

Laborbericht

Bremsenprüfstand

Gruppe H

SS 2001

Labortermine: 9.04.01 und 23.04.01

Versuchsleiter: Herr Weidner, Herr Mardt

Betreuender Professor: Prof. Dr. Friedrich

Versuchsteilnehmer:

Matthias Heiser	Matr. Nr.: 1530330	_____
Stefan Penner	Matr. Nr.: 1531009	_____
Frank Kullmann	Matr. Nr.: 1536159	_____
Jens Christian Bock	Matr. Nr.: 1539871	_____
Javier Martinez	Matr. Nr.: 1467141	_____
Dirk Kammholz	Matr. Nr. :1497607	_____

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	Seite 3
2.	Grundlagen	Seite 4
3.	Vorbetrachtungen	Seite 5
3.1	Berechnung des Bremsenkennwertes C^*	Seite 5
3.2	Berechnung der simulierten Fahrzeugmasse	Seite
	5	
3.3	Berechnungen zur Dauerbremsung	Seite 6
4.	Aufgabenstellung	Seite
	7	
5.	Versuchsaufbau	Seite 8
5.1	Messgeräte	Seite
	8	
5.2	Messgrößen	Seite 8
5.3	Drehzahlen des Elektromotors	Seite
	9	
6.	Versuchsdurchführung	Seite 9
6.1	Voreinstellungen	Seite 9
6.2	Versuchsablauf	Seite 9
7.	Versuchsauswertung	Seite 10
7.1	Diagrammerläuterung	Seite 10
7.2	Auswertung der Ergebnisse	Seite 17
8.	Fehlerbetrachtung	Seite 18
9.	Anhang	Seite 19

1. Einleitung

Die Gesamtheit aller Bremsanlagen eines Fahrzeuges dient dazu, die Geschwindigkeit oder die Geschwindigkeitsänderung zu verringern, es zum Stillstand zu bringen oder es im Stillstand zu halten.

Unter der Bremsausrüstung eines Fahrzeuges versteht man alle seine Brems- und Verzögerungsanlagen. Zu jeder Bremsanlage gehören neben der Bremse die Energieversorgung, die Betätigungseinrichtungen und die Übertragungseinrichtungen. Aufgaben der Bremsanlage und ihre Einteilung nach der Verwendung:

Betriebsbremsanlage: Sie soll, wenn erforderlich, die Geschwindigkeit des Fahrzeuges verringern, unter Umständen bis zum Stillstand. Das Fahrzeug soll dabei seine Spur beibehalten. Die Betriebsbremse wird vom Fahrer mit dem Fuß betätigt, sie muß abstufbar sein und auf alle vier Räder wirken.

Hilfsbremsanlage: Sie soll bei Störungen der Betriebsbremsanlage deren Aufgabe erfüllen. Dies kann auch mit verminderter Wirkung erfolgen. Es muß keine unabhängige dritte Bremsanlage sein, sondern es genügt der intakte Bremskreis einer zweikreisigen Betriebsbremsanlage oder eine abstufbare Feststellbremsanlage.

Feststellbremsanlage: Sie soll ein haltendes oder abgestelltes Fahrzeug gegen Wegrollen, auch bei geneigter Fahrbahn sichern.

Dauerbremsanlage: Sie soll bei längerer Talfahrt die Geschwindigkeit des Fahrzeuges auf einem gewünschten Wert halten.

Das Prinzip der Fahrzeugbremsen basiert darauf, daß die kinetische- und rotatorische Energie des Fahrzeuges durch Reibung in Wärme umgewandelt wird. Dies geschieht in der Reibfläche zwischen Bremsbelag und Bremsscheibe (bzw. Trommel), an die in modernen Fahrzeugen höchste Ansprüche bezüglich Temperatur, der Stabilität und der Lebensdauer gestellt werden.

Für die Erteilung der Allgemeinen Betriebserlaubnis eines Fahrzeuges kann die Prüfung der Bremsausrüstung nach Wahl des Fahrzeugherstellers nach:

- StVZO §47
- EWG - Regelung 71/320/EWG mit Anpassungsrichtlinien
- ECE - Regelung Nr. 13

- BSU, ZU in Zukunft Sicherheitsprüfung erfolgen.

2. Grundlagen

Wie eingangs bereits angedeutet, unterliegt eine Fahrzeugbremse im Allgemeinen sehr großen Belastungen. Um diesen Belastungen gerecht zu werden, entwickelten sich im Laufe der Zeit verschiedene Bremsenbauformen:

1. Trommelbremsen in den Ausführungen:
 - a. Simplex
 - b. Duplex
 - c. Servo
 - d. Duo-Servo
2. Scheibenbremsen in den Ausführungen:
 - a. Festsattel
 - b. Schwimmsattel

Die Vor- und Nachteile dieser Bauformen werden an dieser Stelle nicht näher erörtert, jedoch finden die meisten dieser Bauformen immer noch Einsatz im Fahrzeugbau.

Die von uns untersuchte Festsattel-Scheibenbremse D3 für LKW und Busse wird durch den extremen Langstreckenverkehr und die hohen Zuladungen, die im Nutzfahrzeugsektor gefordert sind, in besonderem Maße belastet. Während des Betriebes können sich durch diese Belastungen Veränderungen im Verhalten der Bremse ergeben.

Im speziellen wollen wir hier die Abhängigkeit untersuchen

- vom vorhandenen Bremsdruck
- von der Bremstemperatur
- und von der Fahrgeschwindigkeit.

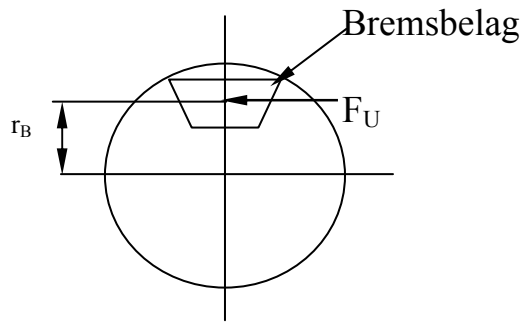
Die gefahrenen Versuche sollen eine Abhängigkeit erkennbar machen zwischen diesen Faktoren und dem Bremsenkennwert C^* .

Der Bremsenkennwert C^* ist der Quotient aus der in der Bremse entstehenden Umfangskraft F_U und der zur Erzeugung dieser Kraft nötigen Spannkraft F_S , mit der die Bremsbeläge auf die Bremsscheibe gepresst werden.

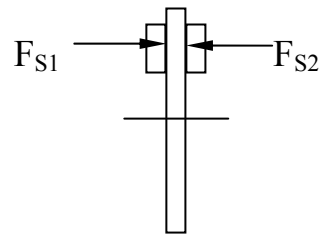
Da diese Werte allerdings innerhalb der Bremse auftreten, kann man sie nicht direkt messen, sie werden aus Bremsdruck und Bremsmoment errechnet.

3. Vorbetrachtungen

3.1 Berechnung des Bremsenkennwertes C*



$$F_U = \frac{M_B}{r_B}$$



$$F_S = \frac{F_{S1} + F_{S2}}{2}$$

$$\Rightarrow C^* = \frac{F_U}{F_S}$$

3.2 Berechnung der simulierten Fahrzeugmasse

Energien: $E_{\text{rot}} = E_{\text{trans}}$

$$I = 809,32 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

$$r = 0,5 \text{ m}$$

$$\frac{I}{2} \omega^2 = \frac{m}{2} v^2$$

$$\text{mit: } v = \omega \cdot r$$

$$\frac{I}{2} \omega^2 = \frac{m}{2} \omega^2 \cdot r^2$$

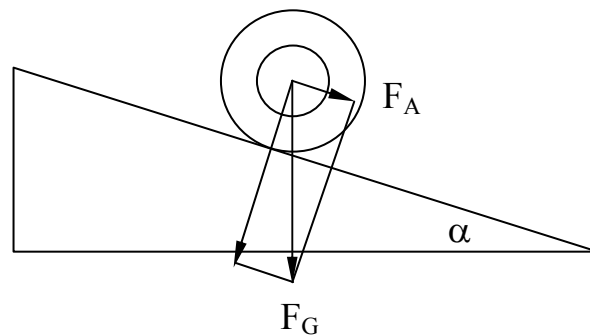
$$I = m \cdot r^2$$

$$m = \frac{I}{r^2} = \frac{809,32 \text{ kg} \cdot \text{m}^2}{(0,5 \text{ m})^2}$$

$$m = 3237,28 \text{ kg}$$

3.3 Berechnungen zur Dauerbremsung

An die Dauerbremsung nach StVZO sind spezielle Anforderungen gestellt. Demnach wird eine Bewegungsenergie angenommen, die einer Geschwindigkeit von 30 km/h entspricht. Desweiteren wird von einem Gefälle von 7%, einer Streckenlänge von 6 km und einem beladenen Fahrzeug mit eingekuppeltem Motor ausgegangen.



$$F_G = 3237,3 \text{ kg}$$

$$\alpha = 7\% = 4^\circ$$

$$r = 0,5 \text{ m}$$

$$s = 6000 \text{ m}$$

$$F_A = F_G \cdot \sin \alpha = 3237,3 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot \sin(4^\circ)$$

$$\underline{F_A = 2191 \text{ N}}$$

$$M = F_A \cdot r = 2191 \text{ N} \cdot 0,5 \text{ m}$$

$$\underline{M = 1095 \text{ Nm}}$$

$$U = 2 \cdot \Pi \cdot r = 2 \cdot 3,1415 \cdot 0,5 \text{ m}$$

$$\underline{U = 3,14 \text{ m}} \quad \text{pro Umdrehung}$$

$$\text{Umdrehungen } U_{\text{ges}} \text{ für Dauerbremsung:} \quad s/U = 6000 \text{ m} / 3,14 \text{ m}$$

$$\underline{U_{\text{ges}} = 1910,8}$$

4. Aufgabenstellung

Im Rahmen des durchgeführten Versuches sollte die Abhängigkeit des Bremsenkennwertes C^* von zwei wichtigen Parametern untersucht werden.

Diese Einflussgrößen sind:

- Bremsdruck (und damit Spannkraft F_S) und
- Betriebstemperatur

Es ergaben sich im Laufe der Versuchsauswertung einige weitere Erkenntnisse im Bezug auf:

- Den Temperaturanstieg in der Bremse in Abhängigkeit von Bremsdruck und Geschwindigkeit und
- den Bremsweg in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit

5. Versuchsaufbau

Der Versuch wurde auf einem Bremsenprüfstand mit variabler Schwungmasse durchgeführt, wobei in unserem Versuch eine Scheibe ausgehängt war. Daraus ergab sich ein Massenträgheitsmoment von $I = 809,32 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$, welches einer Radlast von $F_R = 31758 \text{ N}$ entspricht. Der Antrieb des Prüfstandes erfolgt über einen Elektromotor, mit einer Leistung $P_{EM} = 68 \text{ kW}$, einem Schaltgetriebe und einer elektromagnetischen Kupplung.

Die Bremse ist auf einer Drehmomentstütze (Länge $l = 0,625 \text{ m}$) gelagert, die sich wiederum auf einer Kraftmessdose abstützt.

5.1 Messgeräte

Im Einzelnen wurden folgende Messgeräte verwendet:

- Eisen – Konstantan – Thermoelement in der Bremsscheibe, Anzeige der Temperatur über einen Messverstärker
- Druckaufnehmer Typ 3MA (Nenndruck 10 bar und 2 mV/V)
- Kraftmessdose Typ U1 (Nennlast 5 Mpond und 2 mV/V, Widerstand $R = 120\Omega$, Klasse 0,1%, Überlast 50%, Bruchlast 300%)
- Umdrehungszähler der Firma Schenk mit optelektronischen Sensoren
- Drehzahlfühler in induktiver (angezeigt über Universalzähler Schurig CU 72 N), optoelektronischer und Generatorausführung (angezeigt über Analoginstrument)
- Messschreiber Watanabe Multicorder

5.2 Messgrößen

Mit den oben aufgeführten Messkomponenten werden während des Versuchs folgende Messgrößen erfasst:

- Temperatur der Bremsscheibe $T [^\circ\text{C}]$
- Bremsmoment $M_B [\text{Nm}]$
- Bremsdruck $p [\text{bar}]$
- Umdrehungen der Welle bis zum Stillstand U_{A-E}
- Drehzahl der Prüfstandswelle $n [\text{min}^{-1}]$

5.3 Drehzahlen des Elektromotors

Ausgehend von der Montage eines Reifens der Größe 10.00 R20 ergaben sich für die von uns ausgewählten Geschwindigkeiten folgende Motorendrehzahlen:

- 50 km/h => 833 min⁻¹ im 2. Gang
- 80 km/h => 1333 min⁻¹ im 3. Gang
- 30 km/h => 159 min⁻¹ im 2. Gang

6. Versuchsdurchführung

6.1 Voreinstellungen

Vor jedem neuen Versuch musste die benötigte Drehzahl des Elektromotors berechnet werden. Je nach gefahrener Geschwindigkeit, musste dann anschließend der für den Versuchslauf passende Gang gewählt werden. Danach konnten die Messreihen durchgeführt werden.

6.2 Versuchsablauf

Es wurden im Einzelnen folgende Versuche gefahren:

1. Kaltbremsung bei 50 km/h
hierbei liegt die Anfangstemperatur der Bremsscheibe unter 100 °C
2. Kaltbremsung bei 80 km/h
3. Warmbremsung bei 50 km/h
hierbei liegt die Anfangstemperatur der Bremsscheibe über 100 °C
4. Warmbremsung bei 80 km/h
5. Dauerbremsung nach §41StVZO bzw. 71/320 EWG und
ECE-Regelung 13

Der Ablauf einer Messreihe ist wie folgt zu beschreiben. Der Elektromotor wurde gestartet und die entsprechende Drehzahl, unter Verwendung eines Potentiometers, eingestellt. Bei erreichter Drehzahl wurde der Motor durch die elektromagnetische Kupplung von der Versuchswelle mit den Gewichten und der Bremseinrichtung getrennt und die Bremsung eingeleitet. Nach Beendigung des Versuches wurden die Daten von den Messgeräten abgelesen und notiert.

7. Versuchsauswertung

Während der Versuchsläufe wurde auf dem Messschreiber das Bremsmoment (braune Kurve auf dem Auswertungstreifen) aufgezeichnet. Unter Berücksichtigung des wirksamen Bremsradius $r_B = 170 \text{ mm}$, den wir aus dem Infoblatt „Bremsenspezifische Details“ entnehmen konnten, berechneten wir, wie unter 2.1.1 gezeigt, die wirksame Umfangskraft F_U .

Aus dem gemessenen Bremsdruck wurde mit der Kalibrierkurve (siehe Anhang) die wirksame Spannkraft F_S abgelesen.

Aus den zuvor ermittelten Werten ließ sich dann abschließend der Bremsenkennwert C^* berechnen.

$$C^* = \frac{F_U}{F_S}$$

7.1 Diagrammerläuterung:

Diagramm I:

In diesem Diagramm werden die Bremsscheibentemperaturverläufe bei Bremsbeginn und Bremsende, bzw. die Umdrehungen des Rades bis zum Stillstand einer Kaltbremsung bei 50km/h über dem Bremsdruck dargestellt.

Diagramm II:

Hier sind die entsprechenden Werte für eine Kaltbremsung bei 80 km/h eingetragen.

Diagramm III:

Auch dieses Diagramm zeigt den Bremsscheibentemperaturverlauf, jedoch für eine Warmbremsung bei 50 km/h. Da wir für Bremsbeginn eine Temperatur von 150 °C festgelegt hatten, ist nur die Temperatur nach Bremsende abgetragen.

Diagramm IV:

Das letzte Diagramm zu dem Bremsscheibentemperaturverlauf zeigt diesen für eine Warmbremsung bei 80 km/h. Auch hier wurde die Temperatur bei Bremsbeginn jeweils auf 150 °C festgelegt.

Diagramm V:

Abschließend für die Kalt- und Warmbremsversuche, befindet sich in diesem Diagramm eine Gegenüberstellung der einzelnen Bremsenkennwerte C^* der Versuche I-IV über den Bremsdruck

Diagramm VI:

Bei der Dauerbremsung, um die es in diesem Diagramm geht, ist die Temperatur über der gefahrenen Strecke abgetragen.

Diagramm I: Bremsscheibentemperaturverlauf einer Kaltbremsung bei 50 km/h

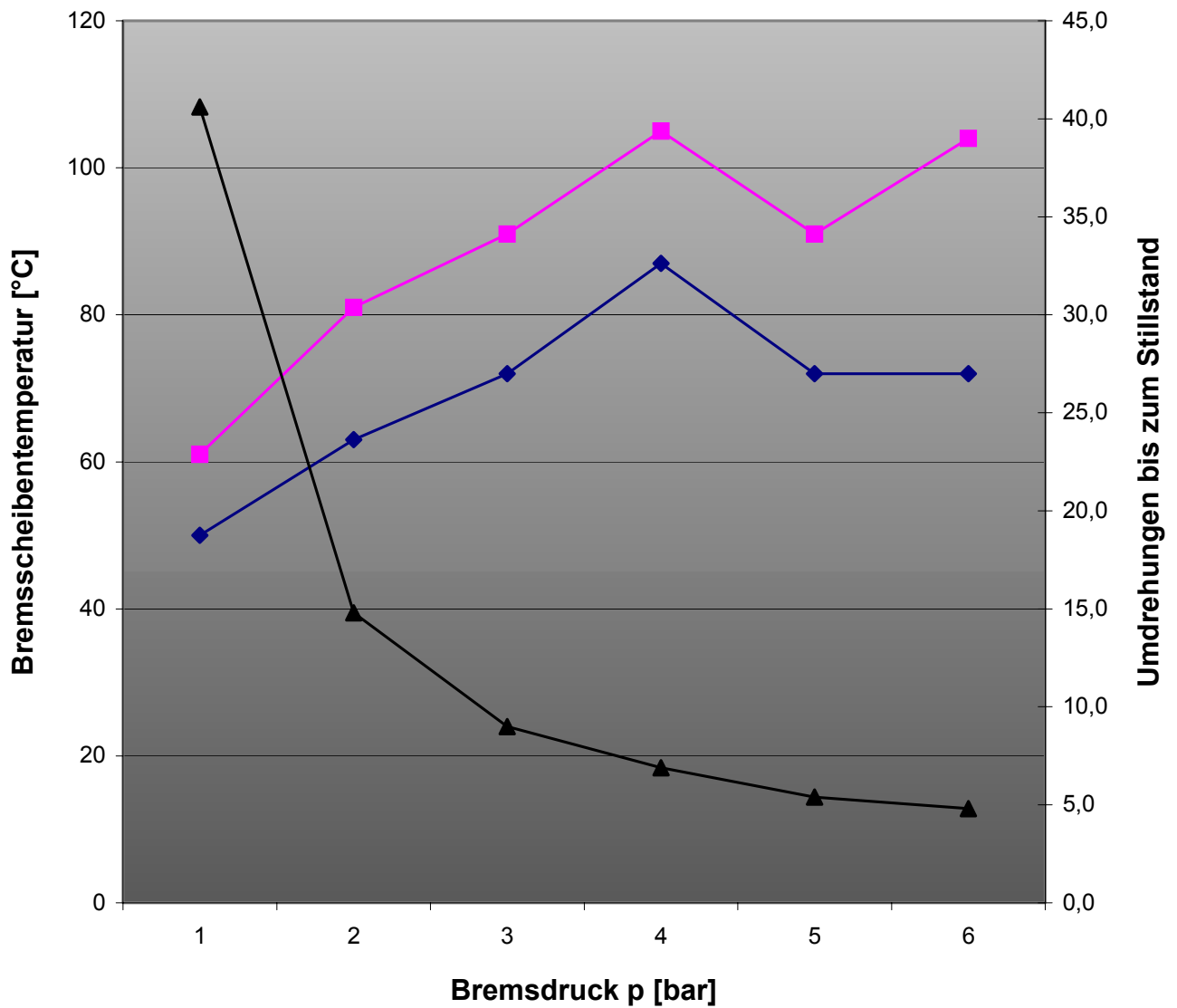


Diagramm II: Bremsscheibentemperaturverlauf einer Kaltbremsung bei 80 km/h

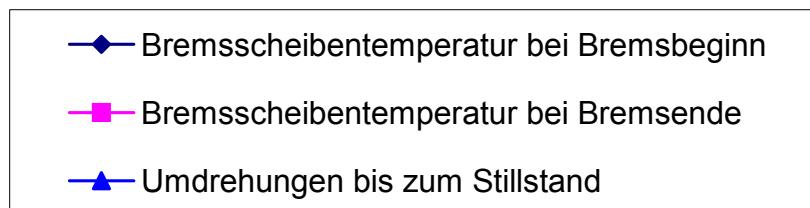
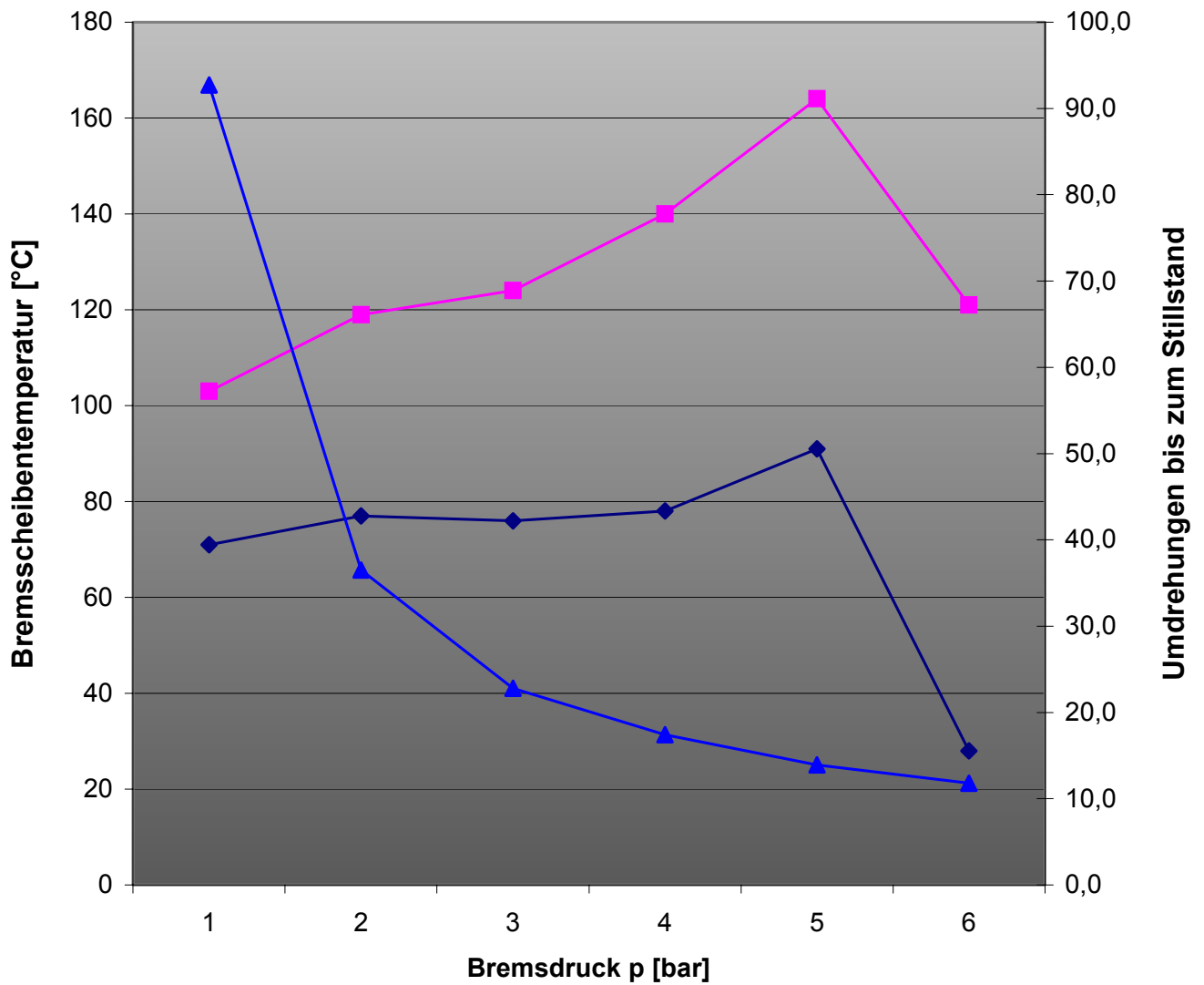


Diagramm III: Bremsscheibentemperaturverlauf einer Warmbremsung bei 50 km/h

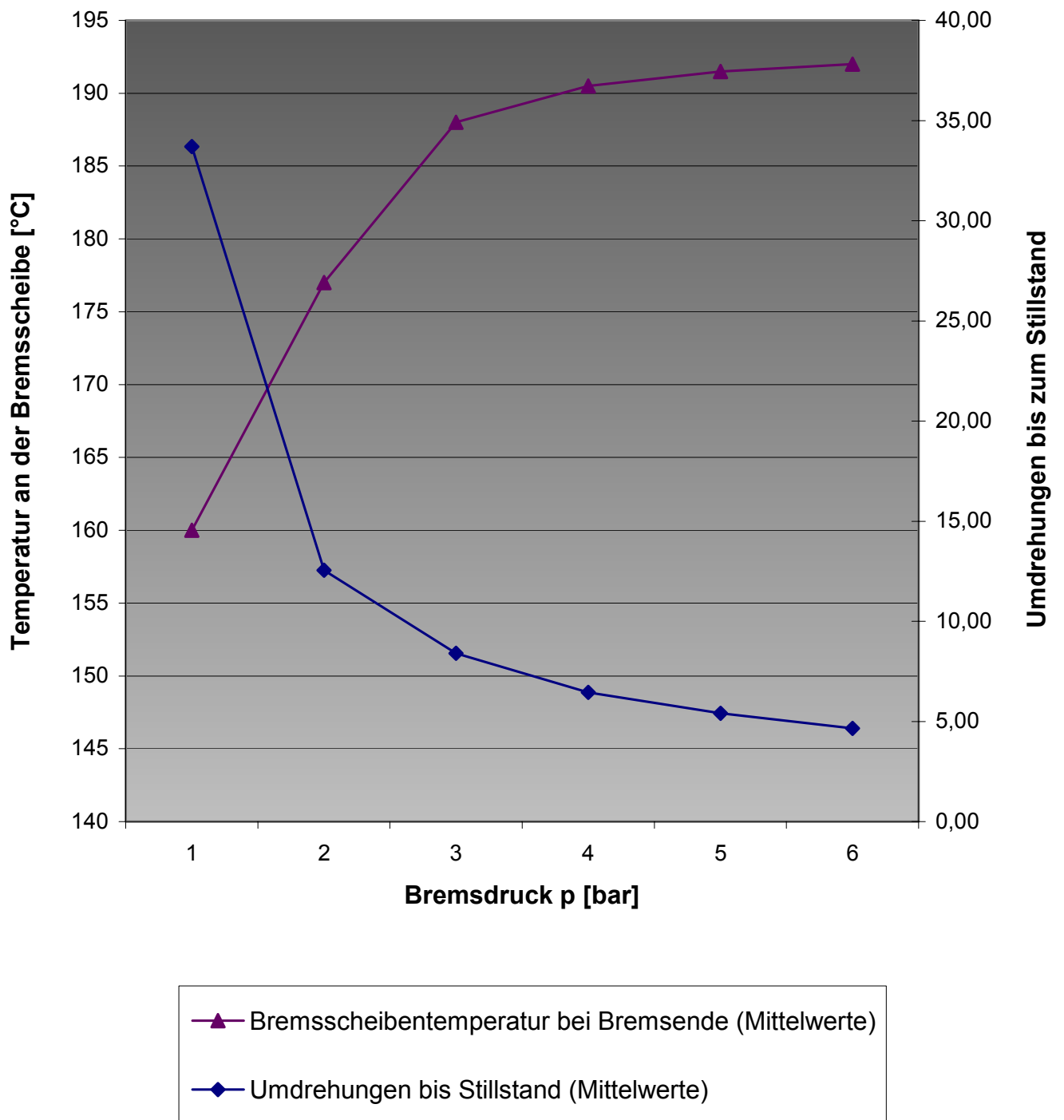


Diagramm IV: Bremsscheibentemperaturverlauf einer Warmbremsung bei 80 km/h

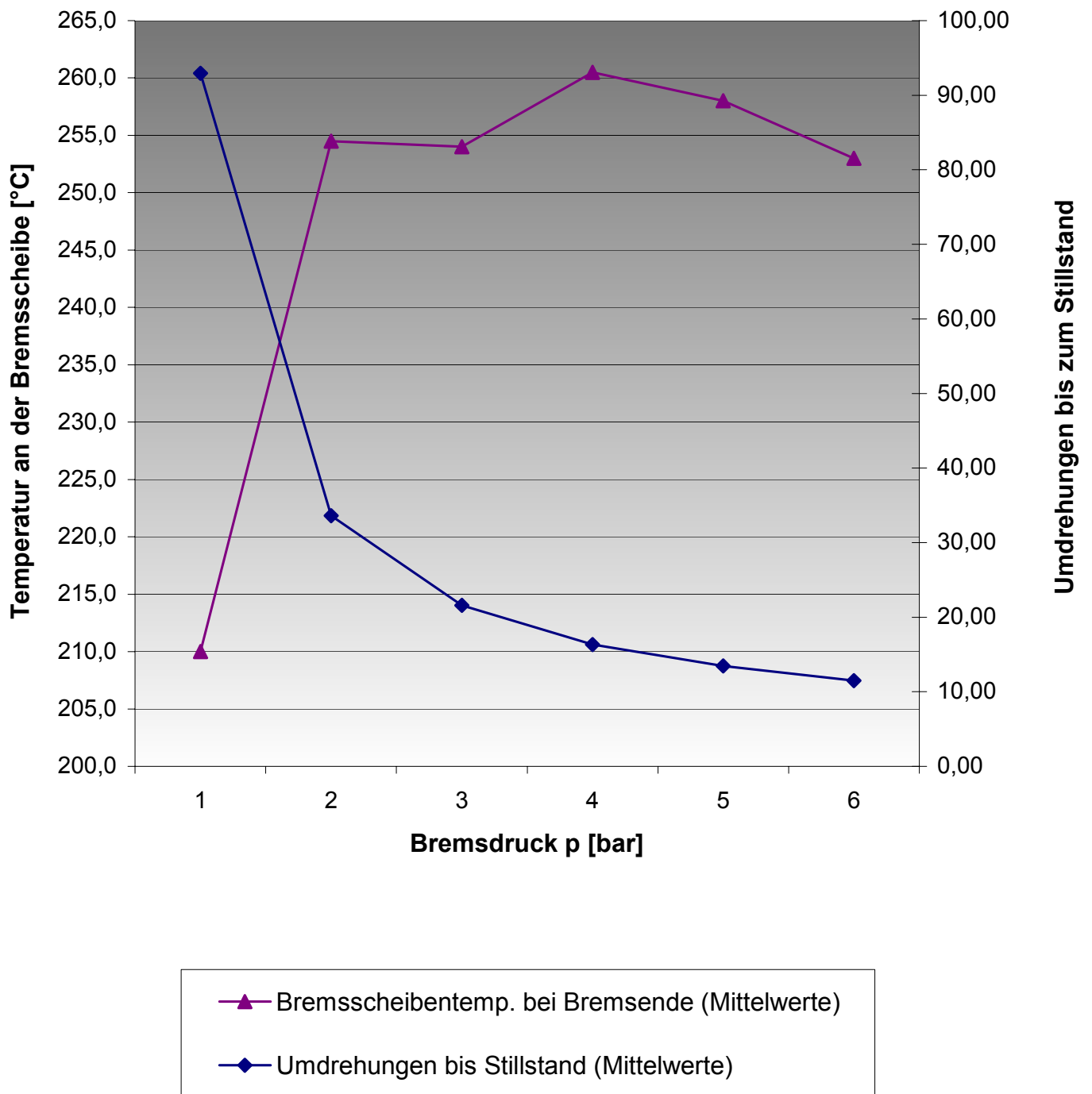


Diagramm V: Bremsenkennwertverlauf C^* über dem Bremsdruck p [bar]

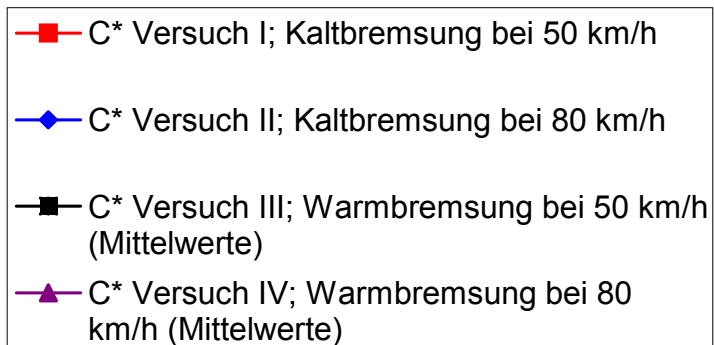
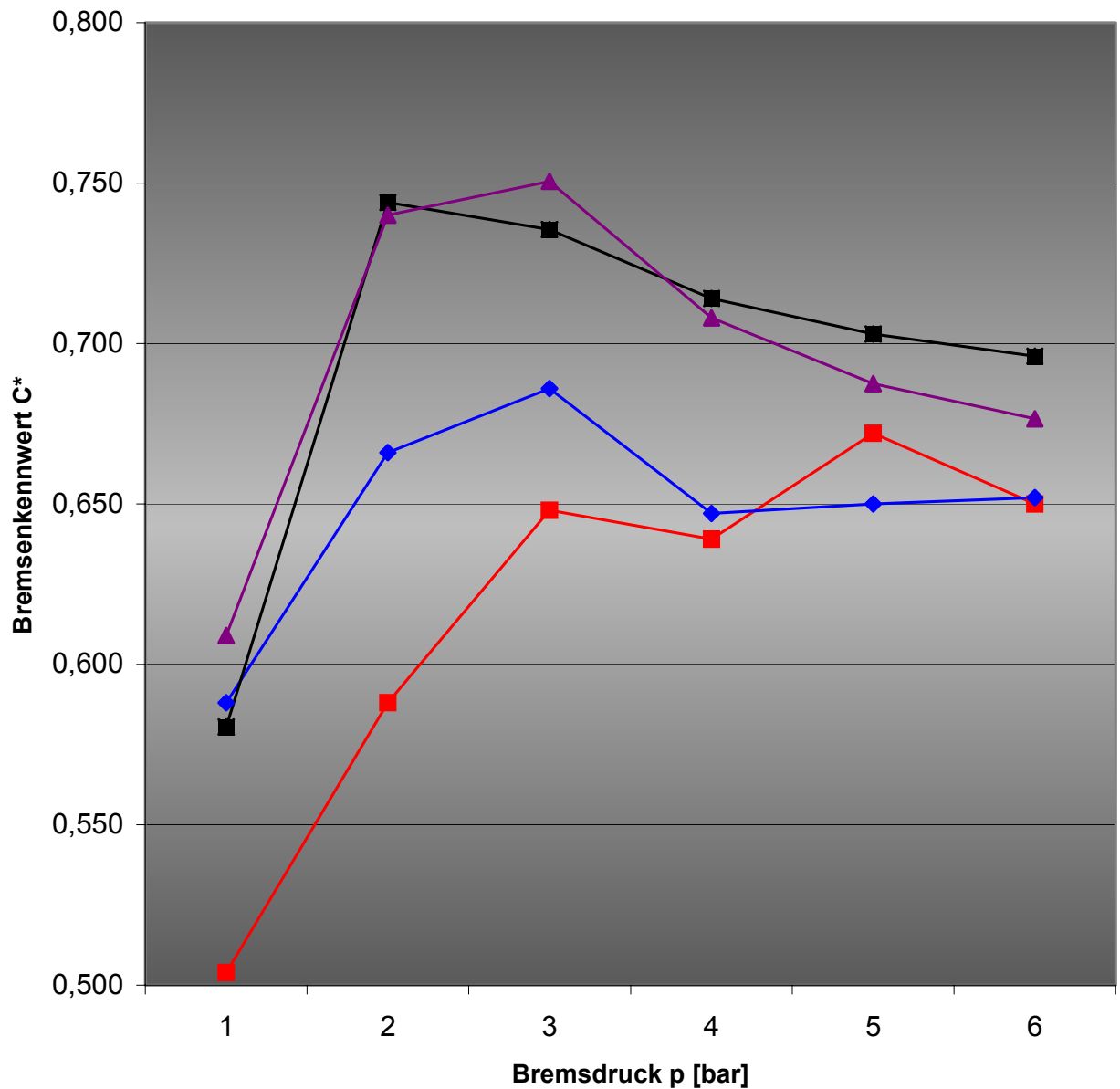
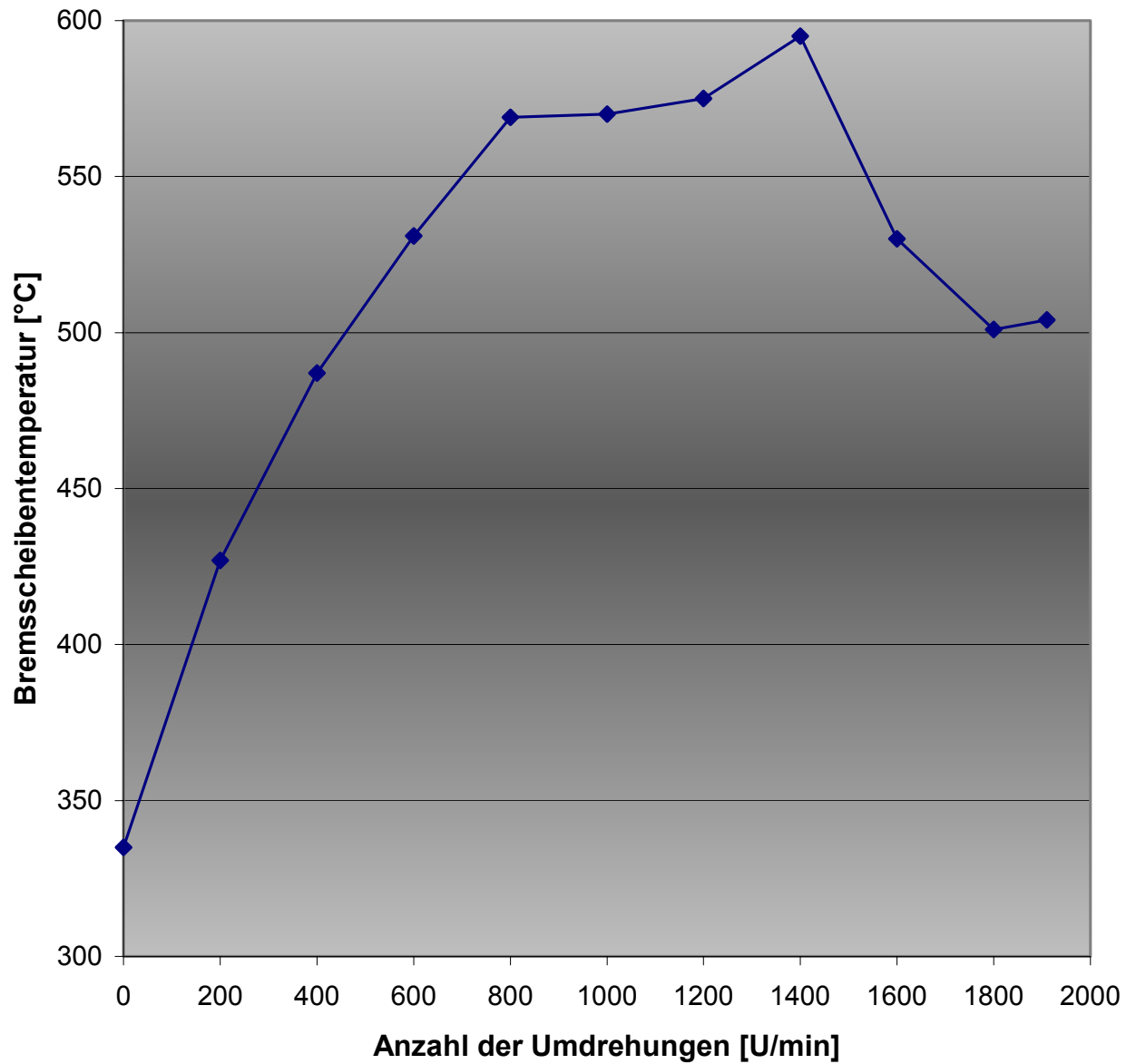


Diagramm VI: Dauerbremsversuch nach StVZO



—◆— Bremsscheibentemperatur während der Dauerbremsung

7.2 Auswertung der Ergebnisse

Diagramm I-IV:

Es ist deutlich zu erkennen, daß der Bremsenkennwert von niedrigen zu mittleren Werten des Bremsdruckes hin ansteigt, und zwar sowohl in kaltem, wie auch in warmem Zustand der Bremsscheibe. Seinen Höchstwert erreicht C^* im Bereich von 2-4 bar Bremsdruck, darüber ist ein leichter Abfall zu verzeichnen.

Die Abhängigkeit vom Bremsdruck ist im warmen Zustand etwas geringer ausgeprägt.

Es ist ebenfalls deutlich zu sehen, dass der Bremsweg überproportional mit zunehmendem Bremsdruck sinkt. Desweiteren ist hierbei zu erkennen, dass der Bremsweg von der Temperatur der Bremse beinahe unabhängig ist. Eine zu erwartende Verlängerung des Bremsweges mit steigender Temperatur, ist nur in Ansätzen zu vermuten.

Diagramm V:

Deutlich ist zu erkennen, dass der Bremsenkennwert nur gering von der gefahrenen Geschwindigkeit, im Vergleich zur Temperatur der Bremsscheibe, abhängt.

Die Kurven der beiden Kalt- und Warmbremsungen liegen jeweils dicht beieinander. Vergleicht man allerdings die Kalt- mit der Warmbremsung, ist zu sehen, dass der Bremsenkennwert der Warmbremsungen um bis zu einem Zehntel größer ist, als der dazu gehörige Bremsenkennwert der entsprechenden Kaltbremsung.

Diagramm VI:

Die Bremsscheibentemperatur nimmt anfangs sehr stark zu. Nach ca. 40 % der gefahrenen Strecke, stellt sich ein Gleichgewicht ein, d.h. die Temperatur steigt nur noch sehr gering und setzt sich bei ca. 550 - 600 °C fest. Der Knick in unserem Versuch ist damit zu begründen, dass wir das Bremsmoment nachstellen mussten. Wir verringerten dieses, weil es sich durch die Ausdehnung der erwärmten Bremsscheibe erhöht hatte. Die Temperatur fiel dann um einige Grad Celsius ab und stabilisierte sich gegen Ende des Versuchs erneut auf ein niedrigeres Niveau.

Man kann daraus entnehmen, dass die Bremsscheibentemperatur nicht endlos steigt, sondern dass sich jeweils ein Gleichgewicht einstellt, je nach Umgebungstemperatur und gefahrenem Bremsmoment, sprich ein Gleichgewicht zwischen Erwärmung durch die Reibung und Abkühlung durch Wärmeaustausch mit der Umgebung.

8. Fehlerbetrachtung

Bei der Durchführung der Versuche sind uns zahlreiche Fehlermöglichkeiten und Kritikpunkte aufgefallen:

- Der Messschreiber zeigte deutliche Ungenauigkeiten, da die Stifte in ihren Halterungen Spiel hatten und somit Hysterese auftrat. Ausserdem war oft eine Umschaltung des Messbereichs erforderlich, um wenigstens halbwegs ablesbare Werte zu erhalten, was durch ein Computermesssystem komplett und komfortabel hätte beseitigt werden können. Während der Versuche haben wir deshalb die Werte direkt an den Messverstärkern abgelesen, um die Ungenauigkeiten des Schreibers als mögliche Fehlerquelle auszuschalten.
- Die gefahrenen Versuche berücksichtigen nicht die Kühlung der Bremse durch den Fahrtwind und die Bremsung des Fahrzeuges durch den Luftwiderstand. Auch die Rotationsenergie des Antriebstrangs und den Rollwiderstand der Reifen mussten wir in unserer Versuchsreihe unberücksichtigt lassen.
- Ebenfalls mussten wir die in der Praxis ausgesprochen wichtige dynamische Achslastverlagerung und die damit verbundene Bremskraftverteilung während einer Bremsung vernachlässigen.
- Abschliessend müssen noch Fehler wie ungenaues Ablesen von Werten auf den Analoginstrumenten, sowie die Benutzung gerundeter Ausgangsgrössen der vorausgegangenen Berechnungen erwähnt werden.

9. Anhang

1. Tabellen der Messwerte der einzelnen Versuche
- ~~2. Kalibrierkurve~~
- ~~3. Infoblatt „Bremsenspezifische Details“~~
- ~~4. Messstreifen des Messschreibers~~

Tabellen der Messwerte der einzelnen Versuche

Versuch I: Kaltbremsung bei 50 km/h

p_{Brems} [bar]	F_s [kN]	M_B [Nm]	C^*	$T_{\text{Bremsbeginn}}$ [°C]	$T_{\text{Bremsende}}$ [°C]	U_{A-E}^1
1	14	1250	0,504	50	61	40,6
2	34	3400	0,588	63	81	14,8
3	54	5950	0,648	72	91	9,0
4	75	8150	0,639	87	105	6,9
5	95	10850	0,672	72	91	5,4
6	115	12700	0,650	72	104	4,8

Übersetzung des Prüfstandes: 2. Gang
 Motordrehzahl des Elektromotors: 256 U/min
 simulierte Fahrgeschwindigkeit: 50 km/h
 Umgebungstemperatur: 24°C

¹ U_{A-E} = Anzahl der Umdrehungen von Anfang bis Ende der Bremsung

Versuch II: Kaltbremsung bei 80 km/h

p_{Brems} [bar]	F_s [kN]	M_B [Nm]	C^*	$T_{\text{Bremsbeginn}}$ [°C]	$T_{\text{Bremsende}}$ [°C]	U_{A-E}^1
1	14	1400	0,588	71	103	92,7
2	34	3850	0,666	77	119	36,5
3	54	6300	0,686	76	124	22,8
4	75	8250	0,647	78	140	17,4
5	95	10500	0,650	91	164	13,9
6	115	12750	0,652	28	121	11,8

Übersetzung des Prüfstandes: 3. Gang
 Motordrehzahl des Elektromotors: 424 U/min
 simulierte Fahrgeschwindigkeit: 80 km/h
 Umgebungstemperatur: 24°C

¹ U_{A-E} = Anzahl der Umdrehungen von Anfang bis Ende der Bremsung

Versuch III: Warmbremsung bei 50 km/h

p_{Brems} [bar]	F_s [kN]	M_B [Nm]	C^*	$T_{\text{Bremsende}}$ [°C]	U_{A-E} ¹
--------------------------	------------	------------	-------	-----------------------------	------------------------

Vorlauf	1	14	1650	0,573	161	31,1
	2	34	4200	0,727	176	13,0
	3	54	6500	0,708	187	8,6
	4	75	9100	0,714	190	6,4
	5	95	11300	0,700	195	5,4
	6	115	13700	0,701	194	4,6

Rücklauf	1	14	1400	0,588	159	36,3
	2	34	4400	0,761	178	12,1
	3	54	7000	0,763	189	8,2
	4	75	9100	0,714	191	6,5
	5	95	11400	0,706	188	5,4
	6	115	13500	0,691	190	4,7

Mittelwerte	1	14	1525	0,5805	160	33,70
	2	34	4300	0,7440	177	12,55
	3	54	6750	0,7355	188	8,40
	4	75	9100	0,7140	190,5	6,45
	5	95	11350	0,7030	191,5	5,40
	6	115	13600	0,6960	192	4,65

Übersetzung des Prüfstandes:

Motordrehzahl des Elektromotors:

simulierte Fahrgeschwindigkeit:

Bremsscheibentemperatur vor Bremsbeginn:

Umgebungstemperatur:

2. Gang

256 U/min

50 km/h

150 °C

24 °C

¹ U_{A-E} = Anzahl der Umdrehungen von Anfang bis Ende der Bremsung

Versuch IV: Warmbremsung bei 80 km/h

	p_{Brems} [bar]	F_s [kN]	M_B [Nm]	C^*	$T_{\text{Bremsende}}$ [°C]	U_{A-E}^1
Vorlauf	1	14	1300	0,546	222	101,7
	2	34	4050	0,701	254	36,1
	3	54	6150	0,700	241	23,5
	4	75	8600	0,675	252	17,1
	5	95	10800	0,669	249	13,8
	6	115	13000	0,665	253	11,6
Rücklauf	1	14	1600	0,672	198	84,2
	2	34	4500	0,779	255	31,1
	3	54	7350	0,801	267	19,7
	4	75	9450	0,741	269	15,6
	5	95	11400	0,706	267	13,1
	6	115	13450	0,688	253	11,4
Mittelwerte	1	14	1450	0,6090	210,0	92,95
	2	34	4275	0,7400	254,5	33,60
	3	54	6750	0,7505	254,0	21,60
	4	75	9025	0,7080	260,5	16,35
	5	95	11100	0,6875	258,0	13,45
	6	115	13225	0,6765	253,0	11,50

Übersetzung des Prüfstandes:

Motordrehzahl des Elektromotors:

simulierte Fahrgeschwindigkeit:

Bremsscheibentemperatur vor Bremsbeginn:

Umgebungstemperatur:

3. Gang

424 U/min

80 km/h

150 °C

24 °C

¹ U_{A-E} = Anzahl der Umdrehungen von Anfang bis Ende der Bremsung

Diagramm V: Bremsenkennwerte der Versuche I-IV

p_{Brems} [bar]	C^* Versuch I	C^* Versuch II	C^* Versuch III	C^* Versuch IV
1	0,504	0,588	0,5805	0,6090
2	0,588	0,666	0,7440	0,7400
3	0,648	0,686	0,7355	0,7505
4	0,639	0,647	0,7140	0,7080
5	0,672	0,650	0,7030	0,6875
6	0,650	0,652	0,6960	0,6765

Diagramm VI: Dauerbremsversuch nach StVZO

U [min ⁻¹]	T _{Bremssch.} [°C]
0	335
200	427
400	487
600	531
800	569
1000	570
1200	575
1400	595
1600	530
1800	501
1910	504

Übersetzung des Prüfstandes:
Motordrehzahl des Elektromotors:
simulierte Fahrgeschwindigkeit:
Umgebungstemperatur:

2. Gang
159 U/min
30 km/h
24 °C