messingring unten),
  - o01: Messleitung zum Agilent des Ofen 1 (Messingring oben),
  - R02: Messleitung für Ofenregler des Ofens 2 (Messingring unten),
  - ...
- Um den induktiven Aufnehmer bei Bruch der Probe nicht zu beschädigen, wird zwischen Wegmesssystem und äußerer Auflagescheibe eine nicht verwendete Kupplung eingeschoben, die verhindert, dass der Messaufnehmer auf den Extensometer aufsitzt (Siehe *Abbildung 3.44*). Bei einem Probenbruch nimmt die Kupplung die Stoßkraft auf.

- Das Messprogramm (Catman) wird gestartet und eingerichtet. Siehe Kapitel 3.4.5 *Catman Kurzanleitung*.
- Der Nullpunkt des Wegaufnehmers wird abgeglichen. Dazu wird der Wegaufnehmer mit dem dazugehörigen Stößel (weichmagnetischen Kern) mit dem Extensometer verbunden. Die Lage des Wegaufnehmers wird dabei solange verschoben, bis das Messprogramm einen Messwert nahe Null anzeigt. In dieser Position wird der Wegaufnehmer mit dem Extensometer fest verschraubt. Der exakte Nullabgleich findet softwaremäßig statt. Die Stößel sollten untereinander nicht vertauscht werden, da die Kennlinie für den Wegaufnehmer mit dem dazugehörigen Stößel ermittelt wurden und im Messprogramm hinterlegt wurde.
- Das Messprogramm Agilent wird eingerichtet und gestartet.
- Die Messung wird gestartet (Agilent und Catman)
- Der Hauptschalter für die Ofenheizung wird eingeschaltet (*Siehe Abbildung 3.41*).
- Die Einzelschalter jener Öfen, die für den Versuch benötigt werden, werden eingeschaltet (*Siehe Abbildung 3.42*).



Abbildung 3.41.: Hauptschalter (Eingeschaltet)



Abbildung 3.42.: Einzelschalter (Eingeschaltet)

- Die gewünschte Ofentemperatur (300°C) wird durch einfaches Drücken der Tasten ▼ und ▲ am Ofenregler eingestellt (*Siehe Abbildung 3.43*).



Abbildung 3.43.: gewünschte Temperatur am Ofenregler einstellen

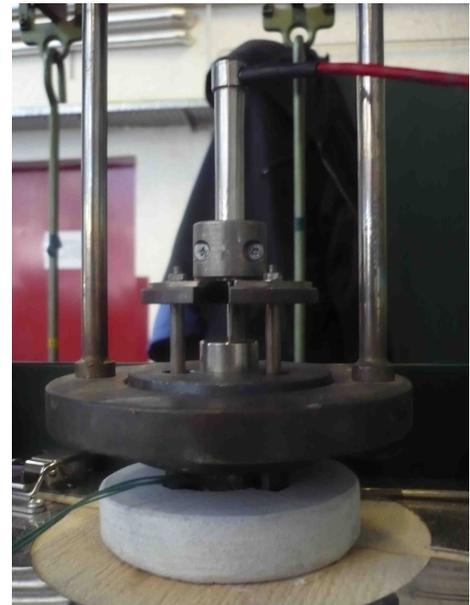


Abbildung 3.44.: Kupplung zum Schutz des induktiven Wegaufnehmers

- Nach ca. 25 Minuten wird die Temperatur von  $300^{\circ}\text{C}$  erreicht. Der eingeschwungene Versuchszustand ist nach ca. 60 Minuten erreicht. Die Versuchsbedingung des Prüfstandes ist mindestens 1 Stunde bis maximal 3 Stunden zu halten, bevor die Probe belastet werden darf (nach DIN EN 10291).
- Die Probe wird mit der Nennbelastung beaufschlagt. Dies sollte zügig, aber stoßfrei erfolgen (DIN EN 10291).
- Der Belastungsbalken wird mittels Handrad mit Hilfe einer Wasserwaage in horizontale Lage gebracht. Der nutzbare Messweg kann durch einen leicht nach vorne geneigten Balken erhöht werden.
- Es sind in regelmäßigen Abständen (abhängig von dem verwendeten Versuchswerkstoffes) die Temperatur, Dehnung, Datenaufzeichnung und die Neigung des Belastungsbalkens zu überprüfen.
- Bei Bruch oder vorzeitigem Beenden des Versuchs wird manuell die Solltemperatur des Ofenreglers auf  $0^{\circ}\text{C}$  gestellt und der jeweilige Schalter für den entsprechenden Ofen abgeschaltet. Nach Abkühlen des Ofens kann die Probe entnommen werden. Es sollte dabei jegliche Erschütterung vermieden werden, da dies sonst bei den noch laufenden Versuchen in der Dehnungskurve ersichtlich wird.

#### 3.4.4. Versuchsauswertung

Die Messelektronik *Spider8* nimmt die Ofentemperatur unten und die Längenänderung mit Hilfe des Messprogramms *Catman* auf. *Catman* speichert eine Datei des Formates ASCII mit Header. In dieser Datei sind folgende Informationen enthalten: Datum und Uhrzeit des Versuchsstarts; Ofentemperatur unten [ $^{\circ}\text{C}$ ]; Längenänderung [ $\mu\text{m}$ ] mit Zeitangabe [ $\text{s}$ ]. Diese

Datei enthält noch Fehler und unbrauchbare Messwerte die zuvor mit Hilfe eines Programms z.B. OriginPro oder Excel ausgebessert und danach ausgewertet werden.

#### 3.4.4.1. Unbrauchbare Messwerte löschen

Alle Meßwerte, die der Probenbelastung vorausgehen oder die nach Ofenabschaltung bzw. Bruch der Probe ausgezeichnet wurden, sind für die Auswertung unbrauchbar. Bevor die Daten jedoch gelöscht werden, sollten sie auf Plausibilität kontrolliert werden:

- Ist die Prüftemperatur auch mindestens 1 Stunde und maximal 3 Stunden gehalten worden bevor die Probe belastet wurde?
- Wurde die Temperatur über die Zeit konstant gehalten?

#### 3.4.4.2. Korrigieren der Messwerte

Der induktive Messaufnehmer reagiert empfindlich gegen elektromagnetische Störeinflüsse und Erschütterungen. Elektromagnetische Störeinflüsse können durch andere Maschinen hervorgerufen werden. Dies kann eine Messbereichsüberschreitung bewirken und in dem Messprotokoll dokumentiert werden. Diese Datenpunkte können korrigiert werden.

Erschütterungen entstehen durch Arbeiten an der Anlage (z.B: Nachstellen des Belastungsbalken) oder Stöße unbekannter Herkunft. Sie erzeugen einen Wertesprung in der Längenänderung und resultieren aus der Verschiebung des Referenzpunktes des Messaufnehmers. Durch Subtraktion oder Addition einer Konstanten für alle nachfolgenden Messwerte, kann dieser Wertesprung ausgebessert werden.

Die folgende Beschreibung der Datenauswertung bezieht sich auf OriginPro.

Wurden die unbrauchbaren Messwerte gelöscht und die Störeinflüsse korrigiert, erhält man die Längenänderung [ $\mu m$ ] in Abhängigkeit von der Zeit [ $s$ ]. Diese kann in OriginPro graphisch dargestellt werden. Durch Interpolation und anschließender Glättung (Smoothing) dieser Kurve, erhält man eine Datenbasis und Graphen mit wenigen Datenpunkten, die die originale Datenbasis wiedergibt. Der Vorteil der Interpolation und Glättung ist, dass die feinen Unebenheiten eliminiert werden. Wird die Interpolation und Glättung nicht durchgeführt, würde dies bei der Ableitung der Dehnung kein gewünschtes Ergebnis erzielen.

Mit den neu erhaltenen und reduzierten Datensätzen von der Längenänderung wird die wahre Dehnung  $\epsilon$  ermittelt

$$\epsilon = \ln\left(\frac{\Delta l + l_0}{l_0}\right) \quad (3.5)$$

Die Bezugslänge  $L_r$  (Länge zur Berechnung der Dehnung) ist gleich der Anfangsmesslänge  $L_0$  (Länge zwischen Messmarken auf der Probe) und ist bei den Kriechproben dieser Arbeit  $36mm$ . Die Parallellänge  $L_c$  ist in unserem Fall größer (DIN EN 10291). Wird die Dehnung  $\epsilon$  nach der Zeit abgeleitet, erhält man die Dehnrates  $\dot{\epsilon}$ .

### 3.4.5. Catman Kurzanleitung

#### PC-Konfiguration [11]

Bei der Verwendung von Catman mit *Spider8* muss zur Datenübertragung über die Druckerschnittstelle der PC konfiguriert werden. Folgende Einstellungen bei Verwendung eines neuen PC's oder bei Neu-Installation von einem Betriebssystem sind zu erledigen:

#### Im BIOS

Im BIOS-Setup muss die Druckerschnittstelle auf die Einstellung EPP gesetzt werden.

#### In Windows

- Im Geräte-Manager (Unter Systemsteuerung → System → Geräte-Manager) muss unter Druckerschnittstelle auf Eigenschaften (rechte Maustaste) gegangen werden.
- Unter der Registerkarte *Treiber* auf „Treiber aktualisieren“ klicken.
- So lange auf “Weiter“ drücken, bis der Assistent für Gerätetreiber - Updates aufscheint. Hier alle Modelle anzeigen lassen.
- EPP Printer Port oder Printer Port auswählen.
- Installation abschließen.

#### *Quick guide für Catman*

Diese Anleitung soll dem Benutzer von Catman bei einem Neustart eines Kriechversuchs dienen. Werden neue Parameter eingestellt (neue Kennlinie der Wegaufnehmer), können die vordefinierten Dateien (siehe nachfolgende Beschreibung) nicht verwendet werden. Hier wird auf [10] und [11] verwiesen.

1. Catman Starten 
2. Im Catman Navigator *I/O Kanäle einrichten* klicken.
3. Öffnen  einer vordefinierten Datei aller I/O Kanäle (z.B.: Catman 10proben.iod)
4. Geräte einrichten  Messverstärker Setup
5. System → Geräte Setup → Lade aus Datei (z.B: spider8 10proben.S8) eine vordefinierte Messverstärkerkonfiguration.
6. Nun müssen die Wegaufnehmer möglichst genau in ihrer Arbeitsposition fixiert werden. Der Wegaufnehmer wird fix mit dem Extensometer verschraubt und der Messwert soll ca. bei  $0 \pm 10 \frac{mv}{V}$  liegen. Siehe Kapitel 3.4.3.
7. Mit Betätigung der  - Taste oder durch Drücken der  -Taste erfolgt das exakte Austarieren des Wegaufnehmers (Vollbrücke).
8. Messrate: 5Hz; Variabler Filter: Mittelwert
9. Schließen des Messverstärker Setups durch 

10. Im Setupfenster *I/O Kanäle* Symbol  drücken und die Spalte "Status" markieren und mit Rechts-Klick das Kontextmenü "Messsignal anzeigen" betätigen. Es werden die aktuellen Längen und Temperaturwerte angezeigt. Die Temperaturwerte werden für die weitere Online-Berechnung verwendet und sollte daher notiert werden.
11. Symbol  drücken und in der Spalte "Signal" des jeweiligen Messwertes die Differenz zwischen "Messsignal anzeigen" von vorher und der tatsächlichen Temperatur(gemessen mit Regler oder Handmessgerät Fluke) eintragen. Z.B.: Unter "Messsignal anzeigen" des Ofen 1 steht ein Wert von  $22^{\circ}C$ . Der Regler misst  $23^{\circ}C$ . In der Spalte "Signal" für Ofen 1 muss nun folgendes stehen:  $c2 + 1$  ( $c2$  gibt die Spalte des Ofen 1 gemessen Wert an ( $23^{\circ}C$ )).
12. Einstellungen → Online Export: Eingabe des Dateinamens und deren Speicherort (ASCII mit Header) in der die Messwerte gespeichert werden. Für jeden Versuch sollte ein neuer Dateiname vergeben werden um eine vorhande Datei nicht zu überschreiben. Weiters soll der Dateiname das Startdatum beinhalten um die Zuordnung zu erleichtern. Mit OK bestätigen.
13. Messen → catModul ausführen
14. Messmodule → Datenlogger
15. Im Fenster Datenlogger folgende Einstellung beachten:  
 Einstellungen:  I/O Kanäle initialisieren  
 Einstellungen bei Beenden speichern  
 Messfenster: Zwei  $y(t)$  Linienschreiber  
 Online Datenexport:  I/O Kanal ZIEL Einstellung verwenden
16. Mit "Ausführen" Einstellung bestätigen.
17. Symbol  drücken
18. Messraten Timing:  catman interner Timer  
 Intervall: das Messintervall in Sekunden (z.B: 300s) eingeben.  
 Standardmessrate:  $5Hz$
19. Bestätigen mit OK
20. Durch die Betätigung der Taste  wird eine softwaremäßige Tarierung der Wegaufnehmer ausgelöst.
21. Die Messung wird gestartet 
22. Datenaufzeichnung wird beendet 
23. Beenden des Messmoduls 

### 3.5. Temperaturmessung

Vor dem Ofenumbau wurden an der Probe drei Thermoelemente angebracht. Je eines am oberen und unteren Probenschenkel, sowie eines in der Mitte der Probe (durch ein Loch im Ofen). Die angebrachten Thermoelemente dienten der Versuchsprotokollierung, wobei das untere Thermoelement zusätzlich der Ofenregelung diente.

Bei den neu verwendeten Öfen werden nur mehr zwei Thermoelemente angebracht. Je eines am oberen und unteren Probenschenkel.

Bei den früheren Datenaufzeichnungen der Temperatur, wurden ungewöhnliche Ausschläge festgestellt. Der Grund für diese Ausschläge war die gemeinsame Verwendung der Ausgleichleitung für die Datenaufzeichnung (*Spider8*) und der Ofenregelung. Schickte der Ofenregler ein Messsignal, so wurde dies auch von dem *Spider8* registriert und aufgezeichnet.

Durch die Verwendung von zwei getrennten Thermoelementen, konnte dieser Fehler behoben werden. Beide Thermoelemente werden gemeinsam verdrillt und in der untern Messingscheibe fixiert. Der genau Zusammenbau der Thermoelemente ist im Kapitel 3.4.3 erklärt.

### 3.6. Temperaturverteilung

Bei den ersten Versuchen erhielt man Temperaturunterschiede von  $70^{\circ}\text{C}$  zwischen dem Oberen und Unteren Thermoelement. Der obere Bereich des Ofeninnenraums war immer wärmer als der untere Bereich. Dieses Phänomen konnte man auch mit geöffnetem Ofen beobachten. Die Heizdrähte im oberen Bereich des Ofens glühten rot, wo hingegen der Heizdraht im untern Bereich grau blieb. Wurde der Ofen jedoch in waagrechter Lage betrieben (Ofen war noch nicht eingebaut), konnte man dieses oben beschriebene Problem nicht feststellen. Demzufolge musste eine thermische Strömung, wie in einem Kamin (Kaminwirkung), vorherrschen. Um diese thermische Strömung zu unterbinden, wurde der Zwischenraum von Ofenisolierung und Inconel-Schild mit den dahinterliegenden Heizdrähten durch eine Ofenschnur dicht gemacht. Die darauffolgenden Tests waren besser, aber brachten nicht die gewünschten Resultate.

Der Innendurchmesser des neuen Ofen ist größer als der des alten Ofens. Es wurde daher versucht, mit einer größeren Auflage- und Führungsscheibe der Zugvorrichtung diese Strömung zu unterbinden (technische Zeichnung der Auflage- und Führungsscheibe im Anhang). Jedoch wurde keine Verbesserung festgestellt.

Die Endlösung der ungleichmäßigen Temperaturverteilung im Ofeninnenraum wurde durch zwei Dichtungsscheiben im unteren und oberen Bereich des Ofen realisiert. Dadurch konnte die thermische Strömung weitgehend unterdrückt werden und der Temperaturunterschied zwischen oberem und unterem Probenschenkel war im zulässigen Bereich (DIN EN 10291). Näheres zu den Dichtungsscheiben unter 3.6.1.

Um die Regelstrecke der Öfen zu ermitteln, wurde eine Selbstoptimierung (Kapitel 2.2.1) durchgeführt.

Die folgenden *Abbildungen 3.45* und *3.46* zeigen den Temperaturverlauf im Ofen bei  $300^{\circ}\text{C}$  vor der Durchführung einer Selbstoptimierung.

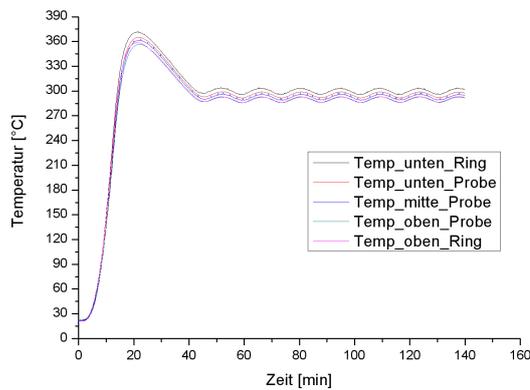


Abbildung 3.45.: Temperaturverlauf vor Selbstoptimierung

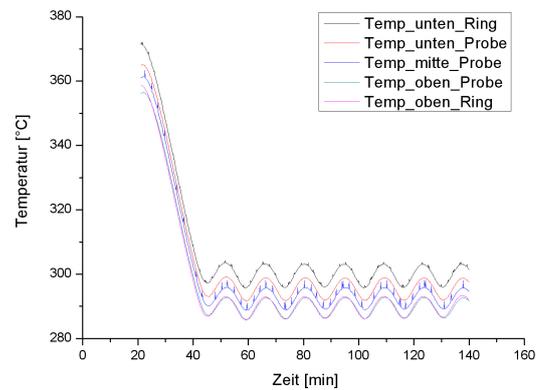


Abbildung 3.46.: Temperaturverlauf vor Selbstoptimierung detail

Bei der Selbstoptimierung wird die Reaktion der Regelstrecke auf Stellgradsprünge untersucht. Dies erfolgt reglerintern (Abbildung 3.47).

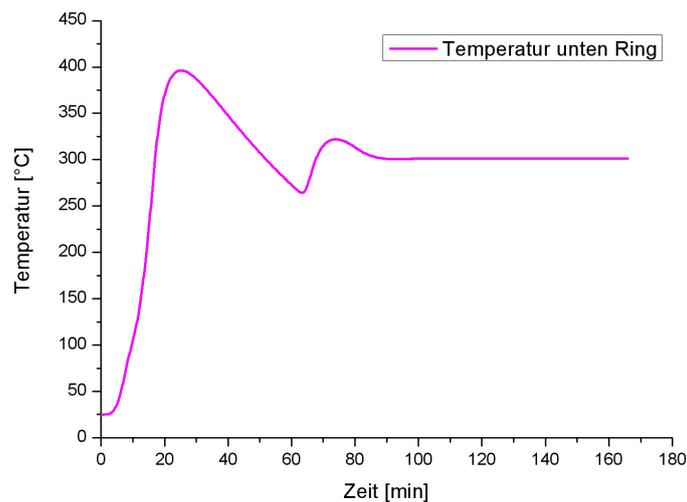


Abbildung 3.47.: Temperaturverlauf einer Selbstoptimierung

Nach dem Optimieren der Regelstrecke ist eine deutliche Verbesserung zu erkennen. Der Temperature Ausschlag vor dem eingeschwungenen Zustand ist tolerierbar. Die Temperature ausschläge im eingeschwungenen Zustand bei einem Thermoelement beläuft sich maximal auf 1°C.

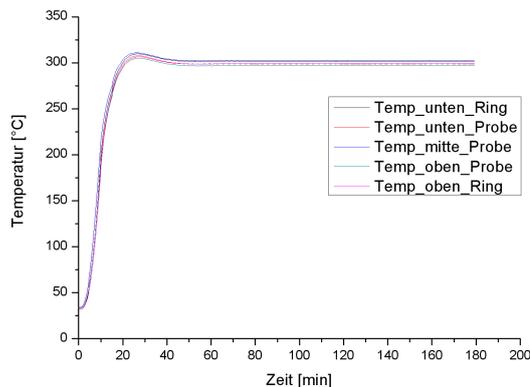


Abbildung 3.48.: Temperaturverlauf nach Selbstoptimierung

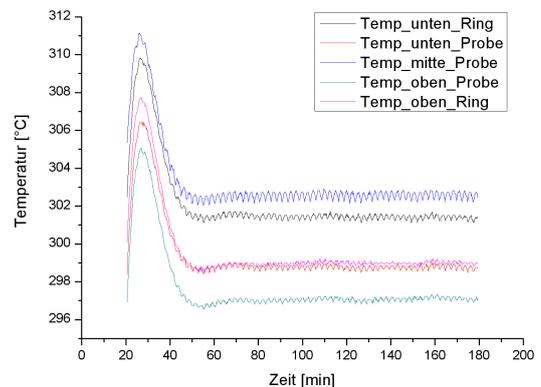


Abbildung 3.49.: Temperaturverlauf nach Selbstoptimierung detail

Die Abbildung 3.45 bis 3.49 zeigen den Temperaturverlauf bei einer Prüftemperatur von  $300^{\circ}\text{C}$ . Die Erreichung einer Prüftemperatur von  $600^{\circ}\text{C}$  wurde getestet und erreicht. Die maximale Temperatur der Kriechöfen, die laut Hersteller bei  $1000^{\circ}\text{C}$  liegt, wurde nicht getestet. Hinweis: Um einen Kriechtest bei einer höheren Temperatur als  $300^{\circ}\text{C}$  durchzuführen, muss die Einstellung bei den jeweiligen Temperaturbegrenzern geändert werden (siehe Kapitel 3.3.1).

### 3.6.1. Dichtungsscheiben

Die Dichtungsscheiben werden aus einer *Isolrath 1000* -Platte hergestellt. Die *Isolrath 1000* ist eine Wärmedämmplatte und besteht aus Kalziumsilikat. Die Anwendungsgrenztemperatur beträgt  $900^{\circ}\text{C}$  und gehört zu den nicht brennbaren Baustoffen der Baustoffklasse A1. Zur Erzeugung der Dichtungsscheiben wird eine Platte mit der Wandstärke von  $30\text{mm}$  verwendet. Bei dieser Wandstärke und einer feuerseitigen Temperatur von  $300^{\circ}\text{C}$  (Ofeninnenseite), beträgt die kaltseitige Temperatur ca.  $50^{\circ}\text{C}$ . [17]

Weitere technische Daten [17]:

|  |     |                                     |
|--|-----|-------------------------------------|
| Rohdichte:                                     | ... | $24 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$   |
| Druckfestigkeit:                               | ... | $1,4 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$  |
| Mittlere spez. Wärmekap.:                      | ... | $0,84 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$ |
| Wärmeleitfähigkeit bei $200^{\circ}\text{C}$ : | ... | $0,10 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$   |
| Wärmeleitfähigkeit bei $400^{\circ}\text{C}$ : | ... | $0,14 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$   |

Der große Vorteil dieser Kalziumsilikat-Platte ist die leichte Verarbeitung. Sie kann mit einer handelsüblichen Porenbeton-Säge oder mit Bohrern bearbeitet werden.

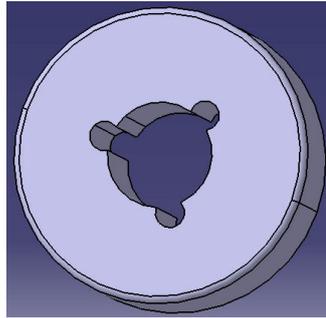


Abbildung 3.50.: Dichtungsscheibe oben

### 3.7. Temperaturabhängigkeit der Längenmessung

Die Amplitude der Umgebungstemperaturänderung innerhalb eines 24-Stunden Zyklus beträgt etwa  $\Delta T = 0,3^\circ C$ . Der Wärmeausdehnungskoeffizient für Stahl wurde mit  $\alpha_s = 12,6 K^{-1}$  angenommen. Die Gesamtlänge der auf die Längenmessung einflussnehmenden Teile wurde auf  $L_0 = 0,3m$  angenommen. Die mit der Gleichung 2.2 berechnete Längenänderung beträgt somit  $\Delta x = 1\mu m$ . In der *Abbildung 3.51, 3.52* ist die Schwingung der Ofentemperatur und Längenänderung aufgrund der Umgebungstemperatur mit der Periode von ca. 24 Stunden gut ersichtlich. Bei höheren Temperaturwerten gibt es auch eine höhere Längenausdehnung.

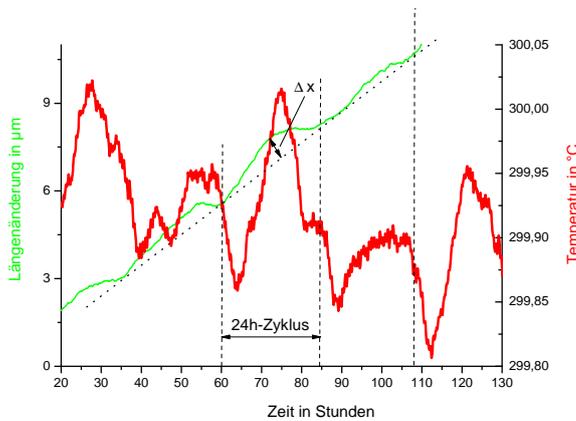


Abbildung 3.51.: Temperaturabhängigkeit der Längenmessung (Dezember 2010)

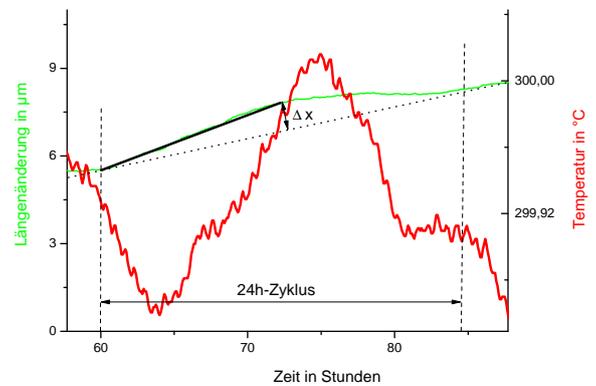


Abbildung 3.52.: Temperaturabhängigkeit der Längenmessung detail (Dezember 2010)

Wird der Fehler der Längenänderung  $\Delta x$  in die Formel für die wahre Dehnung (Glg. 3.6) eingesetzt, bekommt man den umgebungstemperaturbedingten Messfehler der wahren Dehnung.

$$\Delta\epsilon = \ln\left(\frac{\Delta l + l_0}{l_0}\right) = \ln\left(\frac{(1 + 36000)}{36000}\right) = 2,77 * 10^{-5} \quad (3.6)$$

Die Amplitude tritt nach 12 Stunden auf. Wird nun die wahre Dehnung  $\Delta\epsilon = 2,77 * 10^{-5}$  durch  $\Delta t = 12h$  (43200s) dividiert, erhält man den Messfehler der Kriechgeschwindigkeit

$\dot{\epsilon} = \frac{\Delta \epsilon}{\Delta t} = 6,43 * 10^{-10} \frac{1}{s}$ , hervorgerufen durch die Temperaturschwankung der Umgebung. Das bedeutet, dass Versuche die 12 Stunden oder weniger lange andauern, eine deutlich höhere Kriechgeschwindigkeit von  $\dot{\epsilon} = 6,43 * 10^{-10} \frac{1}{s}$  aufweisen müssen, um dadurch eine größere Steigung als  $K1$  zu besitzen (Abbildung 3.53). Würde zum Beispiel ein Versuch 12 Stunden dauern und die Kriechgeschwindigkeit hätte einen Wert von  $\epsilon_G = 6,43 * 10^{-9} \frac{1}{s}$ , so würde diese Kurve eine größere Steigung als  $K1$  besitzen. Die Dehnung dieser Kurve würde einen Wert von  $\epsilon = 2,77 * 10^{-4}$  betragen und der relative Fehler würde sich auf 10% belaufen.

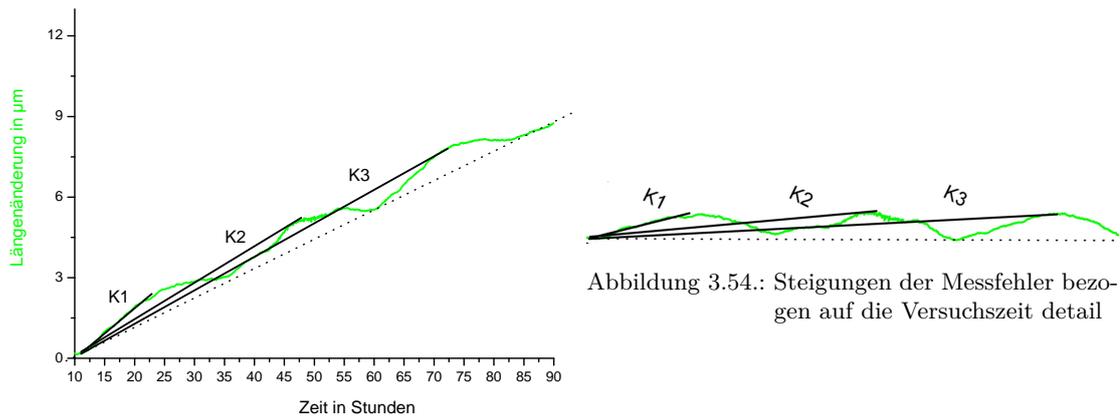


Abbildung 3.53.: Steigungen der Messfehler bezogen auf die Versuchszeit

Die nächste Amplitude tritt nach  $12h + (24h * 1)$  Stunden auf. Der errechnete Wert für den Messfehler der Kriechgeschwindigkeit ist  $\dot{\epsilon} = 2,14 * 10^{-10} \frac{1}{s}$  ( $\Delta x$  bleibt gleich). Um den relativen Fehler von maximal 10% nicht zu überschreiten, muss die Kriechgeschwindigkeitsgrenze für 36 h auf einen Wert von  $\epsilon_G = 2,14 * 10^{-9} \frac{1}{s}$  festgelegt werden. Die Tabelle 3.4 gibt einen Überblick, bis zu welcher Versuchsdauer die Kriechgeschwindigkeit welchen Wert mindestens haben soll, damit der relative Fehleranteil durch die Temperaturschwankung der Umgebungstemperatur unter 10% bzw. 1% liegt.

### 3.8. Kriechdummies

Die Funktionsfähigkeit der umgebauten Anlage wurde, bevor richtige Kriechtests durchgeführt wurden, mit diesem Test geprüft. Bis auf den Kriechofen 12 erhielt man aus den Einprobenprüfmaschinen plausible Werte. Der Grund für den nichtbrauchbaren Wert bei Kriechofen 12 war der eingeklemmte Extensometer. Bei der Beschreibung des Zusammenbaus der Zugvorrichtung 3.4.3 wird auf die Kontrolle der Leichtgängigkeit des Extensometers hingewiesen. Nachfolgend sind die Versuchsergebnisse für die Kriechdummies dargestellt. Um einen besseren Vergleich gegenüber den verschiedenen Einprobenprüfmaschinen zu haben, wurde die Dehnrate im selben Maßstab ausgeführt. Zu jeder Einprobenprüfmaschine gibt es ein Dehnungs-Zeit-Diagramm, Dehnrate-Zeit-Diagramm und ein Dehnrate-Dehnungs-Diagramm. Zur leichteren Orientierung wurden alle Diagrammtypen einer Einprobenprüfmaschine in einem einheitlichen Farbschema dargestellt.

Tabelle 3.4.: Mindeste Kriechgeschwindigkeit mit maximalem relativem Fehler abhängig von der Versuchsdauer

| Versuchsdauer [h] | $\dot{\epsilon}$    | $\dot{\epsilon}_G$ für rel. Fehler von 10% | $\dot{\epsilon}_G$ für rel. Fehler von 1% |
|-------------------|---------------------|--|---|
| $\leq 24$         | $6,43 * 10^{-10}$   | $6,43 * 10^{-9}$                           | $6,43 * 10^{-8}$                          |
| $\leq 48$         | $2,14 * 10^{-10}$   | $2,14 * 10^{-9}$                           | $2,14 * 10^{-8}$                          |
| $\leq 72$         | $1,29 * 10^{-10}$   | $1,29 * 10^{-9}$                           | $1,29 * 10^{-8}$                          |
| $\leq 96$         | $9,19 * 10^{-11}$   | $9,19 * 10^{-10}$                          | $9,19 * 10^{-9}$                          |
| $\leq 120$        | $7,14 * 10^{-11}$   | $7,14 * 10^{-10}$                          | $7,14 * 10^{-9}$                          |
| $\leq 144$        | $5,85 * 10^{-11}$   | $5,85 * 10^{-10}$                          | $5,85 * 10^{-9}$                          |
| $\leq 168$        | $4,95 * 10^{-11}$   | $4,95 * 10^{-10}$                          | $4,95 * 10^{-9}$                          |
| $\leq 192$        | $4,23 * 10^{-11}$   | $4,23 * 10^{-10}$                          | $4,23 * 10^{-9}$                          |
| $\leq 216$        | $3,78 * 10^{-11}$   | $3,78 * 10^{-10}$                          | $3,78 * 10^{-9}$                          |
| $\leq 240$        | $3,38 * 10^{-11}$   | $3,38 * 10^{-10}$                          | $3,38 * 10^{-9}$                          |
| $\leq 264$        | $3,06 * 10^{-11}$   | $3,06 * 10^{-10}$                          | $3,06 * 10^{-9}$                          |
| $\leq 288$        | $2,79 * 10^{-11}$   | $2,79 * 10^{-10}$                          | $2,79 * 10^{-9}$                          |
| $\leq 312$        | $2,57 * 10^{-11}$   | $2,57 * 10^{-10}$                          | $2,57 * 10^{-9}$                          |
| $\leq 336$        | $2,38 * 10^{-11}$   | $2,38 * 10^{-10}$                          | $2,38 * 10^{-9}$                          |
| $\leq 360$        | $2,22 * 10^{-11}$   | $2,22 * 10^{-10}$                          | $2,22 * 10^{-9}$                          |
| $\leq 384$        | $2,07 * 10^{-11}$   | $2,07 * 10^{-10}$                          | $2,07 * 10^{-9}$                          |
| $\leq 408$        | $1,95 * 10^{-11}$   | $1,95 * 10^{-10}$                          | $1,95 * 10^{-9}$                          |
| $\leq 432$        | $1,84 * 10^{-11}$   | $1,84 * 10^{-10}$                          | $1,84 * 10^{-9}$                          |
| $\leq 456$        | $1,74 * 10^{-11}$   | $1,74 * 10^{-10}$                          | $1,74 * 10^{-9}$                          |
| $\leq 480$        | $1,65 * 10^{-11}$   | $1,65 * 10^{-10}$                          | $1,65 * 10^{-9}$                          |
| $\leq 504$        | $1,57 * 10^{-11}$   | $1,57 * 10^{-10}$                          | $1,57 * 10^{-9}$                          |
| $\leq 528$        | $1,49 * 10^{-11}$   | $1,49 * 10^{-10}$                          | $1,49 * 10^{-9}$                          |
| $\leq 552$        | $1,43 * 10^{-11}$   | $1,43 * 10^{-10}$                          | $1,43 * 10^{-9}$                          |
| $\leq 576$        | $1,37 * 10^{-11}$   | $1,37 * 10^{-10}$                          | $1,37 * 10^{-9}$                          |
| $\leq 600$        | $1,31 * 10^{-11}$   | $1,31 * 10^{-10}$                          | $1,31 * 10^{-9}$                          |
| $\leq 624$        | $1,26 * 10^{-11}$   | $1,26 * 10^{-10}$                          | $1,26 * 10^{-9}$                          |
| $\leq 648$        | $1,21 * 10^{-11}$   | $1,21 * 10^{-10}$                          | $1,21 * 10^{-9}$                          |
| $\leq 672$        | $1,17 * 10^{-11}$   | $1,17 * 10^{-10}$                          | $1,17 * 10^{-9}$                          |
| $\leq 696$        | $1,13 * 10^{-11}$   | $1,13 * 10^{-10}$                          | $1,13 * 10^{-9}$                          |
| $\leq 720$        | $1,09 * 10^{-11}$   | $1,09 * 10^{-10}$                          | $1,09 * 10^{-9}$                          |
| $\leq 744$        | $1,05 * 10^{-11}$   | $1,05 * 10^{-10}$                          | $1,05 * 10^{-9}$                          |
| $\leq 768$        | $1,02 * 10^{-11}$   | $1,02 * 10^{-10}$                          | $1,02 * 10^{-9}$                          |
| $\leq 792$        | $9,89 * 10^{-12}$   | $9,89 * 10^{-11}$                          | $9,89 * 10^{-10}$                         |
| ...               | ...                 | ...  | ...                                       |
| $\leq \dots$      | $\dots * 10^{-12}$  | $\dots * 10^{-11}$                         | $\dots * 10^{-10}$                        |
| ...               | ...                 | ...  | ...                                       |
| $\leq 7704$       | $1,0031 * 10^{-12}$ | $1,0031 * 10^{-11}$                        | $1,0031 * 10^{-10}$                       |
| $\leq 7728$       | $9,9999 * 10^{-13}$ | $9,9999 * 10^{-12}$                        | $9,9999 * 10^{-11}$                       |

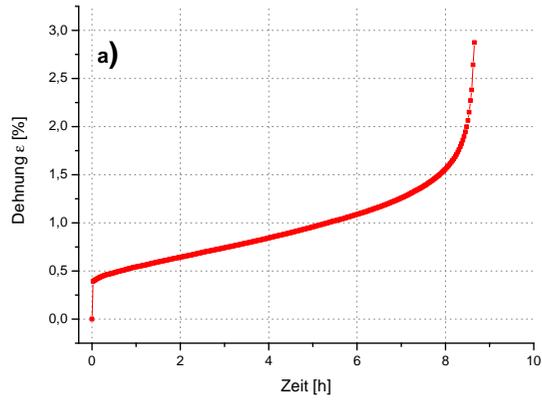


Abbildung 3.55.: Ofen 1 Dehnung vs. Zeit

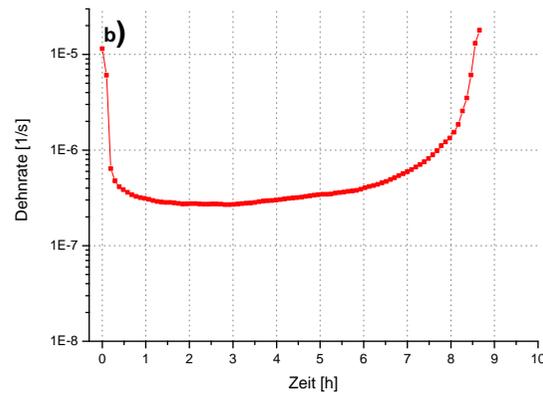


Abbildung 3.56.: Ofen 1 Dehnrate vs. Zeit

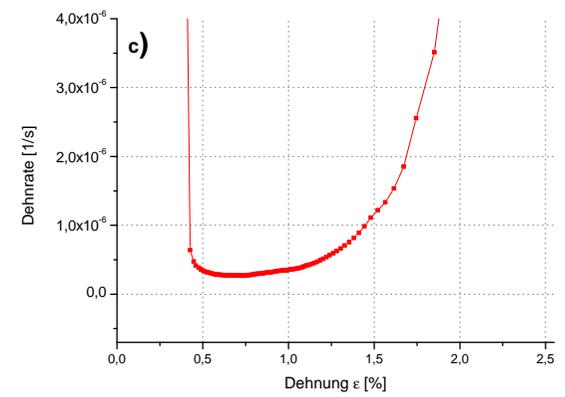


Abbildung 3.57.: Ofen 1 Dehnrate vs. Dehnung

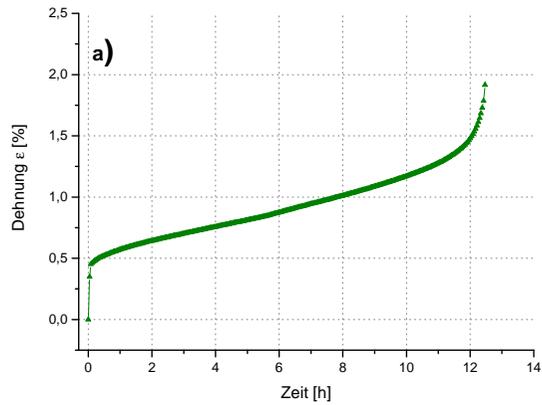


Abbildung 3.58.: Ofen 2 Dehnung vs. Zeit

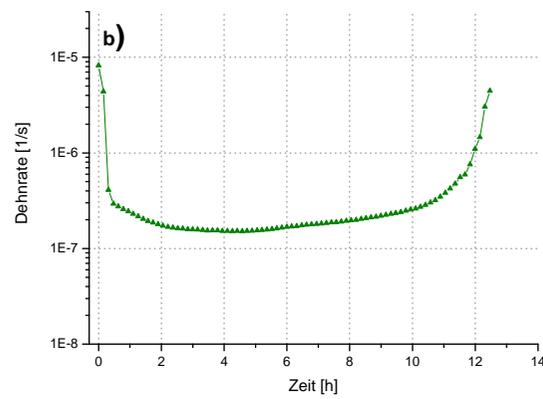


Abbildung 3.59.: Ofen 2 Dehnrate vs. Zeit

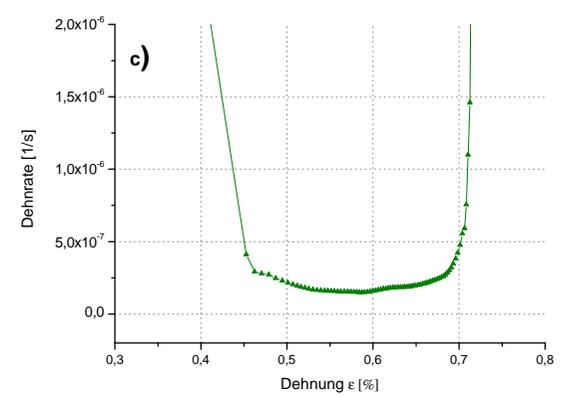


Abbildung 3.60.: Ofen 2 Dehnrate vs. Dehnung

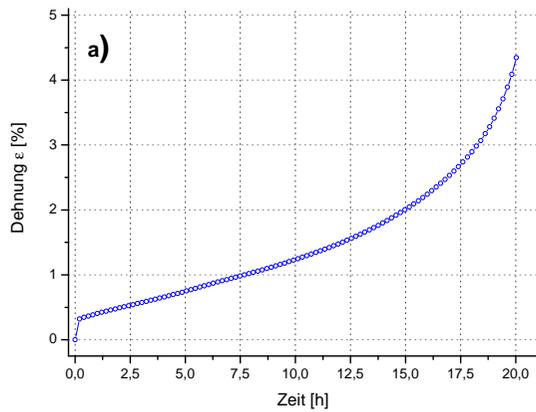


Abbildung 3.61.: Ofen 3 Dehnung vs. Zeit

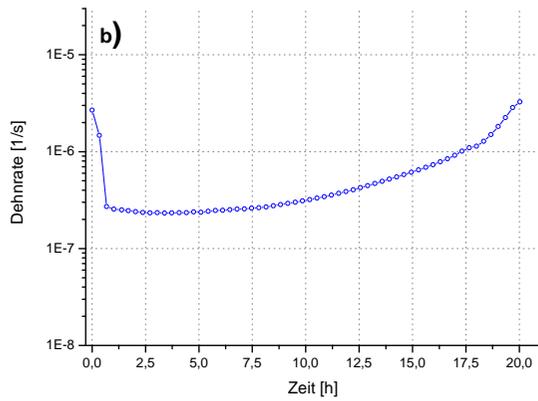


Abbildung 3.62.: Ofen 3 Dehnrate vs. Zeit

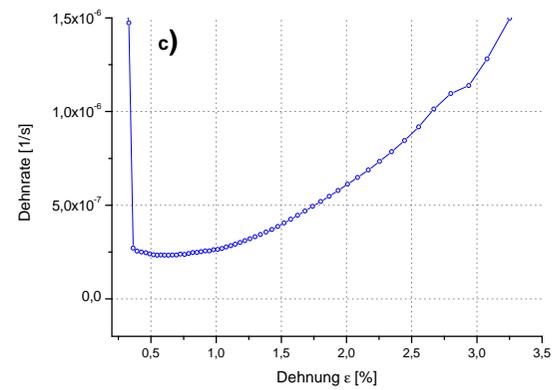


Abbildung 3.63.: Ofen 3 Dehnrate vs. Dehnung

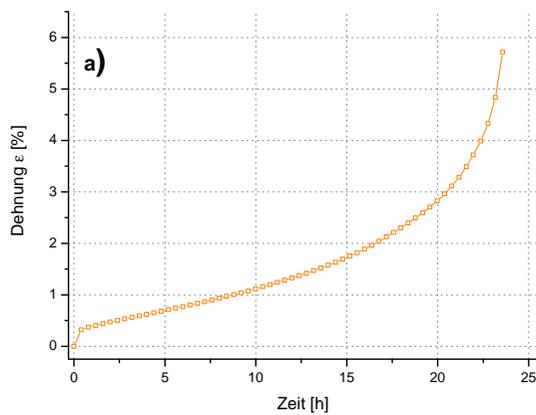


Abbildung 3.64.: Ofen 4 Dehnung vs. Zeit

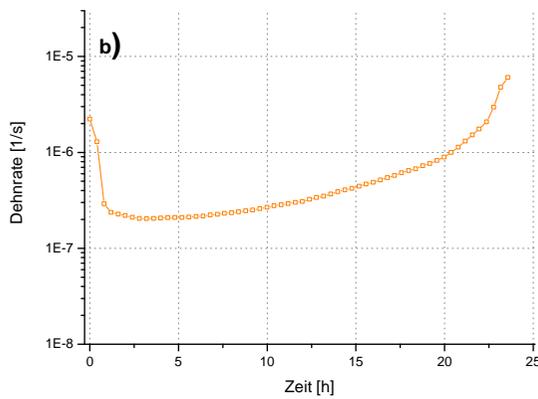


Abbildung 3.65.: Ofen 4 Dehnrate vs. Zeit

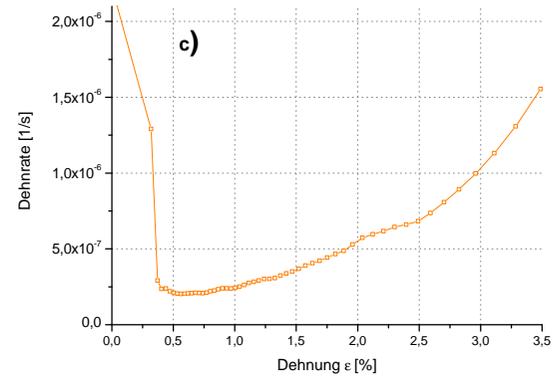


Abbildung 3.66.: Ofen 4 Dehnrate vs. Dehnung

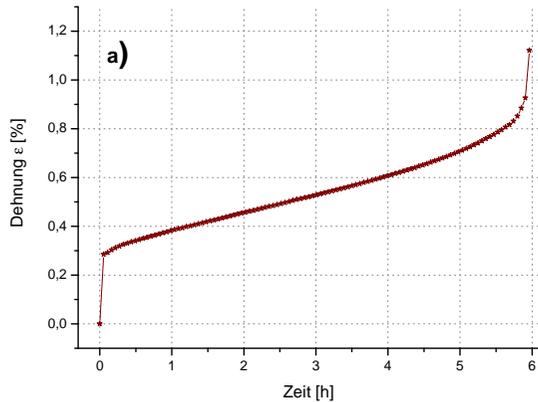


Abbildung 3.67.: Ofen 5 Dehnung vs. Zeit

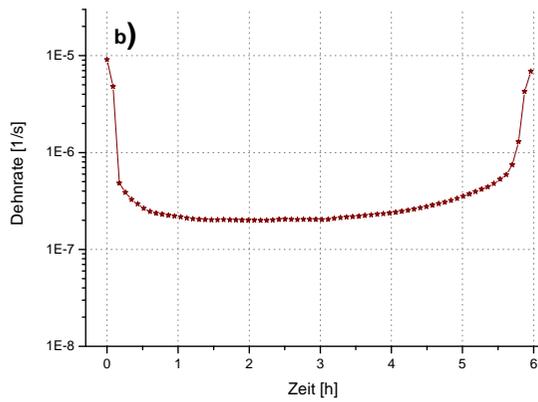


Abbildung 3.68.: Ofen 5 Dehnrate vs. Zeit

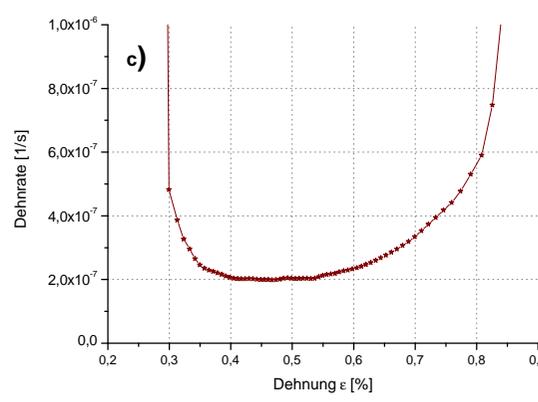


Abbildung 3.69.: Ofen 5 Dehnrate vs. Dehnung

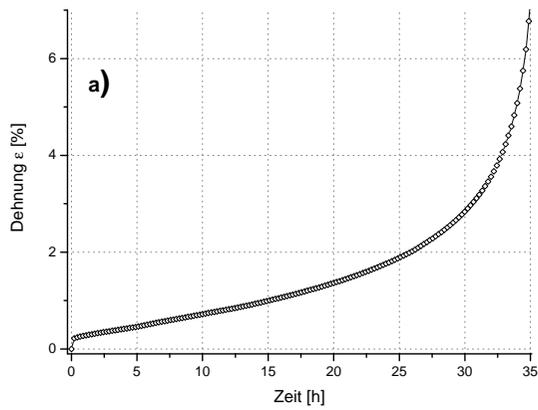


Abbildung 3.70.: Ofen 6 Dehnung vs. Zeit

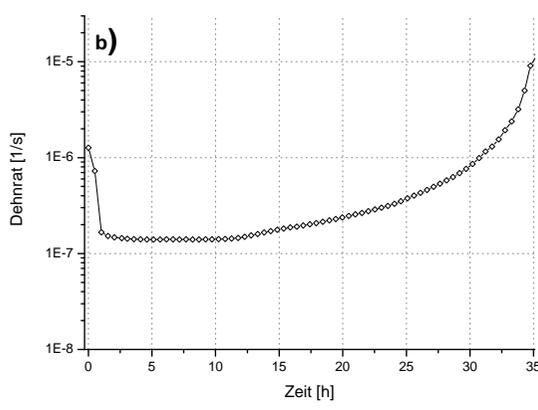


Abbildung 3.71.: Ofen 6 Dehnrate vs. Zeit

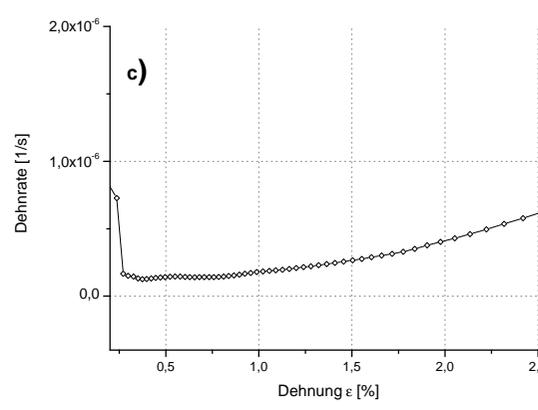


Abbildung 3.72.: Ofen 6 Dehnrate vs. Dehnung

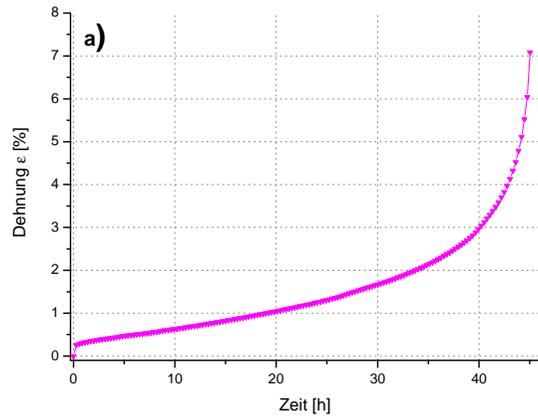


Abbildung 3.73.: Ofen 7 Dehnung vs. Zeit

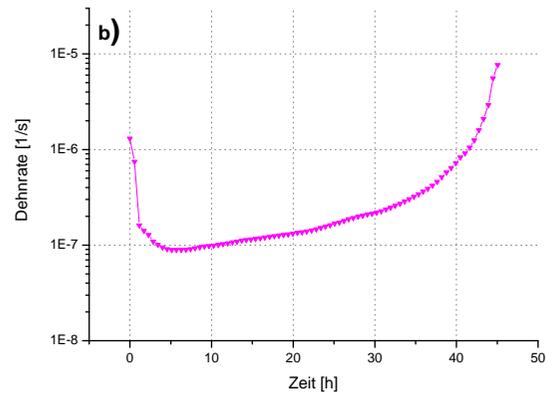


Abbildung 3.74.: Ofen 7 Dehnrate vs. Zeit

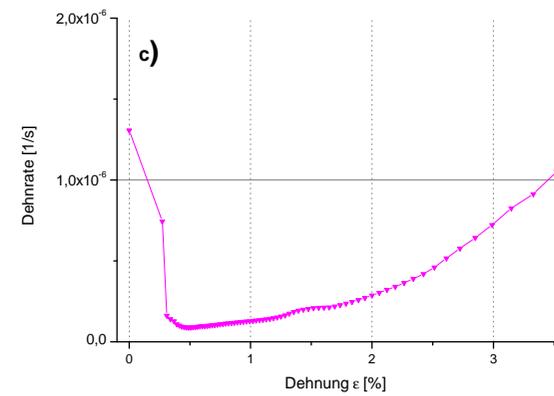


Abbildung 3.75.: Ofen 7 Dehnrate vs. Dehnung

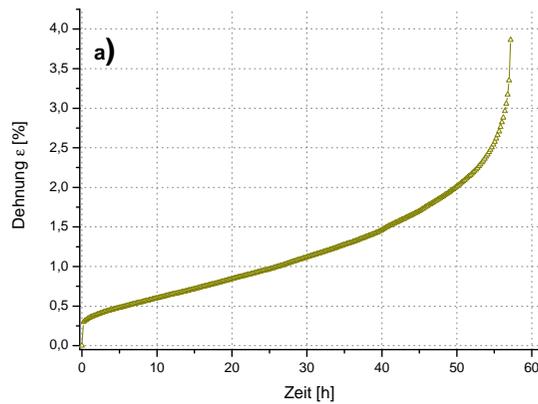


Abbildung 3.76.: Ofen 8 Dehnung vs. Zeit

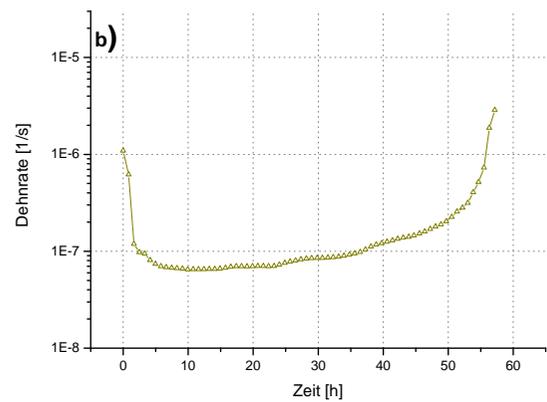


Abbildung 3.77.: Ofen 8 Dehnrate vs. Zeit

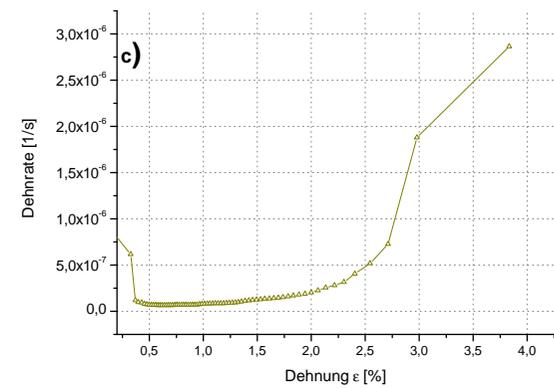


Abbildung 3.78.: Ofen 8 Dehnrate vs. Dehnung

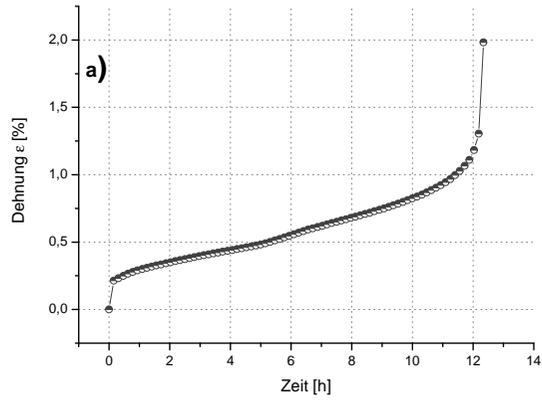


Abbildung 3.79.: Ofen 9 Dehnung vs. Zeit

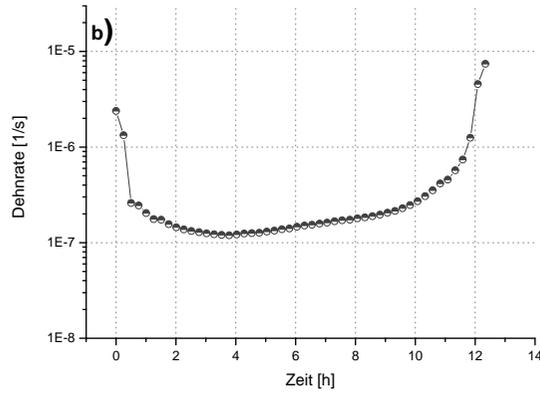


Abbildung 3.80.: Ofen 9 Dehnrate vs. Zeit

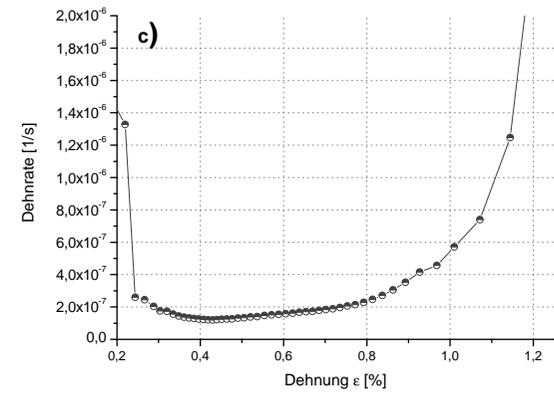


Abbildung 3.81.: Ofen 9 Dehnrate vs. Dehnung

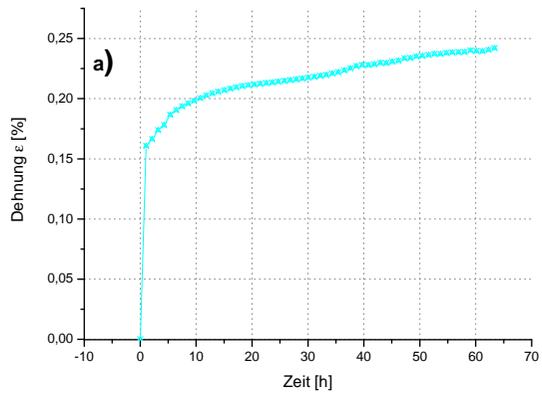


Abbildung 3.82.: Ofen 12 Dehnung vs. Zeit

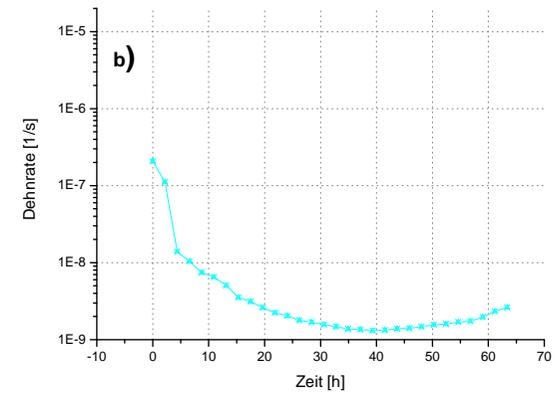


Abbildung 3.83.: Ofen 12 Dehnrate vs. Zeit

### 3.9. Kriechproben $BM2124/SiC/25p < 5\mu m$

Es wurden zwei Kriechproben des Werkstoffes  $BM2124/SiC/25p < 5\mu m$  mit einer Belastung von  $70MPa$  getestet. Dieser Test wurde bereits in der Vergangenheit in einer anderen Arbeit (Bernd Bauer: Enhancement of creep resistance by particle reinforcement [8]) durchgeführt. Es wurde damals nur ein Test bei dieser Belastung durchgeführt, wodurch das Ergebnis nicht aussagekräftig war. Deshalb wurde der Test in dieser Arbeit nochmals durchgeführt.

Die Ergebnisse der zwei Kriechtests sind in Abbildung 3.86 bis 3.91 ersichtlich. Die Proben 1 und 2 liefern Werte eines Kriechversuches, die bis zum Bruch belastet wurden. Nachfolgend sind die beiden minimalen Kriechraten und die Kriechrate aus der Arbeit von Bernd Bauer (Probe A) dargestellt.

Minimale Dehnrates  $\dot{\epsilon}$

- Probe 1:  $6,9 * 10^{-10} \frac{1}{s}$
- Probe 2:  $6,9 * 10^{-10} \frac{1}{s}$
- Probe A:  $6,4 * 10^{-9} \frac{1}{s}$

Der Vergleich der Ergebnisse mit dem früheren Ergebnis zeigt eine, um Faktor 10, kleinere Kriechrate. Das bedeutet eine Steigerung der Kriechbeständigkeit. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass der frühere Versuch vor dem Erreichen der minimalen Kriechrate abgebrochen wurde. Siehe dazu Abbildung 3.84 und 3.85.

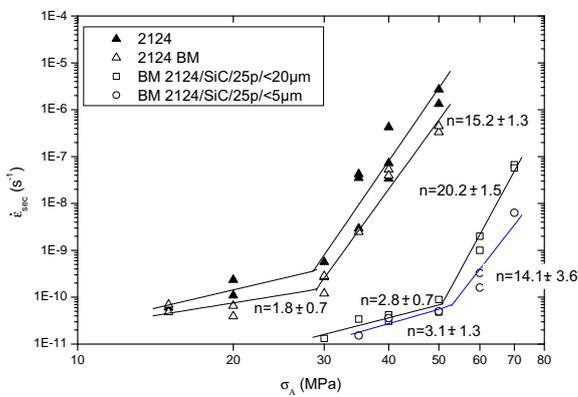


Abbildung 3.84.: Spannung-Kriechrate Diagramm mit alten Wert von  $BM2124/SiC/25p < 5\mu m$  bei  $70MPa$  [8]

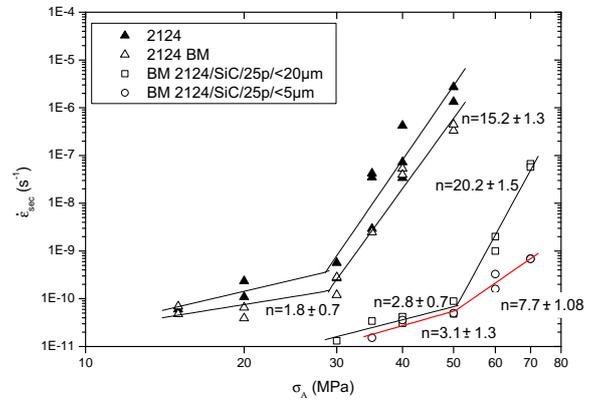


Abbildung 3.85.: Spannung-Kriechrate Diagramm mit neuen Werten von  $BM2124/SiC/25p < 5\mu m$  bei  $70MPa$

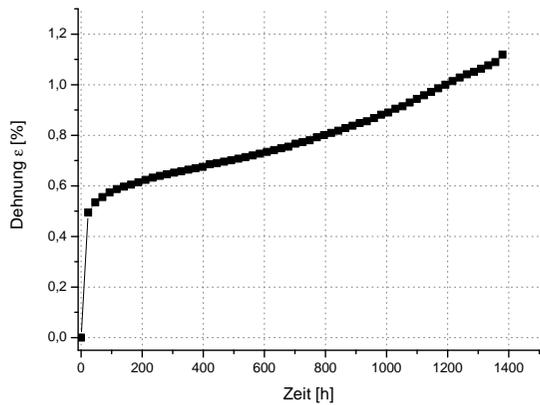


Abbildung 3.86.: **Probe 1** Dehnung vs. Zeit

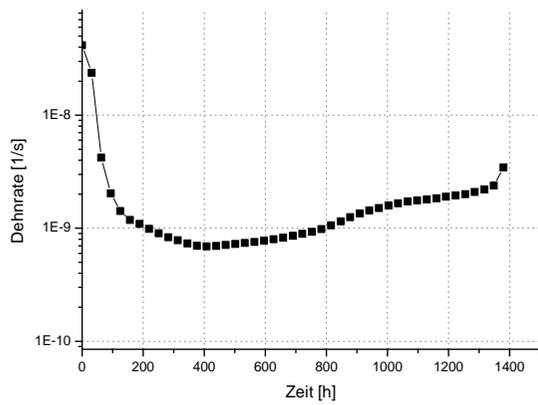


Abbildung 3.87.: **Probe 1** Dehnrate vs. Zeit

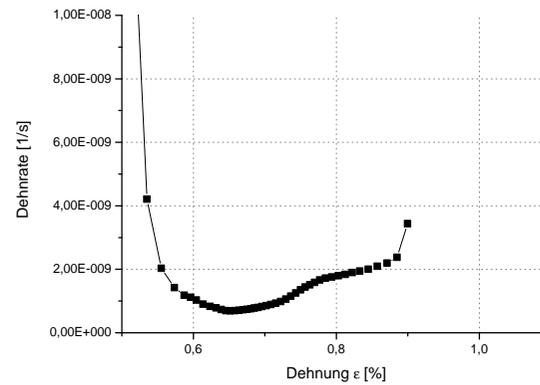


Abbildung 3.88.: **Probe 1** Dehnrate vs. Dehnung

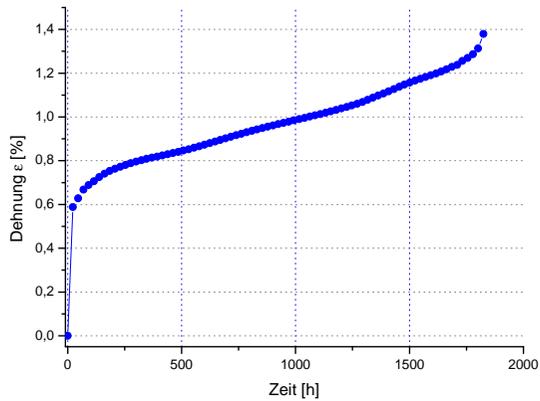


Abbildung 3.89.: **Probe 2** Dehnung vs. Zeit

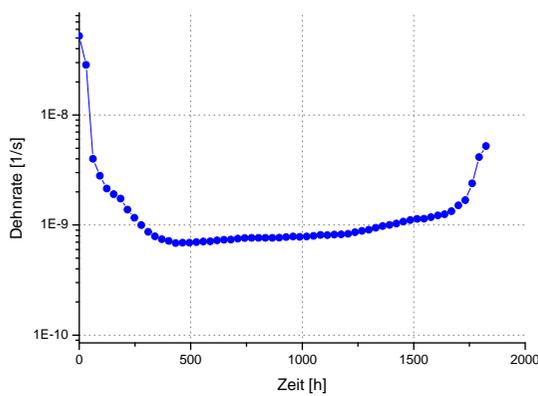


Abbildung 3.90.: **Probe 2** Dehnrate vs. Zeit

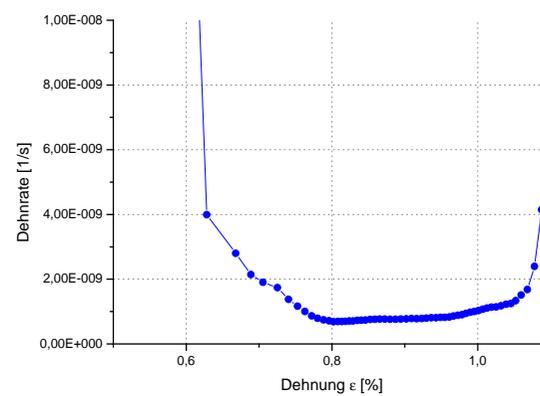


Abbildung 3.91.: **Probe 2** Dehnrate vs. Dehnung

# Kapitel 4.

## Diskussion

### Umbau der Versuchsanlage

Durch den Um- und Einbau der neuen Versuchsofen (Klapprohröfen) zur Erwärmung der Kriechproben, ist eine leichtere und schnellere Bestückung der Versuchsanlage mit neuen Kriechproben möglich. Die Klapprohröfen in Kombination mit Dichtungsscheiben ergeben einen stabileren Temperaturverlauf im Inneren des Ofens als vor dem Umbau. Die Verwendung dieser Dichtungsscheiben ist notwendig, um die vorherrschende thermische Strömung (Kaminwirkung) zu unterdrücken. Um diese Kaminwirkung zu vermeiden, müssen die Dichtungsscheiben von Zeit zu Zeit ausgetauscht werden.

Die Befestigung der Öfen wurde so konstruiert, dass bei Reparaturen oder Austausch eines Ofens nur dieser demontiert werden muss. So kann ein Ofen getauscht werden, ohne die laufenden Versuche zu stoppen.

Der elektrische Umbau der Versuchsanlage war notwendig, um die Klapprohröfen betreiben zu können. Die Neugestaltung brachte eine gut strukturierte und übersichtliche Stromversorgung. Der gesamte Hauptstromkreis und Steuerstromkreis wurde im Schaltschrank zusammengefasst. Die einzelnen elektrischen Bauteile wurden laut den Stromplänen (*Abbildung 3.7 bis 3.12*) beschriftet, um diese eindeutig zuordnen zu können. Die Sicherheit wurde durch die Verwendung eines Fehlerstromschutzschalters – der bis dato in der gesamten Stromzufuhr fehlte! – für den Menschen erhöht. Eine weitere neue Sicherheitseinrichtung wurde durch die Temperaturbegrenzer realisiert. Dieser schaltet die Anlage bei Erreichen einer vordefinierten Temperaturgrenze (z.B.:  $450^{\circ}\text{C}$ ) in einen betriebssicheren Zustand.

Die Ausgleichsleitungen und Messleitungen der Prüfstände wurden teilweise ausgebessert und in zwei Kabelkanäle, die zu der Messelektronik führen, neu verlegt. Um eine geordnete Übersicht bei den Einprobenprüfmaschinen zu gewähren, wurden die Mess- bzw. Ausgleichsleitungen in Spiralschläuchen gebündelt zu den einzelnen Öfen herangeführt.

### Testversuche

Bevor die Kriechanlage nach dem Umbau wieder in Betrieb genommen werden konnte, wurden zahlreiche Tests unternommen. Gleich zu Beginn dieser Arbeit stellte sich heraus, dass die elektrische Versorgung überholt und unzureichend für die neuen Öfen war. Nach dem Einbau der neuen Öfen (Klapprohröfen) wurden Tests zur Feststellung der Temperaturverteilung über die gesamte Länge der Kriechproben unternommen. Um den Temperaturunterschied vom oberen Probenende bis zum unteren Probenende möglichst gering zu halten, musste

die herrschende thermische Strömung (Kaminwirkung) unterbunden werden. Die Beste und günstigste Lösung dafür war, dies mit der Herstellung von Dichtungsscheiben aus wärmeisolierenden temperaturbeständigen Platten (*Isolrath 1000*) zu realisieren.

Durch Verwendung von zwei getrennten Thermoelementen für den Ofenregler und der Datenaufzeichnung (*Spider8*) an dem unteren Probenring, konnten die Messspitzen, die vor dem Umbau herrschten, vermieden werden (Kapitel 3.6).

Nach dem der Umbau (Elektroinstallation und Montage) abgeschlossen und die komplette Anlage funktionsbereit war, wurden in allen Einprobenprüfmaschinen Kriechproben (Kriechdummies) eingebaut um die Kriechanlage unter realen Bedingungen zu testen.

Nach erfolgreichen Tests konnte die Kriechanlage Ende Oktober 2010 wieder in Betrieb genommen werden.

### Temperaturabhängigkeit der Längenänderung

Aus einem laufenden Kriechtest (Dezember 2010) wurden, für die Bestimmung des Temperatureinflusses der Umgebung auf die Längenänderung, Messwerte entnommen. Die Auswertung ergab, dass die Umgebungstemperaturschwankung (Tag-Nacht-Zyklus) einen Einfluss auf die Messung der Längenänderung hat. Dieser Einfluss fiel geringer aus als vor dem Umbau. Betrug die gemessene Temperaturschwankung zuvor aufgrund der Umgebungstemperatur  $\Delta T = 2^\circ C$  [9], entspricht diese jetzt nur mehr etwa  $\Delta T = 0,3^\circ C$  (Kapitel 3.7).

Aus der Tabelle 3.4 ist ersichtlich dass der Messfehler der Kriechrate (bzw. Dehnung) mit zunehmender Testdauer abnimmt. Das heißt, der Messfehler ist eine Funktion von der Testdauer.

### Kriechproben *BM2124/SiC/25p < 5µm*

Werden die Ergebnisse des Versuches mit den Ergebnissen der früheren Arbeit von Bernd Bauer [8] verglichen, wird eine Verbesserung der Kriechbeständigkeit, bei der getesteten Belastung von  $70MPa$ , festgestellt. Der Grund für diese unterschiedliches Ergebnis könnte dadurch sein, dass der Test bei der früheren Arbeit zu früh abgebrochen wurde, mit der Annahme die minimale Kriechrate schon erreicht zu haben.

# Kapitel 5.

## Schlussfolgerung

### *Umbau*

In dieser Arbeit wurde der Umbau der Kriechversuchsanlage mit anschließenden Kriechtests durchgeführt. Es wurden neue Erwärmungsöfen (Klapprohröfen) zur leichteren und schnelleren Bestückung der Versuchsanlage installiert. Weiters wurde die komplette Elektroinstallation neu konzipiert und installiert. Dadurch wurde eine übersichtliche Stromversorgung bewerkstelligt. Zudem wurden Sicherheitseinrichtungen, wie Fehlerstromschutzschalter und Temperaturbegrenzer, eingebaut. Die Messleitungen und Ausgleichsleitungen wurden generalüberholt und neu verlegt.

Für die Unterstützung von nicht geübten Bedienern, wurde eine Anleitung für die Durchführung eines neuen Kriechversuches erstellt. In dieser Anleitung wird detailliert jeder Arbeitsschritt – zum Teil graphisch unterstützt – erklärt. Zum Starten eines Versuches wurde weiters ein „Quick - Guide“ des Versuchsprogrammes Catman erstellt. Wie die Daten aus den Versuchen weiter verarbeitet werden, wurde ebenfalls in dieser Arbeit behandelt.

### *Testergebnisse:*

- Die Prüftemperatur wurde bis  $600^{\circ}\text{C}$  getestet, wobei laut Angaben des Herstellers bis zu  $1000^{\circ}\text{C}$  möglich sind.
- Der Temperaturunterschied zwischen unterem und oberem Probenstück, der laut Norm (DIN EN 10291)  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  betragen darf, wurde durch die Verwendung von Dichtungsscheiben eingehalten.
- Die Temperaturschwankung (Schaltkreis bedingt) des einzelnen Thermoelements konnte gegenüber der alten Kriechanlage deutlich verbessert werden (Kapitel 3.6).
- Die Schwankung der Umgebungstemperatur ist bei der Längenänderung messbar. Das bedeutet, dass Messfehler aufgrund von Umgebungstemperaturschwankungen vorhanden sind. Je länger die Versuche dauern, desto geringer fallen diese aus (siehe Tabelle 3.4).
- Testversuch der Proben  $BM2124/SiC/25p < 5\mu\text{m}$  ergaben Korrekturen früherer Ergebnisse.

### *Offene Punkte:*

Wenn nur ein neuer Kriechversuch gestartet wird, muss das Programm Catman für die gesamten Versuche gestoppt, neu konfiguriert und wieder gestartet werden. Dabei verliert man

Daten über jene Kriechversuche die noch in Betrieb sind. Um diesen Datenverlust, der durch das Abschalten des Programmes verursacht wird, zu vermeiden, müsste eine neue Software verwendet werden die jede Einprobenprüfmaschine separat ansteuert.

# Anhang

## **Anhang A.**

### **Kostenübersicht**

| Kostenposition                                   | Unternehmen                       | Menge bzw.<br>Stück | Einzelkosten<br>inkl. MwSt<br>[€] | Versandkosten<br>inkl. MwSt<br>[€] | Gesamtkosten<br>inkl. MwSt<br>[€] |
|--|-----------------------------------|---------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Klapprohrofen<br>VST 10/150                      | CARBOLITE<br>GmbH                 | 10 Stk.             | 1500                              | -                                  | 15000                             |
| DIAZED-Sicherung<br>6A TNDz                      | Distrelec GmbH.                   | 15 Stk.             | 1,92                              | 3,84                               | 32,64                             |
| Temperaturbegrenzer                              | JUMO GmbH &<br>Co. KG             | 10 Stk.             | 176,94                            | -                                  | 1769,4                            |
| TYA-<br>Leistungsschalter                        | JUMO GmbH &<br>Co. KG             | 6 Stk.              | 39,33                             | -                                  | 235,98                            |
| Ausgleichsleitung-<br>(2 x 0,5 mm <sup>2</sup> ) | JUMO GmbH &<br>Co. KG             | 100m                | 3,96                              | -                                  | 396                               |
| Quadratstahl<br>50mm                             | j.posamentir<br>GmbH              | 20kg                | 65,65                             | -                                  | 65,65                             |
| 24V Netzteil<br>COTEK-DN 100-<br>24              | Conrad Electronic<br>GmbH & Co KG | 1 Stk.              | 53,95                             | -                                  | 53,95                             |
| Verdrahtungskankal<br>40x40mm 10/150             | ETECH                             | 8m                  | 3,48                              | -                                  | 27,84                             |
| Tragschiene gelocht<br>TS35x7,5                  | ETECH                             | 2m                  | 7,76                              | -                                  | 7,76                              |
| Isolrath Platte<br>100x60x3cm                    | E. Fessler GmbH &<br>Co. KG.      | 1 Stk.              | 31,20                             | -                                  | 31,2                              |
| Ofenschnur $\varnothing 10cm$                    | Mandl & Bauer<br>OEG              | 8m                  | 4,08                              | -                                  | 32,64                             |
| Verschluss                                       | Protex Fasteners<br>Ltd.          | 14 Stk.             | 5,75                              | 57,07                              | 137,57                            |
| FI-Schalter                                      | ETECH                             | 1 Stk.              | 92                                | -                                  | 92                                |
| Silikonleitung<br>Ölflex                         | Conrad Electronic<br>GmbH         | 14m                 | 1,89                              | -                                  | 26,46                             |
| L-Profil   | LagerhausGen.                     | 32kg                | 1,65                              | -                                  | 52,94                             |
| Schrauben, Mutter,<br>etc.                       | Fachhandel                        | -                   | -                                 | -                                  | 80,04                             |
| Bohrer, Fächer-<br>schleifer,etc                 | Fachhandel                        | -                   | -                                 | -                                  | 94,99                             |
| Lack, Pinsel, etc.                               | Fachhandel                        | -                   | -                                 | -                                  | 82,19                             |
| Aderendhülsen,<br>Kabelbinder, etc.              | Fachhandel                        | -                   | -                                 | -                                  | 122,9                             |
| Sonstiges: Kleber,<br>Ofenschnur, etc.           | Fachhandel                        | -                   | -                                 | -                                  | 91,75                             |
| <b>Gesamtkosten<br/>mit Öfen</b>                 | -                                 | -                   | -                                 | -                                  | 18433,9                           |
| <b>Gesamtkosten<br/>ohne Öfen</b>                | -                                 | -                   | -                                 | -                                  | 3433,9                            |

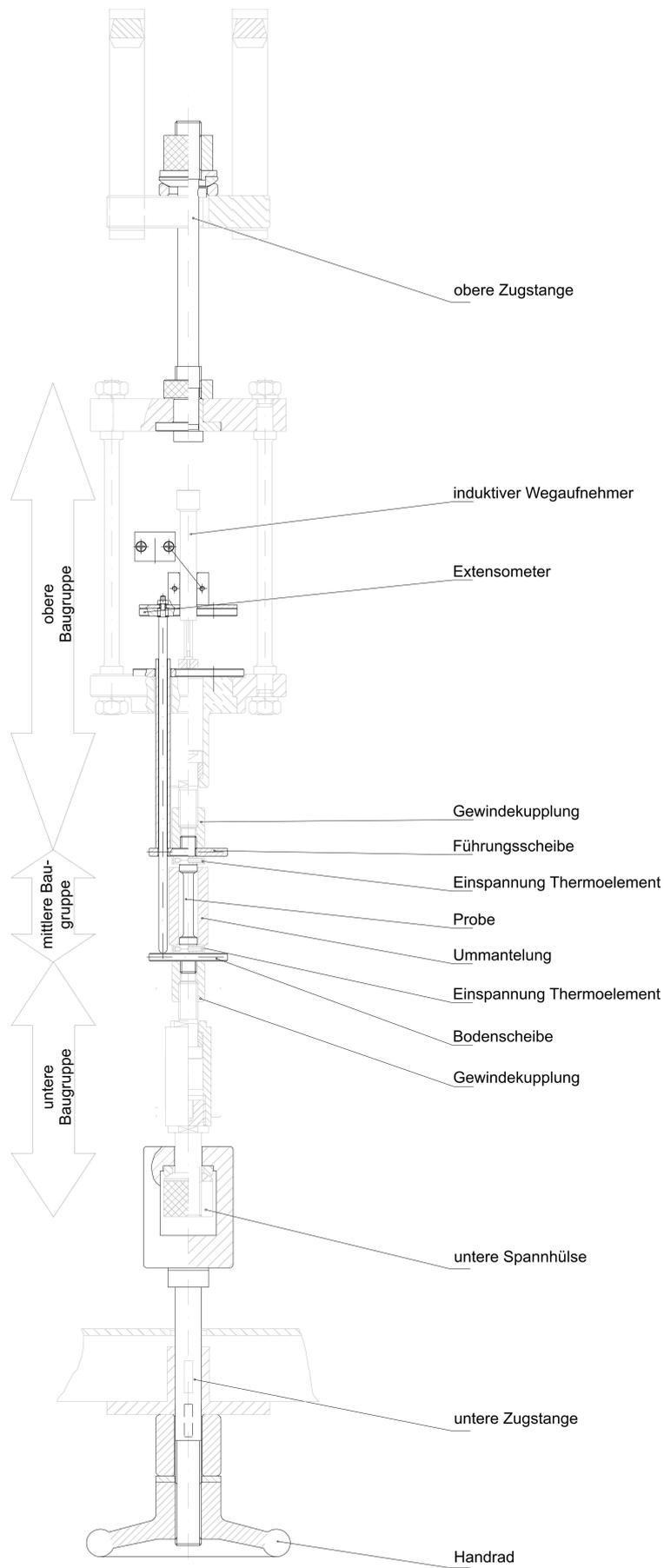
Tabelle A.1.: Kostenübersicht

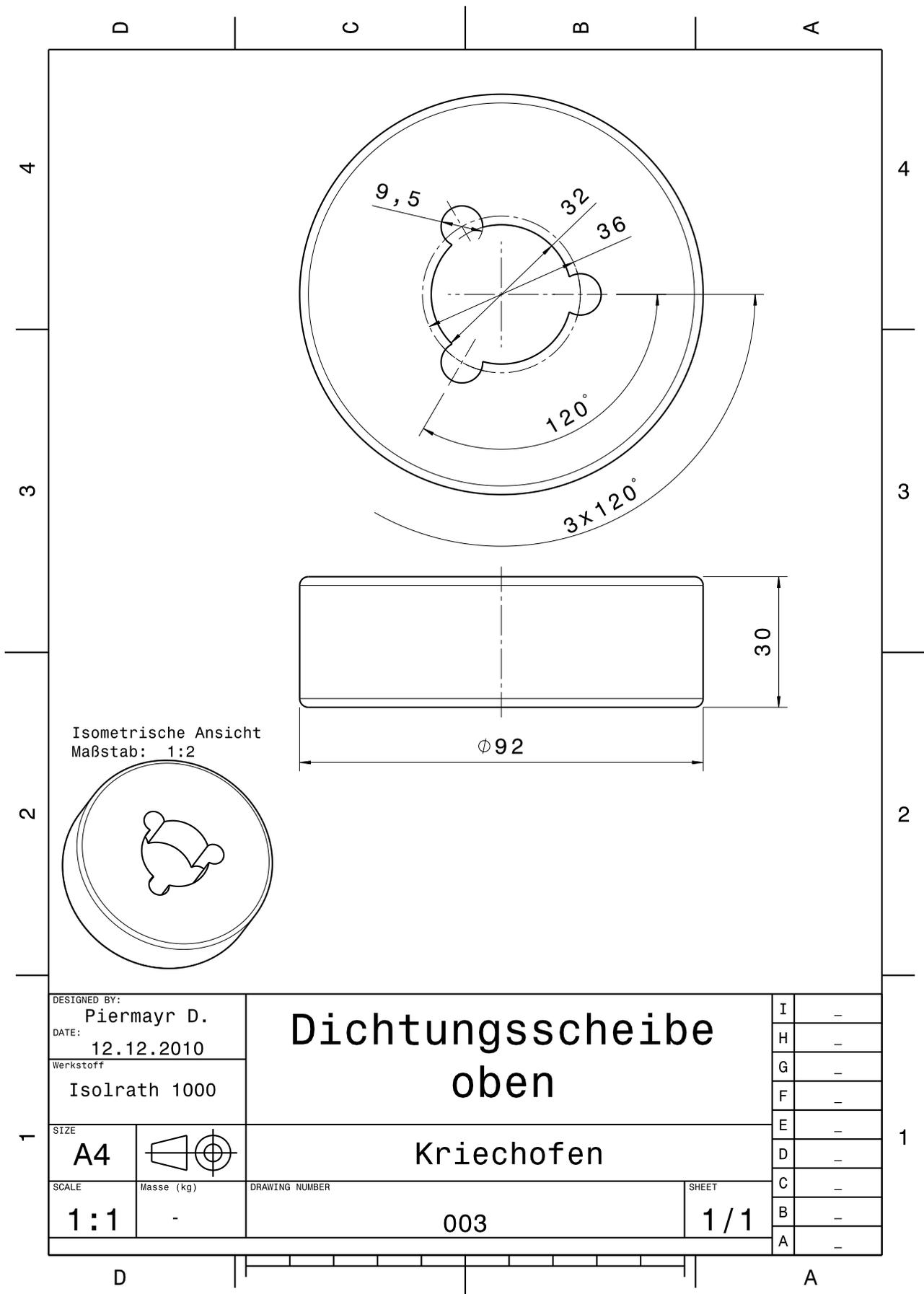
# Anhang B.

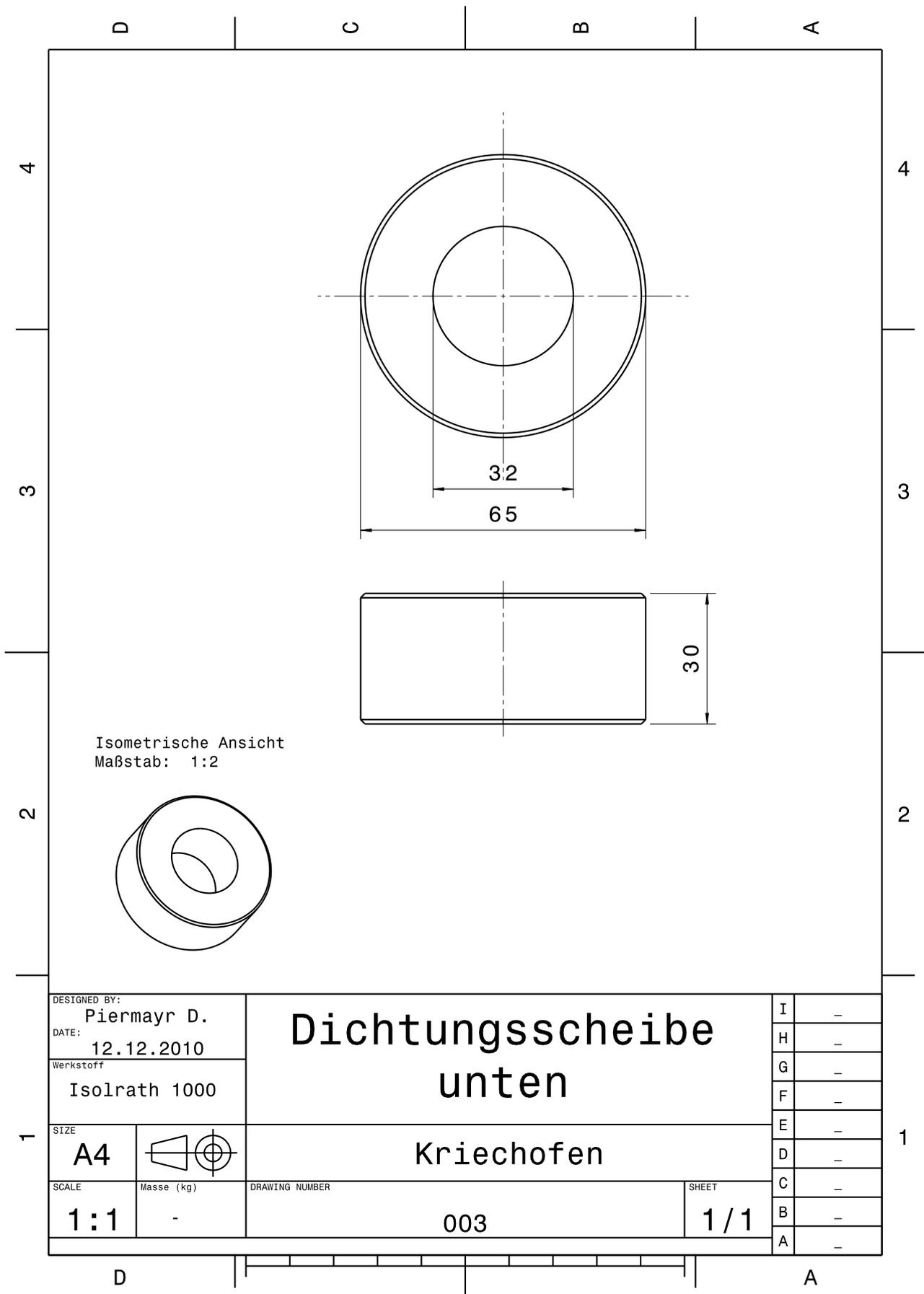
## Technische Zeichnungen

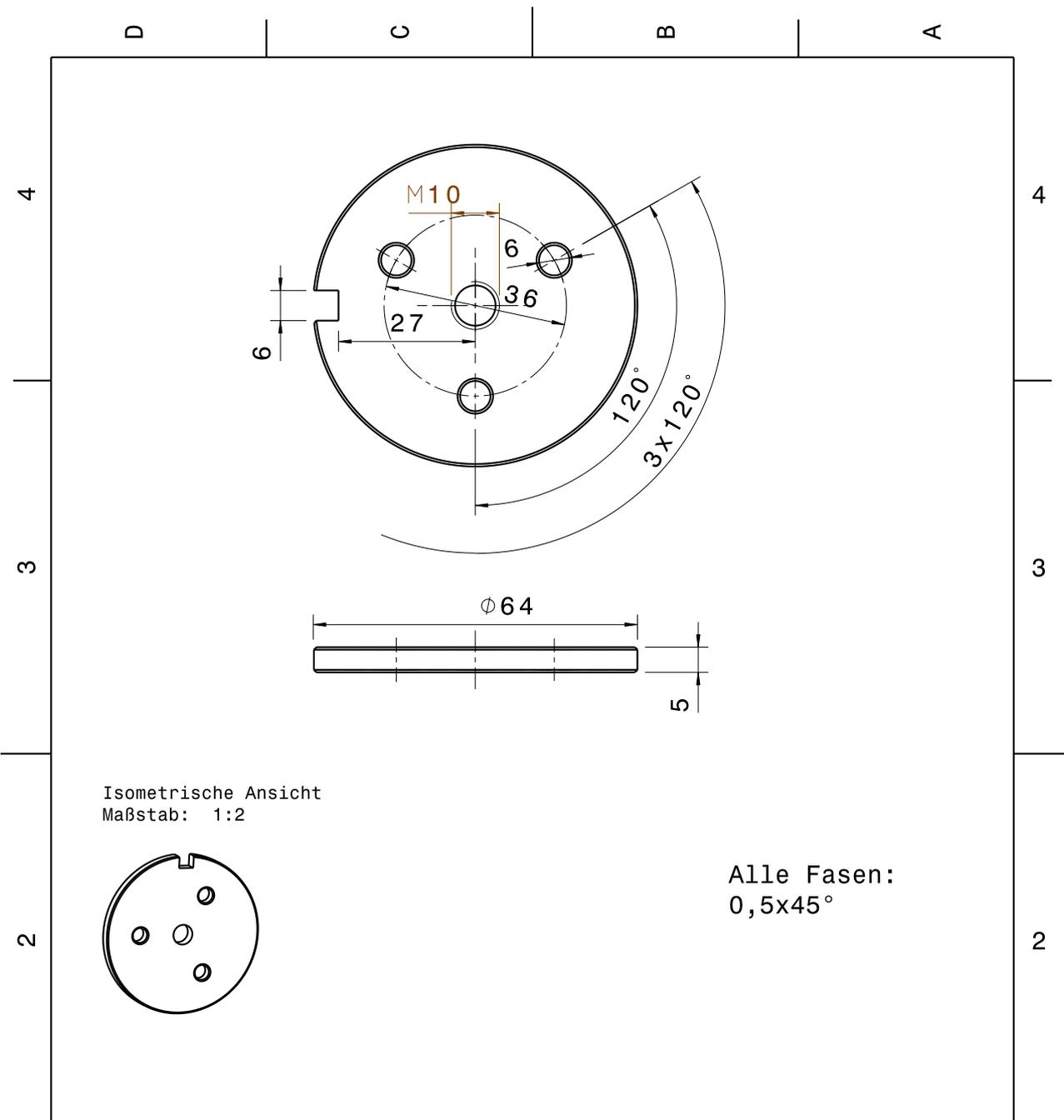
### Übersicht TECHNISCHE ZEICHNUNGEN

- Zugvorrichtung
- Dichtungsscheibe oben
- Dichtungsscheibe unten
- Führungsscheibe
- Bodenscheibe

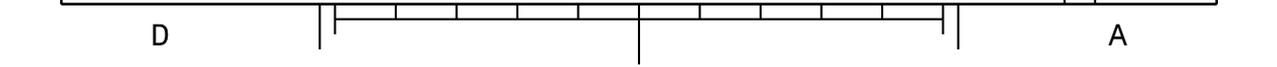


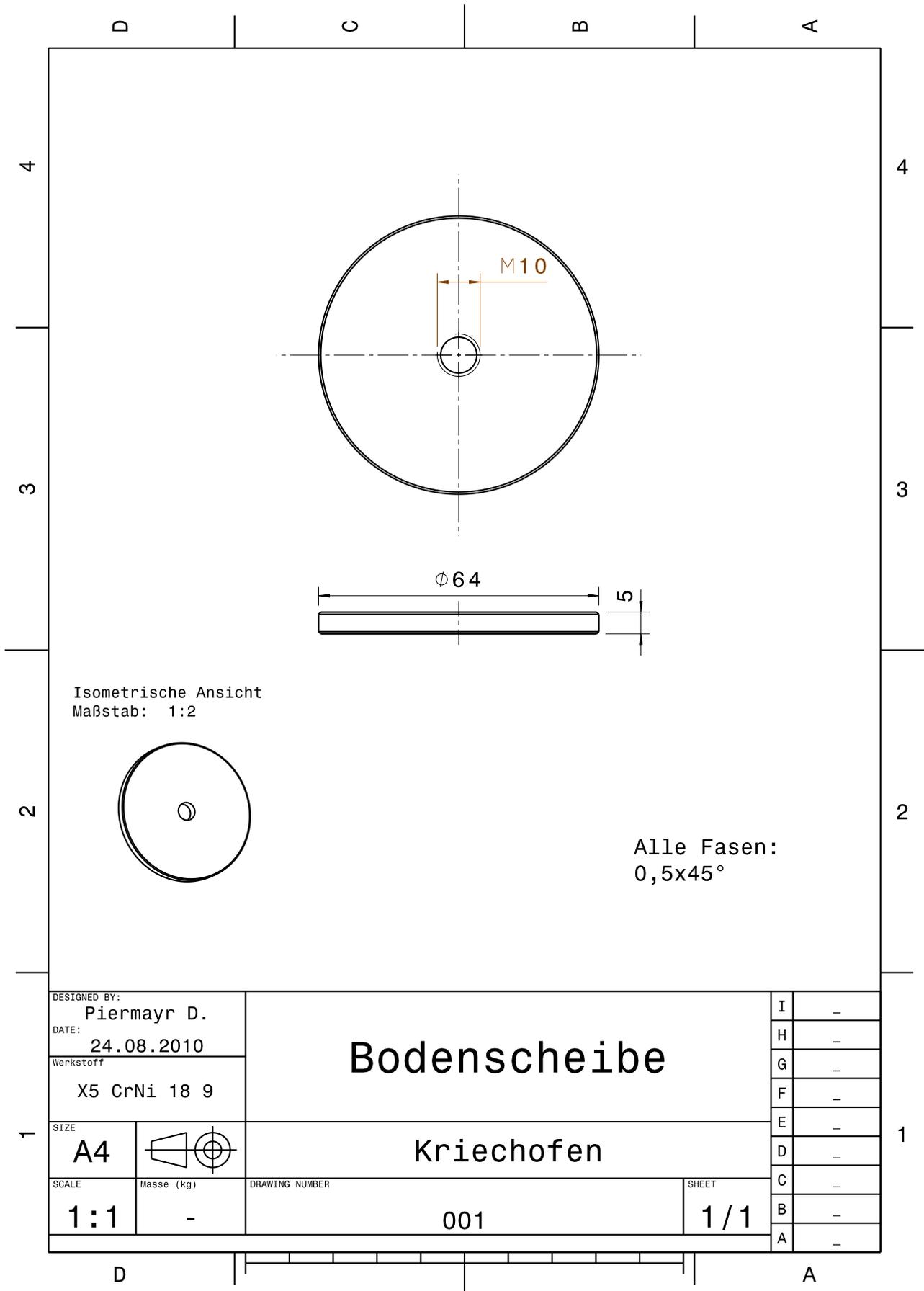






|                                    |                 |                          |   |   |   |
|------------------------------------|-----------------|--------------------------|---|---|---|
| DESIGNED BY:<br><b>Piermayr D.</b> |                 | <h1>Führungsscheibe</h1> | I | - |   |
| DATE:<br><b>24.08.2010</b>         |                 |                          | H | - |   |
| Werkstoff<br><b>X5 CrNi 18 9</b>   |                 |                          | G | - |   |
| SIZE<br><b>A4</b>                  |                 | <h1>Kriechofen</h1>      |   | E | - |
| SCALE<br><b>1:1</b>                | Masse (kg)<br>- |                          |   | D | - |
| DRAWING NUMBER<br><b>002</b>       |                 | SHEET<br><b>1/1</b>      |   | C | - |
|                                    |                 |                          |   | B | - |
|                                    |                 |                          |   | A | - |





# Anhang C.

## Datenblätter

### Übersicht DATENBLÄTTER

- Typenblatt des Temperaturbegrenzers
- Typenblatt des Thyristor-Leistungsschalters TYA 432-100/30, 265
- Typenblatt des Ofenreglers dTron 304
- Typenblatt der Ausgleichsleitung
- Datenblatt des Dämmstoffes für die Dichtungsscheibe
- Bedienungsanleitung der Klapprohröfen VST 10/150
- Datenblatt des Dämmstoffes der Dichtungsscheibe

**JUMO GmbH & Co. KG**

Hausadresse: Moritz-Juchheim-Straße 1, 36039 Fulda, Germany  
 Lieferadresse: Mackenrodtstraße 14, 36039 Fulda, Germany  
 Postadresse: 36035 Fulda, Germany

Telefon: +49 661 6003-727

Telefax: +49 661 6003-508

E-Mail: mail@jumo.net

Internet: www.jumo.net



Typenblatt 70.1160

Seite 1/9

## JUMO TB/TW Temperaturbegrenzer, -wächter nach DIN EN 14 597

mit LC-Display zur Montage auf Hutschiene 35mm

### Kurzbeschreibung

Der JUMO TB/TW ist eine freiprogrammierbare Temperaturbegrenzereinrichtung.

Der Messeingang ist frei konfigurierbar für Widerstandsthermometer, Thermoelemente sowie Strom und Spannungssignale.

TB/TW überwachen thermische Prozesse in Anlagen auf einen eingestellten Grenzwert.

Wird dieser überschritten, so schaltet das eingebaute Relais (mit Schmelzsicherung für Schließerkontakt) die Anlage in einen betriebssicheren Zustand und die LED K1 schaltet von grün auf rot um.

Kommt die Anlage wieder in den Gutbereich, muss beim TB die Taste Reset mit einem entsprechenden Werkzeug manuell entriegelt werden.

Der TW hingegen stellt sich ohne äußere Einwirkung automatisch wieder zurück.

Ein Binärausgang DC 24V/20mA kann bei einer einstellbaren Temperatur vor Erreichen des Grenzwertes ein Voralarmsignal ausgeben, welches über LED KV zusätzlich angezeigt wird.

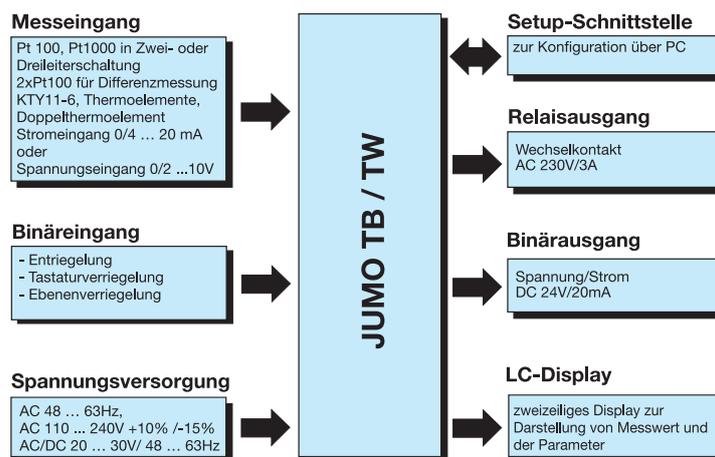
TB/TW werden auf Hut-Schienen montiert und über Schraubklemmen mit einem Leitungsquerschnitt von max. 2,5mm<sup>2</sup> verdrahtet.

Als Zubehör steht ein PC-Setup-Programm zur Verfügung mit dem sich Fühlerart, Messbereich, Ausgangsverhalten und Verriegelungen einstellen und speichern lassen.



Typ 701160/ ...

### Blockschaltbild



### Besonderheiten

- Setup-Programm zur Konfiguration und Archivierung über PC
- Übersichtliches alphanumerisches Display
- Digitales EingangsfILTER mit einstellbarer Filterzeitkonstante
- Voralarm absolut oder als Abstand vom Grenzwert einstellbar
- Großer Spannungsversorgungsbereich von AC 110 ... 240V +10% /-15%
- Als TB oder TW konfigurierbar
- 17 Linearisierungen einstellbar
- Interne und externe Entriegelung möglich
- Eingang 2x Pt 100 für Differenzmessung

Zulassungen/Prüfzeichen (siehe Technische Daten)



2009-12-14/00506173

## Technische Daten

### Analogeingänge

#### Widerstandsthermometer

| Bezeichnung         | Messbereich   | Genauigkeit <sup>1</sup> |
|---------------------|---|--------------------------|
| Pt 100 DIN EN 60751 | -200 ... +850°C   | 0,1%                     |
| KTY11-6 PTC         | -50 ... 150°C   | 1%                       |
| Pt 1000 DIN         | -200 ... +850°C   | 0,1%                     |
| Anschlussart        | Zwei-, Dreileiterschaltung  |                          |
| Abtastrate          | 210ms   |                          |
| Eingangsfiler       | digitales Filter 2. Ordnung; Filterkonstante einstellbar von 0 ... 100s |                          |
| Besonderheiten      | 2xPt 100 für Differenzmessung, Anzeige auch in °F programmierbar        |                          |

#### Thermoelemente

| Bezeichnung                  | Messbereich   | Genauigkeit <sup>1</sup> |
|------------------------------|---|--------------------------|
| Fe-CuNi „L“DIN 43710         | -200 ... +900°C   | 0,4%                     |
| Fe-CuNi „J“DIN EN60584       | -200 ... +1200°C  | 0,4%                     |
| Cu-CuNi „U“DIN 43710         | -200 ... +600°C   | 0,4%                     |
| Cu-CuNi „T“DIN EN60584       | -200 ... +400°C   | 0,4%                     |
| NiCr-Ni „K“DIN EN60584       | -200 ... +1372°C  | 0,4%                     |
| NiCrSi-NiSi „N“DIN EN60584   | -100 ... +1300°C  | 0,4%                     |
| Pt10Rh-Pt „S“DIN EN60584     | 0 ... +1768°C   | 0,4%                     |
| Pt13Rh-Pt „R“DIN EN60584     | 0 ... +1768°C   | 0,4%                     |
| Pt30Rh-Pt6Rh „B“DIN EN60584  | 300 ... 1820°C  | 0,4%                     |
| W3Re-W25Re„D“                | 0 ... 2495°C  | 0,4%                     |
| Vergleichsstelle             | Pt 100 intern   |                          |
| Vergleichsstellengenauigkeit | ± 1K  |                          |
| Abtastrate                   | 210 ms  |                          |
| Eingangsfiler                | digitales Filter 2. Ordnung; Filterkonstante einstellbar von 0 ... 100s |                          |
| Besonderheiten               | auch in °F programmierbar   |                          |

1. Die Genauigkeit bezieht sich auf den maximalen Messbereichsumfang.  
Bei kleinen Messbereichen sowie kleinen Messspannen verringert sich die Linearisierungsgenauigkeit.

#### Gleichspannung, Gleichstrom

| Messbereich  | Genauigkeit   |
|--|---|
| 0 ... 20mA, Spannungsabfall < 2V<br>4 ... 20mA, Spannungsabfall < 2V             | 0,2%  |
| 0 ... 10V, Eingangswiderstand > 100 kΩ<br>2 ... 10V, Eingangswiderstand > 100 kΩ | 0,1%  |
| Skalierung   | innerhalb der Grenzen beliebig programmierbar                           |
| Abtastrate   | 210 ms  |
| Eingangsfiler  | digitales Filter 2. Ordnung; Filterkonstante einstellbar von 0 ... 100s |

#### Messkreisüberwachung

|  | Widerstandsthermometer und KTY11-6  | Doppelthermoelemente | Thermoelemente                        | Strom 0 ... 20 mA, 4 ... 20mA<br>Spannung 0 ... 10 V, 2 ... 10 V        |
|--|---|----------------------|---------------------------------------|---|
| Messbereichsüber- und -unterschreitung | wird erkannt<br>LED K1 und KV leuchten; im Display blinkt „1999“                        |                      |                                       |   |
| Fühler- und Leitungsbruch              | wird erkannt<br>LED K1 und KV leuchten; im Display blinkt „1999“; Relais K1 ist inaktiv |                      | wird erkannt bei 4...20mA und 2...10V | LED K1 und KV leuchten; im Display blinkt „1999“; Relais K1 ist inaktiv |
| Fühlerkurzschluss                      | wird erkannt<br>LED K1 und KV leuchten; im Display blinkt „1999“; Relais K1 ist inaktiv |                      | wird <b>nicht</b> erkannt             | LED K1 und KV leuchten; im Display blinkt „1999“; Relais K1 ist inaktiv |

### Binäreingang

| Anschluss                 | Funktion  |
|---------------------------|---|
| 1 potenzialfreier Kontakt | Entriegelung, Tastaturverriegelung, Ebenenverriegelung konfigurierbar |

### Binärausgänge

|              |   |
|--------------|---|
| Relais       | 100000 Schaltungen bei einer Schaltleistung von 3,15A/250V 50Hz ohmscher Last                                 |
|              | <b>Kontaktschutzbeschaltung:</b><br>Schmelzsicherung 3,15AT im Schließerzweig innerhalb des Gerätes eingebaut |
| Binärausgang | Logiksignal DC 24V/20mA kurzschlussfest   |

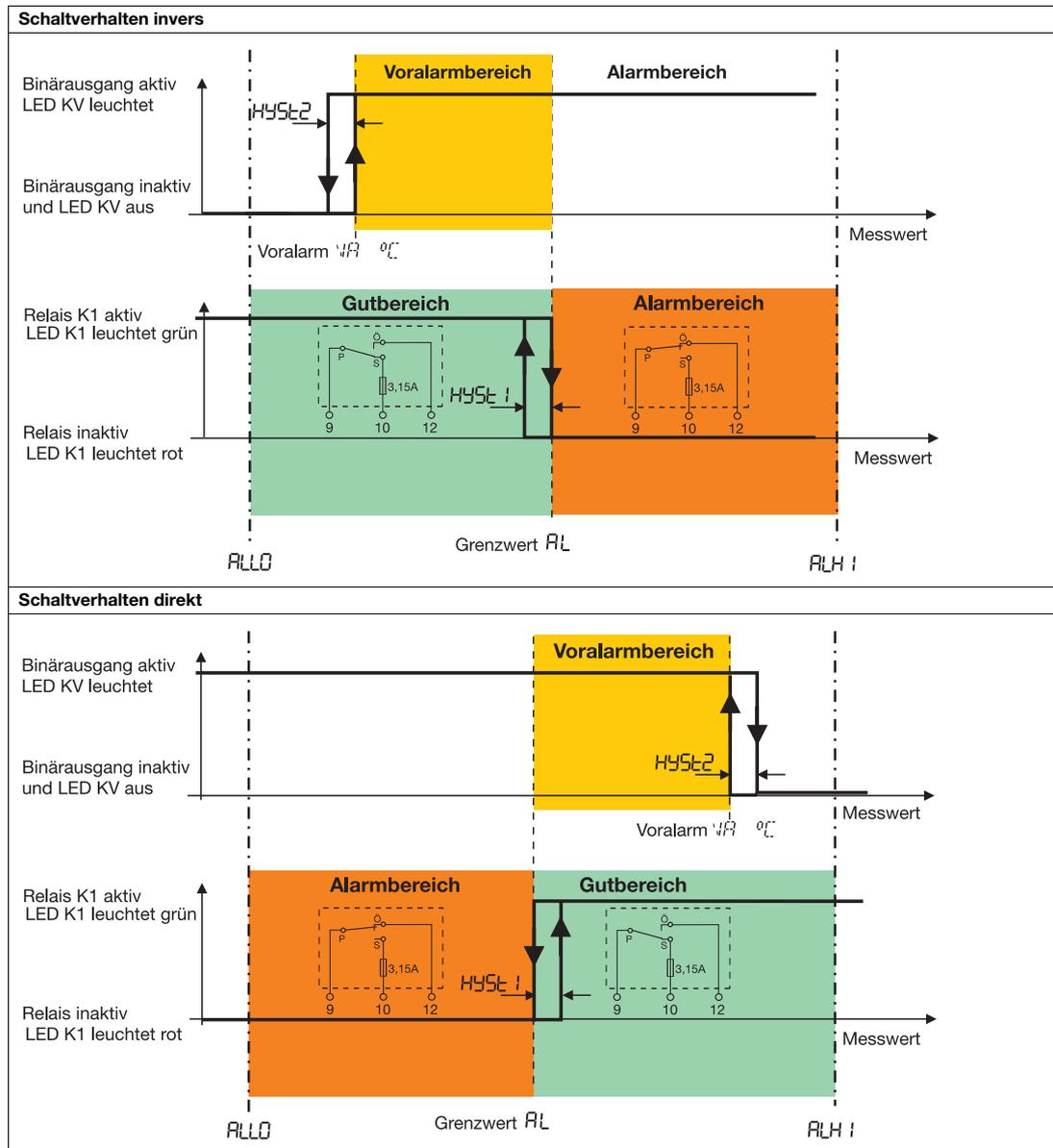
### Spannungsversorgung

|                     |   |
|---------------------|---|
| Spannungsversorgung | AC/DC 20 ... 30V, 48 ...63 Hz<br>AC 110 ... 240V +10% /-15% |
| Leistungsaufnahme   | 5 VA  |

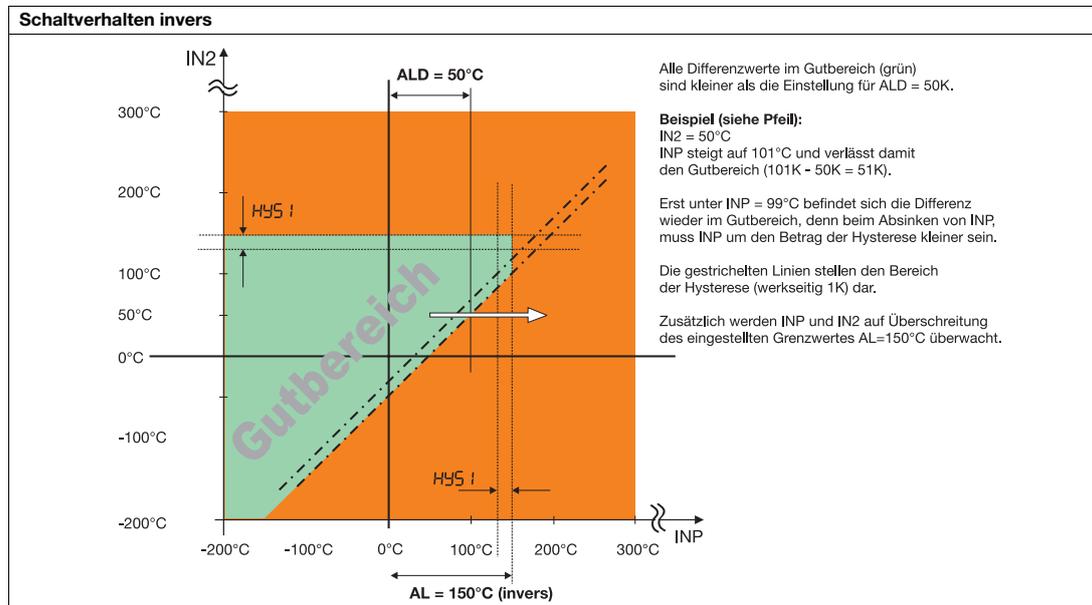
### Zulassungen/Prüfzeichen

| Prüfzeichen | Prüfstelle                | Zertifikate/Prüfnummern | Prüfgrundlage | gilt für                |
|-------------|---------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------|
| DIN         | DIN CERTCO                | TW/TB 1206 08           | DIN EN 14597  | alle Geräteausführungen |
| c UL us     | Underwriters Laboratories | 20091123-E325456        | UL 60730-2-9  | alle Geräteausführungen |

**Schaltverhalten am Grenzwert**



**Schaltverhalten bei Differenzmessung**



**Prüfspannungen nach EN 60730, Teil 1**

|  |            |
|--|------------|
| Eingang bzw. Ausgang gegen Spannungsversorgung         |            |
| - bei Spannungsversorgung AC 110 ... 240V +10% /-15%   | 3,7kV/50Hz |
| - bei Spannungsversorgung AC/DC 20 ... 30V, 48...63 Hz | 3,7kV/50Hz |

**Elektrische Sicherheit**

Luft- und Kriechstrecken:

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| Netz zu Elektronik und Fühler   | ≥ 8 mm   |
| Netz zu Relais                  | ≥ 8 mm   |
| Relais zu Elektronik und Fühler | ≥ 8 mm   |
| Elektrische Sicherheit          | nach DIN EN 14597 (DIN EN 60730-1)<br>Überspannungskategorie III, Verschmutzungsgrad 2 |
| Schutzklasse I                  | mit interner Trennung zu SELV-Stromkreisen   |

**Umwelteinflüsse**

|                            |  |
|----------------------------|--|
| Umgebungstemperaturbereich | 0 ... +55°C  |
| Lagertemperaturbereich     | -30 ... +70°C  |
| Temperatureinfluss         | ≤ ± 0,005 % / K Abw. von 23°C <sup>1</sup> bei Widerstandsthermometern<br>≤ ± 0,01 % / K Abw. von 23°C <sup>1</sup> bei Thermoelement, Strom, Spannung |
| Klimafestigkeit            | 85% rel. Feuchte ohne Betauung<br>(3K3 mit erweitertem Temperaturbereich nach DIN EN 60721)  |
| EMV                        | nach DIN EN 14597 und Normen aus der Normenreihe DIN EN 61326  |
| Störaussendung             | Klasse B   |
| Störfestigkeit             | Prüfpegel für Schutz-, Regel- und Steuergeräte (RS) nach DIN EN 14597  |

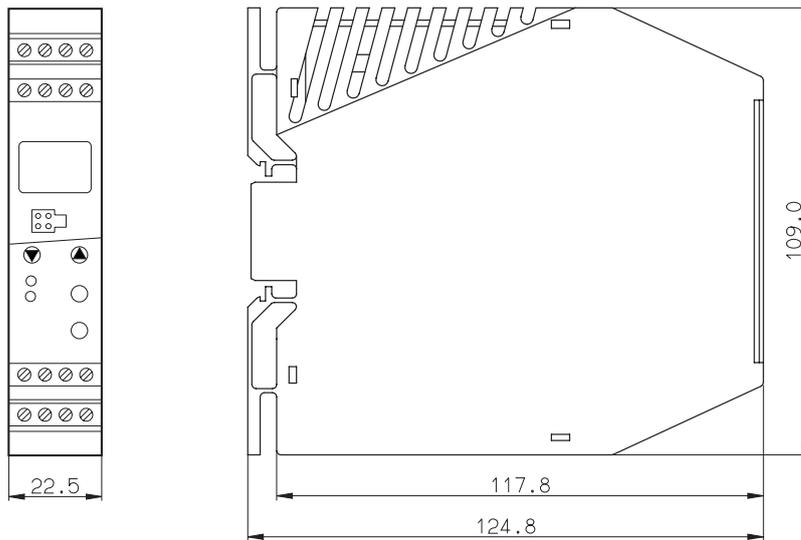
1. Alle Angaben beziehen sich auf den Messbereichsendwert

**Gehäuse**

|                  |   |
|------------------|---|
| Material         | Polyamid (PA 6.6)                             |
| Schraubanschluss | Schraubklemme 0,2 ... 2,5mm <sup>2</sup>      |
| Montage          | auf Hutschiene 35mm x 7,5mm nach DIN EN 60715 |
| Einbaulage       | senkrecht                                     |
| Gewicht          | ca. 160g                                      |
| Schutzart        | IP 20 nach DIN EN 60529                       |

### Abmessungen

Typ 701160/...



**Anschlussplan**

|                     |   |   |                       |  |  |
|---------------------|---|---|-----------------------|--|--|
|                     |   |   |                       |  |  |
|                     | <b>Spannungsversorgung</b><br>lt. Typenschild | <b>AC</b><br>L1 Außenleiter<br>N Neutralleiter  | <b>DC</b><br>L+<br>L- |  |  |
|                     | <b>Analogeingänge</b>                         | Thermoelement   |                       |  |  |
|                     |   | Doppelthermoelement   |                       |  |  |
|                     |   | Widerstandsthermometer oder KTY11-6 PTC in Zweileiterschaltung<br>Bei Widerstandsthermometer in Zweileiterschaltung muss bei größeren Leitungslängen im Setup-Programm der Leitungswiderstand eingegeben und ins Gerät übertragen werden. |                       |  |  |
|                     |   | Widerstandsthermometer in Dreileiterschaltung   |                       |  |  |
|                     |   | Widerstandsthermometer 2 x Pt100 in Zweileiterschaltung für Differenzmessung (kein Leitungsabgleich möglich)  |                       |  |  |
|                     |   | 0(4) ... 20 mA oder 0(2) ... 10 V   |                       |  |  |
| <b>Binäreingang</b> | zum Anschluss an potenzialfreien Kontakt      |   |                       |  |  |
|                     | <b>Binärausgang</b>                           | DC 24V/20 mA (kurzschlussfest)  |                       |  |  |
|                     | <b>Relaisausgang</b>                          | Relais mit Schmelzsicherung für Schließerkontakt  |                       |  |  |

**DIN zugelassene Fühler für Betriebsmedium Luft  
(Verwendung nur ohne Tauchhülse zulässig)**

| Widerstandsthermometer<br>nach Typenblatt 90.2006<br>aktuelle Typenbezeichnung | alte Typenbezeichnung | Fühlerart                 | Temperaturbereich        | Nennlänge mm        | Prozessanschluss                            |
|--|-----------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------|---|
| 902006/65-228-2003-1-15-500-668/000  | 90.271-F01            | 2 x Pt100                 | -170 ... +700°C          | 500                 | Anschlagflansch<br>verschiebbar             |
| 902006/65-228-2003-1-15-710-668/000  | 90.272-F01            |                           |                          | 710                 |   |
| 902006/65-228-2003-1-15-1000-668/000   | 90.273-F01            |                           |                          | 1000                |   |
| 902006/55-228-2003-1-15-500-254/000  | -                     | 2 x Pt100                 | -170 ... +700°C          | 500                 | verschiebbare<br>Klemmverschraubung<br>G1/2 |
| 902006/55-228-2003-1-15-710-254/000  | -                     |                           |                          | 710                 |   |
| 902006/55-228-2003-1-15-1000-254/000   | -                     |                           |                          | 1000                |   |
| <b>Thermoelemente</b><br>nach Typenblatt 90.1006                               |                       | <b>Fühlerart</b>          | <b>Temperaturbereich</b> | <b>Nennlänge mm</b> | <b>Prozessanschluss</b>                     |
| 901006/65-547-2043-15-500-668/000  | 90.019-F01            | 2 x NiCr-Ni, Typ „K“      | -35 ... +800°C           | 500                 | Anschlagflansch<br>verschiebbar             |
| 901006/65-547-2043-15-710-668/000  | 90.020-F01            |                           |                          | 710                 |   |
| 901006/65-547-2043-15-1000-668/000   | 90.021-F01            |                           |                          | 1000                |   |
| 901006/65-546-2042-15-500-668/000  | 90.019-F11            | 2 x Fe-CuNi, Typ „L“      | -35 ... +700°C           | 500                 |   |
| 901006/65-546-2042-15-710-668/000  | 90.020-F11            |                           |                          | 710                 |   |
| 901006/65-546-2042-15-1000-668/000   | 90.021-F11            |                           |                          | 1000                |   |
| 901006/66-550-2043-6-500-668/000   | 90.023-F01            | 2 x NiCr-Ni, Typ „K“      | -35 ... +1000°C          | 500                 |   |
| 901006/66-550-2043-6-355-668/000   | 90.023-F02            |                           |                          | 355                 |   |
| 901006/66-550-2043-6-250-668/000   | 90.023-F03            |                           |                          | 250                 |   |
| 901006/66-880-1044-6-250-668/000   | 90.021                | 1 x PT10Rh-PT, Typ „S“    | 0 ... 1300°C             | 250                 |   |
| 901006/66-880-1044-6-355-668/000   | 90.022                |                           |                          | 355                 |   |
| 901006/66-880-1044-6-500-668/000   | 90.023                |                           |                          | 500                 |   |
| 901006/66-880-2044-6-250-668/000   | 90-D-021              | 2 x PT10Rh-PT, Typ „S“    | 0 ... 1300°C             | 250                 | Anschlagflansch<br>verschiebbar             |
| 901006/66-880-2044-6-355-668/000   | 90-D-022              |                           |                          | 355                 |   |
| 901006/66-880-2044-6-500-668/000   | 90-D-023              |                           |                          | 500                 |   |
| 901006/66-953-1046-6-250-668/000   | 90.027                | 1 x PT30Rh-PT6Rh, Typ „B“ | 600 ... 1500°C           | 250                 |   |
| 901006/66-953-1046-6-355-668/000   | 90.028                |                           |                          | 355                 |   |
| 901006/66-953-1046-6-500-668/000   | 90.029                |                           |                          | 500                 |   |
| 901006/66-953-2046-6-250-668/000   | 90-D-027              | 2 x PT30Rh-PT6Rh, Typ „B“ | 600 ... 1500°C           | 250                 |   |
| 901006/66-953-2046-6-355-668/000   | 90-D-028              |                           |                          | 355                 |   |
| 901006/66-953-2046-6-500-668/000   | 90-D-029              |                           |                          | 500                 |   |

**DIN zugelassene Fühler für Betriebsmedium Wasser und Öl  
(Verwendung nur ohne Tauchhülse zulässig)**

| Widerstandsthermometer<br>nach Typenblatt 90.2006<br>aktuelle Typenbezeichnung | alte Typenbezeichnung | Fühlerart                                      | Temperaturbereich        | Einbaulänge mm      | Prozessanschluss                           |
|--|-----------------------|--|--------------------------|---------------------|--|
| 90.2006/10-402-1003-1-9-100-104/000  |                       | 1 x Pt100                                      | -40 ... +400°C           | 100                 | Verschraubung G1/2                         |
| 90.2006/10-402-2003-1-9-100-104/000  |                       | 2 x Pt100                                      |                          | 100                 |  |
| 902006/53-507-2003-1-12-100-815/000  | 90.239-F02            | 2 x Pt100                                      | -40 ... +480 °C          | 100                 |  |
| 902006/53-507-2003-1-12-160-815/000  | 90.239-F12            | (im Schutzrohr<br>untereinander<br>angeordnet) | -40 ... +480 °C          | 160                 |  |
| 902006/53-505-2003-1-12-190-815/000  | 90D239-F03            |  | -40 ... +400 °C          | 190                 |  |
| 902006/53-507-2003-1-12-220-815/000  | 90.239-F22            |  | -40 ... +480 °C          | 220                 |  |
| 902006/54-227-2003-1-15-710-254/000  | 90.272-F02            | 2 x Pt100                                      | -170 ... 550°C           | 65...670            | verschiebbare Klemm-<br>verschraubung G1/2 |
| 902006/54-227-1003-1-15-710-254/000  | 90.272-F03            | 1 x Pt100                                      |                          | 65...670            |  |
| 902006/10-226-1003-1-9-250-104/000   | 90.239                | 1 x Pt100                                      | -170 ... 480°C           | 250                 | Verschraubung G1/2                         |
| 902006/10-226-2003-1-9-250-104/000   | 90-D-239              | 2 x Pt100                                      |                          | 250                 |  |
| 902006/53-507-1003-1-12-100-815/000  | 90.239-F01            | 1 x Pt100                                      | -40 ... +480 °C          | 100                 | Einschweißhülse                            |
| 902006/53-507-1003-1-12-160-815/000  | 90.239-F11            |  |                          | 160                 |  |
| 902006/53-507-1003-1-12-220-815/000  | 90.239-F21            |  |                          | 220                 |  |
| 902006/53-505-1003-1-12-190-815/000  | 90.239-F03            |  | -40 ... +400 °C          | 190                 |  |
| 902006/53-505-3003-1-12-100-815/000  | 90.239-F07            | 3 x Pt100                                      | -40 ... +400 °C          | 100                 |  |
| 902006/53-505-3003-1-12-160-815/000  | 90.239-F17            |  |                          | 160                 |  |
| 902006/53-505-3003-1-12-220-815/000  | 90.239-F27            |  |                          | 220                 |  |
| 902006/40-226-1003-1-12-220-815/000  | 90.280-F30            | 1 x Pt100                                      | -170 ... +480°C          | 220                 |  |
| 902006/40-226-1003-1-12-160-815/000  | 90.280-F31            |  |                          | 160                 | Einschweißhülse                            |
| 902006/40-226-1003-1-12-100-815/000  | 90.280-F32            |  |                          | 100                 |  |
| <b>Thermoelemente</b><br>nach Typenblatt 90.1006                               |                       | <b>Fühlerart</b>                               | <b>Temperaturbereich</b> | <b>Nennlänge mm</b> | <b>Prozessanschluss</b>                    |
| 901006/54-544-2043-15-710-254/000  | 90.020-F02            | 2 x NiCr-Ni, Typ „K“                           | -35 ... 550°C            | 65...670            | verschiebbare Klemm-<br>verschraubung G1/2 |
| 901006/54-544-1043-15-710-254/000  | 90.020-F03            | 1 x NiCr-Ni, Typ „K“                           |                          | 65...670            |  |
| 901006/54-544-2042-15-710-254/000  | 90.020-F12            | 2 x FeCuNi, Typ „L“                            |                          | 65...670            |  |
| 901006/54-544-1042-15-710-254/000  | 90.020-F13            | 1 x FeCuNi, Typ „L“                            |                          | 65...670            | Einschweißhülse                            |
| 901006/53-543-1042-12-220-815/000  | 90.111-F01            | 1 x Fe-CuNi Typ „L“                            | -35 ... 480°C            | 220                 |  |
| 901006/53-543-2042-12-220-815/000  | 90.111-F02            | 2 x Fe-CuNi Typ „L“                            |                          | 220                 |  |

**Bestellangaben**

|          |                                      |  |
|----------|--------------------------------------|--|
| 701160   | <b>Grundtyp</b>                      | Temperaturbegrenzer (TB) /Temperaturwächter (TW) |
| 8        | <b>Ausführung</b>                    | werkseitig eingestellt                           |
| 9        |                                      | nach Kundenangaben konfiguriert                  |
| 0151     | <b>Schaltverhalten</b>               | Temperaturwächter invers                         |
| 0152     |                                      | Temperaturwächter direkt                         |
| 0153     |                                      | Temperaturbegrenzer invers                       |
| 0154     |                                      | Temperaturbegrenzer direkt                       |
| 001      | <b>Mess Eingang (programmierbar)</b> | Pt100 in 3-Leiterschaltung                       |
| 003      |                                      | Pt100 in 2-Leiterschaltung                       |
| 005      |                                      | Pt1000 in 2-Leiterschaltung                      |
| 006      |                                      | Pt1000 in 3-Leiterschaltung                      |
| 024      |                                      | 2xPt100 für Differenzmessung                     |
| 037      |                                      | W3Re-W25Re „D“                                   |
| 039      |                                      | Cu-CuNi „T“                                      |
| 040      |                                      | Fe-CuNi „J“                                      |
| 041      |                                      | Cu-CuNi „U“                                      |
| 042      |                                      | Fe-CuNi „L“                                      |
| 043      |                                      | NiCr-Ni „K“                                      |
| 044      |                                      | Pt10Rh-Pt „S“                                    |
| 045      |                                      | Pt13Rh-Pt „R“                                    |
| 046      |                                      | Pt30Rh-Pt6Rh „B“                                 |
| 048      |                                      | NiCrSi-NiSi „N“                                  |
| 052      |                                      | 0 ... 20 mA                                      |
| 053      |                                      | 4 ... 20 mA                                      |
| 063      |                                      | 0 ... 10 V                                       |
| 071      |                                      | 2 ... 10 V                                       |
| 601      |                                      | KTY11-6  |
| 23       | <b>Spannungsversorgung</b>           | AC 110 ... 240V +10% /-15%, 48 ... 63 Hz         |
| 25       |                                      | AC/DC 20 ... 30V, 48 ... 63 Hz                   |
| 701160 / | 8 -                                  | 0153 -   |
|          | 001 -                                | 23   |

**Serienmäßiges Zubehör**

- 1 Betriebsanleitung B70.1160.0

**Zubehör**

Externer Entriegelungstaster RT

**Verkaufs-  
Artikel-Nr.**

70/97097865

**Zubehör - Typenblatt 70.9770**

Setup-Programm, mehrsprachig  
 PC-Interface mit TTL/RS232C-Umsetzer und Adapter (Buchse)  
 PC-Interface mit USB/TTL-Umsetzer, Adapter (Buchse) und Adapter (Stifte)

**Verkaufs-  
Artikel-Nr.**

70/00514193  
 70/00350260  
 70/00456352

**DIN CERTCO**

Gesellschaft für Konformitätsbewertung mbH



# ZERTIFIKAT

Der Firma

**JUMO GmbH & Co. KG**  
Moritz-Juchheim-Str. 1  
36039 Fulda

wird für das Produkt

**Temperaturregel- und Begrenzungseinrichtungen  
für Wärmeerzeugungsanlagen**

vom Typ

**JUMO TB/TW 70.1160**

die Konformität mit

**DIN EN 14597:2005-12**  
**Zertifizierungsprogramm Temperaturregel- und -begrenzungseinrichtungen für  
wärmeerzeugende Anlagen (Stand: 2006-01)**

bestätigt und das Nutzungsrecht für das Zeichen



in Verbindung mit der unten genannten Registernummer erteilt.

**Registernummer: TW/TB120608**

**Dieses Zertifikat ist gültig bis 2013-08-31.**

Weitere Angaben siehe Anhang  
DIN CERTCO Gesellschaft für  
Konformitätsbewertung mbH  
Alboinstraße 56, 12103 Berlin



2008-09-19

Dipl.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. Sören Scholz  
- Leiter der Zertifizierungsstelle -

*S. Scholz*

**JUMO GmbH & Co. KG**

Hausadresse: Moltkestraße 13 - 31, 36039 Fulda, Germany  
 Lieferadresse: Mackenrodtstraße 14, 36039 Fulda, Germany  
 Postadresse: 36035 Fulda, Germany

Telefon: +49 661 6003-727  
 Telefax: +49 661 6003-508  
 E-Mail: mail@jumo.net  
 Internet: www.jumo.net



Typenblatt 70.9020

Seite 1/5

## Thyristor-Leistungsschalter

mit integriertem Kühlkörper  
 zur Montage auf DIN-Schiene oder Schraubmontage

### Kurzbeschreibung

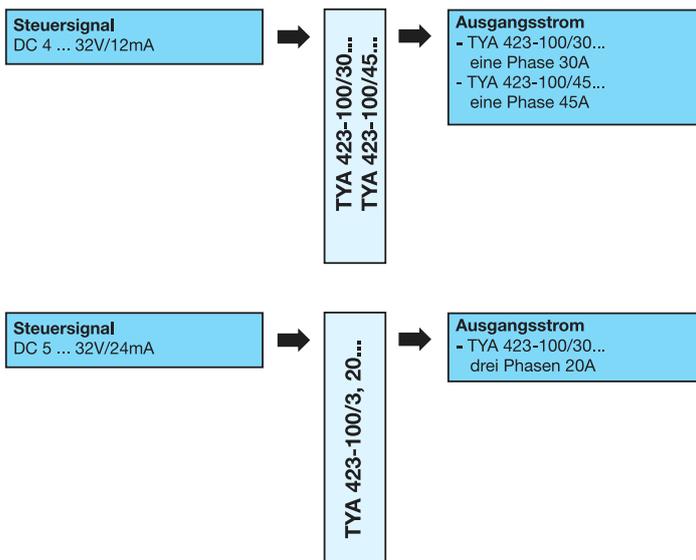
Thyristor-Leistungsschalter werden zum kontaktlosen Schalten von Wechselstrom-Verbrauchern benötigt. Typische Anwendung ist das Schalten von ohmsch-induktiven Verbrauchern mit hoher Schaltfrequenz, besonders im industriellen Bereich, wie z.B. in der Kunststoffverpackungs-Industrie, in der Klima- und Wärmetechnik und Industrieofenbau. Steuer- und Leistungsteil sind durch Optokoppler galvanisch getrennt. Der Steuersignalbereich ist kompatibel zu den Logikausgängen der JUMO-Regler. Das Leistungsteil arbeitet als Nullspannungsschalter, d.h. es wird – unabhängig vom Zeitpunkt der Steuersignal-Änderung – grundsätzlich im Nulldurchgang der Spannung geschaltet. Dadurch werden Netzstörungen verringert. Der Eingangszustand wird durch eine LED angezeigt.



TYA 432-100/  
30, 265 (660)

TYA 432-100/45, 660

### Blockschaltbild



TYA 432-100/3, 20, 660

### Besonderheiten

- Lastströme 3x20A, 30A und 45A (max.)
- Lastspannungen 265V und 660V (max.)
- Steuerspannung 4...32V DC
- UL-Zulassung

Zulassungen/Prüfzeichen (siehe Technische Daten)



2009-01-01/00073741

## Technische Daten

### Lastkreis

| Typ   | TYA 432-100/30, 265                       | TYA 432-100/30, 660                       | TYA 432-100/45, 660    | TYA 432-100/3, 20, 660                    |
|---|---|---|------------------------|---|
| Lastspannung  | 24...265V <sub>eff</sub>                  | 42...660V <sub>eff</sub>                  |                        |   |
| Laststrom (maximal)                                     | 30A <sub>eff</sub> (T <sub>U</sub> =25°C) | 45A <sub>eff</sub> (T <sub>U</sub> =25°C) |                        | 20A <sub>eff</sub> (T <sub>U</sub> =25°C) |
| Laststrom (minimal)                                     | 150mA <sub>eff</sub>                      |   |                        |   |
| Sicherungsgrenzlastintegral I <sup>2</sup> · t (t=10ms) | 1800A <sup>2</sup> · s                    |   | 6600A <sup>2</sup> · s | 1800A <sup>2</sup> · s                    |
| Frequenz  | 45...65Hz                                 |   |                        |   |
| Spitzensperrespannung                                   | 650V <sub>s</sub>                         | 1200V <sub>s</sub>                        |                        |   |
| Leckstrom   | <3mA <sub>eff</sub>                       |   |                        |   |
| cos φ   | >0,5 bei 230V AC                          |   | >0,5 bei 600V AC       |   |

### Ansteuerung

| Typ                  | TYA 432-100/30, 265 | TYA 432-100/30, 660 | TYA 432-100/45, 660 | TYA 432-100/3, 20, 660 |
|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| Steuersignal-Bereich | 4...32V DC          |                     |                     | 5...32V DC             |
| Einschaltspannung    | 3,8V DC             |                     |                     | 4,7V DC                |
| Ausschaltspannung    | 1,2V DC             |                     |                     |                        |
| Eingangsstrom        | 12mA bei 32V DC     |                     |                     | 24mA bei 32V DC        |
| Ansprechverzögerung  | 1 · Periodendauer   |                     |                     | <1 · Periodendauer     |

### Allgemeine Kenndaten

| Typ                           | TYA 432-100/30, 265  | TYA 432-100/30, 660 | TYA 432-100/45, 660   | TYA 432-100/3, 20, 660 |
|-------------------------------|--|---------------------|-----------------------|------------------------|
| Betriebsart                   | Nullpunktsteuerung   |                     |                       |                        |
| Galvanische Trennung          | zwischen Steuer- und Lastteil durch Optokoppler; Isolationsspannung 4kV <sub>eff</sub>   |                     |                       |                        |
| Zulässige Umgebungstemperatur | -30...+70°C  |                     |                       |                        |
| Elektrischer Anschluss        | über Schraubklemmen; Last / Ansteuerung (Querschnitt max.)<br>□ 2x2,5mm <sup>2</sup> / 2x2,5mm <sup>2</sup> □ 25mm <sup>2</sup> / 4,0mm <sup>2</sup> □ 2x2,5mm <sup>2</sup> / 2x2,5mm <sup>2</sup> |                     |                       |                        |
| Gehäuse                       | PBT FR   |                     | Crustan SK641-FR, PBT | PBT                    |
| Schutzart                     | IP20   |                     |                       |                        |
| Gewicht                       | 200g   |                     | 360g                  | 380g                   |

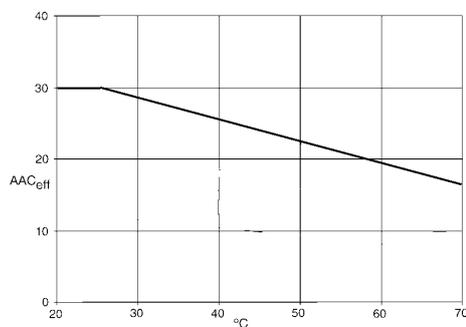
### Zulassungen/Prüfzeichen

| Prüfzeichen | Prüfstelle                | Zertifikate/Prüfnummern | Prüfgrundlage | gilt für                |
|-------------|---------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------|
| c UL us     | Underwriters Laboratories | -                       | UL 60730-2-9  | alle Geräteausführungen |

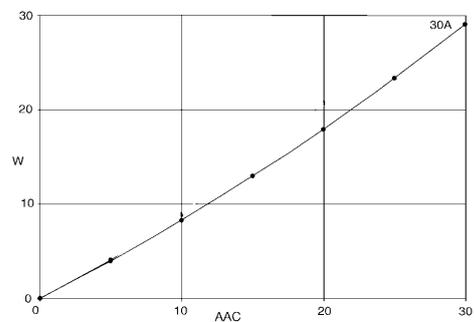
## Reduktionskurven

### TYP 432-100/30, 265 (660)

Zulässiger Laststrom in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur

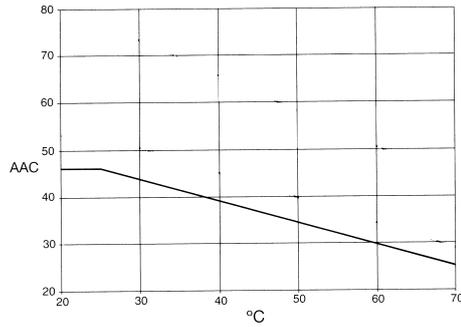


Verlustleistung in Abhängigkeit vom Laststrom

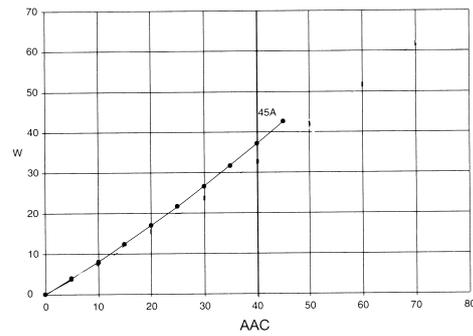


**TYP 432-100/45, 660**

Zulässiger Laststrom in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur



Verlustleistung in Abhängigkeit vom Laststrom

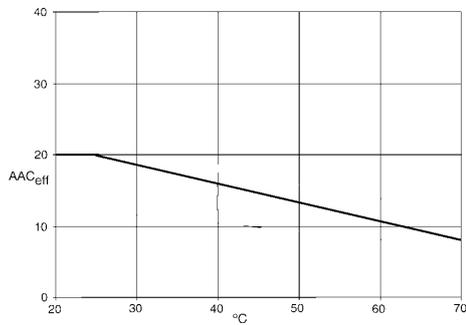


**Hinweis!**

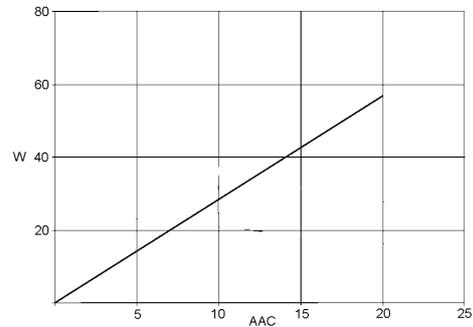
Die Lamellen der Kühlkörper müssen senkrecht ausgerichtet werden, damit die Wärme durch die natürliche Konvektion abgeführt werden kann. Keine wärmeempfindlichen Bauteile und Geräte in die Nähe des Leistungsschalters einbauen.

**TYP 432-100/3, 20, 660**

Zulässiger Laststrom in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur

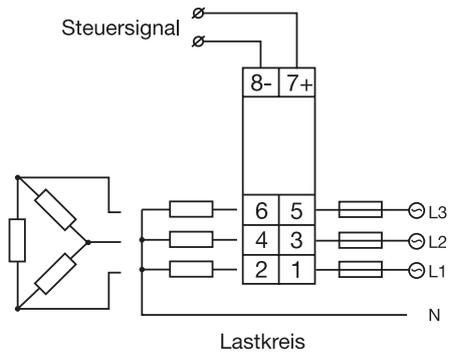


Verlustleistung in Abhängigkeit vom Laststrom



**Anschlussplan**

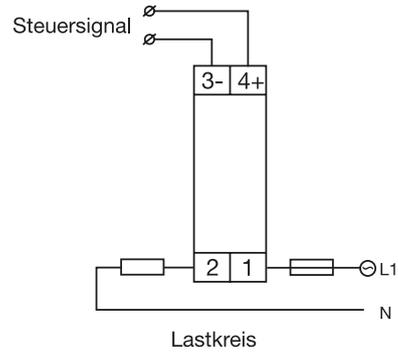
TYA 432-100/3, 20, 660



**Anschlussplan**

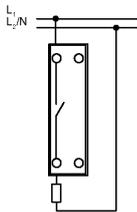
TYA 432-100/30, 265 (660)

TYA 432-100/45, 660

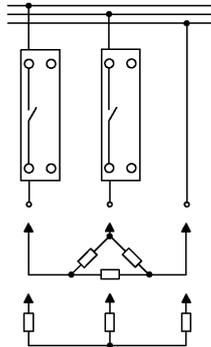


**Schaltungsvarianten**

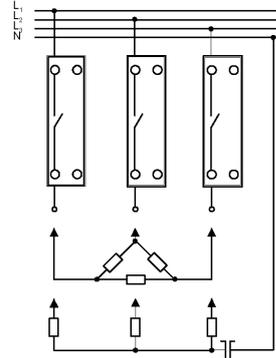
1-poliges Halbleiterrelais in einer 1-Phasen Anwendung  
Phase-Nullleiter, Phase-Phase



Zwei 1-polige Halbleiterrelais in einer 3-Phasen Anwendung  
Dreieck und Stern (Sparschaltung)



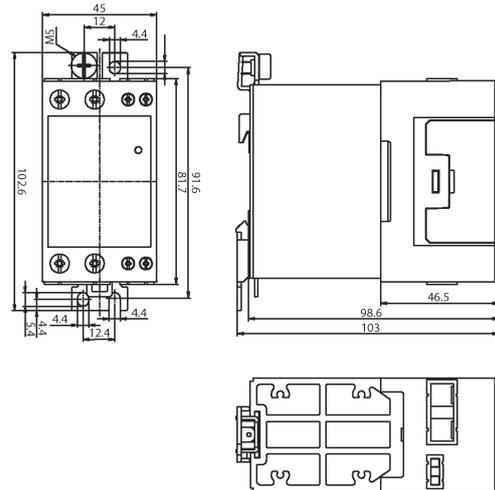
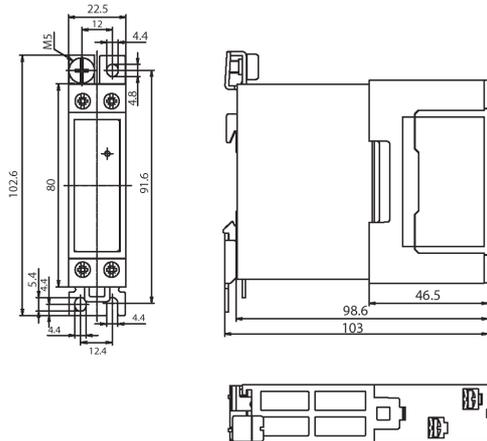
Drei 1-polige Halbleiterrelais in einer 3-Phasen Anwendung  
Dreieck, Stern, Stern mit Nullleiter



## Abmessungen

Typ: TYA 432-100/30, 265 (660)

Typen: TYA 432-100/3 20, 660 und TYA 432-100/45, 660



### Mindestabstände für Dicht-an-dicht-Montage:

Horizontal: 22,5mm

Vertikal: 120mm

## Bestellangaben

| Typ                    | Lastspannung             | Laststrom          | Verkaufs-Artikel-Nr. |
|------------------------|--------------------------|--------------------|----------------------|
| TYA 432-100/30, 265    | 24...265V <sub>eff</sub> | 30A <sub>eff</sub> | 70/00408538          |
| TYA 432-100/30, 660    | 42...660V <sub>eff</sub> | 30A <sub>eff</sub> | 70/00418274          |
| TYA 432-100/45, 660    | 42...660V <sub>eff</sub> | 45A <sub>eff</sub> | 70/00408540          |
| TYA 432-100/3, 20, 660 | 42...660V <sub>eff</sub> | 20A <sub>eff</sub> | 70/00427435          |

Um einen störungsfreien Betrieb sicherzustellen und eine höhere Verfügbarkeit bei Anwendungen mit Thyristor-Leistungsschalter zu garantieren, empfiehlt es sich, Sicherungen mit einem sehr guten Ausschaltvermögen einzusetzen (z. B. Fa. Ferraz).

**JUMO GmbH & Co. KG**

Hausadresse: Moritz-Juchheim-Straße 1, 36039 Fulda, Germany  
 Lieferadresse: Mackenrodtstraße 14, 36039 Fulda, Germany  
 Postadresse: 36035 Fulda, Germany

Telefon: +49 661 6003-727  
 Telefax: +49 661 6003-508  
 E-Mail: mail@jumo.net  
 Internet: www.jumo.net



## JUMO dTRON 304/308/316 Kompaktregler mit Programmfunktion

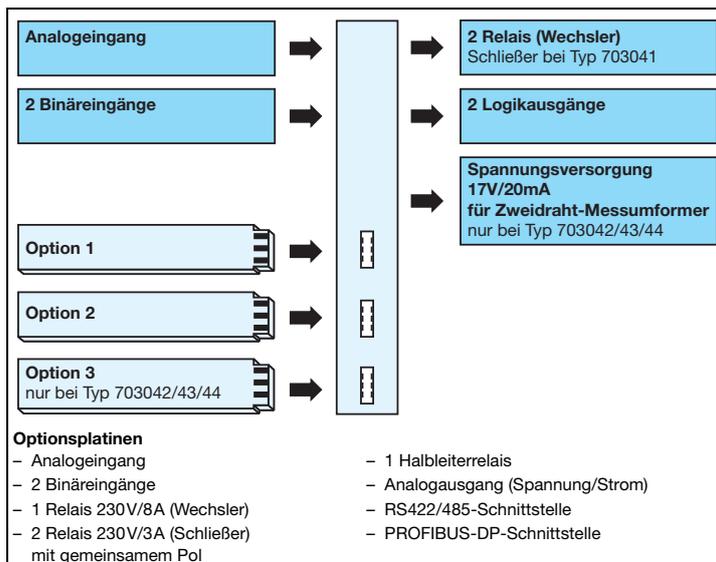
### Kurzbeschreibung

Die Reglerserie JUMO dTRON 300 besteht aus vier frei programmierbaren Geräten in unterschiedlichen DIN-Formaten zur Regelung von Temperaturen, Drücken und anderen Prozessgrößen. Als Temperaturregler TR nach DIN EN 14597 werden die Geräte in wärmeerzeugenden Anlagen für die Regelung und Steuerung der Temperatur von flüssigen und gasförmigen Medien verwendet (Wirkungsweise 1B).

Das kontrastreiche, mehrfarbige LCD-Display für Istwert, Sollwert und Bedienerführung besteht aus zwei vierstelligen 7-Segment-Anzeigen, zwei einstelligen 16-Segment-Anzeigen, Anzeige der aktiven Sollwerte, sechs Schaltstellungsanzeigen und Anzeigen für Einheit, Rampenfunktion und Handbetrieb. Vier Tasten ermöglichen eine einfache Bedienung. Die Geräte können als Zweipunkt-, Dreipunkt-, Dreipunkt-Schrittregler oder stetige Regler eingesetzt werden. Die Software der Regler enthält u. a. eine Programm- oder Rampenfunktion, eine Parametersatzumschaltung, zwei Selbstoptimierungsverfahren, ein Mathematik- und Logikmodul sowie vier Limitkomparatoren. Die Linearisierungen der üblichen Messwertgeber sind gespeichert; eine kundenspezifische Linearisierungs-Tabelle ist programmierbar.

Für die komfortable Konfiguration über einen PC ist ein Setup-Programm lieferbar. Über eine Schnittstelle RS422/485 oder PROFIBUS-DP können die Geräte in einen Datenverbund integriert werden. Der elektrische Anschluss erfolgt rückseitig über Schraubklemmen. Die möglichen Ein- und Ausgangskonfigurationen sind in der folgenden Blockstruktur dargestellt. Die Optionsplatinen sind über die gesamte Geräteserie universell einsetzbar.

### Blockstruktur



**JUMO dTRON 316**  
Typ 703041/ ...



**JUMO dTRON 308H**  
Typ 703042/ ...



**JUMO dTRON 308Q**  
Typ 703043/ ...



**JUMO dTRON 304**  
Typ 703044/ ...

### Besonderheiten

- Max. zwei programmierbare Analogeingänge
- Vier programmierbare Sollwerte, zwei Parametersätze
- Programmfunktion mit acht Abschnitten oder Rampenfunktion
- Mathematik- und Logikmodul
- Vier Limitkomparatoren
- Zwei Timerfunktionen
- Zwei Selbstoptimierungsverfahren
- Schnelle komfortable Konfiguration mit Setup-Programm und Programmmeditor
- RS422/485-Schnittstelle
- PROFIBUS-DP-Schnittstelle

### Zulassungen/Prüfzeichen (siehe Technische Daten)



### Selbstoptimierung

Zur Serienausstattung gehört die bewährte Selbstoptimierung, die dem Anwender ohne regelungstechnische Kenntnisse eine Anpassung des Reglers an die Regelstrecke ermöglicht. Dabei wird die Reaktion der Regelstrecke auf bestimmte Stellgrößenänderungen ausgewertet. Es kann zwischen einer Schwingungsmethode oder einer Sprungantwort gewählt werden. Die Sprungantwort-Methode kommt z. B. in der Kunststoffindustrie oder bei Prozessen, bei denen keine Schwingungen ausgeführt werden können, zum Einsatz. Die Reglerparameter Proportionalbereich, Nachstellzeit, Vorhaltzeit, Schaltperiodendauer und Filterzeitkonstante werden berechnet.

### Kundenspezifische Linearisierung

Neben den Linearisierungen für die üblichen Messwertgeber kann eine kundenspezifische Linearisierung erstellt werden. Die Programmierung wird über das Setup-Programm in Form einer Wertetabelle oder einer Formel durchgeführt.

### Anwenderdaten

Parameter, die vom Anwender öfter verändert werden, können in der Bediener Ebene unter „Anwenderdaten“ zusammengefasst werden (nur über Setup-Programm).

### Mathematik- und Logikmodul

Typenzusatz 214

Das Mathematikmodul ermöglicht die Einbindung von z. B. Sollwerten, Stellgraden und den Messwerten der Analogeingänge in eine mathematische Formel.

Mit Hilfe des Logikmoduls können z. B. Binäreingänge und Limitkomparatoren logisch miteinander verknüpft werden.

Es können bis zu zwei Mathematik- oder Logik-Formeln über das Setup-Programm eingegeben und die Ergebnisse der Berechnungen über die Ausgänge ausgegeben oder für interne Zwecke genutzt werden.

### Spezielle Reglerarten

Typenzusatz 217, 218, 219

Das Gerät kann als Differenz-, Feuchte- oder Verhältnisregler betrieben.

### Binärfunktionen

- Start/Abbruch der Selbstoptimierung
- Umschaltung in den Handbetrieb
- Rampe anhalten/abbrechen
- Regler aus
- Sollwertumschaltung
- Parametersatzumschaltung
- Tastatur-/Ebenenverriegelung
- Textanzeige
- Display-Abschaltung
- Quittierung der Limitkomparatoren
- Programmstart/-halt/-abbruch
- Timer Start/Stopp

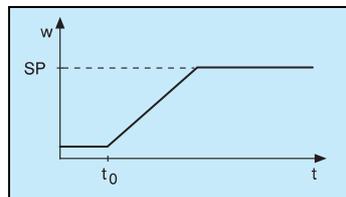
Die Binärfunktionen sind miteinander kombinierbar (nur über Setup-Programm).

### Funktionen der Ausgänge

- Analogeingangsgrößen
- Mathematik
- Istwert
- Sollwert
- Rampenendwert
- Regelabweichung
- Stellgrad
- Reglerausgänge
- Limitkomparatoren
- Steuerkontakte
- Binäreingänge
- Logik-Formel
- Programmende
- Timersignale
- Programm/Automatik-Signal

### Rampenfunktion

Möglich ist eine steigende oder fallende Rampenfunktion (Anstieg oder Abfall des Sollwertes). Der zum Zeitpunkt  $t_0$  veränderte Sollwert SP ist der Endwert der Rampe. Die Rampe startet mit dem Sollwert zum Zeitpunkt  $t_0$ . Die Steigung der Rampe ist programmierbar; das Vorzeichen der Steigung ergibt sich aus der Beziehung zwischen dem Sollwert zum Zeitpunkt  $t_0$  und SP. Beim Einschalten der Netzspannung startet die Rampenfunktion mit dem aktuellen Istwert.



### Timer

Es sind zwei Timer zur zeitabhängigen Steuerung vorhanden. Die Zustände der Timer können auf Binärausgänge geschaltet oder intern weiterverarbeitet werden, um zeitabhängige Prozesse zu aktivieren oder zu deaktivieren.

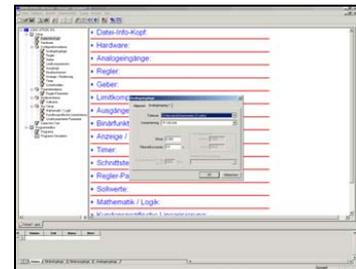
### Setup-Programm (Zubehör)

Das Setup-Programm zum Konfigurieren des Gerätes ist in deutscher, englischer, französischer und weiteren Sprachen erhältlich. Mit einem PC können Datensätze erstellt, editiert, zum Regler übertragen oder aus dem Gerät ausgelesen werden. Die Datensätze werden gespeichert und verwaltet.

Das Setup-Programm kann durch weitere Programmmodule ergänzt werden.

**Programmeditor** zur komfortablen Erstellung von Programmen.

**Start-Up** zur Kontrolle des Regelverhaltens.

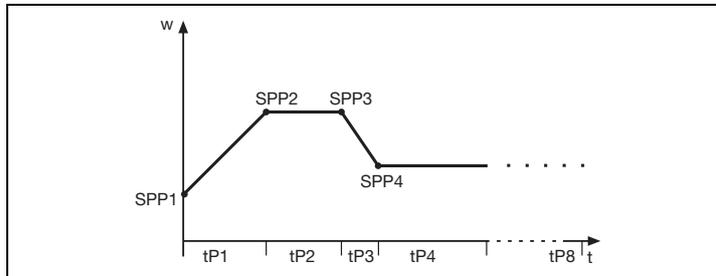


### Anzeige- und Bedienelemente



|     |   |
|-----|---|
| (1) | <b>7-Segment-Anzeige</b> (werkseitig: Istwert)<br>vierstellig, rot; Kommastelle: konfigurierbar (automatische Anpassung bei Überschreiten der Anzeigekapazität)               |
| (2) | <b>aktiver Sollwert</b> (werkseitig: SP1)<br>SP1, SP2, SP3, SP4 (SP=setpoint); grün;  |
| (3) | <b>7-Segment-Anzeige</b> (werkseitig: Sollwert)<br>vierstellig, grün; Kommastelle: konfigurierbar; dient auch zur Bedienerführung (Anzeige von Parameter- und Ebenensymbolen) |
| (4) | <b>Tasten</b>   |
| (5) | <b>Signalisierung</b><br>gelb; für<br>- Schaltstellungen Binärausgänge 1...6 (Anzeige leuchtet = ein)<br>- Rampen-/Programmfunktion aktiv<br>- Handbetrieb aktiv              |
| (6) | <b>16-Segment-Anzeige für die Einheit °C/°F und Text</b><br>zweistellig, grün; Zeichen für h, min und %<br>Weitere Anzeigemöglichkeiten über das Setup-Programm.              |

**Programmfunktion**



Es kann eine Sollwertkurve mit max. acht Programmabschnitten realisiert werden. Die Einstellungen der Abschnittssollwerte (SPP1 ... SPP8) und Abschnittszeiten (tP1 ... tP8) werden in der Bediener Ebene vorgenommen. Als Zeitbasis sind mm:ss und hh:mm konfigurierbar (s = Sekunden, h = Stunden).

Es kann ein Programmendesignal ausgegeben und das Programm angehalten oder abgebrochen werden.

Über das Setup-Programm sind weitere Funktionen einstellbar (Start am Istwert, zyklische Programmabarbeitung, abschnittsweise Zuordnung von Parametersätzen und vier Steuerkontakten). Weiterhin kann die Programmkurve visualisiert werden.

**Anfahrrampe für Heißkanalregler**

Die Anfahrrampe für Heißkanaltechnik dient z. B. dem schonenden Betrieb keramischer Heizpatronen. Während der Anfahrphase kann die Feuchtigkeit aus den hygrokopischen Heizpatronen langsam entweichen und dadurch eine Beschädigung vermieden werden.

**Schnittstellen**

**Schnittstelle RS422/RS485**

Die serielle Schnittstelle dient zur Kommunikation mit übergeordneten Systemen. Als Übertragungsprotokolle kommt Modbus zum Einsatz.

**PROFIBUS-DP**

Über die PROFIBUS-DP-Schnittstelle kann der Regler in ein Feldbussystem nach dem PROFIBUS-DP-Standard eingebunden werden. Diese PROFIBUS-Variante ist speziell für die Kommunikation zwischen Automatisierungssystemen und dezentralen Peripheriegeräten in der Feldebene ausgelegt und auf Geschwindigkeit optimiert.

Die Datenübertragung erfolgt seriell nach dem RS485-Standard.

Mit Hilfe des mitgelieferten Projektierungstools (GSD-Generator; GSD = Gerätestammdaten) wird durch die Auswahl von charakteristischen Gerätemerkmalen des Reglers eine standardisierte GSD-Datei erzeugt, mit der der Regler in das Feldbussystem integriert wird.

**Parameterebene**

In der Tabelle sind alle Parameter und deren Bedeutung aufgeführt. Je nach Reglerart entfallen bestimmte Parameter bzw. sind bedeutungslos. Für spezielle Anwendungen können zwei Parametersätze abgespeichert werden.

| Parameter           | Wertebereich      | werkseitig | Bedeutung  |
|---------------------|-------------------|------------|--|
| Proportionalbereich | 0 ... 9999 Digit  | 0 Digit    | Größe des proportionalen Bereiches<br>Bei 0 ist die Reglerstruktur nicht wirksam!  |
| Vorhaltzeit         | 0 ... 9999 s      | 80 s       | Beeinflusst den differentiellen Anteil des Reglerausgangssignales  |
| Nachstellzeit       | 0 ... 9999 s      | 350 s      | Beeinflusst den integralen Anteil des Reglerausgangssignales   |
| Schaltperiodendauer | 0 ... 999,9 s     | 20,0 s     | Bei schaltendem Ausgang sollte die Schaltperiodendauer so gewählt werden, dass einerseits die Energiezufuhr zum Prozess nahezu kontinuierlich erfolgt, andererseits die Schaltglieder nicht überbeansprucht werden |
| Kontaktabstand      | 0 ... 999,9 Digit | 0,0 Digit  | Abstand zwischen den beiden Regelkontakten bei Dreipunktreglern und Dreipunktschrittreglern  |
| Schaltdifferenz     | 0 ... 999,9 Digit | 1,0 Digit  | Hysterese bei schaltenden Reglern mit Proportionalbereich = 0  |
| Stellgliedlaufzeit  | 5 ... 3000 s      | 60 s       | Genutzter Laufzeitbereich des Regelventils bei Dreipunkt-Schrittreglern  |
| Arbeitspunkt        | -100 ... +100 %   | 0 %        | Stellgrad bei P- und PD-Reglern (bei x = w ist y = Y0)   |
| Stellgradbegrenzung | 0 ... 100 %       | 100 %      | Maximaler Stellgrad  |
|                     | -100 ... +100 %   | -100 %     | Minimaler Stellgrad  |

**Technische Daten**

**Eingang Thermoelement**

| Bezeichnung      | Messbereich       | Messgenauigkeit                    | Umgebungstemperatur-einfluss |
|------------------|-------------------|------------------------------------|------------------------------|
| Fe-CuNi „L“      | -200 ... +900 °C  | ≤ 0,25%                            | 100 ppm/K                    |
| Fe-CuNi „J“      | -200 ... +1200 °C | ≤ 0,25%                            | 100 ppm/K                    |
| Cu-CuNi „U“      | -200 ... +600 °C  | ≤ 0,25%                            | 100 ppm/K                    |
| Cu-CuNi „T“      | -200 ... +400 °C  | ≤ 0,25%                            | 100 ppm/K                    |
| NiCr-Ni „K“      | -200 ... +1372 °C | ≤ 0,25%                            | 100 ppm/K                    |
| NiCr-CuNi „E“    | -200 ... +1000 °C | ≤ 0,25%                            | 100 ppm/K                    |
| NiCrSi-NiSi „N“  | -100 ... +1300 °C | ≤ 0,25%                            | 100 ppm/K                    |
| Pt10Rh-Pt „S“    | 0 ... 1768 °C     | ≤ 0,25%                            | 100 ppm/K                    |
| Pt13Rh-Pt „R“    | 0 ... 1768 °C     | ≤ 0,25%                            | 100 ppm/K                    |
| Pt30Rh-Pt6Rh „B“ | 0 ... 1820 °C     | ≤ 0,25% im Bereich 300 ... 1820 °C | 100 ppm/K                    |
| W5Re-W26Re „C“   | 0 ... 2320 °C     | ≤ 0,25%                            | 100 ppm/K                    |
| W3Re-W25Re „D“   | 0 ... 2495 °C     | ≤ 0,25%                            | 100 ppm/K                    |
| W3Re-W26Re       | 0 ... 2400 °C     | ≤ 0,25%                            | 100 ppm/K                    |
| Vergleichsstelle | Pt 100 intern     |                                    |                              |

**Eingang Widerstandsthermometer**

| Bezeichnung                                  | Anschlussart   | Messbereich      | Messgenauigkeit   |          | Umgebungstemperatur-einfluss |
|--|--|------------------|-------------------|----------|------------------------------|
|  |  |                  | 3-Leiter/4-Leiter | 2-Leiter |                              |
| Pt 100 DIN EN 60751 (werkseitig eingestellt) | 2-Leiter/3-Leiter/4-Leiter   | -200 ... +850 °C | ≤ 0,05%           | ≤ 0,4%   | 50 ppm/K                     |
| Pt 500 DIN EN 60751                          | 2-Leiter/3-Leiter/4-Leiter   | -200 ... +850 °C | ≤ 0,2%            | ≤ 0,4%   | 100 ppm/K                    |
| Pt 1000 DIN EN 60751                         | 2-Leiter/3-Leiter/4-Leiter   | -200 ... +850 °C | ≤ 0,1%            | ≤ 0,2%   | 50 ppm/K                     |
| KTY11-6                                      | 2-Leiter   | -50 ... +150 °C  |                   | ≤ 2,0%   | 50 ppm/K                     |
| Sensorleitungswiderstand                     | max. 30Ω je Leitung bei Drei- und Vierleiterschaltung  |                  |                   |          |                              |
| Messstrom                                    | ca. 250µA  |                  |                   |          |                              |
| Leitungsabgleich                             | Bei Drei- und Vierleiterschaltung nicht erforderlich. Bei Zweileiterschaltung kann ein Leitungsabgleich softwaremäßig durch eine Istwertkorrektur durchgeführt werden. |                  |                   |          |                              |

**Eingang Einheitssignale**

| Bezeichnung          | Messbereich   | Messgenauigkeit | Umgebungstemperatur-einfluss |
|----------------------|---|-----------------|------------------------------|
| Spannung             | 0(2) ... 10V  | ≤ 0,05%         | 100 ppm/K                    |
|                      | 0 ... 1V<br>Eingangswiderstand R <sub>E</sub> > 100kΩ | ≤ 0,05%         | 100 ppm/K                    |
| Strom                | 0(4) ... 20mA, Spannungsabfall ≤ 1,5V                 | ≤ 0,05%         | 100 ppm/K                    |
| Heizstrom            | 0 ... 50mA AC   | ≤ 1%            | 100 ppm/K                    |
| Widerstandsferngeber | min. 100Ω, max. 4kΩ                                   | ±4Ω             | 100 ppm/K                    |

**Binäreingänge**

|                         |  |
|-------------------------|--|
| potenzialfreie Kontakte |  |
|-------------------------|--|

**Messkreisüberwachung**

Im Fehlerfall nehmen die Ausgänge definierte Zustände ein (konfigurierbar).

| Messwertgeber                               | Messbereichsüber-/ -unterschreitung | Fühler-/Leitungskurzschluss | Fühler-/Leitungsbruch |
|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Thermoelement                               | •                                   | -                           | •                     |
| Widerstandsthermometer                      | •                                   | •                           | •                     |
| Spannung 2 ... 10V<br>0 ... 10V<br>0 ... 1V | •                                   | •                           | •                     |
|   | •                                   | -                           | -                     |
|   | •                                   | -                           | -                     |
| Strom 4...20mA<br>0...20mA                  | •                                   | •                           | •                     |
|   | •                                   | -                           | -                     |
| Widerstandsferngeber                        | -                                   | -                           | •                     |

• = wird erkannt  
- = wird nicht erkannt

**Ausgänge**

|  |   |
|--|---|
| Relais (Wechsler)<br>bei Typ 703042/43/44<br>Schaltleistung<br>Kontaktlebensdauer    | 5A bei 230V AC ohmsche Last <sup>a</sup><br>350.000 Schaltungen bei Nennlast/750.000 Schaltungen bei 1A |
| Relais (Wechsler (Option))<br>Schaltleistung<br>Kontaktlebensdauer                   | 8A bei 230V AC ohmsche Last <sup>a</sup><br>100.000 Schaltungen bei Nennlast/350.000 Schaltungen bei 3A |
| Relais (Schließer)<br>bei Typ 703041<br>Schaltleistung<br>Kontaktlebensdauer         | 3A bei 230V AC ohmsche Last<br>150.000 Schaltungen bei Nennlast/350.000 bei 1A                          |
| Relais (Schließer (Option))<br>Schaltleistung<br>Kontaktlebensdauer                  | 3A bei 230V AC ohmsche Last<br>350.000 Schaltungen bei Nennlast/900.000 Schaltungen bei 1A              |
| Logikausgang   | 0/12V/30mA max. (Summe der Ausgangsströme) oder<br>0/18V/25mA max. (Summe der Ausgangsströme)           |
| Halbleiterrelais (Option)<br>Schaltleistung<br>Schutzbeschaltung                     | Der Haltestrom des Triac beträgt mindestens 50mA<br>1A bei 230V<br>Varistor                             |
| Spannung (Option)<br>Ausgangssignale<br>Lastwiderstand<br>Genauigkeit                | 0 ... 10V/2 ... 10V<br>R <sub>Last</sub> ≥ 500Ω<br>≤ 0,5%   |
| Strom (Option)<br>Ausgangssignale<br>Lastwiderstand<br>Genauigkeit                   | 0 ... 20mA/4 ... 20mA<br>R <sub>Last</sub> ≤ 500Ω<br>≤ 0,5%   |
| Spannungsversorgung für<br>Zweidrahtmessumformer<br>bei Typ 703042/43/44<br>Spannung | galvanisch getrennt, unregelt<br>17V bei 20mA, Leerlaufspannung ca. 25V                                 |

a 3A bei Geräten mit Zulassung nach DIN EN 14597

**Regler**

|                  |  |
|------------------|--|
| Reglerart        | Zweipunktregler (werkseitig eingestellt)<br>Dreipunktregler, Dreipunktschrittregler, Stetiger Regler |
| Reglerstrukturen | P/PD/PI/PID  |
| A/D-Wandler      | Auflösung dynamisch bis 16 Bit   |
| Abtastzeit       | 50ms, 90ms, 150ms, 250ms (werkseitig eingestellt: 250ms)   |

**Elektrische Daten**

|  |  |
|--|--|
| Spannungsversorgung (Schaltnetzteil)                                   | AC 110 ... 240V -15/+10%, 48 ... 63Hz<br>AC/DC 20...30V, 48...63Hz   |
| Elektrische Sicherheit   | Typ 703041: nach DIN EN 61010, Teil 1<br>Typ 703042/43/44: nach DIN EN 60730<br>Überspannungskategorie III, Verschmutzungsgrad 2 |
| Leistungsaufnahme  | Typ 703041: max. 8VA; Typ 703042/43/44: max. 13VA  |
| Datensicherung   | EEPROM   |
| Elektrischer Anschluss   | Rückseitig über Schraubklemmen,<br>Leiterquerschnitt bis max. 2,5mm <sup>2</sup><br>mit Aderendhülse (Länge: 10mm)               |
| Elektromagnetische Verträglichkeit<br>Störaussendung<br>Störfestigkeit | DIN EN 61326-1<br>Klasse B<br>Industrie-Anforderung  |

**Gehäuse**

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| Gehäuseart                            | Kunststoffgehäuse für den Schalttafeleinbau nach DIN IEC 61554          |
| Einbautiefe                           | 90mm  |
| Umgebungs-/<br>Lagertemperaturbereich | 0 ... 55°C/-30 ... +70°C  |
| Klimafestigkeit                       | rel. Feuchte ≤ 90% im Jahresmittel ohne Betauung                        |
| Gebrauchslage                         | horizontal  |
| Schutzart                             | nach DIN EN 60529, frontseitig IP65, rückseitig IP20                    |
| Gewicht (voll bestückt)               | Typ 703041: ca. 220g<br>Typ 703042/43: ca. 380g<br>Typ 703044: ca. 490g |

**Schnittstelle**

**Modbus**

|                            |                        |
|----------------------------|------------------------|
| Schnittstellenart          | RS422/RS485            |
| Protokoll                  | Modbus, Modbus Integer |
| Baudrate                   | 9600, 19200, 38400     |
| Geräteadresse              | 0 ... 255              |
| Max. Anzahl der Teilnehmer | 32                     |

**PROFIBUS-DP**

|               |           |
|---------------|-----------|
| Geräteadresse | 0 ... 255 |
|---------------|-----------|

**DIN-zugelassene Fühler für Betriebsmedium Luft**

|  | Fühlerart                 | Temperaturbereich <sup>a</sup> | Nennlänge mm   | Prozessanschluss                |
|--|---------------------------|--------------------------------|----------------|---------------------------------|
| <b>Widerstandsthermometer</b><br>nach Typenblatt 90.2006 | 2 x Pt 100                | -170 ... +700°C                | 500, 700, 1000 | Anschlagflansch<br>verschiebbar |
|  | 2 x Pt 100                | -170 ... +700°C                | 500, 700, 1000 | Rohrverschraubung G1/2          |
| <b>Thermoelemente</b><br>nach Typenblatt 90.1006         | 2 x NiCr-Ni, Typ „K“      | -35 ... +800°C                 | 500, 700, 1000 | Anschlagflansch<br>verschiebbar |
|  | 2 x FeCuNi, Typ „L“       | -35 ... +700°C                 | 500, 700, 1000 |                                 |
|  | 2 x NiCr-Ni, Typ „K“      | -35 ... +1000°C                | 250, 355, 500  |                                 |
|  | 1 x Pt10Rh-Pt, Typ „S“    | 0 ... 1300°C                   | 250, 355, 500  |                                 |
|  | 2 x Pt10Rh-Pt, Typ „S“    | 0 ... 1300°C                   | 250, 355, 500  |                                 |
|  | 1 x Pt30Rh-Pt6Rh, Typ „B“ | 600 ... 1500°C                 | 250, 355, 500  |                                 |
| 2 x Pt30Rh-Pt6Rh, Typ „B“                                | 600 ... 1500°C            | 250, 355, 500                  |                |                                 |

a Dies ist der Fühler Temperaturbereich. Die Zulassung des Gerätes gilt nur für die auf Seite 4/10 angegebenen Temperaturbereichen.

**DIN-zugelassene Fühler für Betriebsmedium Wasser und Öl**

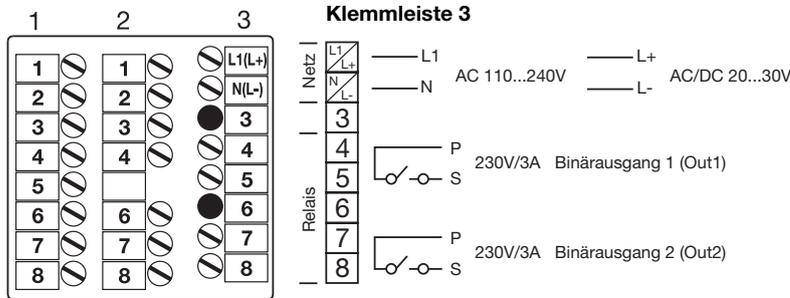
|  | Fühlerart            | Temperaturbereich <sup>a</sup> | Einbaulänge mm | Prozessanschluss                           |  |
|--|----------------------|--------------------------------|----------------|--|--|
| <b>Widerstandsthermometer</b><br>nach Typenblatt 90.2006 | 1 x Pt 100           | -40 ... +400°C                 | 100            | Verschraubung G1/2                         |  |
|  | 2 x Pt 100           |                                | 100            |  |  |
|  | 2 x Pt 100           | -170 ... +550°C                | 65 ... 670     | verschiebbare Klemm-<br>verschraubung G1/2 |  |
|  | 1 x Pt 100           |                                | 65 ... 670     |  |  |
|  | 1 x Pt 100           | -170 ... +480°C                | 250            | Verschraubung G1/2                         |  |
|  | 2 x Pt 100           |                                | 250            |  |  |
|  | 1 x Pt 100           | -40 ... +480°C                 | 100, 160, 220  | Einschweißhülse                            |  |
|  | 1 x Pt 100           | -40 ... +400°C                 | 190            |  |  |
|  | 2 x Pt 100           | -40 ... +400°C                 | 190            |  |  |
|  | 2 x Pt 100           | -40 ... +480°C                 | 100, 160, 220  |  |  |
| 3 x Pt 100   | -40 ... +400°C       | 100, 160, 220                  |                |  |  |
| 1 x Pt 100   | -170 ... +480°C      | 100, 160, 220                  |                |  |  |
| <b>Thermoelemente</b><br>nach Typenblatt 90.1006         | 2 x NiCr-Ni, Typ „K“ | -35 ... +550°C                 | 65 ... 670     |  | verschiebbare Klemm-<br>verschraubung G1/2 |
|  | 1 x NiCr-Ni, Typ „K“ |                                | 65 ... 670     |  |  |
|  | 2 x FeCuNi, Typ „L“  |                                | 65 ... 670     |  |  |
|  | 1 x FeCuNi, Typ „L“  |                                | 65 ... 670     |  |  |
|  | 1 x Fe-CuNi Typ „L“  | -35 ... +480°C                 | 220            | Einschweißhülse                            |  |
|  | 2 x Fe-CuNi Typ „L“  |                                | 220            |  |  |

a Dies ist der Fühler Temperaturbereich. Die Zulassung des Gerätes gilt nur für die auf Seite 4/10 angegebenen Temperaturbereichen.

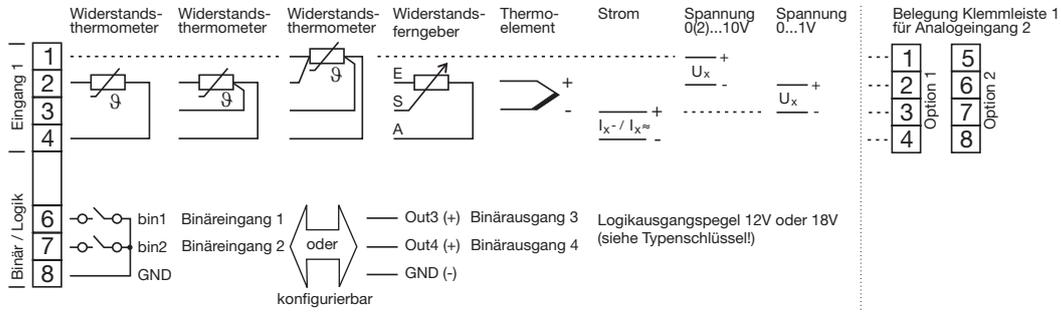
**Zulassungen/Prüfzeichen**

| Prüfzeichen                    | Prüfstelle                | Zertifikate/Prüfnummern                       | Prüfgrundlage                            | gilt für                   |
|--------------------------------|---------------------------|---|--|----------------------------|
| DIN                            | DIN CERTCO                | Registernummer TR118707                       | DIN EN 14597                             | alle Ausführungen          |
| GL - Hardware<br>GL - Software | Germanischer Lloyd        | Type Approval Certificate<br>No. 45 059-07 HH | GL-Baumusterprüfung<br>Kategorie C, EMC1 | 703044/191-320-23/214, 062 |
| c UL us                        | Underwriters Laboratories | E 201387                                      | UL 61010-1<br>CAN/CSA-C22.2 No. 61010-1  | alle Ausführungen          |

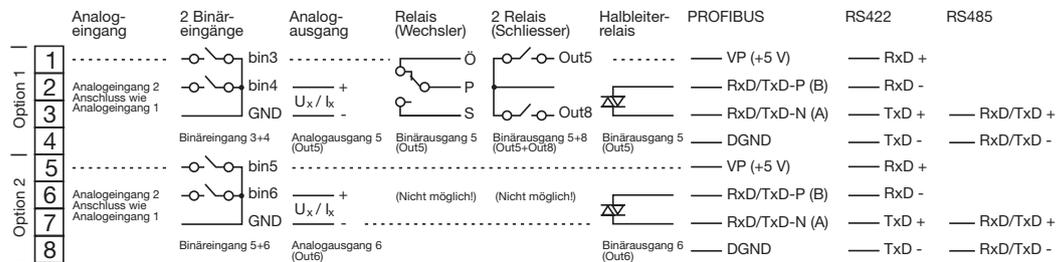
**Anschlussplan Typ 703041**



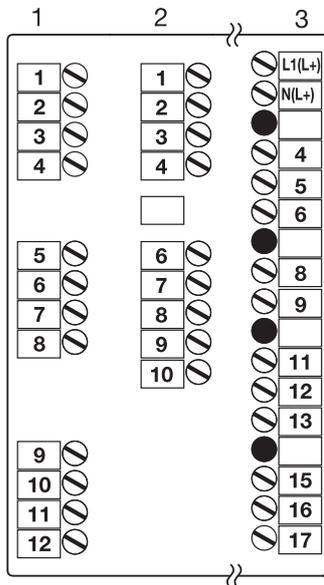
**Klemmleiste 2**



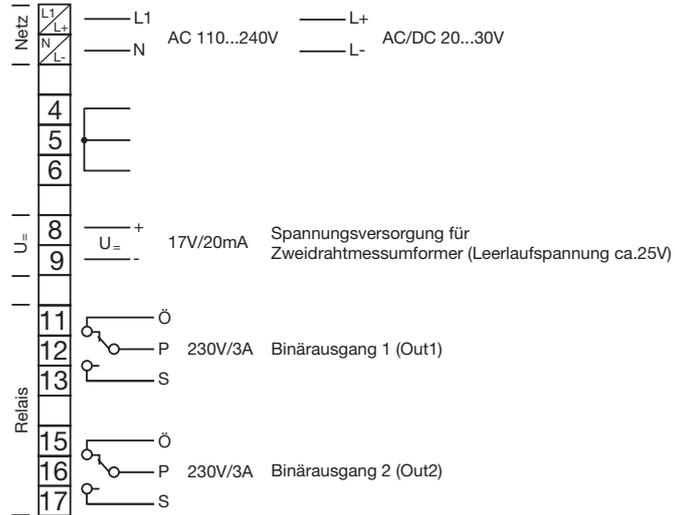
**Klemmleiste 1**



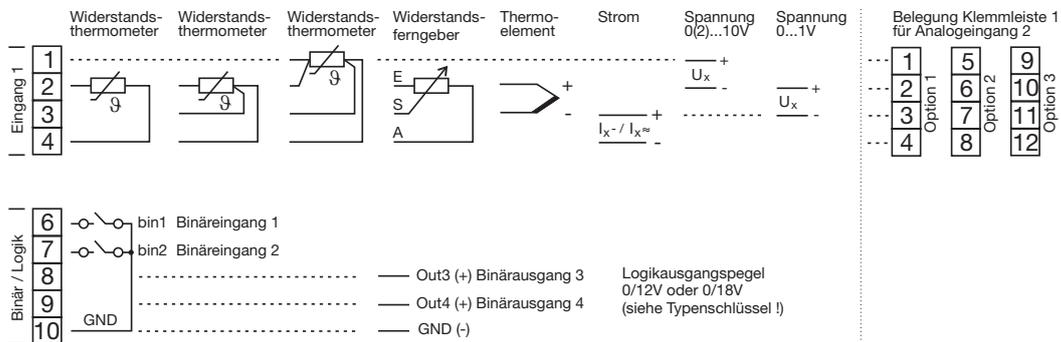
**Anschlussplan Typ 703042/43/44**



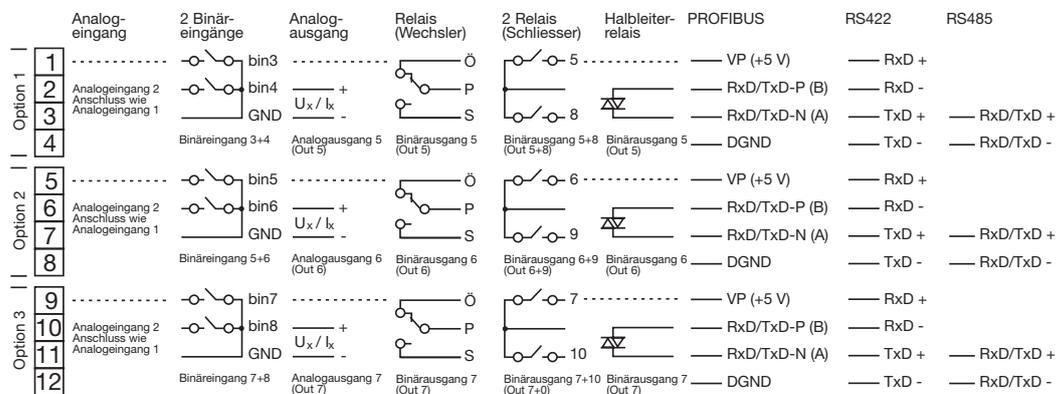
**Klemmleiste 3**



**Klemmleiste 2**

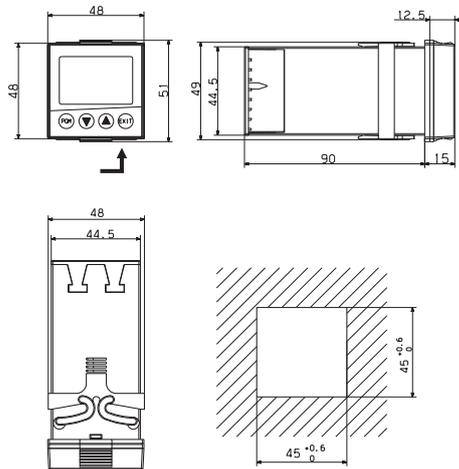


**Klemmleiste 1**

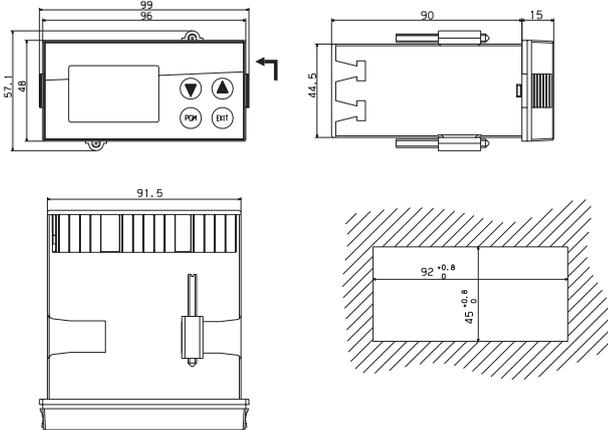


**Abmessungen**

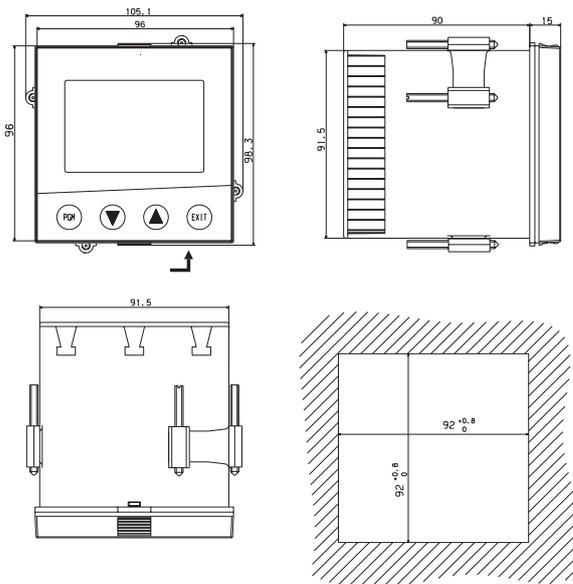
**Typ 703041**



**Typ 703042/43**



**Typ 703044**



| <b>Dicht-an-dicht-Montage</b>            |            |          |
|--|------------|----------|
| Mindestabstände der Schaltfelausschnitte |            |          |
| Typ                                      | horizontal | vertikal |
| ohne Setup-Stecker:                      |            |          |
| 703041                                   | 11 mm      | 30 mm    |
| 703042 (Hochformat)                      | 11 mm      | 30 mm    |
| 703043 (Querformat)                      | 30 mm      | 11 mm    |
| 703044                                   | 11 mm      | 30 mm    |
| mit Setup-Stecker (Pfeil):               |            |          |
| 703041                                   | 11 mm      | 65 mm    |
| 703042 (Hochformat)                      | 11 mm      | 65 mm    |
| 703043 (Querformat)                      | 65 mm      | 11 mm    |
| 703044                                   | 11 mm      | 65 mm    |

**Bestellangaben**

| Grundtyp |  |
|----------|--|
| 703041   | JUMO dTRON316 Format 48mm x 48mm<br>inkl. 1 Analogeingang, 2 Relaisausgänge und 2 Binäreingänge oder 2 Logikausgänge |
| 703042   | JUMO dTRON308 Format 48mm x 96mm (Hochformat)<br>inkl. 1 Analog-, 2 Binäreingänge, 2 Relais und 2 Logikausgänge      |
| 703043   | JUMO dTRON308 Format 96mm x 48mm (Querformat)<br>inkl. 1 Analog-, 2 Binäreingänge, 2 Relais und 2 Logikausgänge      |
| 703044   | JUMO dTRON304 Format 96mm x 96mm<br>inkl. 1 Analog-, 2 Binäreingänge, 2 Relais und 2 Logikausgänge                   |

| Grundtypergänzung                         |   |
|---|---|
| 1   | Grundtyp 1                              |
| Ausführung                                |   |
| 8   | Standard mit werkseitigen Einstellungen |
| 9   | Programmierung nach Kundenangaben       |
| Logikausgänge (2 standardmäßig vorhanden) |   |
| 1   | 0/12V                                   |
| 2   | 0/18V                                   |

| 1. | 2. | 3. | Optionssteckplatz           | Typ 703042/43/44<br>Anzahl (max.) | Typ 703041<br>(keine 3. Option)<br>Anzahl (max.) | 1. Option | 2. Option |
|----|----|----|-----------------------------|-----------------------------------|--|-----------|-----------|
| 0  | 0  | 0  | nicht belegt                |                                   |  | x         | x         |
| 1  | 1  | 1  | Analogeingang 2 (Universal) | 1                                 | 1  | x         | x         |
| 2  | 2  | 2  | Relais (Wechsler)           | 2                                 | 1  | x         | -         |
| 3  | 3  | 3  | 2 Relais (Schließer)        | 2                                 | 1  | x         | -         |
| 4  | 4  | 4  | Analogausgang               | 2                                 | 2  | x         | x         |
| 5  | 5  | 5  | 2 Binäreingänge             | 2                                 | 1  | x         | x         |
| 6  | 6  | 6  | Halbleiterrelais 1A         | 2                                 | 2  | x         | x         |
| 7  | 7  | 7  | Schnittstelle RS422/485     | 1                                 | 1  | x         | x         |
| 8  | 8  | 8  | PROFIBUS-DP-Schnittstelle   | 1                                 | 1  | x         | x         |

x = auf diesem Optionssteckplatz möglich, - = auf diesem Optionssteckplatz nicht zulässig

| Spannungsversorgung |                                       |
|---------------------|---------------------------------------|
| 2 3                 | AC 110 ... 240V -15/+10%, 48 ... 63Hz |
| 2 5                 | AC/DC 20 ... 30V, 48 ... 63Hz         |

| Typenzusätze |  |
|--------------|--|
| 0 0 0        | keine  |
| 2 1 4        | Mathematik- und Logikmodul                         |
| 2 1 7        | Verhältnisregler (Voraussetzung: 2 Analogeingänge) |
| 2 1 8        | Differenzregler (Voraussetzung: 2 Analogeingänge)  |
| 2 1 9        | Feuchteregler (Voraussetzung: 2 Analogeingänge)    |

| Zulassungen |  |
|-------------|--|
| 0 0 0       | Keine  |
| 0 5 6       | DIN EN 14597   |
|             | dTRON 304 mit GL-Zertifizierung <span style="float: right;">auf Anfrage</span> |

   / 1       -          -    /       ,   

703041 / 1 8 1 - 1 4 0 - 2 3 / 0 0 0 ,

- Lieferumfang: - Regler  
 - Dichtung  
 - Befestigungselemente  
 - Betriebsanleitung B70.3041.0 im DIN-A6-Format

Eine CD mit Demo-Setup-Software und PDF-Dokumenten (Betriebsanleitung und weiterer Dokumentation) kann separat bestellt werden.  
 Ein Download der einzelnen Dokumente und Programme ist über [www.jumo.net](http://www.jumo.net) möglich (Software kann kostenpflichtig freigeschaltet werden).

**JUMO GmbH & Co. KG**

Hausadresse: Moritz-Juchheim-Straße 1, 36039 Fulda, Germany  
 Lieferadresse: Mackenrodtstraße 14, 36039 Fulda, Germany  
 Postadresse: 36035 Fulda, Germany

Telefon: +49 661 6003-722/724  
 Telefax: +49 661 6003-601/688  
 E-Mail: mail@jumo.net  
 Internet: www.jumo.net



## Ausgleichs- und Anschlussleitungen

- Ausgleichsleitungen nach DIN EN 60584 und DIN 43714
- Ausführungen von -190 ... +400 °C
- Mantel aus PTFE, Silikon, PVC oder Glasseide
- Für Einfach- und Doppelemente

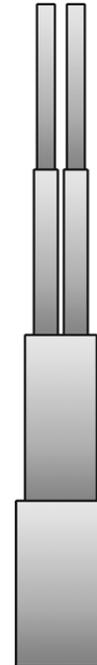
**Ausgleichsleitungen (Seite 1 bis 3)**

Für die Temperaturmessung mit Thermoelementen muss neben der Thermospannung auch die Temperatur der Vergleichsstelle gemessen werden. Die Vergleichsstellen-Temperatur wird an den Anschlussklemmen der Auswertelektronik erfasst. Da diese mit der Temperatur im Anschlusskopf nicht identisch sein muss, ist das Thermoelement mit einer Ausgleichsleitung zu verlängern (bei Thermoelement Typ B ist keine Ausgleichsleitung erforderlich). Ausgleichsleitungen haben die gleichen thermoelektrischen Eigenschaften bis 200 °C wie die Thermoelemente selbst.

**Anschlussleitungen (Seite 4 bis 8)**

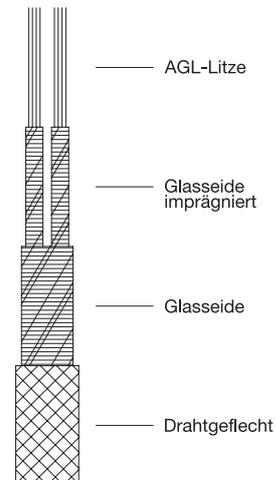
Anschlussleitungen mit Litzendrähten aus Kupfer übertragen Messsignale von Widerstandsthermometern, Ferngebern, Feuchtegebern oder Messwertgebern mit Einheitssignal zu Mess-, Regel- und Registriereinrichtungen. Der Aufbau richtet sich nach den jeweiligen Betriebsverhältnissen (Temperatur, Feuchte und mechanische Beanspruchung).

**Hinweis:** Bei Bestellung bitte Verkaufs-Artikel-Nr. aus Preisblatt 90.9735 angeben!



### Ausgleichsleitungen für trockene Räume Temperaturbereich: -20 ... +350 °C

| Querschnitt in mm <sup>2</sup>  | Durchmesser in mm | Farbkennzeichnung/Klasse | Ω/m je Thermopaar | Teile-Nr.               |
|---------------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|-------------------------|
| <b>Elementart Fe-CuNi „L“</b>   |                   |                          |                   |                         |
| 2x 0,22                         | 3,5               | DIN 43714                | 2,50              | 00006479 ● <sup>2</sup> |
| 2x 0,50                         | 4,3               | DIN 43714                | 1,25              | 00017856 ● <sup>1</sup> |
| 4x 0,22                         | 3,5               | DIN 43714                | 2,50              | 00017857 ● <sup>2</sup> |
| <b>Elementart Fe-CuNi „J“</b>   |                   |                          |                   |                         |
| 2x 0,22                         | 3,5               | DIN EN 60584/Kl. 1       | 2,50              | 00341902 ● <sup>1</sup> |
| 2x 0,50                         | 4,7               | DIN EN 60584/Kl. 1       | 1,25              | 00341903 ● <sup>1</sup> |
| <b>Elementart NiCr-Ni „K“</b>   |                   |                          |                   |                         |
| 2x 0,50                         | 4,0               | DIN EN 60584/Kl. 2       | 2,00              | 00017858 ● <sup>1</sup> |
| 4x 0,50                         | 3,4               | DIN EN 60584/Kl. 2       | 2,00              | 00017860 ● <sup>2</sup> |
| <b>Elementart Pt10Rh-Pt „S“</b> |                   |                          |                   |                         |
| 2x 0,50                         | 4,7               | DIN EN 60584/Kl. 2       | 0,20              | 00017859 ● <sup>1</sup> |
| 4x 0,50                         | 3,5               | DIN EN 60584/Kl. 2       | 0,20              | 00017861 ● <sup>2</sup> |



● Ab Lager lieferbar. 1. Mit verzinktem Stahldraht umflochten.  
 2. Mit Edelstahldraht umflochten.

**JUMO GmbH & Co. KG**

Hausadresse: Moritz-Juchheim-Straße 1, 36039 Fulda, Germany  
 Lieferadresse: Mackenrodtstraße 14, 36039 Fulda, Germany  
 Postadresse: 36035 Fulda, Germany

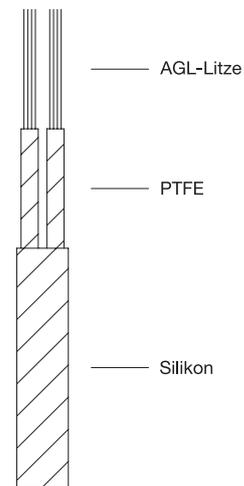
Telefon: +49 661 6003-722/724  
 Telefax: +49 661 6003-601/688  
 E-Mail: mail@jumo.net  
 Internet: www.jumo.net



Typenblatt 90.9735 (90.9723) Seite 2/8

**Ausgleichsleitungen für trockene und feuchte Räume**  
**Temperaturbereich: -50 ... +180 °C**

| Querschnitt<br>in mm <sup>2</sup> | Durchmesser<br>in mm | Farbkenn-<br>zeichnung/Klasse | Ω/m<br>je Thermopaar | Teile-Nr.  |
|-----------------------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------|------------|
| <b>Elementart Fe-CuNi „L“</b>     |                      |                               |                      |            |
| 2x 0,50                           | 4,7                  | DIN 43714                     | 1,25                 | 00017846 ● |
| 4x 0,22                           | 4,5                  | DIN 43714                     | 2,50                 | 00017848 ● |
| <b>Elementart NiCr-Ni „K“</b>     |                      |                               |                      |            |
| 2x 0,22                           | 3,2                  | DIN EN 60584/Kl. 2            | 4,50                 | 00052898 ● |
| 2x 0,50                           | 4,7                  | DIN EN 60584/Kl. 2            | 2,00                 | 00017847 ● |
| 4x 0,22                           | 4,7                  | DIN EN 60584/Kl. 2            | 4,00                 | 00017849 ● |

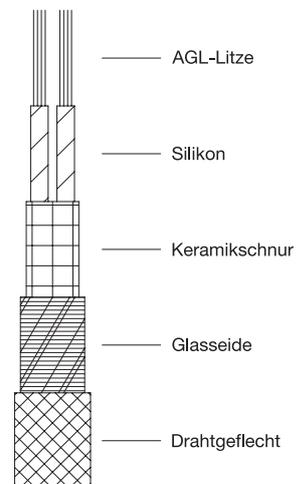


● Ab Lager lieferbar.

Pos. 2

**Ausgleichsleitungen für trockene und feuchte Räume**  
**Temperaturbereich: -50 ... +180 °C**

| Querschnitt<br>in mm <sup>2</sup> | Durchmesser<br>in mm | Farbkenn-<br>zeichnung/Klasse | Ω/m<br>je Thermopaar | Teile-Nr.  |
|-----------------------------------|----------------------|-------------------------------|----------------------|------------|
| <b>Elementart Fe-CuNi „L“</b>     |                      |                               |                      |            |
| 2x 1,50                           | 6,5                  | DIN 43714                     | 0,42                 | 00017853 ● |
| <b>Elementart NiCr-Ni „K“</b>     |                      |                               |                      |            |
| 2x 1,50                           | 6,5                  | DIN EN 60584/Kl. 2            | 0,70                 | 00017854 ● |
| <b>Elementart Pt10Rh-Pt „S“</b>   |                      |                               |                      |            |
| 2x 1,50                           | 6,7                  | DIN EN 60584/Kl. 2            | 0,07                 | 00017855 ● |



● Ab Lager lieferbar.

Pos. 3

# Dämmstoffe

## Formate

| Bezeichnung | Abmessungen in mm |       |        | Material-Nummer |
|-------------|-------------------|-------|--------|-----------------|
|             | Stärke            | Länge | Breite |                 |

### PORRATH 900

|            |     |     |     |                |
|------------|-----|-----|-----|----------------|
| Platte 40  | 40  | 500 | 250 | R 4792 500 940 |
| Platte 64  | 64  | 500 | 250 | R P003 000 940 |
| Platte 80  | 80  | 500 | 250 | R P003 080 940 |
| Platte 100 | 100 | 500 | 250 | R 7203 500 940 |
| Format N2  | 64  | 250 | 124 | R N200 000 940 |

### ISOLRATH 1000

|                         |     |      |     |               |
|-------------------------|-----|------|-----|---------------|
| Platte 20 <sup>°)</sup> | 20  | 1000 | 610 | R ISOL 00 020 |
| Platte 30               | 30  | 1000 | 610 | R ISOL 00 030 |
| Platte 40               | 40  | 1000 | 610 | R ISOL 00 040 |
| Platte 50               | 50  | 1000 | 610 | R ISOL 00 050 |
| Platte 60               | 60  | 1000 | 610 | R ISOL 00 060 |
| Platte 70               | 70  | 1000 | 610 | R ISOL 00 070 |
| Platte 80               | 80  | 1000 | 610 | R ISOL 00 080 |
| Platte 90               | 90  | 1000 | 610 | R ISOL 00 090 |
| Platte 100              | 100 | 1000 | 610 | R ISOL 00 100 |

### SN 400

|           |    |     |     |             |
|-----------|----|-----|-----|-------------|
| Platte 30 | 30 | 750 | 500 | R Q 000 332 |
| Platte 40 | 40 | 750 | 500 | R Q 000 333 |

### KLEBER

|                 |             |               |
|-----------------|-------------|---------------|
| Kerathin 1260 S | 5 kg Kübel  | R 060 010 K05 |
| Kerathin 1260 S | 20 kg Kübel | R 060 010 K20 |

<sup>°)</sup> nicht zertifiziert

## Technische Daten

|                           |                      | PORRATH 900                  | ISOLRATH 1000  | SN 400         |
|---------------------------|----------------------|------------------------------|----------------|----------------|
| Anwendungsgrenztemp.      | [°C]                 | 700                          | 900            | 900            |
| Rohdichte                 | [kg/m <sup>2</sup> ] | 450                          | 240            | 350–400        |
| Druckfestigkeit           | [N/mm <sup>2</sup> ] | 1                            | 1,4            | 1,5            |
| Mittlere spez. Wärmekap.  | [kJ/kgK]             | 0,98                         | 0,84           | ~ 1,0          |
| Wärmeleitfähigkeit (ASTM) | [W/mK]               |                              |                |                |
| bei 200 °C                |                      | 0,10                         | 0,06           | 0,14           |
| bei 400 °C                |                      | 0,14                         | 0,08           | 0,16           |
| bei 600 °C                |                      | 0,16                         | 0,10           | 0,18           |
| Basismaterial             |                      | Kalzium/<br>Aluminiumsilikat | Kalziumsilikat | Vermiculite    |
| Kleber                    |                      | Kerathin 1260S               | Kerathin 1260S | Kerathin 1260S |
| Zulassungsnummer          |                      | Z-43.14-030                  | Z-43.14-133    | Z-43.14-131    |

## Beschreibung

Alle Dämmstoffe sind nach DIN 4102 T1 nicht brennbare Baustoffe der Baustoffklasse A1. Sie sind geprüft und zugelassen vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) zur Wärmedämmung von Anbauwänden bei Einbau von Kaminen nach DIN 18895 T1 und Kachel- und/oder Putzöfen-Heizeinsätzen nach DIN 18 892. Bitte beachten Sie dazu die Sonderregelungen diverser Bundesländer.

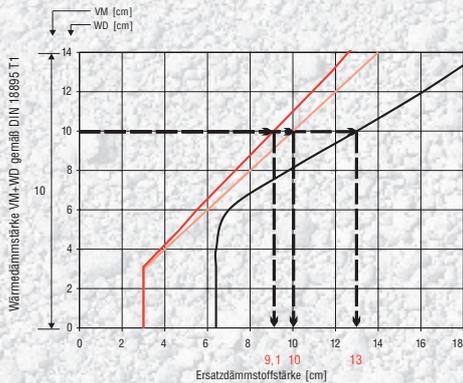
## Anwendung

Die hohe Druckfestigkeit gegenüber anderen Dämmstoffen ermöglicht das Errichten von selbsttragenden Wänden und somit die Anwendung als Ersatzdämmstoff für den zeitintensiven Aufbau von Vormauerung (VM) und Wärmedämmung (WD). Der Einsatz von Porrath 900 bzw. Isolath 1000 als Dämmstoff direkt im Brennraum oder im Zugsystem ist aufgrund der geringeren Temperaturwechselbeständigkeit nicht möglich. Bei Anwendung als Ersatzdämmstoff nach DIN 18 895 T1 oder DIN 18 892 müssen die Dämmstoffe mit dem Kerathin Kleber 1260 S verklebt werden. Die Bearbeitung der Platten kann mit Ytong-Säge, Stichsäge oder Fuchsschwanz erfolgen. Die Anwendungsgrenztemperaturen, sowie technischen Daten entnehmen sie der Tabelle „Technische Daten“.

## Arbeitsdiagramme zur Bestimmung der Dämmschichtdicke

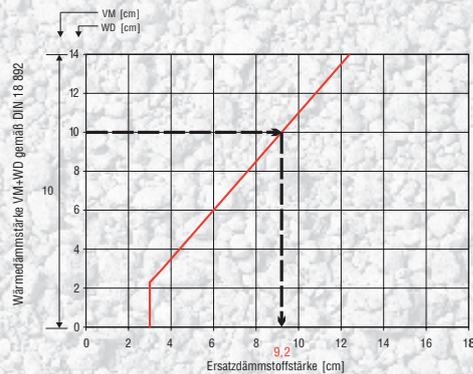
### nach Din 18 895 T1 - offene Kamine

Schichtdicke [cm] von verschiedenen Dämmstoffen für den Einsatz nach DIN 18895 T1, als Ersatz für Vormauerung (VM) und Wärmedämmung (WD) vor **brennbaren und/oder statisch belasteten Aufstellwänden**.

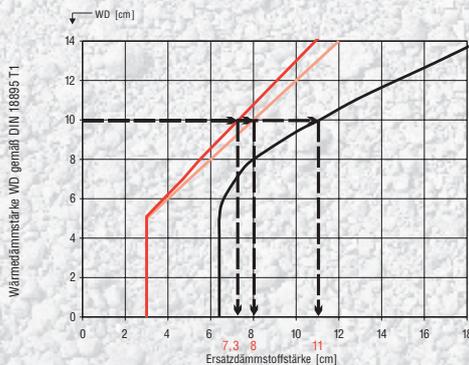


### nach Din 18 892\* - Kachel- und/oder Putzöfen - Heizeinsätze

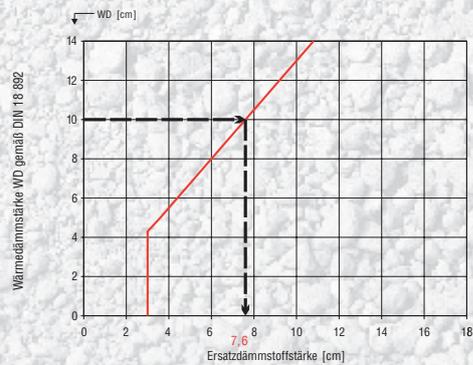
Schichtdicke [cm] von Isolath 1000 für den Einsatz nach DIN 18 892, als Ersatz für Vormauerung (VM) und Wärmedämmung (WD) vor **brennbaren und/oder statisch belasteten Aufstellwänden**.



Schichtdicke [cm] von verschiedenen Dämmstoffen für den Einsatz nach DIN 18895 T1, als Ersatz für Wärmedämmung (WD) vor **nicht brennbaren und/oder nicht statisch belasteten Aufstellwänden**.



Schichtdicke [cm] von Isolath 1000 für den Einsatz nach DIN 18892, als Ersatz für Wärmedämmung (WD) vor **nicht brennbaren und/oder nicht statisch belasteten Aufstellwänden**.



— Porrath 900    — Isolath 1000    — SN 400

\* Zulassung beim DIBt beantragt    — Isolath 1000

## Stationäre Wärmedurchgangsberechnungen verschiedener Dämmstoffe\*

**Porrath 900**

| Wandstärke<br>[mm] | Feuerseitige Temperatur in °C |       |       |       |      |      |      |      |      |
|--------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|
|                    | 850                           | 800   | 700   | 600   | 500  | 400  | 300  | 200  | 100  |
| 40                 | 157,1                         | 147,0 | 127,4 | 109,0 | 91,7 | 75,5 | 60,2 | 45,7 | 31,4 |
| 64                 | 118,3                         | 110,8 | 96,5  | 83,1  | 70,6 | 59,1 | 48,2 | 38,0 | 28,0 |
| 80                 | 102,7                         | 96,3  | 84,2  | 72,9  | 62,4 | 52,6 | 43,5 | 35,0 | 26,7 |
| 100                | 89,0                          | 83,7  | 73,5  | 64,0  | 55,2 | 47,1 | 39,5 | 32,4 | 25,5 |
| 124                | 77,6                          | 73,1  | 64,6  | 56,6  | 49,2 | 42,5 | 36,2 | 30,3 | 24,6 |
| 250                | 50,9                          | 48,4  | 43,8  | 39,5  | 35,5 | 31,9 | 28,5 | 25,4 | 22,4 |

Kaltseitige Temperatur in °C

**Isolrath 1000**

| Wandstärke<br>[mm] | Feuerseitige Temperatur in °C |       |       |      |      |      |      |      |      |
|--------------------|-------------------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
|                    | 850                           | 800   | 700   | 600  | 500  | 400  | 300  | 200  | 100  |
| 30                 | 132,7                         | 123,7 | 106,6 | 90,6 | 75,8 | 62,2 | 49,9 | 38,9 | 28,4 |
| 40                 | 110,9                         | 103,5 | 89,5  | 76,5 | 64,5 | 53,6 | 43,7 | 35   | 26,7 |
| 50                 | 96,2                          | 89,9  | 78,1  | 67,2 | 57,1 | 47,9 | 39,7 | 32,4 | 25,5 |
| 60                 | 85,6                          | 80,2  | 69,9  | 60,5 | 51,8 | 43,9 | 36,8 | 30,6 | 24,7 |
| 80                 | 71,3                          | 67,0  | 59,0  | 51,5 | 44,7 | 38,5 | 33,0 | 28,2 | 23,6 |
| 90                 | 66,3                          | 62,4  | 55,1  | 48,4 | 42,2 | 36,7 | 31,7 | 27,3 | 23,3 |
| 100                | 62,1                          | 58,6  | 51,9  | 45,8 | 40,2 | 35,1 | 30,6 | 26,7 | 23,0 |
| 160                | 47,5                          | 45,1  | 40,7  | 36,7 | 33,1 | 29,8 | 26,8 | 24,3 | 21,9 |
| 240                | 38,7                          | 37,1  | 33,6  | 30,9 | 28,9 | 26,6 | 24,6 | 22,9 | 21,3 |

Kaltseitige Temperatur in °C

**SN 400**

| Wandstärke<br>[mm] | Feuerseitige Temperatur in °C |       |       |       |       |      |      |      |      |
|--------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
|                    | 850                           | 800   | 700   | 600   | 500   | 400  | 300  | 200  | 100  |
| 30                 | 196,7                         | 184,5 | 160,7 | 137,7 | 115,6 | 94,4 | 74,1 | 54,7 | 35,4 |
| 40                 | 168,4                         | 158,0 | 137,8 | 118,4 | 99,8  | 81,9 | 65,0 | 48,8 | 32,8 |
| 60                 | 132,5                         | 124,5 | 109,0 | 94,1  | 79,9  | 66,4 | 53,6 | 41,5 | 29,5 |
| 80                 | 110,6                         | 104,1 | 91,5  | 79,5  | 68,0  | 57,1 | 46,8 | 37,1 | 27,6 |
| 100                | 95,8                          | 90,4  | 79,8  | 69,7  | 60,1  | 50,9 | 42,3 | 34,2 | 26,3 |
| 120                | 85,2                          | 80,5  | 71,4  | 62,7  | 54,4  | 46,5 | 39,1 | 32,2 | 25,4 |
| 150                | 73,9                          | 70,0  | 62,4  | 55,2  | 48,3  | 41,9 | 35,7 | 30,0 | 24,5 |

Berechnungsannahmen:

Stationärer Zustand\*, 20°C Umgebungstemperatur, Wärmeübergangskoeffizient 15 [W/m²K], freistehende ebene Wand.

**Die errechneten kaltseitigen Temperaturen haben nur ihre Richtigkeit bei Anwendung der Dämmstoffe als freistehende Wand. Bei Anbau der Dämmstoffe an eine Wand werden die kaltseitigen Temperaturen höher ausfallen. Je nach Anwendung bedarf es daher einer individuellen Berechnung!**

\* Anmerkung: Im normalen Betrieb wird der stationäre Zustand in der Regel **nicht** erreicht, so dass die auf der kalten Seite auftretenden Temperaturen deutlich niedriger ausfallen als die angegebenen.

Technische Änderungen vorbehalten.



# Supplementary Operating Instructions

Product Supplied Without Controls

VST 10/50/150 with Inconel shields

Order no SPLF 702380

Ser no 20-903028

If another manual is supplied, or any loose sheets, please read this first.

---

## CONTENTS

- |   |                         |
|---|-------------------------|
| 1 | Handling                |
| 2 | Siting                  |
| 3 | Electrical Connections  |
| 4 | Power                   |
| 5 | Warranty                |
| 6 | Safety Warnings         |
| 7 | Other Manuals or Sheets |

**NO CONTROLS**

**1. HANDLING**

Lift the product by its base, or the main body of casework, as appropriate.  
 Do not apply force to any projecting components, such as door mechanisms.  
 Do not apply force to any exposed insulation materials, or to any item such as a work tube which will transmit force to the insulation.  
 Heavy products: avoid personal injury. Use an appropriate number of people, or suitable equipment, to lift the product.

**2. SITING**

The product is designed to become HOT. Take care and observe all warning labels.  
 Do not use the product on an inflammable surface.  
 Keep some free space around the product, particularly in the vicinity of any case vents.  
 Ensure that the electrical disconnection point is within operator reach.

**3. ELECTRICAL CONNECTIONS**

DO NOT connect the product directly to the electrical supply. See the next section, on power control.  
 It is recommended that all electrical connections be made by a qualified electrician, with due observance of electrical safety. Note that when the product is in use the operator should be able quickly to disconnect it from the supply, either by an isolator which cuts all phases (or both sides of a single phase supply), or by a quickly removable plug.

**4. POWER CONTROL**

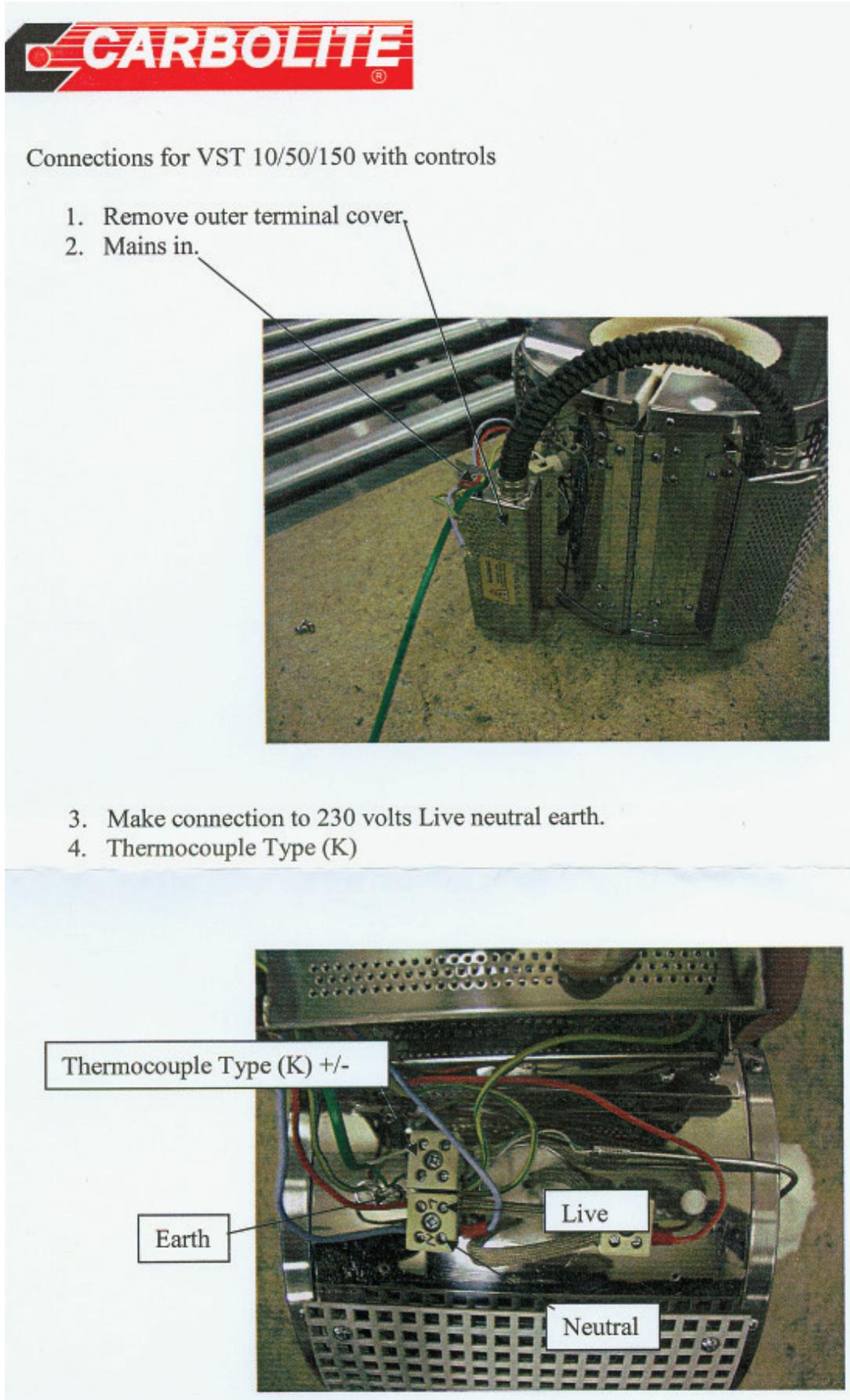
All Carbolite products require a control system which limits the maximum temperature. Many, particularly products rated at 1400°C or higher, also require electronic limiting of the maximum power supplied. In a Eurotherm controller, the maximum power can be set in the form of a percentage into the parameter OP.Hi. Other control systems may have a similar feature.  
 Data on the maximum temperature and the maximum power may be supplied in the standard instruction booklet for the product, or in the following table. If the data is not supplied, please contact Carbolite. If the required power limit is 100%, then only temperature control is necessary.

| Product:  |              |
|-----------|--------------|
| Volts     | Power limit  |
| 230 volts | 100% (4amps) |
|           |              |
|           |              |

Technical note: power can also be limited by reducing the supply voltage. Multiply the supply voltage by the square root of the power limit (as a fraction): e.g. 240V with 75% power limit is equivalent to 208V with 100% limit.

**5. WARRANTY**

Carbolite cannot provide any warranty for products supplied without control systems, excepting that bad workmanship in the product as supplied will be rectified.



# Literaturverzeichnis

- [1] Bargel H.J., Schulze G.: Werkstoffkunde, 9. Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2005.
- [2] Degischer H. P., Stampfl J., *Skriptum zur Vorlesung „Grundlagen der Werkstoffeigenschaften 308.087“*, Wintersemester 2006/2007.
- [3] Reissner J., Schulze G.: Werkstoffkunde für Bachelors, 1. Auflage, Carl Hanser Verlag, München, 2010.
- [4] Ashby M. F., Jones D. R. H.: Werkstoffe 1: *Eigenschaften, Mechanismen und Anwendungen*, 3. Auflage, Akademie Verlag, Rheinbach, 2006.
- [5] Riehle M., Simmchen E.: Grundlagen der Werkstofftechnik, 2. Auflage, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Dresden, 2010.
- [6] Schatt W., Worch H.: Werkstoffwissenschaften, 9. Auflage, Wiley-VCH Verlag, Dresden, 2002.
- [7] Bürgel R.: Handbuch Hochtemperatur - Werkstofftechnik, 2. Auflage, Vieweg Verlag, Melle, 1998.
- [8] Bauer B.: Enhancement of creep resistance by particle reinforcement, Wien, Techn. Univ., Diss, 2009
- [9] Mutafov V.: Kriechuntersuchungen an AlCu4 Legierungen mit und ohne Partikelverstärkung, Wien, Techn. Univ., Dipl.-Arb., 2005
- [10] Telfser D.: Kriechuntersuchungen an Metallmatrix-Verbundwerkstoffen, Wien, Techn. Univ., Dipl.-Arb., 2000
- [11] Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH: Betriebsanleitung Catman, V3.0, Darmstadt, 2000
- [12] Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH: Betriebsanleitung Spider8, Darmstadt, 1997
- [13] JUMO GmbH & Co. KG: Betriebsanleitung JUMO dTRON 04.1, B70.3030.5, 1997
- [14] JUMO GmbH & Co. KG: Betriebsanleitung JUMO dTRON 304, B70.3041.0, 2006
- [15] JUMO GmbH & Co. KG: Betriebsanleitung JUMO TB/TW, B70.1160.0, 2009
- [16] JUMO GmbH & Co. KG: Betriebsanleitung JUMO Thyristor-Leistungsschalter, t70.9020, 2009
- [17] [http : //www.rath.at/upload/medialibrary/DE\\_Daemstoffe\\_01.200660133.pdf](http://www.rath.at/upload/medialibrary/DE_Daemstoffe_01.200660133.pdf) (last visit: 17.01.2011)

- [18] MICRO-EPSILON MESSTECHNIK GmbH & Co. KG: Betriebsanleitung induSENSOR, LVDT, X975X028-C030027MSC
- [19] DIN EN 10291: Einachsiger Zeitstandversuch unter Zugbeanspruchung, Entwurf von 01. 2001
- [20] DIN EN 60584: Thermopaare, Entwurf von 10. 1996
- [21] *http* : //www.guenther – gmbh.de/produkte/ausgleichsleitungen/ (last visit: 19.01.2011)