

Spektrobolometrische Untersuchungen über die Durchlässigkeit der Augenmedien für rote und ultrarote Strahlen.

Von

E. ASCHKINASS.

(Mit vier Figuren im Text.)

In einem vollständigen Spektrum können wir im allgemeinen nur einen eng begrenzten mittleren Teil mit unserem Auge direkt wahrnehmen, während das ultraviolette und das ultrarote Gebiet, die Bereiche kürzerer und längerer Ätherwellen, uns unsichtbar bleiben. Offenbar sind zweierlei Ursachen denkbar, die dieser Erscheinung zu Grunde liegen können: entweder vermag der Nervenapparat unseres Sehorgans infolge einer Art von Resonanz ausschließlich auf Schwingungen bestimmter Dauer zu reagieren, oder jene unsichtbaren Strahlen werden von den Medien des Auges, die sie durchdringen müssen, absorbiert, so daß sie überhaupt nicht bis zur Netzhaut gelangen.

Um die wahre Ursache zu ermitteln, sind im Laufe der letzten fünfzig Jahre eine größere Anzahl Untersuchungen ausgeführt worden. Dieselben bestanden natürlich in der Erforschung des Absorptionsvermögens der Augenmedien für die verschiedenen Gebiete des Spektrums. Dabei wurde für die ultravioletten Strahlen in unzweideutiger Weise nachgewiesen, daß sie nur in sehr geringem Maße absorbiert werden, der Grund ihrer Unsichtbarkeit also in der Unempfindlichkeit der Netzhaut für sie zu suchen ist. Dahingegen sind die älteren Forscher in Bezug auf das ultrarote Gebiet zu teilweise sich widersprechenden Ergebnissen gelangt. Wenn nun auch z. B. die Untersuchungen von FRANZ und von KLUG, die zu dem

Schlusse führten, daß in dem Absorptionsvermögen der Augenmedien nicht die Ursache der Unsichtbarkeit der ultraroten Strahlen liegen könne, mehr Zuverlässigkeit besitzen, als die Versuche von BRÜCKE u. A., die das entgegengesetzte Resultat ergaben, so schien es doch nicht überflüssig zu sein, mit den modernen Hilfsmitteln physikalischer Forschung den fraglichen Gegenstand aufs neue zu studieren. Die in den letzten Jahren zu so hoher Vollkommenheit ausgebildete spektrobolometrische Methode gewährt uns nämlich die Möglichkeit, derartige Probleme mit einer früher nicht annähernd erreichten Exaktheit zu untersuchen. Ich unternahm es daher auf Anregung des Hrn. Professors Dr. A. KÖNIG, die Absorptionsspektren der Augenmedien auf bolometrischem Wege festzustellen.

Das Prinzip der genannten Methode ist folgendes: An Stelle des Fadenkreuzes befindet sich im Fernrohr eines Spektrometers ein schmaler berufter Metallstreifen, der den einen der vier Zweige einer WHEATSTONESchen Brückenkombination bildet. Die drei anderen Zweige sind ein für allemal gegen jede Bestrahlung geschützt. Läßt man nun (durch Emporziehen eines Fallschirmes) die Strahlen der Energiequelle in den Spektralapparat gelangen, so bewirken dieselben eine Erwärmung des genannten Metallstreifens und daher eine Änderung seines Leitungswiderstandes, die sich in einer Ablenkung der Galvanometernadel zu erkennen giebt. Durch Drehung des Spektrometerfernrohres kann man den Bolometerwiderstand an jede beliebige Stelle des Spektrums bringen. Vor dem Apparate befindet sich noch eine geeignete Vorrichtung, um die Substanz, deren Absorptionsvermögen bestimmt werden soll, nach Belieben in den Strahlengang ein- und ausschalten zu können. Es ergibt sich daher aus zwei Galvanometerablesungen der durch Einschaltung des betreffenden Mediums entstandene Intensitätsverlust für eine bestimmte Wellenlänge.

Die ausführlichen, unten mitgeteilten Messungen wurden an Präparaten von Rindsaugen vorgenommen. Zur Kontrolle wurden dann noch für die Medien des menschlichen Auges analoge Versuchsreihen ausgeführt. Letztere ergaben völlige Übereinstimmung mit den Beobachtungen am Rindsauge.

Ich beschränke mich an dieser Stelle darauf, die Resultate der Untersuchung mitzuteilen, indem ich für alle weiteren nur den Physiker interessierenden Einzelheiten auf meine ausführliche

Publikation¹ verweise. Dort finden sich gleichzeitig die Absorptionsspektren von reinem Wasser in verschiedener Schichtdicke. In dem hier in Betracht kommenden Bereiche zeigen die letzteren eine große Ähnlichkeit mit denen der Augenmedien. Es sind daher auch an dieser Stelle die für eine 1 cm und eine 0,005 cm dicke Wasserschicht beobachteten Absorptionswerte mitgeteilt, und außerdem sind zum Vergleiche mit den Messungen an der Cornea die aus jenen Beobachtungen für eine Wasserschicht von 0,06 cm Dicke durch Rechnung gefundenen Zahlen angegeben.

In den folgenden Tabellen I, II u. III bedeutet d die Dicke der untersuchten (planparallelen) Schicht, λ die Wellenlänge ($1 \mu\mu = 1/1000000$ mm als Einheit genommen) und A die prozentische Absorption, d. h. den Betrag der absorbierten Energie, wenn die Intensität der ankommenden Strahlung gleich 100 gesetzt wird. In den entsprechenden Figuren 1, 2 u. 3 ist A als

Tabelle I. (Fig. 1.)

$$d = 1 \text{ cm}$$

λ	A			λ	A		
	Wasser	Glaskörper	Linse		Wasser	Glaskörper	Linse
705	2	10		935	10,5	16	18,5
715	2,5	10		958	21,5	27	26,5
723	1,5	10		980	33	38,5	34,5
732	2,5	11,5		1008	34	38	34
742	3,5	10		1035	27	30,5	31,5
753	4	10,5		1063	17,5	22,5	25,5
766	4	10,5		1095	16,5	22,5	25
780	3,5	12		1127	26,5	31	28,5
793	3	10		1162	52	59	45,5
806	1,5	8		1205	68,5	71	64
822	1,5	8,5	3,5	1252		71	67
838	2,5	10	10,5	1262	70		
855	4	10,5	14,5	1300	70	73	63,5
872	5,5	9,5	15,5	1350	80	83	69
890	6	11	16,5	1400	95,5	96	84
912	7,5	13	17,5	1450	100	100	100

¹ E. ASCHKINASS, Über das Absorptionsspektrum des flüssigen Wassers und über die Durchlässigkeit der Augenmedien für rote und ultrarote Strahlen. *Wiedemanns Ann.* Bd. 55. S. 401. 1895.

Funktion von λ graphisch dargestellt. Auf der Abscissenaxe sind aufer den Wellenlängen (in $\mu\mu$) einige FRAUNHOFERSche Linien und das Ende des sichtbaren Spektrums besonders markiert.

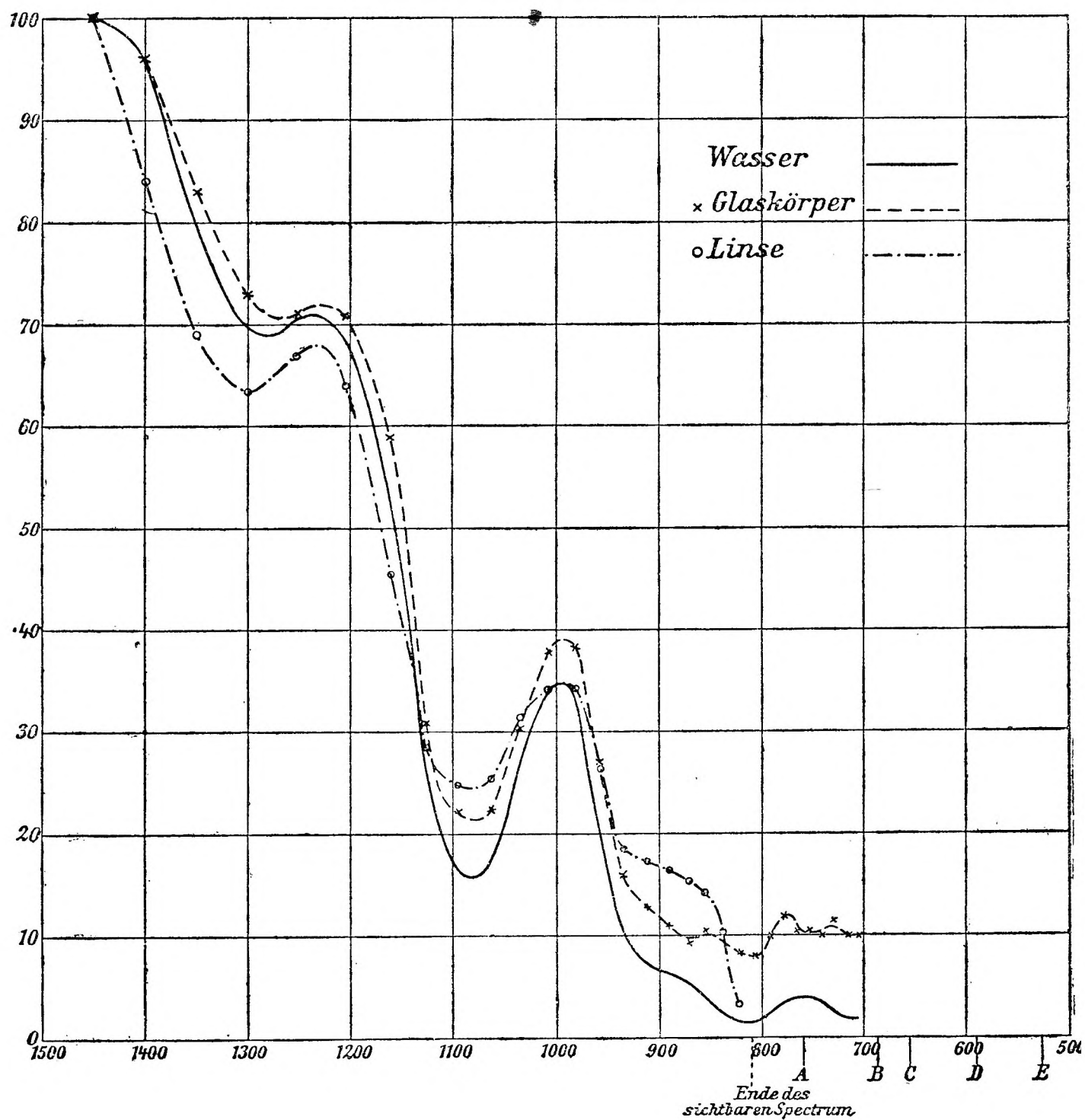


Fig. 1.

Dicke der absorbierenden Schicht = 1 cm.

Tabelle II. (Fig. 2.)

 $d = 0,005$ cm

λ	A		λ	A	
	Wasser	Kammerwasser		Wasser	Kammerwasser
793	- 0,5 ¹	- 2	1550	12,5	14
822	- 1	- 1	1655	7,5	7
855	- 0,5	1	1762	8	7,5
890	- 0,5	2	1870	29	15
935	1	1,5	1978	42,5	42
980	0	0,5	2090	19	20
1035	1,5	- 2	2203	14	14
1095	- 0,5	1,5	2315	19	15,5
1162	- 0,5	- 1,5	2420	36	30,5
1252	1	1,5	2520	46	44,5
1350	0,5	1	2618	66,5	56,5
1450	16,5	12,5	2711	88	82

Tabelle III. (Fig. 3.)

 $d = 0,06$ cm.

λ	A		λ	A	
	Wasser (berechnet)	Hornhaut		Wasser (berechnet)	Hornhaut
705	0	32,5	1162	4	24
723	0	34	1205	7	27,5
742	0	34	1300	7	25,5
766	0	32,5	1350	9	29,5
793	0	29	1400	46	44,5
822	0	26	1450	88,5	76
855	0	26	1500	90	92
890	0	22	1550	80	85
935	0,5	21	1602	72	72
958	1,5	24	1655	60	61
980	2,5	25,5	1762	62	59
1008	2,5	24,5	1816	76,5	65
1035	2	20,5	1870	98	74,5
1063	1	22	1924	100	91
1095	1	21,5	1978	100	98
1127	2	20	2034	100	100

¹ Die negativen Zahlen sind selbstverständlich auf Beobachtungsfehler zurückzuführen; denn eine negative Absorption würde bedeuten, daß die Substanz eine größere Intensität hindurchläßt, als die Energiequelle selbst aussendet. Die wahren Werte unterscheiden sich offenbar nur sehr wenig von Null.

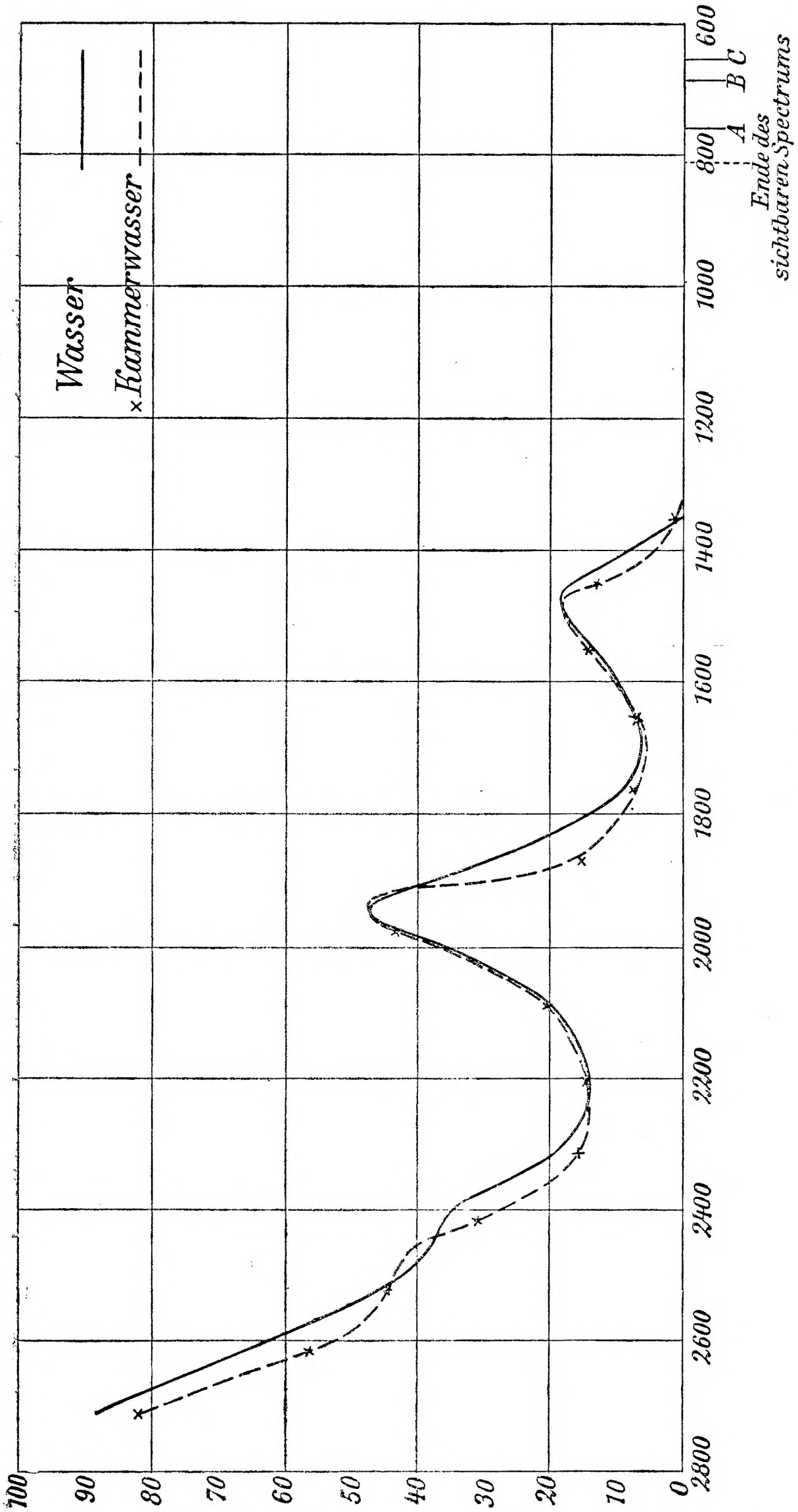


Fig. 2.

Dicke der absorbierenden Schicht = 0.005 cm.

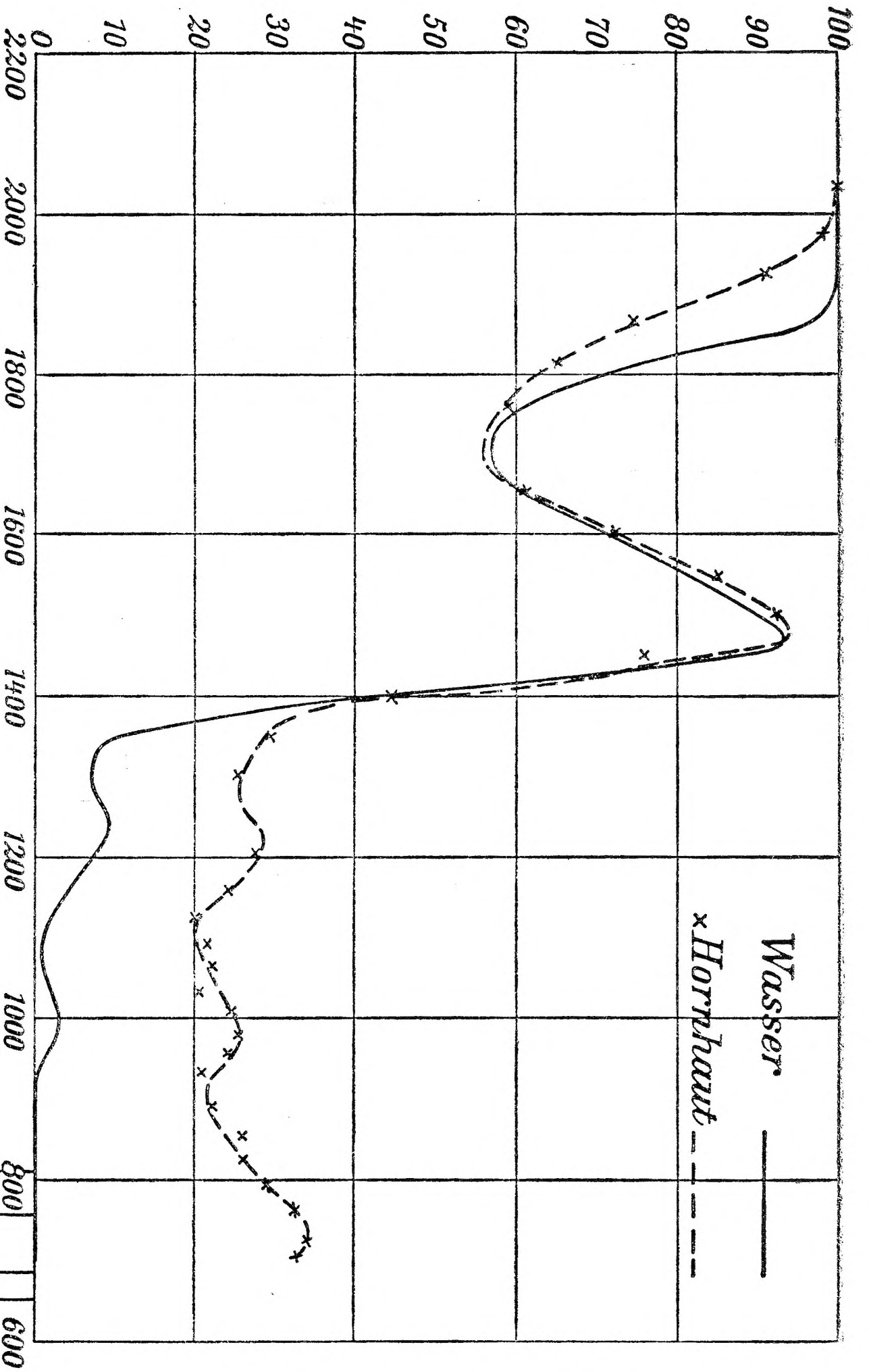


Fig. 3.

Dicke der absorbierenden Schicht = 0,06 cm.

Ende des sichtbaren Spectrums

A B C

Vergleicht man die Absorptionszahlen des Wassers mit den entsprechenden Werten, welche den Augenmedien zukommen, so ergibt sich völlige Übereinstimmung in der Lage der Maxima und Minima. Die absoluten Werte der Absorptionen sind allerdings beim Wasser großenteils etwas geringer; man bemerkt indessen, daß die Zahlen im allgemeinen um so besser übereinstimmen, je länger die Wellen werden, so daß man die Abweichungen sicherlich der Hauptsache nach den unvermeidlichen Trübungen der Präparate zuschreiben darf, die schon dem bloßen Auge bemerkbar waren. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß ohne diese Trübungen die Augenmedien völlig gleiche Absorptionen zeigen wie das Wasser.

Wenn dies thatsächlich der Fall ist, so kann ich die Absorptionswerte, die der Gesamtheit der Medien des menschlichen Auges zukommen, ermitteln, indem ich aus meinen sonstigen, zum Teil in Tabelle I und II wiedergegebenen, Messungen die entsprechenden Größen für eine Wasserschicht von 2,28 cm Dicke berechne; 2,28 cm beträgt nämlich die Entfernung vom Scheitel der Cornea bis zur Retina. Es ergeben sich dann die in Tabelle IV enthaltenen und in Fig. 4 graphisch dargestellten Werte.

Wenn nun auch nicht mit voller Sicherheit nachgewiesen ist, daß diese durch Rechnung gefundenen Werte ganz genau

Tabelle IV.

Wasser. $d = 2,28$ cm (Auge des Menschen).

λ	A	λ	A
670	1	958	43
690	1	980	60
710	2,5	1008	60,5
730	5	1035	47,5
750	6	1063	36
770	6,5	1095	34,5
790	5	1127	48,5
810	5	1162	82
830	8	1205	93
850	8	1252	94
872	10,5	1300	93,5
890	12	1350	97,5
912	16,5	1400	100
935	24		

den thatsächlichen Verhältnissen entsprechen, so liefern doch meine faktischen Beobachtungen — wie aus Tabelle I—III ersichtlich ist — in dem für die vorliegende Frage wichtigsten Punkte das nämliche Ergebnis: dafs erst von ca. 1400 $\mu\mu$ an die Strahlen von den Medien des Auges nicht mehr merk-

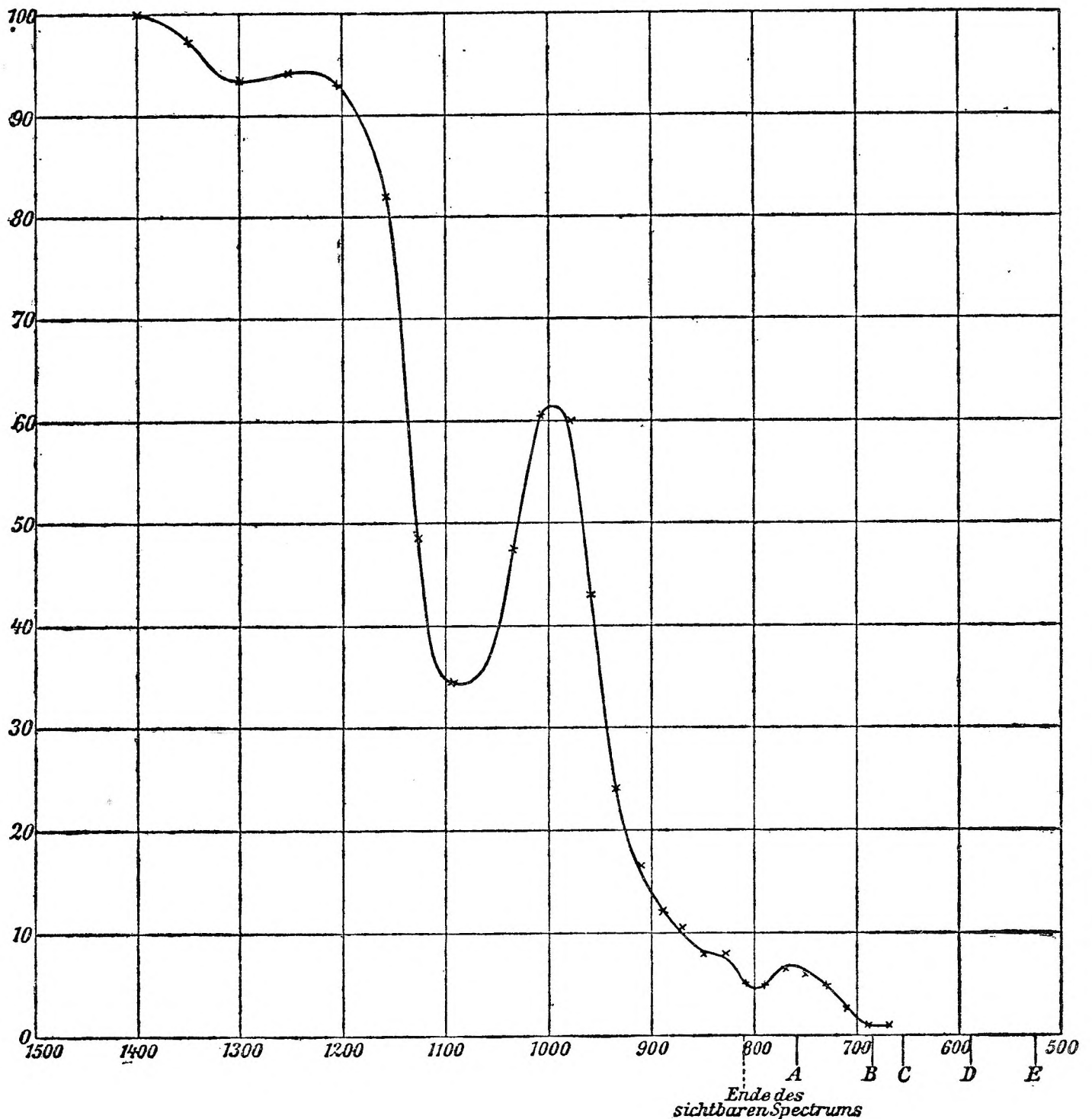


Fig. 4.

Berechnete Absorption in einer Wasserschicht von 2.28 cm = der Axenlänge des menschlichen Auges.

lich hindurchgelassen werden, dafs aber an der Grenze des sichtbaren Gebietes die Absorption noch keine besonders intensive ist. Es folgt hieraus also, dafs die Ursache der Unsichtbarkeit der ultraroten Strahlen in der Unempfindlichkeit der Netzhautelemente für dieselben zu suchen ist.