

**Nur zum Dienstgebrauch im Ge-  
schäftsbereich des Empfängers**

F. 5

# **Deutsche Kraftfahrtforschung**

im Auftrage des

**Reichs-Verkehrsministeriums**

**TECHNISCHER FORSCHUNGSBERICHT**

**Zwischenbericht Nr. 127/1944**

**Das Temperaturverhalten von Personenkraftwagenreifen  
in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Innendruck**

Bericht aus dem

**Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren**

**an der Technischen Hochschule Stuttgart**

**Prof. Dr.-Ing. W. Kamm**

# Deutsche Kraftfahrtforschung

im Auftrage des

**Reichs-Verkehrsministeriums**

**TECHNISCHER FORSCHUNGSBERICHT**

Zwischenbericht Nr. 127/1944

**Das Temperaturverhalten von Personenkraftwagenreifen  
in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Innendruck**

Bericht aus dem  
Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren  
an der Technischen Hochschule Stuttgart

Prof. Dr.-Ing. W. Kamm

## **Zur Beachtung!**

Dieser Bericht ist bestimmt für die Arbeiten im Dienstgebrauch des Empfängers. Der Bericht darf innerhalb des Dienstgebrauchs nur an Persönlichkeiten ausgehändigt werden, die aus dem Inhalt Anregungen für ihre Arbeiten zu schöpfen vermögen. Verwendung zu Veröffentlichungen (ganz oder teilweise) sowie Weiterleitung an Persönlichkeiten außerhalb des Dienstgebrauchs des Empfängers ist ausgeschlossen. Der Bericht ist unter Verschuß zu halten.

### III

## Das Temperaturverhalten von Personenkraftwagenreifen in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Innendruck.

### Übersicht:

Durch Prüfstandsversuche auf einem Reifenprüfstand mit ebener Fahrbahn und auf der Lauftrommel wurde die Erwärmung von Reifen verschiedener Herkunft und Grösse, verschiedenen Aufbaus und Werkstoffes in Abhängigkeit von den die Erwärmung beeinflussenden Grössen, wie Fahrgeschwindigkeit, Innendruck, Belastung, Fahrdauer und Umgebungstemperatur, ermittelt. Die Messungen wurden vorwiegend mit dem FKFS-Einstichthermoelement in verschiedenen Einstichtiefen vorgenommen.

Durch Vergleichsversuche wurde der Unterschied der Reifenerwärmung beim Abrollen auf der Lauftrommel gegenüber der Fahrt auf ebener Fahrbahn festgestellt.

Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren an der Technischen Hochschule Stuttgart.

Institutsleiter:

ges. W.Kamm.

Gliederung:

Seite

|   |    |
|---|----|
| I. Einleitung . . . . .   | 1  |
| II. Versuchseinrichtungen . . . . .   | 2  |
| 1. Prüfstand mit ebener Fahrbahn . . . . .  | 2  |
| 2. Lauftrommelprüfstand . . . . .   | 2  |
| 3. Messgeräte . . . . .   | 2  |
| III. Vorversuche . . . . .  | 3  |
| 1. Versuchsdurchführung . . . . .   | 3  |
| 2. Der Einfluss der Fahrtdauer . . . . .  | 3  |
| 3. Der Einfluss der Umgebungstemperatur . . . . .   | 5  |
| 4. Der Einfluss der Reifenbelastung . . . . .   | 5  |
| IV. Reifentemperaturmessungen . . . . .   | 6  |
| 1. Versuchsdurchführung . . . . .   | 6  |
| 2. Die Temperaturverteilung im Reifen . . . . .   | 6  |
| 3. Der Einfluss der Fahrgeschwindigkeit . . . . .   | 7  |
| 4. Der Einfluss des Reifeninnendruckes . . . . .  | 8  |
| 5. Der Einfluss des Reifenwerkstoffes . . . . .   | 10 |
| 6. Der Zusammenhang zwischen Rollwiderstand und<br>Reifenerwärmung . . . . .  | 10 |
| V. Erfahrungen für die Durchführung von Reifentem-<br>peraturmessungen . . . . .  | 11 |
| 1. Temperaturverhalten des Reifens auf ebener<br>Fahrbahn und auf Lauftrommel . . . . .                                       | 11 |
| 2. Temperaturmessung mit Quecksilberthermometer<br>und Bestimmung der Reifentemperatur aus der<br>Innendrucksunahme . . . . . | 11 |
| VI. Zusammenfassung . . . . .   | 12 |

Abteilungsleiter:

gez. L. Huber

Bearbeiter:

gez. H. P. Zöpprits/  
W. Sander.

Stuttgart, den 25. Mai 1944

## I. Einleitung

Über das Temperaturverhalten des Reifens, der sich während der Fahrt durch innere Walkarbeit erhitzt, sind noch wenig zahlenmässige Unterlagen vorhanden. Während die Abhängigkeit der Reifenerwärmung von der Fahrgeschwindigkeit schon von Brunner <sup>1)</sup> durch Strassenversuche untersucht wurde, besteht über die Beeinflussung der Wärmeerszeugung durch Reifeninnendruck, Belastung, Fahrtdauer, Umgebungstemperatur, Reifenwerkstoff noch vielfach Unklarheit. Da die Temperaturverteilung im Reifen infolge ungleicher Walkbeanspruchung, Inhomogenität des Werkstoffs und schlechter Wärmeleitfähigkeit des Gummis sehr uneinheitlich ist, erfordert die Reifentemperaturmessung auch besondere Verfahren zur genauen Ermittlung der auftretenden Temperaturen <sup>2)</sup>.

Mit den üblichen Messverfahren ist es nicht möglich, sich ein genaues Bild über die Temperaturverteilung im Innern des Reifens zu machen. Mit der Temperaturmessung durch Auflegen eines Quecksilberthermometers auf die Reifenoberfläche, mit dem Errechnen der Temperatur aus der Zunahme des Reifendruckes nach dem Gay-Lussacschen Gesetz <sup>2)</sup> erhält man nur Vergleichswerte, aus denen man nicht auf die tatsächliche Innentemperatur schliessen kann. Auch die Messungen mit Einstichthermoelementen zeigten anfänglich infolge unzulänglicher Bauart der Einstichgeräte zu grosse Messfehler.

Brunner gelang es, durch Einbau von Thermoelementen an verschiedenen Stellen des Reifens über Verteilung und Höhe der im Reifen während der Fahrt auf der Strasse auftretenden Temperaturen Aufschluss zu erhalten. Sein Verfahren, bei dem die Thermostrome über Schleifringe auf ein Messgerät im Wagen übertragen werden, erfordert jedoch langwierige und umständliche Versuchsvorbereitungen und zwingt zur Beschädigung der Versuchreifen durch den Einbau der Thermolemente. Es eignet sich deshalb nicht zur schnellen Durchprüfung einer grösseren Anzahl von Reifen unter verschiedenen Bedingungen.

Die Messungen wurden daher in erster Linie mit dem im Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen Stuttgart entwickelten Einstichmessgerät <sup>2)</sup> durchgeführt, das gestattet, unter Verwendung eines Eichkurvenblattes schnell und ohne grossen Geräteaufwand an jeder beliebigen Stelle des Reifens und in jeder auf 1/10 mm genau einstellbaren Tiefe die jeweilige Temperatur festzustellen.

Die Untersuchungen wurden an dem FKFS-Prüfstand mit ebener Fahrbahn durchgeführt, auf dem der Reifen wie auf der Strasse abrollt. Auf den sonst für Reifenuntersuchungen allgemein verwendeten Lauftrommeln unterliegt der Reifen beim

1) W. Brunner, Erwärmung der Reifen von Personenkraftwagen bei hohen Fahrgeschwindigkeiten, Deutsche Kraftfahrtforschung, Heft 2, Berlin 1938.

2) H.P. Zoeppritz, Reifentemperaturmessungen, Arch. techn. Messen, V 2179 - 1 (März 1942).

Abrollen bekanntlich einer stärkeren Walkbeanspruchung, infolgedessen ist auch seine thermische Beanspruchung auf der Lauftrommel höher. Das Ausmass dieser andersartigen Beanspruchung wurde durch Vergleichsversuche ermittelt.

## II. Versuchseinrichtungen.

### 1. Prüfstand mit ebener Fahrbahn.

Der Prüfstand mit ebener Fahrbahn, auf dem die Messungen durchgeführt wurden, ist in Bild 1 dargestellt. Der Reifen a ist auf einer Nabe im Rahmen b gelagert. Der Rahmen b ist seinerseits in Kugellagern c (in Bild 1 verdeckt) gelagert. Die Radbelastung wird durch Anhängen von Gewichten d aufgebracht. Als Fahrbahn dient ein Stahlband e, das über zwei Trommeln geführt ist. An der Stelle, auf der der Reifen abläuft, stützt sich das Stahlband über einen Pressluftfilm auf einem Lagertisch f ab.

Der Prüfstand wird auch zu Rollwiderstandsmessungen benutzt und hat zu diesem Zwecke noch eine Reihe von besonderen Einrichtungen, auf deren Beschreibung hier verzichtet werden kann.

### 2. Lauftrommel-Prüfstand.

Zur Untersuchung der Temperaturverteilung im Reifen beim Abrollen auf einer gewölbten Fahrbahn wurden einige Versuche auf dem Trommelprüfstand durchgeführt. Dazu wurde eine Trommel von 1,06 m Durchmesser des Kraftwagenrollfeldes des Forschungsinstituts für Kraftfahrwesen Stuttgart verwendet, (Bild 2). Das Rad a ist an einem Balken b fliegend gelagert. Der Balken b seinerseits ist an einem Bock c schwenkbar angeordnet; an seinem freien Ende wird die Belastung auf eine Waagschale d aufgelegt.

### 3. Messgeräte.

Zu den Temperaturmessungen wurde, wie schon erwähnt, das in Bild 3 gezeigte FKFS-Einstichmessgerät verwendet, bei dem ein Thermoelement an der Spitze einer Hohlneedle angebracht ist. Das Thermoelement kann mit Hilfe der Nadel an jede gewünschte Stelle im Innern des Reifens eingestochen werden. Die am Handablesegerät abgelesene Temperatur muss infolge der für die Einstichmessung kennzeichnenden Wärmeableitung der Nadel mit Hilfe eines Eichkurvenblattes für jede Einstichtiefe noch berichtigt werden. Bild 4 zeigt ein derartiges Eichkurvenblatt für die bei den Messungen benutzten Einstichtiefen<sup>3)</sup>

Zur Messung der Oberflächentemperatur des Reifens wurde ein Quecksilber-Thermometer verwendet. Es wurde mit einem Riemen so an dem Reifen befestigt, dass seine Spitze in einer Profilmute möglichst eng mit dem Gummi in Berührung kam (Bild 5). Die Messstelle wurde mit einem an dem Riemen befestig-

3) Aufbau und Handhabung des Geräts sind in der unter<sup>2)</sup> angeführten Arbeit (Arch. techn. Messen, V 2179 -1) ausführlich beschrieben; vergl. a. Z. VDI Bd. 86 (1942) S. 21.

ten Filzstück überdeckt, um die Wärmeabfuhr zu verhindern.

Zur Messung der Zunahme des Reifeninnendruckes wurde ein geeichtes Röhrenfederanometer verwendet, das  $1/100$  at abzulesen gestattet. Das Manometer wurde bei jeder Messung mit einem kurzen Schlauch unmittelbar auf das Reifenventil aufgesetzt.

### III. Vorversuche.

In den Vorversuchen wurde zunächst der Einfluss von Laufzeit (Fahrtdauer), Umgebungstemperatur und Belastung auf die Reifentemperatur festgestellt. Sie sollten zugleich Unterlagen für die günstigste Durchführung der Reifentemperaturmessungen in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Innendruck liefern.

#### 1. Versuchsdurchführung.

Bei allen Versuchen mussten die einzelnen Messungen im Stillstand vorgenommen werden. Da sich der Reifen im Stillstand, wenn in seinem Innern keine Wärme mehr erzeugt wird, abkühlt und die Temperaturverteilung sich durch Abfuhr der Wärme vom Reifeninnern nach aussen ändert, mussten die Messungen so schnell wie möglich durchgeführt werden.

Jede Messung nach einem Versuchslauf bestand aus 10 Einzelmessungen mit dem FKFS-Einstichmessgerät in 5, 10 und 15 mm Tiefe an verschiedenen Stellen des Reifenquerschnittes (in Laufflächenmitte, zwischen Mitte und Schulter, in der Schulter und an der Seite), einer Reifendruckmessung zur Temperaturbestimmung nach dem Gay-Lussacschen Gesetz und einer Oberflächentemperaturmessung mit dem Quecksilberthermometer. Die Anordnung der Messstellen ist in Bild 6 gezeigt.

Da die Versuche zeigten, dass die Reifentemperatur im Stillstand infolge der erwähnten Wärmeabfuhr von innen nach aussen in 15 mm Tiefe am schnellsten absinkt, während sich die Temperatur in 10 mm Tiefe etwa 2 bis 3 min und in 5 mm Tiefe etwa 4 min hält, mussten die Messung des Reifendruckes und die Einstichmessung in 15 mm Tiefe zuerst vorgenommen werden. Dann erfolgten die Messungen in 10 mm, schliesslich die in 5 mm Tiefe.

Alle 10 Einstichmessungen erforderten die Zeit von etwa 3 min. Bei Einhaltung der richtigen Reihenfolge 15, 10 und 5 mm Tiefe war der durch Abkühlung entstehende Fehler sehr gering. Das Quecksilberthermometer braucht infolge der Trägheit der Quecksilberskule und infolge der nur langsam vor sich gehenden Aufheizung der Oberfläche von innen etwa 7 min, bis die höchste Anzeige erreicht ist. Diese Messung lief neben den Einstichmessungen. Reihenfolge und Anordnung der Messungen wurden bei allen Versuchen streng eingehalten, um vergleichbare Werte zu erhalten.

#### 2. Der Einfluss der Fahrtdauer.

Der Temperaturzustand im Reifen nähert sich mit zunehmender

der Laufzeit einem Beharrungszustand, d.h. die Reifentemperatur steigt so lange an, bis die abgeführte Wärmemenge gleich der im Reifen erzeugten Wärmemenge ist. Die abgeführte Wärmemenge ist:

$$Q_a = \alpha \cdot F (t_{ob} - t_U) \text{ kcal/h}$$

wobei  $\alpha$  = Wärmeübergangszahl

$F$  = Reifenoberfläche

$t_{ob}$  = Oberflächentemperatur

$t_U$  = Umgebungstemperatur.

Die abgeführte Wärmemenge ist also vom Temperaturgefälle zwischen Oberflächentemperatur und Umgebungstemperatur abhängig.

Versuchsdurchführung. Zunächst wurden verschiedene einzelne Versuche bei 30, 60 und 80 km/h Fahrgeschwindigkeit unternommen, die zeigen sollten, dass die Reifentemperatur nach Erreichen des Beharrungszustandes bei gleicher Umgebungstemperatur auch weiterhin konstant bleibt. Bei einem weiteren Versuch wurde die Geschwindigkeit jeweils nach Erreichen des Beharrungszustandes um eine Stufe gesteigert, ohne vorher den Reifen wieder auf Umgebungstemperatur abkühlen zu lassen. Die Messungen erfolgten zuerst nach 5 min, dann weiter nach 10, 15, 30 min Laufzeit durchweg auf dem Prüfstand mit ebener Fahrbahn.

Versuchsergebnisse. Die bei 80 km/h Fahrgeschwindigkeit an einem Reifen der Größe 5,50 - 16 in Abhängigkeit von der Laufzeit gemessenen Reifentemperaturen (Bild 7) zeigen, dass der Beharrungszustand im ganzen Reifen nach etwa 30 bis 35 min eingetreten ist. Die Messpunkte liegen bei den folgenden Messungen deswegen so genau auf einer Linie, weil Raumtemperatur und Fahrgeschwindigkeit sehr genau gleich gehalten wurden. In einem weiteren Versuch bei 60 km/h Fahrgeschwindigkeit trat der Beharrungszustand nach etwa 45 min ein.

Bild 8 zeigt das Temperaturverhalten eines Reifens der Größe 6,00 - 16 bei verschiedenen sich steigenden Geschwindigkeitsstufen. Bei 30 km/h wird der Beharrungszustand nach etwa 60 bis 70 min erreicht, bei jeder weiteren Stufe nach 20 bis 30 min. Die Zeit bis zum Erreichen des Beharrungszustandes ist demnach von der Höhe der Fahrgeschwindigkeit abhängig. Bei einer höheren Geschwindigkeit wird er früher erreicht als bei einer niedrigeren.

Auf diese Weise wurde gleichzeitig auch die für die Versuche notwendige Laufzeit ermittelt, die einerseits so lang sein muss, dass der Beharrungszustand tatsächlich erreicht ist, und die andererseits nicht länger als unbedingt notwendig sein sollte, um die Reifen nicht übermäßig zu beanspruchen. Dementsprechend wurde für die folgenden Versuche die Zeit des "warmfahrens" für die erste Geschwindigkeitsstufe auf 90 min festgesetzt.

## Der Abkühlungsvorgang im Stillstand des Reifens.

Aus versuchstechnischen Gründen war es notwendig, auch die Zeit für die Abkühlung des Reifens von der höchsten Versuchsendtemperatur bis auf die Umgebungstemperatur zu ermitteln. In Bild 9 und 10 ist der Abkühlungsvorgang für zwei verschiedene Reifen dargestellt. Die aus der Drucksunahme errechnete Temperatur sinkt am schnellsten ab. Es folgen darauf der Reihe nach die Temperaturen in 15, 10 und 5 mm Einstichtiefe. Die mit dem Quecksilberthermometer gemessene Oberflächentemperatur steigt zunächst noch etwas an und fällt dann langsam. Entsprechend diesen Ergebnissen wurde, wie schon angegeben, die Reihenfolge der Messungen gewählt.

Die Abkühlung der Reifen geht, wie die Kurven in Bild 9 und 10 zeigen, ziemlich langsam vor sich; der eine Reifen (Continental 5,50 - 16, Bild 9) benötigt etwa 135 min, der andere (Semperit 6,00 - 16, Bild 10) etwa 215 min, um sich auf Umgebungstemperatur abzukühlen. Der Unterschied in der Abkühlzeit ist neben der verschiedenen Grösse der Reifen auf die höhere Ausgangstemperatur des zweiten Reifens zurückzuführen.

### 3. Der Einfluss der Umgebungstemperatur.

Die Versuche wurden mit einem Reifen der Grösse 5,50 - 16 unter gleicher Belastung und gleichem Innendruck bei 22, 17 und 8° C Umgebungstemperatur und verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten durchgeführt.

Die Ergebnisse der Versuche sind in Bild 11 bis 14 dargestellt. Die Temperatur der Messstellen zwischen Schulter und Mitte, wo in der Regel die höchsten Temperaturen auftraten, in 15, 10 und 5 mm Tiefe, die Oberflächentemperatur und die Drucksunahme durch die Erwärmung sind in Bild 11 bis 13 für die drei Umgebungstemperaturen über der Fahrgeschwindigkeit aufgetragen.

Für die Versuche ergab sich hieraus die Forderung, die Raumtemperatur des Prüfraums möglichst genau einzuhalten. Die Versuche wurden aus diesem Grunde hauptsächlich in den Nachtstunden unternommen, weil dann der Wärmeverlust des Raumes durch die Wärmeabgabe des Reifens nahezu ausgeglichen wurde. Trotzdem noch auftretende Schwankungen der Raumtemperatur wurden durch Lüften oder elektrisches Aufheizen des Raumes beseitigt.

### 4. Der Einfluss der Reifenbelastung.

Der Einfluss der Reifenbelastung auf das Temperaturverhalten wurde an zwei Reifen verschiedener Grösse untersucht. Die in Bild 15 und 16 wiedergegebenen Versuchsergebnisse zeigen, dass die Temperatur, wie zu erwarten war, mit der Belastung annähernd linear ansteigt, und zwar beträgt die Temperaturzunahme je 100 kg im Mittel etwa 6 bis 10° C, wobei der kleinere Wert bei einem Anfangsdruck gleich dem vorgeschriebenen Druck und der grössere Wert bei niedrigerem Anfangsdruck auftritt. Mit steigender Belastung nimmt die Temperatur

der Schulter stärker zu als die der Mitte, weil die Schulter durch das Zusammendrücken des Reifens mehr beansprucht wird.

#### IV. Reifentemperaturmessungen.

##### 1. Versuchsdurchführung.

Bei diesen Hauptmessungen wurde das Temperaturverhalten des Reifens in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Innendruck untersucht, wobei die anderen Einflussgrößen, wie Umgebungstemperatur, Laufseit und Belastung, konstant gehalten wurden, nachdem ihr Einfluss in den Vorversuchen bereits geklärt war.

Die einzelnen Reifen der Größen 5,00 - 16, 5,50 - 16, 6,00 - 16 und 6,50 - 16 wurden mit den nach der Reifentafel<sup>4)</sup> vorgeschriebenen Innendrücken und Belastungen nacheinander bei mehreren Fahrgeschwindigkeitsstufen geprüft und verglichen. Dann wurden die gleichen Versuche bei einem um 30 % niedrigeren und bei einem um 30 % höheren Innendruck unternommen, um den Einfluss des Innendruckes zu erfassen. In drei weiteren Versuchsreihen wurden 7 verschiedene Drücke bei gleicher Fahrgeschwindigkeit von 80 km/h untersucht.

Sämtliche Reifen wurden auf der ebenen Fahrbahn geprüft. Zum Vergleich der Ergebnisse mit den Lauftrommelwerten wurde ein Reifen jeder Größenklasse bei drei Innendrücken auf der Lauftrommel geprüft.

##### 2. Die Temperaturverteilung im Reifen.

Als Beispiel für die Temperaturverteilung im Reifen in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit sind aus etwa 60 Versuchen die an einem J.G. Buna-Reifen der Größe 5,50 - 16 bei 2,2 atü Anfangsdruck und 450 kg Belastung gemessenen Temperaturen in Bild 17 wiedergegeben. Die höchsten im Reifen gemessenen Temperaturen liegen in allen Einstichtiefen zwischen Schulter und Mitte (Messstellen 2, 5, 8). Die Temperaturen wachsen etwa linear mit der Fahrgeschwindigkeit. Die in der Mitte (Messstellen 1, 4, 7) gemessenen Temperaturen liegen etwas tiefer; die Kurven verlaufen ebenfalls geradlinig. Die an der Schulter gemessenen Temperaturen (Messstellen 3, 6, 9) sind bei niedrigen Geschwindigkeiten höher als die Temperaturen der Mitte, fallen jedoch bei höherer Geschwindigkeit unter diese, da infolge der zunehmenden Plichkraftwirkung die Lauffläche stärker gewölbt und die Reifenschulter infolgedessen weniger beansprucht wird. Eine ähnliche Temperaturverteilung erkennt man in Bild 18 für einen Reifen der Größe 6,50 - 16 bei 2,8 atü Anfangsdruck und 625 kg Belastung.

Vergleicht man die Temperaturen in den verschiedenen Einstichtiefen miteinander (Bild 19), so sieht man, dass in 15 mm

4) Ausszug aus dem Technischen Handbuch für Fahrzeugluftreifen (Ausgabe April 1939), ergänzt nach dem Stande vom 1. Des. 41.

Einstichtiefe, d.h. dicht über dem Gewebe, die höchste Erwärmung auftritt. Das Wärmegefälle zwischen innen (15 mm Tiefe) und aussen (Oberfläche) wächst mit zunehmender Geschwindigkeit.

Die Änderung der Temperaturverteilung bei verschiedenen Innendruck zeigen Bild 20 und 21. Bei niedrigem Innendruck liegt die Temperatur der Schulter infolge ihrer grösseren Walkbeanspruchung weit über der der Mitte. Bei hohem Druck ist es umgekehrt. Der Schnittpunkt beider Kurven, d. h. der Punkt, wo Mitte und Schulter gleichmässig beansprucht und erwärmt sind, liegt bei einem Druck, der wenig höher als der vorgeschriebene Druck ist. Die Temperatur der Seite fällt ebenfalls sehr stark mit wachsendem Innendruck.

Diese Gesetzmässigkeiten der Temperaturverteilung waren bei allen Versuchen im wesentlichen die gleichen. Bei der Auswertung der Versuche werden deshalb in den Schaubildern allgemein als Vergleichswerte die Temperaturen der Messstellen zwischen Schulter und Mitte (2, 5, 8) verwendet.

### 3. Der Einfluss der Fahrgeschwindigkeit.

In dem für den normalen Verkehr in Frage kommenden Geschwindigkeitsbereich von 20 bis 110 km/h nimmt die Erwärmung nahezu linear mit der Fahrgeschwindigkeit zu, wie auch Brunner<sup>1)</sup> schon feststellte. In den Bereichen niedriger Geschwindigkeiten unter 20 km/h und hoher Geschwindigkeiten über 110 km/h, die Brunner nicht untersuchte, weicht die Temperaturkurve von ihrem linearen Verlauf ab.

Bei den Geschwindigkeiten unter 20 km/h, steigt die Temperaturkurve zunächst steil an und läuft dann weniger stark steigend in eine Gerade ein (Bild 22). Dieser Verlauf rührt vermutlich davon her, dass bei der starken anfänglichen Temperaturzunahme, durch die der Reifen zunächst ein Temperaturgefälle gegenüber der Umgebung schafft, der Innendruck gleichfalls um 0,2 bis 0,4 atü steigt. Durch diese Innendrucksteigerung wird die Walkbeanspruchung wieder etwas verringert, so dass nun die Wärmeerzeugung und demgemäss die Temperatur des Reifens weniger stark steigen.

Bei den hohen Fahrgeschwindigkeiten über 110 bis 120 km/h steigt die Kurve der Erwärmung wiederum steiler an, und zwar zuerst langsam und dann immer schneller (Bild 22). Der Grund hierfür liegt wohl in der grossen Walkarbeit und dem hohen Rollwiderstand bei hohen Geschwindigkeiten, die in gleicher Weise von einer bestimmten Geschwindigkeit an sehr schnell ansteigen. Dieser Einfluss des Rollwiderstandes auf die Reifentemperatur wird später noch an einem Beispiel gezeigt werden.

Die Höchsttemperaturen bei einer bestimmten Geschwindigkeit sind bei den einzelnen Reifen und Innendrücken verschieden. Im Durchschnitt liegen sie bei 120 km/h Fahrgeschwindigkeit und vorgeschriebenem Innendruck in 15 mm Tiefe um 100° C und in 10 mm Tiefe um 90° C. Bei dem in Bild 22 wiedergegebenen Versuch wurde bei 152 km/h Fahrgeschwindigkeit in 10

mm Tiefe eine Temperatur von  $124^{\circ}\text{C}$  gemessen; in 15 mm Tiefe ist sie noch entsprechend höher anzusetzen.

Der schädliche Einfluss der hohen Temperaturen machte sich bei den Versuchen allgemein auch äusserlich in dem erhöhten Abrieb durch Erweichen des Gummis und durch Kleben bemerkbar. Ausserdem besteht die Gefahr, dass sich infolge der hohen Temperatur im Innern des Reifens der Laufstreifen vom Gewebe löst und dass der Reifen dann durch die Fliehkräfteinwirkung zerstört wird. Um die Reifen zu schonen, wurde deshalb die Fahrgeschwindigkeit mit Ausnahme eines Versuchs (Bild 22) nur bis 125 km/h gesteigert und so die Messungen jeweils beendet, bevor der steile Temperaturanstieg, der infolge der Rollwiderstandszunahme zu erwarten war, eintrat.

Im einzelnen sind die Ergebnisse der Temperaturmessungen in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit für die verschiedenen Reifen der untersuchten Grössenklassen bei verschiedenen Anfangsdrücken im Anhang in Bild 37 bis 46 wiedergegeben. Man kann aus diesen Kurven den Grad der Erwärmung eines Reifens bei allen drei Drücken und drei Einstichtiefen entnehmen. Bild 23 zeigt als Beispiel die in 15 mm Tiefe gemessenen Temperaturen sowie die Druckzunahme von 9 Reifen der Grösse 5,50 - 16 verschiedener Herkunft und Art im Vergleich. Bei 125 km/h beträgt der Temperaturunterschied zwischen dem Reifen mit der grössten Erwärmung (I.G.-Buna PS 18) und dem mit der geringsten Erwärmung (US. Royal de Luxe) etwa  $20^{\circ}\text{C}$ , bei 80 km/h etwa  $16^{\circ}\text{C}$ .

Die entsprechenden Kurven der Reifen der Grössen 5,00 - 16 und 6,00 - 16, sowie die in 5 und 10 mm Tiefe gemessenen Temperaturen der vorstehend genannten 9 Reifen der Grösse 5,50 - 16 bei verschiedenen Anfangsdrücken sind im Anhang in Bild 47 bis 58 zusammengestellt.

In Bild 24 sind die Temperaturkurven von 4 Reifen gleicher Herkunft und gleichen Profils bei verschiedener Reifengrösse dargestellt. Die Versuche wurden bei den jeweiligen vorgeschriebenen Belastungen und Innendrücken durchgeführt. Aus der Tatsache, dass die Messpunkte bei  $v = 40\text{ km/h}$  einigermaßen zusammenliegen, ergibt sich, dass die Reifen der verschiedenen Grössen bei ihren zugehörigen Belastungen und Innendrücken dabei etwa gleichmässig beansprucht sind. Erst bei höheren Fahrgeschwindigkeiten werden die Unterschiede grösser.

#### Druckzunahme in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit.

Aus den in den Kurvenblättern gleichzeitig aufgetragenen Linien der Innendruckzunahme ist zu ersehen, dass der Reifendruck, wie schon erwähnt, mit der Fahrgeschwindigkeit sinkt. Der Verlauf gleicht dem der Temperaturkurven, doch ist die Höhe der Druckzunahme jeweils vom Reifen und vom Anfangsdruck abhängig.

#### 4. Der Einfluss des Reifeninnendrucks.

Sinkt der Innendruck des Reifens ab, so drückt das auf dem Rad lastende Gewicht den Reifen zusammen. Die Folge ist eine grössere Abplattung, erhöhte Walkarbeit und infolgedessen

eine stärkere Erwärmung. Dies zeigt besonders deutlich Bild 25, in dem neben den Temperaturen der Messstellen 2, 5, 8 zwischen Schulter und Mitte auch die Temperatur der Seitenwand wiedergegeben ist. In dem steileren Anstieg dieser letzten Temperatur erkennt man die Wirkung der stärkeren Ausbiegung und Walkung der Seitenwand bei niedrigerem Druck. Demgegenüber sind die Temperaturen in der Lauffläche ausgeglichener; denn der Verringerung der Erwärmung durch geringere Walkarbeit wirkt die etwas höhere Beanspruchung der Lauffläche durch die mit dem Innendruck steigende spezifische Belastung der Lauffläche entgegen. Der Verlauf der aus der Drucksunahme errechneten Temperaturen (Bild 26 und 27) zeigt den Einfluss des Innendruckes noch auffälliger. Die Änderung der Temperaturverteilung in Abhängigkeit vom Innendruck wurde schon erörtert (Bild 20 und 21). Bemerkenswert ist noch, dass die Temperaturen bei Verringerung des Innendruckes in stärkerem Masse ansteigen als sie durch anteilmässig gleichgrosse Druckerhöhung verringert werden. Auf die Vermeidung einer Unterschreitung des vorgeschriebenen Reifendruckes muss deshalb im praktischen Fahrbetrieb besonders geachtet werden.

Aus der Betrachtung der Änderung der Reifenerwärmung in Abhängigkeit vom Innendruck bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten (Bild 28<sup>5</sup>) ergibt sich, dass der Einfluss der Innendruck-erhöhung auf die Reifentemperatur mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit stärker wird.

Bild 29<sup>6</sup>) zeigt die Änderung der Erwärmung von Reifen verschiedener Herkunft und gleicher Grösse in Abhängigkeit vom Reifendruck zum Vergleich der Reifen untereinander, ähnlich der Zusammenstellung in Bild 23 für den Einfluss der Fahrgeschwindigkeit. Der Einfluss der Innendruckänderung auf die Erwärmung ist bei Buna-Reifen besonders wichtig.

Aus dem Vergleich von Reifen gleicher Herkunft und verschiedener Reifengrösse (Bild 30) geht hervor, dass bei dem kleinen Reifen der Einfluss der Druckänderung auf die Temperatur grösser ist als bei den grösseren.

#### Druckzunahme in Abhängigkeit vom Innendruck.

Aus den in Bild 26, 27, 29 und 30 eingetragenen Kurven der Drucksunahme  $\Delta p$  ist zu ersehen, dass die absolute Drucksunahme in der Regel nicht, wie zu erwarten wäre, gleichmässig mit steigendem Innendruck fällt. Vielmehr fallen die Kurven von einem höchsten Wert bei niedrigem Innendruck auf einen Kleinstwert, der etwa beim Nennendruck liegt, und steigen dann mit wachsendem Innendruck wieder etwas an. Trotz dieses Wiederanstiegens der Druckerhöhung nimmt die nach dem Gay-Lussac'schen Gesetz errechnete Temperatur ziemlich gleichmässig ab. Bezieht man die Drucksunahme auf den Anfangsdruck, so fällt die daraus gebildete Kurve auch mehr oder weniger gleichmässig ab (Bild 20 und 21). Die in Bild 30 für die Reifengrösse 6,00 - 16 erkennbare geringe Änderung der Drucksunahme mit steigendem Innendruck wurde an fast allen Reifen dieser Grösse fest-

5) siehe auch Bild 59 und 60 im Anhang.

6) siehe auch Bild 61 und 62 im Anhang.

gestellt.

### 5. Der Einfluss des Reifenwerkstoffes.

Vergleicht man auf Grund der Versuchsergebnisse Reifen aus Naturgummi mit solchen aus Buna, so lassen sich beständig ihres Temperaturverhaltens bemerkenswerte Unterschiede feststellen. Im allgemeinen ist die Erwärmung der Buna-Reifen grösser als die der Naturgummireifen, was auf die grössere innere Reibung des Bunas bei der Walkung zurückzuführen ist (Bild 23 und Bild 47 bis 58 im Anhang). Aus diesem Grunde ist der Temperaturunterschied auch vom Druck abhängig. Bei einer Verminderung des vorgeschriebenen Reifeninnendruckes um 30 % weisen die beiden I.G.-Buna 5,50 - 16-Reifen in 15 mm tiefe bei 100 km/h eine um etwa 15° C höhere Temperatur als die Naturgummireifen der gleichen Grösse auf (Bild 52 im Anhang). Bei dem vorgeschriebenen Druck von 2,2 atü beträgt dieser Unterschied nur noch 10° C (Bild 23), während er bei einem um 30 % erhöhten Druck kaum noch in Erscheinung tritt (Bild 55 im Anhang). In 10 mm Einstichtiefe sind die Verhältnisse entsprechend.

Eine Senkung des Innendruckes wirkt sich also beständig der Temperaturhöhe bei Bunareifen noch schädlicher aus als bei Naturgummireifen. Mit wachsender Fahrgeschwindigkeit wird der Temperaturunterschied meist noch grösser.

Ein bemerkenswertes Ergebnis zeigt der in Bild 31 dargestellte Vergleich der Temperaturkurven eines Naturgummireifens und eines Bunareifens. Man sieht, dass die Temperaturkurven des Bunareifens bis zu einer Fahrgeschwindigkeit von etwa 90 km/h unter denen des Naturgummi-Reifens liegen, dann jedoch einen Knick machen, steil ansteigen und bei 130 km/h weit über denen des Naturgummi-Reifens liegen, die geradlinig weiter verlaufen. Die auffallende Erscheinung, dass die Temperaturkurven des Buna-Reifens zunächst unter denen des Naturgummi-Reifens liegen, konnte im einzelnen nicht nachgeprüft werden. Sie kann auf kurze Wärmeleitwege im Reifen, günstige Wärmeleiteigenschaften des Reifens, bzw. Reifenwerkstoffes oder besonders geringe innere Walkwiderstände bei niedriger Fahrgeschwindigkeit gemäss seinem Aufbau zurückgeführt werden.

### 6. Der Zusammenhang zwischen Rollwiderstand und Reifenerwärmung.

Wie schon vorstehend erwähnt, stehen Rollwiderstand und Reifenerwärmung in einem engen Zusammenhang, da beide Erscheinungen im wesentlichen die gleiche Ursache haben, nämlich die Walkung des Reifens. Zum Nachweis dieser Tatsache wurden zwei Reifen gleicher Herkunft und Grösse, von denen der eine einen besonders hohen, der andere einen sehr niedrigen Rollwiderstand hatte, durchgemessen. Die Ergebnisse sind in Bild 32 dargestellt. Der Temperaturunterschied ist beträchtlich, er beträgt bei 80 km/h in 15 mm Einstichtiefe etwa 20° C.

## V. Erfahrungen für die Durchführung von Reifentemperaturmessungen.

### 1. Temperaturverhalten des Reifens auf ebener Fahrbahn und auf Lauftrommel.

Zum Vergleich des Temperaturverhaltens der Reifen auf ebener Fahrbahn und auf der Lauftrommel wurden die Continental-Naturgummiereifen, die in den Reifengrößen 5,00 - 16, 5,50 - 16, 6,00 - 16 und 6,50 - 16 schon auf der ebenen Fahrbahn durchgemessen worden waren (Bild 24 und 30), bei drei verschiedenen Drücken und der vorgeschriebenen Belastung auf der Lauftrommel von 1,06 m Durchmesser geprüft. Die Ergebnisse sind in Bild 35 bis 36 für Normdruck und Normbelastung über der Fahrgeschwindigkeit aufgetragen.

Die auf der Lauftrommel gemessenen Temperaturkurven verlaufen allgemein viel steiler als die auf der ebenen Fahrbahn gemessenen, denn die Lauftrommel verursacht durch ihre starke, nicht dem wirklichen Zustande der Strasse entsprechende Querverwölbung eine stärkere Walkung und damit eine grössere Erwärmung im Reifen. Die Folge ist eine im oberen Geschwindigkeitsbereich bedeutend höhere Temperatur des Reifens bei der Fahrt auf der Lauftrommel. Andererseits entsteht die Lauftrommel infolge ihrer grösseren Masse dem Reifen, besonders in dem unteren Geschwindigkeitsbereich, wenn sie noch kalt ist, mehr Wärme als das Stahllaufband. So kommt es, dass die auf der Lauftrommel gemessenen Temperaturen bis zu einer Fahrgeschwindigkeit von etwa 40 km/h noch unter den auf der ebenen Fahrbahn gemessenen liegen. Zuweilen liegen die an der Oberfläche und die in 5 mm Tiefe gemessenen Temperaturen bei der Lauftrommel sogar über dem ganzen Geschwindigkeitsbereich tiefer als bei der ebenen Fahrbahn.

Die Messungen auf Lauftrommel eignen sich demnach nur zu vergleichenden Versuchen, geben aber keinen genauen Aufschluss über Höhe und Verteilung der Reifentemperatur unter den tatsächlichen Abrollverhältnissen auf der Strasse. Auch beim Prüfstandsversuch ist es ebenso wie beim Strassenversuch nötig, die Temperatur der Fahrbahn zu beachten.

### 2. Temperaturmessung mit Quecksilberthermometer und Bestimmung der Reifentemperatur aus der Innendruckzunahme.

Wie aus dem Verlauf der mit dem Quecksilberthermometer an der Oberfläche gemessenen Abkühlungskurven in Bild 9 und 10 hervorgeht, wird hierbei die tatsächliche Höhe der Oberflächentemperatur im Augenblick des Stillstandes nicht erfasst, denn - abgesehen von den bei diesem Messverfahren unvermeidlichen Fehlern - erwärmt sich die Reifenoberfläche zunächst durch die Aufheizung von innen und sinkt dann ab. Die Oberflächentemperatur im Augenblick des Stillstandes kann aber infolge der Anzeigeträgheit des Quecksilberthermometers nicht erfasst werden. Die Messung der Reifentemperatur durch Anlegen eines Quecksilberthermometers an die Reifenoberfläche kann deshalb nur für Vergleichsmessungen genügen.

Bei den Versuchen wurde jeweils auch die Zunahme des Reifennendruckes gemessen und daraus die Reifentemperatur nach der für vollkommene Gase geltenden Gleichung

$$T_2 = T_1 \frac{P_2}{P_1} \left[ ^\circ K \right]$$

berechnet.

Einen einigermaßen sicheren Schluss auf die tatsächliche Reifentemperatur lassen aber diese Werte selbst bei genauer Druckmessung nicht zu. Sie entsprechen ohne jede Regel einmal der in 15 mm Tiefe, einmal der in 10 mm Tiefe oder auch der in 5 mm Tiefe gemessenen Temperatur. Häufig liegen die Kurven zu hoch oder auch zu tief. Sehr oft weisen die errechneten Temperaturkurven eine ganz andere Kennung auf, besonders in Abhängigkeit vom Innendruck, indem sie bei niedrigem Druck zu hoch und bei hohem Druck zu tief liegen, also zu steil mit Zunahme des Innendruckes fallen. Bei ungenauer Druckmessung mit unzulänglichen Geräten und ungenauer Bestimmung der Anfangstemperatur  $T_1$  beeinflussen kleine Fehler das Ergebnis zusätzlich stark.

#### VI. Zusammenfassung.

Das Temperaturverhalten von Personenkraftwagenreifen wurde in Abhängigkeit von Fahrgeschwindigkeit und Innendruck unter Beachtung der übrigen Einflussgrößen, wie Fahrdauer, Umgebungstemperatur, Belastung und Reifenwerkstoff, an zahlreichen Reifen verschiedener Herkunft und Grösse durch Messungen auf einem Prüfstand mit ebener Fahrbahn untersucht. Die Ergebnisse der Messungen auf ebener Fahrbahn wurden mit solchen auf der Lauftrommel verglichen.

In Vorversuchen wurde zunächst der Einfluss der Laufzeit, der Umgebungstemperatur und der Belastung auf die Reifenerwärmung geklärt. Es wurde festgestellt, dass der Beharrungszustand - je nach Höhe der Fahrgeschwindigkeit - nach 30 bis 70 min Fahrt eintritt, dass die Reifenhöchsttemperatur linear mit der Umgebungstemperatur zunimmt, und zwar für  $1^\circ C$  Zunahme der Umgebungstemperatur etwa um  $1^\circ C$ , und dass sie je 100 kg Mehrbelastung um etwa  $6$  bis  $10^\circ C$  je nach Innendruck ebenfalls linear ansteigt.

In den Hauptversuchen wurden eine Anzahl in- und ausländische Reifen bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten und Innendrucke miteinander verglichen und die Ergebnisse in Schaubildern niedergelegt.

Bestüglich der Temperaturverteilung wurde ermittelt, dass im Reifenquerschnitt zwischen Schulter und Mitte in 15 mm Tiefe mit grosser Regelmässigkeit die höchste Temperatur anzutreffen ist, während die Temperaturen in Profilmitte und in der Schulter stark von Innendruck und Belastung beeinflusst werden.

Der Verlauf der Reifentemperatur in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit ist dadurch gekennzeichnet, dass die Reifentemperatur in dem Bereich 20 bis etwa 110 km/h Fahrgeschwin-

digkeit etwa linear, dann aber mit zunehmender Steilheit ansteigt. Der Verlauf der Temperaturkurve hat mit dem Verlauf der Rollwiderstandskurve insofern Ähnlichkeit, als ein Anstieg des Rollwiderstandsbeiwertes sich auch in einem Anstieg der Reifentemperatur äußert. In Reifen mit hohem Rollwiderstand entstehen höhere Temperaturen als in Reifen mit geringem Rollwiderstand. Bei Verringerung des Reifendruckes unter den vorgegebenen Druck ergab sich ein starkes Ansteigen, bei Erhöhung ein Absinken der Reifentemperaturen, allerdings meist nicht in gleicher Masse.

Beim Vergleich von Naturgummi-Reifen mit Buna-Reifen zeigten letztere besonders bei niedrigen Reifendrücken bedeutend höhere Temperaturen.

Aus den Vergleichsmessungen auf einer Lauftrommel von 1,06 m Durchmesser ergab sich, dass der Lauftrommelversuch kein richtiges Bild über Temperaturhöhe und Temperaturverteilung am Reifen beim Abrollen auf der Strasse gibt.

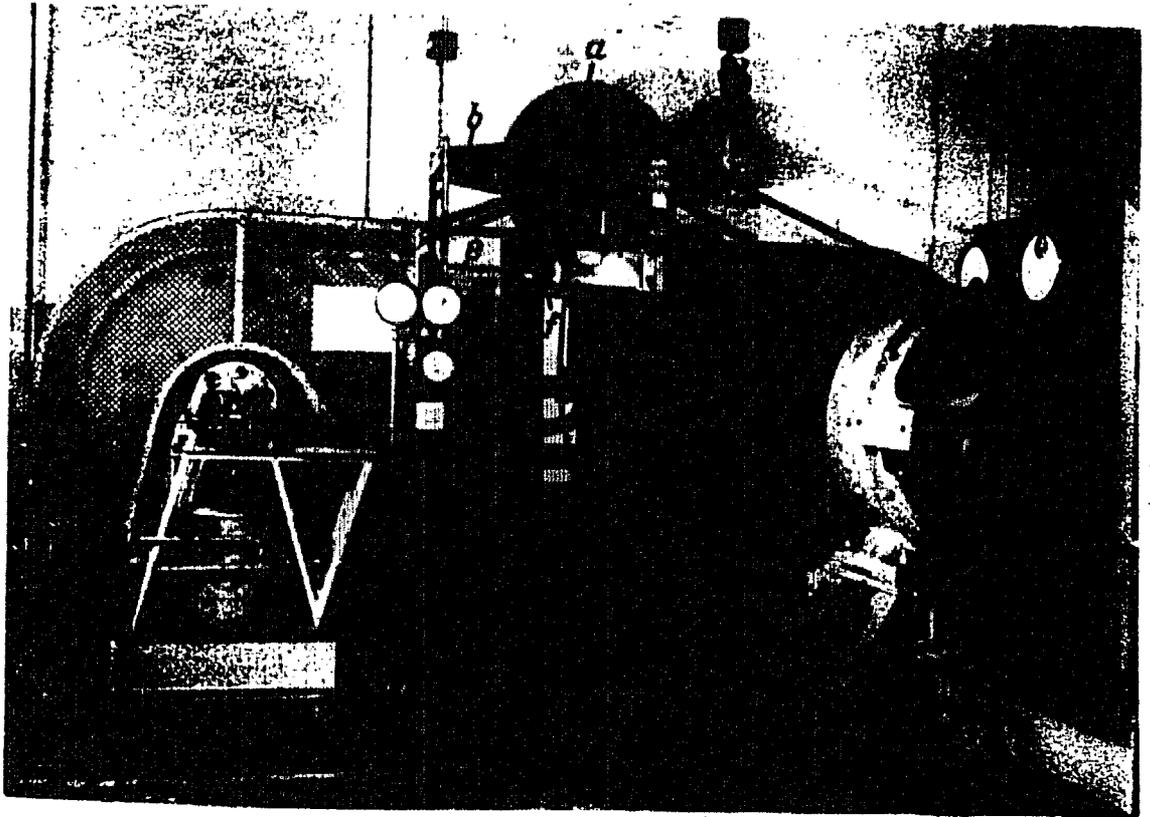
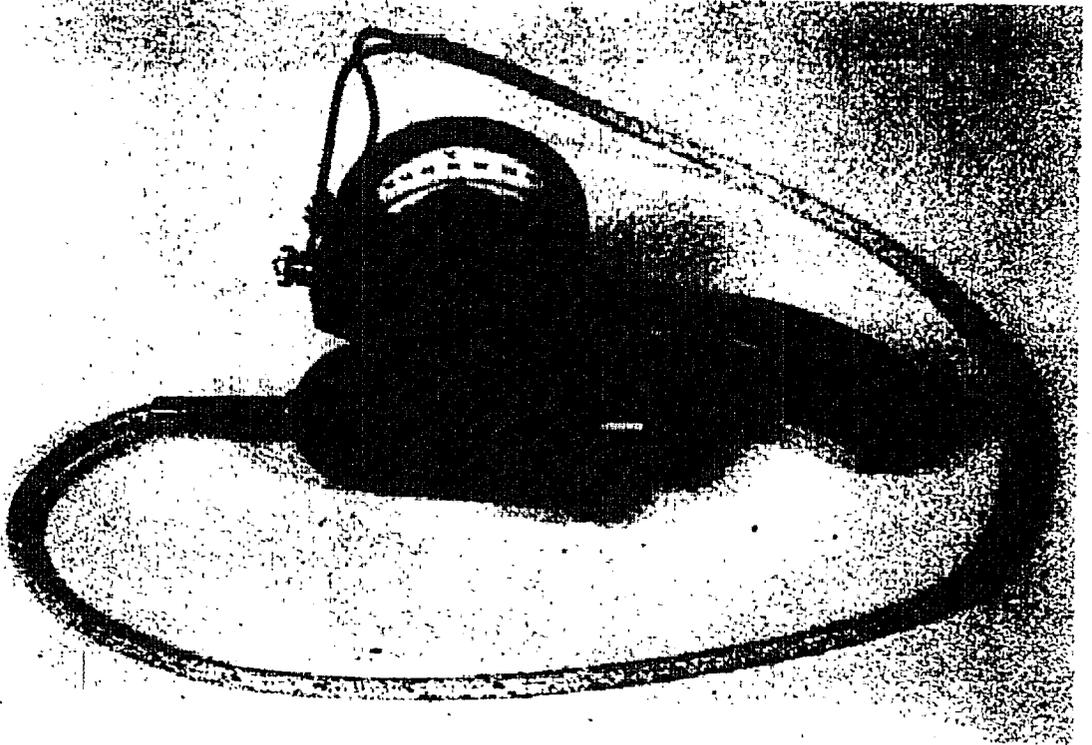
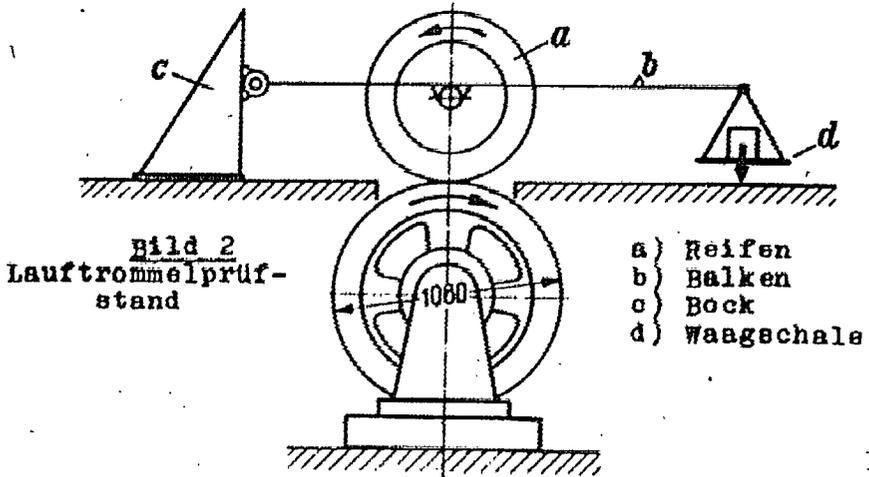


Bild 1

Prüfstand mit ebener Fahrbahn. a Prüfreifen, b Rahmen, c Rahmenlagerung, d Belastungsgewicht, e Stahlband, f Lagertisch.

**Bild 3**

FRFS-Rinatichtmessgerät mit Handablesegerät.

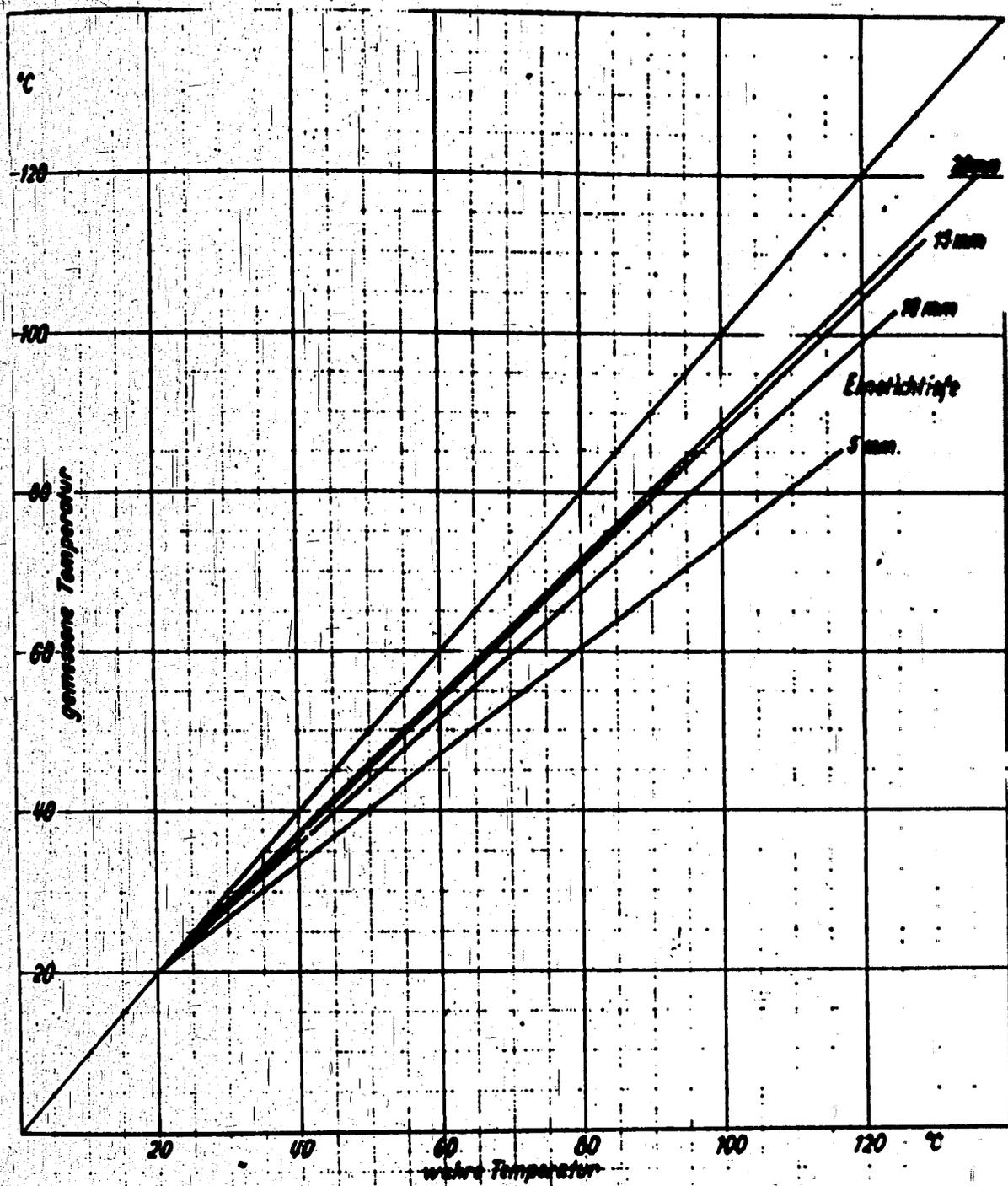


Bild 4

Eichkurve für Einstichtemperaturmessgerät,  
für 5 bis 20 mm Einstichtiefe in Gummi



Bild 5

Messung der Oberflächentemperatur mit Quecksilberthermometer.

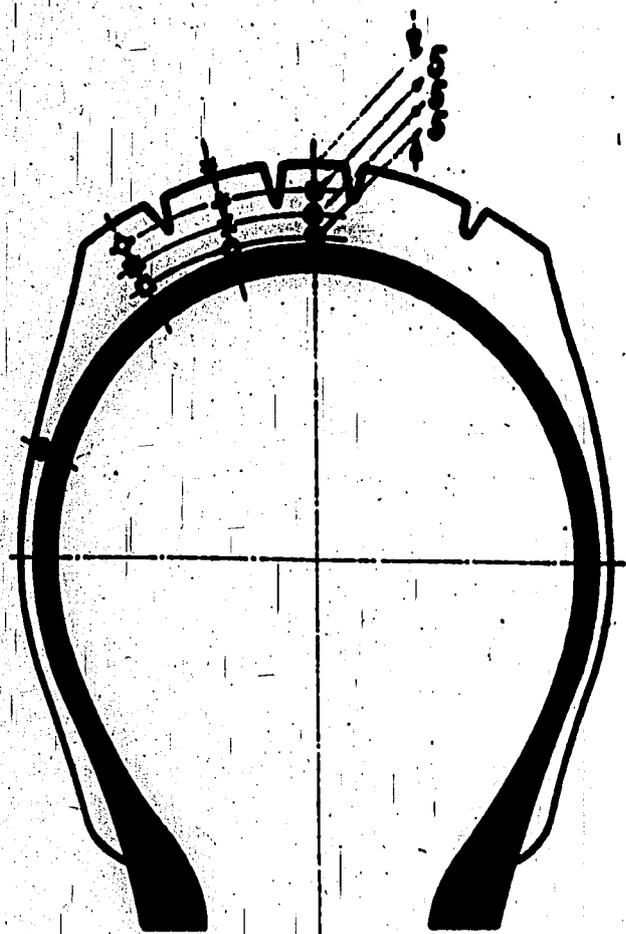


Bild 6

**Anordnung der Messtellen.**

- |            |       |   |   |
|------------|-------|---|---|
| 1. ●       | 15 mm |   | Einstichtiefe in der Mitte des Reifenquerschnittes.           |
| 2. ○       | 15 mm | " | zwischen Mitte und Schulter                                   |
| 3. □       | 15 mm | " | in der Schulter   |
| 4. ●       | 10 mm | " | in der Mitte  |
| 5. ×       | 10 mm | " | zwischen Mitte und Schulter                                   |
| 6. ✱       | 10 mm | " | in der Schulter   |
| 7. ■       | 5 mm  | " | in der Mitte  |
| 8. +       | 5 mm  | " | zwischen Mitte und Schulter                                   |
| 9. †       | 5 mm  | " | in der Schulter   |
| 10. ⊙      | 5 mm  | " | an der Seite  |
| $t_{ob}$ * |       |   | Messung der Oberflächentemperatur mit Quecksilberthermometer. |
| △ P △      |       |   | Messung der Reifendrucksunahme mit Manometer.                 |

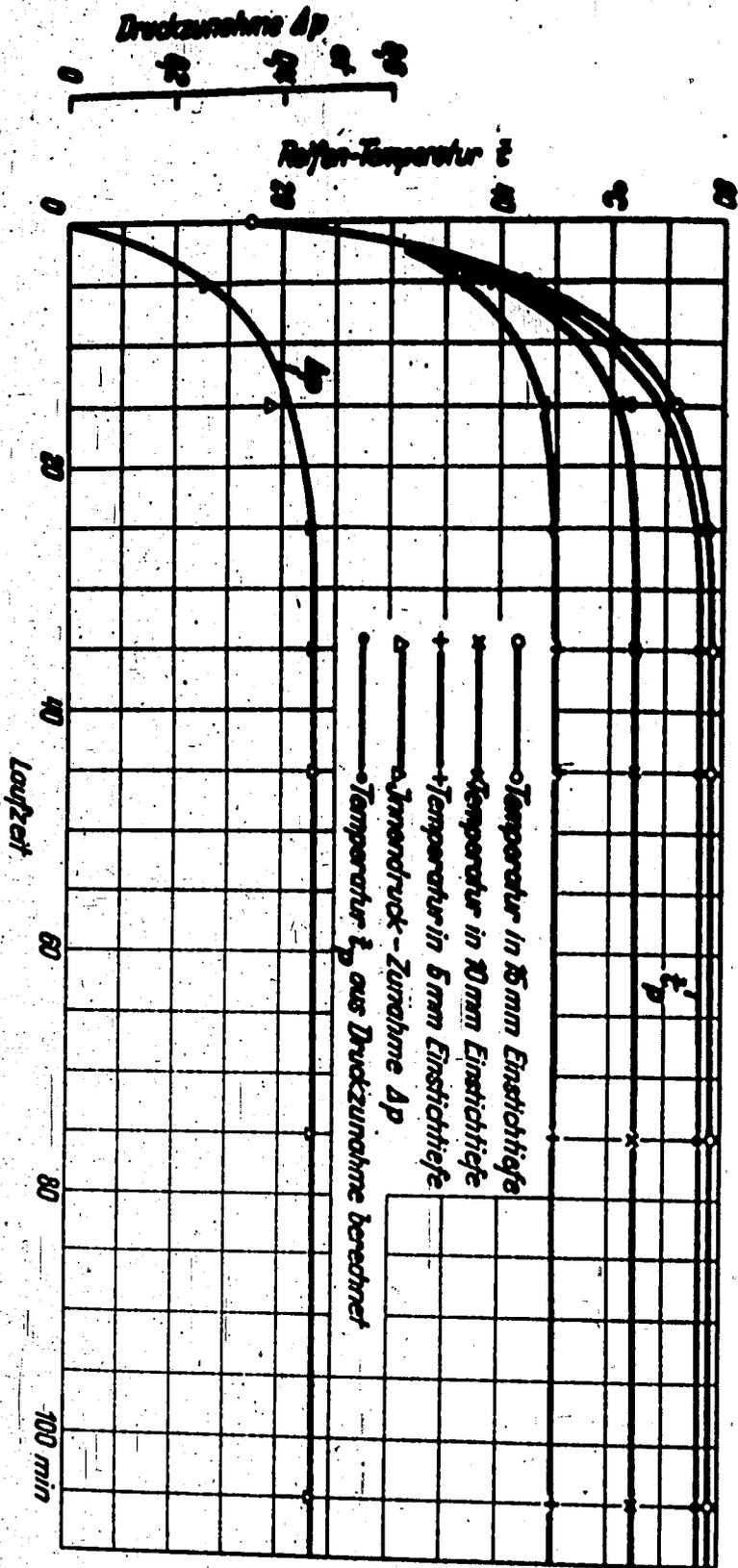


Bild 7

Temperatur- und Druckzunahme in Abhängigkeit von der Laufzeit.

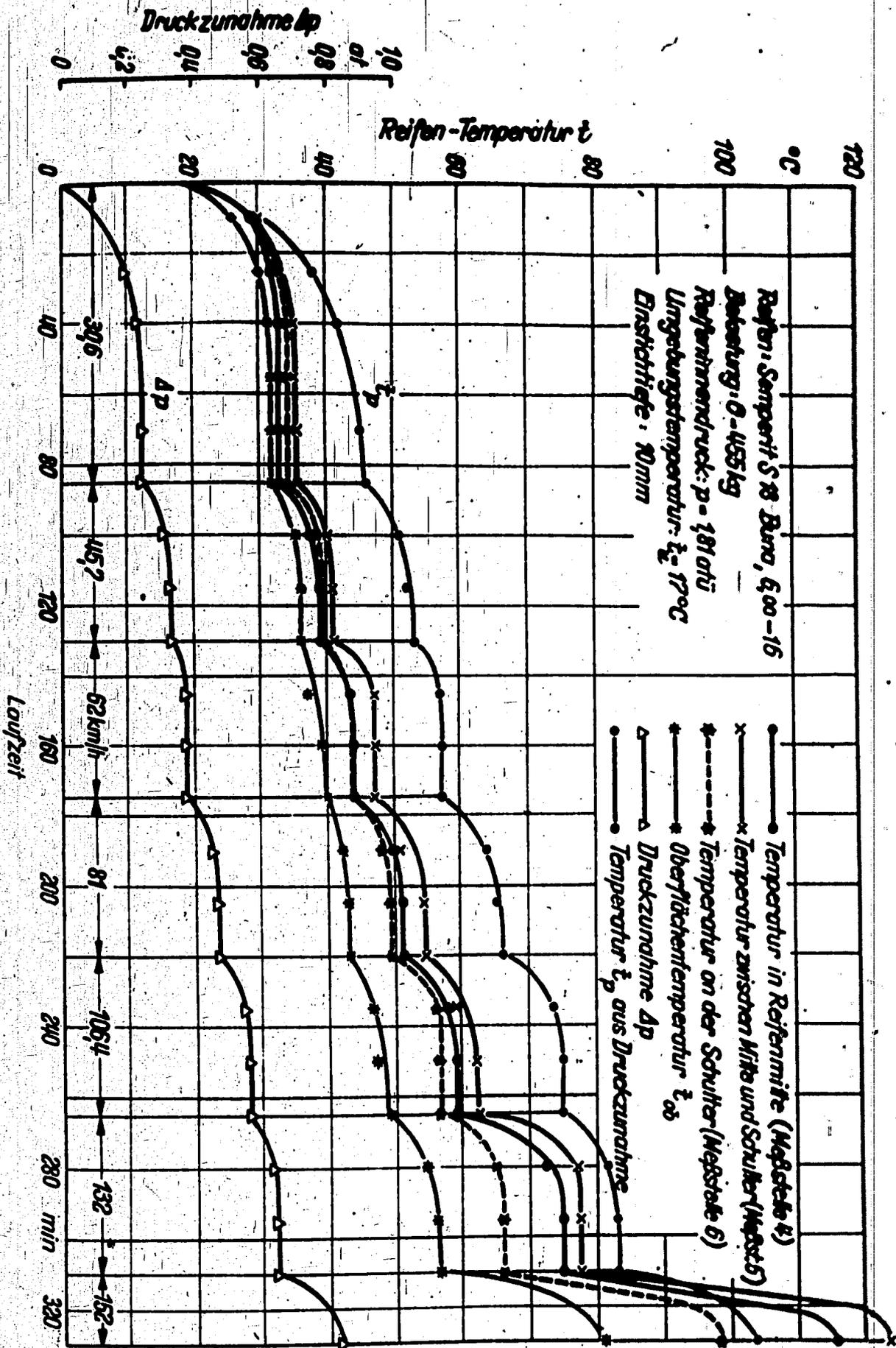
Reifen: Conti C 14 Natur, 5,50 - 16

Belastung:  $G = 410$  kg, Reifeninnendruck in kaltem Zustande:

$p = 2,2$  atü

Fahrgeschwindigkeit:  $v = 80$  km/h, Umgebungstemperatur:

$t_U = 17^\circ\text{C}$



**Bild 8**

Temperatur- und Druckzunahme eines Reifens in Abhängigkeit von der Laufzeit bei verschiedenen Geschwindigkeitsstufen.

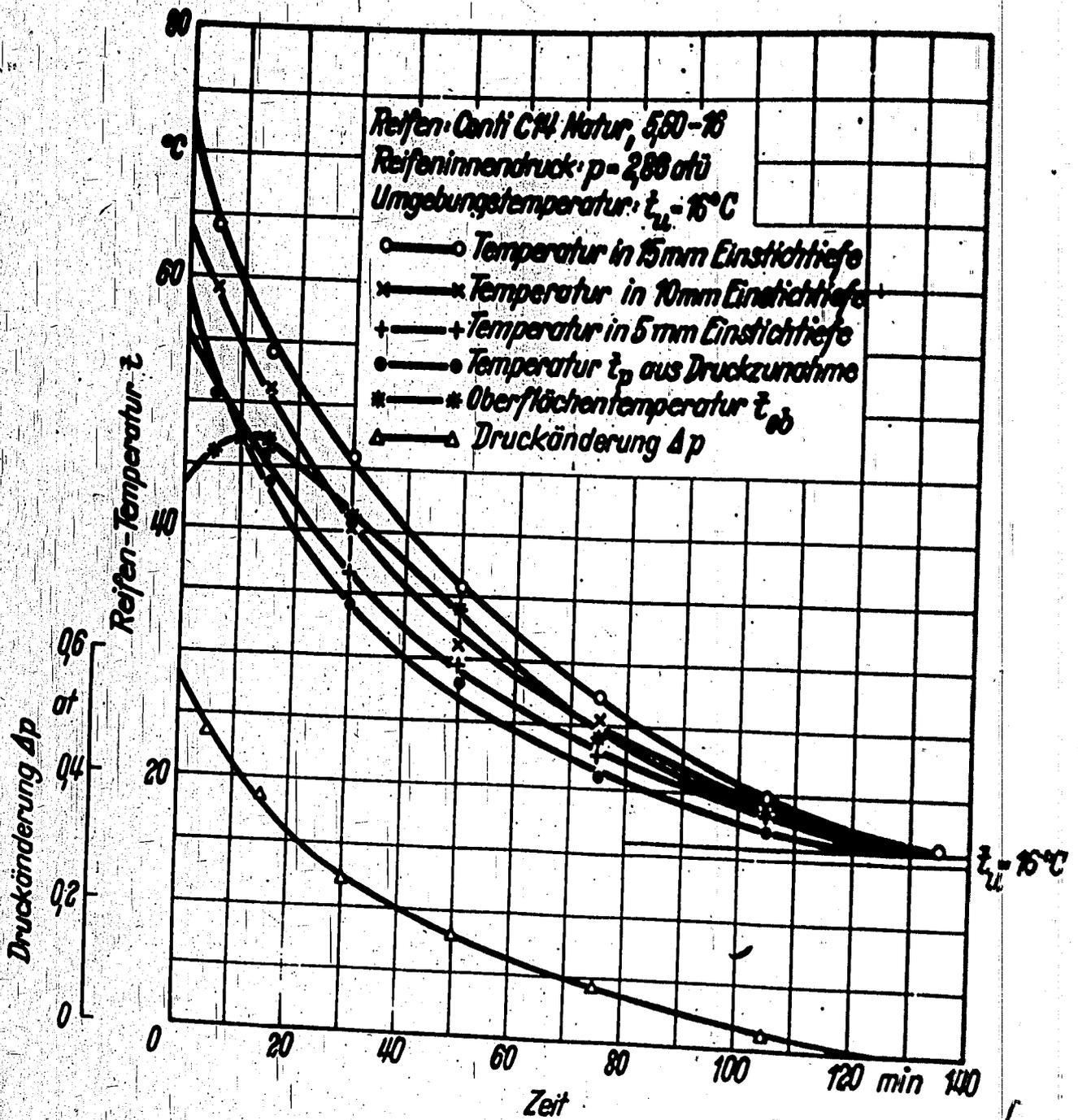


Bild 9

Reifenabkühlung in Abhängigkeit von der Zeit.

Reifen: Conti C 14 Natur, 5,50 - 16

$p = 2,86 \text{ atü}$

$t_u = 16^\circ \text{C}$

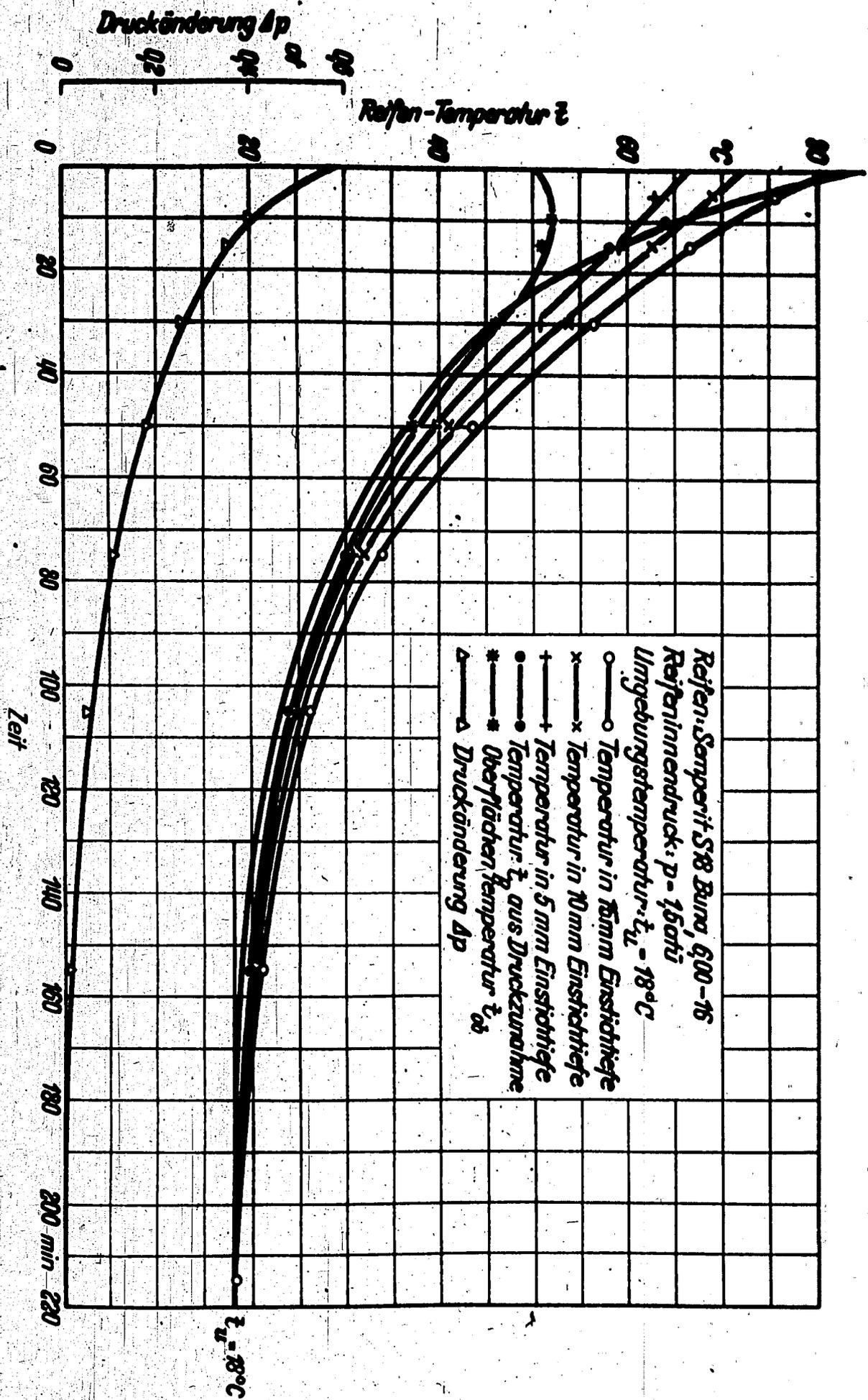


Bild 10

Reifenabkühlung in Abhängigkeit von der Zeit.

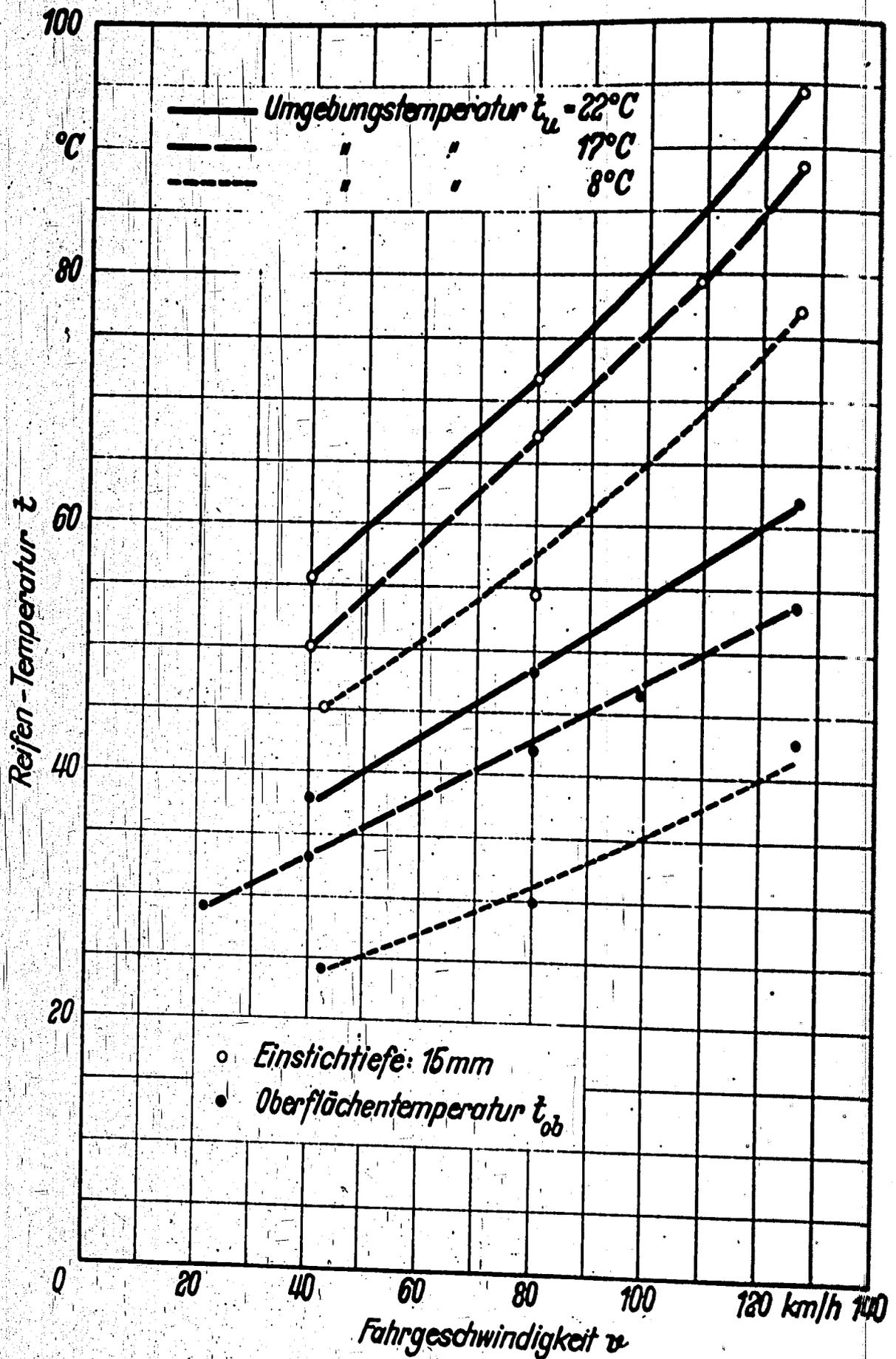


Bild 11

Einfluss der Umgebungstemperatur  $t_u$  auf die Reifentemperatur.

Reifen: Conti C 14 Natur, 5,50 - 16  
 $G = 450 \text{ kg}$ ,  $p = 2,2 \text{ atü}$   
 Messtelle (2) zwischen Schulter und Mitte.



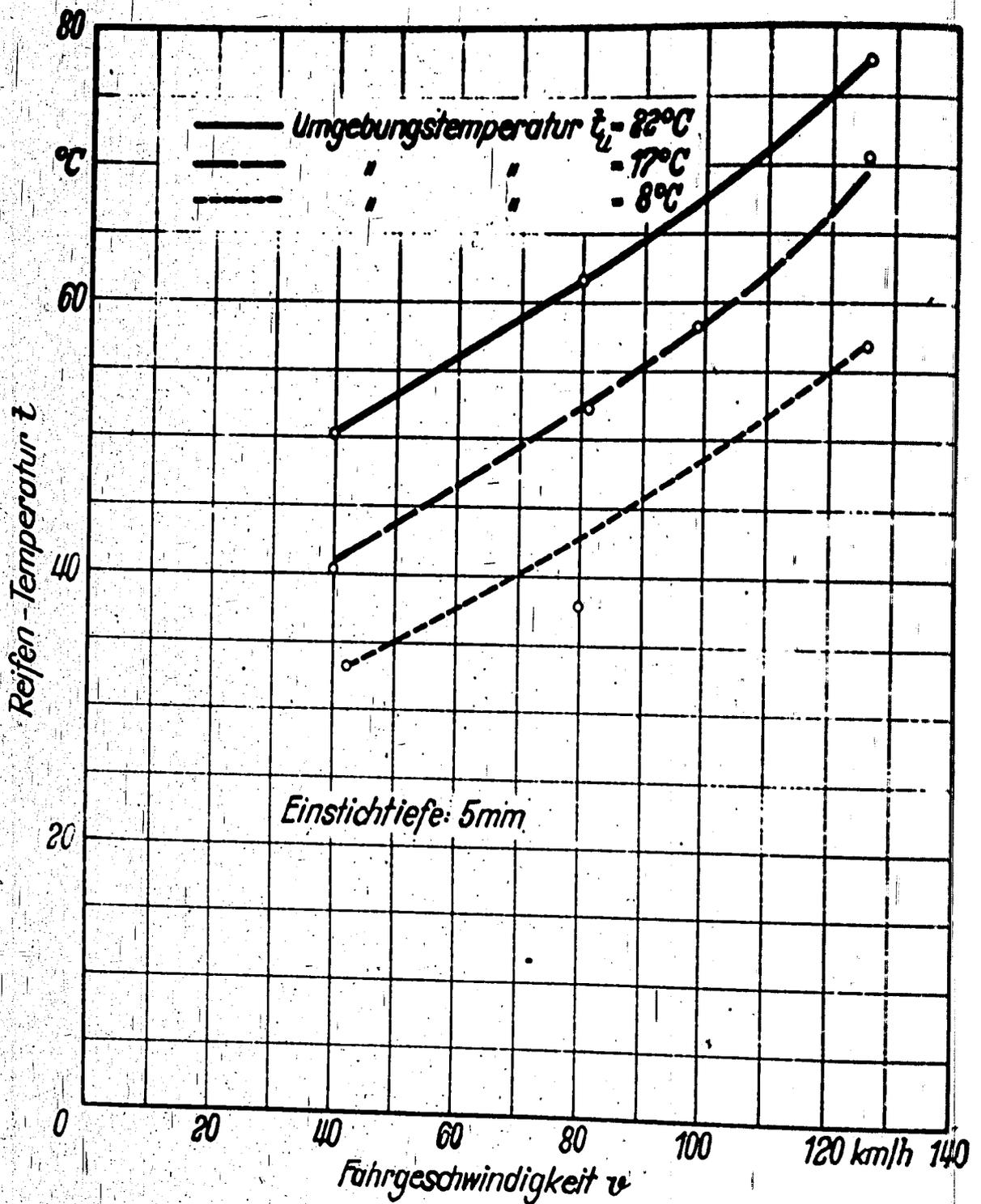


Bild 13

Einfluss der Umgebungstemperatur  $t_u$  auf die Reifentemperatur  $t$ .

Reifen: Conti C 14 Natur, 5,50 - 16

$G = 450 \text{ kg}$ ,  $p = 2,2 \text{ atü}$

Messstelle (8) zwischen Schulter und Mitte.

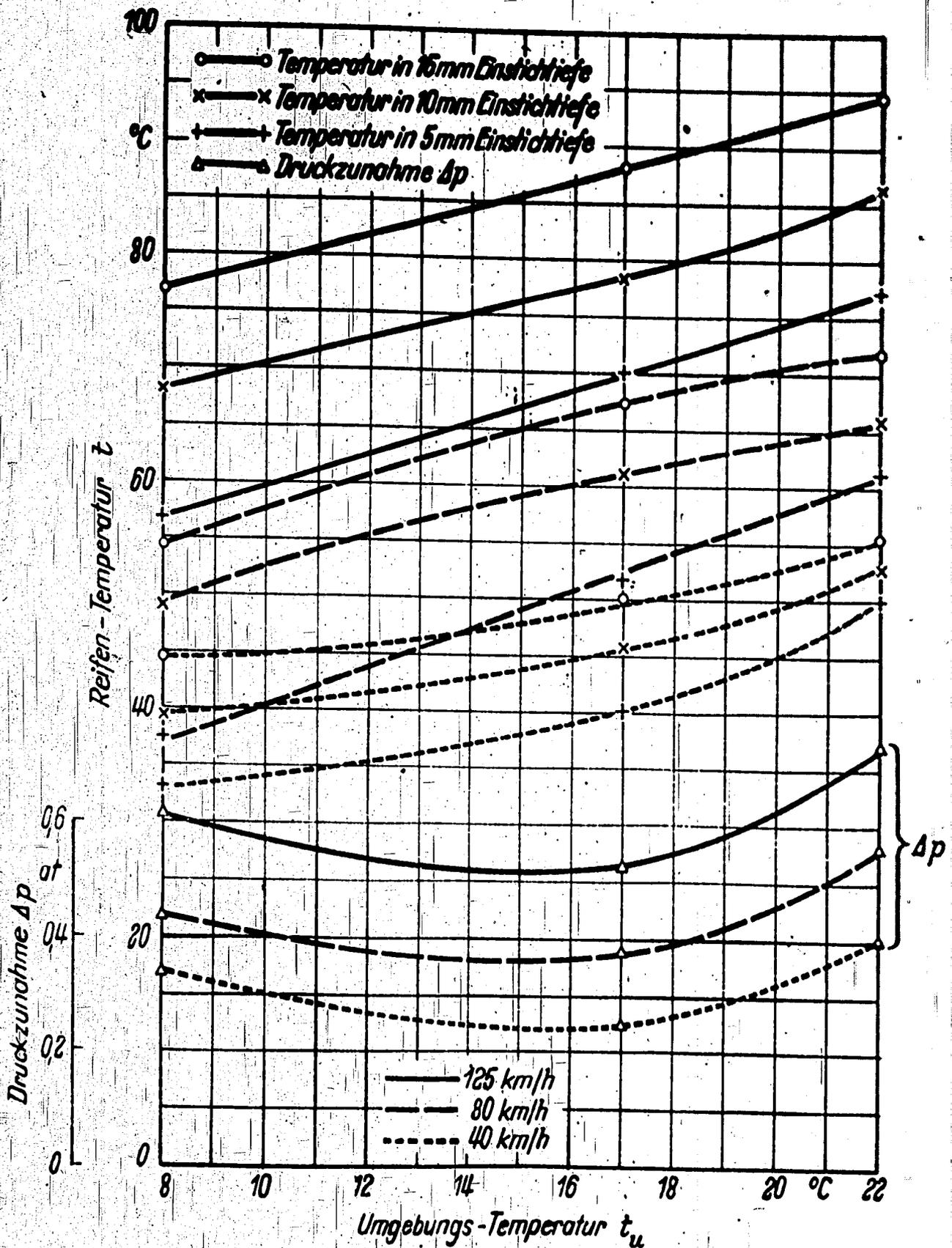


Bild 14

Reifentemperatur  $t$  und Druckzunahme  $\Delta p$  in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur  $t_u$  bei 125, 80, 40 km/h.

Reifen: Conti C 14 Natur, 5,50 - 16

$G = 450$  kg,  $p = 2,2$  atü

Messstellen 2, 5, 8 zwischen Schulter und Mitte

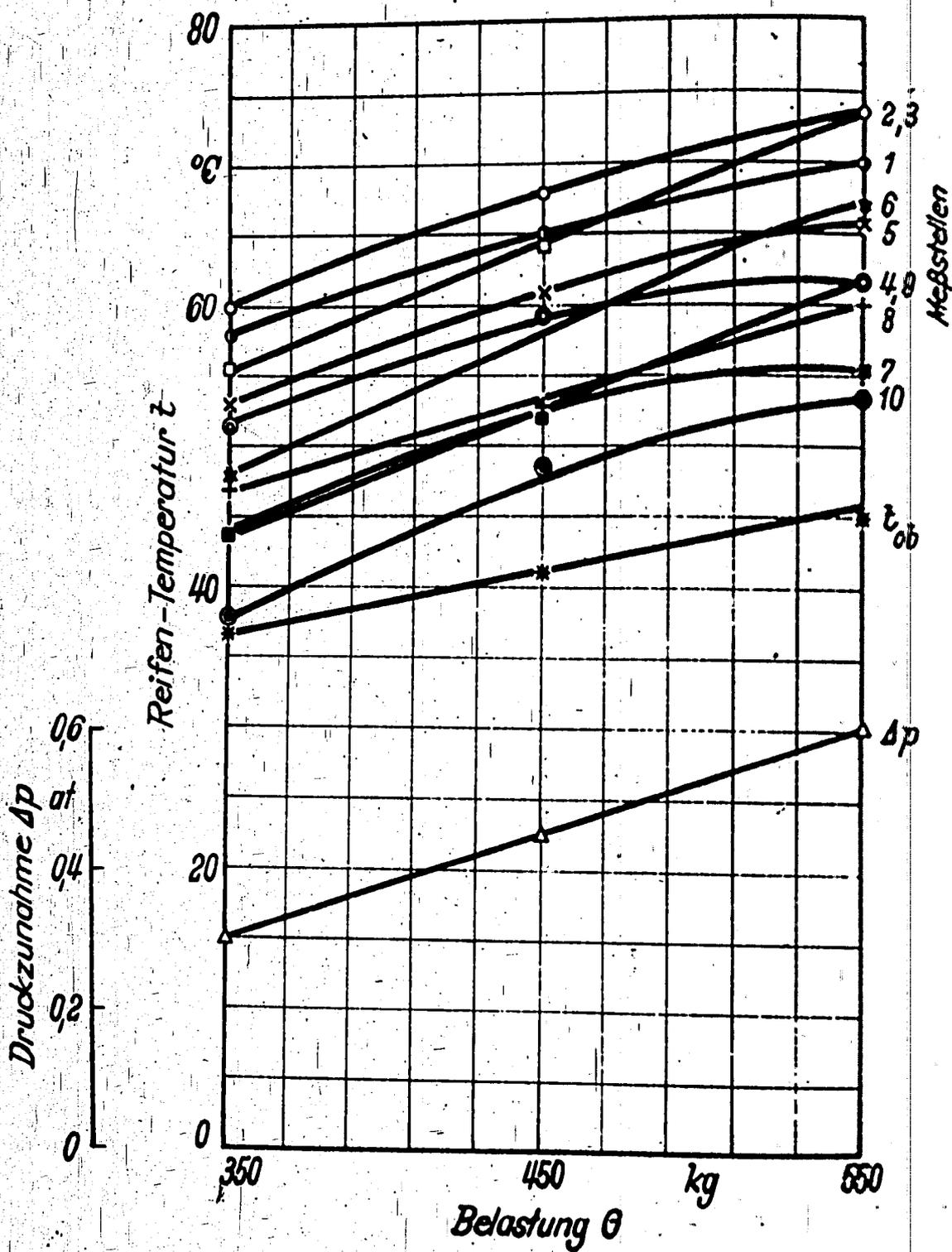


Bild 15

Reifentemperatur  $t$  und Druckzunahme  $\Delta p$  in Abhängigkeit von der Belastung.

Reifen: Conti C 14 Natur, 5,50 - 16  
 $p = 2,2$  atü,  $v = 80$  km/h,  $t_u = 17^\circ\text{C}$

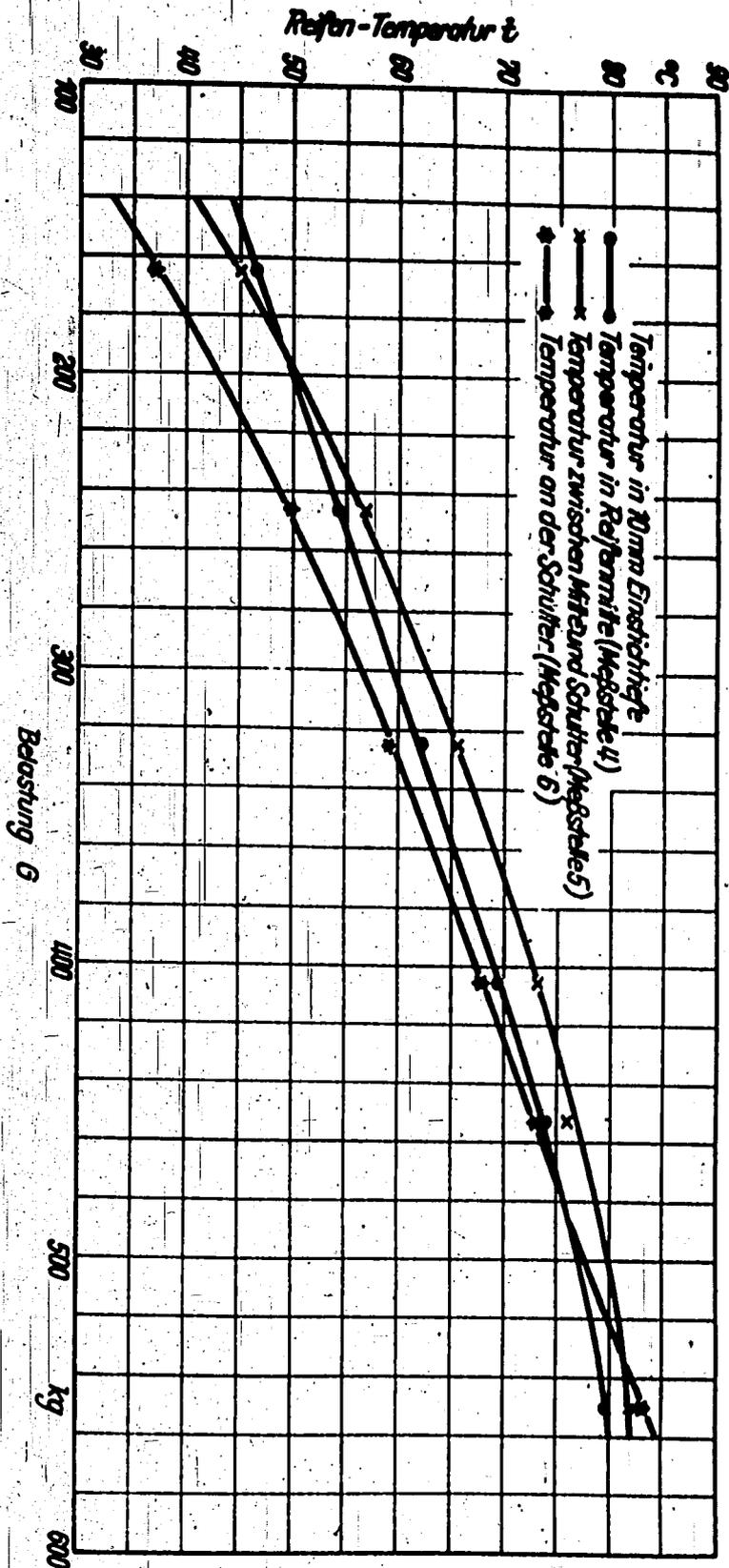


Bild 16

Reifentemperatur in Abhängigkeit von der Belastung  
 Reifen: Conti C 14 Natur, 6,00 - 16  
 $p = 1,81 \text{ atü}$ ,  $v = 100 \text{ km/h}$ ,  $t_U = 17^\circ\text{C}$

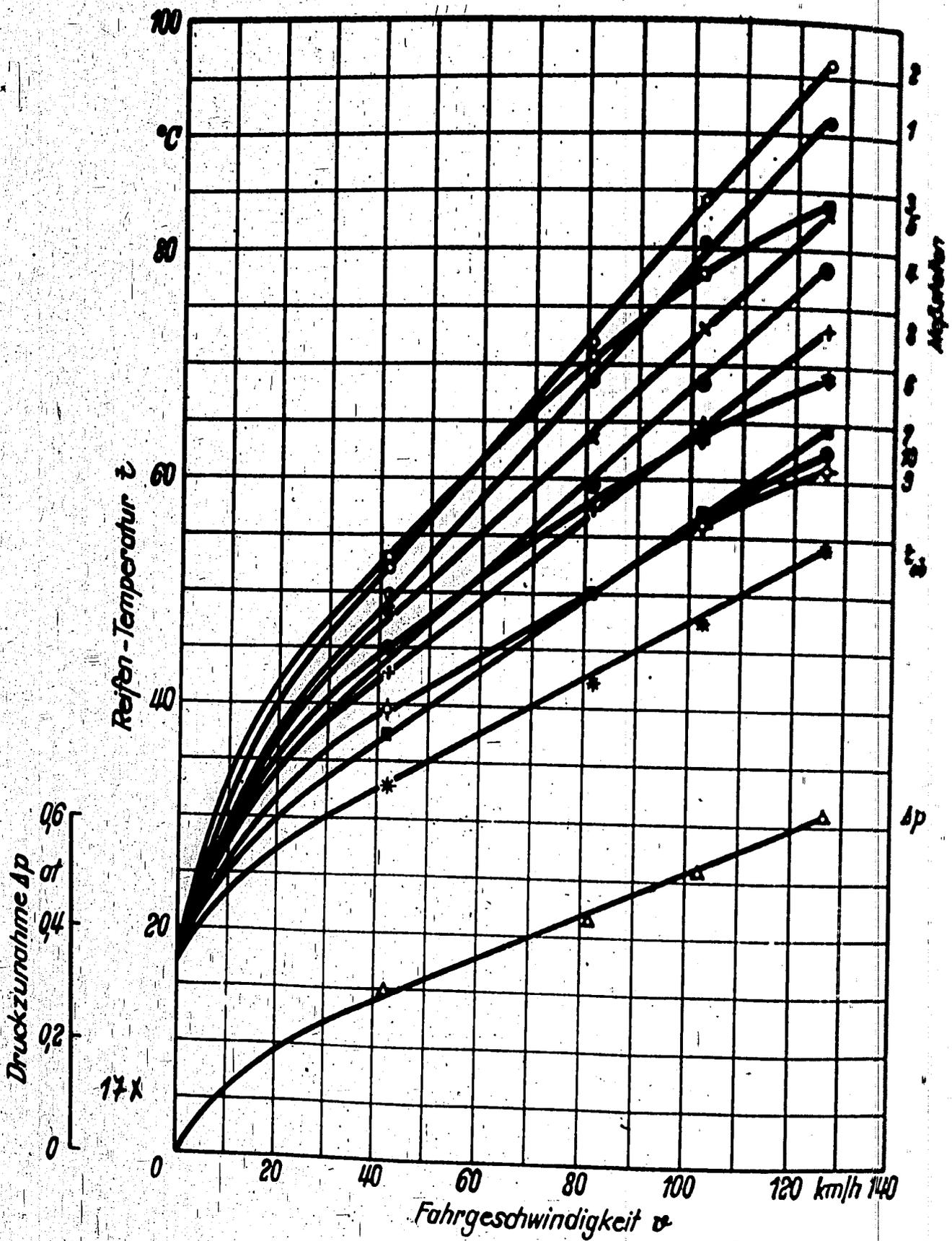


Bild 17

Temperaturverteilung im Reifen in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit v

Reifen: IG. 1360, Buna, 5,50 - 16  
 G = 450 kg, p = 2,2 atü,  $t_U = 17^\circ C$

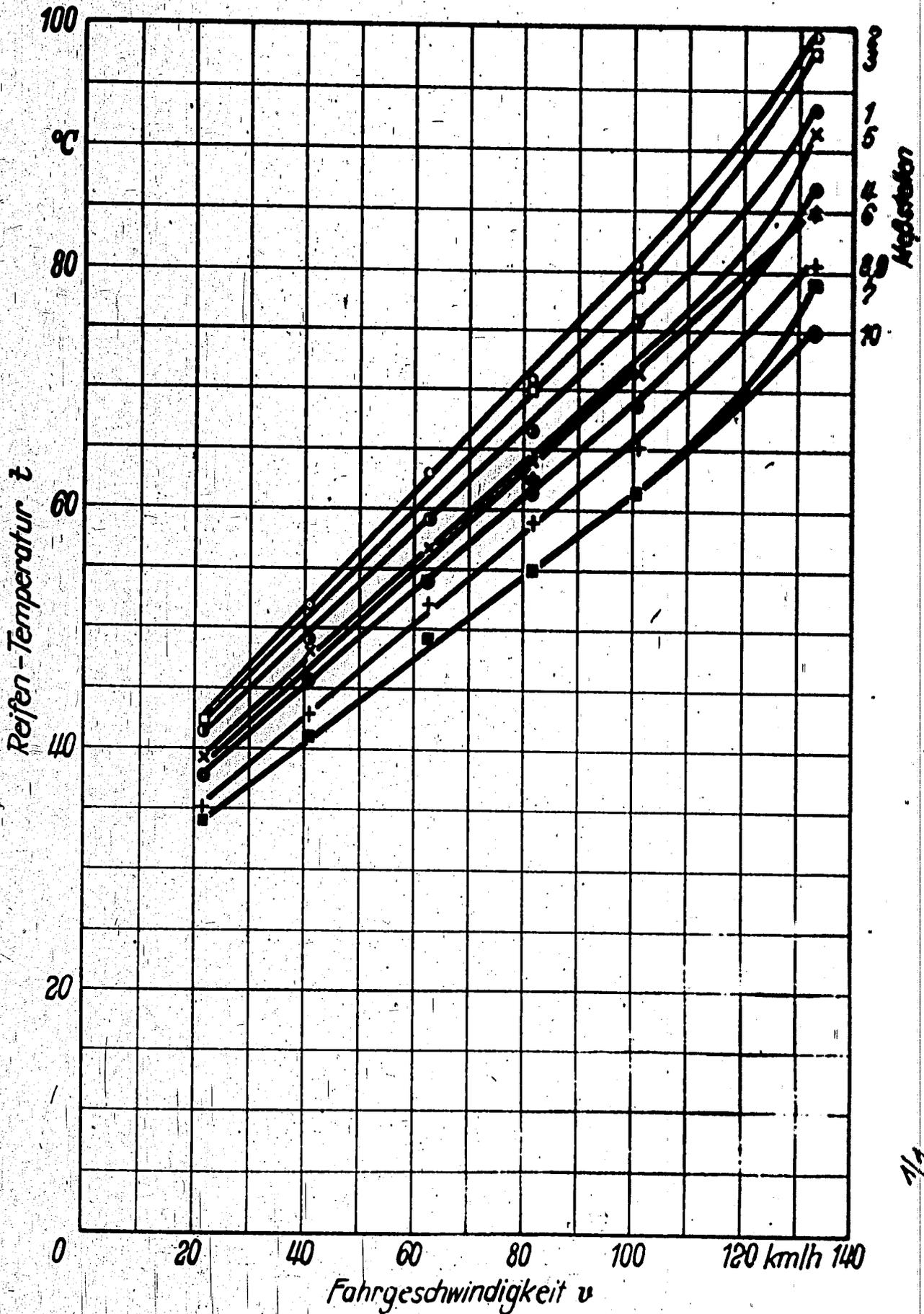
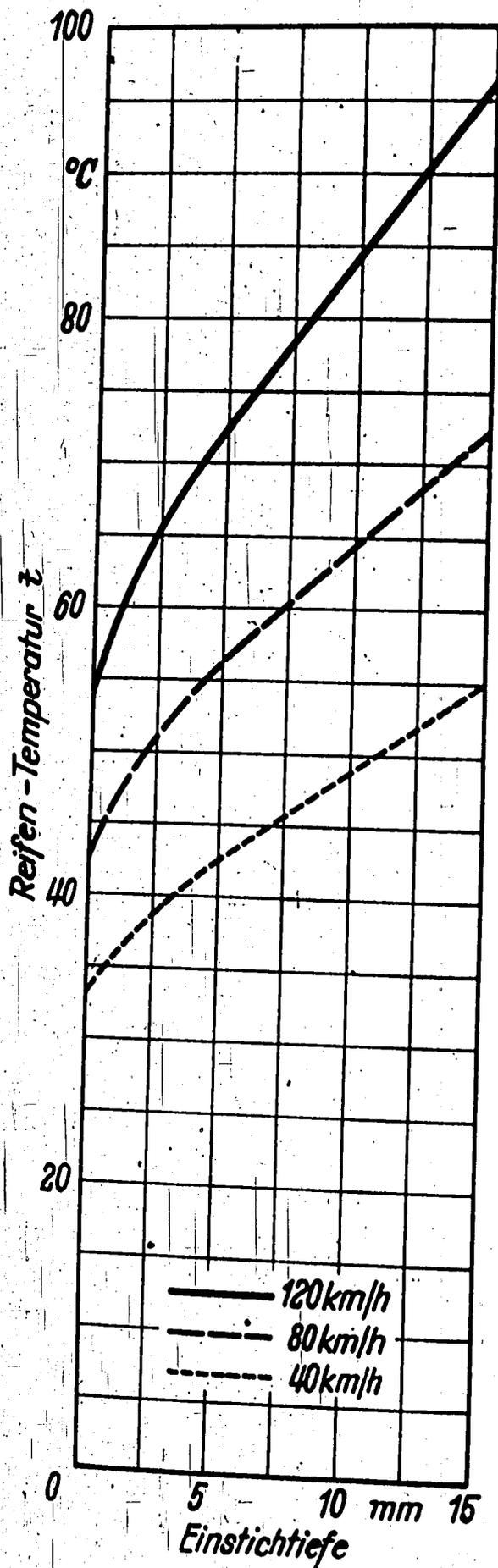


Bild 18

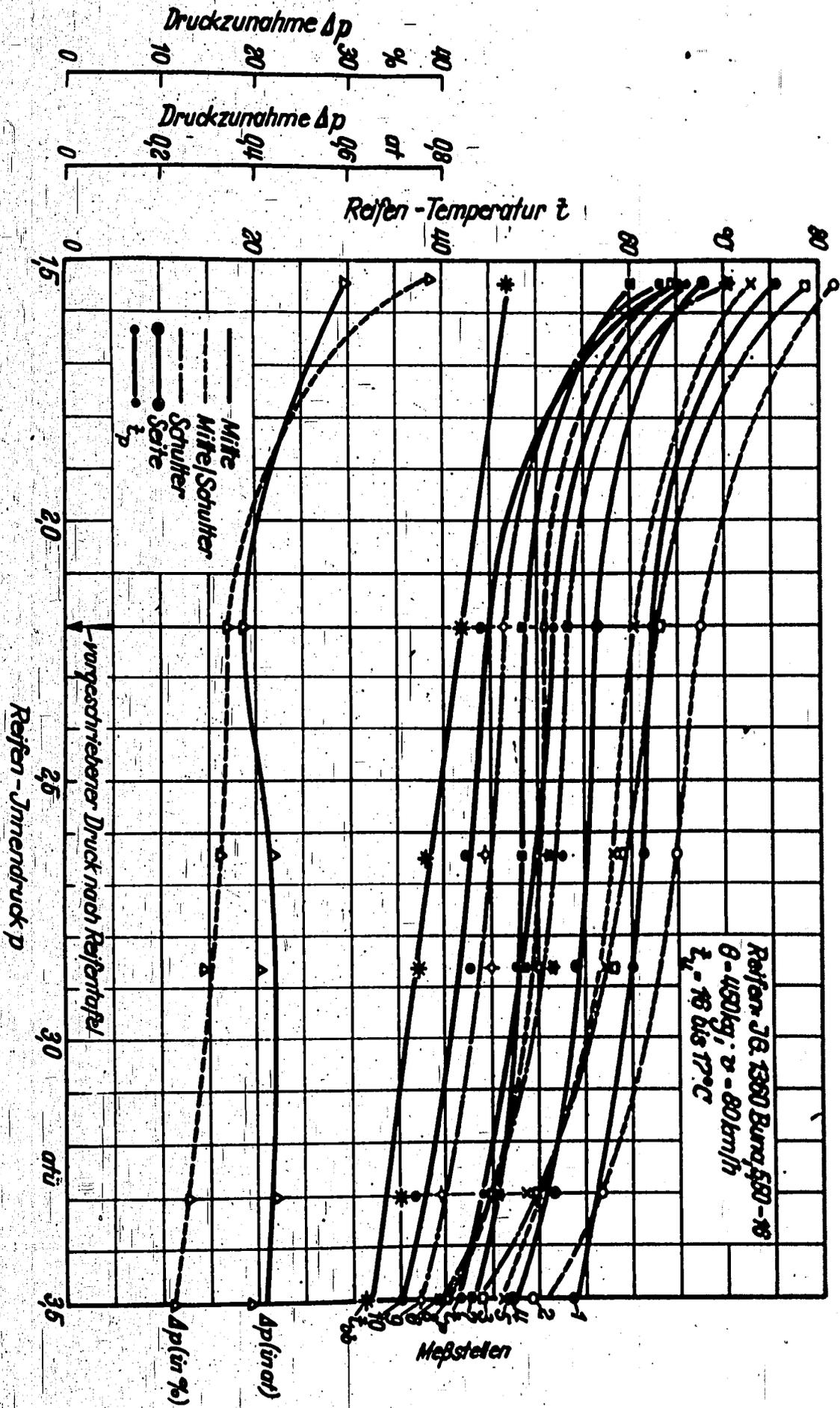
Reifentemperatur in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit.

Reifen: Conti FP 20 Natur, 6,50 - 16  
 $G = 625 \text{ kg}$ ,  $p = 2,8 \text{ atü}$ ,  $t_0 = 17^{\circ} \text{ C}$

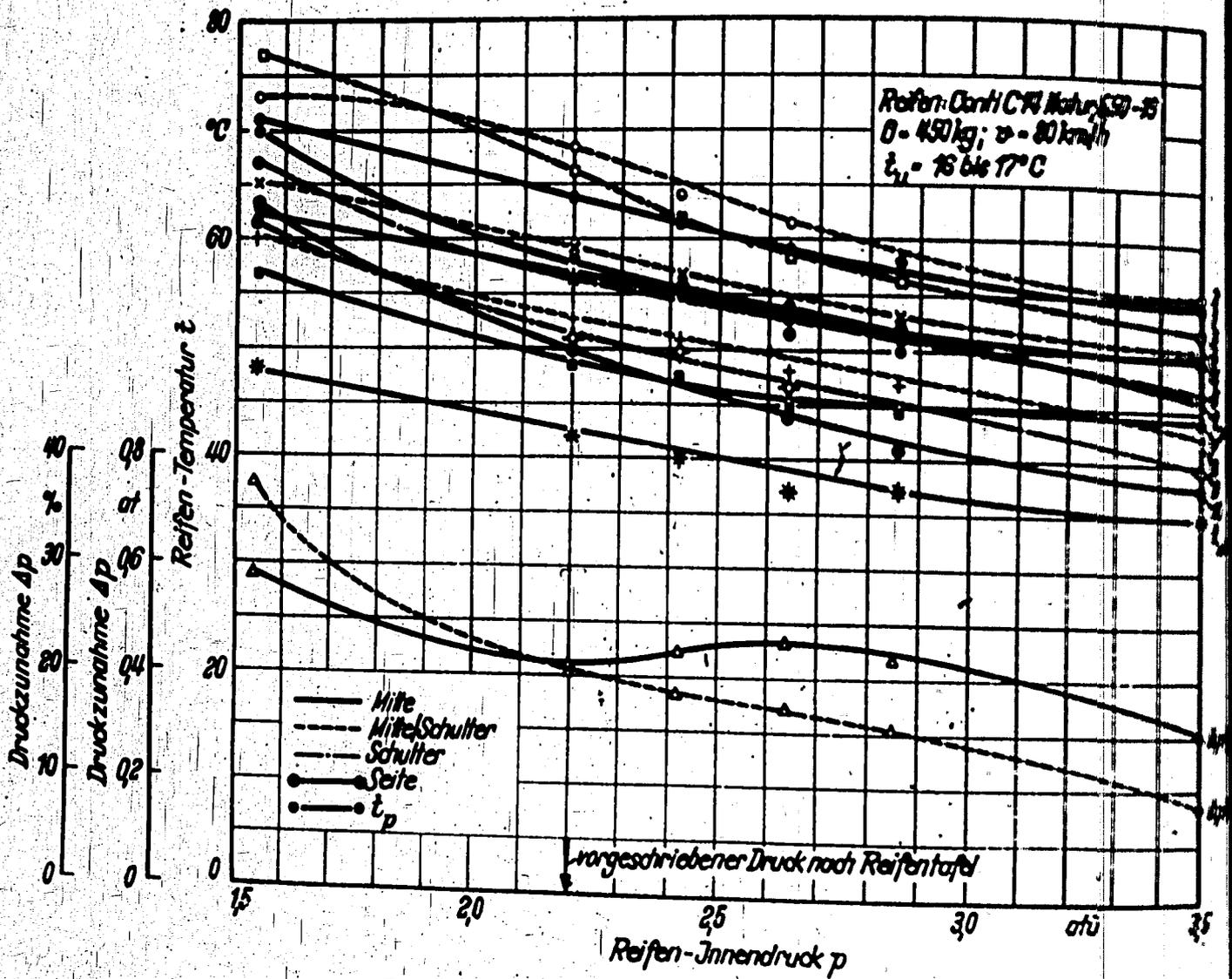


**Bild 19**  
Temperaturverteilung im Reifen in Abhängigkeit von der Einstichtiefe.

Reifen: IG. 1360 Buna, 5,50 - 16  
 $G = 450 \text{ kg}$ ,  $p = 2,2 \text{ atü}$ ,  $t_U = 17^\circ \text{ C}$



**Bild 20**  
 Temperaturverteilung in Abhängigkeit vom  
 Reifeninnendruck.



**Bild 21**  
 Temperaturverteilung in Abhängigkeit vom Reifen-  
 innendruck.

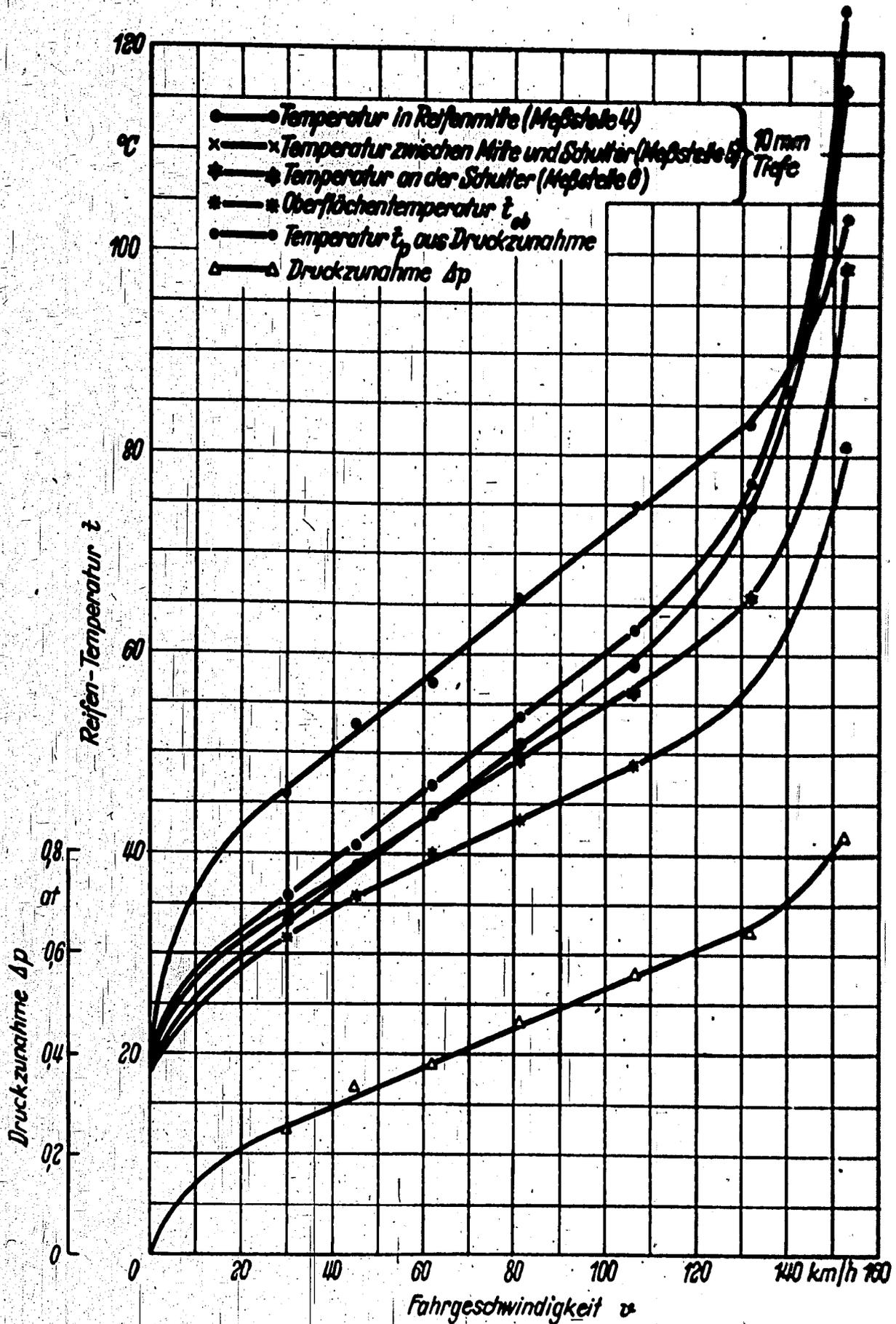
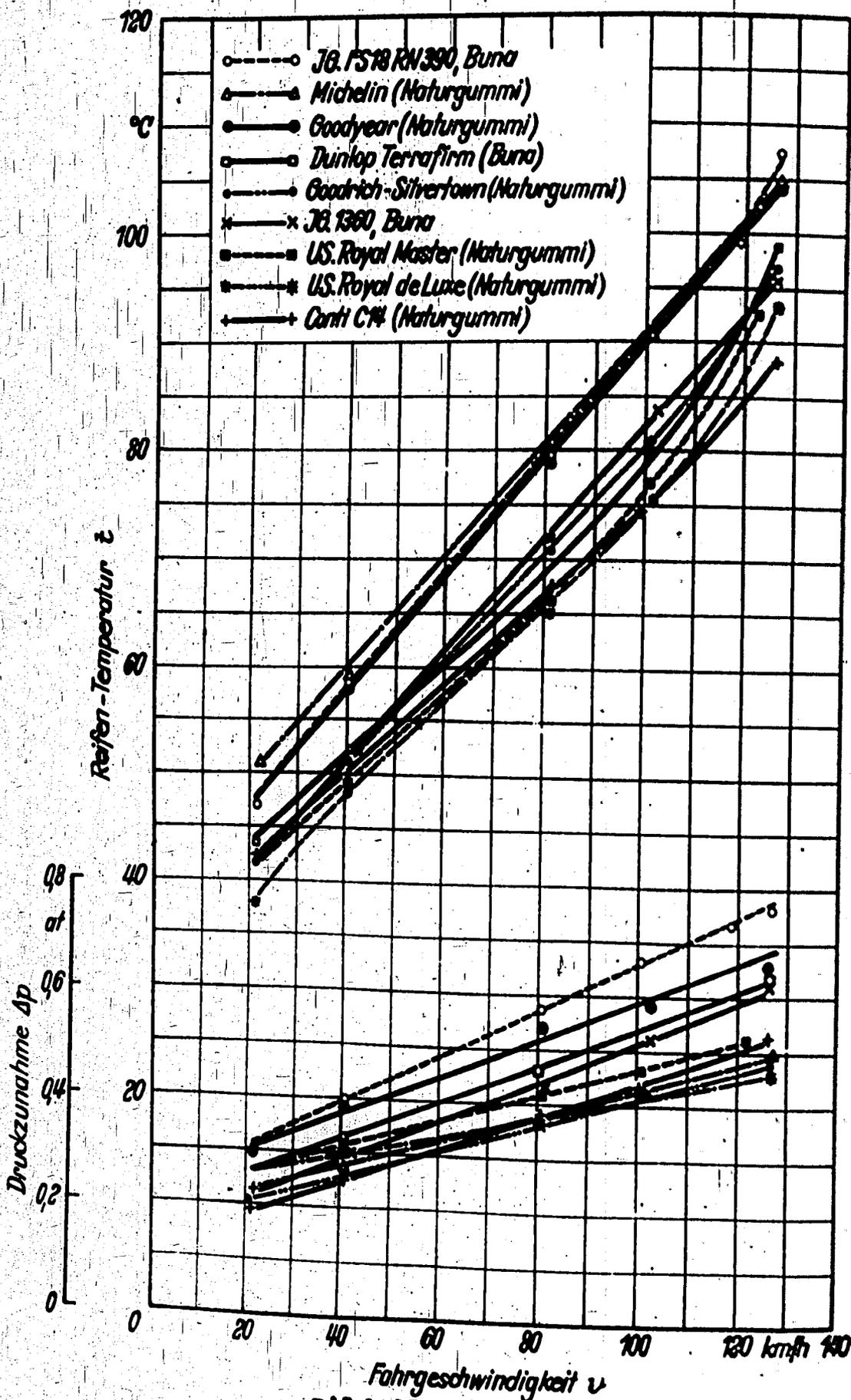


Bild 22

Reifentemperatur  $t$  und Druckzunahme  $\Delta p$  in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit  $v$ .

Reifen: Semperit S 18 Buna, 6,00 - 16

$G = 455$  kg,  $p = 1,81$  atü,  $t_0 = 17^\circ$  C



**Bild 23**

Vergleich der Erwärmung verschiedener Reifen der Größe 5,50 - 16

Reifentemperatur  $t$  und Drucksunahme  $\Delta p$  in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit  $v$  in 15 mm Einstichtiefe bei dem Druck 2,2 at  $G = 450$  kg,  $t_U = 17^\circ C$   
 Messstelle (2) zwischen Schulter und Mitte

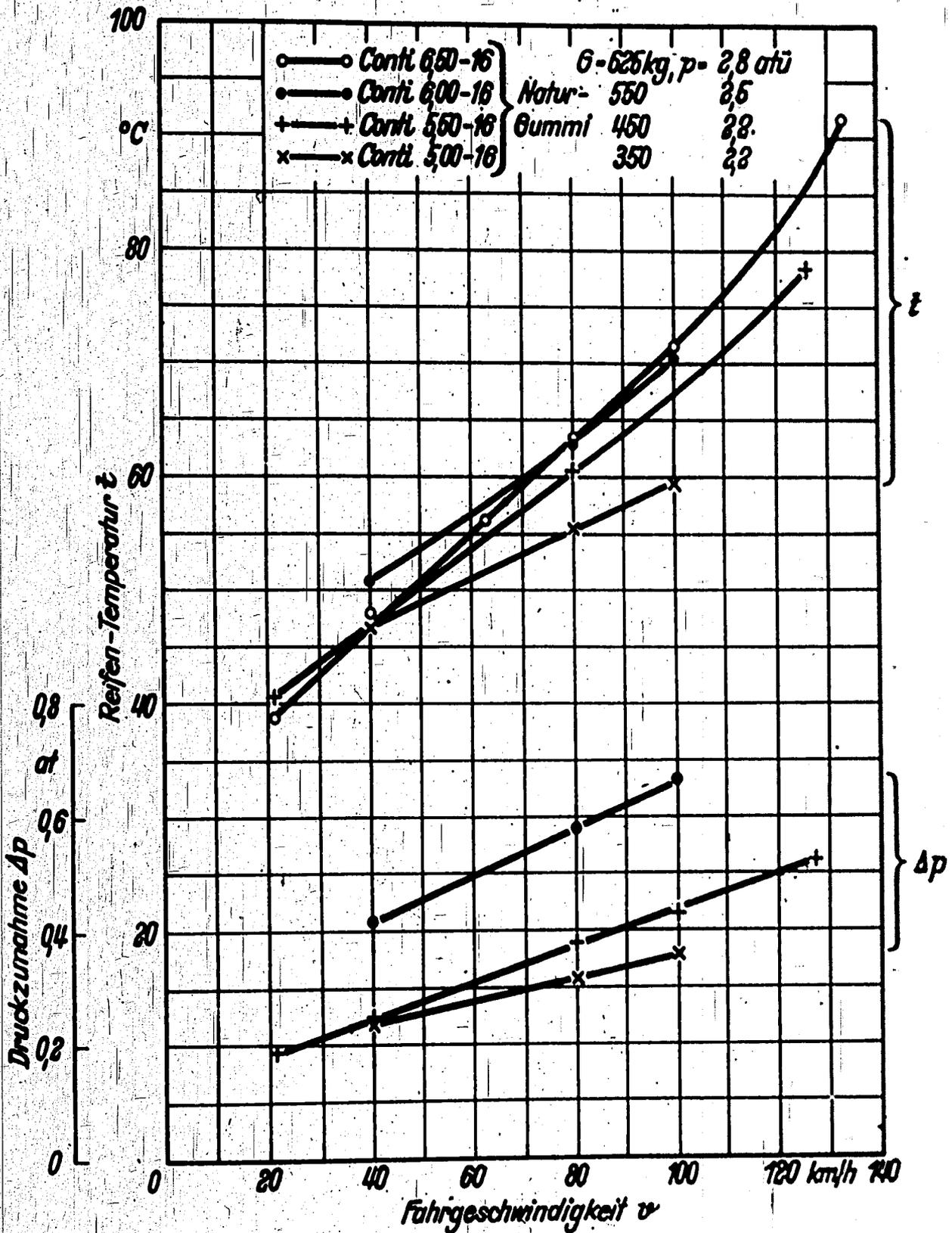


Bild 24

Vergleich der Erwärmung von Conti-Natur-Reifen verschiedener Grössen.

Reifentemperatur  $t$  in 10 mm Einstichtiefe und Druckzunahme  $\Delta p$  in Abhängigkeit von der Fahr-geschwindigkeit  $v$ .

Conti-Natur 6,50-16  $G = 625$  kg  $p = 2,8$  atü

" 6,00-16 " = 550 kg " = 2,5 atü

" 5,50-16 " = 450 kg " = 2,2 atü

" 5,00-16 " = 350 kg " = 2,2 atü

Messtelle (5) zwischen Schulter und Mitte,  $t_{17} = 17^\circ\text{C}$

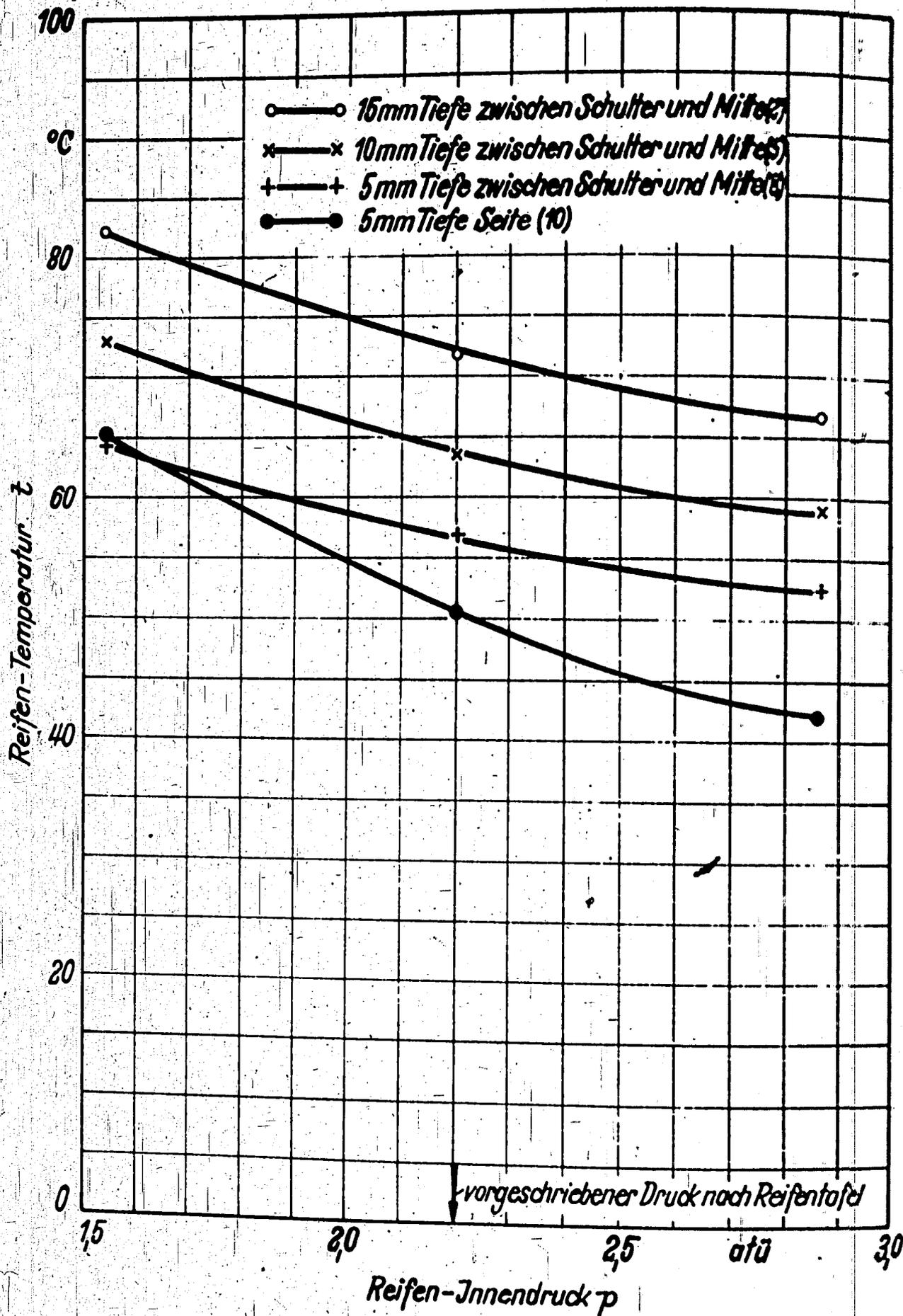
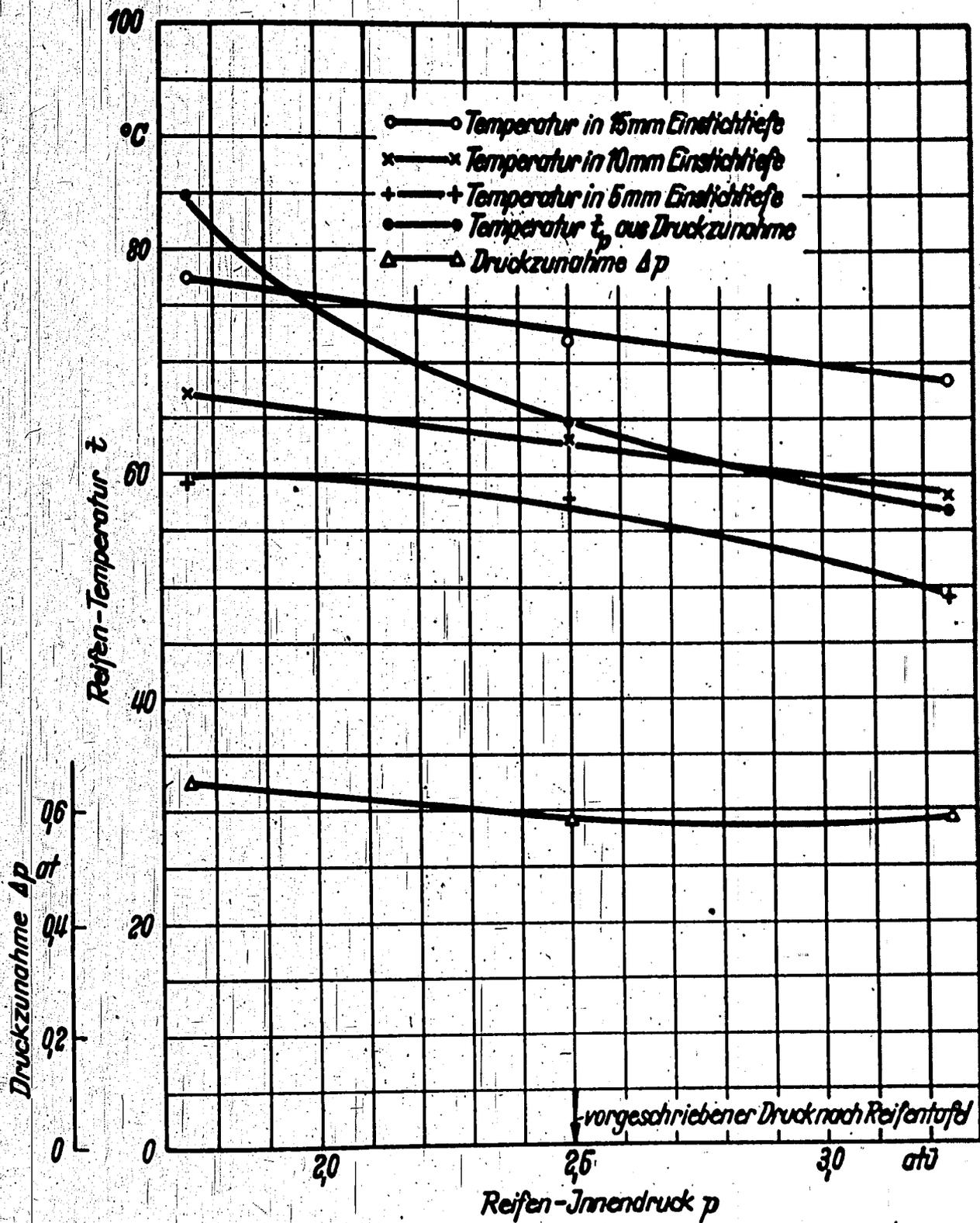


Bild 25  
 Reifentemperatur  $t$  in Abhängigkeit vom Innendruck  $p$   
 Reifen: IG 1360 Buna, 5,50 - 16  
 $G = 450$  kg,  $v = 80$  km/h,  $t_U = 17^\circ\text{C}$   
 Messstellen (2, 5, 8) zwischen Schulter und Mitte und  
 an der Seite (10)



**Bild 26**  
 Reifentemperatur  $t$  und Druckzunahme  $\Delta p$  in Abhängigkeit vom Innendruck bei der Fahrgeschwindigkeit von 80 km/h.

Reifen: Conti C 14 Natur, 6,00 - 16.  
 $G = 550 \text{ kg}$ ,  $t_U = 17^\circ \text{ C}$

Messtelle (2,5,8) zwischen Schulter und Mitte.

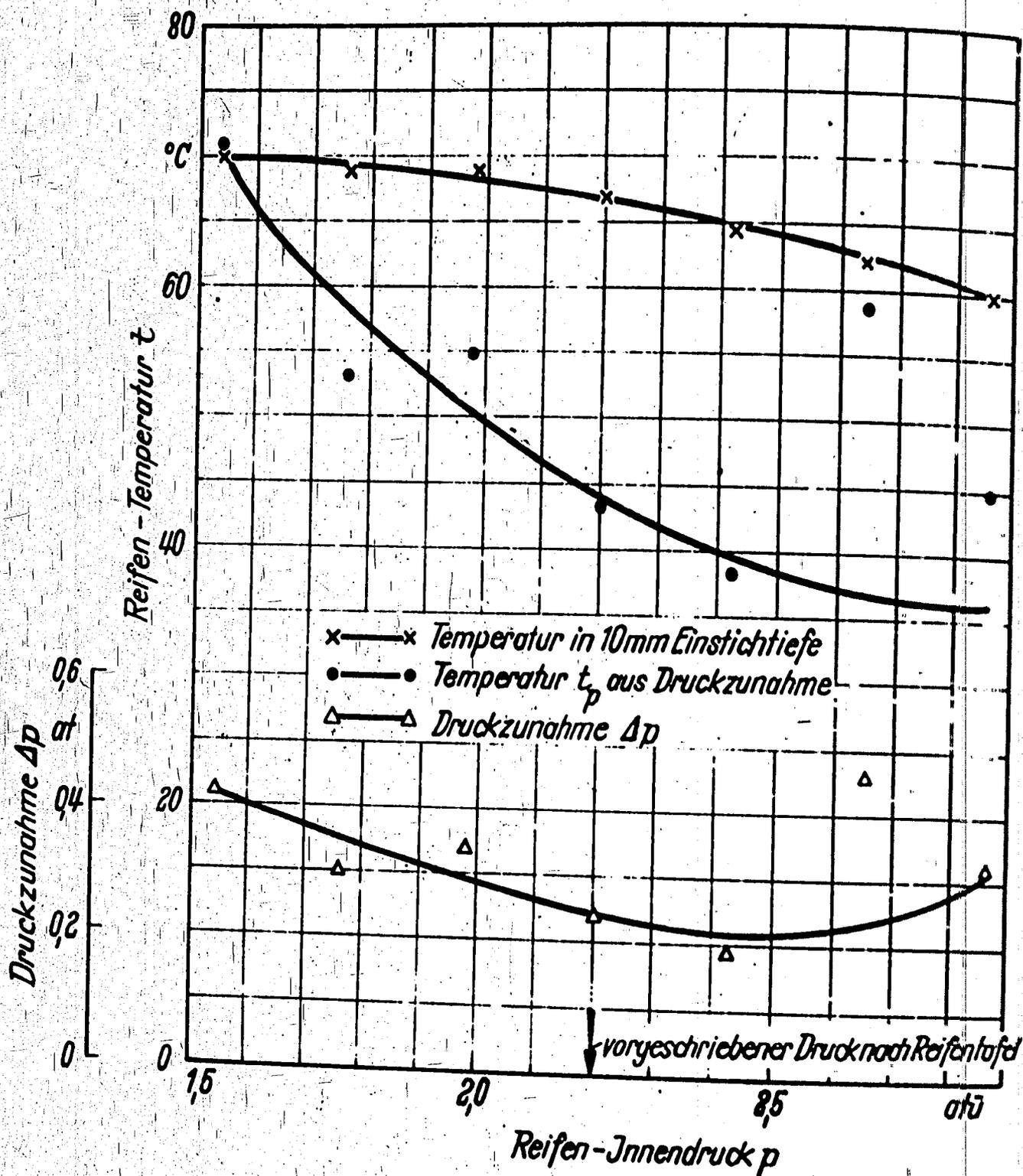


Bild 27

Reifentemperatur  $t$  in 10 mm Einstichtiefe und Druckzunahme  $\Delta p$  in Abhängigkeit vom Innendruck bei 80 km/h (Versuch mit verschiedenen fabrikneuen Reifen einer Serie durchgeführt.)

Reifen: Conti C 14 Natur, 5,50 - 16

$G = 450$  kg,  $t_U = 21$  bis  $22^\circ$  C

Messtelle (5) zwischen Schulter und Mitte.

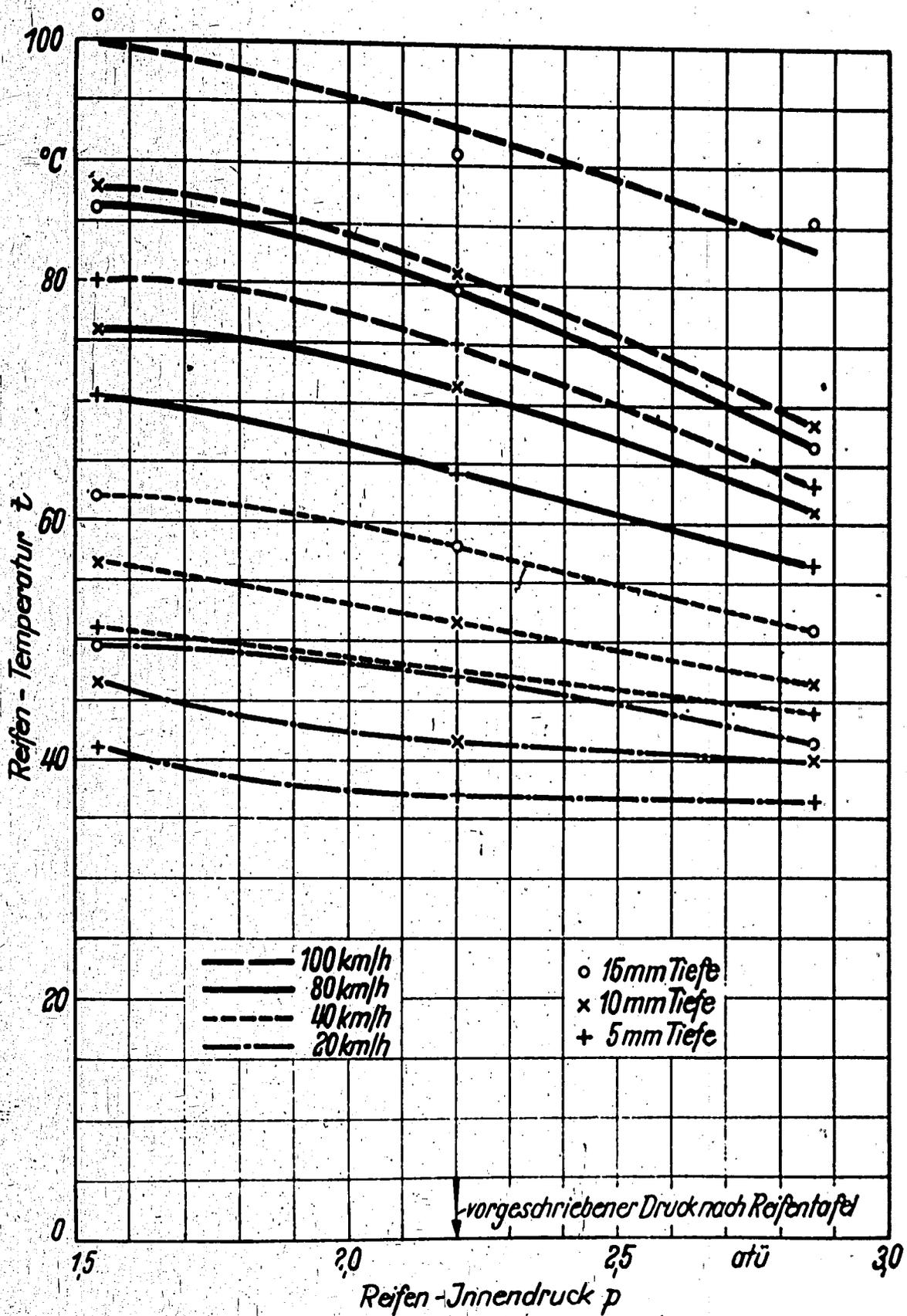


Bild 28

Reifentemperatur  $t$  in Abhängigkeit vom Innendruck bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten.

Reifen: IG.-PS 18 RN 390 Buna, 5,50 - 16

$G = 450 \text{ kg}$ ,  $t_y = 17^\circ \text{ C}$

Messstelle (2,5,8) zwischen Schulter und Mitte.

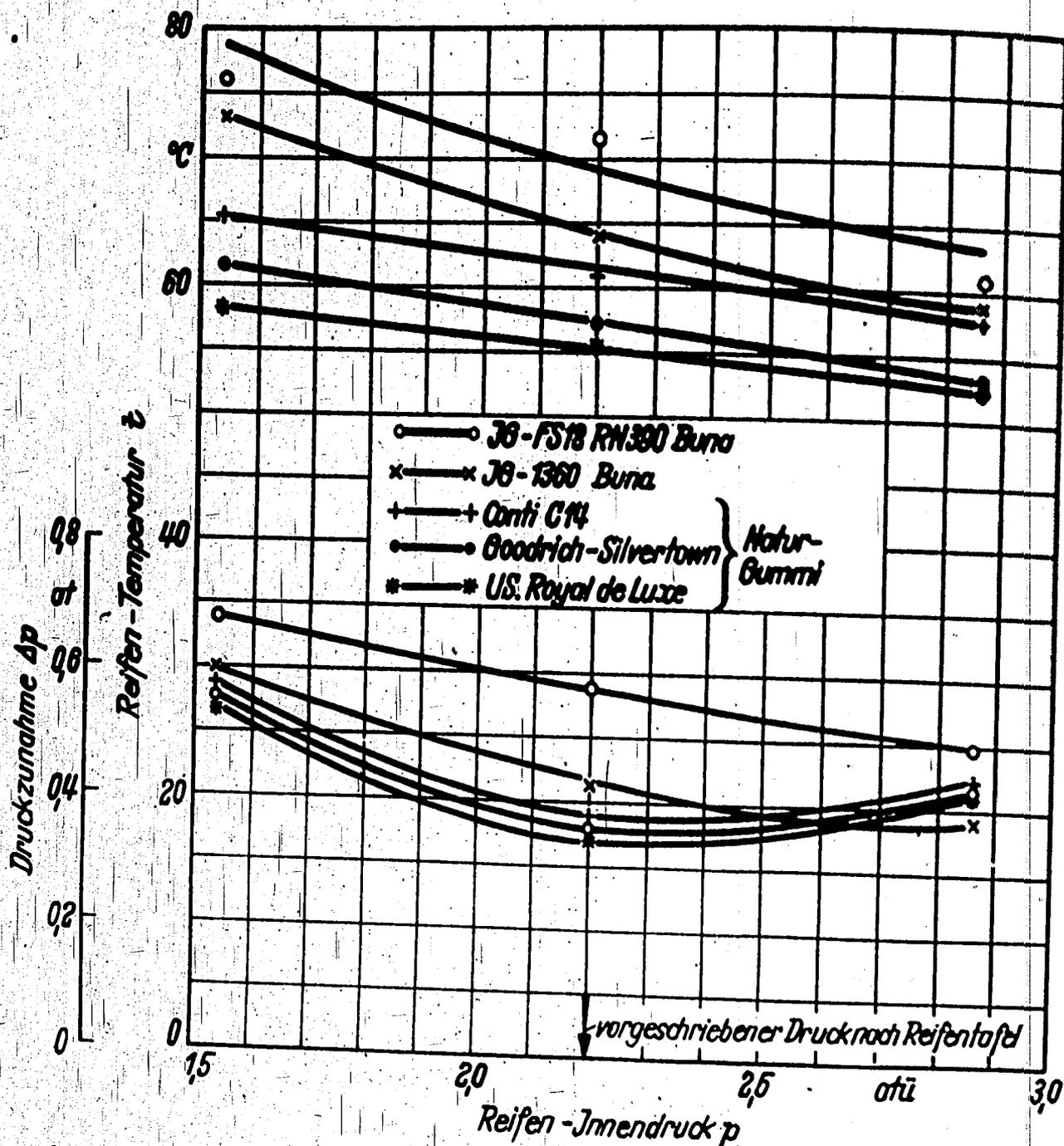


Bild 29

Vergleich verschiedener Reifen der Grösse 5,50 - 16<sup>7</sup>  
 Reifentemperatur  $t$  in 10 mm Einstichtiefe und Druck-  
 zunahme  $\Delta p$  in Abhängigkeit vom Innendruck bei der  
 Fahrgeschwindigkeit von 80 km/h.

$G = 450 \text{ kg}$ ,  $t_U = 17^\circ\text{C}$

Messstelle (5) zwischen Schulter und Mitte.

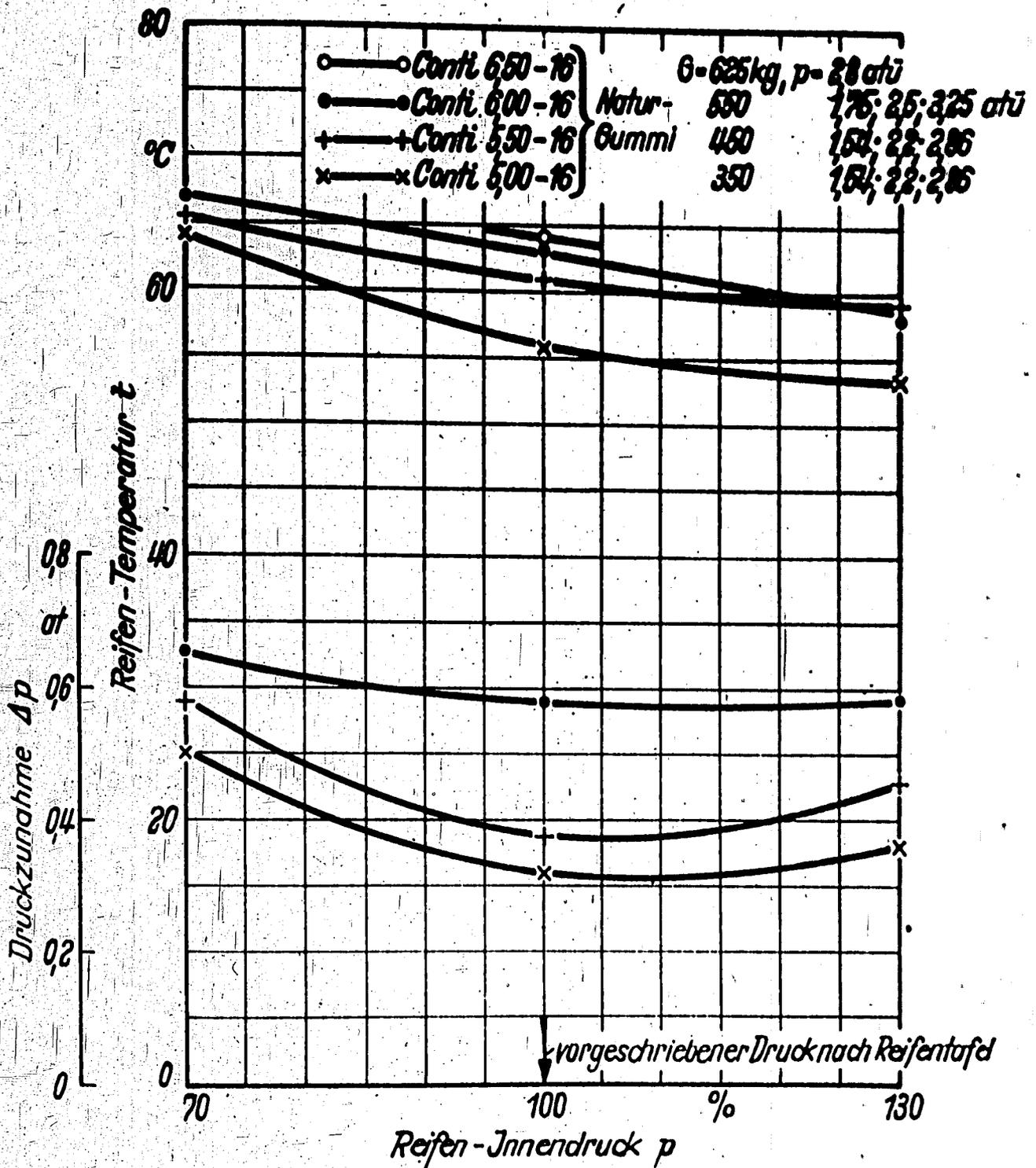
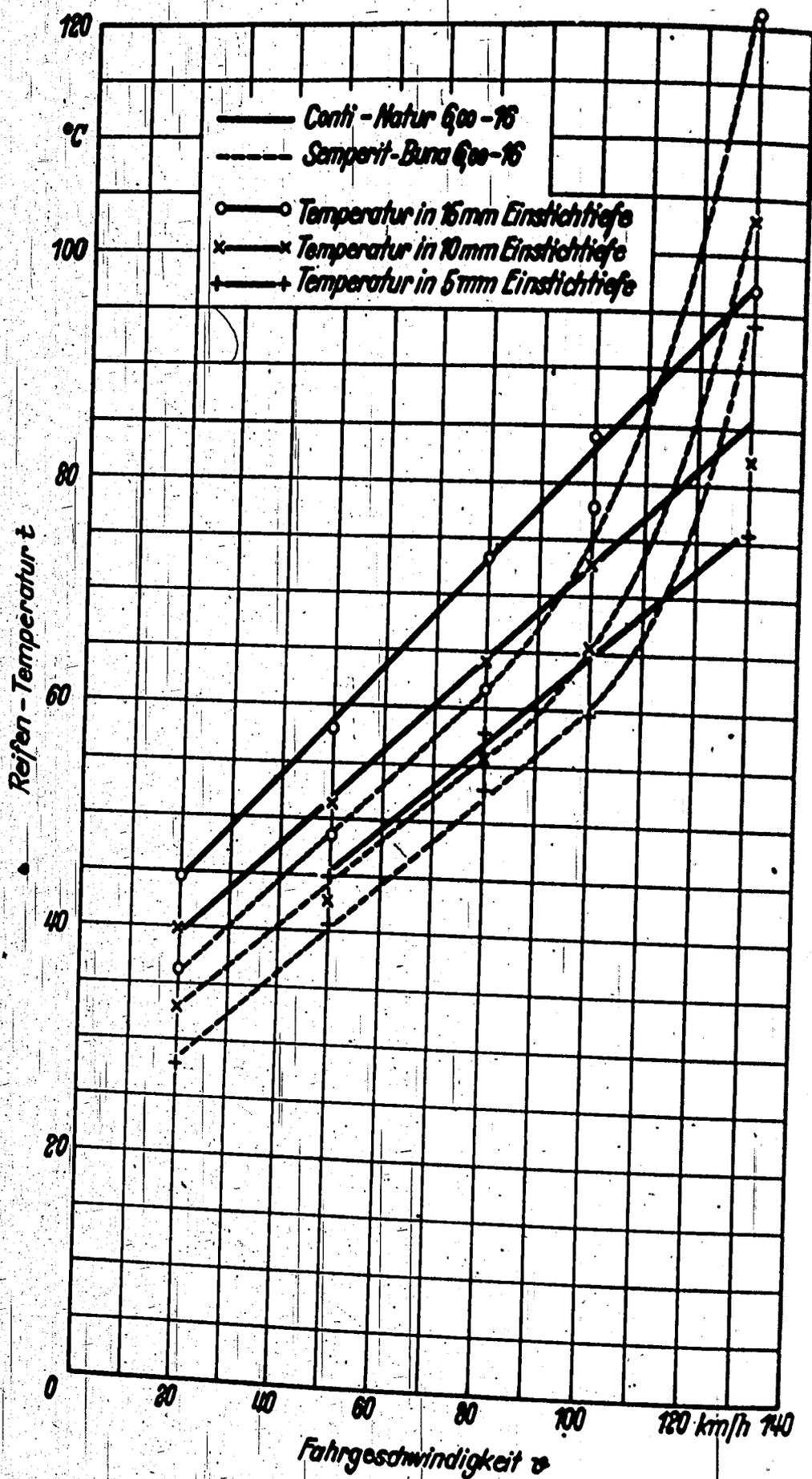


Bild 30

Vergleich der Erwärmung von Conti-Naturgummi-Reifen verschiedener Grösse.

Temperatur  $t$  in 10 mm Einstichtiefe und Drucksunahme in Abhängigkeit vom Innendruck (in % des vorgeschriebenen Reifendruck).

Messtelle (5) zwischen Schulter und Mitte.



**Bild 31**  
 Vergleich der Erwärmung von Buna- und Naturgummi-Reifen.  
 Reifentemperatur in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit  $G = 455 \text{ kg}$ ,  $p = 1,81 \text{ atü}$ ,  $t_U = 17^\circ\text{C}$   
 Messstelle (2,5,8) zwischen Schulter und Mitte.

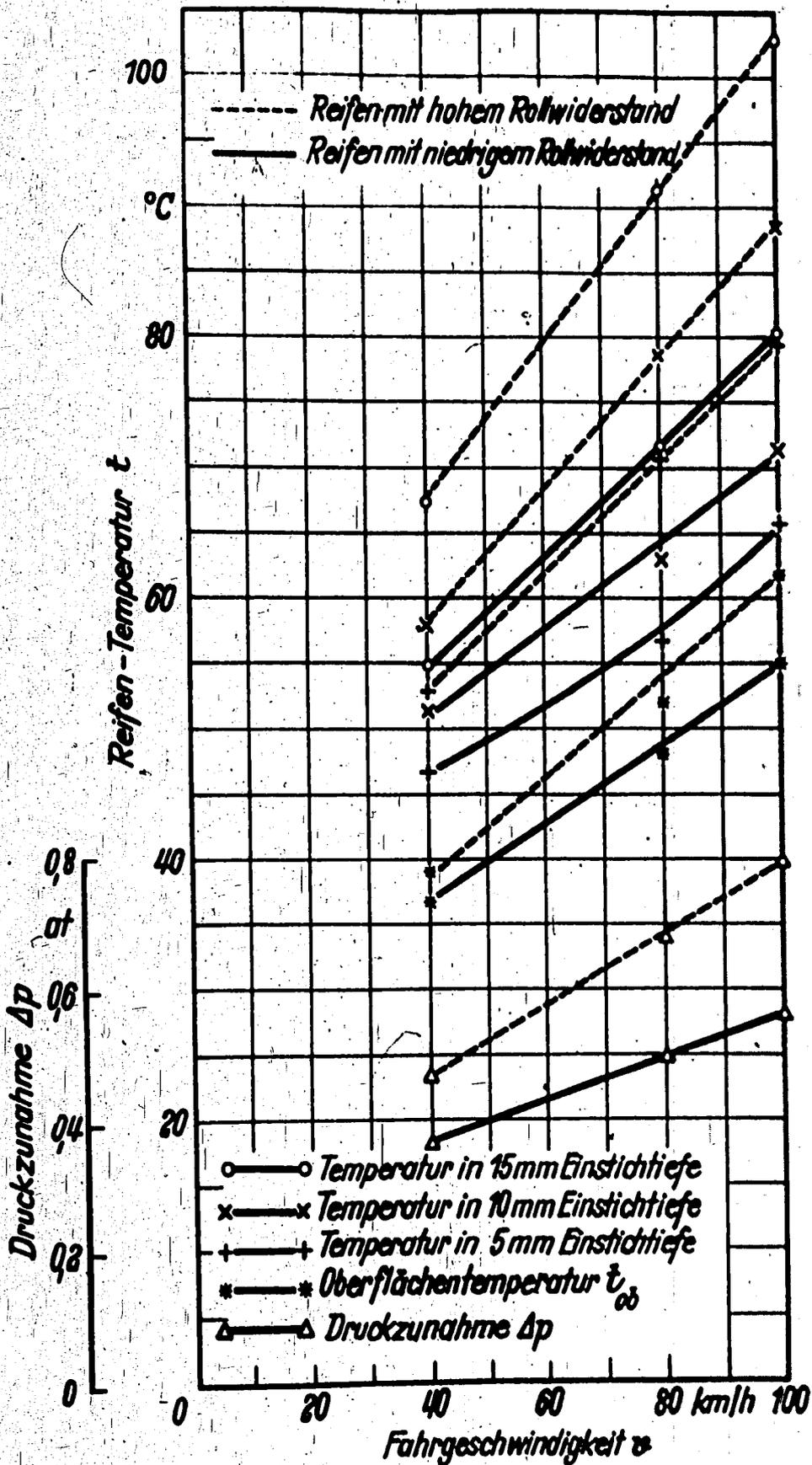
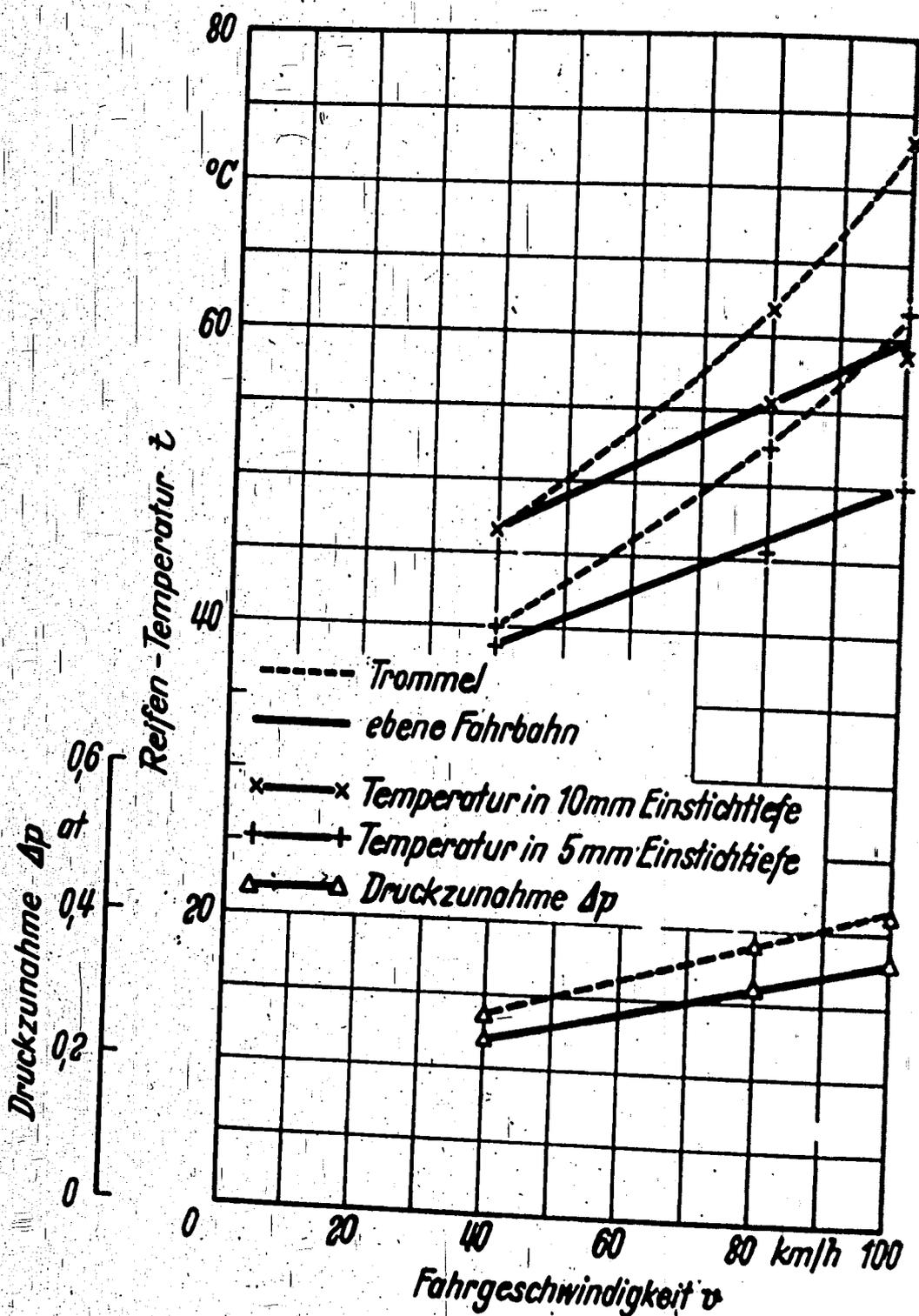


Bild 32

Vergleich der Erwärmung zweier Reifen mit verschiedenem Rollwiderstand

Reifen: Semperit-Buna 6,00-16, Nr. 19 990 (hoher Rollwiderstand)  
 Semperit-Buna 6,00-16, Nr. 19 930 (niedr. Rollwiderstand)  
 $G = 550$  kg,  $p = 1,5$  atü,  $t_U = 17^\circ\text{C}$   
 Messstelle (2,5,8) zwischen Schulter und Mitte.



**Bild 33**

Vergleich der Erwärmung auf ebener Fahrbahn und Lauftrommel.

Reifentemperatur  $t$  und Druckzunahme  $\Delta p$  in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit  $v$ .

Reifen: Conti C 14 Natur, 5,00 - 16  
 $G = 350$  kg,  $p = 2,2$  atü,  $t_U = 17^\circ$  C

Messstelle (5,8) zwischen Schulter und Mitte

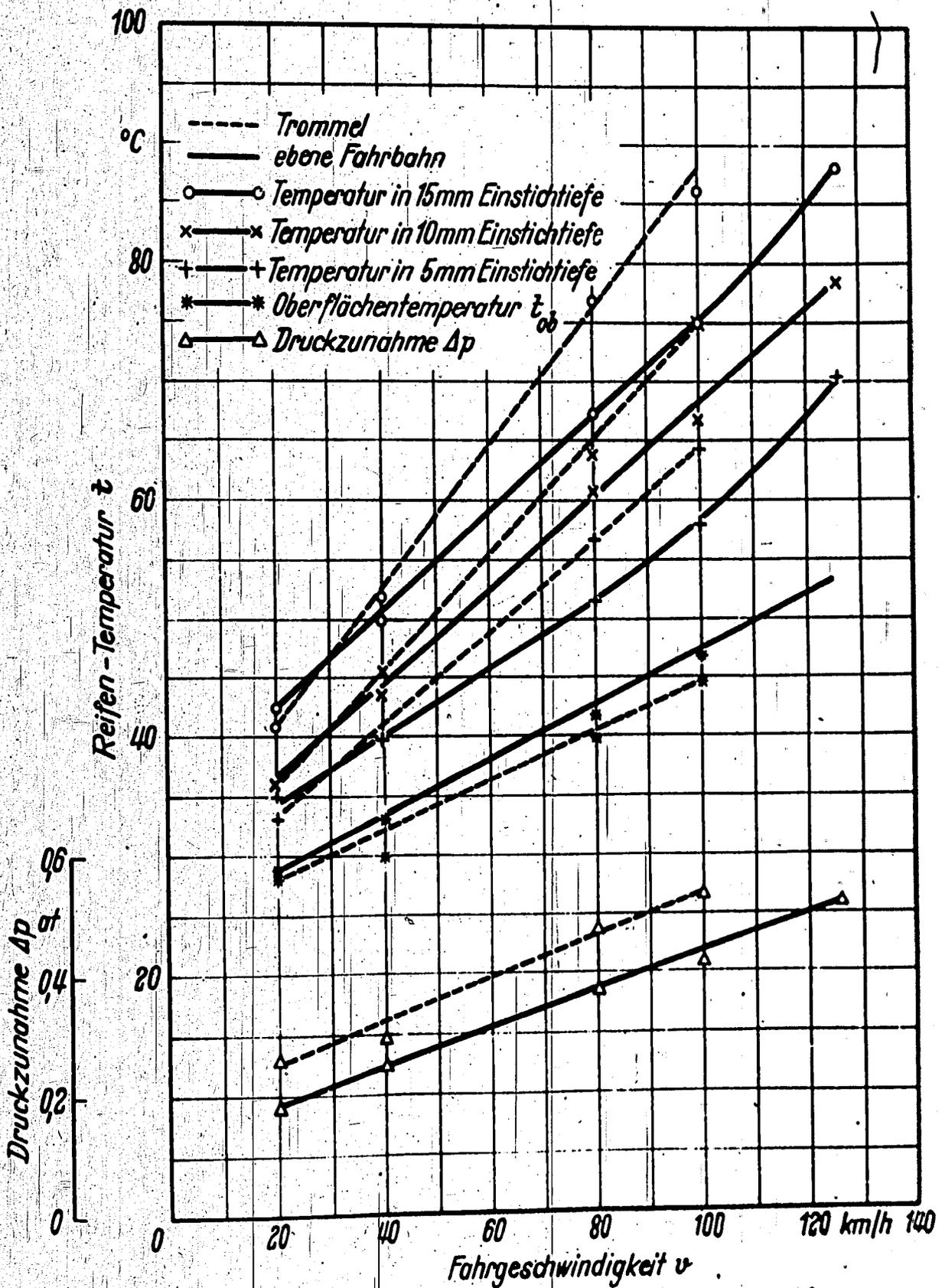


Bild 34

Vergleich der Erwärmung auf ebener Fahrbahn und Lauftrommel.

Reifentemperatur  $t$  und Druckzunahme  $\Delta p$  in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit  $v$ .

Reifen: Conti C 14, Natur, 5,50 - 16  
 $G = 450$  kg,  $p = 2,2$  atü,  $t_U = 17^\circ$  C

Messstelle (2,5,8) zwischen Schulter und Mitte.

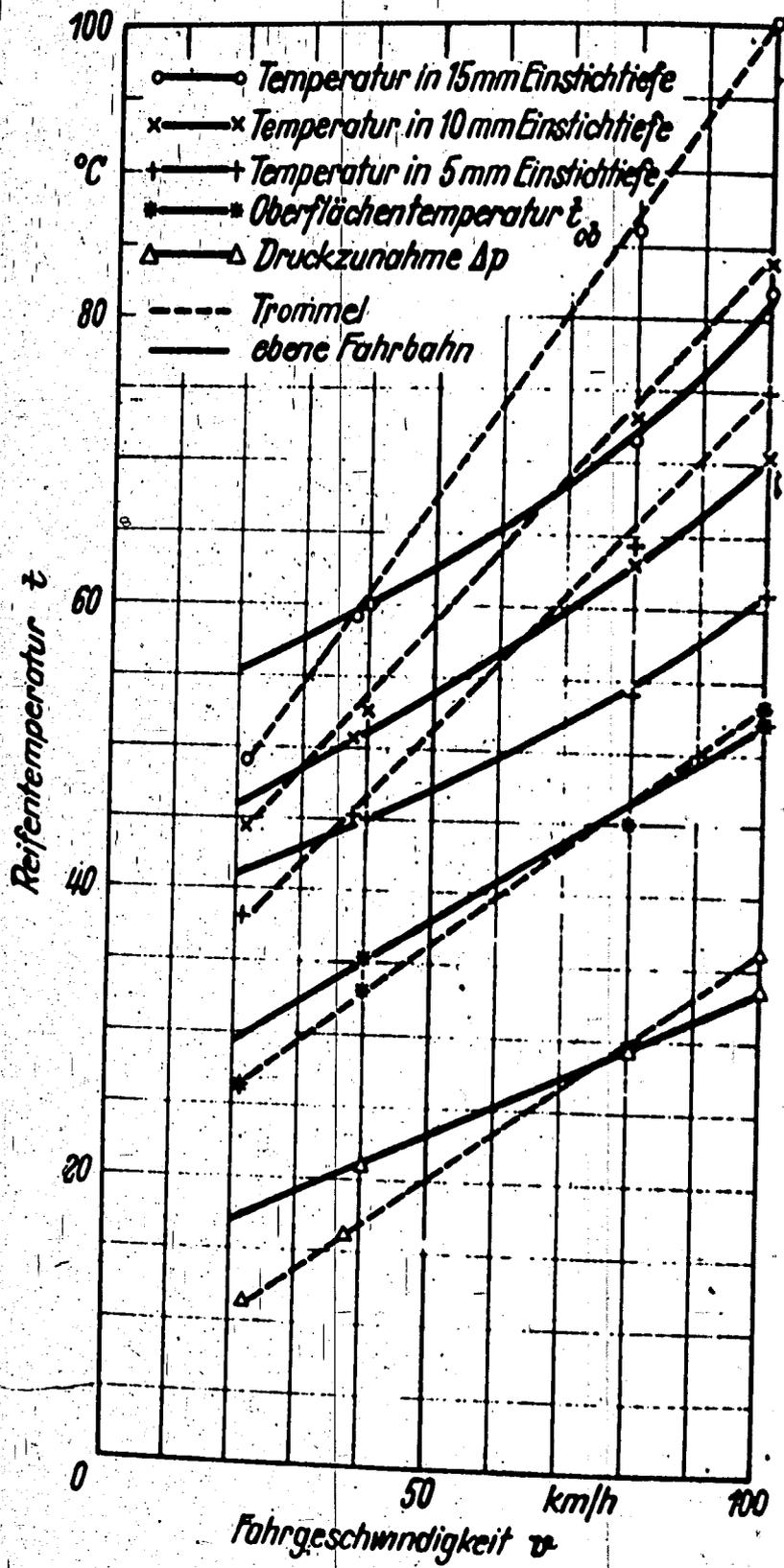


Bild 35

Vergleich der Erwärmung auf ebener Fahrbahn und Lauftrommel.

Reifentemperatur  $t$  und Druckzunahme  $\Delta p$  in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit  $v$ .  
 Reifen: Conti C 14 Natur 6,00 - 16  
 $G = 550$  kg,  $p = 2,5$  atü,  $t_U = 17^\circ\text{C}$   
 Messstelle (2,5,8) zwischen Schulter und Mitte.

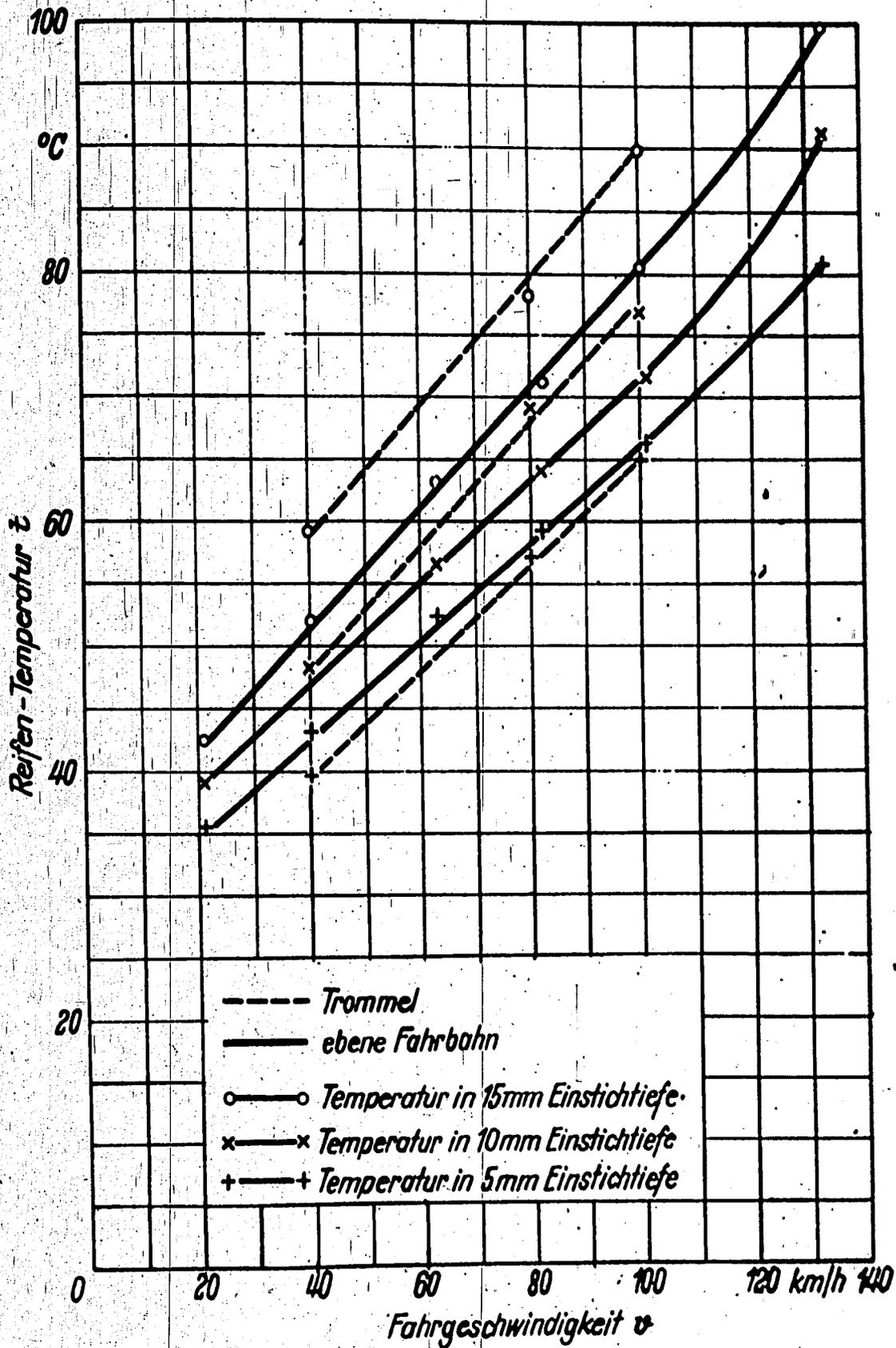


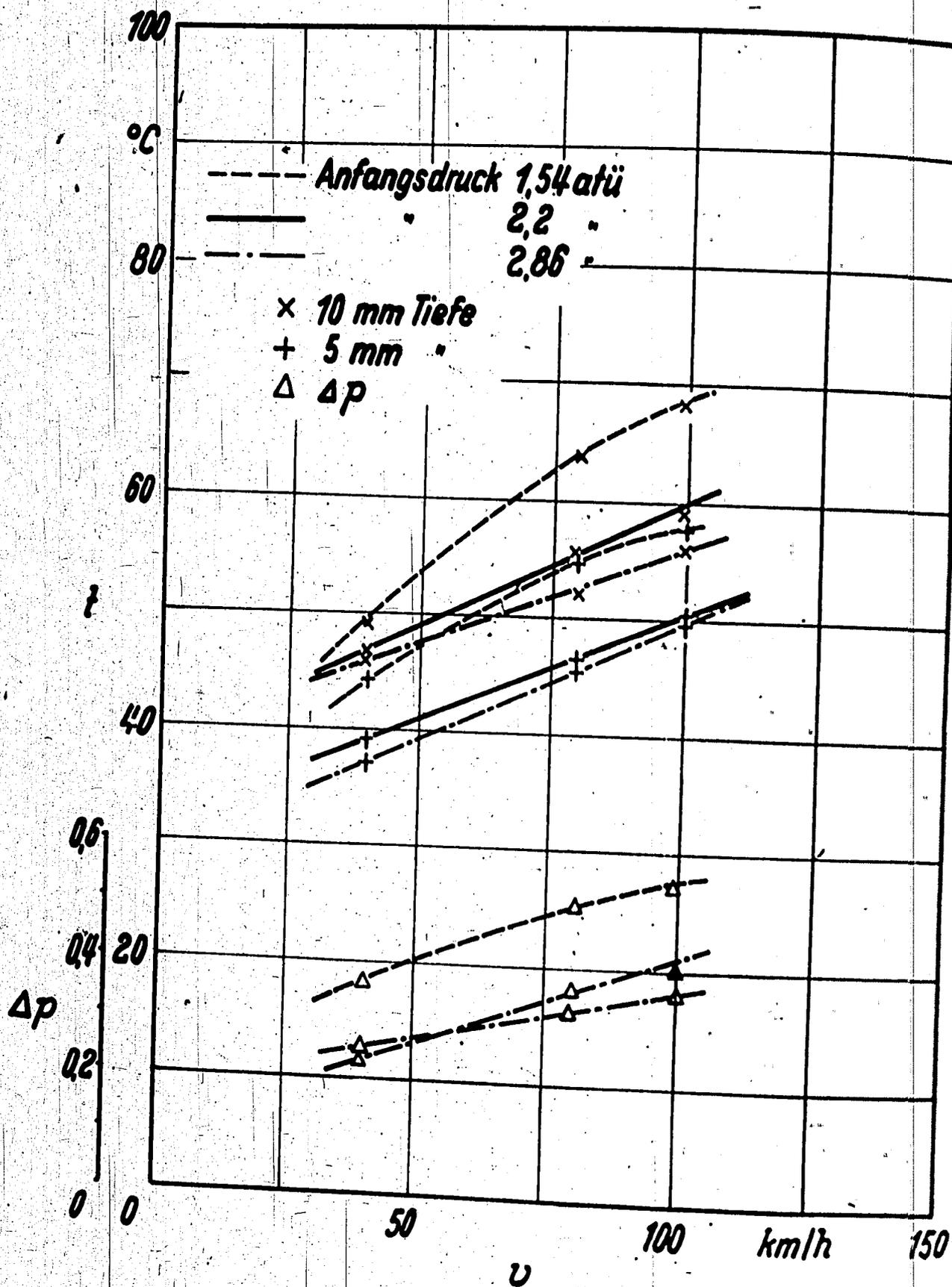
Bild 36

Vergleich der Erwärmung auf ebener Fahrbahn und Lauftrommel.

Reifentemperatur  $t$  in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit

Reifen: conti-Natur, 6,50 - 16  
 $G = 625$  kg,  $p = 2,8$  atü,  $t_U = 17^\circ\text{C}$

Messteile (2,5,8) zwischen Schulter und Mitte.



**Bild 37**  
 Reifentemperatur und Druckanstieg  $\Delta p$  in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit  $v$  bei verschiedenen Drücken.  
 Reifen: Conti C 14, Natur 5,00 - 16  
 $G = 350$  kg,  $p = 1,54, 2,2, 2,86$  atü  
 $t_U = 17^\circ\text{C}$  Messstelle (5) zwischen Schulter und Mitte.

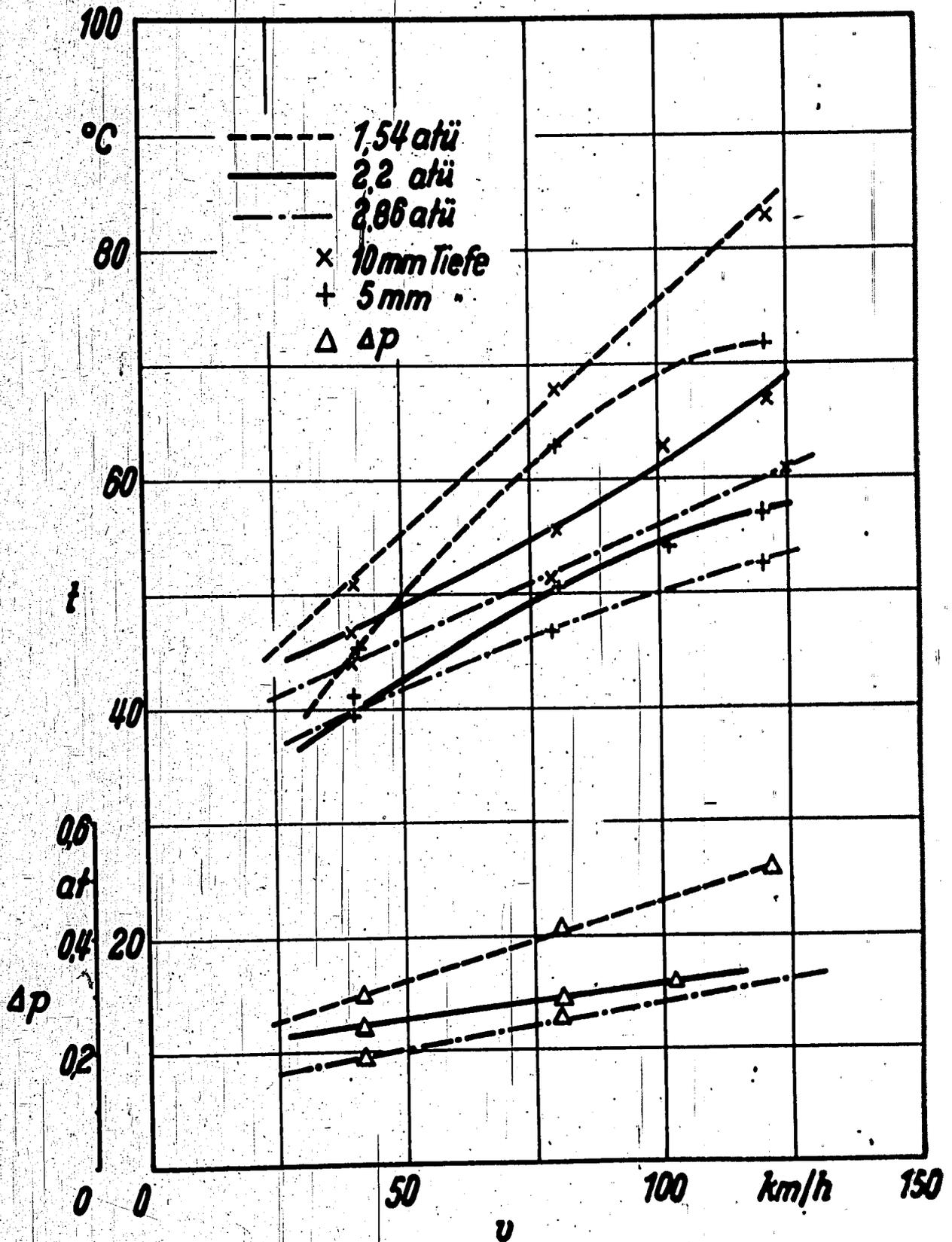
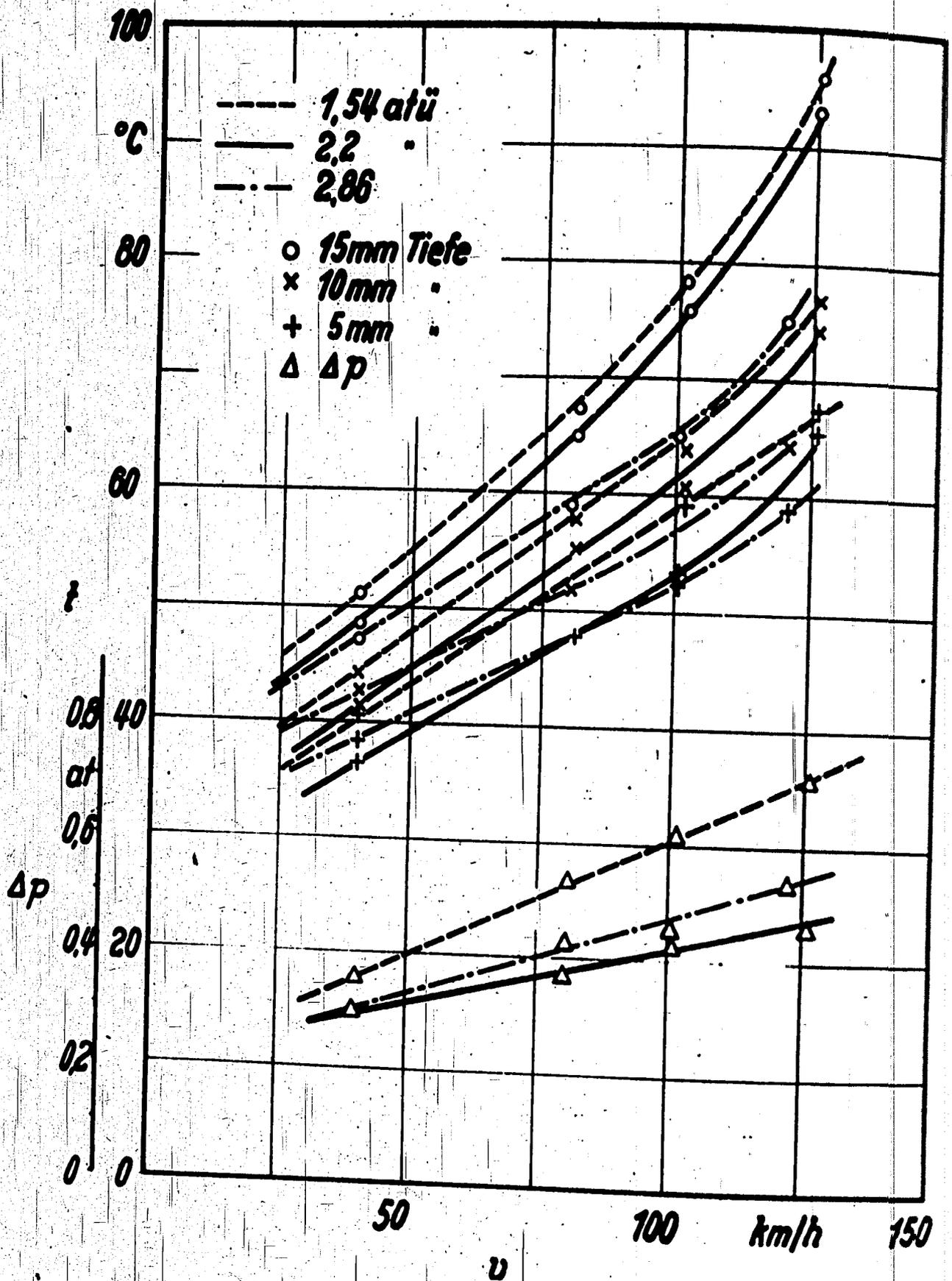


Bild 38

Reifentemperatur  $t$  und Druckzunahme  $\Delta p$  in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bei verschiedenen Drücken.

Reifen: Englebert supergriff buna, 5,00 - 16  
 $G = 350$  kg,  $p = 1,54, 2,2, 2,86$  atü,  $t_U = 17^\circ\text{C}$

Messtelle (5) zwischen Schulter und Mitte.



**Bild 39**  
 Reifentemperatur  $t$  und Druckzunahme  $\Delta p$  in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bei verschiedenen Drücken.  
 Reifen: US.-Royal de Luxe, 5,50 - 16  
 $G = 450 \text{ kg}$ ,  $p = 1,54, 2,2, 2,86 \text{ atü}$ ,  $t_U = 17^\circ \text{C}$   
 Messstelle (2,5,8) zwischen Schulter und Mitte.

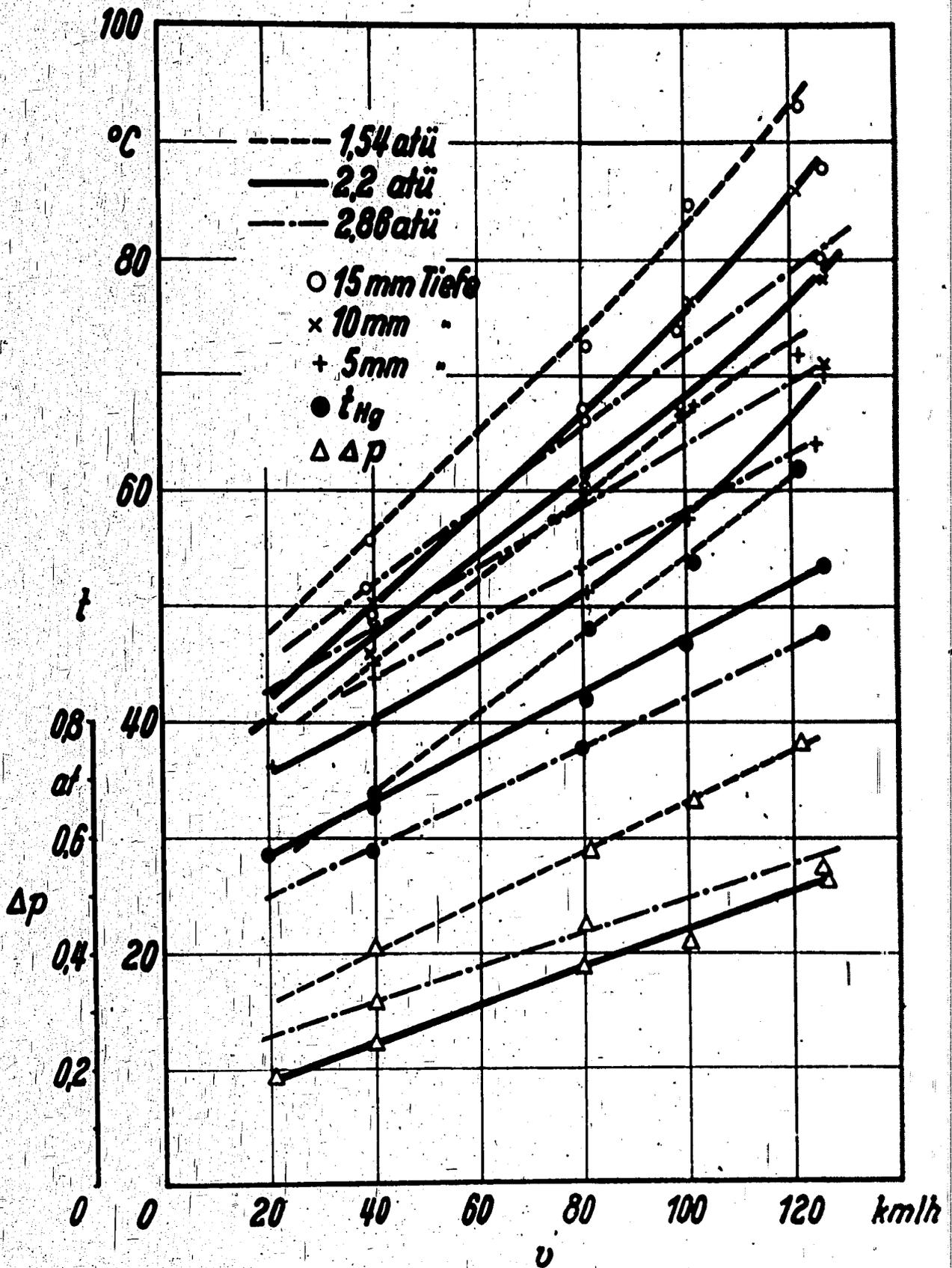
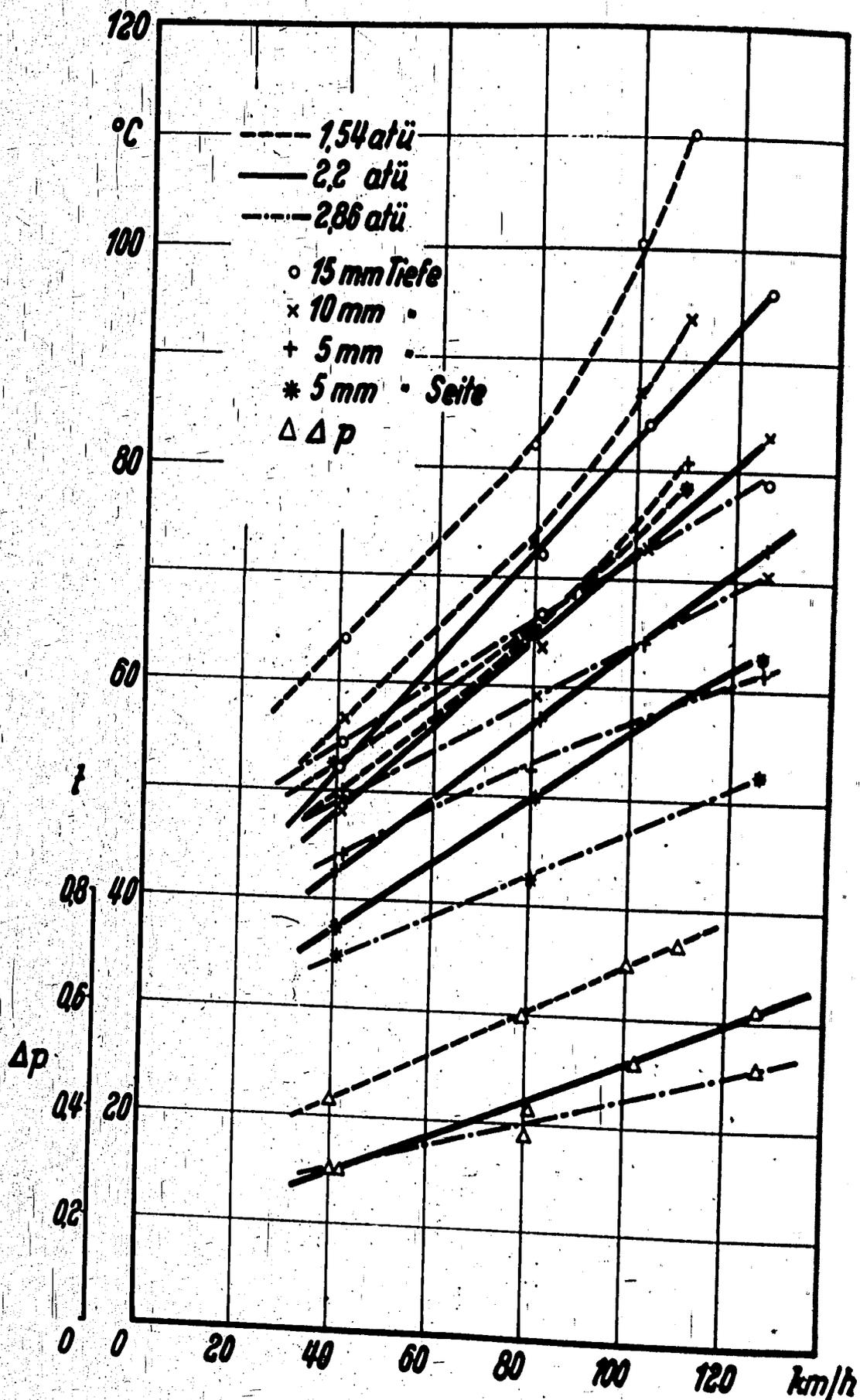


Bild 40

Reifentemperatur  $t$  und Druckzunahme  $\Delta p$  in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit  $v$  bei verschiedenen Drücken.

Reifen: Conti C 14, Natur 5,50 - 16  
 $G = 450$  kg,  $p = 1,54, 2,2, 2,86$  atü,  $t_U = 17^\circ\text{C}$

Messtelle (2,5,8) zwischen Schulter und Mitte.



**Bild 41**  
 Reifentemperatur  $t$  und Drucksunahme  $\Delta p$  in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit  $v$  bei verschiedenen Drücken.  
 Reifen: IG.-1360, Buna 5,50 - 16  
 $G = 450$  kg,  $p = 1,54, 2,2, 2,86$  atü,  $t_U = 17^\circ\text{C}$   
 Messstelle (2,5,8) zwischen Schulter und Mitte, Seite (10).

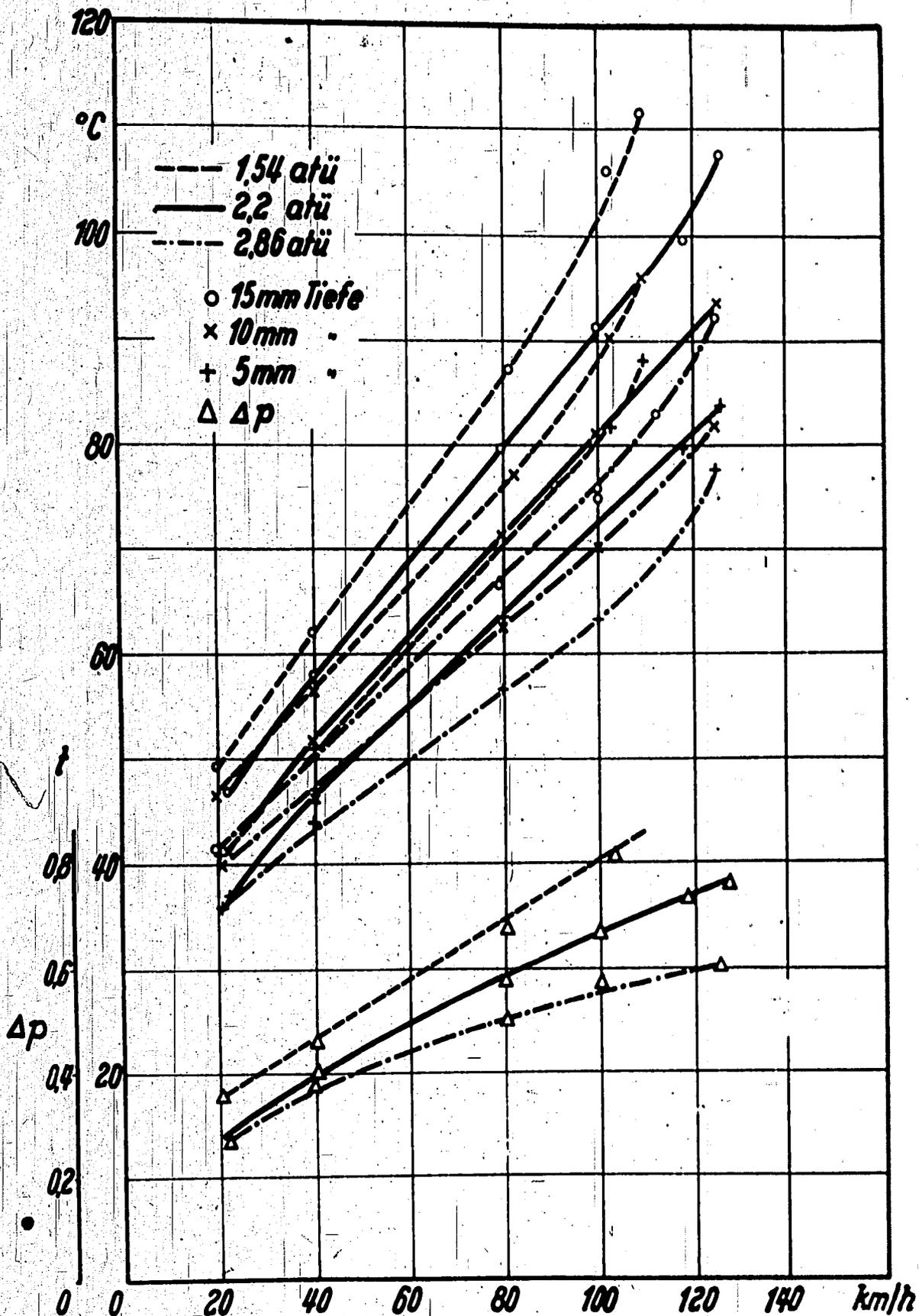
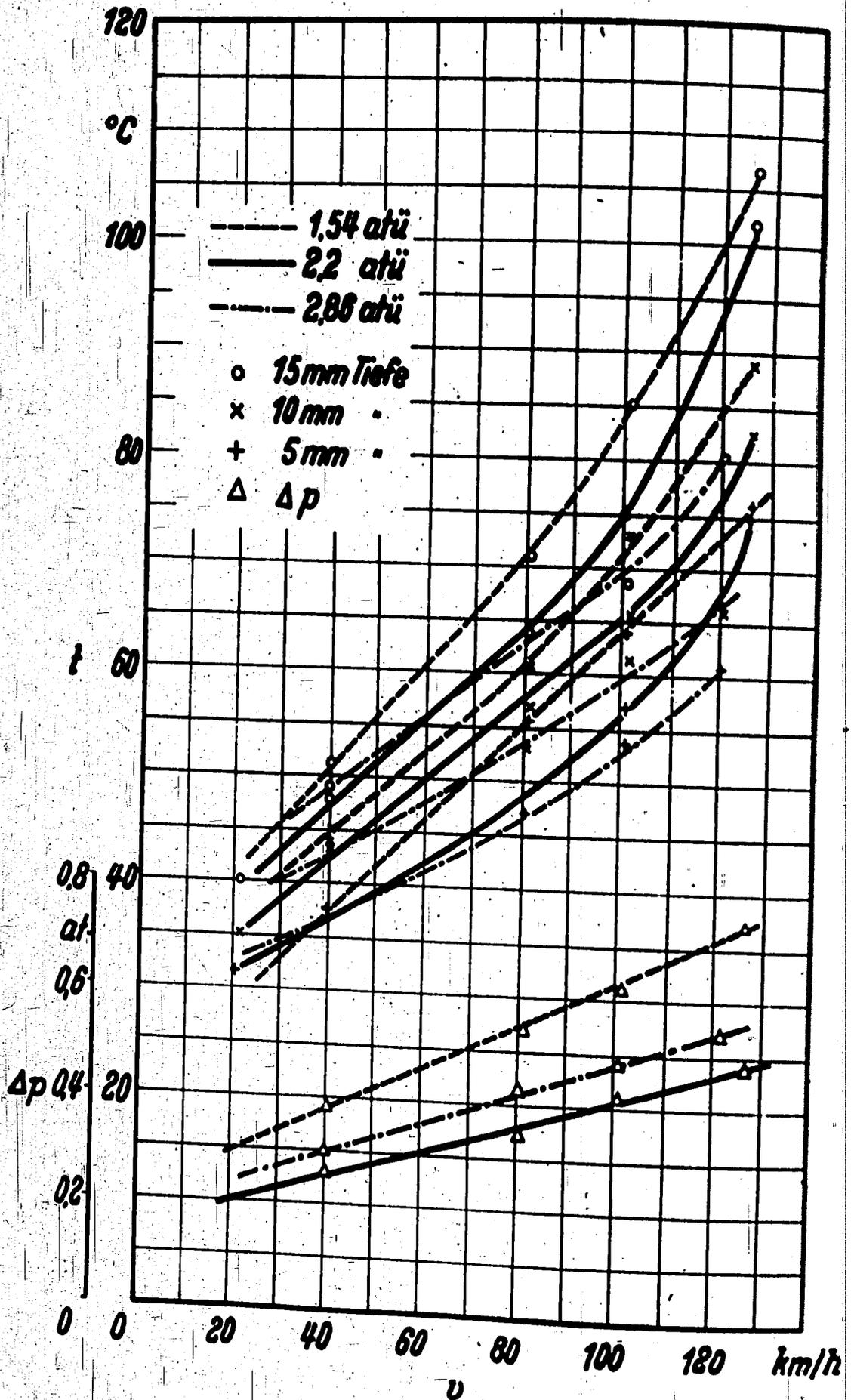


Bild 42

Reifentemperatur  $t$  und Druckzunahme  $\Delta p$  in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit  $v$  bei verschiedenen Drücken.

Reifen: IG.-PS 18 BN 390, Buna 5,50 - 16  
 $G = 450$  kg,  $p = 1,54, 2,2, 2,86$  atü,  $t_U = 17^\circ\text{C}$

Messtelle (2,5,8) zwischen Schulter und Mitte.



**Bild 43**  
 Reifentemperatur  $t$  und Druckzunahme  $\Delta p$  in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit  $v$  bei verschiedenen Drücken.  
 Reifen: Goodrich-silvertown, 5,50 - 16  
 $G = 450$  kg,  $p = 1,54, 2,2, 2,86$  atü,  $t_{\text{U}} = 17^{\circ}\text{C}$   
 Messstelle (2,5,8) zwischen. Schulter und Mitte.

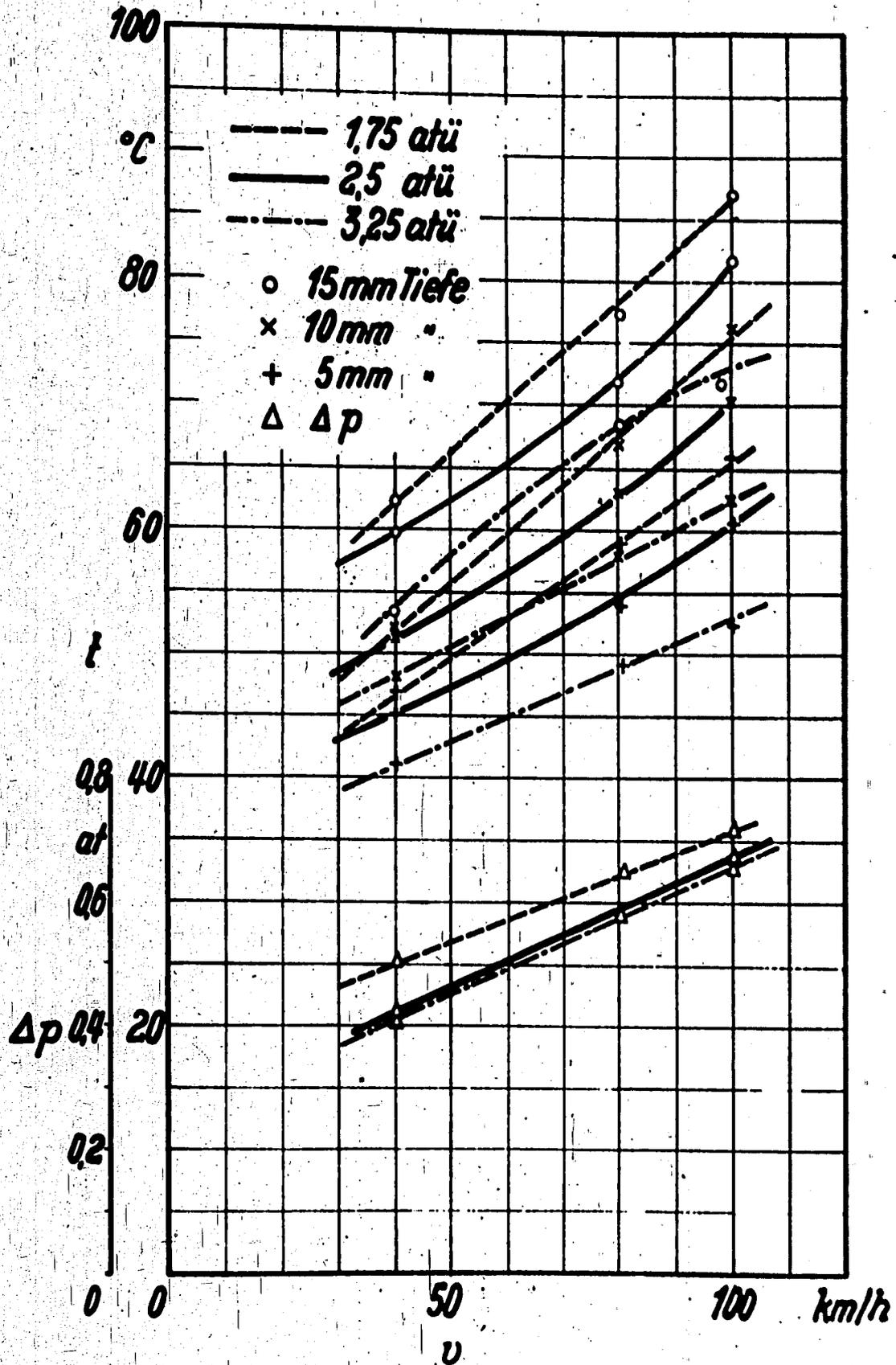


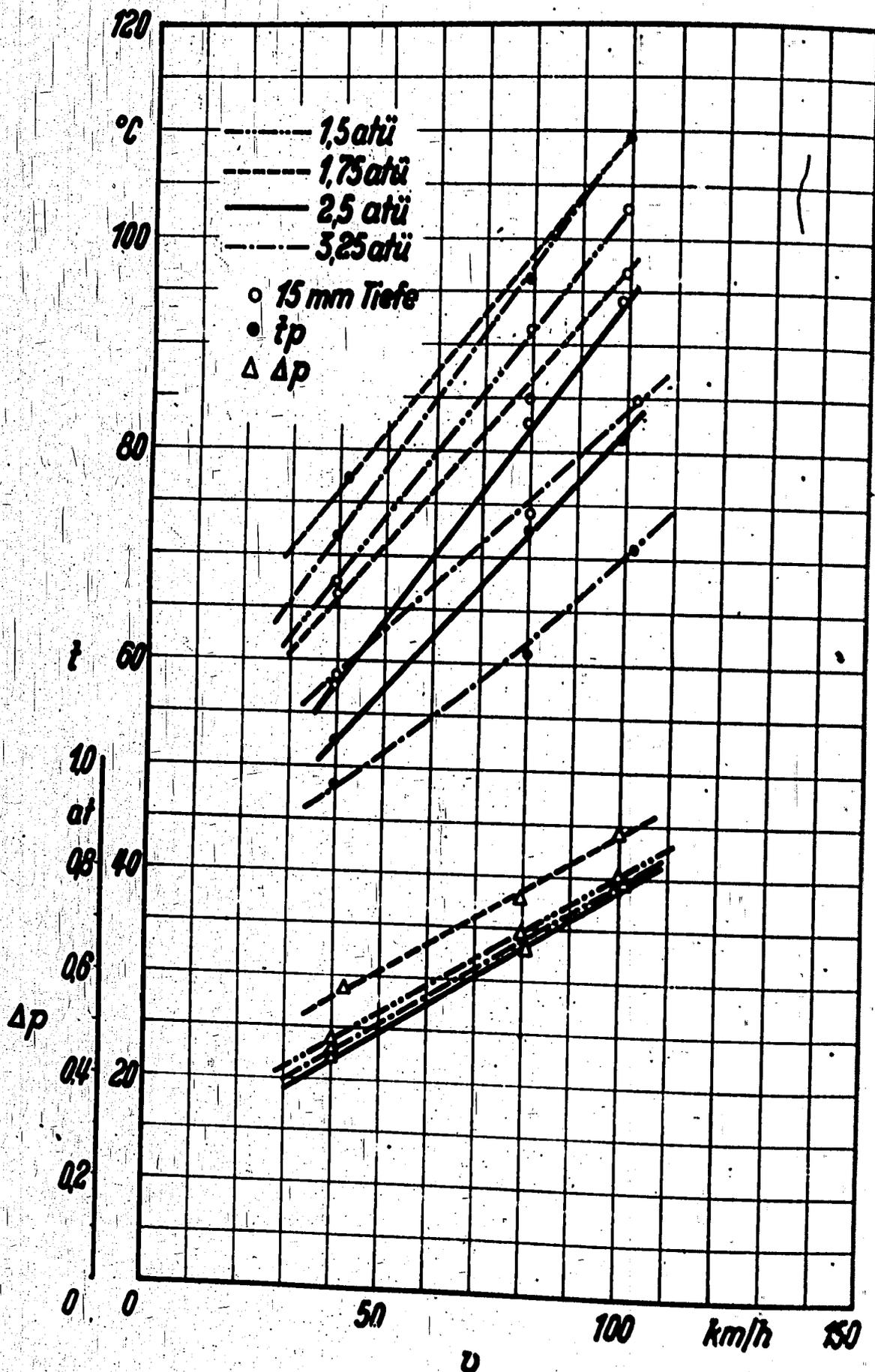
Bild 44

Reifentemperatur  $t$  und Drucksunahme  $\Delta p$  in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit  $v$  bei verschiedenen Drücken.

Reifen: conti C 14, Natur 6,00 - 16

$G = 550$  kg,  $p = 1,75, 2,5, 3,25$  atü,  $t_y = 17^\circ$

Messstelle (2,5,8) zwischen schulter und Mitte.



**Bild 45**  
 Reifentemperatur  $t$  und Druckanstieg  $\Delta p$  in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bei verschiedenen Drücken.  
 Reifen: Semperit S 18 Buna, 6,00 - 16  
 $G = 550$ ,  $p = 1,75, 2,5, 3,23$  atü,  $t_U = 17^\circ\text{C}$   
 Messstelle (2) zwischen Schulter und Mitte.

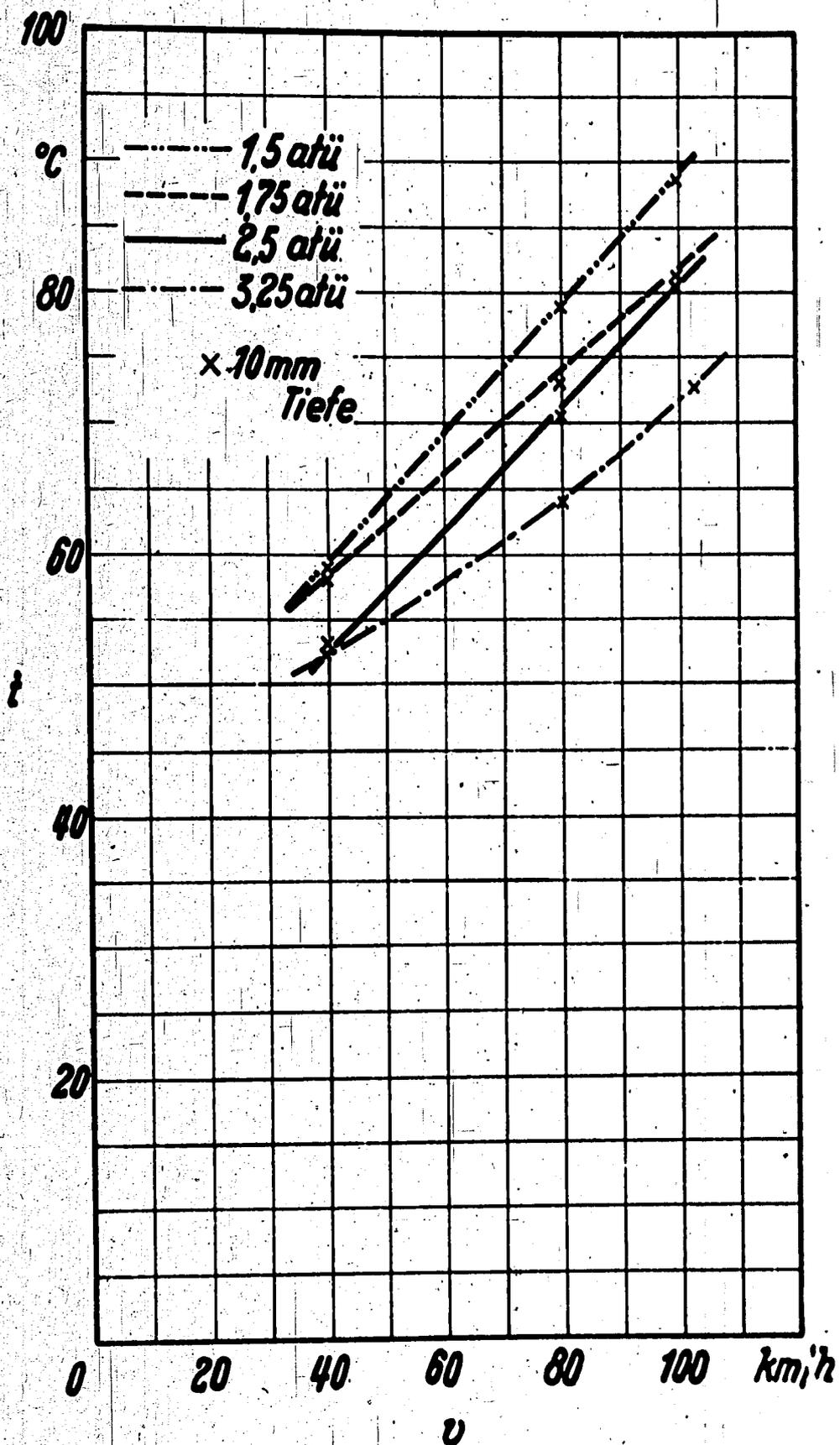


Bild 46

Reifentemperatur  $t$  in Abhängigkeit von der Fahrge-  
schwindigkeit bei verschiedenen Drücken.

Reifen: Semperit S 18 Buna, 6,00 - 16  
 $G = 550$  kg,  $p = 1,5, 1,75, 2,5, 3,25$  atü,  $t_U = 17^\circ\text{C}$   
 Messtelle (5) zwischen Schulter und Mitte.

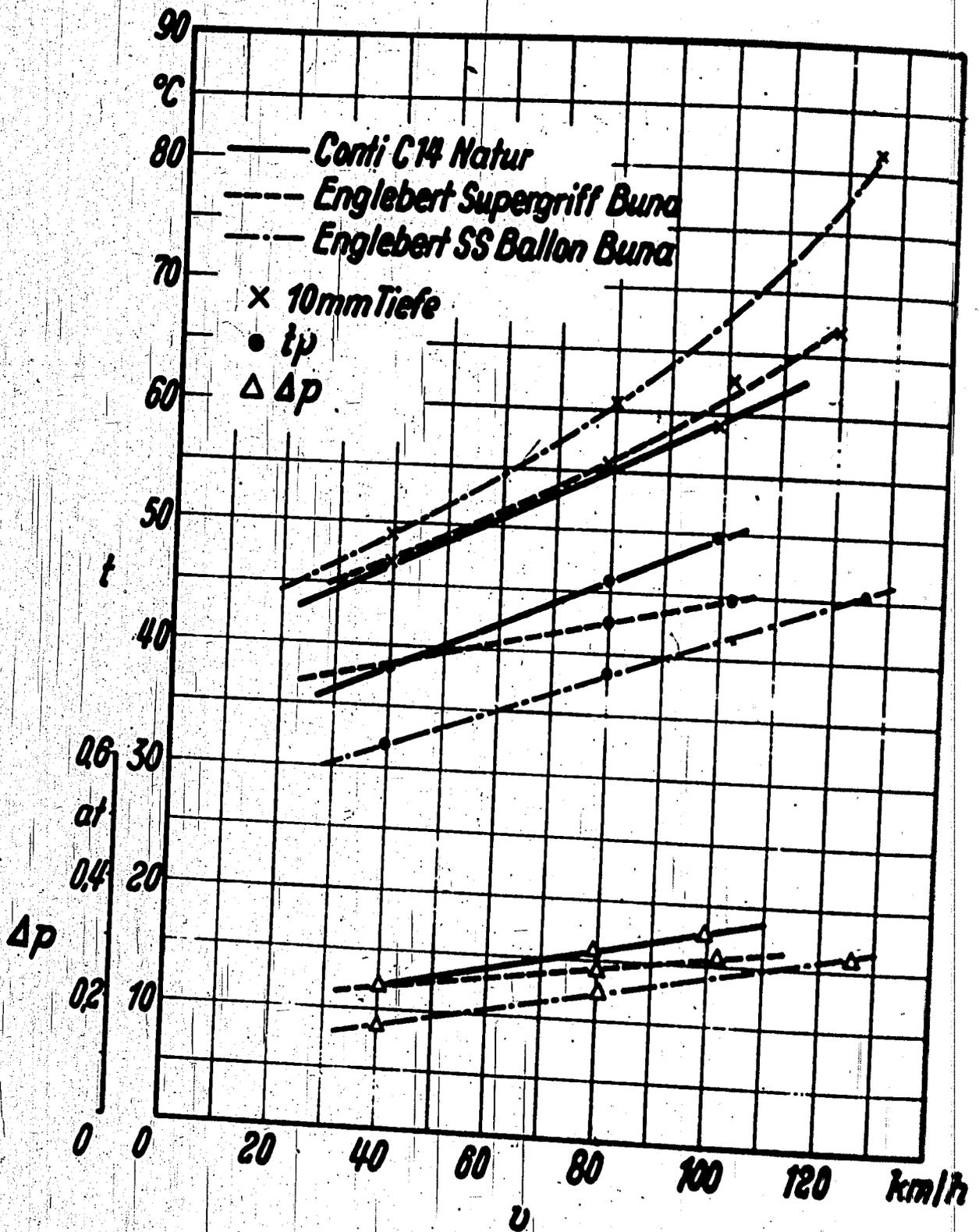


Bild 47

Vergleich der Erwärmung verschiedener Reifen der Grösse 5,00 - 16 Reifentemperatur und Drucksunahme  $\Delta p$  in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit.  
 $G = 350 \text{ kg}$ ,  $p = 2,2 \text{ atü}$ ,  $t_u = 17^\circ\text{C}$   
 Messstelle (5) zwischen Schulter und Mitte.

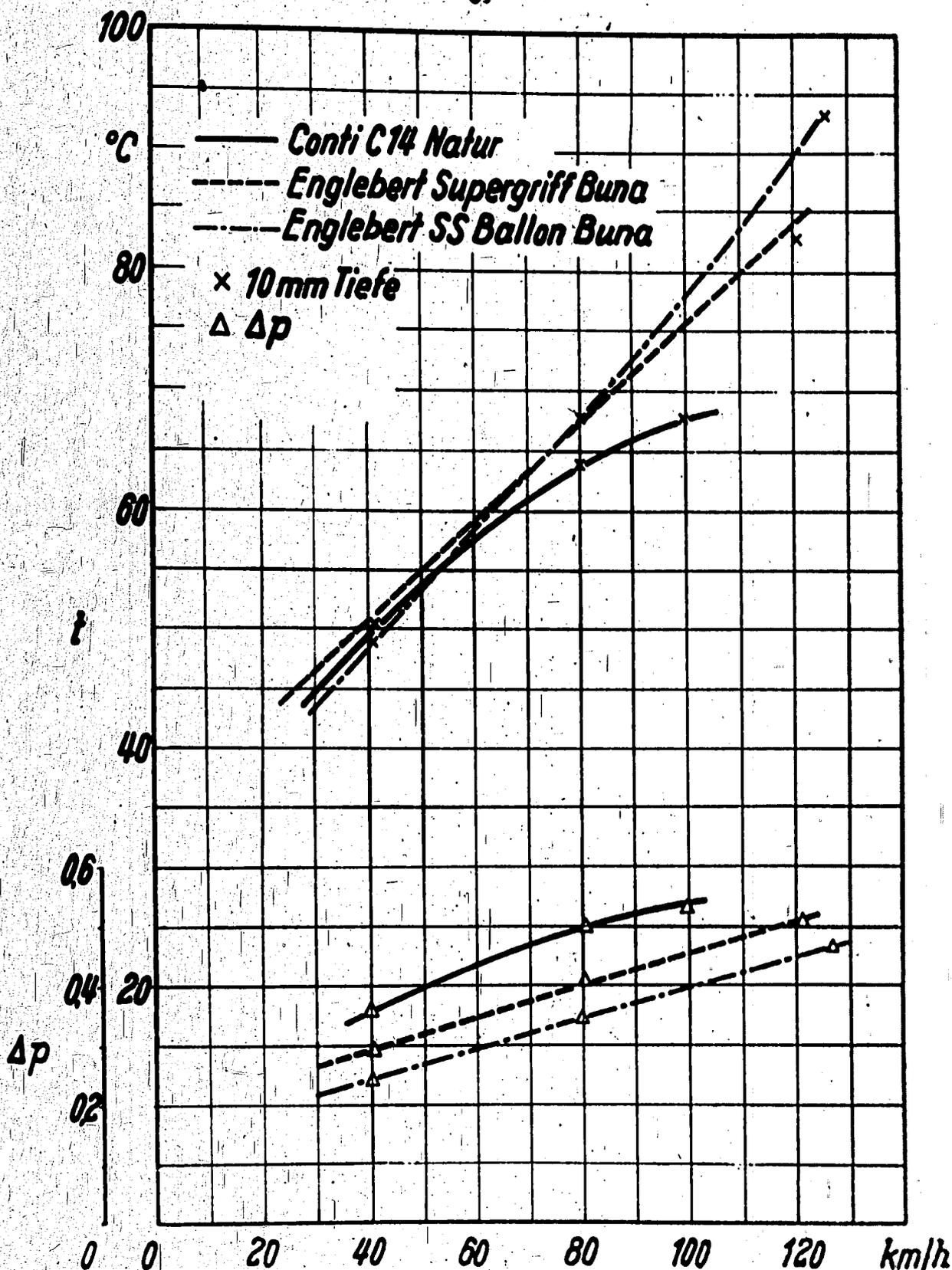


Bild 48

Vergleich der Erwärmung verschiedener Reifen der Grösse 5,00 - 16

Reifentemperatur  $t$  und Druckzunahme  $\Delta p$  in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit  $v$ .

$G = 350 \text{ kg}$ ,  $p = 1,54 \text{ atü}$ ,  $t_U = 17^{\circ}\text{C}$   
 Messstelle (5) zwischen Schulter und Mitte.

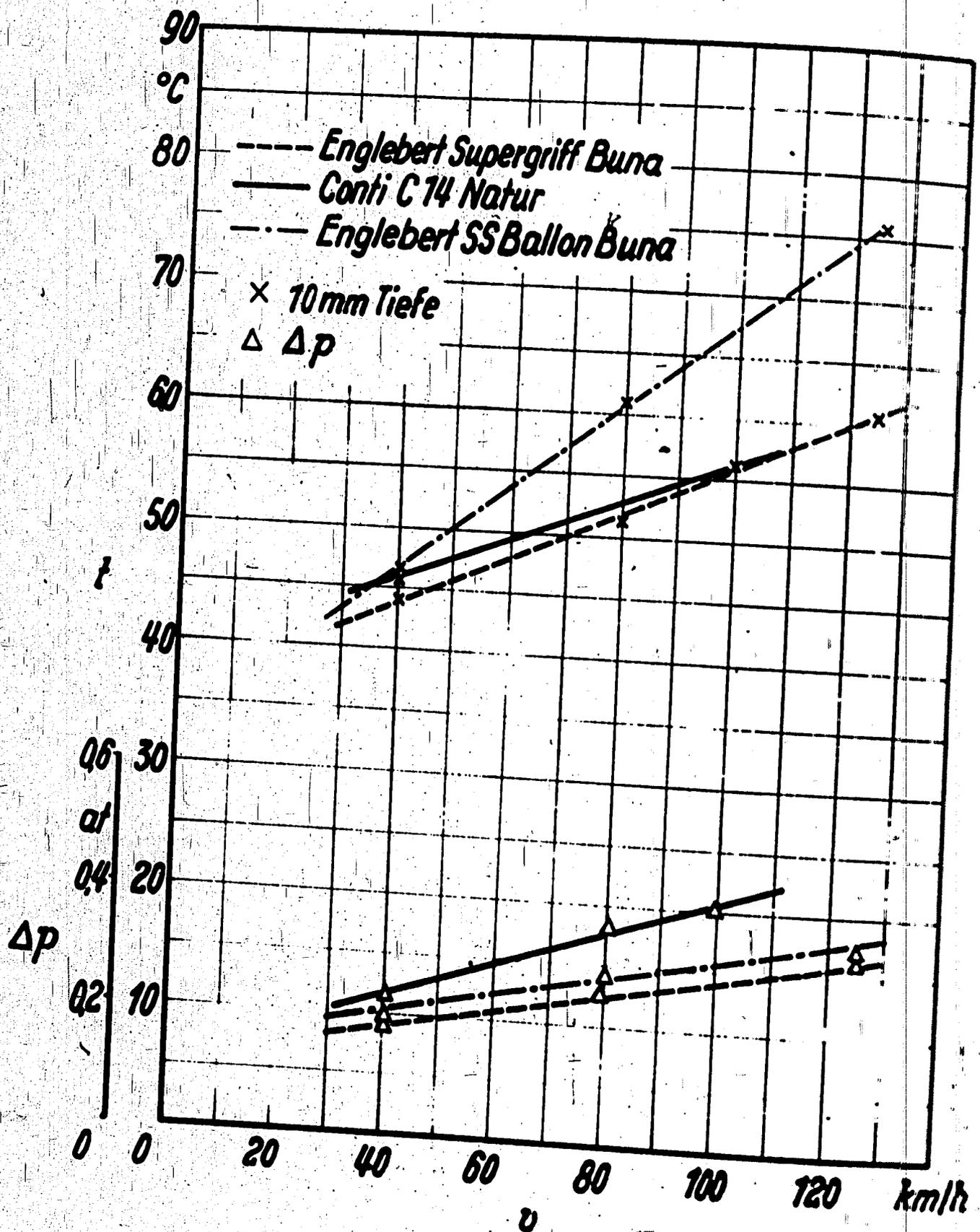


Bild 49

Vergleich der Erwärmung verschiedener Reifen der Größe 5,00 - 16  
 Reifentemperatur  $t$  und Drucksunahme  $\Delta p$  in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit  $v$ .  
 $G = 350 \text{ kg}$ ,  $p = 2,86 \text{ atü}$ ,  $t_U = 17^{\circ}\text{C}$   
 Messstelle (5) zwischen Schulter und Mitte.

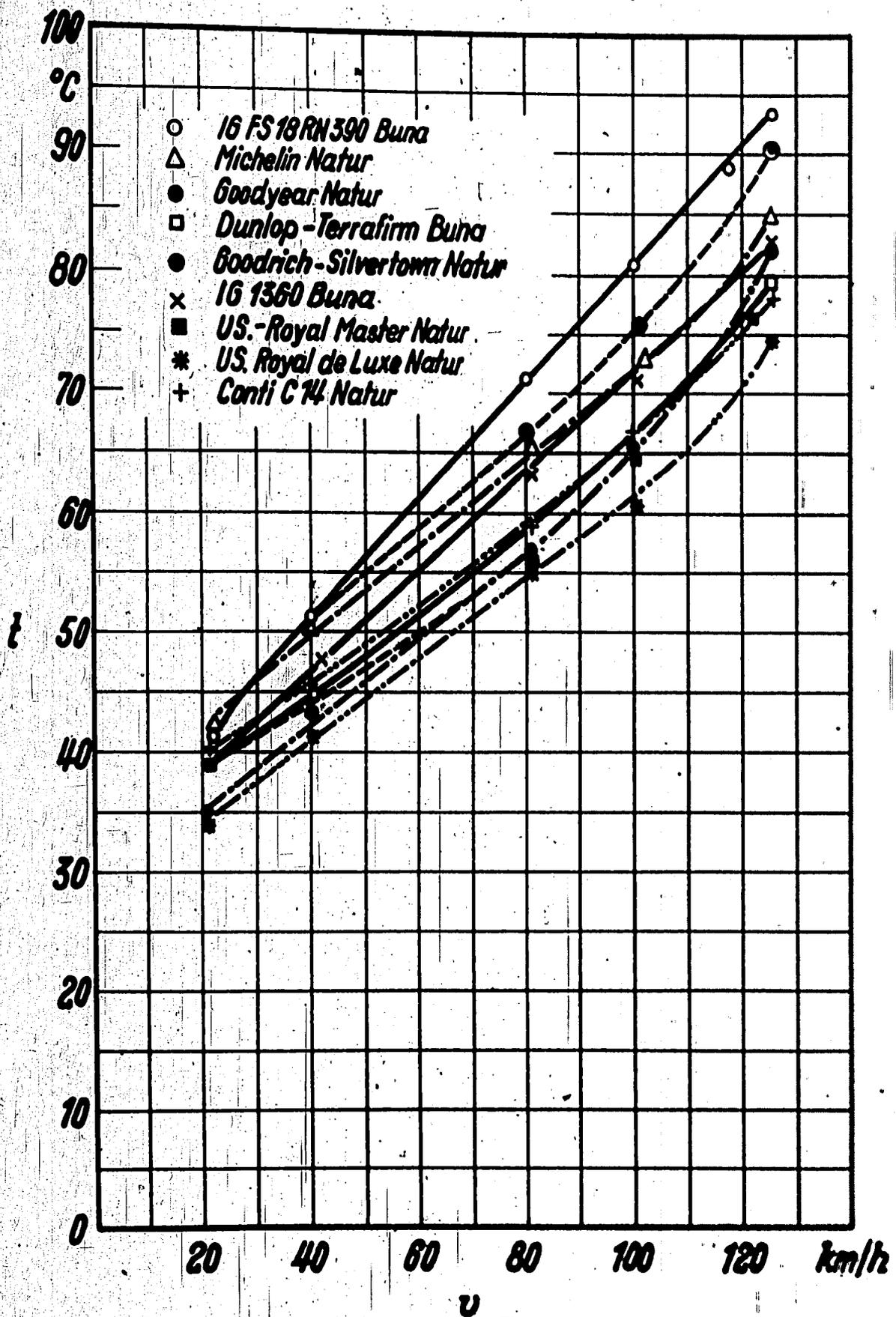


Bild 50

Vergleich der Erwärmung von Reifen der Größe 5,50 - 16  
 Reifentemperatur  $t$  in 10 mm Einstichtiefe in Abhängigkeit  
 von der Fahrgeschwindigkeit bei dem Druck 2,2 atü.

$G = 450 \text{ kg}$ ,  $t_U = 17^\circ\text{C}$

Messtelle (5) zwischen Schulter und Mitte.

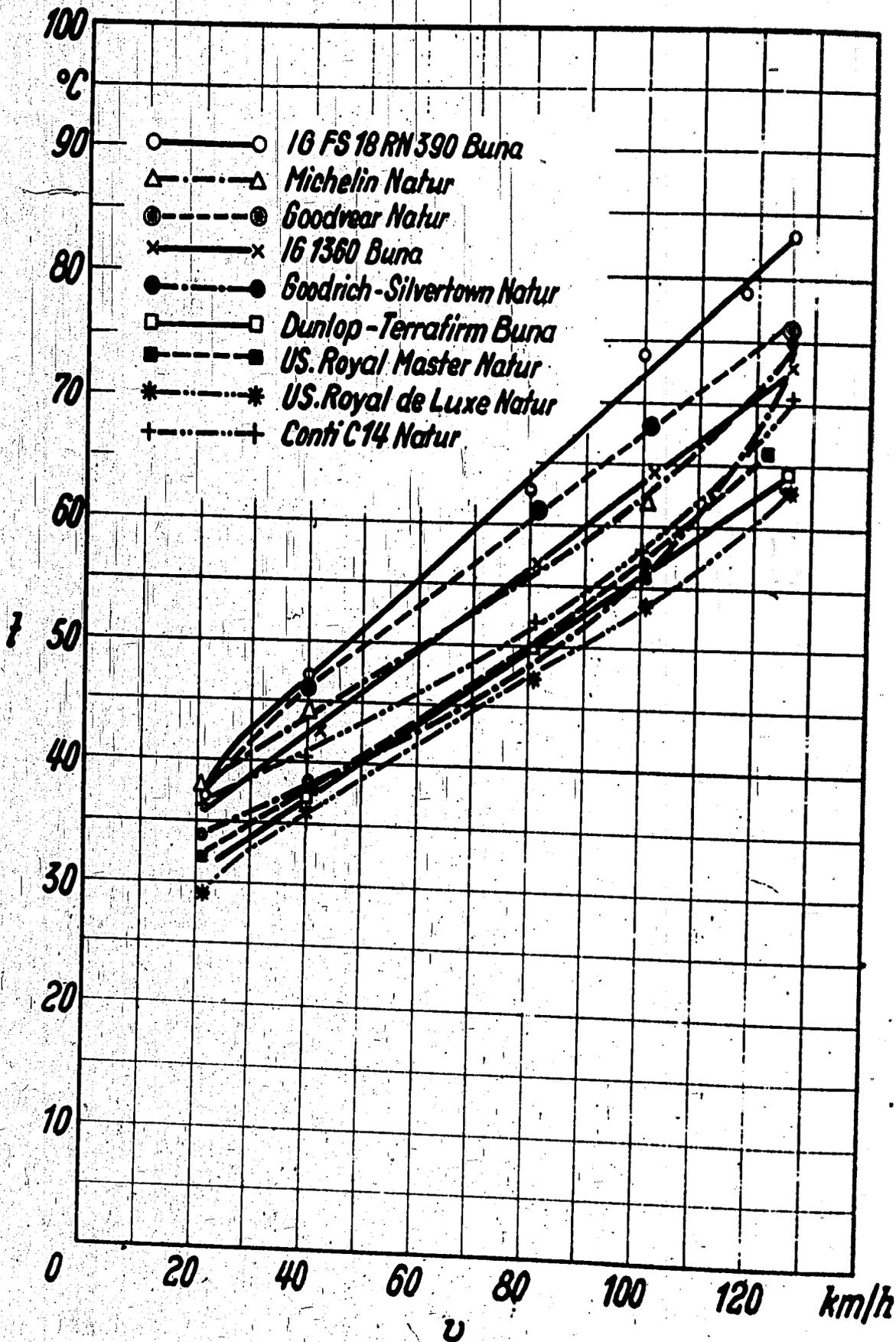


Bild 51

Vergleich der Erwärmung verschiedener Reifen der Größe 5,50 - 16.

Reifentemperatur  $t$  in 5 mm Einstichtiefe in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bei dem Druck 2,2 atü.

$G = 450$ ,  $t_{\text{u}} = 17^{\circ}\text{C}$

Messtelle (8) zwischen Schulter und Mitte.

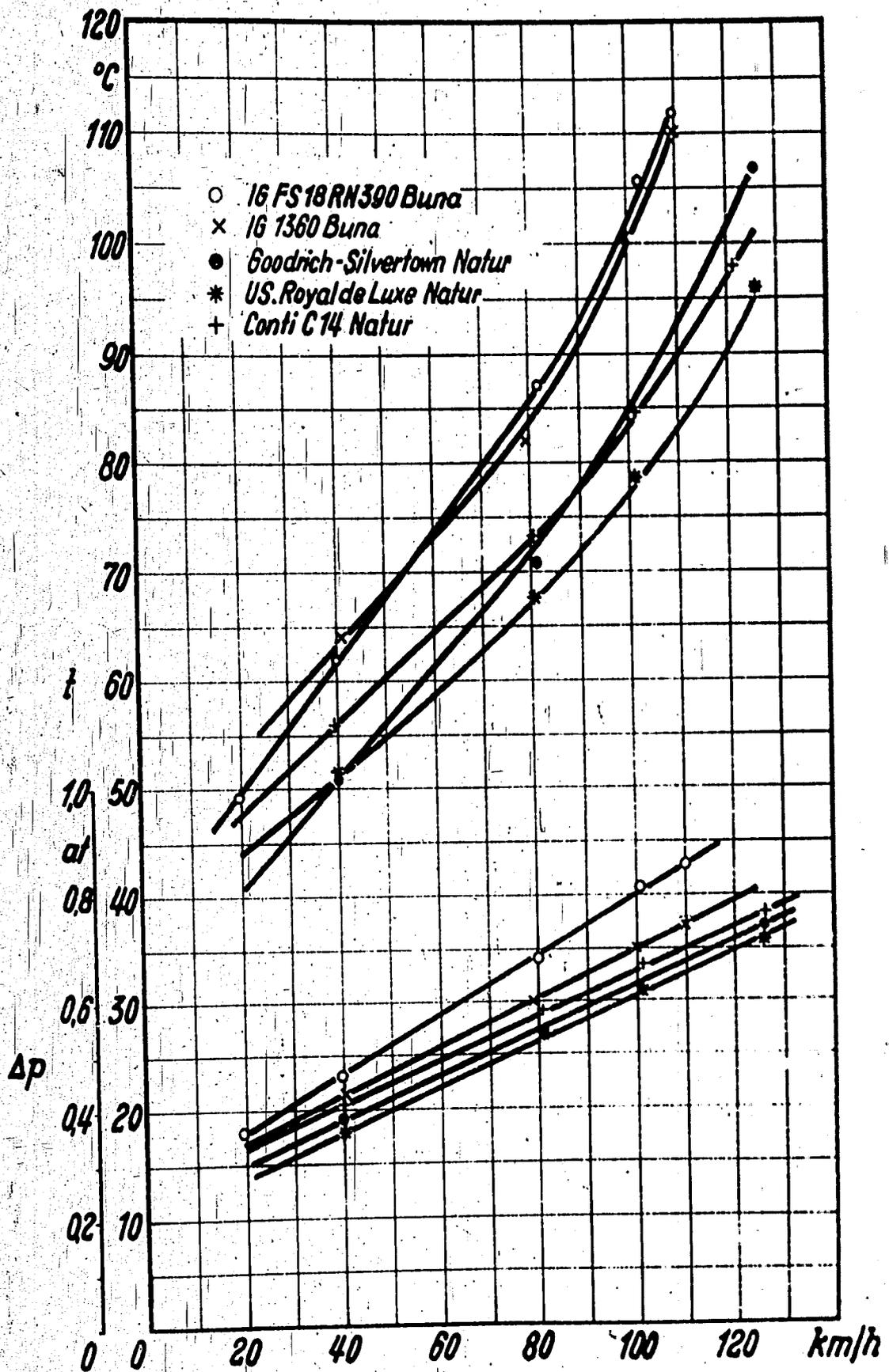


Bild 52

Vergleich der Erwärmung verschiedener Reifen der Grösse 5,50-16  
 Reifentemperatur  $t$  in 15 mm Einstichtiefe und Druckzunahme  
 $\Delta p$  in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bei dem  
 Druck 1,54 atü.

$G = 450 \text{ kg}$ ,  $t_U = 17^\circ\text{C}$

Messtelle (2) zwischen Schulter und Mitte.

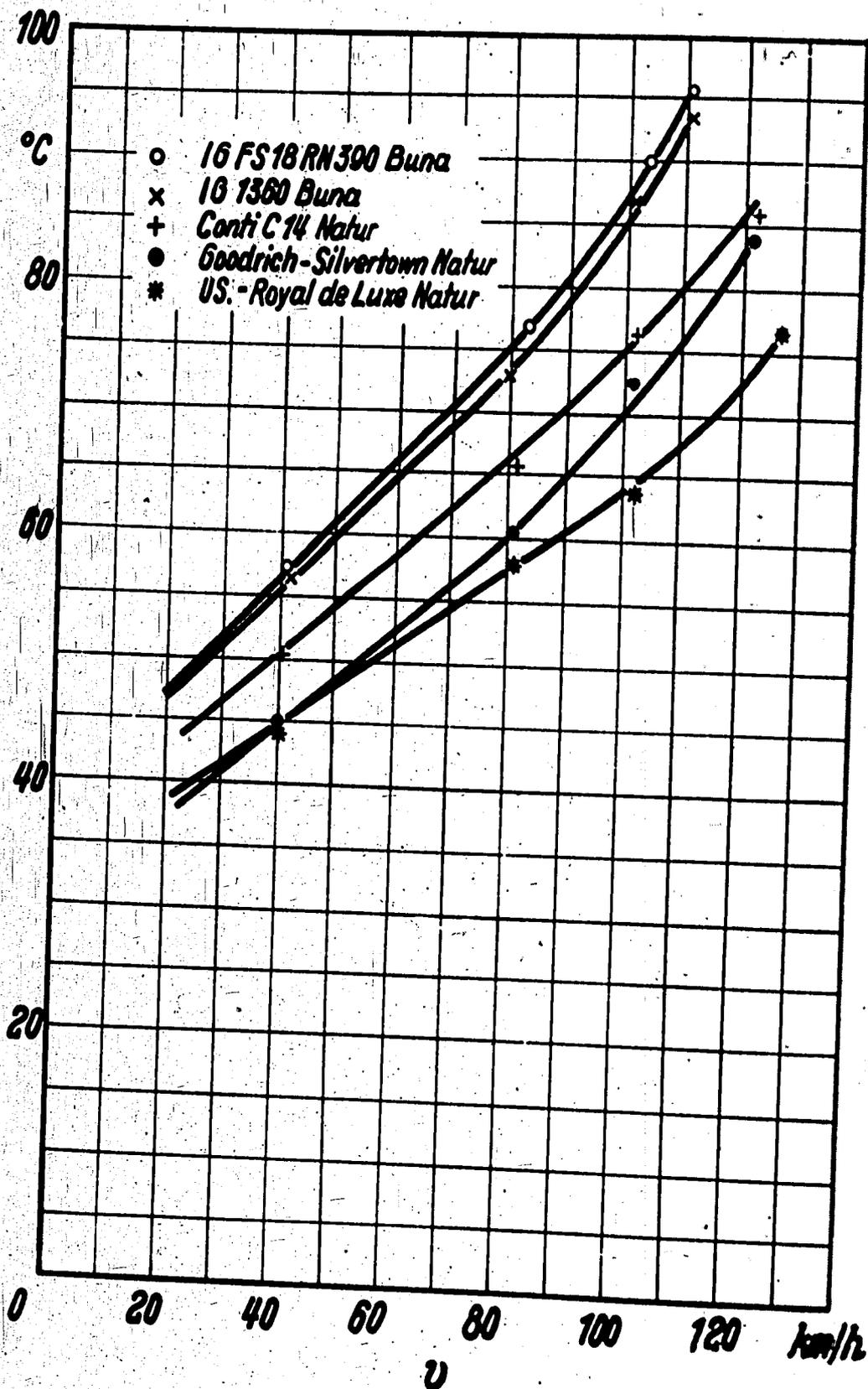


Bild 53

Vergleich der Erwärmung verschiedener Reifen der Größe 5,50 - 16

Reifentemperatur  $t$  in 10 mm Einstichtiefe in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit  $v$  bei dem Druck 1,54 atü

$G = 450 \text{ kg}$ ,  $t_y = 17^\circ\text{C}$

Messtelle (5) zwischen Schulter und Mitte.

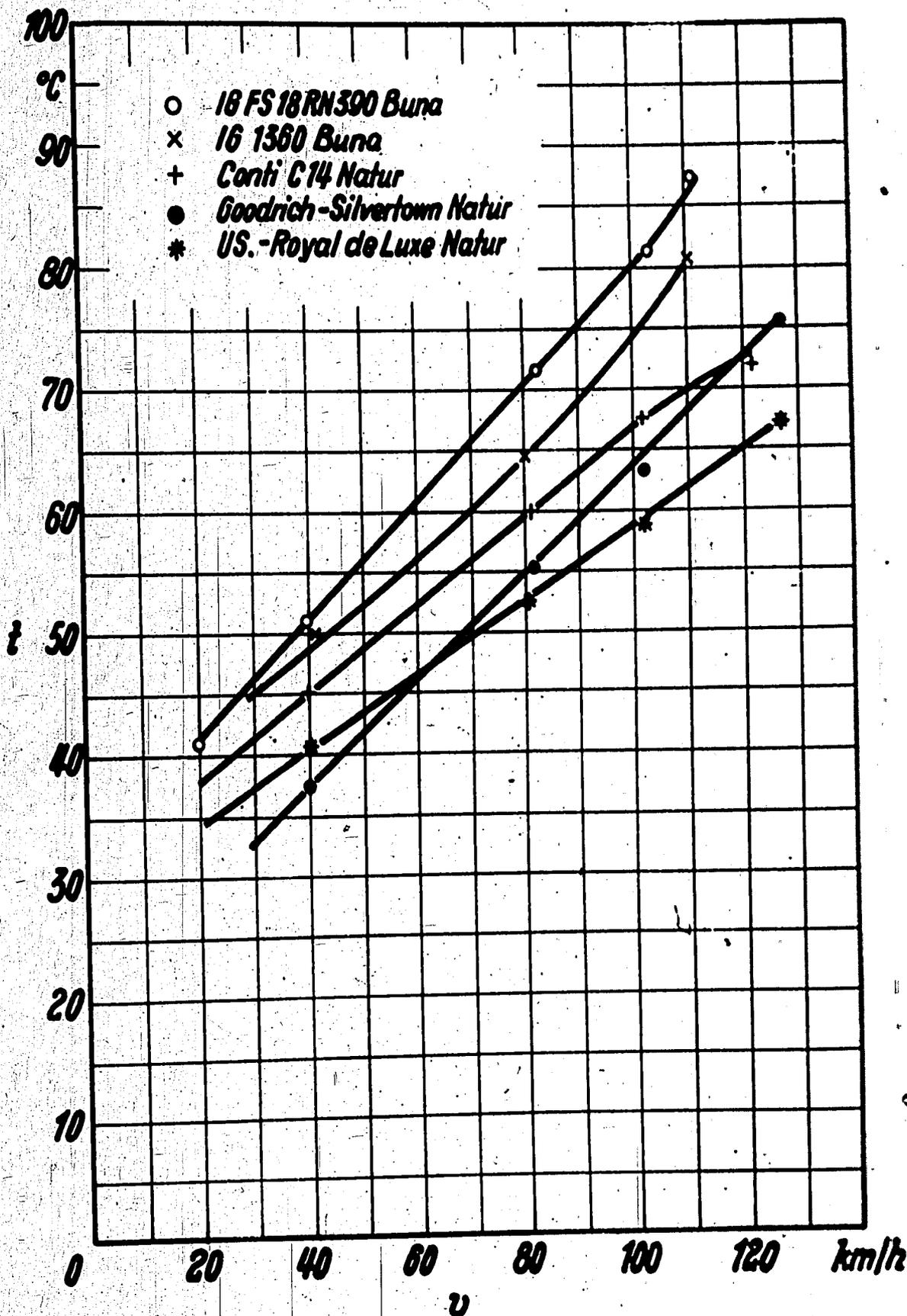


Bild 54

Vergleich der Erwärmung verschiedener Reifen der Größe 5,50 - 16.

Reifentemperatur  $t$  in 5 mm Einstichtiefe in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit  $v$  bei dem Druck 1,54 atü

$G = 450$  kg,  $t_U = 17^\circ\text{C}$

Messtelle (8) zwischen Schulter und Mitte.

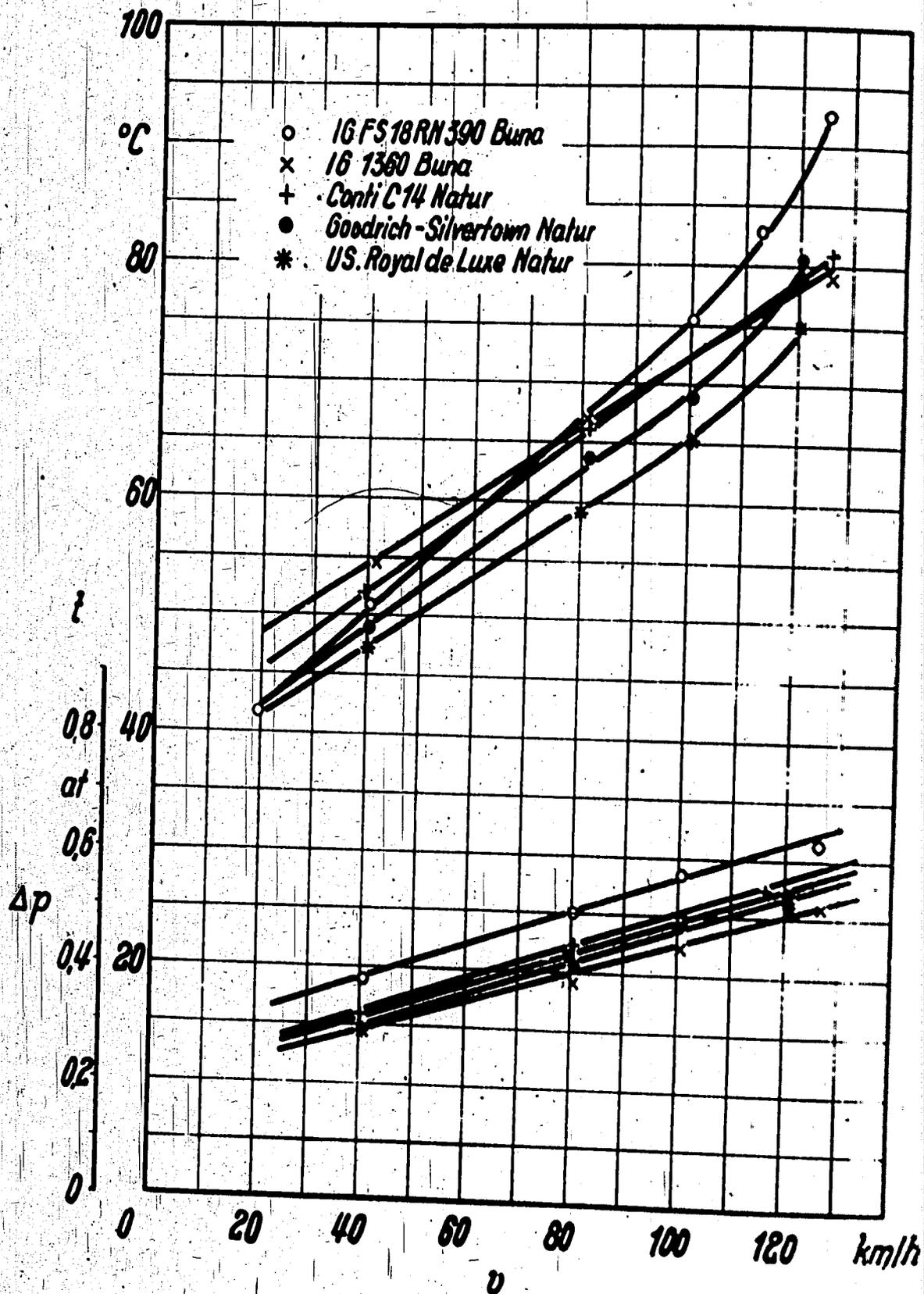


Bild 55

Vergleich der Erwärmung verschiedener Reifen der Größe 5,50 - 16.  
 Reifentemperatur  $t$  in 15 mm Einstichtiefe und Druckzunahme  $\Delta p$  in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bei dem Druck 2,86 atü.

$G = 450 \text{ kg}$ ,  $t_U = 17^\circ\text{C}$

Messtelle (2) zwischen Schulter und Mitte

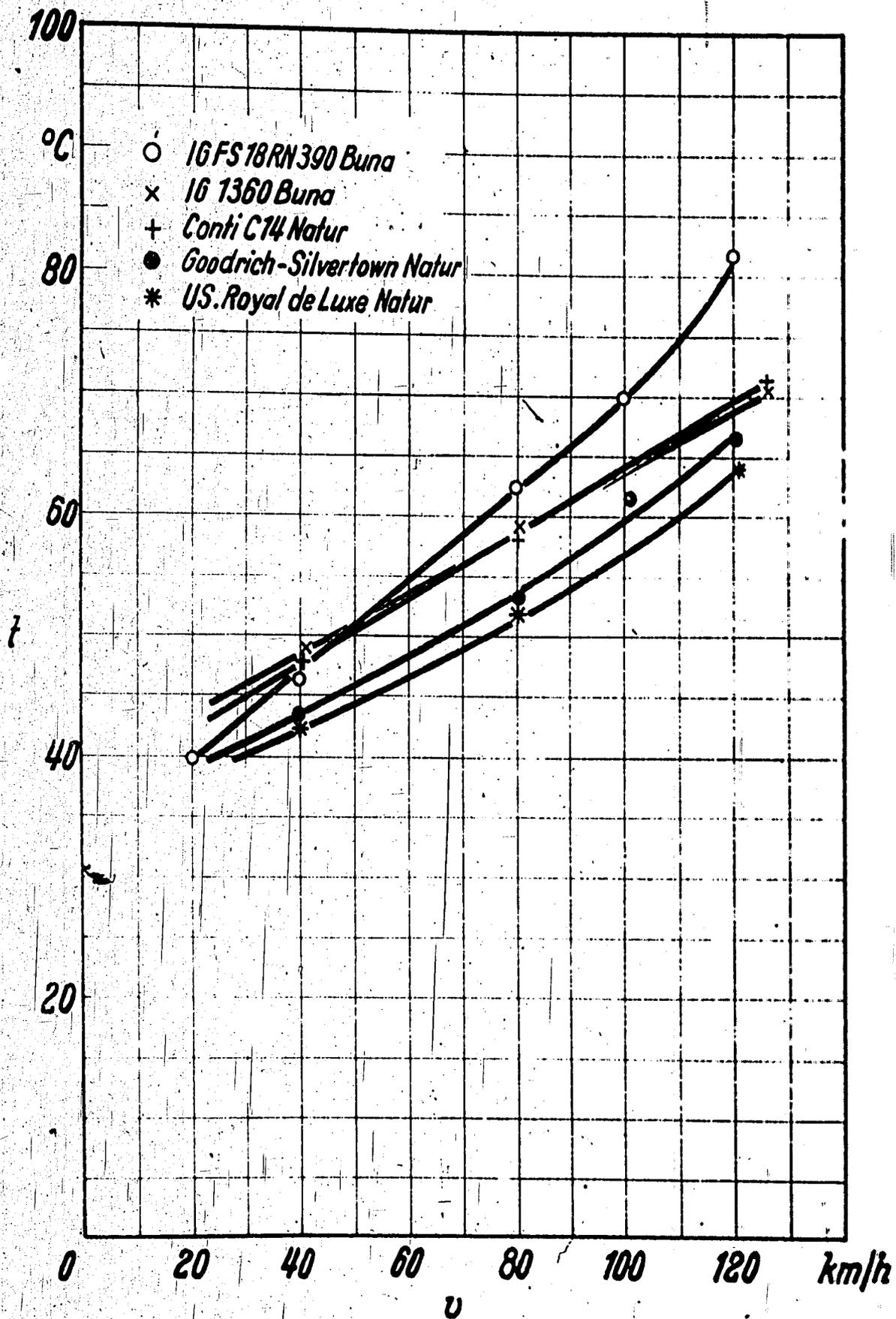


Bild 56

Vergleich der Erwärmung verschiedener Reifen der Grösse 5.50 - 16

Reifentemperatur  $t$  in 10 mm Einstichtiefe in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit  $v$  bei dem Druck 2,86 atü.

$G = 450$  kg,  $t_U = 17^\circ\text{C}$

Messtelle (5) zwischen Schulter und Mitte.

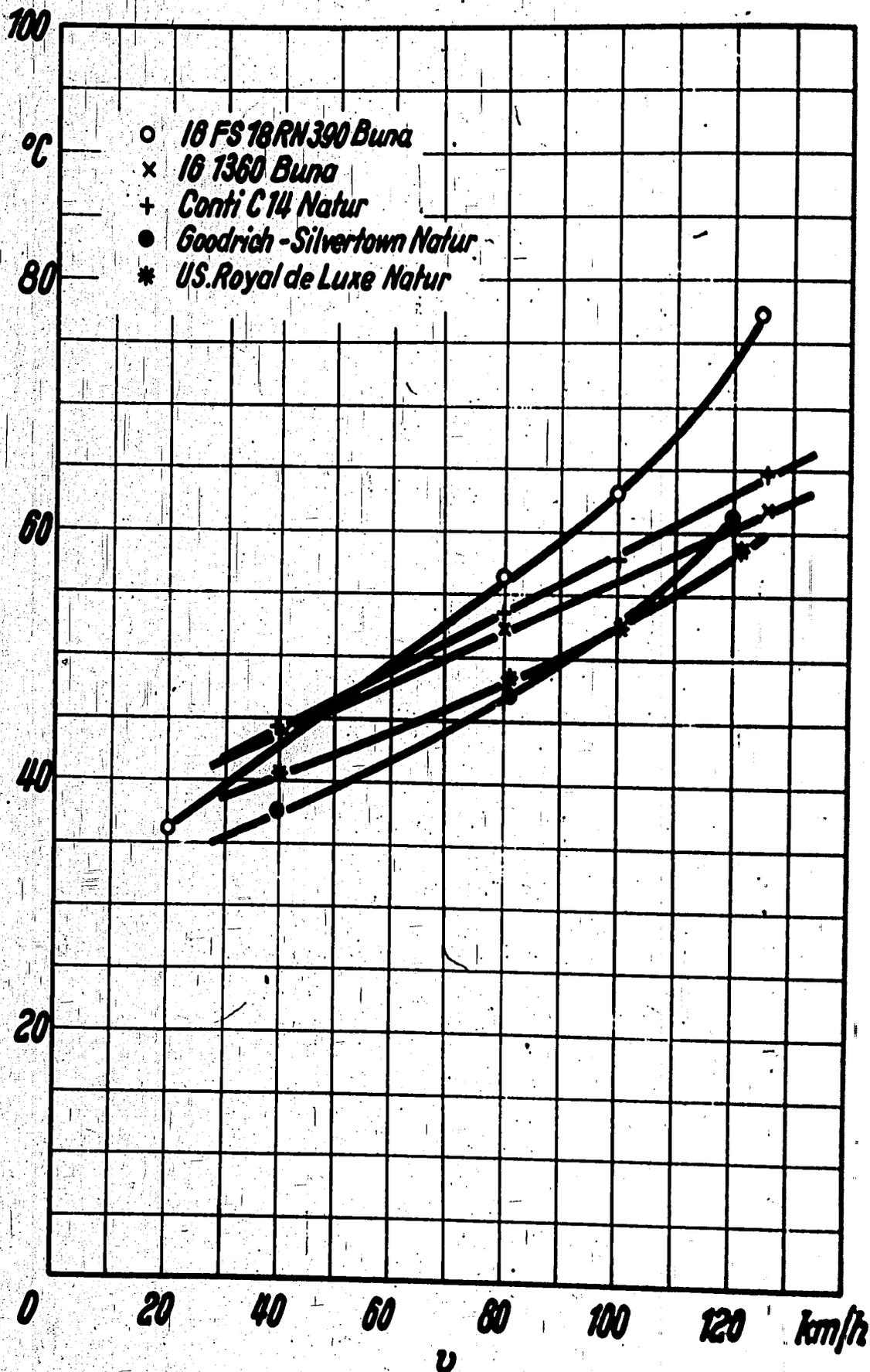


Bild 57

Vergleich der Erwärmung verschiedener Reifen der Größe 5,50 - 16.

Reifentemperatur  $t$  in 5 mm Einstichtiefe in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit  $v$  bei dem Druck 2,86 atü.

$G = 450$  kg,  $t_{\text{U}} = 17^{\circ}\text{C}$

Messstelle (8) zwischen Schulter und Mitte.

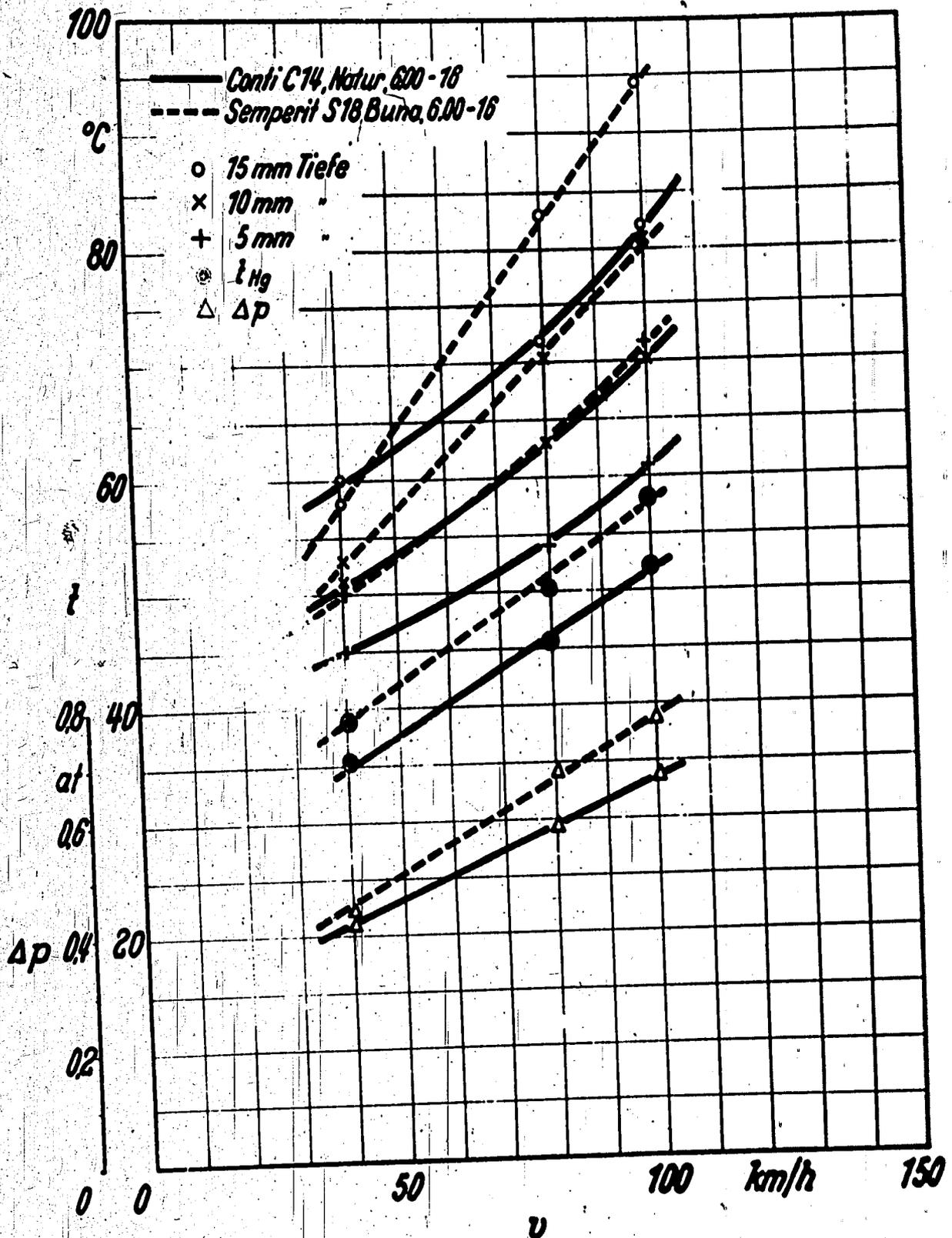


Bild 58

Vergleich der Erwärmung verschiedener Reifen der Größe 6,00 - 16.

Reifentemperatur  $t$  und Druckzunahme  $\Delta p$  in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit  $v$ .

$G = 550 \text{ kg}$ ,  $p = 2,5 \text{ atü}$ ,  $t_U = 17^\circ \text{C}$

Messtelle (2,5,8) zwischen Schulter und Mitte.

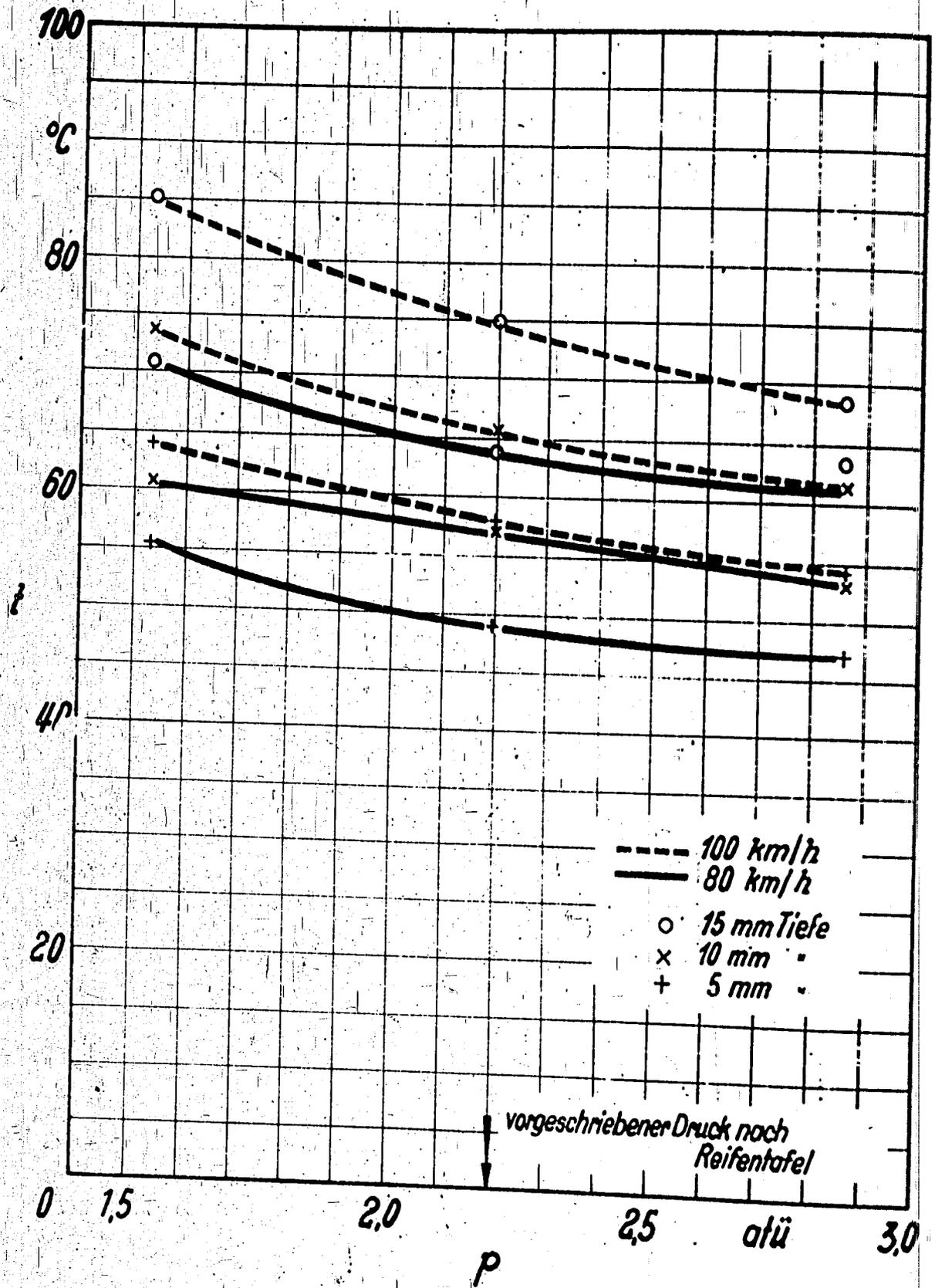


Bild 59

Reifentemperatur  $t$  in Abhängigkeit vom Innendruck bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten.

Reifen: Goodrich - Silvertown, 5,50 - 16

$G = 450 \text{ kg}$ ,  $t_U = 17^\circ\text{C}$

Messtelle (2,5,8) zwischen Schulter und Mitte.

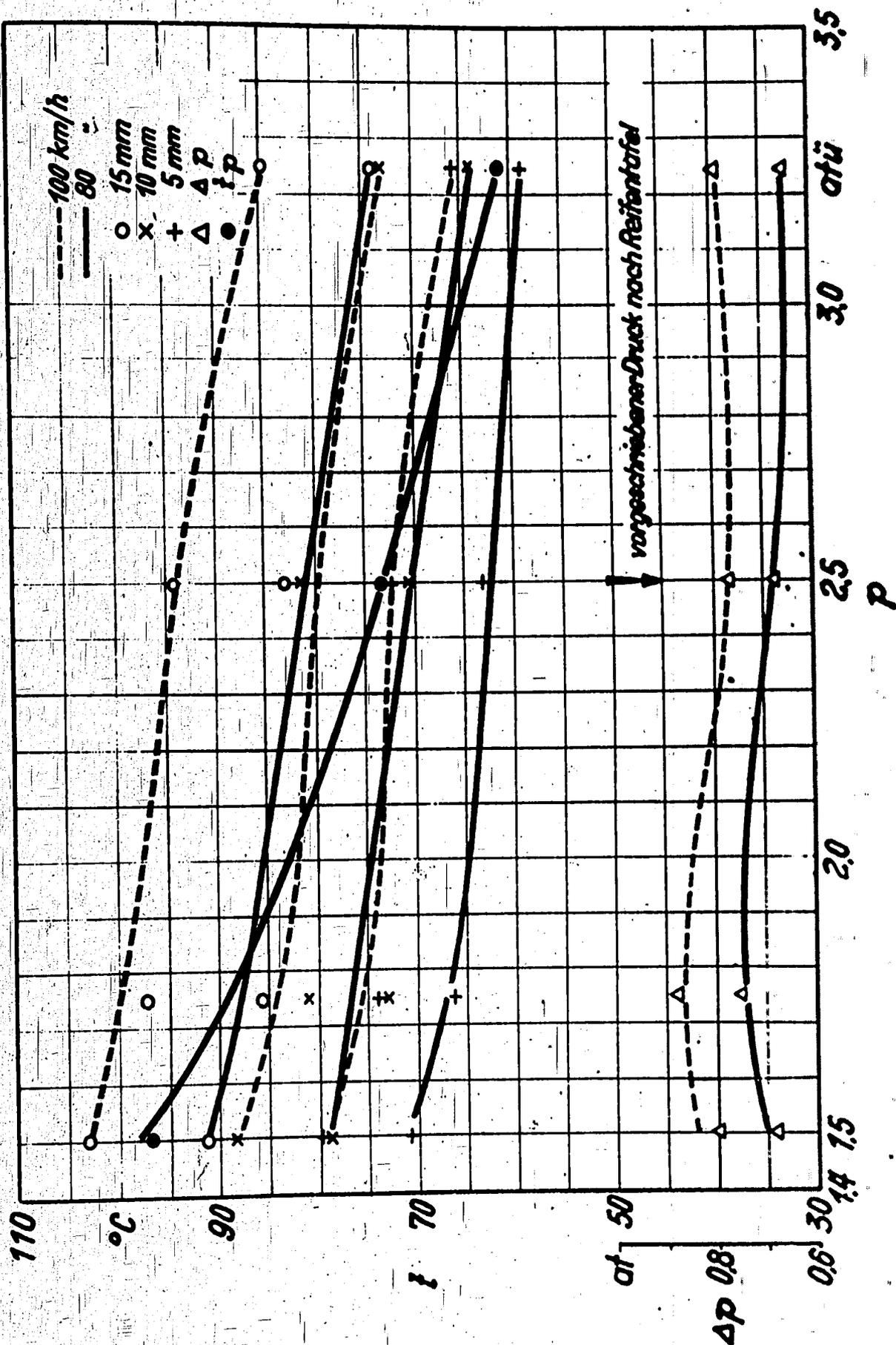


Bild 60

Reifentemperatur und Druckzunahme in Abhängigkeit von Innendruck Semperit S 18 Buna, 6,00-16, G = 550 kg, v = 100 und 80 km/h,  $t_U = 17^\circ\text{C}$ .

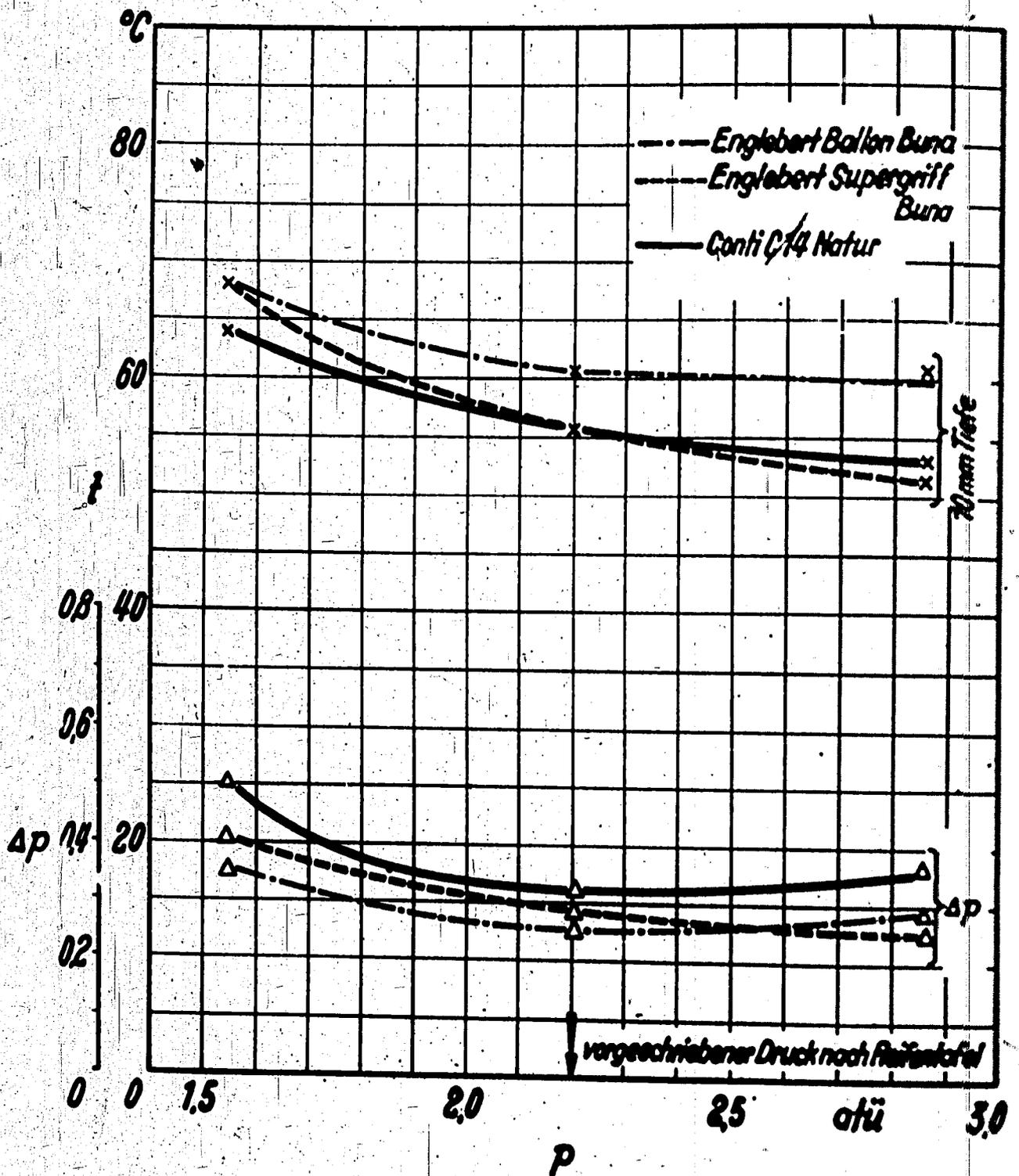


Bild 61

Vergleich der Erwärmung verschiedener Reifen der Größe 5,00 - 16.

Reifentemperatur  $t$  in 10 mm Einstichtiefe und Drucksunahme  $\Delta p$  in Abhängigkeit vom Innendruck bei der Fahrgeschwindigkeit von 80 km/h.

$G = 350$  kg,  $t_U = 17^\circ\text{C}$

Messstelle (5) zwischen Schulter und Mitte.

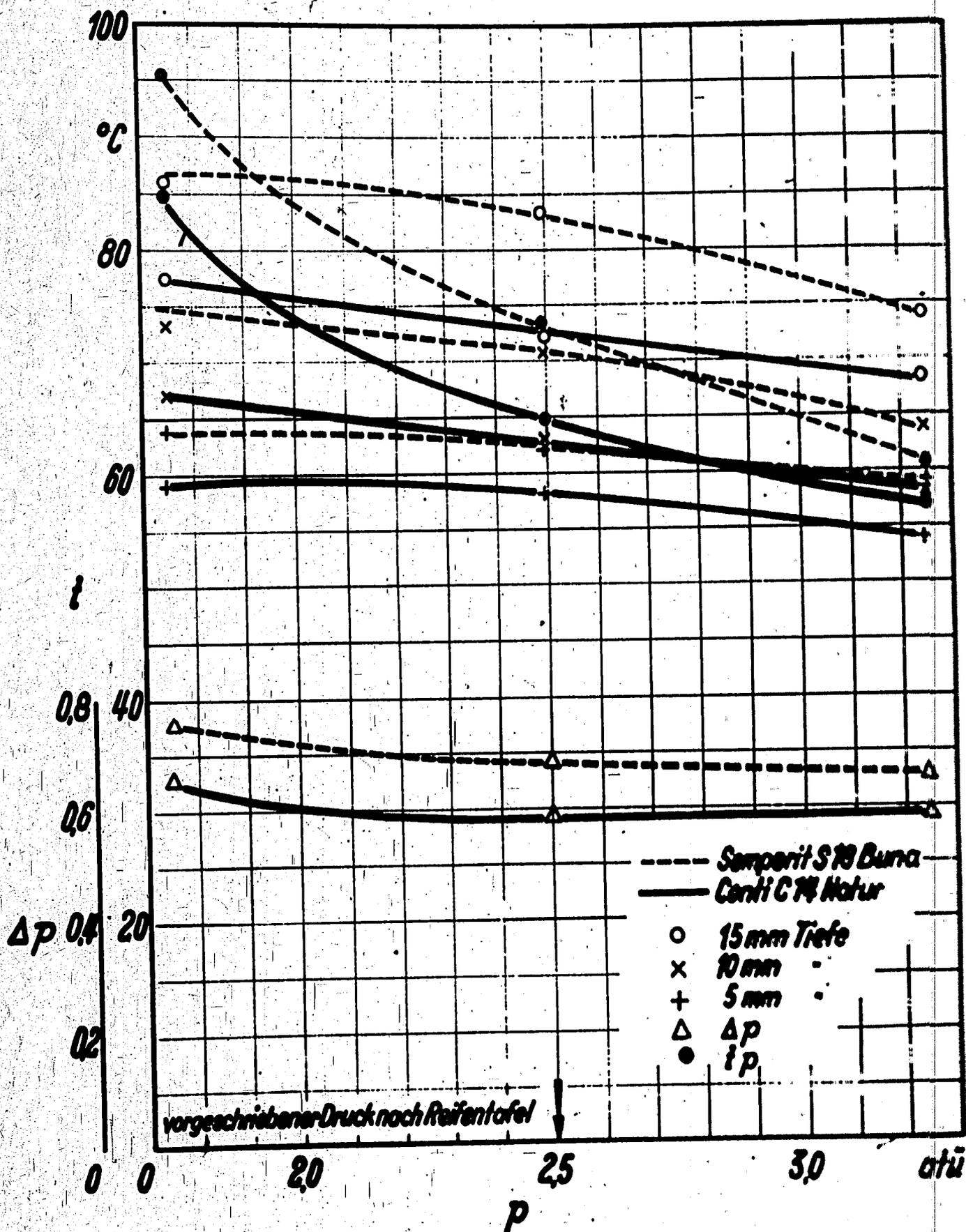


Bild 62

Vergleich der Erwärmung verschiedener Reifen der Größe 6,00 - 16.

Temperatur  $t$  und Druckzunahme  $\Delta p$  in Abhängigkeit vom Innendruck bei der Fahrgeschwindigkeit von 80 km/h.

$G = 550$  kg,  $t_U = 17^\circ\text{C}$

Messstelle (2,5,8) zwischen Schulter und Mitte.

Herstellung: VDI-Verlag GmbH, Berlin NW 7

Druck: *Lindemann & Lüddecke* Berlin SO 36

6236