Das freie Elektron : das im Atom gebundene Elektron

Autor(en): **[s.n.]**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Pionier : Zeitschrift für die Übermittlungstruppen**

Band (Jahr): **42 (1969)**

Heft 3

PDF erstellt am: **04.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-561215

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

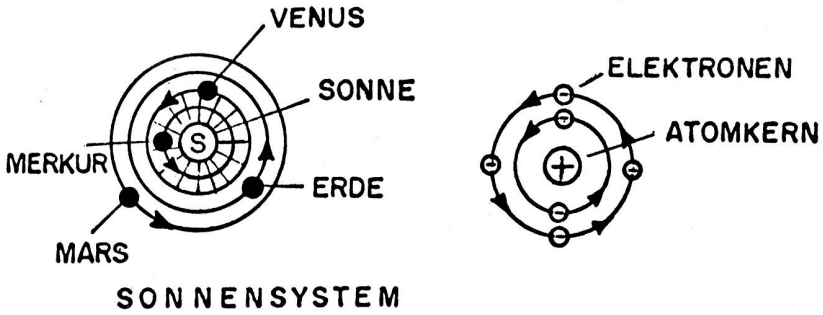
Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Das freie Elektron
Das im Atom gebundene Elektron

539.124 o.J.

Im Jahre 1911 konnte Rutherford [1]) seinen Kollegen voll Stolz verkünden: «Ich weiss wie ein Atom aussieht»:
«In der Mitte befindet sich ein Kern, welcher die Hauptmasse enthält und positiv elektrisch ist. Sein Durchmesser liegt bei 10^{-12} cm. Er wird von negativ elektrisch geladenen kleinsten Teilchen, den Elektronen umkreist, die aber nur $^1/_{1840}$stel der Masse des Kerns besitzen. Ein Atom enthält genau soviel positive Kernteile, Protonen genannt, wie es negative Elektronen besitzt. Daher erscheint das Atom eines jeden Elementes nach aussenhin als elektrisch neutral. Die Elektronenhülle bestimmt das chemische Verhalten des Atoms. Die Zahl der Protonen beziehungsweise Elektronen ergibt die Art des Elements. Ein Proton mehr und schon haben wir es mit einem völlig anderen Element, einem Stoff mit anderen Eigenschaften zu tun. Beispiel: Wasserstoff besitzt nur 1 Proton, ein Proton mehr ergibt Helium, 6 Protonen Kohlenstoff, 17 Chlor usw.»
Rutherford konnte seinerzeit die Existenz einer Elektronenhülle noch nicht nachweisen. So musste er in seinem Gedankenmodell die Annahme machen, dass die Elektronen gleich Planeten (Fig. 1) um einen Kern mit einer solchen Geschwindigkeit kreisen, dass ihre Fliehkraft gerade so gross ist, dass sie die elektrische (Coulombsche) Anziehungskraft des Kerns kompensiert.



Erstes Atommodell als Abbild im kleinen des Sonnensystems.

Die unvorstellbaren Grössenverhältnisse im Atom

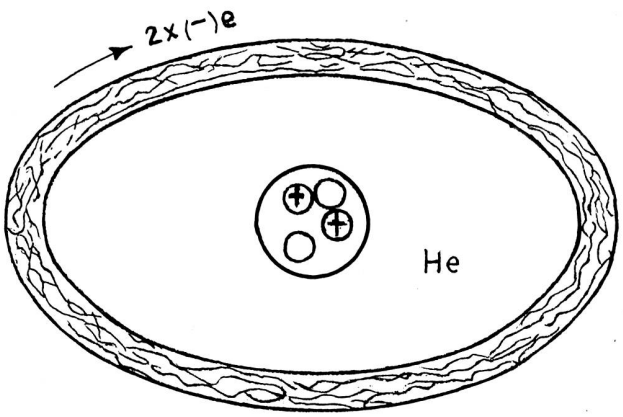
Die Physiker haben errechnet, dass die Atomhülle einen Durchmesser von nur etwa 10^{-8} cm aufweist. Der Kern ist somit 10 000mal kleiner als das Atom selbst. Dazwischen herrscht Leere. Diese Grössenverhältnisse sind schwer vorstellbar. Wir bedienen uns daher eines anschaulichen Vergleichs:
Wenn wir uns den Atomkern zu einer Erbse vergrössert denken, so würde das Elektron vom Ausmass eines kleinen Staubkorns auf einer Ballonhülle mit einem Durchmesser von 100 m kreisen. Der Ballon selbst wäre völlig leer. Die Geschwindigkeit mit der die Elektronen auf der Hülle umlaufen ist sehr gross. Sie hängt von der Art des Atoms und vom Kern-Bahnabstand ab. Beim Wasserstoffatom ist diese Umlaufgeschwindigkeit mit 2000 km/s noch relativ gering.
Welche Ausmasse der «leere Raum» in unserer materiellen Welt einnimmt wird begreiflicher, wenn wir uns vorstellen, dass ein Metallblock von 1 m^3 Volumen auf die Grösse eines Stecknadelkopfes zusammengedrückt werden könnte, falls wir das Wunder vollbrächten, die ungeheuren Atombindungskräfte zu überwinden und die Elektronen auf den Kern zu pressen. Ein Mensch liesse sich so beispielsweise auf Briefmarkenstärke «reduzieren».

Betrachtungen über das Atom und das Elektron

Der Urbaustein aller stofflichen Schöpfung ist das Atom. Unser Wissen über das Atom ist dank der Forschung der letzten Jahrzehnte weit fortgeschritten, aber dennoch nicht gross genug, um seine Wirkungsweise voll zu verstehen, denn das Atom ist weit davon entfernt, etwa ein kompaktes Gebilde oder eine feste Masse zu sein. Es besteht fast nur aus leerem Raum. Seine wirbelnden Elektronen, die mehr Welle als Masse sind, werden von einer unsichtbaren Kraft mit ganz bestimmter Geschwindigkeit in ganz bestimmtem Abstand zu Kreisbewegungen um den Kern gezwungen. Falls diese geheimnisvolle Kraft, die wir schlechthin Fliehkraft nennen, auch nur den Bruchteil einer Sekunde in den Atomen des Kosmos aussetzen würde, würde das gesamte Weltall in ein Chaos stürzen. Im Atom offenbart sich das ganze Wunder der Schöpfung und des Lebens. Alle Materie, so verschieden sie auch sein mag, besteht aus dieser Ursubstanz oder ihren Teilchen. Das Atom mit seiner Leere zerschlägt den Wahn des Menschen von der Festigkeit der Welt und zerbricht sein stolzes materialistisches Weltbild. Es liefert den Beweis, dass es im Kosmos keine Starrheit, keine Ruhe und keine absolute Festigkeit gibt. Alles ist in ewiger Bewegung. Alle Materie erweist sich letzten Endes als Schwingung, als substanzlose Energiekonzentration. Was unserem Auge als festes, lebloses Gebilde erscheint, sei es ein Stein, ein Stück Holz, der Stuhl auf dem wir sitzen, ist in Wirklichkeit eine Zusammenballung von wirbelnden Elektronen und dynamischen Kräften, ein allerfeinstes Spinngewebe, in dem die Atome die Energieknoten darstellen, gesteuert und gelenkt von geistigen Kräften, die uns ebenso verborgen bleiben, wie die geistige Welt, die sich hinter unserer «Scheinwelt» verbirgt. Der grosse englische Physiker Bertrand Russel (geb. 1872) sagte einmal in diesem Zusammenhang: «Der Begriff der festen Materie ist durch die Entwicklung der heutigen Physik endgültig aus der Welt verschwunden. Die modernen Erkenntnisse von Wellen- oder Strahlungscharakter der Materie haben die letzten Spuren des alten festen Atoms ausgelöscht».

[1]) Englischer Physiker (1871—1937)

Die Verhältnisse im Atom, die hier nur stark vereinfacht und in aller Kürze dargestellt wurden, sind, wie die Forschung inzwischen festgestellt hat, weit komplizierter und immer schwerer darstellbar geworden. Viele neue Erkenntnisse, die seit Rutherford gewonnen wurden, bedingen neue Theorien, die aber immer komplizierter wurden und zu immer unanschaulicheren Atommodellen führten. Nach der heutigen Atomphysik darf die Frage nach dem Aussehen des Elektrons überhaupt nicht gestellt werden, denn das Elektron erwies sich als ein Etwas, das weder genau beschreibbar noch darstellbar ist. Während das Atommodell von Niels Bohr (gest. 1962) noch weitgehend anschaulich war (siehe Fig. 1) wird sein Modell mit jeder neuen Theorie immer komplizierter. De Broglie war der Ansicht, dass man sich von den Vorstellungen der klassischen Physik lösen und neue Wege gehen müsse. Er versuchte dies mit Hilfe seiner Wellenmechanik, bei der das Elektron in einer Welle verschwindet (Fig. 2). Heisenberg



Das Heliumatom (He), bestehend aus einem Kern mit 2 + Protonen und 2 elektrisch neutralen Neutronen. Die positive Ladung des Kerns wird von 2 als schwingende Wolke dargestellten negativen Teilchen, den Elektronen, kompensiert, so dass das Atom nach aussen hin neutral erscheint.

machte aus den Materiewellen «Wahrscheinlichkeitswellen» und für Schrödinger sind die Teilchen des Atoms nur noch Symbole. Das Atom ist also in unserer Vorstellungswelt ein recht sonderbares Gebilde geworden. Das einzig Reale bildet noch der massebehaftete Kern, um den herum eine nebelhafte elektrische Ladungswolke kreist, deren Verdichtungen die Elektronen darstellen, über deren Lage und Geschwindigkeit nichts Genaues ausgesagt werden kann. Mit der plastischen Anschaulichkeit des Rutherfordschen und Bohrschen Planetenmodells ist es heute vorbei.

Was versteht man unter einem freien Elektron?

Wir haben das Elektron betrachtet, das an seinen Atomverband «gebunden» ist. Es stellt einen Bestandteil des Atoms dar und wird von der Coulombschen Kraft festgehalten. Diese Kraft wird jedoch, je weiter das Elektron vom Kern entfernt ist, zusehends schwächer. Die Elektronen der Elemente mit hohen Atomgewichten kreisen um den Kern in verschiedenen Bahnen, auch Schalen genannt. Die Elektronen der äussersten Schale sind daher am schwächsten an den Kern gebunden. Sie können durch eine genügend grosse Energiezufuhr, zum Überschreiten ihrer Ionisationsgrenze veranlasst und somit aus dem Atomverband herausgeschleudert werden. Voraussetzung dafür ist, dass ihnen genügend Verbrauchsstoff, kinetische Energie E_k, mitgegeben wird

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

m = Masse, v = Geschwindigkeit

Man bezeichnet solche Elektronen, die durch keine Coulombschen Kräfte mehr an ihr Atom gebunden sind, als freie Elektronen. Das freie Elektron wurde erstmals im Jahre 1897 von dem englischen Chemiker J. J. Thomson (1856—1940) festgestellt.

Das Elektron ist der Elementarbaustein des Kosmos. Es ist der Träger der elektrischen Einheitsladung e^-

$e^- = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Coulomb

nach dem französischen Physiker Charles Augustin Coulomb (1736—1806) benannt.

Die Ruhemasse m_{eo} des Elektrons wurde mit

$m_{eo} = 9{,}108 \cdot 10^{-28}$g

ermittelt. Für grössere Geschwindigkeiten (etwa über 100 000 km/s) ist die relativistische Masse m_{er} einzusetzen, die sich wie folgt errechnet:

$$m_{er} = \frac{m_{eo}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

c = Lichtgeschwindigkeit

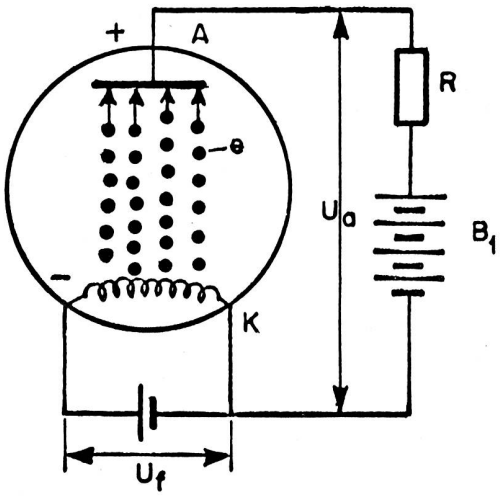
Ebenso wie die Masse ist auch der Radius r des Elektrons verschwindend klein. Er beträgt

$r = 1{,}85 \cdot 10^{-13}$ cm

Man kann hier schon kaum mehr von etwas «Körperlichem» sprechen. Daher darf man sich aus diesen Zahlen keine unbedingte Realität konstruieren. Es sind lediglich «Zahlen», mit denen man «rechnen» kann. Denn wir haben erfahren, dass das Elektron ein eigenartiges Zwitterding ist. Es kann Stoff und auch Energie sein. Wir wissen bis heute nicht, wie ein Elektron wirklich aussieht. Wir kennen nur seine Eigenschaften oder nehmen an, sie zu kennen. Es handelt sich beim Elektron und bei der Elektrizität nicht um eine unmittelbare Sinneswahrnehmung. Wohl verspüren wir den elektrischen Schlag, den wir beim Berühren eines schlecht isolierten Leitungsdrahtes erhalten und wir sehen das Bild, das ein Strahl Elektronen auf den Bildschirm unseres Fernsehgerätes schreibt. Aber alle diese Äusserungen der Elektronen deuten lediglich in ihrem Zusammenhang auf ein gemeinsames Prinzip, das wir einem «unsichtbaren Träger elektrischer Ladungen» zuschreiben.

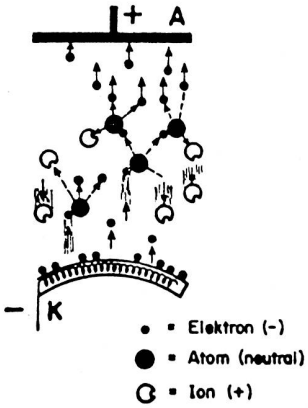
Die Erzeugung freier Elektronen

Wir wissen, dass durch genügende Energiezufuhr, deren Höhe sich nach der Ionisierungsgrenze des betreffenden Elementes richtet, ein Hüllelektron vom Atomverband abgetrennt werden kann. Es gibt hierfür verschiedene Möglichkeiten:
Am wirksamsten ist die Zufuhr von Wärmeenergie; man spricht in diesem Falle von thermischer Emission. Ein Beispiel hierfür ist die bekannte Glühkathodenröhre (z. B. die Radioröhre) (Fig. 3), bei der die elektrisch geheizte Kathode K den



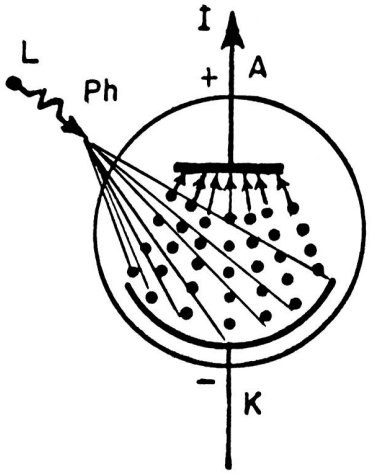
Schematische Darstellung einer Glühkathoden-Gleichrichterröhre. Die von der beheizten Kathode K emittierten Elektronen e werden von der auf +Potential (U_a) liegenden Anode A angesaugt und durchfliessen als elektrischen Leitungsstrom i den äusseren Widerstand R.

Elektronenspender darstellt. Die Elektronen werden von der gegenüberliegenden, an positiver Spannung (U_a) befindlichen Anode (A) angesaugt. In der — bis auf etwa 10^{-6} at — fast luftleer gepumpten Röhre, fliessen die Elektronen nahezu trägheitslos in Richtung vom Minus- zum Pluspol. Schliesst man den Kreis über einen äusseren Widerstand R, so fliesst in diesem ein elektrischer Strom.
Eine andere Möglichkeit ist die Elektronenerzeugung durch Stossionisation, wie sie beispielsweise in den Gasentladungsröhren nutzbar gemacht wird (Fig. 4). Ein von der Kathode emittiertes Elektron schlägt, sobald es mit einem Gasatom kollidiert, aus diesem ein Elektron heraus, so dass nun zwei freie Elektronen entstehen. Auf ihrem Flug zur Anode, der immer rascher wird, je mehr sie sich der Anode nähern, verursachen diese Elektronen immer neue Kollisionen. Es kommt schliesslich zu einer Kettenreaktion in Form einer «Elektronenlawine». In diesem Augenblick zündet die Röhre und führt schlagartig den für Gasentladungsröhren typischen hohen Anodenstrom. Werden solche Röhren mit einem Steuergitter ausgestattet, so erhält man eine steuerfähige Gleichrichterröhre, ein sogenanntes Thyratron, wie es in industriellen Steuerungen und steuerbaren Hochspannungsgleichrichtern auch



Schematische Darstellung einer beheizten Gasentladungsröhre. Von der Glühkathode K werden Elektronen emittiert. Sie kollidieren mit den Gasatomen des Füllgases (z. B. Xenon). Bei diesen heftigen Zusammenstössen schlagen sie aus diesen die Hüllelektronen heraus, welche die Primärelektronen auf diese Weise lawinenartig vermehren. Die Elektronen fliegen als kräftiger Strom zur +Anode A, die positiv gewordenen Atomreste (Ionen) zur negativen Kathode K.

heute noch, trotz Halbleitern, viel benutzt wird. Das beim Zusammenprall «beschädigte», seines Elektrons beraubte Gasatom ist dadurch zu einem + Ion geworden und fliegt zur negativen Kathode. Den Vorgang bezeichnet man mit Ionisation.
Eine weitere Möglichkeit freie Elektronen zu erzeugen bietet



Prinzip einer Fotozelle.
Ein Hochvakuumgefäss enthält eine Anode und eine Foto-Emissions-Kathode K, die zum Beispiel eine Silberoxidkathode mit Cäsiumbelag darstellt. Sobald diese von einem Lichtstrahl (Photonen Ph) getroffen wird, emittiert sie freie Elektronen, die zur Anode fliegen und in einem äusseren Kreis als schwacher Strom gemessen werden können. Der Strom ist annähernd proportional der Beleuchtungsstärke.

der lichtelektrische Effekt: Er wird in den Photozellen ausgenutzt, in denen Licht in elektrischen Strom umgewandelt wird. Es sind dies beispielsweise elektronische Röhren in denen die mit einer dünnen Cäsiumschicht überzogene Kathode Elektronen emittiert, sobald sie von Lichtstrahlen (Photonen) getroffen wird (Fig. 5).
Unter Einwirkung starker elektrischer Feldstärken von mindestens 10^6 Vcm ist schon bei Zimmertemperatur möglich, die Elektronen zum Austritt aus ihrem Atomverband zu veranlassen. Die erforderliche Elektronenaustrittsarbeit wird dabei der Energie des elektrischen Feldes entnommen. Derartige freie und bewegte Elektronen entstehen in metallischen Leitern, wenn diese an eine elektrische Spannung gelegt werden. Es handelt sich dabei um den elektrischen Leitungsstrom. Wir werden uns mit diesem in einem folgenden Abschnitt noch befassen.

Das freie Elektron der Träger unserer modernen Technik

Das freie Elektron und das mit ihm verknüpfte Feld bilden die Grundlage der Stark- und Schwachstrom- sowie der Hochfrequenztechnik, nicht zu vergessen auch den jüngsten Zweig der Elektrotechnik, die Elektronik.
Alle elektrischen Wirkungen beruhen letzten Endes auf den Eigenschaften des Elektrons, jenes Elementarbausteins unseres Universums, der die negative Elektrizitätsladung trägt.
Elektronen fliessen durch die Glühlampe und bringen sie zum Leuchten, sie bewegen den Motor und veranlassen den Generator Strom zu liefern. Sie erzeugen die Wärme in den Heizkissen, in den Kochplatten und Wärmestrahlern. Sie bilden die Grundlage der Wirkung der Elektronenröhre in unseren Radiogeräten und liefern den Schreibstift in der Fernsehbildröhre, in der Radar- und Oszillographenröhre. Wir finden sie im Elektronenmikroskop, in den Fernsehaufnahmekameras, im Belichtungsmesser und in allen Elementen der Halbleitertechnik. Elektronen spielen auch in der auf der Elektrolyse beruhenden Elektrometallurgie und Galvanotechnik sowie in den galvanischen Elementen und Akkumulatoren eine wichtige Rolle.
Ohne Elektronen könnten wir nicht telefonieren und wir hätten kein Radio und kein Fernsehen. Die modernen Rechenmaschinen würden stillstehen, ebenso auch alle elektrischen Bahnen. Ohne die ins einzelne durchdachte Elektronik könnte es kein Pilot wagen, ein Passagierflugzeug zu steuern. Statt dem Radio, Plattenspieler oder Tonband zu lauschen, müssten wir uns wieder — zu Fuss oder per Pferdefuhrwerk — ins Konzert und ins Theater bemühen und die modernen Schlagersänger würden, ohne das Hilfsmittel Mikrophon und Verstärker, zum Grossteil wieder in der Versenkung verschwinden.

(Fortsetzung folgt)

Blick ins Ausland

Die Wehrausgaben des Ostblocks und die Entspannung

Vor kurzem konnte man im welschen Radio einen Kommentar zum Budget der Sowjetunion für 1969 hören. War es ein Budget «des kalten Krieges»? Man konnte sich diese Frage stellen. Keineswegs sei dem so, ging aus dem Kommentar hervor. Denn, meinte der Kommentator, die vom Kreml für die Verteidigung bewilligten Kredite hätten sich nur von 16,6 auf 17,7 Milliarden Rubel erhöht, was, der NZZ zufolge, etwa 19,66 Milliarden Dollar, also 84 Milliarden unserer Franken entspricht.
Das gleiche besänftigende Echo war in gewissen Blättern zu vernehmen. Also, warum sollte man sich aufregen? Ehe man sich wegen der Erhöhung der sowjetischen Militärausgaben sorgt, gilt es, sich Rechenschaft zu geben über die neuen Aufgaben, denen sich die Boden-, Luft- und Seestreitkräfte sowie die Rüstungsindustrie des Marschalls Gretschko gegenübersehen: Besetzung der CSSR, Kreuzfahrten im Mittelmeer und im Indischen Ozean, Wiederinstandstellung von Flughäfen in der Sahara, Waffenlieferungen an Nordvietnam, Ägypten, Algerien und Nigeria.
Woraus gewisse Leute folgern, zu Besorgnis bestehe kein Anlass, und der Westen wäre, ausgehend von diesen Feststellungen, wohlberaten, sich der bekannten Vogel-Strauss-Politik zu verschreiben: Kopf unter dem Flügel und das Ganze im Sand . . .
Es scheint, als hätten gewisse «Spezialisten» der West-Ost-Beziehungen, die bei uns und in Frankreich furore machen, ein kurzes Gedächtnis. Man vergisst nämlich, dass das 1966 mit 13,3 Milliarden Rubel angegebene sowjetische Militärbudget sich 1967 auf 14,3 erhöhte, 1968 auf 16,7 eskalierte, um in diesem Jahr 17,7 Milliarden zu erreichen. Das besagt, dass das russische Militärbudget innerhalb von vier Jahren um 4,4 Milliarden angeschwollen ist, also um ein Drittel.
Hier angelangt, drängen sich zwei Bemerkungen auf:
Einerseits ist es alles andere als sicher, dass das sowjetische Militärbudget die Gesamtheit der Wehrausgaben ausweist. Anderseits kann als feststehend gelten, dass der Arbeiter in den Rüstungsbetrieben jenseits des Eisernen Vorhanges nicht die Löhne bezieht, die bei Bührle, Hispano-Suiza oder in den eidgenössischen Werkstätten in Thun und Emmen gezahlt werden.
Ob es ihnen passte oder nicht, die Satellitenstaaten haben dieser Entwicklung folgen müssen, um den ihnen durch den Warschau-Pakt auferlegten Pflichten nachzukommen. Das geht aus der nachstehenden Tabelle hervor, die die Zunahme ihrer Wehrausgaben zwischen 1967 und 1968 deutlich macht:

	1967	1968
	in Milliarden	
DDR (Ostdeutschland)	3,6 Mark	5,8
Tschechoslowakei	12 Kronen	12,9
Polen	26,4 Zloty	29,1
Ungarn	5,4 Forint	6,4
	in Millionen	
Bulgarien	244 Leva	265

Die Rumänien betreffenden Zahlen sind uns nicht bekannt; doch weist alles darauf hin, dass dieses Land nicht besser