Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen
"Otto von Guericke" e.V. (AiF)
Hauptgeschäftsstelle
Bayenthalgürtel 23
50968 Köln

Ermittlung des Verhaltens von geschlossenen Systemen zur Konservierung und Werterhaltung von techn. Packgütern im Bereich der Exportverpackung, in Abhängigkeit von extremen klimatischen Belastungen.

Schlussbericht

AiF-Nr. 12959 N

Das Vorhaben AiF-Nr. 12959 N wurde aus
Mitteln des BMWA
über die AiF gefördert

Bundesministerium
für Wirtschaft und Arbeit

Inhalt

1. Allgemeine Betrachtung / Einführung ... 2
2 Forschungsziel / Lösungsweg ... 3
2.1 Forschungsziel ... 3
2.1.1 Angestrebte Forschungsergebnisse ... 3
2.1.2 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse ... 3
2.2 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels ... 4
3 Die Trockenmittelmethode ... 4
3.1 Wirkmechanismus ... 5
3.2 Berechnungsmethode ... 6
3.3 Diskussion der einzelnen Parameter ... 7
3.3.1 Innenvolumen V der Packung ... 7
3.3.2 Feuchtegehalt b der eingeschlossenen Luft ... 7
3.3.3 Masse m des hygroskopischen Materials ... 8
3.3.4 Faktor c für den Feuchtegehalt der hygroskopischen Packhilfsmittel und Packgüter ... 10
3.3.5 Oberfläche A der Sperrschichthülle ... 11
3.3.6 Korrekturfaktor e bezogen auf die zulässige Endfeuchte ... 11
3.3.7 Wasserdampfdurchlässigkeit WDD der Sperrschichthülle für das zu erwartende Klima ... 11
3.3.8 gesamte Transport- und Lagerdauer t ... 12
3.3.9 je Trockenmitteleinheit aufnehmbare Wassermenge a entsprechend der zulässigen maximalen Luftfeuchte in der Packung ... 12
4. Ermittlung extremer klimatischer Belastungen ... 12
4.1 Datenbasis für einen fiktiven Reiseverlauf ... 12
4.2 Fazit: ... 16
5 Ermittlung der Adsorptionisothermen ... 16
5.1 Entwicklung einer Wägeeinrichtung ... 16
5.1.1 Der Drehtisch ... 17
5.1.2 Die Steuerung ... 19
5.2 Ergebnisse ... 20
6 Bestimmung der WDD ... 27
6.1 Das Elektrolyse-Verfahren ... 27
6.2 Das Gravimetrische-Verfahren ... 27
6.3 Prüfungen und Ergebnisse ... 28
7 Absaugen der Luft aus der Sperrschichthülle ... 34
8 Beispielrechnungen ... 34
9 Zusammenfassung ... 37
Literaturverzeichnis ... 39

1. Allgemeine Betrachtung / Einführung

Der Transport, insbesondere der Export, technischer Güter erfordert für deren Werterhalt einen zuverlässigen Korrosionsschutz, da während des Transports, Umschlags und der Lagerung der Versandstücke zum Teil mit extremen Temperaturschwankungen gerechnet werden muss. Durch die Temperaturschwankungen kommt es bei ausreichender relativer Luftfeuchtigkeit unweigerlich zur Kondensatbildung an den Packgutoberflächen und führt zur Korrosion an diesen Teilen.
Der gesamte Zeitraum für Transport, Umschlag und Lagerung kann im Extremfall mehrere Jahre betragen. In dieser Zeit müssen die Packgüter durch eine Korrosionsschutzmethode geschützt werden, deren Wirkmechanismus für den gesamten Zeitraum prozesssicher ist.
Im Bereich des temporären Korrosionsschutzes haben sich die Trockenmittelmethode, die VCI-Methode und die Überzugsmethode am Markt etabliert. Die Masse aller technischen Packgüter wird auch noch heute aufgrund komplexer Systeme, verbunden mit dem Einsatz unterschiedlichster metallischer Werkstoffe, mit der Trockenmittelmethode vor Schäden geschützt [1, 23]
Im Gegensatz zur Überzugsmethode muss keine aufwendige, teure und umweltgefährdende Entkonservierung stattfinden. Die Entfernung und Entsorgung der Trockenmittelbeutel geschieht schnell und problemlos.
Ebenso kommt es bei sachgerechten Anwendung nicht zu Reaktionen mit dem Packgütern, wie sie bei der VCI-Methode z.B. an Lackschichten auftreten kann.

Die technische Ausgestaltung solcher Korrosionsschutzsysteme wird in Richtlinien hinlänglich beschrieben. Die quantitative Auslegung solcher Systeme geschieht mit einem empirischen Berechnungsverfahren, das in einer Norm beschrieben ist.
Dieses Berechnungsverfahren beruht auf vorgegebenen Eingangsgrößen, die labortechnisch ermittelt wurden, aber in der Praxis aufgrund fertigungsbedingter Einflüsse häufig nicht ausreichend eingehalten werden können. Ein Beispiel hierfür ist die dafür benötigte Wasserdampfdurchlässigkeit von Folien, die durch fertigungsbedingte Einflüsse in der Praxisanwendung nicht so realisiert wird wie es nötig wäre. Weitere Unwägbarkeiten beinhalten das Absaugen von Luft aus Sperrschichthüllen, die örtliche Positionierung der Trockenmittel, ungenaue Bestimmung oder auch nur Schätzung der Wassergehalte der hygroskopischen Materialien innerhalb des geschlossenen Systems, ungenaue Erfassung der Massen hygroskopischen Materials und letztendlich die Bestimmung des Füllungsgrades des Innenvolumens des geschlossenen Systems durch das Packgut. Alle diese Unwägbarkeiten lassen in Verbindung mit der empirischen Ermittlung der Trockenmittelmenge den Schluß zu, daß eine annähernd gute Bestimmung der Trockenmittelmenge in der Praxis nur eingeschränkt möglich ist.
Betrachtet man aber den Anspruch der durch eine Berechnung der Trockenmittelmenge erweckt wird, wie das Optimieren des Trockenmitteleinsatzes in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht, und berücksichtigt man alle erkannten Unwägbarkeiten bei der Ermittlung der Eingangsgrößen für diese Berechnung , so kommt man zu dem Schluß, daß die angewandten Rechenverfahren erhebliche Unsicherheiten beinhalten. Sämtliche bekannten und angewendeten

Berechnungsverfahren wie vereinfachte Formeln, PC-Programme sowie die Berechnung nach TL 8100 -0100 basieren auf der Berechnungsmethode nach DIN 55474. Unterschiede in den Ergebnissen ergeben sich bei Vergleichsberechnungen insbesondere bei der Anwendung von vereinfachten Formeln.
Erfahrungen aus der Praxis zeigen aber auch, daß bei einer Vielzahl der Anwendungsfälle keine Korrosionsprobleme auftreten oder nicht erkannt wurden. Diese Anwendungsfälle betrafen hauptsächlich Exporte, die nicht in extemklimatische Regionen gingen.

Bei der Lagerung von nach der Trockenmittelmethode geschützten technischen Packgütern in Extremklimata mit Sommer-Winter- Temperaturdifferenzen von über 80°C und entsprechend hohen Luftfeuchten in der Warmphase kommt es immer wieder zu Schäden. Dieses dürfte eingedenk der beschriebenen Einflußgrößen und deren Qualität nicht verwundern.
Für die Beurteilung von geschlossenen Systemen nach der Trockenmittelmethode beim Einsatz in Extremklimata fehlen zum einen physikalische Grunddaten wie erweiterte Adsorptionsisothermen von Trockenmitteln für die gesamte erforderliche Temperaturspanne, sowie die Einflussgrößen der praxisnahen Randbedingungen.

2 Forschungsziel / Lösungsweg

2.1 Forschungsziel

Ziel des Vorhabens ist die Verifizierung des bisherigen Systemverhaltens der Trockenmittelmethode unter extrem klimatischen Bedingungen.

2.1.1 Angestrebte Forschungsergebnisse

Mit der Umsetzung der Ergebnisse in die Praxis wird eine höhere Qualität in der Beratung, der Fortbildung auf diesem Gebiet, sowie in der Lieferqualität von technischen Erzeugnissen erreicht. Zusammen mit einem optimierten Einsatz von Pack – und Packhilfsmitteln bei der Implementierung der Trockenmittelmethode, verbunden mit einer Reduzierung der Korrosionsschäden ergeben sich wirtschaftliche Vorteile.

2.1.2 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse

Die Innovation des Vorhabens liegt in einer Weiterentwicklung der Trockenmittelmethode. Viele Anwender in der klein – und mittelständischen Industrie sind noch heute über die Trockenmittelmethode und deren Wirkmechanismen im unklaren. Unsicherheiten treten dann auf, wenn Transporte und Lagerungen unter ungünstigen klimatischen Verhältnissen zu erwarten sind

2.2 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels

Durch Auflösung des Systems „Trockenmittelmethode“ in die Wirkmodule

- Trockenmittel (Menge, Einsatzgröße, örtliche Verteilung, Isothermen)
- Folienhülle (Folienart, Siegelnähte, mech. Vorbelastung, Temperaturverhalten)
- hygr. Beipack (Masse, Wassergehalt, Isothermen)
- Packgut (Masse, Wärmekapzität)

sollen diese Wirkmodule und damit deren techn - physikalischen Eigenschaften unter Einfluß von Extremklimaten bewertet werden.

Arbeitsschritt 1:
Hierzu sind was die Wirkmodule „Trockenmittel und hygr. Beipack „ anbetrifft Adsorptionisothermen für relevanten Temperaturbreiche zu ermitteln, und in gebrauchsfähige Darstellungen zu bringen, z.B. in Tabellenforn, Kurven oder eingebunden in ein Berechnungsprogramm.
Die angestrebten Versuche sind Reihenversuche.

Arbeitsschritt 2:
Die Ermittlung des Istzustandes des Sperrschichtmaterials geschieht durch Probennahmen an realen Verpackungen (Sperrschichthüllen) direkt bei den Verpackern, und bei Anlieferung der Packstücke beim Kunden. Entsprechende Kooperationspartner stehen dem Institut zur Verfügung. Die Bestimmung der WDD der realen Proben geschieht im Institut.

Arbeitsschritt 3:
Der Einfluß des Absaugens von Luft aus der Sperrschichthülle auf die Wirkweise des Systems Trockenmittelmethode wird anhand von vergleichbaren Packstücken mit und ohne Absaugung ermittelt. Indikator für die Bewertung ist die Wasserdampfdurchlässigkeit der Sperrschichthülle

Arbeitsschritt 4:
Zusätzlich werden an Beispielen, bei Annahme extremklimatischer Belastungen vergleichende Berechnungen zwischen dem bisher üblichen Berechnungsverfahren nach DIN 55474 mit den üblichen Eingangsbedingungen sowie mit Eingangsbedingungen die die Ergebnisse des Vorhabens berücksichtigen durchgeführt.

3 Die Trockenmittelmethode

Im folgenden werden die vorgegebenen Eingangsgrößen ausführlich erläutert und ihre Handhabung diskutiert. Daraus werden Probleme erkennbar, mit denen die

Prozesssicherheit der Trockenmittelmethode unter extremen klimatischen Belastungen gefährdet sein kann.

3.1 Wirkmechanismus

Das Ziel der Trockenmittelmethode beruht auf der Schaffung eines geschlossenen Systems, in dem die relative Luftfeuchtigkeit über den gesamten Zeitraum von Transport, Umschlag und Lagerung auf einen Gehalt von unter 40 % abgesenkt wird. Die Erfahrung hat gezeigt, dass unterhalb dieses Luftfeuchtigkeitsprozentsatzes keine Kondensation mehr stattfindet und dadurch auch keine Korrosionsprozesse begünstigt oder ausgelöst werden können.

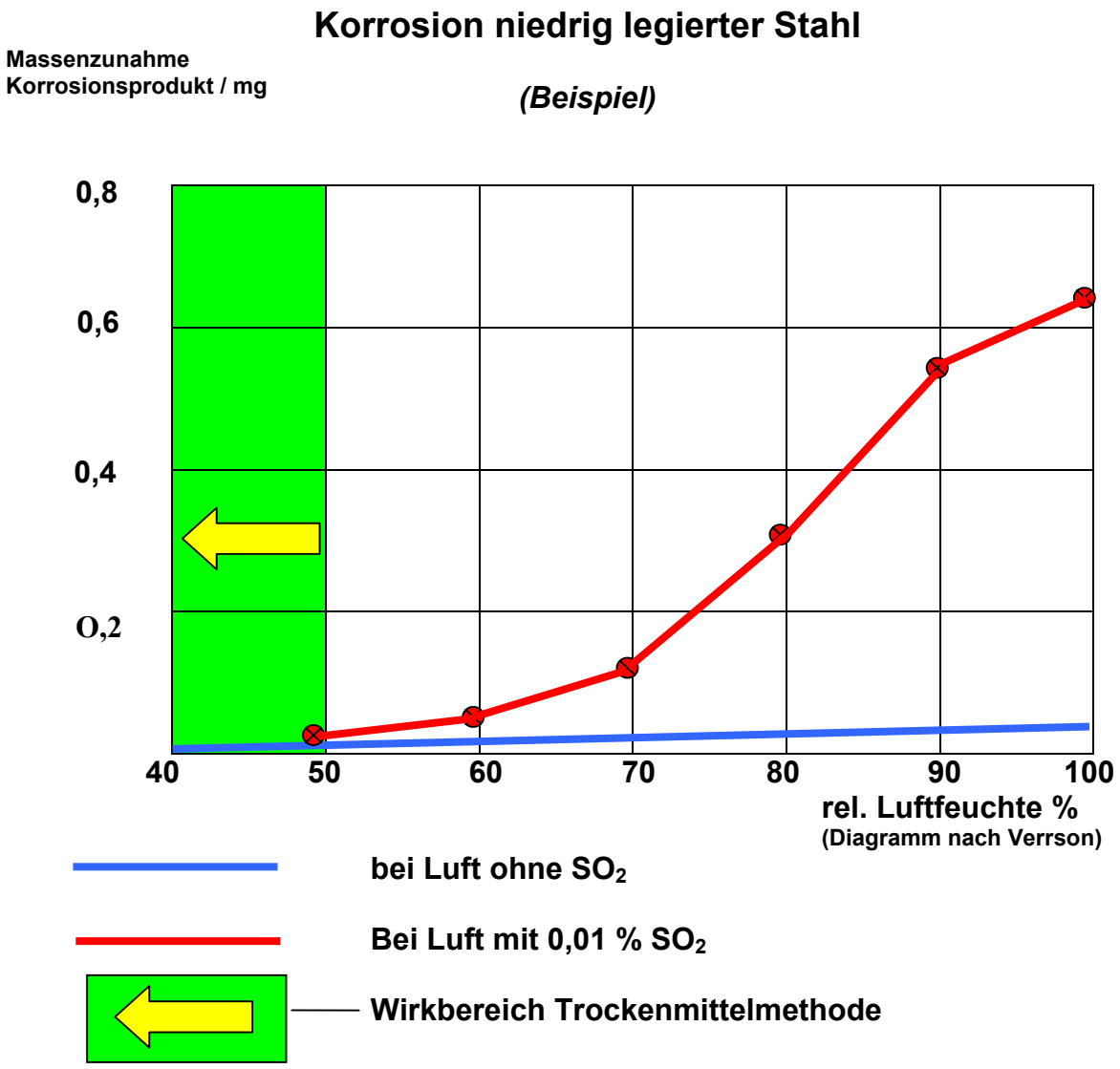


Abbildung 1: Zusammenhang von Korrosion und Luftfeuchtigkeit

Das geschlossene System besteht im wesentlichen aus zwei Komponenten.
Die erste Komponente bildet eine Hülle aus Sperrschichtmaterial, die das System von der Außenatmosphäre abschirmt. Hierbei ist besonders darauf zu achten dass die eine geringe Wasserdampfdurchlässigkeit WDD besitzt.
Die zweite Komponente ist ein Trockenmittel. Die Aufgabe des Trockenmittel besteht in der Adsorption des Wasserdampfes aus der Gasphase innerhalb des geschlossenen Systems, d.h. das Trockenmittel bindet das Wasser an sich und senkt somit die relative Luftfeuchtigkeit in den System auf einen angestrebten Wert, meistens 40 % relative Luftfeuchtigkeit.

3.2 Berechnungsmethode

Die Berechnung der erforderlichen Anzahl von Trockenmitteleinheiten erfolgt nach der Deutschen Norm DIN 55474 vom Juli 1997. Die Norm bezieht sich auf den Einsatz von Trockenmittel in Beuteln nach DIN 55473.
In dieser DIN wird eine Trockenmitteleinheit definiert als die Menge Trockenmittel, die im Gleichgewicht mit Luft bei (23 ± 2)°C und 40% relativer Luftfeuchte mindestens 6 g Wasserdampf adsorbiert. Zusätzlich das maximale Gewicht je Trockenmitteleinheit auf 39g und das maximale Volumen auf 45 cm3 festgelegt. Trockenmittel werden in Beuteln mit 1/6, 1/3, 1/2, 1, 2, 4, 8, 16, oder 32 Einheiten angeboten.
Die Berechnung der erforderlichen Anzahl von Trockenmitteleinheiten erfolgt nach Gl.1.

$$n = (1/a) \times (V \times b + m \times c + A \times e \times WDD \times t) \qquad \text{(Gl. 1)}$$

Der gesamte Ausdruck innerhalb der Klammer bestimmt die Wassermenge, die vom Trockenmittel adsorbiert werden muss.

Das Produkt $V \times b$ berechnet die absolute Wassermenge, die von der eingeschlossenen Luft in das System mit eingebracht wird.

- V Innenvolumen der Packung in m^3
- b Feuchtegehalt der eingeschlossenen Luft in g/m^3

Mit $m \times c$ wird die Menge Wasser berechnet, die hygroskopisches Gut innerhalb der Packung abgibt, bis es mit der geforderten Atomsphäre innerhalb der Packung im Gleichgewicht steht.

- m Masse der hygroskopischen Packhilfsmittel und Packgüter in kg
- c Faktor für den Feuchtegehalt der hygroskopischen Packhilfsmittel und Packgüter in g/kg

Der Ausdruck $A \times e \times WDD \times t$ berechnet die Wassermasse, die innerhalb der angestrebten Transport- und Lagerzeit durch die Sperrschichthülle in die Packung diffundieren kann.

A	Oberfläche der Sperrschichthülle
e	Korrekturfaktor bezogen auf die zulässige Endfeuchte
WDD	Wasserdampfdurchlässigkeit der Sperrschichthülle für das zu erwartende Klima in g/m2 × t
t	Gesamttransport- Lagerdauer in d (Tagen)

Der gesamte Klammerausdruck wird durch den Faktor a geteilt. Dieser gibt die aufnehmbare Wassermenge je Trockenmitteleinheit an bezogen auf die gewünschte maximale Endfeuchte innerhalb der Packung.

3.3 Diskussion der einzelnen Parameter

In diesem Kapitel werden die einzelnen Parameter der Gl.1 genauer betrachtet und diskutiert.

3.3.1 Innenvolumen V der Packung

Das genaue Volumen der eingeschlossenen Luft innerhalb der Packung ist relativ schwer zu bestimmen, da es sich in der Regel nicht um einfache geometrische Formen handelt. Erschwerend kommt hinzu, dass das Volumen, welches durch das Packgut eingenommen wird ebenfalls schwer zu ermitteln ist. Deshalb wird zur Vereinfachung mit dem gesamten Innenvolumen der Kiste gerechnet, mit der das Packgut umgeben ist und das Volumen des Packgutes vernachlässigt.
Durch diese bewusste Überdimensionierung erhält das System Reserven.
Ähnliches gilt für den Feuchtegehalt der Luft.

3.3.2 Feuchtegehalt b der eingeschlossenen Luft

Der Feuchtegehalt der Luft ist abhängig von der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit. Es handelt sich somit um einen variablen Wert und nicht um eine Konstante.
Der Feuchtegehalt der eingeschlossenen Luft kann einer Klimatafel (siehe Anhang 1) entnommen werden.
In der Norm DIN 55474 wird beispielhaft der Feuchtegehalt bei 20°C und 85% rel. Feuchte mit b=15g/m^3 angegeben. Im normalen Alltagsgeschäft eines Verpackers wird dieser sich aus Zeitgründen nicht mit der genauen Bestimmung der atmosphärischen Daten beschäftigen können. Oft bleibt ihm nichts anderes übrig als die Werte zu schätzen, bzw. mit dem in der Norm angegebenen Wert zu rechnen. Zu Problemen wird dieses in den hiesigen Regionen allerdings erst führen, wenn Güter im Hochsommer bei ca. 30°C und ab ca. 80 % rel. Luftfeuchte verpackt werden. Wenn bei diesem Klima der Verpacker mit dem beispielhaften Wert in der Norm arbeitet, dann wird die Reserve dieses System aufgebraucht, die daraus resultiert, dass in der Verpackung keine Luftfeuchte von 0 % angestrebt wird, sondern in den meisten Fällen 40 %.

Schwieriger gestaltet sich die Anwendung der Berechnungsformel in Bezug auf die Berücksichtigung des eingeschlossenen hygroskopischen Materials.

3.3.3 Masse m des hygroskopischen Materials

Die Masse m des hygroskopischen Materials, z.B. Holz als Packhilfsmittel zur Ladungssicherung, wird vom Verpacker in der Regel durch die Berechnung des Holzvolumens bezogen auf seine spezifische Dichte ermittelt.
Gegen diese Berechnungsmethode ist sicherlich nichts einzuwenden, solange der Verpacker sich darüber bewusst ist, das es sich bei den Materialdichten um Durchschnittswerte handelt, da diese je nach Wachstumsgebiet der Hölzer differieren können.
Außerdem muss der Anwender wissen, mit welcher Dichte er rechnet.

Zum Einen gibt es die sogenannte Rohdichte. Sie wird definiert als Quotient aus der Masse Holzes (einschließlich des in den Poren enthaltenen Wassers) und dem äußeren Volumen des Holzes (einschließlich der Hohlräume) bei einem definierten Feuchtegehalt b.
Bei der Rohdichte handelt es sich also um einen holzfeuchteabhängigen Wert. Zur Vergleichbarkeit von Daten wurde deshalb zur Rohdichtebestimmung eine einheitliche Holzfeuchte von 12% festgelegt, die sich im Normalfall unter den Bedingungen eines normierten Raumklimas (20°C, 65 % relative Luftfeuchtigkeit) einstellt.

Weiterhin gibt es die Darrdichte oder Darrrohdichte. Sie wird definiert als Quotient aus der Masse und dem Volumen des darrgetrockneten Holzes. Sie ist nicht durch das hygroskopische Verhalten des Holzes beeinflusst, und kann als Materialkonstante oder Materialkennwert betrachtet werden. Wenn allerdings mit der Darrdichte gerechnet wird muss berücksichtigt werden, dass nur das Darrgewicht des Holzes berechnet wird. Der Anwender muss zusätzlich die Holzfeuchte berücksichtigen. Tut er das nicht, dann rechnet er mit einer zu geringen Holzmasse, was zum Versagen des Trockenmittelsystems führen kann.

Ein weiteres Problem bei der Bestimmung der Holzmasse über die Holzdichte tritt auf, wenn unterschiedliche Kennwerte der Hölzer gleicher Sorte auf, die z.B. durch genetische Abstammung oder den Standort beeinflusst werden. Bei den in der Literatur angegebenen Werten handelt es sich in der Regel um Mittelwerte. Wie groß jedoch die Spannweite der Holzdichten und deren Häufigkeit ist verdeutlicht die Abbildung 2.

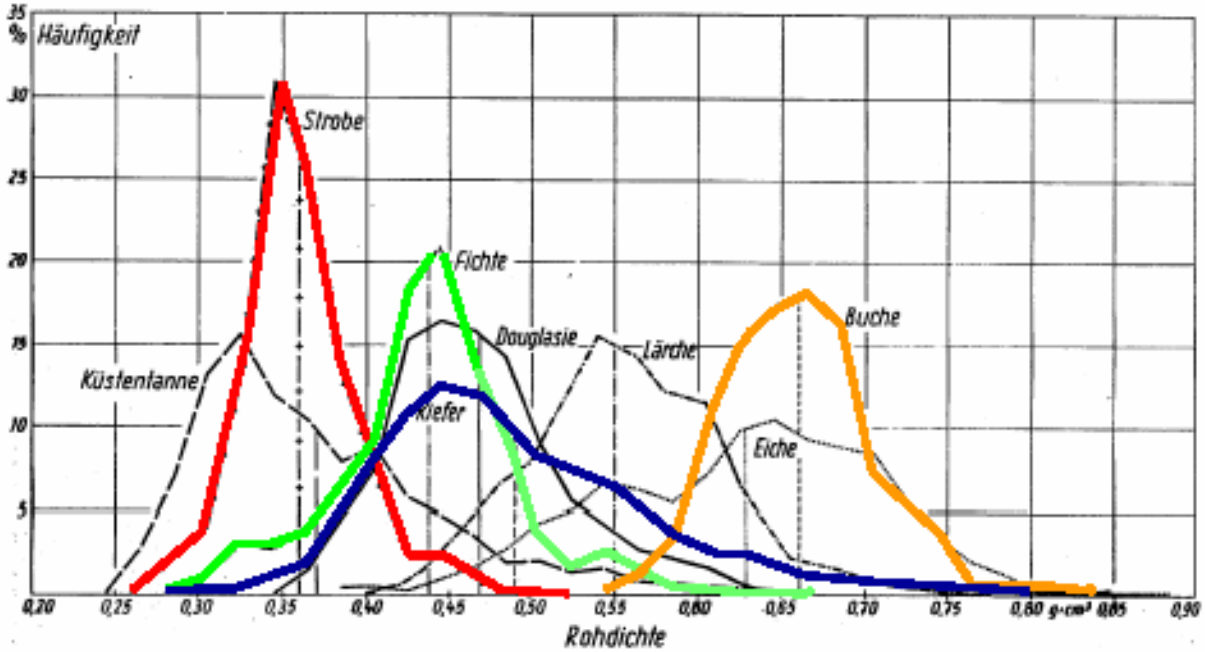


Abbildung 2: Spannweite der Holzdichten und deren Häufigkeit ist

Da in der Regel das Einbringen hygroskopischen Materials in ein geschlossenes System immer als ein Risikofaktor zu sehen ist, sollte möglichst darauf verzichtet werden. Wenn dieses nicht möglich ist, dann kann es durch die hier beschriebene Methode der Massenbestimmung zu großen Abweichungen von den tatsächlichen Gegebenheiten führen. In Anbetracht der Tatsache, dass in der Regel das hygroskopische Material der größte Feuchtespender des Systems ist (vgl. die Beispielrechnungen) sollte der Massenbestimmung eine erhöhte Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Speziell beim Versand oder Lagerung, bei denen mit extremen klimatischen Belastungen gerechnet werden muss, ist es sicherer, allerdings auch aufwendiger und unwirtschaftlicher, das hygroskopische Material, das in das geschlossene System eingebracht wird, zu wiegen. Durch eine zusätzliche Messung der Materialfeuchte und mit Hilfe von Gleichung 2 lässt sich relativ exakt die in das System eingebrachte Wassermenge bestimmen.

$$u = \frac{m_u - m_0}{m_0} \cdot 100\% \qquad \text{(Gl.2)}$$

u	Holzfeuchte
m_u	Masse des Feuchtholzes
m_0	Masse des trockenen Holzes

Die Differenz aus der feuchten Probe und der Darrprobe ist die absolute Wassermasse, die durch das Holz mit in die Packung eingebracht wird. Diese Wassermasse ist nicht zu verwechseln mit der Wassermasse, die vom Trockenmittel adsorbiert werden muss, um die gewünschte Feuchte im System zu erreichen.

3.3.4 Faktor c für den Feuchtegehalt der hygroskopischen Packhilfsmittel und Packgüter

Der Faktor c steht für die zu adsorbierende Wassermasse. In der DIN wird der Wert für Holz, Pappe und organische Polsterstoffe mit 80 g/kg angegeben. Die Herkunft dieses Wertes wird nicht genauer erläutert, so dass kein Anwender die Gültigkeit dieses Wertes auf einfache Art überprüfen kann. Daraus resultiert, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit auf den Wert in der DIN zurückgegriffen wird ohne, den Geltungsbereich genauer zu prüfen.

Der Wert c ergibt sich aus den Holzgleichgewichtsfeuchten mit der Umgebung. Dargestellt wird der Zusammenhang in dem Keylwerth-Diagramm (siehe Anhang 6)

Wie in der DIN beschrieben ist in dem Diagramm zu erkennen, dass das Holzfeuchtegleichgewicht Ugl. bei 20°C und 85 % rel. Feuchte bei 18 % liegt. Bei konstanter Temperatur und einer angestrebten relativen Feuchte von ca. 40 % innerhalb der Packung sinkt das Holzfeuchtegleichgewicht auf ca. 7,7%. Die Differenz beträgt also 10,2%.
Zur Berechnung der Wassermasse wird erneut die Gleichung 2 benötigt.
Bezogen auf 1kg Feuchtholz ergeben sich folgende Werte.

18 % Holzfeuchte ⇒ 0,847 kg Holz und 0,153 kg Wasser
7,7% Holzfeuchte ⇒ 0,928 kg Holz und 0,072 kg Wasser

Die Differenz der beiden Wassermassen beträgt:

0,153 kg - 0,072 kg = 0,081 kg oder 81 g.

Betrachtet man das Diagramm genauer, so stellt man fest, dass der Faktor von 80 g/kg relativ gut die tatsächliche zu adsorbierende Wassermasse beschreibt, sofern die Reduzierung der Luftfeuchtigkeit nahezu isotherm verläuft.

Wird Holz verwendet, dass z.B. im Herbst bei einem Klima von 10°C und einer Luftfeuchte von ca. 90% gelagert wurde, so strebt dieses Holz ein Holzfeuchtegleichgewicht von ca. 21% an (vgl. Keywerth-Diagramm im Anhang). Wenn dieses Holz zur Ladungssicherung innerhalb von Trockenmittelsystemen eingesetzt und dann in tropische Gebiete versand wird, so stellt sich beispielsweise bei 40°C und 40% Feuchte eine Gleichgewichtsfeuchte von 7% ein.
Die zu adsorbierende Wassermasse beträgt dann bezogen auf 1 kg Feuchtholz:

21 % Holzfeuchte ⇒ 0,826 kg Holz und 0,174 kg Wasser
7% Holzfeuchte ⇒ 0,934 kg Holz und 0,066 kg Wasser

0,174 kg - 0,066 kg = 0,108 kg oder 108 g

Die Steigerung von 81g auf 108g zu adsorbierendes Wasser je 1 kg Feuchtholz entspricht einer Steigerung von ca. 33%, die zwingend bei der Auslegung eines Systems der Trockenmittelmethode zu berücksichtigen ist.

3.3.5 Oberfläche A der Sperrschichthülle

Die Oberfläche der Sperrschichthülle, ist eine relativ einfach zu bestimmender Wert. Hierbei wird die Oberfläche der Kiste gleich der Oberfläche der Sperrschichthülle gesetzt. Die meist einfache Geometrie bereitet keine Probleme.

3.3.6 Korrekturfaktor e bezogen auf die zulässige Endfeuchte

Der Korrekturfaktor e berücksichtigt das bei der Ermittlung der WDD der Sperrschichtfolien deren Wirkung gegen eine Atmosphäre von 0% rel. Feuchte ermittelt wird. Wenn innerhalb des Versandsystems eine Endfeuchte von 40% herrschen soll, ist laut DIN 55474 mit dem Faktor e = 0,7 zu rechnen.
Inwieweit dieser Faktor sinnvoll ist, besonders bei Einsatz der Trockenmittelmethode unter extremen klimatischen Bedingungen, ist zu diskutieren. Untersuchungen an realen Packstücken haben gezeigt, dass bei einer angestrebten Endfeuchte von 40% die tatsächlich vorhandene Luftfeuchte innerhalb der Sperrschichthülle kurz nach dem Verschließen der Hülle weit unter dem angestrebten Endfeuchte liegt. Dieses Verhalten deckt sich mit der Überlegung, dass ein effektiv ausgelegtes System zum Ende seiner vorgegebenen Transportzeit über keine Reserven mehr verfügt und somit die angestrebte Endfeuchte erreicht. Das bedeutet allerdings auch, dass bis zu diesem Punkt das System quasi überdimensioniert ist, was sich darin äußern muss, dass die relative Luftfeuchtigkeit innerhalb des Systems geringer ist, als die angestrebte Endfeuchte. Somit ist aber auch, vorrangig zu Beginn des Versandes, das Feuchtegefälle zwischen Innen- und Außenseite der Sperrschichthülle sehr groß. Das absolute Gefälle ist abhängig von der Umgebung.

3.3.7 Wasserdampfdurchlässigkeit WDD der Sperrschichthülle für das zu erwartende Klima

Die Wasserdampfdurchlässigkeit der Sperrschichthülle wird gemessen nach DIN 53122-1 Gravimetriesches-Verfahren oder DIN 53122-2 Elektrolyse-Verfahren.
In der DIN 55474 sind Beispielwerte für Sperrschichtfolien angegeben mit dem Hinweis die Herstellerangaben zu beachten.

Art der Sperrschichtfolie	WDD bei Prüfklima	
	20/85	38/90
LD-Pe-Folie min 0,2 mm dick DIN 55530	0,4	2,0
Al-Verbundfolie DIN 55531	<0,1	0,1

Vor allem bei den Pe-Folien ist eine große Differenz zwischen den beiden angegebenen Werten zu erkennen. Für den Anwender besteht nun die Schwierigkeit, dass er sich für ein Klima bei der Auslegung seines Systems entscheiden muss.

3.3.8 gesamte Transport- und Lagerdauer t

Die gesamt Transport- und Lagerdauer wird vom Versender vorgegeben. Sie sollte immer nach den Worst Case Fall bemessen werden.

3.3.9 je Trockenmitteleinheit aufnehmbare Wassermenge a entsprechend der zulässigen maximalen Luftfeuchte in der Packung

Der Faktor a ist tabellarisch in der DIN 55474 dargestellt.

zul. Endfeuchte	20%	40%	50 %	60%
Faktor a	3	6	7	8

4. Ermittlung extremer klimatischer Belastungen

Für die Ermittlung der extremen klimatischen Belastungen wurde eine fiktive Reise von CKD-Teilen von Dresden nach Peking betrachtet. Mit Hilfe von Daten und Messungen des Deutschen Wetterdienstes wurde der gesamte Streckenverlauf temperaturmäßig erfasst. Es wurden in einer Jahresübersicht für den gesamten Streckenverlauf die Tagesmittel-, die Außentemperatur sowie die daraus abgeleiteten Temperaturverhältnisse der Innentemperatur im Standardcontainer in Wandnähe erfasst und in Tabellen dargestellt. Gleiche Vorgehensweisen sind für jeden möglichen Reiseverlauf durchführbar.

4.1 Datenbasis für einen fiktiven Reiseverlauf

Den in den folgenden Tabellen enthaltenen Werten liegen verschiedene Quellen zu Grunde. Für die Städte wurden die klimatologischen Werte der jeweiligen Messstationen verwendet. Für die Seegebiete wurden langjährige Auswertungen von Schiffswetterbeobachtungen herangezogen. Die Zusammenstellung von Land- und Seepositionen folgen dem logischen Verlauf der Reise von Europa nach Fernost.
Es wurden markante Punkte gewählt, um Schwerpunkte der Temperaturbelastung im Reiseverlauf deutlich zu machen.

Die effektive Temperaturbelastung der Packstücke ergibt sich dann durch den Punktwert der Temperatur und der Verweildauer des Packstücks.
In der Tabelle 1 werden die mittleren Temperaturverhältnisse beschrieben (Tagesmittel der Außentemperatur im jeweiligen Monat). Für die Landstationen sind

die Klimawerte in Zehntelgrad angegeben, während für die Seegebiete ein integrales gerundetes Mittel (Flächenmittel) verwendet wurde.
In der Tabelle 2 wurden die mittleren Temperaturverhältnisse aus Tabelle 1 mit Ergebnissen von weiteren Untersuchungen des Deutschen Wetterdienstes kombiniert, um eine Aussage über die mittleren Temperaturgänge im Inneren in Wandnähe eines Standard Containers zu erhalten. Die Werte beziehen sich auf die folgenden ungünstigen Umgebungsbedingungen:

- Maximal mögliche Sonnenbestrahlung senkrecht zur Containerwand.
- Schwacher Wind unter 5 Knoten.

Die in Tabelle 2 aufgeführten Daten zeigen den Reiseverlauf, sowie die im Jahresverlauf auftretenden minimalen und maximalen Containerinnentemperaturen im Wandbereich. Der Reiseverlauf ist typisch für einen Versand nach Fernost und erfasst die theoretisch max. möglichen Temperaturen eines Seetransportes. Diese Temperaturen treten im Juli – August im Fahrbereich „Rotes Meer“ auf und decken , was die Höhe anbetrifft, alle anderen möglichen Transportrouten ab.

Für eine Ableitung von extremen klimatischen Belastungen bei der Auslegung von Systemen auf Basis der Trockenmittelmethode lassen sich anhand der Werte in Tabelle 2 folgende Grenzen definieren:

- Die Umgebungstemperatur kann für Reiseverläufe individuell entsprechend Tabelle 1 ermittelt werden. Will man ein System für alle möglichen Reiseverläufe und Reisezeiten abdecken, so ist gemäß Tabelle 2 mit Temperaturen von bis zu 50°C in Wandnähe eines Containers zu rechnen. Dieser Wandnahe Bereich ist gleichzeitig der relevante Bereich, da sich hier in der Regel die Sperrschichthülle befindet.
- Die zweite Einwirkgröße ist die relative Luftfeuchtigkeit der Umgebungsluft. In den Tabellen 1 und 2 werden keine Werte über die Luftfeuchtigkeit der Umgebung angegeben. Bei einem Seeversand mit tropischem Ziel ist allerdings mit einer ständigen hohen Luftfeuchtigkeit innerhalb eines Containers oder einer Holzkiste zu rechnen.

Tabelle 1:

Route: Dresden über Hamburg nach Südostasien

Mittlere Temperaturverhältnisse, Tagesmittel der Außentemperatur (in °C). Maximalwerte je Gebiet innerhalb des Jahres sind fett gedruckt

Gebiet / Monat	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUNI	JULI	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
Dresden	-0.8	0.0	3.5	7.8	13.1	16.0	**17.8**	17.0	13.8	8.7	3.6	0.3
Hamburg	0.9	1.6	4.4	8.1	13.1	16.4	**17.6**	**17.6**	14.4	10.4	5.6	2.4
Deutsche Bucht	4	3	4	7	11	14	16	**17**	15	12	8	6
Kanal	6	5	6	8	11	14	16	**17**	15	13	10	7
Biskaya	11	10	10	11	13	15	17	**18**	17	15	13	11
Vor Gibraltar	14	14	15	16	17	19	20	**21**	**21**	19	17	15
Westliches Mittelmeer	14	14	14	16	18	21	24	**25**	24	21	17	15
Östliches Mittelmeer	15	15	16	17	20	23	25	**26**	25	22	20	17
Suez-Kanal	14	15	17	21	25	28	**29**	**29**	27	24	20	16
Rotes Meer, Nordteil	21	21	22	24	26	28	29	**30**	29	27	25	22
Rotes Meer, Südteil	26	26	26	28	30	31	**32**	**32**	31	31	28	27
Golf von Aden	25	25	26	28	30	**31**	**31**	30	30	28	27	25
Arabisches Meer (10-15°N)	26	26	27	28	**29**	28	27	27	27	27	27	26
Indischer Ozean bis 75E	27	28	28	**29**	**29**	28	28	28	28	28	28	28
Indischer Ozean ab 75E	27	28	28	**29**	28	28	28	28	27	27	27	27
Südchinesisches Meer	26	26	27	28	**29**	29	28	28	28	28	27	26
Ostchinesisches Meer (Taiwan)	9	10	12	15	19	22	26	**27**	25	21	17	12
Shanghai	3.7	4.6	8.5	14.2	19.2	23.4	**27.8**	27.7	23.6	18.3	12.4	6.1
Gelbes Meer	14	14	15	16	18	21	23	**24**	23	20	17	15
Peking (Beijing)	-4.3	-1.9	5.1	13.6	20.0	24.2	**25.9**	24.6	19.6	12.7	4.3	-2.2

Tabelle 2:

Route: Dresden über Hamburg nach Südostasien

Aus Anlage A abgeleitete Temperaturverhältnisse der Innentemperaturen (5°C-Stufen), im Standard-Container, Wandnähe

Maximalwerte je Gebiet innerhalb des Jahres sind fett gedruckt

Gebiet / Monat	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUNI	JULI	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
Dresden	-5..15	-5..15	-5..20	0..25	5..35	10..40	**10..45**	10..40	10..35	5..35	0..30	-5..20
Hamburg	-5..15	-5..15	0..20	0..25	5..30	**10..40**	**10..40**	**10..40**	10..35	5..35	0..30	0..15
Deutsche Bucht	0..10	0..10	0..10	0..15	5..20	10..25	15..30	**15..35**	15..30	10..30	5..25	5..20
Kanal	0..10	0..10	0..10	0..15	5..20	10..25	**15..35**	**15..35**	15..30	10..30	5..25	5..20
Biskaya	5..25	5..25	5..25	5..30	10..35	10..35	10..35	**15..40**	15..35	10..35	5..30	5..25
Vor Gibraltar	10..40	10..40	10..40	15..40	15..45	15..45	20..45	**20..45**	**20..45**	15..40	15..40	10..40
Westliches Mittelmeer	10..40	10..40	10..40	15..40	15..45	20..45	20..45	**20..45**	**20..45**	15..40	15..40	10..40
Östliches Mittelmeer	10..40	10..40	10..40	15..40	15..45	20..45	20..45	**20..45**	**20..45**	15..40	15..40	10..40
Suez-Kanal	5..40	5..40	10..45	10..45	15..50	20..50	**20..50**	**20..50**	20..45	15..45	10..40	10..40
Rotes Meer, Nordteil	15..35	15..35	20..35	20..40	25..40	25..45	**25..50**	**25..50**	25..45	25..40	20..40	20..40
Rotes Meer, Südteil	20..40	20..40	25..40	25..45	25..45	25..50	**30..50**	**30..50**	30..45	25..45	25..45	25..40
Golf von Aden	20..40	20..40	25..40	25..45	25..45	30..45	**30..50**	25..45	25..45	25..45	25..40	20..40
Arabisches Meer (10-15°N)	20..40	20..40	20..40	25..45	25..45	25..45	25..45	25..45	**30..45**	25..40	25..40	20..40
Indischer Ozean bis 75E	25..40	25..40	25..45	25..45	25..45	**25..45**	**25..45**	**25..45**	**25..45**	25..45	25..45	25..45
Indischer Ozean ab 75E	25..40	25..40	25..45	25..45	25..45	**25..45**	**25..45**	**25..45**	**25..45**	25..45	25..45	25..45
Südchinesisches Meer	20..45	20..45	20..45	20..45	20..45	**20..45**	**20..45**	**20..45**	**20..45**	20..45	20..45	20..45
Ostchinesisches Meer (Taiwan)	5..25	5..25	5..25	10..30	15..35	20..40	20..45	**25..45**	20..40	15..40	10..35	5..30
Shanghai	0..25	0..25	5..25	5..30	10..35	20..40	**20..45**	**20..45**	**20..45**	15..40	5..35	0..30
Gelbes Meer	10..25	10..25	10..25	15..30	15..35	**20..40**	**20..40**	**20..40**	15..35	15..30	15..30	10..25
Peking (Bejing)	-10..20	-10..25	-5..30	0..35	10..40	15..45	**20..45**	**20..45**	10..40	5..35	-5..25	-10..20

♦

4.2 Fazit:

Bei der Berechnung eines geschlossenen System nach der Trockenmittelmethode ist für den Versand unter extremen klimatischen Bedingungen mit einer Temperatur von bis zu 50 °C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 90 % auszugehen.
Da

5 Ermittlung der Adsorptionisothermen

Für die Beurteilung eines geschlossenen Systems nach der Trockenmittelmethode geschützt, fehlen beim Einsatz in Extremklimata die physikalischen Grunddaten, wie z.B. erweiterte Adsorp-tionsisothermen von Trockenmitteln und hygroskopischen Packstoffen über die gesamte in der Praxis auftretende Temperaturspanne und Luftfeuchte.
Die Wasseraufnahme der Trockenmittel über der Zeit ist abhängig von der Anzahl der Trockenmitteleinheiten im geschlossenen System und der Größe der verwendeten Trockenmittelbeutel. Die Berechnungen basieren auf den Wasserdampfisothermen unverpackter Trockenmittel und gelten für Temperaturen von 23 °C, Temperaturspannen/ -änderungen werden nicht berücksichtigt.

Das Vorhaben soll eine bessere Bewertung der Einflußgrößen dieses Systems bringen, besonders beim Einsatz in Extremklimata.

Ziel des Vorhabens ist die Verifizierung des bisherigen Systemverhaltens der Trockenmittelmethode unter extrem klimatischen Bedingungen. Hierzu sind Messungen an verschiedenen Trockenmitteln (verschiedene Lieferanten) sowie an hygroskopischen Packstoffen (Wellpappe unterschiedlicher Wellenanzahl) durchgeführt.

Zu diesem Zweck war es erforderlich eine Wägeeinrichtung zu entwickeln, die es ermöglicht ohne äußeren Eingriff bei gleichzeitiger Einhaltung einer statistischen Sicherheit der Messergebnisse (mehrere gleiche Einzelproben) Ergebnisse zu bekommen.

5.1 Entwicklung einer Wägeeinrichtung

Bei der Ermittlung der Adsorptionsgeschwindigkeit entstehen Messfehler durch die bisher erforderliche Entnahme der klimatisierten Proben aus der Klimakammer zum Zweck der Wägung. Um das Problem zu lösen, wurde zuerst eine Wägeeinrichtung

entwickelt, mit der die Proben in der Klimakammer ohne äußere Einflüsse gewogen werden können.

Die Einrichtung besteht aus einem Drehtisch in Kombination mit einer Wägezelle. Zehn Schalen zur Probenaufnahme können auf dem Drehtisch platziert werden. Ein pneumatischer Antrieb dreht schrittweise den Tisch mit den Proben. Nach jeder Teildrehung fährt ein Hubzylinder, auf dem eine Plattformwägezelle montiert ist, hoch und wägt die entsprechende Schale. Die Steuerung, sowie die Messwerterfassung erfolgt durch ein PC-gestütztes System. Dieses ermöglicht eine lückenlose Aufzeichnung der Wasseradsorption und ihrer Geschwindigkeit, ohne das Klima zu stören.

Die Entwicklung, der Bau und die Erprobung nahm einen Großteil der Zeit in Anspruch. Abbildung 1 zeigt die Wägeeinrichtung und das Meßsystem.

Abbildung 3: Wägeeinrichtung und mit dem geliehenen Meßsystem.

5.1.1 Der Drehtisch

Da nicht nur der Sättigungszustand untersucht werden soll, sondern auch die Zeitkonstante der Adsorption, entsteht ein großer Fehler durch die Entnahme der klimabeanspruchten Probe aus dem Klimaraum. Diese Entnahme war bislang notwendig, weil die handelsüblichen elektronischen Waagen nicht für einen Betrieb unter extremen Klimaeinflüssen ausgelegt sind, so dass die Gewichtsbestimmung in der Regel außerhalb der Klimakammer erfolgt. Läst sich eine Wägeeinrichtung auch im Inneren einer Klimakammer betreiben, so kann der Messfehler sehr gering

gehalten werden, da das Klima der Klimakammer nicht durch die Entnahme der Proben gestört wird. Gerade bei hohen Feuchten würde die Wiederherstellung des Klimas viel Zeit beanspruchen und es könnte somit nicht mehr von einer Prüfung im Konstantklima gesprochen werden.

Der Einsatzort der Wägeeinrichtung befindet sich somit im Inneren eines Klimaraumes, weshalb ein fernbedienter, von außen gesteuerter Betrieb sinnvoll erscheint. Dadurch werden die hauptsächlichen Fehlerquellen der Schalenmethode, vermieden.

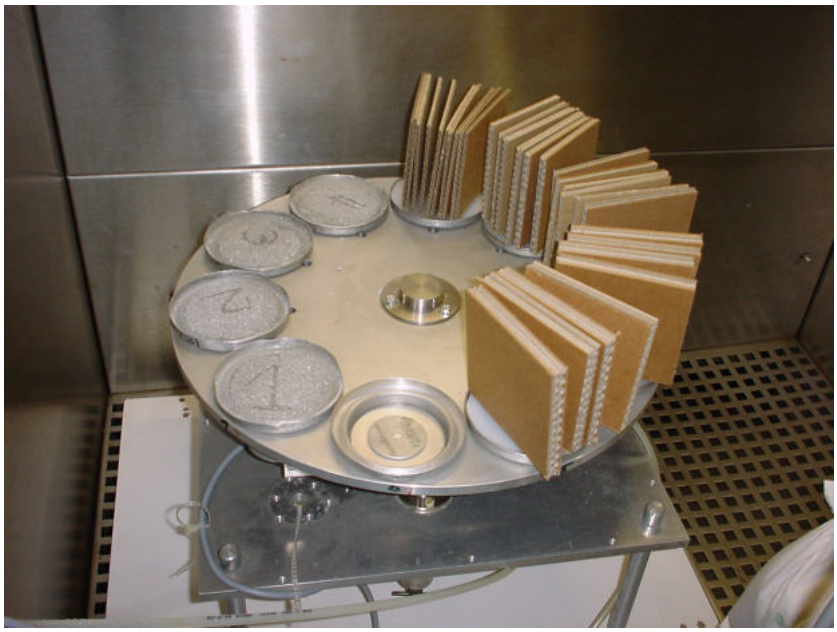
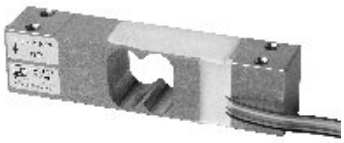


Abbildung 4: Der Drehtisch mit Probenschalen

Konstruktionszeichnungen des Drehtisches befinden sich im Anhang 7

Die Plattformwägezelle

Nennlast	*7,2kg*
Genauigkeitsklasse	*0,1 %, C3*
Zulassungen	*OIML*
Schutzart	*IP 65*
Material	*Aluminium*
Bemerkungen	*6-Leiter, geschirmt, EMV-geprüft*



Die Plattformwägezelle stammt von der Firma Hottinger und hat die Bezeichnung PW2F.
Die Wägezelle arbeitet mit Dehnungsmessstreifen. Die Grenzarbeitstemperatur liegt nach Angaben des Herstellers bei 40°C.
Zum Betrieb der Wägezellen wurde ein Messverstärker benötigt. Dem Institut wurde ein Spider8, ebenfalls von der Firma Hottinger leihweise zur Verfügung gestellt (vgl. Abbildung 3 unter dem Laptop)

Bei diesem Gerät handelt es sich um einen 8 Kanal Messverstärker zur gleichzeitigen Datenerfassung mit einer 16 Bit Auflösung. Die Vorversuche wurden mit diesem Gerät durchgeführt.
Die Auswertung der Vorversuche ergab, dass die Auflösung des Messverstärkers nicht groß genug war, um aussagefähige Messungen durchzuführen. Deshalb musste das Messverstärker durch ein sehr präzises Gerät ersetzt werden.
Die Forschungsstelle entschloss sich zu dem Kauf eines MGC-Plus Messverstärker-Systems (siehe Abbildung 5).

Dieses Gerät arbeitet mit einer 24 Bit Auflösung und erhöht signifikant die Aussagefähigkeit der Messwerte.

Abbildung 5: neues Messsystem

5.1.2 Die Steuerung

Gesteuert wird der Messsaufbau durch einen PC. Auf dem PC ist die Messwerterfassungssoftware DIAdem installiert, die wiederum mit dem Verstärkersystem MGC-Plus kommuniziert, welches neben der Datenerfassung ebenfalls über digitale Ausgänge verfügt. Mit Hilfe dieser digitalen Ausgänge werden Magnetventile gesteuert, die ihrerseits für die Luftzufuhr der Druckluftzylindern am Drehtisch zuständig sind.

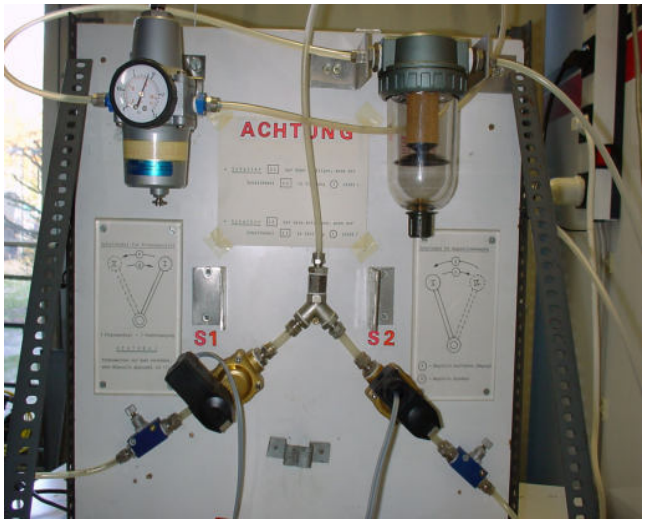


Abbildung 6: Steuerung der Magnetventile

Die Steuerung und Datenabfrage erfolgt mit Hilfe der Messwerterfassungssoftware. Ein eigens erstellter Schaltplan (vgl. Anlage 5) ist die Grundlage der Steuerung. Die Schwierigkeit bei der Programmierung bestand darin, dass die Messwerte der 10 untersuchten Schalen auf dem Drehtisch in jeweils 10 Messwertkanäle der

Datendatei geschrieben werden, obwohl zur Datenerfassung nur eine Messzelle verwendet wird.

Zusätzlich zu den Proben wurde eine Schale mit einem Kalibriergewicht überwacht. Dieses geschah, da die Messzelle eine Genauigkeit von 0,1% hatte. Bei dem Messbereich von 7.2 kg würde das eine Drift von 7,2 g erlauben. Damit diese Drift keinen Messfehler erzeugt, wird sie über das Kalibriergewicht mit aufgezeichnet und bei der Auswertung der Messdaten mit Hilfe von Autosequenzen herausgerechnet. Solch eine Automatisierung der Auswertung erfordert jedoch, dass die Messwertdateien alle den gleichen lückenlosen und homogenen Aufbau haben.

Leider kam es nach der Umstellung auf das MGC-Messsystem zu Treiberproblemen. Das führte dazu, das die Steuerung und die Datenerfassung unterbrochen wurden. Die Unterbrechungen führten dazu, dass eine Messung aus mehreren Dateien bestand, die im Anschluss manuell zusammengesetzt werden mussten. Anhand von Aufzeichnungen konnten die Fehlzeiten mit berücksichtigt werden. Durch die Lücken in den Dateien mussten die Autosequenzen ständig angepasst werden, was mit hohem Zeitaufwand verbunden war.
Die Treiberproblem konnten erst nach intensiver längerer Fehlersuche in Zusammenarbeit mit National Instruments und Hottinger behoben werden.

5.2 Ergebnisse

Untersucht wurden 2 Trockenmittel, und 3 Wellpappen.

Prüfmuster 1:

Firma:	Flöter
Produktbezeichnung:	Climagel
Trockenmittel:	Tonerde

Prüfmuster 2:

Firma:	Südchemie
Produktbezeichnung:	Propack
Trockenmittel:	Tonerde

Prüfmuster 3: Wellpappe einwellig

Prüfmuster 4: Wellpappe zweiwellig

Prüfmuster 5: Wellpappe dreiwellig

Die Prüfmuster wurden den folgenden klimatischen Zuständen ausgesetzt.
Trockenmittel / hygroskopische Packhilfsmittel (Pappe)

Tabelle 3: Klimabedingungen der Untersuchungen

Temperatur	Relative Luftfeuchte			
	40%	60%	80%	90%
15 °C	—	—	•	•
23 °C	•	•	•	•
30 °C	•	•	•	•
40 °C	•	•	•	•

Ziel der Untersuchungen war es die Temperaturabhängigkeit der Adsorptionsisotherm zu ermitteln, da Hersteller- und Literaturangaben sich in Regel auf einen Temperaturbereich von 20 – 25 °C beschränken.

Die folgenden Tabellen zeigen die prozentuale Wasseraufnahme der Trockenmittel bezogen auf deren Eigengewicht im Sättigungszustand des jeweiligen Klimas.

Tabelle 4: Sättigungszustände Prüfmuster 1 in %

Feuchte\ Temperatur	15 °C	23 °C	30 °C	40 °C
40%		14	14,2	13,3
60%		16,8	17,6	18,5
80%	22,4	22,5	22,4	22,5
90%	25,5	27,5	27,8	26,5

Tabelle 5: Sättigungszustände Prüfmuster 2 in %

Feuchte\ Temperatur	15 °C	23 °C	30 °C	40 °C
40%		14,9	14,9	13,8
60%		16,5	18,2	18,3
80%	23,5	23,8	24,3	23,7
90%	26,3	27,3	27,1	26,7

Tabelle 6: Sättigungszustände Prüfmuster 3 in %

Feuchte\ Temperatur	15 °C	23 °C	30 °C	40 °C
40%		4,6	4,6	3,4
60%		6,2	7,5	6,77
80%	10,7	9,2	11,05	10,84
90%	13	13,9	15,3	12,5

Tabelle 7: Sättigungszustände Prüfmuster 4 in %

Feuchte\ Temperatur	15 °C	23 °C	30 °C	40 °C
40%		4,6	4,7	3,9
60%		6,2	7,2	6,7
80%	10,2	9,3	11,1	10,47
90%	13	14,7	15,3	14,5

Tabelle 8: Sättigungszustände Prüfmuster 5 in %

Feuchte\ Temperatur	15 °C	23 °C	30 °C	40 °C
40%		4,8	4,7	4,2
60%		7,1	7,5	7,4
80%	11,3	10,5	11,3	11,4
90%	14,2	14,7	15,8	14,7

Die Grafiken zeigt die Sorptionsisothermen der Prüfmuster 1 und 5.

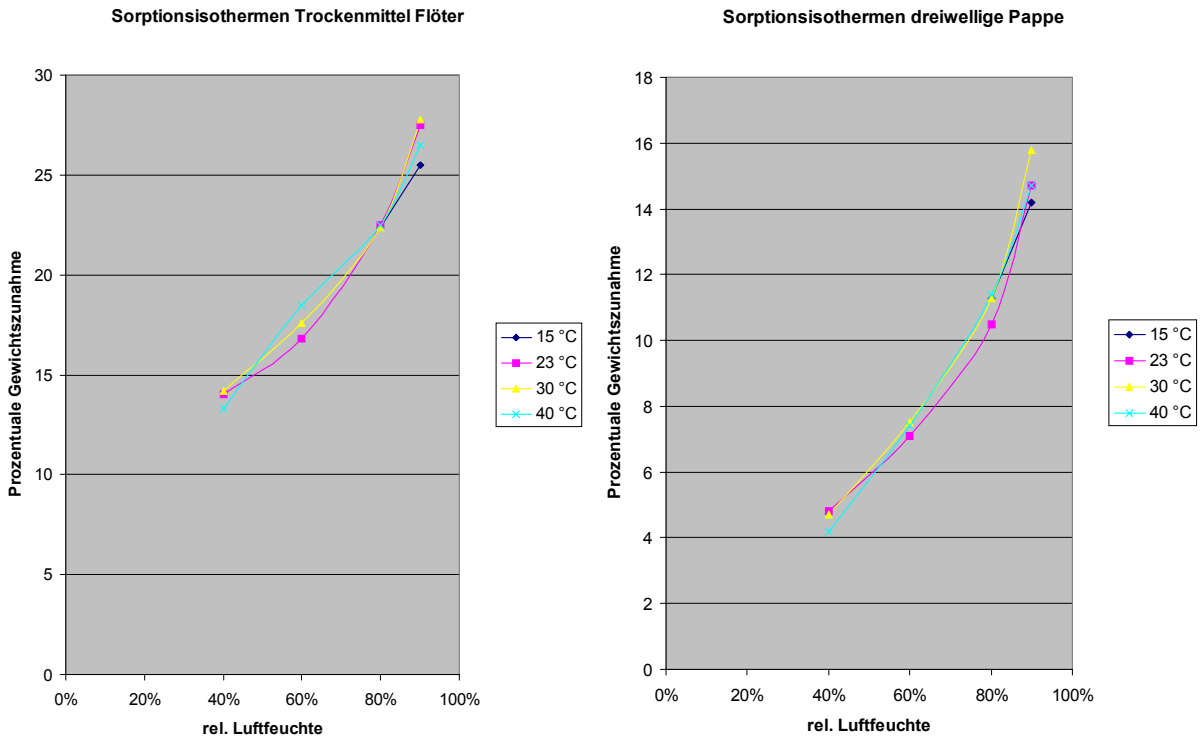


Abbildung 7: Sorptionsisothermen der Prüfmuster 1 und 5.

Die vergrößerte Ansicht der Sorptionsisothermen befindet sich im Anhang 2 dieses Berichtes.

Die aufgezeichneten Sorptionsisothermen lassen keinen signifikanten Einfluss der Temperatur auf den Sättigungszustand der Trockenmittel oder dem hygroskopischen Packhilfsmitte erkennen.
Anders verhält es sich mit den Reaktionsgeschwindigkeiten. Hierbei sind teilweise erhebliche Differenzen in der Reaktionsgeschwindigkeit zu erkennen.
Eine Adsorption ist eine Reaktion, bei der ein Stoff bestrebt ist, einen nicht vorhandenen Gleichgewichtszustand mit seiner Umgebung auszugleichen. Die Geschwindigkeit mit der das geschieht ist im starken Maß abhängig, von dem Abstand, den der Stoff von seinem Sättigungszustand hat. Mit steigender Annäherung an diesen Sättigungszustand sinkt die Reaktionsgeschwindigkeit, wodurch der genaue Sättigungszeitpunkt nicht eindeutig bestimmt werden kann.

Um dennoch eine Aussage über die Reaktionsgeschwindigkeit zu machen, kann der Adsorptionsprozess näherungsweise als ein Verzögerungsglied erster Ordnung betrachtet werden. Abbildung 8 zeigt das Verhalten von Verzögerungsgliedern erster Ordnung

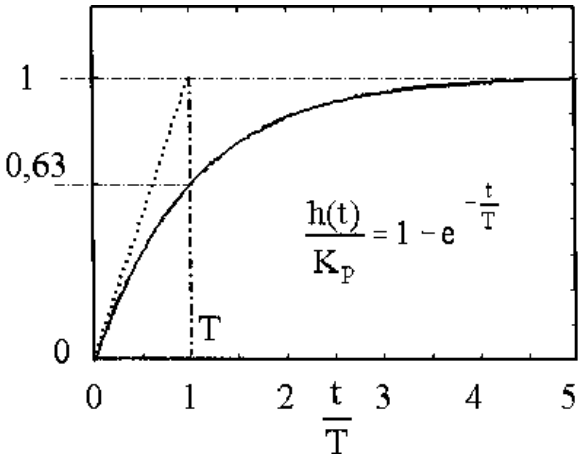


Abbildung 8: Grafische Darstellung eines Verzögerungsgliedes erster Ordnung

Auf der y-Achse wird der Grad der Sättigung von 0 bis 1 bzw. von 0 bis 100% gezeigt. Die X-Achse zeigt das Verhältnis aus der Zeit t und der Zeitkonstante T. Wenn das Verhältnis beiden =1 wird, dann ist immer die Sättigung zu 63% abgeschlossen. Dieser Zeitpunkt läst sich problemlos ermitteln und liefert ein direkten Bezug zur Sättigungszeit.

In den folgenden Tabellen werden die Zeitkonstanten der einzelnen Prüfmuster gezeigt.

Tabelle 9: Zeitkonstanten Prüfmuster 1 in Stunden

Temp\Feuchte	40 % rel F	60 % rel F	80 % rel F	90 % rel F
15 °C			41,8 Std	47,6 Std
23 °C	29,0 Std	20,9 Std	28,8 Std	31,2 Std
30 °C	21,1 Std	22,2 Std	17,9 Std	20,1 Std
40 °C	11,3 Std	10,9 Std	12,6 Std	14,5 Std

Tabelle 10: Zeitkonstanten Prüfmuster 2 in Stunden

Temp\Feuchte	40 % rel F	60 % rel F	80 % rel F	90 % rel F
15 °C			43,5 Std	46,5 Std
23 °C	26,3 Std	27,4 Std	30,1 Std	31,2 Std
30 °C	26,6 Std	20,5 Std	15,0 Std	20,0 Std
40 °C	16,5 Std	10,8 Std	13,0 Std	14,3 Std

Tabelle 11: Zeitkonstanten Prüfmuster 3 in Stunden

Temp\Feuchte	40 % rel F	60 % rel F	80 % rel F	90 % rel F
15 °C			41,8 Std	47,6 Std
23 °C	29,0 Std	20,9 Std	28,8 Std	31,2 Std
30 °C	21,1 Std	22,2 Std	17,9 Std	20,1 Std
40 °C	11,3 Std	10,9 Std	12,6 Std	14,5 Std

Tabelle 12: Zeitkonstanten Prüfmuster 4 in Stunden

Temp\Feuchte	40 % rel F	60 % rel F	80 % rel F	90 % rel F
15 °C			1,63 Std	1,94 Std
23 °C	0,55 Std	0,88 Std	1,04 Std	1,75 Std
30 °C	0,64 Std	0,81 Std	0,94 Std	1,21 Std
40 °C	0,48 Std	0,34 Std	0,59 Std	0,95 Std

Tabelle 13: Zeitkonstanten Prüfmuster 5 in Stunden

Temp\Feuchte	40 % rel F	60 % rel F	80 % rel F	90 % rel F
15 °C			2,84 Std	3,60 Std
23 °C	1,15 Std	1,58 Std	2,10 Std	3,10 Std
30 °C	1,20 Std	1,05 Std	1,74 Std	2,32 Std
40 °C	0,86 Std	0,74 Std	0,88 Std	1,52 Std

Die grafische Darstellung der Zeitkonstanten befindet sich im Anhang 3.

Alle Werte der Zeitkonstanten zeigen allerdings nur eine Tendenz ihres materialspezifischen Verhaltens. Die Messungen wurden an Trocknmittel vorgenommen, dass sich außerhalb eines Beutels in einer Probenschale befand bzw. an Wellpappeproben mit den Abmessungen von 100 x 100 mm. Es handelt sich somit um geringe Probemassen, die dem Luftstrom in der Klimakammer ideal ausgesetzt waren.

Abbildung 9: Bilder der Prüflinge

Um den Einfluss der Beutelgrößen auf die Adsorptionsgeschwindigkeit zu untersuchen, wurden Trockenmittelbeutel mit 8, 16 und 32 Einheiten parallel zu Prüfmustern 1 – 5 untersucht. Alle Prüfmuster befanden sich in der gleichen Klimakammer unteren gleichen Bedingungen. Die Trockenmittelbeutel hingen frei im Luftstrom der Klimaklammer.

Durch einen Vergleich der Zeitkonstanten der Trockenmittelbeutel mit den Werten des Prüfmusters 2, läst sich sehr schön der Einfluss der Gebindegröße erkennen.

Tabelle 12: Zeitkonstanten Propack 8 Einheiten in Stunden

Temp\Feuchte	40 % rel F	60 % rel F	80 % rel F	90 % rel F
15 °C			42,1 Std	43,3 Std
23 °C	29,1 Std	27,5 Std	27,8 Std	28,1 Std
30 °C	28,8 Std	21,3 Std	21,6 Std	24,0 Std
40 °C	16,4 Std	13,8 Std	16,9 Std	17,4 Std

Tabelle 13: Zeitkonstanten Propack 16 Einheiten in Stunden

Temp\Feuchte	40 % rel F	60 % rel F	80 % rel F	90 % rel F
15 °C			64,3 Std	74,1 Std
23 °C	40,2 Std	39,6 Std	43,8 Std	46,1 Std
30 °C	40,4 Std	29,4 Std	34,8 Std	38,6 Std
40 °C	22,8 Std	20,0 Std	22,5 Std	25,8 Std

Tabelle 14: Zeitkonstanten Propack 32 Einheiten in Stunden

Temp\Feuchte	40 % rel F	60 % rel F	80 % rel F	90 % rel F
15 °C			90,8 Std	104,0 Std
23 °C	55,5 Std	54,2 Std	60,1 Std	71,1 Std
30 °C	55,8 Std	40,7 Std	41,9 Std	56,9 Std
40 °C	28,3 Std	29,7 Std	30,8 Std	36,8 Std

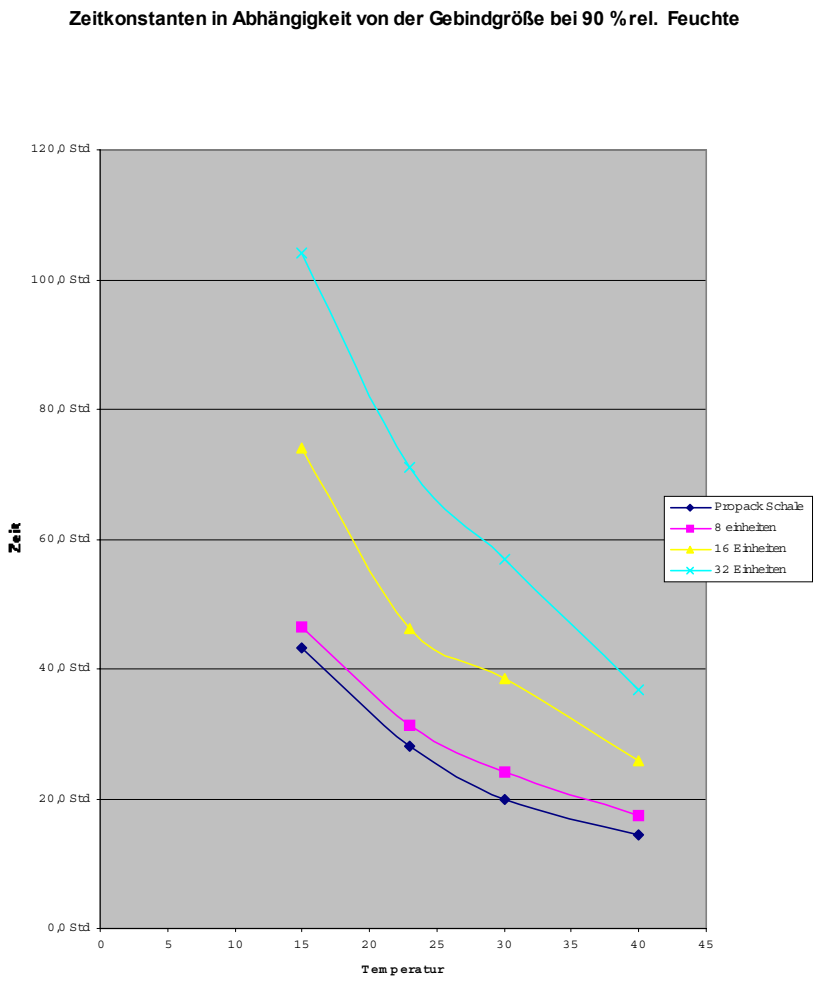


Abbildung 10: Vergleich der Zeitkonstanten in Abhängigkeit von der Gebindegröße

6 Bestimmung der WDD

Die Bestimmung der Wasserdampfdiffusion erfolgt gemäß der DIN-Normen 53122 Teil1 Gravimetriesches-Verfahren oder DIN 53122 Teil 2 Elektrolyse-Verfahren.

6.1 Das Elektrolyse-Verfahren

Bei einer Elektrolyse wird Wasser bzw. Wasserdampf mit Hilfe eines Gleichstroms in seine Einzelkomponenten Wasserstoff und Sauerstoff zersetzt.
Für die Messung der Wasserdampfdurchlässigkeit wird eine Probe der zu untersuchenden Folie auf einer Elektrolysezelle eingespannt und trennt die Elektrolysezelle von der Atmosphäre der Klimakammer ab, in der die Prüfung bei einem vorgegebenen Prüfklima erfolgt. Nachdem der anfangs mit eingeschlossenen Wasserdampf durch Elektrolyse zersetzt worden ist, gleicht sich der Elektolysstrom einen konstanten Wert an. Dieser ist ein Maß für die je Zeitabschnitt permeierte Wasserdampfmenge.
Dieses Prüfverfahren eignet sich besonders für die Messung von Aluminium-Verbundfolien, da diese eine sehr geringe WDD besitzen.
Die Nachteile dieses Prüfverfahrens liegen allerdings in der relativ kleinen Probenfläche von 0,01 m^2. Undichtigkeiten, die beim Einspannen entstehen können, haben großen Einfluss auf das Messergebnis.

6.2 Das Gravimetrische-Verfahren

Beim Gravimetrischen-Verfahren wird eine mit Adsorptionsmittel gefüllte Schale mit der zu untersuchenden Folie verschlossen. Als Dichtungsmittel dient Wachs. Die Schale wird einem definierten Prüfklima ausgesetzt und in regelmäßigen Abständen gewogen, um die Gewichtszunahme zu ermitteln.
Auch bei diesem Verfahren wird relativ kleinen Proben gemessen.

Für das Forschungsprojekt ist mit einer abgewandelten Form dieses Prüfverfahrens gearbeitet worden. Um Fehler durch die Abdichtung zu vermeiden und um mit größeren Probenflächen zu arbeiten, wurde das Trockenmittel direkt in die Folie mit den in der Praxis verwendeten Schweißzangen eingeschweißt. Außerdem werden so die in der Praxis vorkommenden Siegelnähte mit berücksichtigt.

6.3 Prüfungen und Ergebnisse

Für die Prüfungen standen folgende Prüfmuster zur Verfügung.

Prüfmuster 6:

Produkt: Aluminium-Verbundfolie
Firma: Knüppel
Dicke: 0.104 mm

Prüfmuster 7:

Produkt: Aluminium-Verbundfolie
Firma: Brangs-Heinrich
Dicke: 0.107 mm

Prüfmuster 8:

Produkt: Pe-Folie
Firma: Knüppel
Dicke: 0.183 mm

Prüfmuster 9:

Produkt: Pe-Folie
Firma: Lenzing
Dicke: 0.104 mm

Im ersten Schritt wurden die WDD-Werte der einzelnen Prüfmuster entsprechend der DIN 53122 bestimmt. Die Tabelle 15 zeigt die Werte.

Tabelle 15: Wasserdampfdiffusion der Prüfmuster in g/m^2*d gemessen nach DIN 53122 Teil 2

Klima	Pe Knüppel	Al Knüppel	Pe Lenzing	Al Brangs-Hein.
40°C / 60%	1,57	0,043	1,68	0,062
40°C / 90%	2,4	0,046	3,45	0,047

Tabelle 16: Wasserdampfdiffusion der Prüfmuster in g/m^2*d gemessen nach DIN 53122 Teil 1

Klima	Pe Knüppel	Pe Lenzing
40°C / 60%	1,96	2,1
40°C / 90%	2,6	3,65

Die Tabellen 15 und 16 zeigen die Differenzen in den Messergebnissen der beiden Prüfverfahren. Dabei wird deutlich, dass die Werte des abgewandelten Gravimetrischen-Verfahrens größer sind als die des Elektrolyse-Verfahrens. Hieraus wird der Einfluss der Siegelnähte deutlich erkennbar.
Somit erscheint es sinnvoll Reihenversuche zu starten, um einen Faktor für die Berücksichtigung der Siegelnahtlänge je Quadratmeter Folie einzuführen. Dagegen spricht jedoch die Tatsache, das nicht alle Siegelnähte mit der gleichen Güte ausgeführt werden und somit auch nicht über die gleichen Eigenschaften (Dichtigkeit) verfügen können.
Zur Überprüfung der Siegelnähte wurden die Reißfestigkeiten der Folien mit und ohne Siegelnähte ermittelt. Aus diesem Werten ergibt sich die Schweißnahtgüte, die in erster Näherung als ein Maß für die Dichtigkeit betrachtet werden kann.

Tabelle 17: Schweißnahtgüte der Prüfmuster

Prüfrichtung	Pe Knüppel	Al Knüppel	Pe Lenzing	Al Brangs-Hein.
Längsrichtung	0,51	0,67	0,47	0,28
Querrichtung	0,57	0,66	0,41	0,37

Die Werte in Tabelle 17 zeigen relativ große Differenzen in der Schweißnahtgüte, obwohl die vergleichbaren Siegelnähte mit der selben Siegelwerkzeugen von derselben Person unmittelbar nacheinander ausgeführt worden sind. Somit ist auch ein Faktor, der die Siegelnahtlänge je Quadratmeter Sperrschichtfolie berücksichtigt sehr schwer zu handhaben und würde weder zu einer Vereinfachung noch einer Verbesserung des Berechnungsverfahrens beitragen.

Zur Untersuchung des Einflusses von Schadstellen in der Sperrschichtfolie wurden das abgewandelte gravimetrische Verfahren in Verbindung mit dem Prüfmuster 6 angewandt.
Hierbei wurden ebenfalls Beutel aus Folie mit Trockenmittel gefüllt und einem Klima von 40°C / 90% rel. Feuchte nach entsprechender Vorbehandlung ausgesetzt.
Zu den Vorbehandlungen gehörten:

- Flexing bei 23°C
- Flexing bei –20 °C
- Definierte Fehlerstellen durch Einstiche in den Beutel. Anzahl: 2, 4, 6, 8. Durchmesser je Fehlerstelle 1,4 mm. Daraus ergeben sich Fehlerstellen, die weit unter 1‰ bezogen auf die Gesamtoberfläche liegen.

Nach der Überprüfung im Feuchtklima folgte ein Prüfung im Trockenklima 23/40 über einen Zeitraum von 180 Tagen. Durch die lange Lagerzeit können auch kleine WDD-Werte mit dem gravimetrischen Verfahren ermittelt werden.

Ergebnisse der Schadstellenbetrachtung

Die Messungen im Feuchtklima wurden 6 Tage in einer Klimakammer durchgeführt. Bei den Proben, die zuvor einem Flexing unterzogen wurden, konnte keine Gewichtszunahme über den Messzeitraum festgestellt werden.
Bei den Proben mit den definierten Fehlerstellen erhebliche WDD-Werte gemessen werden.
Die Messungen im Trockenklima ergaben sowohl für die Flexing-Proben als auch für die Proben mit definierten Fehlerstellen verwertbare Ergebnisse aufgrund der langen Messzeit.

Tabelle 18: WDD der Flexing-Proben

Klima	Flexing 23°C	Flexing 23°C	Flexing -20°C	Flexing -20°C
23°C / 40 % rF	0,050	0,047	0,070	0,066

Nach dem Flexing ist erkennbar, dass tiefe Temperaturen eine Folie beim Knittern mehr beanspruchen. Von einer signifikanten Schädigung kann jedoch nicht gesprochen werden.

Anders sieht es bei der Untersuchung der definierten Fehlerstellen aus.
Hier kommt es sogar im Trockenklima zu höheren Werten, als in der DIN empfohlen.

Tabelle 19: WDD der Folien mit definierten Fehlerstellen

Anzahl der Fehlerstellen Ø 1,4 mm	2	4	6	8
Fehlerfläche in %	0,013	0,026	0,039	0,051
WDD bei 40°C / 90 rF	7,6	17,6	27,3	37,0
WDD bei 23°C / 40 rF	0,5	1,02	1,17	1,42

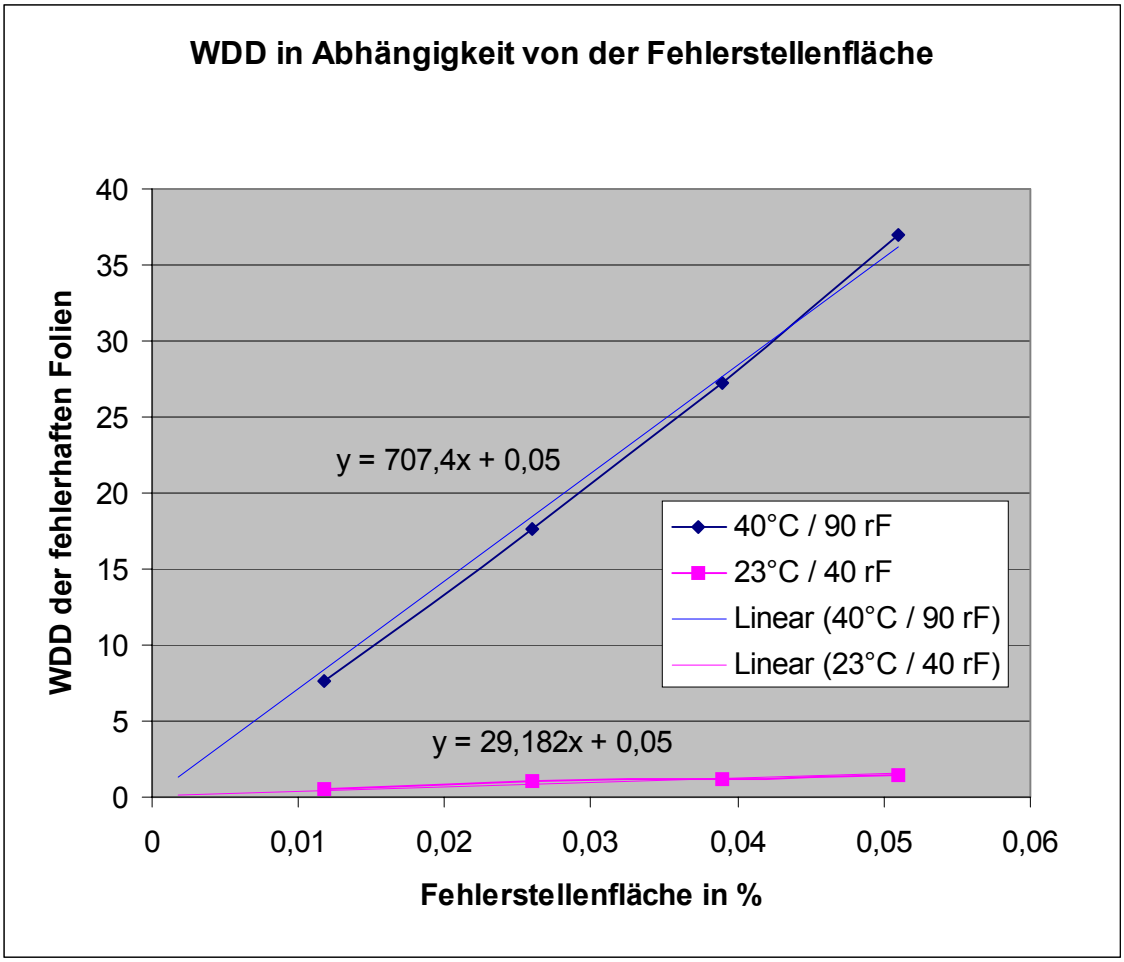


Abbildung 11: WDD in Abhängigkeit von der Fehlerstellenfläche in % bei verschiedenen Klimata.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen deutlich, dass ein System ausgelegt nach der Trockenmittelmethode nur funktioniert, wenn das System wirklich geschlossen ist. Die extrem geringe Fehlerstellenflächen von nur 0,5 ‰ erhöht die WDD im Trockenklima vom 0,05 auf 1,42 g/m^2*d, was einer Steigerung von 2800 % entspricht. Im Feuchtklima ist das Ergebnis noch extremer.

In der Praxis kommt es jedoch bei nahezu jedem größeren Packstück zu Beschädigungen an der Sperrschichthülle. Somit gilt es zu untersuchen, bis zu welcher Fehlerstellenfläche die Empfehlungen der DIN 55474, die WDD von Aluminium-Verbundfolien mit mindestens 0,1 g/m^2*d anzusetzen, Bestand haben.
Zu diesem Zweck sind im Bild die Regressionsgeraden eingefügt worden, um mit Hilfe der Gleichungen zurückzurechnen. Der Nulldurchgang der Geraden liegt bei 0,05 g/m2*d. Dieses ist die Materialkonstante der unbeschädigten Folie.

Im Trockenklima ergibt sich für eine WDD von 0,1 g/m^2*d eine Fehlerstellenfläche von 0,0017%.

Für das Feuchtklima ergibt sich ein Wert von 0,00007%.
Durch weitere Reihenuntersuchungen müssten die Daten für andere klimatische Zustände ermittelt werden. Aus Zeitgründen musste im Rahmen dieses Forschungsprojektes auf weitere Laboruntersuchungen verzichtet werden.

Zur Überprüfung der Laborwerte wurden Untersuchungen an realen Packstücken durchgeführt.
Betrachte wurden 2 Packstücke mit folgenden Eigenschaften

Volumen:	27,6 m3
Fläche:	55,7 m2
Sperrschicht:	Aluminium-Verbundfolie
Hygroskopisches Material:	ncht vorhanden

In beiden Packstücken wurde Silicagel als Trockenmittel verwendet.

Unmittelbar vor Öffnung der Packstücke wurde die relative Luftfeuchtigkeit innerhalb der Sperrschichtfolie gemessen. Sofort nach der Öffnung wurden die Trockenmittelbeutel sichergestellt und für den Transport zum Labor erneut in Folie eingeschweißt. Im Labor wurde die insgesamt aufgenommene Wassermenge bestimmt.

In Packstück 1 ist von den Trockenmittelbeuteln eine Gesamtwassermenge von 964,8 g Wasser aufgenommen worden. Das Trockenmittel war zu 24% gesättigt, was mit der gemessenem Luftfeuchtigkeit von 40% innerhalb der Schutzhülle im Gleichgewicht steht. Das Packgut wurde vor 7 Monaten verpackt, was einer Gesamtreise- und Lagerzeit von ca. 210 Tagen entspricht. Zum Zeitpunkt des Einpackens herrschten näherungsweise die Umgebungsbedingungen von 23°C und 50% rel. Feuchte. In der Sperrschichtfolie wurden mehrere Fehlerstellen gefunden, deren Gesamtgröße sich auf 0,0004 m^2 beläuft.

Unter Berücksichtigung der Gleichung zur Bestimmung der Anzahl der benötigten Trockenmittelbeutel nach DIN 55474 wird die theoretische Lagerzeit mit der in der Praxis erzielten verglichen.
Dazu wird die Gleichung zur leichteren Handhabung auf die Berechnung der zu adsorbierbaren Wassermasse m_{Wasser} ohne hygroskopisches Material.

$$m_{Wasser} = V \cdot b + A \cdot WDD \cdot e \cdot t$$

b = 11,2 g/m^3 bei einem Klima von 23/50
e = 0,7 bei einer angestrebten Endfeuchte von 40%

eingesetzt ergibt sich so:

$$t = \frac{964{,}8 - (27{,}6 \cdot 11{,}2)}{55{,}647 \cdot 0{,}1 \cdot 0{,}7} \qquad \text{Gl(3)}$$

t = 168 Tage

Nach dieser Berechnung würde das System für eine Transportzeit von 168 Tagen ausgelegt sein. Da aber die DIN nicht berücksichtigt, dass die Luft innerhalb der Verpackung nur auf 40% heruntergetrocknet wird und nicht auf 0% wird die Gleichung 3 dahingehend angepasst.
Zum Zeitpunkt des Auspackens herrschte in der Verpackung ein Klima von 20/40. Bei diesem Klima befinden sich 6,92g Wasser je m^3 in der Luft. Der Faktor b reduziert sich somit zu:

b= 11,2 g/m³ - 6,92 g/m³
b= 4,28 g/m³

Dadurch errechnet sich eine theoretische Lagerzeit von

$$t = \frac{964{,}8 - (27{,}6 \cdot 4{,}28)}{55{,}647 \cdot 0{,}1 \cdot 0{,}7}$$

t = 217 Tage

Die berechnet Lagerzeit von 217 Tagen mit einer Endfeuchte entspricht relativ genau der tatsächlichen Lager- und Transportzeit. Somit ist es, wie in DIN 55474 empfohlen, sinnvoll mit einem WDD-Wert von mind. 0,1 g/m^2*d zu rechnen, obwohl der WDD-Wert der unbeschädigten Folie bei 0,05 g/m^2*d liegt.

Im nächsten Schritt ist zu klären, bei welcher Fehlerstellenfläche der WDD-Wert von 0,1 g/m^2*d gilt. Dazu wird die Fläche der Fehlerstellen auf die Gesamtoberfläche der Verpackung bezogen. Die prozentuale Fehlerstellenfläche beträgt 0,00071% und liegt somit zwischen den ermittelten Werten des Feucht- und Trockenklimas. Wird aus den prozentualen Fehlerstellenflächen des Feucht- und Trockenklimas der Mittelwert gebildet, so lautet dieser 0,000885 und liegt in guter Korrelation zu dem Wert des überprüften Packstücks.
Aus diesen Ergebnissen ist ersichtlich, dass die Empfehlung der DIN, für Aluminium-Verbundfolien einen Wert von mindestens 0,1 g/m^2*d anzunehmen, gerechtfertigt ist.

7 Absaugen der Luft aus der Sperrschichthülle

Das Absaugen der Luft aus der Sperrschichthülle ist in Verpackerkreisen eine umstrittene Maßnahme.
Grundsätzlich erfolgt das Absaugen der Luft um die Hülle auf Undichtigkeiten zu überprüfen. Mit Hilfe eines Staubsaugers wird ein Vakuum erzeugt und die Öffnung versiegelt. Wenn das Vakuum für ca. 0,5 Stunden gehalten wird, dann wird die Folienhülle als dicht angesehen. Sofern die Hülle Undichtigkeiten aufweist, baut sich das Vakuum in der Verpackung ab und die Folie hängt locker über dem Packstück. Die Undichtigkeiten werden gesucht, verschlossen und die Überprüfung wiederholt.
Einige Verpacker belassen die Folie im abgesaugten Zustand mit dem Argument soviel Luft aus der Hülle gesaugt zu haben wie möglich, um damit die effektiv über die Luft mit eingeschlossene Wassermasse zu minimieren.
Andere Verpacker öffnen die Folie nach der Dichtheitsprüfung erneut und blasen Luft in die Folienhülle ein. Sie folgen damit den Empfehlungen der Trockenmittelproduzenten.

Leider war es dem Institut durch die zeitlichen Verzögerungen mit dem Messsystem nicht mehr möglich Untersuchungen bezüglich des Absaugens anhand von vergleichbaren Packstücken durchzuführen.
Grundsätzlich schließt sich das Institut allerdings den Empfehlungen der Trockenmittelhersteller an und befürwortet das Einblasen von Luft in die Sperrschichthülle, um eine ausreichende Zirkulation innerhalb der Folie zu gewährleisten.
Wasserdampf hat eine geringere Dichte als Stickstoff und Sauerstoff. Daher strömt die Feuchtigkeit nach oben. Die Trockenmittelbeutel sollten ebenfalls aus diesem Grund im oberen Drittel einer Verpackung angebracht werden. Durch das Absaugen kann es leicht vorkommen, dass die feuchte Luft das Trockenmittel nicht ungehindert erreichen kann. Somit wird die Adsorption verzögert, bzw. schlimmstenfalls nahezu unterdrückt.
Um die eingeschlossene Wassermenge zu minimieren könnte z.B. nicht die Umgebungsluft eingeblasen werden, sondern getrocknete Luft.

8 Beispielrechnungen

Die folgenden Beispiele sollen die Anwendung der Berechnungsformel im Zusammenhang mit den gewonnenen Erkenntnissen für extreme Klimabedingungen zeigen.

Packstück: 2 x 2 x 4 m

Volumen: $V = 2*2*4 = 16\ m^3$

Mantelfläche: $A = 2*2*2+4*2*4 = 40\ m^2$

Hygroskopisches Beipack:

4 Kanthölzer: 10 x 10 x 200 cm

Feuchtigkeitsgehalt bei Gleichgewicht mit der Umgebungsluft

u = 21 %

Verpackt: Hamburg Hafen
10 °C / 90 % RH b = 8,46 g/m³ u = 21 %

Entpackt: Südafrika
30 °C / 40% Endfeuchte b = 12,14 g/m³ u = 7,5 %

Sperrschicht: Alu-Verbundfolie
WDD = 0,1
kleine Fehlerstellen incl.

Transportzeit: 1 a = 365 d

$V*b = 16\ m^3 * 8{,}46\ g/m^3 = \underline{135{,}36\ g}$

max. 6 g/Einheit

⇒ <u>22,6 Einheiten Trockenmittel</u>

---
m*c

Darrohdichte für Kiefer:
$\sigma_{Holz} = 490\ kg/m^3$

$m_0 = m_{Holz} = n * V_{Holz} * \sigma_{Holz} = 4 * 0{,}1\ m * 0{,}1\ m * 2\ m * 490\ kg/m^3 = \underline{39{,}2\ kg}$

Holzfeuchte:
$u = [\ (\ m_U - m_0\ )\ /\ m_0\ ]* 100\ \%$

$m_U = (\ u\ /\ 100\% + 1\ )\ *\ m_0$

m_U = (21 % / 100 % +1) * 39,2 kg = 47,43 kg
wird getrocknet auf 7,5 %:

⇒ 1,075 * 39,2 kg = 42,14 kg

Differenz zwischen feuchtem - und trockenem Holz :

m_{Wasser} = 47,43 kg - 42,14 kg = 5,29 kg

max. 6 g/Einheit

⇒ 881,7 Einheiten Trockenmittel

Rechenfehler, der häufig durch die Verwendung der Darrohdichte zur Gewichtsbestimmung auftritt, in Verbindung mit dem in der DIN 55474 angegebenen Wert für c.

m_0 = 39,2 kg
c = 80 g/kg laut DIN 55474 für Holz Lufttrocken

m_{Wasser} = 39,2 kg * 80 g/kg = 3,14 kg

Somit würde in diesem System die Masse von 2,15 kg Wasser in der Verpackung unberücksichtigt bleiben, was zwangsläufig zu einem Schaden führen muss.

Berechnung des Faktors c:
Unter Berücksichtigung der Darrohdichte und dem Wassergehalt im Holz zur Ermittlung der Wassermasse die in dem hygroskopischen Materials vorhanden ist ergibt sich ein veränderter Wert für c.

Für m_U = 1 kg Holz ergibt sich bei u = 21 % RH

m_0= m_U / (21 % / 100 % +1) = 0,826 kg
⇒ Wassermasse im Holz = 174 g/kg

Für m_U = 1 kg Holz ergibt sich bei u = 7,5 % RH

m_0= m_U / (7,5 % / 100 % +1) = 0,930 kg
⇒ Wassermasse im Holz = 70 g/kg

Aus der Differenz der beiden Wassermassen im Holz ergibt sich ein Wert für c :

c = 174 g/kg - 70 g/kg = 104 g/kg

Feuchte durch Diffusion:
e = 0,7 bei einer Endfeuchte von 40 % RH

Für Aluminiumverbundfolie nach DIN55531
WDD = 0,1 g/m²*d

m_D = A * e * WDD * t = 40 m² * 0,7 * 0,1 g/m²*d * 365 d = 1022 g

max. 6 g/Einheit

⇒ 170,3 Einheiten Trockenmittel

Für LD-PE-Folie min. 200µ dick nach DIN 55530
WDD = 2,0 g/m²*d

m_D = A * e * WDD * t = 40 m² * 0,7 * 2,0 g/m²*d * 365 d = 20440 g

max. 6 g/Einheit

⇒ 3406 Einheiten Trockenmittel

9 Zusammenfassung

Die Adsorptionskurven zeigen keinen signifikanten Einfluss der Temperatur auf das maximale Aufnahmevermögen der untersuchten Trockenmittel. Die Herstellerangaben zur Adsorptionsfähigkeit, die meistens für die Temperaturen von 20 bzw. 23°C angegeben werden, können mit guter Näherung innerhalb der untersuchten Temperaturspanne als konstant betrachtet werden.
Nicht konstant ist jedoch die Adsorptionsgeschwindigkeit. Sie verringert sich mit sinkender Temperatur. Im Schnitt liegen die gemessenes Zeitkonstanten bei 15°C mit dem Faktor drei über den Zeitkonstanten bei 40°C. Somit braucht ein System bei 15°C die dreifache Zeit um eine gewisse Wassermasse zu adsorbieren als wenn das gleiche System sich in einer Umgebung bei 40°C befindet.
Speziell wenn ein Trockenmittelsystem in der kalten Jahreszeit verschlossen wird muss darauf geachtet werden, dass es längerer Zeit keinem Wechselklima ausgesetzt wird. Absolute Zeitangaben können leider nicht pauschalisiert werden, da diese sehr stark von der vorhandenen Luftfeuchtigkeit, der eingebrachten Masse hygroskopischen Materials, der Größe der Trockenmittelbeutel und nicht zuletzt vom Trockenmittel selbst abhängig ist.

Hygroskopisches Beipack und die WDD der Folienhülle sind nach wie vor die größten Unsicherheitsfaktoren in einem mit Trockenmittel geschützten System.

Folgende Vereinfachungen sollten in die Auslegung mit einbezogen werden.

1. Die Masse des hygroskopischen Beipacks – besonders Holz- ist möglichst genau zu ermitteln. Es ist äußerst riskant die Masse mit Hilfe einer Volumenbetrachtung zu ermitteln. Sollt dieses dennoch der Fall sein, ist die genaue Bezeichnung der Dichte zu klären (siehe dazu Rechenbeispiel 1). Besser ist es jedoch die Masse durch Wägung zu bestimmen. Mit einer zusätzlichen Holzfeuchtemessung kann mit Hilfe von Gl.2 die im Holz gebundene Wassermasse berechnet werden.

2. Der Faktor c für den Feuchtegehalt von hygroskopischem Gut, in der DIN angegeben mit 80 g/kg sollte beim Versand in Länder mit Extremklima auf einen Wert von 100 – 110 g/kg angepasst werden. Dieses gilt allerdings nur, wenn sichergestellt ist, dass die Holzfeuchte des eingebrachten Holzes kleiner als 21% ist. Eine genaue Berechnung der Wassermasse befindet sich in den Beispielrechnungen.
   Der Faktor c bezogen auf Pappe als Beipack ist mit 80 g/kg ausreichend dimensioniert.

3. Bei einem Versand in extrem klimatische Gebiete sollte in der Regel immer mit einer Aluminium-Verbundfolie als Sperrschicht gearbeitet werden. Obwohl die reinen Stoffwerte dieser Folie eine WDD von ca. 0,05 g/m^2*d nicht überschreiten, ist es sinnvoll mindestens mit dem in der DIN angegebenen Wert von 0,1 g/m^2*d zu kalkulieren, da somit kleine Undichtigkeiten und Fehlerstellen mit abgesichert sind.
   Bei Verwendung einer Pe-Folie ist der Anwender gezwungen, je nach persönlicher Einschätzung der Klimabelastungen auf das Packstück, sich für eine WDD von 0,4 bis 2 g/m^2*d zu entscheiden. Bei extremen Klimabedingungen müssten Werte zwischen 1 und 2 g/m^2*d geschätzt werden. Betrachtet man die Unsicherheit in Verbindung mit den Kosten für die 10fache Menge Trockenmittel, so ist der Einsatz von Verbundfolien auch wirtschaftlich gerechtfertigt.

Mit den in diesem Forschungsprojekt gewonnenen Erkenntnissen ist die Trockenmittelmethode für den Anwender transparenter geworden. Trotz der komplexen Zusammenhänge hat er die Möglichkeit auf einfache Art die Trockenmittelmethode auch unter extremen klimatischen Belastungen mit hoher Qualität einzusetzen.
Der Inhalt dieses Forschungsberichtes trägt zur Reduzierung von Korrosionsschäden bei, wodurch der Anwender erhebliche wirtschaftliche Vorteile erhält.

Das Ziel des Vorhabens gilt somit als erreicht.

Literaturverzeichnis

1 Fonds der Chemischen Industrie
Korrosion/Korrosionsschutz (Textheft 8)
Frankfurt a M. 1994

2 Beneke
Lexikon der Korrosion und des Korrosionsschutzes
Vulkan –Verlag, Essen 1992

3 Petzoldt, J. D:
Untersuchungsbericht Nr. 3979/97
Systemuntersuchung zum Korrosionsschutz von CKD – Teilen
Institut für BFSV, Hamburg, 1997

4 Kalaß, Eschke, K.R.
Vergleichende Korrosionuntersuchungen im Schwitzwasserwechselklima
Sonderdruck Neue Verpackung, 33. Jahrgang, Heft 5 und 6. 1979

5 Barton, Karel
Schutz gegen athmosphärische Korrosion
Weinheim/Bergstraße, 1973

6 Gellings, P.J.
Korrosion und Korrosionsschutz von Metallen
München, 1981

7 Eschke, K. R.
Methoden des Korrosionsschutzes
Service- Beilage der Hamburger Hafen-Nachrichten 37/1982

8 Eschke, K.R., Ewe,H., Schradick, C.
Simulation atmosphärischer Korrosion durch dünne Elektrolytfilme
Werkstoffe und Korrosion 35, 1984

9 Rudloff, W.
World Climates
Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart, 1981

10 Baak, R. W.
Laderaummeteorologische Untersuchungen, Meßreihen von Schiffsreisen und deren Interpretation.
Tagungsband Schadenverhütungstagung GDV, 1998

11 Scharnow, Ulrich
Feuchte und ihre Auswirkungen auf den Warentransport, Kryptoklima im Container.
Tagungsband Schadenverhütungstagung GDV, 1998

12 Mielke, Heinz
Verpackung und Container im Überseeversand.
RGV – BFSV Betriebsblätter, Frankfurt 1975

13 Scharnow, Renate
Codiertes Handbuch der Güter des Seetransportes, Sorptionsisothermen.
Ingenieurhochschule für Seefahrt, Warnemünde / Wustrow, Rostock 1989

14 Grundke, Günther
Atmosphärische Einflüsse beim Überseetransport.
Verpackungsrundschau 5/ 1988

15 Mielke, Heinz
Klimatische Bedingungen in Containern verschiedener Bauausführungen.
Rationeller Transport, Heft 2, Sonderdruck, 1971

16 Haddadi,A:
Untersuchung des Verhaltens von Siegelnähten einer biaxial gestreckten Pölyäthylenfolie unter labormäßigen Versandbedingungen.
Diplomarbeit, Institut für BFSV, 1983

17 Kirchmann, B
Untersuchung über das Siegelverhalten von AL-Verbundfolien mit einer Labor-Siegeleinrichtung.
Diplomarbeit, Institut für BFSV, 1981

18 Behren, K.
Entwicklung eines Apparates zur Untersuchung von Trocknungsvorgängen in Größeren Räumen.
Diplomarbeit, Institut für BFSV, 1980

19 Schön, H.J.
Untersuchung über die Verwendbarkeit des TNO/PIRA Wasserdampfdurchlässigkeitsmeßgerätes.
Diplomarbeit, Institut für BFSV, 1980

20 Liesner, H.
Untersuchung über die Wirkung von Trockenmitteln in wasserdampfdichten Behältern.
Diplomarbeit, Institut für BFSV, 1979

21 DIN 55473
Trockenmittelbeutel, Technische Lieferbedingungen

Ausgabe 1997

22 DIN 55474
Trockenmittelbeutel, Anwendung, Berechnung der erforderlichen Anzahl Trockenmitteleinheiten.
Ausgabe 1997

23 Süd – Chemie
Die Trockenmittelmethode.
Informationsschrift für Anwender

24 Süd – Chemie
Technische Information
Vereinfachte Berechnung von Trockenmitteleinheiten

25 Technische Lieferbedingungen, TL 8100 – 0100, Teil 1, Ausgabe 1
Verpackung, Materialschutz durch K/V
Verpackungsstufen S, A, B – (Nato-1, 2, 3)
Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung, April 1999

26 DIN 55530
Folien für Verpackungszwecke, Sperrschichtfolien aus Polyäthylen niederer Dichte.
Ausgabe 1987

27 DIN 55531
Aluminium - Verbundfolien
Ausgabe 1988

28 DIN 53122 Teil 1 und Teil 2
WDD....

29 http://www.forst.uni-freiburg.de/fobawi/fob/fob_lehre/211b/material_2002/JRB_Reak_Dicht.pdf

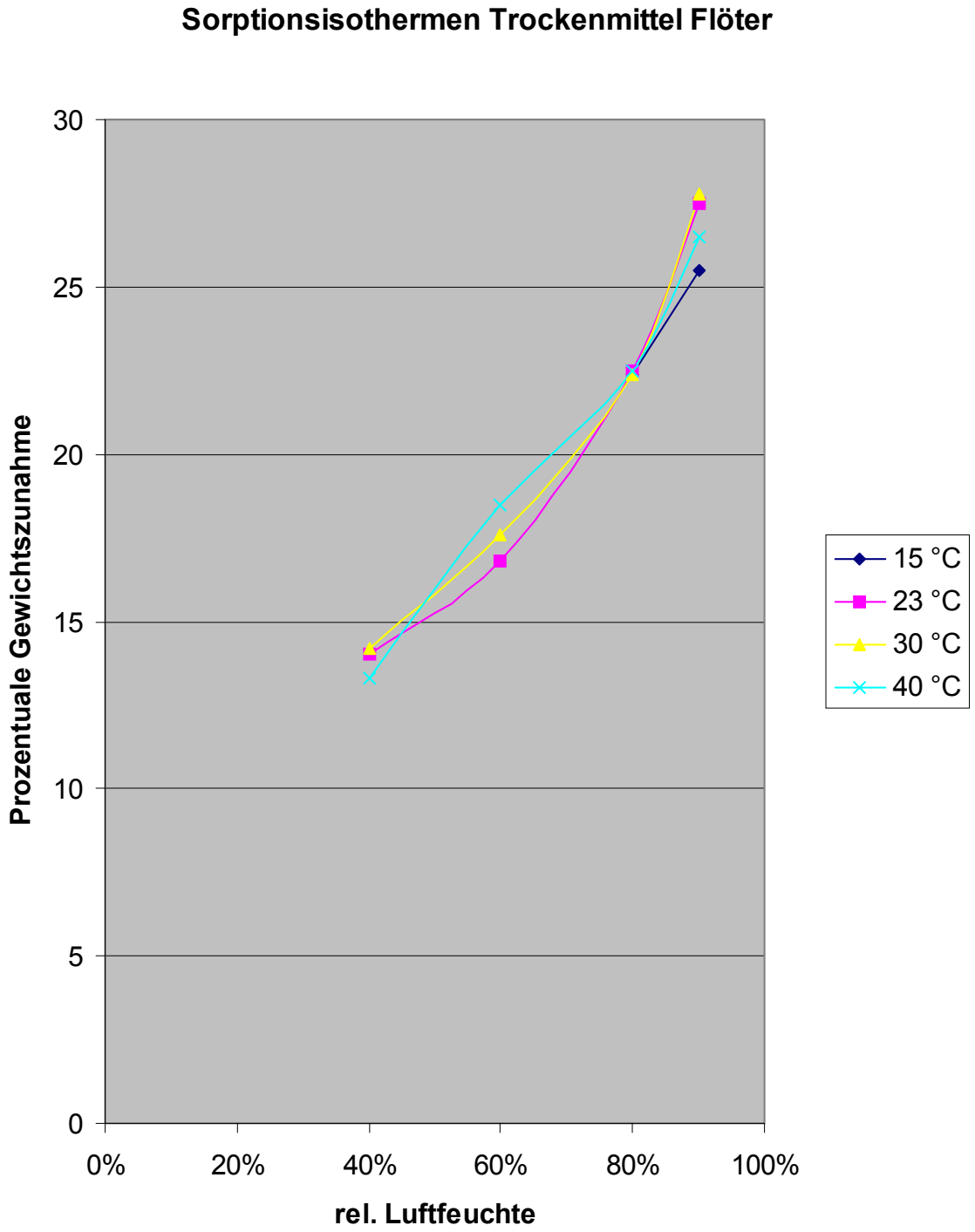
KLIMATABELLE

Temp. °C	Relative Feuchte									
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
+50°	8,30 +10	16,60 +21	24,89 +28	33,19 +33	41,49 +37	49,79 +40	58,08 +43	66,38 +45	74,68 +48	82,98 +50
+45°	6,54 +6	13,09 +17	19,63 +23	26,18 +28	32,72 +32	39,26 +35	45,81 +38	52,35 +41	58,90 +43	65,44 +45
+40°	5,11 +3	10,23 +13	15,34 +19	20,46 +24	25,57 +28	30,68 +31	35,80 +33	40,91 +36	46,03 +38	51,14 +40
+35°	3,96 -1	7,92 +9	11,88 +15	15,84 +19	19,80 +23	23,76 +26	27,72 +29	31,68 +31	35,64 +33	39,60 +35
+30°	3,04 -4	6,07 +5	9,11 +11	12,14 +15	15,18 +19	18,22 +21	21,25 +24	24,29 +26	27,32 +28	30,36 +30
+25°	2,30 -8	4,61 ±0	6,91 +6	9,22 +11	11,52 +14	13,82 +18	16,13 +19	18,43 +21	20,74 +23	23,04 +25
+20°	1,73 -11	3,46 -3	5,19 +2	6,92 +6	8,65 +9	10,37 +12	12,10 +14	13,83 +16	15,56 +18	17,29 +20
+15°	1,28 -15	2,56 -7	3,85 -2	5,13 +1	6,41 +5	7,69 +7	8,97 +9	10,26 +10	11,54 +12	12,82 +15
+10°	0,94 -18	1,88 -11	2,82 -6	3,76 -3	4,70 ±0	5,64 +1	6,58 +3	7,52 +5	8,46 +7	9,10 +10
+5°	0,68 -22	1,36 -14	2,04 -10	2,72 -7	3,40 -4	4,08 -2	4,76 ±0	5,44 +2	6,12 +3	6,80 +5
±0°	0,48 -25	0,97 -18	1,45 -14	1,94 -11	2,42 -8	2,90 -6	3,39 -4	3,87 -3	4,36 -2	4,84 ±0
-5°	0,34 -29	0,63 -23	1,02 -18	1,36 -15	1,70 -13	2,05 -11	2,39 -9	2,70 -8	3,07 -6	3,41 -5
-10°	0,23 -34	0,47 -27	0,70 -23	0,94 -20	1,17 -18	1,40 -16	1,64 -14	1,87 -12	2,11 -11	1,34 -10
-15°	0,16 -38	0,32 -31	0,48 -27	0,64 -25	0,80 -22	0,97 -20	1,19 -19	1,29 -17	1,45 -16	1,61 -15
-20°	0,09 -42	0,18 -36	0,26 -32	0,35 -29	0,44 -27	0,58 -25	0,62 -24	0,70 -22	0,79 -21	0,88 -20
-25°	0.06 -46	0,11 -40	0,17 -36	0,22 -34	0,28 -32	0,33 -30	0,38 -29	0,44 -27	0,50 -26	0,55 -25

Die obere Zeile nennt den Wasserdampfgehalt der Luft in g je m^3
Die untere Zeile die Temperatur des Taupunkts in °C

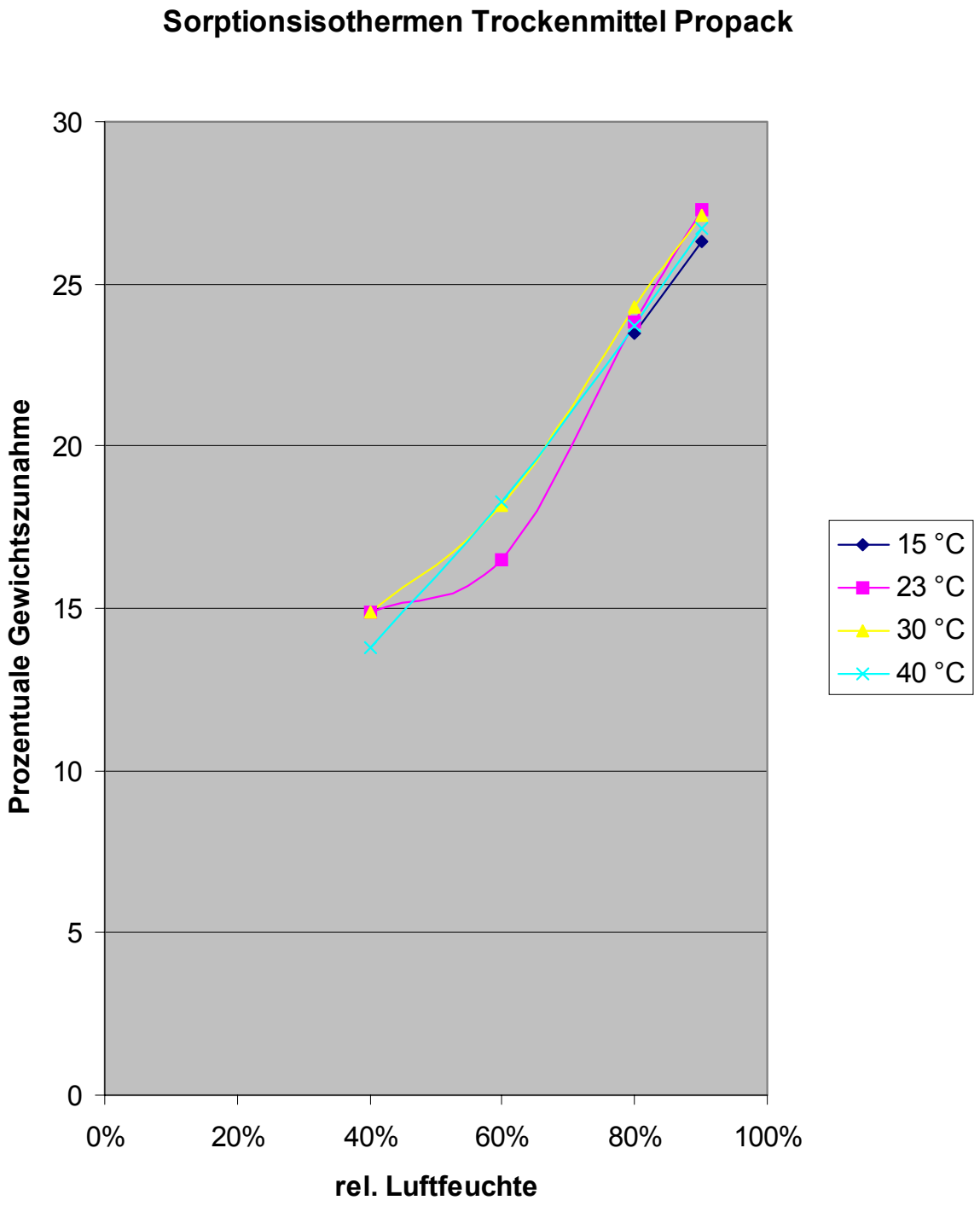
Sorptionsisothermen Flöter

Feuchte\Temp	15 °C	23 °C	30 °C	40 °C
40%		14	14,2	13,3
60%		16,8	17,6	18,5
80%	22,4	22,5	22,4	22,5
90%	25,5	27,5	27,8	26,5



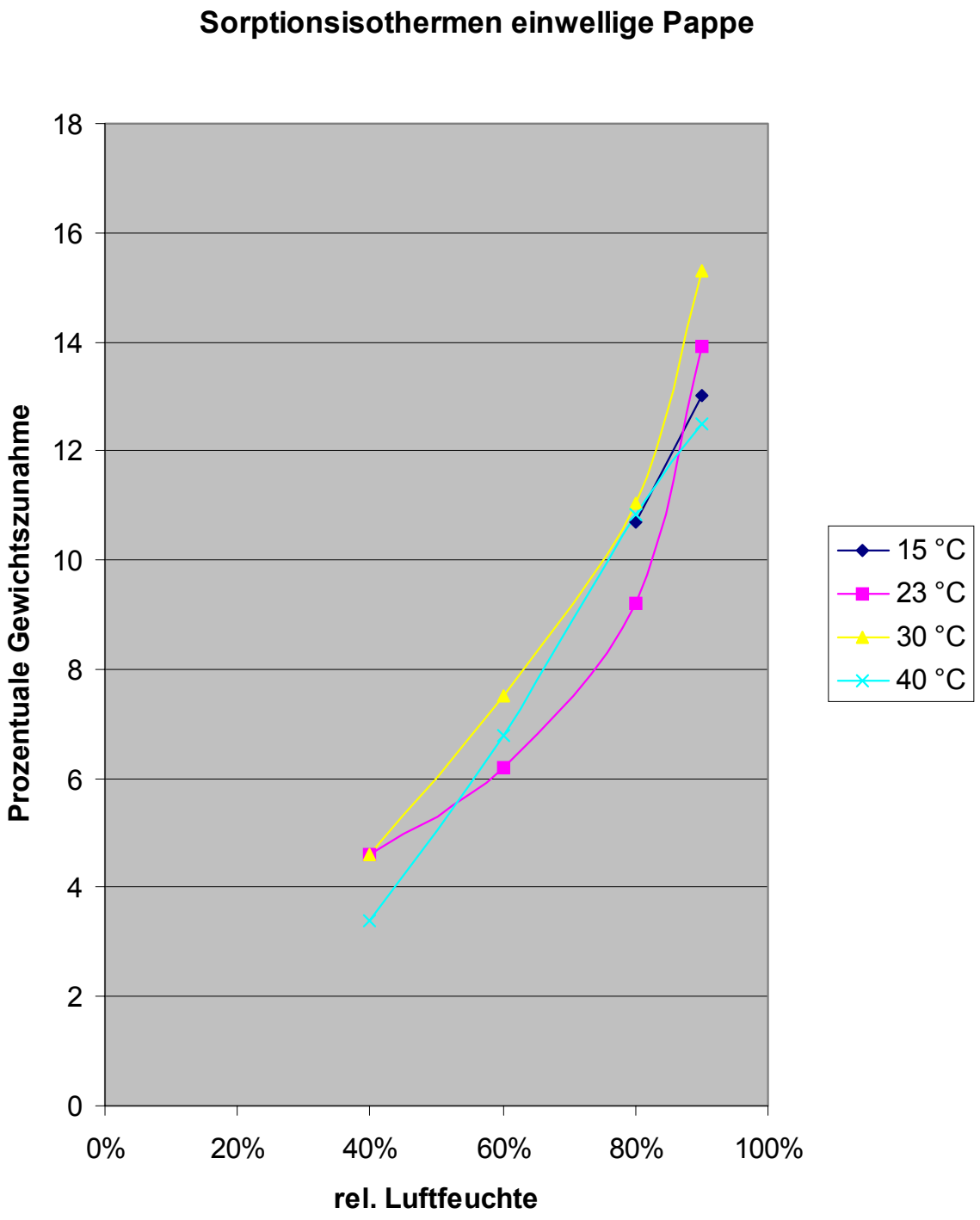
Sorptionsisothermen Propack

Feuchte\Temp	15 °C	23 °C	30 °C	40 °C
40%		14,9	14,9	13,8
60%		16,5	18,2	18,3
80%	23,5	23,8	24,3	23,7
90%	26,3	27,3	27,1	26,7



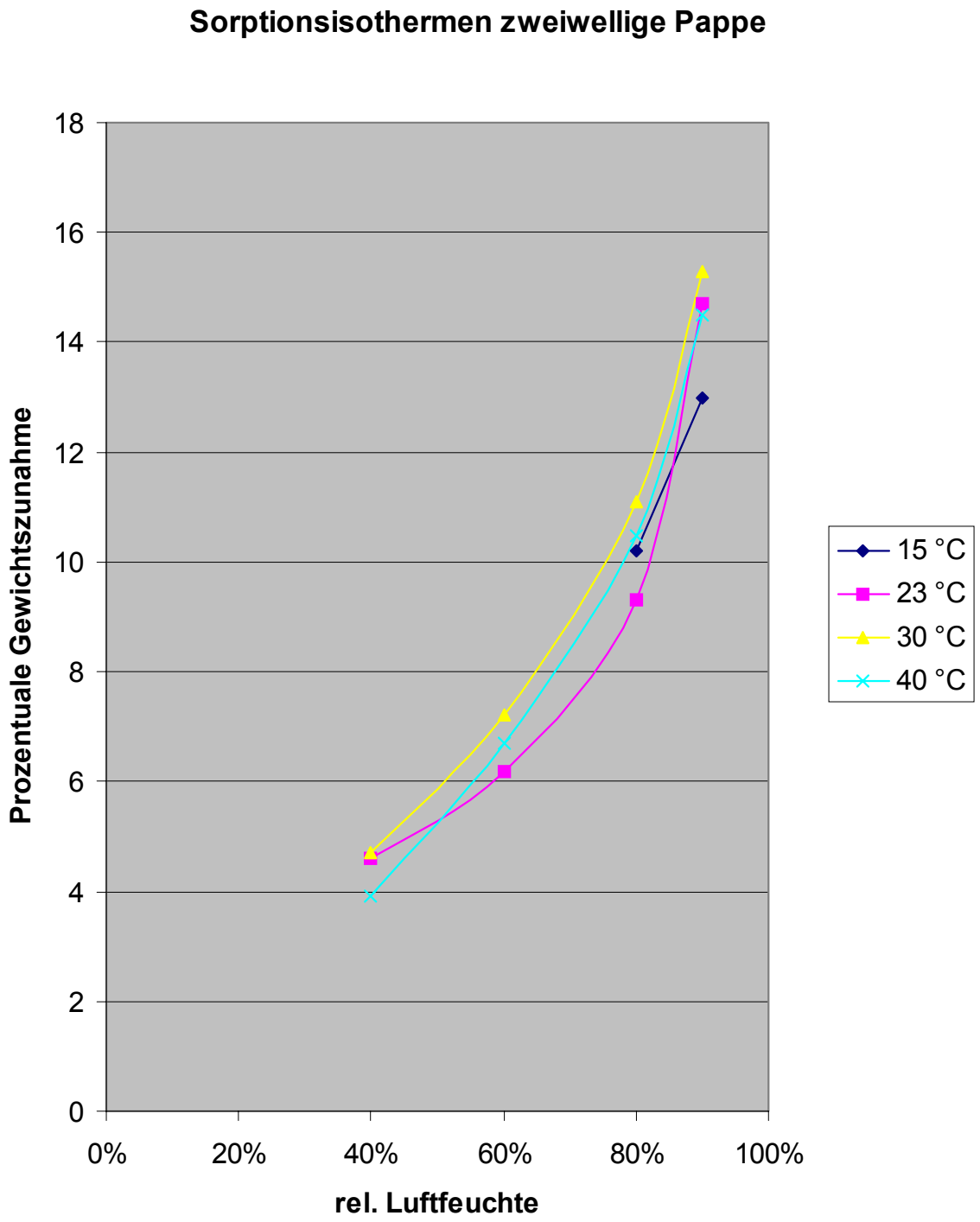
Sorptionsisothermen einwellige Pappe

Feuchte\Temp	15 °C	23 °C	30 °C	40 °C
40%		4,6	4,6	3,4
60%		6,2	7,5	6,77
80%	10,7	9,2	11,05	10,84
90%	13	13,9	15,3	12,5



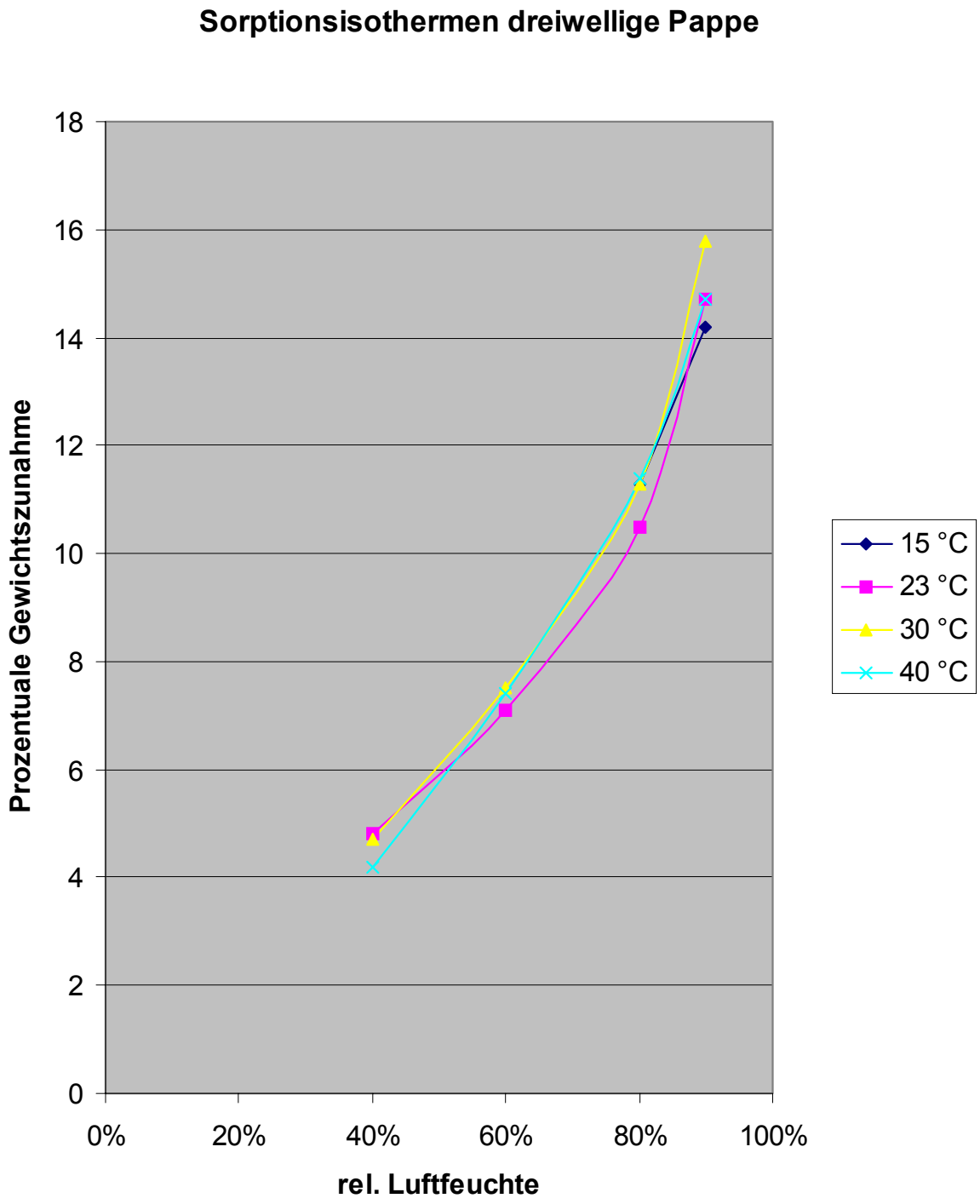
Sorptionsisothermen zweiwellige Pappe

Feuchte\Temp	15 °C	23 °C	30 °C	40 °C
40%		4,6	4,7	3,9
60%		6,2	7,2	6,7
80%	10,2	9,3	11,1	10,47
90%	13	14,7	15,3	14,5



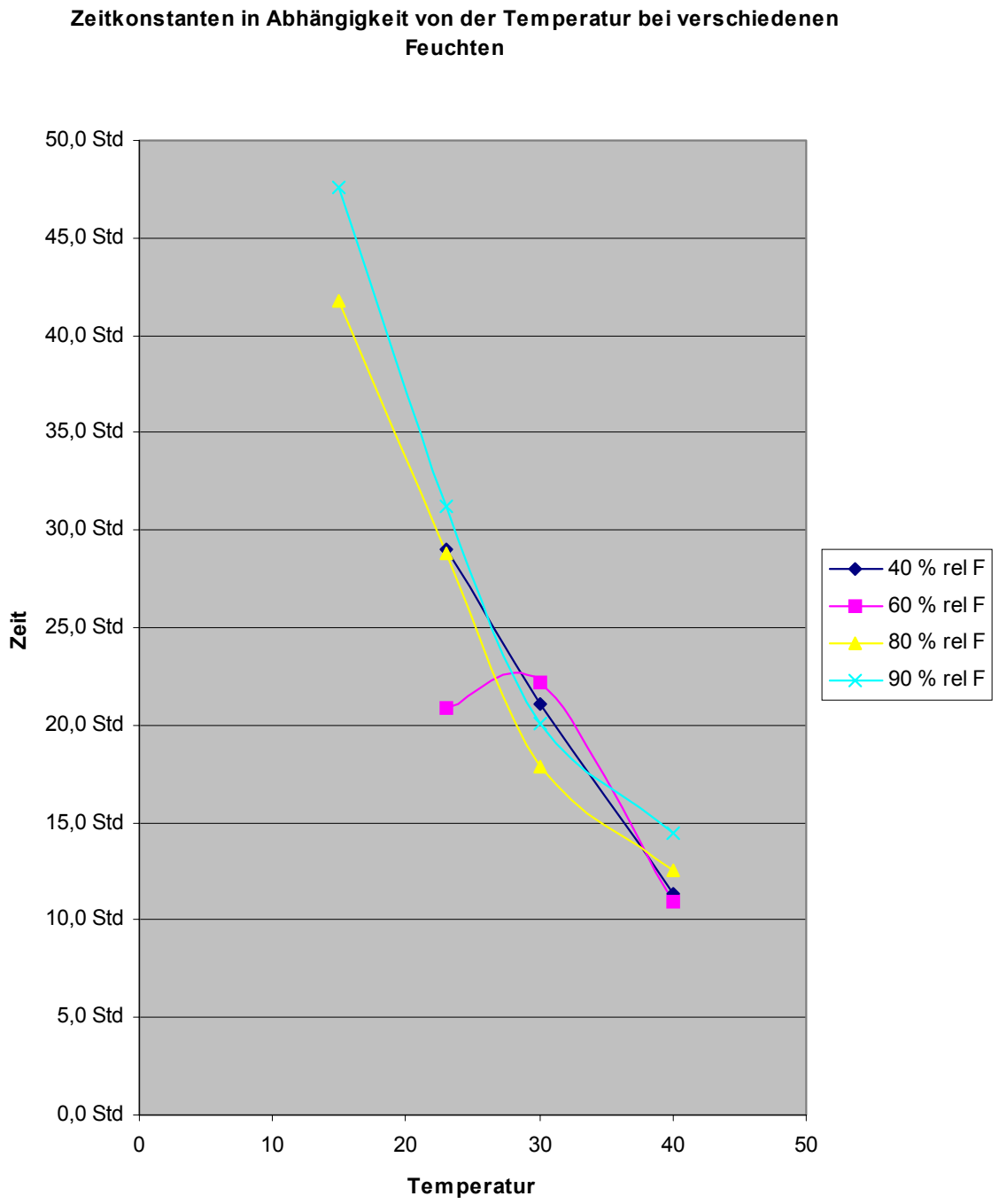
Sorptionsisothermen dreiwellige Pappe

Feuchte\Temp	15 °C	23 °C	30 °C	40 °C
40%		4,8	4,7	4,2
60%		7,1	7,5	7,4
80%	11,3	10,5	11,3	11,4
90%	14,2	14,7	15,8	14,7



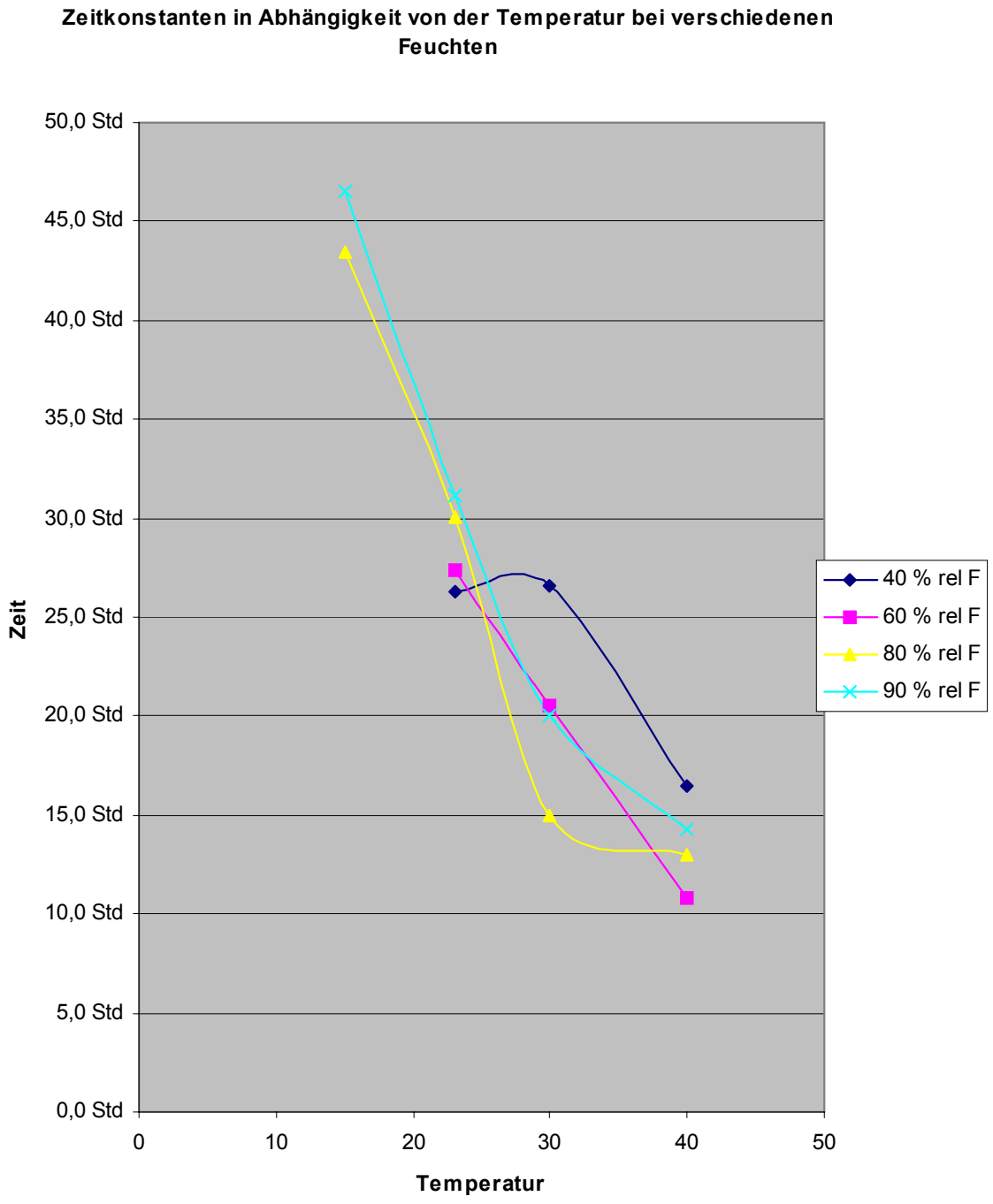
Zeitkonstanten Flöter

Temp\Feuchte	40 % rel F	60 % rel F	80 % rel F	90 % rel F
15 °C			41,8 Std	47,6 Std
23 °C	29,0 Std	20,9 Std	28,8 Std	31,2 Std
30 °C	21,1 Std	22,2 Std	17,9 Std	20,1 Std
40 °C	11,3 Std	10,9 Std	12,6 Std	14,5 Std



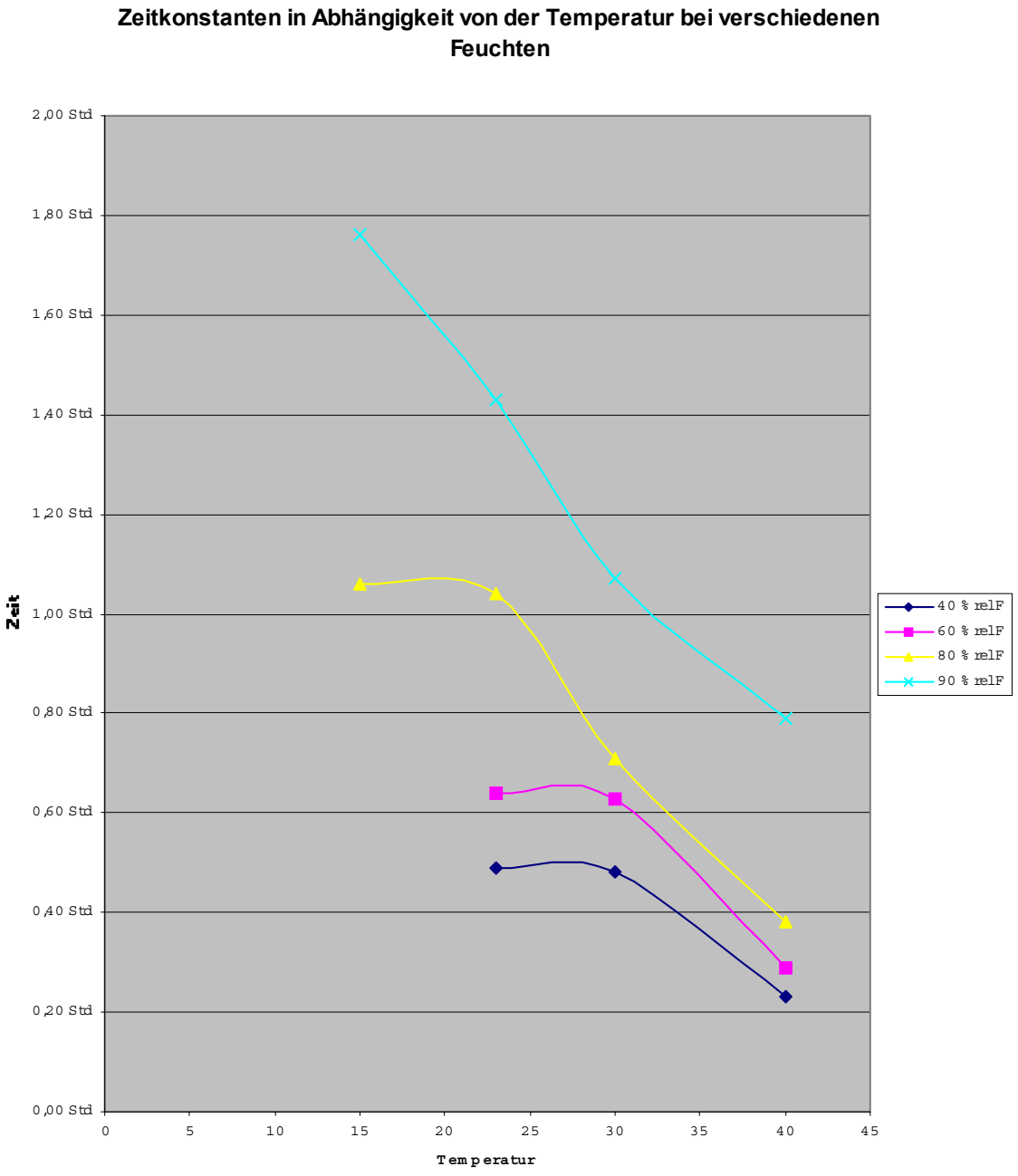
Zeitkonstanten Propack

Temp\Feuchte	40 % rel F	60 % rel F	80 % rel F	90 % rel F
15 °C			43,5 Std	46,5 Std
23 °C	26,3 Std	27,4 Std	30,1 Std	31,2 Std
30 °C	26,6 Std	20,5 Std	15,0 Std	20,0 Std
40 °C	16,5 Std	10,8 Std	13,0 Std	14,3 Std



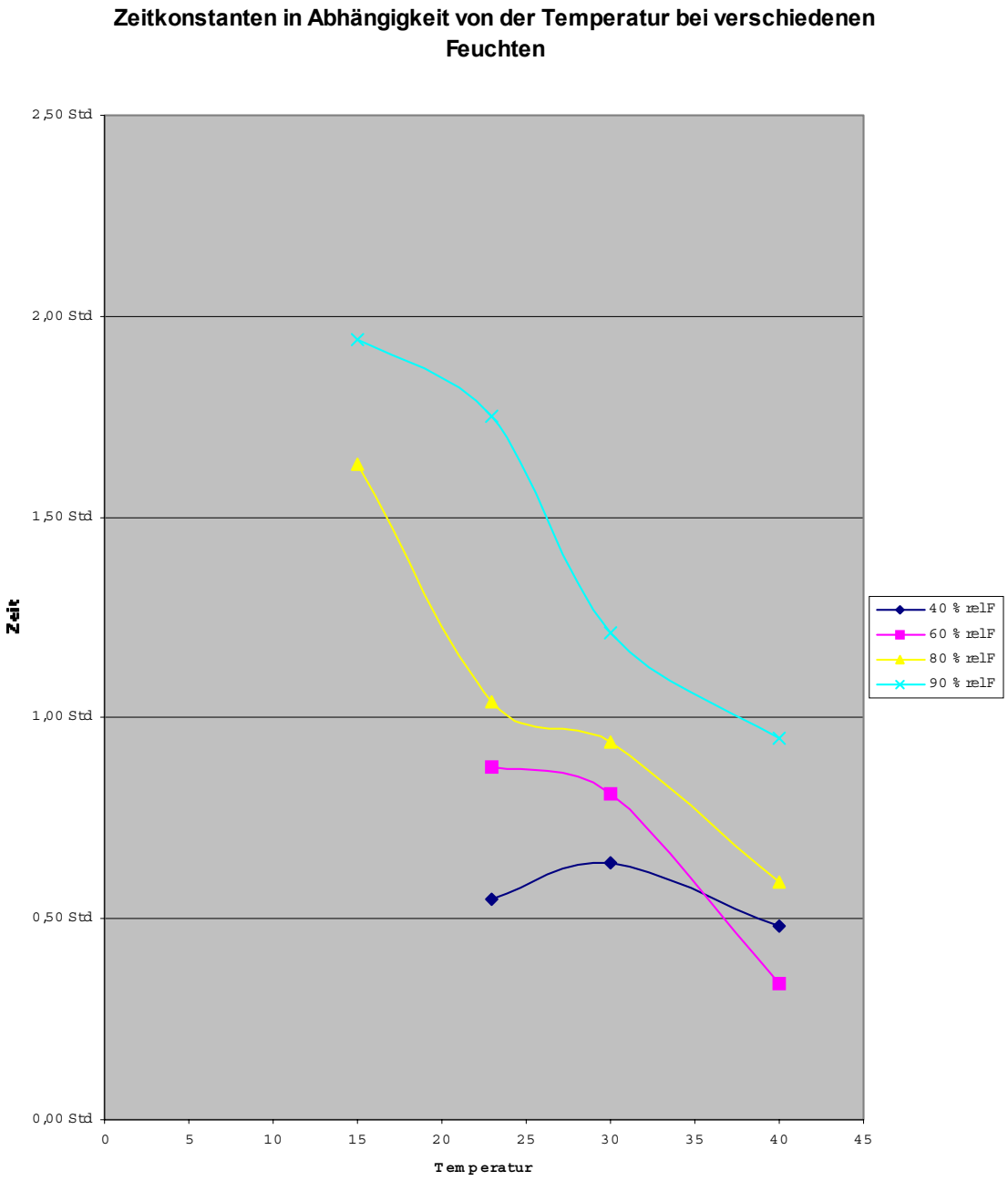
Zeitkonstanten Einwellige Wellpappe

Temp\Feuchte	40 % rel F	60 % rel F	80 % rel F	90 % rel F
15 °C			1,06 Std	1,76 Std
23 °C	0,49 Std	0,64 Std	1,04 Std	1,43 Std
30 °C	0,48 Std	0,63 Std	0,71 Std	1,07 Std
40 °C	0,23 Std	0,29 Std	0,38 Std	0,79 Std



Zeitkonstanten Zweiwellige Wellpappe

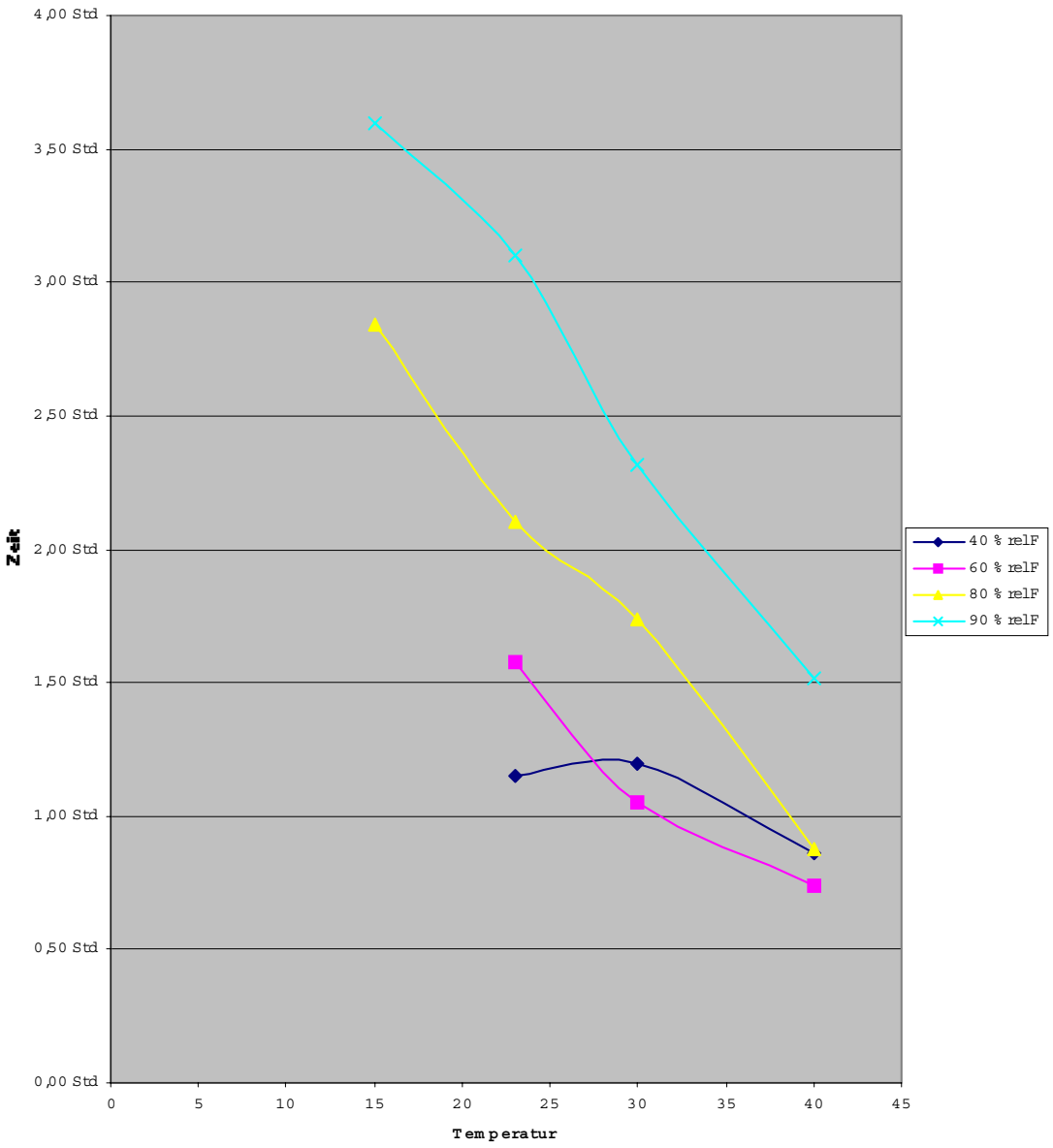
Temp\Feuchte	40 % rel F	60 % rel F	80 % rel F	90 % rel F
15 °C			43,5 Std	46,5 Std
23 °C	26,3 Std	27,4 Std	30,1 Std	31,2 Std
30 °C	26,6 Std	20,5 Std	15,0 Std	20,0 Std
40 °C	16,5 Std	10,8 Std	13,0 Std	14,3 Std



Zeitkonstanten Dreiwellige Wellpappe

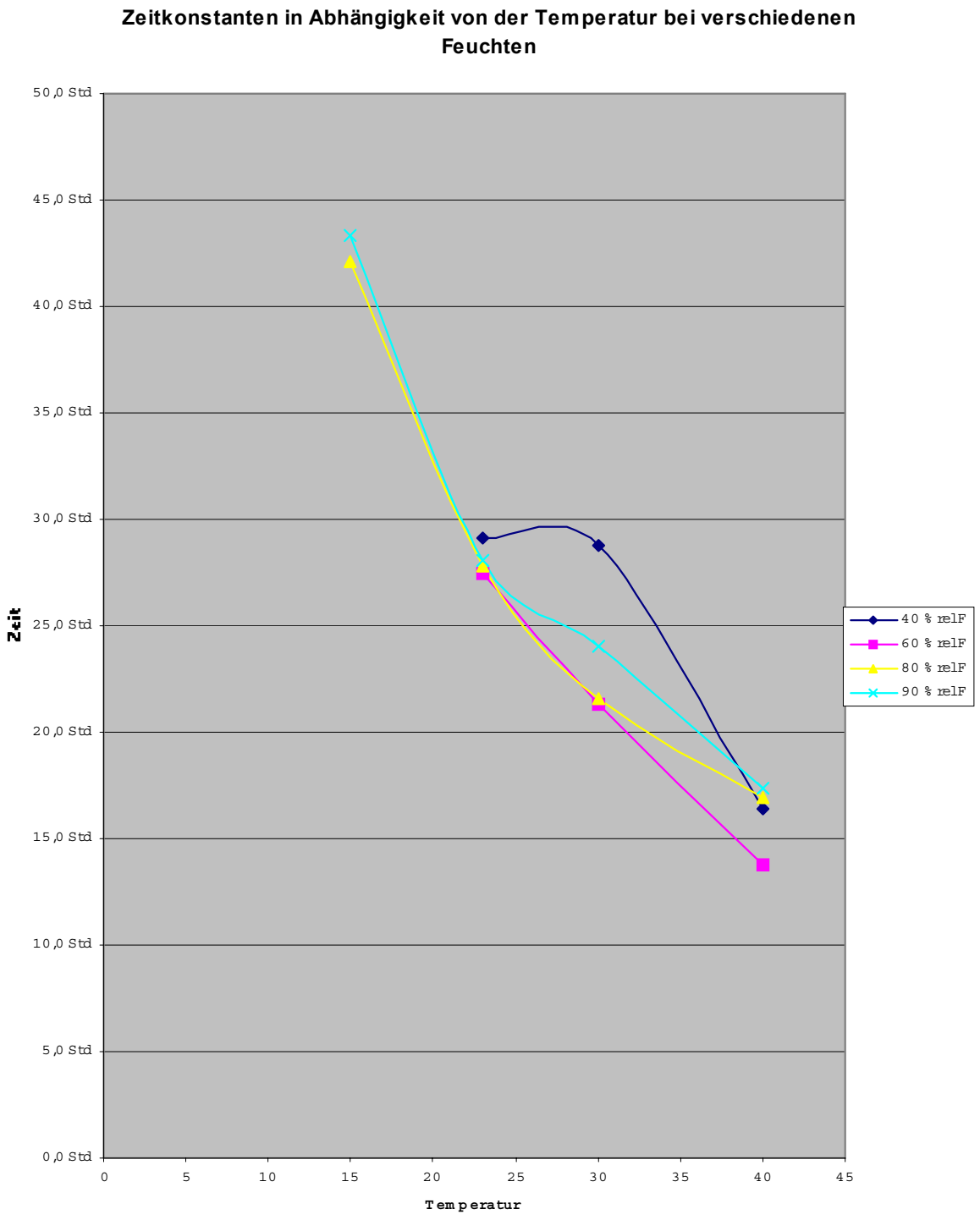
Temp\Feuchte	40 % rel F	60 % rel F	80 % rel F	90 % rel F
15 °C			43,5 Std	46,5 Std
23 °C	26,3 Std	27,4 Std	30,1 Std	31,2 Std
30 °C	26,6 Std	20,5 Std	15,0 Std	20,0 Std
40 °C	16,5 Std	10,8 Std	13,0 Std	14,3 Std

Zeitkonstanten in Abhängigkeit von der Temperatur bei verschiedenen Feuchten



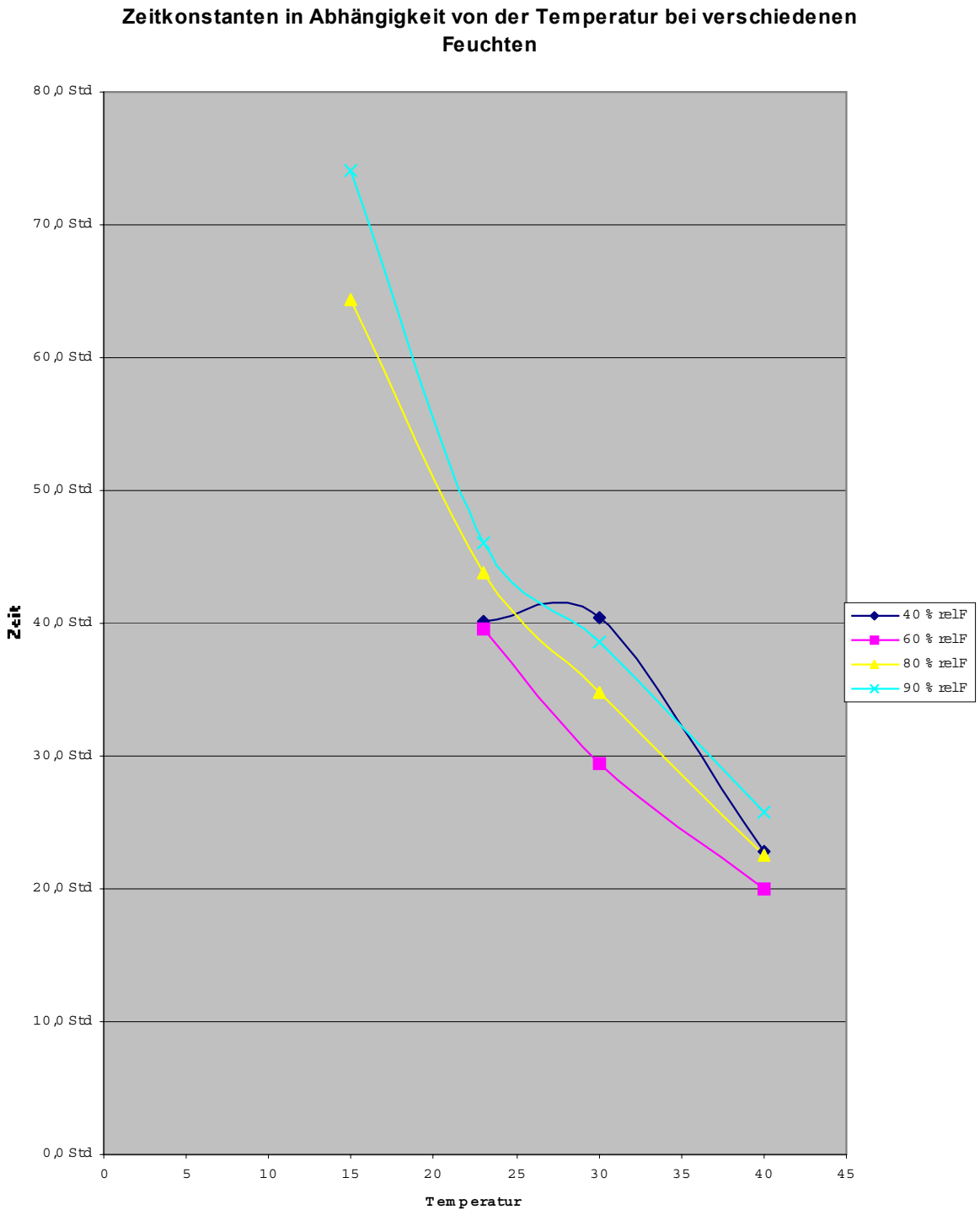
Zeitkonstanten Propack 8 Einheiten

Temp\Feuchte	40 % rel F	60 % rel F	80 % rel F	90 % rel F
15 °C			42,1 Std	43,3 Std
23 °C	29,1 Std	27,5 Std	27,8 Std	28,1 Std
30 °C	28,8 Std	21,3 Std	21,6 Std	24,0 Std
40 °C	16,4 Std	13,8 Std	16,9 Std	17,4 Std



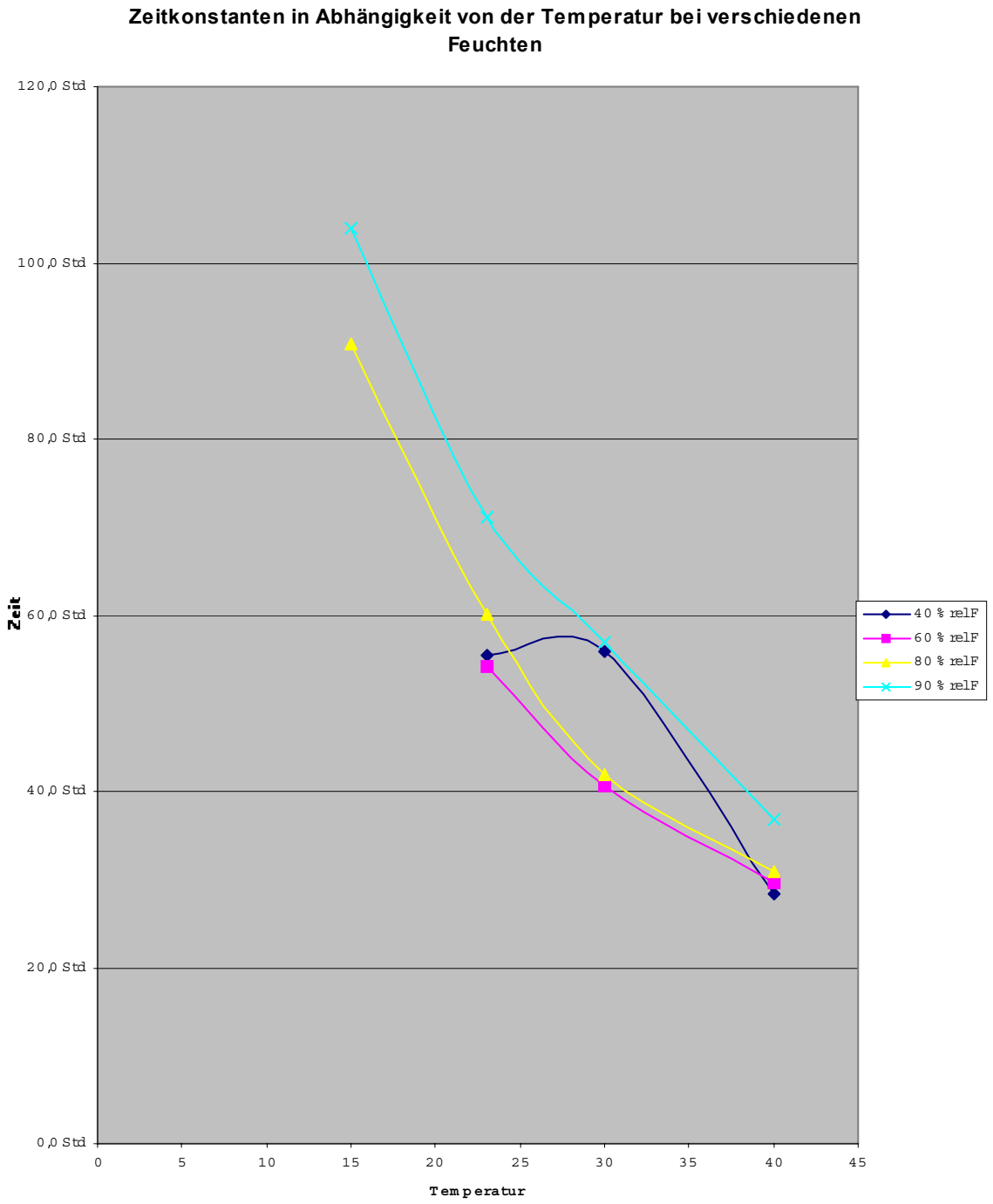
Zeitkonstanten Propack 16 Einheiten

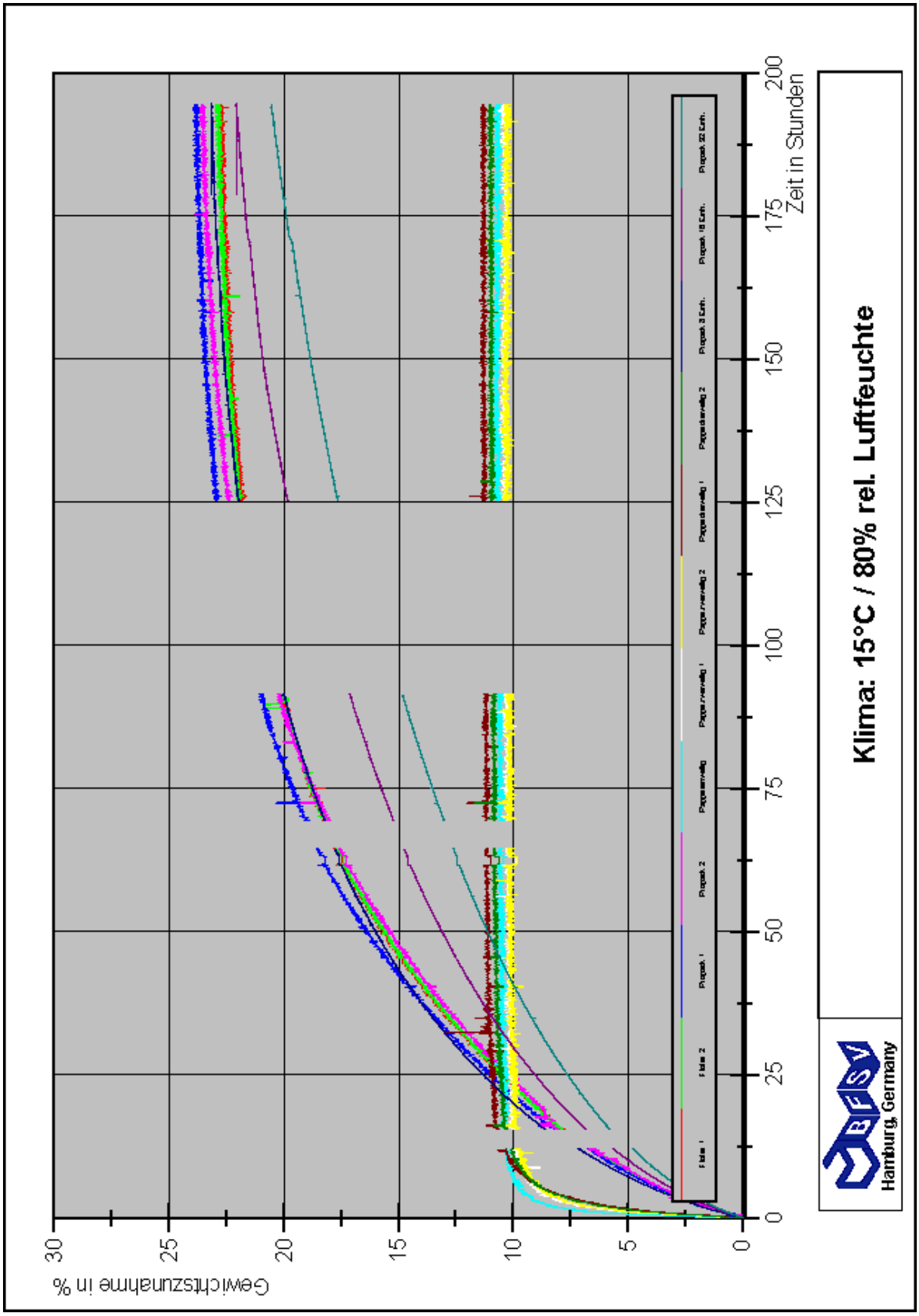
Temp\Feuchte	40 % rel F	60 % rel F	80 % rel F	90 % rel F
15 °C			64,3 Std	74,1 Std
23 °C	40,2 Std	39,6 Std	43,8 Std	46,1 Std
30 °C	40,4 Std	29,4 Std	34,8 Std	38,6 Std
40 °C	22,8 Std	20,0 Std	22,5 Std	25,8 Std

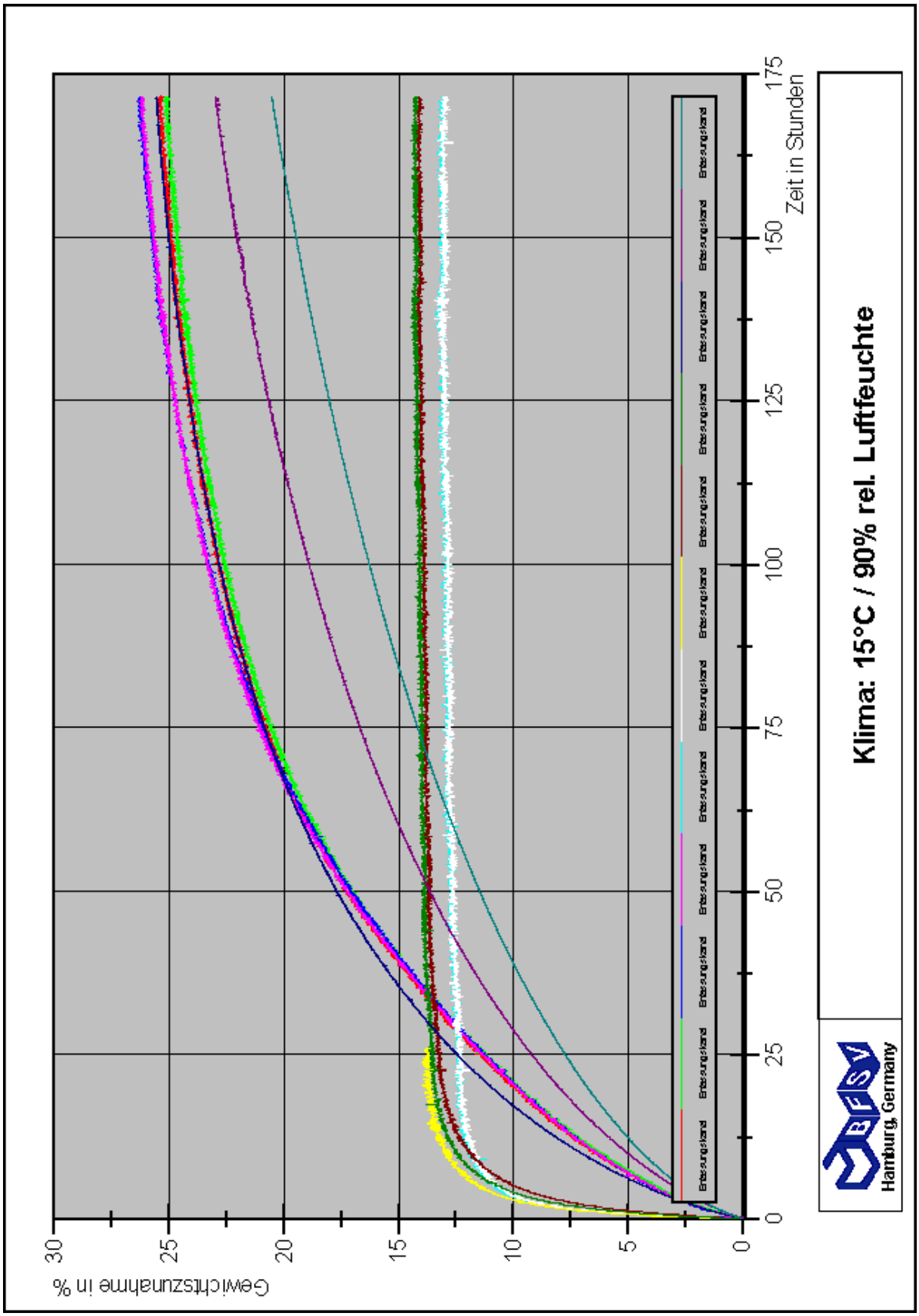


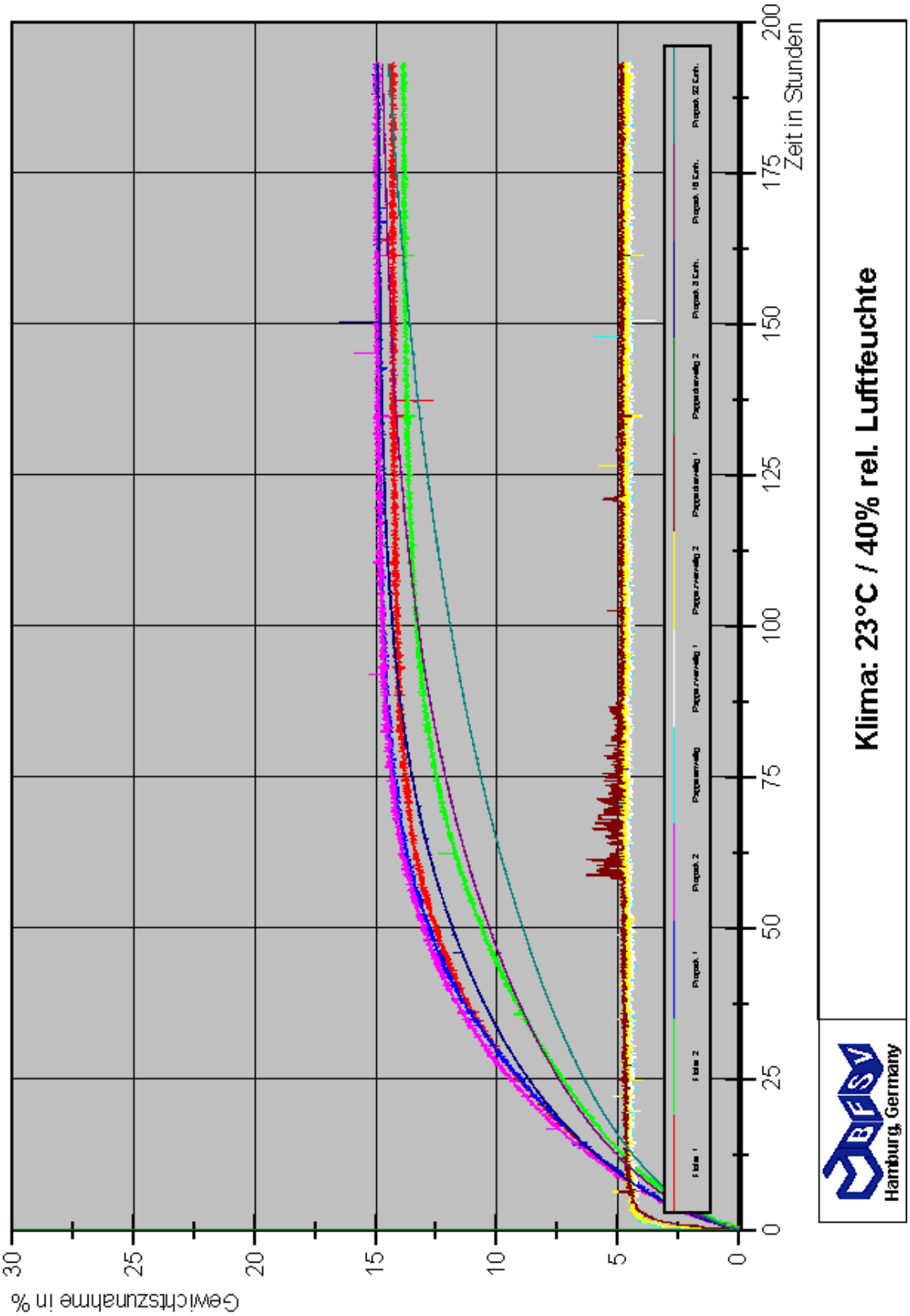
Zeitkonstanten Propack 32 Einheiten

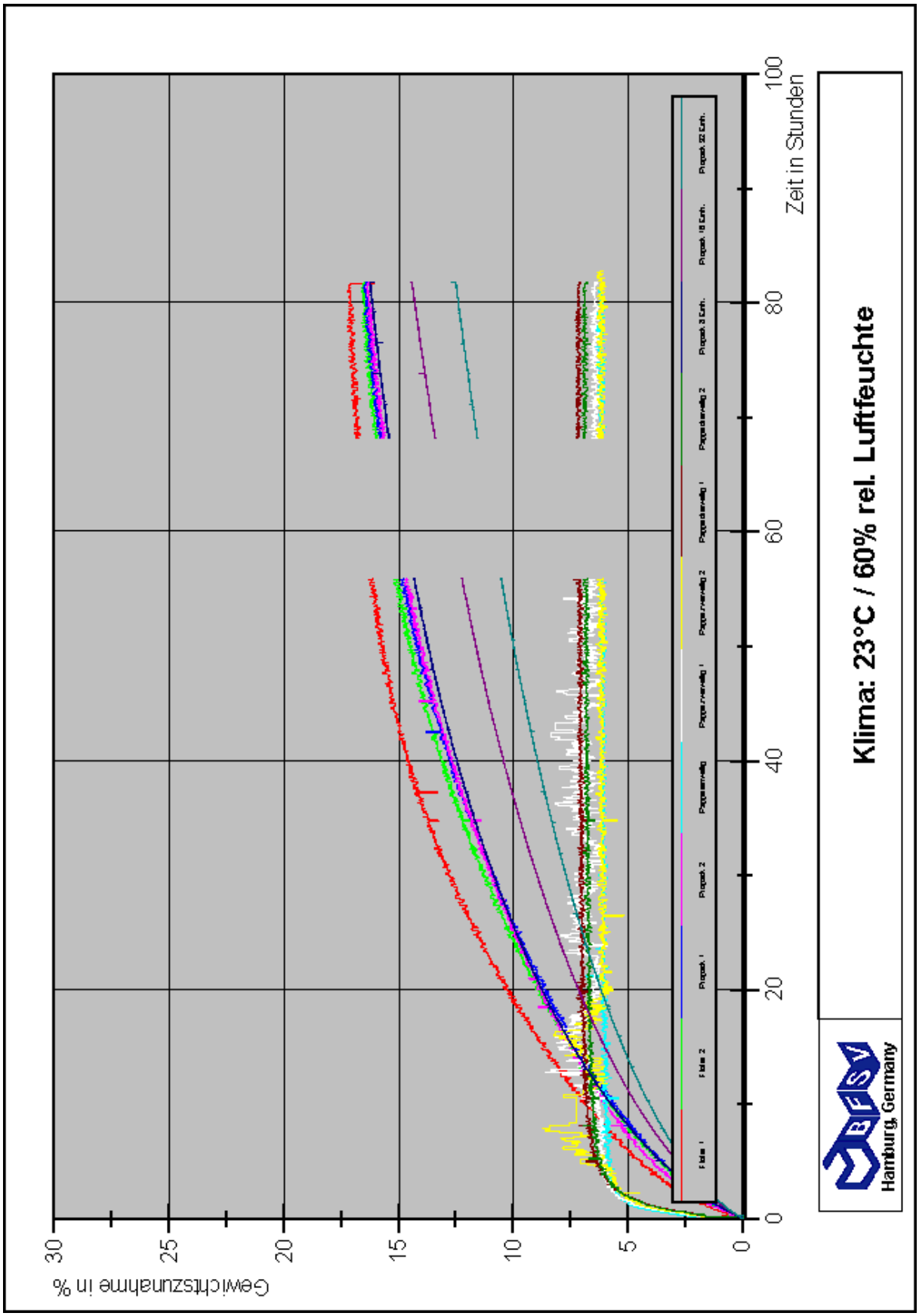
Temp\Feuchte	40 % rel F	60 % rel F	80 % rel F	90 % rel F
15 °C			90,8 Std	104,0 Std
23 °C	55,5 Std	54,2 Std	60,1 Std	71,1 Std
30 °C	55,8 Std	40,7 Std	41,9 Std	56,9 Std
40 °C	28,3 Std	29,7 Std	30,8 Std	36,8 Std

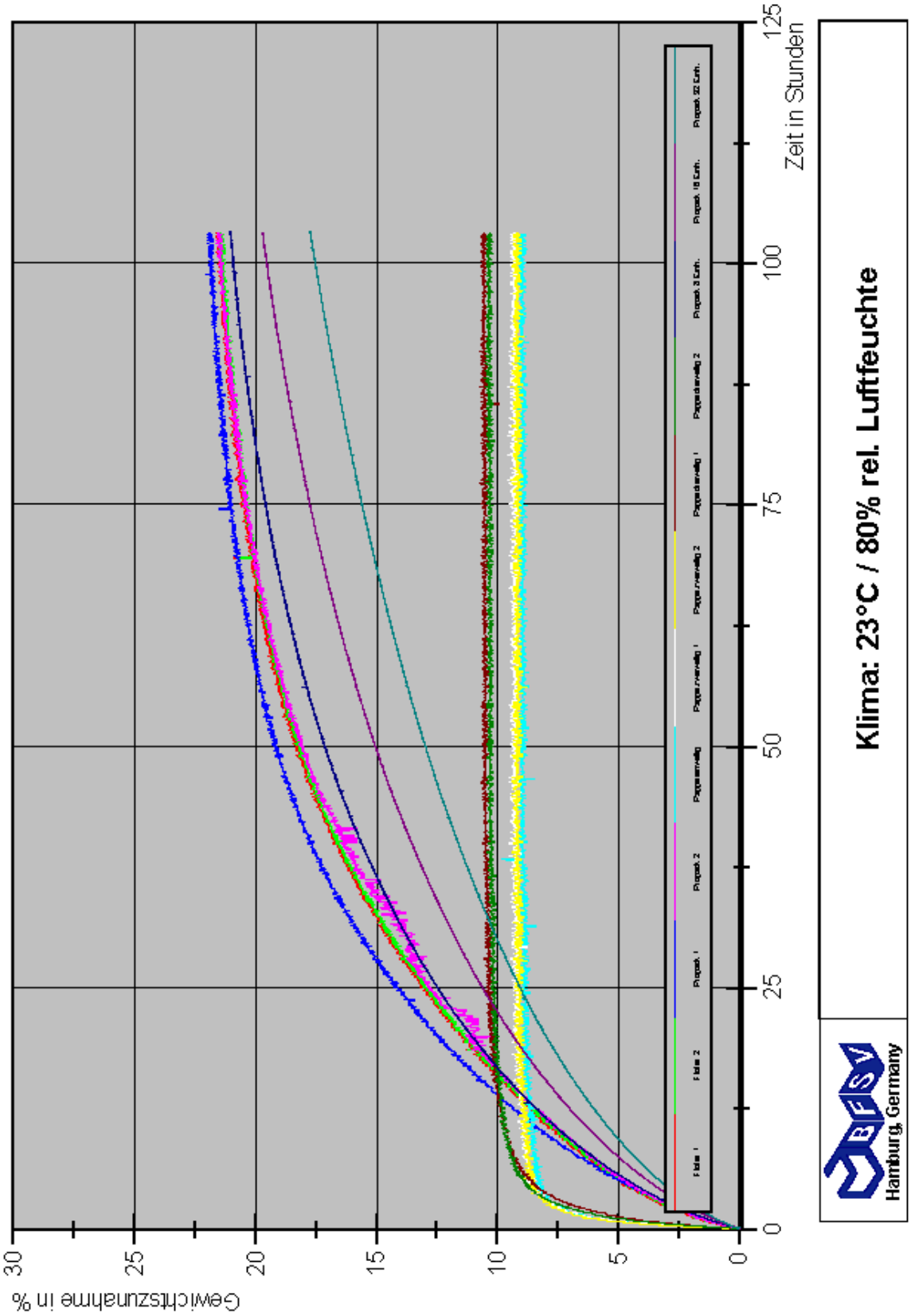


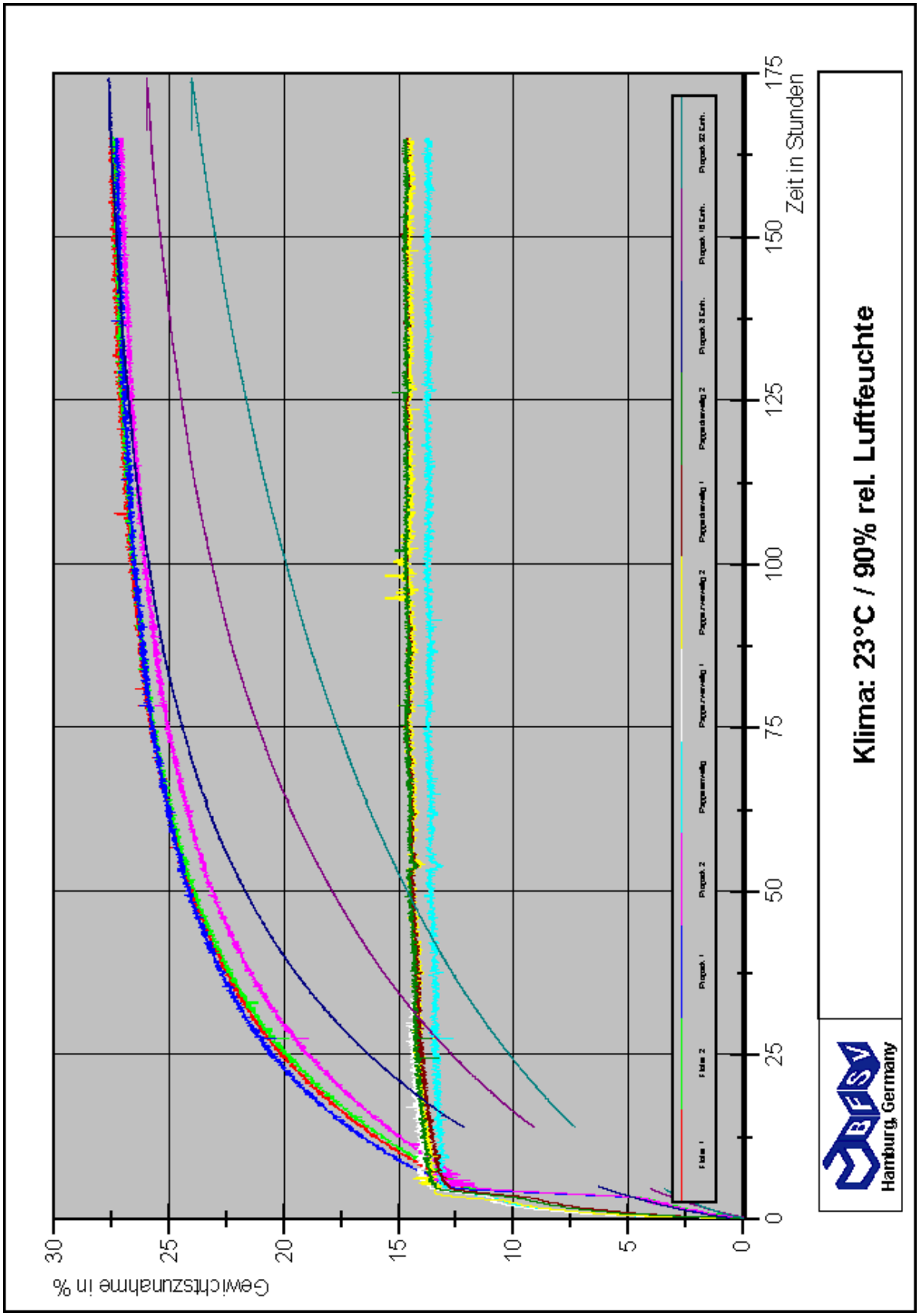

Klima: 15°C / 80% rel. Luftfeuchte
Zeit in Stunden
Gewichtszunahme in %
0
25
50
75
100
125
150
175
200
0
5
10
15
20
25
30
Hamburg, Germany

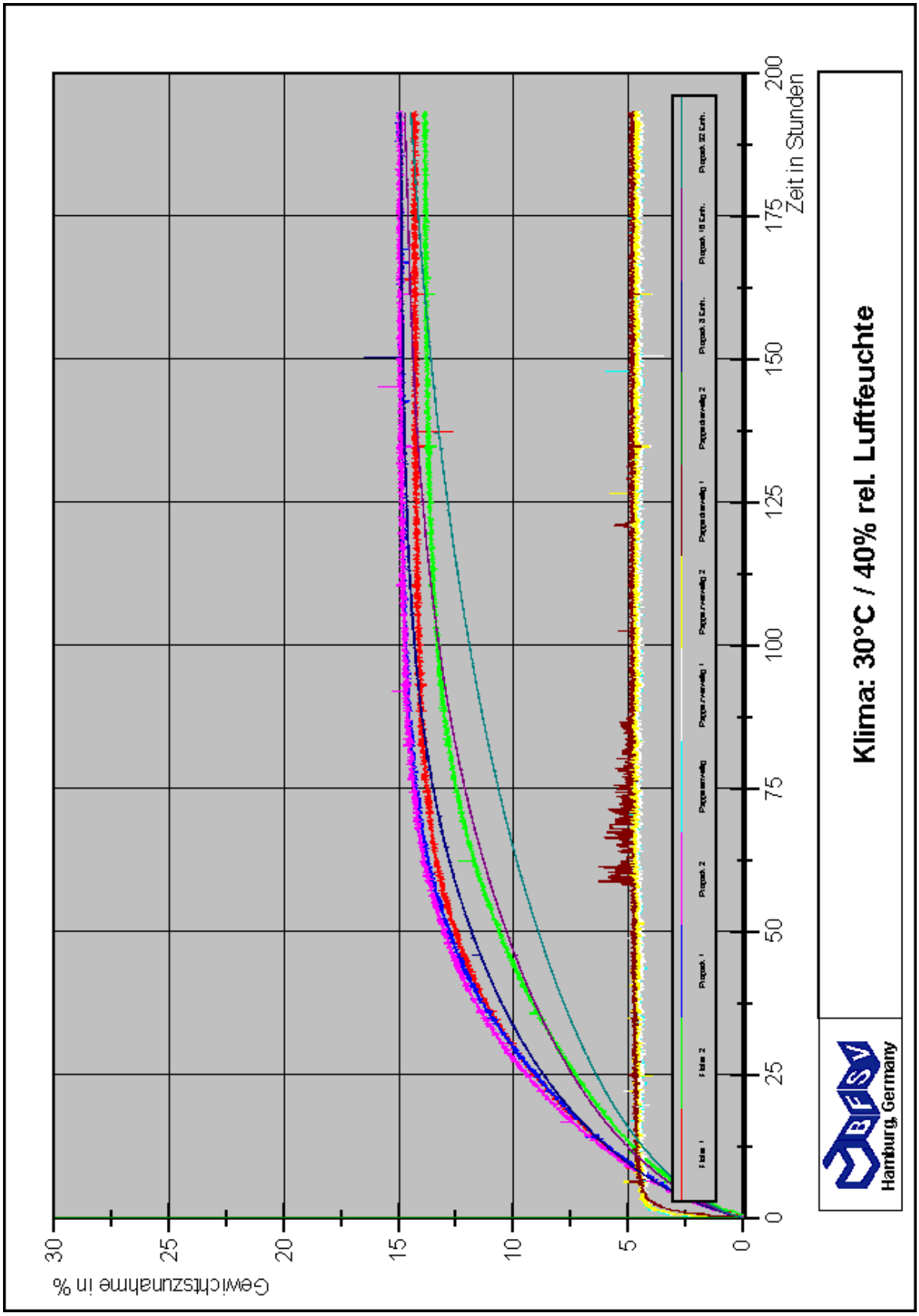

Klima: 15°C / 90% rel. Luftfeuchte
Hamburg, Germany
Gewichtszunahme in %
Zeit in Stunden
0
5
10
15
20
25
30
0
25
50
75
100
125
150
175

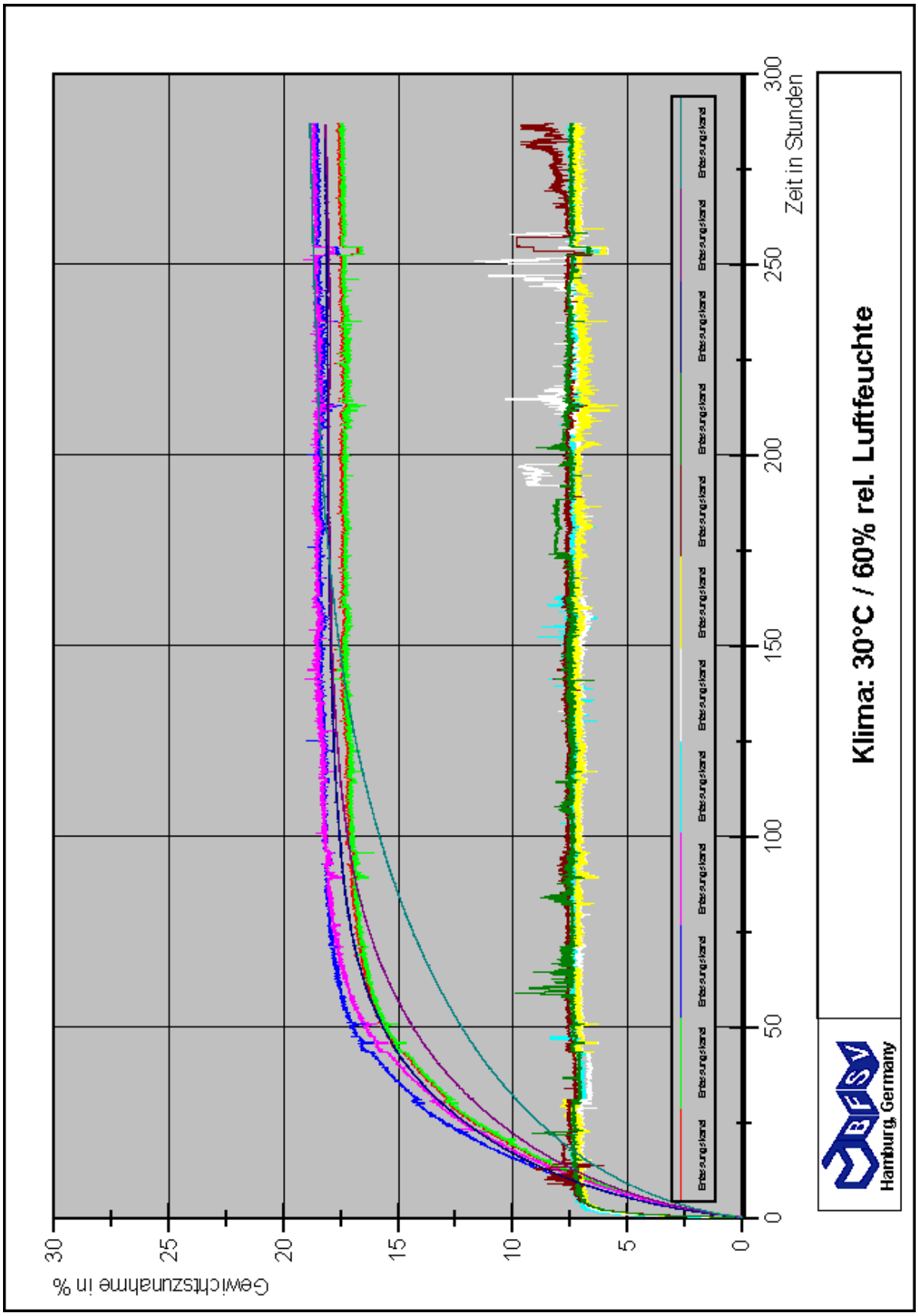

Klima: 23°C / 40% rel. Luftfeuchte
Hamburg, Germany
Zeit in Stunden
Gewichtszunahme in %
0
25
50
75
100
125
150
175
200
0
5
10
15
20
25
30

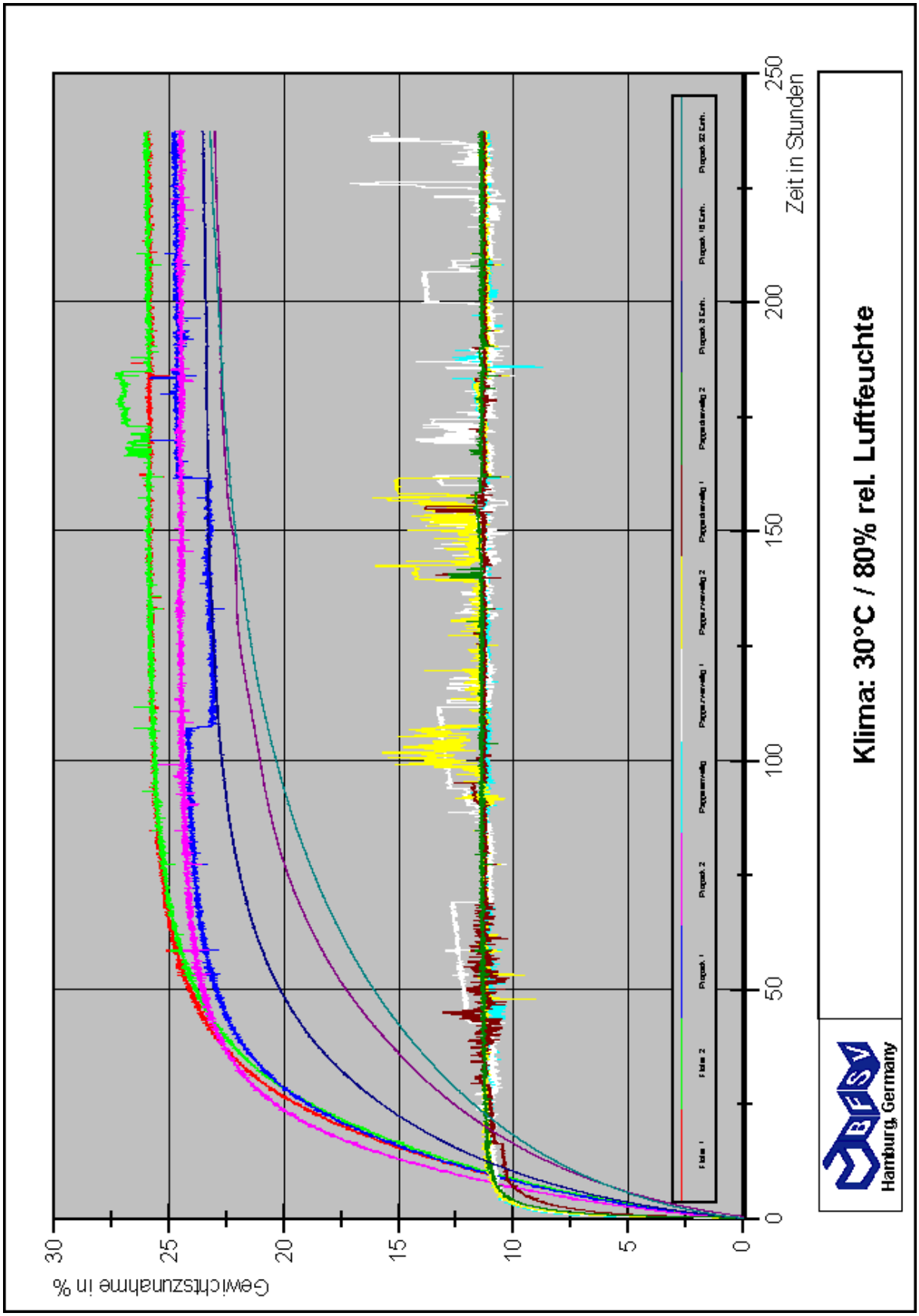

Klima: 23°C / 60% rel. Luftfeuchte
Hamburg, Germany
Gewichtszunahme in %
Zeit in Stunden
0
5
10
15
20
25
30
0
20
40
60
80
100

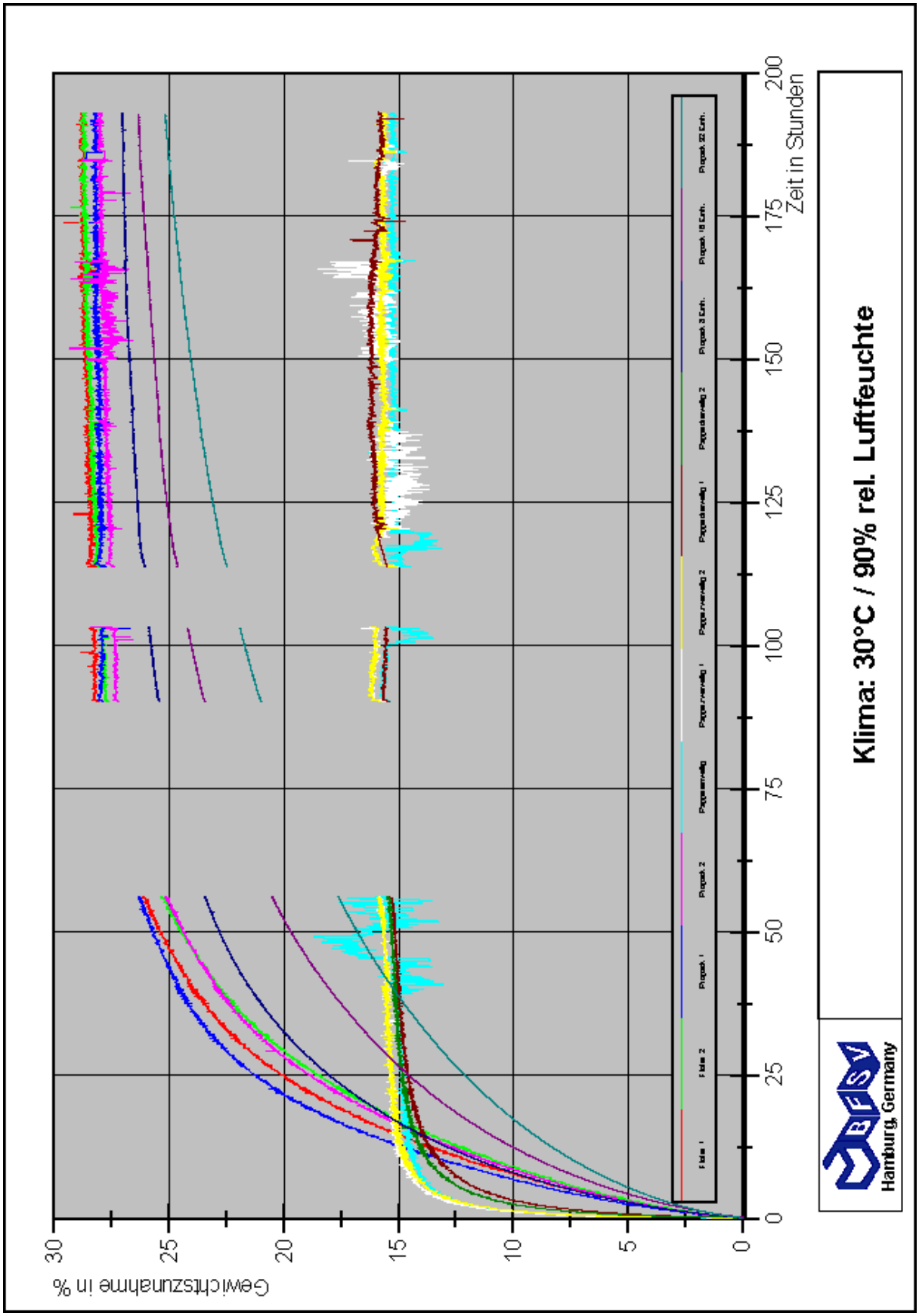

Klima: 23°C / 80% rel. Luftfeuchte
Hamburg, Germany
Zeit in Stunden
Gewichtszunahme in %
0
25
50
75
100
125
0
5
10
15
20
25
30

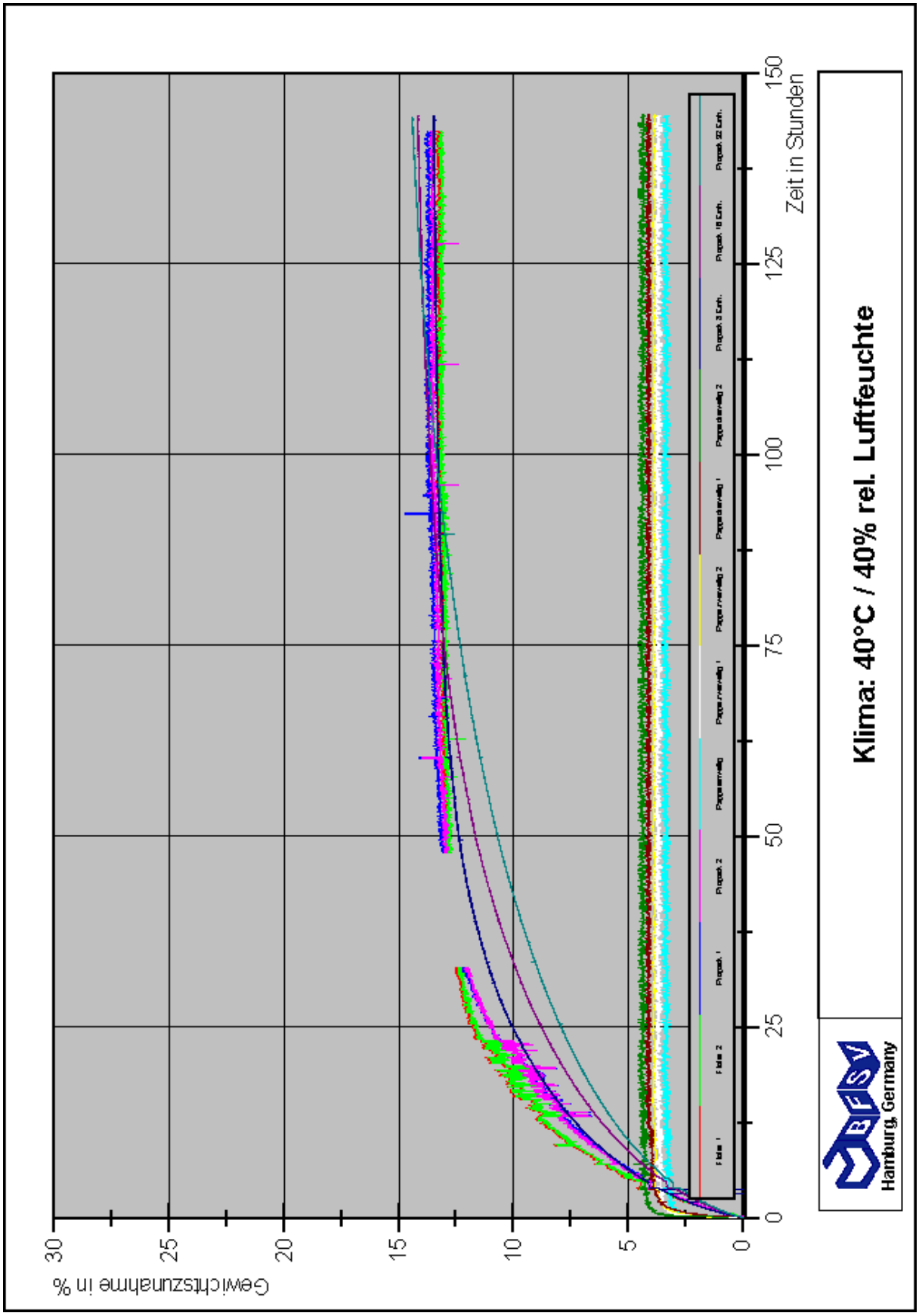

Klima: 23°C / 90% rel. Luftfeuchte
Hamburg, Germany
Zeit in Stunden
Gewichtszunahme in %
0
25
50
75
100
125
150
175
0
5
10
15
20
25
30

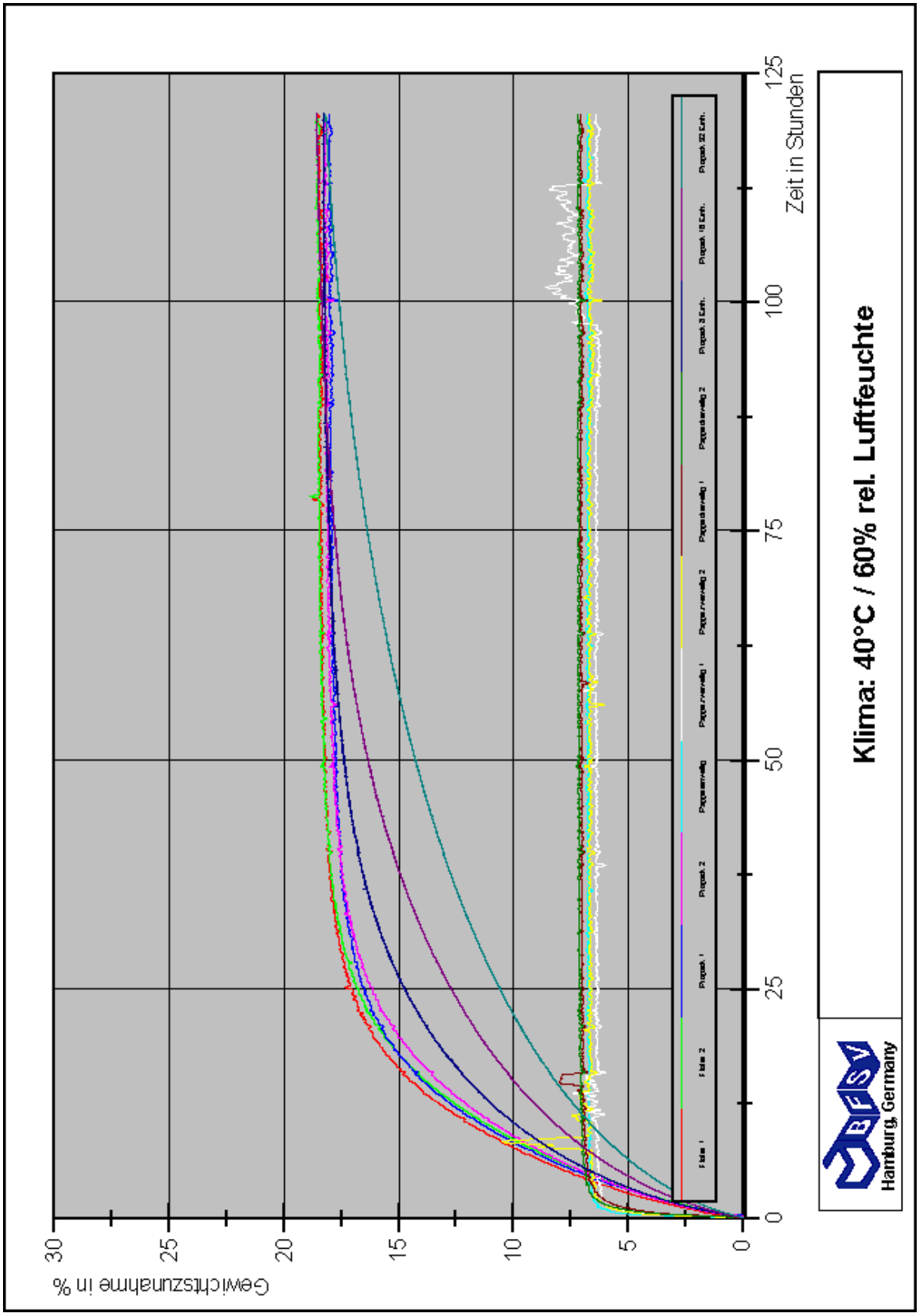

Klima: 30°C / 40% rel. Luftfeuchte
Hamburg, Germany
Zeit in Stunden
Gewichtszunahme in %
0
25
50
75
100
125
150
175
200
0
5
10
15
20
25
30

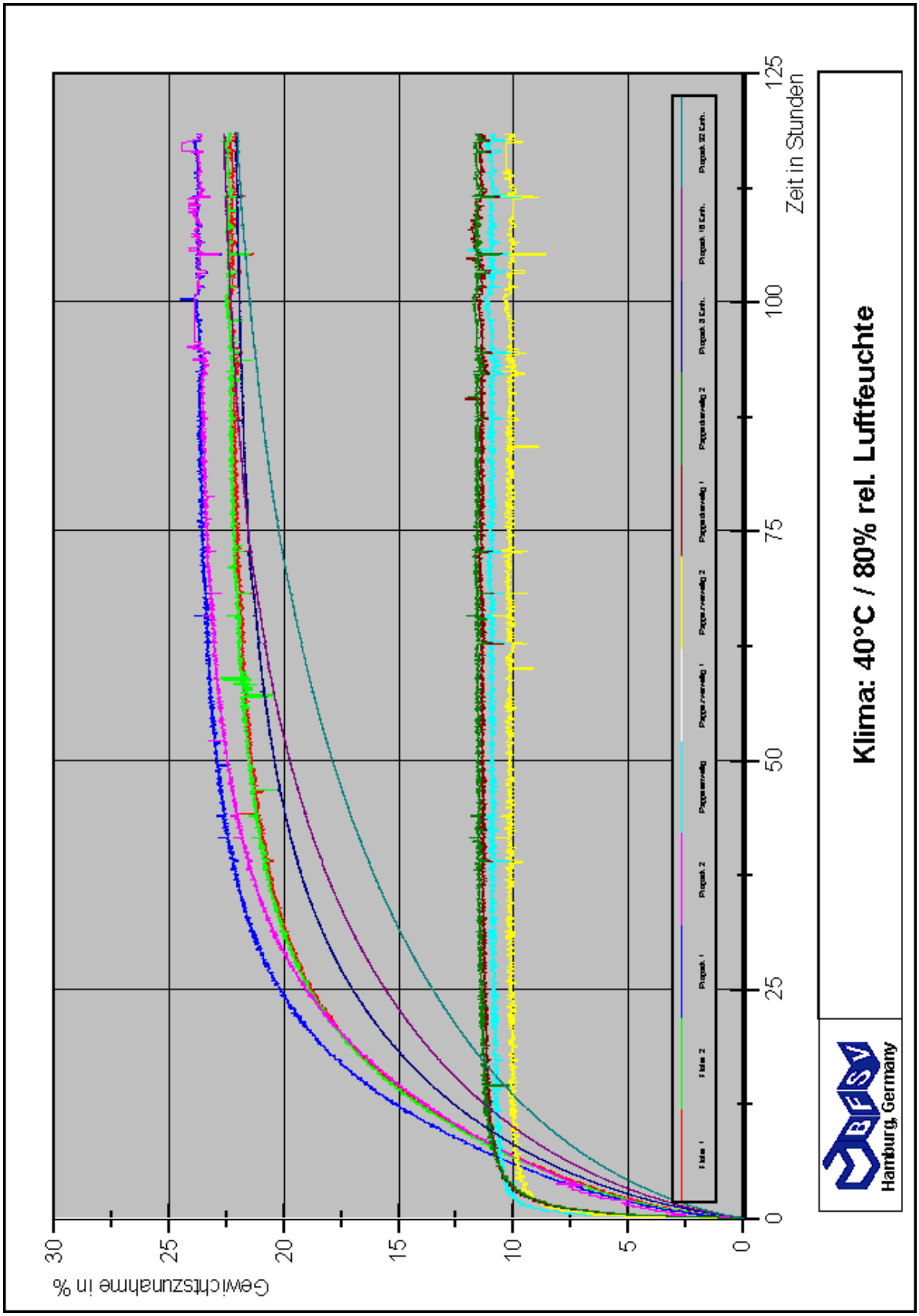

Klima: 30°C / 60% rel. Luftfeuchte
Gewichtszunahme in %
Zeit in Stunden
0
5
10
15
20
25
30
0
50
100
150
200
250
300
Hamburg, Germany

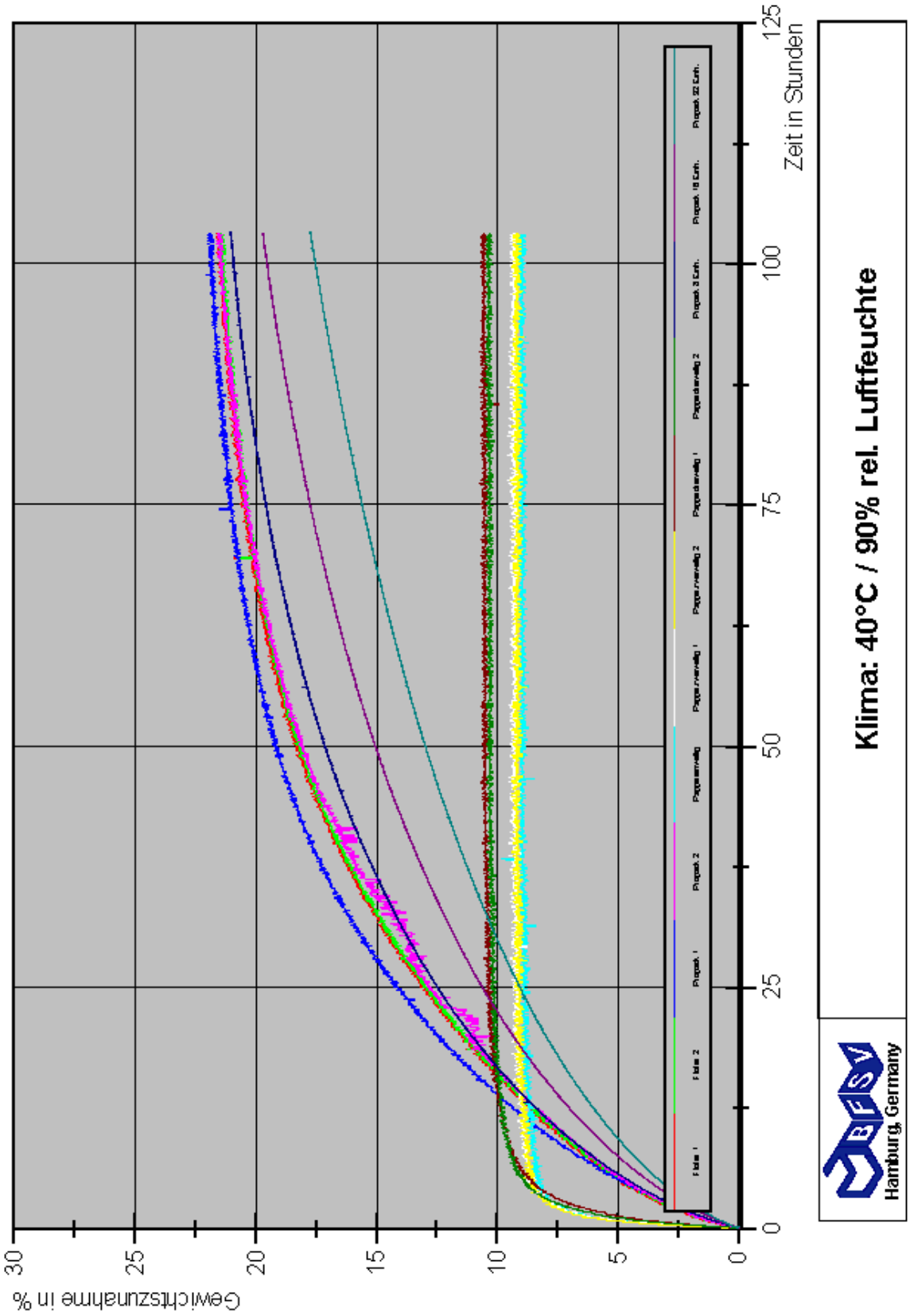

Klima: 30°C / 80% rel. Luftfeuchte
Hamburg, Germany
Gewichtszunahme in %
Zeit in Stunden
0
5
10
15
20
25
30
0
50
100
150
200
250

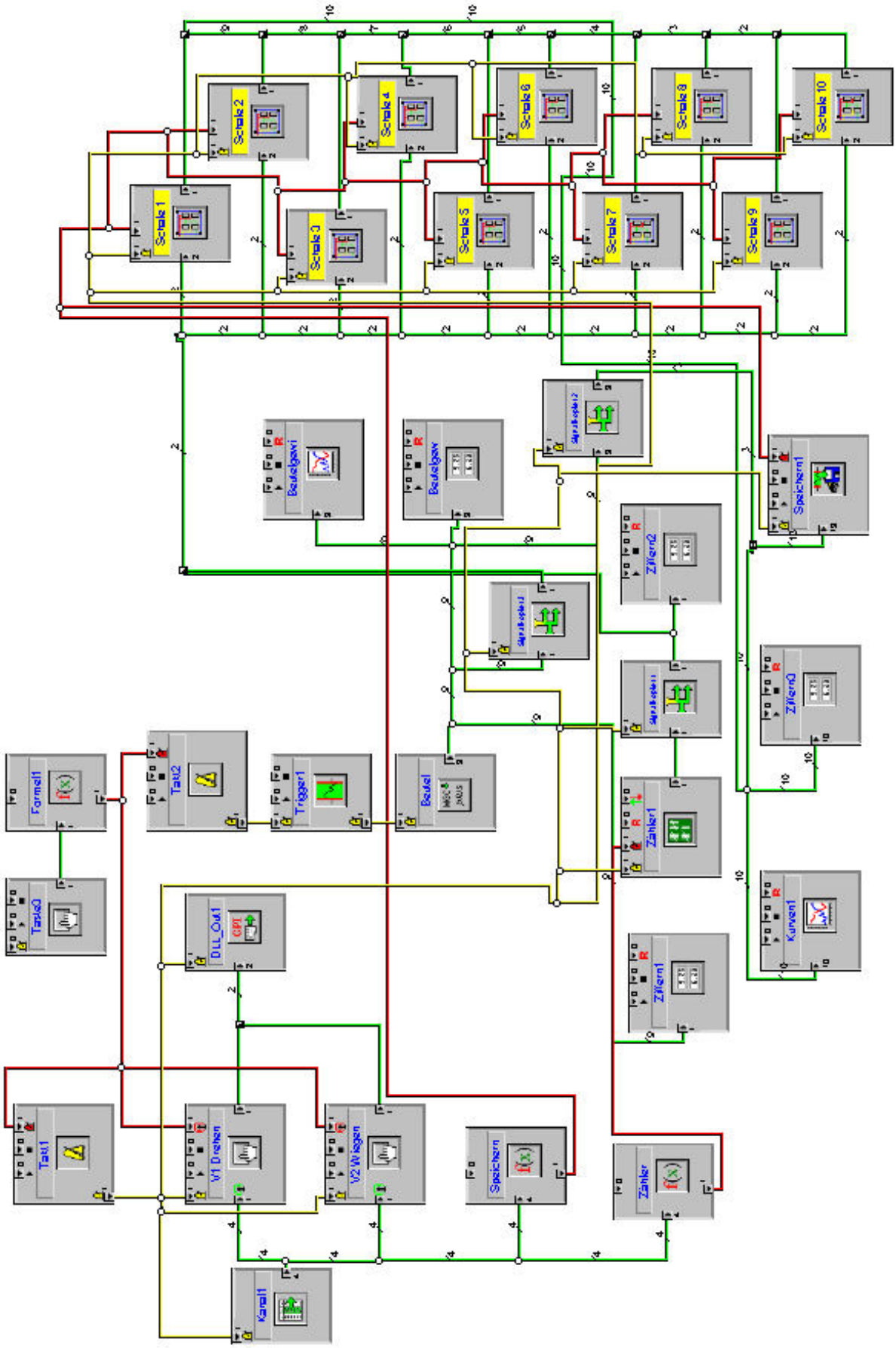

Klima: 30°C / 90% rel. Luftfeuchte
Zeit in Stunden
Gewichtszunahme in %
0
25
50
75
100
125
150
175
200
0
5
10
15
20
25
30
BFSV
Hamburg, Germany


Klima: 40°C / 40% rel. Luftfeuchte
Gewichtszunahme in %
Zeit in Stunden
0
5
10
15
20
25
30
0
25
50
75
100
125
150
BFSV
Hamburg, Germany

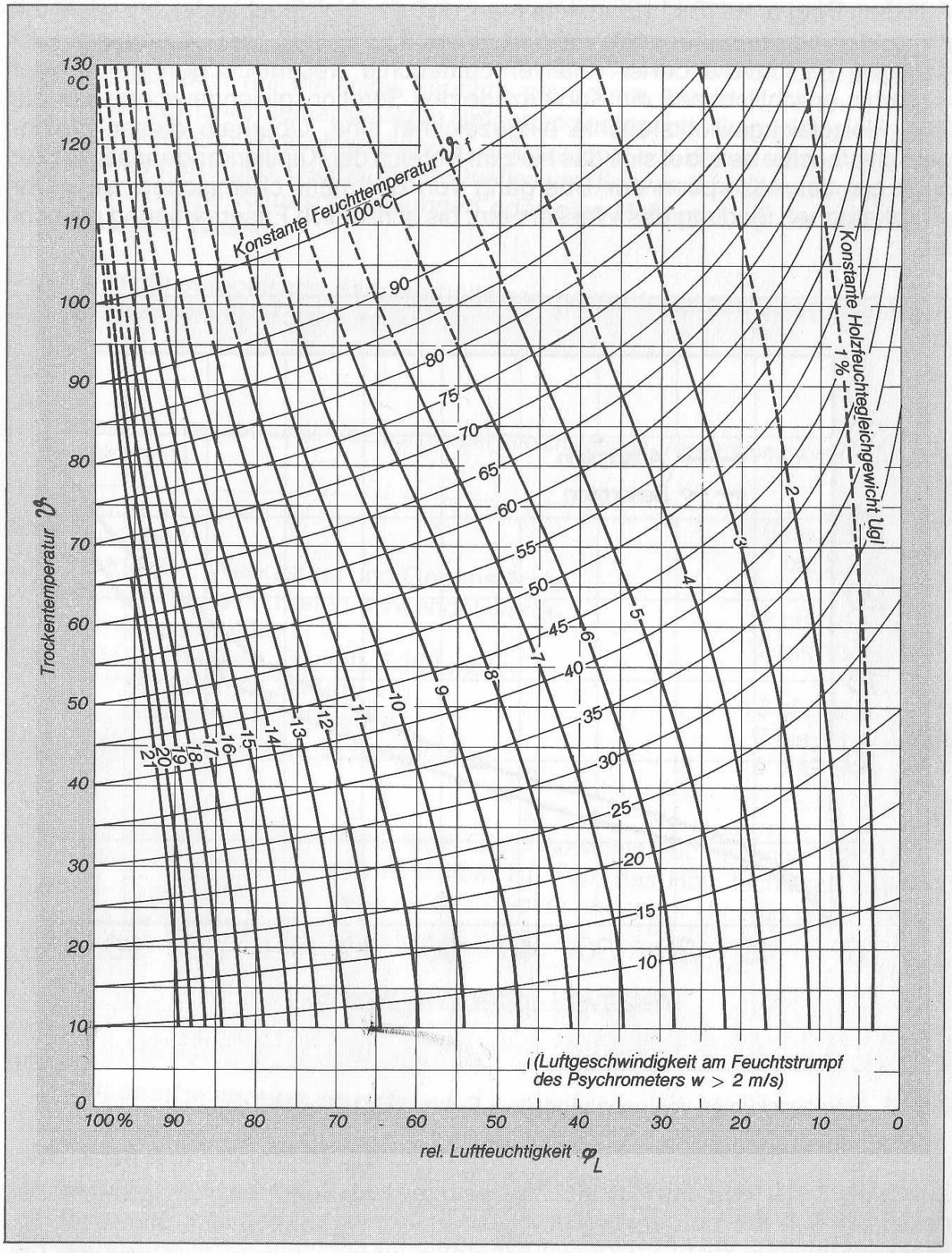

Klima: 40°C / 60% rel. Luftfeuchte
Hamburg, Germany
Gewichtszunahme in %
Zeit in Stunden
0
5
10
15
20
25
30
0
25
50
75
100
125

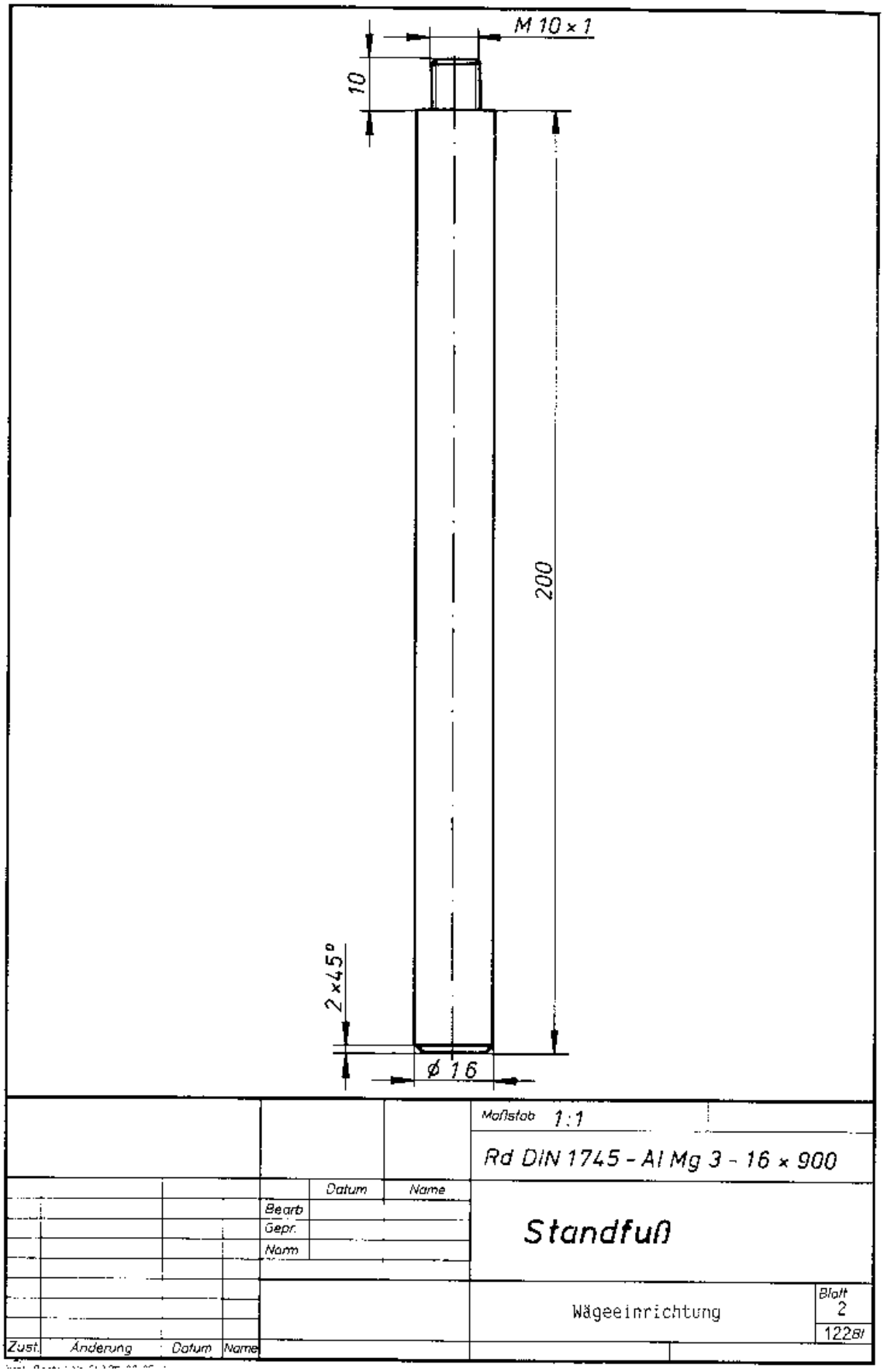

Klima: 40°C / 80% rel. Luftfeuchte
Hamburg, Germany
Zeit in Stunden
Gewichtszunahme in %
0
25
50
75
100
125
0
5
10
15
20
25
30

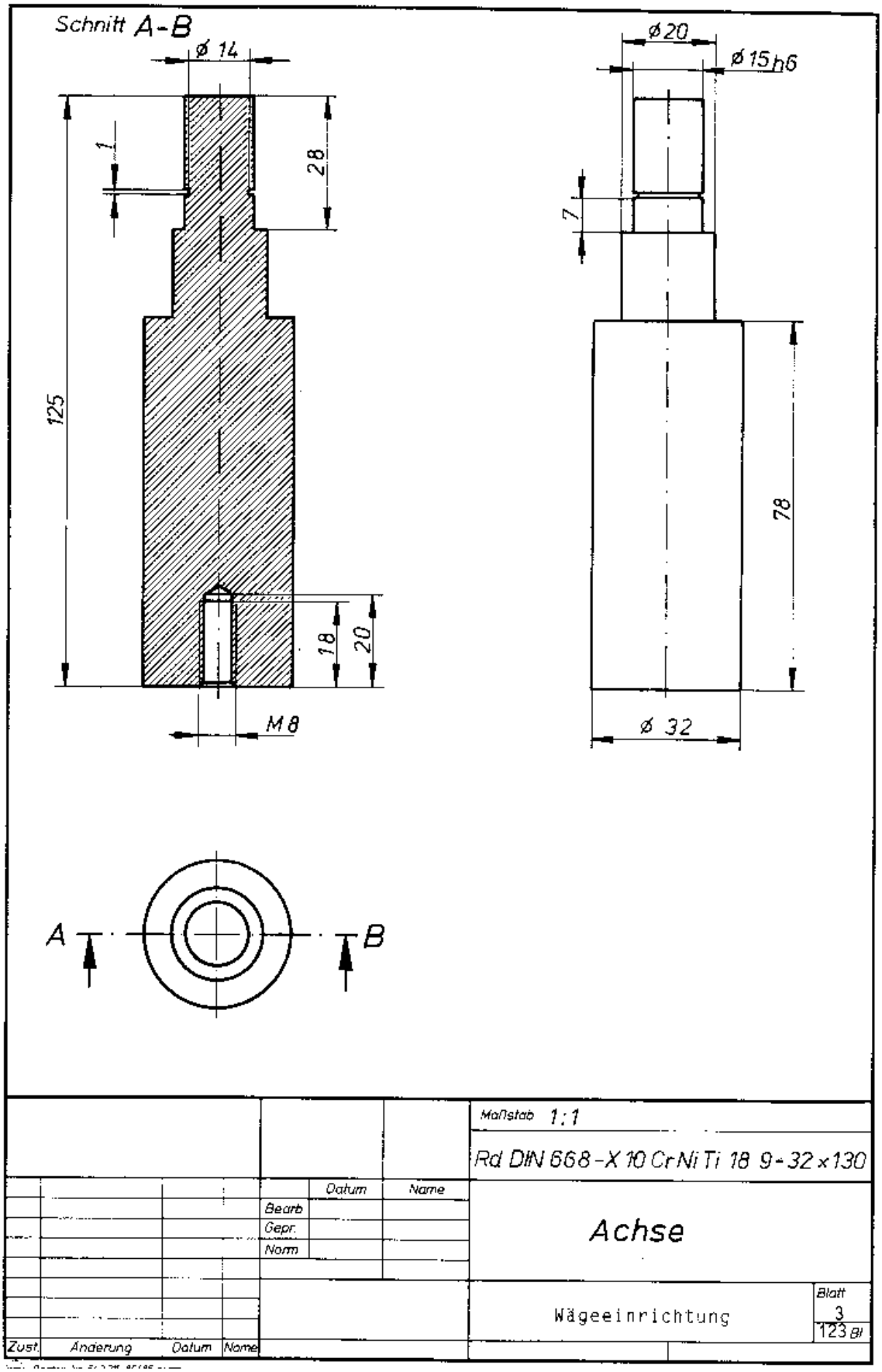

Klima: 40°C / 90% rel. Luftfeuchte
Zeit in Stunden
Gewichtszunahme in %
0
25
50
75
100
125
0
5
10
15
20
25
30
Hamburg, Germany

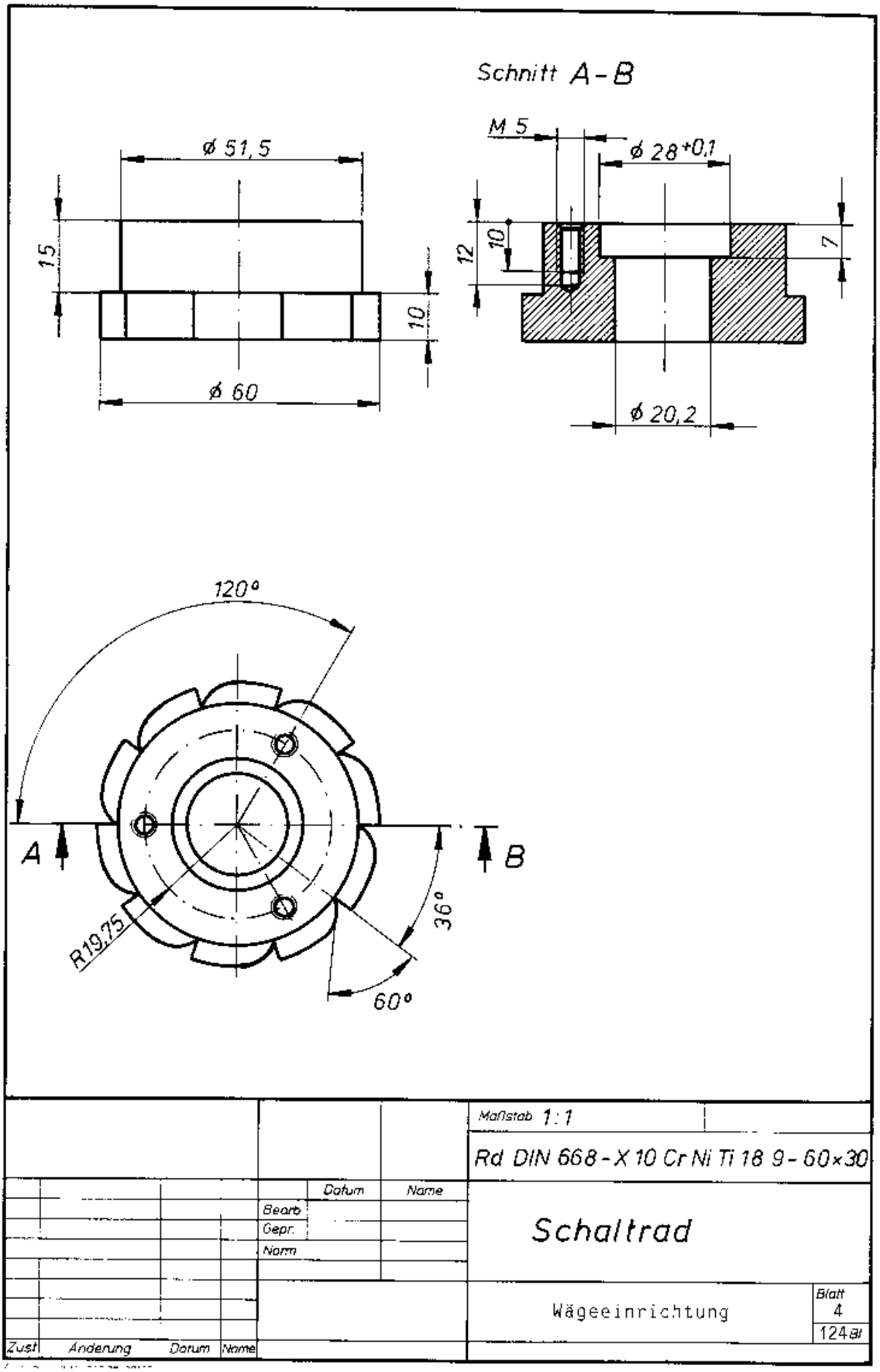

Scale 1
Scale 2
Scale 3
Scale 4
Scale 5
Scale 6
Scale 7
Scale 8
Scale 9
Scale 10
Beulgaw
Beulgaw
Speichern1
Zählern2
Zählern3
Zählern1
Zählern1
Kurven1
Formel1
Tabl0
Tabl2
Trigger1
Beulel
Zähler1
DLL_Out1
Tabl1
V1 Drehen
V2 Wiegen
Speichern
Zähler
Kanal1

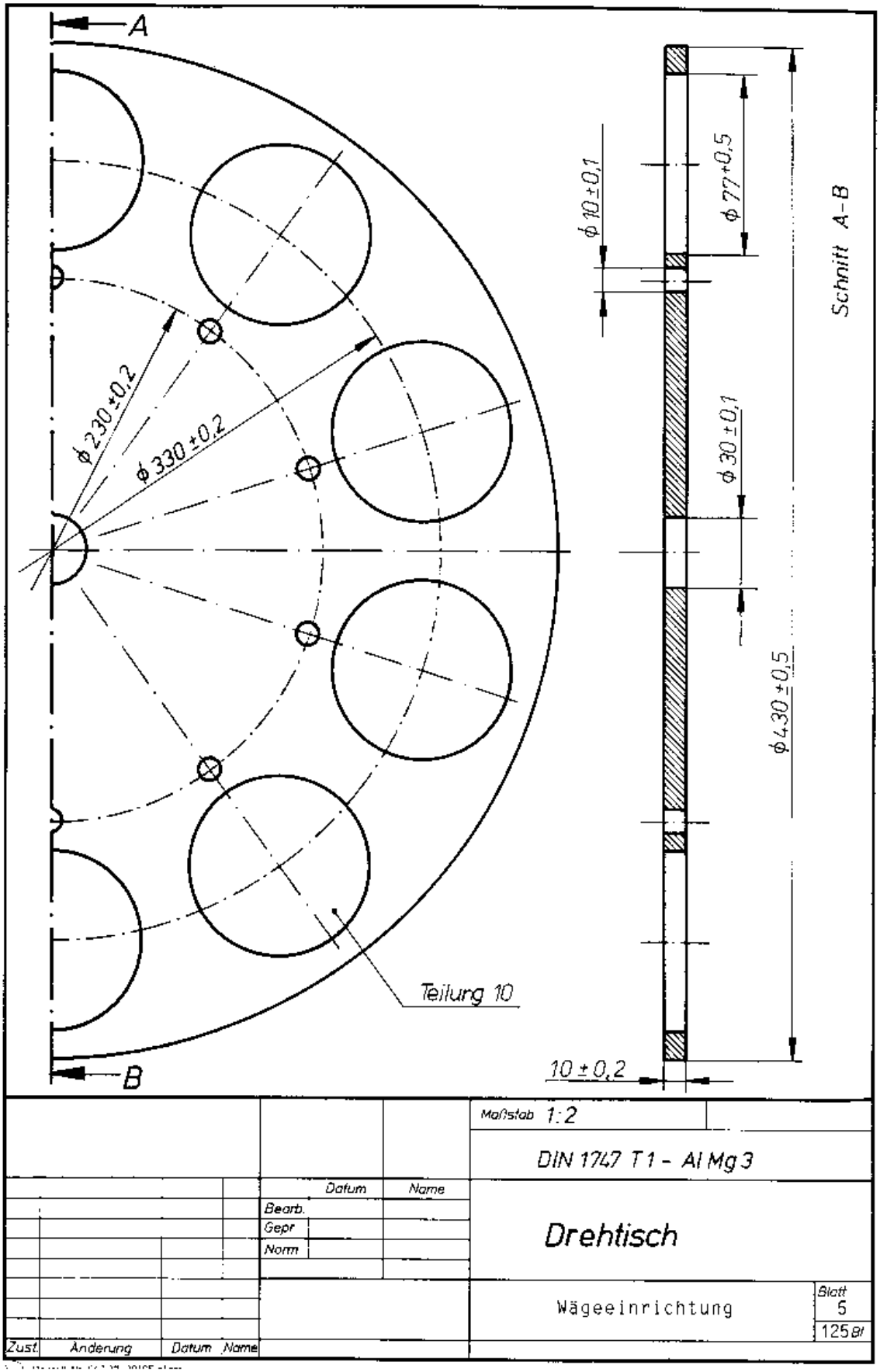
Das Holzfeuchtegleichgewicht

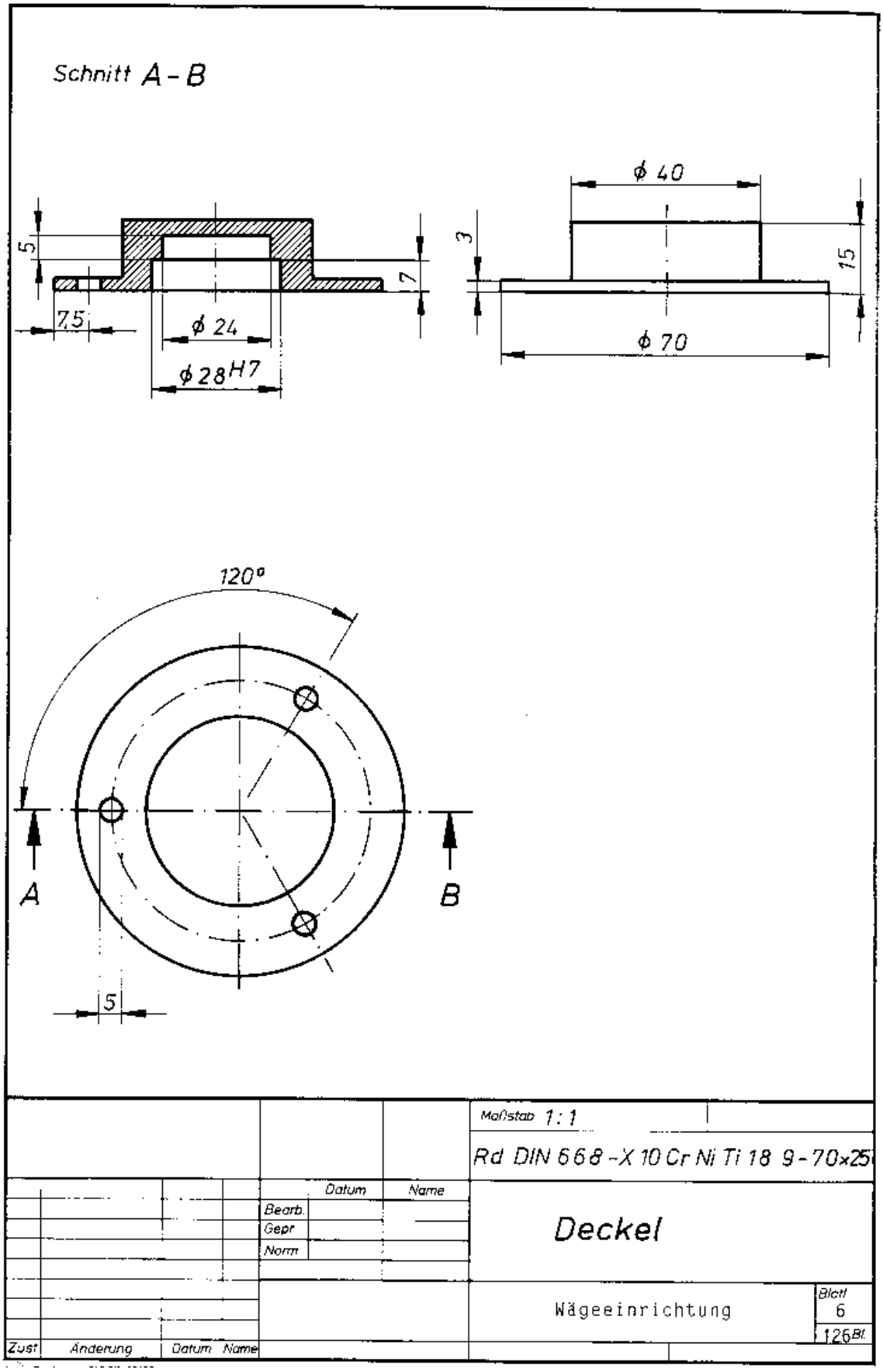


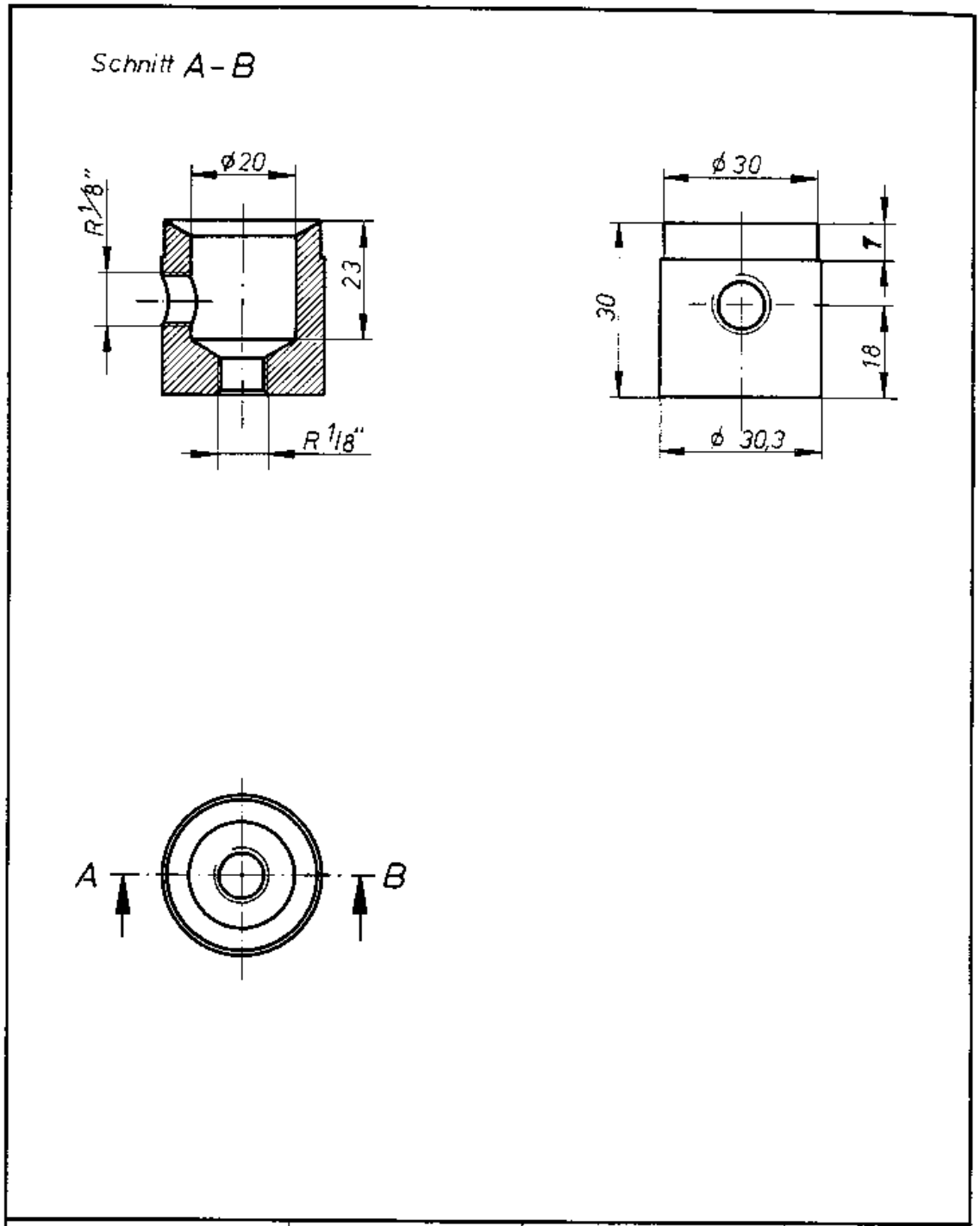

M 10 × 1
10
200
2 × 45°
ø 16
Maßstab 1:1
Rd DIN 1745 - Al Mg 3 - 16 × 900
Datum
Name
Bearb
Gepr.
Norm
Standfuß
Wägeeinrichtung
Blatt
2
122BI
Zust.
Änderung
Datum
Name

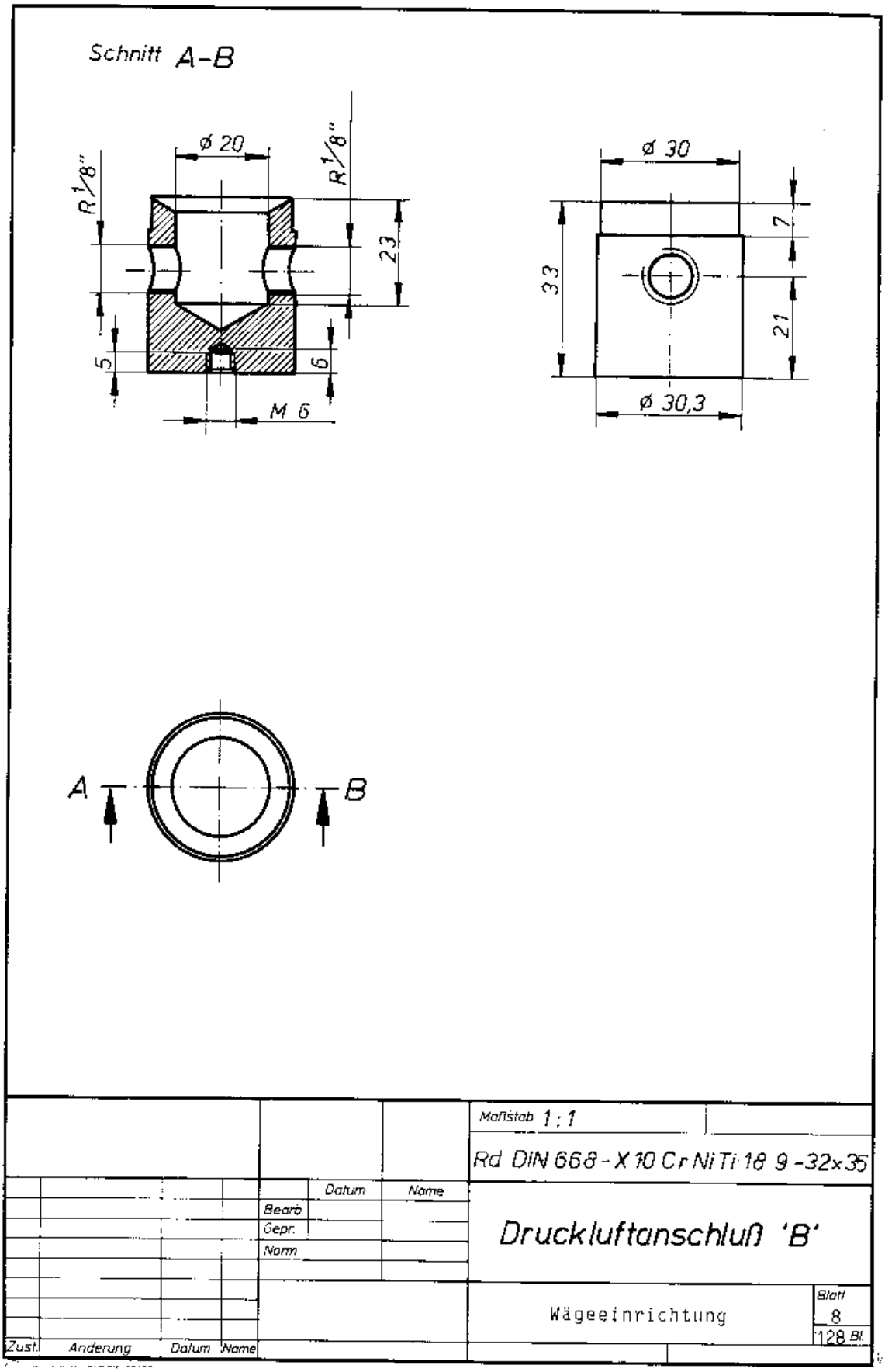

Schnitt A-B
ø 14
1
28
125
18
20
M 8
ø 20
ø 15 h6
7
78
ø 32
A
B
Maßstab 1:1
Rd DIN 668 - X 10 CrNi Ti 18 9 - 32 x 130
Datum
Name
Bearb
Gepr.
Norm
Achse
Wägeeinrichtung
Blatt
3
123 Bl
Zust.
Änderung
Datum
Name

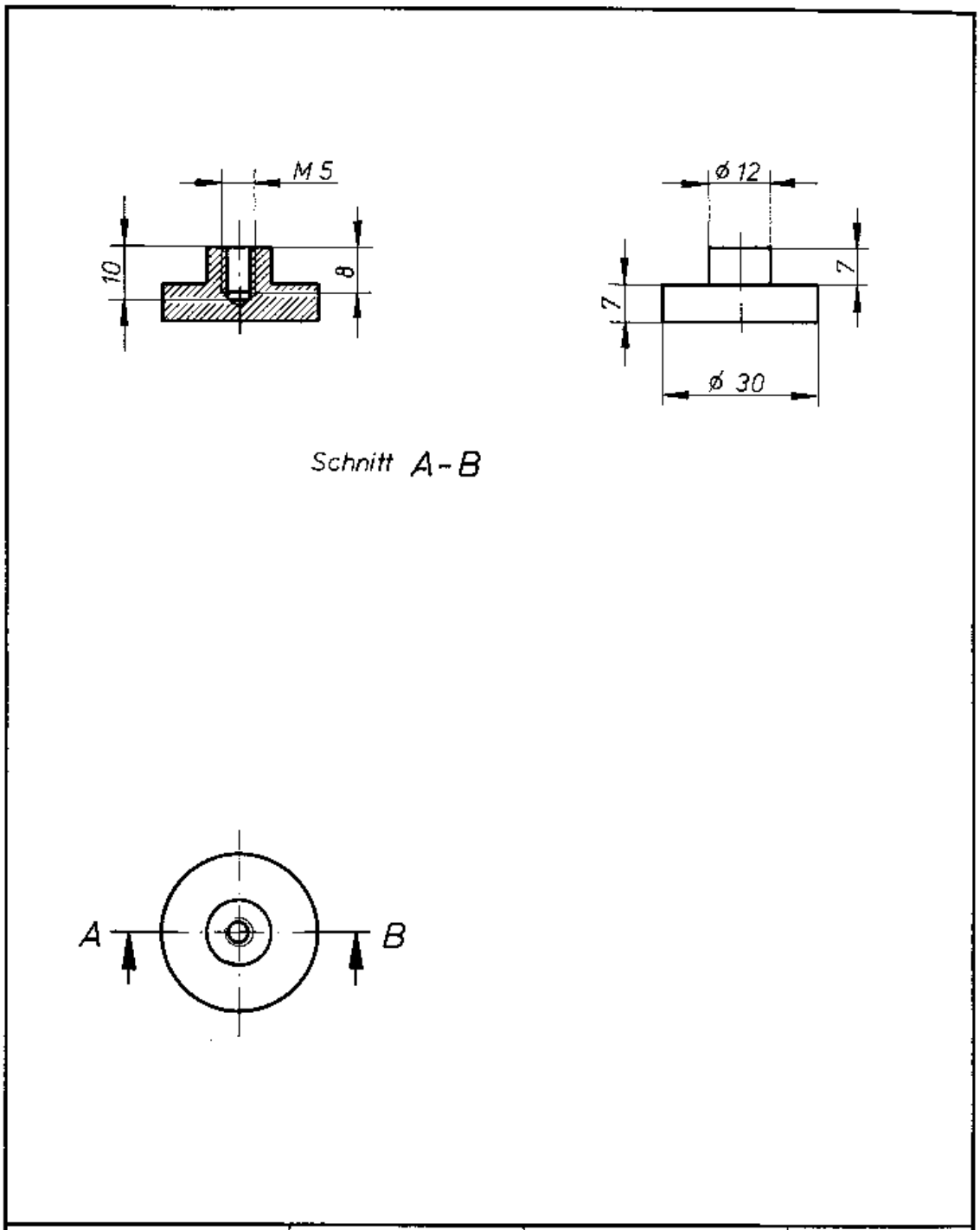

Schnitt A-B
ø 51,5
15
10
ø 60
M 5
ø 28+0,1
12
10
7
ø 20,2
120°
A
B
R19,75
36°
60°
Maßstab 1:1
Rd DIN 668 - X 10 Cr Ni Ti 18 9 - 60×30
Datum
Name
Bearb.
Gepr.
Norm
Schaltrad
Wägeeinrichtung
Blatt
4
124 a
Zust.
Änderung
Datum
Name

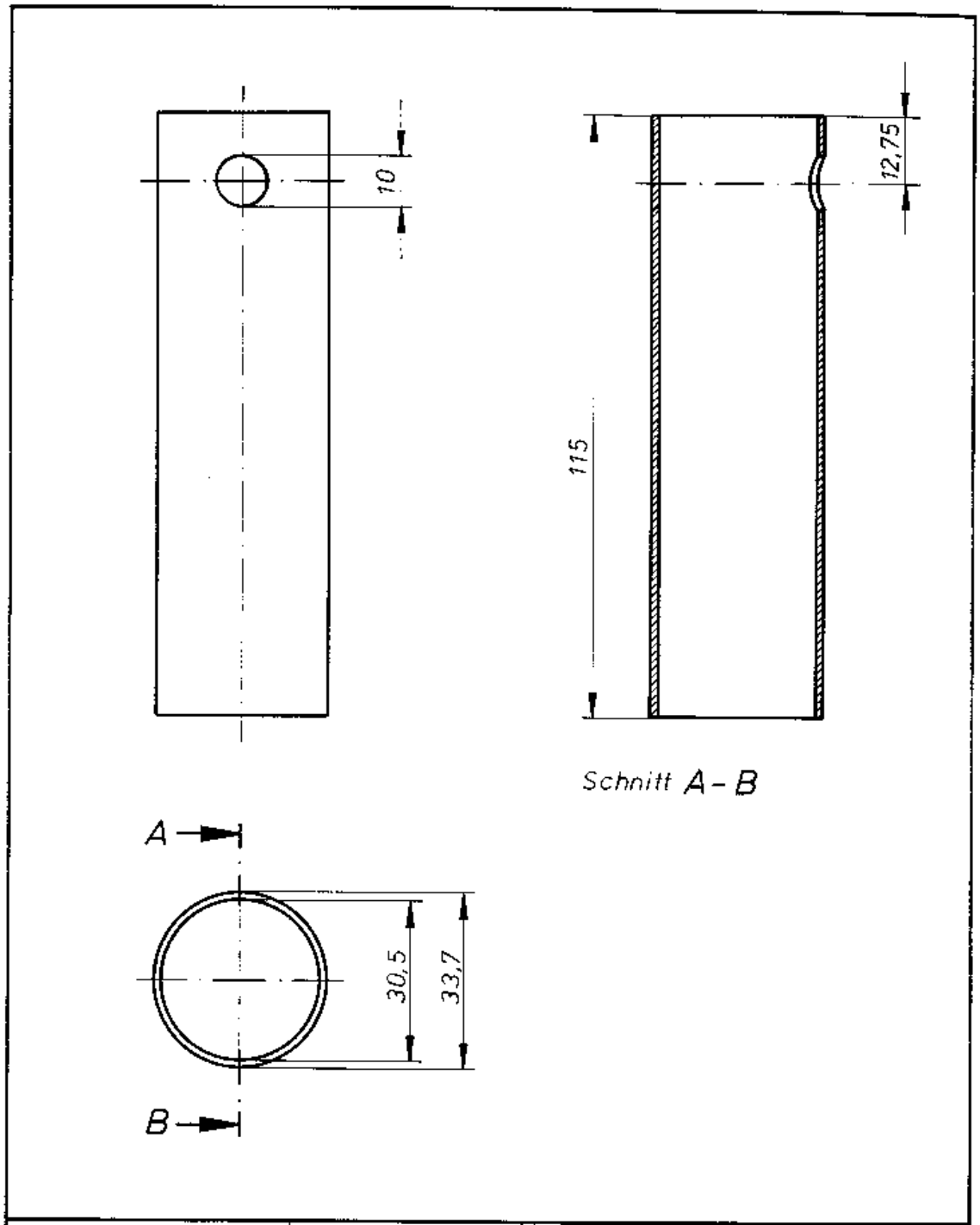

A
B
ϕ 230 ±0,2
ϕ 330 ±0,2
Teilung 10
ϕ 10 ±0,1
ϕ 77+0,5
ϕ 30 ±0,1
ϕ 430 ±0,5
10 ±0,2
Schnitt A-B
Maßstab 1:2
DIN 1747 T1 - Al Mg 3
Datum
Name
Bearb.
Gepr
Norm
Drehtisch
Wägeeinrichtung
Blatt
5
125 Bl
Zust.
Änderung
Datum
Name

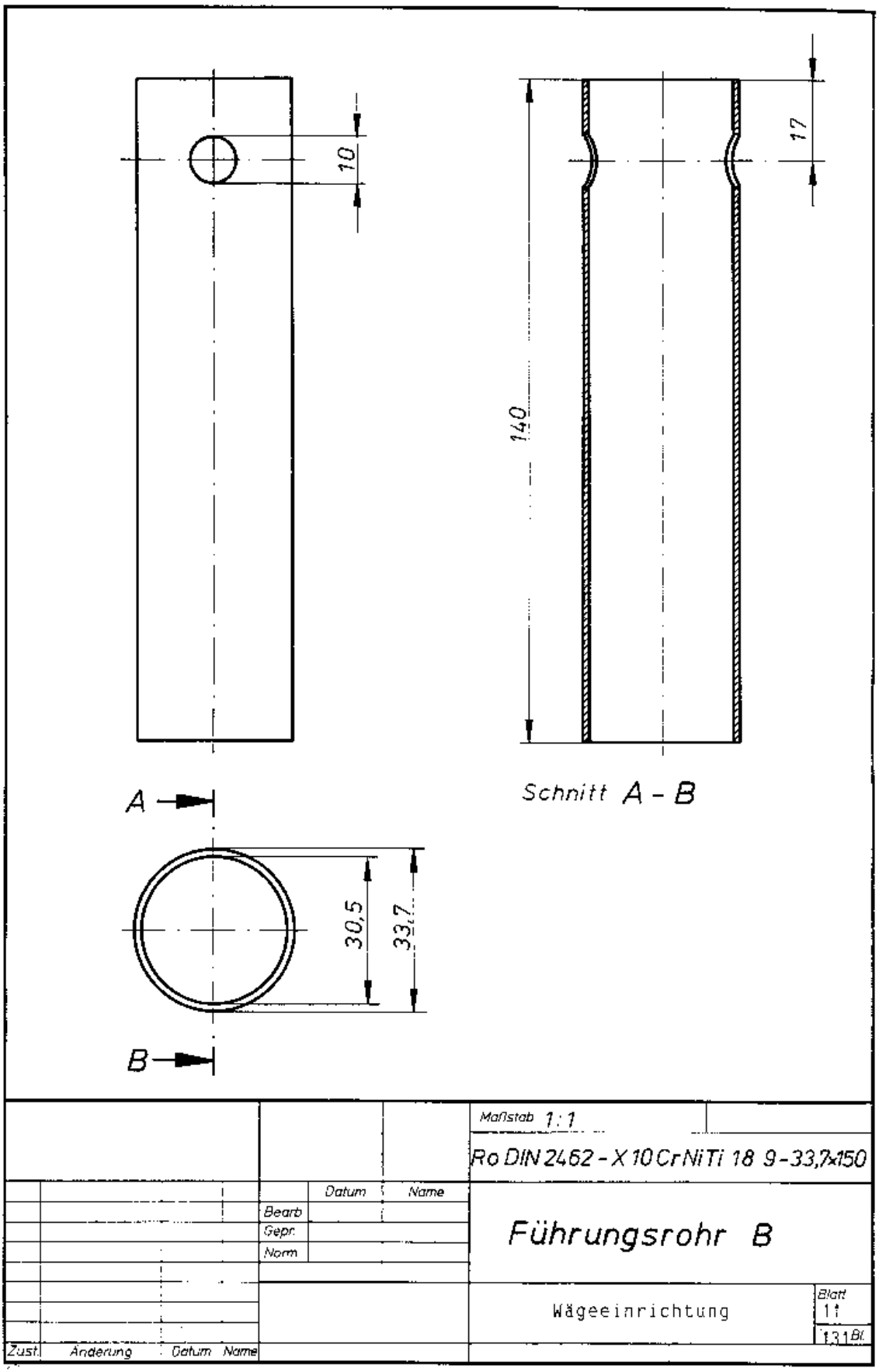

Schnitt A - B
ϕ 40
5
3
15
7
7,5
ϕ 24
ϕ 28H7
ϕ 70
120°
A
B
5
Maßstab 1:1
Rd DIN 668 -X 10 Cr Ni Ti 18 9 - 70x25
Datum
Name
Bearb.
Gepr
Norm
Deckel
Wägeeinrichtung
Blatt
6
126Bl.
Zust
Änderung
Datum
Name

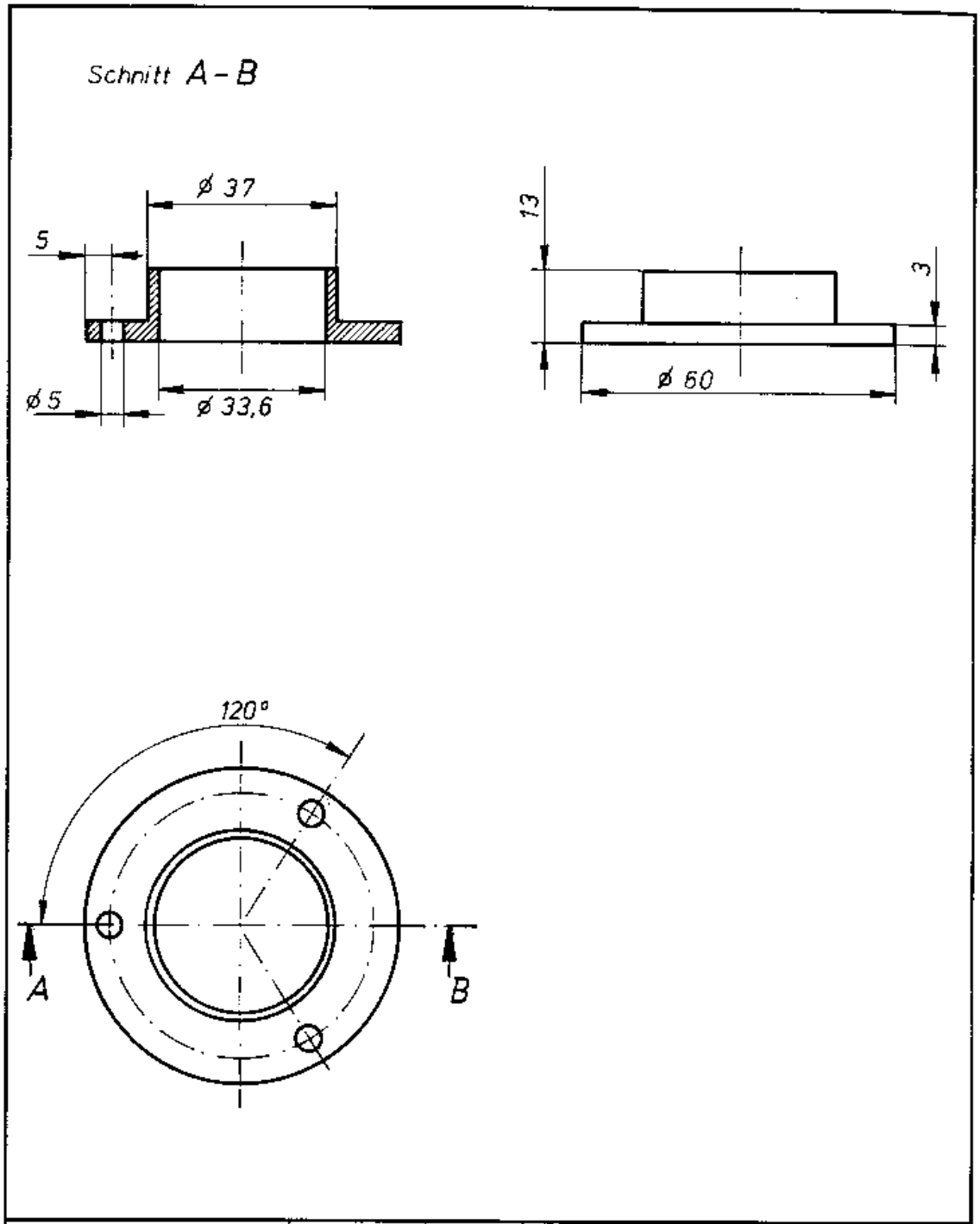

Schnitt A – B
ø20
R 1/8"
23
R 1/8"
ø 30
7
30
18
ø 30,3
A
B
Maßstab 1 : 1
Rd DIN 668 - X 10 Cr NiTi 18 9 - 32x35
Datum
Name
Bearb.
Gepr
Norm
Druckluftanschluß 'A'
Wägeeinrichtung
Blatt
7
127 Bl.
Zust.
Änderung
Datum
Name

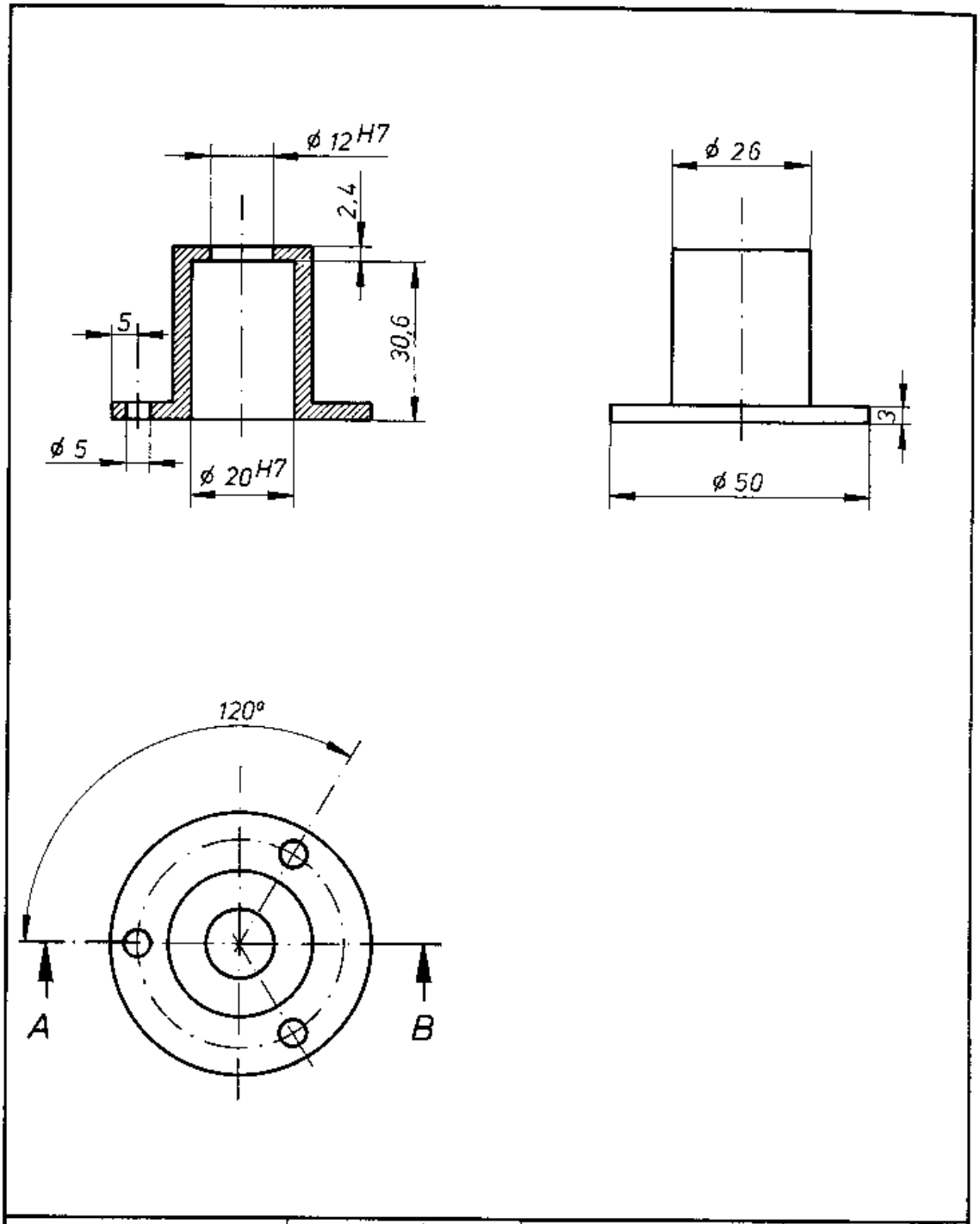

Schnitt A-B
ø 20
R 1/8"
R 1/8"
23
5
6
M 6
ø 30
7
33
21
ø 30,3
A
B
Maßstab 1 : 1
Rd DIN 668 - X 10 CrNiTi 18 9 - 32x35
Datum
Name
Bearb
Gepr.
Norm
Druckluftanschluß 'B'
Wägeeinrichtung
Blatt
8
128 Bl.
Zust.
Änderung
Datum
Name

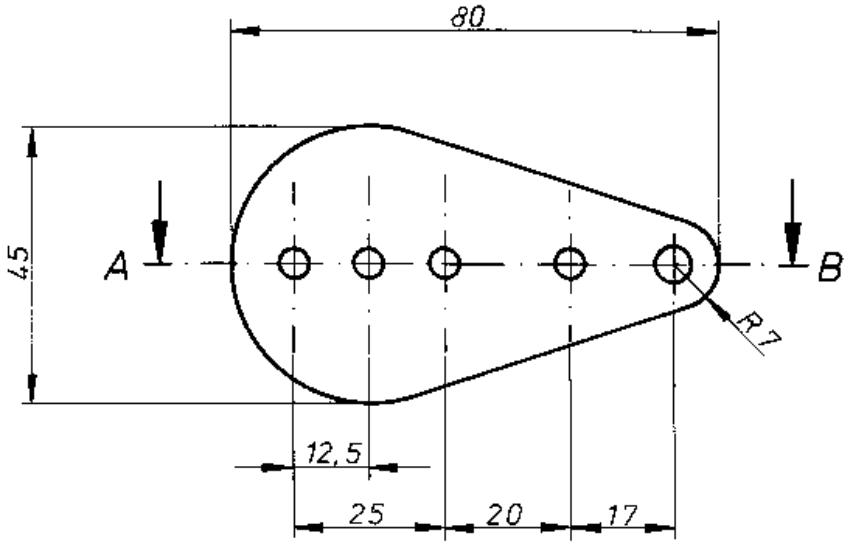

M 5
10
8
ø 12
7
7
ø 30
Schnitt A-B
A
B
Maßstab 1:1
Rd DIN 668 - X 10 CrNiTi 18 9 - 30 x 20
Datum
Name
Bearb.
Gepr
Norm
Anschlag
Wägeeinrichtung
Blatt
9
129 Bl.
Zust.
Änderung
Datum
Name


10
12,75
115
Schnitt A – B
A
B
30,5
33,7
Maßstab 1 : 1
Ro DIN 2462 - X 10 CrNiTi 18 9 - 33,7x120
Datum
Name
Bearb.
Gepr.
Norm
Führungsrohr A
Wägeeinrichtung
Blatt
10
130Bl
Zust.
Änderung
Datum
Name

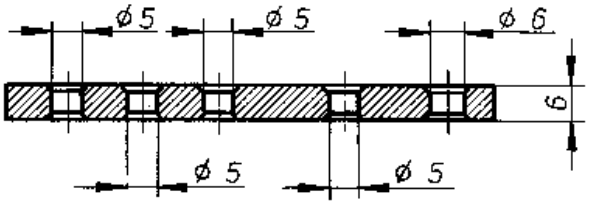

10
17
140
Schnitt A - B
A
B
30,5
33,7
Maßstab 1:1
Ro DIN 2462 - X 10 CrNiTi 18 9 - 33,7x150
Datum
Name
Bearb
Gepr.
Norm
Führungsrohr B
Wägeeinrichtung
Blatt
1 1
1 3 1 Bl.
Zust.
Änderung
Datum
Name


Schnitt A – B
ø 37
5
ø 5
ø 33,6
13
3
ø 60
120°
A
B
Maßstab 1:1
Rd DIN 668 – X 10 CrNiTi 18 9 – 60 x 20
Datum
Name
Bearb.
Gepr.
Norm
Flansch
Wägeeinrichtung
Blatt
12
132 Bl.
Zust.
Änderung
Datum
Name

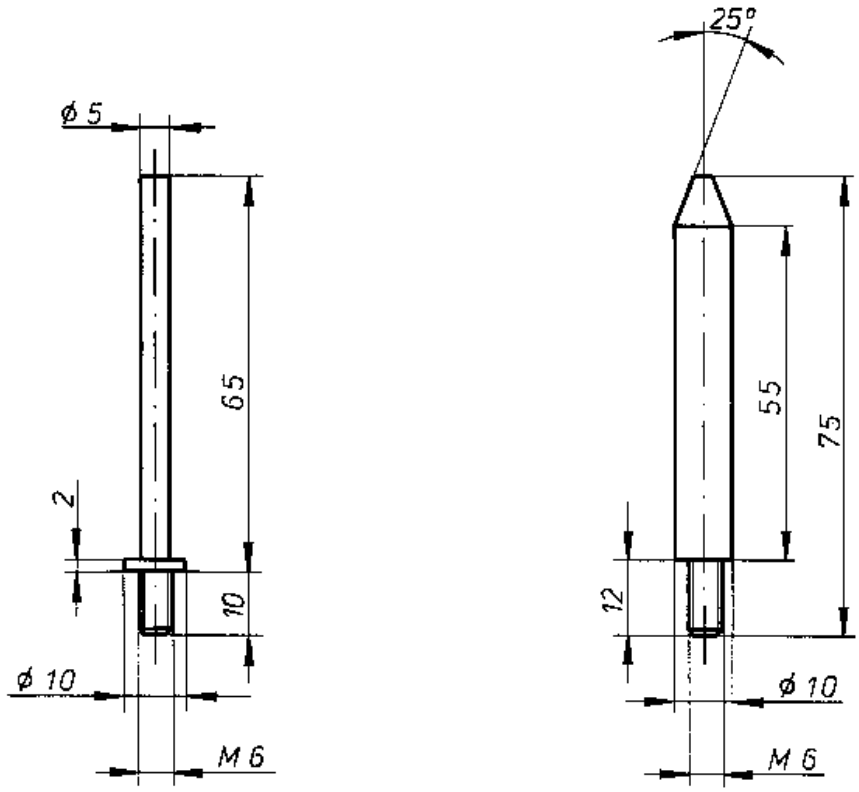

ø 12 H7
2,4
5
30,6
ø 5
ø 20 H7
ø 26
3
ø 50
120°
A
B
Maßstab 1:1
Rd DIN 668 - X 10 Cr Ni Ti 18 9 - 50×40
Datum
Name
Bearb.
Gepr.
Norm
Kugelbüchsen - Halter
Wägeeinrichtung
Blatt
13
133B
Zust.
Änderung
Datum
Name



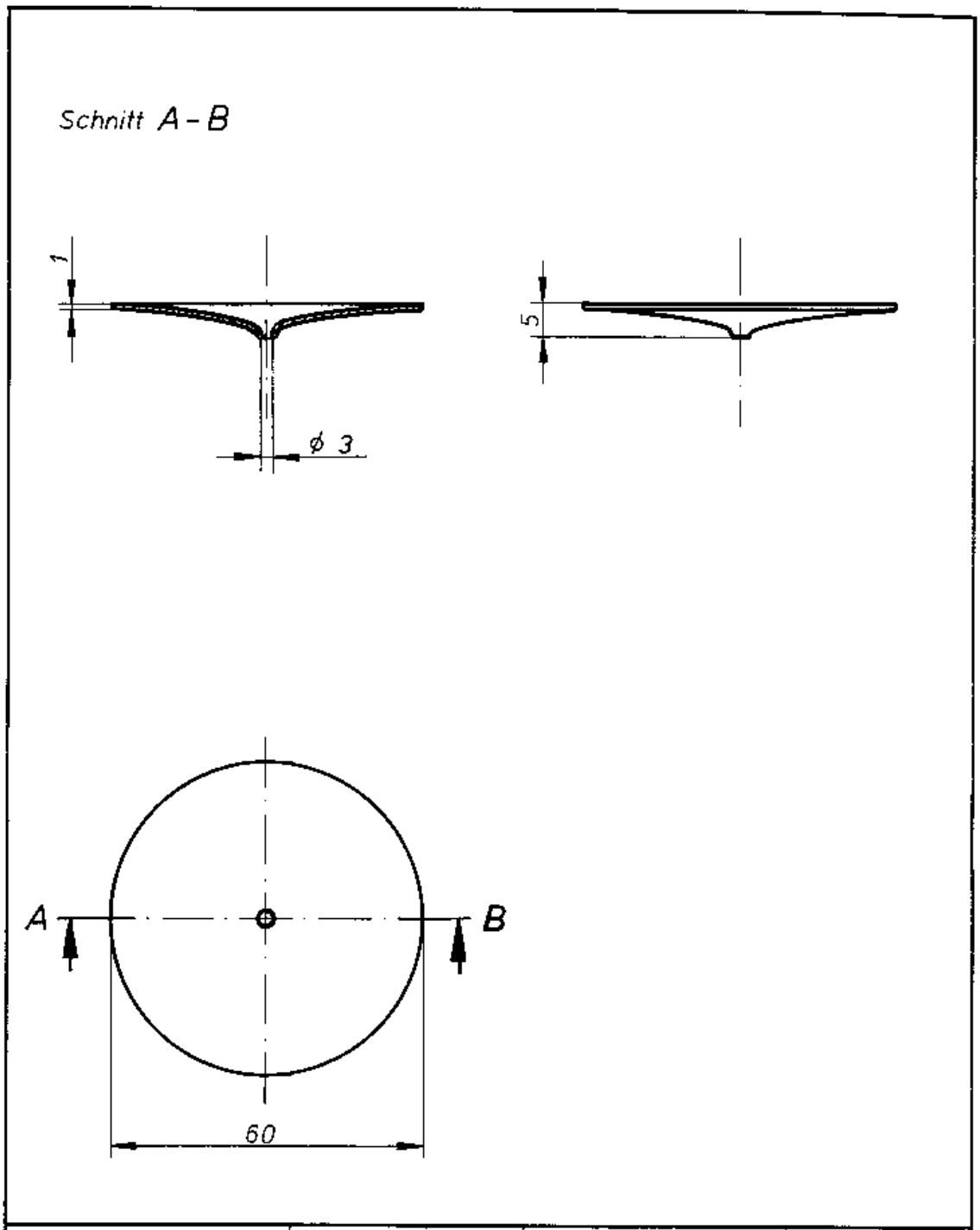
Schnitt A - B

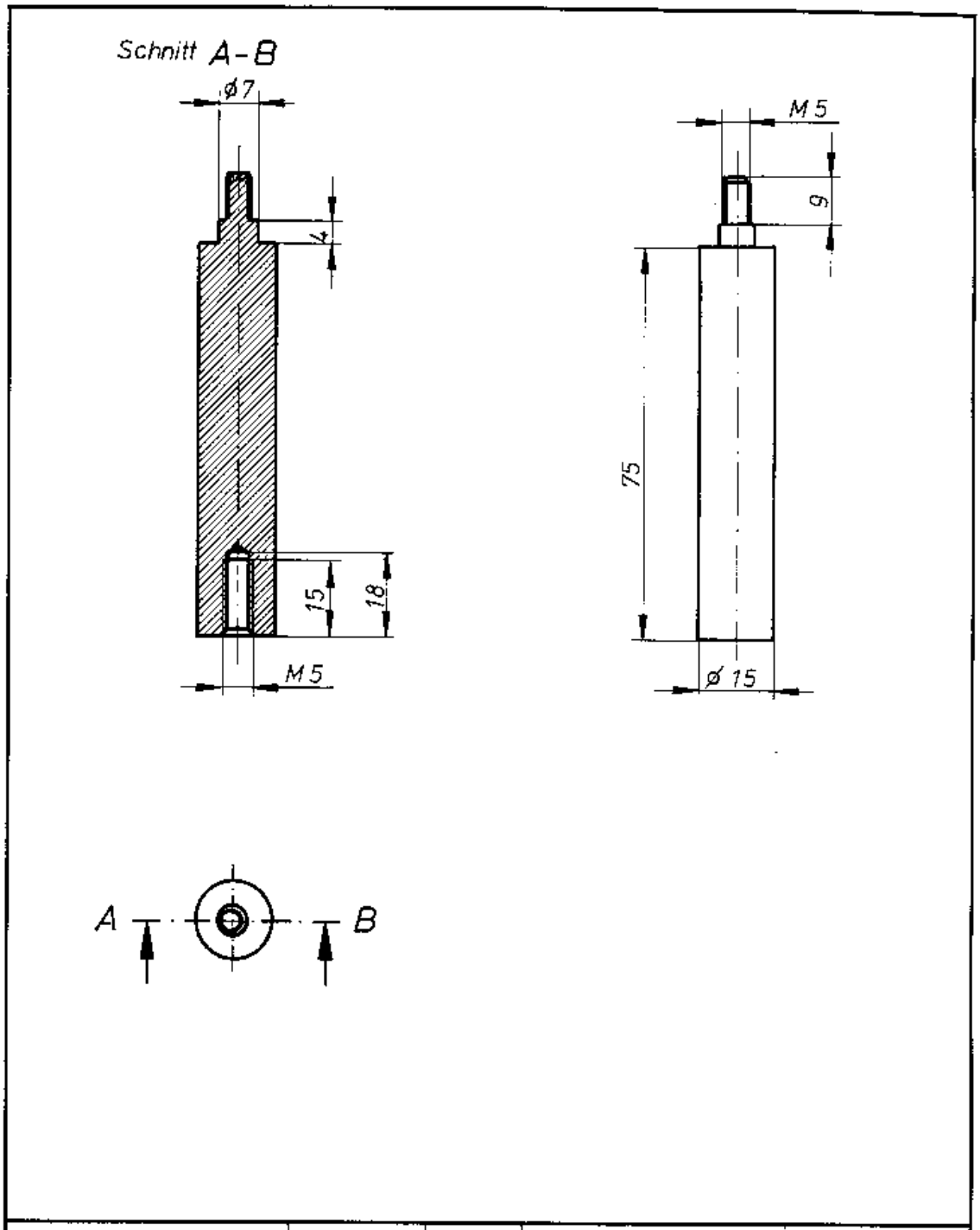


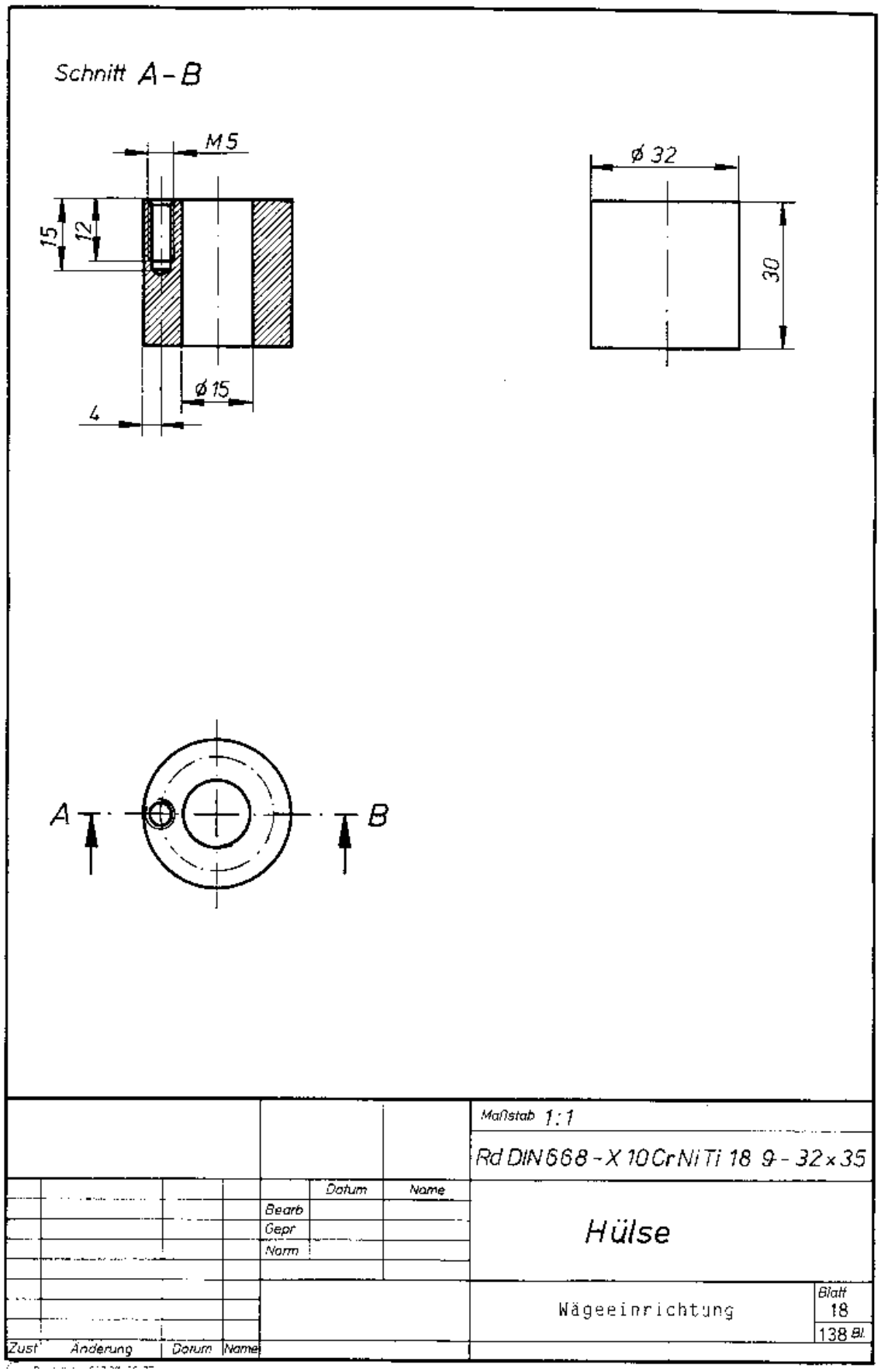
			Maßstab 1:1	
			Fl DIN 1745 - Al Mg 3 - 50 × 6 × 90	
	Datum	Name		
	Bearb.		Wägetisch	
	Gepr			
	Norm			
			Wägeeinrichtung	Blatt 14 / 134 Bl
Zust. Änderung	Datum	Name		

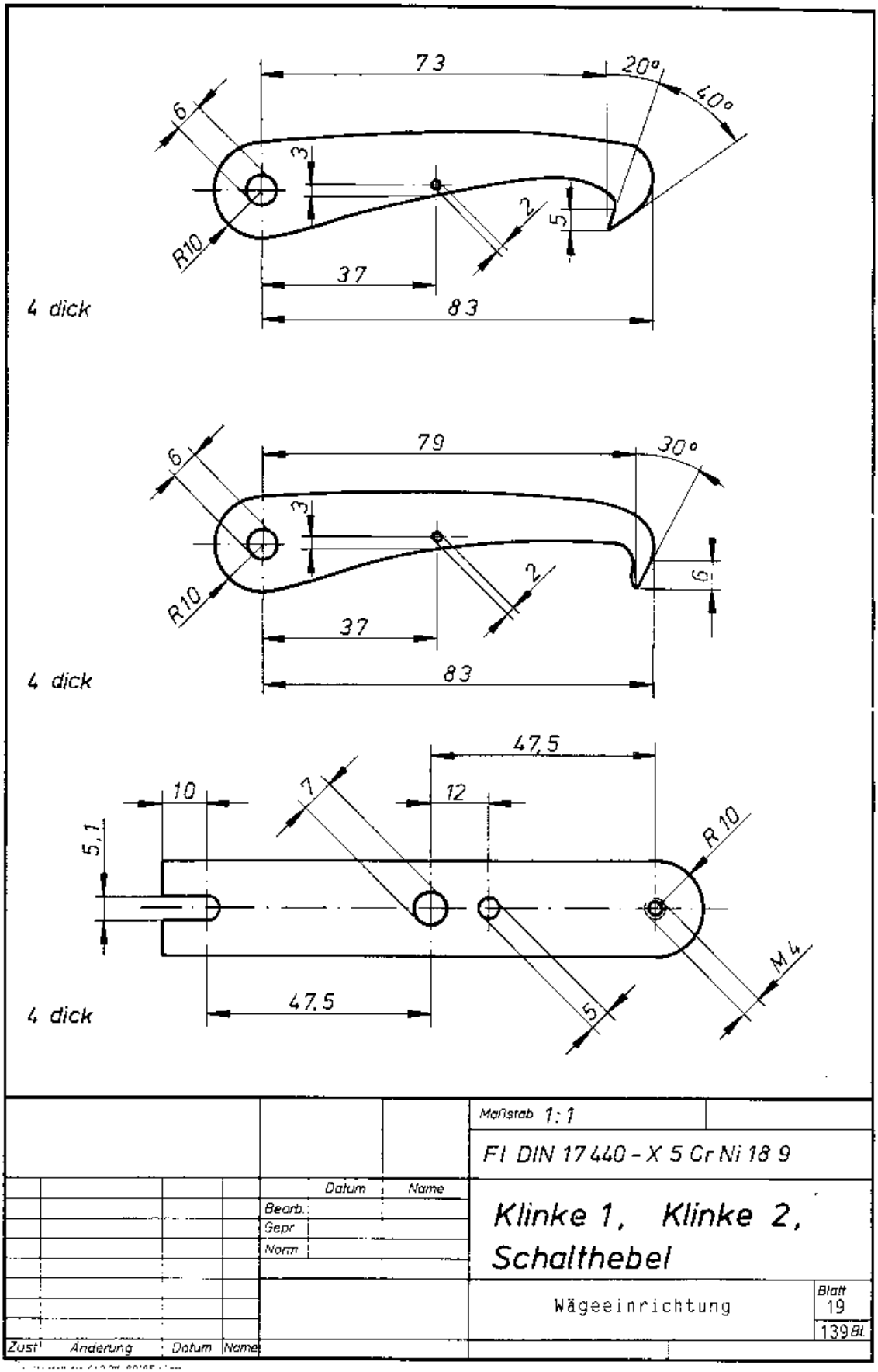


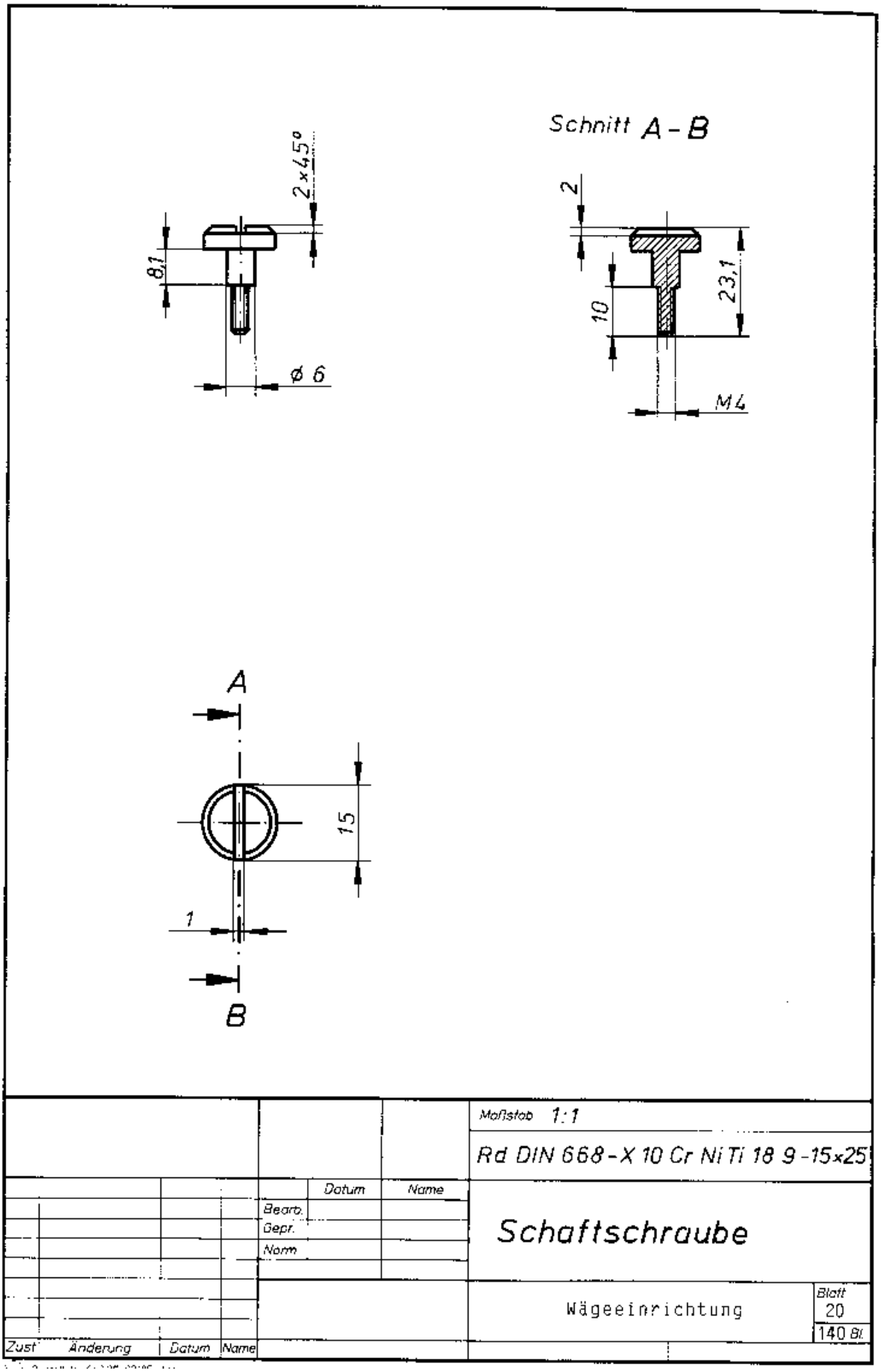
			Maßstab 1:1
			Rd DIN 1745 - Al Mg 3 - 10 × 170
	Datum	Name	Wägetisch-Führungs-bolzen / Zentrierbolzen
	Bearb.		
	Gepr.		
	Norm		
			Wägeeinrichtung
			Blatt 15 / 135 Bl
Zust. Änderung	Datum	Name	

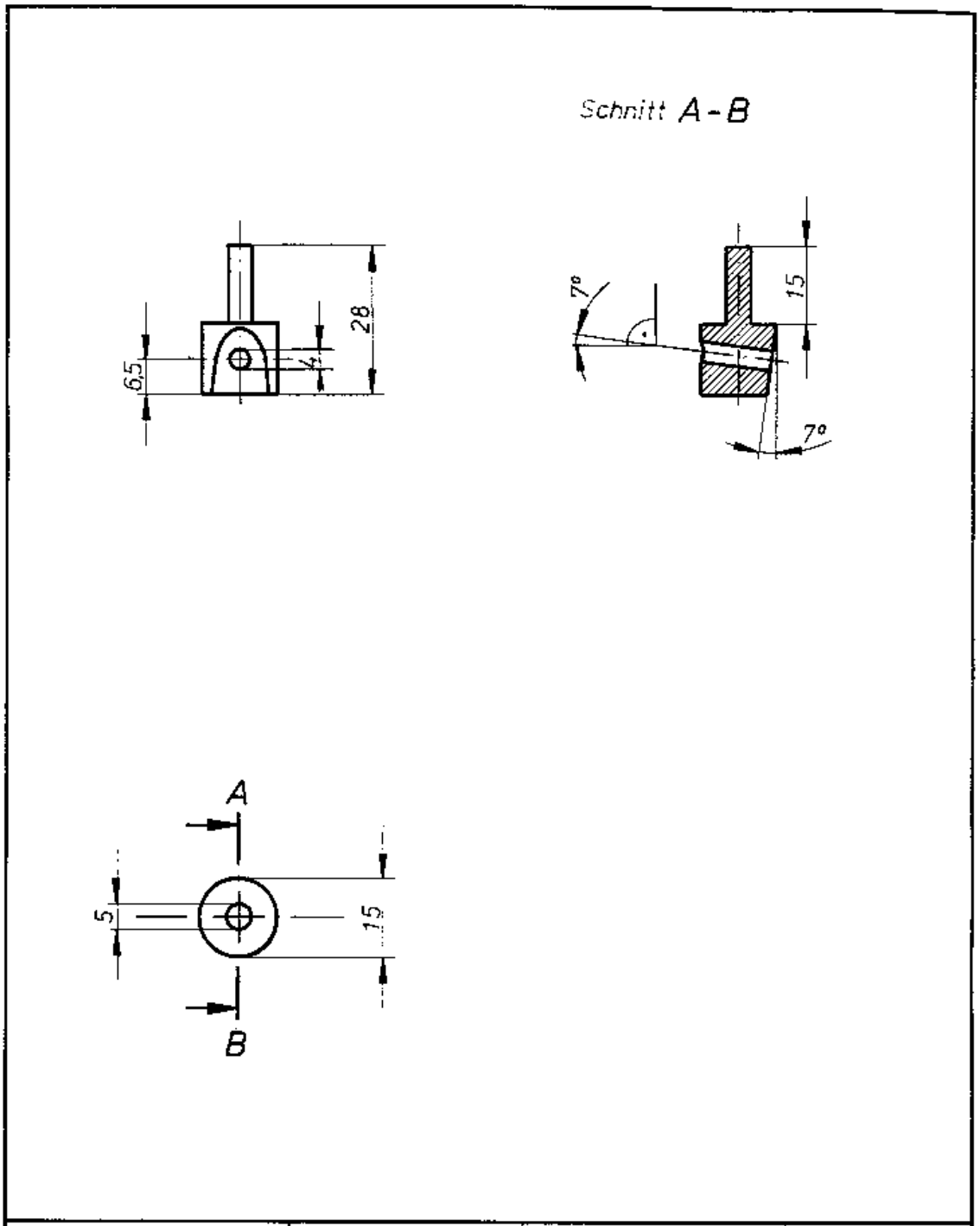

Schnitt A – B
1
ϕ 3
5
A
B
60
Maßstab 1:1
Bl DIN 1745 - Al Mg 3 - 70 × 1 × 70
Datum
Name
Bearb.
Gepr
Norm
Wägeteller
Wägeeinrichtung
Blatt
16
136 Bl.
Zust.
Änderung
Datum
Name


Schnitt A-B
ø7
4
15
18
M 5
M 5
9
75
ø 15
A
B
Maßstab 1:1
Rd DIN 668 -X 10 CrNiTi 18 9 -15×95
Datum
Name
Bearb
Gepr.
Norm
Klinkenachse
Wägeeinrichtung
Blatt
17
137 Bl.
Zust
Änderung
Datum
Name

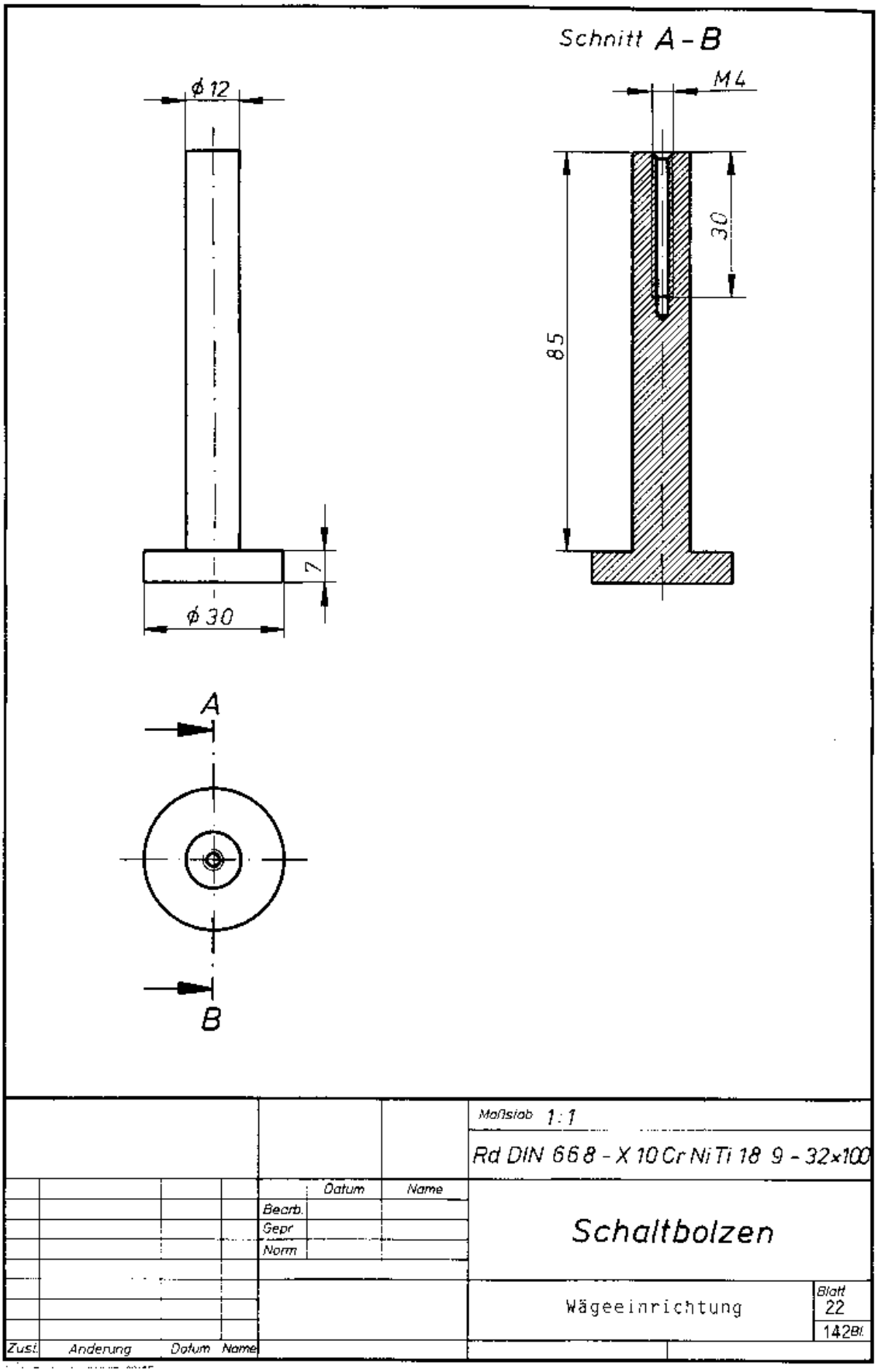

Schnitt A – B
M 5
15
12
ø 15
4
ø 32
30
A
B
Maßstab 1:1
Rd DIN 668 - X 10 CrNiTi 18 9 - 32 x 35
Datum
Name
Bearb
Gepr
Norm
Hülse
Wägeeinrichtung
Blatt
18
138 Bl.
Zust
Änderung
Datum
Name

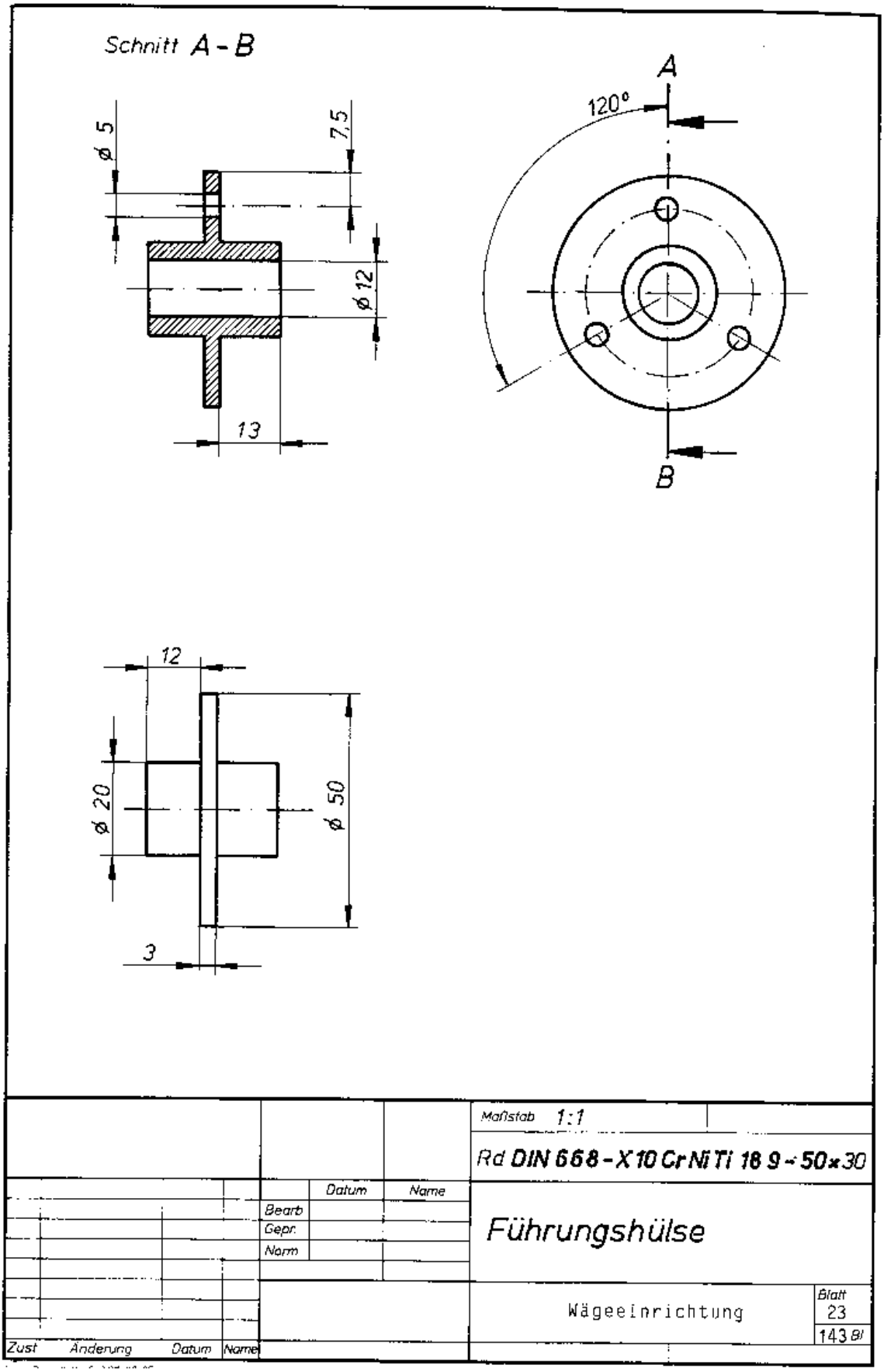

73
20°
40°
6
3
2
5
R10
37
83
4 dick
79
30°
6
3
2
6
R10
37
83
4 dick
47,5
10
7
12
5,1
R 10
M 4
47,5
5
4 dick
Maßstab 1:1
FI DIN 17 440 - X 5 Cr Ni 18 9
Datum
Name
Bearb.
Gepr
Norm
Klinke 1, Klinke 2,
Schalthebel
Wägeeinrichtung
Blatt
19
139 Bl.
Zust
Änderung
Datum
Name

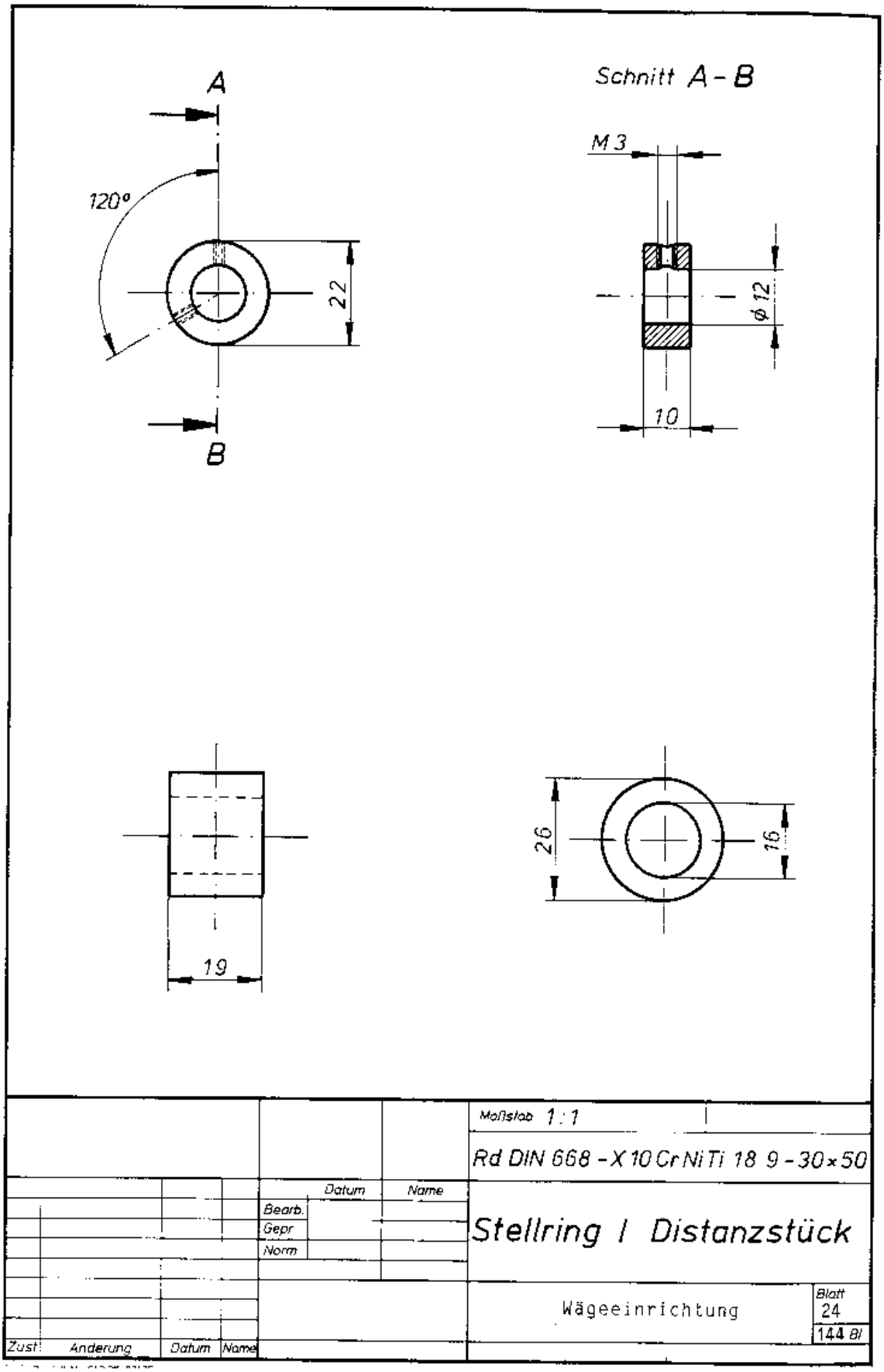

Schnitt A - B
2x45°
8,1
ø 6
2
10
23,1
M4
A
B
15
1
Maßstab 1:1
Rd DIN 668 - X 10 Cr Ni Ti 18 9 - 15x25
Datum
Name
Bearb.
Gepr.
Norm
Schaftschraube
Wägeeinrichtung
Blatt
20
140 Bl.
Zust.
Änderung
Datum
Name

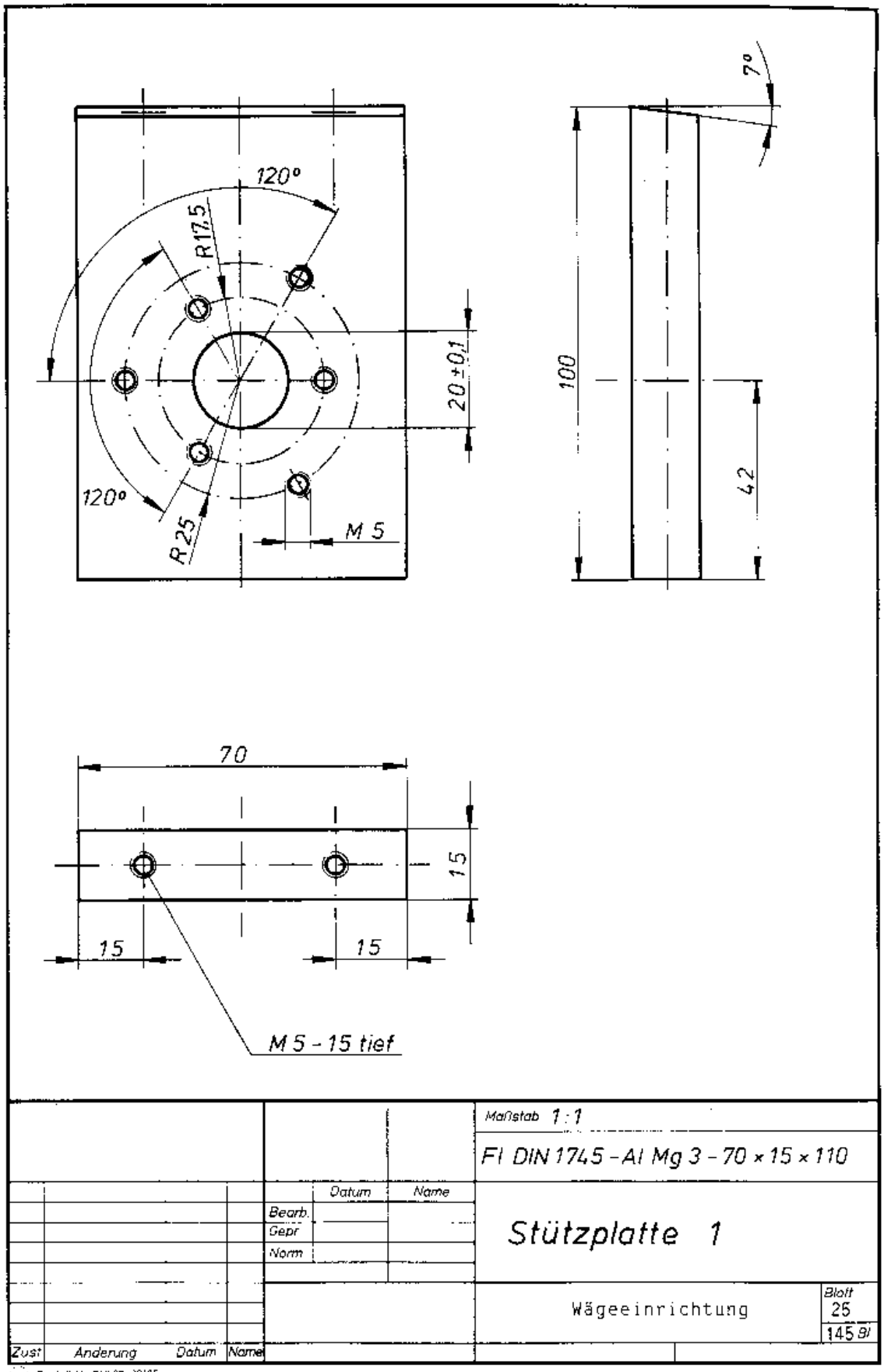


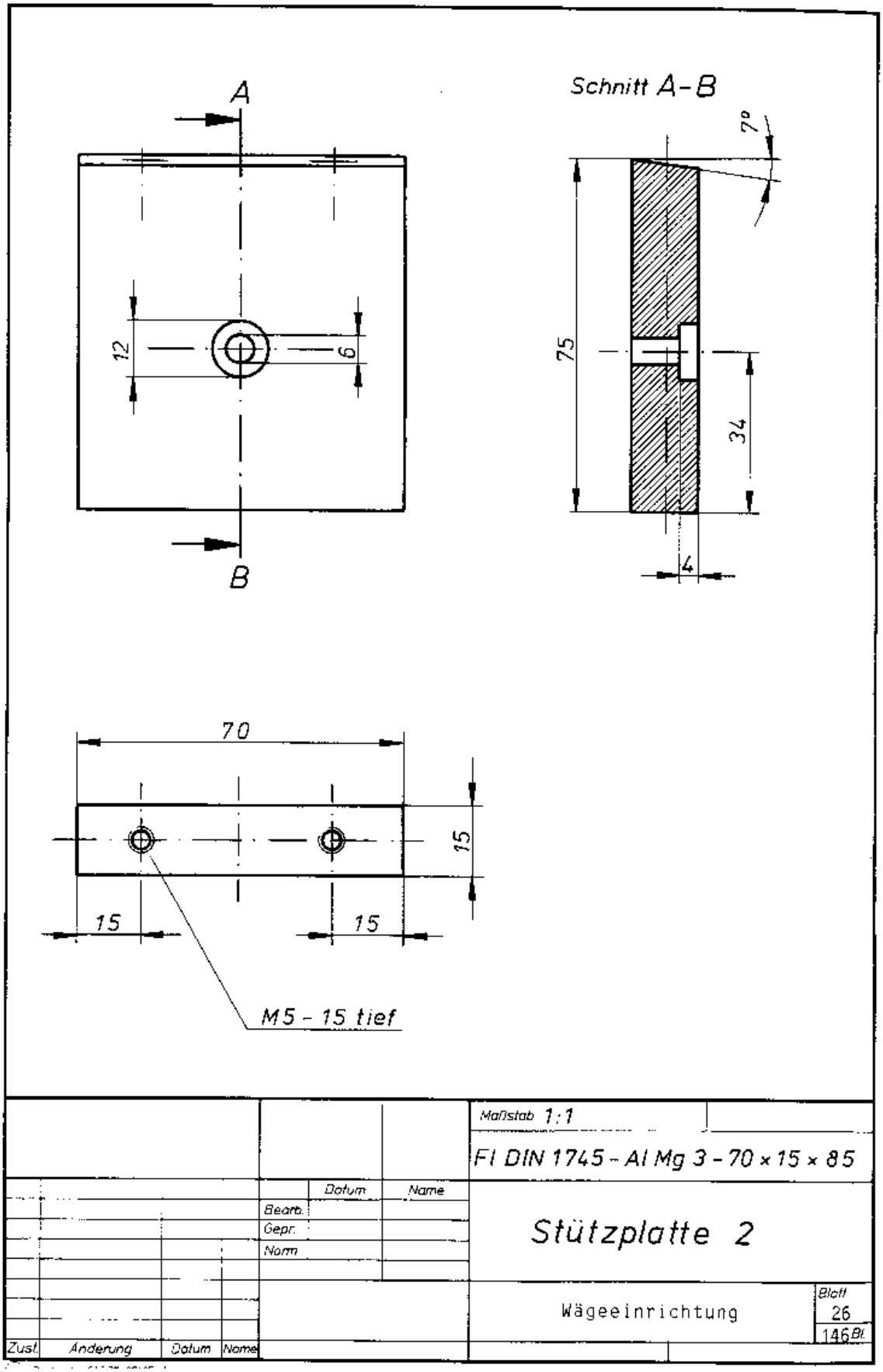
						Maßstab 1:1	
						Rd DIN 668-X 10 Cr Ni Ti 18 9-15 × 30	
					Datum	Name	
				Bearb			Schaltstift
				Gepr.			
				Norm			
						Wägeeinrichtung	Blatt 21
Zust.	Änderung	Datum	Name				141 Bl

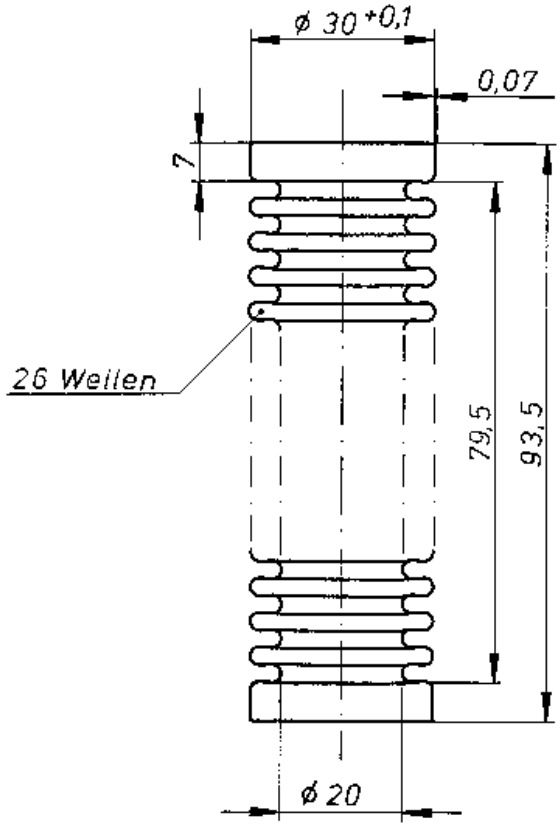

Schnitt A - B
ϕ 12
M 4
30
85
7
ϕ 30
A
B
Maßstab 1:1
Rd DIN 668 - X 10 Cr Ni Ti 18 9 - 32x100
Datum
Name
Bearb.
Gepr
Norm
Schaltbolzen
Wägeeinrichtung
Blatt
22
142Bl.
Zust.
Änderung
Datum
Name


Schnitt A - B
ø 5
7,5
ø 12
13
A
120°
B
12
ø 20
ø 50
3
Maßstab 1:1
Rd DIN 668 - X10 CrNiTi 18 9 - 50x30
Datum
Name
Bearb
Gepr.
Norm
Führungshülse
Wägeeinrichtung
Blatt
23
143 Bl
Zust
Änderung
Datum
Name

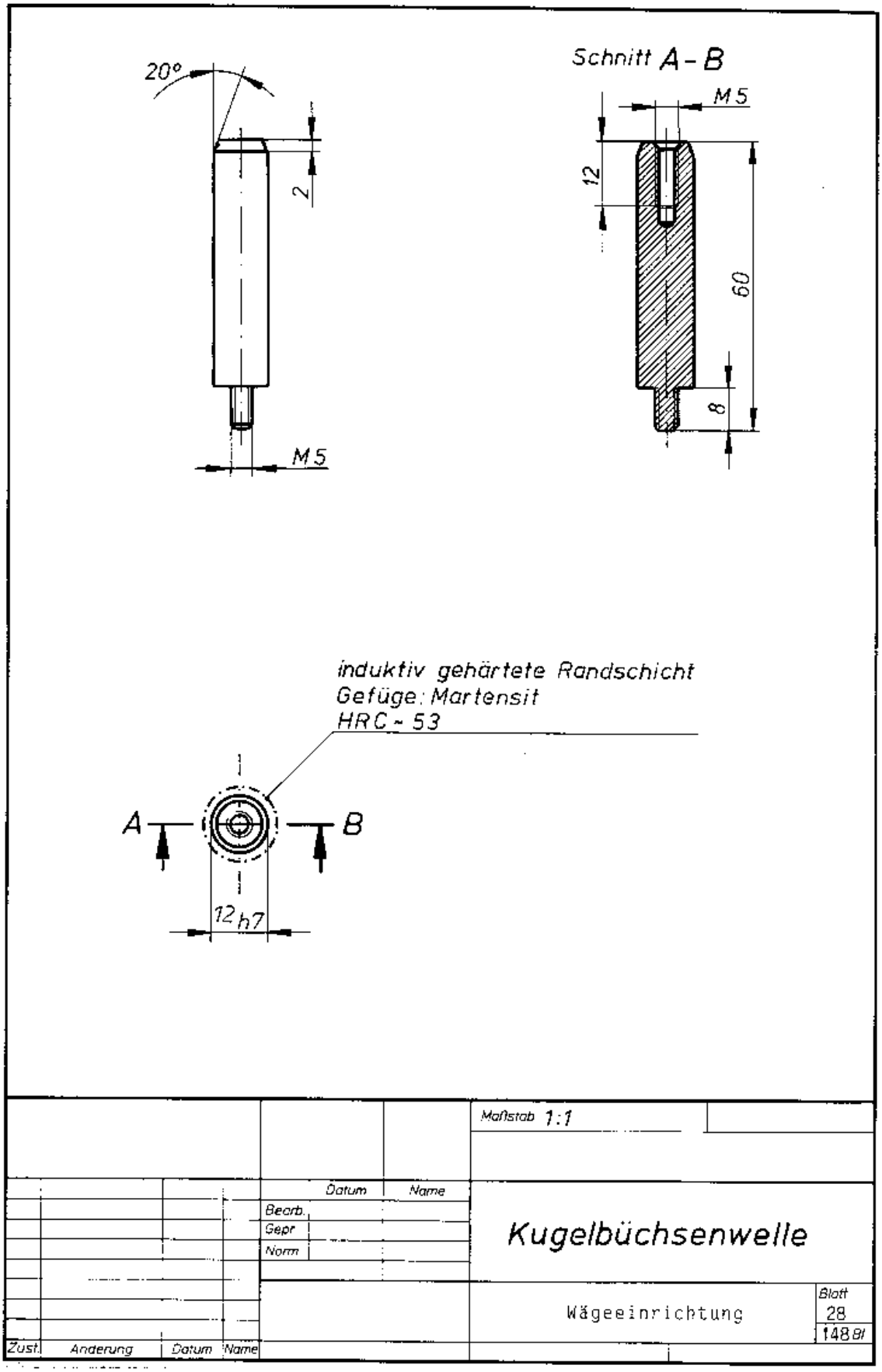

A
B
120°
22
Schnitt A - B
M 3
ϕ 12
10
19
26
16
Maßstab 1 : 1
Rd DIN 668 - X 10 CrNiTi 18 9 - 30 x 50
Datum
Name
Bearb.
Gepr
Norm
Stellring / Distanzstück
Wägeeinrichtung
Blatt
24
144 Bl
Zust.
Änderung
Datum
Name


120°
R17,5
20±0,1
120°
R25
M 5
7°
100
42
70
15
15
15
M 5 - 15 tief
Maßstab 1:1
Fl DIN 1745 - Al Mg 3 - 70 × 15 × 110
Datum
Name
Bearb.
Gepr
Norm
Stützplatte 1
Wägeeinrichtung
Blatt
25
145 91
Zust
Änderung
Datum
Name


A
B
12
6
Schnitt A-B
7°
75
34
4
70
15
15
15
M5 - 15 tief
Maßstab 1:1
Fl DIN 1745 - Al Mg 3 - 70 x 15 x 85
Datum
Name
Bearb.
Gepr.
Norm
Stützplatte 2
Wägeeinrichtung
Blatt
26
146 Bl.
Zust.
Änderung
Datum
Name



		Maßstab 1:1	
		Typ mi 20 307 - A 7, Nickel	
	Datum / Name	HYDRA - Miniaturbalg	
Bearb.			
Gepr			
Norm			
		Wägeeinrichtung	Blatt 27 / 147 Bl
Zust / Änderung / Datum / Name			


20°
2
M5
Schnitt A – B
M5
12
60
8
induktiv gehärtete Randschicht
Gefüge: Martensit
HRC ~ 53
A
B
12 h7
Maßstab 1:1
Datum
Name
Bearb.
Gepr
Norm
Kugelbüchsenwelle
Wägeeinrichtung
Blatt
28
148 Bl
Zust.
Änderung
Datum
Name