

(Aus dem Institut für Gerichtliche Medizin und Kriminalistik der Universität
Halle a. d. S. [Direktor: Prof. Dr. Schrader].)

Die Kompensation der Gefäßparalyse durch Einströmen von Gewebsflüssigkeit bei der akuten tödlichen CO-Vergiftung.

Von

Dr. med. habil. Albert Ponsold, Dozent,
z. Z. Stabsarzt und Luftgaupathologe beim Luftgaukommando IV.

Mit 2 Abbildungen im Text und 1 Tabelle.

(Eingegangen am 28. April 1941.)

Einleitung.

In der Arbeit von *Helmke* über „Schwankungen der Blutkonzentration in der Agonie“ wird u. a. auch zur Blutbeschaffenheit bei der Kohlenoxydvergiftung Stellung genommen, wobei darauf hingewiesen wird, daß „recht wechselnde Angaben“ über die Blutbeschaffenheit bei der CO-Vergiftung im Schrifttum zu finden sind.

Nach *Helmke* tritt bei Vergiftungen (von Kaninchen) mit Digi-purat, Pernokton und beim Tod durch Erstickung regelmäßig in der Agonie eine Bluteindickung auf. Bei der CO-Vergiftung hingegen kann diese agonale Bluteindickung dadurch überdeckt werden, daß geschädigte Blutkörperchen der Zirkulation entzogen werden. Infolgedessen tritt im kreisenden Blut eine Blutverdünnung in Erscheinung. Das ist im übrigen nicht nur eine Eigentümlichkeit bei der CO-Vergiftung, sondern eine Erscheinung, wie sie bei Blutgiften schlechthin zu beobachten ist, also auch z. B. bei der Cyankalivergiftung.

Auch wir haben diese Beobachtung der Blutverdünnung bei der CO-Vergiftung machen können, sofern das Blut nicht geronnen war. Es zeigte sich vor allem am Blute der rechten Herzhälfte — also an demjenigen Blute, an dem sich Veränderungen des Plasmagehaltes, die bei Lebzeiten entstanden sind, nachweisen lassen (*Ponsold*) — ein erhöhter Plasmagehalt von 70—80%. Aber auch am Blute der linken Herzhälfte fand sich mitunter ein erhöhter Plasmagehalt.

Untersuchungstechnik.

Die Bestimmung des Plasmagehaltes wurde mittels des von uns vereinfachten (ungraduierte Capillarröhrchen) Hämatokritverfahrens durchgeführt. Nach Abklemmung der Zu- und Abflußwege der rechten Herzhälfte, also der beiden Hohlvenen und der Lungenschlagader (zur Verhütung eines Nachfließens von Blut aus den großen Gefäßen während

der Blutentnahme aus dem Herzen) wird das Blut abgesaugt, und zwar mit Hilfe einer Wasserstrahlpumpe. Proben von diesem Blut werden auf Capillarröhrchen übertragen. Nach Zuschmelzen einer ihrer Öffnungen wird das Blut in diesen Capillarröhrchen zentrifugiert. Der sich dabei abscheidende Plasmaanteil (s. Abb. 1) wird an seiner Säulenhöhe gemessen und der prozentuale Anteil dieser Länge an der Länge der Blutsäule (Gesamtsäulenhöhe im Capillarröhrchen) errechnet. In der Abbildung sind zwei Capillarröhrchen dargestellt, von denen das eine eine niedrige Blutkörperchensedimentsäule bzw. einen hohen Plasmaanteil aufweist, was den Verhältnissen (Hydrämie) in der rechten Herzhälfte entspricht, während am anderen Capillarröhrchen die Blutkörperchensedimentsäule eine höhere und der Plasmaanteil ein geringerer ist — entsprechend den Verhältnissen am Blute der linken Herzhälfte.

A. Untersuchungsergebnisse.

Die auf diese Weise ermittelten Plasma-Blutverhältnisse sind in der nachfolgenden Tabelle eingetragen. Die Fälle sind geordnet nach dem Plasmagehalt des Blutes der rechten Herzhälfte, angefangen mit dem geringsten Plasmagehalt. Der Plasmagehalt der linken Herzhälfte entspricht nicht dem der rechten Herzhälfte, so daß sich hier nicht die gleiche Reihenfolge ergibt wie am Blute der rechten Herzhälfte.

Die Bemerkung „Gasschlauch im Mund“ bedeutet nicht, daß die Leiche in dieser Situation aufgefunden wurde, sondern daß die Schlauchmündung so zur Leiche lag, daß hieraus geschlossen werden konnte, daß der Schlauch in den Mund genommen worden war, z. B. wenn der Schlauch auf dem Schoß lag.

Ein erhöhter Plasmagehalt findet sich vor allem am Blute der rechten Herzhälfte ($\frac{1}{3}$ der Fälle). Es gibt aber auch Fälle, die rechts und links einen erhöhten Plasmagehalt aufweisen ($\frac{1}{4}$ der Fälle), wobei nämlich ein Plasmagehalt von mehr als 30% am Blute der linken Herzhälfte — im Hinblick auf die postmortale Eindickung durch die Plasmaaustreibung infolge der Totenstarrekontraktion der linken Kammer (*Ponsold*) — einen zu Lebzeiten erhöhten Plasmagehalt bedeutet. Schließlich finden sich auch solche Fälle, die nur links einen erhöhten Plasmagehalt aufweisen (5% der Fälle). Rechnet man alle diese Fälle zusammen, so ergibt sich bei der CO-Vergiftung in fast zwei Dritteln der Fälle (63%) ein erhöhter Plasmagehalt. Den Rest der Fälle bilden diejenigen, bei



Abb. 1.

Tabelle 1.

Sekt.- Nr.	Ge- schlecht	Lebens- alter Jahre	Blutmenge rechts cem	Plasmagehalt		Bemerkungen
				rechts %	links %	
59/36	♀	88	92	37	28	Sitzend, beginnendes Lungen- ödem
301/36	♀	47	114	38	20	Sitzend
321/37	♂	35	140	39	19	Liegend, beginnendes Lungen- ödem
322/38	♂	18	92	40	21	Liegend (vom Stuhl gerutscht)
255/39	♂	39	180	43	23	Liegend
7/35	♀	29		45	17	Liegend
218/35	♀	40		45	27	Sitzend, Lungenödem, Schwan- gerschaft 4. Monat
21/35	♀	40		46	40	
72/36	♀	52	172	50	14	Liegend, Mitralinsuffizienz
371/36	♂	74		50	—	Vater von 372/36
14/35	♀	24		50	28	Liegend, Schwangerschaft
49/37	♀	27		50	38	Liegend, vom Stuhl gerutscht
147/35	♀	39		52	16	
204/34	♀	7		52	—	
180/35	♀	41		53	24	Sitzend im Liegestuhl
262/37	♀	38	78	53	25	Liegend, vom Stuhl gerutscht, beginnendes Lungenödem
84/38	♀	68	192	53	38	
288/37	♀	33	220	54	—	
372/36	♀	40		54	—	Tochter von 371/36
285/37	♂	28	146	54	27	Liegend, Aspiration von Erbro- chenem
297/36	♂	44	138	56	14	Sitzend, <i>Gasschlauch im Mund</i>
119/34	♀	58		56	29	Sitzend im Liegestuhl
75/35	♀	64		58	14	Liegend, Aspiration von Erbro- chenem
236/37	♀	51	166	58	19	Beginnendes Lungenödem
153/39	♀	29	170	60	41	Sitzend, nahe dem Gashahn
87/37	♀	24		61	41	Sitzend, Wiederbelebungsver- suche Sauerstoffapparat
135/36	♂	80	100	62	15	Liegend, vom Stuhl gerutscht, hochgradiges Lungenödem, Aspiration von Erbrochenem, Ehemann zu 136/36
134/37	♀	30	140	63	41	Liegend, vom Stuhl gefallen
119/35	♀	45		64	10	Liegend, nahe dem Gashahn
207/40	♀	76	35	64	25	Liegend, 2,2 m vom Gashahn
20/38	♂	16	132	65	20	Liegend
342/40	♂	32	250	65	28	Sitzend, <i>Gasschlauch im Mund</i>
40/41	♀	59	145	66	15	
55/37	♀	17		66	34	Liegend
58/37	♀	18		66	42	Liegend, vom Stuhl gerutscht
204/38	♂	46	150	67	20	Liegend in Badewanne, Gashahn in 2 m Höhe vom Erdboden
80/37	♀	74	52	67	23	Sitzend, beginnendes Lungen- ödem
125/36	♀	1 $\frac{1}{2}$	30	67	64	
305/34	♀	66		70	42	
269/40	♀	84		70	54	Sitzend, nach vorn gebeugt
241/37	♀	63	64	71	26	Liegend, <i>Gasschlauch im Mund</i> , beginnendes Lungenödem

Tabelle 1 (Fortsetzung).

Sekt.- Nr.	Ge- schlecht	Lebens- alter Jahre	Blutmengen- rechts ccm	Plasmagehalt		Bemerkungen
				rechts %	links %	
229/38	+	57		72	20	Sitzend, <i>Gasschlauch im Mund</i>
34/39		84	194	73	26	Liegend, Bauchlage
189/36		52	82	73	44	Seitenlage, beginnendes Lungen- ödem
57/37	+	9		74	—	
28/41		49		74	15	Liegend
340/36		17	156	75	31	Sitzend, <i>Gasschlauch im Mund</i>
120/35	+	44		76	21	Liegend, nahe dem Gashahn
293/38		26	172	76	37	Bauchlage
16/36		39	118	77	22	Liegend, beginnendes Lungen- ödem
136/36	+	86	110	77	24	Hockerstellung. Ehefrau zu 135/36
132/39	+	56	60	78	14	Sitzend, nach vorn gebeugt
214/39		13	115	78	27	Sitzend am Gasherd
295/36		59	148	79	18	Liegend
172/37	+	50	118	79	15	Mit dem Kopf auf dem Gasherd liegend, <i>Gasschlauch im Mund</i>
56/37	+	15		80	45	Liegend
261/37		53	102	81	22	Sitzend, <i>Gasschlauch im Mund</i>
182/40		29	150	81	33	Liegend, 1,20 m vom Gashahn
83/37	+	30	102	85	35	Liegend
324/35		64	90	87	23	Liegend, Unterleibskrebs

denen keine Reaktion am Blute im Sinne einer Blutverdünnung — weder rechts noch links — nachzuweisen ist (37% der Fälle).

Bei den vorliegenden 60 Fällen handelte es sich um solche, bei denen das Blut *flüssig* geblieben war. Bei unserem Material weist etwa jeder 3. Fall geronnenes Blut auf. Bei diesen Fällen ist der Plasmagehalt nicht nachweisbar, weil infolge der Gerinnung eine Hämatokritbestimmung nicht durchzuführen ist.

Die CO-Vergiftung im Vergleich mit Todesarten ohne Reaktion am Blute.

Die Untersuchungsergebnisse sind der Übersicht und des Vergleiches halber in einem Diagramm (Ordinate = Häufigkeit in Prozenten nach Anzahl der Fälle; Abszisse = Plasmagehalt in Prozenten; oberes Diagramm = rechtes Herz; unteres Diagramm = linkes Herz) zusammengestellt (Abb. 2). Das untere Diagramm ist gegen das obere nach links hin verschoben, d. h. es erstreckt sich über niedrigere Plasmawerte als das obere. Das erklärt sich durch die am Blute der linken Herzhälfte eintretende postmortale Bluteindickung infolge Plasmaverschiebung durch Totenstarrekontraktion der linken Kammer.

Die gestrichelten Kurven stellen die Verhältnisse (festgestellt am flüssig gebliebenen Blute) bei denjenigen Todesarten dar, bei denen eine

Reaktion am Blute im Sinne einer Verdünnung oder Eindickung nicht nachzuweisen ist, z. B. beim plötzlichen natürlichen und beim plötzlichen gewaltsamen Tode.

Demgegenüber stellen die ausgezogenen Linien die Verhältnisse bei der CO-Vergiftung dar.

Vergleicht man nun die gestrichelte und die ausgezogene Linie, so zeigt sich, daß die ausgezogene Linie weiter nach rechts hinausragt, also in den Bereich der höheren Plasmawerte. Dieser Anteil ist schraffiert

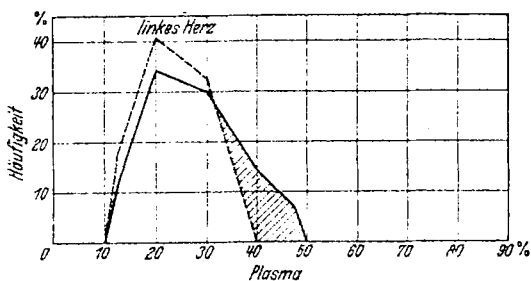
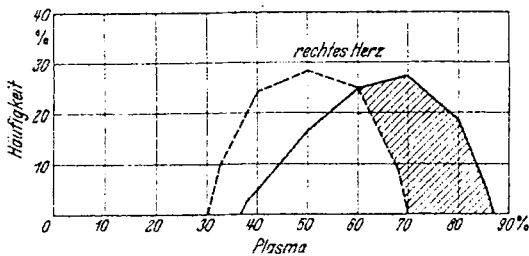


Abb. 2.

dargestellt und soll die bei der CO-Vergiftung nachweisbare Plasmazunahme bzw. Hydrämie zum Ausdruck bringen. Infolge der Plasmaverschiebung durch die Totenstarrekontraktion tritt die Hydrämie links nicht so augenfällig in Erscheinung wie rechts.

Wir betonen, daß (bei den Todesarten ohne Blutreaktion und bei der CO-Vergiftung) nur Fälle mit *flüssig* gebliebenem Blute verglichen wurden. Das stellt zwar eine gewisse Auslese dar, aber bei forensisch

wichtigen Todesarten ist der Anteil von Fällen, wo geronnenes Blut vorliegt, sehr gering, abgesehen davon, daß sich diese Untersuchungen ohne diese Auslese gar nicht hätten durchführen lassen.

B. Die Erklärung der Befunde.

1. Die Hydrämie als Blutkörperchenabnahme.

Die Hydrämie kann als Blutkörperchenabnahme oder als Plasmazunahme erklärt werden. Die Abnahme der Blutkörperchen, die relative Hydrämie (Oligocythämie), ließe sich durch eine Auffüllung der Blutdepots erklären, und in der Tat ist die Milz bei der CO-Vergiftung schwerer (*Wiethold*) als bei anderen Todesarten. Die Auffüllung der Depots erfolgt nach *Helmke* durch geschädigte rote Blutkörperchen, die der Zirkulation entzogen werden. In seinen Untersuchungen über die Schwankungen der Blutkonzentration in der Agone stellte *Helmke* wie schon oben erwähnt fest, daß bei Vergiftung von Kaninchen mit Digipurat

und Pernokton und bei Tötung durch Erstickung regelmäßig eine Bluteindickung auftrat. Bei Blutgiften hingegen wird diese Bluteindickung dadurch überdeckt, daß geschädigte Blutkörperchen der Zirkulation entzogen werden. Infolgedessen tritt im kreisenden Blute, z. B. bei der CO-Vergiftung, eine Blutverdünnung in Erscheinung.

Dagegen könnte nun eingewandt werden, daß bei einer CO-Vergiftung eine generelle Bindung des Kohlenoxyds aus Hämoglobin stattfindet, daß also *alle* Blutkörperchen geschädigt sein müßten, mithin alle Blutkörperchen der Zirkulation entzogen werden müßten, sich aber in der Milz bei der CO-Vergiftung kein erhöhter Blutzerfall feststellen läßt (*Wiethold*). Allerdings ist das Entziehen von Blutkörperchen der Zirkulation noch nicht gleichbedeutend mit Blutzerfall.

2. Die Hydrämie als Plasmazunahme.

Bei CO als Gefäßgift werden die Gefäße gelähmt und somit erweitert. Das hat ein Mißverhältnis zwischen Fassungsvermögen des Gefäßsystemes und der zirkulierenden Blutmenge zur Folge. Es strömt Gewebsflüssigkeit in die Blutbahn — teleologisch ausgedrückt — zur Auffüllung ein. Diese Möglichkeit einer Kompensation der Gefäßparalyse wird auch von *Eppinger* beim Vasomotorenkollaps erwogen: „In keinem unserer Versuche kam es zu einer Zunahme der Erythrocytenzahlen, eher zu einer geringgradigen Diluierung des Blutes, die sich durch eine mäßige Abnahme der Erythrocytenzahl im Kubikmillimeter Blut bemerkbar macht. Diese Diluierung könnte vielleicht einem Versuch des Körpers entsprechen, den Druck durch Auffüllung des entspannten Gefäßsystemes wieder zu steigern, indem *Flüssigkeit aus den Geweben in das Blut* gebracht wird.“

In diesem Sinne deuten auch wir die an der Leiche erhobenen Befunde und die Ergebnisse unserer zur Ergänzung vorgenommenen Tierversuche (Kaninchen), bei denen sich im Vergleich zu Kontrolltieren, die durch Luftembolie getötet wurden, eine Zunahme der Blutmenge um 10% ergab. Das bezogen wir auf eine Zunahme von Plasma, denn der Hämatokritwert zeigte eine Abnahme von 35% auf 30% Blutkörperchen, was ungefähr den Ergebnissen von *Helmke* entspricht, der eine Veränderung von 35% auf 32% feststellte. Würde diese Veränderung durch eine Abnahme der Blutkörperchen (*Helmkes* Ansicht) bedingt sein, so könnte sich keine Zunahme der Blutmenge ergeben.

Wie ist es nun aber zu erklären, daß die Hydrämie (als Plasmazunahme) bald *nur rechts*, bald *rechts und links*, bald *nur links* nachweisbar ist? Offenbar tritt die agonale Plasmazunahme, wie wir uns das vorstellen, in der Form einer Welle auf, die in dem Moment einsetzt, in dem die Gefäßblähmung erfolgt. Die Welle nimmt nun ihren Ursprung im Capillargebiet und erstreckt sich zunächst nur über das Venensystem

bis ins rechte Herz. Wenn der Tod zu diesem Zeitpunkt eintritt, ist die Hydrämie nur am Blute der rechten Herzhälfte nachweisbar. Tritt der Tod nicht zu diesem Zeitpunkt ein, sondern einige Sekunden später, so setzt sich die Welle fort, und zwar bis ins Arteriensystem. Die Hydrämie ist dann am Blute der rechten und der linken Herzhälfte festzustellen. Tritt auch jetzt der Tod nicht ein, so verläßt die Welle das Venensystem und erstreckt sich nun nur noch über das Arteriensystem. Hierbei ist die Hydrämie nur am Blute der linken Herzhälfte nachweisbar.

In dem Maße, als sich die Welle über das Coronarsystem erstreckt, könnte angenommen werden, daß in diesen Fällen der Tod an einer Coronarinsuffizienz (*Büchner*) durch zu stark verdünntes Blut eintritt. Möglicherweise erklärt sich dadurch, daß nur in vereinzelten Fällen (5%) die Hydrämie lediglich am Blute der linken Herzhälfte (=Arteriensystem) nachweisbar ist, denn der Tod an Coronarinsuffizienz scheint einzutreten, sowie die Welle das Arteriensystem erreicht bzw. bevor die Welle das Venensystem verlassen hat. Nur besonders widerstandsfähige Herzen vermögen eine hydrämische Durchblutung anscheinend länger zu ertragen — bis die Welle das Venensystem verläßt und sich nur noch über das Arteriensystem erstreckt.

Warum aber die Hydrämie keine generelle Erscheinung bei der CO-Vergiftung ist, sondern sich nur in zwei Dritteln der Fälle nachweisen läßt, das vermögen wir nicht zu erklären. *Helmke* ist der Ansicht, daß sich dieses wechselnde Auftreten der Hydrämie (als Blutkörperchenabnahme) durch die Konkurrenz zweier Vorgänge, nämlich das Durchlässigwerden der Gefäße infolge einer Ernährungsstörung in der Agone einerseits und die Füllung der Blutreservoirs mit geschädigten Blutkörperchen andererseits erklären ließe. Das Durchlässigwerden hat eine Eindickung, die Depotauffüllung eine Verdünnung zur Folge. Je nachdem, welche von diesen beiden Vorgängen überwiegt, wird einmal nur eine Eindickung, das andere Mal keine Wirkung und schließlich nur eine Verdünnung des Blutes in Erscheinung treten. Hierdurch würden auch die im Schrifttum zu findenden recht wechselnden Angaben über die Blutbeschaffenheit bei der CO-Vergiftung zu erklären sein.

Wir sind aber nicht der Ansicht, daß die beschriebene Blutveränderung eine allgemeine agonale Erscheinung ist, sondern meinen, daß es sich um einen für die CO-Vergiftung (Gefäßparalyse) spezifischen Vorgang handelt.

3. Die Hydrämie als Folge besonderer Umstände.

Wir haben aber außerdem noch in Erwägung gezogen, ob etwa das Geschlecht oder das Lebensalter für die Entstehung der Hydrämie maßgebend sein könnte, aber das ist nicht der Fall.

Auch die Konzentration des Kohlenoxyds in der Luft ist für das Auftreten der Hydrämie nicht maßgebend. Um das verständlich zu machen, sind diejenigen Fälle in der Tabelle hervorgehoben, bei denen festgestellt wurde, daß der Gasschlauch in den Mund genommen worden war. Zwar weisen 5 von den 6 Fällen einen Plasmagehalt von über 70% auf, aber es findet sich auch ein Fall (297/36), wo ein Plasmawert von nur 56% vorliegt, und andererseits finden sich Fälle von einer ausgesprochenen Hydrämie, wo der Gasschlauch nicht in den Mund genommen worden war.

Auch mit der Konzentration des CO-Hämoglobins im Blut ist der erhöhte Plasmagehalt nicht in Zusammenhang zu bringen. Die überwiegende Mehrzahl von tödlichen Vergiftungsfällen weist einen CO-Hämoglobinwert zwischen 70—80%, und in wenigen Fällen 80—90% auf. Es läßt sich also eine Parallelität zwischen Konzentration und Plasmazunahme nicht feststellen.

Auch postmortale Erscheinungen kommen für die Hydrämie als Ursache nicht in Frage. Man könnte hierbei an das Durchlässigwerden der Gefäße bei zunehmender Verwesung denken. Aber unsere Fälle wurden in 24—36 Stunden nach dem Tode sezirt.

Man könnte ferner z. B. auch daran denken, daß infolge der bei der CO-Vergiftung erweiterten Gefäße das Absinken der Blutkörperchen gefördert wird und sich infolgedessen an den nichtabhängigen Partien, in denen auch das Herz liegt, Plasma ansammelt. Aber das Herz hängt hinsichtlich der Hypostase nicht im Sinne kommunizierender Röhren mit dem Gefäßsystem zusammen.

Auch das Absinken der Blutkörperchen in Richtung der *Körperlängsachse*, woran zu denken ist, wenn die Leiche in „sitzender“ Stellung aufgefunden wird, kommt nicht in Betracht, da diese Fälle in ihren Werten, wie aus der Tabelle zu ersehen ist, nicht von den Werten der übrigen Fälle abweichen.

Hinsichtlich der Hypostase könnte man auch daran denken, daß das Herz, insbesondere die rechte Hälfte, bei der CO-Vergiftung prall gefüllt ist und auf diese Weise so weit über das Niveau der Hohlvenen herausragt, daß Blutkörperchen aus dem Herzen in diese absinken. Aber ein Blick auf die Tabelle zeigt, daß die abweichenden Plasmawerte nicht mit dem Füllungszustand des rechten Herzens in Zusammenhang gebracht werden können.

Zusammenfassung.

1. In etwa zwei Dritteln der Fälle von akuter tödlicher CO-Vergiftung mit flüssig gebliebenem Blut findet sich teils im Blute der rechten Herzhälfte, teils im Blute beider Herzhälften, teils im Blute der linken Herzhälfte ein erhöhter Plasmagehalt.

2. Diese Hydrämie erklären wir durch Einströmen von Gewebsflüssigkeit als Folge einer allgemeinen Blutgefäßerweiterung, also — teleologisch ausgedrückt — zum Zwecke der Auffüllung des gelähmten Gefäßsystems.

3. Das Einströmen von Gewebsflüssigkeit scheint in der Form einer Welle abzulaufen, die im Capillargebiet ihren Ursprung nimmt. Erstreckt sich diese Welle nur über das Venensystem, so läßt sich die Hydrämie nur am Blute der rechten Herzhälfte nachweisen. Hat die Welle bereits das Arteriensystem erreicht und erstreckt sie sich somit über beide Systeme, so ist die Hydrämie in beiden Herzhälften nachzuweisen. Hat sie schließlich das Venensystem verlassen und erstreckt sie sich nur noch über das Arteriensystem, so ist sie nur noch am Blute der linken Herzhälfte nachweisbar.

4. Warum die Hydrämie in einem Drittel der Fälle von Kohlenoxydvergiftung (mit flüssig gebliebenem Blut) nicht eintritt, vermögen wir nicht zu erklären.

Schrifttum.

Büchner: Die Coronarinsuffizienz. Dresden und Leipzig 1939. — *Eppinger*: Verh. dtsh. Ges. Kreislaufforsch. Bad Nauheim 1938. — *Helmke*: Virchows Arch. **304** (1939). — *Ponsold, A.*: Dtsch. Z. gerichtl. Med. **26** (1936); **28** (1937); **29** (1938); **34** (1940). — *Wiethold*: Dtsch. Z. gerichtl. Med. **21** (1933).
