

267 | Dezember 1970

## SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

H. Oberembt

### Potentialtheoretische Strömungsuntersuchungen an einem Doppelmodell der „Meteor“

**TUHH**

*Technische Universität Hamburg-Harburg*

INSTITUT FÜR SCHIFFBAU DER UNIVERSITÄT HAMBURG

IfS-Bericht Nr. 267

Potentialtheoretische Strömungsuntersuchungen  
an einem Doppelmodell der "Meteor"

von

H. Oberembt

Hamburg, Dezember 1970

## 1. Aufgabenstellung

Die Erforschung der Umströmung eines Schiffes war schon immer von großem Interesse für den Schiffbauer. Insbesondere befaßte man sich mit der Strömung in der Propellerebene. Von den zu diesem Thema existierenden Arbeiten seien hier [3] und [4] erwähnt.

Das Geschwindigkeitsfeld eines Schiffes wird durch drei Ursachen hervorgerufen:

1. Verdrängung des Schiffes
2. Verformung der Wasseroberfläche
3. Zähigkeit der Flüssigkeit

Während beim an der Wasseroberfläche fahrenden Schiff diese drei Ursachen stets zusammenwirken, lassen sie sich in bestimmten Versuchen oder durch mathematische Modelle einzeln behandeln.

Eine reine Verdrängungsströmung läßt sich nur im Rechenmodell bestimmen, da jede Flüssigkeit eine Zähigkeit besitzt, die im Versuch nicht ausgeschaltet werden kann. In einer idealen unbegrenzten Flüssigkeit werden dann Singularitäten angebracht, z.B. Quellen und Senken, die so bemessen sind, daß die Körperoberfläche zur Stromlinie wird. Für das gesamte Strömungsfeld läßt sich dann ein Potential angeben.

Ebenfalls potentialtheoretisch läßt sich die Wellenströmung behandeln, wobei aber gleichzeitig die Verdrängung berücksichtigt wird. Ein Rechenverfahren, das die Zähigkeit bei dreidimensionalen Körpern berücksichtigt, ist dagegen noch nicht greifbar.

Im Versuch läßt sich schließlich die Wellenströmung ausschalten, indem ein Doppelkörper (an der Wasseroberfläche gespiegeltes Modell) tiefgetaucht im Schlepptank oder im Windkanal untersucht wird.

Eine solche Untersuchung hat im Windkanal des I.f.S. an einem Doppelmodell der "Meteor" stattgefunden. Durch eine Rechnung, die nur die Verdrängungsströmung berücksichtigt, soll im Vergleich mit gerechneten Werten der zähigkeitsbedingte Anteil abge sondert werden. Ferner soll der Vergleich Aufschluß darüber geben, inwieweit die reine Verdrängungsströmung zuverlässige Werte für die Gesamtströmung geben kann.

In die Untersuchungen im Propellerbereich sollen auch die Messungen der NSVA [1] einbezogen werden, die an einem Modell im Maßstab 1:14 und an der Großausführung durchgeführt worden sind. Hier stehen also Messungen in verschiedenen Bereichen der Reynolds-Zahl und die Rechnung zur Verfügung.

Die Form der "Deteor" geht aus dem Pauspanteariß in den Bildern 2a und 2b hervor (Pauspantabstand 500 mm, Zeichenmaßstab 1:30). Die Hauptabmessungen seien hier wiedergegeben:

$$L_{pp} = 72,80 \text{ m}$$

$$L_{wl} = 77,30 \text{ m}$$

$$B_{spt} = 13,50 \text{ m}$$

$$T = 4,80 \text{ m}$$

$$\delta = 0,563$$

$$D_{prop} = 2,90 \text{ m}$$

## 2. Beschreibung des verwendeten Rechenmodells

In den Rechnungen wurde das Verfahren von Hess und Smith [5] angewandt. Dabei wird die Körperoberfläche in eine Anzahl viereckiger Flächenelemente aufgeteilt, deren Eckpunkte in ein Rechenprogramm [9] eingegeben werden. Die Flächen werden mit Quellen und Senken belegt, deren Stärke durch einen in [5] beschriebenen Algorithmus so bestimmt wird, daß die Randbedingung, daß an der Körperoberfläche keine Normalgeschwindigkeiten auftreten können, an den "Nullpunkten" - diese entsprechen näherungsweise den Flächenmittelpunkten, näheres siehe [5] - der Flächenelemente erfüllt wird. Nur an diesen Punkten liefert die Rechnung zuverlässige Werte für die Geschwindigkeit auf der Körperoberfläche. An allen anderen Punkten muß die Geschwindigkeit durch Interpolation gefunden werden.

Die am Doppelmodell vorhandenen Symmetrieeigenschaften werden in den Rechnungen ausgenutzt, indem die einzelnen Elemente der Oberfläche an der Mittschiffsebene und an der obersten Wasserliniensebene gespiegelt werden. Es muß also nur ein Viertel des

Gesamtkörpers in Einzelflächen aufgeteilt werden. An starken Körperkrümmungen wurde dabei eine enge Einteilung vorgenommen, während an den großen krümmungslosen Teilen im Mittschiffsbereich wenige Flächenelemente genügten.

Es sind drei Rechnungen mit verschiedenen Flächeneinteilungen durchgeführt worden. In einer ersten Rechnung wurden 358 Elemente auf ein Körperviertel verteilt. Der Tiefgang war dabei gleich dem Konstruktionsstiefgang von 4,80 m gewählt. Da das im Windkanal bei den Versuchen benutzte Doppelmodell aber die Abmessungen entsprechend einem Tiefgang von 5,15 m hat, wurde in einer weiteren Rechnung  $T = 5,15$  m gewählt. Außerdem wurde insbesondere im Hinterschiffsbereich die Flächenanzahl erhöht, so daß geprüft werden konnte, ob die Flächenanzahl genügend groß war. Die Zahl der Flächen betrug hierbei 455.

Zur Prüfung des Einflusses der Anhänge: Gillungsflosse, Grim'sche Welle und Stevenhacke, Schweberuder mit Birne, jedoch ohne Ringflügel wurden diese Bauteile ebenfalls in Flächen aufgeteilt und der 455-Teilung angehängt. Damit enthielt die Rechnung 543 Einzelflächen.

### 3. Ergebnisse der Rechnungen

#### 3.1. Quellverteilung

Mit der Auflösung des Gleichungssystems für die Quellen-Senken-Verteilung erhält man die Quellstärke für sämtliche Elemente. Man kann sich durch Aufzeichnen des Verlaufs dieser Werte davon überzeugen, daß die Einteilung eng genug ist. Für die 455-Teilung sind die Verläufe für einige Spanten und die dem Kiel am nächsten liegenden Elemente in Bild 1 aufgezeichnet. (Der Maßstab für sämtliche Bilder beträgt 1:30.) An einigen Stellen sind die Differenzen der Quellstärken zweier benachbarter Elemente noch recht groß. Durch eine engere Teilung kann an diesen Stellen die Strömung an der Körperoberfläche genauer bestimmt werden. In einiger Entfernung vom Körper liefert aber auch die grobe Einteilung der Oberfläche zuverlässige Werte für die durch

durch die Verdrängung verursachte Geschwindigkeit.

### 3.2. Stromlinien

Wenn die Quellstärke aller Elemente bekannt ist, läßt sich die Geschwindigkeit an allen Stellen der Flüssigkeit bestimmen. Allerdings ist die Berechnung von Geschwindigkeiten innerhalb des behandelten Körpers nicht sinnvoll. Auf der Körperoberfläche sind nur die Punkte, an denen die Randbedingung erfüllt wurde, zulässig. Um die an diesen Punkten ermittelten Geschwindigkeitsrichtungen sinnvoll darstellen zu können, wurden sie mit Hilfe des Verfahrens von Kutta-Runge zu Stromlinien integriert, wobei an Zwischenpunkten zwischen den 4 nächsten Aufpunkten interpoliert wurde. Beim Integrieren zeigte es sich, daß die Punkte im Vorschiff etwas zu weit auseinanderlagen. Dort entfernten sich die Stromlinien an einigen Stellen geringfügig von der Körperoberfläche. Im enger eingeteilten Hinterschiff waren dagegen nur vernachlässigbare Korrekturen erforderlich.

Sämtliche Stromlinien entspringen theoretisch im Staupunkt, der bei diesem Schiff am vordersten Punkt der obersten Wasserlinie liegt. Wegen der starken Krümmung der Strömung in diesem Bereich konnten die Stromlinien allerdings nicht bis in den Staupunkt hinein verfolgt werden. Zu diesem Zweck hatten dort wesentlich kleinere Quellelemente angebracht werden müssen. Die gleichen Bemerkungen gelten für den hinteren Staupunkt, der an dem hintersten Punkt der gleichen Wasserlinie liegt. Auf den Nachweis dieser bekannten Eigenart der Strömung kam es hier jedoch nicht in erster Linie an, so daß der vergrößerte Aufwand eingespart werden konnte.

In den Bildern 2a und 2b sind die Stromlinien im Spantenriß von Vor- und Achterschiff eingetragen. Im Vorschiff gehen sie alle im nahezu rechten Winkel zu den Spanten nach unten. Im Mittschiffsbereich geht die Strömung an den Seiten nach oben, während sie im aufgekimmten Boden zur Mitte fließt. Hinter dem Hauptspant ist die Strömung von der Mitte nach außen und von der wasser-oberfläche nach unten gerichtet. Dann strebt das wasser wieder

Absolutgeschwindigkeiten erlauben. Aus diesen Gründen ist der Vergleich von den hier ermittelten Werten mit den Messungen der H3VA von geringerem Wert.

Zunächst wurden die Geschwindigkeiten in der Ebene II (vgl. Bild 12) mit den beiden Oberflächeneinteilungen mit 358 und 455 Elementen berechnet. Die Kurven ändern sich dabei nur um wenige Prozent ihres Wertes. Damit ist erwiesen, daß auch die 358-Teilung für diese Rechnung genügend genau war. Auf die Darstellung der mit 358 Elementen ermittelten Kurven wird hier verzichtet.

In Bild 13 ist der potentialtheoretische Nachstrom in der Ebene II für das Schiff ohne Anhänge dargestellt. Die Geschwindigkeiten wurden mit der Schiffsgeschwindigkeit dimensionslos gemacht und über dem Umfangswinkel ( $\varphi=0$  am Totholz) mit dem Radius als Parameter aufgetragen. An sämtlichen Punkten ist die Strömung aufwärts (zur Wasseroberfläche) und zur Schiffsmitte gerichtet. ( $V_\varphi$  hat die gleiche Umlaufrichtung wie  $\varphi$ .) Die Axialkomponenten sind sehr ausgeglichen: am äußeren Radius  $r=1,035 R_a$  beträgt die Differenz zwischen dem kleinsten und dem größten Wert nur  $0,13 \cdot V_{anstr}$ . In der dahinterliegenden Ebene I (Bild 14) sind die Unterschiede weiter abgebaut. Die maximale Differenz beträgt nur noch  $0,05 \cdot V_{anstr}$ .

Bei Berücksichtigung der Anhänge, die in Bild 12 dargestellt sind, werden die Axialgeschwindigkeiten verringert (Bild 15), insbesondere ist bei  $\varphi=180^\circ$ , ähnlich wie am Totholz, ein Geschwindigkeitsabfall zu erkennen. In der Ebene I (Bild 16) tritt der Einfluß der Anhänge stärker hervor, was durch die geringe räumliche Entfernung zum Ruder zu erklären ist.

In den Ebenen I und II wurden von Bronczkowski [7] im Windkanal des I.f.S. an einem Doppelmodell der "Meteor" ohne Anhänge im Maßstab 1:30 Geschwindigkeitsmessungen durchgeführt. Im Unterschied zu den Rechnungen bleibt die Wirkung der Zähigkeit hier erhalten. Die Messwerte für die Ebene II sind in Bild 17 dargestellt. Man erkennt in der Nähe des Totholzes einen starken Abfall der Axialgeschwindigkeit, der durch die Zähigkeit verursacht ist. Zwischen  $60^\circ$  und  $150^\circ$  liegen die gemessenen Werte teilweise höher als die gerechneten. Noch deutlicher ist dies

direkt dem hinteren Staupunkt zu, wobei am Übergang zum breiten Hintersteven ein Schlenker nach innen gemacht wird. Offenbar hat die Wasserlinie 3,5 ein etwas zu stumpfes Ende.

Sieht man von den Bereichen an den Schiffsenden ab, zeigen die Partien vor und hinter dem Hauptspant nahezu ähnliche Stromlinienverläufe, wie es in der Potentialtheorie zu erwarten ist.

### 3.3. Druckverlauf und Druckintegral

Da alle Stromlinien auf der Körperoberfläche aus einem Staupunkt kommen, gilt für alle Stromlinien eine Bernoulli-Konstante, so daß der Druckbeiwert leicht bestimmt werden kann, sobald die Geschwindigkeiten bekannt sind. Der Verlauf ist für einige Spanten, den Kiel und die Wasserlinie 5 im Bild 3b dargestellt. Der Verlauf des Druckbeiwerts ist an den dargestellten Spanten sehr gleichmäßig, während das Bild am (verkürzten) Kiel und der Wasserlinie 5 etwas unruhiger erscheint. Hier fällt der Druck vom Staupunkt ( $c_p=1$ ) schnell auf negative Werte. Mittschiffs sind die Unterdrücke etwas geringer, dann verstärken sie sich wieder etwas, schließlich wird der Druckbeiwert wieder positiv.

In Bild 3a ist das Integral über die Drücke in Schiffslängsrichtung

$$\int_{v_L}^{\xi} \frac{K_x df}{\frac{\rho}{2} v^2 S}$$

dargestellt (  $S$ = Körperoberfläche). Man sieht, daß der Überdruck auf das Vorschiff bei wachsendem  $s$  durch Unterdrücke schnell kompensiert wird. Im Mittschiffsbereich herrscht schließlich eine Zugkraft nach vorn. Im Hinterschiff ist der Verlauf ähnlich. Nach der Addition sämtlicher Flächenelemente bleibt eine Restkraft als numerischer Fehler, der relativ klein ist.

### 3.4. Gemessene und gerechnete Geschwindigkeitsprofile

Im Verlauf der Messungen an der Großausführung im Jahr 1967 [6] wurde an einer Stelle (40 m hinter dem Bug in 2 m wassertiefe) ein Geschwindigkeitsprofil aufgenommen. Während in [6] hauptsächlich das Profil im Grenzschichtbereich interessiert, soll hier in erster Linie auf den Verlauf außerhalb der Grenzschicht eingegangen werden. In [6] wird die Übergeschwindigkeit am Grenzschichtrand mit fast 10 % angegeben. Die Rechnung zeigt an der gleichen Stelle auf der Körperoberfläche eine Übergeschwindigkeit von nur 4,4 %. Die Differenz läßt sich auch durch die Oberflächenrauigkeit nicht recht erklären. Im folgenden sollen nur die Messungen von Bronczkowski [7] am glatten Windkanalmodell mit den Rechnungen verglichen werden.

Die gerechneten Profile wurden mit der Einteilung des Schiffes in 455 Flächenelemente erzeugt, während die gemessenen Profile teils mit einem Pitotrohr (Betragsmessungen) und anderenteils mit einer 5-Loch-Sonde (Richtungsmessungen) aufgenommen wurden. An den Stellen, an denen mit beiden Geräten gemessen wurde, ist ein kleiner systematischer Meßfehler zu erkennen; es zeigt sich nämlich, daß die mit dem Pitotrohr gemessenen Absolutgeschwindigkeiten stets über den mit der 5-Loch-Sonde gemessenen liegen (Bilder 5 und 8). Ferner erkennt man an den Stellen, an denen Richtungsmessungen vorgenommen wurden (Bilder 5 und 8), daß die Achse des Modells nicht genau in der Achse des Windkanals liegt, es ist nämlich ein Durchfluß durch die Mittschiffsebene und die oberste Wasserlinienebene, die beide Symmetrieebenen sein sollten, feststellbar. In der Rechnung wurde dagegen die Symmetriebedingung exakt eingehalten.

Spant 105 ist der vorderste Spant, an dem Geschwindigkeitsprofile gemessen und gerechnet wurden. In Bild 4 sind die Abweichungen des Geschwindigkeitsbetrags von der Anströmgeschwindigkeit in Prozent über dem Wandabstand aufgetragen. (Die Maßangaben beim Wandabstand beziehen sich auf einen Maßstab von 1:30 = Modellmaßstab). Der Geschwindigkeitsabfall am Beginn der Grenzschicht ist deutlich zu erkennen. Weiter außen stimmt die Tendenz der gerechneten und der gemessenen Profile überein. Die Beträge unterscheiden sich dort bis zu 2 %. Zu erwähnen

ist auch die bereits im vorderen Bereich des Schiffes erkennbare dicke Grenzschicht in Kielnähe. Eine Erklärung für diese Erscheinung ist bereits aus den Stromlinien (Bild 2a) möglich, man sieht nämlich, daß sämtliche Stromlinien in Kielnähe zur Mitte zeigen, so daß das abgebremste Grenzschichtmaterial zur Mitte transportiert wird und sich am Kiel sammelt. Diese Tendenz ist an den folgenden Spanten 82,5 (Bild 6) und 65 (Bild 7) noch verstärkt.

Am Spant 95 (Bild 5) wurden neben den Rechnungen sowohl Messungen mit dem Pitotrohr als auch mit einer 5-Loch-Sonde durchgeführt, mit der die Geschwindigkeit nach Größe und Richtung festgestellt werden kann. Die Profile der Geschwindigkeitsbeträge wurden für drei verschiedene Stellen aufgezeichnet. Hier liegen die gerechneten Werte - von der Grenzschicht abgesehen - zwischen den nach den beiden erwähnten Meßverfahren gewonnenen Werten. Dies Ergebnis zeigt deutlich, daß eine Differenz bis etwa 2 % von der Anströmgeschwindigkeit noch kein ernstzunehmender Unterschied ist. Wesentlicher ist die gleichartige Tendenz der Kurven, die auch hier noch beobachtet werden kann. Die am Spantverlauf aufgezeichneten Profile des Geschwindigkeitsanteils in Spantrichtung  $V_{spt}$  zeigt an den meisten Stellen eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den gerechneten und mit der 5-Loch-Sonde gemessenen Werten. Insbesondere liegt der Umschlagpunkt von der Aufwärtsströmung zur Abwärtsströmung (im am Spant anliegenden Koordinatensystem) im gleichen Bereich zwischen a und b. Mit dem Übergang zum Spant 55 (Bild 8) ist die Hauptspantebene überschritten. Die errechneten Geschwindigkeitsbeträge fallen mit wachsendem Wandabstand kaum ab; das gleiche Bild zeigen die mit dem Pitotrohr aufgenommenen Werte, während die mit der 5-Loch-Sonde gewonnenen Kurven etwas unruhiger verlaufen. Die errechneten Quergeschwindigkeiten sind sehr klein; zur besseren Darstellung wurde der Zeichenmaßstab vergrößert. Der Verlauf der gemessenen Quergeschwindigkeiten zeigt hier schon ein wesentlich anderes Bild, und zwar innerhalb und außerhalb der dicker gewordenen Grenzschicht.

An den folgenden Spanten 35 (Bild 9), 20 (Bild 10) und 10 (Bild 11) steigt die Differenz zwischen den gerechneten und den mit dem Pitotrohr gemessenen Werten ständig. (Hier besitzt die Grenz-

schicht auch bereits eine erhebliche Dicke). Möglicherweise würde in einer Rechnung, die auch die Verdrängungsdicke berücksichtigt, eine bessere Übereinstimmung herzustellen sein. Aus Zeitgründen wurde eine solche Rechnung nicht durchgeführt.

Die errechneten Profile am Spant 10 zeigen einen bemerkenswerten Verlauf: Von einem Wert, der größer als die Anströmgeschwindigkeit ist, fällt der Geschwindigkeitsbetrag in einiger Entfernung von der Schiffsaußenhaut auf einen Betrag ab, der kleiner als die Anströmgeschwindigkeit ist; erst in größerer Entfernung vom Schiff wird die ungestörte Geschwindigkeit asymptotisch erreicht. Da die Geschwindigkeit unmittelbar mit dem Flüssigkeitsdruck zusammenhängt, besitzt auch der Druckverlauf diese eigentümliche Form. Allerdings konnten diese Profile in der Messung nicht nachgewiesen werden.

### 3.5. Messungen und Rechnungen im Nachstrom

Für die Berechnung des Propellers interessiert üblicherweise die Strömungsgeschwindigkeit und -richtung in der Ebene, in der der Propeller arbeiten soll. Bei der "Meteor" wurde für die Messungen [1] jedoch eine Ebene gewählt, die vor der Propellerebene liegt. Da das Schiff mit einer Grim'schen Welle ausgestattet ist, entspricht diese Ebene bezüglich ihrer Lage zum Schiffskörper eher der üblichen Anordnung von Propeller und Rumpf (vgl. Bild 12) Außerdem erlaubte diese Maßnahme, Messungen mit und ohne Propeller bei der Großausführung durchzuführen.

Die in [1] beschriebenen Messungen enthalten neben den Verdrängungs- und Zähigkeitseinflüssen auch Einflüsse der freien Oberfläche. Nach Ergebnissen von Yagamata (in einem Vortrag von Dickmann [4]) sind Mitstromschwankungen bis zu 5 % abhängig von der Lage der Heckwelle zu erwarten. Nach Weitbrecht [8] beträgt der Anteil der Orbitalbewegung der Welle am Mitstrom bei V-spantigen Schiffen im unteren Bereich der Propellerebene 2 % und im oberen Bereich 7 %. Außerdem wurden die Messungen mit Prandtl-Rohren vorgenommen, die nur die Feststellung von

an den Messungen in der Ebene I (Bild 18) zu erkennen. Hier verringern sich ebenso wie in der Potentialtheorie die maximalen Differenzen.

Die Messungen an der Großausführung wurden bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten (5,8 , 8,3 und 11,4 km) und somit unterschiedlichen Reynolds- und Froude-Zahlen durchgeführt. Dennoch lassen sich die Unterschiede der an bestimmten Punkten gemessenen Geschwindigkeiten nicht ausschließlich auf diese verschiedenen Ähnlichkeitszahlen zurückführen, da die Tendenz nicht einheitlich ist. Vielmehr haben sie ihre Ursache in instationären Einflüssen aus der turbulenten Grenzschicht. Deshalb ist es gerechtfertigt, anstelle der gemessenen Daten gemittelte Werte in Bild 19 aufzutragen. Dabei fällt zunächst auf, daß am zweitinnersten Radius beim Modell ( $r/R_a=0,478$ ) und am innersten Radius bei der Großausführung ( $r/R_g=0,348$ ) die größten Geschwindigkeiten auftreten; hier liegen sie sogar teilweise über 1. Der beim Modell stärkere Abfall der Geschwindigkeit am Totholz könnte durch die um 2 Zehnerpotenzen geringere Reynolds-Zahl erklärt werden. Hier zeigt sich, daß die Strömung bei höherer Reynolds-Zahl der Potentialströmung ähnlicher wird.

Weiteren Aufschluß gibt die Berechnung der mittleren Geschwindigkeit  $V_m$ , die sich durch numerische Auswertung der Formel

$$V_m = \frac{2}{r_a^2 - r_i^2} \int_{r_i}^{r_a} r \cdot a_0(r) dr$$

mit  $a_0(r)$  = mittlere Geschwindigkeit/Anströmgeschwindigkeit auf einem Radius

ergibt. Die Integration wurde in allen Fällen von  $r_i=0,241 \cdot R_a$  bis  $1,01 \cdot R_g$  durchgeführt. Zum Vergleich werden hier alle berechneten mittleren Geschwindigkeiten aufgeführt.

		$V_m(x\text{-Richt.})$	$ V _m^{1)}$
Windkanalmodell	$Re = 4,9 \cdot 10^6$	0,808	0,853
HSVA-Modell	$Re = 3,6-7,1 \cdot 10^6$		0,837
Großausführung	$Re = 1,8-3,6 \cdot 10^8$		0,896
Rechnung: a)mit Anh.		0,869	0,879
b)ohne Anh.		0,836	0,894

---

1) Die mittlere Absolutgeschwindigkeit wird nur zum Vergleich mit den Messungen der HSVA angeführt. Es können keine weiteren Schlüsse aus diesen Zahlen gezogen werden.

Aus der mittleren Geschwindigkeit in x-Richtung kann die Nachstromziffer gebildet werden. Der Einfluß der Anhänge beträgt hier etwa 2 %. Die bei nahezu gleichen Reynolds-Zahlen gemessenen Modellwerte zeigen auch in der mittleren Absolutgeschwindigkeit eine gute Übereinstimmung, obwohl beim HSVA-Modell ein Einfluß der freien Oberfläche vorhanden ist, der beim Windkanalmodell entfällt. Entsprechend der höheren Reynolds-Zahl ist die mittlere Absolutgeschwindigkeit bei der Großausführung höher. Der Vergleich mit dem entsprechenden potentialtheoretischen Wert (Rechnung mit Anhängen) zeigt einen Unterschied von etwa 2 %. Zähigkeits und Oberflächeneinflüsse scheinen sich ungefähr aufzuheben.

#### 4. Folgerungen

Eine Grenze für die Gültigkeit der Potentialtheorie kann nicht festgestellt werden. Insbesondere scheinen die zum Vergleich herangezogenen Messungen nicht genau genug. Mit Sicherheit können die im letzten Drittel der Schiffslänge gewonnenen Ergebnisse nicht mehr als sinnvoll angesehen werden. Dort liegt die tatsächliche Geschwindigkeit außerhalb der Grenzschicht höher. Ferner stellte es sich heraus, daß der Effekt der freien Wasseroberfläche von gleicher Größenordnung wie der Verdrängungseffekt ist.

In der ~~der~~ Propellerebene beruht die trotz allem gute Übereinstimmung der mittleren Absolutgeschwindigkeiten darauf, daß sich störende Einflüsse aufheben. Dieser Schluß ist jedoch nur für die Schiffsförm der "Meteor" nachgewiesen.

Die vorliegende Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft ermöglicht. Sie wurde von den Professoren Dr. K. Wieghardt und Dr.-Ing. W.H. Isay angeregt und unterstützt.

Die Durchführung der umfangreichen Rechnungen wurde durch das freundliche Entgegenkommen der CONTROL DATA G.m.b.H. und des Rechenzentrums des Deutschen Elektronen-Synchrotrons ermöglicht.

Der Verfasser dankt an dieser Stelle allen, die an dem Erfolg dieser Forschungsarbeit mitgewirkt haben.

Schrifttum

- [1] Andersson, Pylkkänen, Schwanecke: Ergebnisse der Strömungsmessungen im Propellerbereich F.S. "Meteor"  
HSVA-Bericht F 30/69
- [2] Grothues-Spork Modellfamilien-Untersuchungen über das Forschungsschiff "Meteor" und einen Tanker, Jahrbuch STG 1965
- [3] Nowacki Potentialtheoretische Strömungs- und Sogberechnungen für schiffsähnliche Körper, Jahrbuch STG 1963
- [4] Dickmann Wechselwirkung zwischen Schiff und Propeller unter besonderer Berücksichtigung des Welleneinflusses, Jahrbuch STG 1939
- [5] Hess, Smith Calculation of Non-Lifting Potential Flow about Arbitrary Three-Dimensional Bodies, Report Nr. E.S. 40622 Douglas Aircraft Co. 1962
- [6] Schuster, Grothues-Spork, Thieme, Schwanecke, Wieghardt Meteor-Meßfahrten 1967, Jahrbuch STG 1968
- [7] Bronczkowski Messungen in der 3-dimensionalen Grenzschicht eines Doppelmodells des Forschungsschiffes "Meteor" im Windkanal, Diplomarbeit am Institut für Schiffbau, Hamburg, erscheint 1971
- [8] Weitbrecht Über Mitstrom und Mitstromschrauben Jahrbuch STG 1931
- [9] Oberembt Beschreibung eines Fortran-IV-Programms zur Berechnung der potentialtheoretischen Geschwindigkeitsverteilung um einen gleichförmig bewegten Körper in unbegrenzter Strömung nach dem Verfahren von Hess und Smith, IfS-Schrift 2174 1970

Bild 2a

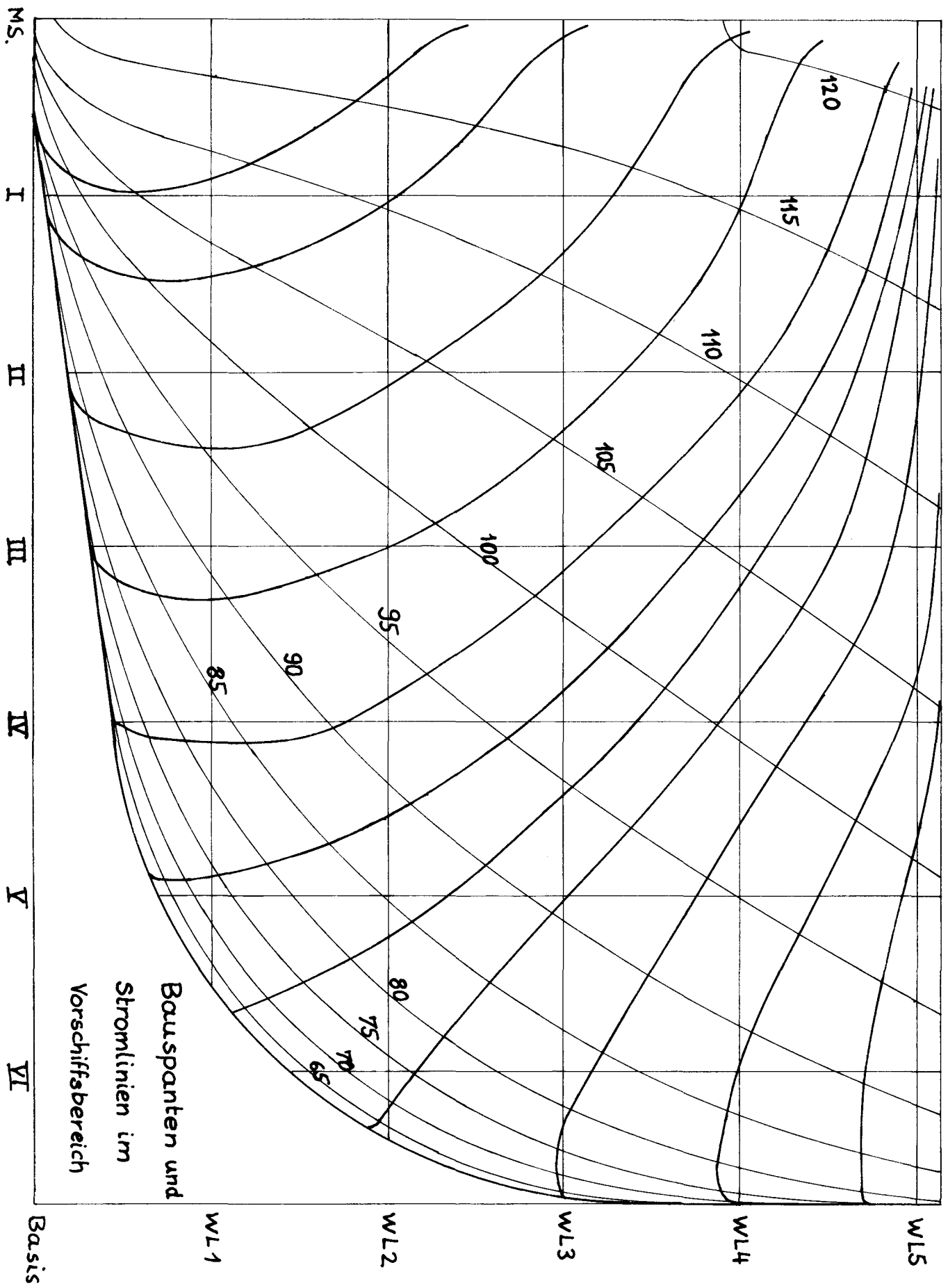
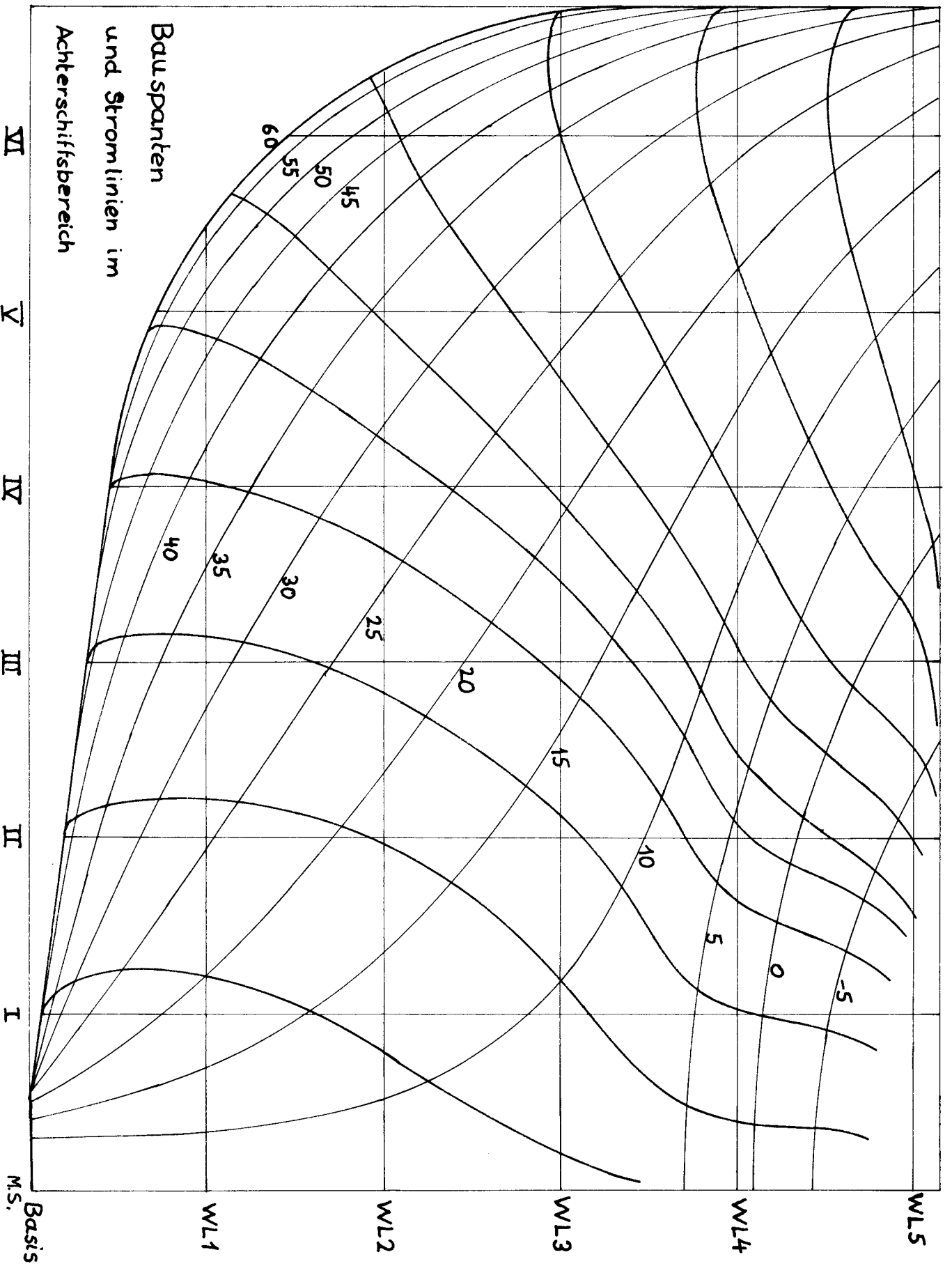


Bild 2b



Bauspannen

und Stromlinien im

Achterschiffsbereich

VI

V

IV

III

II

I

MS, Basis

WL1

WL2

WL3

WL4

WL5

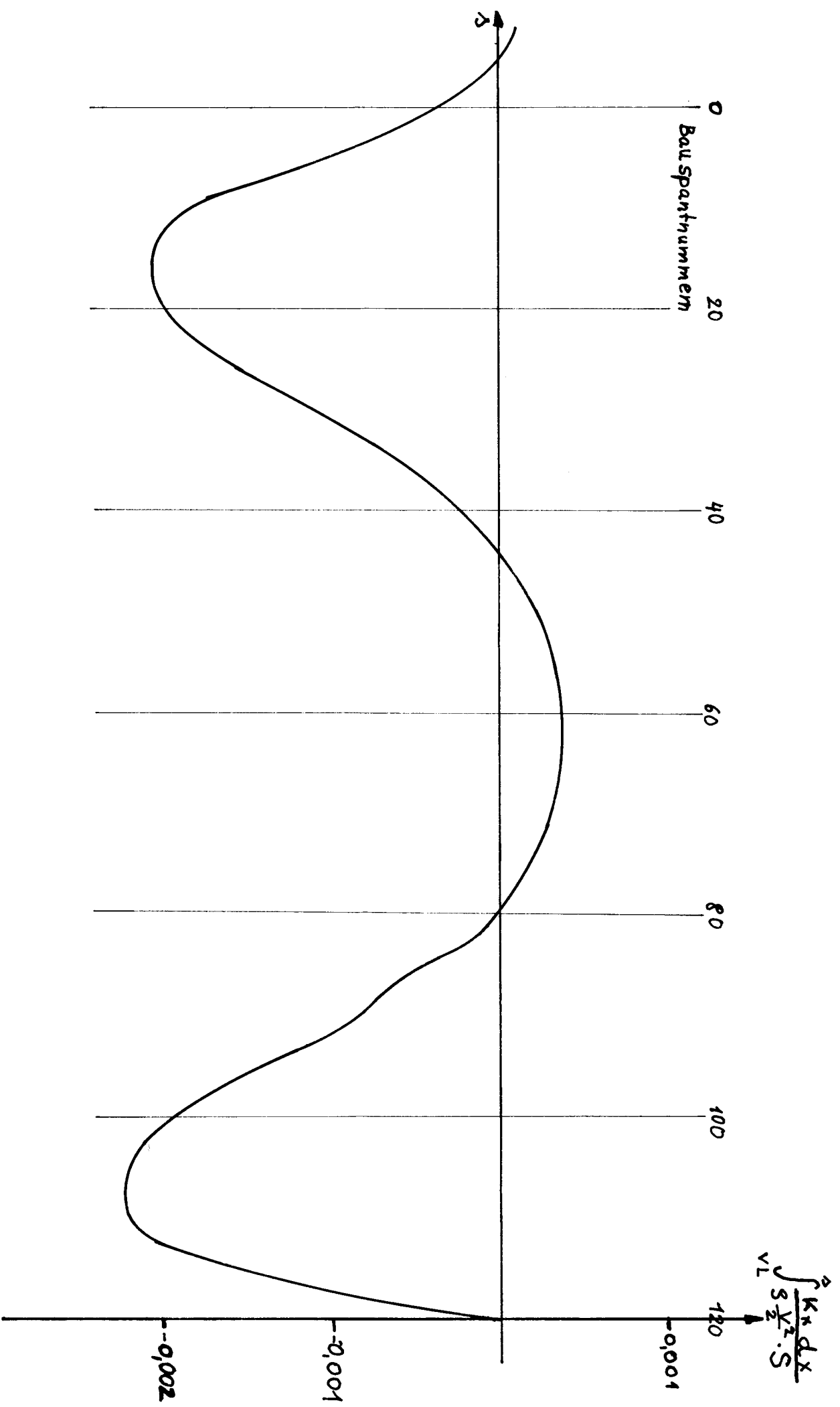


Bild 3 a

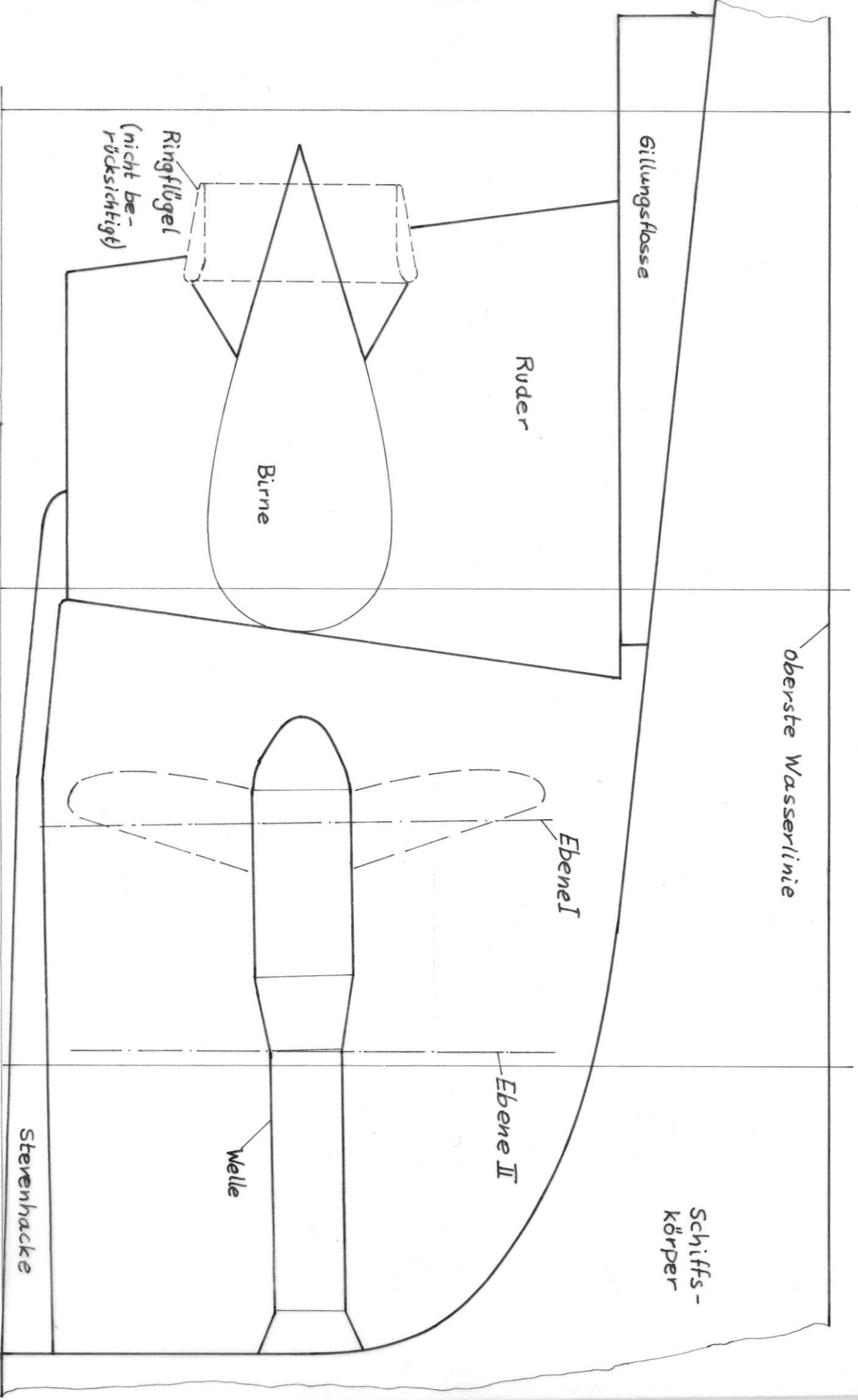


Bild 12

Anhänge im Hinterschiffsbereich

Maßstab 1:30

Potentialnachstrom in Ebene II  
(455 Elemente)

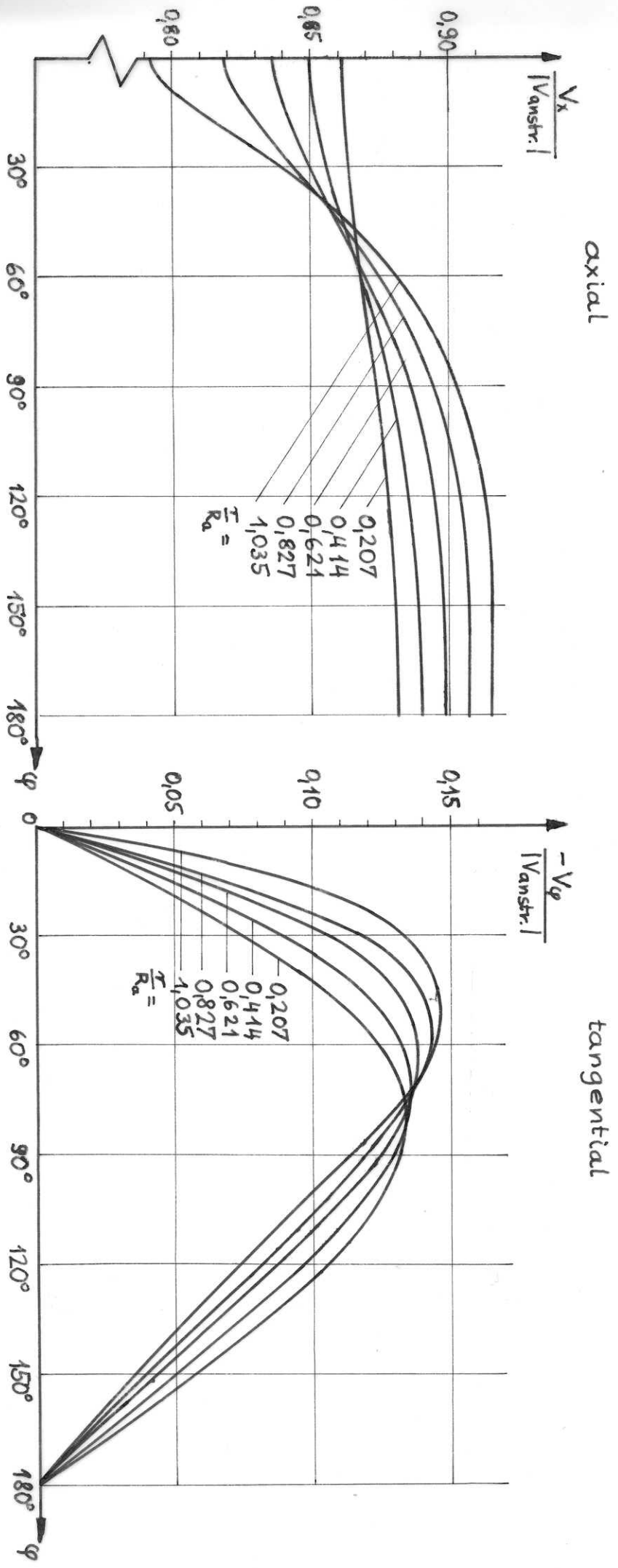


Bild 13

Potentialnachstrom in Ebene I  
 (455 Elemente)

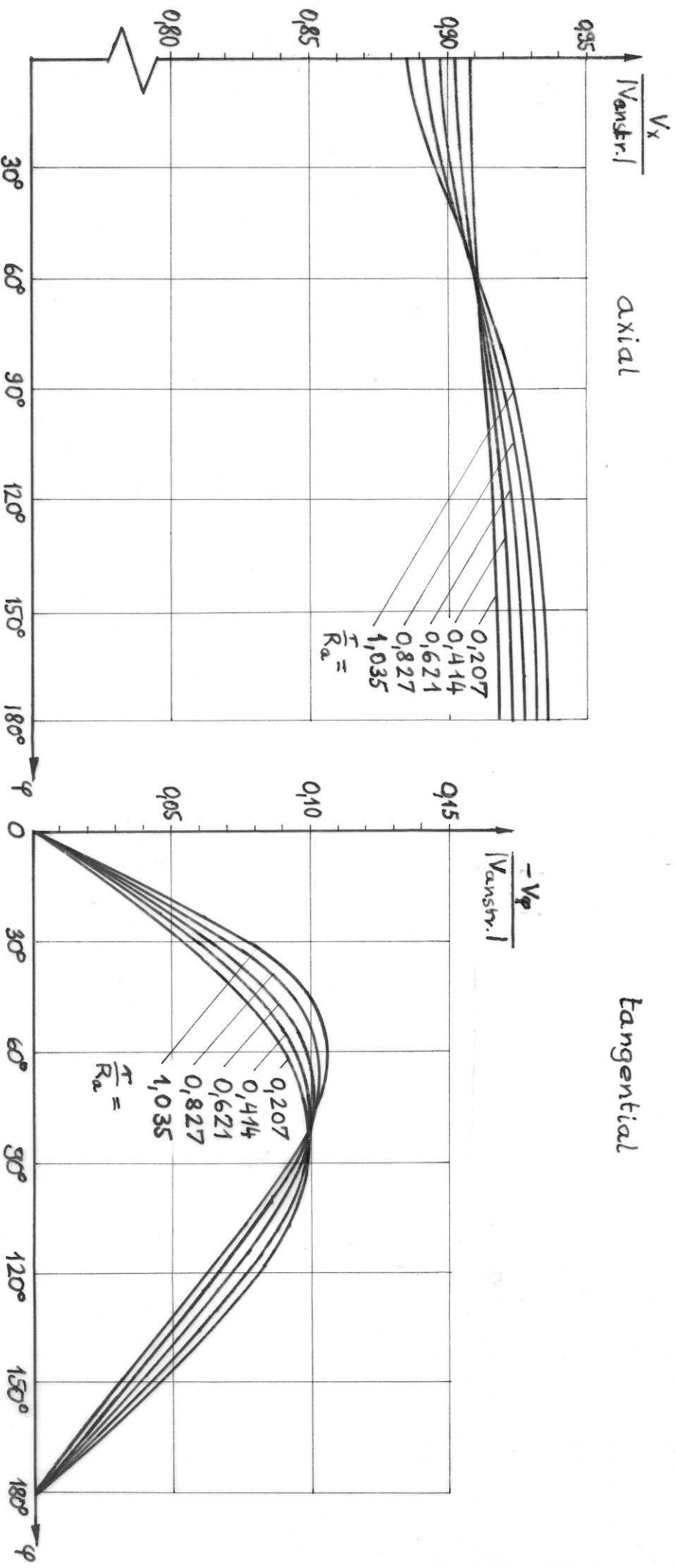


Bild 14

Potentialnachstrom in Ebene I  
 (455 Elemente)

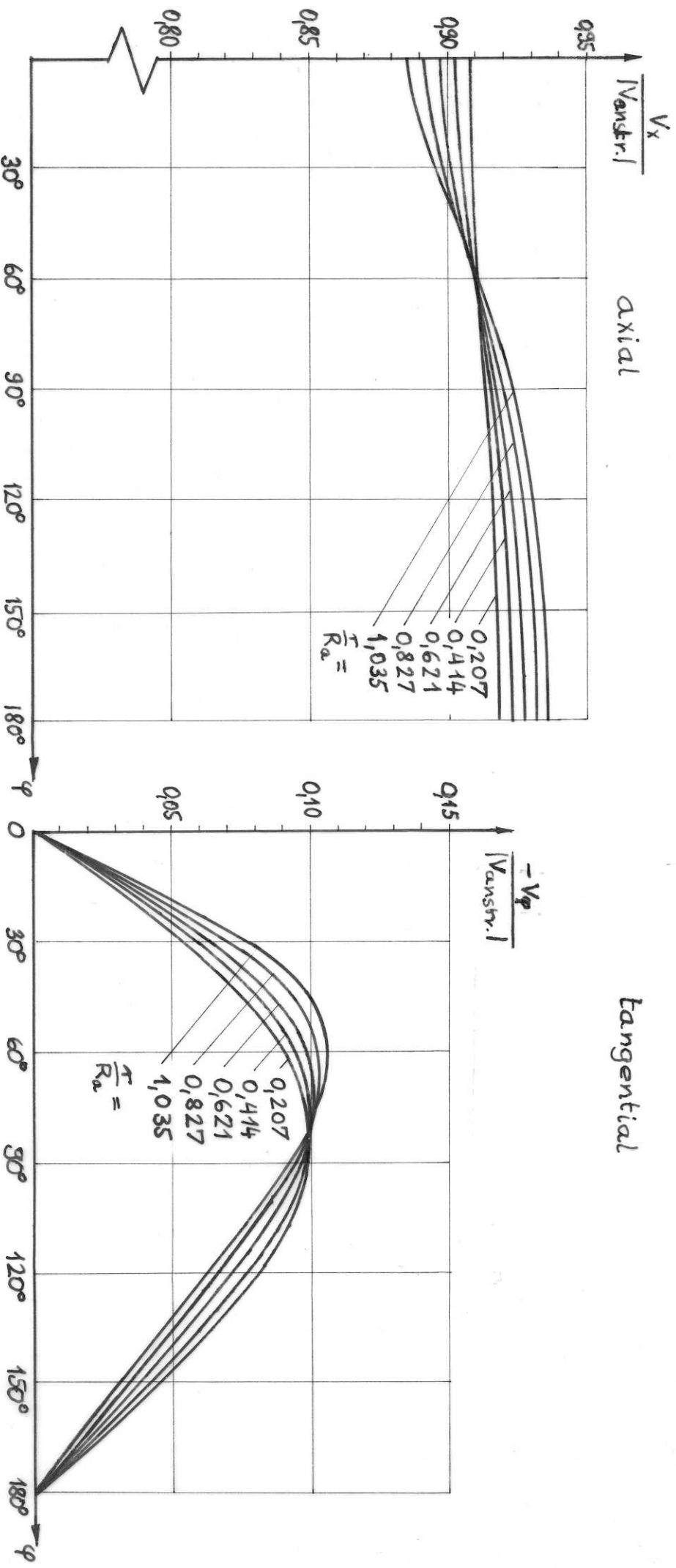


Bild 14

Potentialnachstrom in Ebene II  
 ( 543 Elemente )

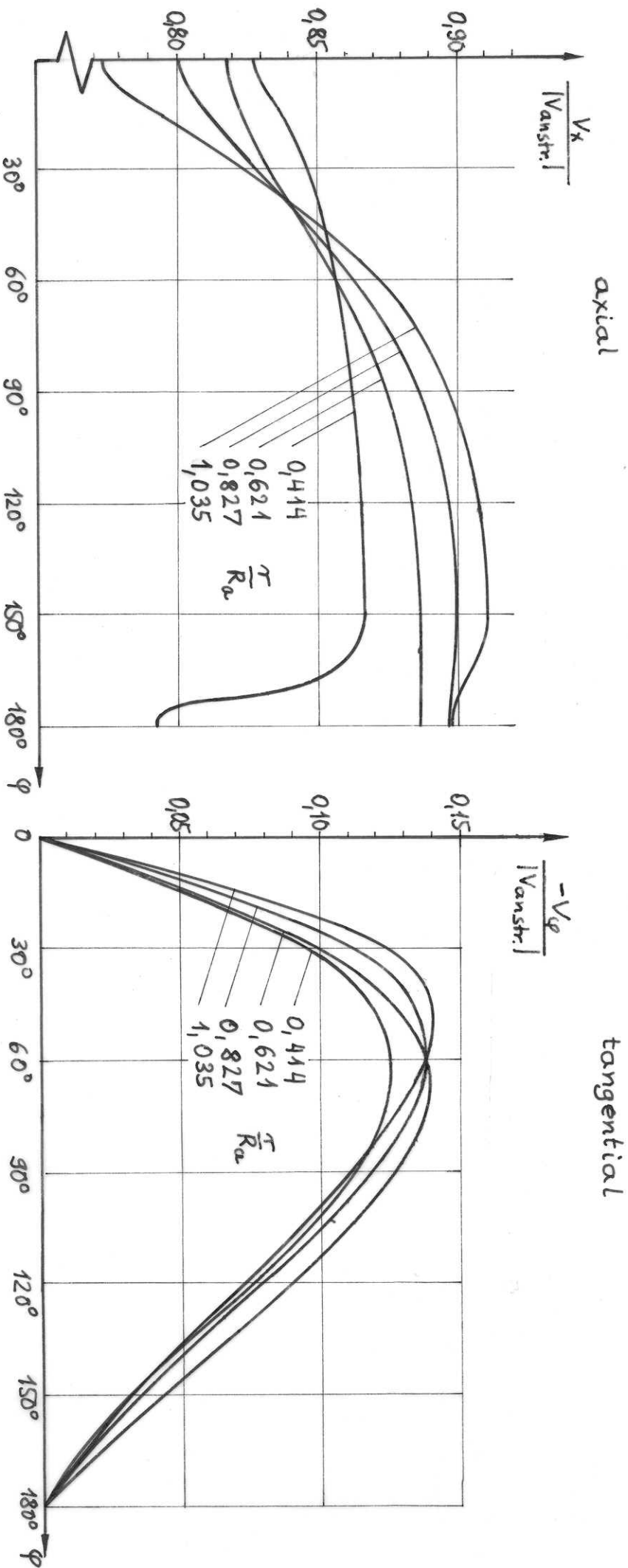


Bild 15

Potentialnachstrom in Ebene I

(543 Elemente)

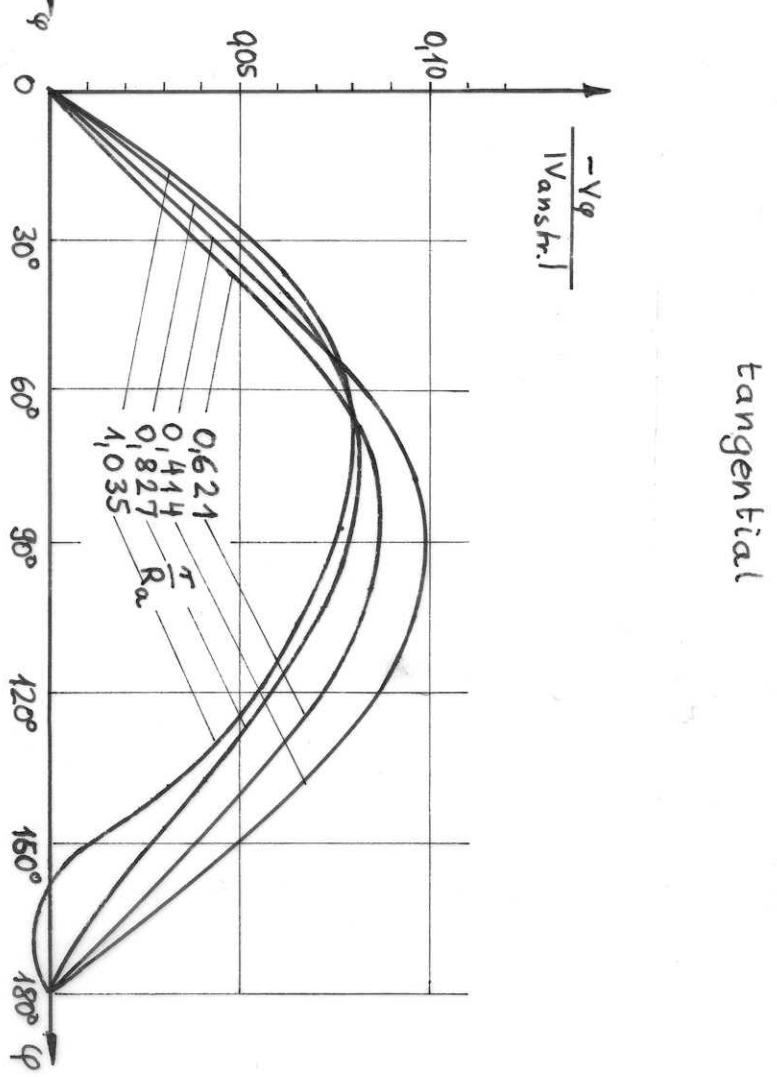
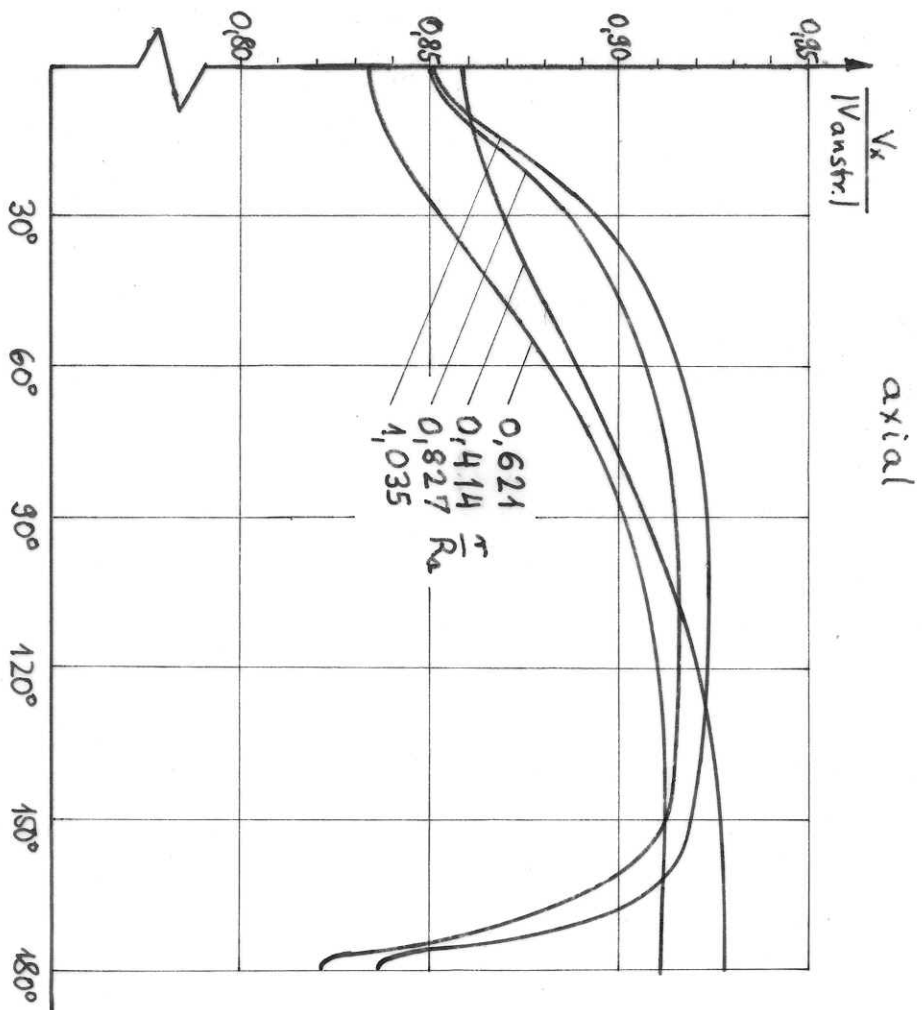


Bild 16

Am Windkanalmodell gemessener Nachstrom in Ebene II

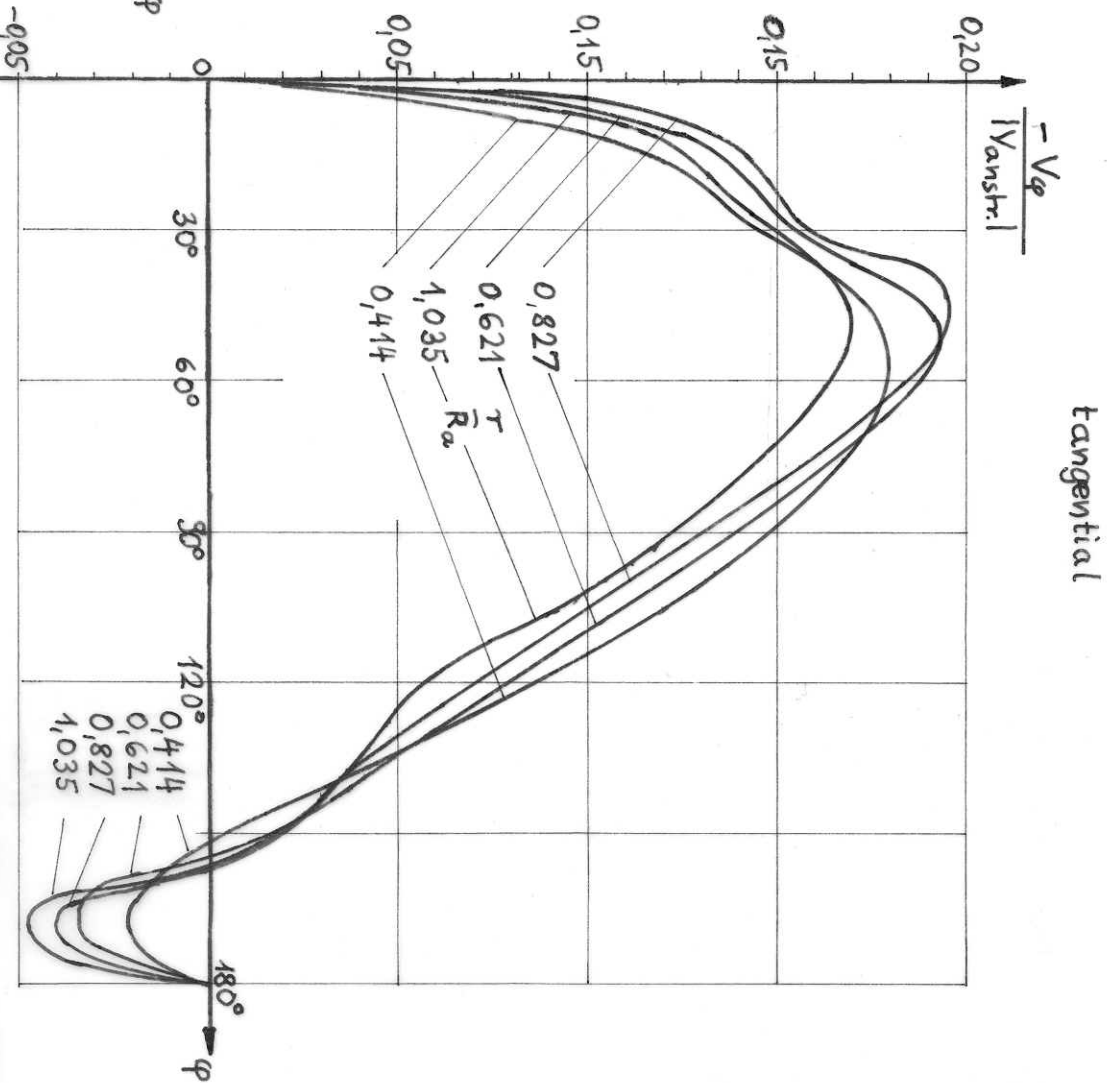
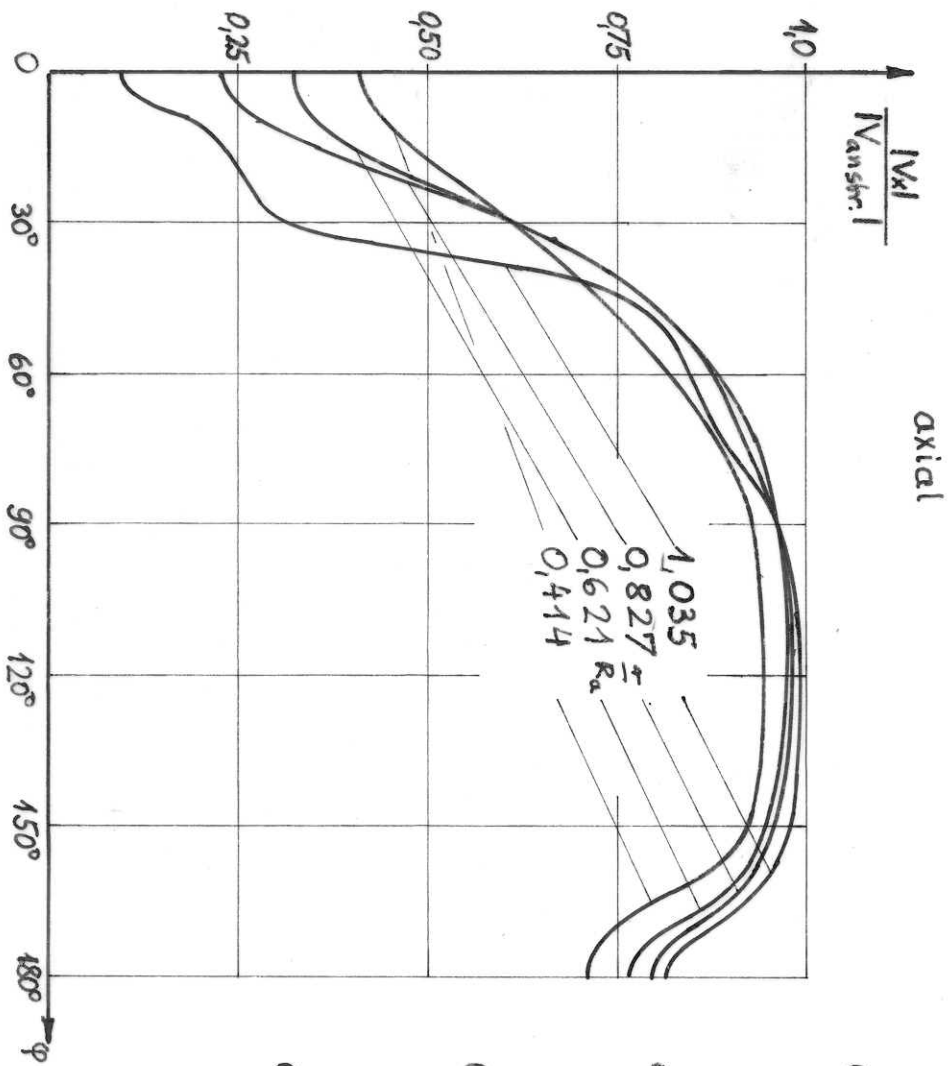
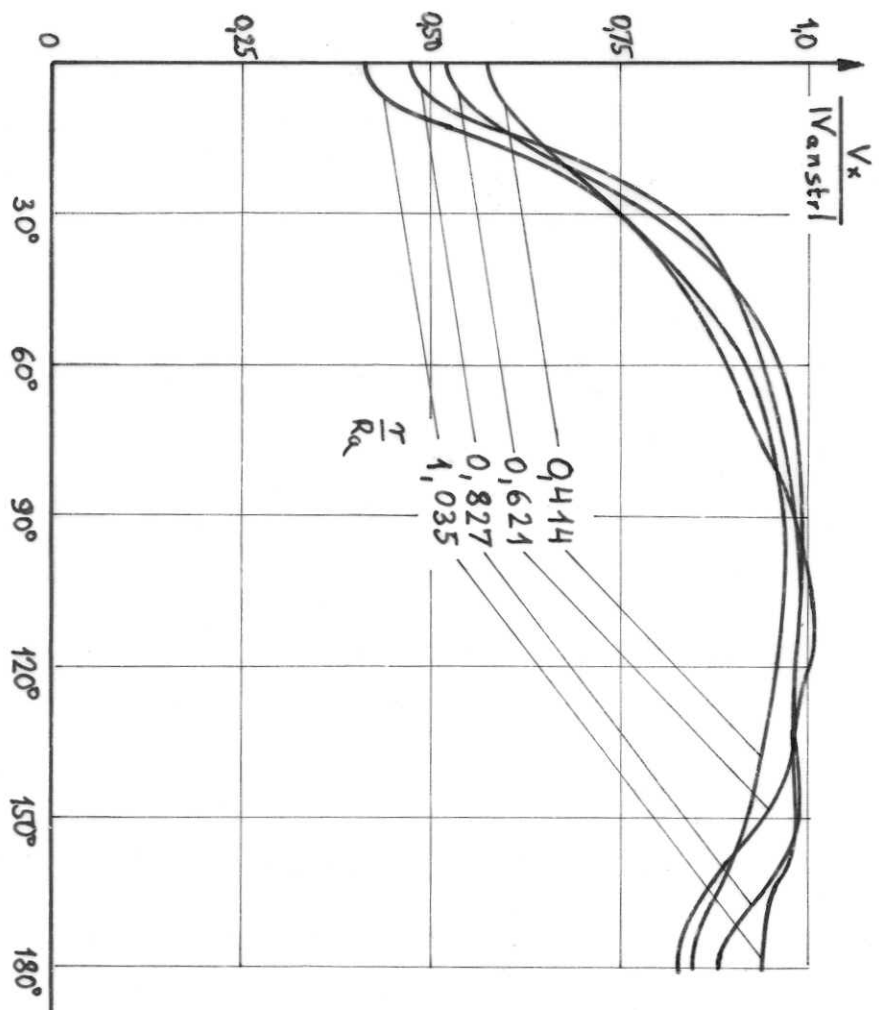


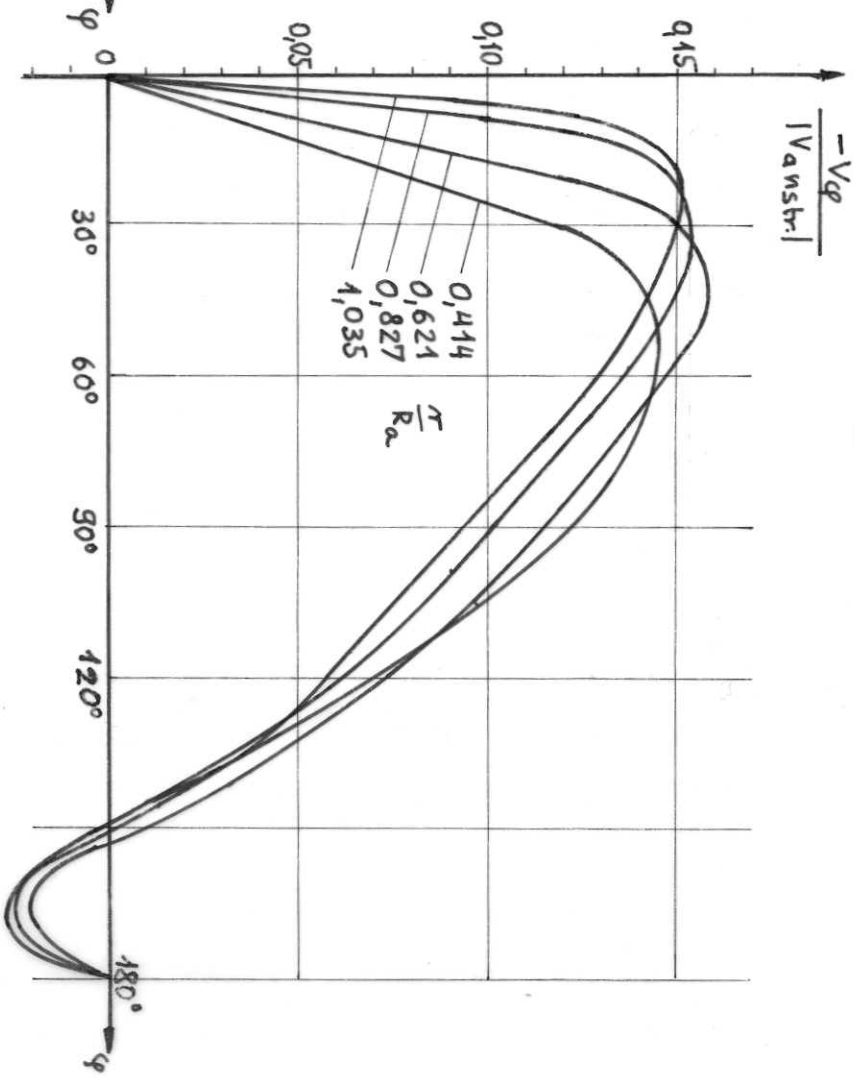
Bild 17

Am Windkanalmodell gemessener Nachstrom in Ebene I

axial



tangential



Gemittelter Nachstrom der Grobausführung

Gemittelter Nachstrom des Modells 1:14

in Ebene II

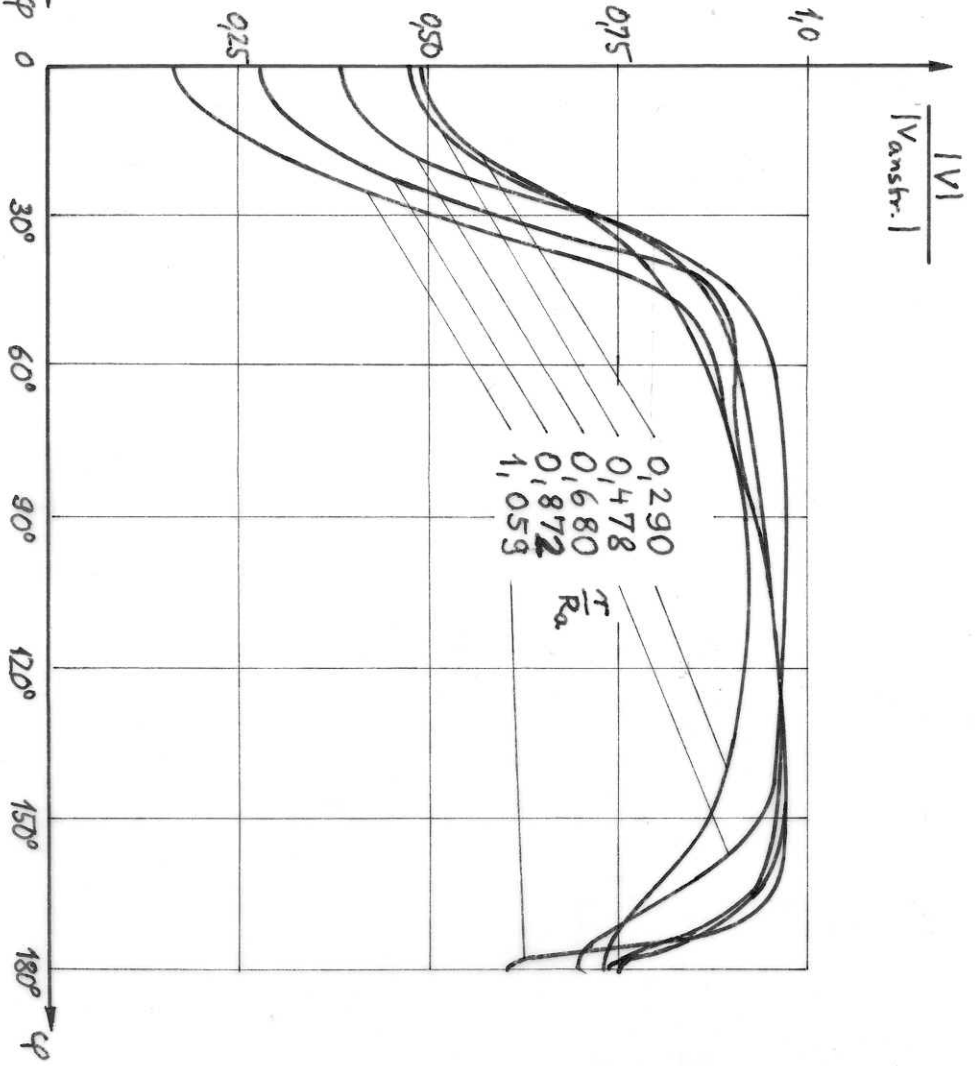
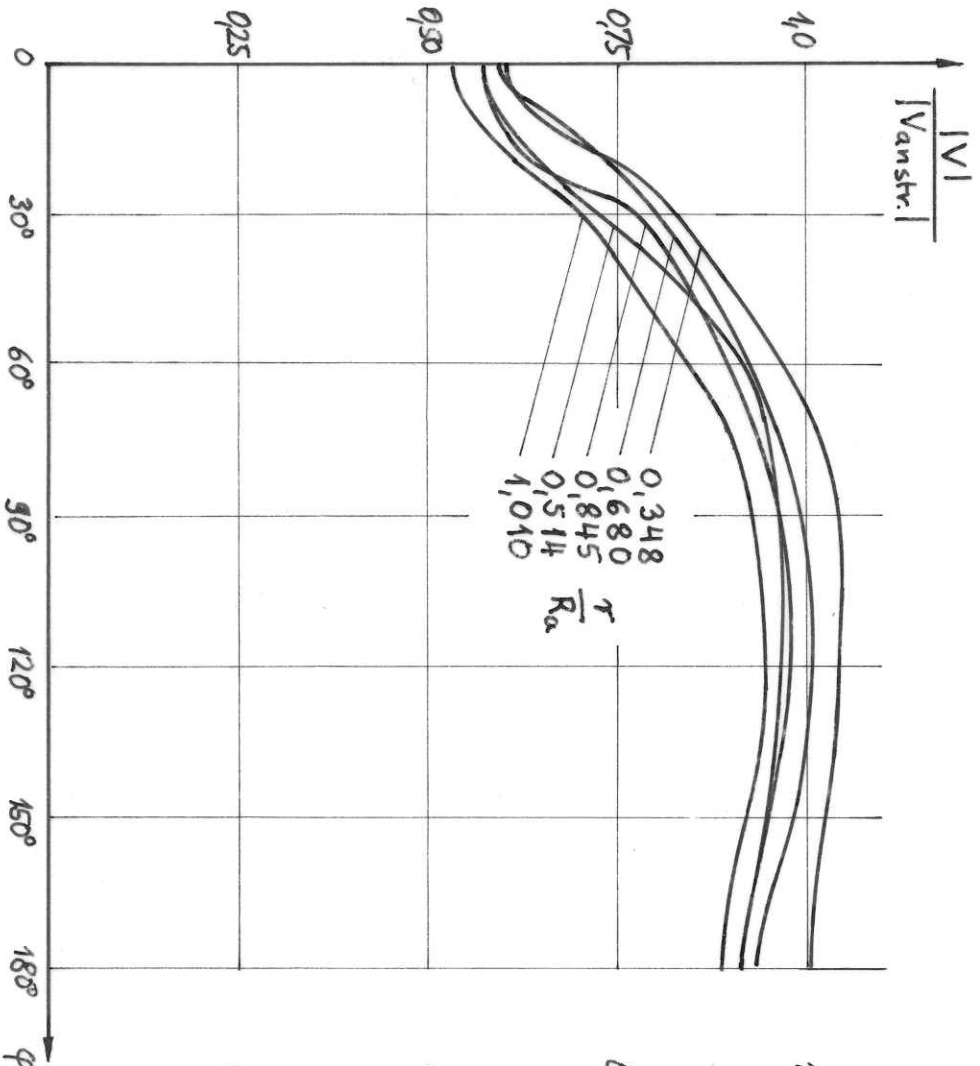
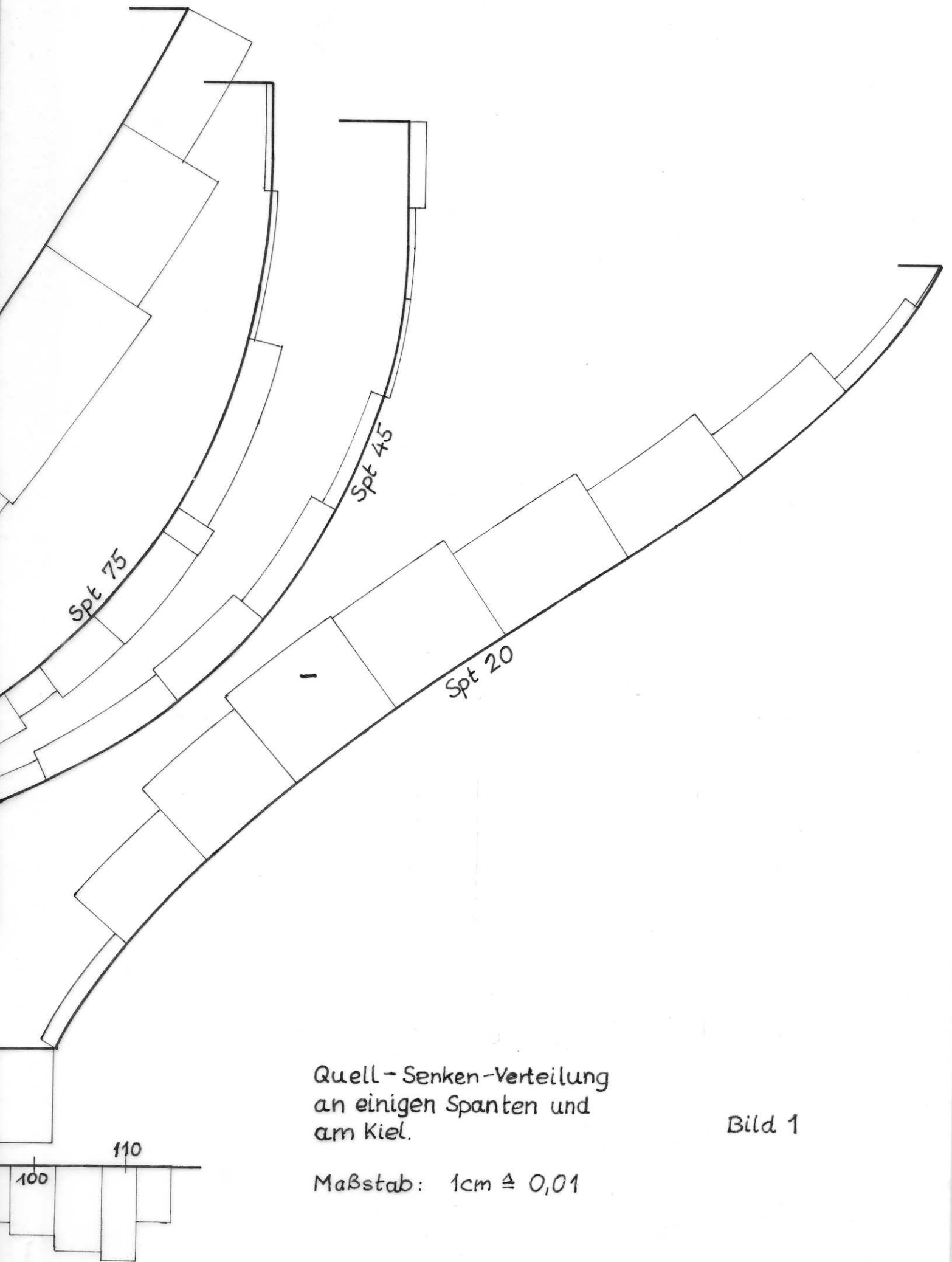
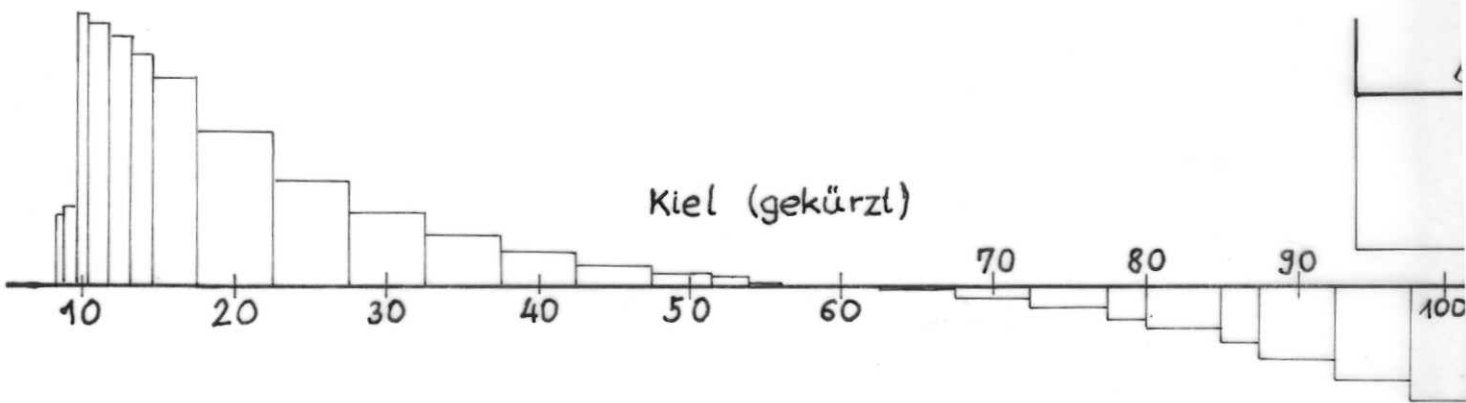
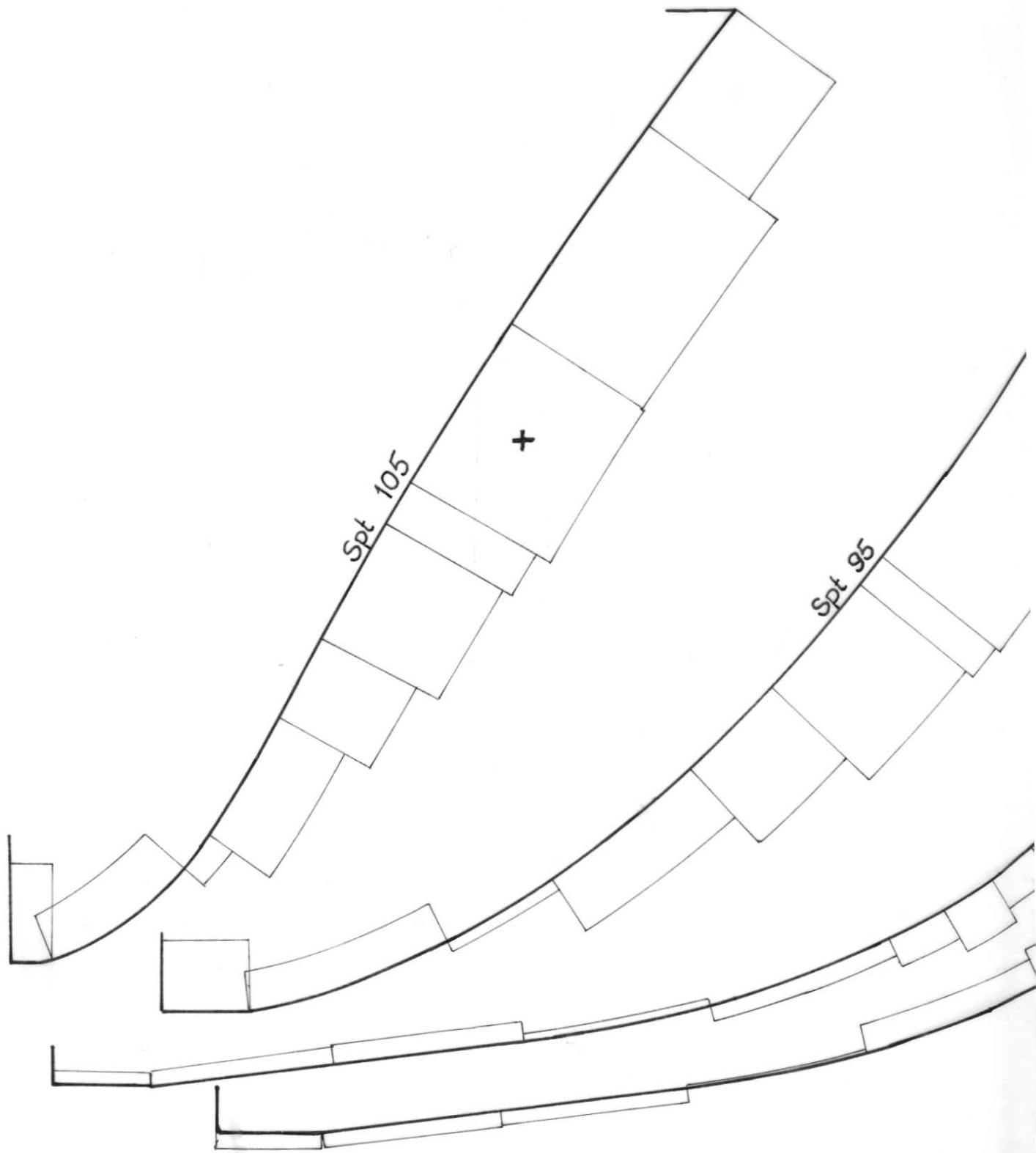


Bild 19





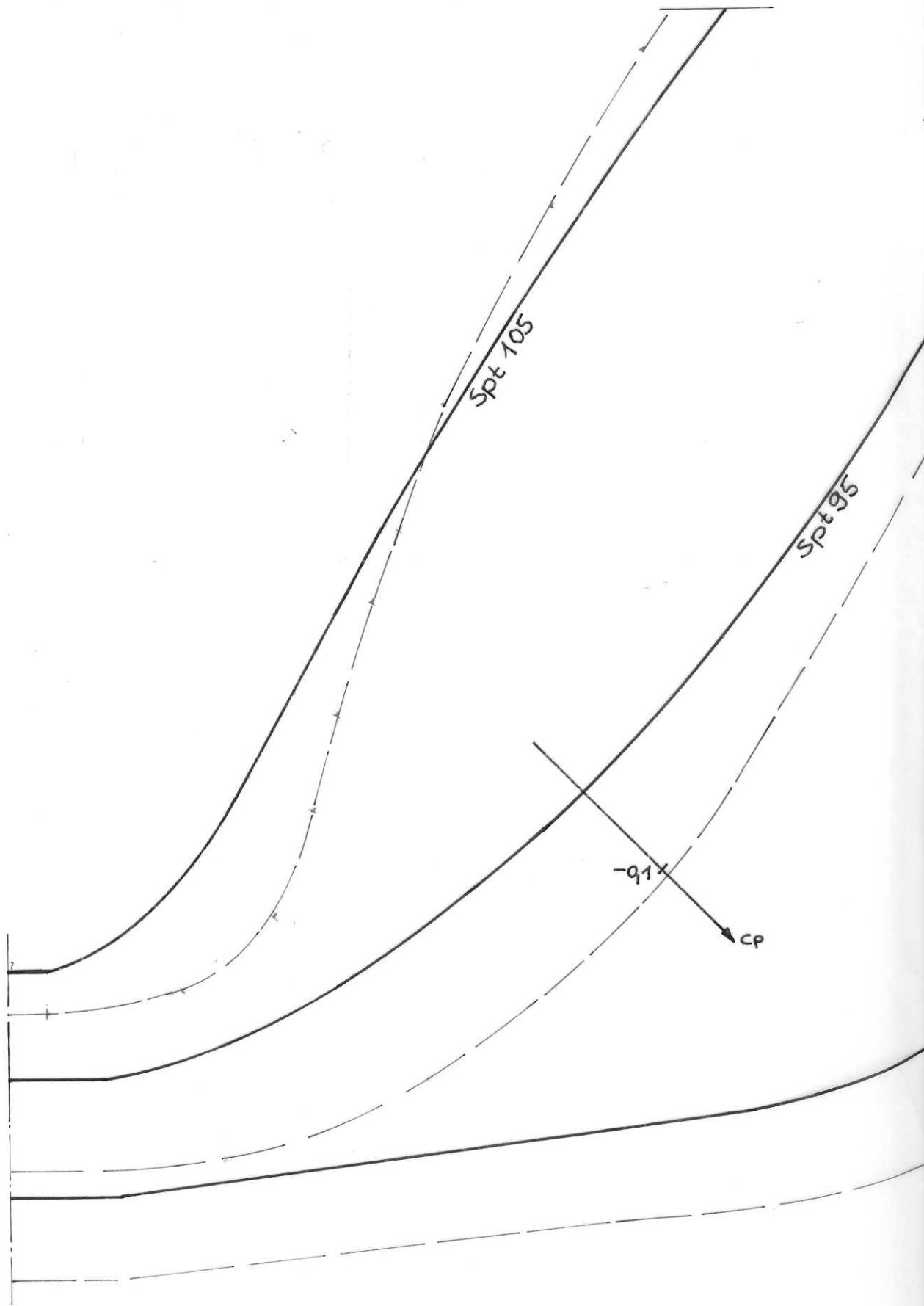
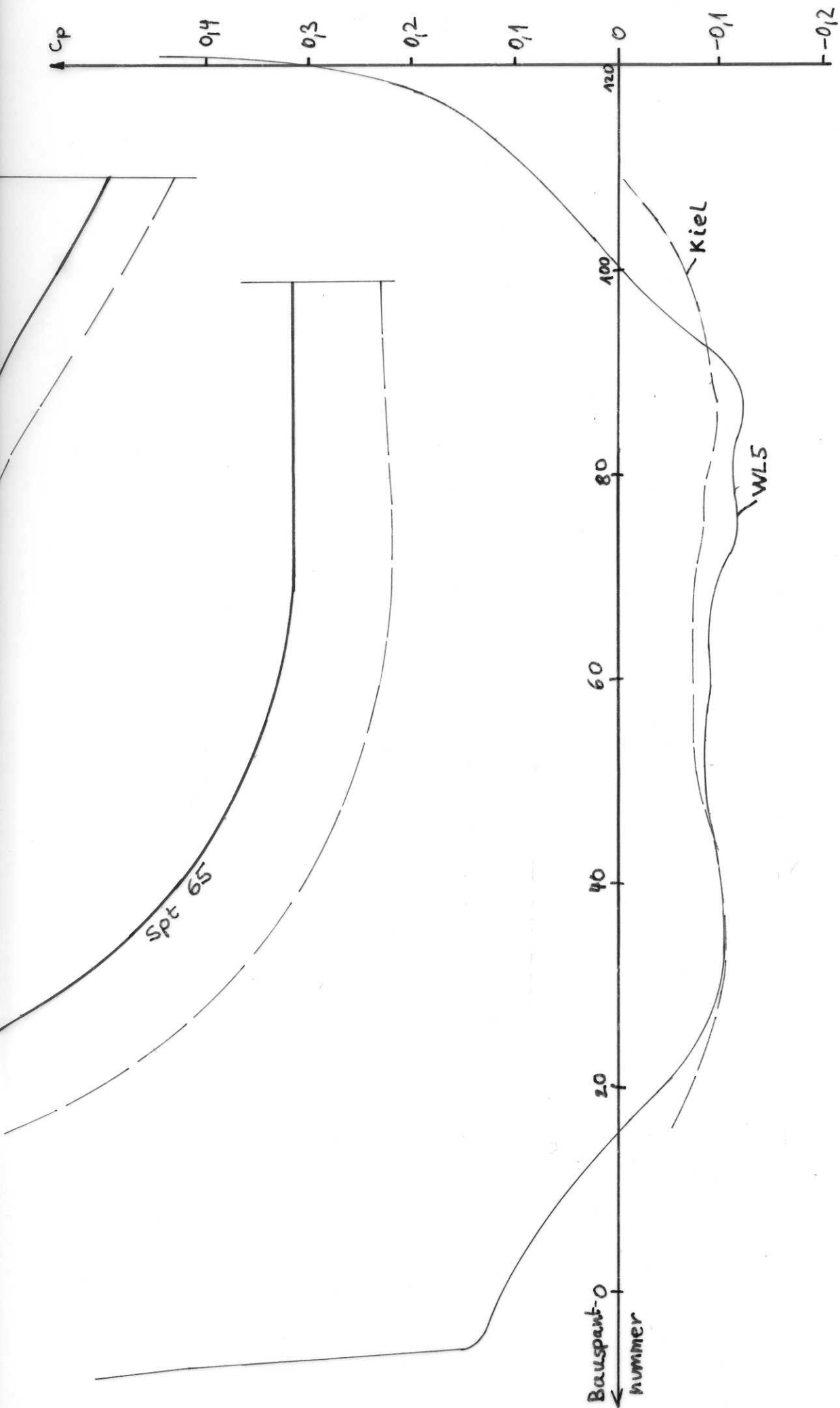
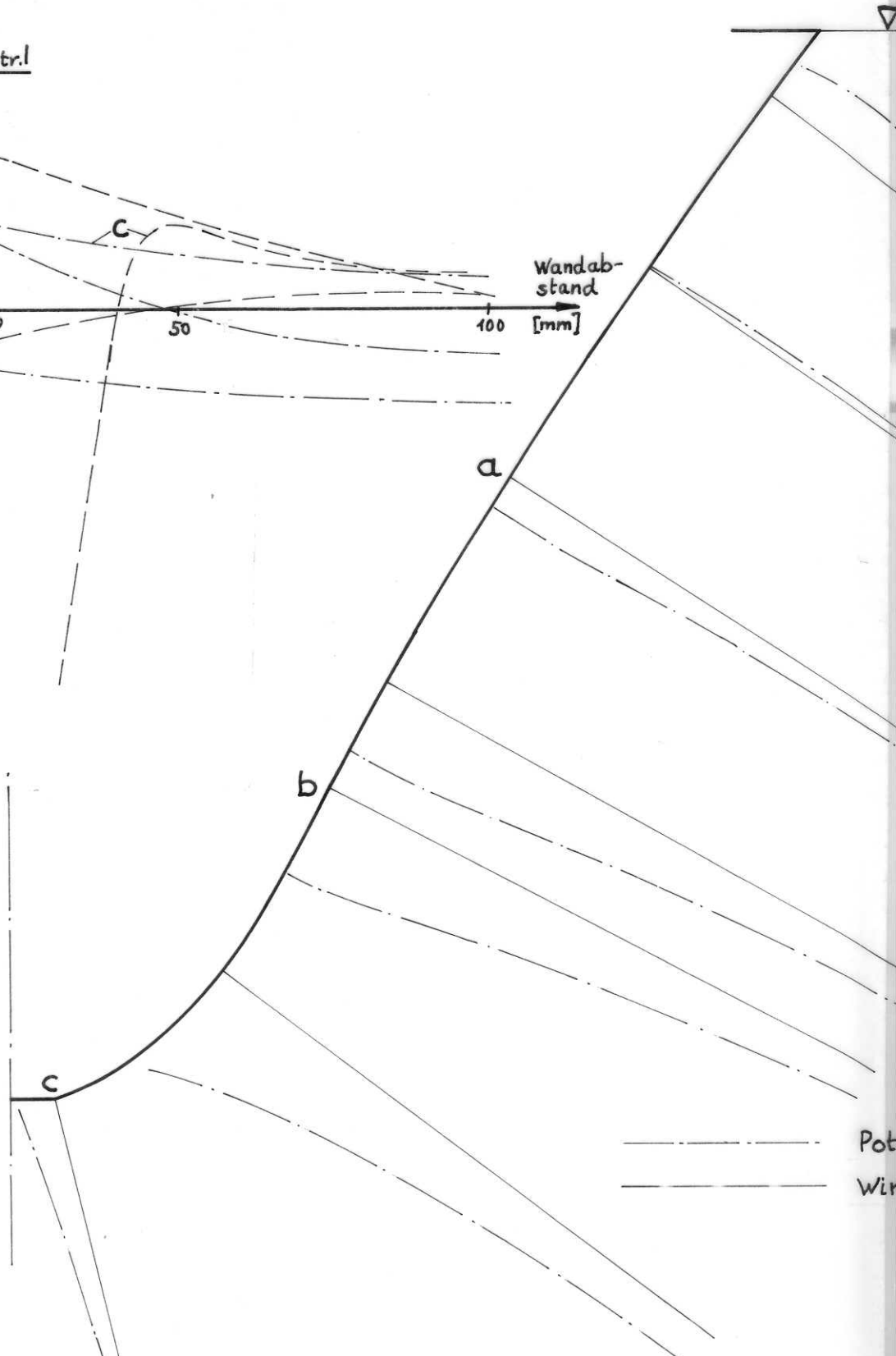
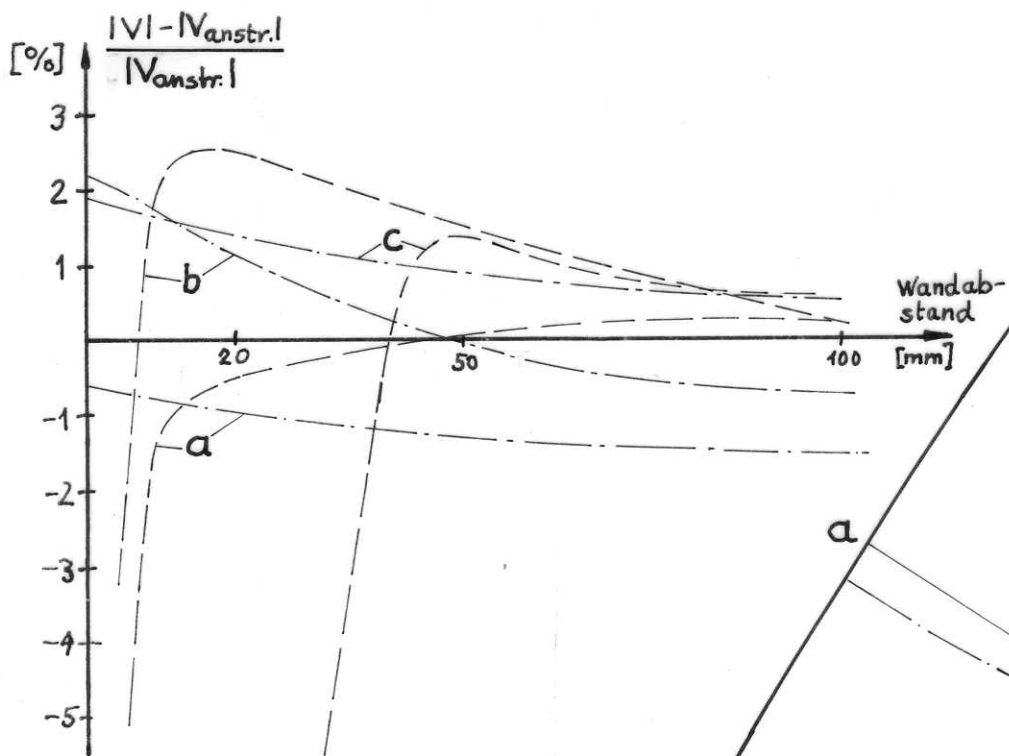


Bild 3 b

Verlauf des Druckbeiwerts an einigen Spanten, am Kiel und an der WL 5

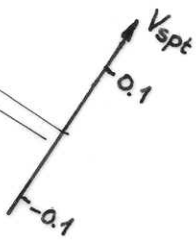
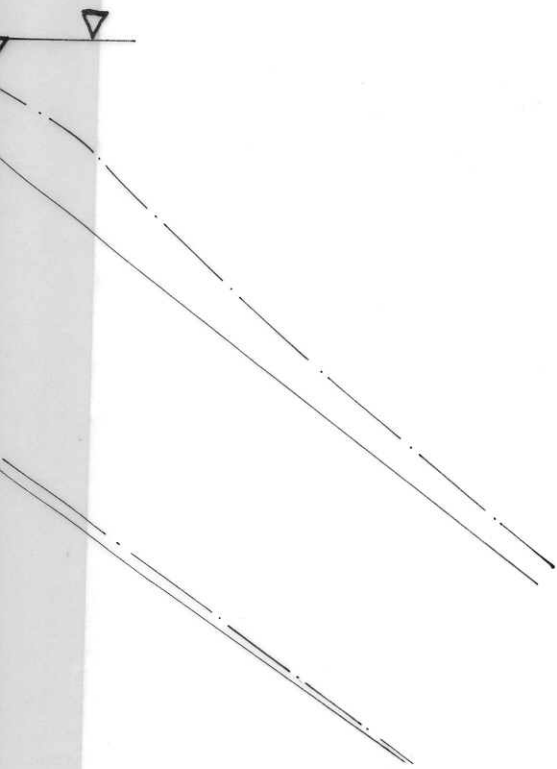




Geschwindigkeitsprofile

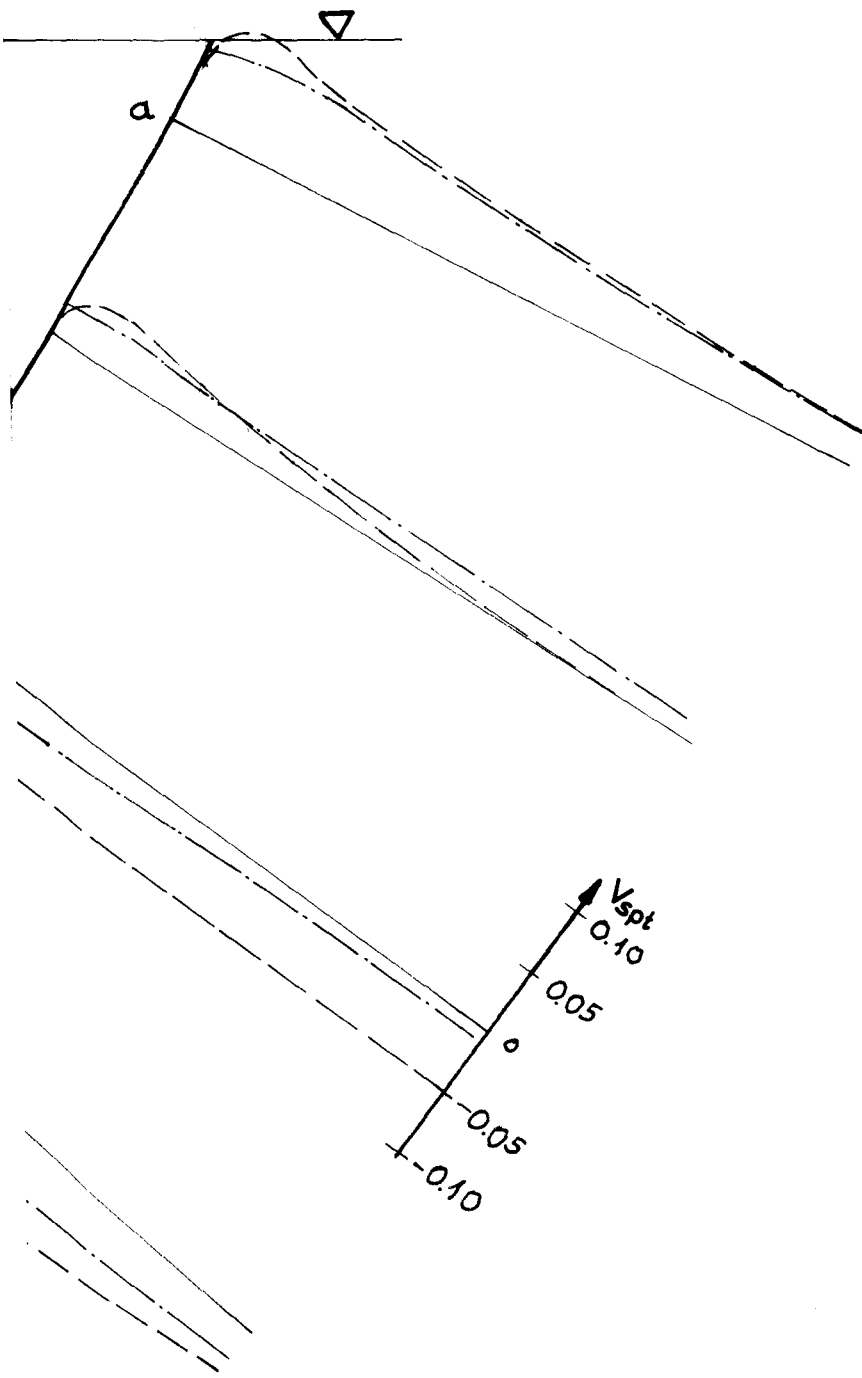
Spt 105

Bild 4



Potentialtheorie  
Windkanalmessung (Pitot-Rohr)



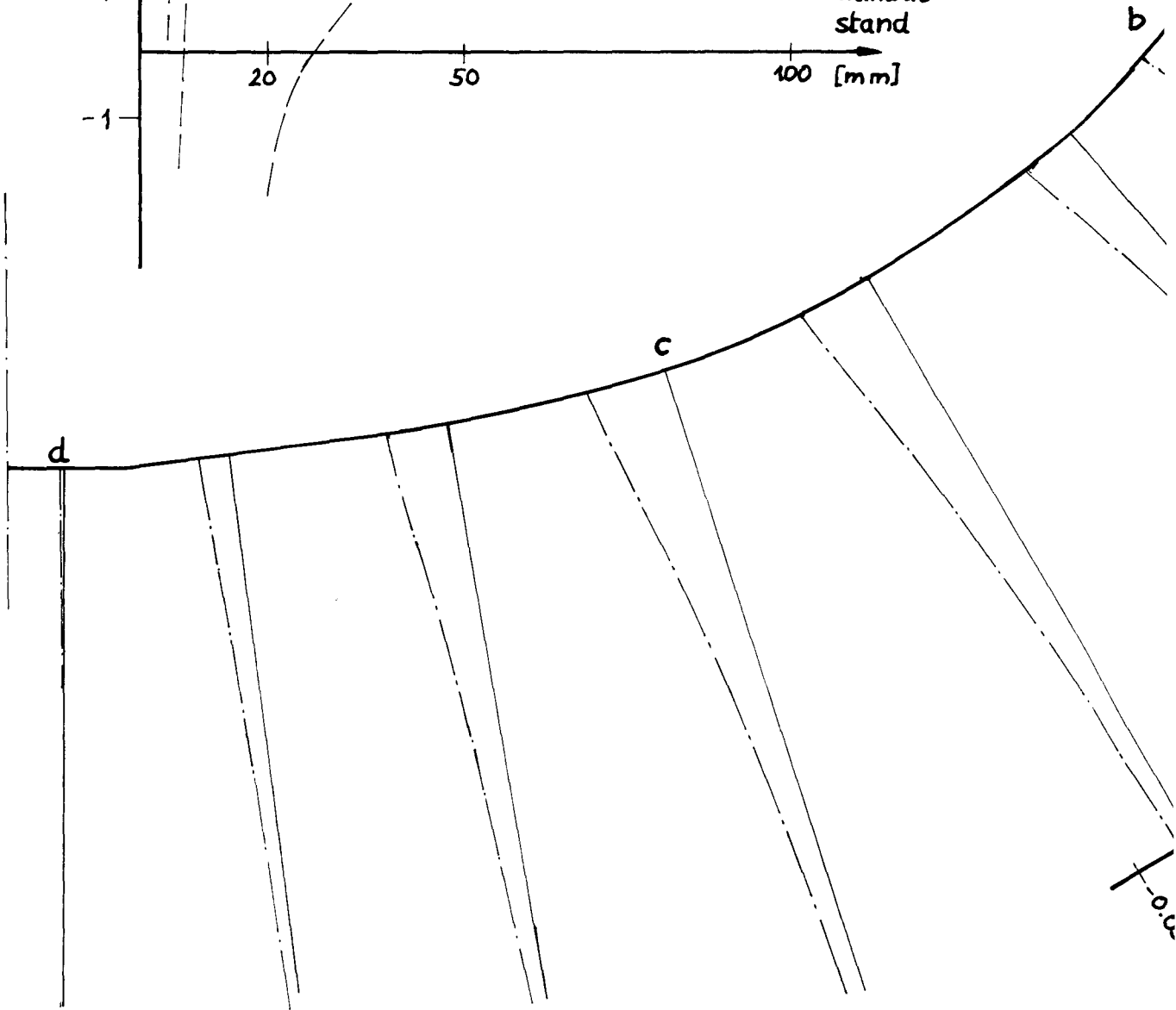
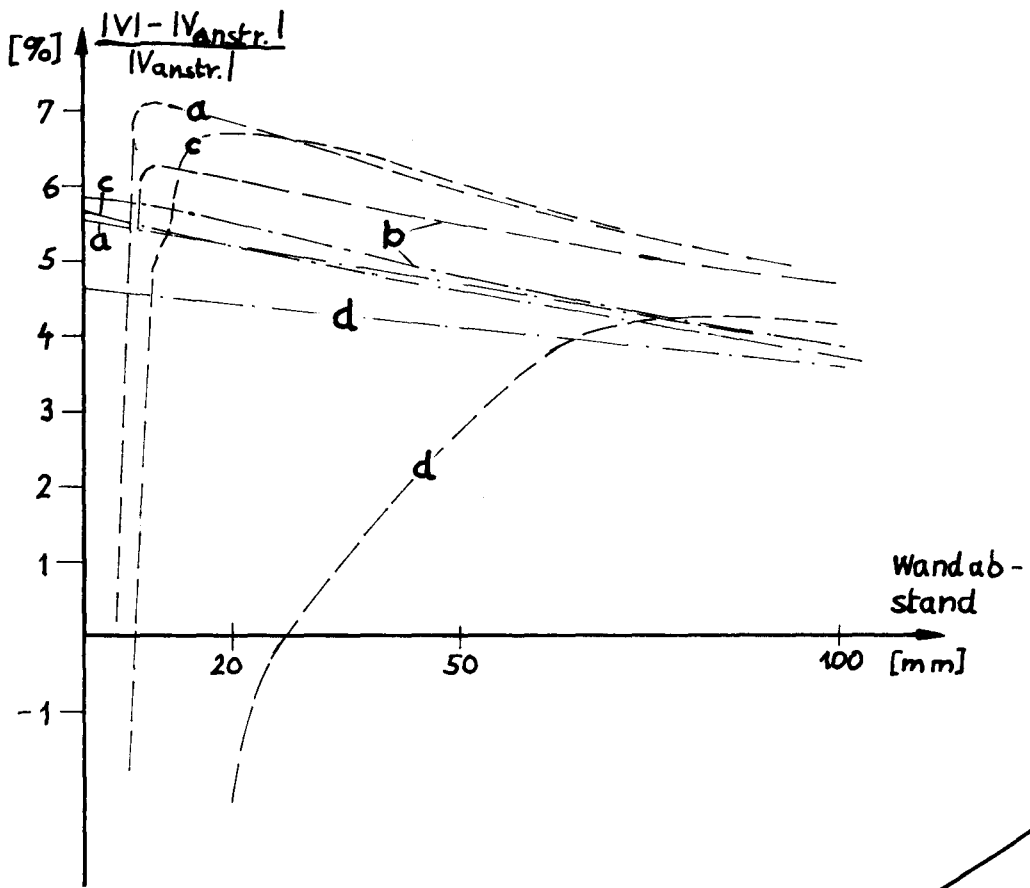


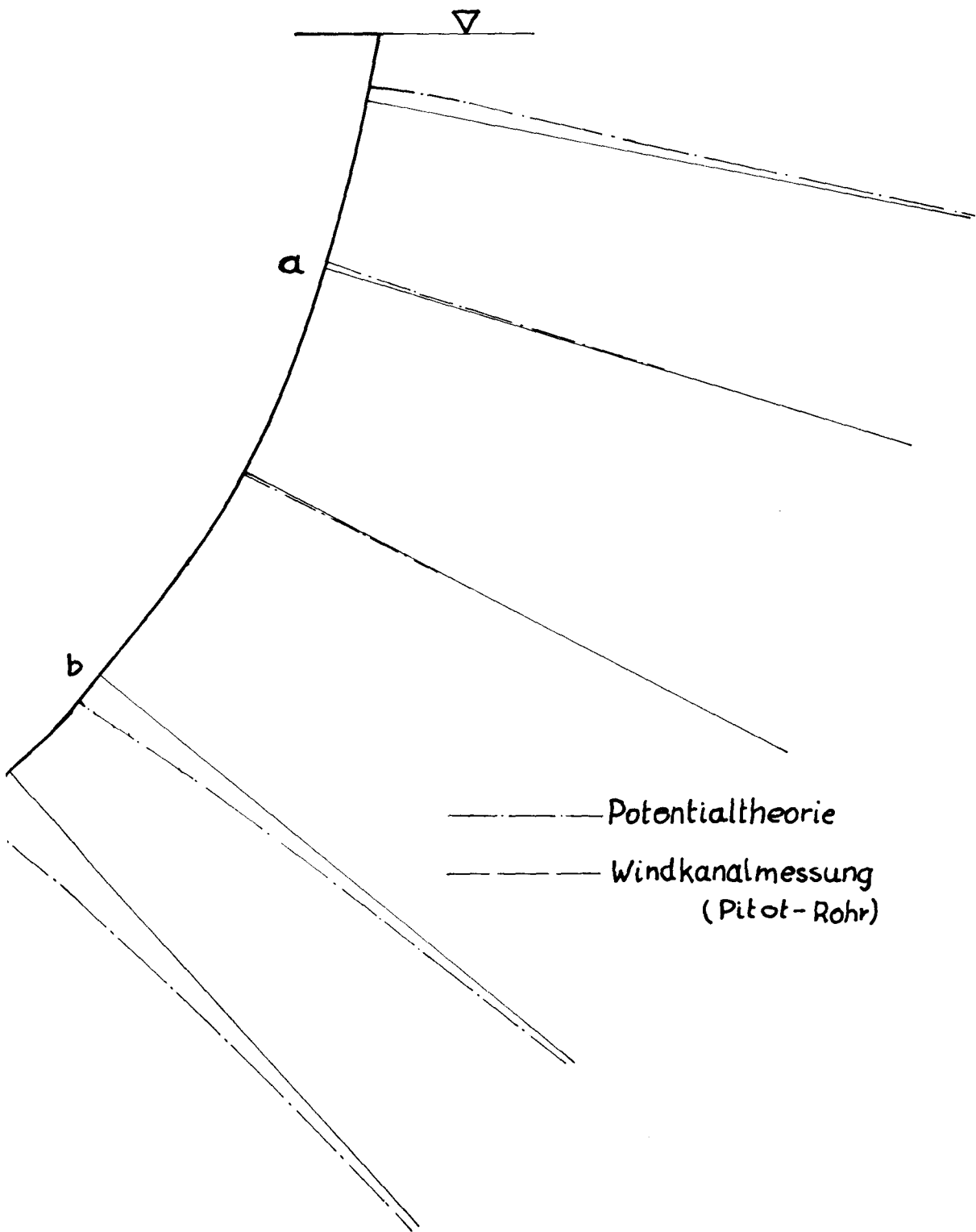
- — — — — Potentialtheorie
- · - · - · - Windkanalmessung  
(Pitot-Rohr)
- - - - - Windkanalmessung  
(5-Loch-Sonde)

Geschwindigkeitsprofile

Spt 95

Bild 5



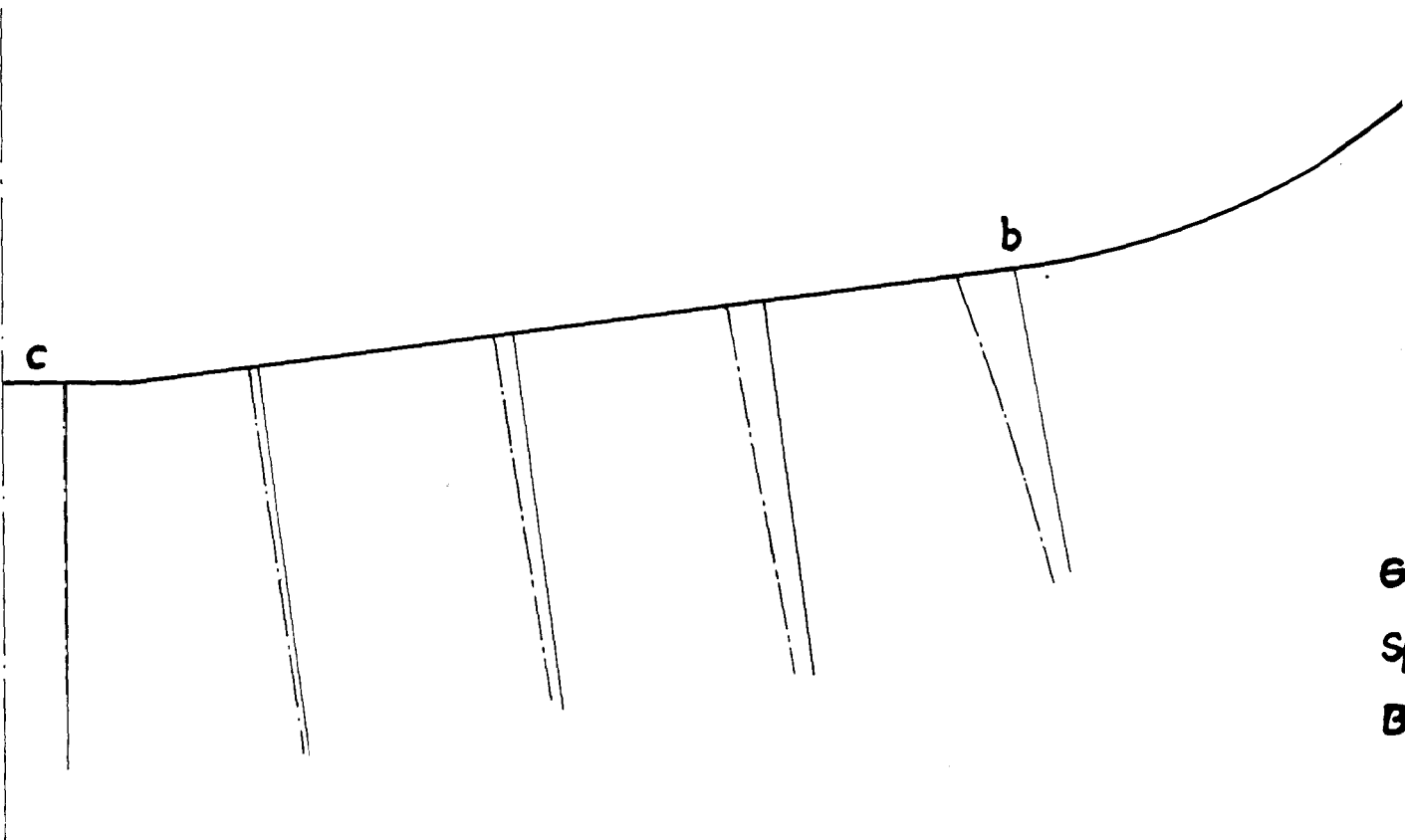
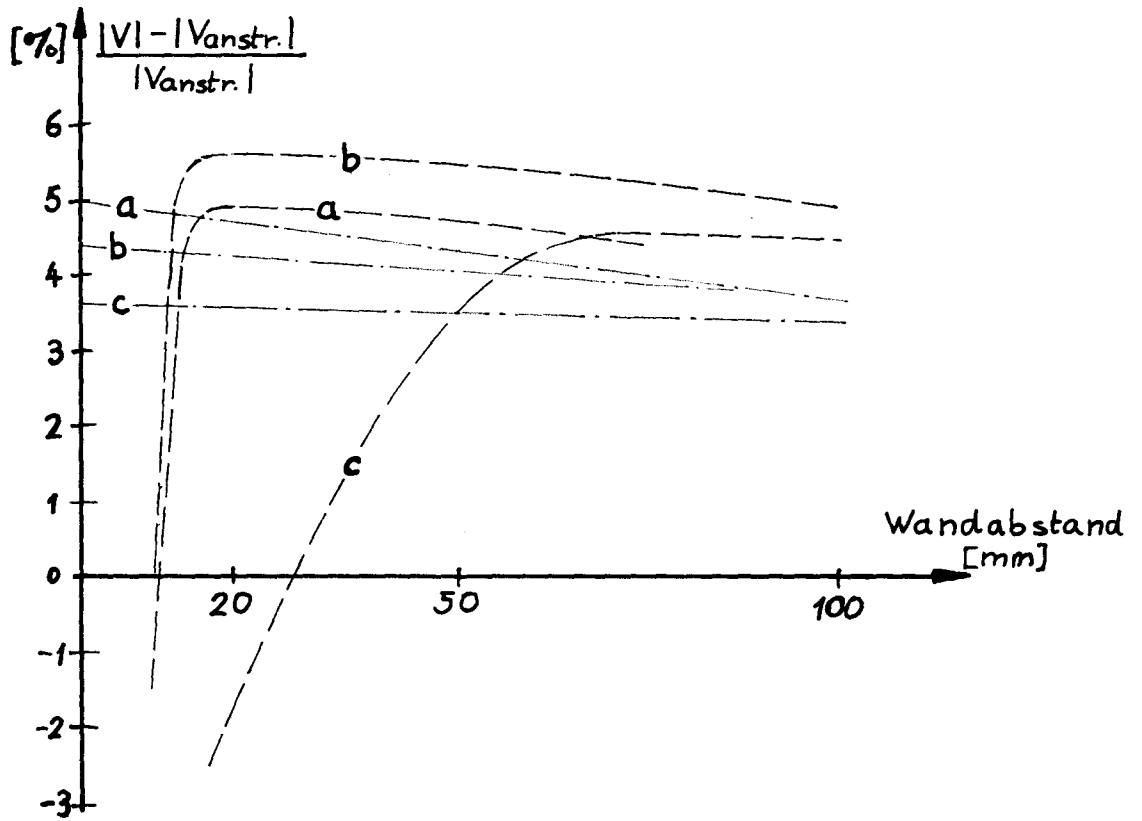


———— Potentialtheorie  
 - - - - - Windkanalmessung  
 (Pitot-Rohr)

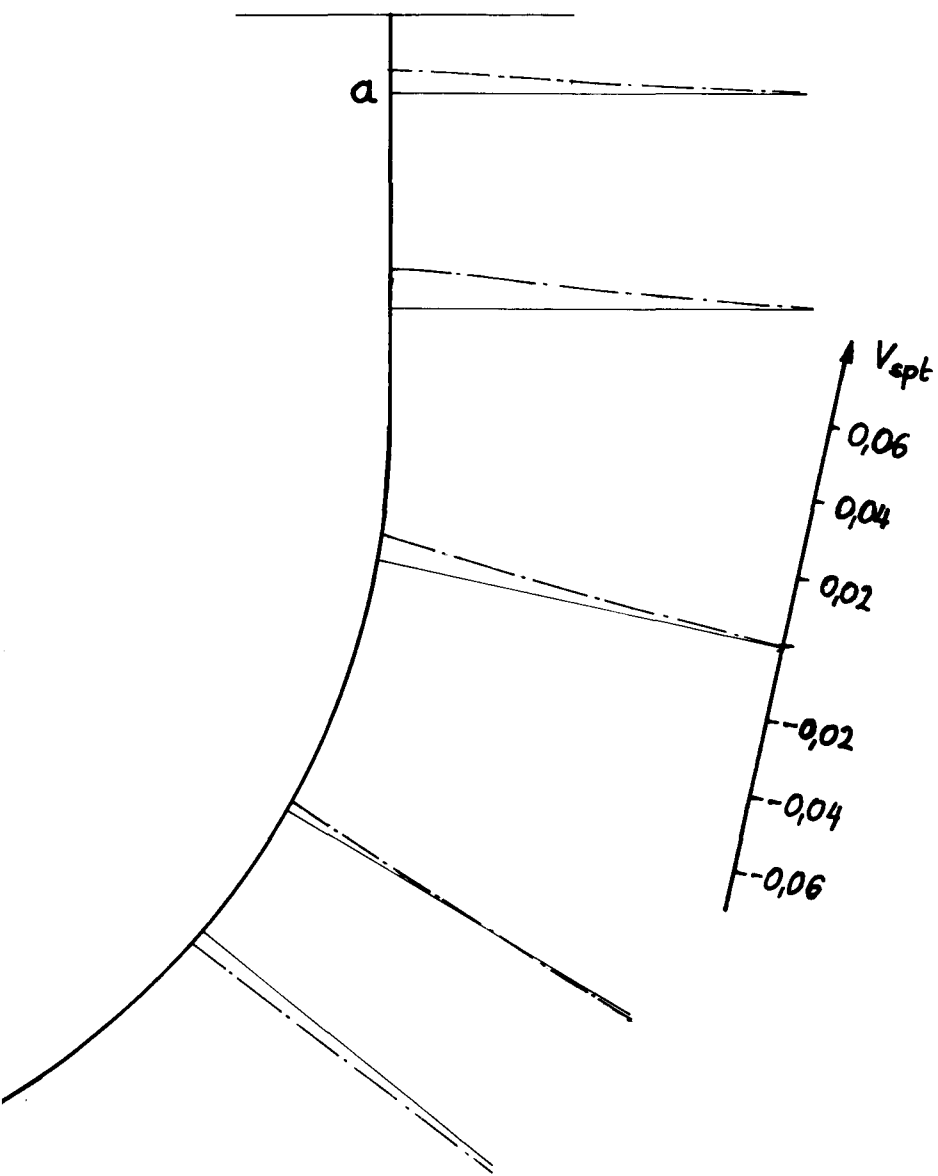
Geschwindigkeitsprofile

Spt. 82,5

Bild 6



Er  
Sp  
Bi



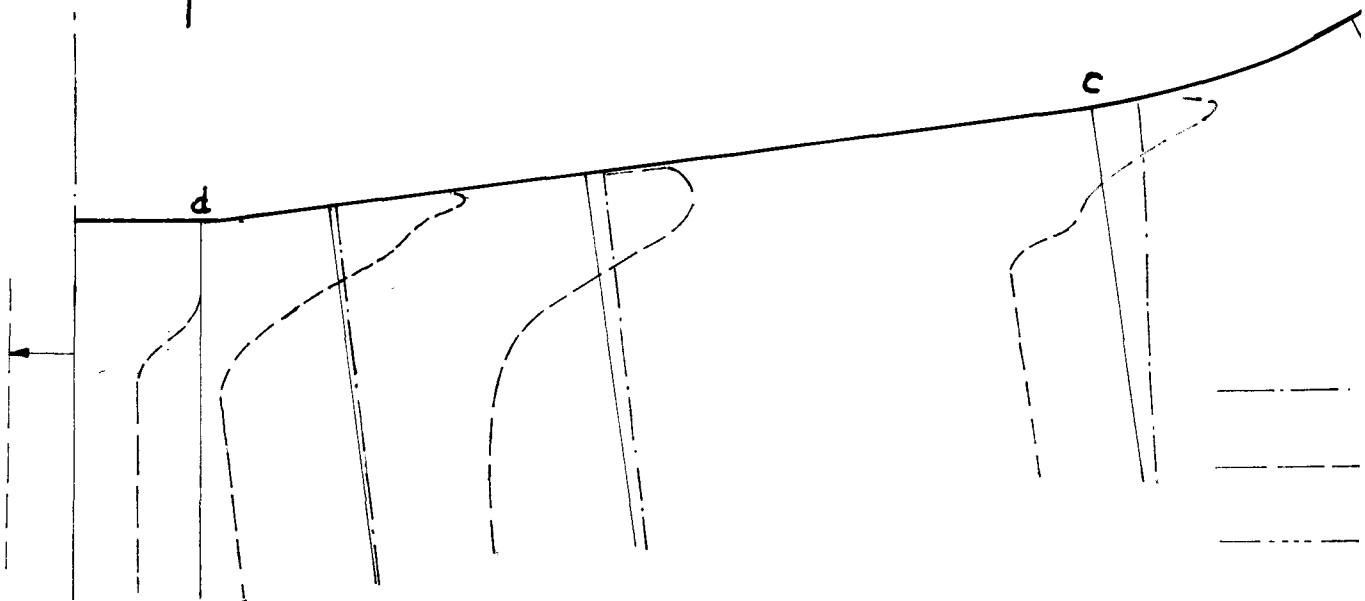
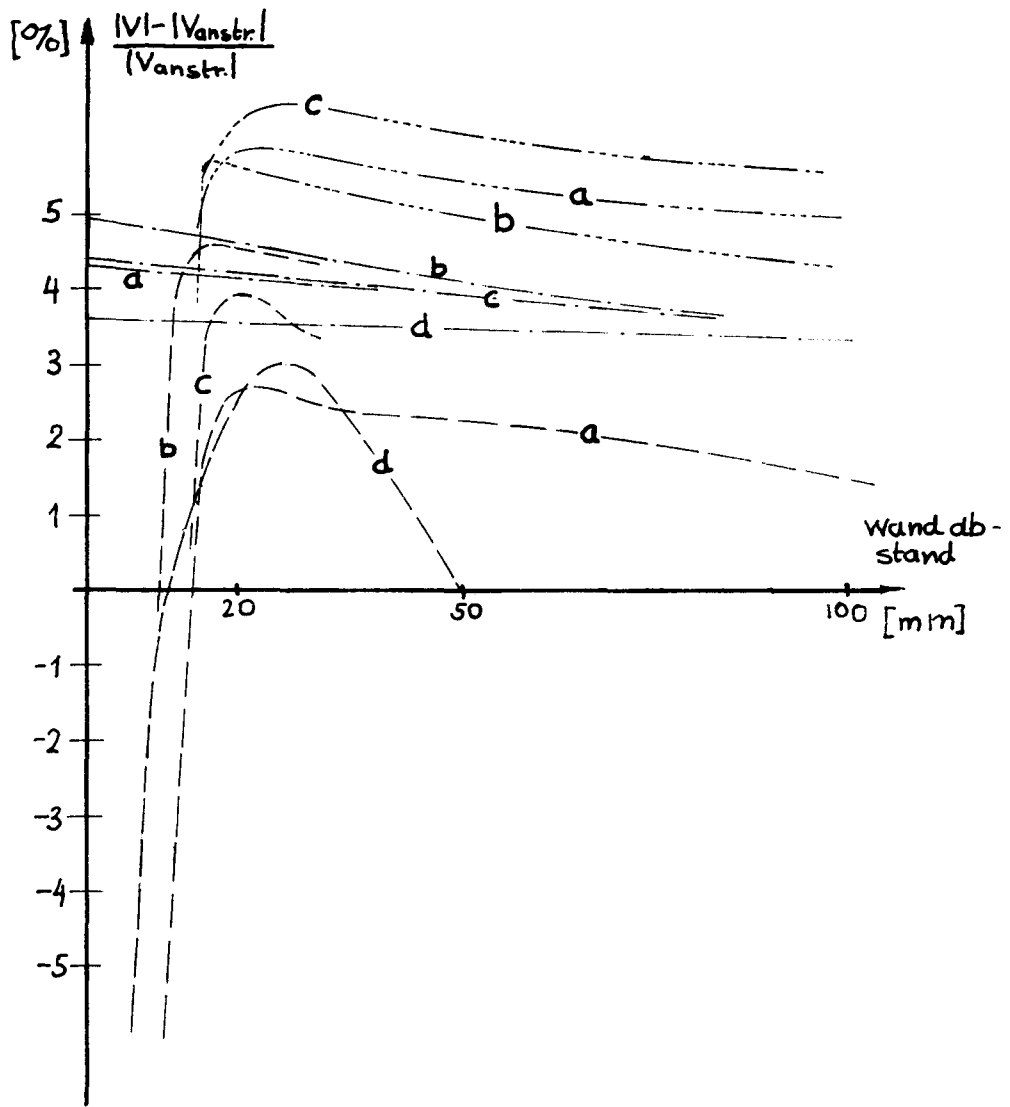
Potentialtheorie

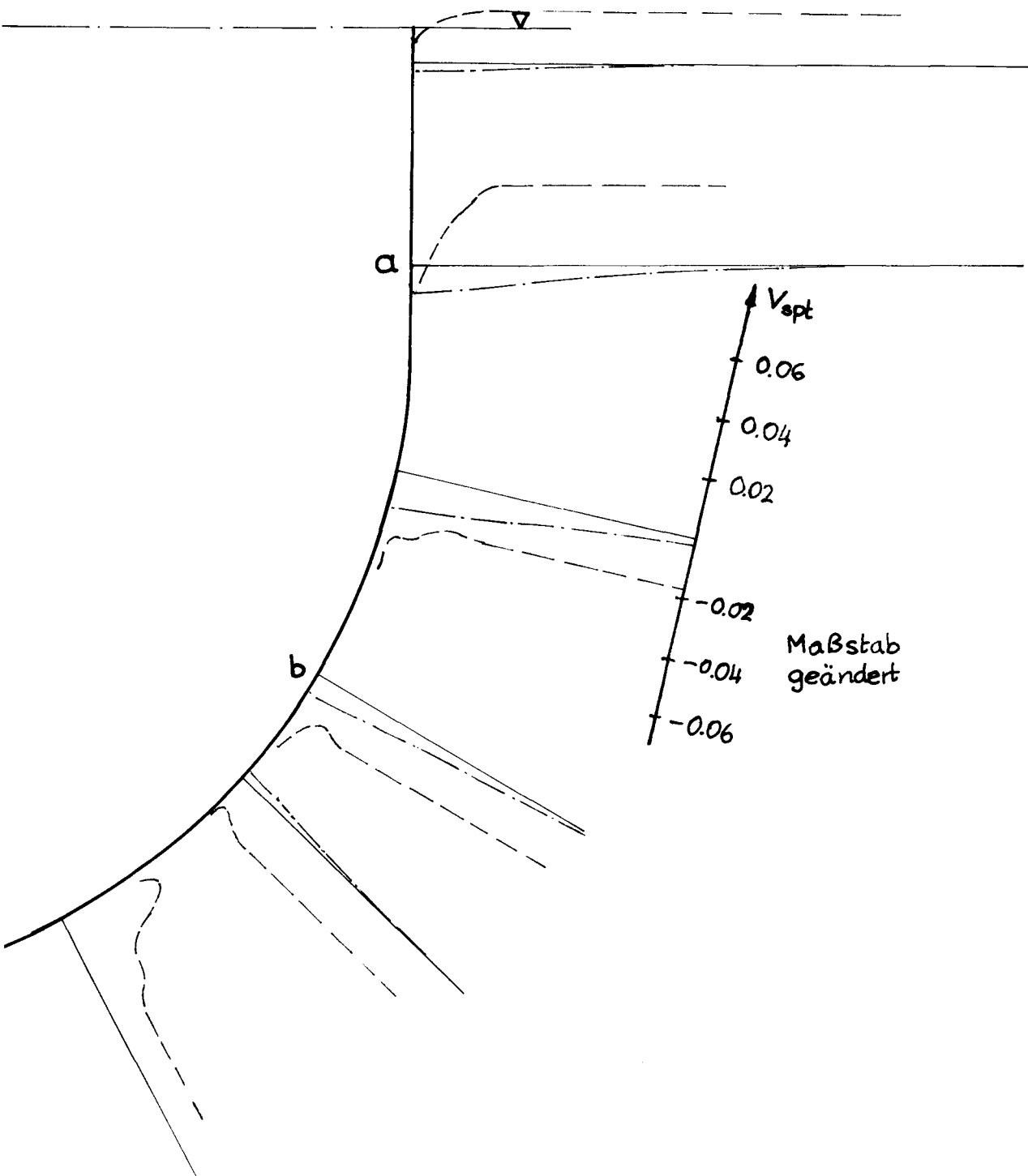
Windkanalmessung  
( Pitotrohr )

Geschwindigkeitsprofile

Spt 65

Bild 7

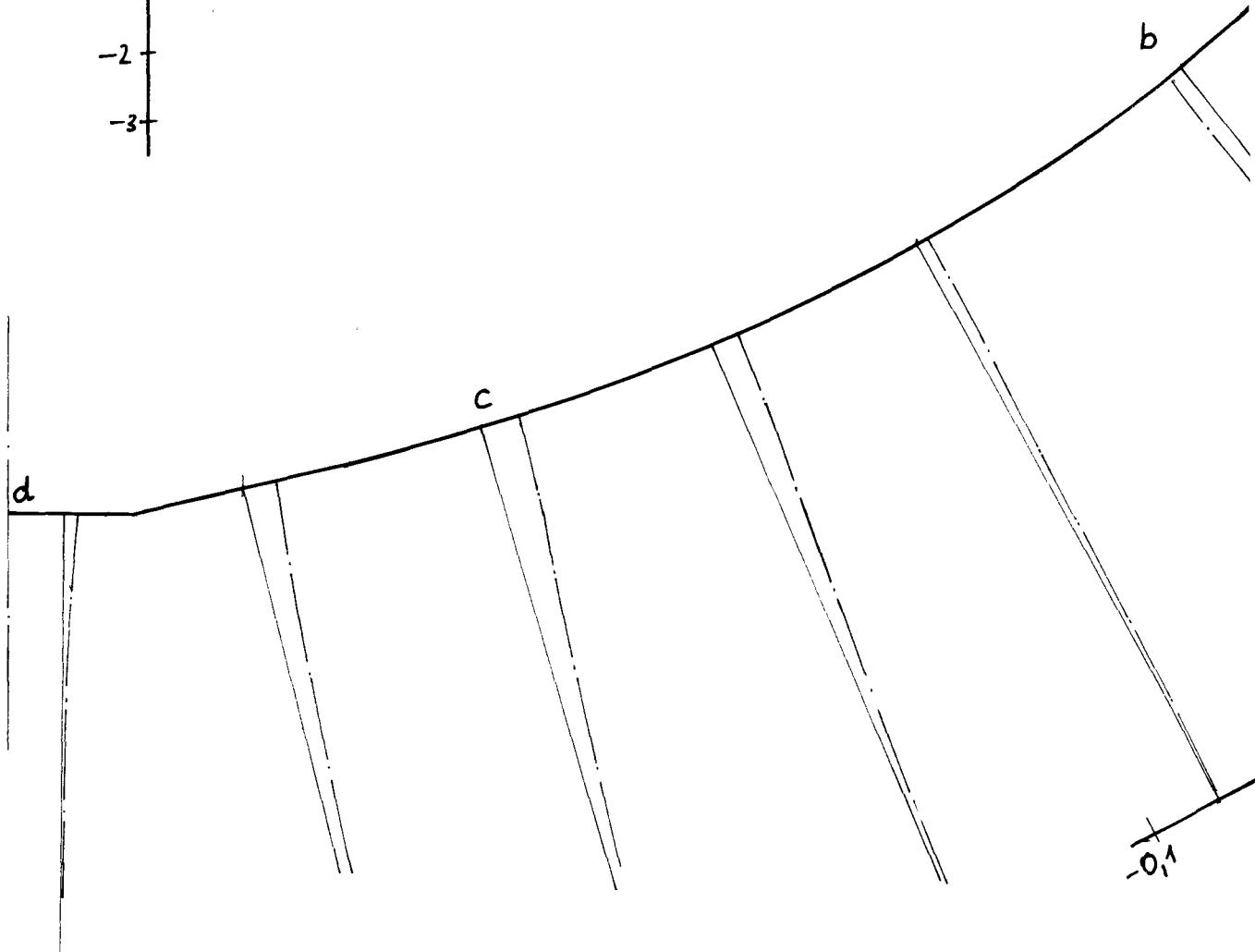
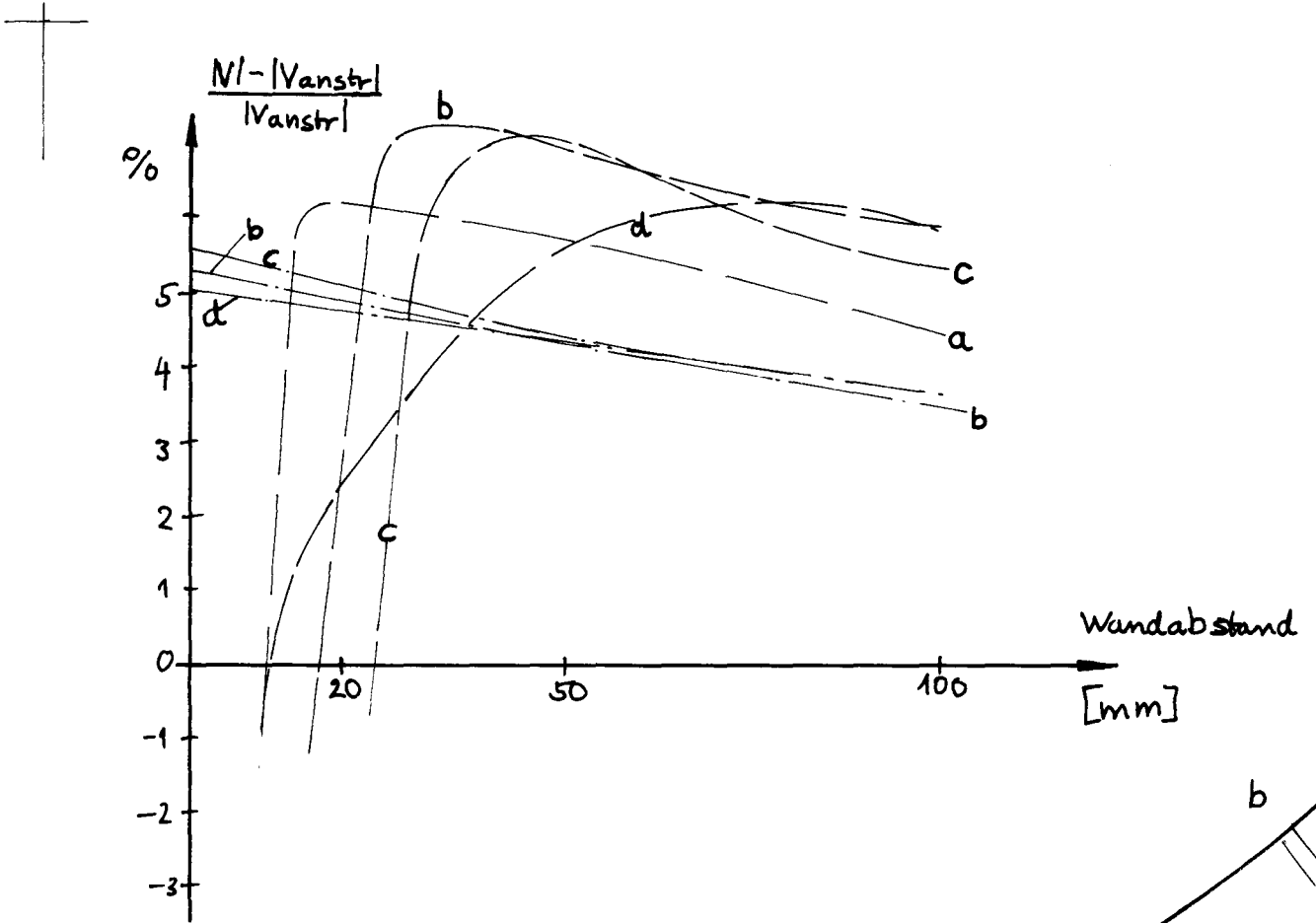


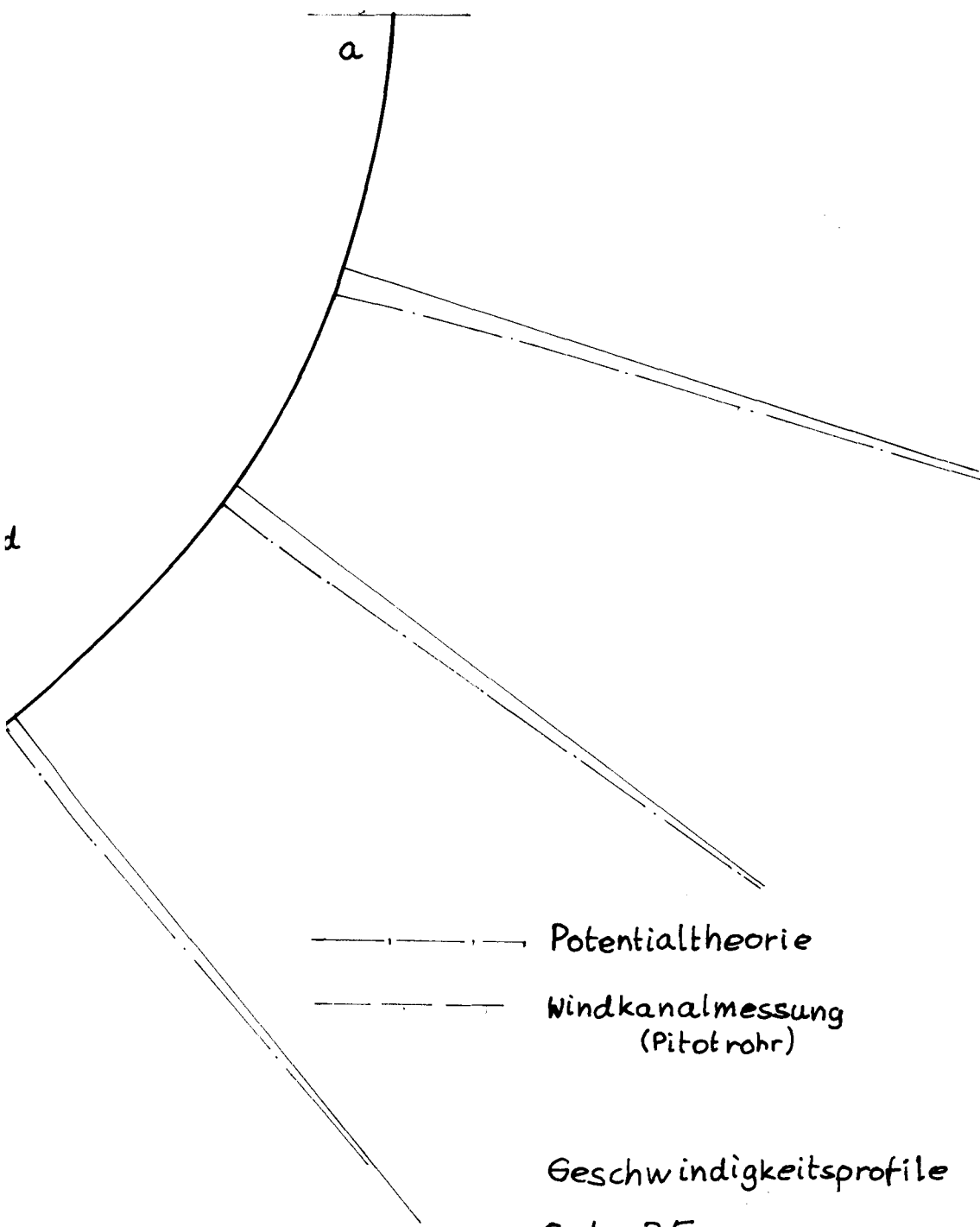


$V_{spt}$   
 0.06  
 0.04  
 0.02  
 -0.02  
 -0.04  
 -0.06  
 Maßstab  
 geändert

- Potentialtheorie
- - - Windkanalmessung (5-Loch-Sonde)
- · - Windkanalmessung (Pitotrohr)

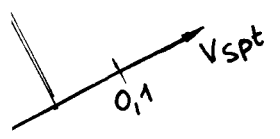
Geschwindigkeitsprofile  
 Spt 55  
 Bild 8

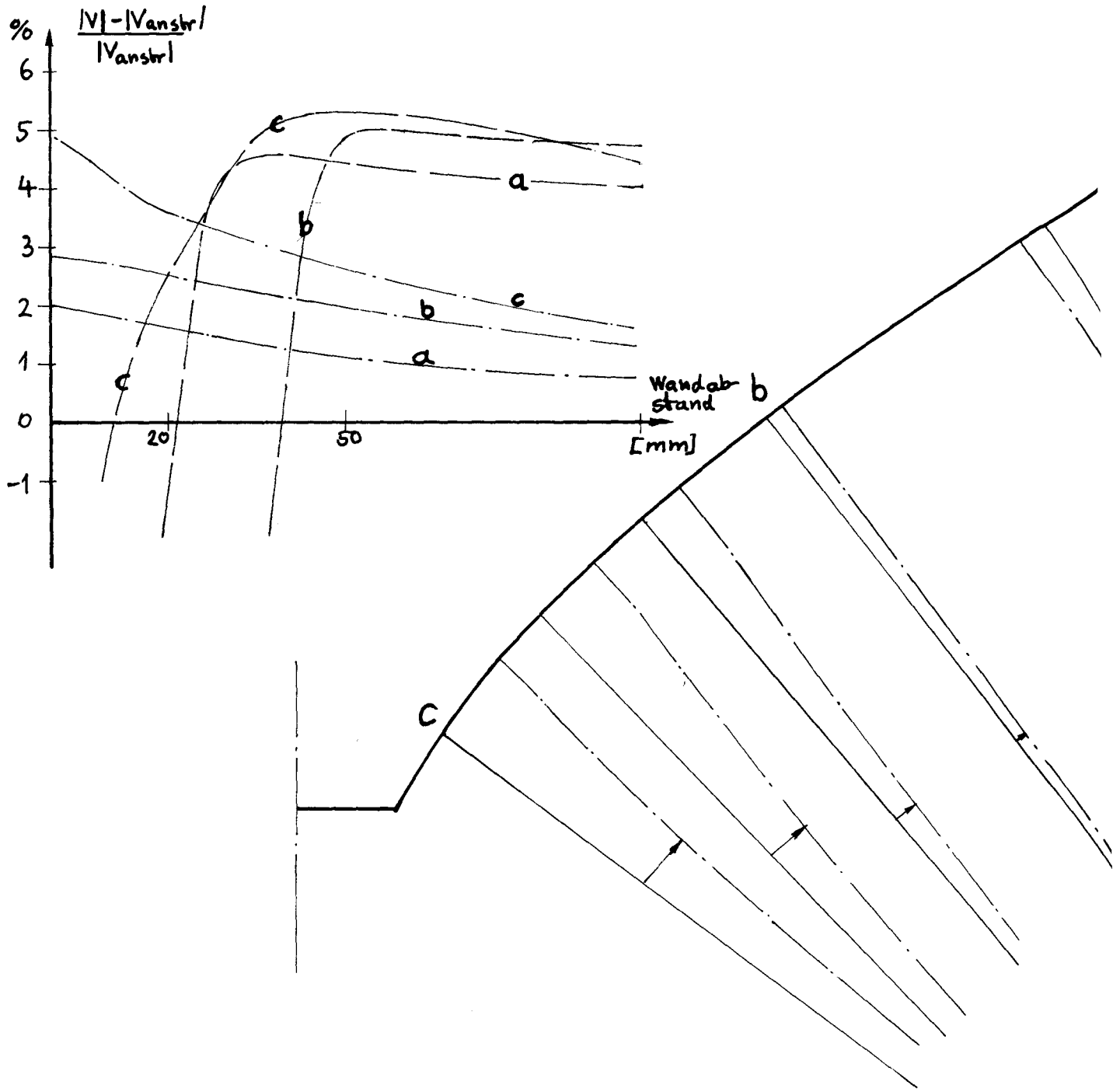


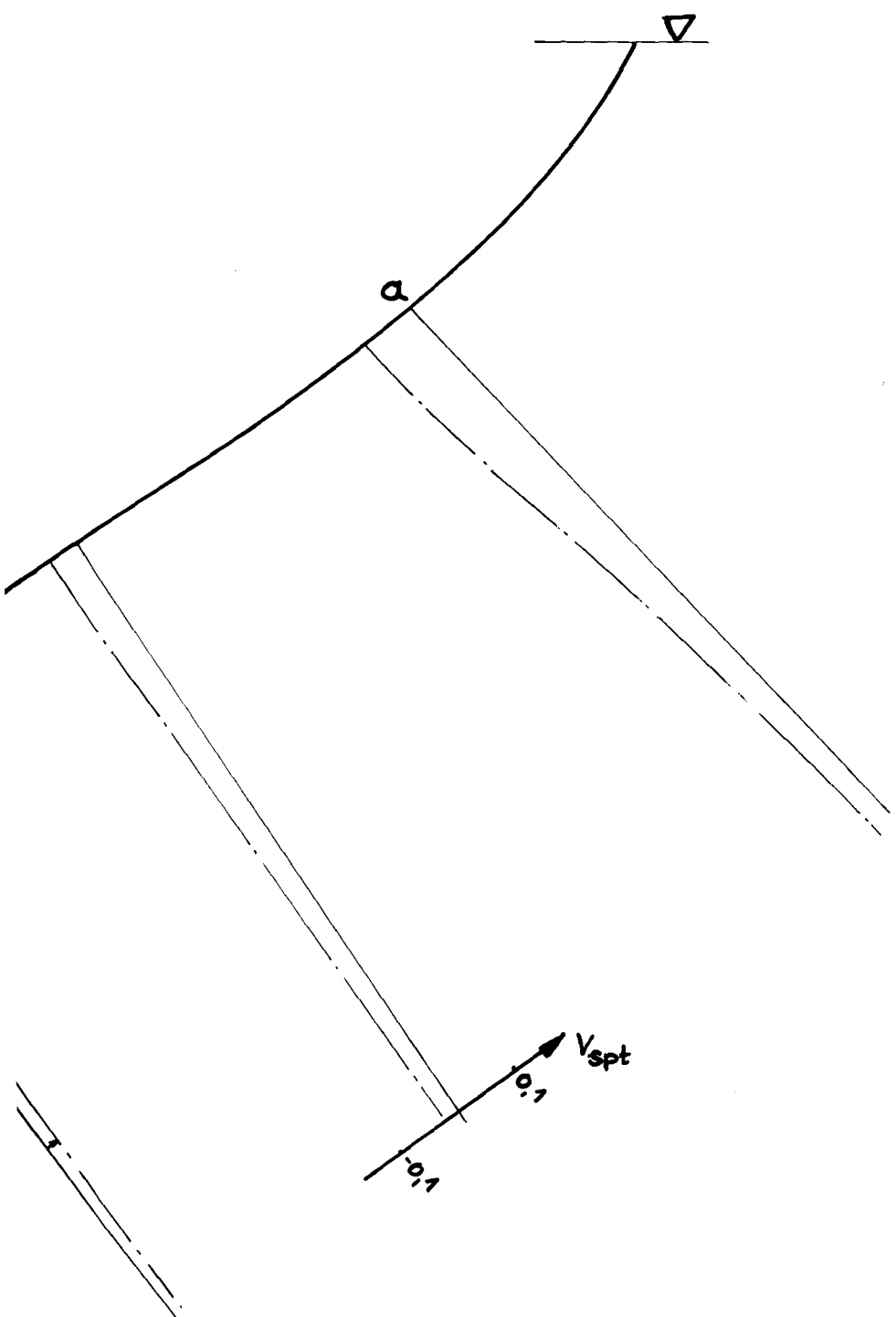


———— Potentialtheorie  
 - - - - - Windkanalmessung  
 (Pitotrohr)

Geschwindigkeitsprofile  
 Spt. 35  
 Bild 9





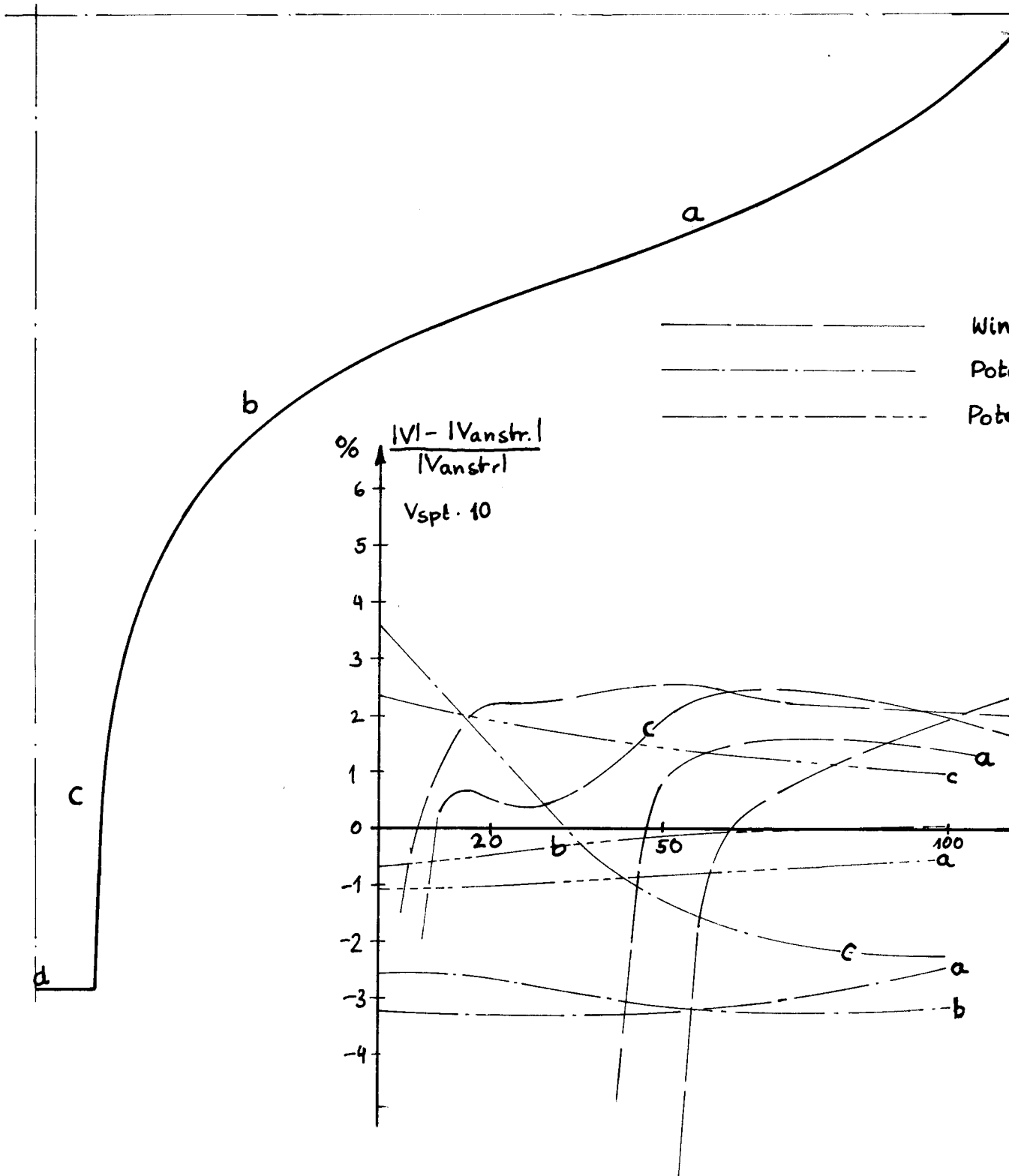


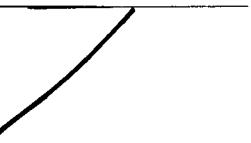
- - - - - Potentialtheorie  
 - - - - - Windkanalmessung (Pitotrohr)

Geschwindigkeitsprofile

Spt 20

Bild 10

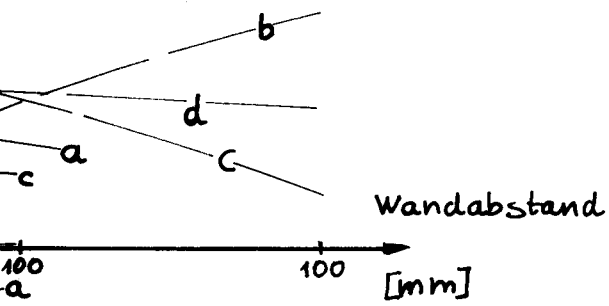




Windkanalmessung

Potentialtheorie |V|

Potentialtheorie  $V_{spt}$



b

Geschwindigkeitsprofile

Spt 10

Bild 11