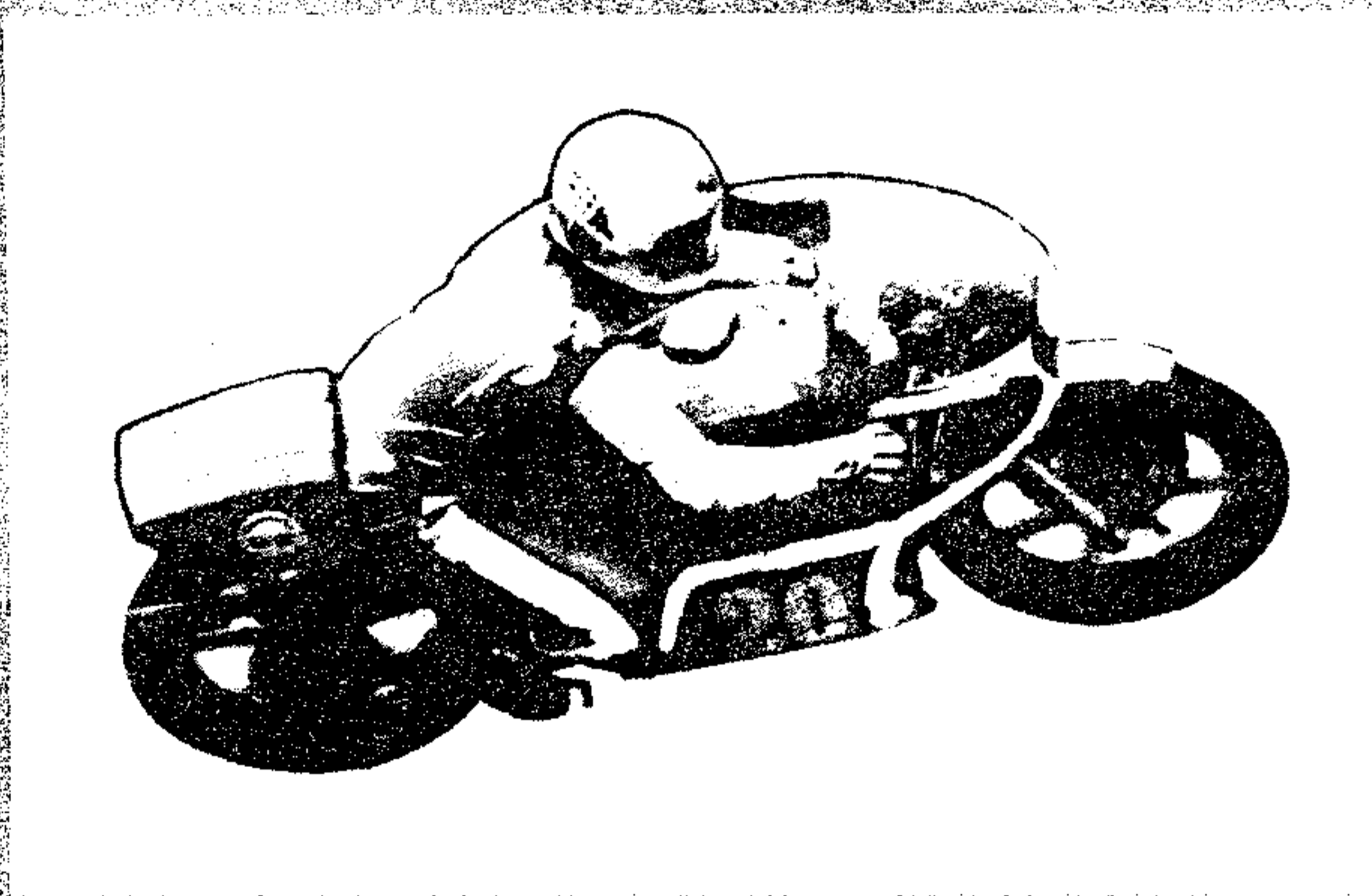


TUNING

von



Zwei-Takt-Motoren

Vorwort

Für Ihr freundliches Interesse an der Bestellung meiner Frisieranleitung bedanke ich mich höflichst und hoffe, Sie mit Geduld und Sachkenntnis zu wirkungsvoller Leistungssteigerung Ihres Motors zu führen.

Die Nachfrage vergangener Jahre nach einer 2-Takt-Frisieranleitung für motorrad-sportbegeisterte Zweiradfahrer machte eine Neuauflage meiner Anleitung notwendig, um meinen Lesern weiterhin neues und wissenswertes Material zur Leistungssteigerung ihrer Fahrzeuge vermitteln zu können.

Die, in vorliegender Anleitung aufgeführten Arbeitsgänge, wurden, mit Rücksicht auf technisch weniger versierte und ausgerüstete Fahrer, in allgemeinverständlicher Form erarbeitet, weshalb ich den bereits fortgeschritteneren Leser bisweilen um Verständnis für länger ausgeführte Detailarbeiten bitten möchte.

Auf hochkomplizierte rechnerische Ausschweifungen mußte mitunter aus Gründen praktischer Anwendbarkeit verzichtet werden, wodurch jedoch umso deutlicher die wesentlichen und erforderlichen Bereiche für echte und wirkungsvolle Leistungssteigerung hervortraten.

Stets zu beachten bleibt dabei, daß hohe Motorleistungen nur von charakterstarken und verantwortungsbewußten Fahrern bewältigt werden können und nur sie sich und ihre Umwelt vor Gefährdung und Belästigung schützen und auch auf Dauer das Image der Motorradinnung erhalten, wie auch sich selbst Erfolg und Spaß am Fahren sichern.

Meinen Lesern möchte ich für deren wertvolle und interessante Anregungen zu dieser Anleitung danken und freue mich, daß es durch unser gemeinsames Engagement möglich wurde, das Bild dieser Anleitung weiterhin abzurunden.

2. Auflage

Copyright © by Wolfgang Bauer

Sämtliche Rechte der Verbreitung - in jeglicher Form und Technik - sind vorbehalten

Satz und Druck: Eigenverlag

Printed in Germany

Beim Tuning von Serien-Zweitaktmotoren ist grundsätzlich zu bedenken, daß folgende Eigenschaften unter hoher Leistungssteigerung leiden können:

Standfestigkeit und Lebensdauer – Startfreudigkeit – Gleichmäßig verteiltes Drehmoment über einen größeren Drehzahlbereich – Gleichmäßiger Leistungseinsatz und damit lückenloser 'Übergang' – Geräuschentwicklung.....

Zudem erlischt mit jeder Abweichung vom Serienzustand die ABE.

Es liegt ganz im Ermessen des Herstellerwerkes, ob es eine Unbedenklichkeitsbescheinigung für den TÜV erstellt, was in der Regel jedoch sehr schwierig ist!

Jede Abänderung der Serienteile muß genau durchdacht werden und darf nur schrittweise erfolgen. Dies empfiehlt sich besonders Amateurtunern, deren Erfahrungen und Nutzungsmöglichkeiten präzise arbeitender technischer Vorrichtungen und Meßgeräte beschränkt sind.

Sollten Sie beabsichtigen, das technisch höchstvertretbare Leistungsmaximum aus Ihrem Motor 'herauszuholen', so wird es sich kaum umgehen lassen, mehrere Zylinder und Kolben zu erwerben, um umfangreiche Eigenversuche, die keinesfalls vermeidbar sind, vornehmen zu können. Es ist anzuraten, entweder einen Originalzylinder auszubohren und hohlen zu lassen, einen Zylinder in Übergröße (+ 0,1mm) zu erwerben, oder einen entsprechend kleineren Kolben zur lockeren Einpassung zu beschaffen. Besonders aus Gründen der Wärmeausdehnung ist dies zu beachten, auch wenn damit eine etwas schlechtere Kolbenabdichtung und -führung wie ein höherer mechanischer Geräuschpegel verbunden sind.

Zur Vermeidung der Wärmedehnung bzw. eines möglichen Festgehens des Motors seien folgende Möglichkeiten angeführt:

Da eine Flüssigkühlung wegen des unverhältnismäßig hohen technischen Aufwandes oft selbst nicht montiert werden kann, empfiehlt sich eine Verkürzung der Kühlrippen in Wechselfolge (**Skizze 1**), oder keilförmig eingefräßte Kühlrippen bis zu 12mm (besonders bei Geländewettbewerben).

Zusätzlich erweist sich eine größtmögliche Kürzung des Auslaßstutzens, der die Verbrennungswärme durch Abstrahlung unnötig an den Zylinder zurückgibt, als sinnvoll.

Zur besseren Wärmeleitfähigkeit wird die gesamte Zylinder- und Kopfverrippung sandgestrahlt, da eine raue Oberfläche die Wärmeabstrahlung wesentlich fördert.

Zudem wirkt sich die mattschwarze Färbung aller außen liegenden Teile, die die Motor- kühlung begünstigen, förderlich aus. Dazu gibt es im Handel erhältliche, hitzebeständige Spezialsprays, welche die Betriebstemperatur der behandelten Kühlelemente senken.

Eine nicht völlig blank polierte Oberfläche wirkt sich, aus dem eben Erwähnten folgend, bei Teilen, die hohen Temperaturen ausgesetzt sind, wie Kolbenboden, Zylinderkopfbrennraum und Auslaßkanalbereich, kühlungsfreundlich aus, während eine glatte

Oberfläche dieser Teile außer Betracht gelassen wird, auch wenn sie sich für den wirbelfreien Spülvorgang als nützlich erweisen würde.

Um das Verständnis für die nachfolgend durchgeführten Arbeitsschritte zu erleichtern, soll dem Leser eine kurze **Einführung in die Theorie des Ladungswechsels im Zweitaktmotor** helfen und ihm gleichzeitig, nur andeutungsweise, einen Einblick in die Komplexität des gesamten Spülvorganges geben.

Der Austausch der Gasmassen erfolgt, während der Kolben den UT (Unteren Totpunkt) durchläuft, und erstreckt sich über einen Zeitraum von ca. 150 KW^o (Kurbelwellengrad), wobei der Zylinder geleert und mit Frischgas geladen wird.

Der Kolben regelt dabei die Steuerung der Ein- und Ausströmöffnungen.

Die Frischgasladung wird vom Spülgebläse (üblicherweise der Kurbelkammer) angesaugt und unter erhöhtem Druck in kürzester Zeit in den Zylinder gepreßt, wo das verbrannte Gas durch den Auslaßkanal verdrängt wird.

Dabei gilt es, Alt- und Frischgas möglichst nicht miteinander zu vermengen!

Der gesamte **Ladungswechsel erfolgt in zwei Stufen:**

- 1. Vorauslaß:** Nach jeder Zündung wird unter hohem Druck durch die Abwärtsbewegung des Kolbens zuerst der Auslaßkanal geöffnet, wodurch das Gas blitzartig entweicht und der Druck entsprechend absinkt. Noch bevor die Kolbenoberkante die Überströmkanalöffnungen erreicht, muß der Druck auf den im Kurbelgehäuse herrschenden Spüldruck abgesunken sein.
- 2. Spülvorgang und Laden:** Die Frischladung spült das verbrannte Gas aus dem Zylinder, der somit von Frischgas gefüllt wird, dessen nachfolgendes Entweichen durch den Auslaßkanal jedoch durch den inzwischen wieder aufwärts strebenden Kolben verhindert wird (**Skizze 2**).

Verschiedene Spültechniken:

Alle Spülverfahren haben gemeinsam, daß die Spülluft an den Zylinderwänden "geführt" wird, um eine gewisse Richtungsstabilität zu sichern.

Dabei muß der gesamte Brennraum in allen Winkeln vom Gasaustausch gleichmäßig erfaßt werden (vollkommene Achsensymmetrie), wobei der " Altgasteil " durch den " Frischgasteil " ersetzt werden muß; d.h.: Keine Durchmischung der " Gas-teile " und gesamte Abtrennung der beiden "Teile" beim folgenden Schließen des Auslaßkanals.

Den dabei entstehenden Spülverlust (der niemals ganz zu vermeiden sein wird) durch nicht exaktes Einhalten dieser rein theoretischen Forderungen gilt es, möglichst gering zu halten.

Von den drei bekannten Spülverfahren, der Querspülung, der Gleichstromspülung und der Umkehrspülung, ist für unsere Zwecke nur die Umkehrspülung interessant.

Man unterscheidet zwischen der **Schnürle–Umkehrspülung (1)**
und der **M.A.N. –Umkehrspülung (2)**

1. Die Überströmkanaleinlaßschlitze befinden sich auf beiden Seiten der Auslaßöffnung, wodurch die Spülluft an der zur Auslaßöffnung gegenüberliegenden Zylinderseite aufwärts geleitet wird.

2. Die Überströmkanaleinlaßöffnung liegt unter der Auslaßöffnung, so daß die einströmende Luft über den Kolbenboden streicht, ihn kühlt, und sich an der gegenüberliegenden Zylinderseite nach oben bewegt und vom Zylinderkopf umgeleitet zum Auslaßkanal geführt wird.

Im nun folgenden Kapitel werden die Bereiche angesprochen, die für eine Leistungssteigerung von Bedeutung sind, wie: **ÄNDERUNGEN** an:

Zylinder
Zylinderkopf
Kolben
Kanäle
Kurbelwelle
Pleuel
Kurbelgehäusetotraum
Vergaserseite
Zündung
Auspuffsystem

Es ist noch einmal grundsätzlich anzuraten, Änderungen nur schrittweise vorzunehmen, das Verhalten des Motors anschließend zu erproben und darüber genau Buch zu führen.

Eine vernünftige und empfehlenswerte Reihenfolge in der Durchführung möglicher Tuningmaßnahmen an Zylinder, Zylinderkopf und Kolben wird in (**Skizze 3**) gezeigt.

Stufe (**0**) zeigt die Serienversion mit Originalmaßen.

Stufe (**1**) beinhaltet eine Erhöhung der Verdichtung durch Abdrehen der Zylinderkopfplanseite.

Dies sollte jedoch nicht ohne vorhergehende Rechnung geschehen, um genau zu wissen, wieviel Millimeter abgedreht werden müssen, um eine bestimmte Verdichtung zu erhalten.

Zu diesem Zweck muß erst das Brennraumvolumen ermittelt werden:

Der Kolben wird in OT (Oberer Totpunkt) Stellung gebracht und durch die exakt senkrecht stehende Kerzenöffnung wird mittels eines Meßbechers eine genau bestimmbare Menge Öl bis zur halben Gewindehöhe eingefüllt.

Die eingefüllte Ölmenge entspricht dem Brennraumvolumen.

Das Motorverdichtungsverhältnis errechnet sich dann wie folgt:

V_h = Hubraumvolumen
 V_b = Brennraumvolumen
 P = Verdichtungsverhältnis

$$P = \frac{V_h + V_b}{V_b} = \frac{\frac{3,14 \times \text{Zylinderbohrung}^2 \times \text{Kolbenhub}}{4} + V_b}{V_b}$$

Beim Abdrehen des Zylinderkopfes um x mm verringert sich auch der Brennraum um einen von x abhängigen Betrag.

Das den Brennraum verringernde Volumen sei deshalb V_x

$$V_x = \frac{3,14 \cdot \text{Zylinderbohrung}^2}{4} \cdot x$$

Daraus errechnet sich das erhöhte Verdichtungsverhältnis nach der Formel für P , wobei für V_b der neuerhaltene Brennraum mit $(V_b - V_x)$ einzusetzen ist.

Als Beispiele seien zur Arbeitserleichterung und besseren Kontrolle folgende Daten vorgegeben, wobei geringfügige Abweichungen durch verschiedenartige Brennraumgestaltung oder eine Unterschreitung des Grenzhubraumes möglich sind.

Verdichtungsverhältnis	6:1	7:1	8:1	9:1	10:1	12:1	
Hubraum ccm	125	25	21	18	15,7	14	11,5
	175	35	29	25	22,1	19,8	16
	200	40	33	29	25	22,4	18,4
	250	50	42	36	31,4	28	22,8
	350	70	58	50	44,1	39	32
	500	100	83	71	62,7	55,7	45,7

Dabei ist zu beachten, daß Verdichtungen von 14:1 oder 16:1 bereits Höchstwerte darstellen und hohe thermische und mechanische Belastungen mit sich bringen.

In jedem Fall muß zwischen Kolbenboden und Zylinderkopf ein Sicherheitsmindestabstand von 1 mm erhalten bleiben; eventuell kann er auch nachträglich eingedreht werden.

Die Auslaßkanalsteuerzeit wird durch leichtes Erhöhen der Auslaßkanaloberkante verlängert.

Um eine wirkungsvollere Entleerung zu erreichen, wird die Kanalbreite zu den Seiten hin erweitert, jedoch um nicht mehr als die halbe Kanaldiagonale.

Dabei darf niemals die Kolbenringnut über die Kanalöffnung laufen, da andernfalls

der Kolbenring in die Öffnung ausfedern würde, was einen Totschaden zur Folge hätte.

An der Einlaßkanalunterseite wird vom unteren Rand des Kolbenhemdes Material abgenommen, um die Einlaßsteuerzeit zu verlängern.

Allgemein erfolgt bei Rennmotoren die größte Steuerzeitänderung am Auslaßkanal. Ein grobes, unverbindliches Anschauungsbeispiel eines Steuerdiagramms sei zur Verdeutlichung erwähnt. Die darin angegebenen Werte können jedoch niemals direkt übernommen werden und sollen nur die Grundtendenz des oben Gesagten aufzeigen.

	Einlaß	Auslaß	
Serienmotor	110°	135°	/ Einheit KW°
Rennmotor	120°	160°	

Sollten Sie nach Ausnützung aller, auch unter späteren Kapiteln erwähnter Arbeitsschritte (KW-Totraum) eine eventuell zu geringe Vorverdichtung durch einen zu großen Einlaßsteuerwinkel erzielen, so besteht noch die Möglichkeit, durch einen verlängerten Vergaseransaugstutzen einen verstärkten Nachladeeffekt zu erreichen, der diese Schwäche beheben kann.

Die Berechnung der Ansaugrohrlänge erfolgt nach folgender Formel:

L = Ansaugrohrlänge

E_w = Einlaßsteuerwinkel in KW°

V_k = Kurbelgehäusevolumen

n = Motordrehzahl

d_e = Durchmesser eines der Einlaßschlitzfläche entsprechenden Kreises in cm.

Q_m = Mittlerer Querschnitt der Ansaugleitung (durch Auslitern bestimmbar).

$$L = \left(\frac{3250000 \cdot E_w^2}{V_k \cdot n^2} - \frac{1}{d_e} \right) \cdot Q_m \quad (\text{cm})$$

$$n = \frac{1800 \cdot E_w}{\left(\frac{L}{Q_m} + \frac{1}{d_e} \right) \cdot V_k}$$

Man ersieht daraus, daß die Rohrlänge von der Drehzahl als einziger variabler Größe

dieses Systems abhängig ist, d.h.:

Die Rohrlänge kann nur für eine ganz bestimmte Drehzahlspanne den rechnerisch ermittelten Idealwert für Zylinderfüllung und Höchstleistung erreichen.

Bei einem Rennmotor wird deshalb die der Höchstleistung entsprechende Drehzahl, die durch Versuche ermittelt werden muß, in dieses System eingesetzt.

Bisher beschriebene Änderungen bringen durchwegs Leistungsverbesserungen, die bei einem Probelauf beurteilt werden sollten.

Änderungen in der 2. Tuningstufe verbessern die Zylinderfüllung und die Ausnutzung des Kurbelkammerspüldruckes bei Höchstdrehzahlen, wobei sich auch die Leistungsspitze nach oben verlagert.

Die Wirkung von Gasschwingungen in Ansaug- und Auspuffleitungen von Zweitaktmotoren auf den Ladungswechsel zeigt die Notwendigkeit einer Abstimmung der Ladungswechselforgänge mit den unstationären Strömungsvorgängen in diesen Rohrleitungen, um die Motorleistung steigern zu können.

Bei Kurbelkasten-Zweitaktmotoren wird die zwischen Kurbelkasten und Zylinder verlegte Spülkanallänge aus konstruktiven Gründen oft kurz gehalten.

Bei niederen Drehzahlen mit langer Spülzeit gleicht sich deshalb jede Zustandsänderung im Spülkanal sofort aus, da eine dynamische Entwicklung des Spülkanals auf den Ladungswechsel noch kaum erfolgen kann.

Bei hohen Drehzahlen kann die Spülzeit jedoch einen derart kurzen Wert erreichen, daß die Laufzeit der Verdichtungs- und Verdünnungswellen im Verhältnis zur Spülzeit stark anwächst. Hier hat die Spülkanallänge einen entscheidenden Einfluß auf die Leistung durch die Abstimmung des Ladungswechsels.

Bei richtiger Dimension von Überström- und Auspuffsystem zueinander, ermöglicht die im Spülkanal sich entwickelnde instationäre Strömung den Frischladungstransport derart, daß der Zylinder, bei Abschluß des Auslaßschlitzes, ein Maximum an Frischgas erhält.

Die richtige Spülkanalabmessung wird damit in ihrer Bedeutung offensichtlich.

In **Stufe 2** betreffen Änderungen hauptsächlich die Vergrößerung der Spülkanäle, wobei Lage und Höhe der Kanäle im Zylinder gleich bleiben.

Ein im Querschnitt größerer Vergaser wird unter entsprechender Veränderung des Ansaugkanal- und Einlaßöffnungsquerschnittes montiert.

Die Kolbenaussparungen und Kolbenfenster werden den entsprechenden Maßen angeglichen.

In **Stufe 3** wird die Höhe aller Kanäle durch Einbau einer Distanzscheibe zwischen Zylinderflansch und Kurbelgehäuse geändert, wodurch der gesamte Zylinder um die entsprechenden Maße angehoben wird.

Dabei müssen Kurbelgehäusetotraum, Verdichtung und Kolbensteuerzeiten einlaßseitig entsprechend korrigiert werden.

Am Ende der Umbauten würde ein Serienzylinder meist durch die höhere thermische

Beanspruchung und die Materialabnahme an empfindlichen Stellen überlastet; es empfiehlt sich aus diesem Grund, einen Kolben, wie anfangs erwähnt, einzubauen.

Sollte es für den entsprechenden Motorentyp Spezialkolben (z.B. von Mahle) geben, so erwerben Sie möglichst eine kürzere Ausführung geringeren Gewichts mit häufig bereits vorgesehenen speziellen Steuerkanten und besserer Ringanordnung, um vor Überhitzung zu schützen und eine bessere Auslaßkanalabdichtung zu sichern.

Unvermeidlich ist es bei Einbau eines geeigneten Kolbens, die richtig beschaffene Kolbenlauffläche durch geduldiges Einfahren erst selbst zu erarbeiten, um die Standfestigkeit Ihres Hochleistungsmotors zu verbessern.

Durch mehrere aufeinanderfolgende Probeläufe, wobei langsam angefahren und der Motor allmählich stärker belastet wird, entstehen auf der Kolbenlauffläche leichte, fleckig-fahle Stellen, die an ihrer bleichen Farbe erkannt werden und durch sanftes Glätten mit Karborund Schleifmittel zu bearbeiten sind.

Diese Arbeit erfordert Geschick und Geduld, da eine vollkommene Mattierung nur durch zahllose leichte Berührstellen und mehrmaliges Zerlegen, Schleifen und Neueinfahren des Motors möglich ist.

Die bisherigen Änderungen wurden überwiegend erläutert, ohne jeden einzelnen Arbeitsschritt einzeln aufzuführen.

Um genauere Angaben machen zu können, muß man sich der ursprünglichen Motorcharakteristik bewußt werden, und die belasteten Teile auf Höchstleistungstauglichkeit hin untersuchen.

Eine angenommene Leistungssteigerung um beispielsweise 70% ist grundsätzlich nur unter gleichzeitiger Steigerung der Nenndrehzahl möglich, was sich besonders bei Motoren mit großen Einzelhubräumen stark belastend auswirkt.

Tatsächlich beanspruchen die sich bewegenden Massen, die mit steigender Drehzahl quadratisch anwachsen, Kurbelwelle und die sie tragenden Teile übermäßig. Solche Mehrbelastungen sind nur bei Motoren möglich, die bereits im Serienzustand im Hinblick auf Haltbarkeit und Langlebigkeit in diesen Punkten überdimensioniert ausgelegt wurden.

Die Kühlung kann größtenteils ausreichen, wenn der Leistungszuwachs zu entsprechend höherer Geschwindigkeit und damit wirkungsvollerem Kühlluftstrom führt.

Trotzdem muß bei hubraumstärkeren Zweitaktern die Verdichtung in Grenzen gehalten werden, um Detonationserscheinungen und Motorklopfen vorzubeugen.

Die Verwendung hochoktanhaltigen Benzins ist wünschenswert.

Bei der **Kolbenbearbeitung** werden die Aussparungen im Kolbenhemd an den Seiten der Überströmkanalöffnungen den Weiten der Kanaleinläufe angepaßt, d.h.: Das Kolbenhemd wird zu den Seiten hin angeglichen und nach oben hin vergrößert (besonders nach Einbau der Distanzscheibe in Stufe 3).

(**Skizze 4**) zeigt die Abrundungen zur besseren Steifigkeit der Kolbenbolzenlagerung.

Einlaßseitig wird vom Kolbenhemd ebenfalls Material abgenommen, wodurch der Einlaßsteuerwinkel vergrößert wird, d.h.: Die Kurbelkammer saugt früher Gemisch an, wird jedoch später geschlossen (nur schrittweise vorgehen).

Auslaßseitig sollte aus Gründen der besseren Masseverteilung, der Einlaßseite entsprechend, vom Kolbenhemd Material entfernt werden, jedoch muß in jedem Fall die Auslaßkanalunterkante vom Kolben in OT-Stellung um wenigstens 2mm überdeckt bleiben, um eine Verbindung des Kurbelwellenraumes mit dem Auspuffsystem zu verhindern.

Da bei erheblichen Materialabnahmen vom Kolbenhemd dessen Steifigkeit leidet, dürfen alle Abänderungen nur vorsichtig vorgenommen werden.

Die bei manchen Modellen zur Steuerung der Überströmkanäle ausgesparten Kolbenfenster können bei Rennmotoren einen bis zu 45% größeren Querschnitt als die zugehörigen Zylinderöffnungen haben.

Entstehende Kanten und rechte Winkel sind bei allen Abänderungen abzurunden.

Bei beabsichtigter Verlängerung der Ansaugphase sollte nur das Kolbenhemd gekürzt werden. (**Skizze 5**).

Bei Montage eines größeren Vergasers muß zumindest der gesamte Ansaugtrakt darauf abgestimmt werden.

Der Einlaßkanal wird hier entsprechend der Querschnittsfläche des Vergasers in seiner Breite verändert; notfalls kann auch von der unteren Einlaßkante etwas Material abgenommen werden.

Beim Abrunden der Kanalkanten sollten Sie bei spezialbeschichteten Zylinderlaufflächen darauf achten, daß die Kanten nur von innen nach außen gefeilt werden; im günstigen Fall sollten sie mittels einer biegsamen Welle und eines dazugehörigen Schleifaufsatzes rotierend abgerundet werden, um folgeschweres Abblättern der Beschichtung zu vermeiden.

Bei verchromten Laufflächen muß nach allen Änderungen an, von Kolbenringen passierten Kanälen die Chrombeschichtung, nach vorhergehendem Abrunden aller Ecken und Kanten, neu aufgetragen werden (Fachwerkstatt).

Das Anheben des gesamten Zylinderfußes durch Unterlegen einer **Distanzscheibe** zwischen Zylinderflansch und Kurbelwellengehäuse, sollte nur mit einem einzigen Scheibenelement erfolgen, das in seiner Form den Öffnungen und Aussparungen angepaßt werden muß.

Das Scheibenmaterial hat im Idealfall gleiche, zumindest aber ähnliche physikalische Wärmeleitfähigkeits- und Dehnungskonstanten wie der Zylinder.

Die Scheibendicke kann versuchsweise ab ca.0,5mm (oft Metallfußdichtung) gewählt werden.

Die dabei wichtigste Forderung bleibt die gleichmäßige Scheibendicke, da nur eine völlig ebene, plangearbeitete Distanzscheibe eine exakt senkrechte Zylinderanhebung garantieren kann. Bei nur leichter Abweichung von dieser Voraussetzung würde der

Kolben durch seinen schrägen Sitz nicht mehr parallel zur Zylinderwandung laufen, was schwere Motorschäden zur Folge hätte.

Der Anhebung des Zylinders entsprechend muß vom Zylinderkopf Material abgedreht werden, um die Verdichtung beizubehalten.

Ebenfalls wird die Kolbenhemdaussparung einlaßseitig entsprechend erhöht.

Der ebenfalls zu verkleinernde Kurbelgehäusetotraum wird in einem folgenden Kapitel behandelt.

Im Zuge der heutigen Massenfertigung treten bei der Einpassung von Zylinderlaufbuchse oder einzelner Kanalelemente mit den im Zylinderrohling dafür vorgesehenen Übergängen Unstimmigkeiten auf (**Skizze 6**), was Verwirbelungen bzw. Querschnittsverengungen beim Gasdurchsatz bewirken kann.

Die Beseitigung solcher Fehler ist oft nicht einfach und erfordert viel Geduld; besonders bei den Einmündungen der Überströmkanäle in den Zylinder, deren Neigungswinkel bei unvorsichtiger Bearbeitung Abänderungen durch Kanten und Grate erhalten kann.

Ähnliche Fehler tauchen häufig am unteren Zylinderflansch an den Überströmkanalpassungen auf, was auf ungenau eingepaßte Fußdichtungen bzw. Distanzscheiben zurückzuführen ist.

Es ist deshalb ratsam, die Distanzscheibe mit etwas Toleranzraum anzufertigen, da Verschiebungen bei der Montage nie zu umgehen sind (**Skizze 7**).

Sollte sich die Erweiterung der Überströmkanäle nach Einbau eines größeren Vergasers als zu schwierig erweisen, empfiehlt sich, die entsprechenden Kanäle zumindest zu polieren und übergangslos zu gestalten. Dies ist jedoch unnötig, falls die Kanäle am Eingang geweitet werden können (mindestens 150% des Kanalausgangs) und sich kontinuierlich nach oben hin verengen (Fußdichtung)(**Skizze 8**).

Um den Wirkungsgrad des Spülvorganges beim Zweitakter anzuheben, muß der Gasdurchsatz durch Verkleinerung des Kurbelgehäusetotraumes intensiviert werden.

Das Volumen des **Kurbelgehäusetotraumes** beträgt ein mehrfaches des Hubraumes und kann mit geeigneten Mitteln oft bis zu 20/30% reduziert werden.

Durch das damit verbundene geringere Volumen der Kurbelkammer, die als Gebläse arbeitet, wird beim Ansaugvorgang ein stärkerer Unterdruck erzeugt, der sich beim Spüldurchsatz durch die Überströmkanäle als Überdruck bemerkbar macht.

Eine derartige Anhebung des Vorverdichtungsdruckes verlagert jedoch die Resonanzdrehzahl des Motors, der in dieser Hinsicht als Schwingungssystem betrachtet wird, deutlich nach oben.

Ebenfalls verschiebt sich die verwertbare Leistungsspanne in obere Drehzahlbereiche. Zugunsten gestiegener Leistung verschlechtert sich dabei die Motorcharakteristik im unteren und mittleren Drehbereich, wodurch deutlich wird, daß nur sorgsamste Abstimmung der Steuerzeiten und Kanalquerschnitte, als auch des Ansaug- und Aus-

pufftraktes (Rennauspuff) diese Erscheinungen mildern und bei glücklicher Wahl sogar beheben kann.

In den meisten Fällen sind jedoch nicht genügend theoretische und arbeitstechnische Grundlagen vorhanden, weshalb es bei der Totraumverringern im besonderen Maße darauf ankommt, alle Arbeiten nur schrittweise durchzuführen und das Verhalten des Motors neu zu überprüfen.

Unnötiger Raum liegt zwischen Gehäuse und Kurbelwelle, wenn sie mehr als 1mm Abstand voneinander haben.

Durch Anlegen von genau gearbeiteten Schrumpfringen und Verdrängerscheiben an den Seiten der Kurbelwangen können erste Fortschritte erzielt werden.

Die Befestigung erfolgt durch vernieten, verschrauben, verstemmen, verschweißen (Fachwerkstatt) oder auch verkleben (siehe nachfolgende Ausführungen).

Da Schrumpfringe nur auf kreisrunden Vollscheiben befestigt werden können, müssen manchmal entsprechend unpassende Stellen auf das entsprechende Maß ergänzt werden, wofür sich Einkleben von Elektronstücken mit einem heißhärtenden Metallklebstoff eignet (Nachbearbeitung nötig).

Zwischen den Innenseiten der Kurbelwangen und dem Pleuelschaft besteht bei manchen Motoren noch Freiraum, der sogar zusätzlich durch Schmalern des Pleuelschaftes vergrößert werden kann (die kritische Grenze ist dabei, je nach Material und Beanspruchung, nur schwer festzulegen). Für einen Motor von 125ccm bei ca.4,5mm. Für den Pleuelfuß müssen Aussparungen eingearbeitet werden.

Auswuchtbohrungen an den Seiten werden angefräst und mit Leichtmetallscheiben verstemmt.

Der Bereich zwischen den Kurbelwangen kann durch einen Verdrängerring geschlossen werden; dazu werden die Kurbelwangen auf beiden Innenseiten durch einen eingearbeiteten Bund zur Aufnahme des Ringes vorbereitet, der nur noch eingeklemmt zu werden braucht.

Zu beachten ist, daß der Ring oben, der Pleuelschaftbewegung entsprechend, ausgeschnitten wird und die Ringmaße sich ansonsten nach der Pleuelfußstärke richten. (**Skizze 9**).

Bei Mehrzylindermodellen, bei denen die Kurbelwelle komplizierter gestaltet ist, wird eine Verdrängerringbasis mit entsprechender Ringzahl an den Kurbelgehäuseinnenseiten verankert.

Bei all diesen Ausführungen bleibt jedoch die anschließende Auswuchtung der Kurbelwelle von größter Bedeutung und sollte deshalb von einer Fachwerkstatt vorgenommen werden.

Um die rotierenden Massen der Kurbelwelle möglichst gering zu halten, und auch dem technisch schlechter ausgestatteten Tuner eine Möglichkeit zur Verwirklichung der eben beschriebenen Änderungen zu geben, sei an dieser Stelle auf die heute hochaktuellen **Metallklebstoffe** hingewiesen, mit deren Hilfe Werkstoffe spezifisch niederen Gewichtes

zur Verdrängung des Kurbelwellentotraumens, anstelle schwerer Metalleinlagen, mit Kurbelwellenteilen verklebt werden können.

Zu diesen Stoffen zählen Stirnholz, Balsaholz oder ähnlich geeignete Kernverbundwerkstoffe, aber auch luftdicht hartgelötete oder verschweißte Hohl-Körper aus Leichtmetall.

All diese Materialien könne ohne großen technischen Aufwand relativ einfach und exakt auf die erforderlichen Maße für vorangehend bereits erklärte Füllverfahren bearbeitet werden.

Durch verkleben und mehrmaliges überziehen mit einer isolierenden Schutzschicht des verarbeiteten Klebstoffes, ergeben sich leichte, voluminöse und sowohl temperatur- als auch verwitterungsbeständige Werkstoffe.

In bezug auf Festigkeit läßt diese Verarbeitungstechnik bei richtiger Handhabung keine Wünsche offen.

Die Vorteile heißhärtender Klebstoffe seien an dieser Stelle kurz aufgeführt und anschließend einige Hinweise zur Verarbeitung gegeben:

1. Kleben ermöglicht die Verbindung unterschiedlicher Werkstoffe, z.B. :
Metall – Metall; Metall – Holz; Metall – Kunststoff.
2. Die Verbindungen sind flüssigkeits- und gasfest.
3. Es können glatte, großflächige Verbindungen hergestellt werden.
4. Es bestehen, im Gegensatz zu Vernietungen, gleichmäßige Spannungsverhältnisse, da beim Nieten die Belastung nur punktförmig übertragen wird.
5. Beim Verkleben werden, im Gegensatz zum Schweißen und Hartlöten meist nur Temperaturen bis ca. 180° benötigt, wodurch kein Verzug und kein Festigkeitsverlust entstehen.

Allgemein sei dazu noch folgendes bemerkt:

Hochhitzebeständige Klebstoffe dürfen nur bei Temperaturen unter 0°C gelagert werden.

	Härtezeit	Grenzbelastung	Hitzebeständig
Man unterscheidet: Epoxid-Phenolharze	30/120min	8kp/cm ²	250°C
Phenolharze	30/120min	7kp/cm ²	150°C
Polyimide	30/120min	5kp/cm ²	180/400°C

Marktbezeichnungen: Araldit I – Redux 775 – Agomet E – ...

Da die Hitze- und Alterungsbeständigkeit kalthärtender Bindemittel den auftretenden Beanspruchungen nicht genügen, muß die Anwendung der in dieser Hinsicht überlegenen warmhärtenden Bindemittel in Betracht gezogen werden.

Auch fertigungstechnische Gründe, etwa der Fortfall des Mischvorganges bei gleich-

zeitiger Verkürzung der Härtezeiten können zur Wahl warmhärtender Klebstoffe den Ausschlag geben.

Zum Warmhärten eignet sich im Idealfall ein Warmluftschrank mit spezieller Regulier- und Meßeinrichtung, jedoch auch ein Infrarotstrahler. Zur Not kann man sich auch mit einer Backröhre behelfen.

Beim Auskühlen ist ein regelrechtes Abschrecken zu vermeiden.

Bis zum Erreichen der Raumtemperatur sollten die verklebten Teile in ihrer Fixier- vorrichtung verbleiben.

Den verschiedenen Werkstoffen entsprechend variieren die notwendigen Oberflächen- vorbehandlungen:

1. Mechanisches Vorreinigen durch Schmirgeln, Sandstrahlen und Schleifen, um eventuell anhaftende Oxid – Zunder – Rostschichten zu entfernen.
2. Entfetten durch organische Lösungsmittel: Trichloräthylen, Perchloräthylen, Aceton, notfalls auch Methanol, Methylenchlorid, Tetrachlorkohlenstoff(Apotheke).

Al – Legierungen werden chemisch vorbehandelt in Pickling–Beize (27,5 Gew.% konzentrierte Schwefelsäure H_2SO_4 – 7,4 Gew.% Natriumdichromat $Na_2Cr_2O_7$ – 65,1 Gew.% Wasser H_2O , bei $60^\circ C$ 30 min, anschließend mit dest. Wasser abspülen.

Eisen – Stahl – Magnesium – Kupfer – Messing, werden entfettet und aufgeraut.

Eine weitere und für Rennzwecke unerlässliche Möglichkeit der Leistungssteigerung bei exakter Motorabstimmung ist die Konstruktion eines speziell für den einzelnen Motor und dessen individuelle Steuerzeiten abgestimmten Auspuffsystems.

Dazu vorerst einige einleitende Erklärungen:

Durch den unterbrochenen Abgasvorgang entstehen beim Zweitaktmotor Gasschwün- gungen im Auspuff, die sich auf den Ladungswechsel und damit auf den Ersatz des verbrannten Gemisches durch Frischgas auswirken.

Die Temperatur– und Leistungsdaten werden stark beeinflusst.

Um hohe Leistungssteigerungen bei abgestimmtem Auspuffrohr zu erzielen, muß die im Zylinder bei Auspuffbeginn vorhandene Energie möglichst verlustfrei zur Spü- lung und Aufladung eingesetzt werden, wozu der Vorauslaßdruckstoß benötigt wird.

Seine beeinflussenden Konstanten ergeben sich hauptsächlich aus dem Auslaß- schlitz und dessen Rohrübergang.

Dies bedeutet zusammengefaßt:

Bei vorgegebenen Steuerdaten hängt die Frischgasmenge, die zur Zündung im Zylin- der verbleibt, von den Auspuffrohrabmessungen und der Drehzahl ab.

Es gilt demnach, einen für einen bestimmten Drehzahlbereich geeigneten **Rennaus- puff** zu errechnen, im Idealfall mit einkonstruierten Variationsmöglichkeiten zur Anpassung an verschiedene Drehzahlbereiche, um umfassende Experimente zu er- möglichen.

Das Auspuffvolumen vom Krümmereingang bis zum Auslaßrohrende beträgt ca. das 9,8 - fache des Kurbelkammervolumens, welches durch Auslitern bestimmt werden kann (Kolben im UT).

Da die Länge des Auspuffs von den Spülkanalsteuerzeiten abhängt, gelten folgende Beziehungen:

\bar{U}_u = Überströmkanalunterkante	L_A = Auspuffgesamtlänge
A_u = Auslaßkanalunterkante	Q_K = Krümmerquerschnitt
X = Unbekannte	Q_A = Auslaßkanalquerschnitt
G = Relative Auspufföffnungsgröße	Q_E = Endrohrquerschnitt
D_w = Diffusoröffnungswinkel ($5/7^\circ$)	L_E = Endrohlänge
R_w = Resonatoröffn.winkel ($9/14^\circ$)	D = Diffusor
n = Motordrehzahl	R = Resonator

$$1./ \quad \bar{U}_u - A_u = X (KW^\circ) \quad 2./ \quad G = \frac{X}{360^\circ}$$

$$3./ \quad L_A (\text{cm}) = \frac{X \cdot 56000}{2 n}$$

Der gewünschte Drehzahlbereich bestimmt somit die Auspufflänge in umgekehrt proportionalem Verhältnis.

$$4./ \quad Q_K = 1,65 \cdot Q_A \quad 5./ \quad Q_E = \frac{5}{12} \cdot Q_K$$

$$6./ \quad L_E = D \cdot R + Q_E \quad 7./ \quad D : R = 1,4 = 14 : 10$$

Zur Hilfestellung sei grob-schematisiert (**Skizze 10**).

Um das richtige Auspuffvolumen zu erhalten, seien zur Erleichterung noch folgende Vereinfachungen gemacht:

Krümmer und Endrohr sind als geometrisch gerade Kreiszylinder darstellbar.
Diffusor und Resonator sind gerade Kreiskegelstümpfe.

Zur Errechnung ihrer Volumina gilt bei:

Kreis-Zylindern (**Skizze 11**): $V = 3,14 \cdot r^2 \cdot h$

$O = 6,28 \cdot r \cdot (r + h)$ $M = 6,28 \cdot r \cdot h$

Kreis-Kegelstümpfen (**Skizze 12**): $V = \frac{3,14 \cdot h}{3} \cdot (R^2 + R \cdot r + r^2)$

$s^2 = (R - r)^2 + h^2$ $M = (R + r) \cdot 3,14 \cdot s$

V = Volumen

M = Mantelfläche

O = Gesamtoberfläche

Mit steigender Drehzahl empfiehlt sich bei spulengezündeten Motoren der Einbau eines anderen **Zündsystems**, da die unterbrechergesteuerte Spulenzündung bei sehr hoher Drehzahl keine exakte Stromunterbrechung mehr liefern kann und die Sekundärspannung stark abfällt; zudem verschleißt der den Primärstrom schaltende Unterbrecher zu schnell.

Transistorspulenzündungen TSZ und Hochspannungskondensatorzündungen HKZ hingegen bieten den Vorteil höherer Wartungsintervalle und eines stärkeren Zündfunken durch hohe Zündspannung bei höheren Drehzahlen.

Die **TSZ** gewährleistet einen nur geringen Spannungsabfall bei hoher Drehzahl. (**Skizze 13**) Der Unterbrecherverschleiß ist gering, da durch ihn nur der niedrige Steuerstrom für den Transistor geregelt wird. Der Transistor wird als elektronischer Schalter im Primärkreis verwendet und ersetzt den mechanischen Unterbrecher. Da der Transistorsteuerstrom nur einem Bruchteil des Primärstromes gleichkommt, liegt die Steuergrenzspannung bei ca.75 V, weshalb die Induktivität der Zündspulenprimärseite niedriger ist, als bei der Spulenzündung. Durch ein größeres Spulenwindungsverhältnis wird die Zündspannung von ca.25 kV erzielt. Der Stromendwert ist bei großer Drehzahl also höher. Bei Einbau eines elektrischen Steuergebers würde die höchstmögliche Funkenzahl weiter nach oben verlagert.

Bei der **HKZ** (**Skizze 14**) wird die Zündenergie im Speicherkondensator gespeichert. Der Zündspannungsanstieg ist um ca.15mal höher als bei der TSZ und der Spulenzündung, weshalb auch Kriechströme an der Zündkerze, die durch Verschmutzung entstehen können, umgangen werden. Der Speicherkondensator wird kurz vor der Zündung auf ca.450 V geladen und entspricht in etwa der Primärwicklungsspannung bei der Spulenzündung, wodurch sich die Verwendung der gleichen Zündspulen bei beiden Systemen erklärt. Der im Primärkreis befindliche Speicherkonden-

sator wird bei der Zündung durch den Thyristor kurzgeschlossen und entlädt sich über die Primärwicklung der Zündspule (bis zu 30 kV).

Da die gespeicherte Zündenergie kleiner ist, als bei Spulenzündungen, ist auch die Funkendauer kürzer, was zu Aussetzern führen kann, wenn die Gemischzusammensetzung nicht harmoniert oder der Brennraum vom Gasdurchsatz nicht gleichmäßig erfaßt ist.

Schließlich sei noch einmal auf die vorangegangenen Arbeiten anhand eines Beispiels eingegangen.

Als Demonstrationsobjekt dient ein 50ccm-Motor, dessen technische Daten zur Orientierung kurz aufgezeigt werden:

Hubraum	49ccm
Verdichtung	7,2
Nennleistung	2,2PS bei 5000U/min
Vergaser	15mm
Zündkerze	225 W
Serienschalldämpfer	

Der Motor ist in seiner Grundkonzeption überdimensioniert ausgelegt und eignet sich besonders gut zur Leistungssteigerung.

Die Kanalmaße sind großzügig ausgelegt und die notwendigen Kühlungsvoraussetzungen durch großflächige Zylinderverrippung erfüllt.

Folgende, einfache Änderungen, ermöglichen es, die Motorleistung bereits auf 3,8 PS anzuheben, ohne dadurch Spülverluste und eine Einbuße des Drehmoments im niederen Drehbereich zu bewirken, während die Nennleistung steigt und sich in eine höhere Drehzahlspanne hinein verlagert.

Die folgenden Veränderungen beziehen sich dabei nur auf Zylinder, Kopf, Kolben und Auspuffsystem.

Kanalsteuerzeiten: (**Skizze 15**) Die Steuerwinkel in Skizze 15 erhält man durch Einpassen einer etwa 0,9 mm starken Distanzscheibe, durch Erhöhen der Auslaßkanaloberseite um 0,6 mm und durch Abtragen der Einlaßkanalunterseite (bzw. entsprechendes Abnehmen vom Kolbenhemd) um 0,5 mm und durch Erweitern der unteren Einlaßseitenkanten um 2,3 mm.

Die Verdichtungswerte werden durch Abdrehen eines entsprechend zu errechnenden Wertes vom Zylinderkopfflansch (hier 0,9 mm) hergestellt.

Auslaßkanal: Die Höherverlegung der Spülkanäle um 0,9 mm genügt gerade noch, wenn trotz Beibehaltung des Serienschalldämpfers die Breite des Auslaßkanals auf ca.23 mm vergrößert wird.

Überströmkanäle: Sie können bei geringen Leistungssteigerungen belassen werden, gegebenenfalls werden die unteren Kanaleinmündungen angepaßt und geglättet.

Einlaßkanal und -öffnung: Änderungen werden an der Unterkante nur vorgenommen, wenn das Kolbenhemd nicht bearbeitet wurde. Die Seiten werden entsprechend dem Querschnitt des neu zu montierenden 17 mm-Vergasers geweitet. Der gesamte Ansaugtrakt muß entsprechend übergangslos angepaßt werden. Änderungen müssen langsam und nahtlos erfolgen; besonders an den Kanaleinmündungen, wobei die Steuerzeiten nur vorsichtig heraufgesetzt werden dürfen.

Diese Arbeiten können nur mit axial rotierenden Schleifeinsätzen an einer biegsamen Welle ausgeführt werden, wonach die Kanalwände mit Schleifpapier, an einer biegsamen Welle befestigt, geglättet werden.

Sollten Sie Ihren Zylinder nicht überholen, müssen in jedem Falle alle einmündenden Kanten abgerundet werden.

Zu den Arbeiten sei (**Skizze 16**) eine Zylinderabwicklung zur Veranschaulichung gegeben. Die linke Seite zeigt den Serienzylinder, rechts der getunte Zylinder.

Vergaser: Soll die Leistung ohne großen Verlust der Motorcharakteristik ansteigen, so eignet sich ein 17 mm-Vergaser. Bei angestrebter Höchstleistung ist ein 20 mm-Vergaser zu empfehlen. Auf einen Ansaugtrichter nach Idealform wie in (**Skizze 17**) ist zu achten.

Verdichtung: Der Verdichtungswert wird auf 9,8 erhöht.

Kolben: Es erfolgen leichte Materialabnahmen einlaßseitig, die Seitenfenster werden den erweiterten Überströmkanälen angepaßt.

Zündung: Die Vorzündung wird um ca. 4° zurückgenommen, wobei die Höherverlegung des Zylinders und der Verdichtungsungleich berücksichtigt werden müssen. Der Zündkerzenwärmewert steigt auf 275.

Auspuff: Ein Spezialauspuff wird nach vorgegebenen Maßen errechnet.

Bei einer weiteren Tuningstufe werden folgende Änderungen vorgenommen:

Zylinder: Eine thermische Überarbeitung wurde nötig. Der Vergaseraugrohrstutzen wurde durch ein kürzeres Exemplar größeren Durchmessers ersetzt. Entsprechend werden die Kanäle angeglichen.

Verdichtung: Eine weitere, leichte Erhöhung wird durch nachträgliches Ausdrehen eines gasdynamisch günstigeren halbkugelförmigen Brennraumes vorgenommen.

Kurbelwelle: Keine Veränderungen, jedoch werden die Lager durch belastungsfähigere Nadellager (auch im Pleuelfuf und Pleuelaug) ersetzt.

Kolben: Eine Spezialanfertigung leichter Legierung mit L-Ringen findet Verwendung. Das Kolbenhemd wurde um 2 mm gekürzt, die Seitenfenster den neuen Überströmkanalweiten angepaßt.

Vergaser: Montage eines 20mm-vergasers mit Trichtereinlauf.

Auspuff: Leichte Längenänderungen durch Variieren der Krümmerlänge und der Endrohrlänge.

Weiterhin wird eine höhere Distanzscheibe montiert, wobei die Auslaßkanaloberseite um 0,4 mm erhöht wird und vom Kolbenhemd einlaßseitig 0,9 mm abgedreht werden.

Die Überströmkanäle werden an ihren Einlauföffnungen am unteren Zylinderflansch an ihren Aussenseiten um 1,7 mm geweitet, wobei vom Kanalinneren nach oben hin weniger Material abgenommen wird. Distanzscheibe und Kurbelgehäuseaussparungen werden entsprechend angepaßt.

Bei Montage eines längeren Ansaugtrichters kann die Vergaserhauptdüsenbestückung um einige Einheiten zurückgenommen werden.

Weiterhin sind verchromte Kolbenringe empfehlenswert.

Der Kerzenwärmewert kann je nach Bearbeitung bis über 300 ansteigen.

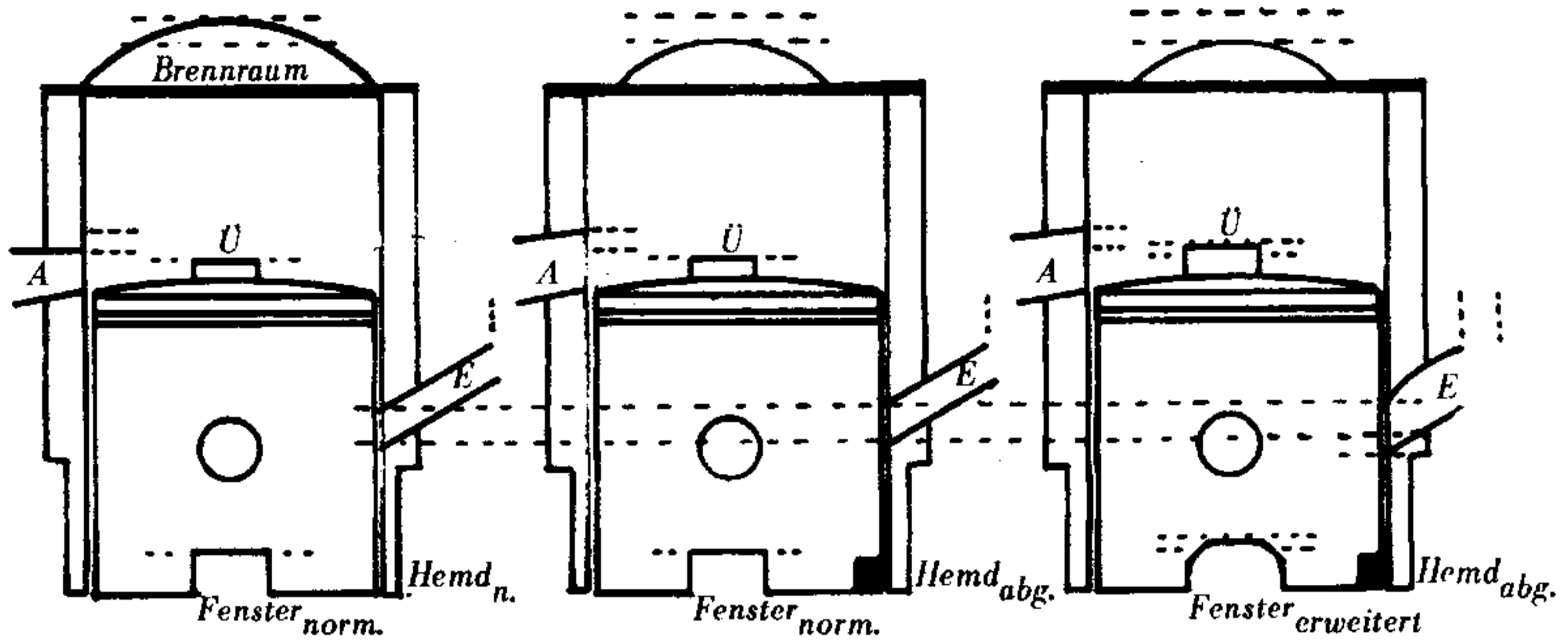
(**Skizze 18**) zeigt ungefähr den Leistungsverlauf des durchgearbeiteten Motors in den einzelnen Tuningstufen.

Besonders deutlich bleibt zu erwähnen, daß Änderungen, die zu Höchstleistungen führen sollen, Ergebnisse langwieriger und harter Versuchsreihen sind.

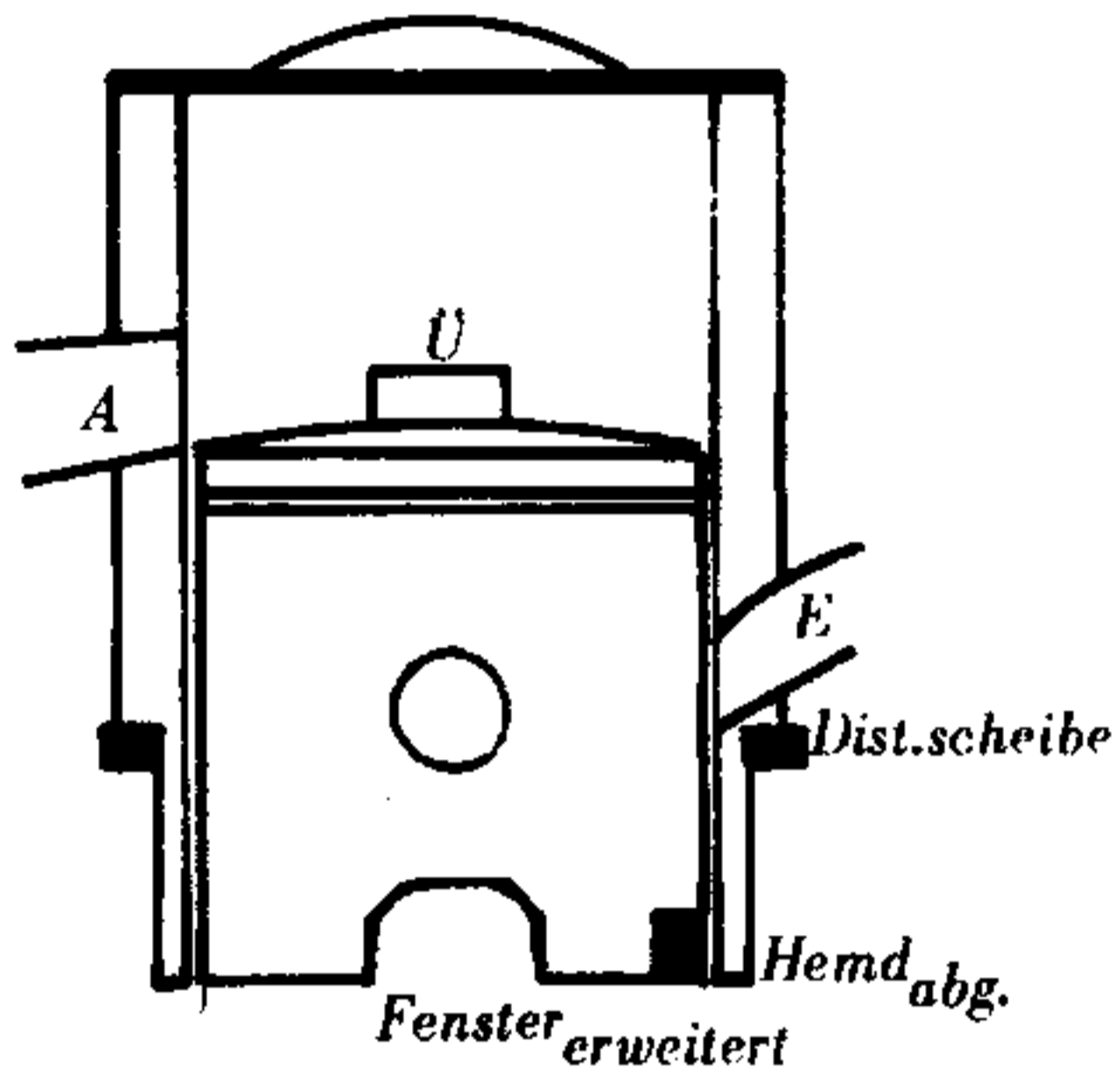
Erworbene Erkenntnisse können sich grundsätzlich nur speziell auf einen Motortyp beziehen.

Es ist deshalb sinnlos, in beliebiger Zusammensetzung Motordaten zu übernehmen oder seinen eigenen Berechnungen zufolge Änderungen vornehmen zu wollen, ohne durch viel Geschick und Sammeln reichhaltiger Erfahrungswerte unter oftmaligen Probeläufen die Theorie in der Praxis auf Ihren Erfolg hin zu überprüfen und gewissenhaft auszuwerten.

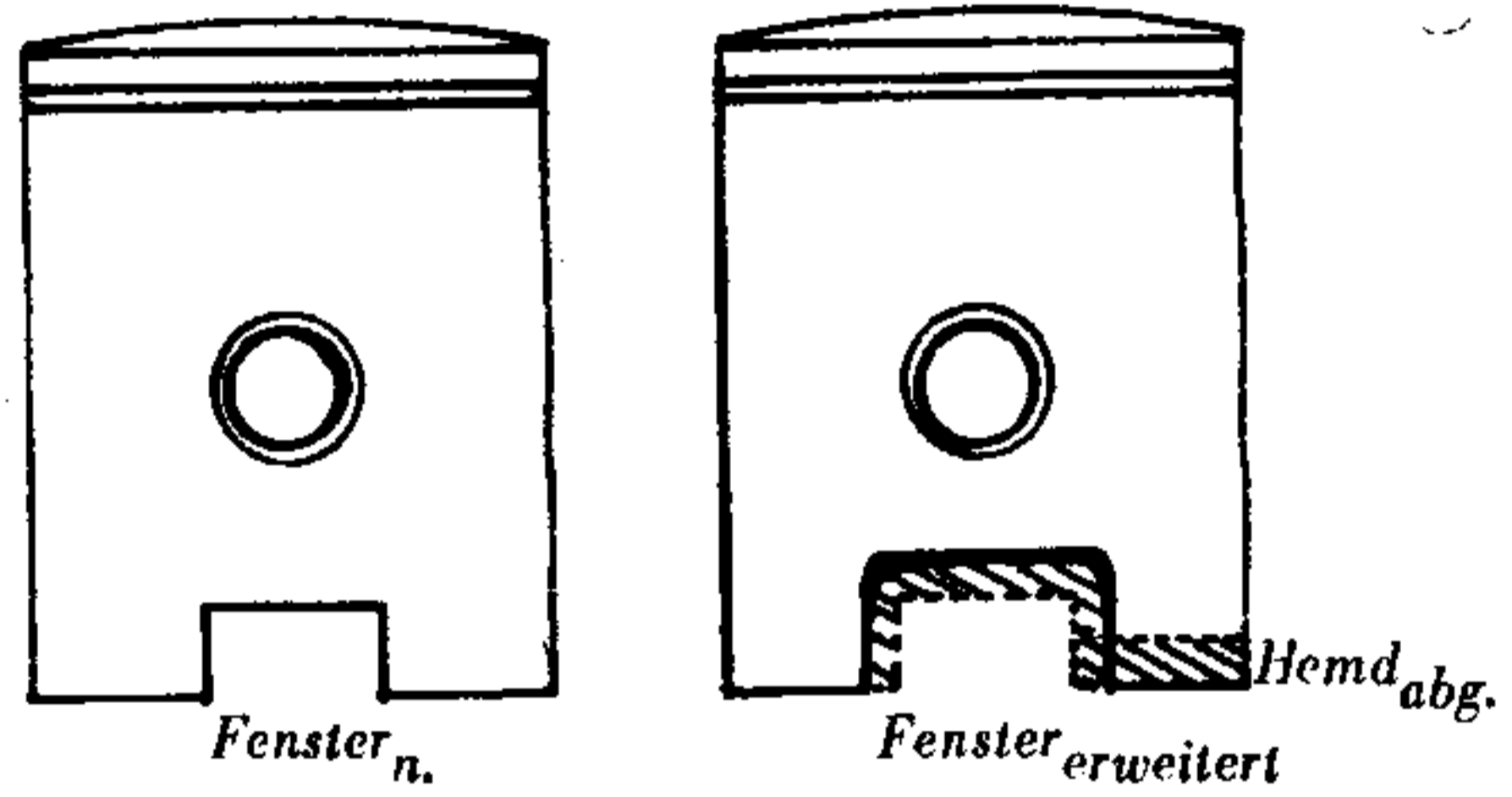
Für Ihre Arbeiten wünsche ich Ihnen viel Erfolg



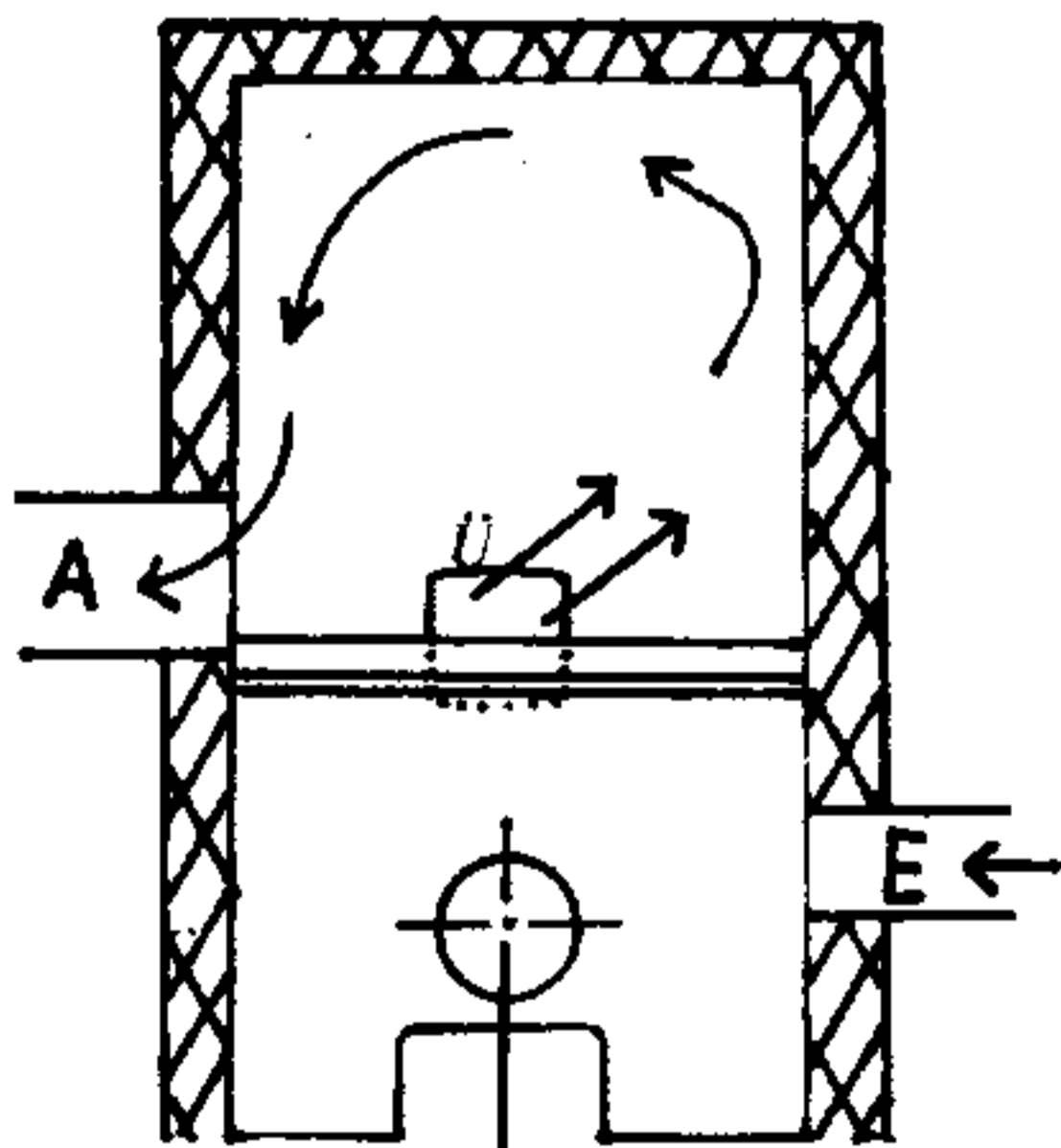
(Skizze 3)



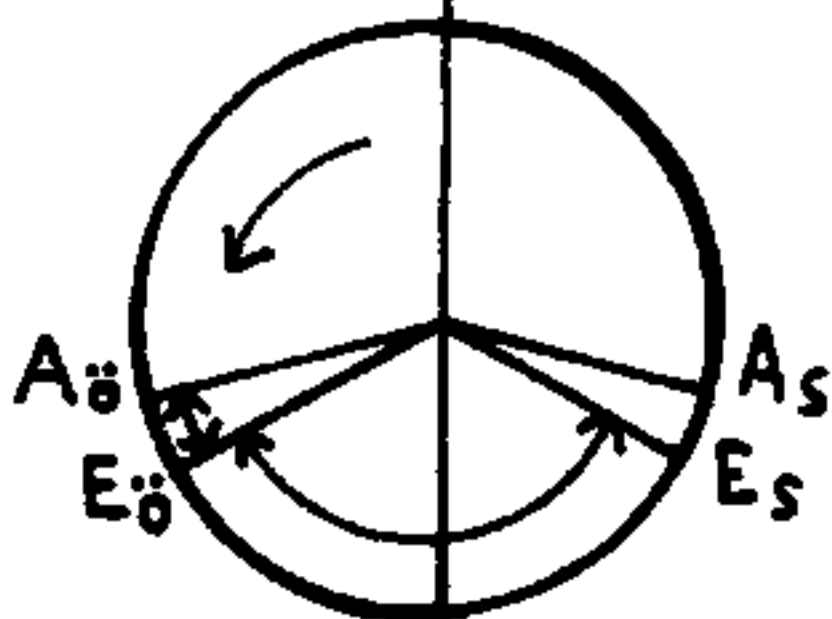
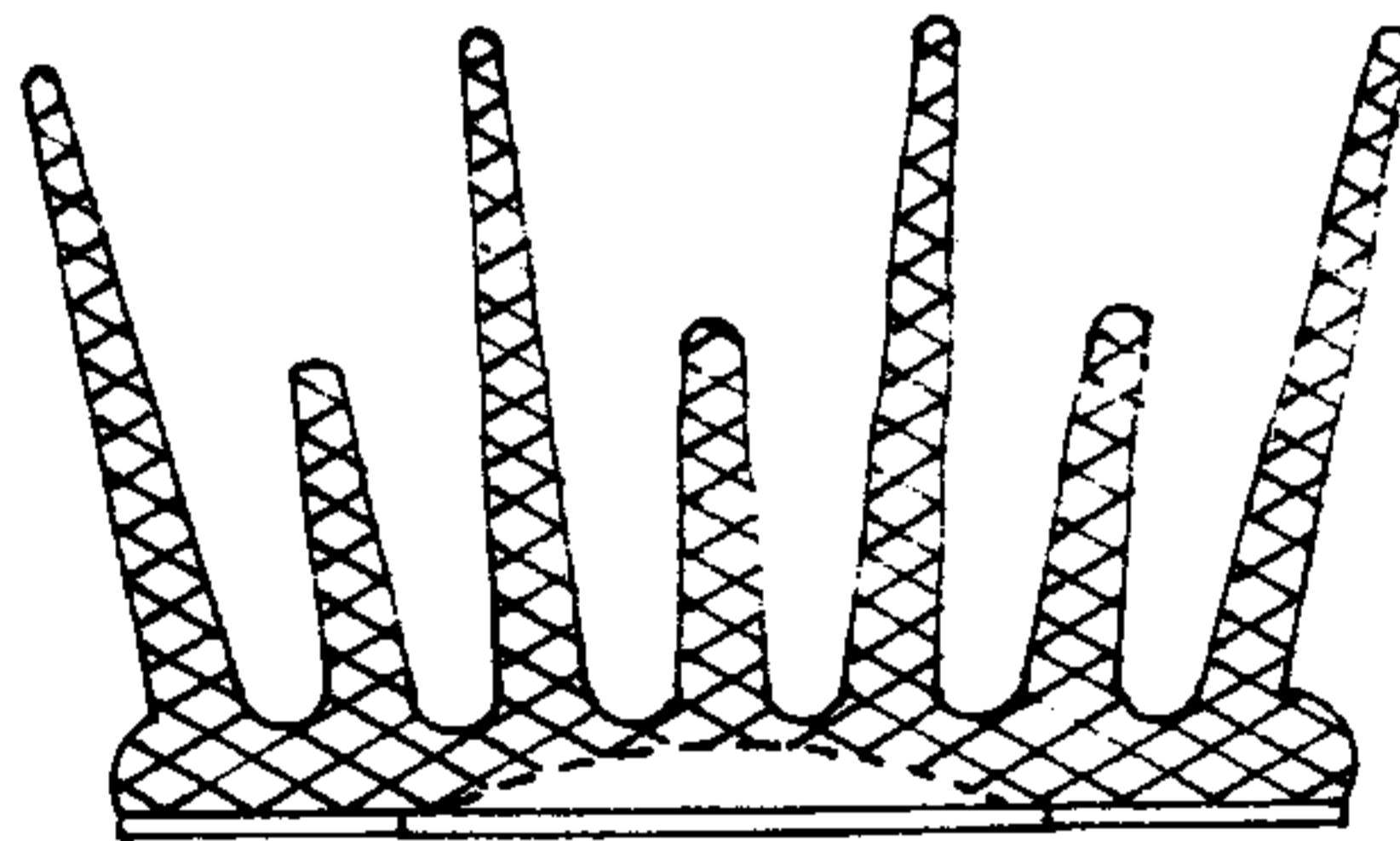
(Skizze 4)

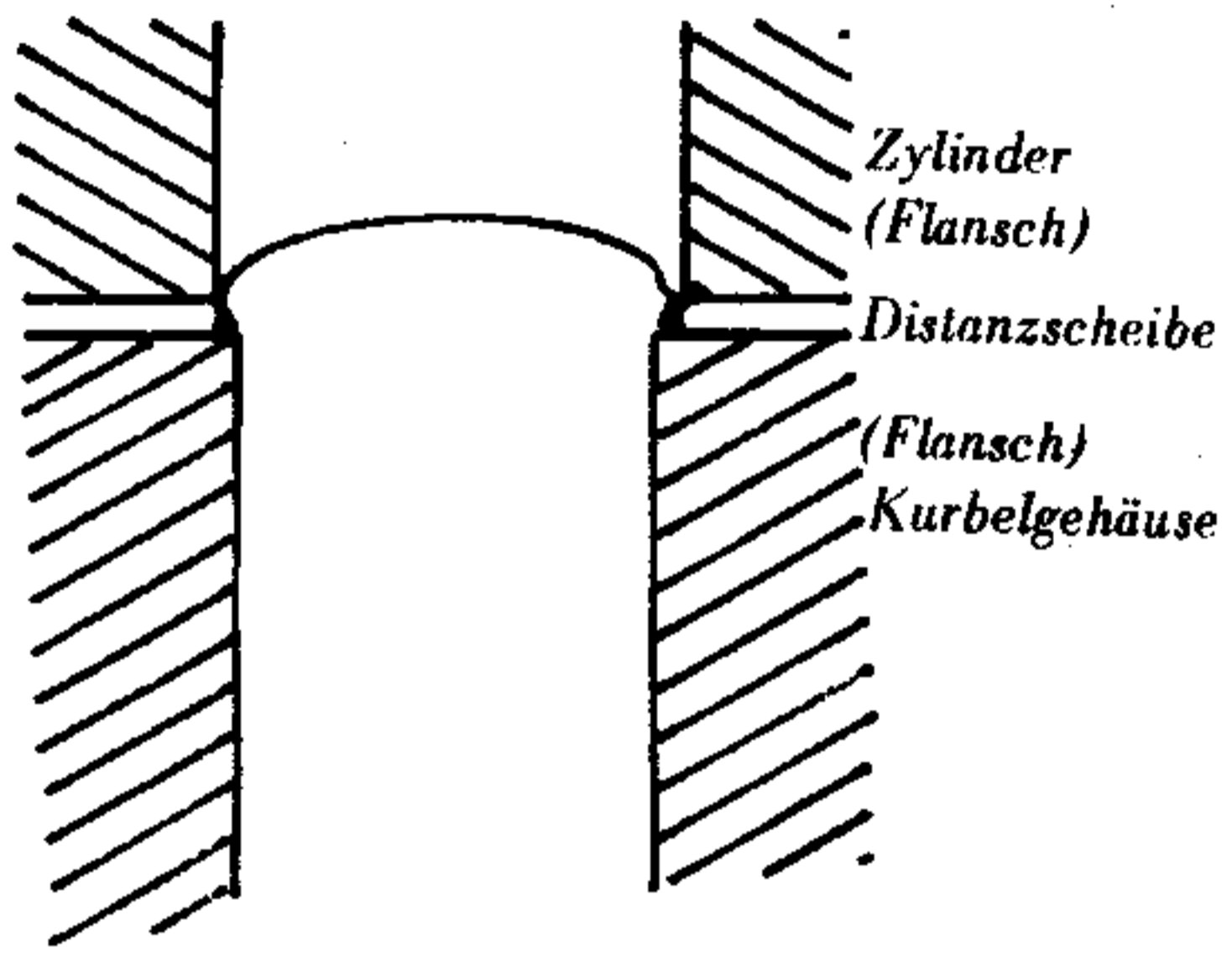
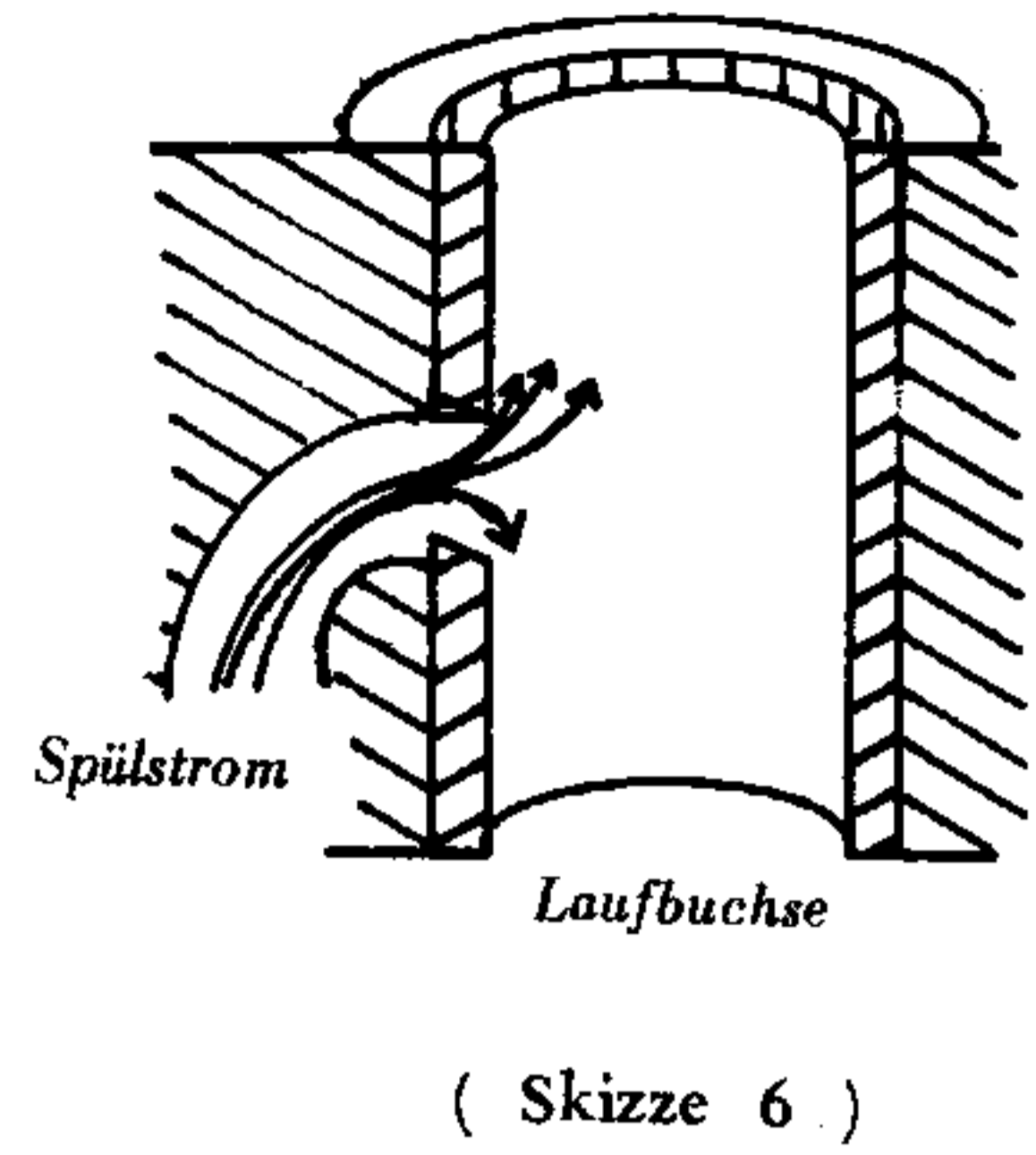
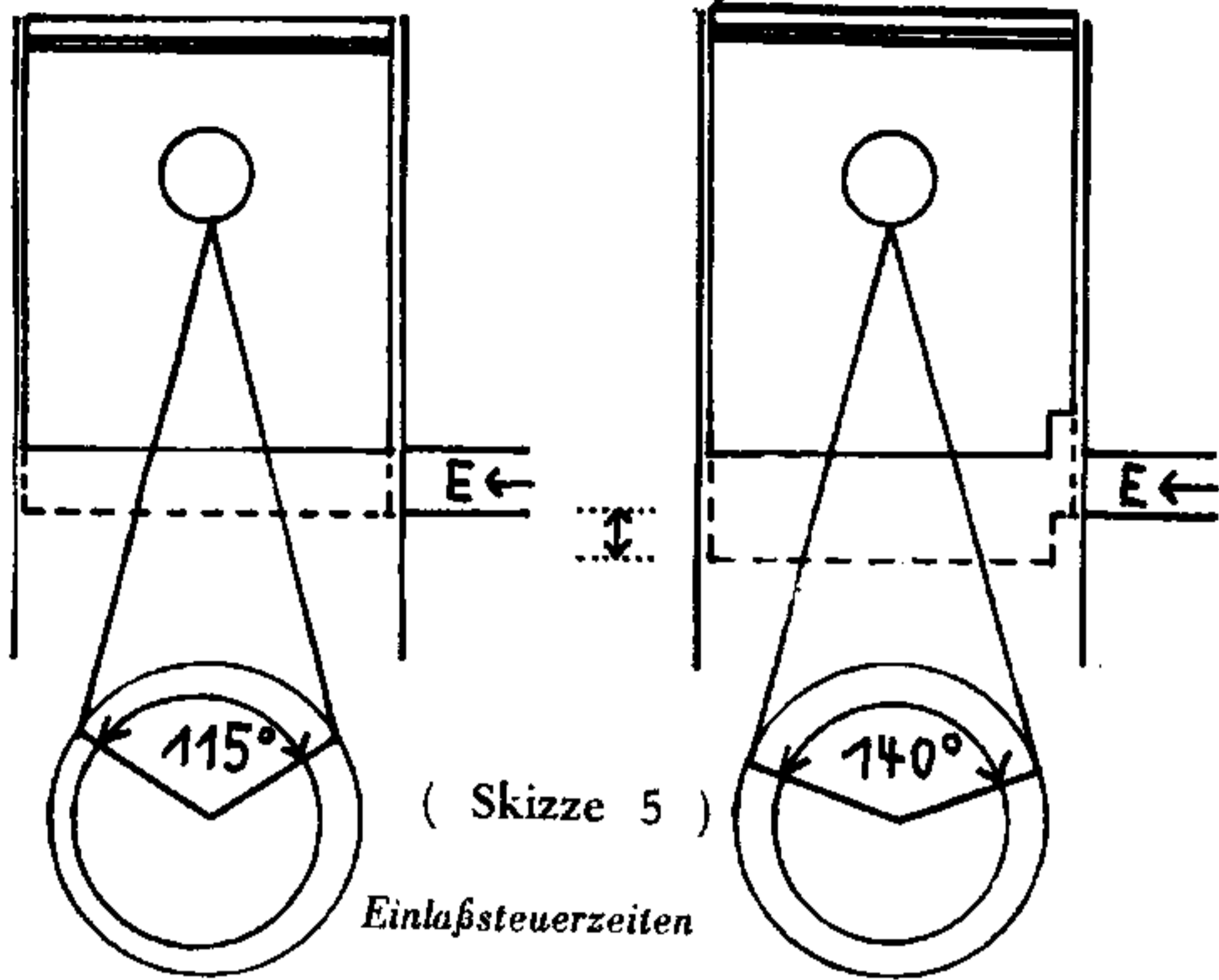


(Skizze 2)

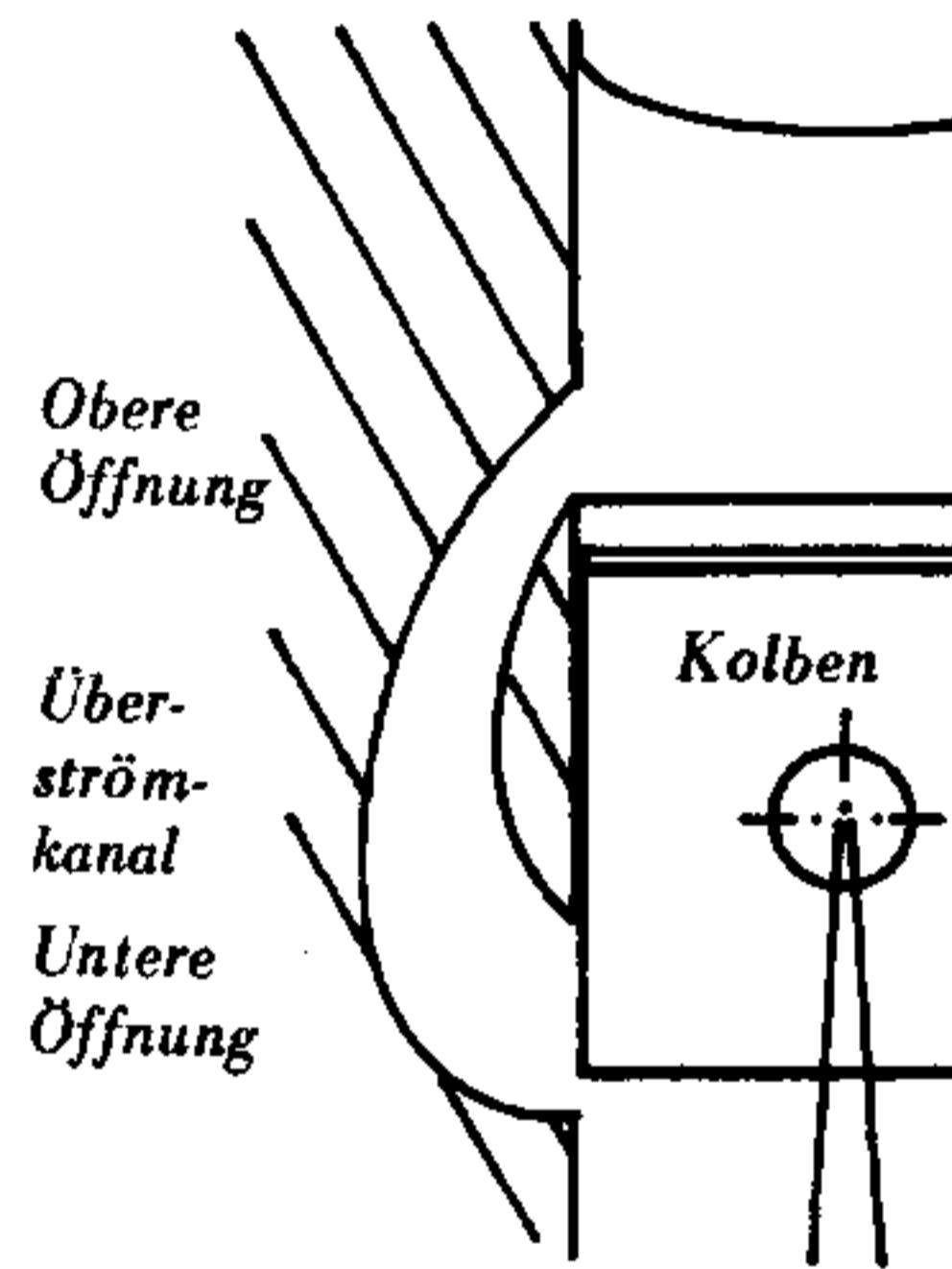


(Skizze 1)

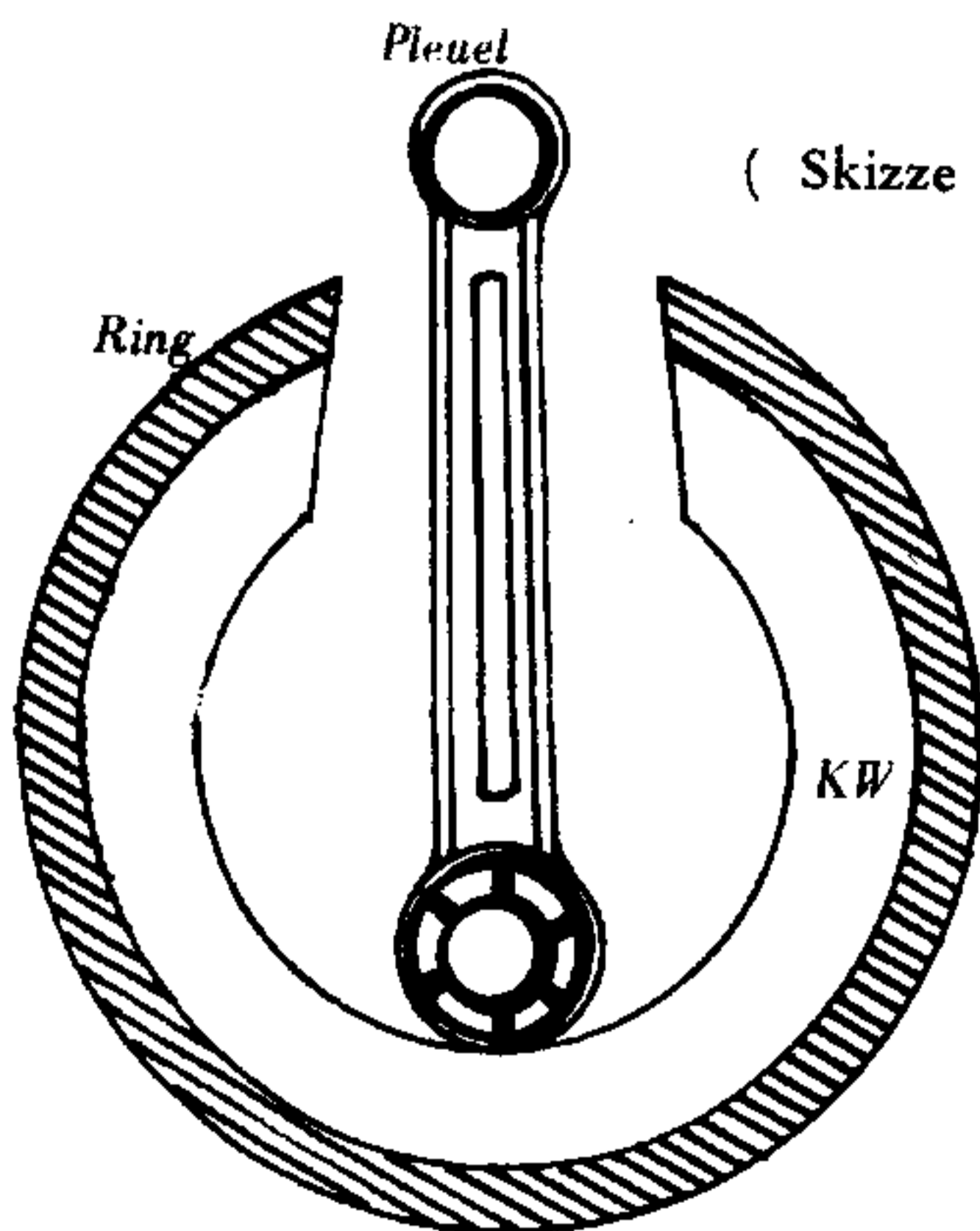




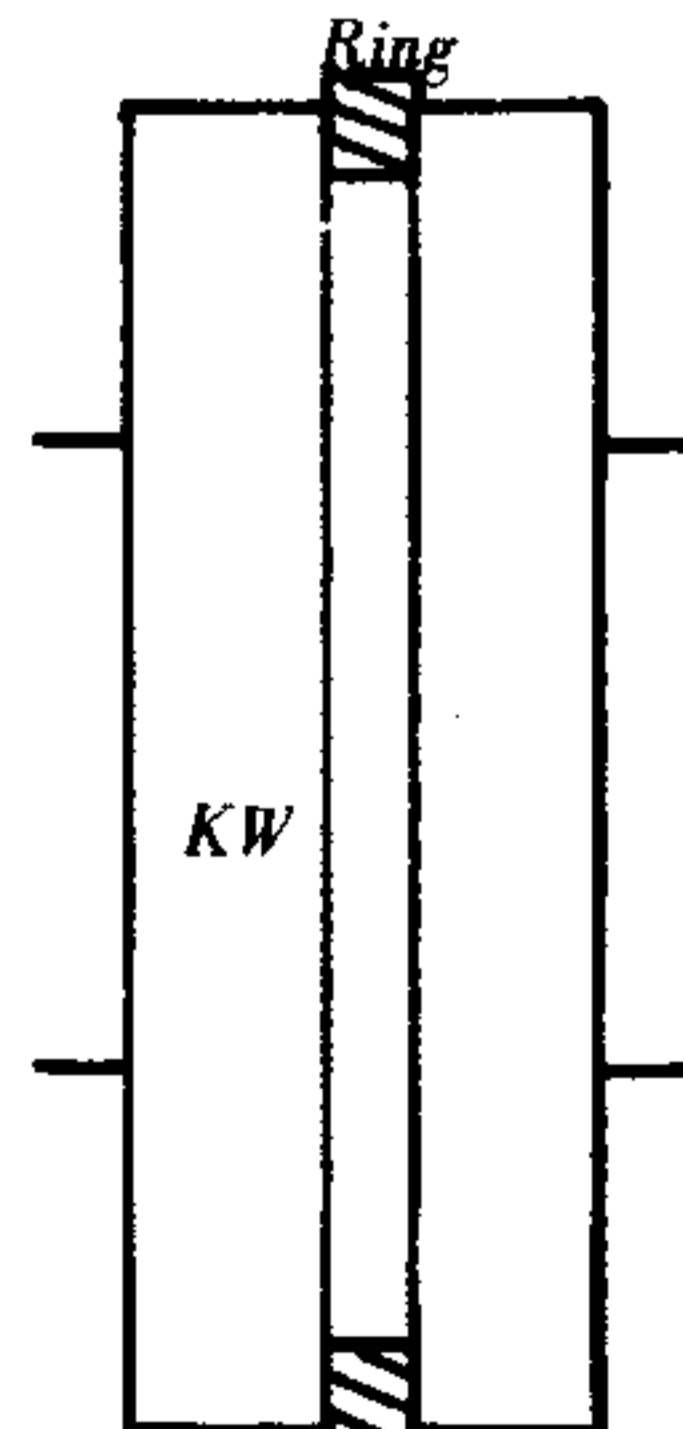
(Skizze 7)

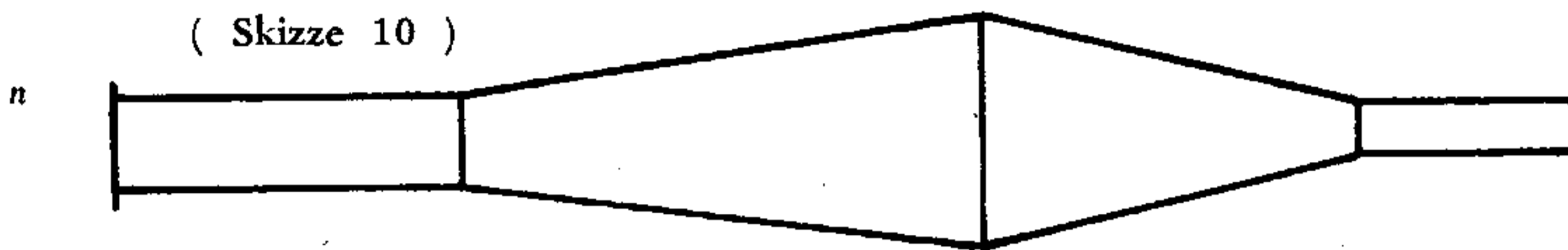


(Skizze 8)



(Skizze 9)





Krümmen
zylindr.

Diffusor
stumpfkegelförmig

Resonator
stumpfkegelf.

Rohrendstück
zylindr.

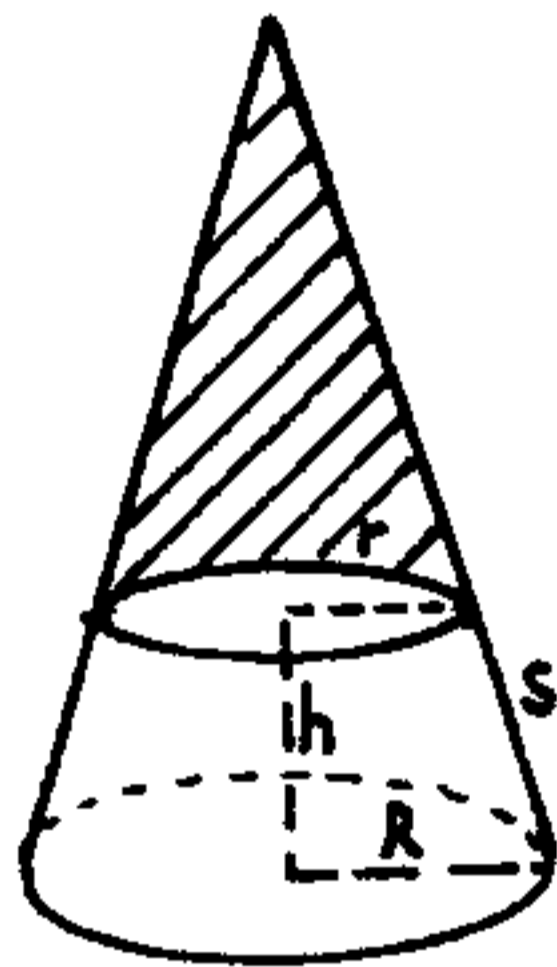
(Skizze 13)

(Skizze 11)

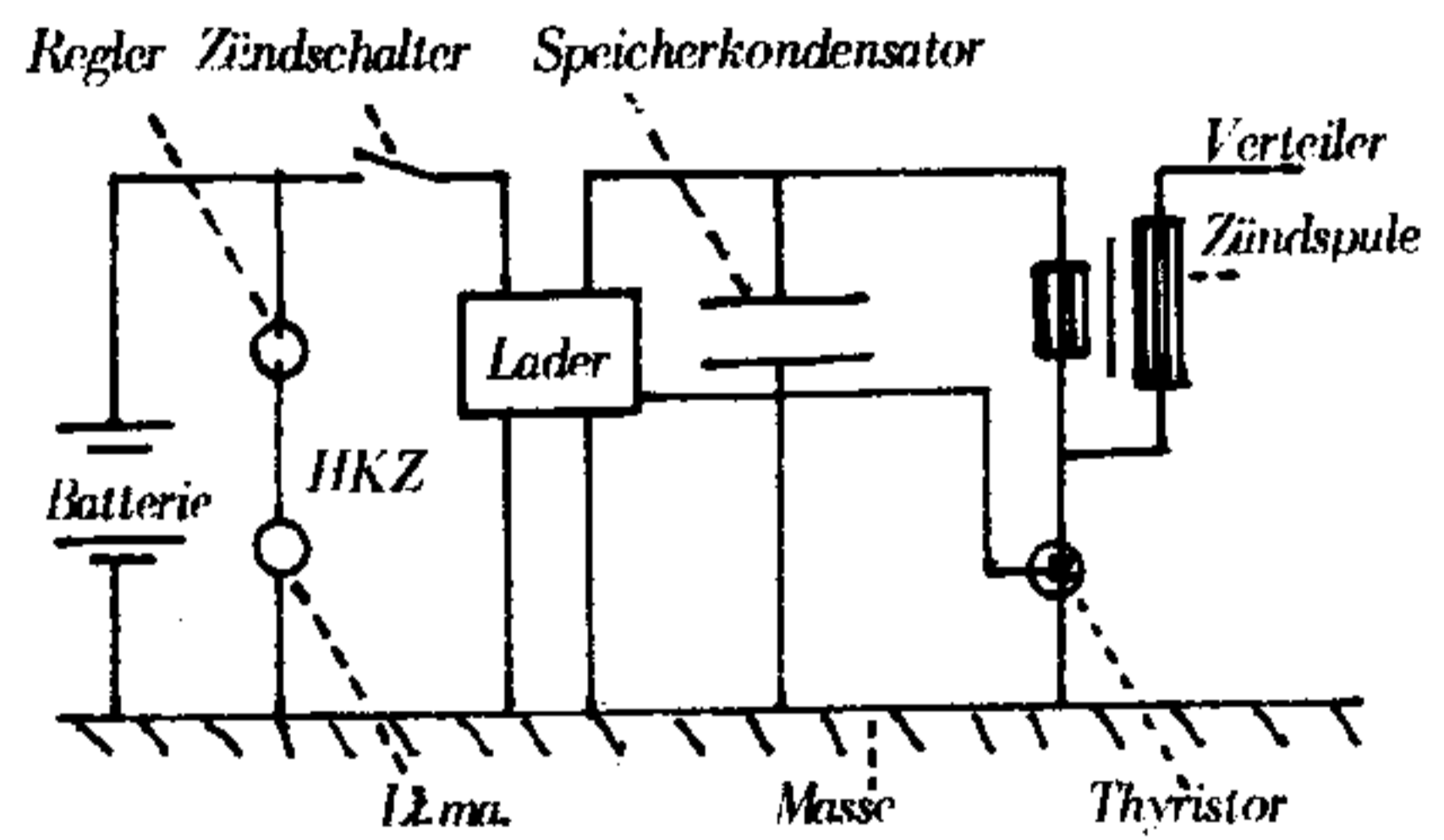
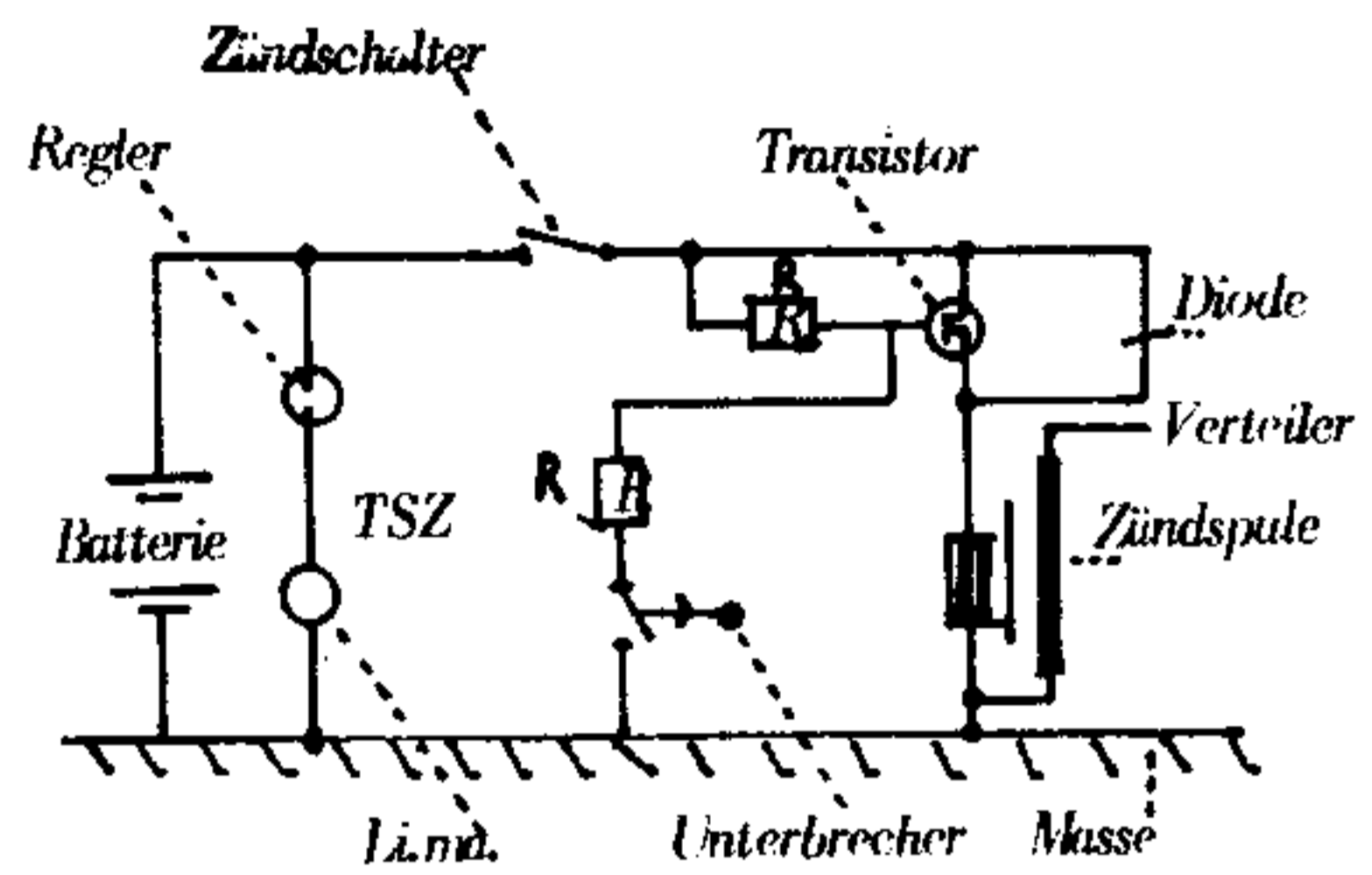


Kreiszyylinder

(Skizze 12)



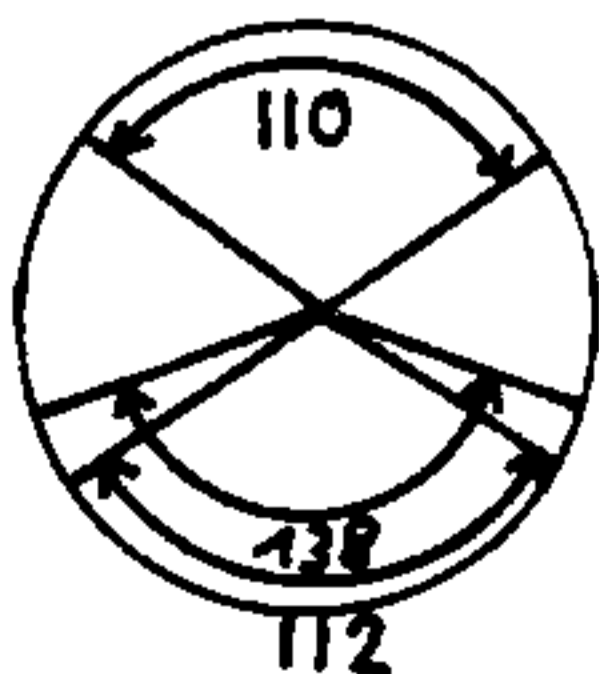
(Spitz-)Stumpfkegel



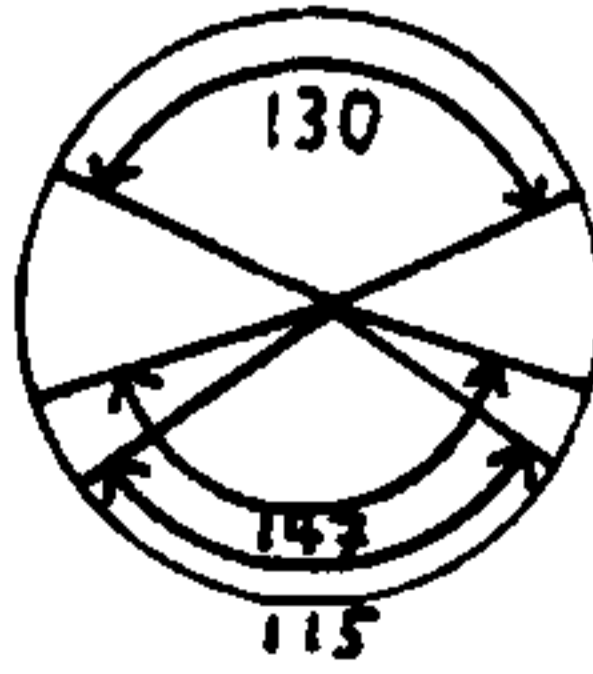
(Skizze 14)

(Skizze 15)

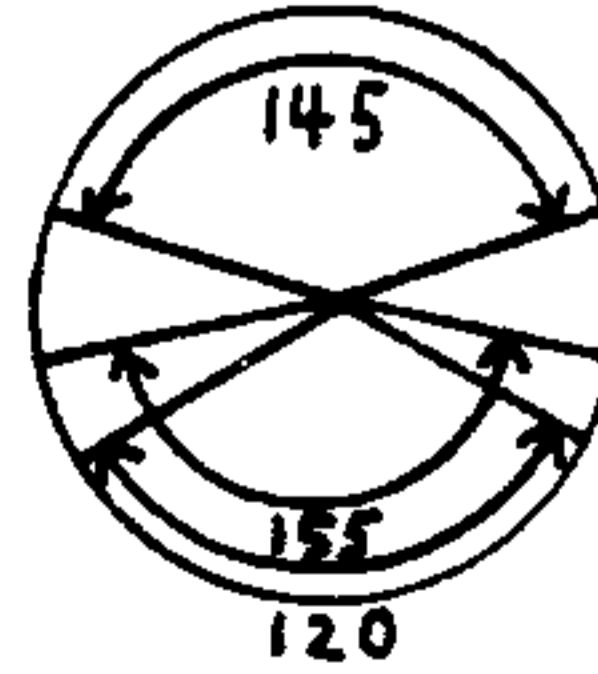
Tuningeingangsstufe

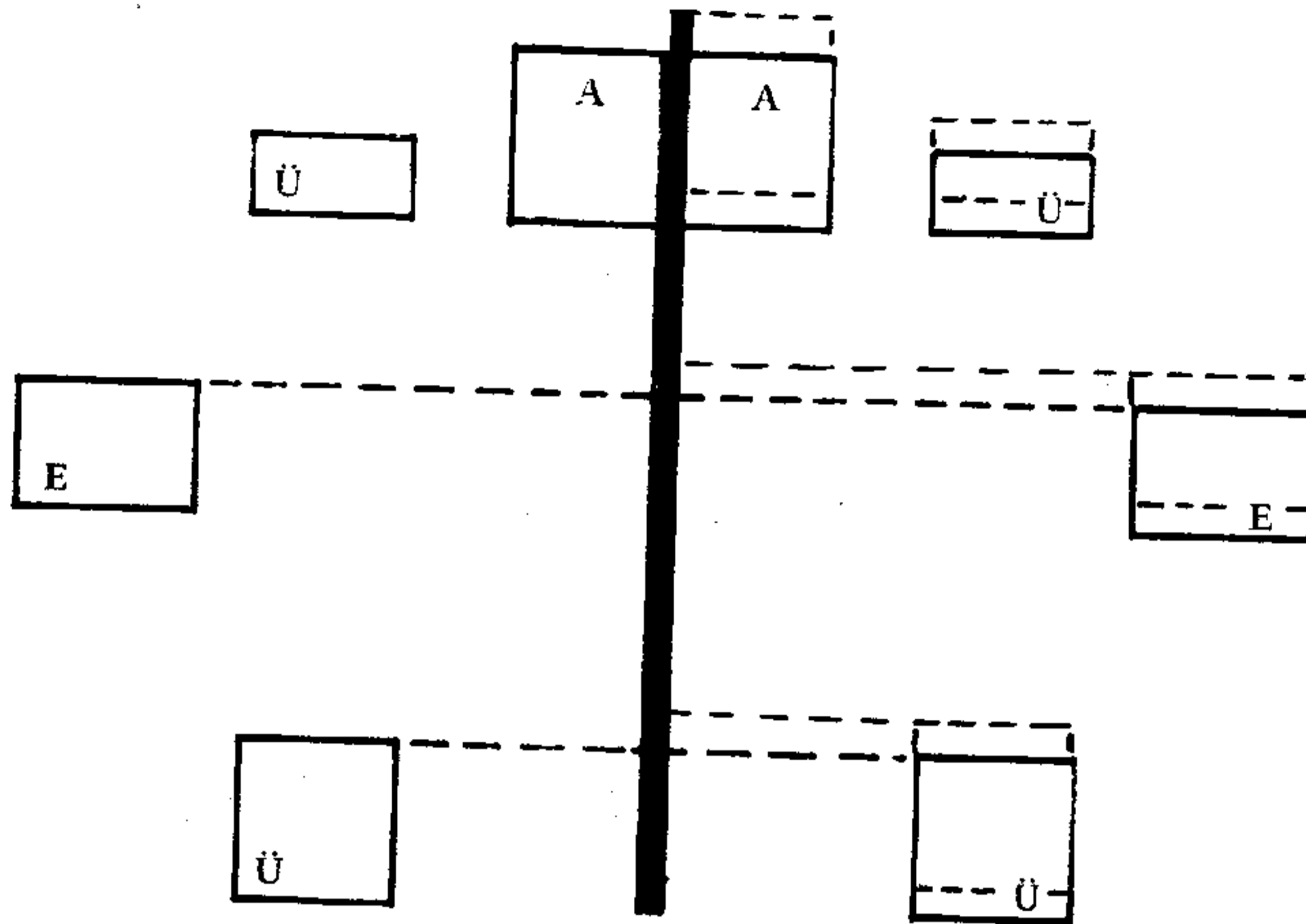


Tuningstufe(mittel)

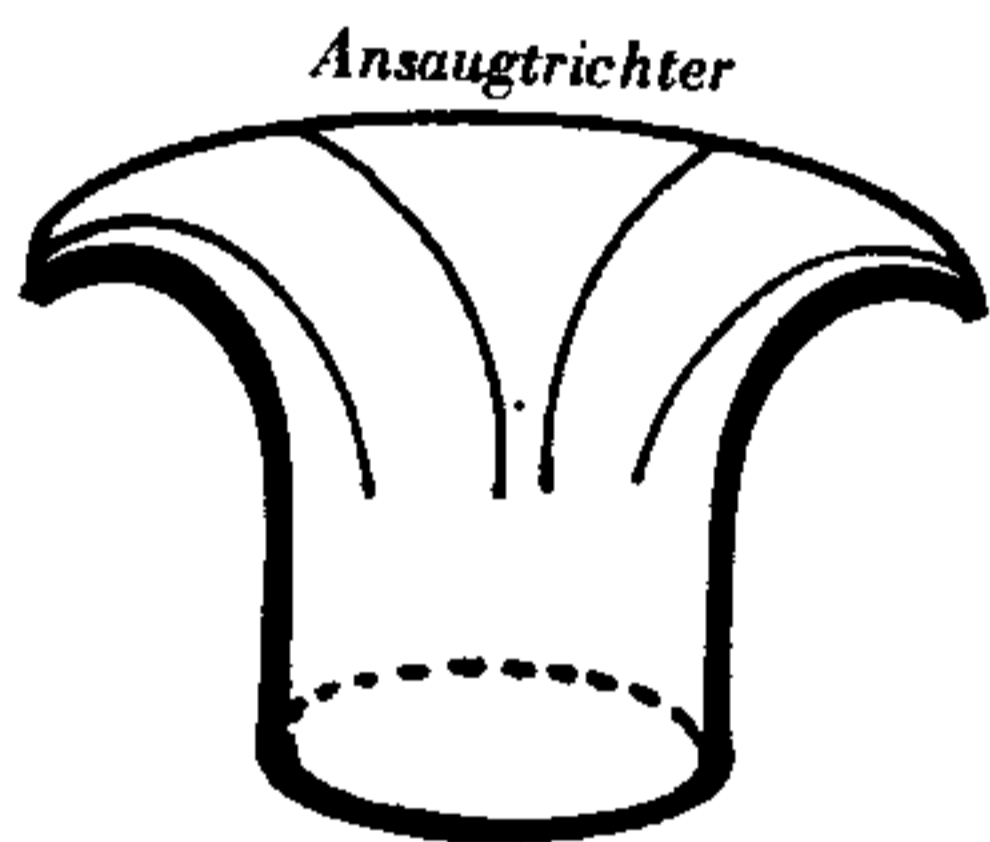


Tuningendstufe

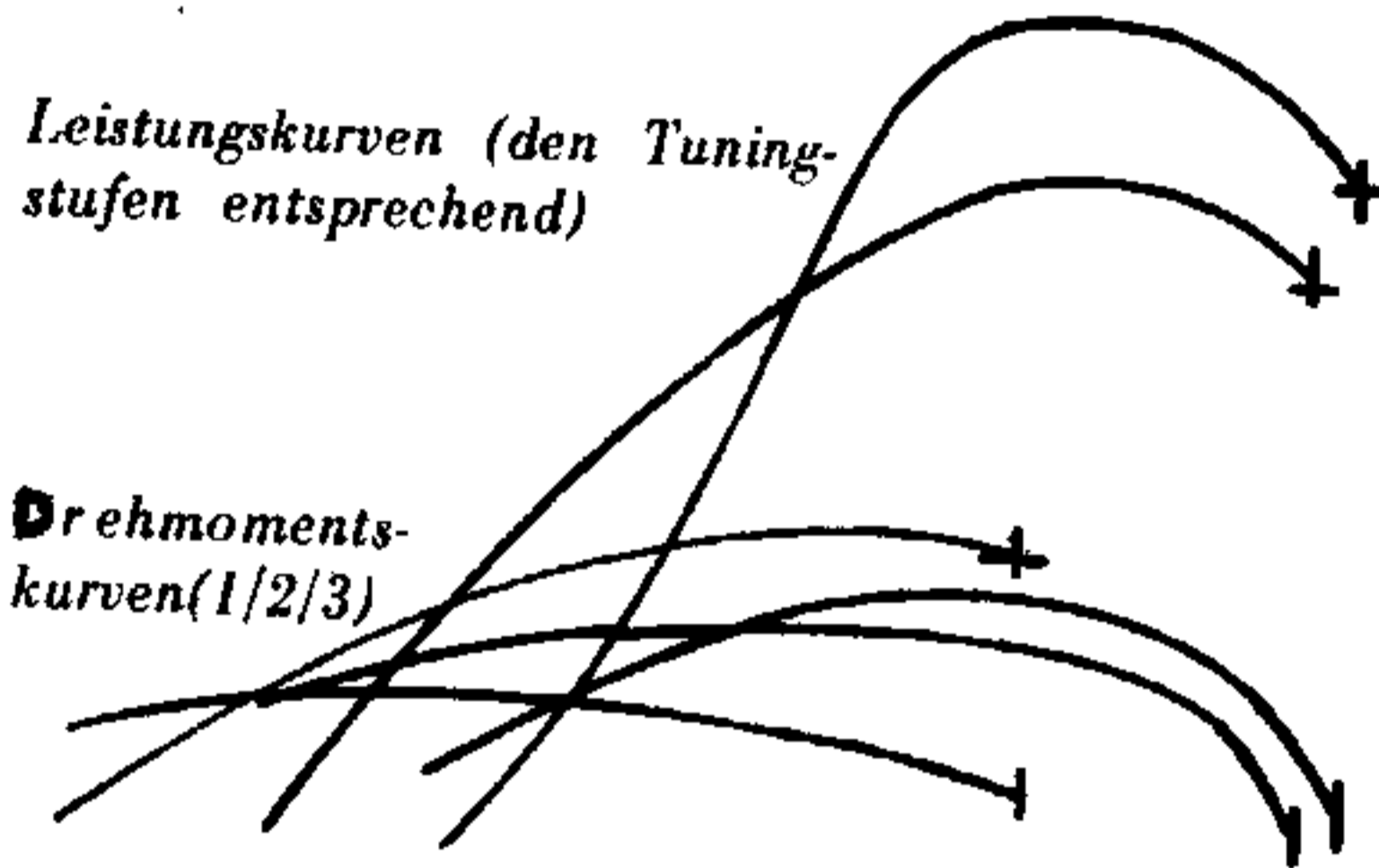




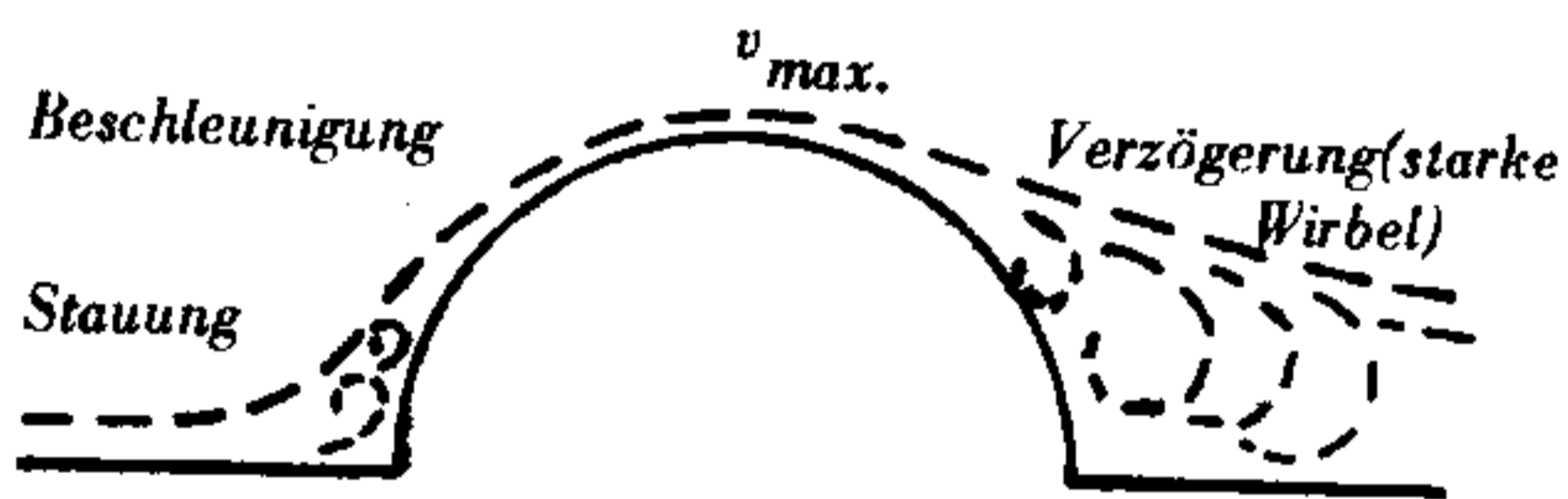
(Skizze 16)



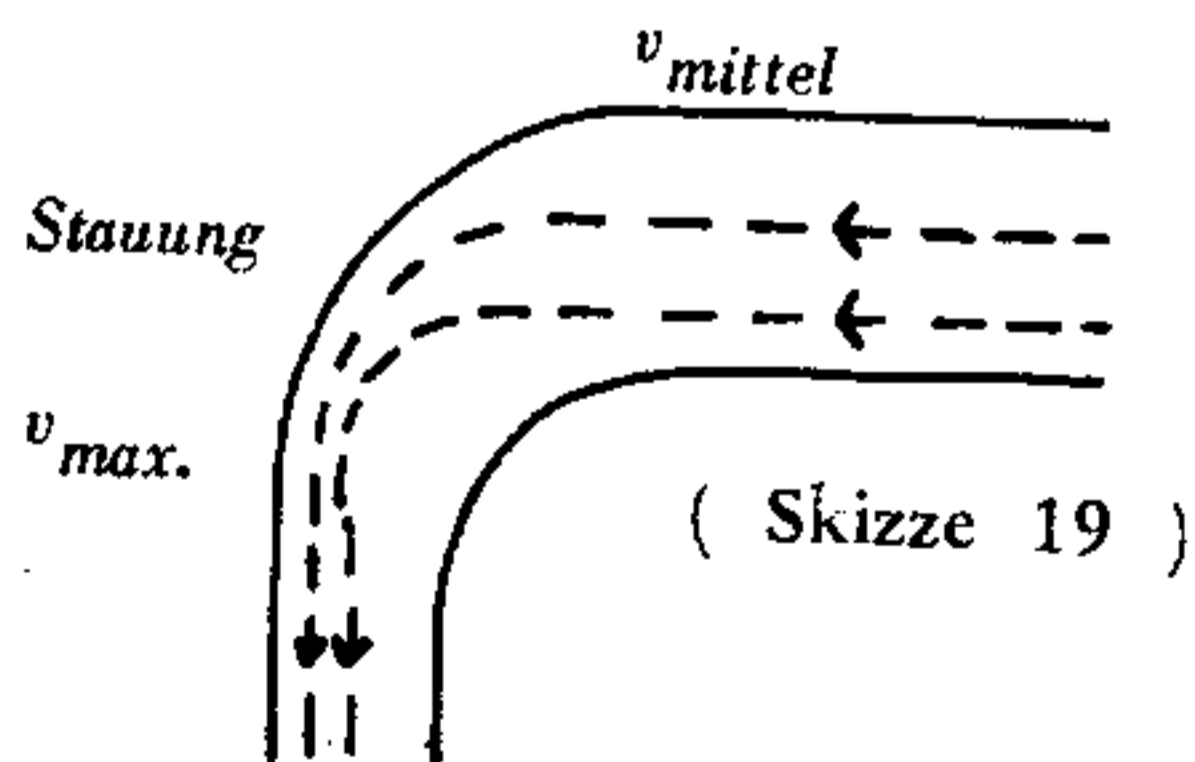
(Skizze 17)



(Skizze 18)



(Skizze 20)



(Skizze 19)

Luftwiderstandswert c:

100 %

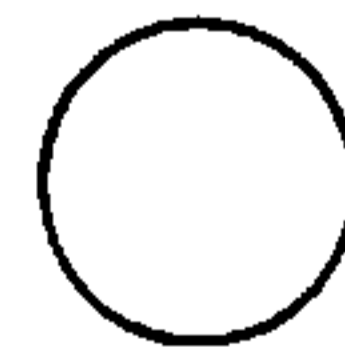


83 %



(Skizze 21)

35 %



25 %

