

2. Juli 1940.

G e h e i m !

Herrn Professor Martin
Dr. Hagemann
Direktor Alberts
Dipl.-Ing. von Aboth
Dipl.-Ing. Tapp

Sekretariat Hg.	
Eingang:	4. 7. 40
Lfd. Nr.:	590
Beantw.:	/

Betrifft: Strömungswiderstand von Aromatisierungskontakt.

Zur Feststellung des bei der Luft- und Wasserstoffbehandlung auftretenden Strömungswiderstandes von mit Aromatisierungskontakten gefüllten Reaktoren mit verschiedener Füllhöhe wurden zu Beginn dieses Jahres zunächst Laboratoriumsmessungen durchgeführt, da der damals in der LT-Anlage verwendete Reaktor nur Füllungen bis zu 1 m Schichthöhe zuließ. Bei diesen Laboratoriumsuntersuchungen gingen wir von der Annahme aus, daß Messungen des Strömungswiderstandes von H_2N_2 -Gemisch bei Zimmertemperatur in erster Annäherung den tatsächlich in Reaktor bei der Luftblasung herrschenden Bedingungen entsprechen, da sich die Litergewichte des kalten H_2N_2 -Gemisches und der 500° heißen Luft kaum unterscheiden. Wie später noch dargelegt, ist diese Voraussetzung nicht exakt. Immerhin ergaben die Laboratoriumsmessungen manchen Aufschluß. Die Ergebnisse sollen daher kurz geschildert werden.

Die Versuche wurden in Glas- und Eisentröhen verschiedener Länge und Weite durchgeführt. Als Gase wurden außer dem schon erwähnten H_2N_2 -Gemisch H_2 , N_2 und CO_2 verwendet. Die Blaserichtung war in Übereinstimmung mit dem halbertechnischen Betrieb von oben nach unten. Eine Blasung von unten nach oben ist nicht möglich, weil dann bei den heute in Betrieb angewendeten Strömungsgeschwindigkeiten der Luft von 60 cm/sec ein "Tanzen" der Kontaktmasse eintritt. Diese kritische Geschwindigkeit, bei der eine Bewegung des Kontaktes auftritt, ist, wie Abb. 1 zeigt, schwach abhängig vom Litergewicht des Gases. Die Strömungsgeschwindigkeit ist hierbei, wie auch bei allen weiteren Messungen, die unter Vernachlässigung der Kontakt-

füllung im Kontaktraum herrschende Geschwindigkeit.

Bei der Messung des Strömungswiderstandes konnte zunächst eine nur recht unbefriedigende Übereinstimmung der Resultate erzielt werden. Dies lag an dem großen Einfluß, den die verschiedene Art des Einfüllens von Kontakt bzw. Kontaktsteinmischung auf den Widerstand der Füllung hatte. In Abb.2 sind einige derartige Meßergebnisse dargestellt. Ein Füllen bei seitlicher Neigung des Rohres gibt schwankende und falsche Resultate. Beim Füllen eines senkrecht stehenden Rohres wurden übereinstimmende Ergebnisse erhalten. Dabei ist es gleichgültig, ob die Kontaktsteinmischung schon als Mischung eingefüllt wird, oder ob in entsprechendem Verhältnis Kontakt und Steinmaterial abwechselnd in "Schichten" ^{ins} im Rohr eingetragen wird.

Eine Übertragung der in Rohren durchgeführten Widerstandsmessungen auf Reaktoren von erheblich größerer lichter Weite erschien nur dann gerechtfertigt, wenn der Einfluß einer Rand- oder Wandzone, der gerade in engen Rohren vielleicht erheblich sein konnte, klargelegt war. Wie Abb.3 zeigt, in der die Widerstände von mit Steinmaterial gefüllten Rohren verschiedener Weite in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit aufgetragen sind, scheint eine derartige Randwirkung nicht zu bestehen, wenigstens nicht bei Rohren mit einer lichten Weite von über 50 mm.

Aus Abb.3 erkennt man außerdem, daß die Widerstände fast proportional mit der Höhe ansteigen. Die in 2 m- Rohr gemessenen Werte betragen etwa 90 - 95 % der aus der Verdoppelung der 1 m - Messungen errechneten Werte.

Auch bei den Versuchen mit Kontakt- bzw. Kontaktsteinfüllungen ist diese verhältnismäßig gute Proportionalität zu erkennen. Auch hier liegen die 2 m - Werte auf etwa 90 % der verdoppelten 1 m - Werte. Wie aber aus den beiden Abb. 4 und 5 zu ersehen ist, besteht diese Übereinstimmung jedoch nur dann, wenn in beiden Fällen etwa der gleiche Gehalt an Kontaktstaub entstanden ist.

Die Abhängigkeit des Strömungswiderstandes vom Literaturgewicht des verwendeten Gases bringt Abb.6. An Hand dieser

Kurven ist es möglich, in jedem Falle aus dem für ein bestimmtes Gas gemessenen Widerstand den Strömungswiderstand für jedes andere Gas zu berechnen. Die Beziehung gilt jedoch nur für kalte Gase.

Soweit die Ergebnisse der Laboratoriumsversuche. Die Strömungswiderstandsmessungen im Reaktor der LT-Anlage waren, wie schon oben erwähnt, zunächst an die Füllhöhe von 1 m gebunden. Aber auch diese Messergebnisse stimmten in keiner Weise mit den Laboratoriumswerten überein. Die Widerstände im Reaktor waren fast doppelt so hoch! Die Ursache konnte, da die Staubbildung praktisch die gleiche war, nur ein erhöhter Widerstand im Lochblech sein, auf dem die Kontakt-Steinmischung auflag. Bei den Laboratoriumsmessungen in Röhren wurde nämlich ein Drahtmaschensieb, bei den ersten Reaktorfüllungen statt dessen ein Lochblech mit 10 mm Löchern verwendet. Auf diesem Lochblech lagerte dann zunächst eine Schicht von Raschigringen und erst darauf die eigentliche Kontakt-Steinmischung. Trotz vorsichtigen Einfüllens ließ es sich nicht vermeiden, daß der größte Teil der Löcheröffnungen durch Raschigringe verlegt war. In der Tat konnte diese Schwierigkeit überwunden werden, als beim neuen 2 m hohen Reaktor zwischen Lochblech und Raschigringlage ein Sieb aus Synchrondraht mit 3 mm Maschenweite eingebaut wurde. Außerdem war bei dem neuen Reaktor die Möglichkeit gegeben, die Messung zwischen der Oberfläche der Füllung und der Raschigringschicht, also unter Ausschaltung des Lochbleches und des Siebes durchzuführen.

Die Messergebnisse mit dem neuen 2 m - Reaktor sind in Abb.7 dargestellt. Der Widerstand von Lochblech und Sieb ist hierbei nicht berücksichtigt. Er beträgt jedoch nur einige mm Hg (bei 20 cm/sec bis 60 cm/sec etwa 2 - 6 mm Hg).

Ein Vergleich der im Reaktor erhaltenen Werte mit den Laboratoriumswerten ergibt folgendes Bild:
bei 20 cm/sec Strömungsgeschwindigkeit, 2 m Füllhöhe, einer Mischung von 35 % Kontakt und 65 % Steinen ist der Widerstand im Reaktor bei kaltem H_2N_2 -Gemisch 13 mm Hg, mit Lochblech und Sieb etwa 15 mm Hg; bei kalter Luft 27,5 mm Hg, ungerichtet

auf kaltes H_2N_2 -Gemisch aus den Mittelwerten der Abb.6 ca. 11 mm Hg, mit Lochblech und Sieb etwa 13 mm Hg. Die entsprechenden Laboratoriumsergebnisse für kaltes H_2N_2 -Gemisch waren bei einer Mischung von 30 % Kontakt und 70 % Steinen 12 - 15 mm Hg, in einem Falle bei sehr großer Staubbildung 20 mm Hg, bei einer Mischung von 40 % Kontakt und 60 % Steinen bzw. bei reiner Kontaktfüllung 21 - 29 mm Hg. Man erkennt, daß die Laboratoriumswerte für eine Füllung von 30 % Kontakt und 70 % Steinmaterial mit den Reaktorwerten für eine Füllung von 35 % Kontakt und 65 % Steinmaterial recht gut übereinstimmen.

Man müßte daher annehmen, daß man jetzt auch aus den Laboratoriumsergebnissen, die in den Abb. 4 u.5 dargestellt sind, gemäß der Beziehung zwischen Widerstand und Litergewicht der Abb.6 die entsprechenden Werte auch für 500° heiße Luft und für 500° heißes H_2N_2 -Gemisch ableiten könnte. Wie aber die beiden im heißen Reaktor tatsächlich gemessenen Kurven der Abb.7 zeigen, trifft dies keineswegs zu. In Abb.6 sind, durch Kreise gekennzeichnet, die im Reaktor gemessenen Werte für heiße Luft und heißes H_2N_2 -Gemisch und die ebenfalls im Reaktor ermittelten Werte für kalte Luft und kaltes H_2N_2 -Gemisch, durch Punkte gekennzeichnet, entsprechend ihren tatsächlichen Litergewichten eingezeichnet. Man erkennt, daß die Werte für die heißen Gase vollständig herausfallen. Auch aus Abb.7 ist dies klar erkenntlich. Bei 20 cm/sec Strömungsgeschwindigkeit ergeben sich z.B. folgende Werte:

H_2N_2 kalt	13 mm Hg
H_2N_2 heiß	16,5 mm Hg
Luft kalt	27,5 mm Hg
Luft heiß	23,5 mm Hg

Bei derselben Strömungsgeschwindigkeit haben also die 500° heißen Gase trotz ihrer Litergewichte von nur rund $\frac{1}{3}$ derjenigen der kalten Gase praktisch denselben Strömungswiderstand wie die kalten Gase! Die Erklärung für diese Tatsache ist u.E. durch die gesteigerte Zähigkeit der heißen Gase, die sich in der Kontaktfüllung offenbar erheblich stärker auswirken kann als in Rohrleitungen, gegeben. Die Zähigkeit der Luft

steigt z.B. bei Erwärmung um rund 500° auf etwa den dreifachen Betrag.

Da für die GLT-Anlage ebenfalls mit einem Kontakt-Steinverhältnis von 35 % : 65 % gerechnet wird, dürften für die dort geplanten Reaktoren von 2 m Füllhöhe und für eine Strömungsgeschwindigkeit von 60 cm/sec auf Grund der Messungen im 2 m - Reaktor der LT-Versuchsanlage, die, wie dargelegt wurde, für kalte Gase mit den früheren Laboratoriumsergebnissen für ein Kontakt-Steinverhältnis von 30 % : 70 % bei normaler Staubbildung übereinstimmen, folgende Strömungswiderstände eingesetzt werden:

bei der Luftbehandlung 92 mm Hg plus ca. 6 mm Hg für den Widerstand des Lochbleches und Siebes, also ca. 98 mm Hg oder ca. 1,30 m W.S.;

bei der Wasserstoffbehandlung maximal 94 mm Hg plus ca. 6 mm Hg für den Widerstand des Lochbleches und Siebes, also ca. 100 mm Hg oder ca. 1,30 m W.S., tatsächlich entsprechend dem etwas höheren H_2 -Gehalt des später verwendeten Reaktionsgases von ca. 85 % gegenüber dem in der obigen Messreihe verwendeten H_2/N_2 -Gemisch mit nur ca. 75 % H_2 -Gehalt jedoch etwas kleiner als 1,30 m W.S. Aus Sicherheitsgründen sollte man jedoch mit etwas höheren Widerständen rechnen, da, wie in den Abb. 4 u.5 gezeigt, bei größerer Staubbildung unter Umständen erheblich größere Widerstände eintreten könnten.

Zum Schluß sei noch kurz die interessante Beobachtung mitgeteilt, daß der Strömungswiderstand bei der jetzigen 2 m - Reaktorfüllung im Verlaufe des jetzt 14 Tage dauernden Betriebes nicht angestiegen ist. Das beweist, daß die Staubbildung nur beim Ein- und Ausfüllen des Kontaktes auftritt.

van *Holling*

7831
2. Juli 1940.

Herren Professor Martin
Dr. Hagemann
Direktor Alberts
Dipl.-Ing. von Asboth
Dipl.-Ing. Tapp

Betrifft: Strömungswiderstand von Aromatisierungskontakt.

Zur Feststellung des bei der Luft- und Wasserstoffbehandlung auftretenden Strömungswiderstandes von mit Aromatisierungskontakten gefüllten Reaktoren mit verschiedener Füllhöhe wurden zu Beginn dieses Jahres zunächst Laboratoriumsmessungen durchgeführt, da der damals in der LT-Anlage verwendete Reaktor nur Füllungen bis zu 1 m Schichthöhe zuließ. Bei diesen Laboratoriumsuntersuchungen gingen wir von der Annahme aus, daß Messungen des Strömungswiderstandes von H_2N_2 -Gemisch bei Zimmertemperatur in erster Annäherung den tatsächlich in Reaktor bei der Luftbläsung herrschenden Bedingungen entsprechen, da sich die Litergewichte des kalten H_2N_2 -Gemisches und der 500° heißen Luft kaum unterscheiden. Wie später noch dargelegt, ist diese Voraussetzung nicht exakt. Immerhin ergaben die Laboratoriumsmessungen manchen Aufschluß. Die Ergebnisse sollen daher kurz geschildert werden.

Die Versuche wurden in Glas- und Eisentröhen verschiedener Länge und Weite durchgeführt. Als Gase wurden außer dem schon erwähnten H_2N_2 -Gemisch H_2 , N_2 und CO_2 verwendet. Die Glasrichtung war in Übereinstimmung mit dem halbertechnischen Betrieb von oben nach unten. Eine Glasung von unten nach oben ist nicht möglich, weil dann bei den heute im Betrieb angewendeten Strömungsgeschwindigkeiten der Luft von 60 cm/sec ein "Zansen" der Kontaktmasse eintritt. Diese kritische Geschwindigkeit, bei der eine Bewegung des Kontaktes auftritt, ist, wie Abb. 1 zeigt, schwach abhängig von Litergewicht des Gases. Die Strömungsgeschwindigkeit ist hierbei, wie auch bei allen weiteren Messungen, die unter Vernachlässigung der Kontakt-

füllung im Kontaktraum herrschende Geschwindigkeit.

Bei der Messung des Strömungswiderstandes konnte zunächst eine nur recht unbefriedigende Übereinstimmung der Resultate erzielt werden. Dies lag an dem großen Einfluß, den die verschiedene Art des Einfüllens von Kontakt bzw. Kontaktsteinmischung auf den Widerstand der Füllung hatte. In Abb.2 sind einige derartige Messergebnisse dargestellt. Ein Füllen bei seitlicher Neigung des Rohres gibt schwankende und falsche Resultate. Beim Füllen eines senkrecht stehenden Rohres wurden übereinstimmende Ergebnisse erhalten. Dabei ist es gleichgültig, ob die Kontaktsteinmischung schon als Mischung eingefüllt wird, oder ob in entsprechendem Verhältnis Kontakt und Steinmaterial abwechselnd in "Schichten" ^(ns) im Rohr eingetragen wird.

Eine Übertragung der in Rohren durchgeführten Widerstandsmessungen auf Reaktoren von erheblich größerer lichter Weite erschien nur dann gerechtfertigt, wenn der Einfluß einer Rand- oder Wandzone, der gerade in engen Rohren vielleicht erheblich sein konnte, klargelegt war. Wie Abb.3 zeigt, in der die Widerstände von mit Steinmaterial gefüllten Rohren verschiedener Weite in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit aufgetragen sind, scheint eine derartige Randwirkung nicht zu bestehen, wenigstens nicht bei Rohren mit einer lichten Weite von über 50 mm.

Aus Abb.3 erkennt man außerdem, daß die Widerstände fast proportional mit der Höhe ansteigen. Die in 2 m - Rohr gemessenen Werte betragen etwa 90 - 95 % der aus der Verdoppelung der 1 m - Messungen errechneten Werte.

Auch bei den Versuchen mit Kontakt- bzw. Kontaktsteinfüllungen ist diese verhältnismäßig gute Proportionalität zu erkennen. Auch hier liegen die 2 m - Werte auf etwa 90 % der verdoppelten 1 m - Werte. Wie aber aus den beiden Abb. 4 und 5 zu ersehen ist, besteht diese Übereinstimmung jedoch nur dann, wenn in beiden Fällen etwa der gleiche Gehalt an Kontaktstaub entstanden ist.

Die Abhängigkeit des Strömungswiderstandes von Litergewicht des verwendeten Gases bringt Abb.6. An Hand dieser

Kurven ist es möglich, in jedem Falle aus dem für ein bestimmtes Gas gemessenen Widerstand den Strömungswiderstand für jedes andere Gas zu berechnen. Die Beziehung gilt jedoch nur für kalte Gase.

Soweit die Ergebnisse der Laboratoriumsversuche. Die Strömungswiderstandsmessungen im Reaktor der LF-Anlage waren, wie schon oben erwähnt, zunächst an die Füllhöhe von 1 m gebunden. Aber auch diese Meßergebnisse stimmten in keiner Weise mit den Laboratoriumswerten überein. Die Widerstände im Reaktor waren fast doppelt so hoch! Die Ursache konnte, da die Staubbildung praktisch die gleiche war, nur ein erhöhter Widerstand im Lochblech sein, auf dem die Kontakt-Steinmischung auflag. Bei den Laboratoriumsmessungen in Röhren wurde nämlich ein Drahtmaschensieb, bei den ersten Reaktorfüllungen statt dessen ein Lochblech mit 10 mm Löchern verwendet. Auf diesem Lochblech lagerte dann zunächst eine Schicht von Raschigringen und erst darauf die eigentliche Kontakt-Steinmischung. Trotz vorsichtigen Einfüllens ließ es sich nicht vermeiden, daß der größte Teil der Löcheröffnungen durch Raschigringe verlegt war. In der Tat konnte diese Schwierigkeit überwunden werden, als beim neuen 2 m hohen Reaktor zwischen Lochblech und Raschigringlage ein Sieb aus Sichromaldrabt mit 3 mm Maschenweite eingebaut wurde. Außerdem war bei dem neuen Reaktor die Möglichkeit gegeben, die Messung zwischen der Oberfläche der Füllung und der Raschigringschicht, also unter Ausschaltung des Lochbleches und des Siebes durchzuführen.

Die Meßergebnisse mit dem neuen 3 m - Reaktor sind in Abb.7 dargestellt. Der Widerstand von Lochblech und Sieb ist hierbei nicht berücksichtigt. Er beträgt jedoch nur einige mm Hg (bei 20 cm/sec bis 60 cm/sec etwa 2 - 6 mm Hg).

Ein Vergleich der im Reaktor erhaltenen Werte mit den Laboratoriumswerten ergibt folgendes Bild:
bei 20 cm/sec Strömungsgeschwindigkeit, 2 m Füllhöhe, einer Mischung von 35 % Kontakt und 65 % Steinen ist der Widerstand im Reaktor bei kaltem H_2 -Gemisch 13 mm Hg, mit Lochblech und Sieb etwa 15 mm Hg; bei kalter Luft 27,5 mm Hg, ungerechnet

auf kaltes H_2N_2 -Gemisch aus den Mittelwerten der Abb.6 ca. 11 mm Hg, mit Lechblech und Sieb etwa 13 mm Hg. Die entsprechenden Laboratoriumsergebnisse für kaltes H_2N_2 -Gemisch waren bei einer Mischung von 30 % Kontakt und 70 % Steinen 12 - 15 mm Hg, in einem Falle bei sehr großer Stäubildung 20 mm Hg, bei einer Mischung von 40 % Kontakt und 60 % Steinen bzw. bei reiner Kontaktfüllung 21 - 29 mm Hg. Man erkennt, daß die Laboratoriumswerte für eine Füllung von 30 % Kontakt und 70 % Steinmaterial mit den Reaktorwerten für eine Füllung von 35 % Kontakt und 65 % Steinmaterial recht gut übereinstimmen.

Man müßte daher annehmen, daß man jetzt auch aus den Laboratoriumsergebnissen, die in den Abb. 4 u.5 dargestellt sind, gemäß der Beziehung zwischen Widerstand und Litergewicht der Abb.6 die entsprechenden Werte auch für 500° heiße Luft und für 500° heißes H_2N_2 -Gemisch ableiten könnte. Wie aber die beiden im heißen Reaktor tatsächlich gemessenen Kurven der Abb.7 zeigen, trifft dies keineswegs zu. In Abb.6 sind, durch Kreise gekennzeichnet, die im Reaktor gemessenen Werte für heiße Luft und heißes H_2N_2 -Gemisch und die ebenfalls im Reaktor ermittelten Werte für kalte Luft und kaltes H_2N_2 -Gemisch, durch Punkte gekennzeichnet, entsprechend ihren tatsächlichen Litergewichten eingezeichnet. Man erkennt, daß die Werte für die heißen Gase vollständig herausfallen. Auch aus Abb.7 ist dies klar erkenntlich. Bei 20 cm/sec Strömungsgeschwindigkeit ergeben sich z.B. folgende Werte:

H_2N_2 kalt	13 mm Hg
H_2N_2 heiß	16,5 mm Hg
Luft kalt	27,5 mm Hg
Luft heiß	23,5 mm Hg

Bei denselben Strömungsgeschwindigkeit haben also die 500° heißen Gase trotz ihrer Litergewichte von nur rund $\frac{1}{3}$ derjenigen der kalten Gase praktisch denselben Strömungswiderstand wie die kalten Gase! Die Erklärung für diese Tatsache ist u.B. durch die gesteigerte Zähigkeit der heißen Gase, die sich in der Kontaktfüllung offenbar erheblich stärker auswirken kann als in Rohrleitungen, gegeben. Die Zähigkeit der Luft

steigt z.B. bei Erwärmung um rund 500° auf etwa den dreifachen Betrag.

Da für die GLT-Anlage ebenfalls mit einem Kontakt-Steinverhältnis von 35 % : 65 % gerechnet wird, dürften für die dort geplanten Reaktoren von 2 m Füllhöhe und für eine Strömungsgeschwindigkeit von 60 cm/sec auf Grund der Messungen im 2 m - Reaktor der LT-Versuchsanlage, die, wie dargelegt wurde, für kalte Gase mit den früheren Laboratoriumsergebnissen für ein Kontakt-Steinverhältnis von 30 % : 70 % bei normaler Staubbildung übereinstimmen, folgende Strömungswiderstände eingesetzt werden:

bei der Luftbehandlung 92 mm Hg plus ca. 6 mm Hg für den Widerstand des Lochbleches und Siebes, also ca. 98 mm Hg oder ca. 1,30 m W.S.;

bei der Wasserstoffbehandlung maximal 54 mm Hg plus ca. 6 mm Hg für den Widerstand des Lochbleches und Siebes, also ca. 60 mm Hg oder ca. 0,80 m W.S., tatsächlich entsprechend dem etwas höheren H_2 -Gehalt des später verwendeten Reaktionsgases von ca. 85 % gegenüber dem in der obigen Meßreihe verwendeten H_2N_2 -Gemisch mit nur ca. 75 % H_2 -Gehalt jedoch etwas kleiner als 0,80 m W.S. Aus Sicherheitsgründen sollte man jedoch mit etwas höheren Widerständen rechnen, da, wie in den Abb. 4 u.5 gezeigt, bei größerer Staubbildung unter Umständen erheblich größere Widerstände eintreten könnten.

Zum Schluß sei noch kurz die interessante Beobachtung mitgeteilt, daß der Strömungswiderstand bei der jetzigen 2 m - Reaktorfüllung im Verlaufe des jetzt 14 Tage dauernden Betriebes nicht angestiegen ist. Das beweist, daß die Staubbildung nur beim Ein- und Ausfüllen des Kontaktes auftritt.

Klein *Holtien*

7.13.36 Abg. A

Temperaturverlauf des Komfeldes
des in Alaten von unten nach oben.

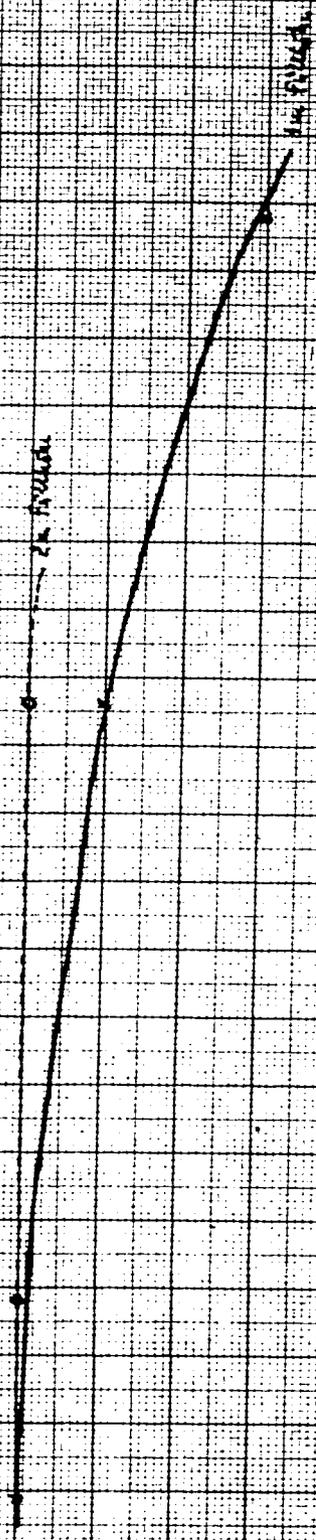
10.11.11

mm/ke

80
70
60
50
40
30
20
10

01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

Sicherheits des Saues



2 210x292 M