

FORSCHUNGSBERICHT

Polymerschicht-Widerstände auf Leiterplatten

Autoren:

Dipl.-Ing. G. Grimm, VEB Elektronische Bauelemente Dorfheim

Doz. Dr. sc. H.-D. Langer, TU Karl-Marx-Stadt

Bearbeitungszeitraum:

5/86 bis 2/87 unveröffentlicht

1. Aufgabenstellung

Zur weiteren Miniaturisierung von SMD-Schaltkreisen auf Feinstleiterplatten (z. B. A/D-Wandler mit Lichtschachtanzeige) ist eine Technologie zur Realisierung von gedruckten Polymerschicht-Widerständen zu entwickeln.

Der prinzipielle Vorteil von Polymer-Pasten ($\leq 200^{\circ}\text{C}$) gegenüber Dickschichtpasten der Hybridtechnik auf anorganischer Basis ($\leq 850^{\circ}\text{C}$) besteht in der niedrigeren Einbrenntemperatur.

2. Internationaler Stand

Polymerschicht-Widerstände auf Leiterplatten sind international Stand der Technik.

In /1/, /2/ wird über Widerstände auf Epoxidharz- und Polyimidbasis mit Kohlenstoff-Teilchen als leitfähiger Komponente berichtet. Die Leiterplattenträger bestehen aus glasfaserverstärkten Polyimid-Laminaten.

Bild 1 gibt einen Überblick über die realisierten Bereiche des Flächenwiderstandes R_F in Abhängigkeit von der Kohlenstoff-Gewichtskonzentration C .

Nach einer Vortrocknung (80°C , 2 Std.) der siebgedruckten Schicht erfolgte das Einbrennen unter folgenden Bedingungen:

Polyimid-Harz - 250°C , 10 Std.,

Epoxid-Harz - 200°C , 10 Std.

Als wichtige Entwicklungstrends sind festzustellen:

- Erweiterung des Pastensortiments in Richtung niedriger (/1 /) bzw. niedrigster (/ 1 /) sowie sehr hoher Flächenwiderstände ($100 \text{ k}\Omega/\text{cm}^2$),
- Niedertemperatur- und Kurzzeit-Einbrennverfahren (UR-, UV-, MW-, Laser- und Korpuskularstrahl-Verfahren, s. Tabelle 1),

- Realisierung feinerer Strukturen unter Einsatz der Maskenstrahlung /4/ bzw. des Laserschreibens /6/,
- Entwicklung von Pasten bzw. anderen Kompositen auf Polymerbasis für Spezialanwendungen der Elektronik; dazu gehören folgende Beispiele:
 - a) Metallpulver-Polymer-Komposit für Schaltkontakte /7/ (Zusammensetzung: Ag, SiO₂, PTFE, Epoxidharz): Die intensive Gasentwicklung der erhitzten Polymere sorgt für eine schnelle Ausbreitung des Schalt-Lichtbogens, wodurch eine Verschleißminderung am Kontakt eintritt.
 - b) Kohlenstoff-Silikongummi-Komposit für Tastaturen /8/: Es erfolgt eine Kombination der Leitfähigkeitseigenschaften der Kohlenstoff-Partikel mit den elastischen Eigenschaften des Silikongummis.
 - c) Kohlenstoff/kristallines Polymer-Komposit für PTC-Bauelemente zum Überstromschutz /9/: Man nutzt die diskontinuierliche Volumenänderung am Schmelzpunkt des kristallinen Polymers, um von niedrigem Widerstand auf hohen zu schalten. Die Schmelzwärme wird durch den Überstrom selbst aufgebracht.

Die Einführung nichtkonventioneller Einbrennverfahren geht nicht einher mit Einbußen in den Schichtparametern, im Gegenteil, es wird der Vorstoß in neue Eigenschaftsbereiche möglich und es werden die verfahrenstechnische Flexibilität und die Produktivität entscheidend erhöht. Dies geht teilweise aus Bild 2 hervor, in dem die mit dem Infrarot-Einbrennverfahren /3/ erzielten Bereiche des Flächenwiderstandes (R_F) und des Temperaturkoeffizienten des Widerstandes (TCR) über der Prozeßtemperatur aufgetragen sind. Parameter ist die Aufheizgeschwindigkeit.

Für zwei ausgewählte R_F -Werte (horizontale Linien) erfolgt unter Angabe der Prozeßtemperatur und -dauer ein Vergleich mit dem konventionellen thermischen Einbrennverfahren.

Bild 3, in dem die relative Änderung von Polymerschicht-Widerständen im Betriebstemperaturbereich dargestellt ist /2/, weist darauf hin, daß Leiterplatten-Material als Schichtträger besser geeignet ist als Substrat-Keramik auf Al₂O₃-Basis.

Tabelle 1: Überblick zu modernen Einbrennverfahren der Polymerdickschicht-Technik (Widerstandspasten)

Art der Energiezuführung beim Einbrennen	typische Verfahrensparameter	Literatur		
	Einbrenntemperatur °C	Temperaturanstiegs- geschwindigkeit °C min ⁻¹	Einbrenndauer	
KONVENTIONELLE Ofenheizung (Luft)	→ 250°C (Polyimid-Paste) → 200°C (Epoxidharz-Paste)		10 Std.	/ 1 /
Infrarot-Strahlung (Luft, N ₂)	170°C		→ 2 Std.	/ 2 /
Ultraviolett- Strahlung (Masken- belichtung)	< 260°C	≈ 30		/ 3 /
Mikrowellen- Strahlung	20°C (bei MW-Behandlung) 150°C (bei der konventionel- len therm. Nachbehand- lung)		→ 20 min (MW-Behandlung) → 3 Std. (therm. Nach- behandlung)	/ 5 /
Laserscanning	auf Schichtvolumen begrenzte hohe Temperatur	extrem hoch im Schicht- volumen		entspr. Schreib- geschwindigkeit / 6 /

4.5 Drift nach elektrischer Belastung

Die Widerstände wurden einer elektrischen Last von 3 mW pro mm^2 Widerstandsfläche bei einer Umgebungstemperatur von $T_U = 55^\circ\text{C}$ unterzogen. Infolge der Temperatureinwirkung ist mit einem "Nachbrenneffekt" zu rechnen, der umso größer ist, je kleiner die vorangegangene Einbrenntemperatur und -zeit war.

Hochohmige Pasten besitzen ein extremeres Widerstands-Einbrenntemperatur-Verhalten, so daß die Driftwerte auch höher ausfallen, wie Bild 7 zeigt.

Kleine Driftwerte erfordern hohe Einbrenntemperaturen.

Werden niedrige Einbrenntemperaturen gewünscht, muß entweder mit höheren Driftwerten gerechnet werden oder es muß die elektrische Belastung des Widerstandes vermindert werden.

4. Zusammenfassung

Es konnte gezeigt werden, daß die Realisierung von gedruckten Widerständen auf Cevausit-Basismaterial (KSG) mit M-Pasten (EBD) möglich ist.

Die Einbrenntemperatur sollte $>160^\circ\text{C}$ betragen, die Einbrennzeit 3 Stunden.

Die ermittelten Driftwerte sollten mit den Anforderungen verglichen werden, um evtl. weitere Optimierungen vornehmen zu können.

Literatur

- /1/ S.-L. Fu u. M. : IEEE Trans. CHMT-4,3 (1981) 283
- /2/ G. Castelli u.M.: Proc. 5. European Hybrid Microelectronics Conf., Stress, Italien (1985)
- /3/ E. Lo u. M. : ebenda, S. 537
- /4/ E.K. Browne u. M. : ebenda, S. 514
- /5/ A. J. Berteand u. M. : ebenda, S. 521
- /6/ M. Segawa u. M. : ebenda, S. 506
- /7/ B. Gengenbach u. M. :
IEEE Trans. CHMT-8,1 (1985) 52
- /8/ T. Tamai : IEEE Trans. CHMT-5,1 (1982) 56
- /9/ F.A. Doljack : IEEE Trans. CHMT-4,4 (1981) 372

3. Experimentelle Untersuchungen zur Verfahrensentwicklung

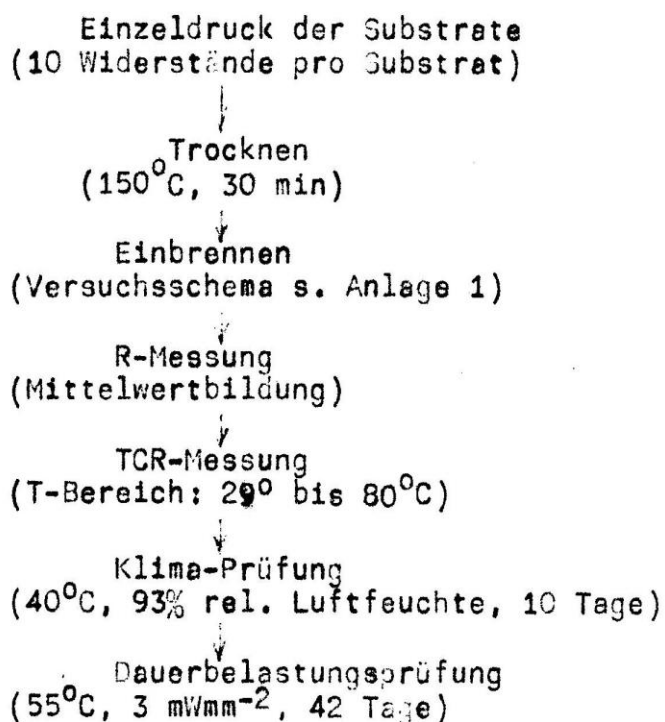
3.1. Verwendete Materialien

- Leiterplatten-Trägermaterial:
Cevaunit-Feinstleiterplatten, strukturiert,
35 μm Cu, ca. 5 μm Au, Abmessungen: 30 x 50 mm^2
(Hersteller: VEB KS Gornsdorf)
- Pasten-Material:
Epoxidharz/Phenolharz mit Azetylenruß, Typ M
(Hersteller: VEB EB Dorfheim)
Paste A: $R_F = 0,5 \text{ k}\Omega$
Paste B: $R_F = 2 \text{ k}\Omega$
Paste C: $R_F = 10 \text{ k}\Omega$

3.2. Verfügbare Ausrüstungen

- Arbeitsgang Drucken: . Siebdruckautomat CG 25
. Siebmaterial: Edelstahlsiebgewebe 250 mesh
. Rakelgeschwindigkeit: 100 mm^2s^{-1}
. Siebabsorption: 0,7 mm
- Arbeitsgänge Trocknen, Einbrennen:
Wärmeschrank WSU 200

3.3. Prozeßablauf (Schichtherstellung, Messung, Prüfung)



4. Ergebnisse und Diskussion

4.1 Technologische Verarbeitbarkeit

Die verwendeten Pasten der M-Serie, die problemlos verarbeitbar waren, bilden nach dem Einbrennen einen relativ elastischen Film, so daß die Höhendifferenz zwischen vergoldetem Leiterzug und Substratoberfläche ohne Ribbildung überwunden wird. Trotzdem wird empfohlen, zukünftig 20,um- bzw. 17,um - Cu - Folie zu verwenden. Ein Verziehen der Substrate durch den Einbrennvorgang ist nicht auffällig. Der genaue Wert sollte ermittelt werden, wenn eine größere Stückzahl an Substraten zur Verfügung steht.

Bei Einbrenntemperaturen ab 160°C tritt eine zunehmende Braunfärbung des Trägermaterials ein.

Das Institut für Technologie der Fasern Dresden konnte dazu keine Untersuchungen vorweisen, mißt der Braunfärbung jedoch keine Bedeutung hinsichtlich Qualitätsverringering bei (mechan. Eigenschaften).

4.2 Erzielte Widerstandswerte

Die erzielten Widerstandswerte (Flächenwiderstand) in Abhängigkeit von der Einbrenntemperatur sind in Bild 4 dargestellt.

Wie zu erwarten war, verringert sich der Flächenwiderstand mit zunehmendem Einbrenngrad. Der Flächenwiderstand ist auf Cevausit-Basismaterial niedriger als auf dem im EBD verwendeten Hartpapier 2062.8. (Der angegebene Flächenwiderstand der Pasten bezieht sich auf die Anprobe auf Hartpapier.)

4.3 TCR-Messung

Es wurde nur der sogenannte Heiß-TCR gemessen in einem Temperaturbereich zwischen + 80°C und der zur Meßzeit herrschenden Raumtemperatur von + 29°C. Das Ergebnis ist in Bild 5 aufgetragen. Niedrige Einbrenntemperaturen ergeben einen positiven TCR-Wert, bei etwa 135°C wird Null erreicht, höhere Einbrenntemperaturen sind mit negativen TCR-Werten verknüpft. Der maximale TCR-Wert liegt um - 1000 ppm/K und ist mit üblichen Festwiderständen vergleichbar.

4.4 R-Drift nach Klimabeanspruchung

Infolge Klimaeinwirkung kommt es zu einer Widerstandsdrift (Bild 6). Der Widerstandswert steigt an. Hochohmige Pasten reagieren stärker als niederohmige. Die günstigsten Driftwerte erreicht man mit Einbrenntemperaturen >150°C.

Der Widerstandswert ist reversibel.

Anlage 1: Versuchsprogramm (Einbrenntemperatur und -dauer für die verschiedenen Pasten)
 mit Zuordnung zur Probennummer:

Die Zahlen 1 bis 27 entsprechen den Substratnummern.
 (Jedes Substrat enthält 10 Widerstände).

	120°C	140°C	160°C	180°C
	3 h	3 h	1 h 2 h 3 h	0,5 h 1 h 2 h 3 h

Paste A
 $R_F = 0,5 \text{ k}\Omega$

27	26	25	24	23	22	21	20	19
----	----	----	----	----	----	----	----	----

Paste B
 $R_F = 2 \text{ k}\Omega$

18	17	16	15	14	13	12	11	10
----	----	----	----	----	----	----	----	----

Paste c
 $R_F = 10 \text{ k}\Omega$

9	8	7	6	5	4	3	2	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---

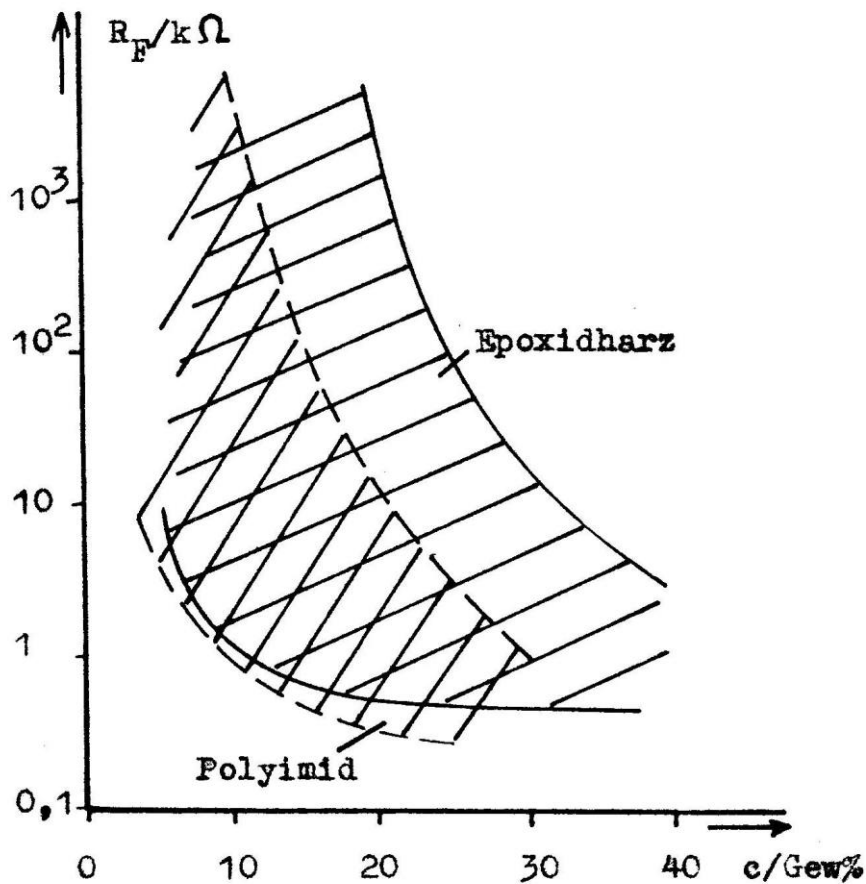


Bild 1: Flächenwiderstandsbereiche von Polymerschichtwiderständen auf Epoxidharz- bzw. Polyimid-Basis in Abhängigkeit von der Kohlenstoffkonzentration /1/

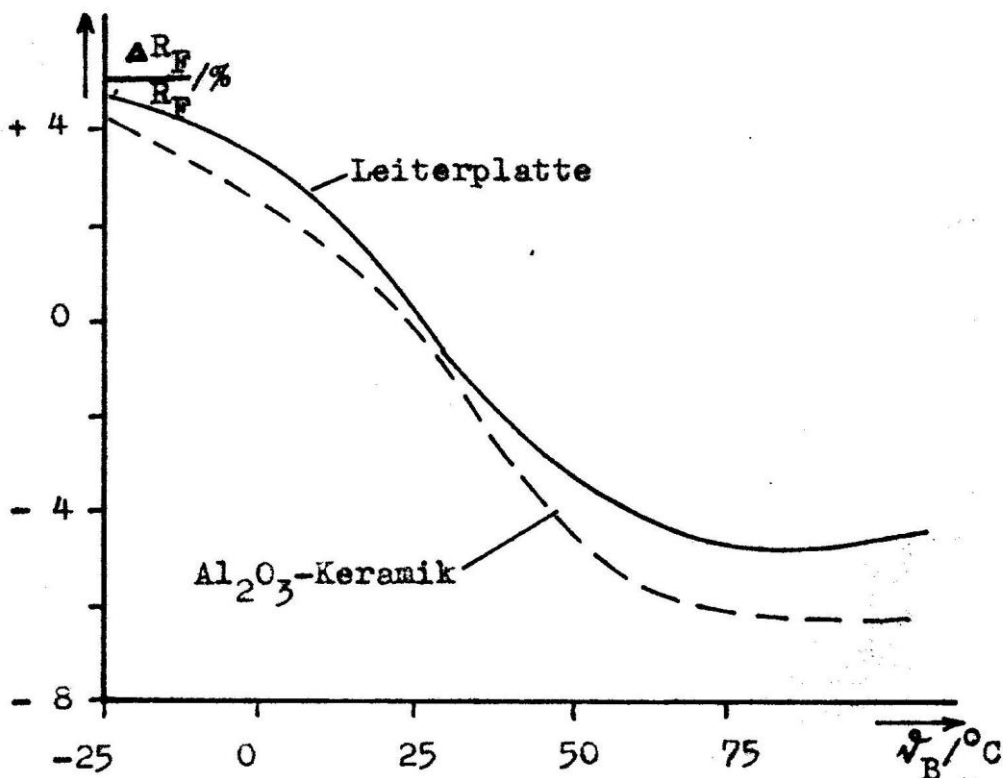


Bild 3: Relative Änderung des Flächenwiderstands von Polymerschichten in Abhängigkeit von der Betriebstemperatur (Vergleich Leiterplatten-/Keramik-Substrat)

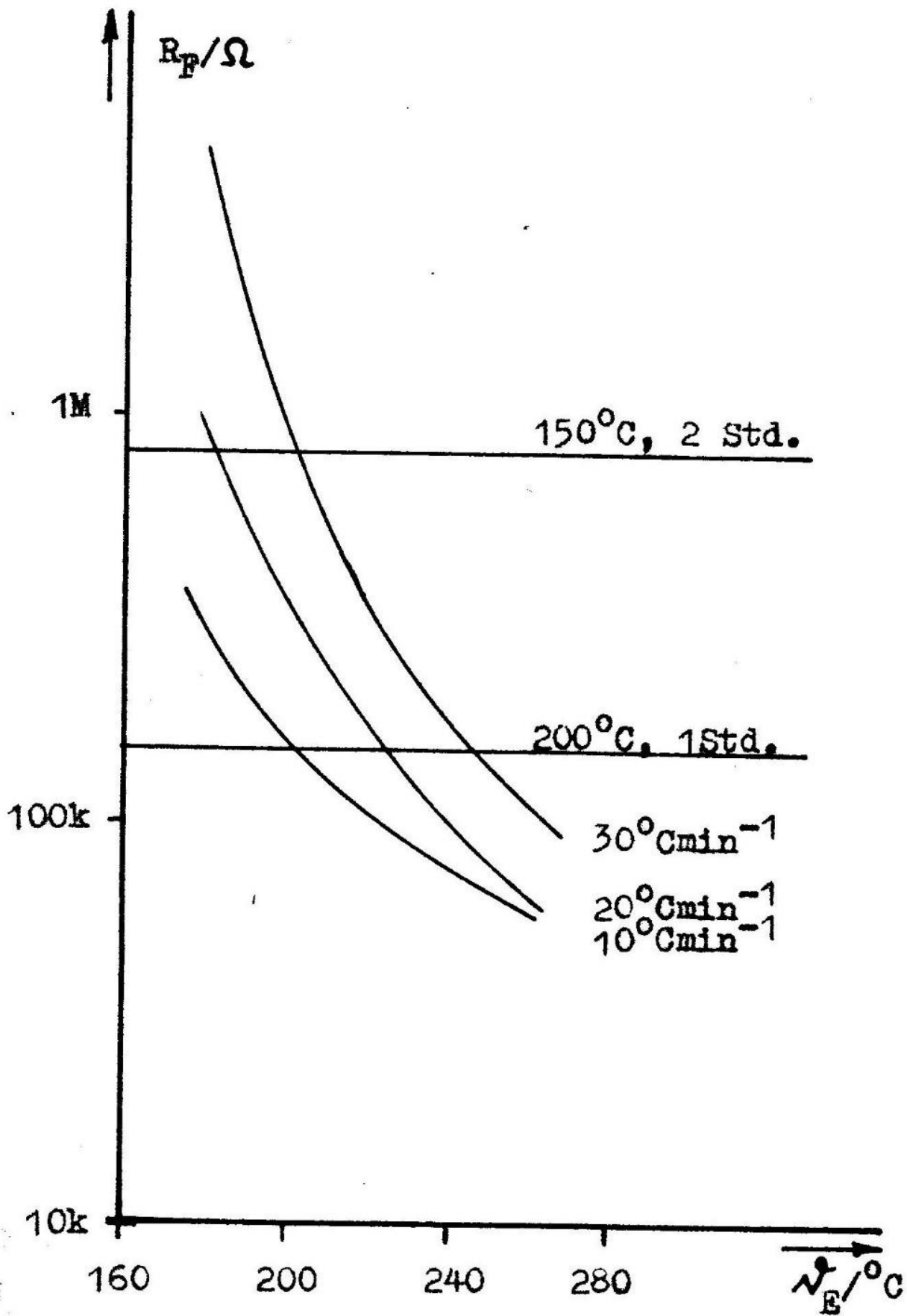


Bild 2a) $R_F(T_E)$

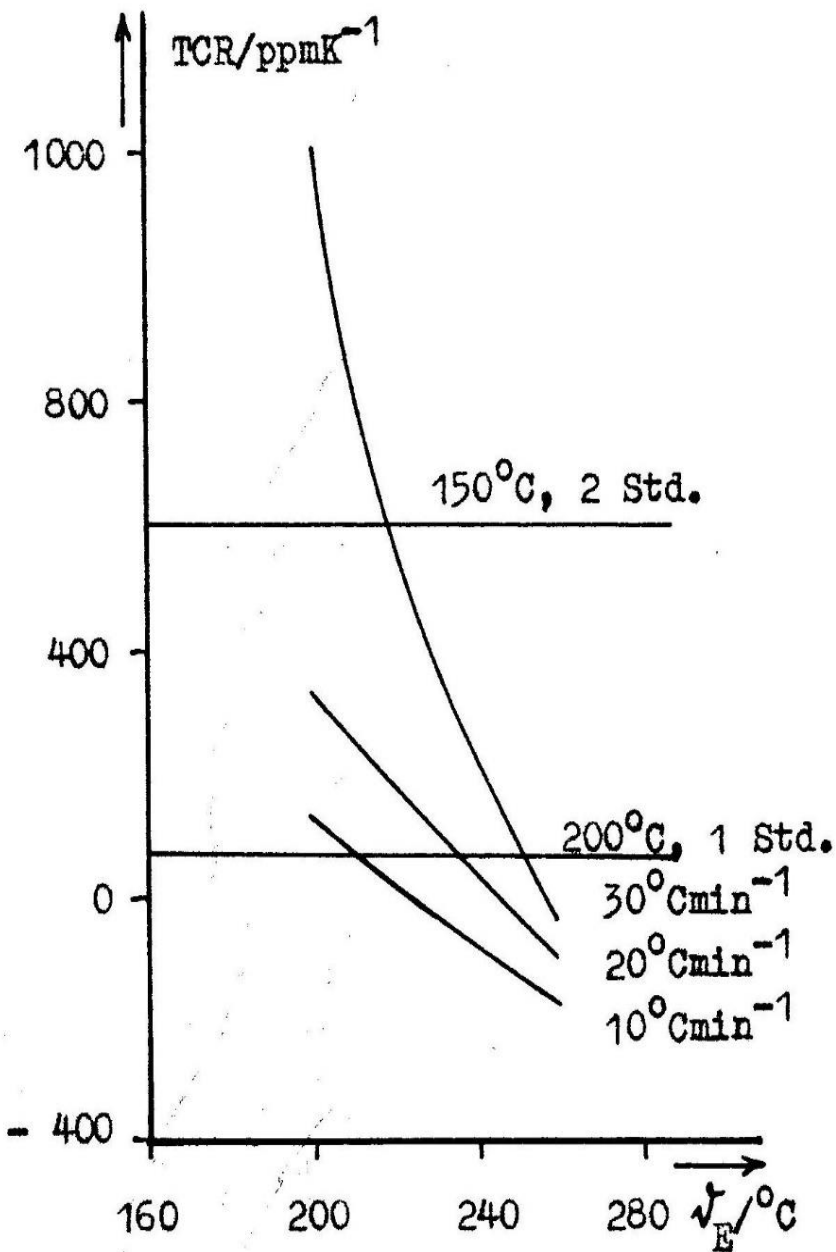


Bild 2b) TCR(T_E)

Bild 2: Flächenwiderstand und Temperaturkoeffizient des Widerstands in Abhängigkeit von der Einbrenntemperatur (Vergleich konventionelles/Infrarot-Einbrennverfahren)

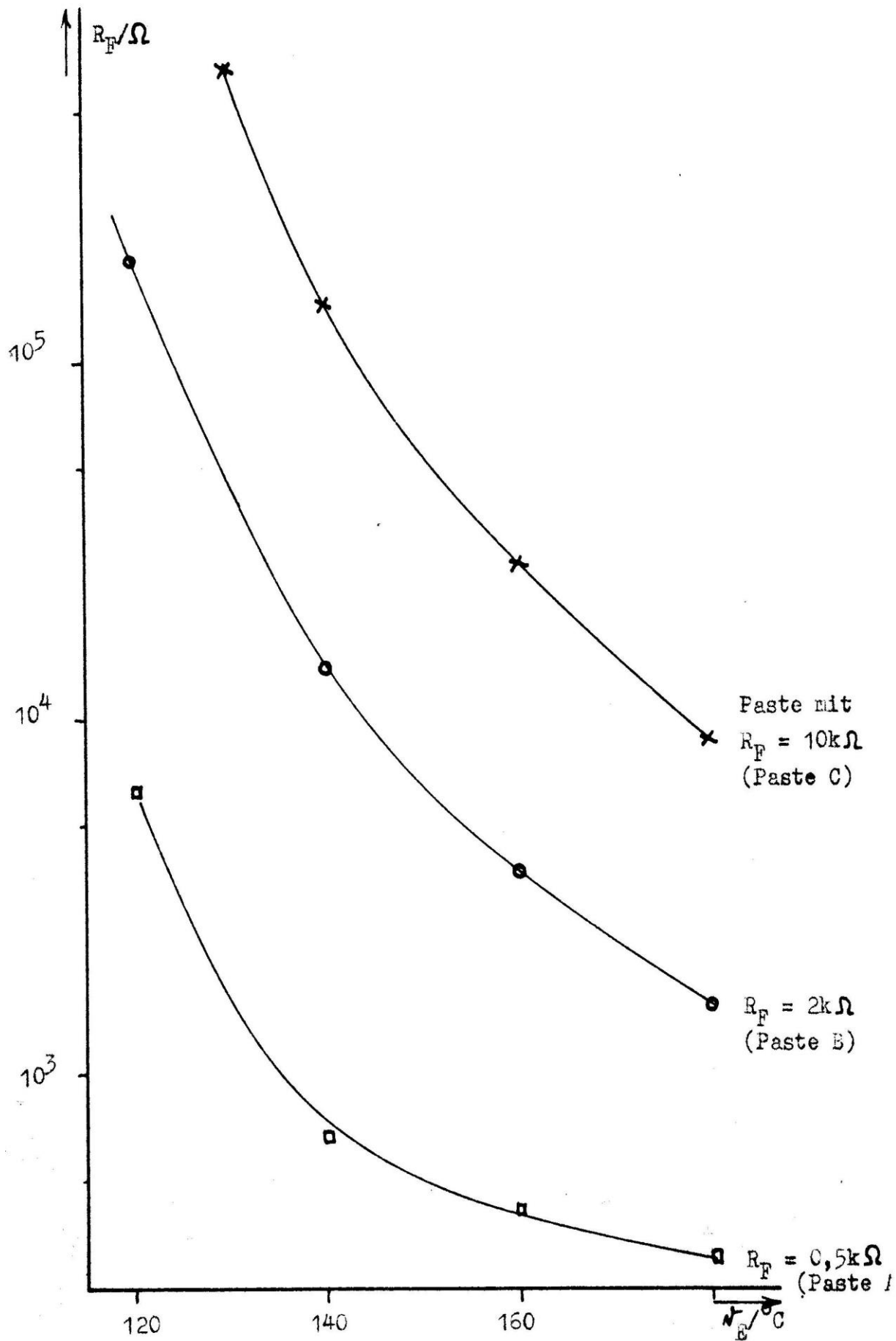


Bild 4: Flächenwiderstand verschiedener Pasten auf Ceva-sil-Leiterplatte in Abhängigkeit von der Stribrenntemperatur (Einbrennzeit: 3 Std.)

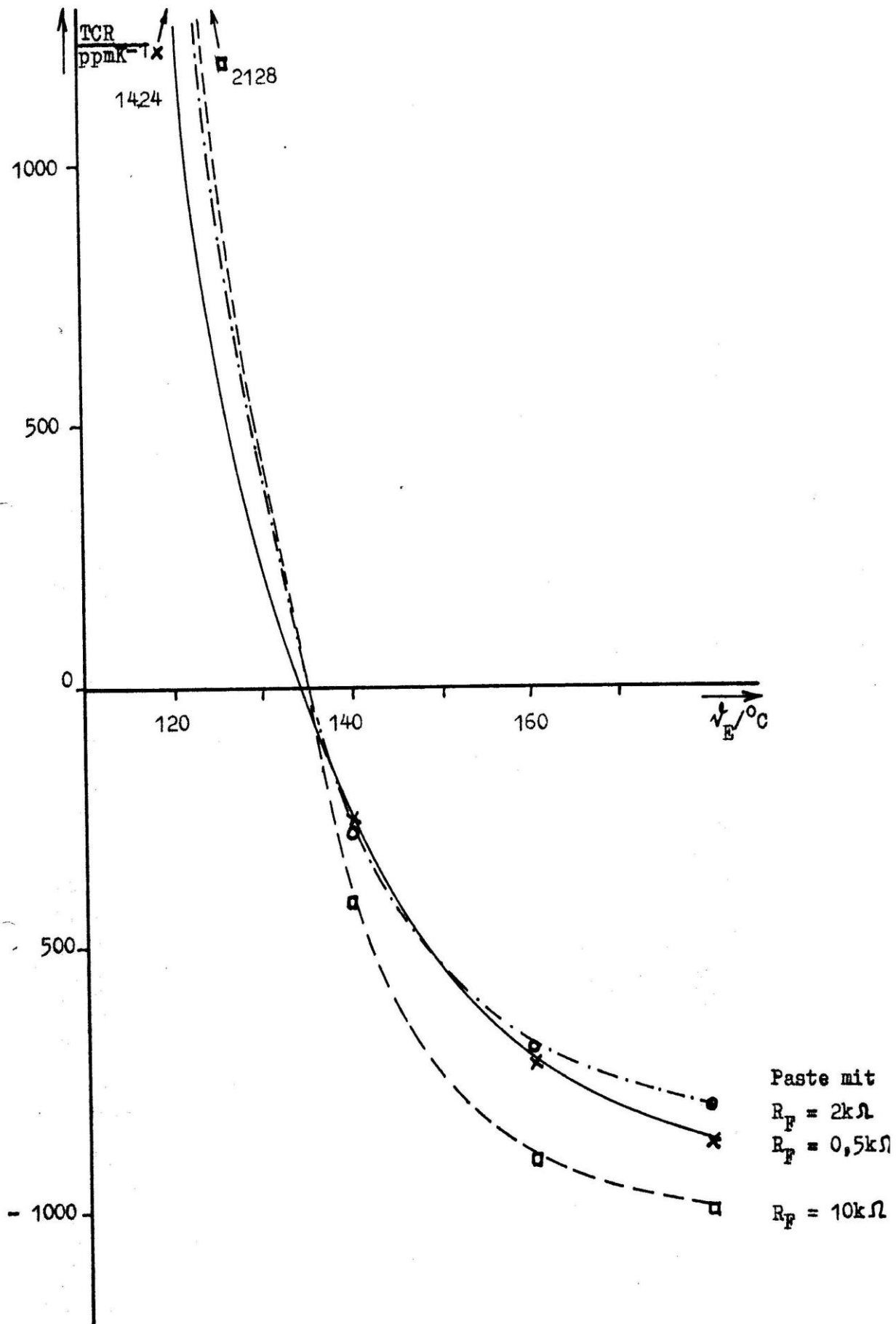


Bild 5: TCR in Abhängigkeit von der Einbrenntemperatur auf Cevausit-Leiterplatte (Einbrennzeit: 3 Std.)

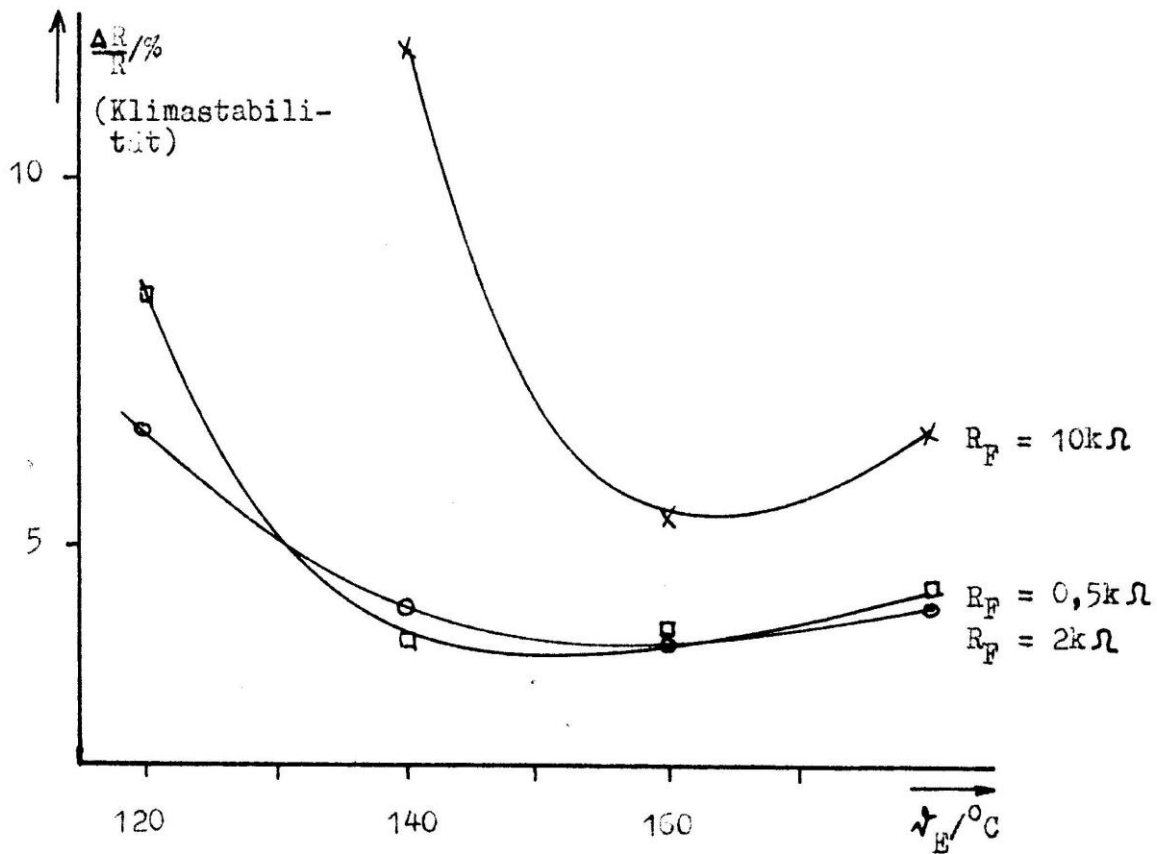


Bild 6: Klimastabilität in Abhängigkeit von der Einbrenntemperatur (Belastung: $0,9\text{ mW/mm}^2$): R_F als Parameter, Einbrennzeit 3 Std.

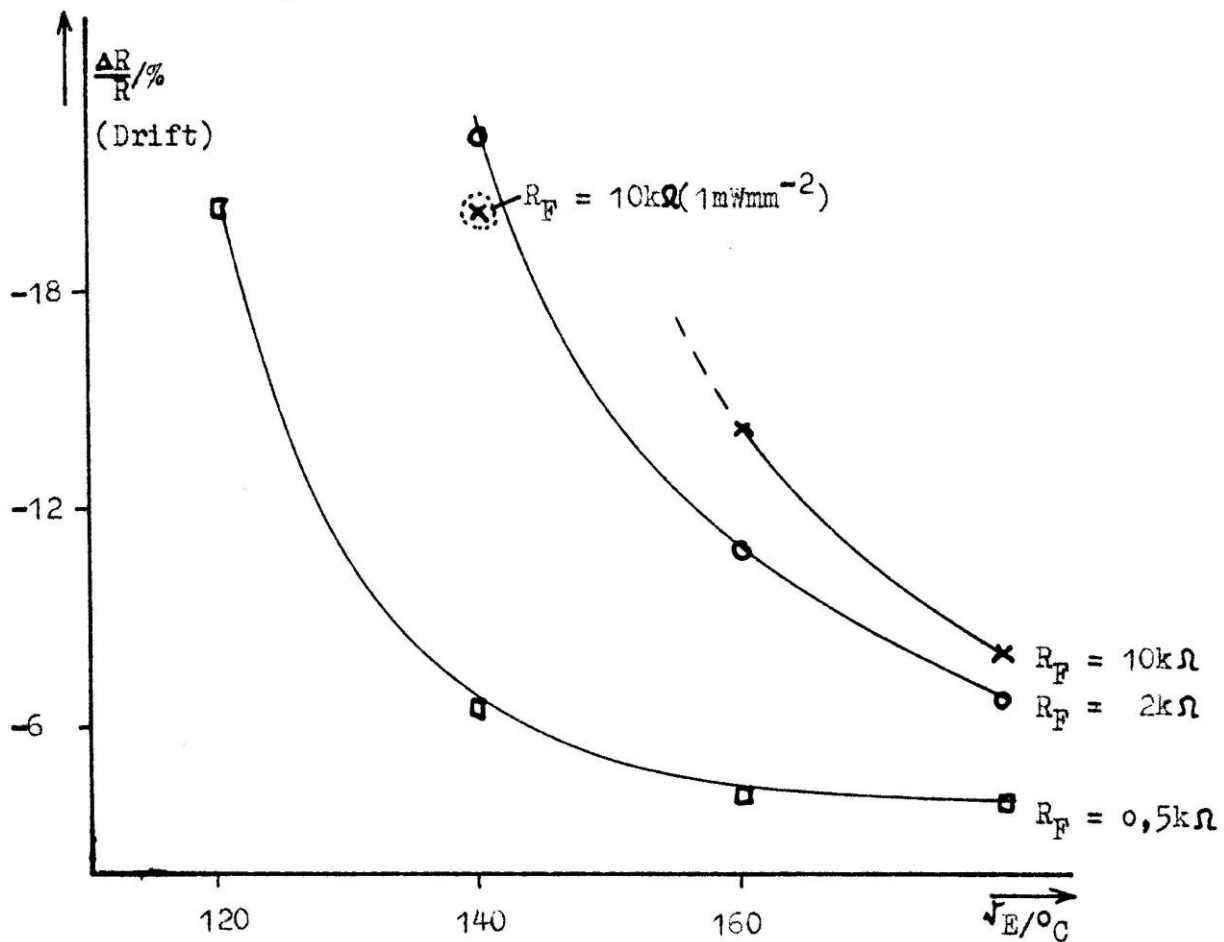


Bild 7: Drift nach elektrischer Dauerbelastung in Abhängigkeit von der Einbrenntemperatur (Belastung: 3 mW/mm^2): R_F als Parameter