



Gefördert durch die

Deutsche Bundesstiftung Umwelt
49007 Osnabrück · Postfach 17 05



Abschlußbericht zum DBU-Projekt AZ 01002

Umweltfreundliche Beschichtungen für Absorber von Solarkollektoren

Projektlaufzeit: 01.11.1992 - 30.04.1995

INTERPANE
Entwicklungs- und Beratungsgesellschaft mbH & Co
Sohnreystr. 21

37697 Lauenförde

Inhaltsverzeichnis

I.	Einleitung und Problemstellung	Seite 3
II.	Anforderungen an Solarkollektoren	Seite 4
III.	Absorberbeschichtungen und deren Eigenschaften	Seite 5
III.1	Das System Molybdän/Zinnoxid	Seite 5
III.2	Korrosions- und Alterungsbeständigkeit	Seite 6
III.2.1	Probenvorbehandlung	Seite 6
III.2.2	Gesputterte, metallische Zwischenschichten zur Verbesserung der Alterungsbeständigkeit	Seite 6
III.2.3	Dielektrische Schutzschichten auf SiO_x -Basis	Seite 7
III.3	Alternative Absorberschichten auf Basis Ni/NiO _x	Seite 8
III.4	Schichten auf Oxynitridbasis	Seite 8
III.4.1	Siliciumnitrid/Chromnitrid	Seite 9
III.4.2	Chromoxynitrid	Seite 9
III.4.3	Alterungsverhalten der Oxynitridschichten	Seite 10
IV.	Schlußfolgerungen für eine Pilotanlagen-Konstruktion	Seite 12
V.	Zusammenfassung	Seite 12
V.1	Projektziele	Seite 12
V.2	Projektpartner	Seite 13
V.3	Ergebnisse	Seite 13
V.4	Ausblick	Seite 14
VI.	Literatur	Seite 14

I. Einleitung und Problemstellung

Bei der effizienten Nutzung von Solarenergie ist neben den systemtechnischen Komponenten vor allem die Umwandlung von Licht in Wärme für den Gesamtwirkungsgrad von zentraler Bedeutung.

Dies bezieht sich nicht nur auf Sonnenkollektoren für die Warmwasserversorgung und Heizungsunterstützung im Wohnungsbau sondern auch für die Prozeßwärmeerzeugung, Luftwärmung mit ihren verschiedensten Anwendungen im Klimatisierungs- und Trocknungsbereich und die Anwendung in Kombination mit transluzenter Wärmedämmung.

Die Umwandlung von Sonnenlicht in nutzbare Wärmeenergie geschieht in einer Schicht, die auf dem wärme-transportierendem Material aufzubringen ist.

In der Regel sind dies beliebig geformte Konstruktionen, die aus einem Material wie Kupfer, Aluminium, Edelstahl, Stahl oder Polymeroberflächen bestehen.

Da die Nutztemperatur über der Umgebungstemperatur liegt, ergeben sich Verluste der Oberfläche durch Wärmeleitung und Wärmestrahlung nach außen. Die Beschichtung der Oberfläche kann zur Verringerung der Strahlungsverluste beitragen, indem sie im Wellenlängenbereich der Wärmestrahlung wenig Strahlung emittiert.

Diese sogenannten selektiven Beschichtungen werden seit langem in galvanischen Verfahren hergestellt. Bei diesem Herstellungsverfahren entstehen aus umweltschutztechnischen Gründen jedoch erhebliche Kosten und der spezifische Energieverbrauch ist relativ hoch. Außerdem werden von Seiten der Kollektorhersteller die oft allzu hohen Fertigungsschwankungen bemängelt.

Aus diesen Gründen wurde damals im BMBF-Projekt „Herstellung und Charakterisierung optischer Komponenten für aktive und passive solarthermische Anwendungen“ versucht, diese spektralselektiven Schichten mit Hilfe der Sputtertechnik darzustellen. Dieses Vakuumbeschichtungsverfahren zeichnet sich durch seine Schichthomogenität über große Flächen aus, so daß es seit Jahren schon für die Glasbeschichtungen für Wärmeschutz- und Sonnenschutzverglasungen mit Erfolg eingesetzt wird.

Da die Schichtdicken der benötigten Absorberbeschichtungen in der gleichen Größenordnung wie die Glasbeschichtung liegen, waren keine wesentlich höheren Prozeßzeiten zu erwarten. Eine wesentliche Neuerung stellte zum einen die Anwendung von Dünnschichttechnik hoher optischer Qualität in Verbindung mit Industrieblechen dar, zum anderen die Anwendung dieser Beschichtungen im rauen Klima innerhalb von Sonnenkollektoren und die geforderte hohe Lebensdauer dieser Bauelemente.

Als Ziel wurde angestrebt, die auf dem Markt erhältlichen galvanischen Beschichtungen in optischer Qualität, in Beständigkeit und Verarbeitbarkeit zu erreichen oder in einigen Punkten sogar noch zu übertreffen.

Im folgenden werden diese Anforderungen genauer beschrieben.

II. Anforderungen an Solarkollektoren

Für die thermische Solarenergienutzung im Brauchwasser- und Heizungsbereich sind die Anforderungen für die optische Qualität in Bild 1 dargestellt. Da sich das Sonnenspektrum und das Planck'sche Spektrum für 100 °C im wesentlichen nicht überlagern, muß der Übergang vom absorbierenden in den reflektierenden Strahlungsbereich zwischen 1,8 µm und 2,5 µm erfolgen. Die solare Absorption sollte möglichst über 94 % liegen.

Während für eine Flachkollektoranlage, die zur Vorwärmung dient oder im "low flow" Betrieb arbeitet, ein höherer Emissionsgrad von geringerem Einfluß auf den Systemwirkungsgrad ist, hat er bei Anwendungen mit höheren Betriebstemperaturen, bei denen sich vakuumisolierte Systeme anbieten, einen wesentlich höheren Einfluß, der auch nicht mit größerer Kollektorfläche ausgeglichen werden kann. Sollten beide Anwendungen zugrunde gelegt werden, so ergibt sich die Forderung nach einem Emissionsgrad bei 100 °C kleiner als 10 % (Literatur 1).

Die Verarbeitbarkeit der Absorberkonstruktionen, in nachfolgenden, bei Kollektorherstellern mit vorwiegend handwerklichen, teils industriellen Montageabläufen erfolgenden Montageschritten, stellt hohe Anforderungen an die Haftfestigkeit und Härte der Beschichtungen. Hierunter fallen auch die Anforderungen, die gewisse Weiterverarbeitungsverfahren, wie z. B. die Montage von Vakuumröhren, an die Beschichtung stellen.

Eine der Hauptanforderungen an die Beschichtung ist die Alterungsbeständigkeit der Beschichtung in Verbindung mit dem Absorbermaterial. In Anlehnung an die Arbeiten der IEA Task 10 wurde bei einer zulässigen Änderung des Bruttowärmeertrages von 5 % eine Lebensdauer von 25 Jahren angestrebt.

Da diese Zeiträume nicht real untersucht werden können, muß diese Beständigkeit in beschleunigten Alterungstests nachgewiesen werden. Die Beschleunigung geschieht durch eine Überhöhung der die Alterung verursachenden Parameter Temperatur und Feuchtigkeit, insbesondere bei Kondensation auf der Absorberoberfläche. Aus Rückrechnung über die Arrhenius Beziehung kann dann auf eine Lebensdauer zurückgeschlossen werden (Literatur 1).

III. Absorberbeschichtungen und deren Eigenschaften

III.1 Das System Molybdän/Zinnoxid

Ausgegangen wurde von der im BMBF-Projekt entwickelten Beschichtung. Basierend auf einem Molybdänspiegel, der auf dem Absorberblech aufgebracht ist und die IR-Reflexion bestimmt, wird eine Absorberschicht aufgebracht.

Sie besteht aus mehreren Lagen von Zinnoxid und nicht zusammenhängenden Molybdänschichten. Ein Zusammenwachsen der Molybdäninseln auf der Zinnoxidoberfläche wird durch eine Zwischenlage einer Zinnoxidschicht verhindert. Weiterhin muß der Metallgehalt nach einer bestimmten Funktion zur Oberfläche hin abnehmen, um die gewünschten Absorbereigenschaften zu erreichen (Bild 1 a)).

Mit der Gesamtschichtdicke von ca. 250 µm ergibt sich ein Schichtpaket mit 20 Schichten. Um die Molybdänpartikel während des Sputterns und während der Gebrauchsdauer nicht aufzuoxidieren, muß in den Zwischenlagen unterstöchiometrisches Zinnmonoxid aufgebracht werden. Die letzte Zinnoxiddeckschicht wird voll aufoxidiert, um einen niedrigen Brechungsindex an der Oberfläche und eine mechanische und thermische Beständigkeit zu erreichen.

Die optischen Gesamteigenschaften werden bestimmt aus dem Zusammenspiel von Interferenzen, Absorption und der Reflexionseigenschaft des Molybdänspiegels (Literatur 2). Besitzt das Substrat eine gewisse Rauigkeit, werden die optischen Eigenschaften unterschiedlich beeinflusst. Ist die Rauigkeit im Bereich der Lichtwellenlänge, so wird die Oberfläche der Absorberschicht entspiegelt und die Absorptionseigenschaften verbessern sich. Eine größere Rauigkeit ergibt einen negativen Einfluß auf die Emissionseigenschaften.

Die Wahl von Molybdän als Spiegelmaterial wurde deshalb getroffen, da die Kristallstruktur sich wesentlich von Kupfer, Aluminium und Stahl unterscheidet und sich somit keine Diffusionsprobleme zwischen Absorber und Spiegel einstellen, die die IR-Eigenschaften verschlechtern. Der Emissionsgrad dieses Metalls liegt bei 6 % und eröffnet somit die Möglichkeit, verschiedenste Materialien mit der selben Beschichtung zu versehen.

Die optischen Eigenschaften der selektiven Schichten, auf dieser Basis hergestellt am ISE, auf verschiedene Substrate sind in Bild 2 dargestellt.

Im Mai 1992 fand ein Versuch zur Übertragung der Entwicklung auf eine Pilotanlage mit einem Beschichtungsmaß 3 x 2 m statt. Um die geforderte Sauberkeit des Molybdänspiegels, welche Voraussetzung für eine IR-Reflexion von 90 % ist, zu erreichen, benötigte diese Anlage Pumpzeiten von über 2 Stunden. Die unterstöchiometrische Variante des Zinnoxids, war auch nur bei sauberem Kessel stabil darzustellen. Der Versuch hat jedoch gezeigt, daß es möglich ist, die geforderten optischen Eigenschaften auf Blech homogen über die ganze Fläche herzustellen.

Jedoch waren die Prozeßzeiten für das verwendete Material aufgrund der sehr langen Pumpzeiten und der Ausgasungen im Kessel sehr lang. Wird die Absorberschicht ohne IR-Spiegel hergestellt, wird genau so gutes Vakuum benötigt, um die Metallzwischen-schichten und die Zinnoxidschicht herstellen zu können.

III. 2 Korrosions- und Alterungsbeständigkeit

III.2.1 Probenvorbehandlung

Weitere Schwierigkeiten bereiten die Anforderungen nach Alterungsbeständigkeit. Auf diese wird in diesem Bericht näher eingegangen, da hier der größte Aufwand betrieben werden mußte.

Bei Aluminium stellt sich die Problematik folgendermaßen dar. Die Kondenswasserbelastung läßt in den Poren das Aluminium ausdiffundieren und es bildet sich eine Aluminiumhydroxydschicht auf der Oberfläche. Diese verschlechtert die Infraroteigenschaften sehr schnell und bei zunehmender Dicke auch die der Absorption (Bild 6).

Wie bei Kupferabsorbieren (Bild 3), ist hier eine starke Abhängigkeit von der Oberflächentopographie festzustellen, wie der Vergleich mit Bild 7 zeigt. In diesem Bild wird ein ausführlicher Test bei verschiedenen Temperaturen dargestellt. Dabei fällt auf, daß eine Kondensationsprüfung im gleichen Zeitraum wesentlich weniger Veränderungen bewirkt als bei Temperaturen unter 40 °C.

Für die beschleunigte Alterungsprüfung können daher nur Temperaturen bis 40 °C benutzt werden. Die Beständigkeitsprüfungen dauern daher immer wesentlich über 500 Stunden.

Aufgrund der guten physikalischen Anpaßbarkeit der Absorbereigenschaften auf Aluminium, wurden verschiedene Bleche direkt, ohne Molybdänspiegel, mit dem Absorber beschichtet. Diese Proben zeigten eine wesentlich bessere Beständigkeit, die auf einigen Blechen den Vorgaben entsprach (Bild 8).

III.2.2 Gesputterte, metallische Zwischenschichten zur Verbesserung der Alterungsbeständigkeit

Die negativen Erfahrungen mit diesen technischen Oberflächen, die nur in einem Fall die Gebrauchsdaueranforderung erfüllten, ließen die Forderung nach Schutzschichten zwischen Absorberblech und Absorberschicht aufkommen.

Als metallische Schutzschichten für Kupfer wurden eine Legierung aus 80 % Nickel und 20 % Chrom und eine Zinnzwischen-schicht angewandt (Bild 9). Im Vergleich mit Bild 5 ergeben sich keine Verbesserungen.

Für Aluminiumbleche bot die Zinnzwischen-schicht, obgleich Zinn elektrochemisch sehr günstig zum Molybdän und Aluminium liegen würde, keinen wesentlichen Schutz.

III.2.3 Dielektrische Schutzschichten auf SiO_x -Basis

Um das elektrochemische Element zu unterbrechen und zusätzlich eine uniforme Oberfläche für alle Blechoberflächen zu erhalten, wurde die Idee der dielektrischen Zwischenschichten experimentell nachvollzogen. In Zusammenarbeit mit dem Institut INNOVENT e.V., Jena und dem ISE wurden SiO_x Schichten mit Hilfe der Flamm-pyrolyse sowie in Sol/Gel-Technik auf Kupfer und Aluminium aufgebracht.

TiO_x Schichten wurden ebenfalls in Sol/Gel-Technik aufgebracht. Zusätzlich wurden Versuche mit einer in zwei unterschiedlichen Dicken aufgetragenen Polymerschicht durchgeführt.

Eine auf Aluminium aufgetragene pyrolytische SiO_x -Schicht bietet für das blankes Aluminium allein keinen Korrosionsschutz gegen Kondensation. Zusätzlich mit Absorber wird jedoch eine Gebrauchsdauer-verlängerung um den Faktor 5 beobachtet (Bild 10). Eine im Sol/Gel-Verfahren aufgetragene SiO_x Schicht verbessert auf einer blanken Aluminiumoberfläche die Beständigkeit um den Faktor 10. Dieser Faktor jedoch wird bei der Beschichtung mit dem Absorber nicht weitergegeben. Durch Ablösung des Molybdänspiegels wird die Lebensdauer nur um den Faktor 3 vergrößert (Bild 11).

Eine im Sol/Gel-Verfahren aufgetragene TiO_x Schicht bietet einen unwesentlich erhöhten Oberflächenschutz um den Faktor 5 für blankes Aluminium. Mit Absorber ist nur eine Verbesserung um den Faktor 2 zu verzeichnen (Bild 12).

Auf Kupfersubstrat sind ebenfalls teilweise Verbesserungen zu verzeichnen. Während eine Probe mit blanker Oberfläche bereits nach ca. 32 h Korrosionserscheinungen zeigt, zeigt sie diese nach einer Sol/Gel- SiO_x -Beschichtung nach ca. 64 h und mit pyrolytischem SiO_x erst nach ca. 128-256 h. Nach der Beschichtung mit dem Absorber ergaben sich bei der Sol/Gel-Beschichtung wieder Haftungsprobleme, die die Schicht nach 30 h zerstörten (Bilder 13 und 14). Ohne Molybdänspiegel ergibt sich eine wesentliche Steigerung der Beständigkeit (Bilder 13 und 14).

Eine Schutzschicht auf Polymerbasis erweist sich für Aluminium als gute Schutzschicht und bietet auch mit Absorber eine Verbesserung. Auf Kupfersubstrat löst sich dieses Polymer jedoch innerhalb kürzester Zeit ab (Bilder 15 und 16).

Für alle Substrate gilt hier jedoch genau dieselbe Bedingung für die Unterbrechung des elektrochemischen Elements. Die Oberflächentopographie darf nicht zu einer Überbrückung der Zwischenschicht führen.



Zusammenfassend kann zu diesen Versuchen gesagt werden, daß die Gebrauchsdauer dieser Molybdänzinnoxydbeschichtung durch Flammpyrolysebeschichtung auf Aluminium in den tolerierbaren Bereich angehoben werden kann. Auf Kupfer ist mit Flammpyrolyse und dieser Beschichtung dieses Ziel nicht in greifbare Nähe gerückt. Während des Entwicklungszeitraums wurden am ISE ca. 60 m² und in Lauenförde etwa die gleiche Menge mit dem Molybdänzinnoxyd-Absorber beschichteter Bleche hergestellt. Zum Beispiel wurde der beidseitig beleuchtete Kollektor auf dem Energieautarken Solarhaus in Freiburg und ein weiterer Kollektor ähnlicher Bauart hiermit ausgestattet.

III.3 Alternative Absorberschichten auf der Basis Ni/NiO_x

Parallel zu den Versuchen mit den Schutzschichten lief eine Entwicklung einer Keramik-Metall-Mischschicht mit einer anderen Zusammensetzung. Da Nickel elektrochemisch besser mit Kupfer harmoniert und eine gute Schichtbildung zeigt, wurde auf Kupfer ein Nickel-Vanadium-Spiegel mit 5 % Vanadium aufgebracht. Aufgebaut darauf wurde eine Gradientenschicht Nickelvanadium als metallische Komponente und Nickelchromoxid als dielektrische Komponente. Dieses Schichtsystem erreicht aufgrund des Nickelspiegels bestenfalls einen Emissionsgrad von 10 % und ist mit einer Absorption von höchstens 90 %, wegen des hohen Brechungsindex von Nickelchromoxid, für die Anforderungen in Sonnenkollektoren noch mit einem niederbrechenden Oxid zu überziehen. Die Beständigkeit dieses Systems in seiner nicht optimierten Form ist sehr gut. 1024 h bei kondensierender Atmosphäre verursachten nur geringe Veränderungen. Jedoch sind aufgrund der schnell perkollierenden Schichten sehr viele Einzelschichten für den Schichtaufbau erforderlich (Bild 17).

III.4 Schichten auf Oxynitridbasis

Die Nichterfüllung der Anforderung nach Kondenswasserbeständigkeit sowohl auf Kupfer, als auch die Schwierigkeiten bei Aluminiumsubstraten machte die Entwicklung neuer Schichten notwendig und ließ nun mit den wertvollen Erfahrungen aus dieser Schichtentwicklung über ein vollkommen anderes System nachdenken. Durch optische Anpassung der Schicht an das Substratmaterial ist es möglich, den sehr schwierig in der notwendigen Qualität herzustellenden metallischen IR-Spiegel wegzulassen, falls die Absorberschicht gute Schutzeigenschaften zeigt. Auch die metallische Komponente läßt sich durch Verbindungen mit metallischem Charakter (absorbierende Eigenschaften) ersetzen. Da Zinnoxid bei höheren Temperaturen im Vakuum Stabilitätsprobleme zeigt, sollte auch dieses ersetzt werden. Die Entwicklungsaktivitäten wurden in zwei Richtungen weitergeführt. Sie beinhaltete Schichtsysteme auf der Basis Chromnitrid und Siliziumnitrid. Die Parallelentwicklung baute auf ein System von Chromoxynitrid auf. Bei diesen Beschichtungen ohne speziellen IR-Spiegel muß die optische Anpassung für jedes Substratmaterial für sich vorgenommen werden, so daß eine Beschichtungscharge nicht aus verschiedenen Materialien bestehen kann.

III.4.1 Siliciumnitrid/Chromnitrid

Die Siliciumnitrid- und Chromnitrid-Schicht wurde abwechselnd, beginnend mit Chromnitrid, mit zunehmendem Stickstofffluß in 6 Schichten aufgebracht. Dieses Schichtsystem ließ sich leicht auf die Pilotanlage Lauenförde übertragen. Die Beschichtung zeigte sehr gute optische Eigenschaften. Die Spektren der Schichten aus 4 verschiedenen Chargen sind im Bild 18 ausgedruckt. Eine solare Absorption von 95 % und eine Emission von 6 % wurden erreicht. Die Untersuchung der hergestellten Siliciumcarbonitrid- und Chromnitrid-Schicht mit der Auger Materialanalyse zeigte einen hohen Oxydanteil in den Schichten, was für die optischen Eigenschaften sehr vorteilhaft ist. Von dieser Beschichtung wurden daraufhin einige Musterabsorber für verschiedene Kollektorhersteller auf der Pilotanlage beschichtet.

Die Beständigkeitsuntersuchungen brachten einige Probleme. Die Anforderungen nach Temperaturbeständigkeit wurden erfüllt (Bild 19). Bei Kondensationsbelastung verändert sich die Beschichtung anfangs sehr schnell, dann verhält sie sich aber sehr stabil. Eine Augeranalyse zeigte sofort, welche Ursache dieser Effekt hatte (Bild 20). Die Siliciumoxynitrid-Schicht an der Oberfläche wurde ausgelaut. Nach diesem Alterungssprung entsprechen die optischen Eigenschaften und die Beständigkeit der einer Chromoxynitrid-Schicht.

Der Verlauf dieser Beständigkeitsprüfung hat deutlich gezeigt, daß die Prüfungen stets sorgfältig und mit der Bestimmung aller Aktivierungsenergien für die Teilprozesse durchzuführen sind. Werden Schichtbestandteile geändert, sind auch andere Prozesse zu erwarten. Verallgemeinernde Kurztests haben in der Regel keine Aussagekraft, da aufgrund der Unkenntnis über die Aktivierungsenergie und somit des Beschleunigungsfaktors für die Alterung die Gebrauchsdauer nicht einmal in der Größenordnung erfaßt werden kann.

Für diese Beständigkeitsuntersuchungen wurden Kupferbleche der Schwarzwald Metallwerke und Aluminiumbleche der Firma AluSingen verwendet. Diese zeichnen sich durch eine sehr hohe Oberflächenqualität aus. Die auf der Oberfläche verbliebene Chromoxynitrid-Schicht bietet bemerkenswerterweise einen ausreichenden Schutz für Kupfer und Aluminium.

III.4.2 Chromoxynitrid

Die Parallelentwicklung einer Chromoxynitrid Absorberschicht wurde am ISE mit Hilfe der statistischen Versuchsplanung durchgeführt. Die Methode ist in der Diplomarbeit von Thomas Tröscher ausführlich beschrieben.

Diese Beschichtung erfordert nur ein Beschichtungsmaterial und der Brechungsindexgradient wird durch Variation der Gasflüsse über der Passagenzahl erreicht. Da der minimale Brechungsindex einer Chromoxynitrid-Schicht sehr hoch ist, müssen die Interferenzverhältnisse in der Schicht sehr sorgfältig gewählt werden.

Es ist jedoch möglich, mit einem Drei-Schichtsystem Absorptionsgrade über 90 % zu erreichen. Zum anderen müssen die Arbeitspunkte für eine Produktionsanlage in stabile Bereiche des Kennlinienfeldes gelegt werden, um die Reproduzierbarkeit und Homogenität über der gesamten Substratfläche nicht zu beeinträchtigen.

Hier mußte bei der Übertragung auf die Pilotanlage wesentlich mehr Aufwand betrieben werden als bei Systemen mit zwei getrennten Materialien.

III.4.3 Alterungsverhalten der Oxynitridschichten

Die thermische Stabilität Cr-Oxynitridbeschichtung ist direkt auf das Absorberblech Kupfer, Aluminium oder Edelstahl sowohl im Vakuum, als auch in Luft so, daß die Anforderungen erfüllt werden. Auch die Belastungen bei der Montage von Vakuumröhren verursachen keine Veränderungen.

Die Beständigkeit bei Kondenswasserbelastung auf den 2 verschiedenen Kupferblechsorten der Schwarzwald-Metallwerke erwies sich als gut.

Eine Probe hiervon nahm an einem Rundvergleich zwischen drei verschiedenen Institutionen teil, die an den Arbeiten im Rahmen der IEA Task 10 beteiligt waren. Die Vorgehensweisen werden in einer Veröffentlichung beschrieben (Literatur 3). Alle drei Institutionen bestätigten die Tauglichkeit dieser Beschichtung auf diesem Grundmaterial. Die für die Auswertung zugrundegelegten Spektren sind in den Bildern 21 und 22 dargestellt.

Wirtschaftlich sinnvoll wären Untersuchungen der Beständigkeit auf einem Kupfermaterial minderer Qualität. Dies wird deutlich in Bild 23 wo dieselbe Beschichtung auf ein Kupferblech mit zu großer Rauigkeit aufgebracht wurde.

Auf Aluminium ist die Beständigkeit auf verschiedenen Blechen der Firma AluSingen mit sehr hoher Qualität sehr unterschiedlich. Die Oberfläche wird auf verschiedenen Blechen mit einer Hydroxydschicht überzogen (Bild 24), bei anderen erst nach sehr langer Zeit (Bild 25). Ob dieser Effekt nun an der Probenvorbereitung, d. h. organische Restverschmutzungen, unterschiedlicher Oxidhautbeschaffenheit oder Oberflächentopographie liegt, müßte in weiteren Versuchsreihen untersucht werden.

Es muß festgestellt werden, daß es Aluminiumbleche gibt, auf denen die Beschichtung den Anforderungen genügt. Für die Ermittlung der Eignung einer Blechsorte zur Beschichtung für Solarabsorbern gibt es nun drei grundsätzlich verschiedene Vorgehensweisen.

- Eine wissenschaftliche Untersuchung und Festlegung der Parameter z. B. Rauigkeit, Flankensteilheit, Hinterschneidungen durch Niederwalzen von Riefen usw., so daß danach eine genaue Aussage über die maßgeblichen Parameter gegeben werden kann. Auch über die Materialzusammensetzung und Oberflächenzustände (Oxydhaut) müssen genaue Aussagen getroffen werden. Als Ergebnis dieser Arbeit könnte eine Herstellungsanweisung (Pflichtenheft) für Absorberblechlieferanten stehen.
- Die zweite Vorgehensweise kann eher als "try and error" Methode beschrieben werden. Die zur Auswahl stehenden Absorbermaterialien werden in der verarbeiteten Form beschichtet und auf Beständigkeit untersucht. Diese Methode setzt bei einem Wechsel des Produkts immer wieder eine neue Beständigkeitsprüfung voraus. Eine kleine Unsicherheit stellen hier Fertigungsschwankungen im Walz- oder Preßwerk dar.
- Diese beiden Vorgehensweisen können durch eine geeignete Kombination und Dokumentation über eine große Produktpalette, über verschiedene Hersteller und Herstellungsabläufe nach Jahren die gleichen Ergebnisse liefern, wie nach der ersten Vorgehensweise. Diese Methode stellt jedoch, wie die zweite, kurzfristig Ergebnisse zur Verfügung, die eine Gewährleistung ermöglichen. Es ist aber eine kontinuierliche Fortführung im Projektrahmen sinnvoll.

Einen weiteren kritischen Punkt stellt die Vorbereitung der Absorberflächen für die Beschichtung dar. Es wurde im allgemeinen keine besondere Reinigung vorgenommen, sondern schlechte Stücke verworfen. Dies ist jedoch keine praktikable Vorgehensweise für eine großflächige Produktion. Rückstände von Oxydationen, Walzölen und Substrat-Handling bei der Montage müssen zuverlässig entfernt werden. Hierzu wären Versuche mit Absputtern der Substratbleche oder Pyrolyseverfahren, bei denen eine zusätzliche Zwischenschicht aufgebracht wird, auf ihre Tauglichkeit hin zu untersuchen.

Diese Untersuchungen sind in einem Anschlußprojekt weiterzuführen.

IV. Schlußfolgerungen für eine Pilotanlagen-Konstruktion

Faßt man die Erkenntnisse aus den Arbeiten an den Laboranlagen , am ISE in Freiburg und in Lauenförde sowie die Versuchsbeschichtung an der Batch-Pilotanlage in Lauenförde zusammen, so kann man folgende Schlußfolgerungen ableiten:

- Auf der Basis von Oxynitridschichten von Titan, Chrom, Nickel, Zirkon, Niob und Tantal sind korrosions- und temperaturstabile Schichten herstellbar. (Literatur 5).
- Die Ausgangsqualität der benutzten Substratbleche (Rauhigkeit, Oxydationszustand, Verunreinigungen) ist von entscheidender Bedeutung für die Schichtqualität. Konstante, geeignete Bedingungen sind deshalb sicherzustellen.
- Die Aufbringung einer Oxid-Schutzschicht bringt chemische und mechanische Stabilität. Pyrolytische SiO_x -Schichten sind dafür prinzipiell geeignet.
- Als Umsetzungsvariante wird deshalb eine Coil-Beschichtungsanlage mit vorheriger pyrolytischer Vorbehandlung des verwendeten Substratbleches vorgeschlagen (Bild 26).
- Die so erzeugten Schichten haben sich bei Tests durch Flach- und Vakuumkollektorherstellern als thermisch, chemisch und mechanisch genügend stabil gezeigt, so daß ein erfolgreichen Einsatz gegeben zu sein scheint.

V. Zusammenfassung

V.1 Projektziele

Auf der Basis eines vorangegangenen BMBF-Projektes bestand das Ziel des Projektes in der pilotweisen Herstellung von selektiven Absorberschichten für den Einsatz in Flach- und Vakuumkollektoren mittels umweltfreundlicher Vakuumsputtertechnologie.

Dabei sollte die im Projektergebnis des Fördervorhabens 0329020 entwickelte Absorberbeschichtung in einen großflächigen, technischen Maßstab umgesetzt und die Randbedingungen für eine produktionstechnische Umsetzung ermittelt werden.

Weitere Arbeitsschwerpunkte waren die Durchführung einer gründlichen Marktrecherche sowie der Test der hergestellten Absorber durch kompetente Marktteilnehmer. Im Resultat der durchgeführten Untersuchungen sollte eine Entscheidung über den Einstieg INTERPANEs in die Absorberbeschichtung herbeigeführt werden.

V.2 Projektpartner

Das Projekt wurde als Verbundvorhaben gemeinsam mit

- Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, Oltmannsstr. 5, 79100 Freiburg
- Solvis Energiesysteme GmbH, Marienberger Str. 1, 38122 Braunschweig
- Prinz GmbH, Simmerner Straße 7, 55442 Stromberg

durchgeführt.

Außerdem konnte durch intensive Kontakte zu allen wesentlichen Kollektorherstellern der Einbezug der insgesamt vorliegenden technischen Erfahrungen im Umgang mit Absorberbeschichtungen sichergestellt werden.

V.3 Ergebnisse

Im Verlauf des Projektes wurden eine Reihe von Beschichtungsversuchen durchgeführt, um die großflächige Reproduzierbarkeit der im vorangegangenen BMBF-Projekt entwickelten Beschichtungen zu testen. Dazu wurde eine bei INTERPANE vorhandene Batch-Beschichtungsanlage benutzt.

Es wurden eine Vielzahl unterschiedlicher Absorbertypen (Rollbondabsorber, Cu-Finnen etc.) beschichtet. Als Substratmaterialien kamen vorzugsweise Kupfer-, Aluminium- und Edelstahlbleche zum Einsatz. Auf diesen Materialien konnte das Schichtsystem großflächig (ca. 0,5-3 m²) erfolgreich mit guter Gleichmäßigkeit abgeschieden werden.

Probleme bereiteten die Beständigkeitseigenschaften der Schichten sowie eine einheitliche Substratvorbehandlung.

Um zu günstigeren Beständigkeitsverhältnissen zu gelangen, wurde das Schichtsystem grundlegend optimiert. Diesbezügliche Tests verliefen erfolgreich.

Eine eindeutige Definition des Anforderungsprofils an das zu beschichtende Material ermöglichte die Auswahl geeigneter Materialtypen und die Vorbereitung eines maschinenbaulichen Konzeptes für die Konstruktion einer optimierten Beschichtungsanlage. Diese Anlage soll dann für die Produktion von beschichteten Blechen in Coilform Verwendung finden.

In einer ausführlichen Marktstudie wurde der europäische Markt in bezug auf Absorberbeschichtungen untersucht. Die Analyse zeigte großes Interesse für eine umweltfreundliche Beschichtung, wie das Sputterverfahren. Die Größe des Marktes begrenzt jedoch die absehbaren Mengen erheblich, so daß die nötigen Investitionen in die Vakuumtechnik eine kostendeckende Produktion erschwert.

V.4 Ausblick

Das Projekt soll als Förderprojekt gemeinsam mit der DBU weitergeführt werden.

Für die Umsetzung werden kompetente Partner aus dem Solarbereich gesucht.

Die Ergebnisse wurden auf zahlreichen Tagungen und in Fachzeitschriften veröffentlicht.

VI. Literatur

Literatur 1: A. Borne, A. Gombert, W. Graf, M. Köhl, V. Wittwer, Regular and random surfaces micro-structures as anti-reflection coatings for solar absorbers, EUROPT International Symposium on Optical Materials Technology for Energy Efficiency and Solar Energy Conversion XI, 18-22 May 1992, Toulouse, France

Literatur 2: W. Graf, M. Köhl, G. Gindele, Influence of surface roughness on the optical properties of cermet coatings, SPIE Vol. 1016 Optical Materials Technology for Energy Efficiency and Solar Energy Conversion VII (1988)

Literatur 3: W. Graf, M. Köhl, V. Wittwer, Herstellung und Charakterisierung optischer Komponenten für aktive und passive solarthermische Anwendungen, Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben

Literatur 4: Diplomarbeit, Thomas Tröscher, ISE Freiburg i. B., 1994

Literatur 5: Diplomarbeit, Michael Harke, RWTH Aachen, 1. Physikalisches Institut, 1994

Spektralverlauf der Sonne, der Wärmestrahlung und der Strahlungsreflexion einer selektiven Solarabsorberschicht

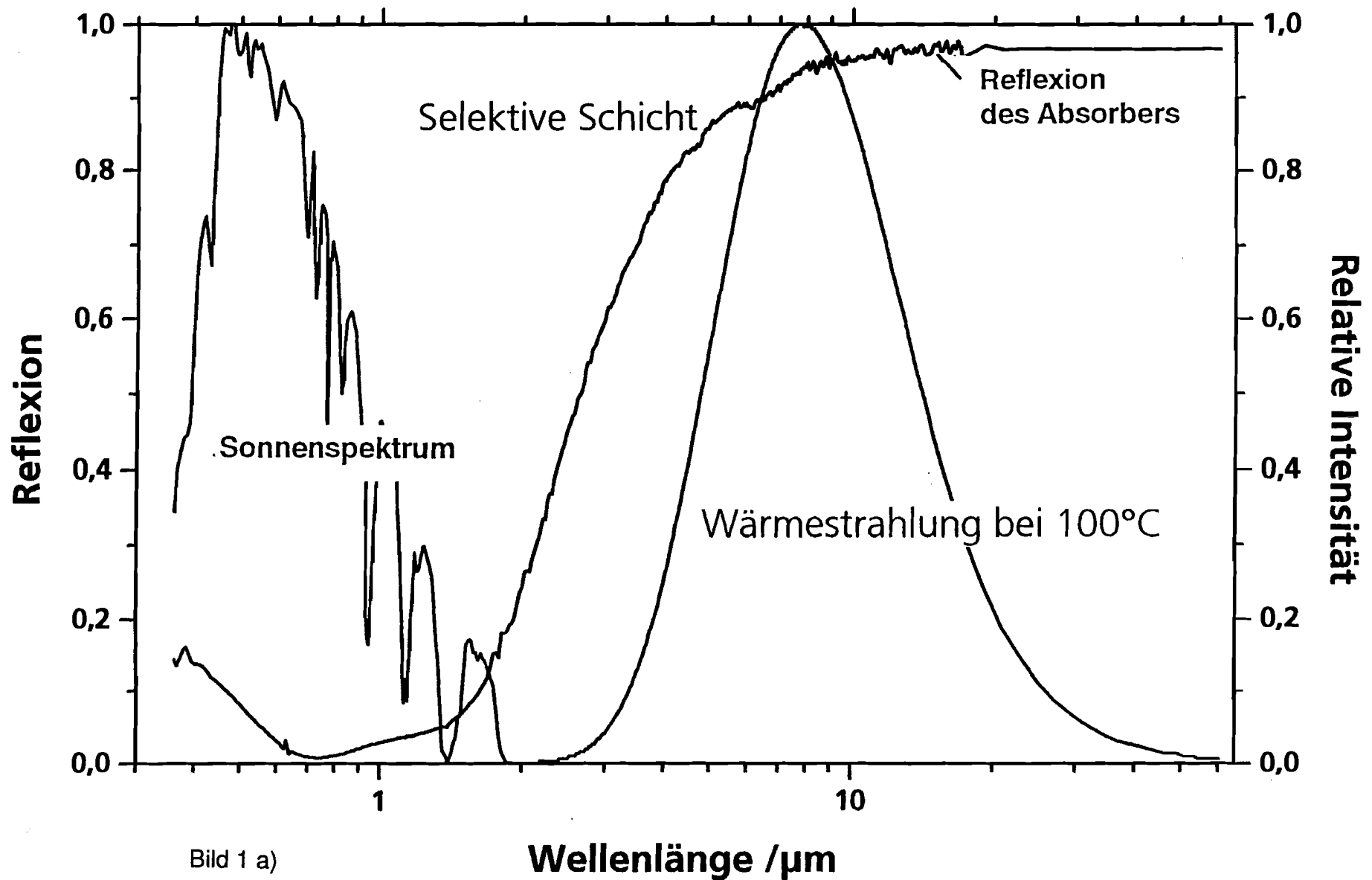


Bild 1 a)

Ceramic Metal Schichten als Selektive Solarabsorber

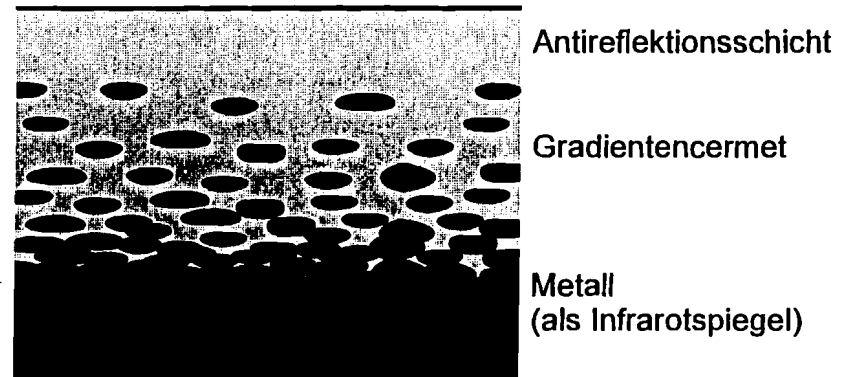
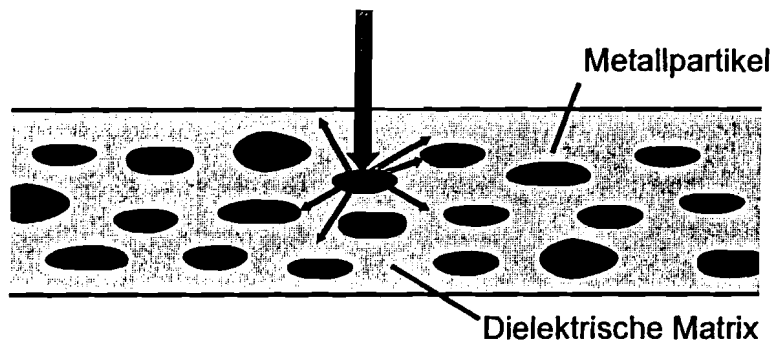
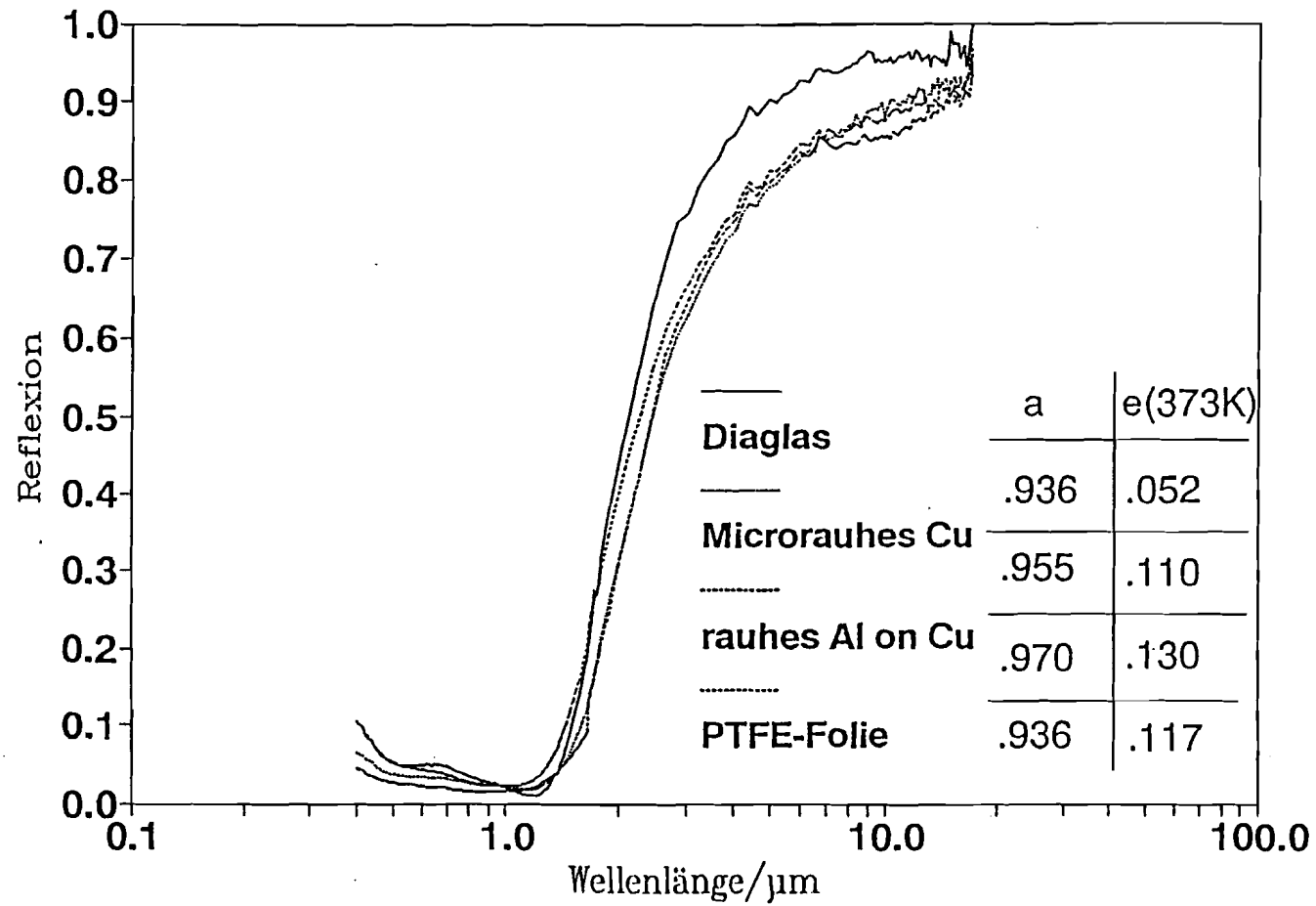


Bild 1 b)

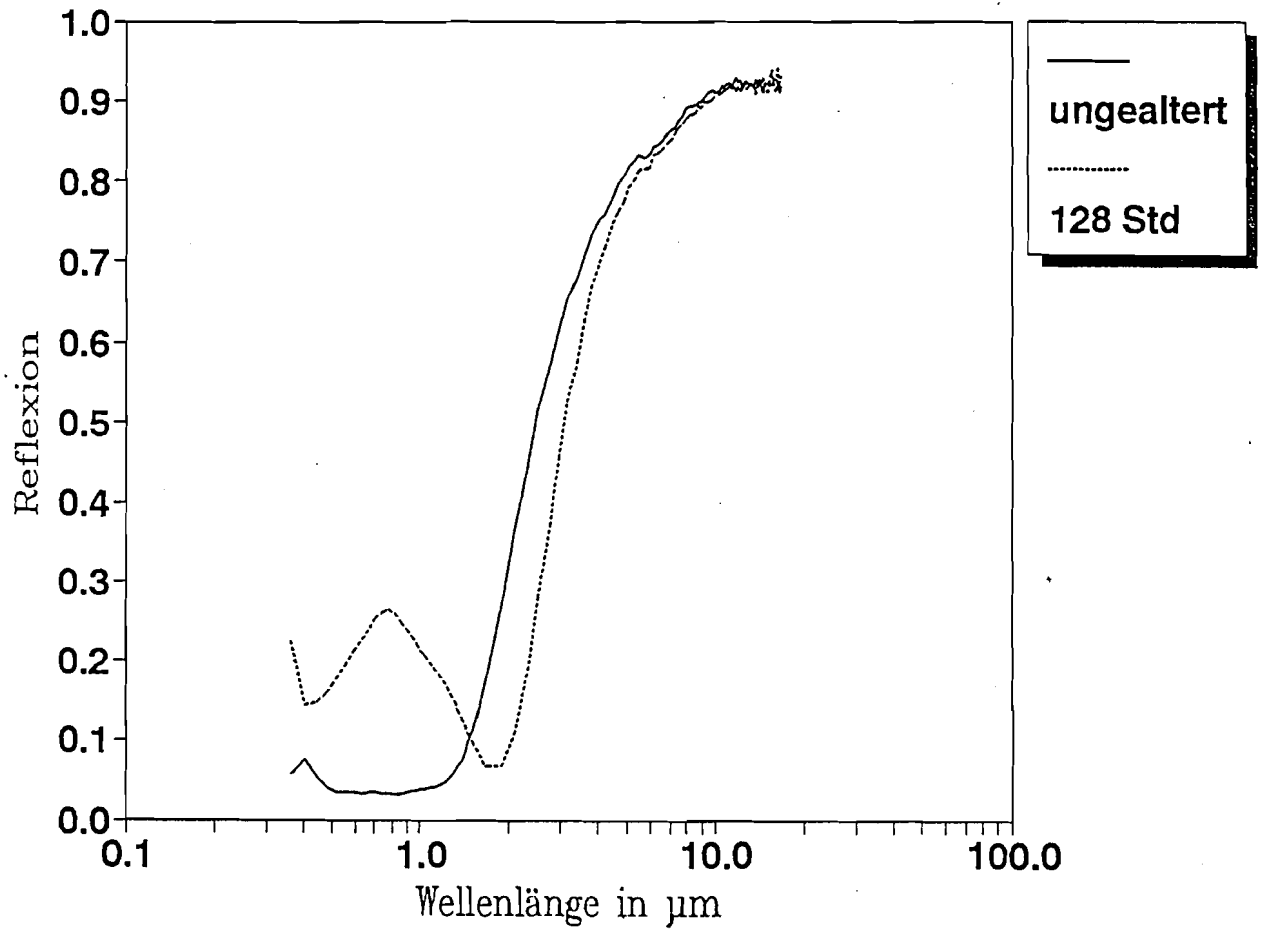
MoSnO-Cermet auf verschiedenen Substraten

Bild 2

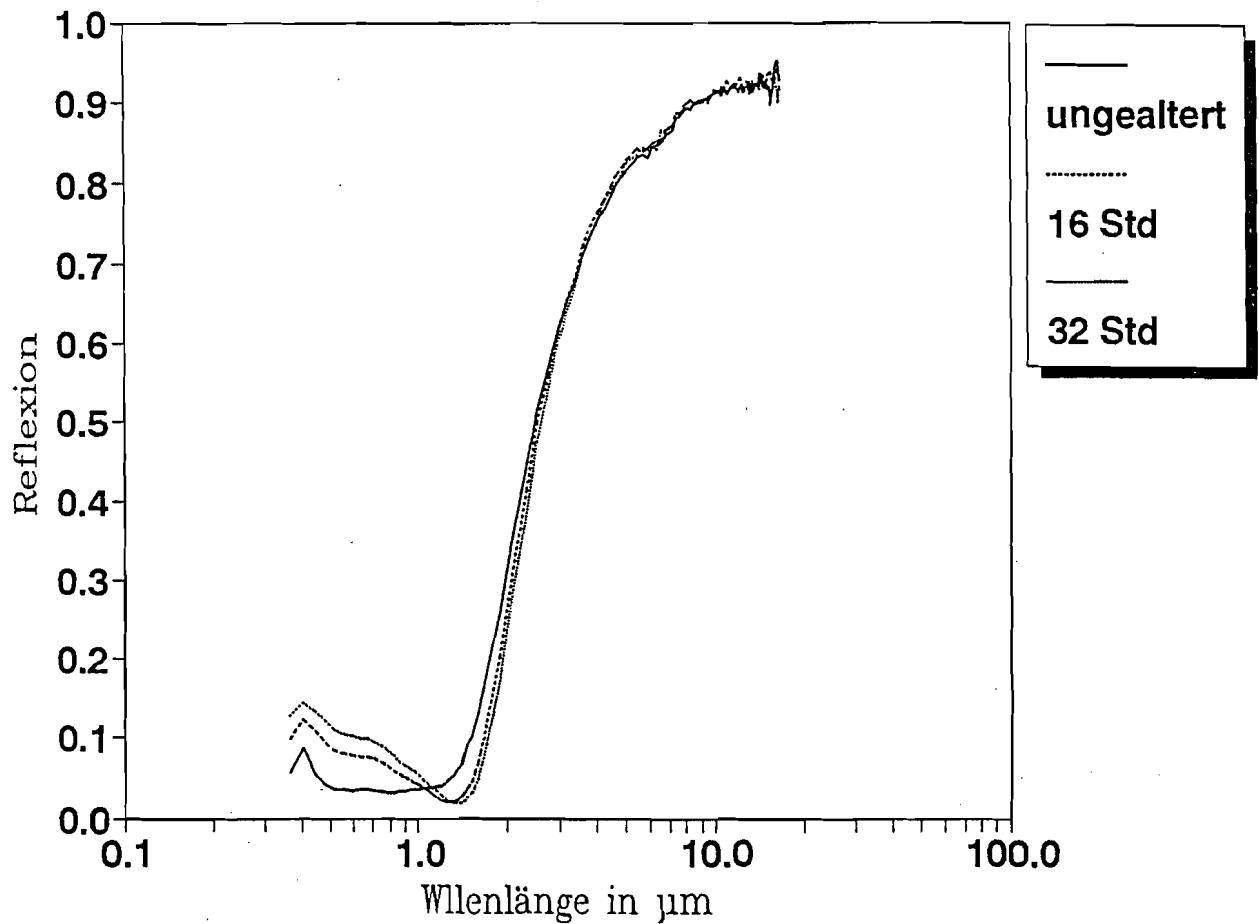


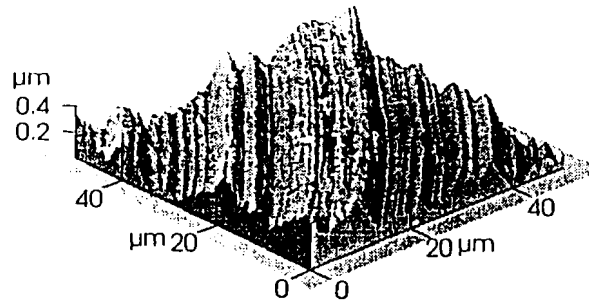
Kupfer mit Absorber

Alterung: Temperung bei 200°C in Luft

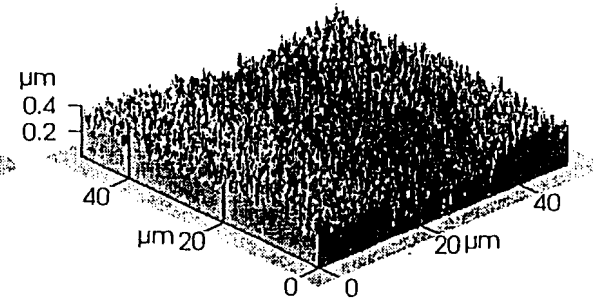


Alterung: Temperung bei 220°C in Luft

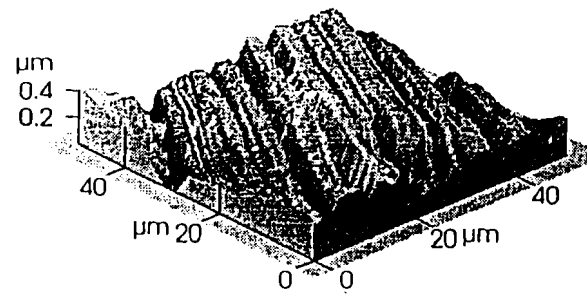




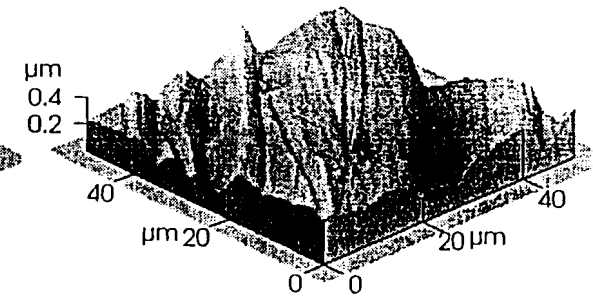
a) Cu Sample 1 RMS = 140 nm



b) Cu Sample 1 pol. RMS = 64 nm



c) Cu Sample 2 RMS = 97 nm



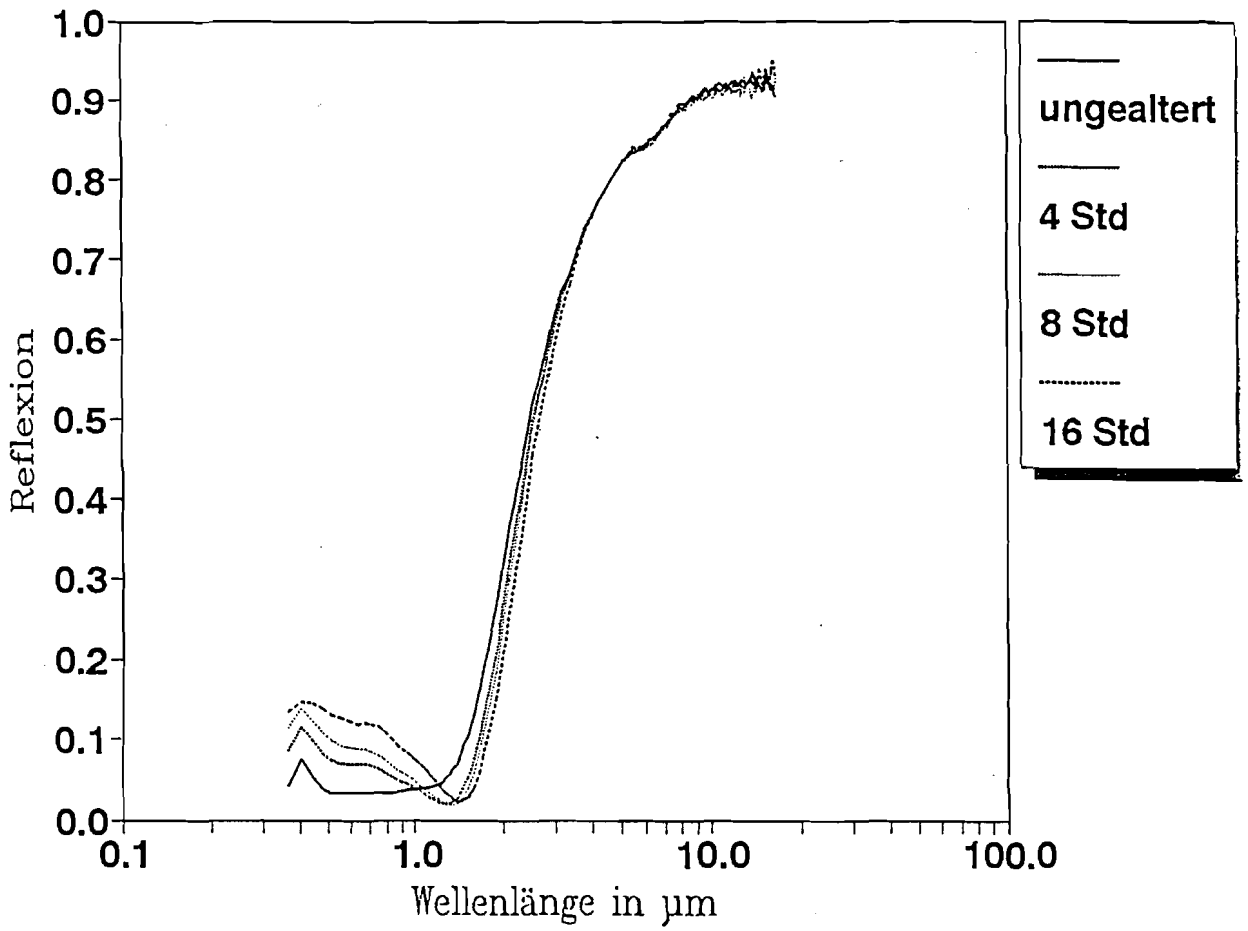
d) Cu Sample 2 Sol/Gel RMS = 52 nm

Bild 3

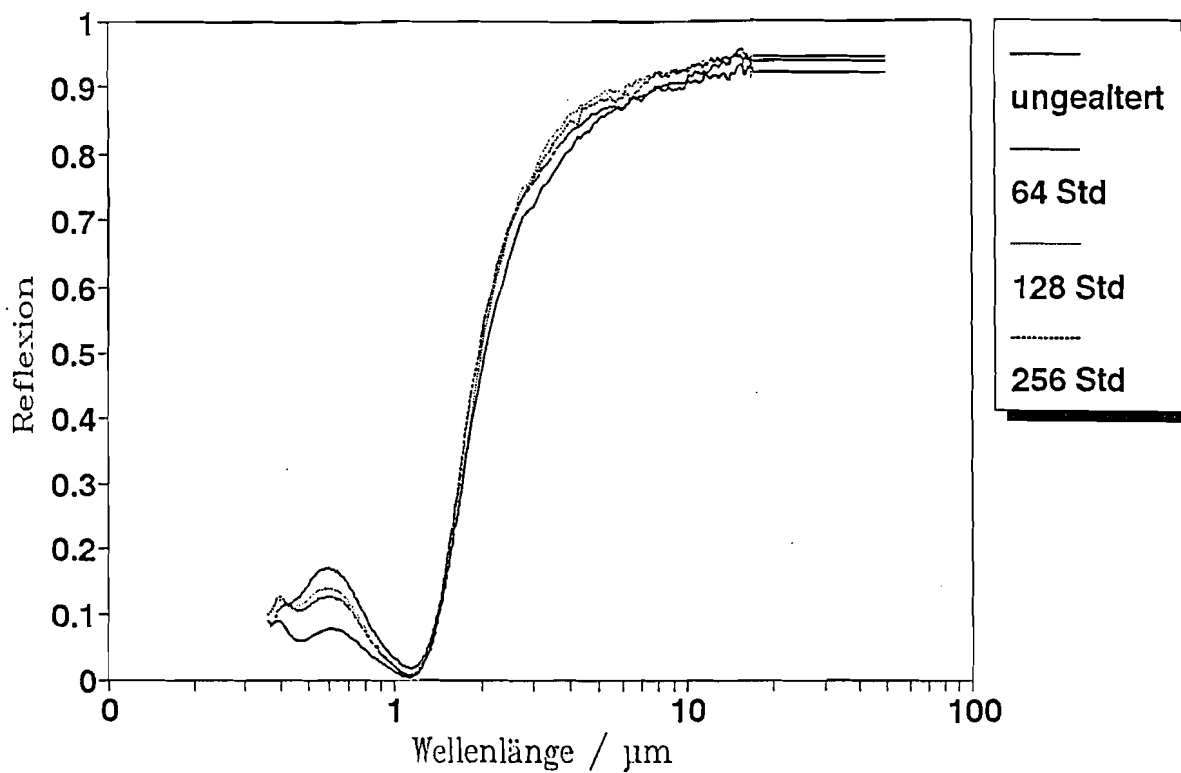
Oberflächenprofile unterschiedlich behandelte Kupferoberflächen

- a), c) **unbehandelte** Kupferoberfläche
- b) **mechanisch polierte** Kupferoberfläche
- d) **Sol/Gel-beschichtete** Kupferoberfläche

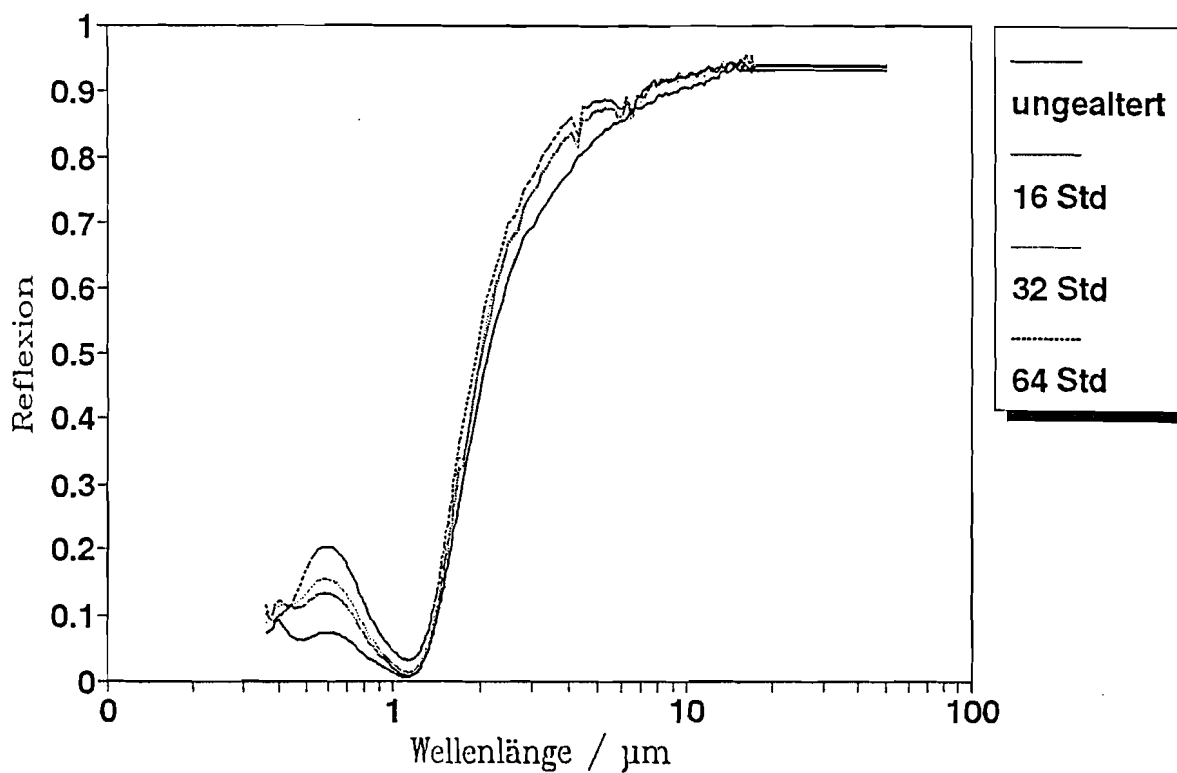
Kupfer mit Absorber
Alterung: Temperung bei 250°C in Luft



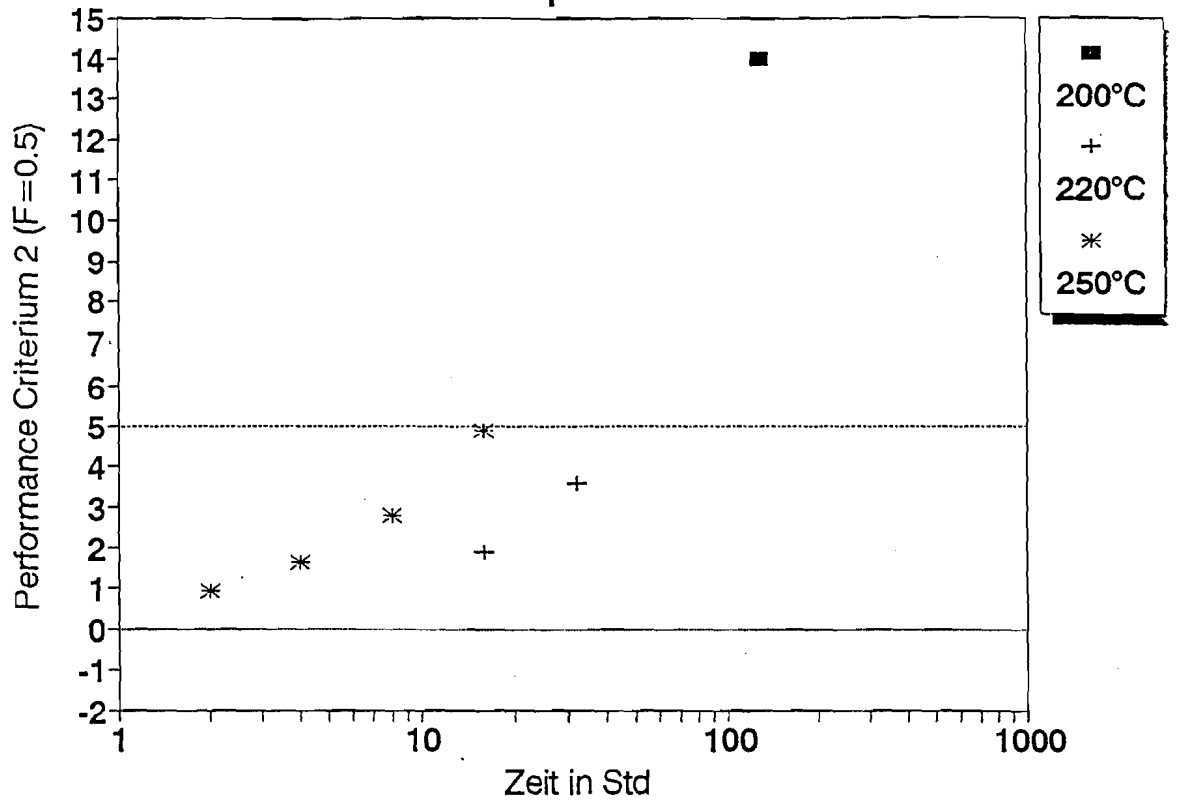
Solvis Alu1(glänzend) + Absorber
Alterung: Temperung bei 220°C in Luft



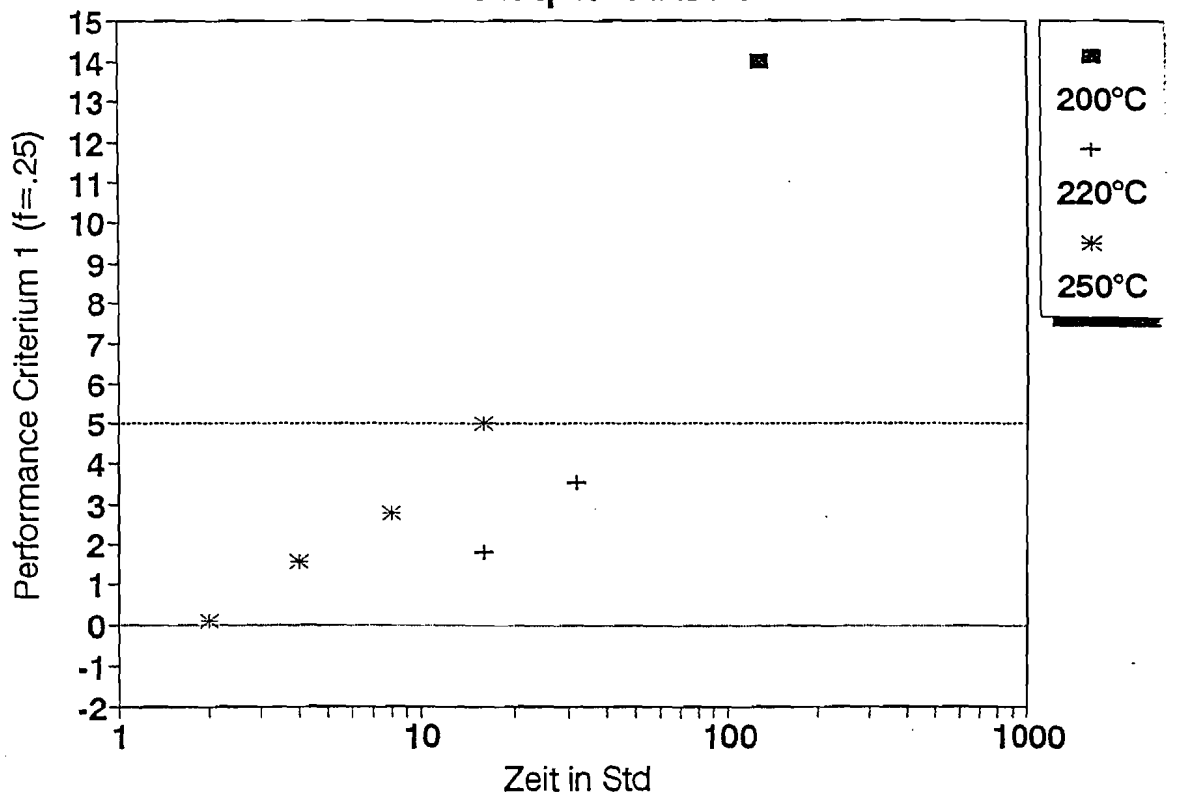
Solvis Alu1(glänzend) + Absorber
Alterung: Temperung bei 250°C in Luft



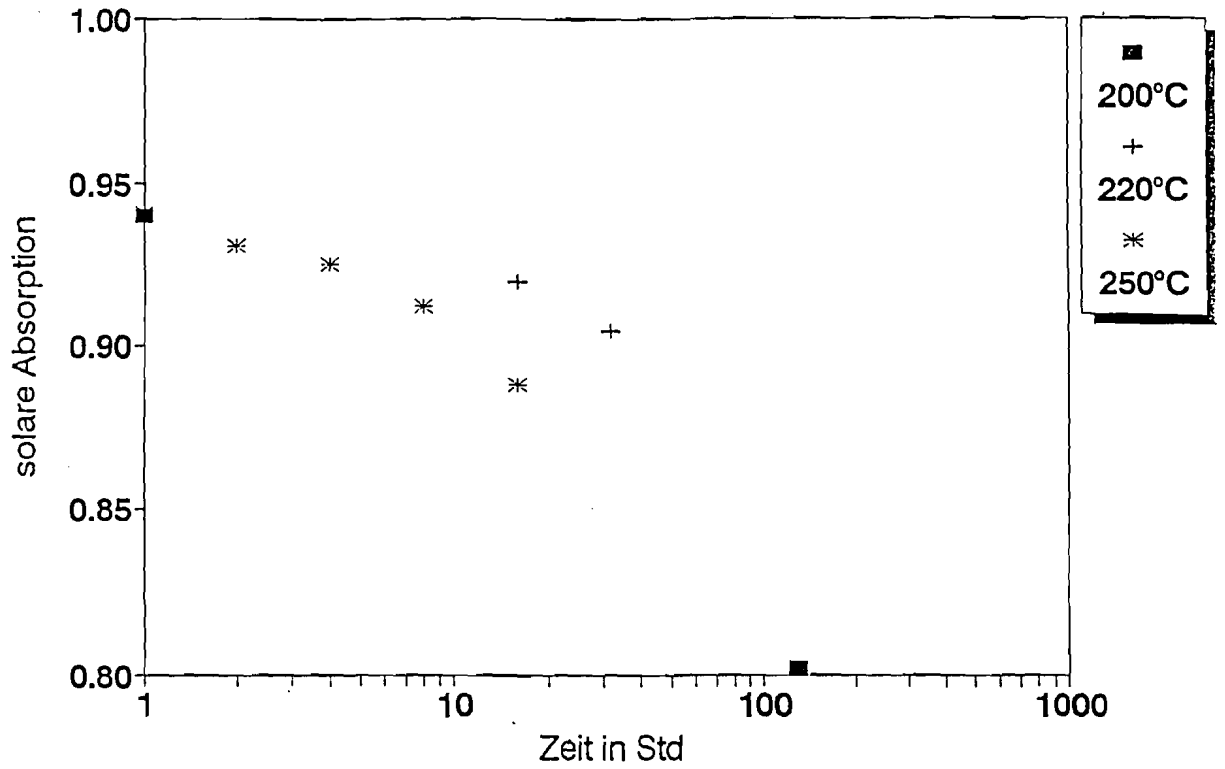
**Kupfer mit Absorber
Temperaturtests**



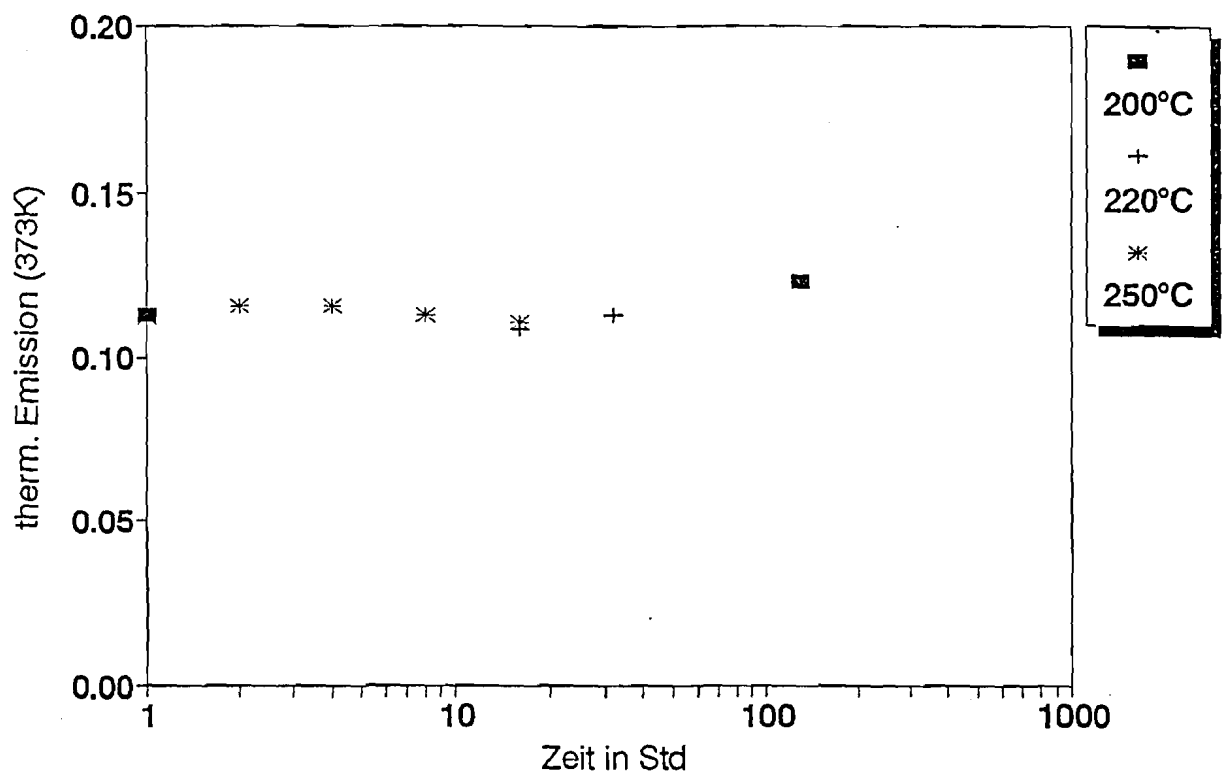
**Kupfer mit Absorber
Temperaturtests**



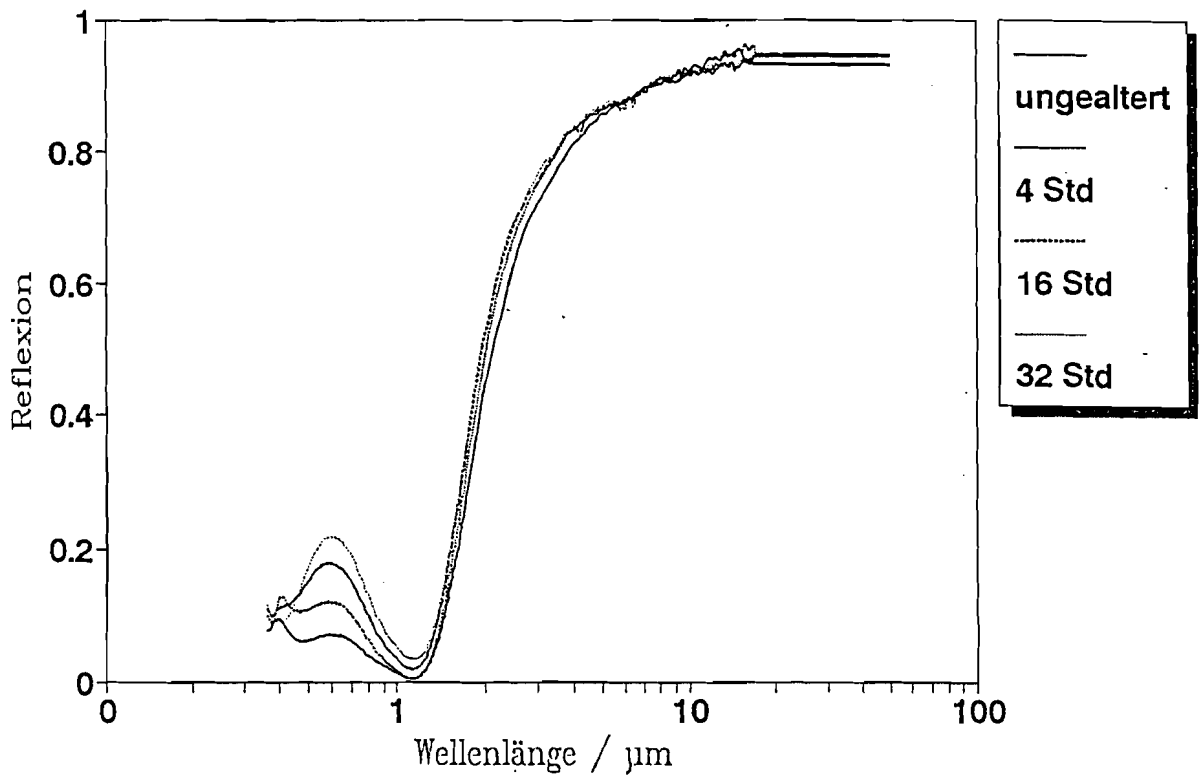
Kupfer mit Absorber Temperaturtests

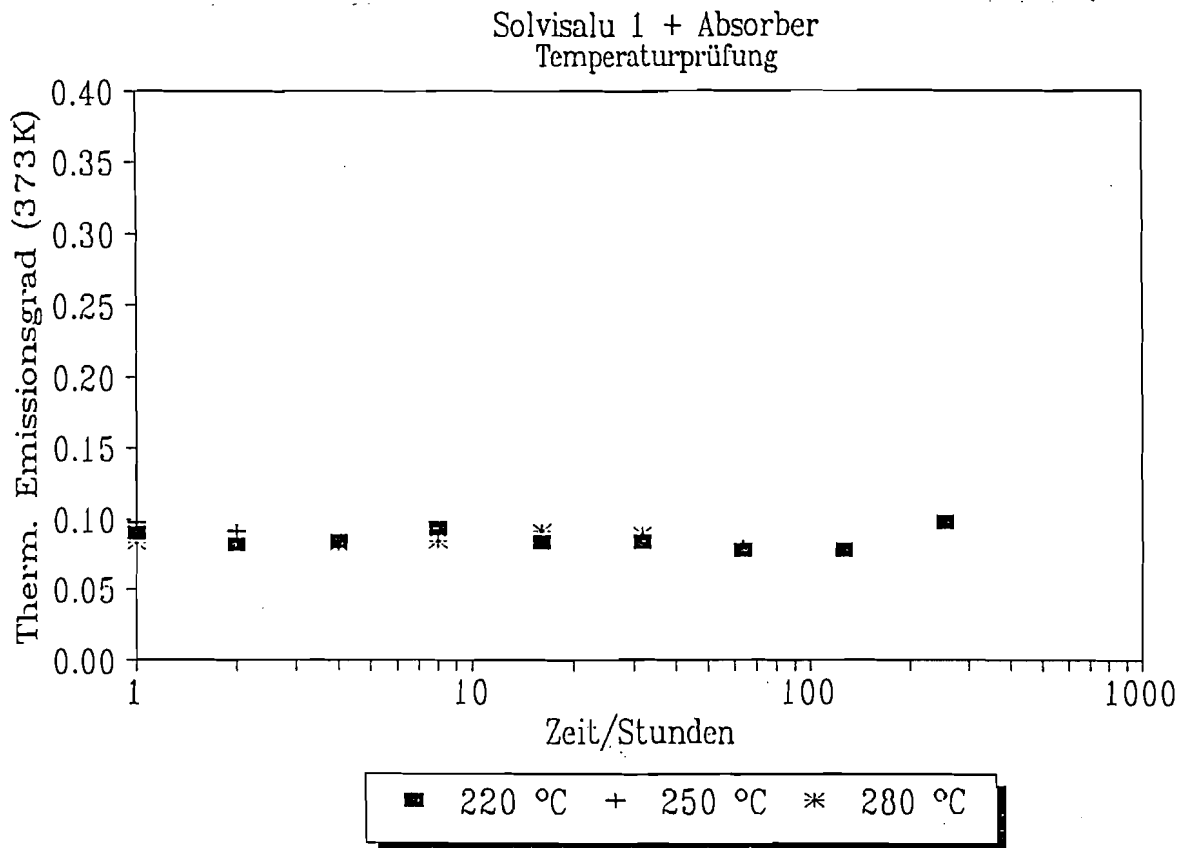
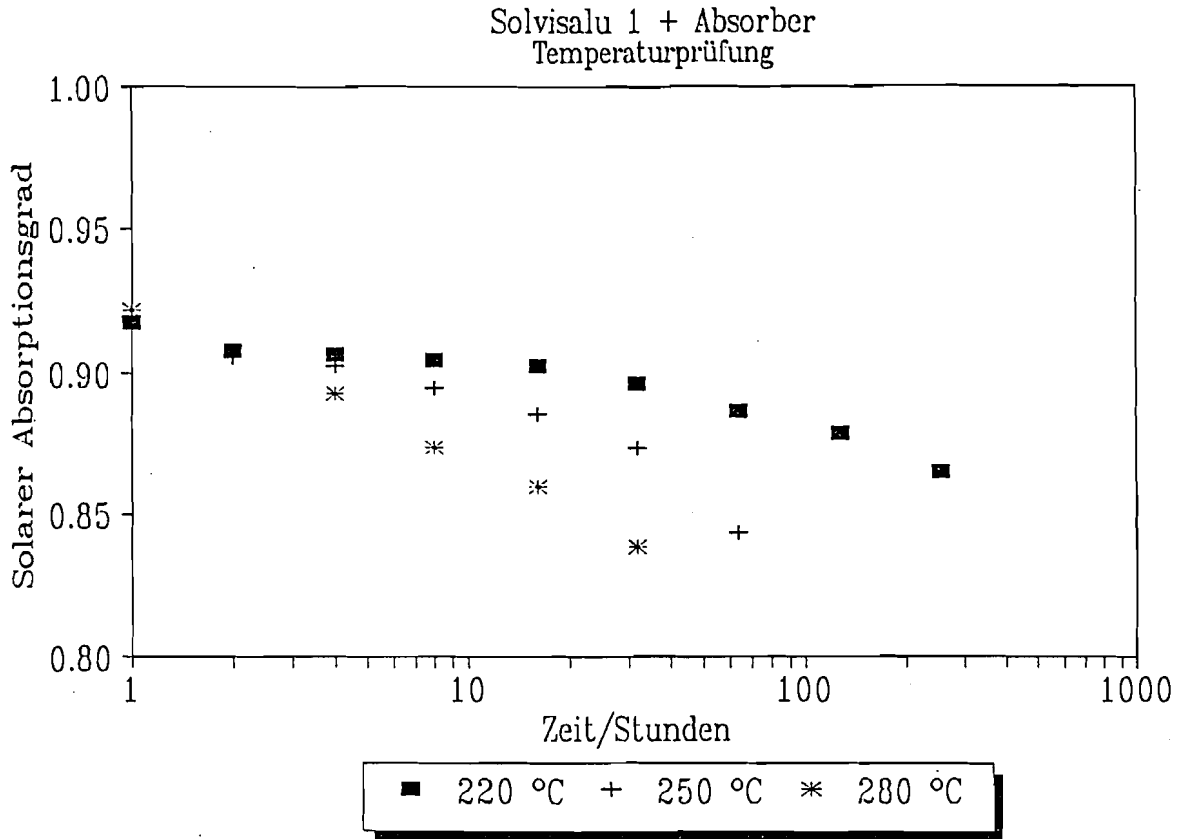


Kupfer mit Absorber Temperaturtests

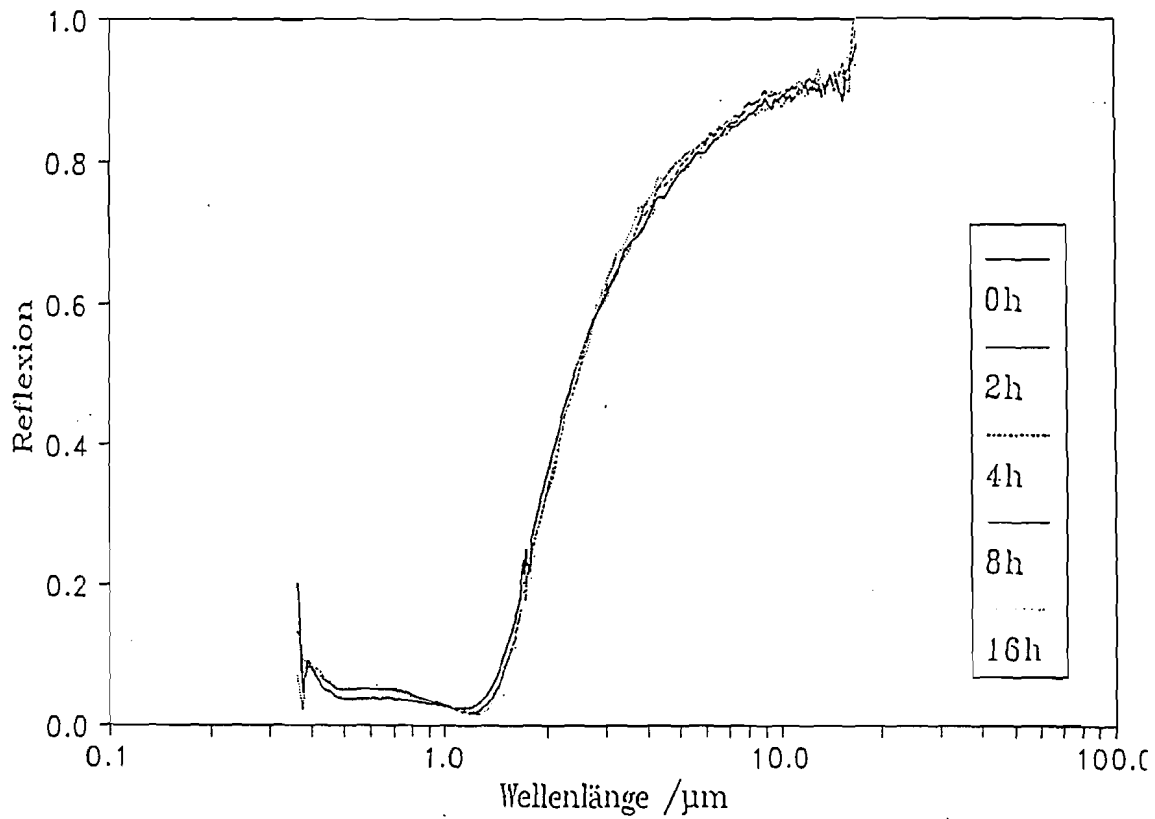


Solvis Alu1 (glänzend) + Absorber
Alterung: Temperung bei 280°C in Luft

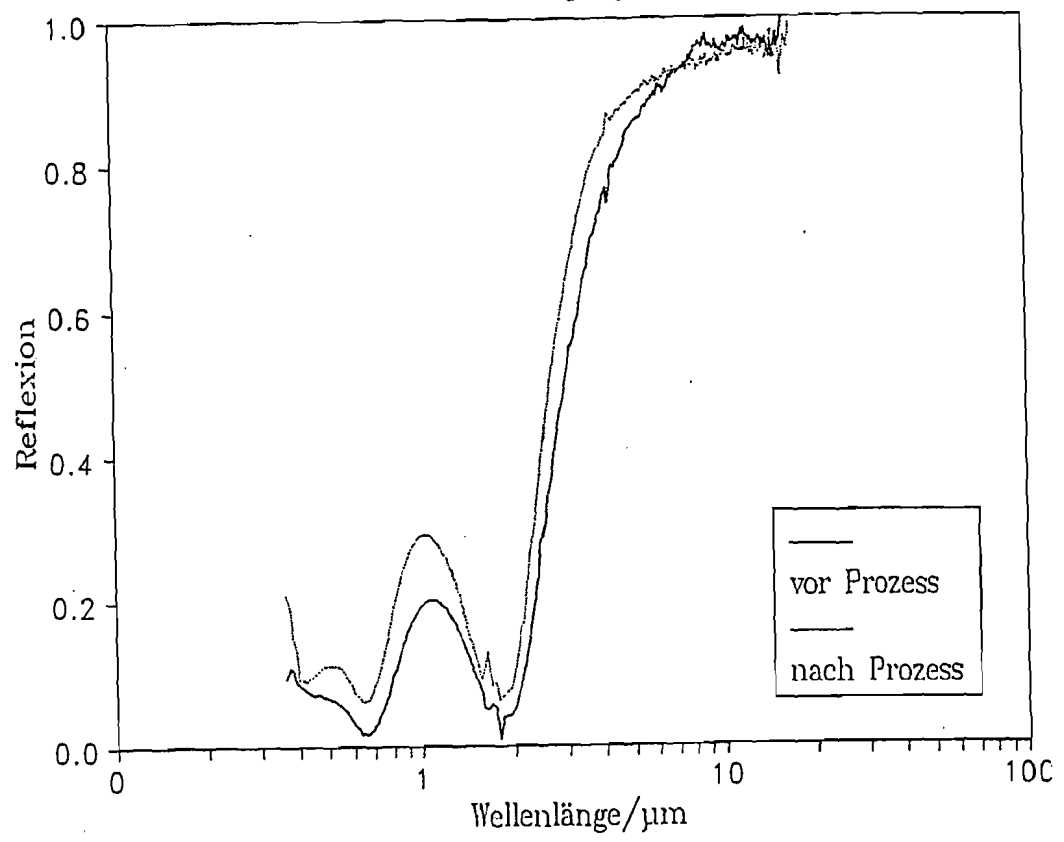




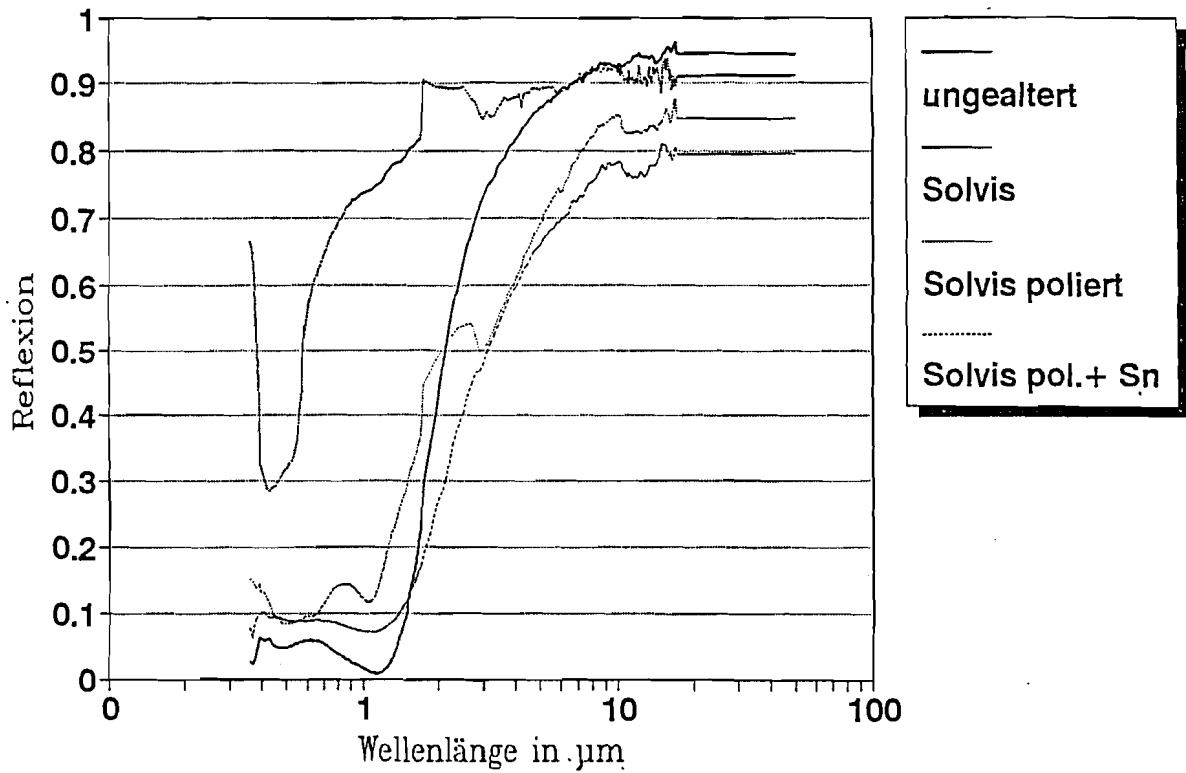
Cermet auf Kupfer
Temperatur bei 300°C in Vak



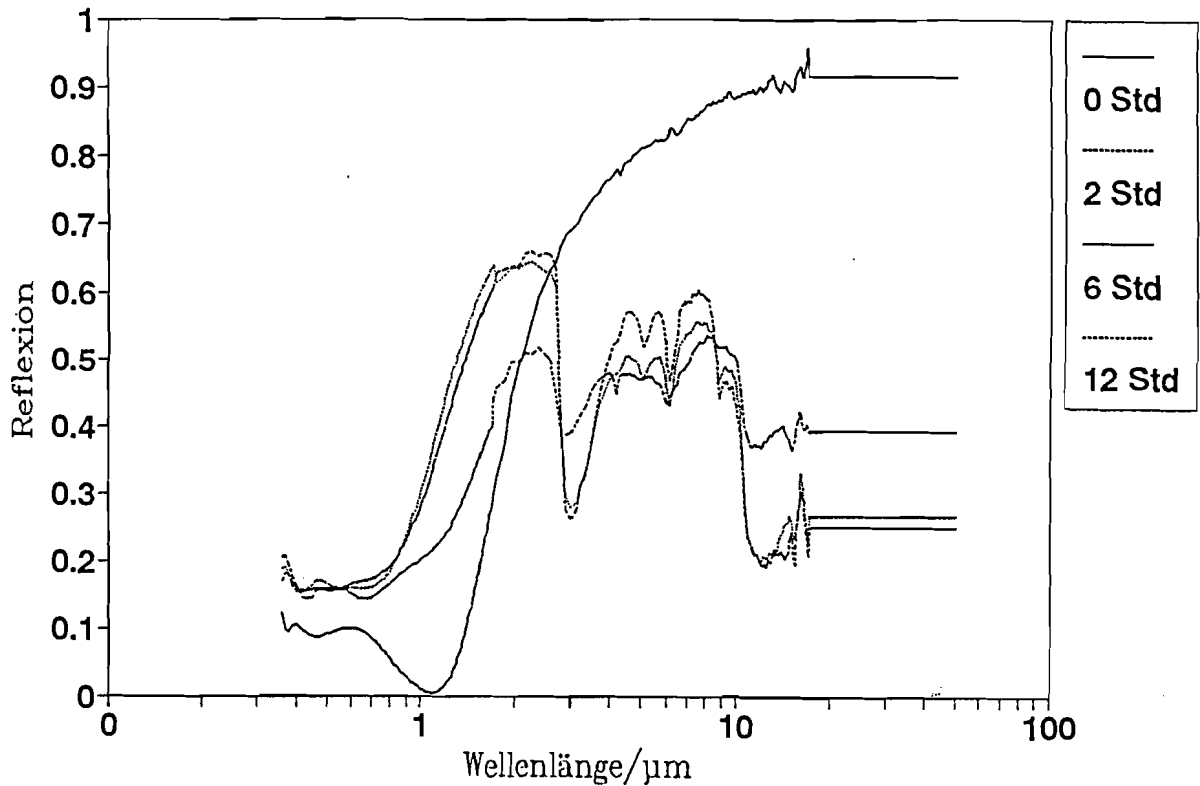
Vakuum-Solarabsorber
Fertigung bei Prinz



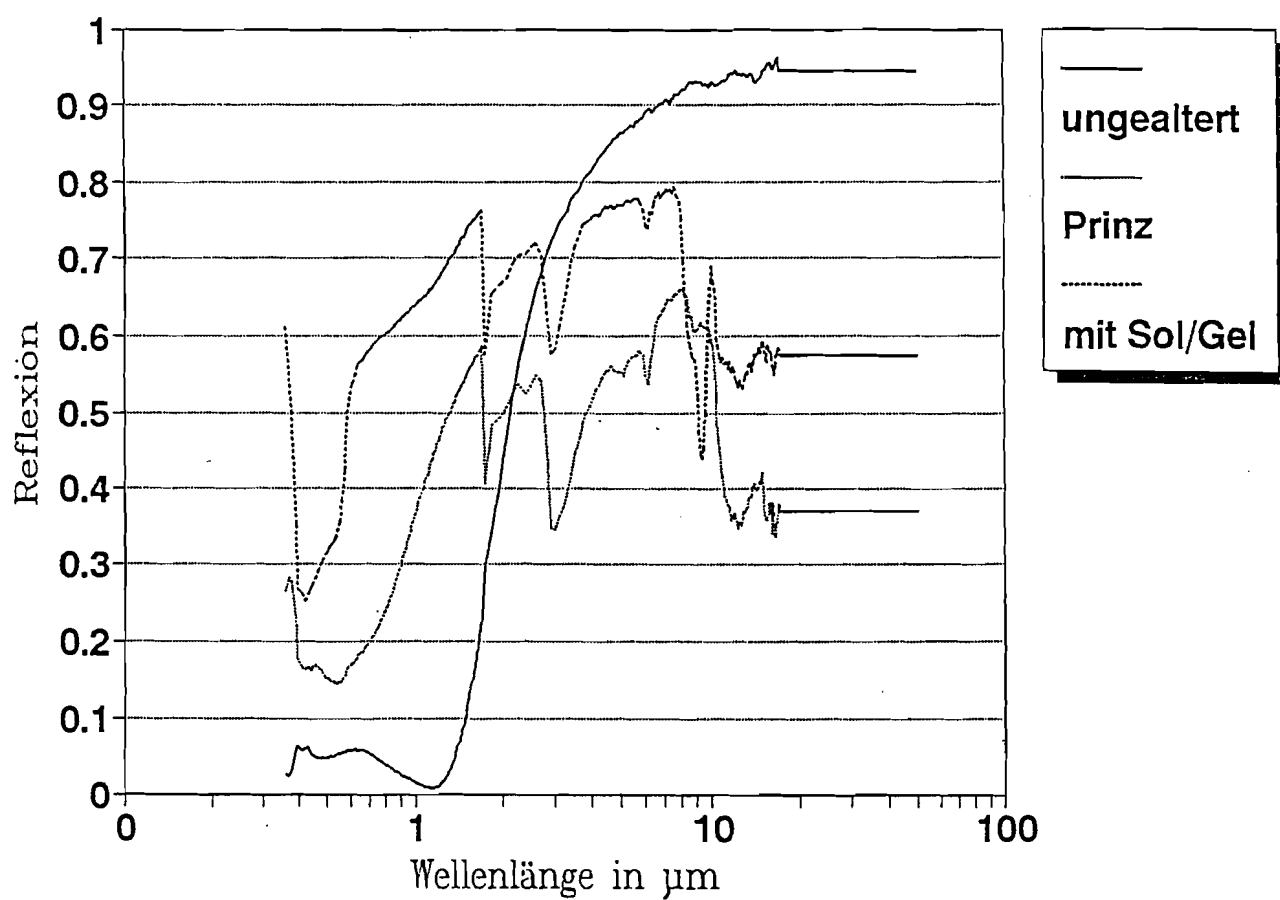
**verschiedene Kupferbleche mit Absorber
nach 2h Kondensation bei 85°C**



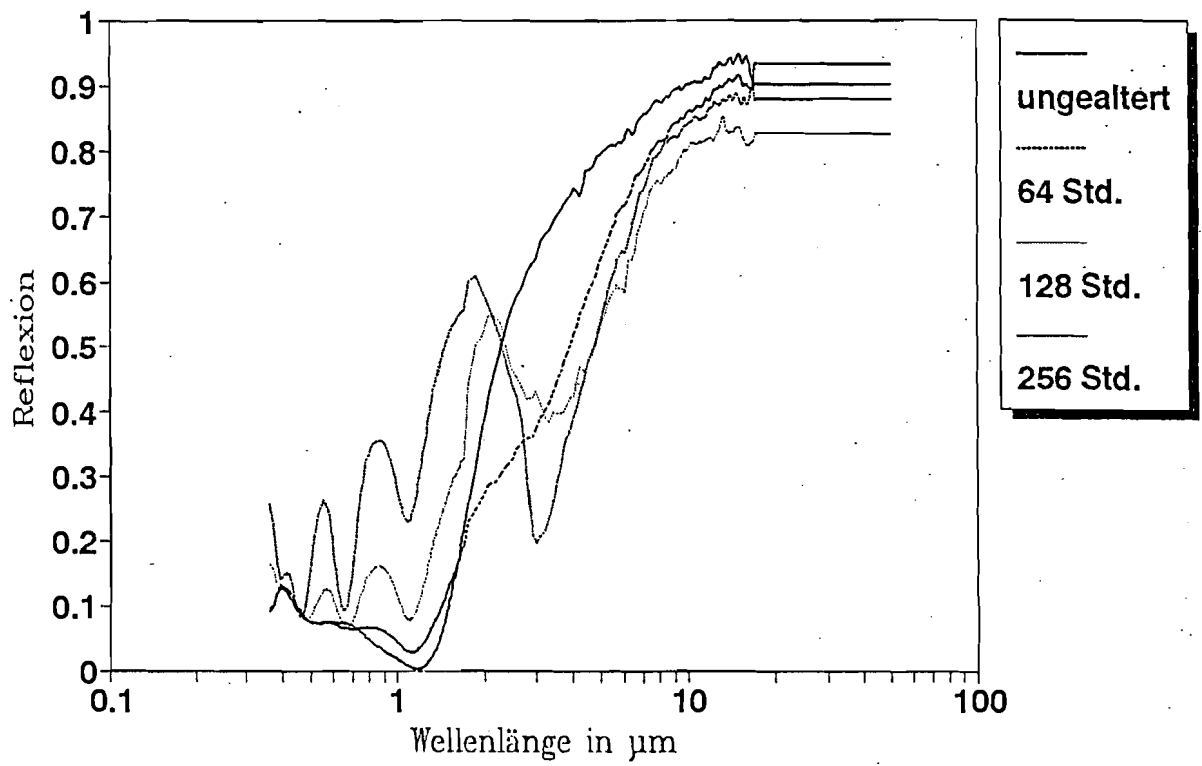
**Cu + Absorber ohne Schutzschicht
Alterung: Kondensation bei 80°C (B3135)**



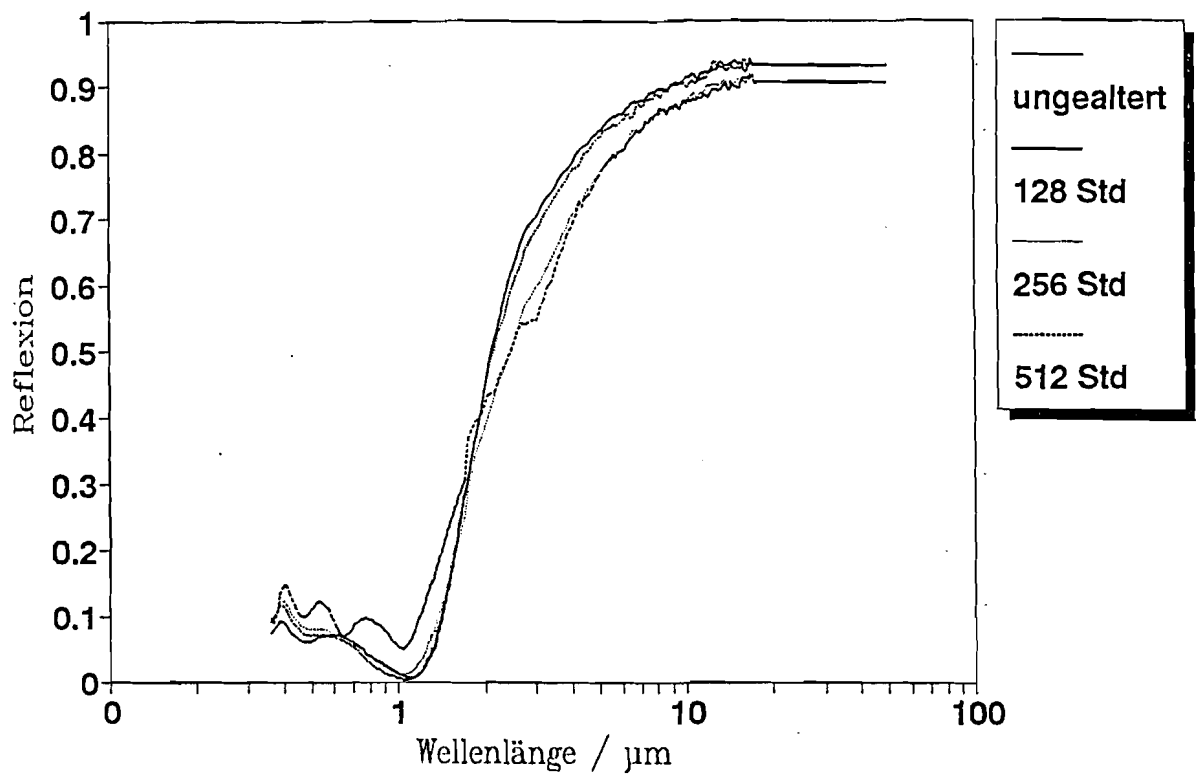
**verschiedene Kupferbleche mit Absorber
nach 2h Kondensation bei 85°C**



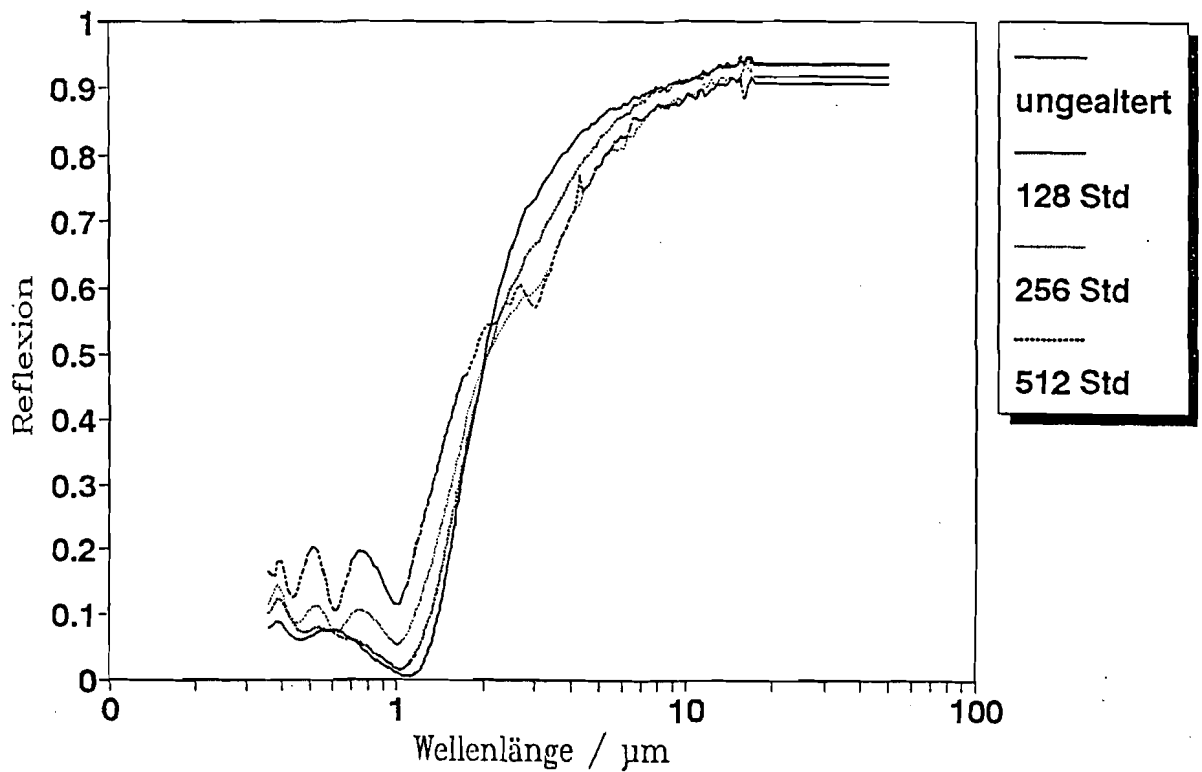
Aluminiumstrangguß mit Absorber
Alterung: Kondensation bei 40°C (B3226)



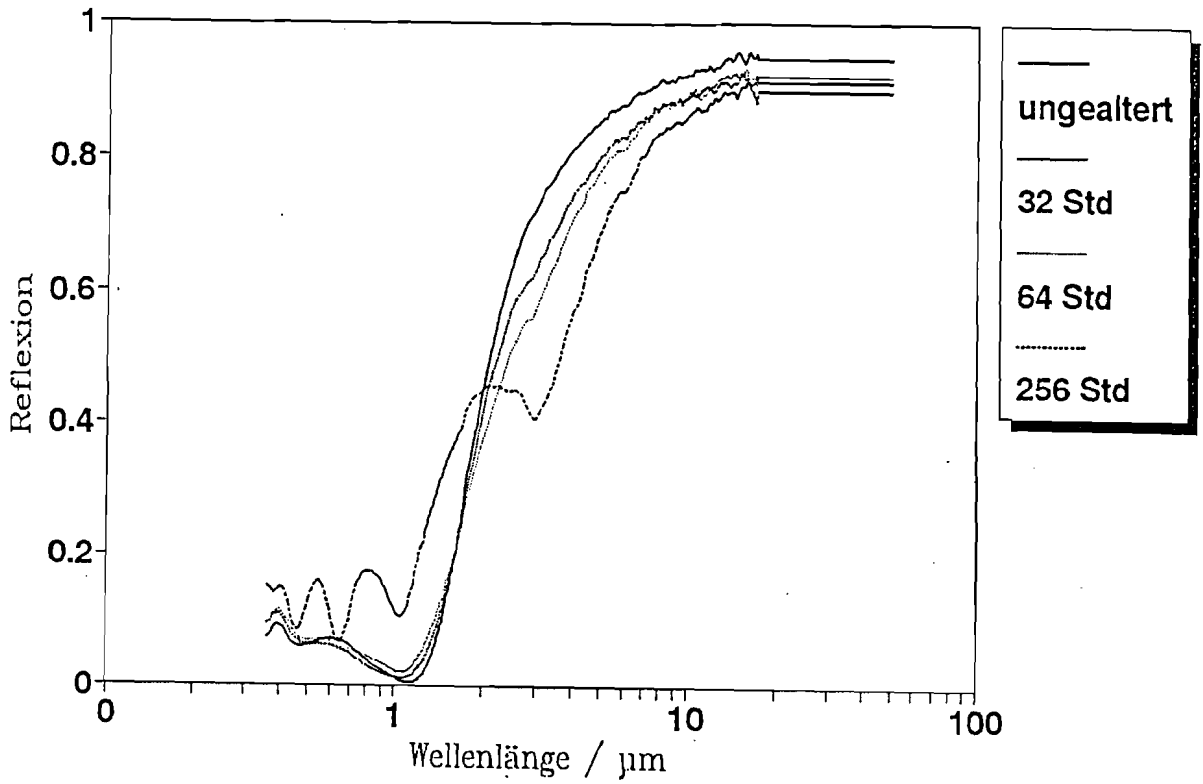
Solvis Alu1 (glänzend) + Absorber
Alterung: Kondensation bei 20°C



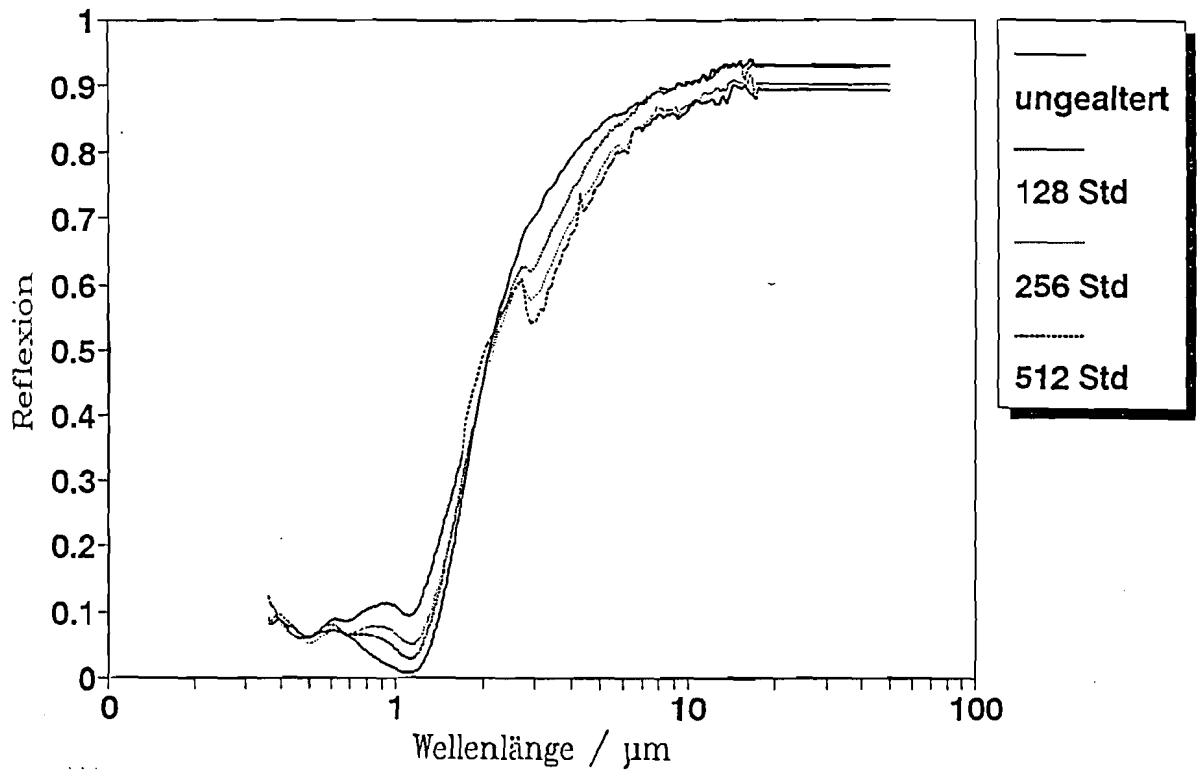
Solvis Alu1 (glänzend) + Absorber
Alterung: Kondensation bei 30°C

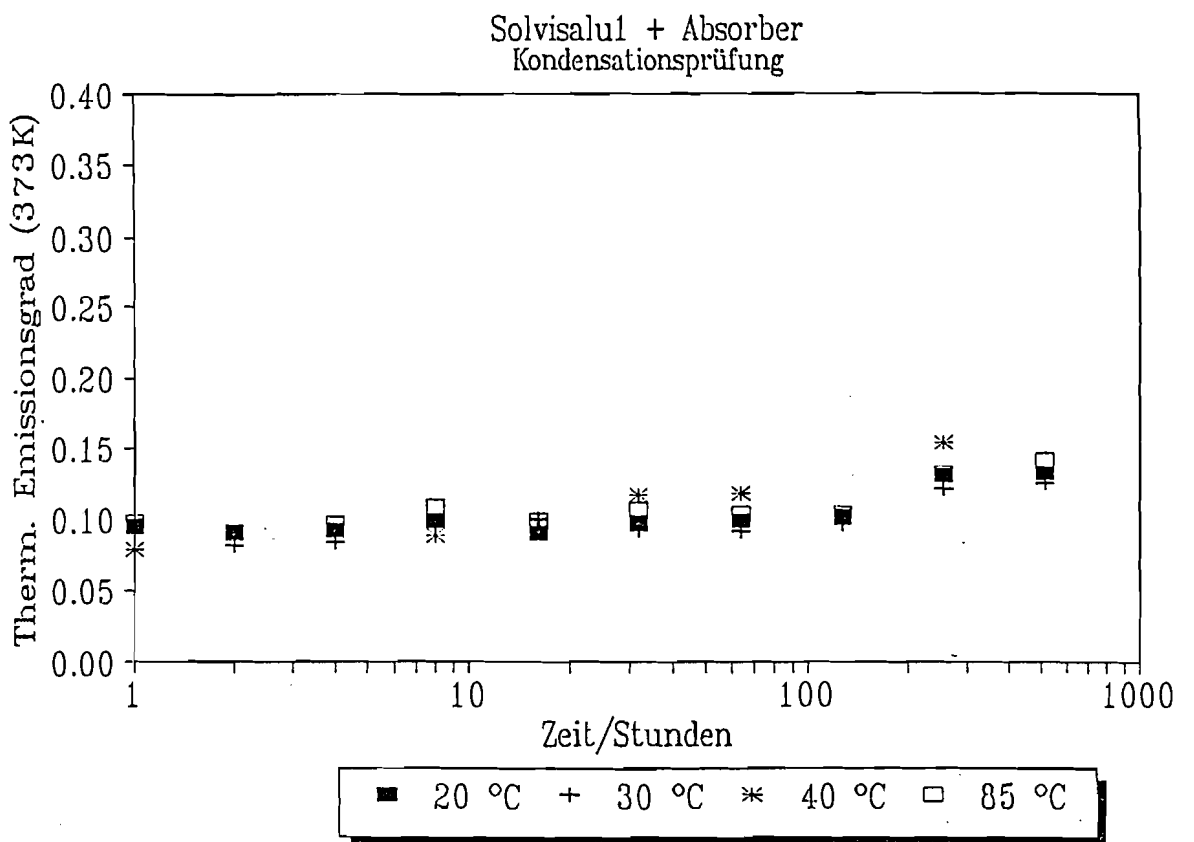
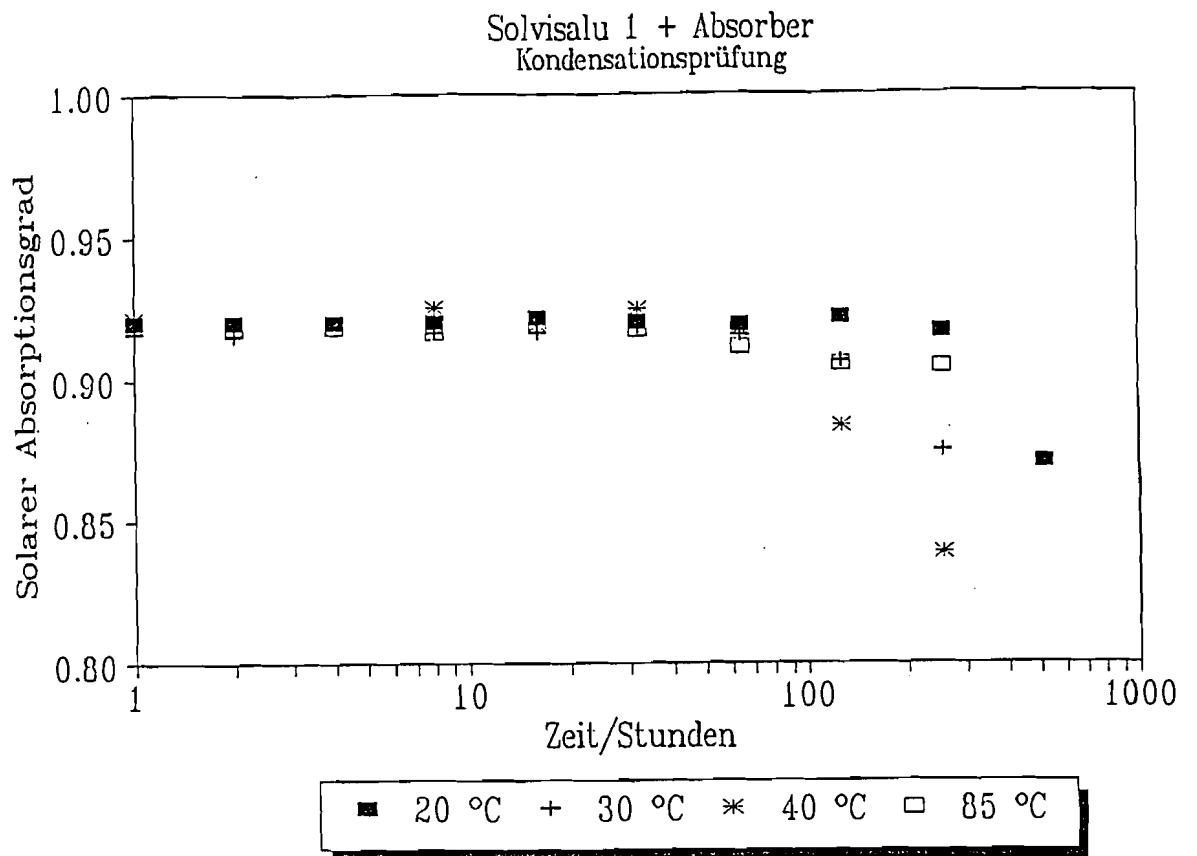


Solvis Alu1 (glänzend) + Absorber
Alterung: Kondensation bei 40°C

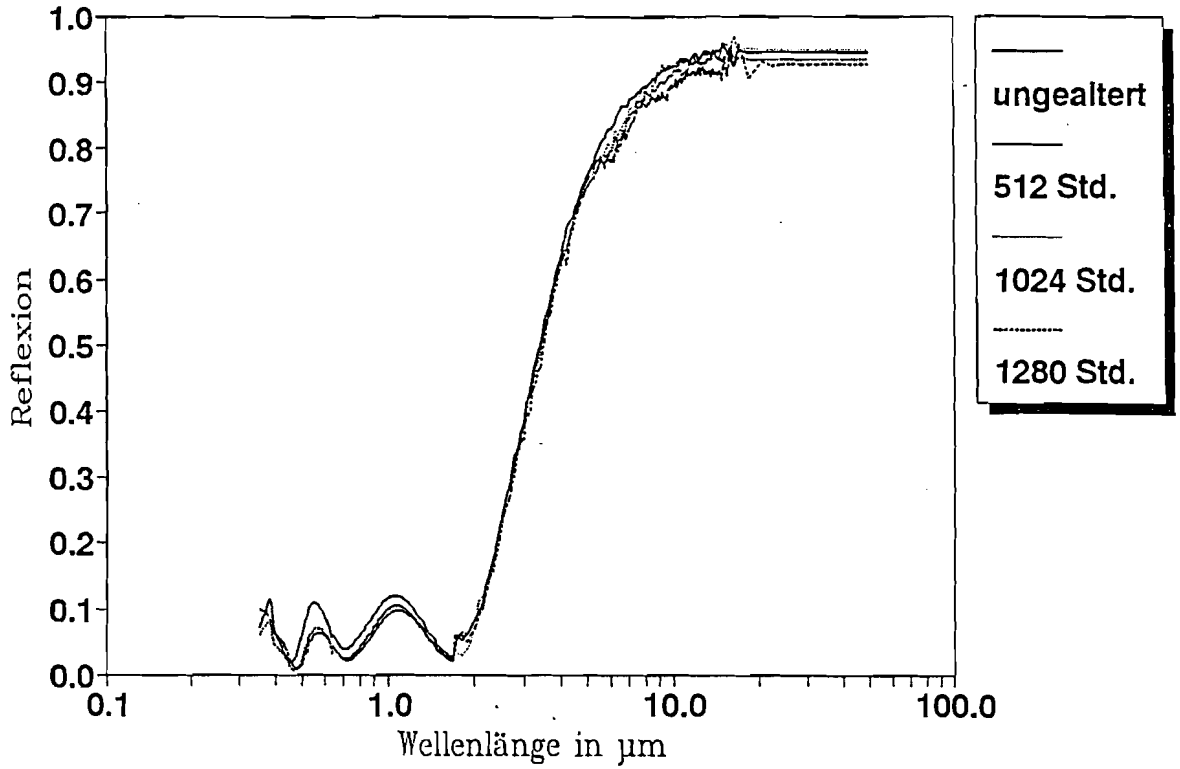


Solvis Alu1 (glänzend) + Absorber
Alterung: Kondensation bei 85°C

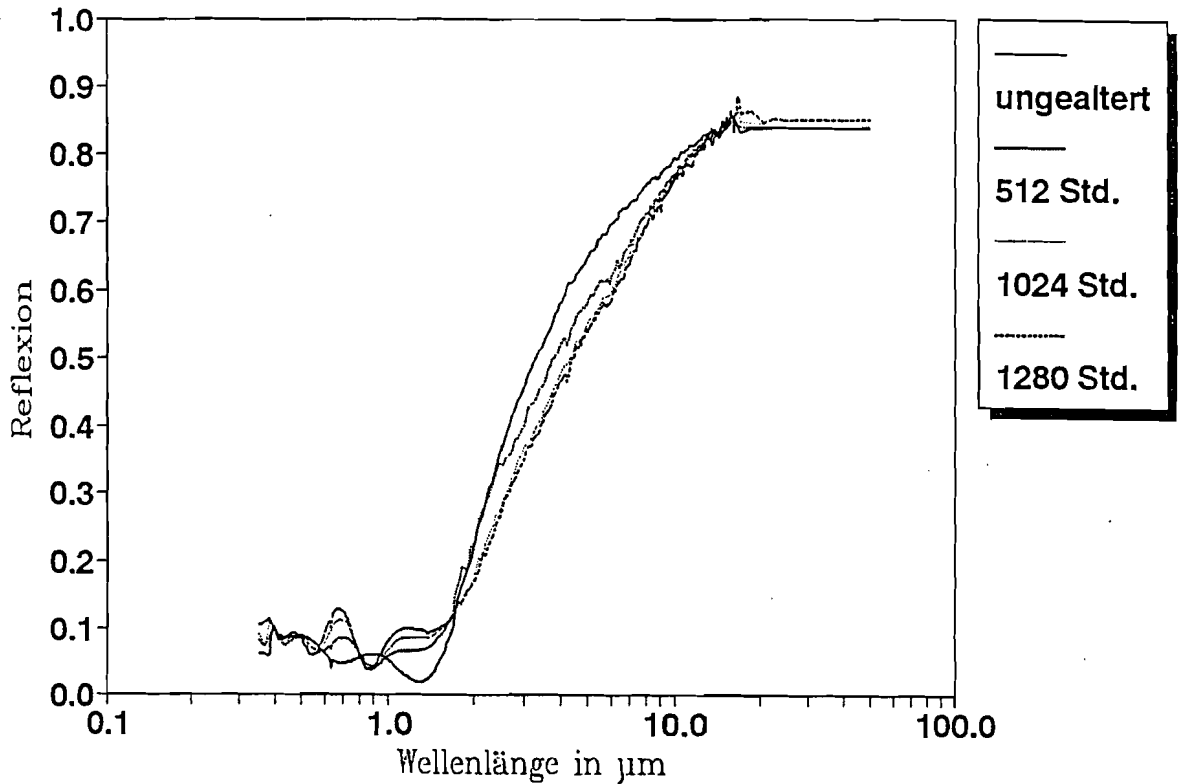




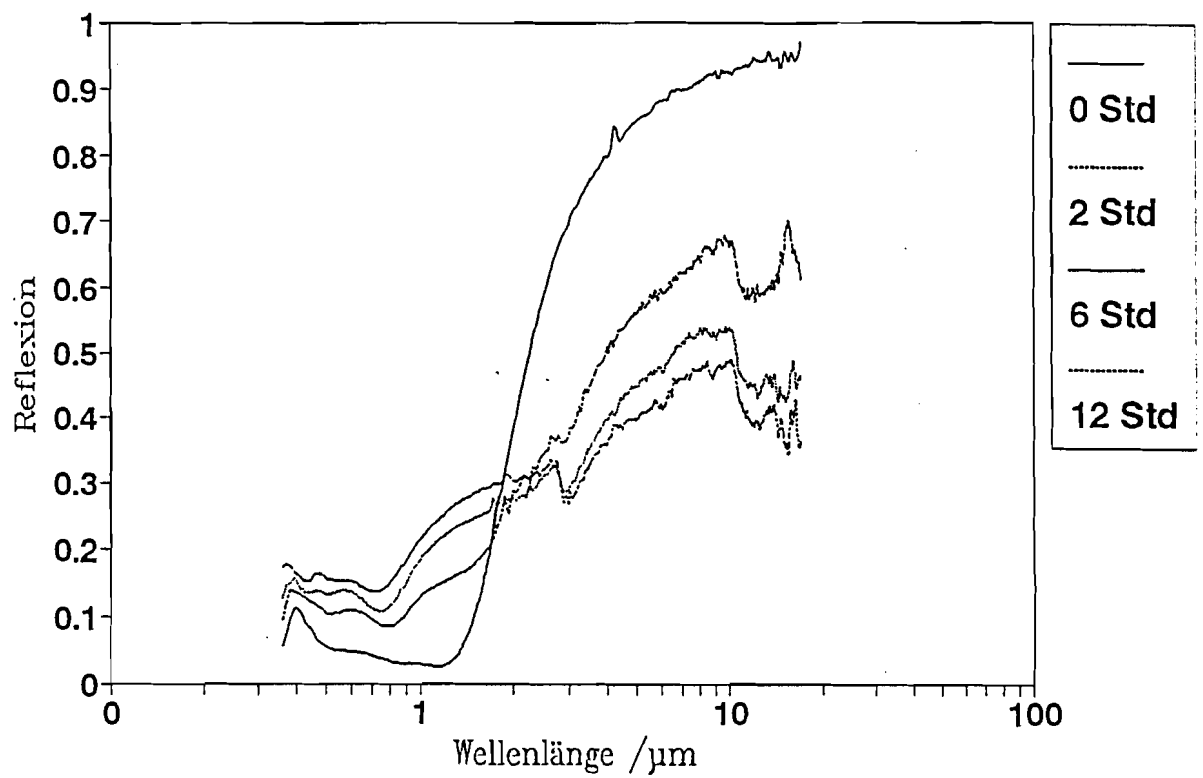
IP 5.94: Alu mit Absorber ohne Mo-sp
 Alterung: Kondensation bei 40°C



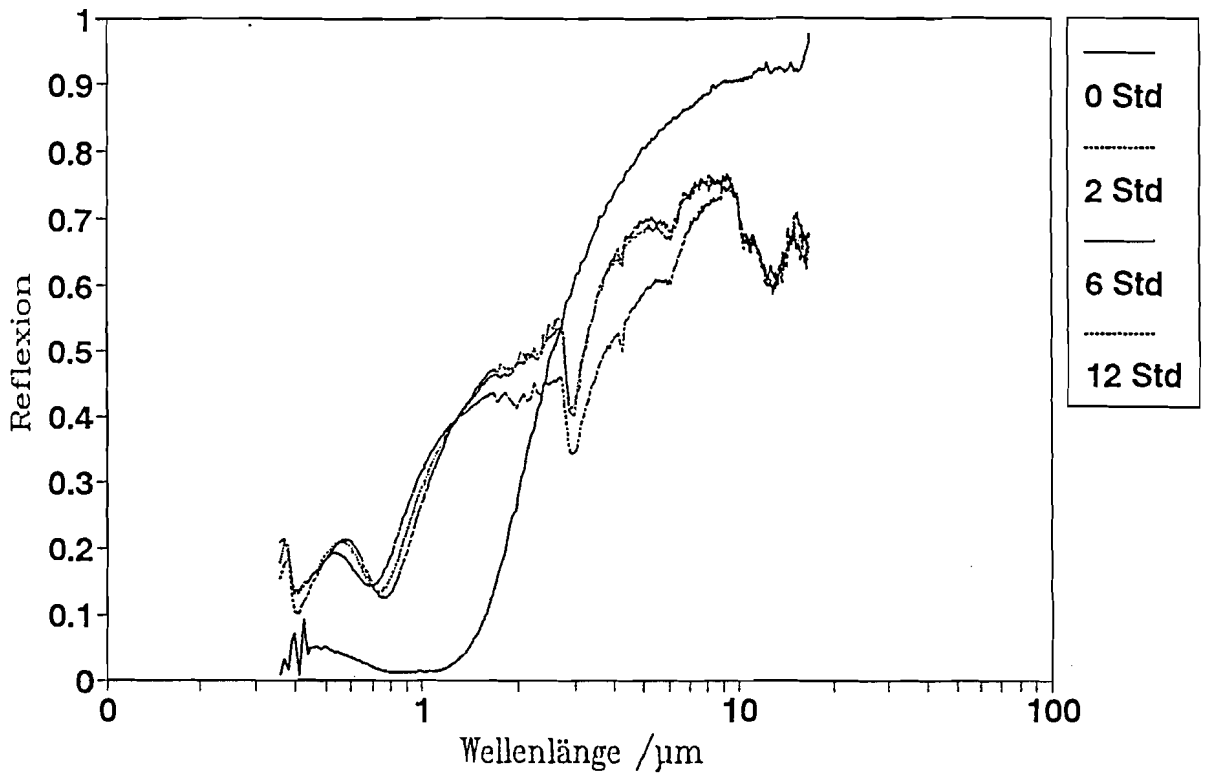
IP 5.94: Aluminium mit Absorber
 Alterung: Kondensation bei 40°C



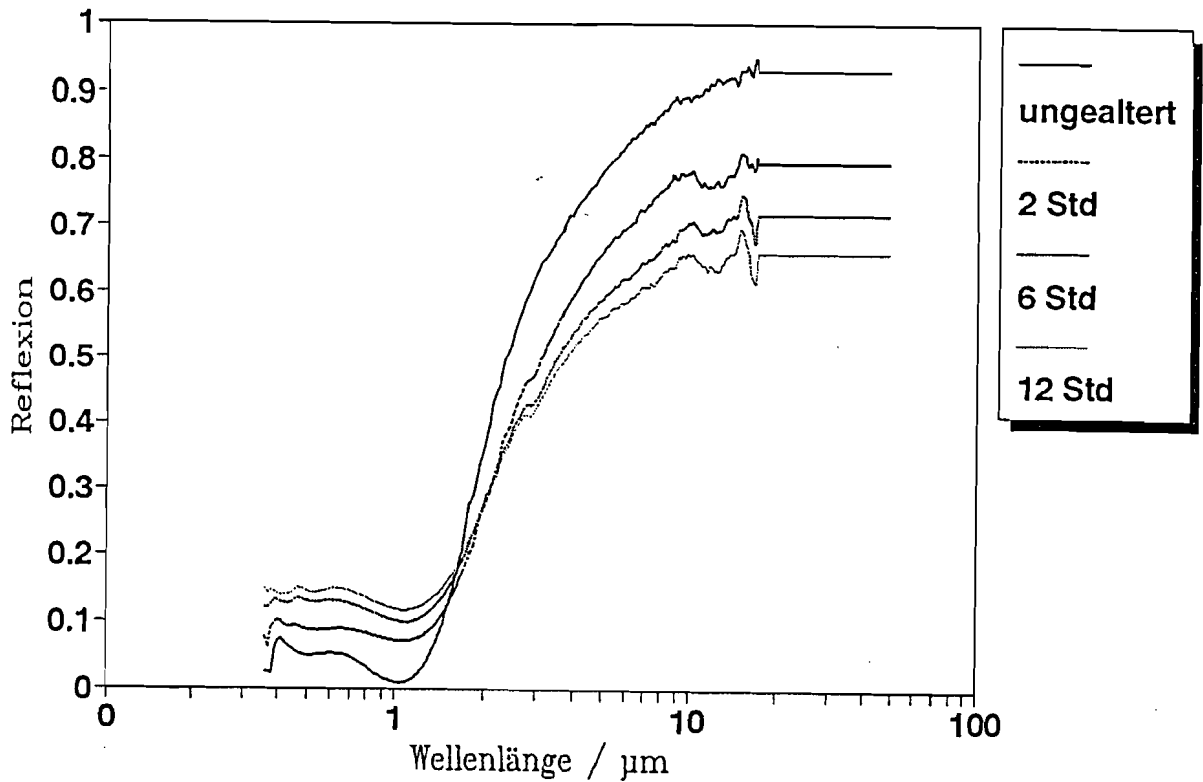
Cu + NiCr(Schutzschicht) + Absorber
Alterung: Kondensation bei 85°C (B3092)



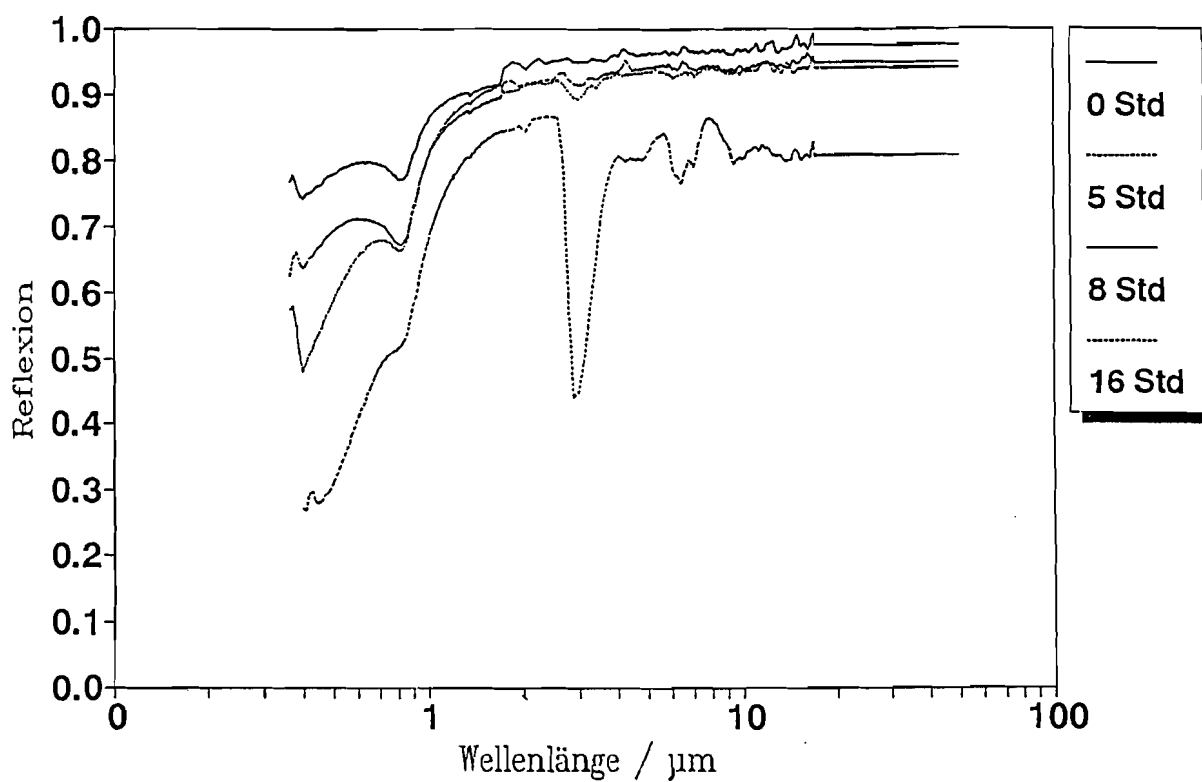
Cu + Sn(Schutzschicht) + Absorber
Alterung: Kondensation bei 85°C (B3074)



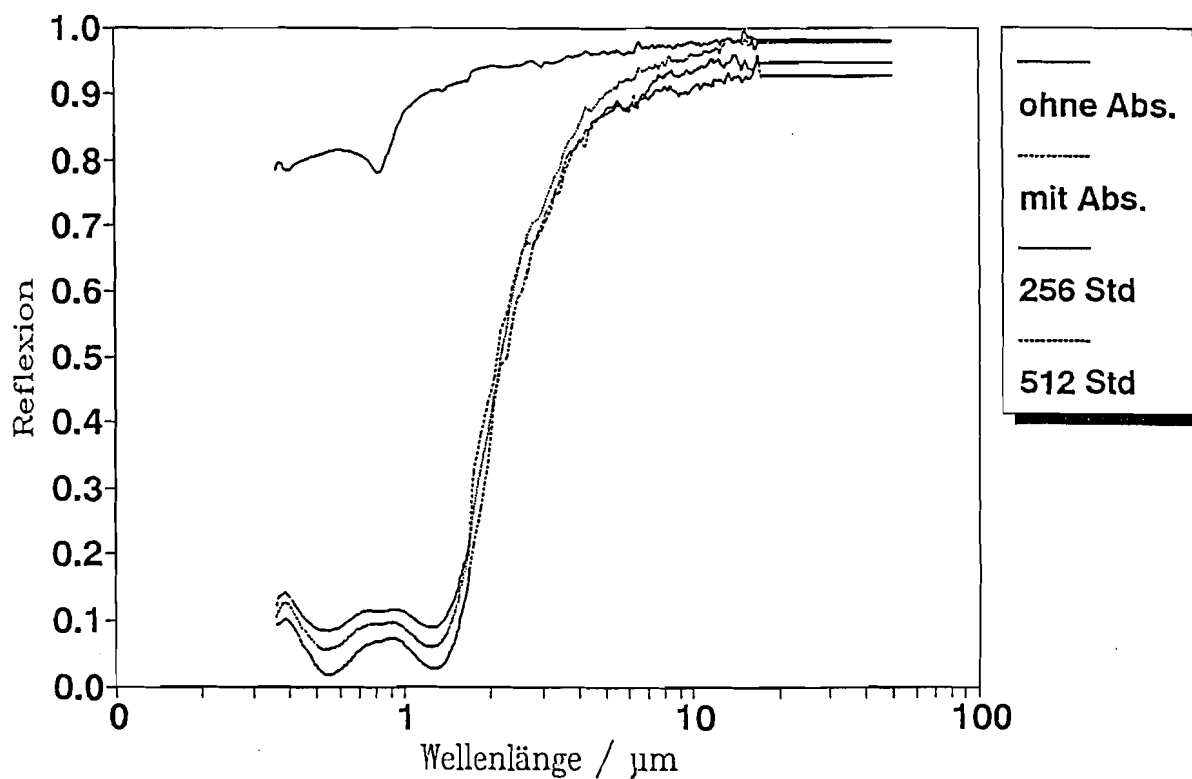
Solvis-Cu mit Sn und Absorber
Alterung: Kondensation bei 85°C (B3177)



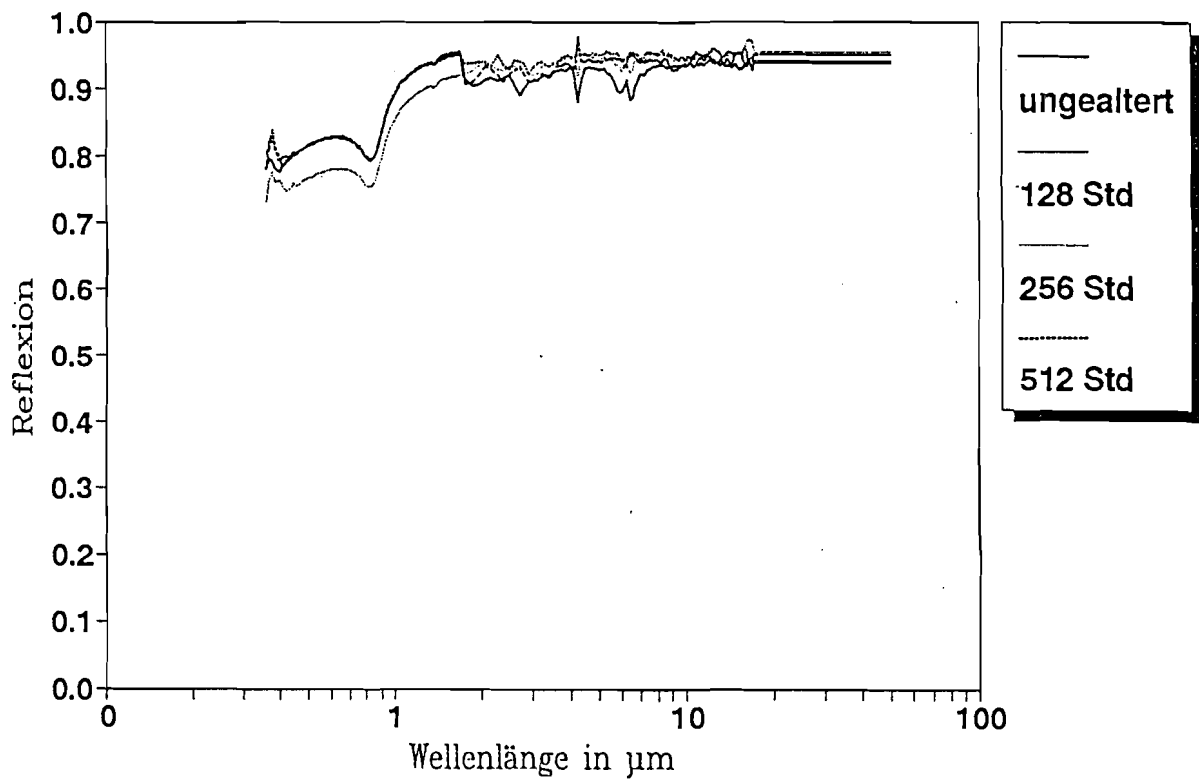
Alu + SiO₂ pyrolytisch
Alterung: Kondensation bei 40°C (fj015)



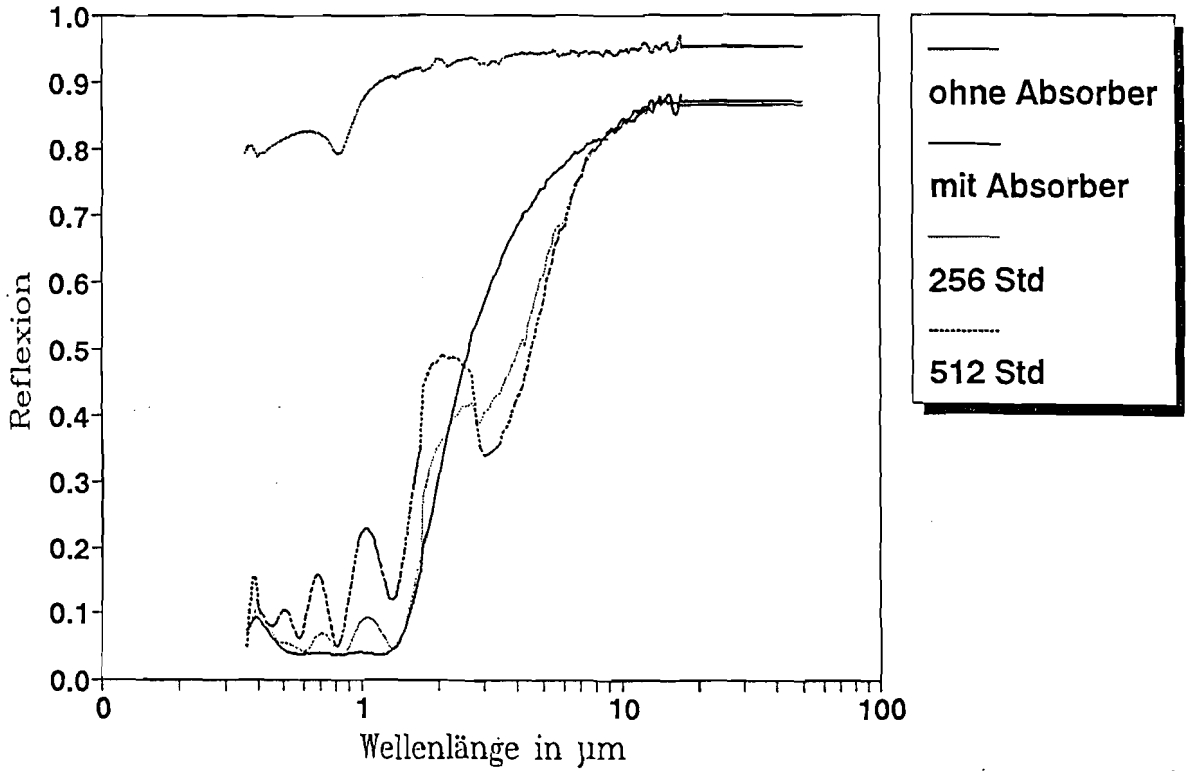
Alu + SiO₂ (pyrol.) + Abs. ohne Mo-sp.
Alterung: Kondensation bei 40°C (fj014)



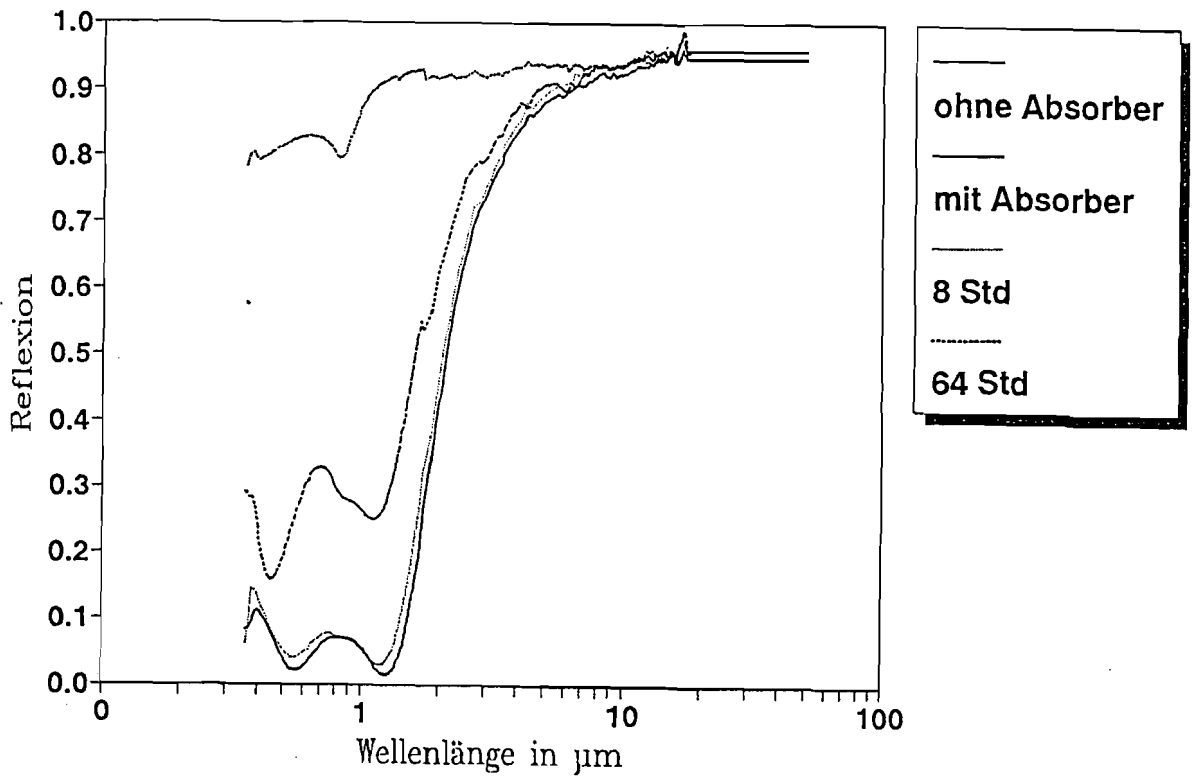
Aluminium mit SiO₂ (SOL/GEL)
Alterung: Kondensation bei 40°C



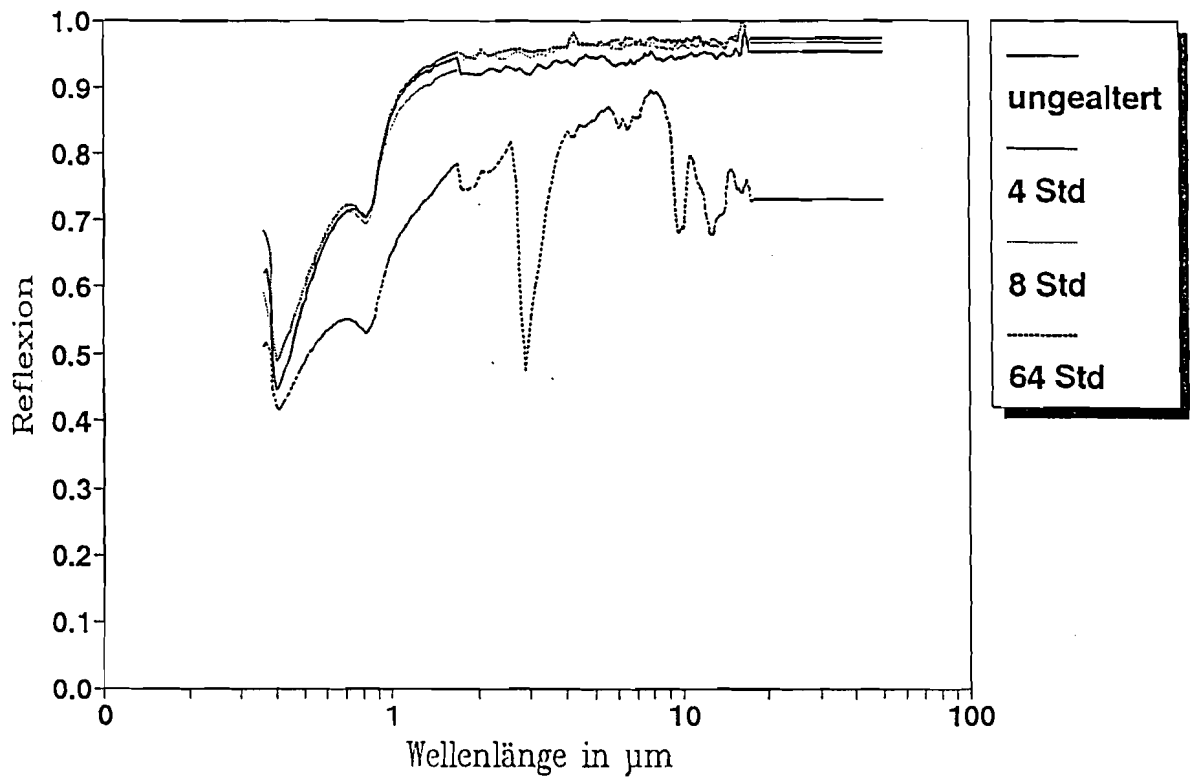
Aluminium + SiO₂ (SOL/GEL) und Absorber
 Alterung: Kondensation bei 40°C



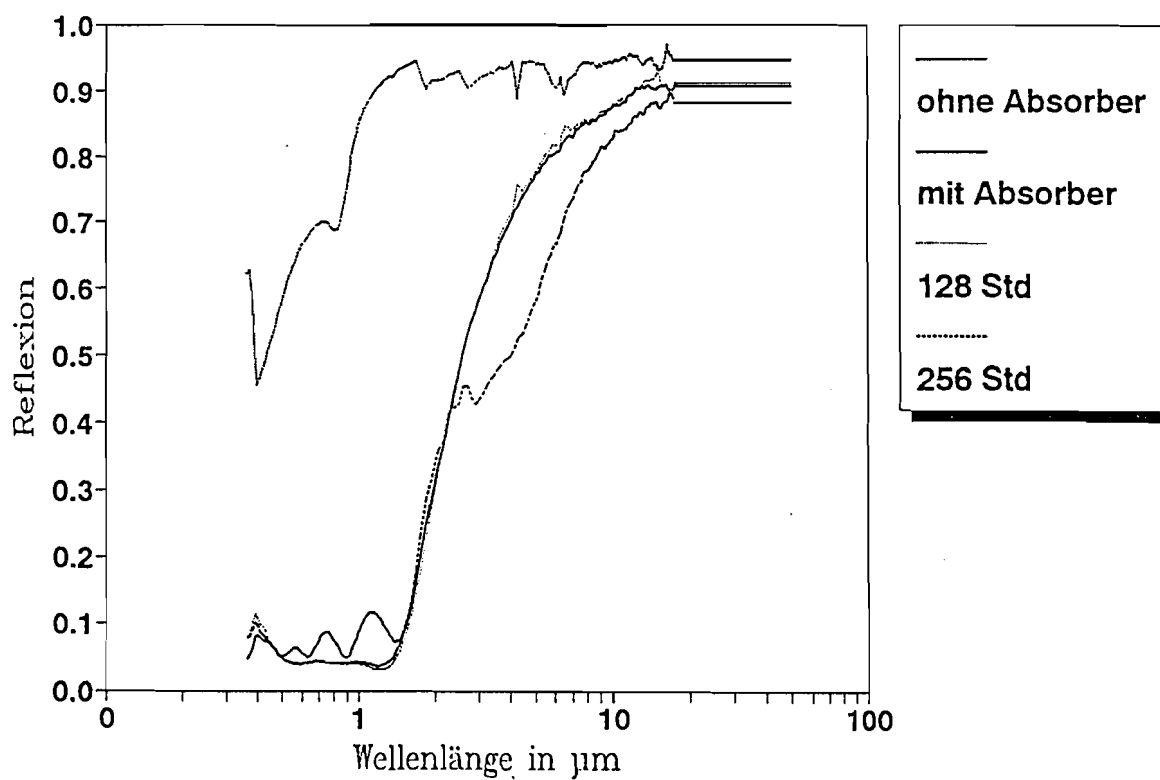
Alu + SiO₂(SOL/GEL) mit Abs. ohne Mo-sp
 Alterung: Kondensation bei 40°C



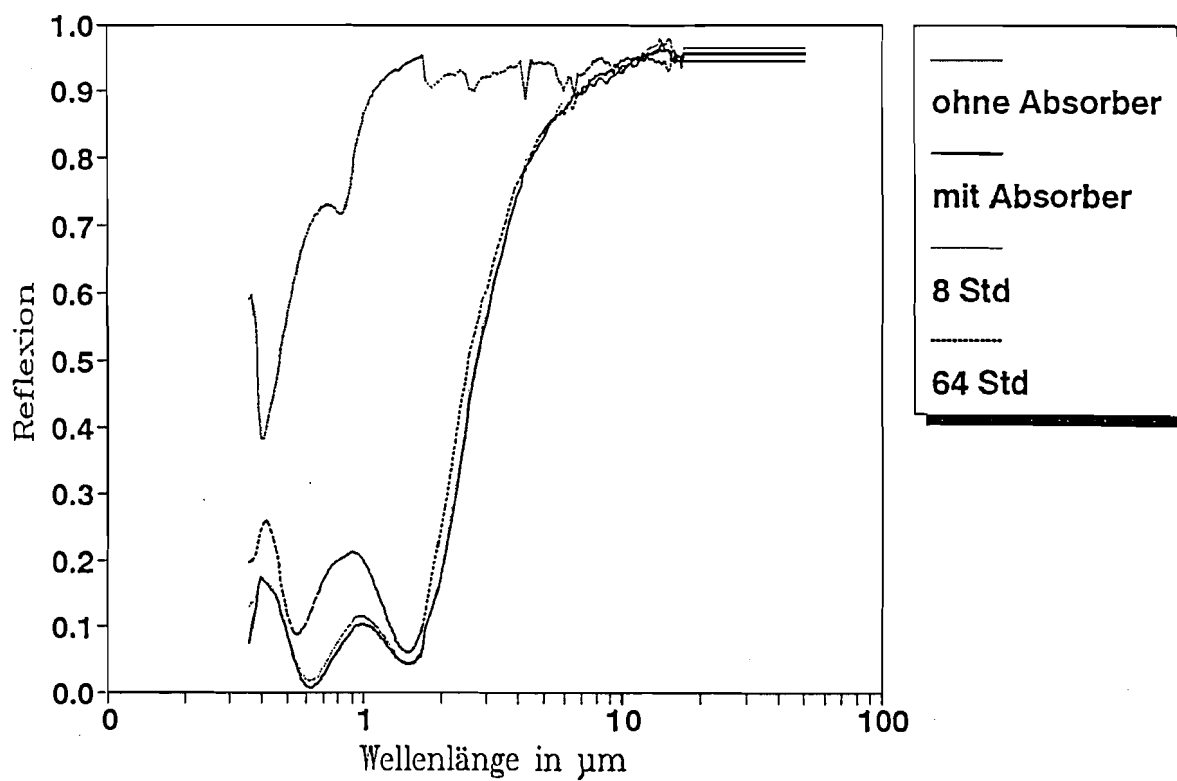
Aluminium mit TiO₂ (SOL/GEL)
Alterung: Kondensation bei 40°C



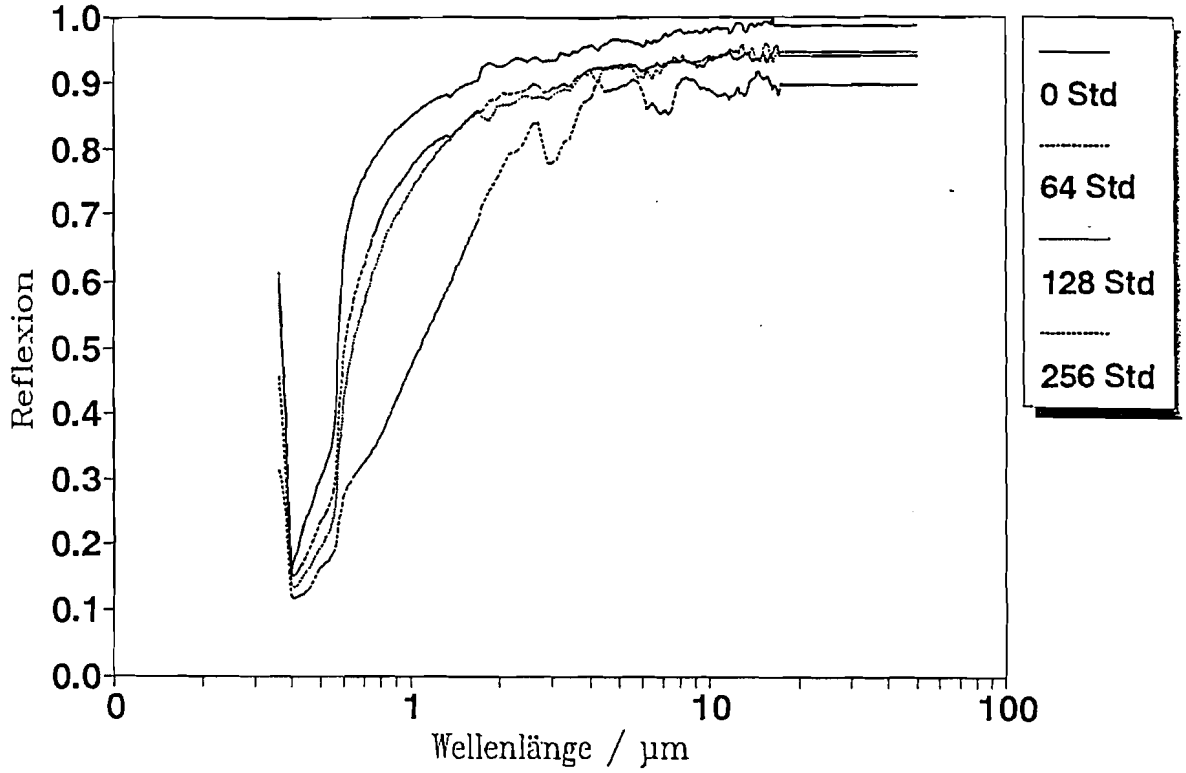
Alu mit TiO₂ (SOL/GEL) und Absorber
 Alterung: Kondensation bei 40°C



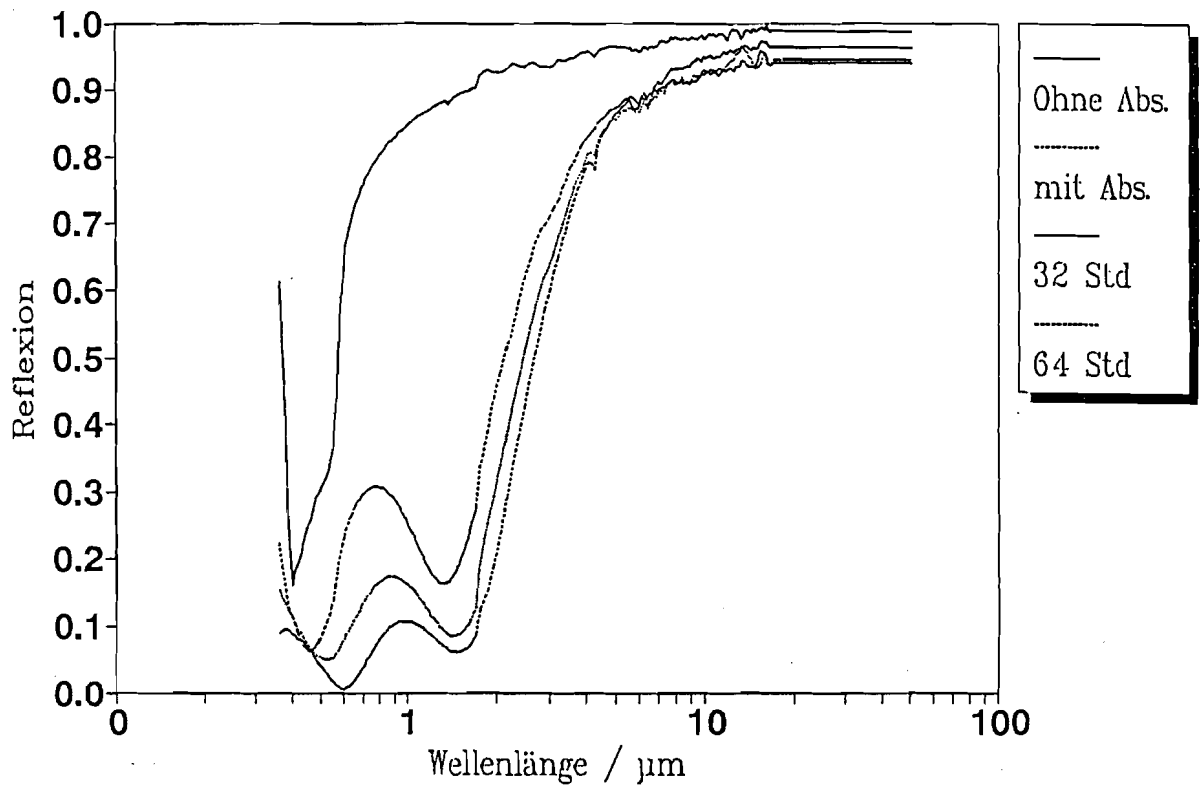
Alu + TiO₂(SOL/GEL) mit Abs. ohne Mo-sp
 Alterung: Kondensation bei 40°C



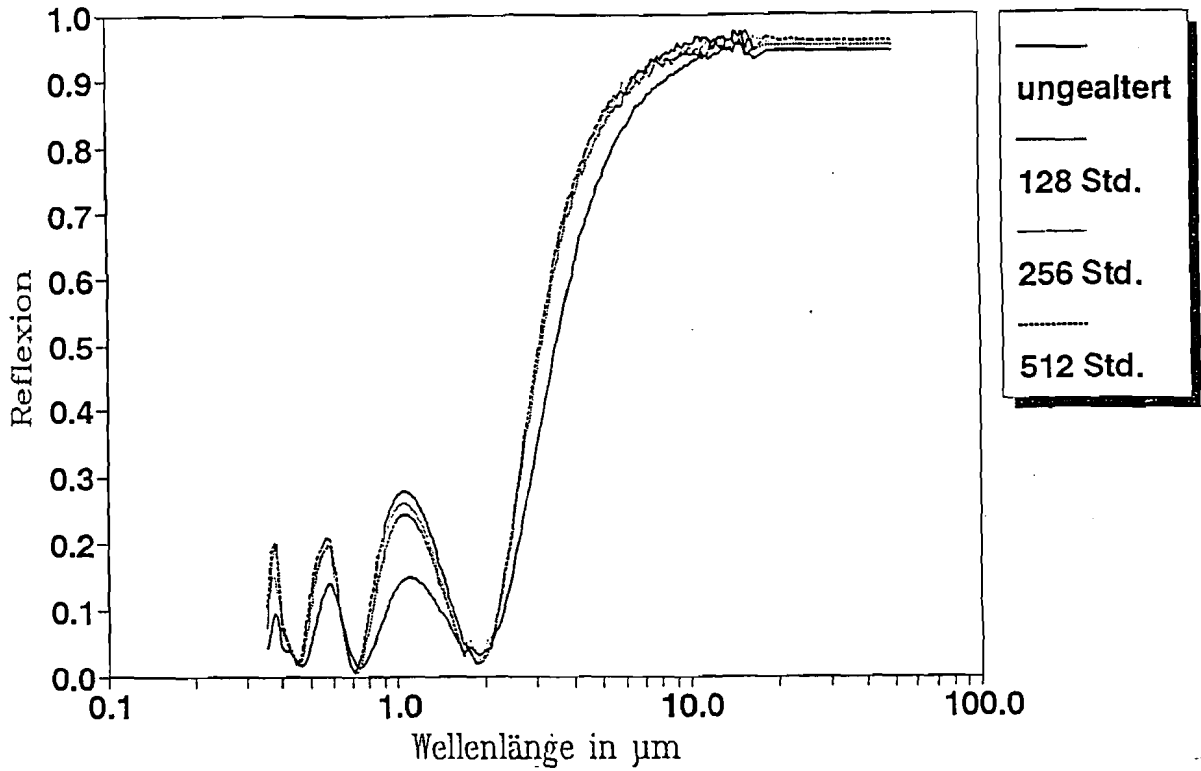
Cu + SiO₂ pyrolytisch
 Alterung: Kondensation bei 40°C (fj002)



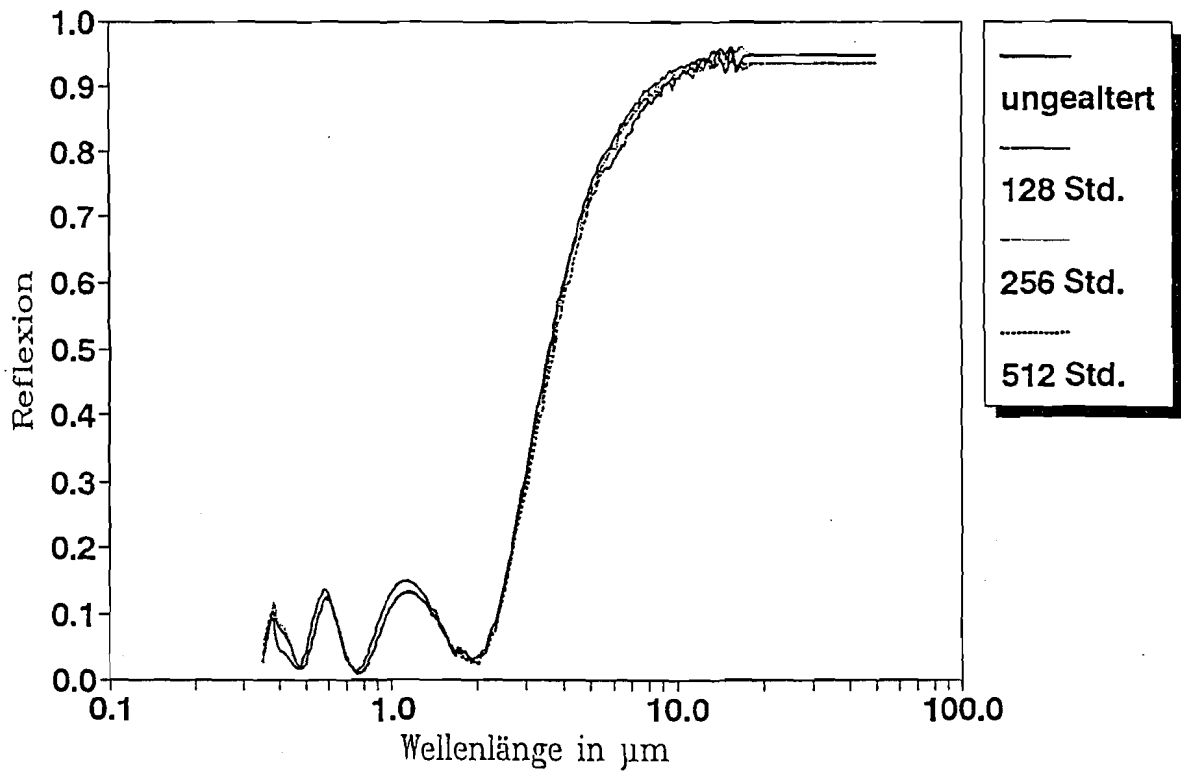
Cu + SiO₂ (pyrol.) + Abs.ohne Mo-sp
 Alterung: Kondensation bei 40°C (fj001)



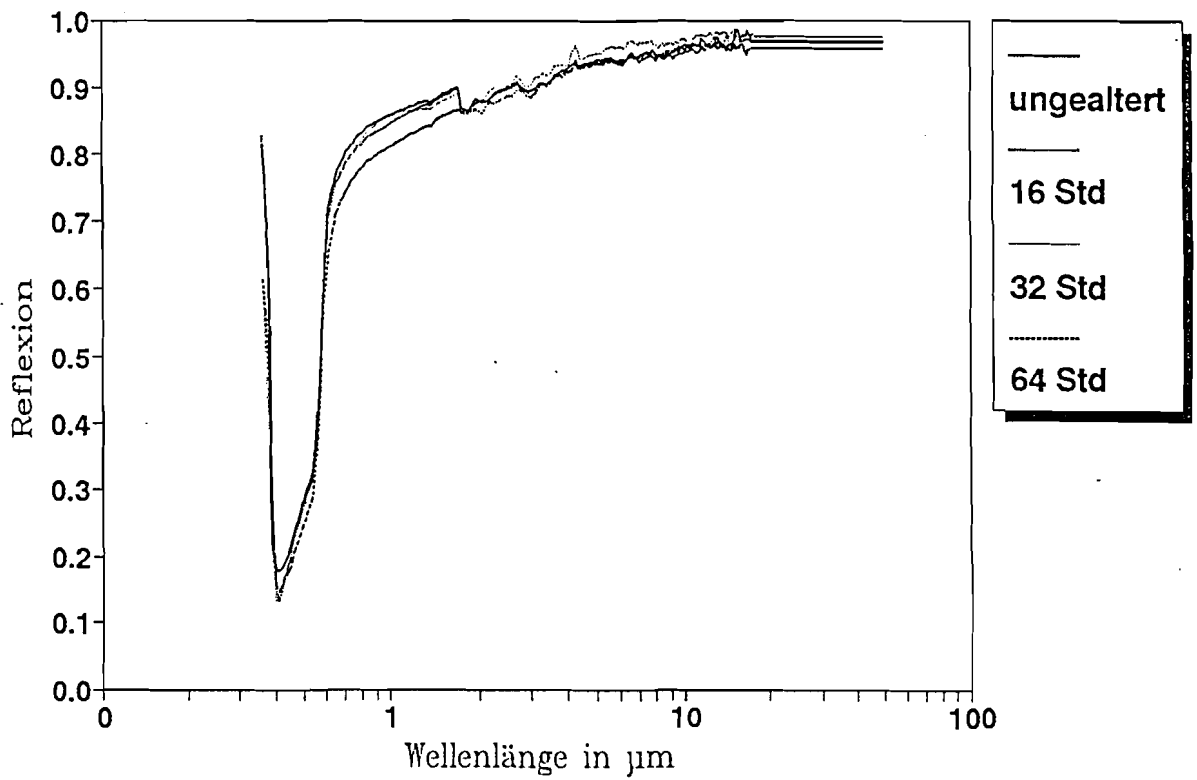
IP 5.94:Cu + SiO₂(pyro) + Abs.ohne Mosp
 Alterung: Temp. 250°C in Luft (ID002)



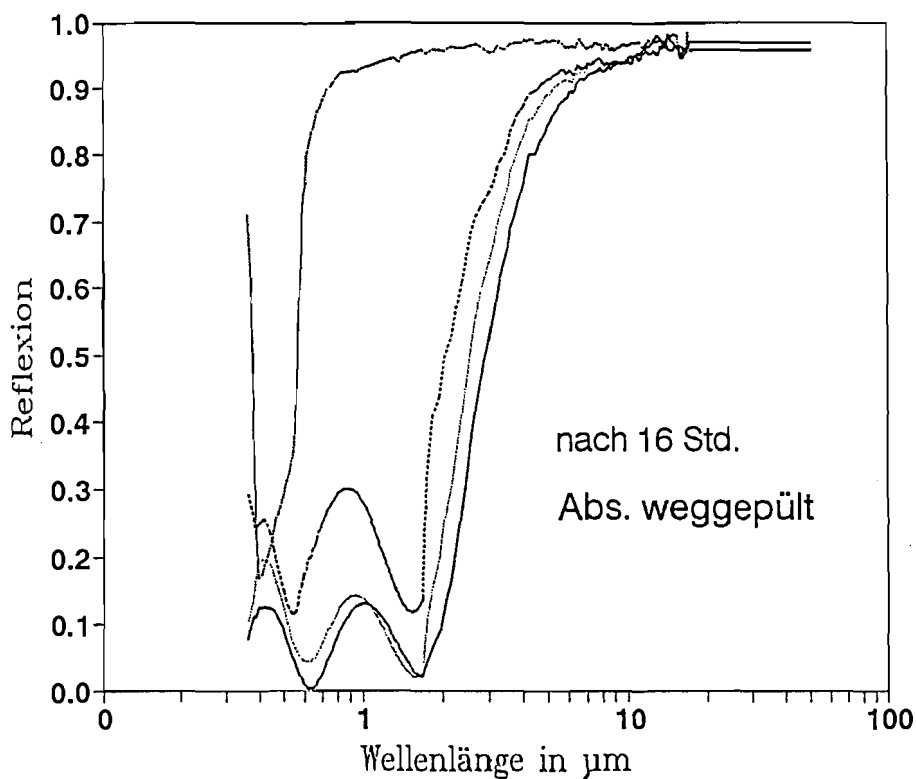
IP 5.94:Cu + SiO₂(pyro) + Abs.ohne Mosp
 Alterung: Kondensation bei 80°C (ID001)



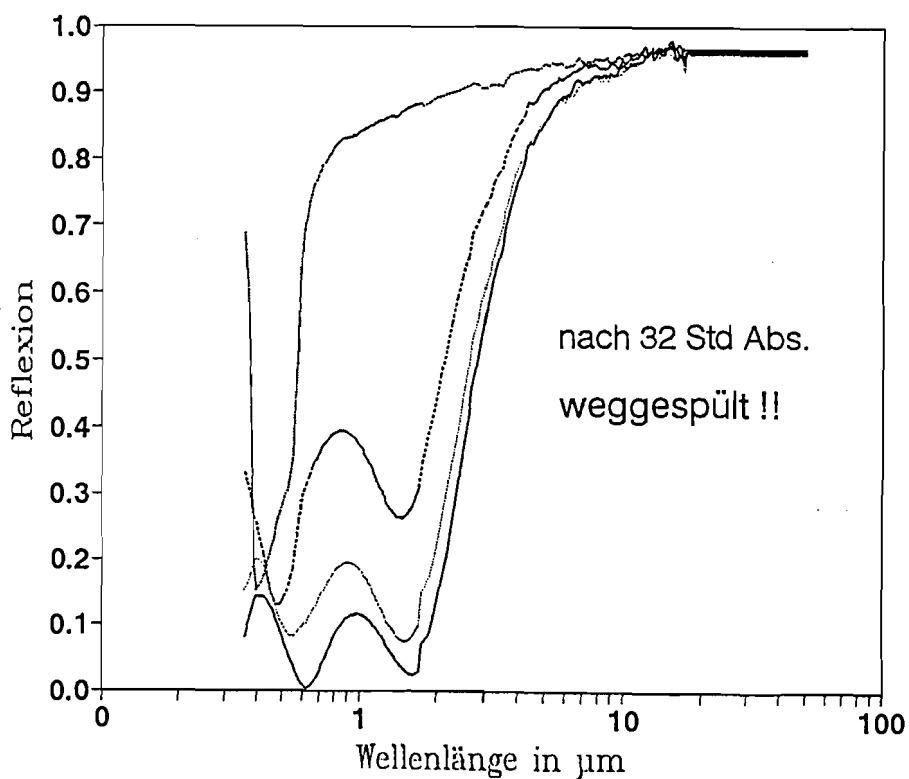
Kupfer mit SiO₂ (SOL/GEL)
Alterung: Kondensation bei 40°C



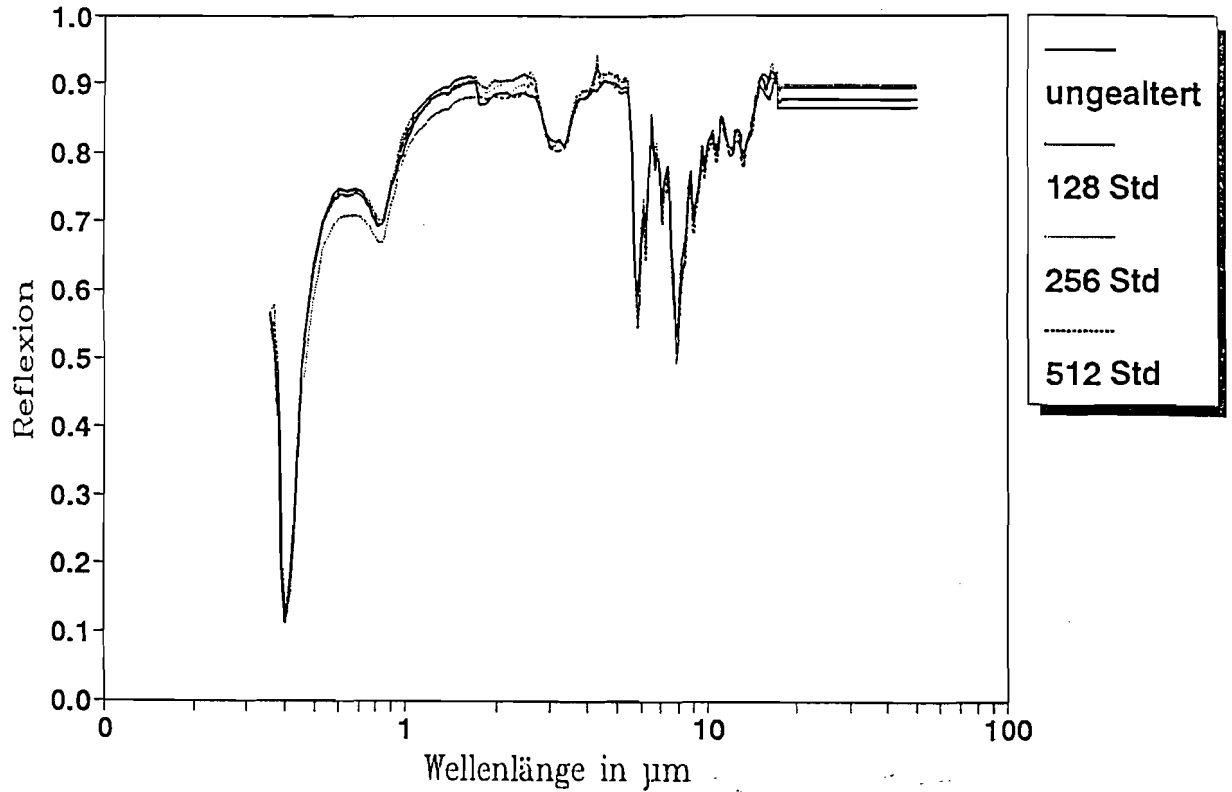
KUPFER poliert. + SiO₂(SOL/GEL) + Abs.-Mosp
 Alterung: Kondensation bei 40°C



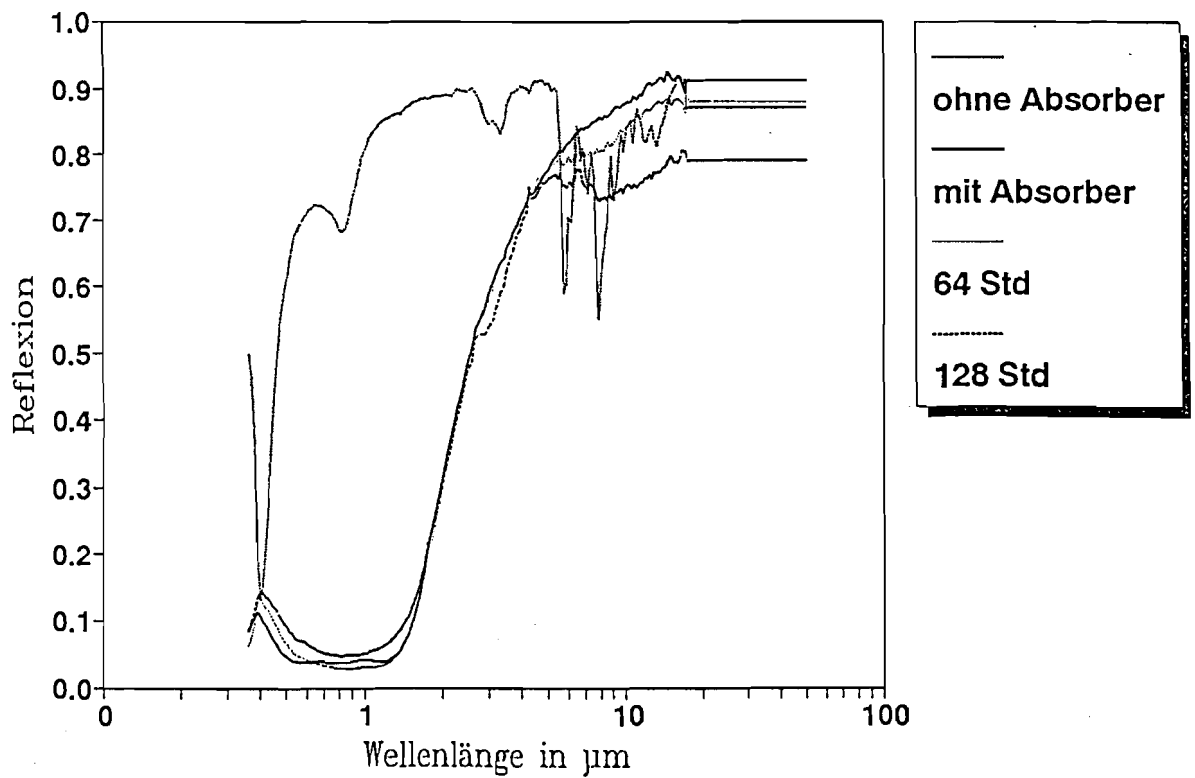
Kupfer + SiO₂(SOL/GEL) + Abs. ohne Mo-Sp
 Alterung: Kondensation bei 40°C



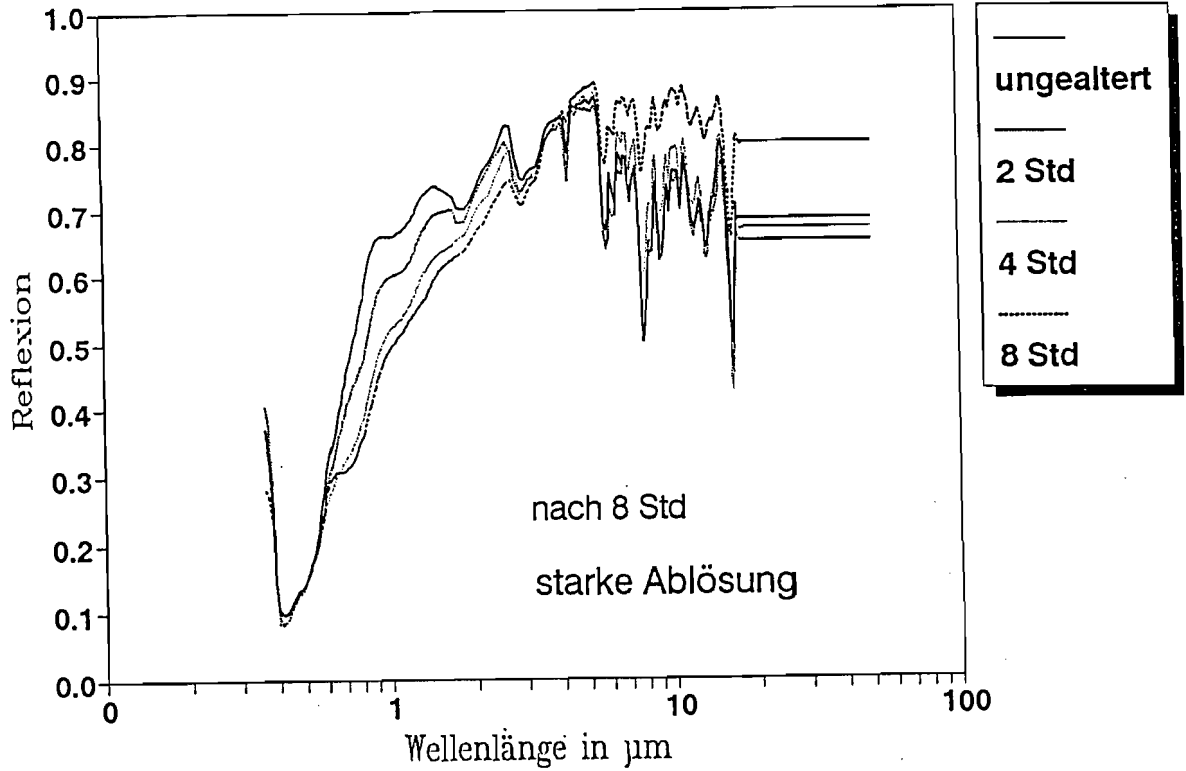
Aluminium mit Polymer
 Alterung: Kondensation bei 40°C



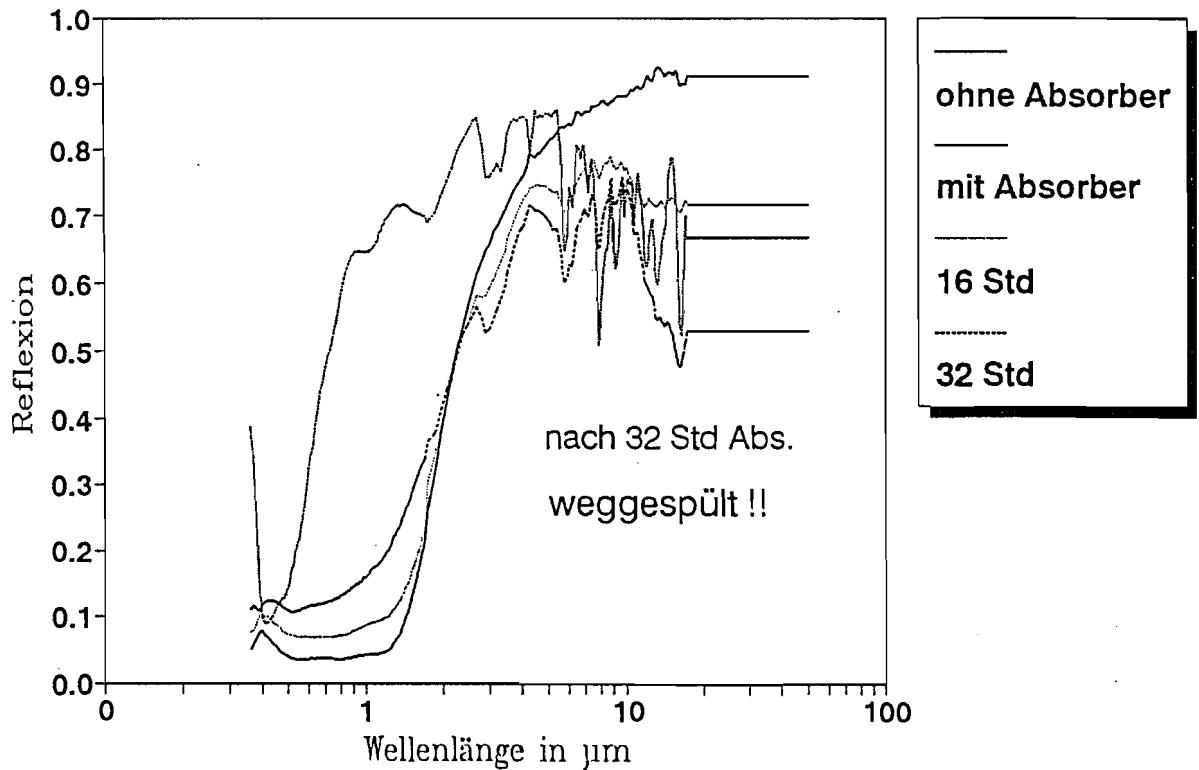
Aluminium mit Polymer und Absorber
 Alterung: Kondensation 40°C



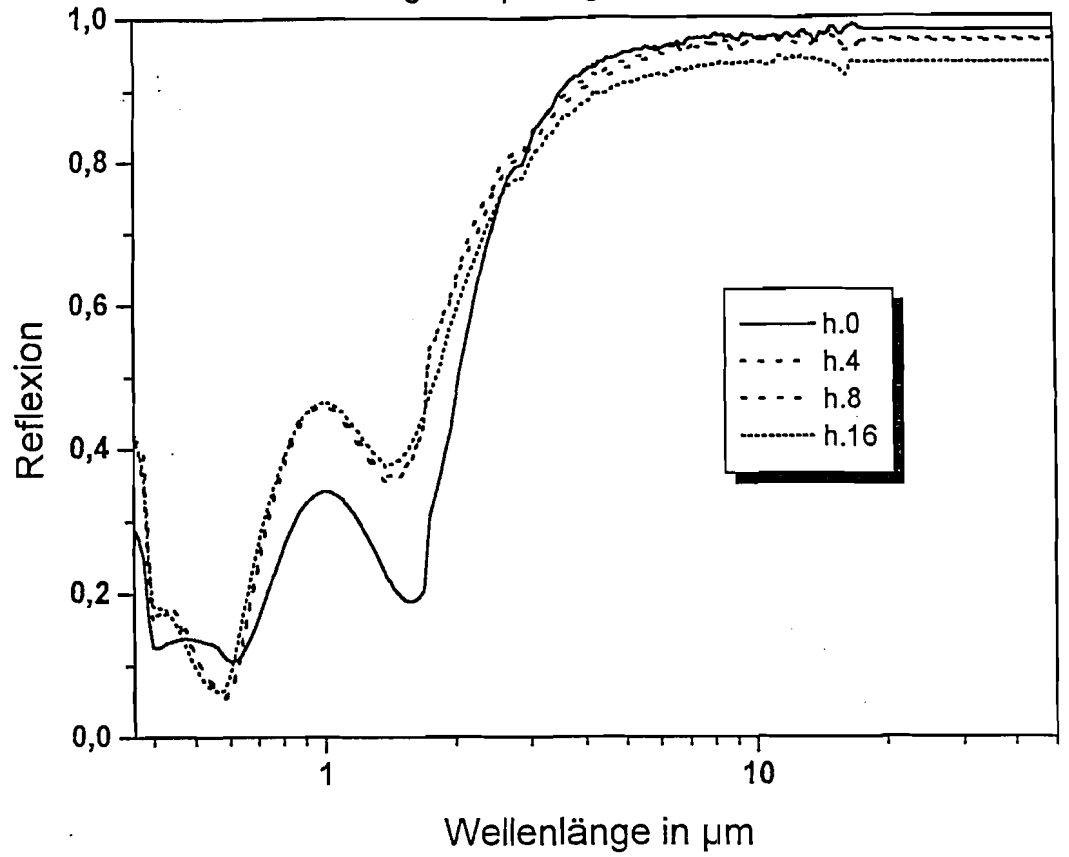
KUPFER mit POLYMER
Alterung: Kondensation bei 40°C



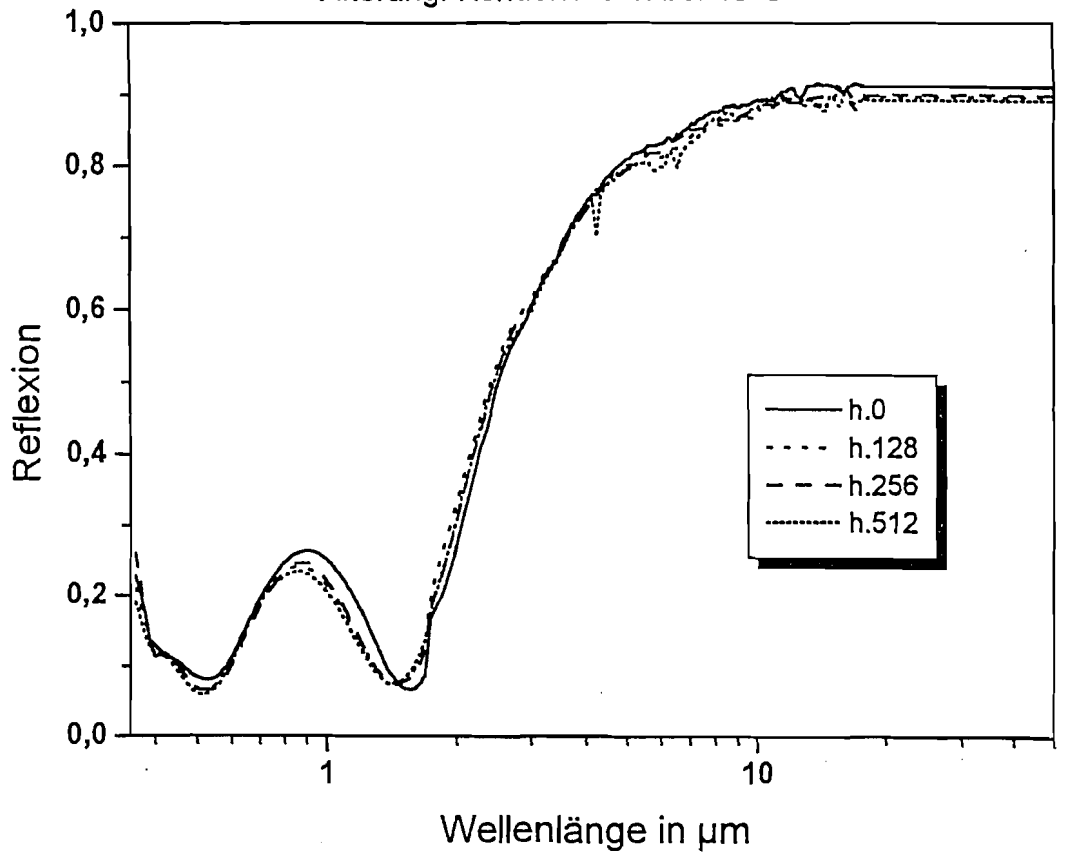
KUPFER mit POLYMER und Absorber
Alterung: Kondensation bei 40°C



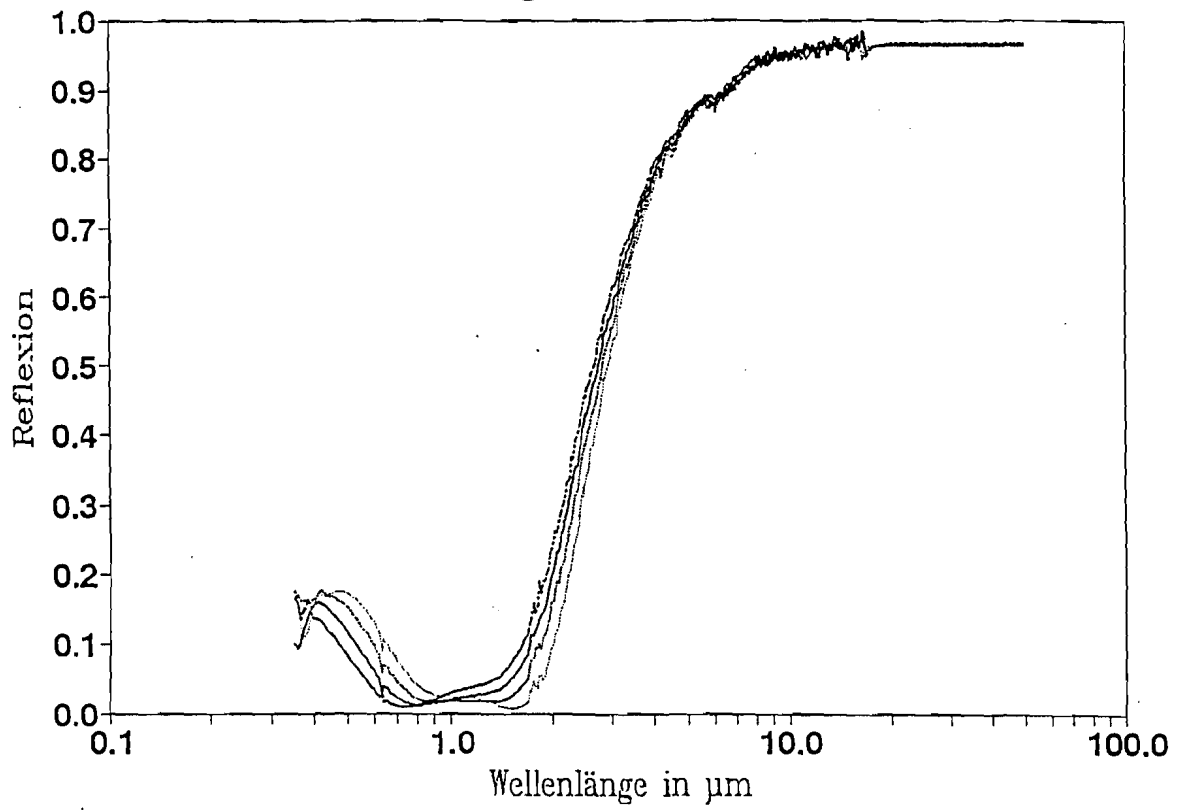
Cu(Disch) mit NiV/NiCrO+NiCrO
Alterung: Temperung bei 250°C in Luft



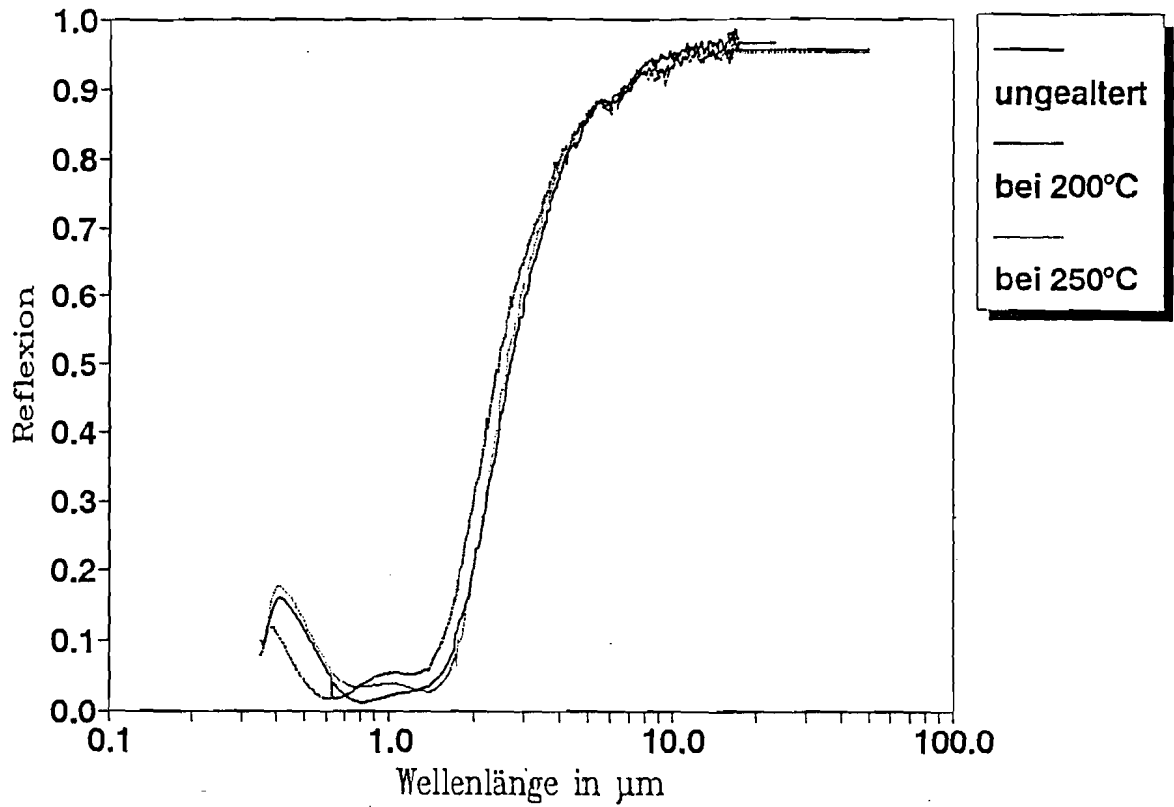
Cu(Disch) mit NiV+NiV/NiCrO+NiCrO
Alterung: Kondensation bei 40°C



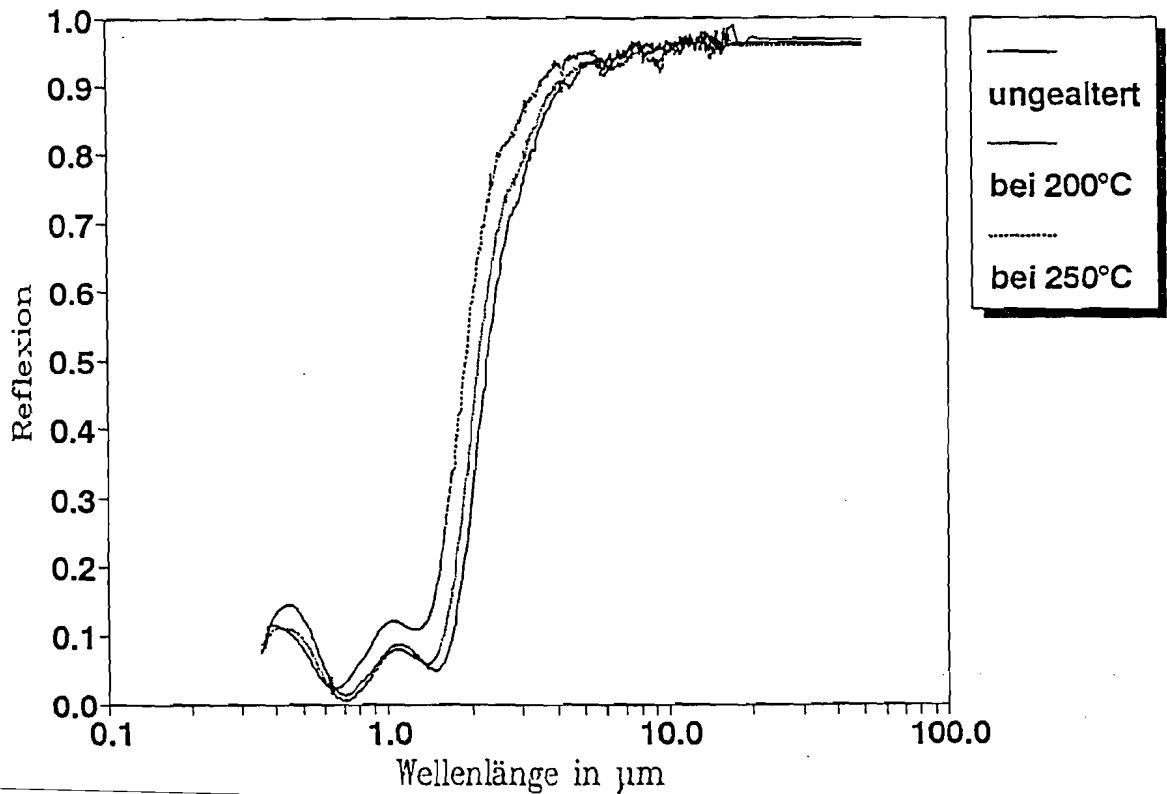
Interpane Pilot 1.95/SiCCr1 Cu-SW1
ungealtert



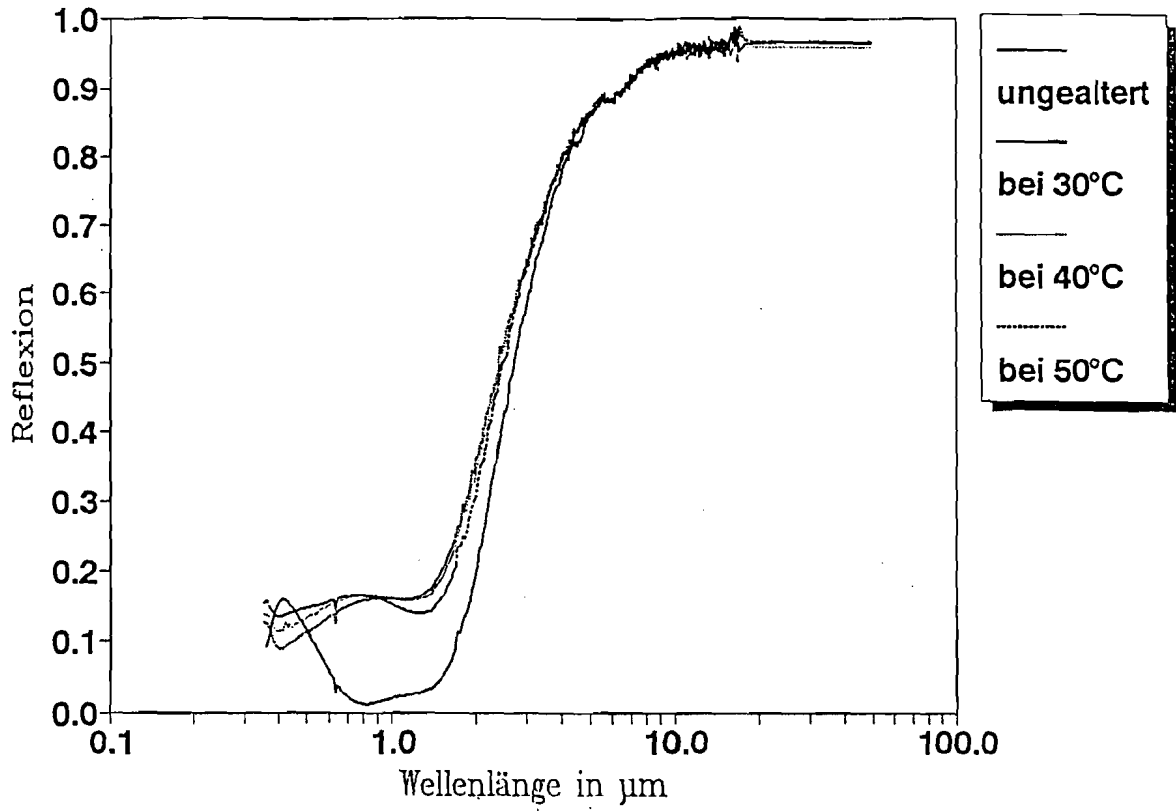
Interpane Pilot 1.95/SiCCr1 Cu-SW1
nach 512Std. Temperung in Luft



Interpane Pilot 1.95/SiCCr1 Alusingen 1
nach 512Std. Temperung in Luft



Interpane Pilot 1.95/SiCCr1 Cu-SW1
nach 256Std. Kondensation



Interpane Pilot 1.95/SiCCr1 Cu-SW1
nach 512Std. Kondensation

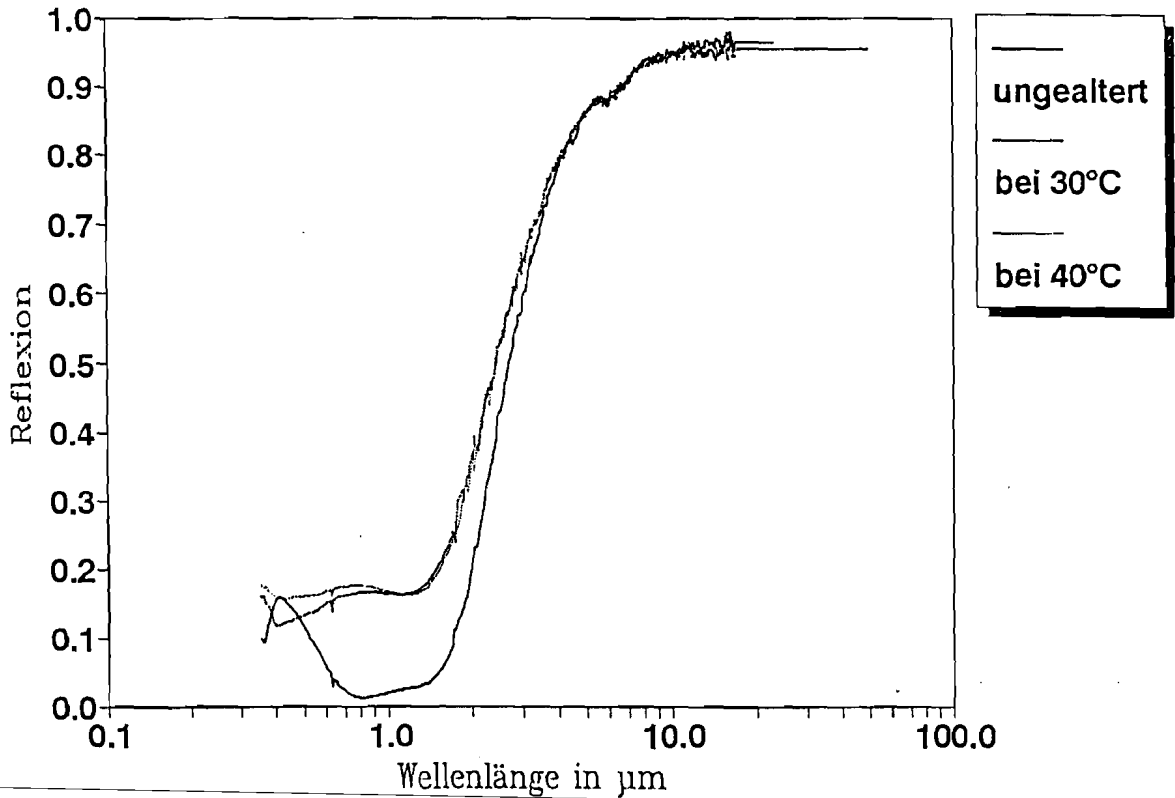
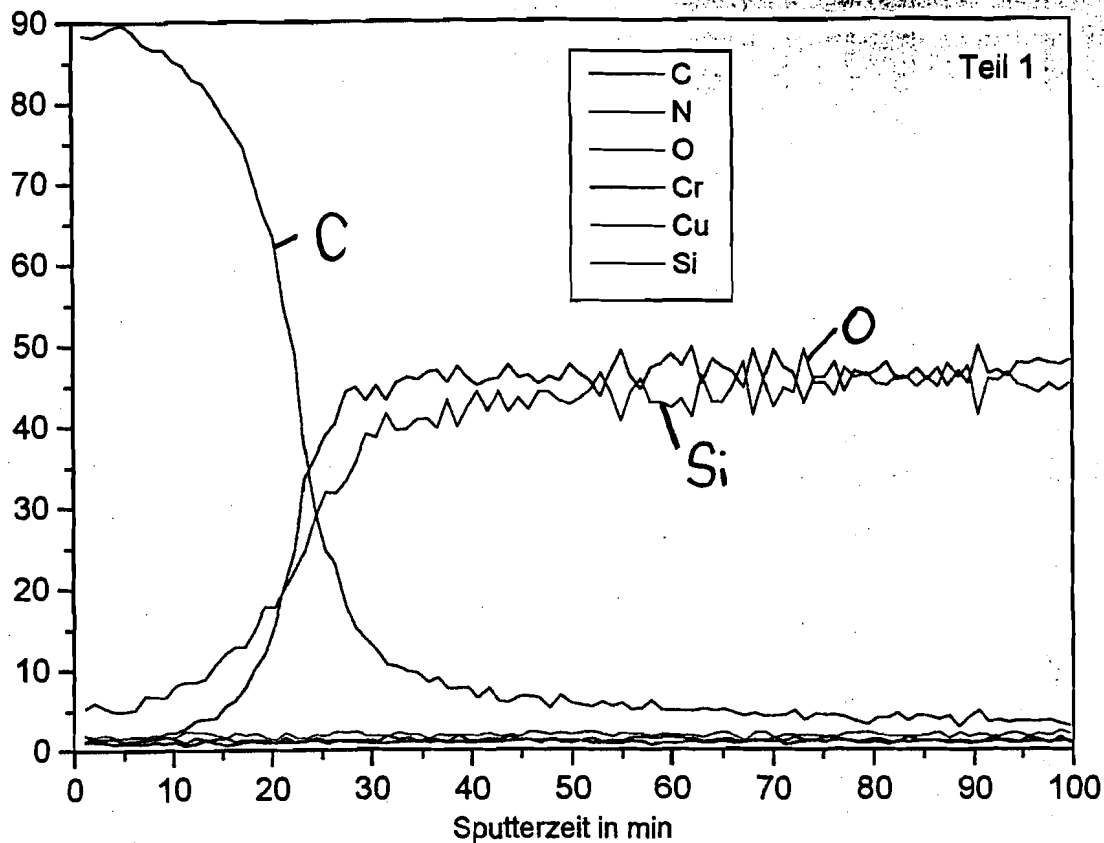
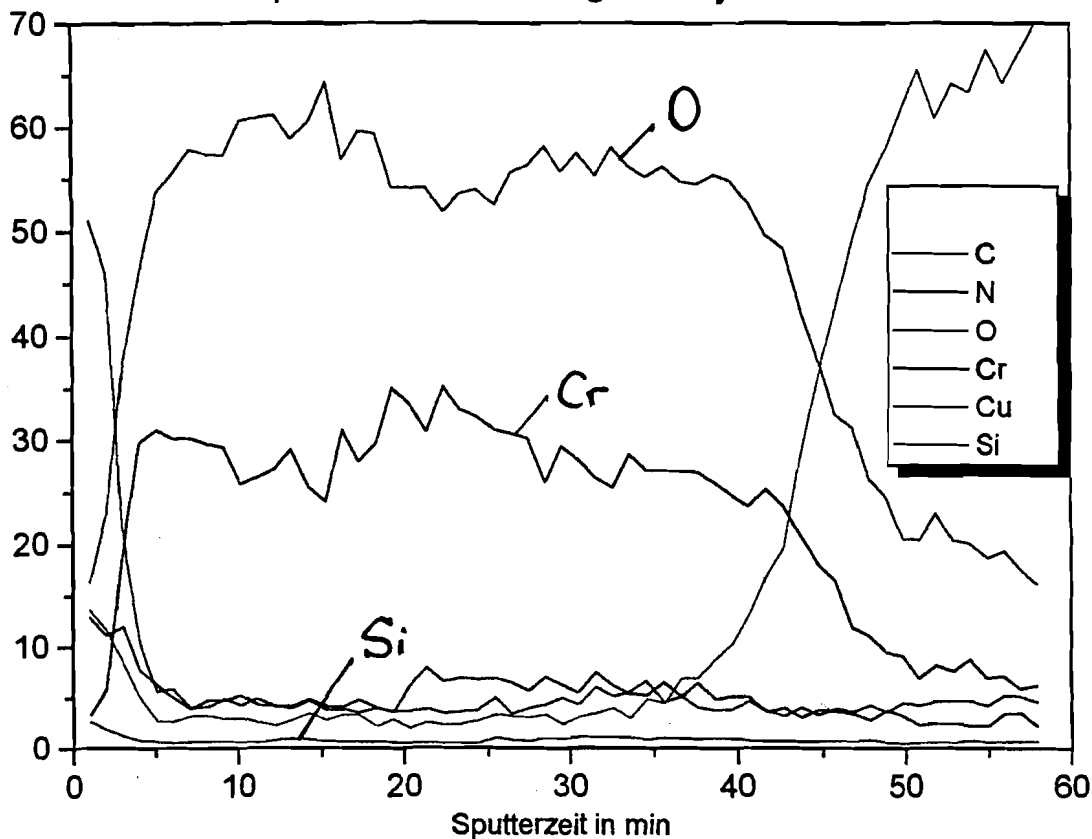


Bild 20b)

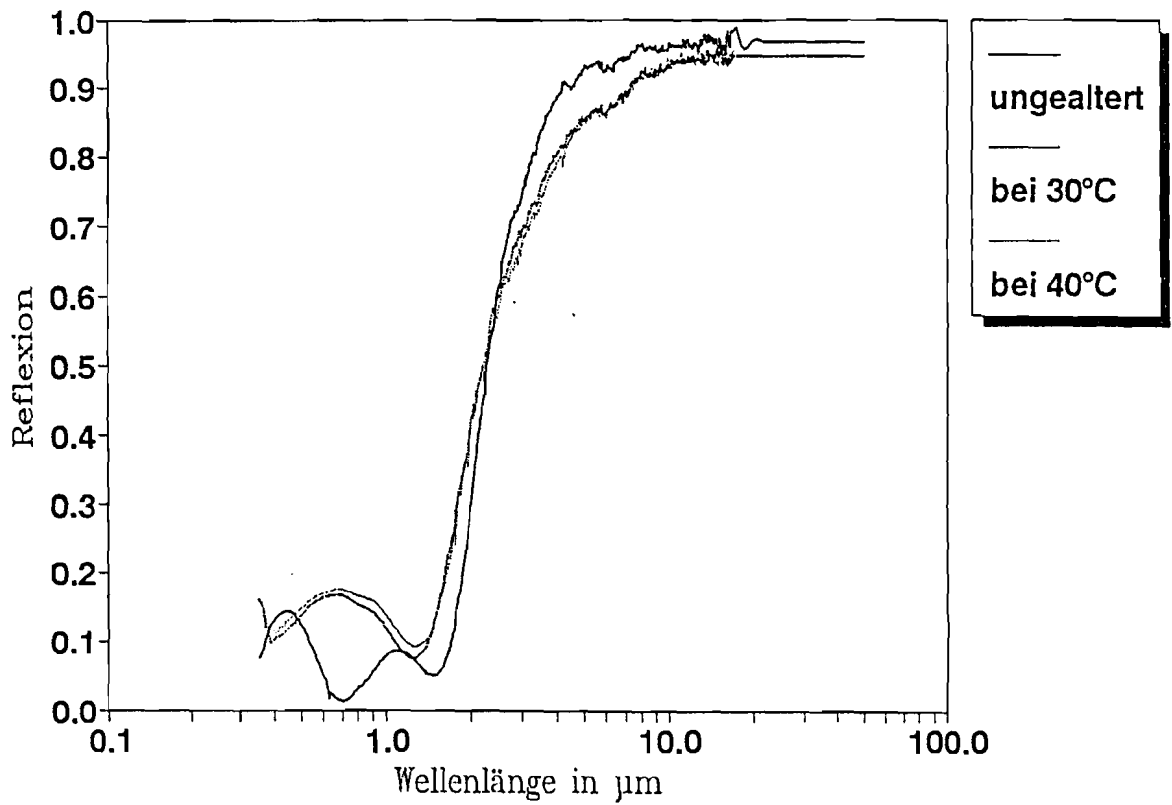
Interpane Pilot 1.95 Augeranalyse Temp.250°C/400h



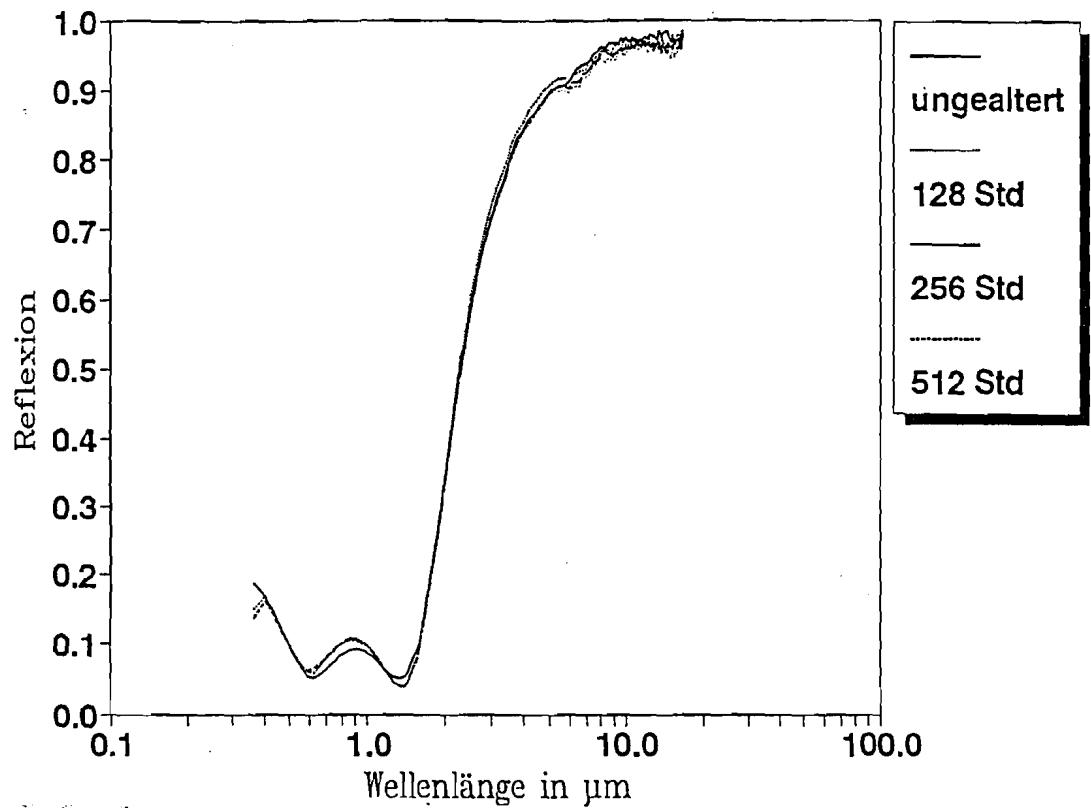
Interpane Pilot 1.95 Augeranalyse Kond.50°C



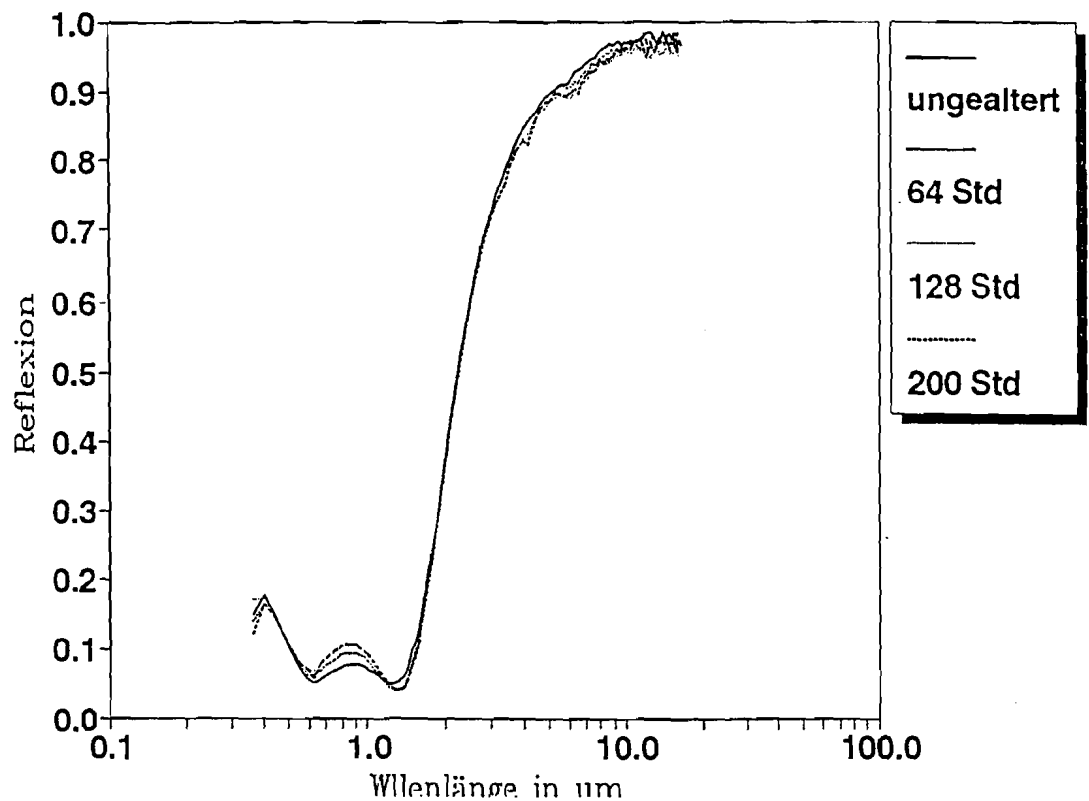
**Interpane Pilot 1.95/SiCCr1 Alusingen 1
nach 512Std. Kondensation**



Kupfer mit CrON-Absorber
Alterung: Temperung bei 200°C in Luft

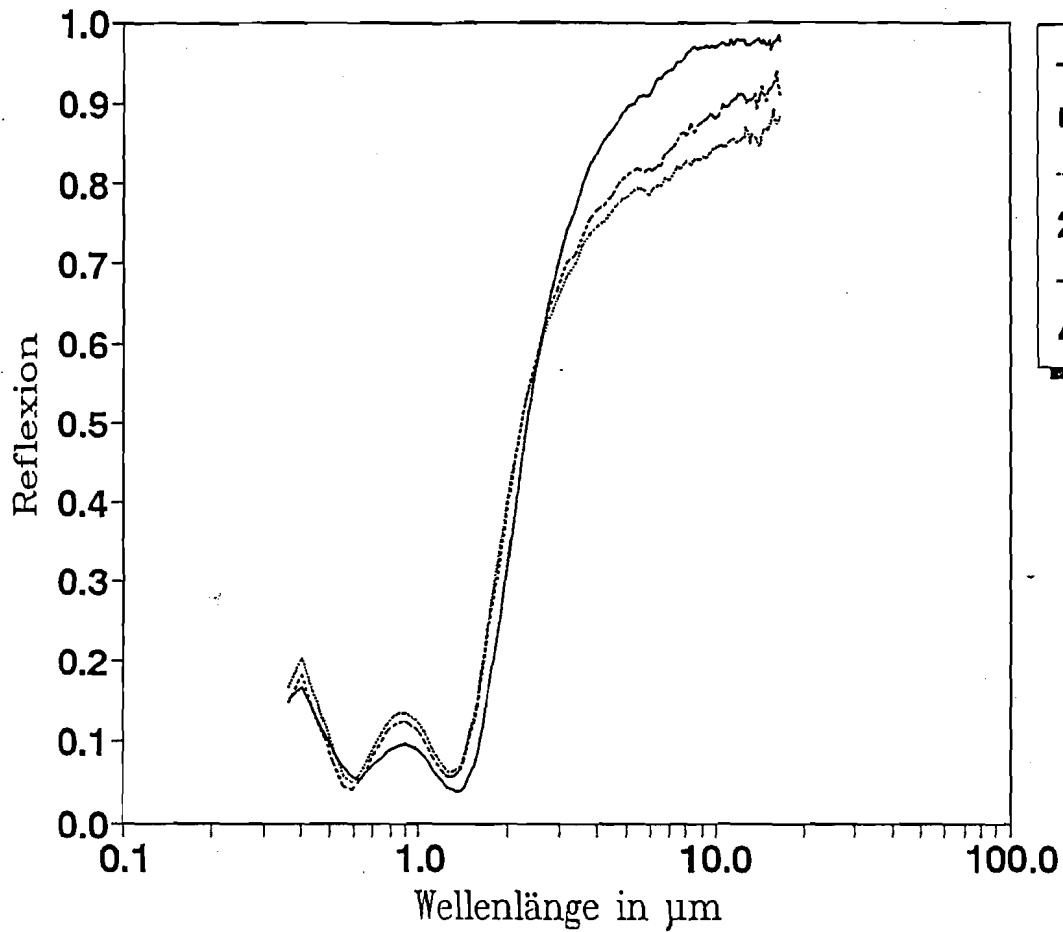


Kupfer mit CrON-Absorber
Alterung: Temperung bei 250°C in Luft

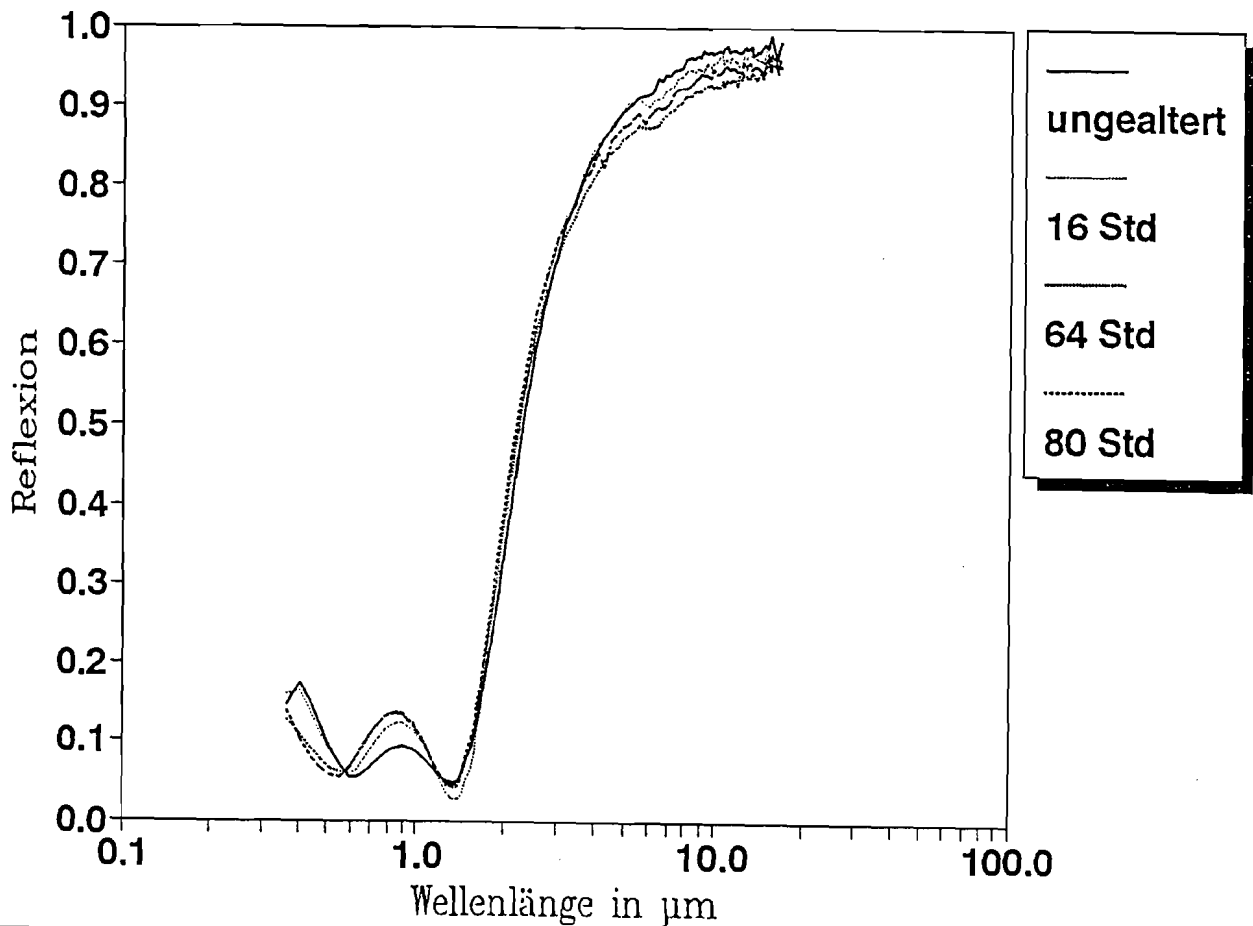


Kupfer mit CrON-Absorber
Alterung: Temperung bei 400°C in Luft

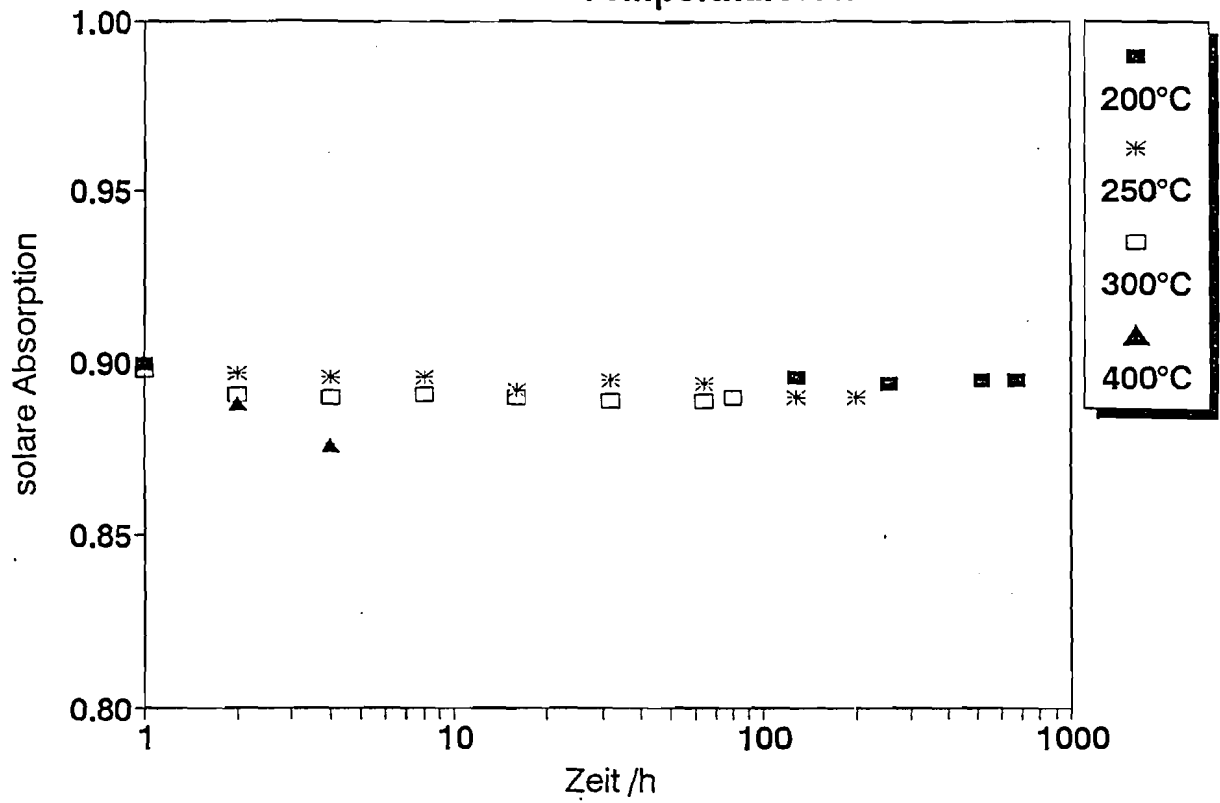
Bild 21



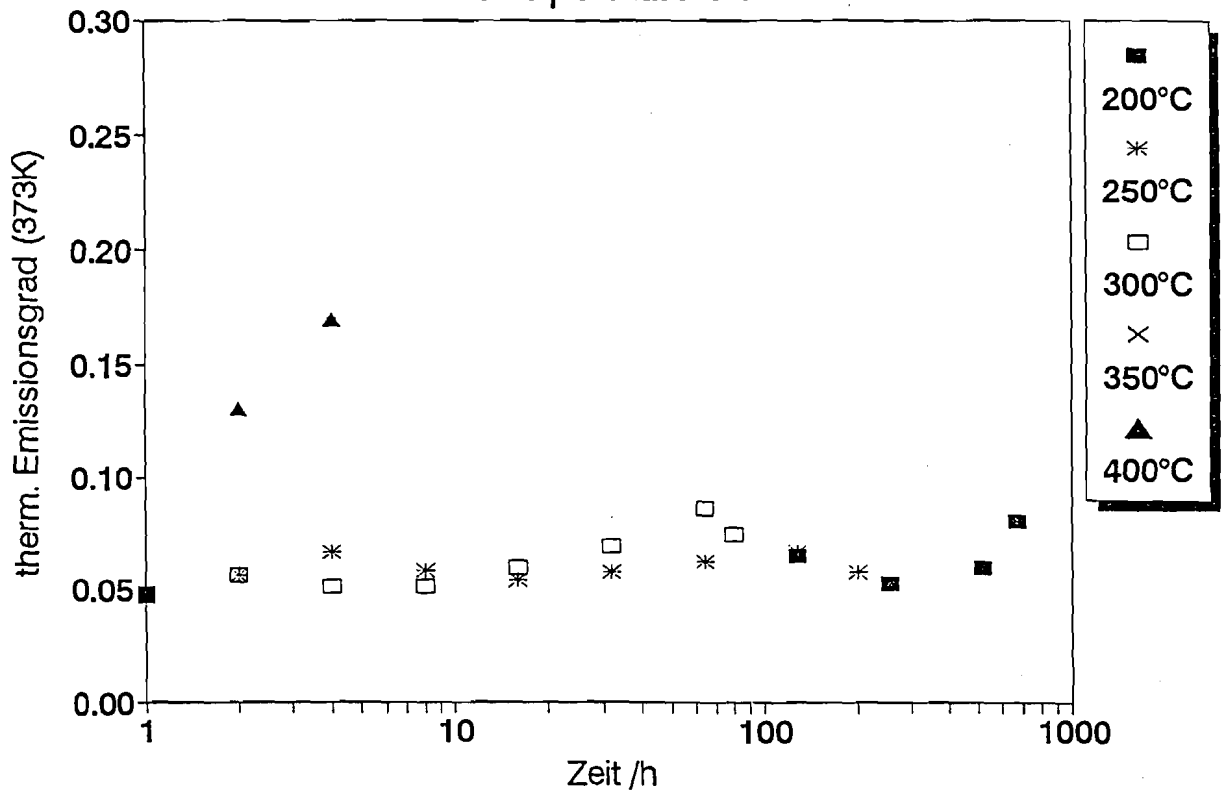
Alterung: Temperung bei 300°C in Luft



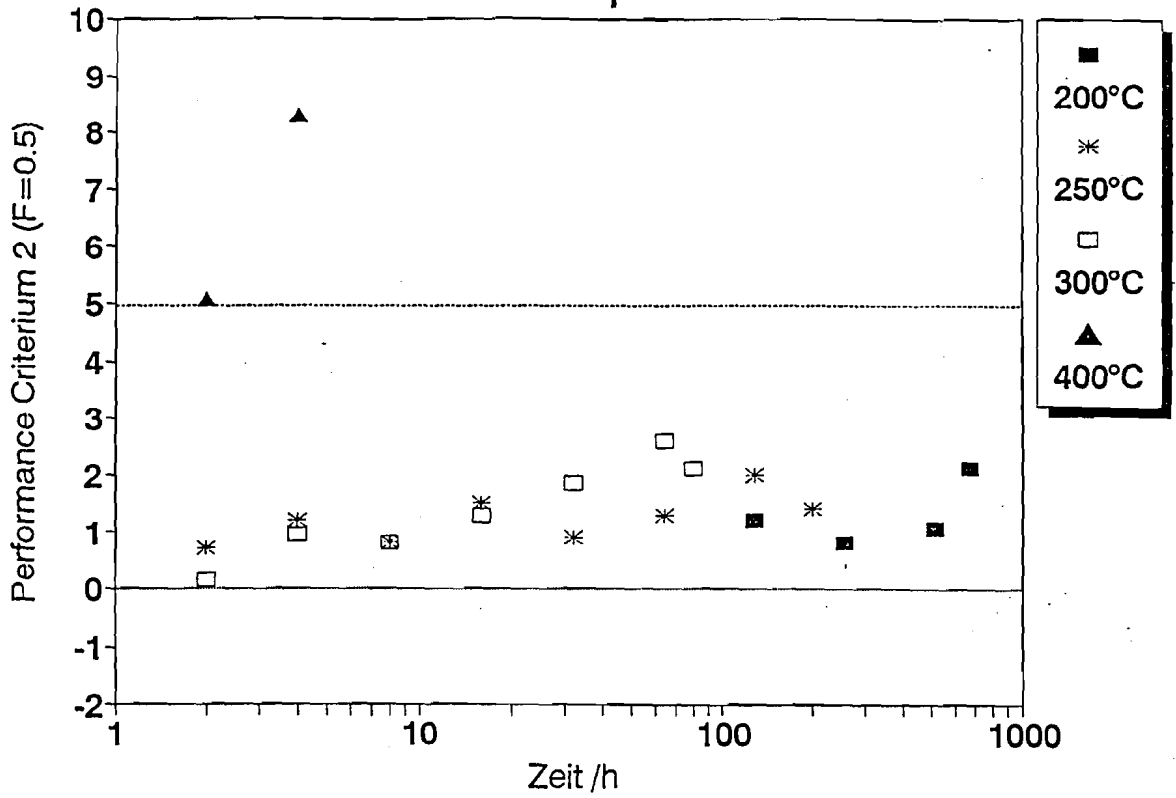
Kupfer mit CrON-Absorber Temperaturtests



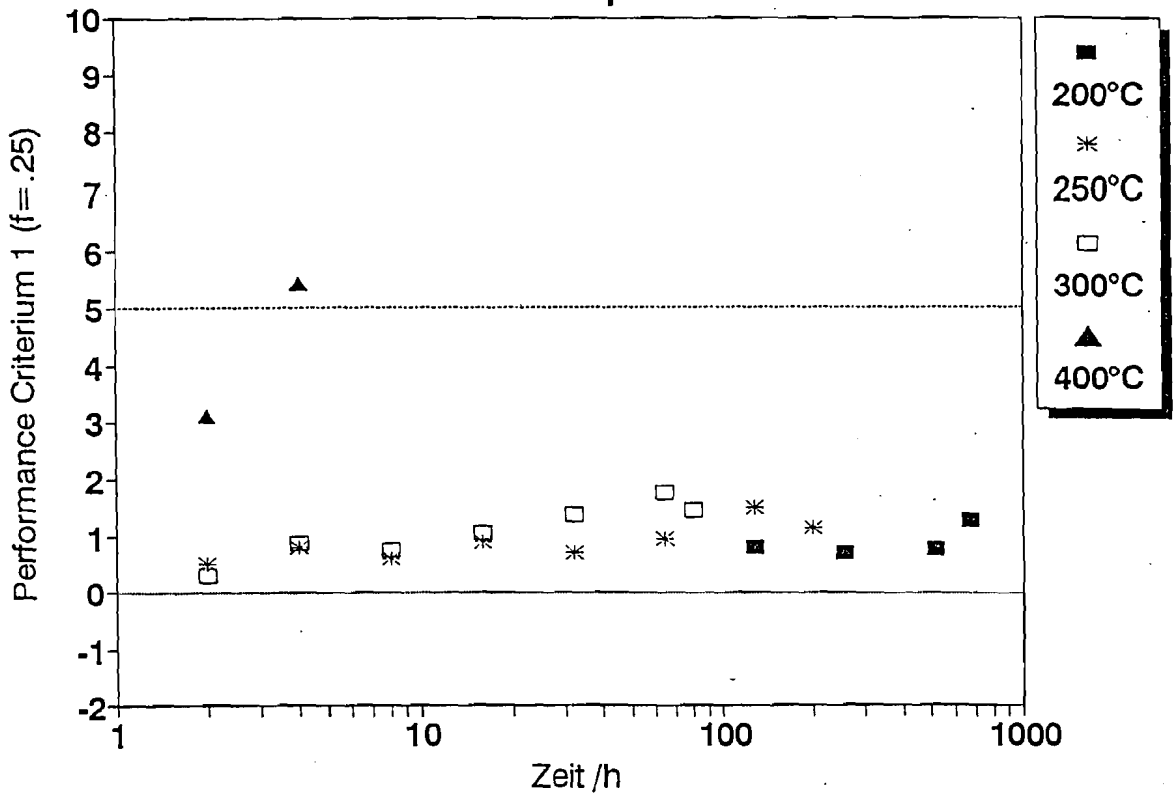
Kupfer mit CrON-Absorber Temperaturtests



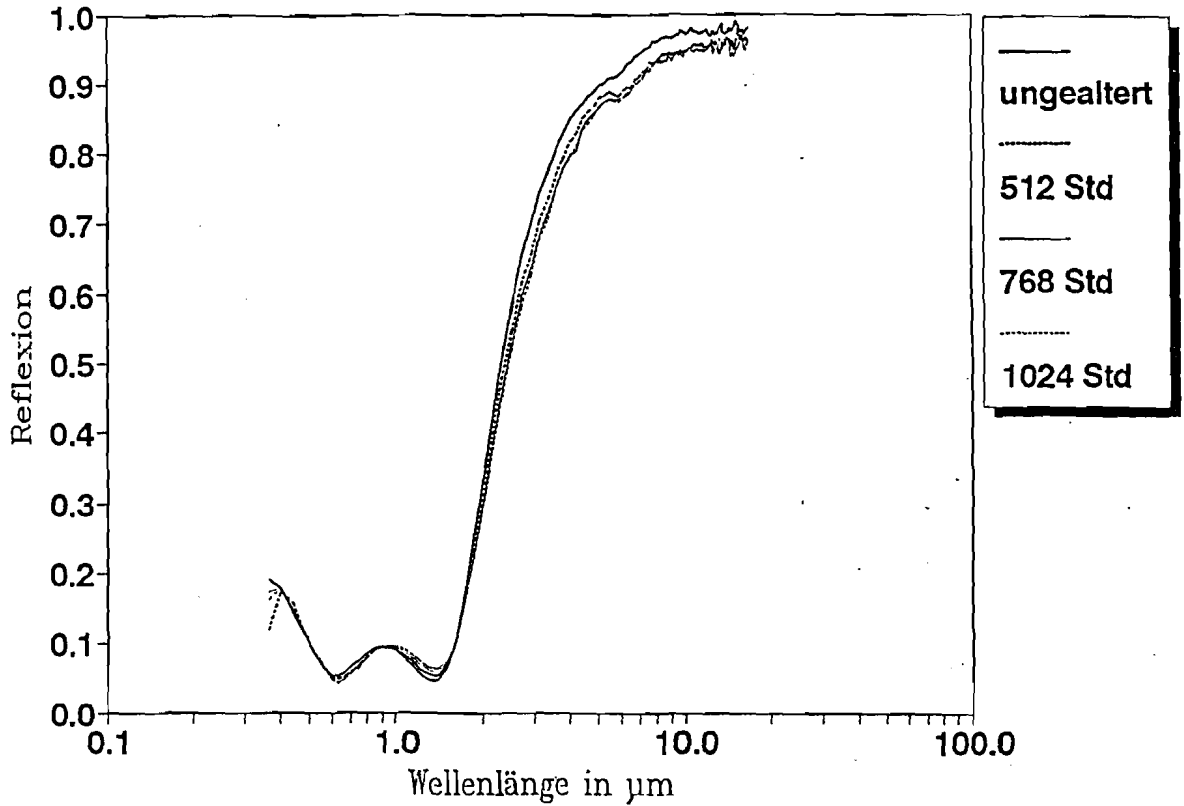
Kupfer mit CrON-Absorber Temperaturtests



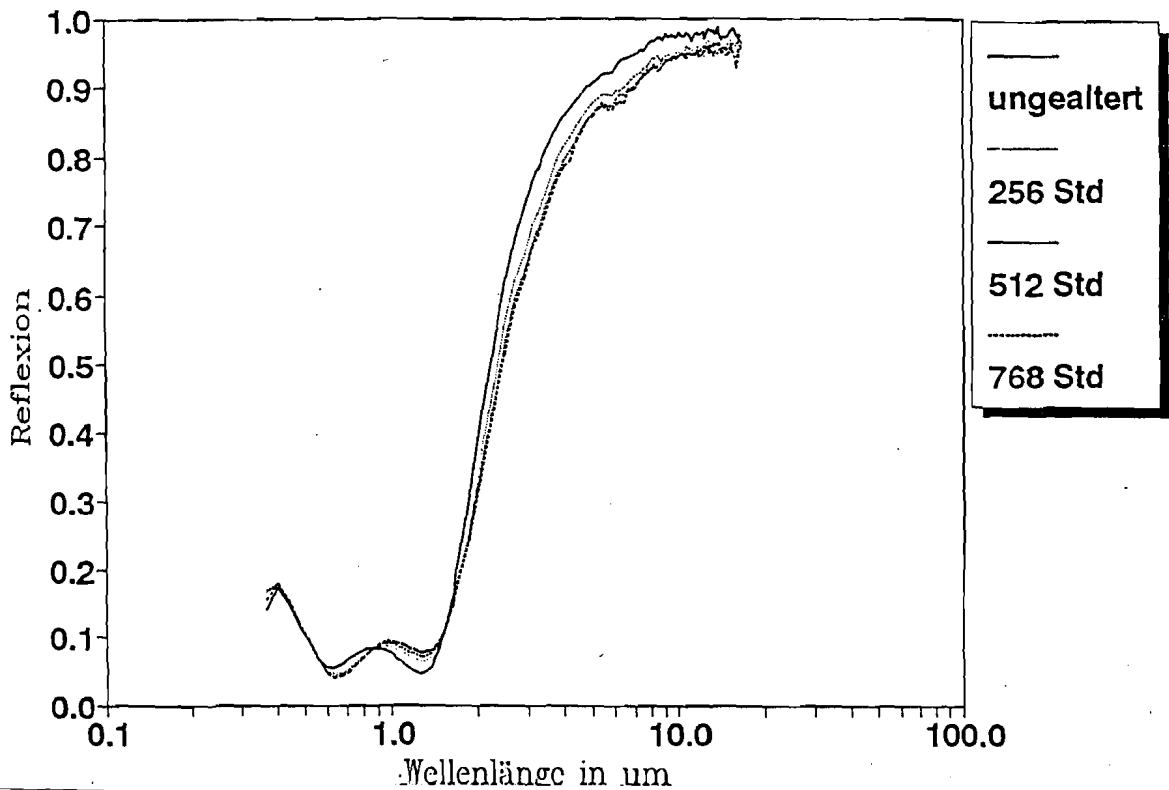
Kupfer mit CrON-Absorber Temperaturtests



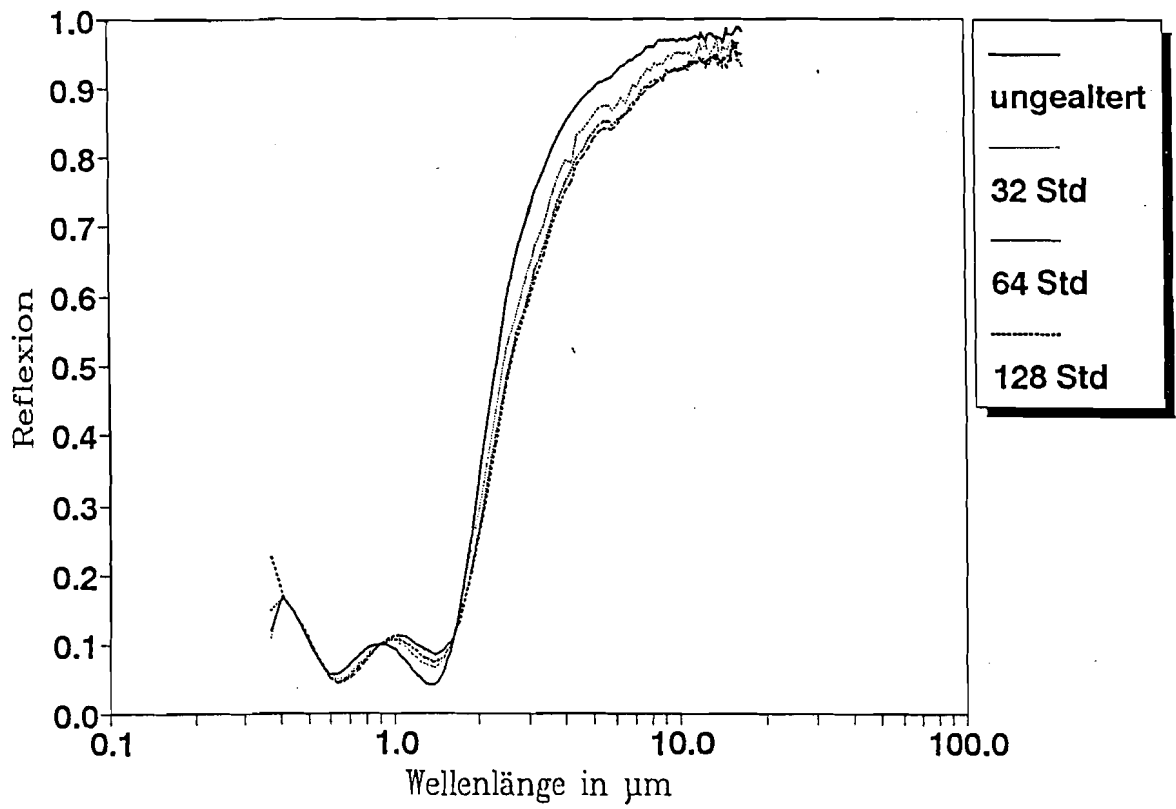
Kupfer mit CrON-Absorber
Alterung: Kondensation bei 40°C



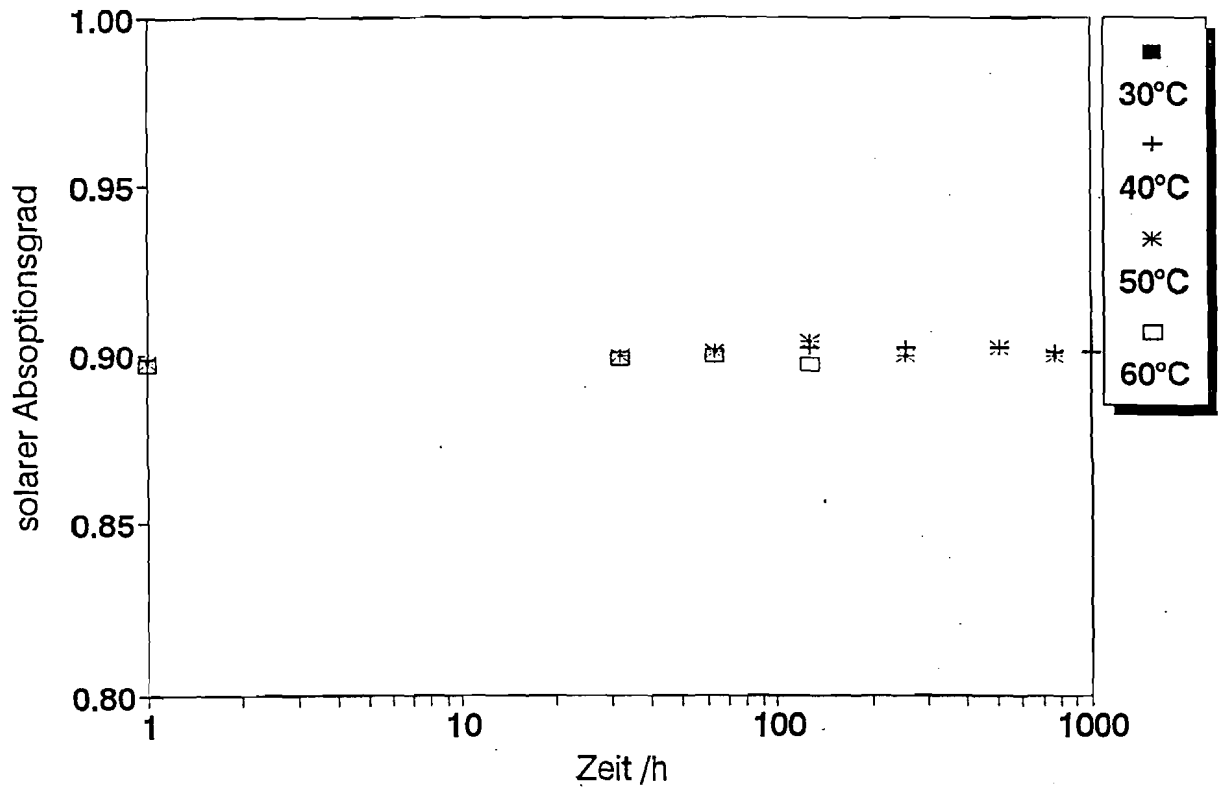
Kupfer mit CrON-Absorber
Alterung: Kondensation bei 50°C



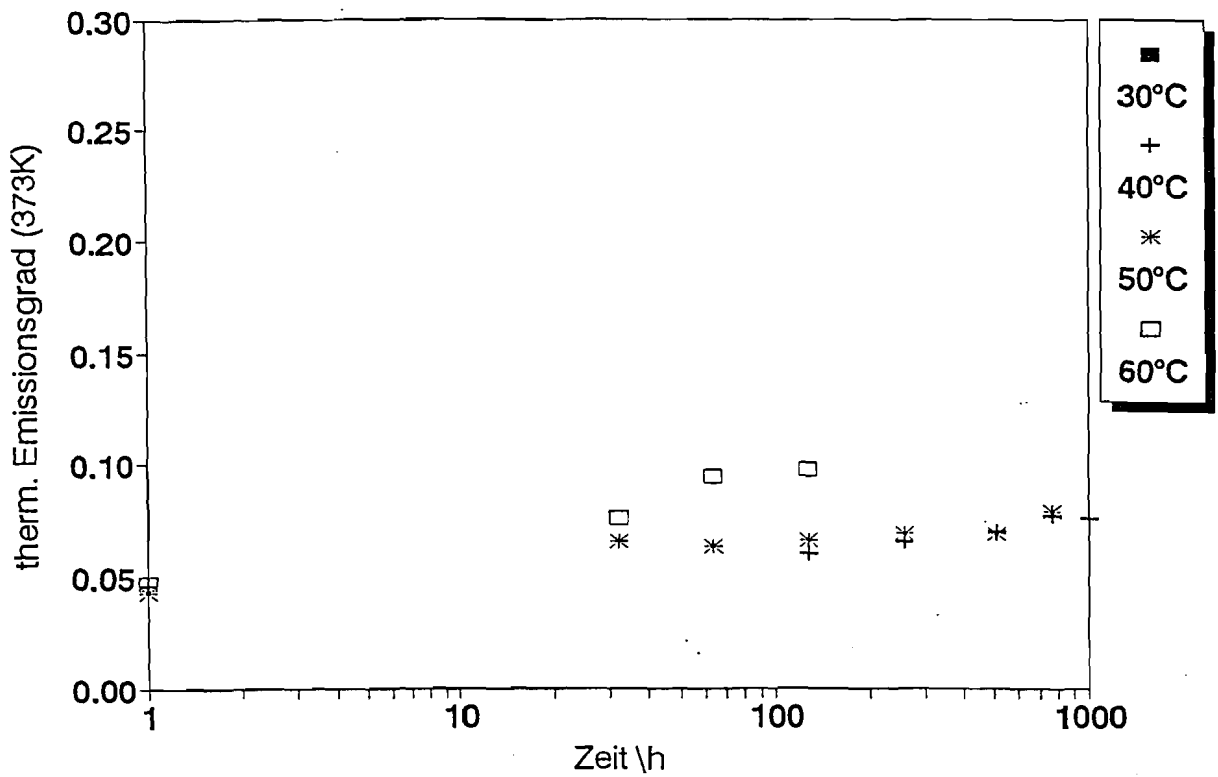
Kupfer mit CrON-Absorber
Alterung: Kondensation bei 60°C



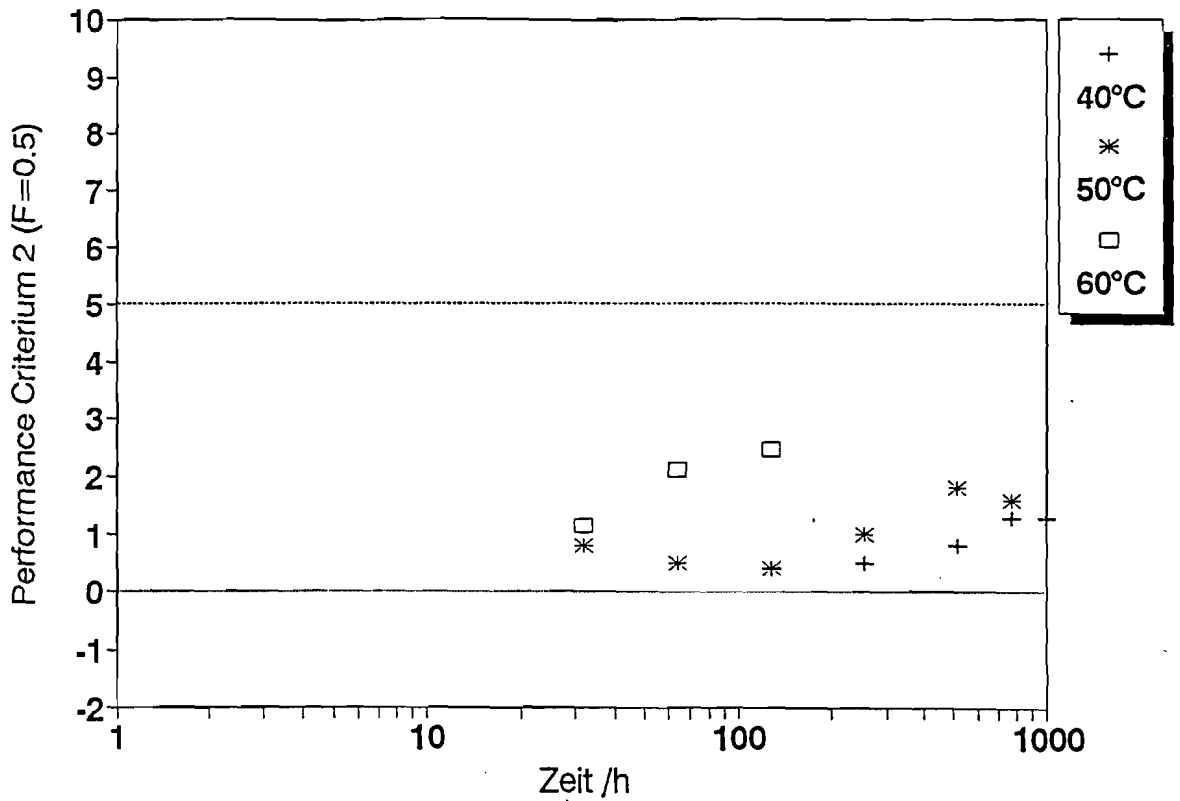
**Kupfer mit CrON-Absorber
Kondensationstests**



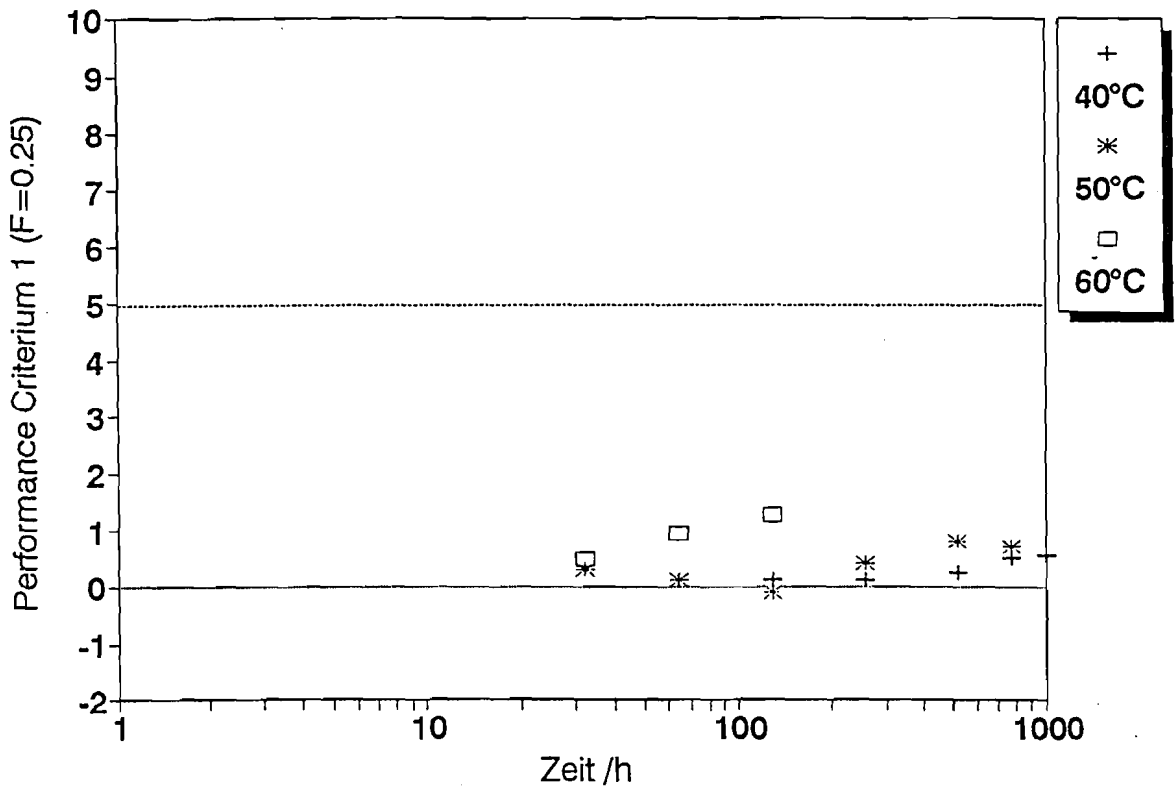
**Kupfer mit CrON-Absorber
Kondensationstests**



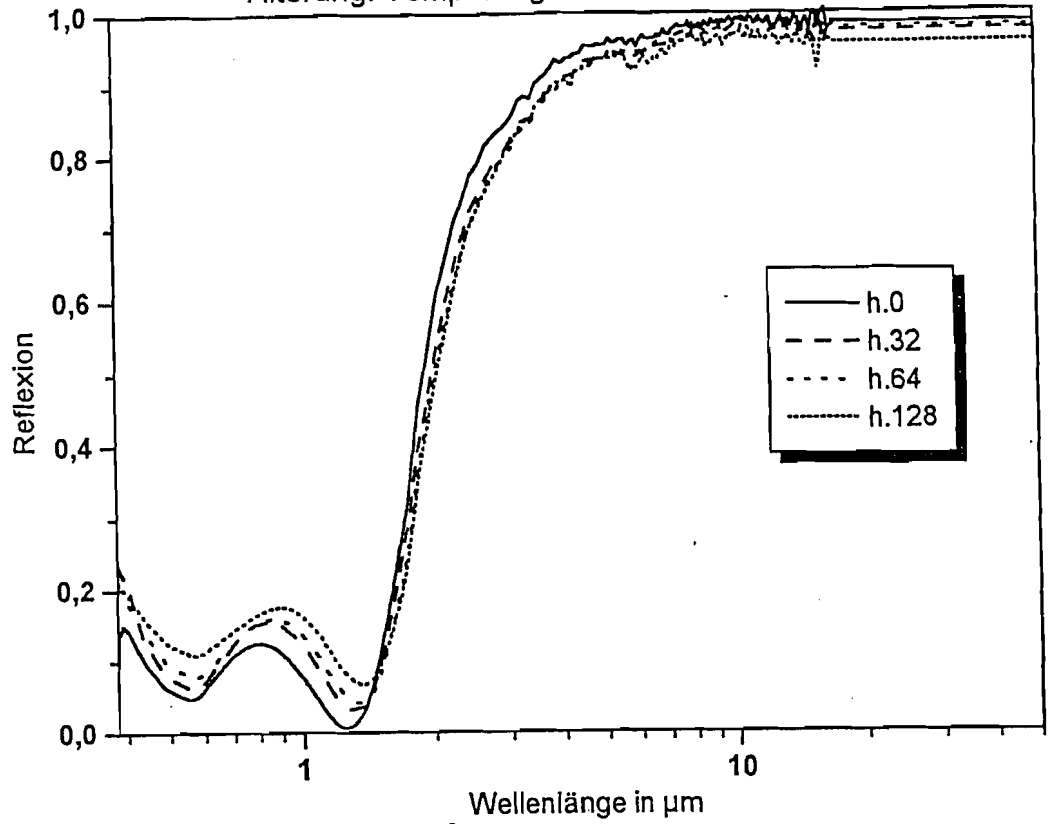
**Kupfer mit CrON-Absorber
Kondensationstest**



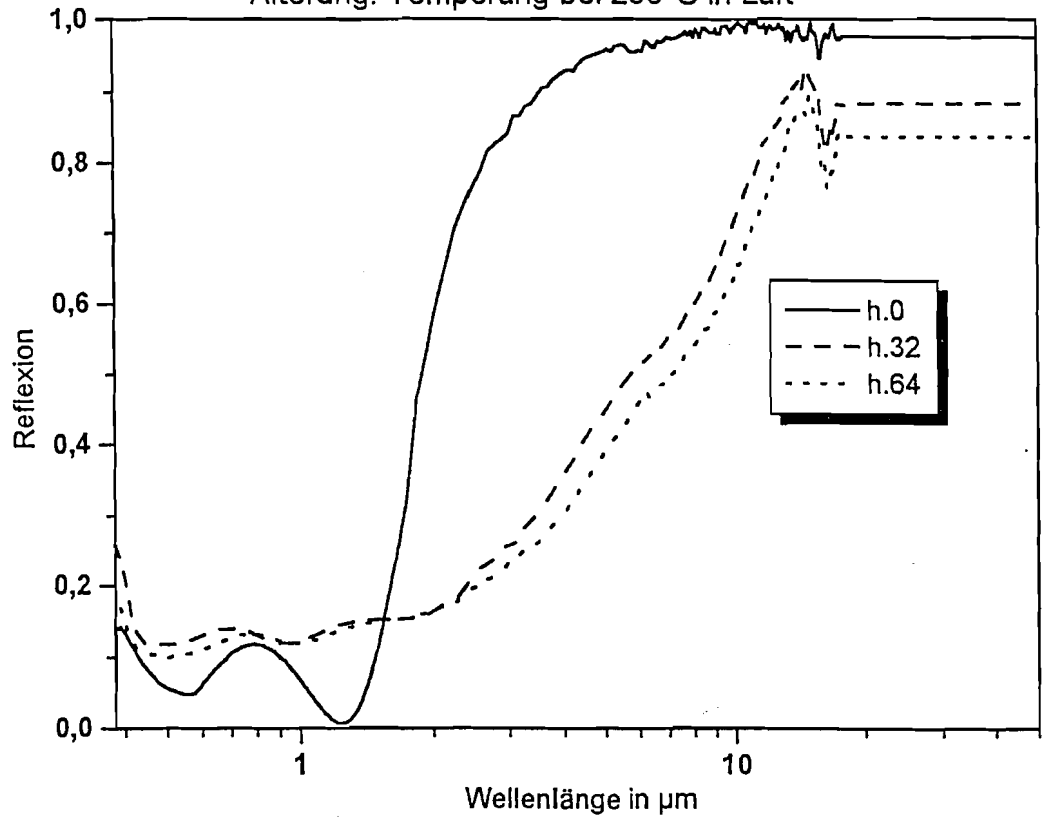
**Kupfer mit CrON-Absorber
Kondensationstests**



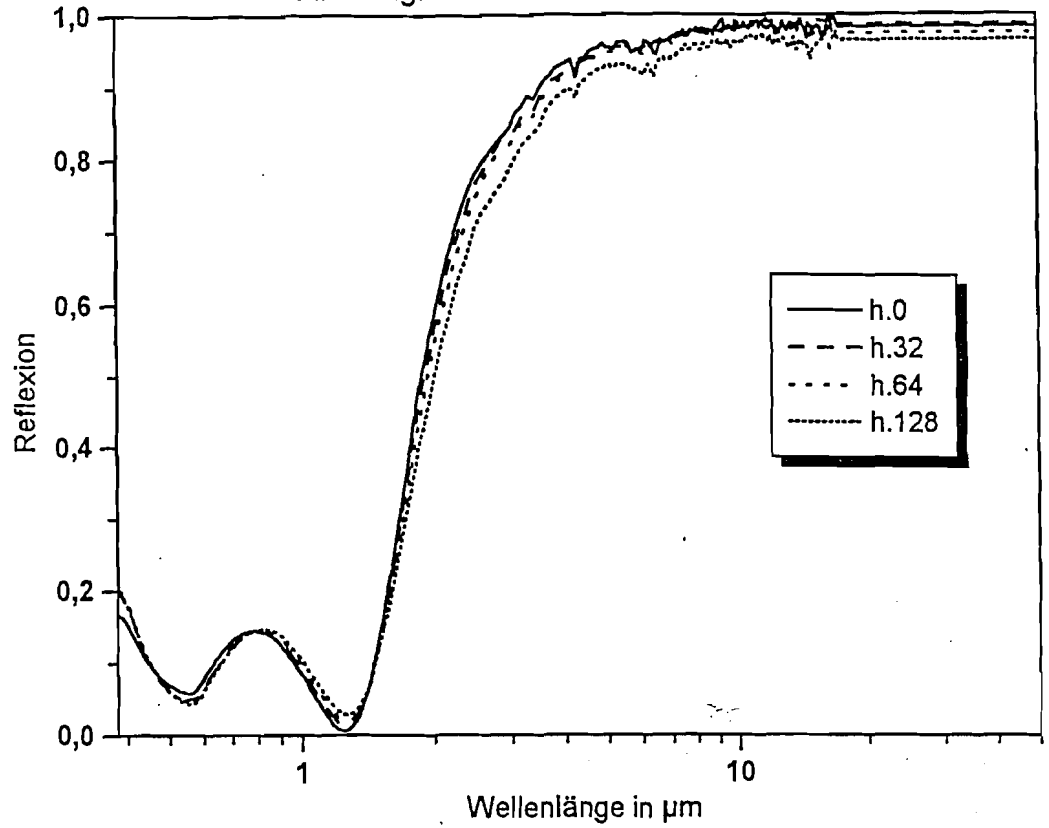
Kupfer (Disch) mit CrON-Absorber
Alterung: Temperung bei 200°C in Luft



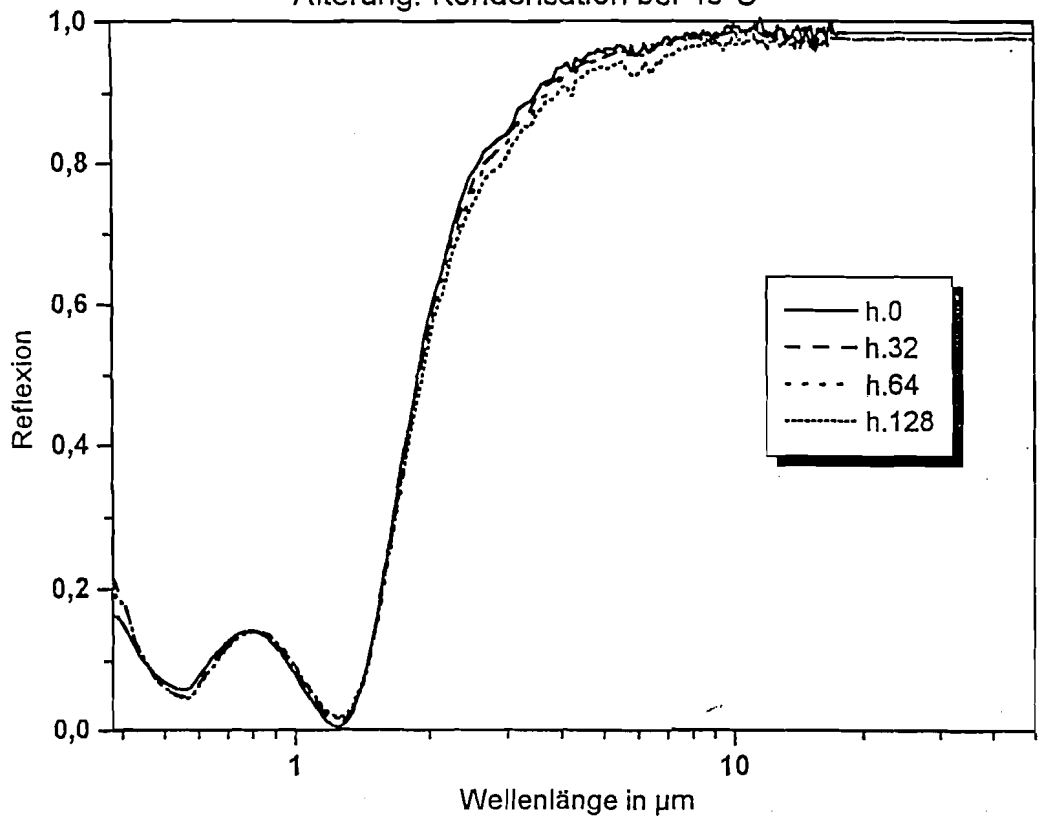
Kupfer (Disch) mit CrON-Absorber
Alterung: Temperung bei 250°C in Luft



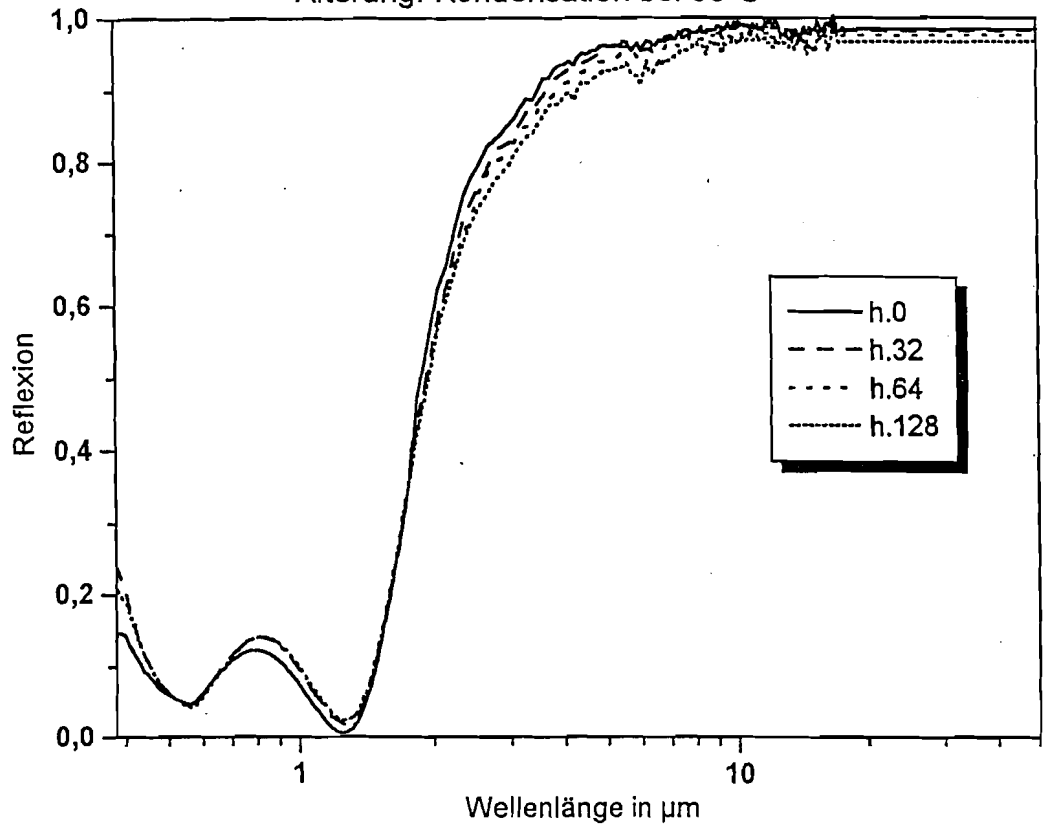
Kupfer (Disch) mit CrON-Absorber
Alterung: Kondensation bei 30°C



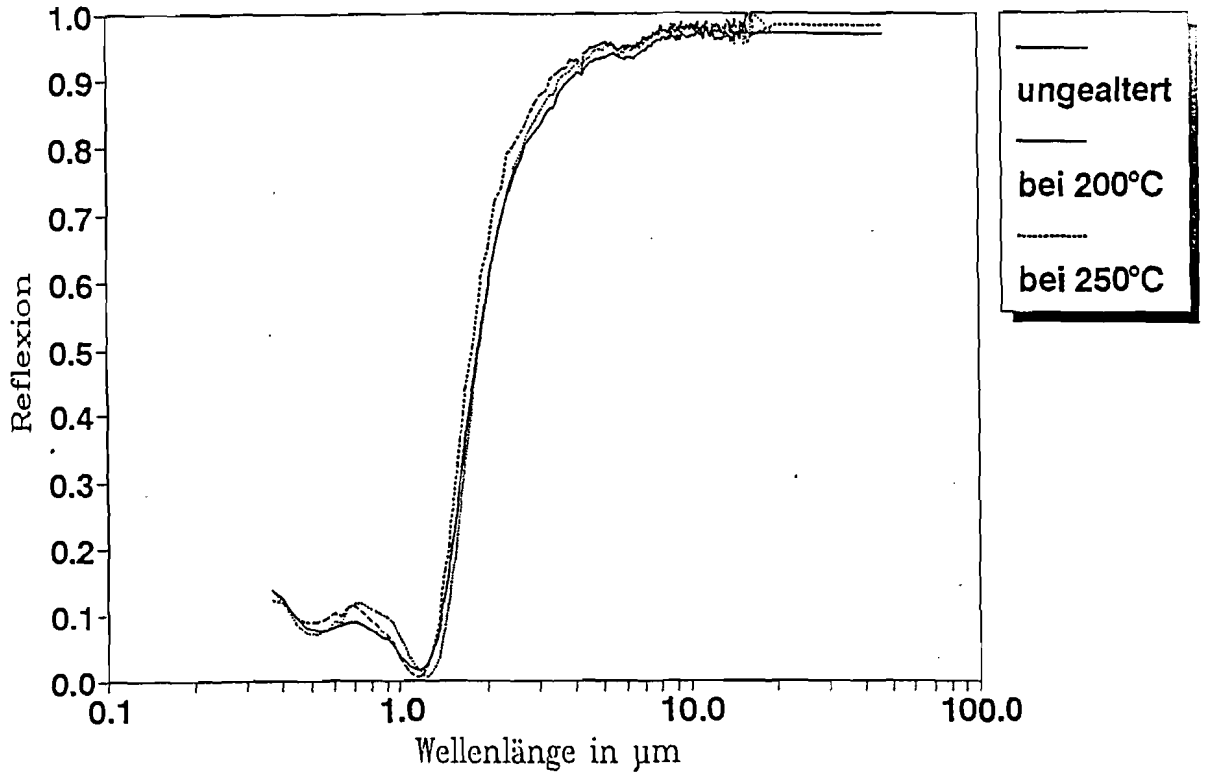
Kupfer (Disch) mit CrON-Absorber
Alterung: Kondensation bei 40°C



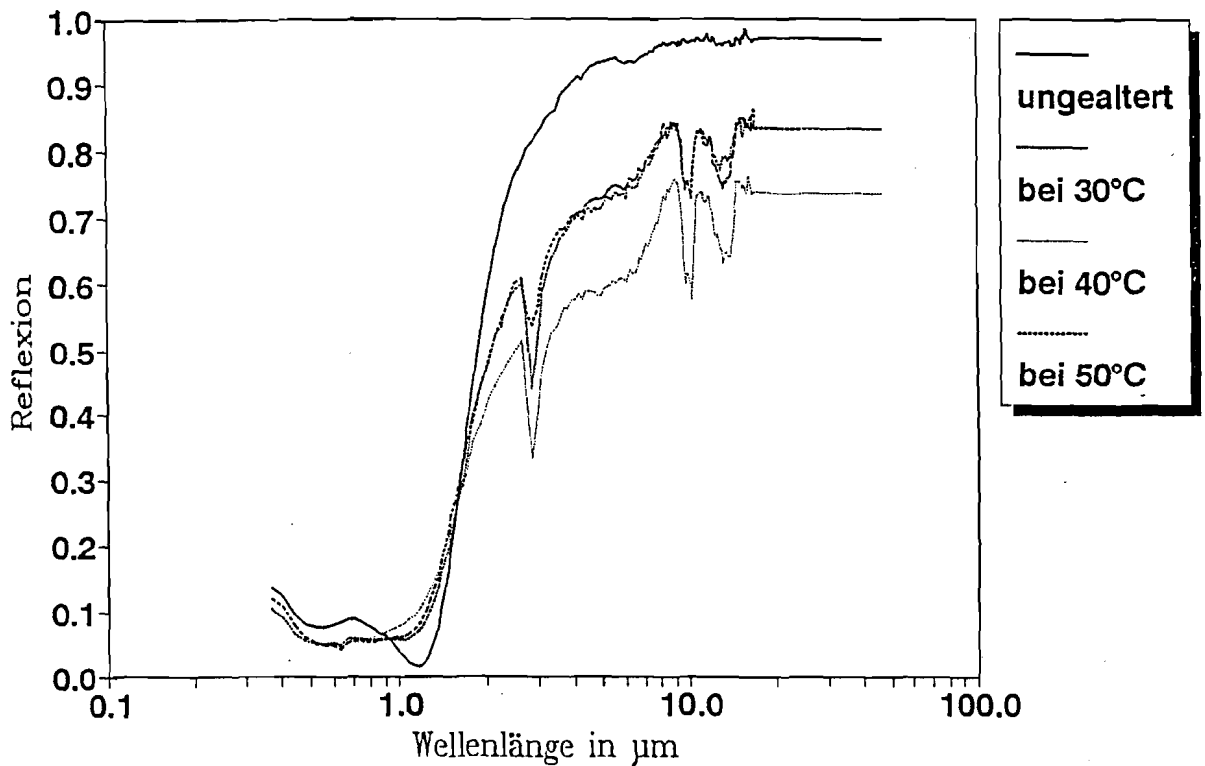
Kupfer (Disch) mit CrON-Absorber
Alterung: Kondensation bei 50°C



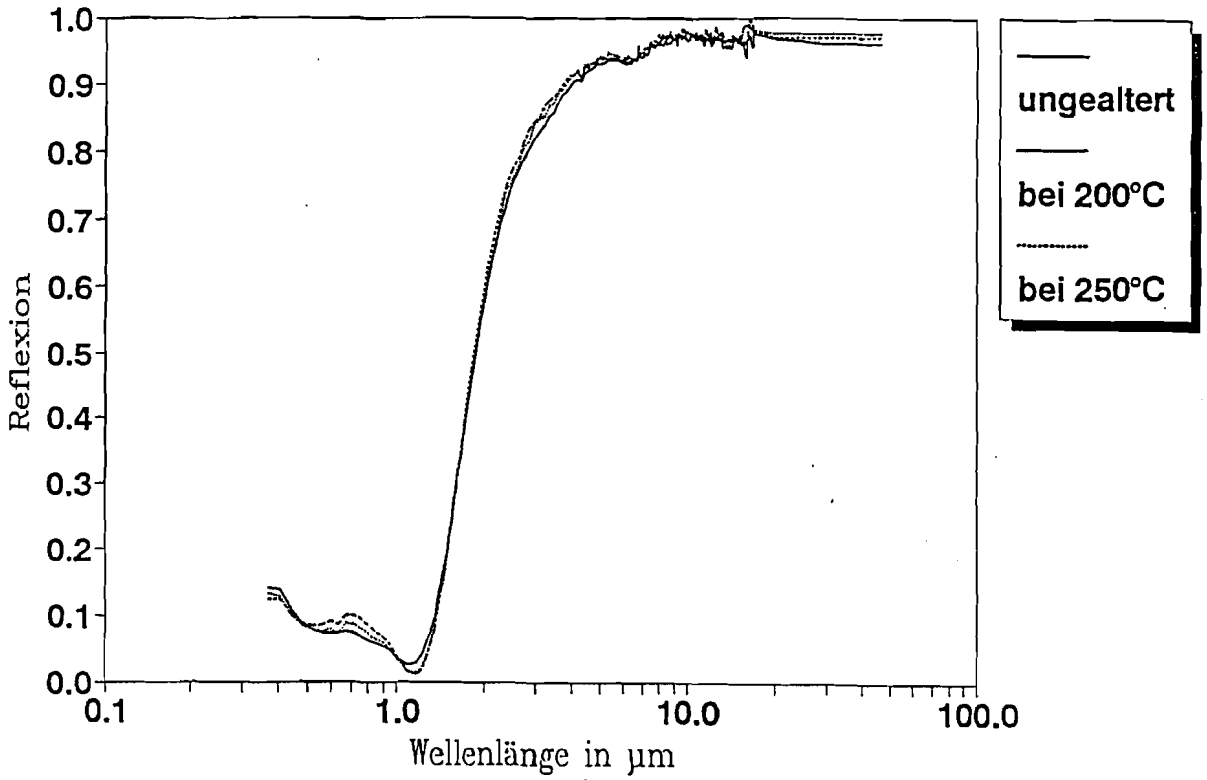
Alusingen 1 + CrON
 nach 512 Std. Temperung in Luft



Alusingen 1 + CrON
 nach 512 Std. Kondensation



Alusingen 2 + CrON
nach 512 Std. Temperung in Luft



Alusingen 2 + CrON
nach 512 Std. Kondensation

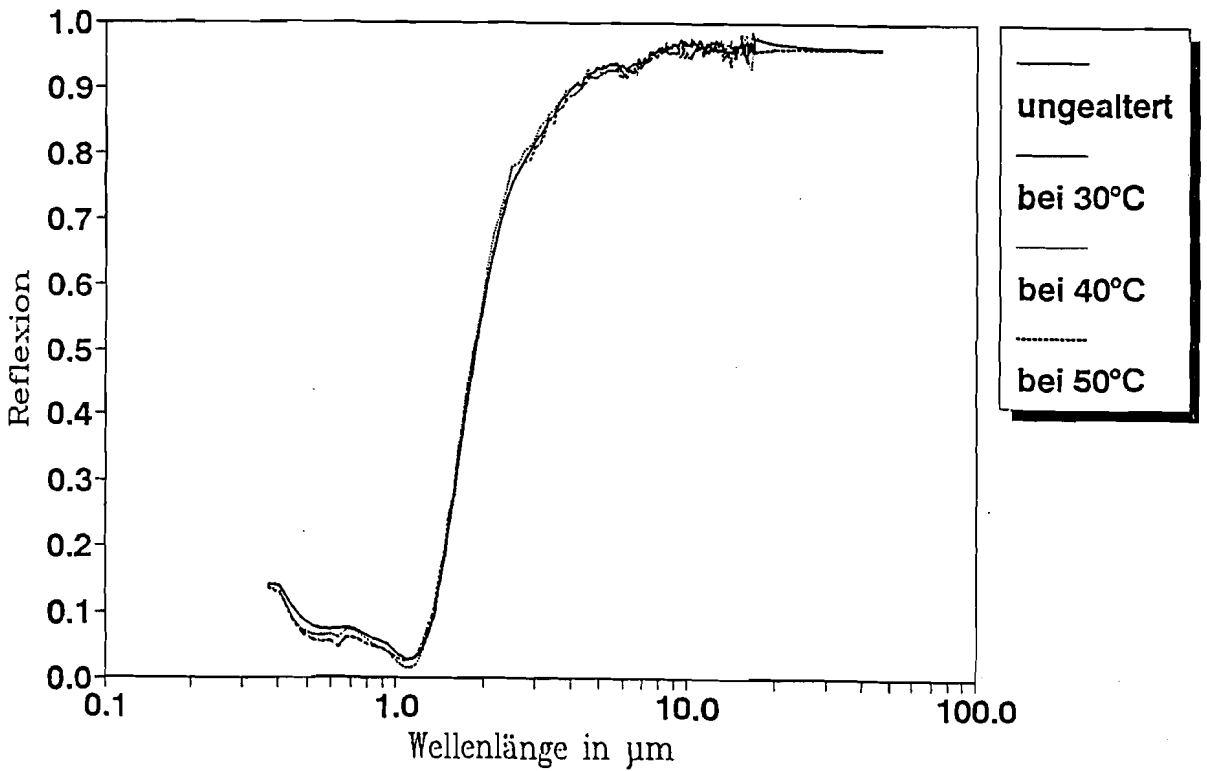
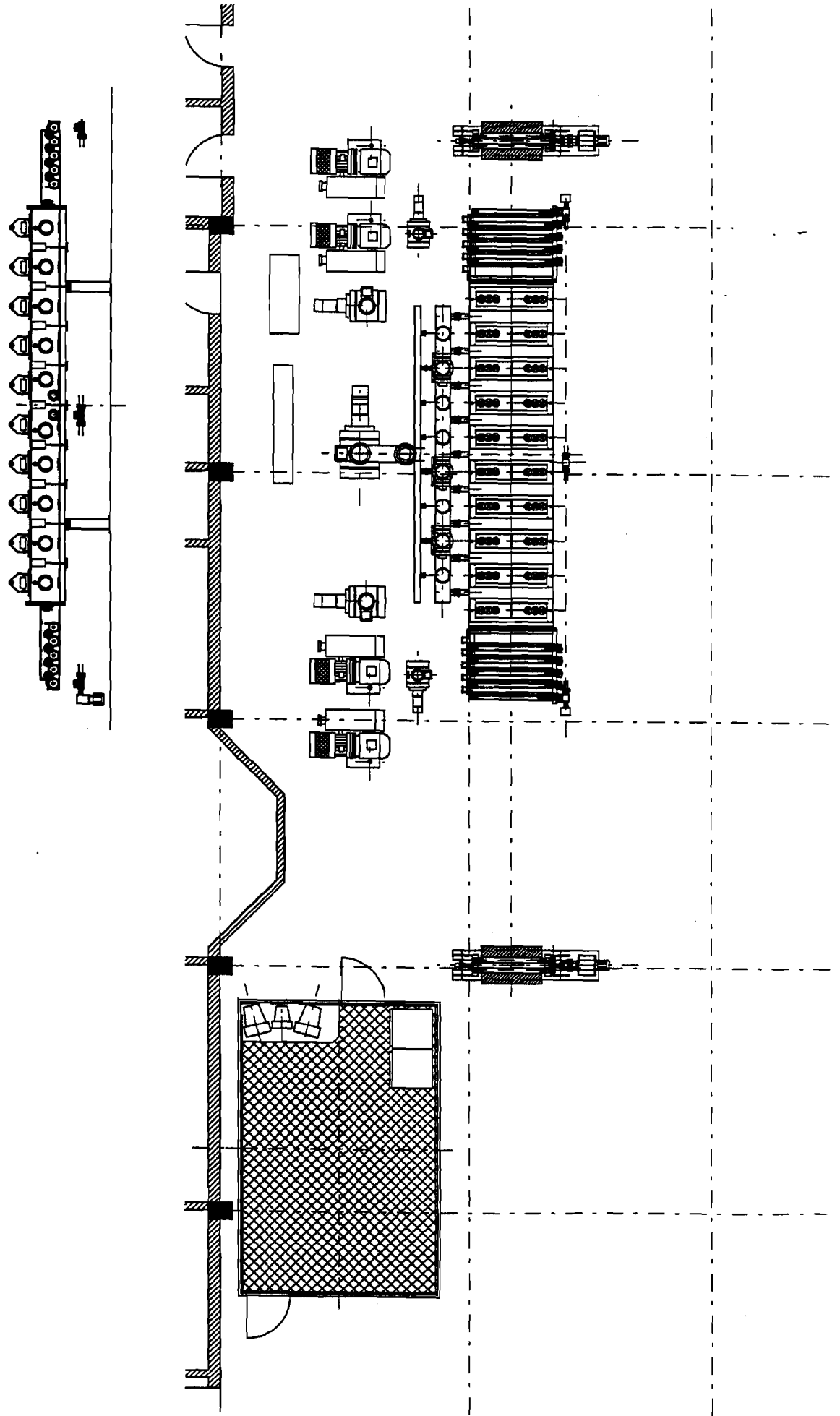


Bild 26

Schematische Darstellung eines Anlagenkonzeptes für die Absorber-Coil-Beschichtung





Gefördert durch die
Deutsche Bundesstiftung Umwelt
49007 Osnabrück · Postfach 17 05



DBU-Projekt AZ 01002

Marktrecherche

Umweltfreundliche Beschichtungen für Absorber von Solarkollektoren

Projektlaufzeit: 01.11.1992 - 30.04.1995

INTERPANE
Entwicklungs- und Beratungsgesellschaft mbH & Co
Sohnreystr. 21

37697 Lauenförde

<i>1 Zusammenfassung der Ergebnisse</i>	<i>2</i>
<i>2 Einleitung</i>	<i>3</i>
<i>3 Produktentwicklung selektive Absorberschichten</i>	<i>3</i>
<i>3 Typen von Kollektoren und deren Anwendungsbereiche</i>	<i>3</i>
<i>3.1 Flachkollektoren</i>	<i>3</i>
<i>3.2 Vakuum- und Hochleistungskollektoren</i>	<i>5</i>
<i>3.3 Einsatzbereiche für Kollektoren</i>	<i>6</i>
<i>4 Absorbertypen und -eigenschaften</i>	<i>7</i>
<i>4.1 Absorbermaterial</i>	<i>7</i>
<i>4.2 Absorberbeschichtung</i>	<i>9</i>
<i>5 Der Markt in Deutschland, Österreich und der Schweiz</i>	<i>10</i>
<i>6 Die Hersteller von selektiv beschichteten Absorbern</i>	<i>14</i>
<i>7 Marktvolumen in Deutschland und Europa</i>	<i>16</i>
<i>8 Problemfelder des Solar-Marktes</i>	<i>18</i>
<i>9 Die Produktion von selektiv beschichteten Absorbern</i>	<i>19</i>
<i>10 Quellenverzeichnis</i>	<i>23</i>

2 Einleitung

Die vorliegende Marktuntersuchung zum Thema „selektive Absorberbeschichtung“ für Sonnenkollektoren ist eine Neuauflage der im November 1991 durchgeführten Untersuchung des Herrn Eschenlohr. Ziel der Studie ist es, die Entwicklung des Marktes seit 1991 zu beschreiben. Sie soll als Entscheidungsgrundlage für den möglichen Einstieg in die Beschichtung von Absorbern dienen.

3 Produktentwicklung selektive Absorberschichten

In Sonnenkollektoren werden heute zunehmend hochselektiv beschichtete Absorber eingesetzt. Die beschichteten Absorber erhöhen den Wirkungsgrad der Kollektoren. Dieser Vorteil wird durch ein für die Umwelt problematisches Produktionsverfahren erreicht. Dies ist sicherlich für ein ökologisches Produkt als nachteilig anzusehen.

In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes die Anwendbarkeit von umweltfreundlichen Vakuumbeschichtungsverfahren, die sogenannte Sputter-Technik, wie sie ähnlich für die Beschichtung von Sonnenschutz- oder Wärmeschutzglas eingesetzt wird, untersucht. Das Problem bestand darin, ein geeignetes Schichtsystem zu finden, das auf Kupfer oder Aluminium abgeschieden werden kann. Darüber hinaus spielten Fragen der Korrosionsbeständigkeit eine wichtige Rolle.

Dieses umweltfreundliche Schichtsystem steht nun kurz vor der Produktionsreife.

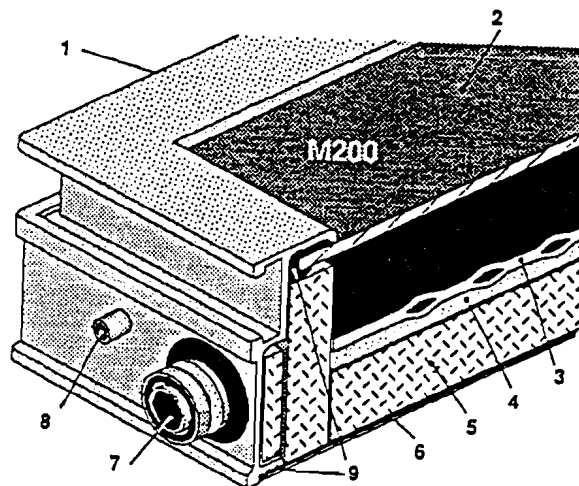
3 Typen von Kollektoren und deren Anwendungsbereiche

3.1 Flachkollektoren

Die meisten der heute am Markt angebotenen Kollektoren fallen in die Kategorie Flachkollektoren. Sie bestehen aus einem Metall-Absorber in einem flachen, gut

wärmegeämmten Gehäuse, das auf der Sonnenseite mit einer oder zwei transparenten Abdeckungen versehen ist. Durch diese wärmegeämmte Bauweise können Flachkollektoren auch bei Temperaturen von 40-60°C über der Umgebungstemperatur noch Wärme mit gutem Wirkungsgrad erzeugen. Haupteinsatzbereich ist heute die Warmwasserbereitung, insbesondere in der heizfreien Zeit.

Die folgende Abbildung zeigt den Aufbau eines Flachkollektors im Schnitt:



Aufbau eines Flachkollektors im Schnitt. Quelle: Arbonia, Arbon, Schweiz

- 1 Verwindungssteifer Rahmen aus Aluminium-Profil
- 2 4 mm Sicherheitsglas, hochlichtdurchlässig, wärmebeständig, hagelsicher
- 3 Selektiv beschichteter Absorber
- 4 Aluminium-Reflektionsfolie zur Verbesserung der Wärmedämmung
- 5 Wärmedämmung, alterungs- und hochtemperaturbeständig
- 6 Rückwand, z.B. Alublech
- 7 Anschluß für Vor- bzw. Rücklauf
- 8 Gehäusebelüftung
- 9 Glas - Gehäuse - Abdichtung

An einen Flachkollektor sind im allgemeinen folgende Anforderungen zu stellen:

- Der Absorber muß die einfallende Strahlung möglichst vollständig in Wärme umwandeln und diese gut an das Wärmeträgermedium übertragen (Absorptionsgrad > 90 %),
- gute Wärmeleitung zwischen Absorber und Wärmeträger,
- eine geringe Wärmerückstrahlung des Absorbers (Emissionsgrad < 15%),
- der Absorber muß temperaturbeständig bis ca. 200° C sein,
- Druck- und Korrosionsbeständig gegenüber dem Wärmeträgermedium ,
- die transparente Abdeckung soll möglichst lichtdurchlässig sein und gleichzeitig thermische Verluste durch Wärmestrahlung minimieren.

Der gesamte Kollektorkasten muß so gut nach außen abgeschlossen sein, daß weder Feuchtigkeit noch Staub oder Insekten in den Innenraum zwischen Scheibe und Absorber gelangen und dort auf Dauer die Eigenschaften des Kollektors verschlechtern. Außerdem muß der Kollektor von seiner Größe und seinem Gewicht so bemessen sein, daß er mit handwerklichen Methoden auf die Baustelle geschafft, eingebaut und ggf. repariert und ausgetauscht werden kann.

3.2 Vakuum- und Hochleistungskollektoren

Im Gegensatz zu den Flachkollektoren bieten die Vakuumkollektoren den Vorteil, daß sie bei hohen Kollektortemperaturen oder niedriger Einstrahlung noch einen relativ hohen Wirkungsgrad haben und daher für Anwendungen wie Raumheizung oder Prozeßwärmeerzeugung besser geeignet sind.

Der Vorteil besteht darin, daß durch Luftbewegung im Flachkollektor (Konvektion) vom Absorber an die Außenhaut, ein erheblicher Wärmeverlust entsteht. Entfernt man die Luft aus dem Absorber, entsteht ein Vakuum, wodurch die Luftbewegung verhindert und der Wärmeverlust vermindert wird.

Ein weiterer Vorteil der Vakuumkollektoren besteht darin, daß hochselektiv beschichtete Absorber eingesetzt werden können, die wegen der

Feuchtigkeitsinflüsse im normalen Flachkollektor nicht ausreichend beständig wären. Nachteil des Vakuumkollektors ist der höhere Preis.

3.3 Einsatzbereiche für Kollektoren

Grundsätzlich wird unterschieden zwischen der solaren Niedertemperatur-Nutzung und der solaren Hochtemperatur-Nutzung. Da die solare Hochtemperatur-Nutzung in unseren Breiten aufgrund der zu geringen Sonneneinstrahlung keine wirtschaftliche Rolle spielt, beschränken sich die folgenden Ausführungen auf die solare Niedertemperatur-Nutzung.

Die folgende Tabelle zeigt in der Übersicht die Anwendungsfelder der Solarenergienutzung.

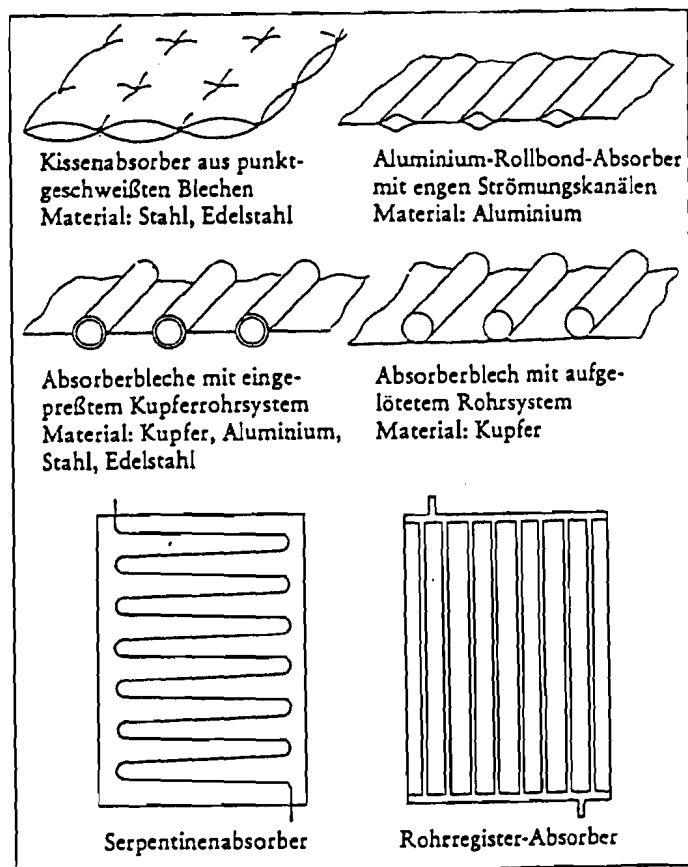
Kollektortyp	Temperaturbereich	Anwendung	Leerlauftemp. bei S=1000 M/m ² Außentemp 20 °C
Solarabsorber unverglast und nicht isoliert	0 - 30°C	Schwimmbadheizung/ Wärmepumpen	90 - 100°C
Flachkollektoren			
einfach verglast, schwarz			120 - 140°C
einfach verglast, selektiv	20 - 80°C	Warmwasserbereitung/ Raumheizung	140 - 200°C
doppelt verglast, selektiv			160 - 240°C
Vakuum-Kollektoren	20 - 100°C	Raumheizung, Prozeßwärme, Warmwasserbereitung	> 300°C
Konzentrierende Kollektoren mit Nachführung	80 - 800°C	Dampferzeugung, Prozeßwärme, Raumheizung	je nach Konzentration > 1000°C

Die für INTERPANE-Absorber möglicherweise interessanten Anwendungsfelder oder Kollektortypen sind die Flachkollektoren und die Vakuumkollektoren.

4 Absorbertypen und -eigenschaften

4.1 Absorbermaterial

Als Material für den Absorber werden wegen der hohen Leerlauftemperaturen fast ausschließlich Kupfer, Stahl oder Aluminium eingesetzt. Für jedes dieser Materialien gibt es typische Bauweisen. Nachfolgende Abbildung zeigt die typischen Formen von Solarabsorbern.

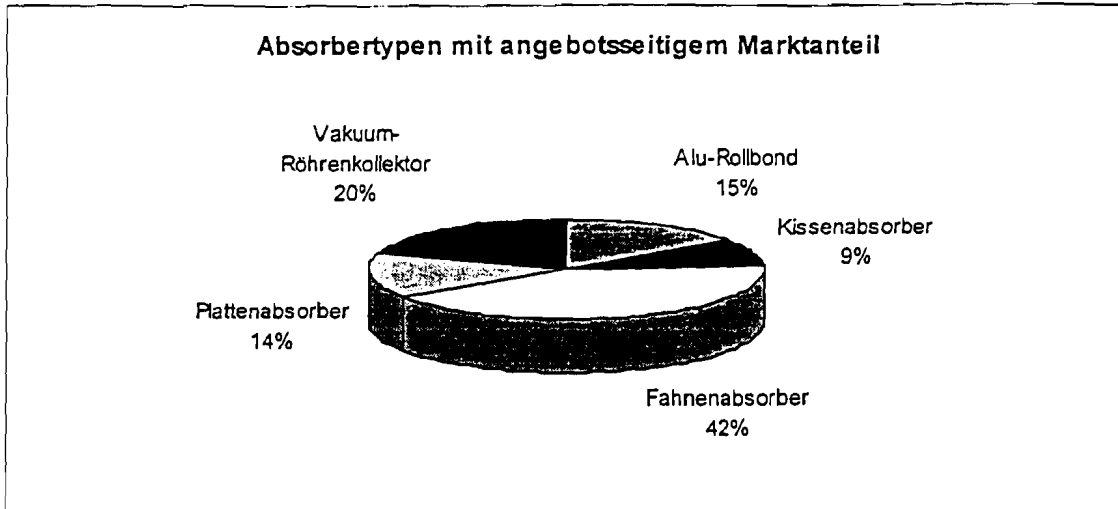


- Fahnenabsorber, bestehend aus korrosionsbeständigem Kupferrohr mit einer Absorberfahne aus Kupfer oder dem leichteren und preiswerteren Aluminium oder auch in der Kombination Stahlfahne mit Kupfer- oder Edelstahlrohr.
- Plattenabsorber aus Kupfer oder Stahl mit eingepreßtem oder aufgelötetem Rohrsystem aus Kupfer oder Edelstahl (Serpentinen- oder Rohrregister-Absorber).
- Kissenabsorber aus Stahl oder Edelstahl.
- Rollbondabsorber aus Aluminium.

Die weiteste Verbreitung am Markt haben heute die sogenannten Fahnenabsorber. Sie weisen sehr gute thermische Eigenschaften auf, sind leicht und lassen sich bei relativ niedrigem Materialeinsatz mit 5 - 6 m Lieferlänge entsprechend preiswert fertigen.

Als problematisch haben sich wohl immer wieder die Alu-Rollbond-Absorber erwiesen, obwohl diese unter thermischen Gesichtspunkten sehr leistungsfähig sind. Der Werkstoff Aluminium scheint jedoch besonders korrosionsanfällig zu sein, so daß er für die gebräuchliche Kupferrohrinstallation weniger geeignet ist und auf jeden Fall spezielle, mit Korrosionsschutzmittel versehene Wärmeträger-Flüssigkeiten für Aluminiumwerkstoffe erforderlich macht. Dieser Typ hat in der Branche einen schlechten Ruf.

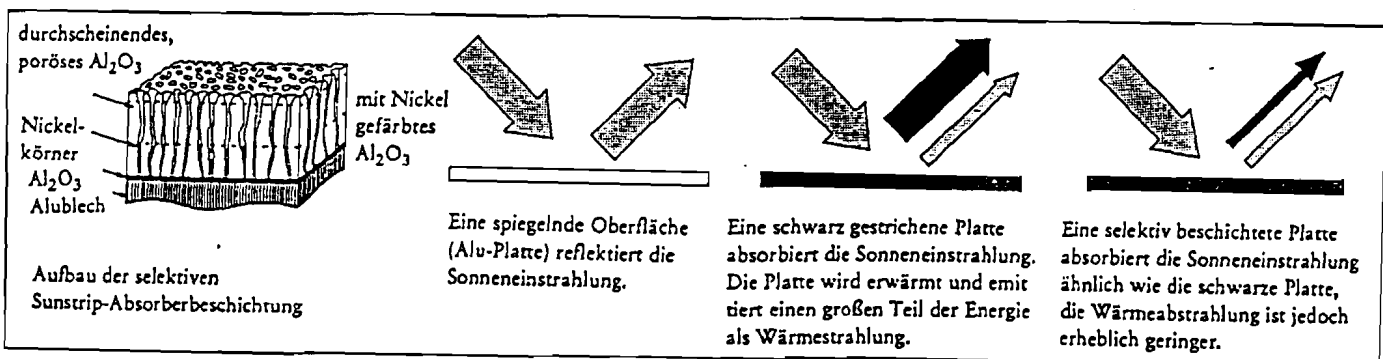
Die nachfolgende Abbildung zeigt den Verbreitungsgrad der verschiedenen Absorbertypen am Markt



4.2 Absorberbeschichtung

Die Absorberbeschichtung sollte nicht nur einen hohen Absorptionsfaktor aufweisen (> 90 %), sondern sie muß auch bei hohen Temperaturen und häufigem Temperaturwechsel beständig sein. Neben den schwarzen Farben, die durch Spritzen aufgebracht werden, sind sogenannte „selektive Beschichtungen“ entwickelt worden, die für das Spektrum der Sonnenstrahlung schwarz erscheinen, d.h. einen hohen Absorptionskoeffizienten (α) besitzen, während sie die sehr viel langwelligere Wärmestrahlung nur wenig emittieren (Emissionskoeffizient $\epsilon < 15\%$). Dadurch lassen sich die Wärmeverluste des Kollektors deutlich reduzieren.

Folgende Abbildung zeigt den Aufbau und die Funktion einer selektiven Beschichtung:



Die meisten selektiven Beschichtungen, z. B. Schwarznickel oder Schwarzchrom, werden in industrieller Fertigung galvanisch aufgebracht. Sie müssen aus physikalischen Gründen sehr dünn sein und zeigen daher eine gewisse Empfindlichkeit gegenüber Feuchtigkeit. Sofern sie im Kollektorkasten vor Bewitterung und kondensierender Feuchtigkeit geschützt sind, erreichen die meisten selektiven Beschichtungen ungefähr dieselbe Alterungsbeständigkeit wie hochwertige, nicht selektive Farbanstriche.

Die nachfolgende Tabelle zeigt einige Eigenschaften von Absorberbeschichtungen:

Art der Beschichtung	Absorptionsfaktor α	Emissionsfaktor ε	Beschichtungsverfahren
Schwarze Absorberfarben:			
Schwarzer Automattlack	0,95	0,88	streichen/ spritzen
Solarlack M40 (Transfer Electric)	0,95	0,86	spritzen/ streichen
Selektive Beschichtungen:			
Nickelschwarz	0,90 - 0,95	0,07 - 0,10	galvanisch
Chromschwarz	0,90 - 0,95	0,07 - 0,10	galvanisch
Ni pigmentiertes Al_2O_3	0,90 - 0,92	0,10 - 0,18	galvanisch
Maxorb-Folie (Nickelschwarz)	0,87 - 0,96	0,10 - 0,15	selbstklebend
Edelstahl selektiv beschichtet	0,80 - 0,90	0,12 - 0,17	galvanisch
Amorpher Kohlenstoff	0,70 - 0,90	0,02 - 0,04	

5 Der Markt in Deutschland, Österreich und der Schweiz

Der Markt für Solaranlagen ist durch Intransparenz, d.h. mangelnde Informationen über Preise und Produkte, für den Verbraucher gekennzeichnet. Es existieren keine Marken, wenig gesicherte Aussagen von unabhängigen Einrichtungen über Produktqualitäten in technischer und zeitlicher Hinsicht. Auch Heizungsbauer

verfügen nur ansatzweise über Informationen und bieten daher Solaranlagen in nur geringer Zahl an.

Um diesen Mangel zu beseitigen, sind in jüngster Zeit verstärkt Aktivitäten seitens der Fachverbände zu beobachten. Auf kommunaler Ebene fördern die Stadtwerke die Verbreitung der Solartechnik durch die Möglichkeit für den Endkunden komplette Solaranlagen mit garantierter Leistung zu mieten.

Verlässliche Aussagen über Marktanteile einzelner Hersteller sind nicht verfügbar. Die beiden Verbände für Sonnenenergienutzung, die DGS (Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie) und der DFS (Deutscher Fachverband Sonnenenergie) betreiben bisher keine regelmäßige Statistik die es ermöglicht, verlässliche Aussagen über Marktanteile und -verbreitung zu erhalten. Es existieren aber erste Ansätze, diese Situation zu verbessern.

Der Deutsche Fachverband für Solarenergie führt zur Zeit eine Mitgliederbefragung durch, um die Marktanbieter, die Produkte und die Entwicklung des Marktes genauer zu analysieren. Ein Testinstitut zur unabhängigen Beurteilung von Solaranlagen befindet sich zur Zeit in Gründung. Daher beruhen alle Aussagen zu quantitativen Marktparametern auf der subjektiven Meinung von Experten und Schätzungen.

Seitens der Firma Solvis (!) wurde uns eine Liste vorgelegt, die die Hersteller geförderter Solarenergieanlagen zur Brauchwassererwärmung 1993 in Niedersachsen enthält. Aus der folgenden Tabelle geht hervor, daß drei Firmen über 50% des Marktes in Niedersachsen bedienen, da man davon ausgehen kann, daß so gut wie keine Solarenergieanlage gebaut wird, die nicht auch entsprechende Fördermittel bekommen hat.

Hersteller	Anzahl	%
Solvis	675	29,2
Wagner	499	21,6
Klöckner	427	18,5
Solardiamand	122	5,3
Stiebel	92	4,0
Reinhard	82	3,5
Thermosolar - Energietechnik	77	3,3
Müller	67	2,9
Amcor	58	2,5
Paradigma (Ritter)	35	1,5
Philips	22	1,0
Prinz	21	0,9
Sonstige	134	5,8
Gesamt	2.311	100,0

Bei einer durchschnittlicher Anlagengröße von ca. 6 qm ergibt dies für Niedersachsen 12.000 qm Kollektorfläche pro Jahr, gefördert durch öffentliche Zuwendungen 1993.

Neben professionellen Anbietern gibt es vor allem in Österreich und in der Schweiz regionale „Selbstbaugruppen“. Diese Gruppen fertigen einfache Kollektoren selbst an und sparen somit durch Eigenleistung ca. 50% der Kosten einer Solaranlage ein. Die Selbstbaugruppen bilden Einkaufsgemeinschaften und tauschen untereinander Werkzeug zur Kollektorherstellung aus. Diese Art der Kollektorherstellung wird als eine Art alternative Freizeitbeschäftigung angesehen. Nach Aussagen von österreichischen Teilnehmern an einem Solarenergiesymposium ist diese Art der Freizeitbeschäftigung sehr erfolgreich. Dies ist auch der Grund dafür, daß in

Österreich ein relativ hoher Bestand an installierten Sonnenkollektoranlagen vorhanden ist. Diese Form des Kollektorbaus findet auch in der Bundesrepublik zunehmend Anhänger und wird von den Verbänden (bis zu 5.000,- DM) entsprechend gefördert, da durch Eigenbau erhebliche Kosten eingespart werden können.

Das Solarenergietechnikum Rappersvill in der Schweiz beschäftigt sich mit der Prüfung und Erforschung von Kollektoren und führt regelmäßig Tests durch. Dieses Institut ist bis dato das einzige in Europa, das regelmäßig Kollektoren testet und die Ergebnisse veröffentlicht.

Die von dem schweizerischen Institut stammenden Daten sind im Mai 1994 aktualisiert worden. Danach haben ca.30 Kollektorhersteller aus Europa ihre Anlagen in der Schweiz testen lassen. Nach einer vom Öko-Institut im Juni veröffentlichten Testreihe gibt es in der Bundesrepublik 17 verschiedene Kollektorhersteller, die Vakuum- und Flachkollektoren herstellen und vom Öko-Institut empfohlen werden.

Liste der Hersteller von Solaranlagen die vom Ökoinstitut getestet wurden

Hersteller	Preis pro qm Absorber in DM	Kollektortyp
Amcor	540,00	Flachkollektor
AR-CON	539,60	Flachkollektor
Batec Solvarme	580,32	Flachkollektor
Bayrische Ray Wärmetechnik	1062,00	Flachkollektor
Buderus	1100,00	Flachkollektor
Christeva	2687,00	Vakuumkollektor
	1067,04	Flachkollektor
Dornier-Prinz	2205,76	Vakuumkollektor
Fyrogenis	772,95	Flachkollektor
Helioakmi	713,00	Flachkollektor
Hitachi	1804,12	Vakuumkollektor
Ikarus Solar	565,68 - 604,83	Flachkollektor
Intersolar	566,00	Flachkollektor
Klößner	1097,67 - 1646,50	Vakuumkollektor
Microtherm	1621,80	Vakuumkollektor
Mildebrath	767,57	Flachkollektor
Müller Energietechnik	794,62	Flachkollektor
Ökosol	999,73	Flachkollektor
Paradigma	2079,17 - 2139,00	Vakuumkollektor
	675,70 - 726,33	Flachkollektor
Reichherzer	888,89 - 1023,81	Flachkollektor
Robert Geiger	650,00	Flachkollektor
SE-System	723,63	Flachkollektor
Set	902,15	Flachkollektor
Solar Diamand	930,17	Flachkollektor
Solarhart	713,01	Flachkollektor
Solatherm	1863,33	Vakuumkollektor
Solvis	679,61 - 733,82	Flachkollektor
Sonnenkraft	431,25 - 569,25	Flachkollektor
Stefan Nau	984,67	Flachkollektor
Stiebel Eltron	1566,67 - 2035,50	Vakuumkollektor
	963,28	Flachkollektor
Sunset	580,03 - 591,40	Flachkollektor
Thermosolar	1409,50	Vakuumkollektor
	826,72	Flachkollektor
Viessmann	2814,00	Vakuumkollektor
	1074,00	Flachkollektor
Wagner	562,46	Flachkollektor
Zentrum Solarenergie	564,83	Flachkollektor

6 Die Hersteller von selektiv beschichteten Absorbern

Eine genaue Analyse der in der Schweiz getesteten Kollektoren zeigt eindeutig, daß die nicht selektiv beschichteten Absorber leistungsschwächer sind, als die selektiv beschichteten Absorber. Selektiv beschichtete Absorber haben einen um mindestens 30 Prozent höheren Wirkungsgrad als die nicht selektiv beschichteten Absorber.

Im wesentlichen gibt es vier Anbieter von selektiv beschichteten Absorbern und zwar sind dies die Firmen:

- MTI mit Sitz in New Jersey,
- GIBO mit Sitz in der Bundesrepublik und einer Produktionsstätte in Polen
- die Firma Sunstrip mit Standort in Schweden (Produktion in Kanada).
- die Firma North Star mit Sitz in Los Angeles

Die Firma MTI wird geführt von einem Mr. Rangunata. Mr. Rangunata ist ein Inder mit amerikanischer Staatsbürgerschaft, der regelmäßig einmal im Jahr nach Deutschland kommt und seine Kunden besucht. MTI beschichtet Folien und Blech. Aufträge werden ab einer Größe von 100 qm angenommen. Es wird sowohl Bandware als auch Kundenmaß gefertigt.

Seit ca. 1-2 Jahren ist die Firma GIBO in Deutschland aktiv. Die Firma GIBO tritt vor allem als Mitbewerber der Firma MTI auf und beschichtet sowohl Kunden- als auch Bandmaße in Polen. Nach eigenen Angaben produziert die Firma GIBO pro Jahr ca. 50.000 qm Absorber. Damit bedient sie ca. 50 % des deutschen Marktes. Eine Anfrage bei der Allgemeinen Kreditversicherung war positiv.

Seitens des Herrn Dr. Herlitze wurde mit der Firma GIBO ein Treffen vereinbart, um eine mögliche Zusammenarbeit auszuloten.

Zu den schwedischen Absorbern Sunstrip gibt es lediglich die Auskunft, daß deren Marktanteil zurück geht.

Die Firma North Star verarbeitet Halbzeuge von MTI.

Die Preise für einen qm selektiv beschichteten Kupferabsorber liegen nach Auskunft der Firma Solvis zwischen 60 und 70 DM. Seitens der Firma GIBO wird von qm-Preisen um die 50 DM gesprochen.

Da sich die Anzahl der verschiedenen Absorbertypen auf einige wenige beschränkt, ist es heute üblich, daß Kollektorhersteller komplett beschichtete Absorber einkaufen und nicht selbstkonstruierte Absorbertypen beschichten zu lassen.

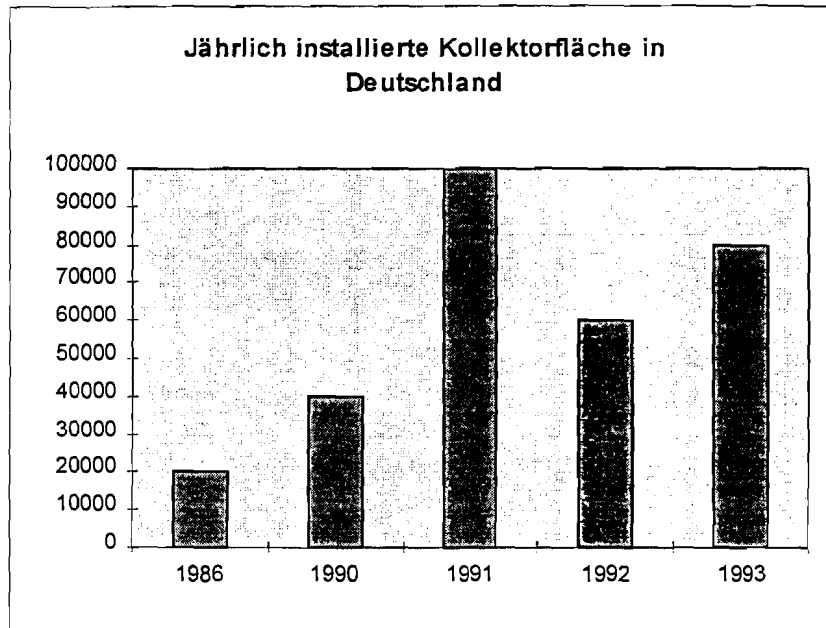
Nach einem kürzlich anonym durchgeführten Markttest, hat auch die Firma Thermosolar, Regensburg eine Beschichtungsanlage in Betrieb genommen. Es ist nicht bekannt, an welchem Standort sich die Anlage befindet.

Die Firma Dornier betreibt in Peking ein Forschungsinstitut, welches einen mittels Sputtertechnologie hergestellten Absorber in Rappersville getestet hat.

7 Marktvolumen in Deutschland und Europa

Der jährliche Umsatz in der Solarbranche wird seitens des DFS für die Bundesrepublik auf ca. 200 Mio DM geschätzt. Nach Angaben des Deutschen Fachverbandes Solarenergie e. V. steigt der Solarmarkt jährlich stetig, seit 1986 im Mittel um rund 20 - 25 %.

Die Graphik zeigt, daß die jährlich installierte Kollektorfläche von rund 20.000 qm 1986 auf etwa 80 - 100.000 qm 1993 stieg.



Die positive Ausnahme von der Regel ereignete sich im Jahr 1991, als knapp 100.000 qm Kollektorfläche installiert werden konnten. Verursacht wurde dieser Ausreißer damals offensichtlich dadurch, daß die Bundesregierung für die alten Bundesländer die steuerliche Abschreibung nach § 82a zum Jahresende auslaufen ließ. Um genauere Zahlen zu ermitteln, führt der DFS zur Zeit eine Umfrage unter den Herstellern durch. Im August sollen die Ergebnisse vorliegen.

Die folgende Tabelle zeigt die jährlich installierte Kollektorfläche in Europa. Die Zahlen stammen von der Firma Solvis und basieren auf subjektiven Schätzungen.

Land	qm/Jahr
Griechenland	150
Spanien	10.000
Italien	5.000 - 10.000
Schweiz	20.000
Österreich	100.000
Deutschland	80.000
Niederlande	10.000
Dänemark	5.000 - 10.000
Schweden	5.000

Die langfristige Entwicklung des Solarmarktes hängt entscheidend von politischen Rahmenbedingungen ab. Eine mögliche Erhöhung der Kosten konventioneller Energieträger (CO₂-Steuer) und ein weiter steigendes Umweltbewußtsein der Verbraucher werden den Anteil solarer Energie steigen lassen. Die Frage ist nur, in welcher Zeit, mit welcher Rate dieser Anteil wächst. Alle verfügbaren quantitativen Aussagen zu dieser Thematik sind subjektive Schätzungen. Eine Statistik wird derzeit von den Verbänden installiert, aus der sich Tendenzen ableiten lassen.

8 Problemfelder des Solar-Marktes

Die Nutzung der Sonnenenergie steht stets vor einem grundsätzlichen Problem. Die gewonnene Energie muß gespeichert werden. Diese Speicherung ist erforderlich, da die Energiegewinnung und die Nutzung zeitlich häufig sehr weit auseinanderfallen. Einzig und allein bei den Kollektoren für Schwimmbäder ist dieses nicht der Fall und darum sind auch Schwimmbadabsorber wirtschaftlich eher teilweise sogar den konventionellen Energiequellen überlegen. Eine kw/h bei einem Schwimmbadabsorber

kostet im Durchschnitt 5 Pf. In diesem Falle ist weder eine Speicherung, noch eine zusätzliche konventionelle Heizungsanlage nötig.

Alle anderen bisher im Einsatz befindlichen Solaranlagen sind selbst mit einer durchschnittlichen staatlichen Förderung in Höhe von 30% 3-4 mal so teuer, wie herkömmliche Energieträger. Im günstigsten Fall (solares Nahwärme-Konzept) kostet die kw/h Sonnenenergie mindestens 20 Pf.

Die Solartechnik ist in starkem Maße abhängig von staatlicher Förderung und von den Preisen herkömmlicher Energieträger. Aus diesem Grund wird seitens der Kollektorhersteller versucht, bei Sonnenenergie nicht über den Preis mit herkömmlichen Energieträgern zu konkurrieren, sondern es wird vielmehr an das gestiegene Umweltbewußtsein der Käufer appelliert. Darüber hinaus wird angeführt, daß bei einem „Mercedes Benz 500“ auch niemand nach der Wirtschaftlichkeit fragt. Man solle doch einen Sonnenkollektor kaufen, um damit Prestige und soziales Ansehen (Imageverbesserung) zu demonstrieren.

Ein weiteres Problem ist die Tatsache, daß die passive Nutzung der Sonnenenergie, wie z. B. die verbesserte Wärmedämmung von Dachboden und Wänden, und der Einbau von Wärmeschutzglas mit einem äquivalenten Energiepreis von ca. 10 Pf pro kw/h bewertet wird und damit wesentlich preiswerter als Solarenergie ist. Das bedeutet, daß die Solarenergie sinnvollerweise erst dann zum Einsatz kommen sollte, wenn alle passiven Maßnahmen ausgeschöpft worden sind.

Daraus folgt wiederum, daß sinnvollerweise die Solarenergienutzung nur in Neubauten, in denen eben diese passiven Maßnahmen von vornherein berücksichtigt worden sind, ergänzend zum Einsatz kommen sollten und zwar insbesondere nicht für jedes individuelle Wohn- oder Bürogebäude, sondern als „solares Nahwärmesystem“ für eine größere Siedlung, weil erst dann eine vernünftige wirtschaftliche Speicherung der Energie möglich wird.

Dies ist auch der Grund dafür, daß von der Bundesregierung zur Zeit mehrere solcher Konzepte über einen Zeitraum von bis zu 10 Jahren gefördert werden, um Erfahrungen mit dieser Technologie zu gewinnen.

Verwendet man die Solarenergie zum Beispiel für eine Klimaanlage, in Verbindung mit einer Adsorptions-Kältemaschine, ließe sich das grundsätzliche Problem des zeitlichen Unterschiedes zwischen Energieangebot und -nachfrage lösen. In diesem Anwendungsbereich gibt es erste Erfahrungen. INTERPANE arbeitet in diesem Feld mit der Firma Götz in Würzburg zusammen. Technisch ist dieses Problem gelöst und wurde auf dem letzten DGS-Symposium in Stuttgart im Juni vorgestellt.

10 Quellenverzeichnis

- Tagungsband des 4. Symposiums „Thermische Solarenergie“ vom 09. - 10. 06.1994 in Staffelstein.
- Tagungsband des 9. Internationalen Sonnenforums 1994 „Energie für die Zukunft“ vom 28. 06. - 01. 07. 1994 in Stuttgart (Band 1 und 2).
- Ladener Heinz „Solaranlagen“, erste Auflage, Freiburg 1993.
- Bundesministerium für Wirtschaft „Erneuerbare Energien verstärkt nutzen“, Bonn 1993.
- Forschungsverbund Sonnenenergie, Themen 1993/1994, Köln 1994.
- Arbeitsgemeinschaft Wohnberatung e. V. (AGW) „Von der Sonnenwärme zum warmen Wasser“, Bonn 1992.
- Sonnenenergie und Wärmetechnik, Ausgabe Mai/Juni , März/April 1994, Bielefeld 1994.
- Sonnenenergieheft 3, Juni 1994, München 1994.
- Seminarbericht „Energiesparender Wohnungsbau und solare Nahwärmeversorgung“ der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie e. V. vom 22. 02.1994, Berlin.
- Ökotest, Heft Juni 1994.
- Solarenergie Prüf- und Forschungsstelle Rapperswill „Leistungsdaten thermischer Sonnenkollektoren“ Mai 1994.
- Artikelrecherche in der FAZ, Handelsblatt und Wirtschaftswoche zum Thema Sonnenenergie, Zeitraum 1992 - 1994.