

ERGEBNISSE DER MONTE ROSA-EXPEDITION VOM JAHRE 1906 VON PROF. D^R. A. DURIG.

ÜBER DEN GASWECHSEL BEIM GEHEN.

BEITRÄGE ZUR FRAGE NACH DEM ENERGIEUMSATZ BEI DER MUSKELARBEIT DES MENSCHEN

VON

A. DURIG.

Mit 2 Textfiguren.

VORGELEGT IN DER SITZUNG AM 16. MAI 1909.

INHALT.

	Seite
Vorbemerkungen	2 [242]
Methodisches	4 [244]
Die Größe des Umsatzes beim Marsch auf horizontaler Bahn	9 [249]
Über den Einfluß der Geschwindigkeit	27 [267]
Über den Einfluß des Höhenklimas	42 [282]
Ergebnisse	46 [286]
Generaltabellen	49 [289]

X.

Über den Umsatz beim Marsch auf horizontaler Bahn.

Vorbemerkungen.

Bei den Versuchen über den Erhaltungsumsatz wurde für jeden von uns in zahlreichen Beobachtungen die Größe des Gaswechsels bei Körperruhe unter vollkommener Entspannung der Muskulatur festgestellt und hierbei nachgewiesen, daß wir alle im Höhenklima während unseres Aufenthaltes auf dem Monte Rosa-Gipfel mehr Sauerstoff verbrauchten und mehr Kohlensäure produzierten als unter analogen Verhältnissen in der Ebene. Die Untersuchungen wurden bei allen Teilnehmern an der Expedition ausgeführt mit Ausnahme Casparis, der ja nicht mit uns zusammen arbeitete, sondern behufs Durchführung des Talversuches allein in Alagna weilte und so außerstande war, während der Expedition des Jahres 1906 auch seinerseits Studien über den Gaswechsel durchzuführen. Wie bei den Beobachtungen über den Erhaltungsumsatz umfassen daher die Ergebnisse über den Gaswechsel bei der Arbeit nur Versuche von Durig, Kolmer, Rainer und Reichel.

Anläßlich der im Jahre 1903 von Zuntz und Durig durchgeführten Monte Rosa-Expedition waren Werte für den Energieaufwand beim Gehen auf ebenem Terrain gefunden worden, die wir damals in dem Sinne deuteten, daß der Verbrauch für die Fortbewegung von einem Kilogramm entlang einem Meter Weg in Höhenstationen ein größerer sei als in der Ebene.¹ Wir hatten damals zwar nicht beabsichtigt, die Frage nach dem Einfluß des Höhenklimas auf den Umsatz bei der Horizontalbewegung zu untersuchen, sondern nur die »Horizontalkomponente« für die Berechnung unserer Märsche auf ansteigendem Terrain ermitteln wollen, glaubten aber doch, trotz der geringen Zahl der Versuche und der Ungleichförmigkeit der Verhältnisse, aus den Resultaten einen gesetzmäßigen Einfluß der Höhenwirkung erkennen zu können. Für diese Annahme schienen besonders die in der Capanna Margherita angestellten Beobachtungen zu sprechen. Einen recht einwandfreien Beweis lieferten die Bestimmungen aber nicht. Allerdings bildeten die Ergebnisse von Versuchen, die wir zur Kontrolle auf beschneitem Wege in Berlin und Wien ausführten, um den Aufwand bei der Steigarbeit in der Ebene und in sehr großen Höhen vergleichen zu können, eine gute Stütze für die Voraussetzung, daß auch beim Marsch auf ebenem Terrain im Hochgebirge eine Umsatzsteigerung zustande komme. Vollkommen gesichert war aber die Lösung der Frage auch durch die letztgenannten Experimente keineswegs, denn die Umstände, unter denen wir im Gipfelversuch und in jenem in der Ebene arbeiteten, waren keineswegs ganz vergleichbar.

Die Entscheidung hierüber, ob im Hochgebirge eine gleich große Arbeit unter demselben oder unter einem höheren Verbrauch ausgeführt werde als in der Ebene, ist gewiß von theoretischem, aber auch unzweifelhaft von praktischem Interesse, da sich hieran die Entscheidung der Frage knüpft, ob es möglich sein werde, die höchsten Gipfel des Erdballes zu erreichen. Deutet schon die Erhöhung der Verbrennungsvorgänge in Körperruhe unter dem Einflusse der Luftverdünnung darauf hin, daß auch bei der Arbeit eine Steigerung der Oxydationsvorgänge eintreten werde, so muß doch erst entschieden werden, ob dann,

¹ Durig und Zuntz, Beiträge zur Physiologie des Menschen im Hochgebirge. Archiv für (Anatomie und) Physiologie 1904, Suppl., p. 444 u. ff., und Laboratoire Scientifique international du Mont Rosa. Turin, Loescher 1904, S. 96 u. ff.

wenn man den gesteigerten Erhaltungsumsatz in Abrechnung bringt, auch für die Leistung der Arbeit allein die Umsatzsteigerung noch sicher nachweisbar sei. Während die Verbrennung lebloser, anorganischer und organischer, brennbarer Substanz unter dem Einfluß einer Verminderung des Sauerstoffteildruckes im allgemeinen langsamer vor sich geht, würden wir im lebenden Körper bei abnehmendem Sauerstoffanbot im Gegensatz hierzu eine Steigerung der Oxydationsvorgänge beobachten. Es ist ferner zu berücksichtigen, daß auf Grund persönlichen Empfindens von der Mehrzahl der Alpinisten angegeben wird, daß sie umso leichter gehen, je mehr sie aus der Niederung des Tales ins Gebirge aufsteigen; allerdings ist jedoch dabei zu bedenken, daß es sich nur um das Gehen in mäßigen Höhen handelt, während von den Forschern, die in die Hochregionen Zentralasiens vordrangen, ganz einheitlich angeführt wird, daß die Anstrengung um so größer, aber auch die täglichen Fortschritte um so geringer wurden, je bedeutender die Höhen waren, die sie erreichten. Wir wissen zwar unzweifelhaft, daß das Gefühl der Anstrengung bei einer Arbeit keineswegs stets mit der Größe des gleichzeitigen Umsatzes parallel geht — man denke an das Halten eines Gewichtes bei ausgestrecktem Arm —, dennoch kann man aber annehmen, daß wenigstens bei der Marscharbeit, *ceteris paribus*, ein recht inniger Zusammenhang zwischen beiden besteht.

Wenn ein und dieselbe Person Marscharbeit leistet, so ist der Umsatz in der Zeiteinheit um so größer, je größer der Effekt war. Wird der Weg ein schlechterer, die Leistung eine forciere¹ oder stellt sich allmählich Ermüdung ein — was ja stets mit der Empfindung intensiverer Anstrengung bei gleich großem Effekt verbunden ist, indem es energischerer Impulse bedarf, um die Muskeln zur Tätigkeit zu zwingen — so wird stets der Umsatz steigen.

Auch Beobachtungen von Bürgi², sowie von Zuntz und seinen Mitarbeitern im Jahre 1901³, die anlässlich von Versuchen auf dem Rothorn gemacht wurden, haben ebenfalls eine Deutung im Sinne einer Zunahme der Verbrennungsvorgänge bei der Leistung von Arbeit im Höhenklima erfahren.⁴ Im Jahre 1905 führte ich während zweier Monate Serien von Versuchsmärschen auf der Spörner Alp und auf dem Bilkengrat aus, die den Zweck verfolgten, den Einfluß des Trainierens auf die Höhe des Umsatzes beim Gehen im Gebirge festzustellen und zu entscheiden, ob ein schädlicher Einfluß von Alkoholgenuß bei der Verrichtung von Marscharbeit experimentell nachzuweisen sei. Hierbei war es nötig, auch Beobachtungen über die Höhe der Oxydationsvorgänge beim horizontalen Gehen anzustellen, um die Steigversuche berechnen zu können.⁵

Die betreffenden Beobachtungen wiesen darauf hin, daß die Frage nach dem Einfluß des Höhenklimas auf den Umsatz noch keineswegs entschieden sei. Während des Aufstieges auf eine Höhe von 2400 m konnte kein sicherer Einfluß der Höhenlage, die passiert wurde, auf die Größe der Verbrennungsprozesse nachgewiesen werden. Ferner ergab sich, daß bereits Hindernisse, die sonst als unwesentlich erscheinen, den Verbrauch für das Gehen auf horizontaler Bahn wesentlich zu erhöhen vermögen.

Es war aus diesen Gründen sehr wünschenswert, anlässlich der Expedition des Jahres 1906 neuerliche Beobachtungen über die Höhe der Verbrennungsvorgänge beim Marschieren anzustellen, um so mehr, als es sich zeigte, daß trotz der zahlreichen, grundlegenden Versuche, die Zuntz und unter dessen Anregung und Anleitung seine Schüler bereits ausgeführt hatten, eine Ergänzung der bereits gefestigten Kenntnisse über das Verhalten beim Marsch in der Ebene durch neue Resultate an anderen Versuchspersonen recht nötig war.

Von großem Werte war es, daß anlässlich unserer neuen Expedition Kolmer, der auch an den Versuchen von Zuntz und seinen Mitarbeitern im Jahre 1901 teilgenommen hatte, wieder als Versuchsperson

¹ Über diesen Gegenstand und die Frage, inwieweit Beweise hierfür vorliegen, siehe Capitel XI.

² Archiv für (Anatomie und) Physiologie 1900, p. 511.

³ Höhenklima und Bergwanderungen. Bong 1906, p. 253.

⁴ Auf die Versuche wird später näher eingegangen werden.

⁵ Pflügers Archiv, Bd. 113, p. 234.

zur Verfügung stand, so daß nunmehr unter Verwendung verbesserter Methodik untersucht werden konnte, ob die ganz auffallenden, damals bei ihm gewonnenen Werte für den Umsatz den Tatsachen entsprechen oder auf Zufälligkeiten in den Versuchsbedingungen zurückzuführen seien. Die Beobachtungen an Durig mußten eine wertvolle Kontrolle für jene Ergebnisse liefern, die er gemeinsam mit Zuntz im Jahre 1903 auf dem Monte Rosa gewonnen hatte. In Rainer und Reichel standen zwei geübte Gänger für die Untersuchungen zur Verfügung, so daß man hoffen konnte, durch die an ihnen auszuführenden Experimente eine erfreuliche Erweiterung und Festigung der Resultate zu erzielen.

Infolge des Aufbaues des Programmes unserer Expedition, in das sich die Respirationsversuche erst in zweiter Linie einreichten, während als Hauptziel die Feststellung der Stoffwechselvorgänge ins Auge gefaßt war, konnten Versuche über den Gaswechsel beim Marsch in Col d'Olen und Alagna nicht ausgeführt werden und wir mußten daher auf die Förderung von diesbezüglichen Resultaten aus Höhen von 2000 und 3000 *m* verzichten; auch Beobachtungen über den Aufwand beim Horizontalmarsch in der Capanna Margherita unterließen wir im Hinblick auf die schlechte Eignung des Hüttenganges für derartige Versuche.

Diese erstreckten sich daher auf die Bestimmung der Verbrennungsvorgänge beim Marsch in der Horizontalebene in Wien und auf dem Semmering unter Einhaltung verschiedener Geschwindigkeiten, ferner auf »Steigungsmärsche« in Wien im Winter auf beschneitem Wege und auf der nämlichen Trasse im Sommer und endlich auf Marschversuche beim Anstieg über ein geneigtes Firnfeld, das zwischen der Zumstein- und Gnifetti-Spitze auf dem obersten Plateau des Grenzgletschers, etwa eine Viertelstunde unterhalb des Observatoriums gelegen war. Auch einige Tretbahnversuche wurden behufs Kontrolle ausgeführt.

Methodisches.

Die Berechnung der Verbrennungsvorgänge bei der Marscharbeit stützt sich auf die von Zuntz angegebenen Prinzipien, die auf der Voraussetzung aufbauen, daß dann, wenn dem Körper Kohlehydrat und Fett in zureichender Menge zur Verfügung steht, der Mehrbedarf an Energie bei der Arbeit ausschließlich durch die Oxydation der genannten beiden Stoffe gedeckt wird. Kennt man daher den Gesamtgaswechsel einer Versuchsperson während der Leistung einer Arbeit, so hat man von diesem den Sauerstoffverbrauch und die Kohlensäureproduktion, die dem Erhaltungsumsatz entsprechen, in Abzug zu bringen, um jene Mengen von Sauerstoff und Kohlensäure zu finden, die den Oxydationsprozessen zugehören, welche für die Deckung der Ausgaben bei Leistung der Arbeit ablaufen mußten.

Aus der Höhe des Sauerstoffverbrauches und der Kohlensäureproduktion bei der Arbeit ergibt sich der respiratorische Quotient für den Arbeitsgaswechsel, und mit Hilfe dieses läßt sich dann nach wiederholt angeführten Prinzipien¹ der kalorische Wert des Umsatzes bei der Marscharbeit berechnen.

Die Bestimmung der Größe des Gaswechsels geschieht bei Marschversuchen in der Regel mit Hilfe eines trockenen Gasmessers², der, auf einer sogenannten Kraxe befestigt, bequem auf dem Rücken getragen wird. Das Gewicht der Gasuhr samt Tragapparat beträgt ungefähr 11 Kilogramm. Ganz analog wie bei den Versuchen auf dem Bilkengrat verwendeten wir ausgebauchte äußere Ventilgefäße, die das Ankleben der Membran verhindern; als Ventilmembran dienten beste, auf Verlässlichkeit gegen Saugzug und Druck geprüfte Hausenblasen. Das Inspirationsventil wurde am Schulterriemen auf der linken Schulterhöhe befestigt, so daß die Inspirationsleitung bis zur T-förmigen Teilung und dem Mundstück eine sehr kurze war. Um Zerren und Belästigung oder eine unbequeme Zwangslage des Kopfes beim Gehen

¹ Siehe N. Zuntz: Über den Stoffverbrauch des Hundes bei Muskelarbeit. Pflüger's Archiv. Bd. 68, p. 201. — Zuntz und Schumburg: Physiologie des Marsches, p. 260. — Frenzel und Reach: Pflüger's Archiv, Bd. 83, p. 481 u. ff. — Zuntz: Pflüger's Archiv, Bd. 83, p. 557. — Auch bei Magnus Levy in v. Noorden's Handbuch.

² Siehe Abbildung XI. p. 42.

zu vermeiden, bestand das T-Stück, an dem sich In- und Expirationsleitung teilen, ebenfalls aus einem $2\frac{1}{2}$ cm weiten Kutschukrohr, wobei ein Knicken durch eingelegte Drahtspiralen verhindert wurde. Als Mundstück diente eine Zuntz'sche Type besonderer Größe mit $2\frac{1}{4}$ cm weite Öffnung, 11 cm langer und über 4 cm breiter Verschlussplatte, an der Einbeißlappen angebracht waren. Es sollten hierdurch wie überhaupt in der ganzen Respirationsleitung die Widerstände möglichst verringert werden. Vom zweiten Schenkel des T-Rohres setzte sich die Expirationsleitung zum Wechselhahn fort¹, der sich bequem bei der rechten Hand der Versuchsperson befand und die Verbindung mit dem vorne an der rechten Schulter am Tragriemen angehängten Expirationsventil herstellte. Aus diesem trat das Expirationsgas durch ein kurzes Schlauchstück in die auf dem Rücken getragene Gasuhr und durch diese hindurch und ins Freie aus. Die ganze Anordnung war derart fix mit dem Tragapparat verbunden, daß sie weder gehalten noch gestützt werden mußte und beide Hände der Versuchsperson vollkommen frei blieben. Beim Wechsel der Versuchsperson konnte die ganze Apparatur von einem auf einen anderen Teilnehmer übertragen werden, ohne daß eine Schlauchverbindung geöffnet werden mußte. Alle Stellen, an denen Schläuche mit festen Röhren verbunden waren, wurden sorgfältig mit Kautschukband und durch starke Drahtligatur gesichert, und die ganze Anordnung auf Gasdichtigkeit geprüft. Zum Verschluss der Nase dienten Nasenklemmen verschiedener Form, von denen jeder von uns jene wählte, die bei ihm am sichersten wirkte und am wenigsten Beschwerden machte. Durch die Befestigung der Zu- und Ableitungen an der Schulter konnten wir das Mundstück derart heben und senken, daß es das Bestreben hatte, sich spontan in den Mund der Versuchsperson einzuschieben; es bedurfte daher nicht der mindesten Anstrengung, um das Mundstück zu halten, so daß auch keine Gefahr von Gasverlusten aus Mund- und Nasenöffnung bestand.

Die Probeentnahme jener Gasmenge, die zur Analyse gelangte, erfolgte in üblicher Weise proportional mit jedem Atemzug durch den automatisch sich senkenden Heber. Die Eichung der Gasuhr, die im Laboratorium und von der Firma Elster sowohl vor wie nach der Expedition vorgenommen wurde, erstreckte sich auf die verschiedenen in Betracht kommenden Geschwindigkeiten. Der Wert der Korrektur wurde von Anfang an bei der Höhe des Gesamtvolums, das geatmet wurde, in Rechnung gestellt. Bei den Treibbahnversuchen wie den Kontrollversuchen über den Einfluß von Traubenzucker auf den Gaswechsel gelangte im Laboratorium anstatt der trockenen Gasuhr die feuchte Gasuhr zur Verwendung, bei der die Korrekturen unverhältnismäßig kleinere waren.

Es wurde schon an früherer Stelle erwähnt, daß man auch dann, wenn man mit möglichster Vorsicht arbeitet und sich vor Gasverlusten schützt, sowie die Widerstände auf das bei der Versuchsanordnung erreichbare Mindestmaß reduziert, die für den Umsatz bei der Arbeit gefundenen Werte doch nur mit gewisser Einschränkung als absolute bezeichnen kann, wenn auch gar kein Zweifel darüber besteht, daß diese untereinander vollständig vergleichbar sind. Bei beschleunigtem Marsch und bei Förderung sehr großer Gasvolumina ist der Widerstand der Gasuhr nicht mehr zu vernachlässigen, und das Gefühl ungestört freier Expiration, das man im Ruheversuch oder im langsamen Marsch beim Atmen durch die große feuchte Gasuhr hat, geht verloren. Allerdings ist die Behinderung selbst beim forcierten Gehen keinesfalls so groß, daß sich hierbei die Empfindung von Beklemmung oder gar von Dyspnoe einstellen würde, wie dies in den Versuchen von Bürgi² der Fall war; aber man glaubt doch bei jeder Expiration gegen einen nachgiebigen Widerstand zu atmen.

Um wie vieles unsere Methodik diesbezüglich jener Bürgi's überlegen war, kann aus dem Umstande erschlossen werden, daß dieser Autor, der bei seinen Marschversuchen auf der Rothornbahn, also in derselben oder in einer niederen Höhe als ich auf dem Bilkengrat experimentierte, nicht imstande war, während

¹ Wir verwendeten auch bei diesen Versuchen nur den allerdings schweren, aber unbedingt verlässlichen Wechselhahn, den wir bei den Beobachtungen auf der Spörner Alp trugen, da er gegen Gasverlust ungleich sicherer schützt als der sonst bei Respirationsapparaten und bei den Respirationsversuchen verwendete Hahn aus vernickeltem Blech.

² Der respiratorische Gaswechsel bei Ruhe und Arbeit auf Bergen. Archiv für (Anatomie und) Physiologie 1900, p. 509 l. c. p. 522.

des Gehens zehn Minuten ununterbrochen durch seinen Apparat zu atmen, obwohl seine Leistung trotz eines Körpergewichtes von 98 kg nur rund 700 Meterkilogramm pro Minute betrug. Dem mögen meine erwähnten Versuche vom Bilkengrat gegenübergestellt werden, bei denen ich während dreier Stunden, also während eines ganzen Gipfelaufstieges nahezu ununterbrochen durch die Apparate atmete und bei einem Körpergewichte von rund 63 kg bis zu 1000 Meterkilogramm reiner Steigarbeit pro Minute leistete¹. Obwohl die Verhältnisse in unseren Versuchen also viel günstiger liegen als in jenen Bürgi's, leidet hierbei doch die Richtigkeit der Bestimmung des wirklich geatmeten Gasvolums trotz der Eichung der Gasuhr für den Durchgang einer gleich großen Gasmenge, wie sie in der Zeit einer Expiration erfolgt. Auch die Vergrößerung der Arbeit der Atmungsmuskulatur über ein normalerweise bei derselben Arbeit, jedoch ohne das Atmen durch die Apparate bestehendes Ausmaß, ist hierbei nicht außer acht zu lassen und zu berücksichtigen, daß im Respirationsversuche während des Marsches die Atemmechanik eine gewöhnlichen Verhältnissen gegenüber geänderte ist.

Die Marschversuche begannen stets erst dann, wenn die Marschbewegung unter genau denselben Verhältnissen schon während längerer Zeit ausgeführt worden war, so daß man sicher sein konnte, daß sich ein Zustand ausgebildet habe, der während lange dauernden Fortmarschierens konstant bleiben mußte. Diesen Abschnitt jedes Versuches, die Periode des Vormarsches, zerlegten wir stets in zwei Teile, den »Spülmarsch« und den eigentlichen Vormarsch; hierauf folgte erst der Versuch, in dem die Probeentnahme geschah und der zur Berechnung herangezogen wurde. Die Dauer eines einzelnen Marschversuches stieg dadurch auf eine halbe Stunde bis drei Viertelstunden.

Bei meinen früheren Versuchen hatte ich wiederholt beobachtet, daß aus der Reihe fallende Ergebnisse, die eine ganze Versuchreihe als unbrauchbar erscheinen ließen, dadurch herbeigeführt wurden, daß die Vorperioden zu kurze gewesen waren, und es kann gewiß nicht als ein zweckmäßiges Verfahren bezeichnet werden, wenn man an Stelle des Bestrebens, ein Gleichgewicht im Verhalten schon am Beginne des Versuches herbeizuführen, diesen nach Ablauf der Arbeit so lange fortsetzt, bis der Ruhegaswechsel wieder annähernd zur Norm zurückgekehrt ist, wie dies Bürgi getan hat, denn wir wissen, daß dies besonders im Hochgebirge oft recht lange nicht eintreten kann.

In unseren Versuchen begann die Versuchsperson den Marsch, indem sie durch die Gasuhr atmete, und marschierte, ohne daß jedoch eine Probe des Expirationsgases aufgefangen wurde; gegen Schluß dieser etwa 5 bis 15 Minuten dauernden Periode wurden während des Gehens von dem im Schritt folgenden Experimentator durch Ein- und Austreiben von Flüssigkeit die Zuleitungen zum Sammelrohr für die Gasprobe mit einem Atemgas gespült, wie es dem betreffenden Versuche zugehörte. Auf ein Kommando blieb dann die Versuchsperson stehen, und während diese weiter durch die Ventile und die Gasuhr atmete, gelangte der Stand der Thermometer, welche die Temperatur der in der Gasuhr ein- und ausströmenden Expirationsluft anzeigen, zur Ablesung. Nun hatte die Versuchsperson den Wechselhahn umzuschalten, so daß sie durch diesen ins Freie expirierte, während die Gasuhr hierbei abgeschaltet wurde und deren Stand abgelesen und notiert werden konnte. Nachdem noch rasch die Vorrichtung für die proportionale Probeentnahme eingerückt worden war, begann der eigentliche Vormarsch als Fortsetzung des Spülmarsches. Die Unterbrechung zwischen beiden dauerte kaum eine Minute.

Im eigentlichen Vormarsch ging die Versuchsperson im gleichmäßigen Tempo etwa 5 bis 10 Minuten fort bis zu einer Marke am Weg, bei deren Überschreitung sie durch Umlegen des Wechselhahnes die Verbindung der Expirationsleitung mit der Gasuhr herstellte, so daß deren Zeigerwerk sich nun zu bewegen

¹ Berechnet man die Versuche Bürgi's auf die ganze Versuchsdauer, so wird die Leistung Bürgi's während des ganzen, 12 Minuten umfassenden Versuches nur 7000 Meterkilogramm, der jene im Bilkengratversuch mit einer reinen Steigarbeit von $81 \times 800 = 64.800$ Meterkilogramm in 160 Minuten und 405 Meterkilogramm pro Minute gegenübersteht, wobei der Unterschied im Körpergewichte der beiden Versuchspersonen zu berücksichtigen ist sowie der Umstand, daß Durig mit 18 kg Belastung ging; auch ist zu bedenken, daß die Marschzeit in Durig's Versuchen tatsächlich wesentlich kürzer gewesen ist, da in die Zeit von 160 Minuten die Aufenthalte für das Auswechseln der Proberöhren und die Ablesungen mit einbezogen sind.

begann und gleichzeitig mit der Drehung der Gasuhrachse das Senken des Hebers und das Auslaufen der angesäuerten Sperrflüssigkeit proportional jedem Atemzuge erfolgte. Im Momente des Überschreitens der Marke wurde auch die Stoppuhr in Gang gesetzt und damit der Beginn der Versuchszeit fixiert. In jenen Versuchen, in denen dies möglich war, wurde der Stand der Thermometer und auch der der Gasuhr während des Marschierens abgelesen. Die Versuchsperson hatte während des Marsches nur die Aufgabe, möglichst gleichmäßig zu gehen und die Zahl der Atemzüge vom Versuchsbeginne an, also dem Augenblicke, in dem der Hahn umgelegt wurde, bis zum Schlusse des Versuchsmarsches zu zählen, der auf ein »Halt« des Experimentators erfolgte. Dieser letztere begleitete, der Versuchsperson folgend, stets deren Marsch und achtete auf das gleichmäßige Einströmen der Gasprobe in das Sammelrohr. Noch bevor dieses bis auf die letzten Tropfen der Sperrflüssigkeit entleert war, erfolgte das »Halt« unter gleichzeitigem Stellen der Stoppuhr zur Feststellung der Versuchszeit und unter Umlegen des Wechselhahnes von Seiten der Versuchsperson, so daß auch die Atmung durch die Gasuhr im selben Momente abgesperrt wurde. Sofort wurde der Stand der Thermometer abgelesen. Nun folgte die Bestimmung des geatmeten Volums durch Ablesung des Zeigerstandes der Gasuhr, die Versorgung der Sammelröhre mit der Gasprobe und endlich das Notieren der Zahl der Atemzüge über Angabe der Versuchsperson. Ferner waren eventuelle Besonderheiten im Verlaufe des Versuches zu registrieren, die Marschzeit, die Weglänge und der Barometerstand zu notieren. Nachdem der Punkt, an dem der Marsch geendet hatte, durch eine Marke gekennzeichnet war, begann der Rückweg zum Ausgangspunkte des Spülmarsches und es konnte ein neuer, gleichartiger Versuch beginnen. Die Versuche begannen stets in den ersten Morgenstunden und waren bis Mittag beendet. Sie wurden entweder in vollkommen nüchternem Zustande oder nach Zufuhr von gezuckertem, schwachem Thee ausgeführt.

Bei der Bestimmung des Umsatzes für den Marsch auf horizontaler Bahn genügt es, den Arbeitsgaswechsel nach Abzug des Ruhegaswechsels zu kennen, um aus der Länge der zurückgelegten Wegstrecke, der Zeit, die während des Versuches verstrich und dem Marschgewicht der Versuchsperson¹ die Größe der Verbrennungsvorgänge für die Fortbewegung von einem Kilogramm entlang einem Meter Weges ermitteln zu können, jenen Wert, den wir schlechtweg für die Berechnung des Verbrauches einer Versuchsperson beim Gehen entlang einer Strecke als Konstante einsetzen. Ist p das bewegte Gewicht, l die Länge des Weges und cal der Arbeitsumsatz während des Versuches, ausgedrückt in Kalorien, so ergibt sich also $\frac{cal}{p l} = k$ als Konstante für den Energieverbrauch beim Gehen auf horizontaler Bahn, die deshalb als solche gelten kann, weil sie unter ähnlichen Verhältnissen bei ein und derselben Versuchsperson stets in gleicher Höhe gefunden wird. Wir können sie als »Wegkonstante« bezeichnen.

Bei der Feststellung der Größe des Umsatzes für die Ausführung einer bestimmten Steigarbeit ist darauf Rücksicht zu nehmen, daß sich die Verbrennungsprozesse, die während eines Marsches auf ansteigender Bahn ablaufen, verteilen:

1. auf den Ruheumsatz, der während derselben Zeit erfolgt wäre,
2. auf den Aufwand für die Fortbewegung des Körpers entlang einer ebenso großen Strecke in der Horizontalebene und
3. auf die Ausgaben für die Steigarbeit.

Es ist demnach vom gesamten Umsatz in der Zeiteinheit der Erhaltungsumsatz und der auf Grund der Konstante berechnete Verbrauch für die entlang des Weges geleistete Arbeit in Abstrich zu bringen.

Erst der Rest kann durch die Bildung des Quotienten $\frac{cal}{p h}$, wobei h die pro Minute überwundene reine Höhendifferenz bedeutet, die Größe des Umsatzes für die Steigarbeit an und für sich kennzeichnen. Auch dieser Wert bildet unter analogen Verhältnissen für eine und dieselbe Person eine Konstante, die wir für

¹ Körpergewicht inklusive Kleidung, Gasuhr, Ventilen etc.

Tabelle I.

Übersicht über die älteren Tretbahnversuche zur Bestimmung des Aufwandes für den Marsch auf horizontaler Bahn

(sämtliche Versuche in Berlin ausgeführt).

Person	Geschwindigkeit Meter pro Minute	Pro Meter und Kilogramm Horizontalbewegung			Bemerkung	Autor
		ausgeatmet CO ₂ cm ³	verbraucht O ₂ cm ³	umgesetzt kl. Kalorien		
K.	51—75	0·136	0·1682	0·786	nicht vollkommen horizontale Bahn Neigung berücksichtigt	Katzenstein ¹
W.	58—71	0·093	0·1151	0·554		
Z.	64—66	0·080	0·0858	0·426		
Kh.	65—92	0·088	0·1095	0·526		
B.	76·5		0·1082	0·527	die geringe Neigung der Bahn berücksichtigt	Zuntz und Schumburg ²
P.	73·5		0·1057	0·509		
Schm.	42		0·1306	0·616	ebenso	Zuntz und Schumburg ³
Zn.	50		0·142	0·678		
A. L.	61·6	0·0923	0·1359	0·635	nicht vollkommen horizontale Bahn	A. Loewy und L. Zuntz ⁴
	62·4	0·1188	0·1466	0·705		
J. L.	62·8	0·0921	0·1043	0·511	dto.	A. Loewy und L. Zuntz
	60·8	0·0991	0·1080	0·534		
	59·0	0·0879	0·1185	0·560		
L. Z.	59·2	0·0832	0·0900	0·446	dto.	A. Loewy und L. Zuntz
	58·2	0·1041	0·1306	0·626		
	54·5	0·0950	0·1075	0·525		
	54·7	0·1070	0·1325	0·636		
	55·7	0·1055	0·1275	0·616		
L. Z.	53—59	0·0955	0·114	0·552	nicht vollkommen horizontale Bahn Steigung berücksichtigt	L. Zuntz ⁵
F.	67			0·541		Frentzel und Reach ⁶
R.	64			0·555		

¹ Pflüger's Arch. für Physiologie. Bd. 49, p. 330.² Zuntz und Schumburg, Physiologie des Marsches. Berlin 1901, Hirschwald. (Mittel zahlreicher Versuche.)³ Pflüger's Arch. für Physiologie. Bd. 63, p. 482 und Bd. 68, p. 208.⁴ Ebenda. Bd. 66, p. 477 (bes. p. 496 u. ff.).⁵ Untersuchungen über den Gaswechsel des Radfahrers. Berlin 1899, Hirschwald. 6 sehr gut stimmende Versuche.⁶ Pflüger's Arch. Bd. 83, p. 494, 506 u. ff. (Mittelwerte.)

diese als »Steigkonstante« bezeichnen können. Das Produkt aus diesem Wert mit dem mechanischen Wärmeäquivalent ergibt den Umsatz, ausgedrückt in Meterkilogrammen, pro Meterkilogramm Steigarbeit, woraus sich dann der Wirkungsgrad der menschlichen Arbeitsmaschine bei der Steigarbeit berechnen läßt, als das Verhältnis zwischen der Leistung und dem Aufwand für diese.

Die Einschränkung, die wir bereits erwähnten und die dahin lautet, daß es zur Zeit beim Marschversuch im Freien methodisch unmöglich ist, absolut richtige Werte für die Größe des Umsatzes bei der Arbeit zu gewinnen, erstreckt sich natürlich auf die Berechnung der letztangeführten Werte; bei der Beurteilung der Bedeutung, die dem für die Steigkonstante ermittelten Wert zukommt, ist aber noch weiter zu berücksichtigen, daß die Größe der Wegkonstante einen sehr wesentlichen Einfluß auf die Höhe der Steigkonstante ausübt. Da die Werte, die wir als Umsatz für die Steigarbeit berechnen, den Rest von dem tatsächlich bestimmten Gesamtumsatz vorstellen, so müssen natürlich auch alle Unrichtigkeiten in der Größe der Steigkonstante zum Ausdruck kommen.

Die Größe des Umsatzes beim Marsch auf horizontaler Bahn.

Die Versuche, welche die Feststellung des Energieverbrauches beim Marschieren in der Horizontalebene bezweckten¹, sind bereits in mehreren Sammelwerken in ihren Endresultaten berücksichtigt worden und doch vermissen wir heute eine Diskussion darüber, was wir positiv Gesichertes über den Umsatz bei der Arbeit des Gehens auf horizontaler Bahn wissen, noch fast vollständig, und gar manche Gesetzmäßigkeit, die als festgestellte Tatsache immer und immer wieder angeführt erscheint, erweist sich bei näherem Zusehen als unzulänglich, ja vielleicht gar nicht fundiert. Es soll aus diesem Grunde etwas näher auf die älteren Versuche eingegangen werden.

Die Beobachtungen, die über den Gaswechsel beim Horizontalmarsch ausgeführt wurden, lassen sich nach der Methodik, die dabei in Anwendung gelangte, in drei Gruppen teilen. Es sind von einander zu trennen jene Versuche, bei denen die Versuchspersonen auf dem horizontal aufgestellten, maschinell angetriebenen Tretwerk, der sogenannten Tretbahn, gingen und hierbei an Ort und Stelle marschierten, während der Fußboden unter ihnen fortbewegt wurde, dann jene Experimente, bei denen die Marscharbeit in dem engbegrenzten Raum der Respirationskammer geleistet wurde, und endlich die Beobachtungen, die entsprechend dem normalen Gehen im Alltagsleben im Freien oder zum mindesten auf sehr langem in einer Richtung zurückzulegendem Wege ausgeführt wurden.

Betrachtet man die Ergebnisse, die mit diesem Verfahren gewonnen wurden, so weichen dieselben ganz auffallend stark von einander ab, wie folgende Zahlen für die Kohlensäureproduktion pro Meter und Kilogramm Horizontalbewegung bei mäßiger Marschgeschwindigkeit beweisen.

Es wurden gefunden:

auf der Tretbahn	0·08 bis 0·14 cm^3 CO_2
im Respirationsapparat	0·056 » 0·089 » »
auf freier Strecke	0·082 „ 0·107 » »

Werte, die sich also in den Extremen um mehr als das Doppelte von einander unterscheiden.

Tretbahnversuche.

Ich stelle die älteren Tretbahnversuche vorerst für sich in der vorstehenden Tabelle zusammen. Sämtliche Beobachtungen stammen aus dem Laboratorium von Zuntz, und zwar noch aus der Zeit, in der die Methodik der Untersuchung des Arbeitsgaswechsels eben ausgebildet wurde. (Siehe Tab. I.)

¹ Siehe hierüber: Tigerstedt, der Nutzeffekt bei Muskelarbeit. Nagel, Handbuch der Physiologie, Bd. I. A. Loewy, Oppenheimer's Handbuch der Biochemie u. d. Jaquet, Ergebnisse der Physiologie II./I.

Die von Katzenstein ausgeführten Versuche können hier darum nicht als vollkommen vergleichbar in Parallele gestellt werden, weil sie nicht bei ganz horizontaler Tretbahn ausgeführt wurden. Mitteln wir die Werte untereinander — was in diesem Falle selbstverständlich ein recht wenig einwandfreies Unterfangen ist — so kommen wir auf eine GröÙe von 0·558 Kalorien pro Kilogramm und Meter Horizontalbewegung. Diesem Werte liegen die beiden Zahlen, die Zuntz und Schumburg in ihren grundlegenden Untersuchungen gefunden haben, sehr nahe und dies ist um so bedeutungsvoller, als ihre Resultate auf 22 Versuchen aufbauen, die an zwei Personen ausgeführt wurden, welche das Gehen auf der Tretbahn durch zahlreiche Märsche gewohnt waren. Ziemlich wesentlich weichen hiervon die von Zuntz und Schumburg an sich selbst, anläßlich der ersten Monte Rosa-Reise gewonnenen Werte für die Wegkonstante ab, speziell der bei Zuntz berechnete Wert ist ungleich höher ausgefallen. Bei der geringen Zahl der Beobachtungen, es handelt sich nur um je zwei Versuche, ist die Beweiskraft dieses Ergebnisses allerdings eine sehr eingeschränkte. Es ist auch ganz gut denkbar, daß im Versuche an Zuntz darum ein wesentlich höherer Verbrauch beobachtet wurde, weil der Genannte auf die Verrichtungen Schumburgs bei der Ausführung des Experimentes achtete und infolge dessen unzuweckmäßiger und unökonomischer ging. Bei so wenigen Versuchen spielt übrigens sicher auch die Übung im Gehen auf der Tretbahn eine wesentliche Rolle, wie sich dies später bei den Versuchen aus dem Jahre 1901 ganz auffallend zeigte. Auch bei Zuntz wie bei Schumburg ist der Sauerstoffverbrauch für das Meter Weg im ersten der beiden Horizontalversuche um rund 10% höher als in den beiden folgenden, weshalb man wohl daran denken kann, daß öfteres Marschieren auf der Bahn zu wesentlich niedrigeren Verbrauchswerten geführt hätte.

Die nächste Serie von Beobachtungen stammt aus jener Zeit, zu der A. Loewy, J. Loewy und L. Zuntz ihre Vorbereitungen zu den Versuchen auf der Gnifettihütte und auf Col d'Olen trafen. Von A. Loewy liegen aber im ganzen nur zwei Marschversuche auf horizontaler Bahn vor, die trotz gleichartiger Gehgeschwindigkeit ebenfalls um 10% voneinander abweichen. Da auch später keine Beobachtungen über die Wegkonstante bei A. Loewy mehr ausgeführt wurden, und alle bei ihm auf ansteigendem Weg angestellten Versuche sich nur auf das Mittel dieser genannten beiden Versuche beziehen, so liegt keinerlei Kontrolle darüber vor, inwieweit der Höhe des einen oder des anderen der beiden Werte eine größere Wahrscheinlichkeit zuzusprechen ist, am ehesten dürften wir wohl annehmen, daß alle beide zu hoch sind, und zwar aus denselben Gründen, wie sie bei Besprechung der an Zuntz und Schumburg gefundenen Resultate hervorgehoben wurden.

Vergleichen wir das Verhalten der Teilnehmer an der Expedition 1901, bei denen vor der Abreise ziemlich zahlreiche Versuche über den Aufwand beim Horizontalmarsch ausgeführt wurden (der für Loewy angeführte Mittelwert stammt, wie erwähnt, von den beiden genannten Versuchen, weshalb sein Name hier nicht einbezogen ist), so ergibt sich wohl als Analogie zwingend die Annahme, daß eine größere Zahl von Beobachtungen auch bei Loewy ganz andere Resultate gefördert hätte. Der Reihenfolge nach, in der die Märsche auf der horizontal gestellten Tretbahn bei der einzelnen Versuchsperson ausgeführt wurden, gruppieren sich die Werte für den Umsatz in folgender Weise:

Waldenburg	Kolmer	Caspari	Müller
(0·707) Kalorien ¹	0·989 Kalorien	0·695 Kalorien	(0·644) Kalorien
0·774	0·864	0·683	0·700
0·697	0·810	0·646	0·608
0·623	0·808	0·643	0·632
0·611		0·640	0·568
0·547			
0·490			

¹ Im folgenden sind immer »kleine Kalorien« gemeint.

Es ergibt sich also ganz eindeutig in fast allen Versuchen (mit zwei Ausnahmen) ein fortschreitender Erfolg der Übung im Gehen auf der Tretbahn, wobei natürlich nicht an den Erfolg eines Muskeltrainings zu denken ist, da die Versuche sich nur über wenige Minuten erstreckten und die Mehrzahl derselben nach Abschluß der Rothorn-Versuche angestellt wurde. In der folgenden Tabelle II sind die Werte dieser Versuche übrigens auch nach der Marschgeschwindigkeit geordnet, es zeigt sich dabei, daß zwischen der Marschgeschwindigkeit, die eingehalten wurde, und der Höhe des Umsatzes keineswegs ein Zusammenhang erschlossen werden kann, woraus sich ergibt, daß dieses Moment keinesfalls den in den Versuchen schon ausgesprochenen Einfluß der Übung im Gehen auf der Tretbahn zu beeinflussen vermochte. Wir werden im späteren ohnedies ausführlicher auf die Höhe der damals gefundenen Werte einzugehen haben, es möge daher an dieser Stelle nur festgelegt werden, daß die Beweiskraft einiger weniger Tretbahnversuche für die Feststellung der Höhe der Wegkonstante bei einer Versuchsperson eine unzulängliche sein muß.

Enger aneinander gruppieren sich die in den Versuchen an J. Loewy gefundenen Werte, sie fallen in einen gemeinsamen Mittelwert von 0·53 Kalorien zusammen, der sich sehr jenem der Katzenstein'schen Versuche sowie den Mittelwerten, die bei B und P von Zuntz und Schumburg gewonnen werden, nähern. Aus derselben Versuchsperiode liegen sechs Beobachtungen über den Horizontalmarsch an L. Zuntz vor, die sämtlich bei annähernd gleich großer Ganggeschwindigkeit ausgeführt wurden. Die Resultate schwanken zwar, was bei der damaligen Methodik nicht sehr Wunder nehmen kann, in außerordentlich weiten Grenzen, nimmt man aber desungeachtet den Mittelwert aller Zahlen, so erhält man doch einen Umsatz von 0·57 Kalorien für das Kilogramm und Meter Horizontalbewegung, gelangt also abermals zu einer Größe, die sich dem als häufigsten bezeichneten Mittel in sehr befriedigender Weise nähert. Auch spätere Versuche, die an L. Zuntz ausgeführt wurden, stützen diesen Wert für die Wegkonstante bei L. Zuntz sehr, wenn man jene Beobachtungen auswählt, in denen er mit einer annähernd gleichen Geschwindigkeit ging (0·552 Kalorien).

Diesen Beobachtungen reihen sich die Mittelwerte aus den Versuchen von Frentzel und Reach ebenfalls in einer sehr befriedigenden Weise an. Wir begegnen wieder einem Umsatz von etwa 0·55 Kalorien. Hierbei darf man aber nicht übersehen, daß die Versuche der letztgenannten beiden Autoren sich auf den Einfluß von Fett und Kohlenhydratkost beziehen, also nicht unbedingt mit den übrigen vergleichbar sind. Die Schwankungen in der Höhe der Wegkonstante sind übrigens auch bei ihnen sehr große, sie betragen bei Versuchen, in denen mit annähernd derselben Geschwindigkeit gegangen wurde, 20% (0·53 gegen 0·44 Kalorien oder 0·51 gegen 0·62 Kalorien bei Frentzel und 0·46 gegen 0·67 bei Reach), bewegen sich also innerhalb so weit gesteckter Grenzen, daß man eher die Versuchsmethodik als die Lage des Mittelwertes beurteilen kann. Der Berechnung des wahrscheinlichen Fehlers des Mittelwertes kommt bei einer Zahl von drei oder vier Versuchen, die untereinander nicht gut stimmen, natürlich keinerlei Bedeutung zu.

Überblickt man die Ergebnisse der älteren Tretbahnversuche, so gelangt man trotz der recht großen Unterschiede zwischen den Resultaten der einzelnen Versuche untereinander doch zu einer guten Übereinstimmung und wenn es auch bedenklich ist, aus so stark divergierenden Werten Mittel zu bilden, so lehrt doch das Gesamtbild, daß die Abweichungen nach oben und unten von einem wahrscheinlichen Wert von rund 0·55 Kalorien ziemlich gleichmäßig verteilt gewesen sind. Es ergibt sich für die Wegkonstante aus den Beobachtungen von:

Katzenstein	0·558	Kalorien pro Kilogramm und Meter
Zuntz und Schumburg	0·518	» » » » »
A. und J. Loewy	0·530	» » » » »
L. Zuntz	0·570	» » » » »
L. Zuntz	0·552	» » » » »
Frentzel	0·512	» » » » »
Reach	0·538	» » » » »

Tabelle II.

Übersicht über die neueren Tretbahnversuche zur Bestimmung des Aufwandes für den Marsch auf horizontaler Bahn (bei jeder Versuchsperson nach der Marschgeschwindigkeit geordnet).

(Sämtliche Versuche in Berlin ausgeführt.¹⁾)

1	2	3	4	5	6
Person	Geschwindigkeit Meter pro Minute	Pro Meter und Kilogramm Horizontalbewegung			Kalorien Mittelwert, korrigiert auf die richtigen Angaben der Gasuhr
		ausgeatmet CO ₂ cm ³	verbraucht O ₂ cm ³	umgesetzt Kalorien	
Waldenberg	44·14	0·0965	0·1517	0·697	0·636
	44·93	0·1090	0·1502	0·707	
	45·72	0·1137	0·1662	0·774	
	50·27	0·1274	0·1666	0·792	
	55·30	0·1147	0·1323	0·646	
	71·97	0·0756	0·1041	0·490	
	73·82	0·0833	0·1166	0·547	
	75·15	0·0949	0·1295	0·611	
	78·85	0·1016	0·1306	0·623	
Kolmer	37·00	0·1288	0·1848	0·864	0·845
	39·64	0·1476	0·2115	0·989	
	47·57	0·1278	0·1702	0·808	
	48·45	0·1303	0·1706	0·810	
Caspari	67·47	0·1061	0·1335	0·640	0·643
	76·73	0·1059	0·1344	0·643	
	77·53	0·1169	0·1444	0·695	
	79·38	0·1202	0·1401	0·683	
	82·69	0·1162	0·1317	0·646	
Müller	73·29	0·0913	0·1192	0·568	0·613
	74·09	0·0986	0·1338	0·632	
	83·80	0·1172	0·1457	0·700	
	84·67	0·0960	0·1283	0·608	
	86·52	0·1018	0·1359	0·644	

¹ Höhenklima und Bergwandungen etc. Anhangstabellen XVII bis XX.

Diesen zahlreichen Werten, die besonders durch die vielen Versuche, welche von Zuntz und Schumburg an den beiden Soldaten ausgeführt wurden, gestützt sind, stehen nur die wenigen nicht in diesen Rahmen passenden Ergebnisse gegenüber, die an Zuntz, Schumburg und A. Loewy gefunden wurden. Mit einer großen Berechtigung wird man daher bereits aus den älteren Marschversuchen pro Meter und Kilogramm Horizontalbewegung einen Umsatz von rund 0·55 Kalorien als sehr wahrscheinlich annehmen können.

Im Anschluß an das erwähnte Ergebnis muß noch auf drei Marschversuche hingewiesen werden, die zur selben Zeit an Zuntz im Zimmer ausgeführt wurden¹, diese weichen untereinander aber so sehr ab, daß sie wohl kaum zu Schlüssen zu verwerten sind. Die großen Unterschiede können hierbei nicht wundernehmen, da die proportionale Probenahme bei freiem Marsch damals noch eine unvollkommene war und das Gehen mit der schweren Gasuhr im Zimmer zu wesentlich veränderter Muskeltätigkeit führen mußte. Es möge an diesem Orte auch erwähnt sein, daß ich im Jahre 1903 auf Col d'Olen an Zuntz drei Beobachtungen über den Energieaufwand beim Horizontalmarsch ausführte, von denen der erste einen Wert von 0·574 Kalorien als Wegkonstante ergab, der dem oben genannten Mittel ziemlich nahe liegt. Wenn die zwei folgenden Versuche zu anderen Resultaten führten und einen viel höheren Verbrauch ergaben, so liegt die Ursache dafür in dem Umstande, daß diese an einem anderen Tage und zu einer Zeit ausgeführt wurden, zu der der Boden aufgetaut, kotig und glitschig geworden war. Zudem handelt es sich hierbei um Versuche, die in sehr beträchtlicher Meereshöhe ausgeführt wurden.

Die vorstehende Tab. II gibt einen Überblick über die Tretbahnversuche, die von den Teilnehmern an der Expedition des Jahres 1901 auf dem Tretwerk in Berlin behufs Feststellung der Wegkonstante für die Berechnung des Umsatzes bei der Steigarbeit in den Rothornversuchen angestellt wurden. (Tab. II.)

Die Versuche sind bei jeder einzelnen Versuchsperson nach wachsender Geschwindigkeit geordnet. Sieht man vorerst die Mittelwerte in Spalte 6 an, so fällt auf den ersten Blick eine überraschende Abweichung der Wegkonstante gegenüber jener auf, die auf Grund der Angaben in Tab. I abgeleitet wurde. Es wurde bereits erwähnt, von welch großem Einfluß auf die Höhe der Werte zweifellos die Übung im Gehen auf dem Tretwerk gewesen ist. Wir dürften daher vielleicht am zweckmäßigsten handeln, wenn wir aus der Zusammenstellung auf p. 10 jene Werte als wahrscheinlichste annehmen, die im Zustande größter Übung im Gehen auf der Tretbahn gefunden wurden, also jene, die als letzte in der obigen, kleinen Tabelle angeführt sind. Wir dürfen dies um so mehr tun, da, wie erwähnt, ein Einfluß der Geschwindigkeit auf die Höhe der Verbrennungsvorgänge bei diesen Horizontalmärschen nicht nachzuweisen ist, und sich kein Optimum der Schnelligkeit im Gehen bei den einzelnen Teilnehmern nachweisen läßt, das etwa dem Tempo des täglichen Straßenschrittes entsprochen hätte, und das hätte erreicht werden müssen, um ein Minimum des Verbrauches herbeizuführen. Wir finden bei Waldenburg einen niedrigeren Wert für den Umsatz bei geringerer und bei größerer Marschgeschwindigkeit und einen höchsten Wert bei mittlerem Tempo. Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse bei den übrigen Versuchspersonen. Lesen wir also die niedersten Werte (die letzten) aus jeder Reihe heraus, so findet man für:

Waldenburg	0·49 Kalorien
Müller	0·57 »
Caspari	0·64 »
Kolmer	0·80 »

und wieder gelangt man, wenn wir vorläufig von dem exorbitant hohen Umsatz bei Kolmer absehen, zu einer ganz befriedigenden Durchschnittszahl von 0·57 Kalorien für die Horizontalkonstante, wobei allerdings zu berücksichtigen ist, daß der Wert bei Waldenburg auffallend nieder, bei Caspari relativ hoch liegt.

¹ Siehe p. 21 [261], Tab. VII.

Es ist gewiß nicht zu leugnen, daß ganz beträchtliche Unterschiede in der Art des Gehens bei einzelnen Personen bestehen und man kann daher keineswegs erwarten, daß etwa alle Leute genau denselben Umsatz für die Fortbewegung von 1 *kg* entlang einem Meter Weges aufweisen sollen, es kann deshalb auch keineswegs sehr überraschen, wenn zum Beispiel Caspari mit einem größeren Energieverbrauch auf der horizontalen Tretbahn gieng. Da von ihm aber nur drei gut übereinstimmende Versuche vorliegen, ist es ja immerhin möglich, daß weitere Beobachtungen auch bei ihm einen geringeren Verbrauch hätten erkennen lassen, wenn er sich mehr an die Besonderheiten des Gehens auf der Tretbahn gewöhnt hätte. Caspari kann jedenfalls als rüstiger, wenn auch nicht als sehr guter Gänger gelten, so daß eigentlich nicht zu vermuten ist, daß sein Umsatz beim Marsch sich verschieden von demjenigen anderer Personen verhalten sollte. Einen schönen Beweis dafür, wie sehr eine Unbequemlichkeit im Gehen den Umsatz beim Marsch auf ebener Strecke in die Höhe zu treiben vermag, liefern die Versuche von Zuntz und Schumburg¹ an einem Soldaten, der fußmarod wurde. Die größere Muskelspannung und mit dieser zugleich die unzuweckmäßigere Innervation anderer Muskelgruppen bewirkten, daß die Versuchsperson *P*, die sonst für die Zurücklegung eines Kilometers bei 31 *kg* Belastung 154 Kalorien verbraucht hatte, bei schmerzdem Fuß 194 Kalorien umsetzte. Diese Tatsache macht es auch wahrscheinlich, daß zum Beispiel Personen, die wegen der Beschaffenheit ihrer Beine oder Füße als untauglich zum Militär befunden werden, einen erhöhten Aufwand bei der Marscharbeit auf horizontaler Bahn zeigen werden.

Der ganz aus der Reihe fallende, überaus hohe Wert für den Verbrauch bei Kolmer kann hierdurch aber nicht erklärt werden. Kolmer ist ein recht ausdauernder, wenn auch nicht sehr leistungsfähiger Gänger, der auch als tauglich für den Militärdienst befunden wurde. Zuntz und seine Mitarbeiter suchten bereits nach einer Erklärung für die auffallende Größe seines Umsatzes und glaubten die Ursache für deren Zustandekommen in dem langsamen Gang des Tretwerkes, beziehungsweise in der Eigenart des Gehens Kolmers suchen zu sollen. Wir können an der Hand der neuen, an Kolmer anlässlich unserer Expedition im Jahre 1906 ausgeführten Versuche wohl mit großer Sicherheit sagen, daß keines der beiden Argumente ausschlaggebend gewesen sein kann. In allererster Linie war es nach Angabe Kolmers wohl die vollkommene Ungewohntheit auf der Tretbahn zu gehen und durch den Respirationsapparat zu atmen sowie der unregelmäßige Gang der Tretbahn, deren Motor zu dieser Zeit nicht mehr gut funktionierte, wodurch die hohen Werte für den Verbrauch bei ihm herbeigeführt wurden. Das Gezwungene des Ganges auf dem Tretwerk, das ohrenbetäubende Geklapper und das Zischen des Dampfes der antreibenden Maschine, der die Versuchsperson ab und zu wie in Wolken einhüllte, lassen auch große Ausschläge bei einer Versuchsperson, die sich vorher nie mit ähnlichen experimentellen Arbeiten beschäftigt hatte, recht wohl erklärlich erscheinen. Wir werden wohl kaum fehlgehen, wenn wir auf Grund der zahlreichen, neuen Versuche², die einen Umsatz für den Horizontalmarsch bei Kolmer ergaben, der ganz ähnlich dem der allermeisten bisher untersuchten Personen ist und durchaus nichts Abnormes zeigt, dies oben angeführte Ergebnis der älteren, auf der Tretbahn in Berlin ausgeführten Versuche an Kolmer vollständig ausschalten.

Auch bezüglich der Mehrzahl der an Waldenburg, Caspari und Müller gewonnenen Werte für den Aufwand beim Marsch auf ebener Tretbahn kann wohl als wahrscheinlich angenommen werden, daß diese etwas zu hoch ausgefallen sind, so daß wir für die Wegkonstante der Genannten die erwähnten niedersten Werte, die noch entsprechend der Korrektur für die Gasuhr³ zu verkleinern wären, als wahrscheinlich entsprechende annehmen können. Für Caspari bleibt desungeachtet als Ausdruck individuellen Verhaltens ein etwas höherer Verbrauch als bei den übrigen bestehen.

¹ Physiologie des Marsches, p. 292.

² Siehe p. 23 [263].

³ In Spalte 6, Tab. II, sind die Werte hinsichtlich der Gasuhrkorrektur richtig gestellt, in Spalte 5 unterblieb dies zur Vereinfachung der Berechnung der eingesetzten Tabellenwerte.

Unter Berücksichtigung dieser Umstände läßt sich also eine recht befriedigende Übereinstimmung zwischen den in den Mittelwerten so sehr voneinander abweichenden älteren und neueren Ergebnisse der Tretbahnversuche konstruieren, so daß ein Widerspruch zwischen diesen nicht mehr besteht und ein Umsatz von 0·5 bis 0·6 Kalorien für das Meter und Kilogramm Horizontalbewegung mit einer ziemlich allgemeinen Gültigkeit angenommen werden kann.

Versuche im Respirationsapparat.

Sehr interessant gestaltet sich ein Vergleich des Aufwandes, der beim Marsch auf den Tretbahnen bestimmt wurde, mit jenen Größen, die sich in den Versuchen über das Gehen in der Respirationskammer ergaben, wobei die gesamte Kohlensäureproduktion während eines länger dauernden Marsches im Zimmer bestimmt wurde. Wir verdanken diese Beobachtungen Sondén und Tigerstedt, die in ihren umfangreichen und gründlichen Versuchen über die Respiration und den Gesamtstoffwechsel des Menschen¹ auch die Frage des Gaswechsels bei der Muskelarbeit und speziell auch jene nach dem Umsatz beim Marsch mit in den Kreis ihrer Beobachtungen zogen.

Wie es die Methodik mit sich bringt, konnten sich die Untersuchungen über den Gaswechsel bei den beiden Autoren nur auf die Bestimmung der Kohlensäure erstrecken, ohne daß es möglich gewesen wäre, auch den Sauerstoffverbrauch und damit den respiratorischen Quotienten zu bestimmen. Dies erschwert natürlich die Vergleichbarkeit der mit der Zuntz'schen Methode gewonnenen Resultate mit jenen der genannten beiden Autoren; um aber doch einen Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der beiden Schulen zu ermöglichen, wurde der nachstehenden Tabelle eine etwas willkürliche Berechnung zugrunde gelegt, die jedoch immerhin ebensoviel Berechtigung für sich haben dürfte, als Schlüsse, die aus dem Vergleich der Werte der Kohlensäureproduktion allein gezogen werden. Kennen wir in den Versuchen nach dem Zuntz'schen Verfahren den Sauerstoffverbrauch und können wir damit den Umsatz in Kalorien berechnen, so entgehen wir wenigstens bei einer der zwei zu vergleichenden Größen der wechselnden Bedeutung des Kohlensäurewertes für den Umsatz, welcher wir uns schrankenlos ausliefern würden, wenn wir ausschließlich den CO₂-Wert berücksichtigen wollten. Bei den Versuchen in der Respirationskammer stehen wir aber der Unmöglichkeit gegenüber, den kalorischen Wert der Kohlensäureproduktion verläßlich in Rechnung zu stellen. Wir können der Unsicherheit also zum mindesten auf einer Seite des Vergleiches nicht entgehen, desungeachtet vermögen wir aber durch Einführung eines respiratorischen Quotienten, der kaum sehr wesentlich von dem tatsächlichen abgewichen sein dürfte, einen Näherungswert für den Umsatz in Kalorien auch im Kammerversuch zu berechnen, so daß wir den gefestigten kalorischen Wert im Versuch nach dem Zuntz'schen Verfahren mit einem annähernd richtigen kalorischen Wert aus der Respirationskammer vergleichen. Diesem ist gewiß nicht weniger Berechtigung für die Vergleichbarkeit zuzuschreiben als dem in der Kammer gefundenen Kohlensäurewert.

In der folgenden Tabelle III wurden daher die Versuche von Sondén und Tigerstedt zusammengestellt und an ihnen eine mehrfache Umrechnung vorgenommen. Die in Grammen angegebenen Kohlensäuremengen wurden auf »reduziertes Volum« umgerechnet. Da die Versuche von Sondén und Tigerstedt aber nicht an nüchternen Versuchspersonen ausgeführt wurden und vier bis fünf Stunden andauerten, hatte der respiratorische Quotient während dieser Zeit jedenfalls einige Wandlung erfahren, es schien daher zweckmäßiger, nicht mit einem mittleren respiratorischen Quotienten zu rechnen², sondern besser eine obere und untere Grenze für den kalorischen Umsatz festzusetzen, dadurch, daß die Versuche für zwei Quotienten gesondert berechnet wurden, innerhalb derer sich das Verhältnis zwischen Sauerstoffverbrauch und Kohlensäureproduktion höchstwahrscheinlich bewegt haben dürfte. Auch der Quotient für

¹ Skandinavisches Archiv 1895, p. 1 bis 225.

² Es ist wohl unzweifelhaft richtiger, niederere respiratorische Quotienten als einen respiratorischen Quotienten in Rechnung zu stellen, dem wir nur in Zuckerversuchen begegnen.

die Eiweißverbrennung mußte natürlich innerhalb der beiden einzusetzenden Werte liegen, es wurden daher $RQ = 0.75$ und 0.85 gewählt. Tabelle III gibt die Werte. Entsprechend dem niedrigeren respiratorischen Quotienten (der CO_2 -Wert ist ja gegeben) resultiert natürlich ein höherer Sauerstoffverbrauch und ein höherer Umsatz an Kalorien in Spalte 4 und 6, umgekehrt erscheinen niederere Werte in Spalte 5 und 7. Innerhalb dieser Grenze müßte also, mit einer gewissen Einschränkung für den Fall des Auftretens noch höherer oder niederer Quotienten, der Umsatz für die Fortbewegung von 1 kg entlang einem Meter gelegen sein (Tab. III.)

Tabelle III.

Übersicht über die Versuche von Sondén und Tigerstedt in der Respirationskammer unter Umrechnung des Umsatzes auf kleine Kalorien.

1	2	3	4	5	6	7
Person	Geschwindigkeit in Metern pro Minute	Pro Meter und Kilogramm Horizontalbewegung				
		ausgeatmet Kohlensäure cm^3	verbraucht			
			Kubikzentimeter Sauerstoff		Kalorien	
			unter Annahme $\frac{CO_2}{O_2} = 0.75$	unter Annahme $\frac{CO_2}{O_2} = 0.85$	unter Annahme $\frac{CO_2}{O_2} = 0.75$	unter Annahme $\frac{CO_2}{O_2} = 0.85$
F. A. W. ²	62.4	0.0885	0.1181	0.1044	0.559	0.506
G. J.	50.1	0.0590	0.0787	0.0694	0.373	0.337
L. B.	62.2	0.0880	0.1173	0.1036	0.556	0.503
Derselbe	67.9	0.0748	0.0998	0.0880	0.473	0.427
F.	32.0	0.0566	0.0755	0.0666	0.358	0.324

¹ Sondén und Tigerstedt: Die Respiration und der Gesamtstoffwechsel des Menschen. Skandinavisches Archiv. Bd. VI. 1895, p. 1 (besonders p. 174 u. ff.).

² Zwei identische Versuche.

Die Versuche im Respirationsapparat sind darum besonders wertvoll, weil hierbei abnorme, zwangsweise veränderte Atmung vollkommen ausgeschlossen ist, denn es fallen die Widerstände der Ventile und der Gasuhr weg, auch ist der Hautgaswechsel, der im Versuch mit dem Mundstück außer acht gelassen werden muß, mit in den Bereich der Betrachtung einbezogen. Außerdem wissen wir aus den Versuchen über den Erhaltungsumsatz, daß man im Sondén-Tigerstedt'schen Respirationsapparat und nach dem Zuntz'schen Verfahren bei Körperruhe und in nüchternem Zustande vollständig übereinstimmende Werte erhält.

Die Beobachtungen an F. A. W. wie jene an L. B. ergeben, von allen anderen abweichend, Werte, die mit der oben abgeleiteten Wegkonstante sehr wohl übereinstimmen, ein zweiter Versuch an L. B. unterscheidet sich aber sehr wesentlich vom ersten und bei diesem wie bei den übrigen Versuchen finden sich auffallend niedere Zahlen für den Umsatz, indem der Aufwand für das Meter und Kilogramm Horizontalbewegung bis auf 0.35 Kalorien sinkt. Dies ist ein Wert, den wir bisher in keinem der Versuche begegneten und den wir auch niemals in unseren zahlreichen, neuen Beobachtungen erhielten.

Dieses Resultat ist zu bedeutungsvoll, als daß man es glattweg zur Kenntnis nehmen dürfte, ohne sich Gedanken darüber zu machen, ob nicht doch unsere Art nach dem Zuntz'schen Verfahren bei Marschversuchen zu arbeiten, ungekannte Fehlerquellen in sich berge. Die Tatsache, daß zwei so

unbedingt verlässliche Autoren an einem Apparat, dessen tadelloses Arbeiten durch zahlreiche Testversuche sicher erwiesen ist, zu ganz abweichenden Ergebnissen gelangten, ist in der Tat geeignet, im ersten Augenblick das Vertrauen an der Richtigkeit der eigenen Beobachtungen zu erschüttern.

Es scheint alles dafür zu sprechen, daß die niederen, von Sondén und Tigerstedt gefundenen Werte dem wirklichen Verbräuche bei den einzelnen Personen entsprechen, und da wir kaum annehmen können, daß letztere so geübtere Gänger gewesen seien als jene, die von uns wie von Zuntz und Schumburg nach dem Zuntz'schen Verfahren untersucht wurden, so findet sich anscheinend keine Erklärung für die auffallende Tatsache der so niederen Wegkonstante, die in Stockholm bestimmt wurde.

Überblickt man die von Sondén und Tigerstedt geübte Versuchsmethodik, so ergibt sich, daß die Werte für den Umsatz beim Gehen unseren Versuchen gegenüber eher zu hoch als zu nieder ausgefallen sein müssen. Das Zimmer, in dem die Versuchspersonen gingen (die Respirationskammer), ist zwar ziemlich geräumig, dennoch war das Marschieren in diesem, jedenfalls kein ideales und nicht dem unbehinderten Gehen auf freier Bahn gleichzusetzen, auch das Einbeziehen des Hautgaswechsels mußte den Umsatz im Sinne einer Zunahme beeinflussen. Die lange Dauer des Marschierens, es handelte sich bei den nordischen Forschern um ein ständiges Gehen, läßt es ausgeschlossen erscheinen, daß etwa wie im kurzdauernden Versuch nach zu kurzer Vorperiode eine Ungleichartigkeit im Gaswechsel sich störend geltend gemacht habe und etwa Kohlensäure zurückgehalten worden sei, die, obwohl zum Versuch gehörig, nicht zur Analyse gelangte. In fast allen Stücken (ausgenommen den Mangel der Sauerstoffanalyse) waren daher die Kammerversuche dem kurzdauernden Versuche auf der Tretbahn unzweifelhaft überlegen. Man könnte nun allenfalls noch daran denken, daß beim Versuch in der Respirationskammer die Kohlensäuremenge, die während der einstündigen Arbeit ausgeatmet wurde, nicht entsprechend scharf abzugrenzen gewesen sein könnte, da die Respirationskammer einen Inhalt von mehr als 100 m^3 aufwies und mit 12 m^3 pro Stunde ventiliert wurde, so daß in der folgenden Ruheperiode noch aus der Arbeitsperiode stammende Kohlensäure in der Kammerluft zur Bestimmung gelangte. Dies würde naturgemäß zu einem Verlust an Kohlensäure in der Arbeitsperiode und zur Ermittlung zu niedriger Werte für den Umsatz Anlaß geben. Die ausgiebige Durchmischung der Kammerluft und die Art der Berechnung der Resultate¹ sowie die Eichungsergebnisse schließen jedoch eine solche Vermutung vollständig aus und ebenso spricht dagegen die Höhe der anschließend gefundenen Ruhewerte. So schienen die Werte für den Arbeitsverbrauch in den Sondén-Tigerstedt'schen Versuchen einwandfrei festzustehen und doch fand sich beim Nachrechnen der Ergebnisse, daß sich sehr wohl ein Grund für das Zustandekommen der so abweichenden Resultate finden läßt, durch den sich die Unterschiede vollkommen erklären, ja sogar die Werte der beiden Autoren derart umgestalten, daß diese in ganz vorzüglicher Übereinstimmung mit der angenommenen Wegkonstante zwischen 0.5 und 0.6 Kalorien stehen.

Dank der vollständigen Mitteilung der Versuchsergebnisse — hier zeigt sich wieder der große Wert der ausführlichen Publikation des Zahlenmaterials — entnimmt man nämlich, daß der Grundzustand der Versuchspersonen, von dem Sondén und Tigerstedt einerseits und wir andererseits ausgingen, ein ganz wesentlich verschiedener war, ja auch in den Versuchen der beiden Autoren kein gleichmäßiger gewesen sein kann, wenn sich die Untersuchten auch körperlicher Ruhe befleißigten.²

Bei unseren Versuchen über den Aufwand beim Horizontalmarsch pflegten wir stets Ruhewerte, die bei vollkommener Entspannung der Muskulatur gewonnen waren, vom Gesamtumsatz abzuziehen. Wird jedoch von diesem ein Ruheverbrauch subtrahiert, der nicht bei ebenso vollständiger Muskelruhe gewonnen wurde, so erübrigt natürlich ein geringerer, respektive zu geringer Betrag für den Arbeitsumsatz und der Verbrauch für die Einheit, auf die er berechnet wird, muß dann ebenfalls nieder ausfallen. Es läßt sich nun hierüber jedenfalls streiten, ob es richtig sei, einen Wert, der dem reinen Erhaltungsumsatz

¹ I. c., p. 28 u. ff.

² I. c., p. 174 u. 114.

entspricht, vom Arbeitsumsatz in Abzug zu bringen oder ob man nicht richtiger, normalen Verhältnissen Rechnung tragend, den Umsatz, der für Körperruhe gewonnen wurde, in Rechnung stellen soll, im Hinblick auf die vielerlei Muskelspannung, die mit dem Gehen nichts zu tun hat, aber hierbei doch unvermeidlich eintritt. Es ist aber kaum möglich, für letzteren Zustand einfachen Ruhigseins gut übereinstimmende Werte wie für den Erhaltungsumsatz zu gewinnen, da wir aus den Untersuchungen Johansson's wissen, daß der Verbrauch in Bettruhe gegenüber dem bei vollkommener Entspannung der Muskulatur bereits um fast 25% gesteigert ist, daß es also eine ganze Summe von Abstufungen für mehr oder minder ausgesprochene »vorsätzliche Muskelruhe« geben muß, weshalb nur für vollkommene Ruhe eine definierbare, absolut festzulegende Größe zu ermitteln ist. Aus diesem Grunde sei auch in Sondén's und Tigerstedt's Versuchen auf den Wert für den Erhaltungsumsatz der Versuchspersonen zurückgegriffen.

Betrachtet man die Höhe des Ruheumsatzes bei den Versuchspersonen der beiden Autoren, so sieht man, daß zum Beispiel F. A. W. in beiden Versuchen eine recht verschieden hohe Kohlensäureproduktion bei Körperruhe aufwies, die beiden Werte weichen um ungefähr 20% von einander ab, so daß man

Tabelle IV.

1	2	3	4
Versuch	Kohlensäure pro Stunde Gramm		
	Ruhe	Zunahme beim Gehen	im ganzen
XLIV F. A. W.	27	40	67
XLVI F. A. W.	22	39	61
XXXVIII G. J.	36	28	64
XLVIII L. B.	30	45	75
L L. B.	34	41	75
XL F.	37	13	50

schließen kann, es sei Muskelaktion mit im Spiele gewesen, die natürlich, wenn wir vom Erhaltungsumsatz ausgehen, analog wie bei den Beobachtungen nach der von uns verwendeten Methodik nicht vom Gesamtumsatz abzuziehen wäre. Würde es sich um Verdauungsarbeit gehandelt haben, so wäre die Subtraktion des größeren Wertes gerechtfertigt oder richtiger gesagt, gefordert, da die Umsatzsteigerung durch die Verdauungsarbeit nach Nahrungsaufnahme sowie jene infolge von Muskelarbeit ungestört nebeneinander herlaufen. Die Werte für beide summieren sich, ohne sich gegenseitig zu beeinflussen.¹

Wir können aber fast als sicher annehmen, daß eine Steigung infolge von Nahrungsaufnahme, wenn eine solche in den Versuchen von Sondén und Tigerstedt überhaupt als wesentlich in Betracht kam, keinesfalls einen hohen Wert erreicht haben kann und deshalb die Unterschiede in Versuchen an denselben Versuchspersonen nicht erklären könnte, da die Grundbedingungen, unter denen gearbeitet wurde, gleichartige waren. Bezüglich der Nahrungsaufnahme schreiben die Verfasser²:

»Unsere Versuchsindividuen hatten ein paar Stunden vor dem Versuche gefrühstückt, die Ergebnisse beziehen sich also nicht auf die Kohlensäureabgabe beim Hunger.« »Ferner erhielten die Versuchspersonen bei den meisten Versuchen etwas Äpfel und Bonbons oder dergleichen. Wie aus den unten

¹ Johansson, Skand. Arch., XXI, p. 3.

² l. c. p. 58.

Tabelle V.

Versuchsperson	Körpergewicht <i>kg</i>	Körper- oberfläche in <i>m</i> ²	CO ₂ Gramm in 1 Stunde	Zahl der Beobachtungen	Mittlere Abweichung	CO ₂ Gramm per 1 <i>m</i> ² in 1 Stunde
Herr S—st.	61	1·914	22·2	6	± 1·58	11·60
» L—hl.	58	1·851	22·3	5	± 1·84	12·05
» E—d.	57	1·829	20·1	4	± 0·55	10·99
» L—m.	85	2·384	25·6	9	± 0·74	10·99
» W—d.	73	2·157	21·9	4	± 1·45	10·16
» E—n.	71	2·117	24·5	7	± 0·94	11·57
» B—g.	87	2·425	25·3	9	± 1·08	10·43
» N—d.	74	2·177	26·1	10		11·99
» F—st.	86	2·436	26·7	1		11·00
» R—n.	65	1·998	20·0	2		10·00
Frln. S—f.	54	1·764	16·7	2		9·46
» M—l.	60	1·893	19·1	2		10·09
12 Versuchspersonen	54—87 <i>kg</i>		Mittel 22·5	61	Mittel 10·86 ohne Frln. S—f. 10·99	

Tabelle VI.

1	2	3	4	5	6	7
Versuch	Körper- gewicht	Körper- oberfläche <i>m</i> ²	Kohlensäureproduktion pro Stunde Gramm			Umsatz in Kalorien pro <i>m</i> und <i>kg</i> bei R Q = 0·80 ²
			wahrscheinlicher Wert für vollkommene Körperruhe der Ver- suchsperson	Gesamt- produktion	Zunahme beim Gehen	
XLIV F. A. W.	60 ¹	1·893	20·92	67	46	0·601
XLVI F. A. W.	60	1·893	20·92	61	40	0·553
XXXVIII G. J.	76	2·216	24·38	64	40	0·515
XLVIII L. B.	67	2·037	22·41	75	53	0·619
L L. B.	67	2·037	22·41	75	53	0·572
XI. F	66	2·017	22·19	50	28	0·650
Mittel						0·585

¹ Das Körpergewicht der Originaltabelle, das von der bekleideten Versuchsperson stammte, wurde abgerundet und um 2·5 *kg* als ungefährem Gewicht der Kleider vermindert, um das wahrscheinliche Nacktgewicht zu erhalten.

² Es wurde zur Orientierung nur 1 respiratorischer Quotient in Rechnung gestellt.

mitzuteilenden Versuchsprotokollen hervorgeht, ist jedoch die hierdurch entstandene Zufuhr von Nahrungstoffen im ganzen so gering, daß sie die Kohlensäureabgabe in keinem nennenswerten Grade hat steigern können, wie daraus hervorgeht, daß die Kohlensäureabgabe während der späteren Perioden des Versuches in der Regel geringer als im Beginne des Versuches gewesen ist. Hätte die erhaltene Kost irgend welche erhebliche Steigung der Kohlensäureabgabe während der Versuchsdauer hervorgerufen, so hätte natürlich das entgegengesetzte Verhalten stattgefunden.« An späterer Stelle heißt es, daß die Ruheversuche, die den Gehversuchen zugrunde gelegt wurden, ergaben, daß während fünf Stunden nur geringe Variationen der Kohlensäureproduktion bei vollkommener Körperruhe vorkamen. Der Arbeitsversuch fand erst eine weitere Stunde später statt als der Ruheversuch (meist 12 Uhr vormittags). Wenn wir daher den Wert für den Erhaltungsumsatz, der den betreffenden Versuchspersonen zukam, vom Gesamtumsatz in Abzug bringen, wird dies allerdings eine etwas zu niedrige Größe sein, wir werden aber doch voraussetzen dürfen, daß wir uns damit der Art der Berechnung in unseren Versuchen wesentlich mehr nähern.

Für die Höhe der Kohlensäureproduktion bei den Versuchspersonen von Sondén und Tigerstedt sollen jene Werte in Anschlag gebracht werden, die sich auf Grund der neuesten Zusammenstellung Johansson's ergeben¹, die in Tabelle V auf das Quadratmeter Körperoberfläche berechnet sind und auf einer großen Zahl von Beobachtungen aufbauen, die am selben Apparat, an dem Sondén und Tigerstedt arbeiteten, durchgeführt wurden.

Es kann demnach ein abgerundeter Wert von 11 *gr* CO₂ pro Stunde und Quadratmeter Körperoberfläche als Ruhewert in Rechnung gestellt werden, der mit dem in Tigerstedt's Lehrbuch² angegebenen: 11·16 *gr* CO₂ pro Quadratmeter sehr gut übereinstimmt. Bestimmt man nun in den Versuchen von Sondén und Tigerstedt die Körperoberfläche der Versuchspersonen und auf Grund dieser und der genannten Standardzahl für den Umsatz die Kohlensäureproduktion derselben, so findet man die für die Berechnung des Arbeitsumsatzes grundlegenden Zahlen. Die voranstehende Tabelle VI enthält diesen Wert für jede Versuchsperson in Spalte 4. In Spalte 5 wurde der Wert für die Gesamt-CO₂-Produktion während der Arbeitsperiode aus Tabelle IV, Spalte 4, übertragen und so in Spalte 6 die nunmehr erübrigende Größe für die Kohlensäureproduktion bei der Arbeit in abgerundetem Werte eingetragen. In derselben Weise wie oben bei Tabelle III erfolgte hieraus die Berechnung des Verbrauches in kleinen Kalorien für das Meter und Kilogramm Horizontalbewegung — also der Wegkonstante, die in Spalte 7 angeführt ist.

Es ergibt sich also in der Tat eine ganz überraschende Übereinstimmung mit dem bei den meisten erwähnten Personen gefundenen Verbrauch für das Gehen in der Horizontalen.³ Die Werte von Sondén und Tigerstedt, die nun auch untereinander viel ähnlicher geworden sind, liegen nun fast alle etwas höher als das erwähnte Mittel, was aber ganz selbstverständlich ist, wenn wir die Nachwirkung des mehrere Stunden früher eingenommenen Frühstückes und jene der Nahrungsaufnahme während der Versuche in Betracht ziehen und berücksichtigen, daß wir mit dem reinen Erhaltungsumsatz einen etwas zu kleinen Wert abgezogen haben, auch muß man bedenken, daß die bereits erwähnten Momente sämtlich im Sinne eines höheren Ausfalles der Wegkonstante wirken mußten.

Nach dem Angeführten liefern also auch die Kammerversuche eine ganz vorzügliche Stütze für die Annahme, daß bei den meisten normalen Personen der Umsatz für die Fortbewegung von einem Kilogramm entlang einem Meter Weges 0·6 Kalorien nicht erreicht, aber auch kaum weniger als 0·5 Kalorien beträgt, wenn man den Erhaltungsumsatz als grundlegenden Wert in Abzug bringt.

¹ Skandinavisches Archiv, Bd. XXI, p. 2.

² Auflage 1907, p. 150.

³ Es ergaben sich 0·58 gegen 0·55 Kalorien pro Meter und Kilogramm Horizontalbewegung im Mittelwert.

Versuche auf freier Bahn.

Den Tretbahnversuchen und jenen, die im Respirationsapparat ausgeführt wurden, reihen sich die Beobachtungen an, die im Freien angestellt wurden, hinsichtlich der Art des Gehens, also am meisten den normalen Verhältnissen entsprechen. In bezug auf die Atemmechanik bleiben natürlich die nicht von der Hand zu weisenden Einwände bestehen.

Zu den Versuchen auf freier Bahn wären die bereits oben erwähnten Zimmerversuche von Zuntz und Schumburg zu zählen, deren Werte unzweifelhaft zu hohe sind und fast 40% voneinander differieren. Sonst arbeitete auf langer, ebener Versuchsstrecke nur Durig und dessen Frau. Die Mittelwerte der Versuche sind in Tabelle VII zusammengestellt.

Tabelle VII.

Aufwand für die horizontale Fortbewegung von einem Kilogramm entlang einem Meter Weges bei Versuchen auf freier Strecke bestimmt (ältere Versuche).

Person	Geschwindigkeit Meter pro Minute	Pro Meter und Kilogramm Horizontalbewegung			Bemerkung	Autor
		ausgeatmet CO ₂ cm ³	verbraucht CO ₂ cm ³	umgesetzt Kalorien		
Zuntz	47·8	0·141	0·165	0·803	Marsch im Zimmer	Zuntz und Schumburg ¹
	52·4	0·096	0·128	0·606		
	50·2	0·125	0·155	0·745		
Durig	95·7—111·5	0·0816	0·112	0·527	Marsch auf einem Gang, Mittel aus 12 Versuchen	Durig ²
Frau Durig	65·0	0·103	0·135	0·604	detto	Durig ³

¹ Pflüger's Arch., 63, p. 482.
² Engelmann'sches Archiv, 1904, Suppl., p. 445.
³ Pflüger's Arch., 113, p. 242.

Wie sich aus vorstehender Tabelle ergibt, reihen sich die an Durig und Frau gewonnenen Resultate vollkommen jenen von Tigerstedt an. Die an der Frau gewonnenen Werte dürften wohl dadurch etwas in die Höhe gerückt sein, daß dies die ersten Marschversuche waren, die an ihr ausgeführt wurden und daß die Hindernisse für sie beim Gehen infolge der Kleidung größere gewesen sein müssen, endlich ist zu bedenken, daß die Belastung mit der Gasuhr und mit den Apparaten bei ihr nahezu ein Drittel ihres Körpergewichtes betrug.

Bei der Besprechung der Resultate der Versuche auf der Sporner Alpe ¹ glaubte ich annehmen zu sollen, daß die Tatsache, daß der Verbrauch bei Frau Durig beim Marsch wesentlich geringer war als bei fast allen Teilnehmern an der Expedition 1901, auf ihre große touristische Übung zurückzuführen, da auch ihre Marschgeschwindigkeit gleich groß oder größer war als die der Berliner Autoren. Auf Grund der voranstehenden Ausführungen muß ich diese Anschauung dahin ändern, daß sich die trainierte

¹ l. c. p. 250.

Frau beim Horizontalmarsch nicht anders verhielt als dies anscheinend beim Durchschnitt der Menschen der Fall ist, wogegen eben die Mittelwerte der Berliner Autoren wirklichen Verhältnissen gegenüber zu hoch sein dürften.

Unsere neuen Beobachtungen umfassen 44 Marschversuche auf ebener Strecke, bei denen im ganzen etwa 80 *km* Weges mit der Gasuhr zurückgelegt wurden. Die Versuche sind sämtlich in den frühen Morgenstunden bei kühler Witterung ausgeführt, und zwar in nüchternem Zustande oder nachdem etwa eine Stunde vorher etwas gezuckerter Tee genossen worden war. Beim Gehen auf dem 200 *m* langen gepflasterten Gang der Hochschule, auf dem wir in Wien unsere Versuche ausführten, verwendeten wir Kautschuküberschuhe, um auf den Fliesen, auch wenn diese durch die während des Versuches ausgeheberte Sperrflüssigkeit naß geworden waren, nicht zu schlüpfen, was ein Spannen der Muskulatur und dadurch eine Erhöhung der Werte herbeigeführt hätte.

Die Generaltabellen XIII, XIV und XV enthalten die ermittelten und berechneten Werte, die auf wenige Stellen gekürzt sind. In Stab 4 sind die auf 0°, 760 *mm* Barometerstand und Trockenheit reduzierten Volumina eingetragen. Die Stäbe 8 und 9 enthalten, ebenfalls auf 0° und 760 *mm* Druck reduziert, das pro Minute produzierte Kohlensäurevolumen und den analog ausgedrückten Sauerstoffverbrauch. Bezüglich Kolonne 15 sei erwähnt, daß diese eingeführt wurde, um auf den ersten Blick ermessen zu können, mit welcher Geschwindigkeit marschiert wurde, da man in der Regel die Schnelligkeit nach der Zeit, die für die Zurücklegung eines Kilometers erforderlich war, zu kennzeichnen pflegt. Die Stäbe 17, 18, 19 und 20 enthalten die Werte für die Größe des Umsatzes in verschiedenen Einheiten, um einen Vergleich mit anderen Beobachtungen erleichtern zu können. Die Überschrift der übrigen Spalten bedarf keiner Erläuterung. In den Tabellen sind Versuche angeführt, bei denen mit Absicht eine sehr verschiedene Geschwindigkeit eingehalten wurde, es weichen daher die meisten Werte sehr stark von einander ab. Vorerst mögen nur jene Beobachtungen Berücksichtigung finden, die bei mittleren Geschwindigkeiten ausgeführt wurden. Sie sind auszugsweise in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Die zwanzig in der nachstehenden Tabelle zusammengefaßten Marschversuche ergeben als gemeinsames Mittel einen Umsatz von 0·553 Kalorien für das Meter und Kilogramm Horizontalbewegung. Überblickt man die einzelnen Größen, so sieht man, daß diese sämtlich nicht sehr wesentlich vom Mittelwert abweichen, so daß die Bildung desselben gerechtfertigt erscheint. Es herrscht in der Tat durchaus eine befriedigende Übereinstimmung zwischen den Werten, da die mittlere Abweichung vom Mittelwert bei Durig 2·2%, bei Kolmer 2·5%, bei Rainer 2·3% und bei Reichel 2·7% beträgt, hieraus ergibt sich wohl die Grenze für die Leistungsfähigkeit der von uns verwendeten Methodik, da in den Abweichungen auch die physiologischer Weise vorhandenen Schwankungen inbegriffen sind.

Auf Grund dieser Versuche, wie auch der älteren, an Durig angestellten Respirationsversuche beim Marsch, kann es daher als feststehend erachtet werden, daß die Wegkonstante für uns alle bei einem Wert von 0·55 Kalorien gelegen ist. Dies ist eine Größe, die wir auf Grund der Diskussion über die übrigen älteren Versuche, mit Ausnahme jener von Zuntz und seinen Mitarbeitern, im Jahre 1901 und ganz vereinzelter Beobachtungen aus der ersten Zeit, in der die Methodik erst ausgebildet wurde, als wahrscheinlichsten, ziemlich allgemein gültigen Wert für den Umsatz beim Gehen auf ebener Bahn angesprochen hatten. Halten wir an dieser Annahme fest, die natürlich die ganz bestimmte Art der Berechnung zur Voraussetzung¹ hat, so ergibt sich für die Fortbewegung von 1 *kg* entlang einem Meter Weges ein Aufwand von rund einem Viertel Meterkilogramm. Nimmt man an, daß der Wirkungsgrad der menschlichen Arbeitsmaschine mit 30% anzusetzen ist, so würde die Arbeit für den Horizontalmarsch, so lange es sich um mittlere Geschwindigkeiten handelt, pro Meter und Kilo Horizontalbewegung mit 0·07 bis 0·08 *mkg* anzusetzen sein.

¹ Siehe p. 17 und 18 [257 und 258].

Tabelle VIII.

Übersicht über den Umsatz beim Horizontalmarsch unter Einhaltung mittlerer Geschwindigkeit (neue Versuche).

Versuchsperson	Geschwindigkeit Meter pro Minute	Gewicht mit Belastung	Umsatz pro Kilogramm und Meter		
			cm ³ CO ₂	cm ³ O ₂	Kalorien
Durig	102·3	76·1	0·088	0·114	0·543
	102·1		0·084	0·119	0·559
	83·8		0·078	0·110	0·517
	72·3		0·081	0·115	0·536
Kolmer	69·2	94·2	0·083	0·113	0·535
	62·4		0·086	0·119	0·561
	67·0		0·083	0·120	0·560
	66·4		0·094	0·122	0·591
Rainer	91·3	75·4	0·092	0·129	0·578
	88·8		0·101	0·117	0·571
	90·4		0·100	0·121	0·584
	88·8		0·096	0·118	0·567
	76·9		0·078	0·114	0·533
Reichel	100·8	100·3	0·102	0·104	0·550
	96·4		0·103	0·119	0·583
	94·8		0·099	0·113	0·554
	95·2		0·098	0·138	0·556
	95·2		0·101	0·118	0·570
	75·9		0·088	0·105	0·514
Mittel .	84·0		0·087	0·116	0·553

Bezüglich der Tabelle VIII muß noch auf das Verhalten Kolmer's hingewiesen werden. Man vergleiche den Umsatz, der an ihm beim Marsch auf freier Bahn gefunden wurde, mit jenem, der im Jahre 1901 auf der Berliner Tretbahn bestimmt wurde (Tab. II). Es zeigt sich, daß Kolmer trotz seines etwas eigenartigen Ganges bei unbeeinflußtem Gehen und bei einer Marschgeschwindigkeit zwischen 62 und 69 *m* pro Minute eine ganz ähnliche Zahl von Kalorien umsetzt wie wir übrigen, sich also von uns in bezug auf die Höhe des Verbrauches bei einer ihm angepaßten Marschgeschwindigkeit nicht anders verhält als wir, es waren also sicher nur Begleitumstände, die damals die hohen Verbrauchszahlen bei ihm herbeiführten. Die Geschwindigkeit, die Kolmer für sich als die ihm behaglichste wählte und die wohl dem »Straßentrott« oder der »Wandergeschwindigkeit« (Fischer) entspricht und jenes Tempo vorstellt, in das man unwillkürlich immer wieder verfällt, wenn man sich nicht absichtlich zwingt, schneller oder langsamer zu gehen, liegt bei Kolmer niedriger als bei uns allen. Durig schlug in der Regel ein Tempo an, das ungefähr der Zurücklegung von einem Kilometer in etwas mehr als zehn Minuten entspricht¹, und

¹ Siehe auch die älteren Versuche an ihm. Arch. f. (Anat. und) Physiologie, 1901, Suppl. p. 445.

auch Reichel wählte eine ähnliche Geschwindigkeit. Die Märsche Rainer's lassen auf eine ihm bequeme Wandergeschwindigkeit von etwa 11 Minuten für den Kilometer schließen, wogegen Kolmer seinen Schritt auf ein Tempo, in dem für die Zurücklegung eines Kilometers 14 Minuten erforderlich waren, einstellte. Die Ursache für die größere Langsamkeit Kolmer's als Gänger, die wir auch während der sämtlichen Marschversuche der Expedition wahrnehmen konnten, ist wohl in dem gedrungenen Bau und der geringen Beinlänge Kolmer's zu suchen, wie ja auch sein Körpergewicht im Verhältnis zur Körpergröße gegenüber den anderen Versuchspersonen ein relativ hohes ist.¹

Es wäre noch die Frage zu erörtern, inwieweit man auf Grund der vorliegenden Versuche behaupten kann, daß eine Wegkonstante von 0·55 Kalorien als näherungsweise Mittelwert für das Gehen auf ebener Strecke verallgemeinert werden kann und inwiefern die bei einer Versuchsperson festgestellte Wegkonstante als absoluter Wert angesprochen werden darf. Stützen sich die neuen und die zahlreichen älteren Versuche auch auf ein recht umfangreiches Material und auf Beobachtungen an rund 20 Versuchspersonen, bei denen übereinstimmende Ergebnisse erzielt wurden, so kann die Annahme, daß der Verbrauch für das Meter und Kilogramm Geharbeit zwischen 0·5 und 0·6 Kalorien anzusetzen ist, doch insoweit nur eine wahrscheinliche bleiben, als nicht neue Versuche an den im Jahre 1901 untersuchten Personen dargetan haben, daß man berechtigt ist, die niedersten, damals bei ihnen gefundenen Werte als ihrem Umsatz beim Gehen entsprechend anzunehmen. Wir werden allerdings mit einiger Sicherheit voraussetzen können, daß dies der Fall ist, um so mehr als ja die mit vollkommen anderer Methodik von Sondén und Tigerstedt ausgeführten Beobachtungen, die in ihren Ergebnissen bei den einzelnen Versuchspersonen ursprünglich um 34% voneinander abweichen, durch die Umrechnung aber bis auf 14% genähert wurden, eine höchst willkommene Stütze für die Resultate liefern, die nach dem Zuntz'schen Verfahren gewonnen wurden. Es ist dadurch die Wahrscheinlichkeit, daß wirklich durchgreifende Unterschiede im Aufwand für das Gehen auf horizontaler Bahn bestehen sollen, eine sehr geringe geworden. Die von Sondén und Tigerstedt untersuchten Personen waren Flachländer und ihrem Beruf nach Fabrikarbeiter, Laboratoriumsdiener, Bäcker und Studierende, Zuntz und Schumburg arbeiteten bei trainierten Soldaten, auch Leo Zuntz muß als gut trainierter Gänger gelten, in unseren Beobachtungen kamen geübte Alpinisten, darunter eingeborene, von Jugend auf trainierte Bergbewohner zur Untersuchung und doch liegen die Werte trotz ganz verschiedener Körpereigenschaften der Versuchspersonen einander auffallend nahe. Man wird deshalb, und dies gilt natürlich nur für normale Menschen, wohl mit ziemlicher Berechtigung auf eine ziemlich einheitliche Größe des Umsatzes bei behaglicher Wandergeschwindigkeit schließen können, diese wird allerdings für verschiedene Menschen eine ganz beträchtlich abweichende sein. Darüber, daß bei abnormalen Personen von vornherein ganz wesentlich höhere Größen für den Verbrauch beim Gehen zu erwarten sind, kann wohl kein Zweifel sein, es scheint mir nur wichtig, darauf hinzuweisen, daß der Einfluß der Übung im Gehen sowie der sonstigen Leistungsfähigkeit auf den Aufwand bei der für eine Versuchsperson bequemen Gehgeschwindigkeit kein besonders wesentlicher sein kann.

Trotz der großen Zahl übereinstimmender Werte ergab diese Darstellung jedoch, daß bis zur unzweifelhaften Feststellung einer solchen Gesetzmäßigkeit noch weitere Resultate beigebracht werden müssen. Die Versuche aus der Respirationskammer bedürfen sicherlich weiterer Ergänzung, um zu entscheiden, ob die an früherer Stelle ausgeführte Berechnung dem tatsächlichen Verhalten Rechnung getragen hat. Tretbahnversuche in der Respirationskammer werden in zweckdienlicher Weise zum Ziele führen, hierbei wird allerdings ein besonderes Augenmerk darauf zu richten sein, daß durch das Gehen auf dem Tretwerk nicht eine ungewollte, künstliche Verschiebung der Resultate herbeigeführt werde.

Die Versuche beim Marsch auf freier Bahn haben so gut übereinstimmende Resultate geliefert und sind auch so zahlreich (62), daß sie als abgeschlossen gelten können, es ist jedoch zu bedenken, daß in diesen der Hautgaswechsel ausgeschaltet war und jene Einwände berücksichtigt werden müssen, die wir

¹ Siehe die Ausführungen in der Einleitung über die Beschaffenheit der Versuchspersonen und deren Leistungsfähigkeit.

an früherer Stelle gegen unsere eigene Methodik erhoben haben. Es darf auch nie außer Acht gelassen werden, daß eine einwandfreie Feststellung des Ruhegaswechsels vorausgesetzt werden muß, wenn die Werte, die für den Umsatz beim Marsch auf horizontaler Bahn bestimmt werden, richtige sein sollen, dagegen kann nicht gefordert werden, daß die Größe des Erhaltungsumsatzes am selben Tag bestimmt werde, an dem die Marschversuche zur Ausführung gelangen. Es wurde bei der Besprechung der Versuche über den Erhaltungsumsatz festgestellt, daß nicht nur die Ruhewerte einander zugehöriger Versuche von ganz gleicher Größe sind, sondern daß auch zeitlich weit auseinander gelegene Beobachtungen, seien diese nun im Sommer oder im Winter ausgeführt, zu ganz übereinstimmenden Ergebnissen führten. Bei unseren Marchversuchen auf dem Semmering schlossen sich übrigens die Horizontalmärsche direkt an vorhergegangene Ruheversuche an, bei den übrigen Gehversuchen führten wir dagegen das Mittel des Erhaltungsumsatzes der nächstgelegenen Ruheversuchsreihen als Größe für den Ruheverbrauch in die Berechnung ein.

Wenn es gelingt, für den Aufwand beim Horizontalmarsch in der Respirationskammer vollkommen korrekte Zahlen, die als absolute Werte aufzufassen sind, festzustellen, so bleibt noch immer die Frage offen, inwieweit die Wegkonstante für eine Versuchsperson auch der tatsächliche Ausdruck für die Größe der Verbrennungsvorgänge ist, die der Arbeit entspricht, welche für die Fortbewegung von 1 *kg* entlang einem Meter Weges geleistet werden muß. Die Förderung absolut richtiger Zahlen für den Aufwand beim Horizontalmarsch, die theoretisch selbstverständlich und leicht erreichbar scheint, stößt praktisch auf nicht zu übersehende Schwierigkeiten. Beim Versuche mit der Atmung durch Mundstück und Ventile sind es der Ausfall der Hautatmung, die Widerstände in der Gasuhr und den Leitungen und die hierdurch bedingte Erhöhung der Atemarbeit, im Versuch beim Gehen auf dem Zimmerboden in der Respirationskammer die Behinderung des freien Ausschreitens in gerader Linie und bei Beobachtungen mit der Tretbahn, wenn diese im Respirationsapparat aufgestellt wird, der Wegfall des beim freien Gehen zu überwindenden Luftwiderstandes und die erzwungene, nicht dem jeweiligen Behagen der Versuchsperson angepaßte Bewegung, die störend in Betracht kommen müssen. Wird der Tretbahnversuch außerhalb der Kammer mit Hilfe der Gasuhr ausgeführt, so treten natürlich jene Einwände, die wir gegen unsere Arbeiten nach der Zuntz'schen Methode erhoben haben, noch weiter hinzu.

Bei der Beurteilung des Aufwandes für die reine Geharbeit ist aber ferner zu berücksichtigen, worauf schon oben hingewiesen wurde, daß zugleich mit dem Gehen eine ganze Menge von Muskelarbeit ausgeführt wird, die nicht der Fortbewegung des Körpers dient; außer einem erhöhten Tonus in verschiedenen Muskelgruppen, den wir im Versuch über den Erhaltungsumsatz auszuschalten bestrebt sind, kommt es zur Mitinnervation zahlreicher Muskeln; es wäre daher vielleicht richtiger, den Umsatz beim Stehen an Stelle des Erhaltungsumsatzes vom Gesamtverbrauch beim Horizontalmarsch abzuziehen und die ausschließlich für die Fortbewegung der Last entlang dem Weg eingeleiteten Verbrennungsvorgänge aus diesem Rest zu berechnen. Jedenfalls ist das, was wir als die Wegkonstante bezeichneten, nur ein Ausdruck des rohen Umsatzes für das Marschieren, indem die Ausgabe für alle Arbeit mitinbegriffen ist, die ein gehender Mensch gegenüber einem schlafenden leistet.

Die Berechnung des reinen Umsatzes für die Geharbeit ist aber kaum durchführbar. Einerseits begegnet man der Schwierigkeit, die Größe des Aufwandes für die Steharbeit namhaft zu machen und andererseits ist die Frage, ob der Umsatz für die Steharbeit der richtige Wert sei, der vom Gesamtumsatz abzuziehen ist, kaum zu bejahen.

Bornstein und Ott¹ haben sich zwar an der Frage versucht, den Aufwand beim Stehen zu bestimmen, man wird aber kaum fehlgehen, wenn man sagt, daß ihnen die Lösung derselben wohl nicht gelungen ist. Die Ruhewerte, die den Versuchen von Bornstein und Ott in zusammengehörigen Versuchen zugrunde liegen, weisen Schwankungen auf, die man sonst kaum in einer Gaswechselarbeit

¹ Pflüger's Archiv, 109, p. 621.

findet und dabei waren die Unterschiede, die sie feststellen wollten, der subtilsten Art. Die Extremwerte für den Sauerstoffverbrauch im Ruheversuch mögen in folgender Zusammenstellung unter Weglassung der Dezimalen wiedergegeben sein.

	Bornstein	Ott
Niederster Wert	246 ¹	236 ²
Höchster Wert	349 ³	394 ⁴
Differenz	103	158
Größe der Abweichung in Prozenten	42·2	61·5

Daß die Ursache für derartige Unterschiede zu einem großen Teile durch die Verdauungsarbeit bedingt ist — die übrigen Werte verteilen sich alle zwischen die Größen — ist wohl unzweifelhaft.

Betrachten wir demgegenüber die Ausschläge, die das Stehen herbeiführte, so ergibt sich für diese in Kubikzentimetern pro Minute bei

	Bornstein	Ott
absolut	3 bis 37	21 bis 126
in Prozenten des Ruhewertes	1 » 12·5	6·8 » 39

Die gefundenen Unterschiede bei den Stehversuchen fallen daher noch vollkommen in die Schwankungsbreite der Ruheversuche und können daher nicht dazu herangezogen werden, den Umsatz bei der Steharbeit zu kennzeichnen. Es sind den beiden genannten Autoren wohl auch selbst die großen Unterschiede zwischen den Werten aufgefallen, die sie für sich selbst als Ausdruck des Umsatzes beim Stehen berechneten, sie glaubten aber diese durch die verschiedene Stellung, welche sie beim Stehen einnahmen, erklären zu können, die Grundlagen der Versuche sind jedoch keinesfalls ausreichend, um einen derartigen Schluß ziehen zu können.

Einen befriedigenden Einblick in die Verhältnisse vermögen auch die Versuche Katzenstein's wie die bezüglichlichen Beobachtungen von Zuntz und Schumburg nicht zu geben, dagegen liegen 22 etwas bessere Stehversuche von Reach⁵ vor, die sich sämtlich auf eine Versuchsperson beziehen. Diese lassen sich in drei Gruppen gliedern, je nachdem die Person frei stand oder sich beim Stehen nach hinten oder nach vorne geneigt aufstützte. Wenn die Versuchsperson sich vorne an einer Querstange hielt und etwas nach rückwärts gelehnt, asymmetrisch stand, war der Verbrauch am kleinsten. Größer wurde er beim vollkommen freien, asymmetrischen Stehen und am größten, wenn der Untersuchte sich vorn, an der Stange haltend, etwas vornüberbeugte. Im Mittel wurde pro Minute und Kilogramm ein Mehrverbrauch von 2 Kalorien beobachtet.

Das Verhalten der Versuchsperson ließ aber, wie Reach erwähnt, manches zu wünschen übrig, eine Annahme, die wesentlich durch die Höhe des Erhaltungsumsatzes gestützt wird. Es schwankte nämlich der Sauerstoffverbrauch zwischen 250 und 290 cm^3 , also um 15%, und wenn demnach auch die Versuche Reach's um Vieles besser sind als jene von Bornstein und Ott, so ist auch durch sie keine sichere Feststellung des Verbrauches beim Stehen erfolgt, da ein viel zu hoher Wert als Erhaltungsgaswechsel subtrahiert wurde, so daß der Aufwand für die Steharbeit gewiß zu klein ausgefallen ist. Den sichersten Beweis für diese Annahme liefert die Tatsache, daß in vier von den acht Versuchen, in denen bei rückwärts gebeugter Stellung beobachtet wurde, der Sauerstoffverbrauch geringer ausfiel als in Körperruhe bei der liegenden Versuchsperson.

¹ p. 624, IV a.

² p. 626, XIII a.

³ p. 624, I a.

⁴ p. 624, II a.

⁵ Landw. Jahrbücher, 1908, p. 1078, Biochemische Zeitschrift, XIV, p. 440 und XV, p. 501.

Berechnet man den Sauerstoffverbrauch für die Versuchsperson auf Grund der Körperoberfläche, so erhält man 230 gegen 275 cm^3 , den gefundenen Mittelwert. Dieser Mehrverbrauch im Liegen gegenüber dem wahren Erhaltungsumsatz würde allein schon 3·7 Kalorien pro Kilogramm und Minute bedeuten, also fast das Doppelte von dem, was im Mittel für den Aufwand beim Stehen gefunden wurde. Addieren wir die 3·7 Kalorien zum mittleren Aufwand für die Steharbeit, den Reach bestimmte, so erhält man für diese einen Wert von 5·7 Kalorien oder wenn man den größten Wert nimmt, 9 Kalorien pro Kilogramm und Minute Steharbeit; dadurch würden nun bei einer Marschgeschwindigkeit von 100 m pro Minute und einem Aufwand von 0·5 Kalorien pro Meter und Kilogramm Horizontalbewegung nach Abzug der Steharbeit nur mehr 0·44 (0·41) Kalorien als Aufwand für die reine Horizontalbewegung verbleiben, und damit auch der Verbrauch für die Geharbeit als solche etwas niedriger, wenn auch nicht von wesentlich anderer Größenordnung anzusetzen sein.

Bezüglich der Beobachtungen, die über die Höhe des Umsatzes bei der Steharbeit ausgeführt wurden, wäre auch auf die Versuche Widlund's¹ hinzuweisen, die sich nur auf die Bestimmung der Kohlensäure allein erstrecken; es genügt wohl, von diesen anzuführen, daß in mehr als der Hälfte der Versuche beim Stehen ein niedriger Verbrauch als beim Liegen unter Ausschaltung von Muskelbewegungen bestimmt wurde.

Wegen der ganz unbefriedigenden Resultate, die demnach derzeit noch über die Höhe des Verbrauches beim Stehen vorliegen, ist es wohl ziemlich unnötig, darüber schlüssig zu werden, ob es zweckmäßiger sei, den Verbrauch des Stehenden an Stelle des Erhaltungsumsatzes in Abzug zu bringen. Es ist ziemlich wahrscheinlich, daß das Einhalten der Gleichgewichtslage während des Gehens mit viel geringerem Aufwand an Energie erfolgt als beim Stehen und auch kaum zu entscheiden, ob nicht ein Teil der beim Stehen geleisteten Muskularbeit während der Arbeit beim Gehen zweckmäßig verwertet wird, also unberechtigter Weise in Abzug gebracht würde. Die obige Betrachtung sollte nur dartun, daß eine schwerwiegende Verschiebung der Resultate durch die Berechnung der Geharbeit unter Berücksichtigung des Umsatzes, den man annähernd für das Stehen anzusetzen hat, nicht stattfindet.

Unter den Abstrichen, die bei der Berechnung des reinen Umsatzes für das Gehen auszuführen wären, ist auch an den Mehraufwand für die Vergrößerung der Lungenventilation und der Herzarbeit zu denken. Beide Faktoren hat Zuntz besonders in seinen Pferdeversuchen gründlich berücksichtigt.

Man wird jedoch kaum unzulässig verfahren, wenn man die Absicht, den Aufwand der Extremitätenmuskeln beim Horizontalmarsch für sich ermitteln zu wollen, nicht verwirklicht, da man sonst recht wenig sichere Größen in Rechnung zu stellen hat, die wegen ihrer Kleinheit nur sehr schwer richtig zu bestimmen sind. Bei einer Steigerung des Atemvolums um nahezu 50 l pro Minute wie in jenem Marschversuch, in dem ich im schnellsten Tempo ging, ist hierfür natürlich ein ganz beträchtlicher Wert (0·09 Kalorien von dem pro Meter und Kilogramm berechneten Wert) abzuziehen.

Über den Einfluß der Geschwindigkeit auf die Höhe des Umsatzes beim Marsch auf horizontaler Bahn.

Es ist eine jedem Soldaten bekannte Erscheinung, daß die Zurücklegung einer Wegstrecke im »Schnellschritt« eine viel größere Anstrengung bedeutet, als wenn derselbe Weg in gewöhnlichem Marschtempo durchschritten wird. Auch von seiten der physiologischen Forschung hat man diese Erscheinung speziell im Hinblick auf die militärische Bedeutung der Frage experimentellem Studium unterzogen und es ist ein unzweifelhaftes Verdienst von Zuntz, daß er gemeinsam mit Schumburg als Erster Untersuchungen über die Höhe des Umsatzes bei steigender Marschgeschwindigkeit ins Auge faßte² und die

¹ Skandinavisches Archiv, XVII, p. 290.

² Physiologie des Marsches, p. 283.

recht unvollkommenen Versuche, die Katzenstein auf seine Anregung bereits begonnen hatte, durch eine Reihe gewissenhaft durchgeführter Beobachtungen erweiterte. Wenn uns in dieser Abhandlung nur jene Versuche, die an Menschen ausgeführt wurden, ausschließlich beschäftigen sollen, so darf nicht unterlassen werden, auf die mühevollen Untersuchungen von Zuntz¹ und Hagemann am Pferde hinzuweisen, aus denen sich für die Zunahme der Geschwindigkeit über ein mittleres Tempo eine Vergrößerung des Aufwandes pro Meter Weges um rund 1%⁰ ergab. Bezüglich der einschlägigen Ergebnisse von Tierversuchen ist ferner zu bemerken, daß Zuntz² am Hunde keine Steigung des Umsatzes mit Zunahme der Geschwindigkeit fand, obwohl er diese von 55 auf 101 *m* pro Minute steigerte, während Slowtzoff³ unter fast den gleichen Verhältnissen eine fast 10%⁰ betragende Erhöhung der Verbrennungsvorgänge⁴ ermittelte.

Tabelle IX.

Versuchsperson B.				Versuchsperson P.			
Geschwindigkeit Meter pro Minute	Kleine Kalorien pro Kilogramm und Meter			Geschwindigkeit Meter pro Minute	Kleine Kalorien pro Kilogramm und Meter		
	absolut	Differenz gegen den Aufwand bei der geringsten Geschwindigkeit	Differenz gegen einen Mittelwert von 0·55 Kalorien		absolut	Differenz gegen den Aufwand bei der geringsten Geschwindigkeit	Differenz gegen einen Mittelwert von 0·55 Kalorien
62·7	0·658	—	+ 0·10	53·6	0·582	—	+ 0·05
68·1	0·580	— 0·078	+ 0·03	58·2	0·504	— 0·08	— 0·05
69·7	0·558	— 0·100	+ 0·01	68·6	0·627	+ 0·04	— 0·07
70·4	0·546	— 0·112	0·00	72·7	0·573	— 0·01	+ 0·02
74·4	0·556	— 0·102	+ 0·01	73·4	0·623	+ 0·04	+ 0·07
75·2	0·555	— 0·103	+ 0·01	73·7	0·603	+ 0·02	+ 0·05
75·2	0·683	+ 0·025	+ 0·13	74·9	0·485	— 0·10	— 0·07
75·3	0·519	— 0·139	— 0·03	76·5	0·493	— 0·09	— 0·06
75·4	0·669	+ 0·011	+ 0·12	76·6	0·569	— 0·02	+ 0·02
76·9	0·623	— 0·032	— 0·07	76·9	0·707	+ 0·12	+ 0·15
76·9	0·592	— 0·066	+ 0·04	77·9	0·726	+ 0·15	+ 0·17
78·1	0·542	— 0·116	— 0·01	80·0	0·529	— 0·05	— 0·03
81·5	0·694	+ 0·036	+ 0·14	81·7	0·796	+ 0·22	+ 0·25
89·1	0·623	+ 0·035	+ 0·07	82·4	0·521	— 0·06	— 0·03
				87·7	0·662	+ 0·08	+ 0·11

Das Ergebnis, das den Einfluß der Gehgeschwindigkeit auf die Höhe des Umsatzes ausdrücken soll, läßt sich bei den Versuchen, die Zuntz und Schumburg an den Soldaten ausführten, wohl nicht so einfach in den Mittelwerten zusammenfassen, wie dies die beiden Autoren taten, denn wenn Mittelwerte auch mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit die Tendenz von Zahlen, die untereinander ziemlich stark abweichen,

¹ Untersuchungen über den Stoffwechsel des Pferdes bei Ruhe und Arbeit. Neue Folge. Landwirtschaftliche Jahrbücher, XXVII, Ergänzungsband III, 1898, p. 309 u. ff.

² Pflüger's Archiv, Bd. 95, p. 206.

³ 100 *m* pro Minute sind für einen Hund wohl keine Geschwindigkeit, die für ihn etwas anderes als ein ganz bequemes Tempo bedeutet. Es hält natürlich schwer, den Hund auf der Tretbahn zu sehr forciertem Laufen zu veranlassen, weil er dann, wenn er nicht mehr laufen will, sich einfach auf der Tretbahn schleifen läßt.

⁴ Pflüger's Archiv, Bd. 95, p. 158.

zeigen, nach einer gewissen Richtung hin zu fallen oder zu steigen, so ist die Beweiskraft von Versuchen und besonders die Beurteilung der Größe von Ausschlägen doch in erster Linie von dem Verhalten der Einzelversuche abhängig. Es sollen daher die Zahlen aus den Zuntz'schen und Schumburg'schen Versuchen nach Marschgeschwindigkeiten geordnet in einer Tabelle zusammengefaßt werden. Man sieht dann, daß die Unterschiede sich nur in sehr engen Grenzen halten. Die Autoren geben zwar an, daß man nur Versuche an einem und demselben Tag miteinander vergleichen könne, dem kann man aber doch kaum vollständig beipflichten, da wir uns überzeugen, daß jahrelang auseinanderliegende Respiationsversuche zu ganz übereinstimmenden Werten führen, wie ja auch Zuntz und seine Mitarbeiter in späteren Publikationen weit zurückliegende Marschversuche der Berechnung für den Aufwand zugrunde gelegt und mit neueren Versuchen in Vergleich gezogen haben. Auch dann, wenn der Einfluß von Verdauungsarbeit in den einzelnen Versuchen sich in verschiedener Weise geltend gemacht hätte, könnte dies an der Vergleichbarkeit der Resultate nicht viel ändern, da dann ja im Versuch ein entsprechend höherer Ruheverbrauch abgezogen worden wäre und der Umsatz für die Geharbeit keine Änderung erfahren hätte. In den Grundbedingungen weichen die Versuche jedoch insoweit voneinander ab, als die Belastung nicht dieselbe war.¹ Diese ist aber nach den gründlichen Untersuchungen der beiden genannten Autoren ohne entscheidenden Einfluß auf die Höhe des Umsatzes pro Meter und Kilogramm Horizontalbewegung, da sich zeigte, daß der Energieverbrauch beim Gehen in der Regel entsprechend der Zunahme der bewegten Masse wächst, ja, daß unter günstigen Umständen sogar die größere Last mit geringerem Aufwand fortbewegt werden könne als der eigene Körper der Versuchsperson.² (Tab. IX.)

Die Tabelle ergibt, daß innerhalb der untersuchten Geschwindigkeiten eigentlich ein ganz ausgesprochener Zuwachs des Umsatzes mit Erhöhung des Marschtempos nicht eingetreten ist, und daß der Aufwand für die Fortbewegung von einem Kilogramm entlang einem Meter Weg sich nicht wesentlich geändert hat, wenn die Geschwindigkeit von 53 bis 89 *m* pro Minute stieg. Man sieht zum Beispiel, daß B. und P. bei Zurücklegung von 75 *m* pro Minute den niedrigsten Umsatz aufgewiesen haben, während sich höhere Werte sowohl bei größerer, wie bei geringerer Marschgeschwindigkeit finden. Auch findet man dieselben Werte, die bei den geringsten Marschgeschwindigkeiten gefunden wurden, bei viel beschleunigterem Marschtempo wieder, und jene Zahlen, die bei dem schnellsten Gehen ermittelt wurden, stimmen mit solchen von langsameren Märschen überein. Aber auch dann, wenn wir zusammengehörige Versuche miteinander vergleichen, ändert sich das Bild nicht wesentlich, wie folgende Werte zeigen, die im Gegensatz zu solchen Paaren stehen, in denen eine ausgesprochene Zunahme bei erhöhter Marschgeschwindigkeit zum Ausdruck kommt.

Geschwindigkeit		Energieverbrauch pro Meter und Kilogramm in Kalorien
B	78·1	0·542
	75·2	0·518
B	68·1	0·579
	76·9	0·591
P	72·7	0·573
	76·6	0·569
P	58·2	0·504
	76·4	0·493
P	68·6	0·626
	73·7	0·603

¹ Vergl. Tab. I. c., p. 285 und Anhangstabelle p. 336 u. ff.

² I. c., p. 305.

Wir begegnen also auch Änderungen im entgegengesetzten Sinne oder solchen, die zwar eine Zunahme des Umsatzes ausdrücken, aber so gering sind, daß sie wohl nur ein Zeichen dafür liefern, wie verläßlich die Versuche ausgeführt sind und wie gut die Werte übereinstimmen. Es kann demnach die Beweiskraft der Werte für eine gesetzmäßige Steigerung der Verbrennungsvorgänge, wenn sich auch in einigen Beobachtungen namhafte Ausschläge in positivem Sinne finden, wohl keine sehr große genannt werden, und daher ist es auch nicht gut möglich, aus dem Verhältnis zwischen der Zunahme der Geschwindigkeit in allen Versuchen und dem Mittel aus den Unterschieden zwischen den Versuchspaaren einen Mittelwert für die Zunahme des Umsatzes pro Meter Geschwindigkeitszuwachs abzuleiten. Man wird daher dem so berechneten Wert, von 0·0023 Kalorien Zuwachs der Verbrennungsvorgänge pro Meter Geschwindigkeitszunahme, wohl auch keine allgemein gültige Bedeutung einräumen dürfen. Daß dieser Wert, der von Leo Zuntz als Mittel für ganz andere Geschwindigkeitsänderungen gefundenen Umsatzsteigerung entspricht, ist wohl fast nur als Zufall zu bezeichnen.

Beweisend für den Einfluß der Geschwindigkeit beim Gehen auf die Höhe des Umsatzes sind die schönen Versuche von L. Zuntz¹, der diese Frage anläßlich seiner Untersuchungen über den Gaswechsel des Radfahrers bearbeitete. Seine Beobachtungen umfassen 18 Märsche, verteilt auf dreierlei verschiedene Geschwindigkeiten. Die Versuche stimmen trefflich untereinander überein und sind wohl das einzig Grundlegende von dem, was bisher über die Bedeutung der Marschgeschwindigkeit für die Höhe der Wegkonstante gefördert wurde. Es ergeben sich aus seinen Tabellen die folgenden Zahlen, denen ich bei der Umrechnung auf Kalorien ein mittleres Gewicht von 72·94 *kg* zugrunde legte.

I. Stufe		II. Stufe		III. Stufe	
Meter pro Minute zurückgelegt	Kalorien pro Meter und Kilogramm umgesetzt	Meter pro Minute zurückgelegt	Kalorien pro Meter und Kilogramm umgesetzt	Meter pro Minute zurückgelegt	Kalorien pro Meter und Kilogramm umgesetzt
53·54	0·538	97·11	0·660	145·53	1·062
54·14	0·558	92·41	0·669	140·50	1·104
58·79	0·558	97·35	0·621	135·74	1·059
57·10	0·561	101·42	0·647	137·09	1·026
57·71	0·546	100·34	0·628	143·68	1·015
59·35	0·560	103·40	0·693	138·12	1·168
Mittel . . 58·11	0·554	98·97	0·653	140·11	1·072

Überblickt man die Zahlen, so fällt in den Mittelwerten sofort der Einfluß der Geschwindigkeit auf, und betrachtet man die Verhältnisse in den Einzelversuchen, so sieht man, daß diese sich untereinander in vorzüglicher Weise stützen, nur bei der zweiten Geschwindigkeitsstufe finden sich beträchtlichere Abweichungen zwischen den verschiedenen Werten und auch das Ergebnis des letzten Versuches aus der dritten Reihe fällt aus dem einheitlichen Gesamtbild heraus. Ermittelt man die Umsatzsteigerung von der ersten zur zweiten Stufe und vergleicht mit ihr jene, die beim Übergang von der zweiten zur dritten Stufe auftrat, so sieht man sofort, daß die Zunahme keine gleichmäßige gewesen sein kann. Der Unterschied in der Geschwindigkeit ist zwischen den Stufen nahezu gleich groß, im einen Falle handelt es sich um 40·56 *m*, im zweiten um 41·44 *m*, dagegen beträgt die Erhöhung des Verbrauches für die Einheit der Marscharbeit 0·099 Kalorien beim Übergang von der niederen auf die mittlere Geschwindigkeit und 0·419 Kalorien bei jenem zur höchsten Geschwindigkeit, also viermal so viel. Dieses Ergebnis beweist zur Genüge, daß es nicht zulässig ist, wenn man den Tatsachen keinen Zwang antun will, mit einem Mittelwert für die Umsatzsteigerung pro Meter Geschwindigkeitszunahme zu rechnen, weshalb

¹ Untersuchungen über den Gaswechsel und Energieumsatz des Radfahrers, Berlin, 1899, Hirschwald.

auch die allerdings unter entsprechendem Vorbehalt ausgeführte Umrechnung des Umsatzes, welche bei den älteren Horizontalmarschversuchen von mir¹ durchgeführt wurde, jetzt als sicher nicht berechtigt bezeichnet werden muß.

Nach den genannten Versuchen sind nur noch einschlägige Beobachtungen von Frentzel und Reach² erschienen, die sich mit der Frage beschäftigten. Sie wurden wiederholt als beweisend für den Einfluß der Geschwindigkeit auf den Umsatz zitiert, insbesondere in der Richtung, als sie dartun sollten, daß bei Abnahme der Marschgeschwindigkeit unter eine gewisse optimale Geschwindigkeit eine Zunahme des Verbrauches pro Meter und Kilogramm Horizontalbewegung eintreten soll. Doch auch hier handelt es sich wieder um den Vergleich von Mittelwerten eines ziemlich heterogenen Zahlenmaterials, das dann wenn man dieses nach den Marschgeschwindigkeiten ordnet, viel eher für eine Unabhängigkeit des Umsatzes innerhalb weiter Grenzen als für das Gegenteil spricht. Zu diesem Ergebnis gelangt man aber auch, wenn man unmittelbar aufeinander folgende Versuche miteinander vergleicht.

Zum Beispiel Frentzel:

	Geschwindigkeit Meter pro Minute	Kubikzentimeter O ₂ pro Meter und Kilogramm
25. Oktober 1897 . . .	83·3	0·096
	61·9	0·104

es findet sich also eine Abnahme um 8% bei einer Geschwindigkeitszunahme, die bei Leo Zuntz unzweifelhaft auch zu einer Steigung des Umsatzes um nicht viel weniger Prozente geführt hätte. Zur Stütze dieses Urteils über die unzulängliche Beweiskraft der Mittelwerte seien die einzelnen Zahlen auszugsweise zusammengestellt. Noch vielmehr als ein Überblick über diese lehrt aber der Versuch, die Ergebnisse graphisch in einem rechtwinkligen Koordinatensystem anzuordnen, daß eine Gesetzmäßigkeit aus den Werten nicht abzuleiten ist.

Frentzel		Reach	
Geschwindigkeit Meter pro Minute	Umsatz Kalorien pro Meter und Kilogramm	Geschwindigkeit Meter pro Minute	Umsatz Kalorien pro Meter und Kilogramm
31·4	0·511	31·6	0·567
36·0	0·561	33·9	0·676
36·4	0·620	35·6	0·524
39·9	0·549	37·2	0·464
Mittel . .	35·9	Mittel . .	34·6
	0·560		0·558
57·8	0·442	60·3	0·582
61·2	0·529	63·2	0·528
61·9	0·498	65·4	0·507
68·6	0·511	66·9	0·596
68·7	0·514	Mittel . .	63·9
70·1	0·487		0·553
80·1	0·626		
83·3	0·458		
Mittel . .	69·1		
	0·508		

¹ Beiträge zur Physiologie des Menschen im Hochgebirge. Pflüger's Arch., Bd. 113, p. 245.

² Pflüger's Arch., Bd. 83, p. 477.

Wie man sieht, wird der Mittelwert der Versuche bei geringerer Geschwindigkeit bei Frentzel und Reach durch je einen ganz aus der Reihe fallenden Versuch in die Höhe gepreßt. Eine Durchsicht der Zahlen besagt, daß das Auftreten einer solchen Größe zwischen niedrigeren Werten eben nur die Höhe der Ausschläge andeutet, die in den Versuchen überhaupt möglich waren, ohne daß dieses Verhalten in irgend einen Zusammenhang mit der Änderung der Geschwindigkeit zu bringen wäre. Die Versuchsergebnisse weichen eben auch bei anderen, ganz naheliegenden Geschwindigkeiten um ganz ähnliche Beträge voneinander ab, und ein zufällig nach oben oder nach unten extremer Wert vermag natürlich bei wenigen Beobachtungen das ganze im Mittelwert zum Ausdruck gebrachte Bild vollkommen zu entstellen.

Tabelle X.

Person M.		Person B.	
Geschwindigkeit pro Minute Meter	umgesetzt pro Meter und Kilogramm Kalorien	umgesetzt pro Meter und Kilogramm Kalorien	Geschwindigkeit pro Minute Meter
		0·906	122·2
		1·020	126·5
		0·924	129·1
		0·981	130·7
		0·984	132·8
		0·996	133·1
		0·991	134·3
		1·005	134·4
134·9	0·963	0·938	134·9
		0·952	134·9
		0·996	135·7
137·6	0·979		
138·9	0·982		
142·9	0·952		
142·9	1·018		
172·0	1·154		
182·6	1·184		

Sehr interessante Beobachtungen verdanken wir Caspari¹. Der genannte Autor untersuchte den Umsatz bei der Marscharbeit von Dauergängern, so daß wir einen Einblick in die Höhe der Verbrennungsvorgänge beim Gehen maximal trainierter Sportsleute gewinnen können. Die Versuche sind Tretbahnversuche und darum mit jenen, die auf freier Bahn ausgeführt sind, allerdings nicht vollkommen vergleichbar, da besonders bei großen Marschgeschwindigkeiten der Wegfall des Luftwiderstandes² und die geänderte Art des Ganges auf der Tretbahn kaum außer acht gelassen werden kann. Auch dadurch unterscheiden sich die Versuche Caspari's von den unseren, daß wir bei unseren Märschen mit Belastung gingen und an der Gasuhr ein recht beträchtliches Gewicht zu tragen hatten, während Caspari's Dauergänger unbelastet marschierten. Mit den von Leo Zuntz gewonnenen Werten sind sie jedoch vollständig vergleichbar.

¹ Physiologische Studien über den Vegetarismus. Pflüger's Arch., Bd. 109, p. 473.

² Der Luftwiderstand kommt hier insofern in Betracht, als beim schnellen Gehen mit der Gasuhr die Kautschukschürze, die die Versuchsperson vor Benützung mit der auslaufenden Säure schützt, hinderlich wird, da sie zwischen die Beine flattert und das Ausschreiten hemmt.

Die vorstehende Tabelle X enthält das von Caspari mitgeteilte Versuchsmaterial in seinen Ergebnissen. Da der Verfasser die Mittelwerte der Beobachtungen gebildet hat und diese zur weiteren Diskussion ausschließlich heranzog, erscheint es zulässig, die Einzelwerte trotz verschiedener Grundbedingungen, die in beiden Versuchen bestanden, nach den Marschgeschwindigkeiten zu ordnen. Zur besseren Übersicht wurden die Werte für den Umsatz bei den beiden Versuchspersonen in der zweiten und dritten Spalte der Tabelle unmittelbar nebeneinander gesetzt, weshalb die erste und letzte Kolonne das Wachsen der Geschwindigkeit anzeigt. (Tab. X.)

Wenn man die zusammengestellten Resultate übersieht, so ergibt sich vorerst, daß der Verbrauch bei M. und B. gegenüber dem oben angeführten Wert für die Wegkonstante (0·55) ganz ausgesprochen gesteigert ist, daß also ein unzweifelhafter Zuwachs des Umsatzes unter dem Einfluß erhöhter Geschwindigkeit stattgefunden hat. Der Verbrauch bei B. ist aber beim Wachsen des Marschtempo von 122·2 auf 135·7 *m* ein recht wenig gleichmäßiger, so daß sich innerhalb dieser Grenze ein gesetzmäßiger Einfluß des Geschwindigkeitszuwachses nicht erkennen läßt. Man findet, daß die Zahlen ungefähr gleichmäßig um einen Mittelwert von 0·97 Kalorien schwankten, so daß es scheint, als wäre der Verbrauch bei B. für dieselbe Geschwindigkeit höher als für M. Hierfür spricht auch der Umstand, daß M. bei noch schnellerem Gehen ebenfalls Werte für den Umsatz aufweist, die kleiner sind als jene, die bei der von B. erreichten größten Geschwindigkeit beobachtet wurden, obwohl diese wesentlich tiefer liegt. Ich möchte daher hierdurch die von Caspari abgeleitete Gesetzmäßigkeit nicht als erwiesen erachten, daß maximal trainierte Menschen die gleiche Arbeit, auf welche sie trainiert sind, mit demselben Verbrauch für die Einheit des Effektes leisten. Zum mindesten liefern die ganz wenigen, in bezug auf die Marschgeschwindigkeit annähernd zusammenfallenden Versuche, die in den Ergebnissen nicht vollkommen übereinstimmen, hierfür keinen zwingenden Beweis und auch die unten angeführten Kurven, in denen versucht wurde, graphisch den Einfluß des Geschwindigkeitszuwachses darzustellen, ergeben keinen besseren Anhaltspunkt für eine Gesetzmäßigkeit.

Es mögen nun unsere eigenen Versuche folgen, die sich auf Geschwindigkeiten beziehen, welche von 47 bis 152 *m* pro Minute wechselten. Ein noch langsames Marschtempo als jenes von 47 *m* konnten wir beim Marschieren auf freier Bahn nicht erzielen, da wir immer wieder in einen schnelleren Schritt verfielen, als beabsichtigt war. Es dürfte übrigens eine Geschwindigkeit, bei der man für die Zurücklegung eines Kilometers 21 Minuten benötigt, wohl an jene untere Grenze heranreichen, die im allgemeinen für das Gehen noch in Betracht kommt, während ein Tempo, in dem der Kilometer in $6\frac{1}{2}$ Minuten zurückgelegt wird, der größten Schnelligkeit entsprechen dürfte, die man durch längere Zeit im Marsch noch einzuhalten vermag. Die Versuche sollen ebenfalls ganz analog wie die bisher erwähnten, nach den Marschgeschwindigkeiten geordnet, angeführt werden.

Wegen der Eigenart im Gang des einzelnen und des Bestrebens, den gewöhnlichen Wanderschritt einzuhalten, gelang es nicht bei uns allen, Geschwindigkeitsvariationen über das ganze Ausmaß von 47 bis 152 *m* zu erzielen, denn es zeigte sich bei der Berechnung der Resultate, daß die Werte der Ganggeschwindigkeit bei jeder Versuchsperson immer das Bestreben hatten, sich einer mittleren Größe zu nähern, und es scheint mir, daß gerade diese Tatsache auf den wesentlichen Unterschied zwischen dem erzwungenen Gehen auf der Tretbahn und jenem auf freier Strecke hinweist. Sehr ausgesprochen waren die Unterschiede in unseren Marschgeschwindigkeiten nur dann, wenn wir beabsichtigten, ganz besonders langsam oder ganz besonders rasch zu gehen. (Tab. XI.)

Der gewöhnliche Wanderschritt stellte sich bei Durig auf rund 100 *m* pro Minute ein (siehe besonders die älteren Versuche)¹, bei Rainer schwankte er zwischen 80 und 90 *m* pro Minute, bei Reichel zwischen 95 und 100 *m* und bei Kolmer fanden wir hierfür 60 bis 70 *m*².

¹ Arch. f. Anatomie u. Physiologie, Suppl., 1904, p. 445.

² Siehe auch oben, p. 23 [263].

Tabelle XI.

Übersicht über den Energieverbrauch bei verschiedener Marschgeschwindigkeit.

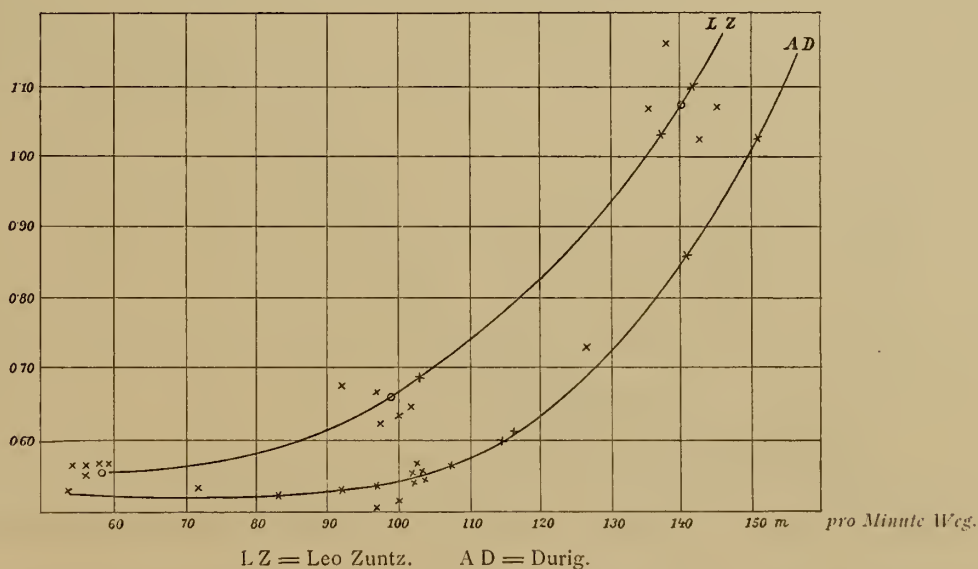
Geschwindigkeit		Kalorien pro Kilometer Weg und Kilogramm Gewicht			
Marschzeit pro Kilometer	pro Minute Meter	Rainer	Reichel	Kolmer	Durig
21' 17"	47·2	0·538	—	—	—
16 51	59·3	—	0·514	—	—
16 02	62·4	—	—	0·561	—
15 03	66·4	—	—	0·591	—
14 55	67·0	—	—	0·560	—
14 27	69·2	—	—	0·535	—
13 50	72·3	—	—	—	0·534
13 10	75·9	—	0·510	—	—
12 50	76·9	0·533	—	—	—
11 56	83·8	—	—	—	0·517
11 16	88·8	0·571	—	—	—
11 16	88·8	0·567	—	—	—
11 06	90·4	0·584	—	—	—
10 46	91·3	0·578	—	—	—
10 44	93·6	—	0·566	—	—
10 33	94·8	—	0·554	—	—
10 31	95·2	—	0·556	—	—
10 31	95·2	—	0·570	—	—
10 19	96·4	—	0·583	—	—
10 06	99·0	—	0·591	—	—
10 04	99·2	—	0·572	—	—
10 00	100·0	—	—	0·659	—
9 55	100·8	—	0·550	—	—
9 55	100·9	—	—	0·635	—
9 47	102·1	—	—	—	—
9 46	102·3	—	—	—	0·543
9 40	103·5	—	0·659	—	0·559
9 36	103·9	—	0·641	—	—
9 30	104·0	—	—	0·654	—
9 29	105·2	—	—	0·642	—
8 38	115·8	0·772	—	—	0·613
8 34	116·6	—	—	—	0·628
7 56	126·0	—	—	—	0·735
7 43	129·5	0·954	—	—	—
6 58	141·8	—	—	—	0·854
6 32	152·5	—	—	—	1·023

Da das Gefühl der Anstrengung mit dem schnelleren Gehen ganz unverhältnismäßig rasch anwächst, ist es viel leichter, bei sehr raschem Gehen verschiedene Abstufungen in der Marschgeschwindigkeit zu erzielen als bei langsamerem oder behaglicherem Schritt, denn es handelt sich hierbei auch gewiß nicht mehr um ein rein automatisches Ausschreiten wie unter gewöhnlichen Verhältnissen.

Die Grenze, bis zu der die Marschgeschwindigkeit gesteigert werden kann, ist natürlich eine individuell verschiedene. So erreichte Kolmer seine größte Schnelligkeit bei 105 *m* Weg pro Minute, bei Rainer stieg sie auf 129·5 *m* an und Durig erreichte 152·5 *m*, wobei natürlich zu bedenken ist, daß alle unsere Märsche bei wesentlicher Belastung und bei Atmen durch die Gasuhr ausgeführt wurden. Ich möchte auch nicht unerwähnt lassen, daß das Studium der Frage über den Einfluß der Geschwindigkeit auf den Umsatz bei unseren Versuchen nur ganz nebensächlich einherging, ohne daß wir die Absicht hatten, entscheidende Beobachtungen darüber auszuführen. Es wurde daher auch bei Reichel, mangels an Zeit, auf die Ausführung von sehr raschen Märschen verzichtet. Durig hätte in unbelastetem Zustand sehr wohl noch ein wesentlich rascheres Marschtempo erreichen können, da beim schnellen Gehen die rückwärts aufgebundene Kautschukschürze, das Herumpendeln der zum Heber und zur Füllkugel führenden Schläuche wie auch die ganze Anbringung der Last hinderlich waren. Zum Vergleiche sei angeführt, daß Leo Zuntz unbelastet bei der größten für ihn erreichbaren Schnelligkeit 145·5 *m* pro Minute zurücklegte und die beiden Dauergänger ebenfalls in unbelastetem Zustande 135·7, beziehungsweise 182·6 *m* Geschwindigkeit pro Minute erzielten, wobei die letztgenannten Versuche die Versuchsperson ersichtlich anstregten und »wohl eine schnell eintretende Ermüdung«¹ herbeiführten.

Abb. A.

Umsatz pro Meter und Kilogramm in kleinen Kalorien.



Aus unseren vorstehend tabellarisch zusammengefaßten Versuchen geht unzweifelhaft bereits bei oberflächlichem Überblick hervor, daß der Zuwachs, den der Umsatz erfährt, mit Zunahme der Marschgeschwindigkeit kein gleichmäßiger ist, wie wir dies auch schon oben aus den Beobachtungen von Leo Zuntz abgeleitet hatten. Einen viel klareren Einblick in die Verhältnisse gewinnt man aber, wenn man den Zusammenhang zwischen Verbrauch und Geschwindigkeit graphisch darstellt. Unsere Versuche, wie jene von Leo Zuntz sind für eine solche Wiedergabe vollkommen geeignet, während die Werte der anderen Autoren, die im Voranstehenden besprochen wurden, eine solche Wiedergabe mangels ausgesprochener Gesetzmäßigkeit nicht wohl ermöglichen. In der vorstehenden Abb. A sind die an Leo

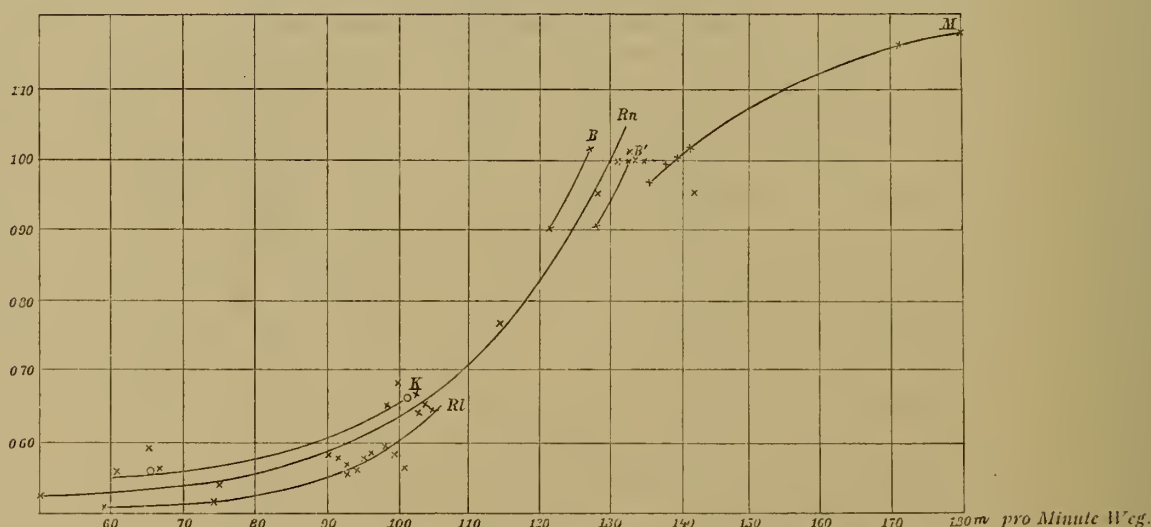
¹ l. c., p. 297.

Zuntz und an Durig ausgeführten Versuche eingetragen; die bogenförmige Verbindung der auseinanderliegenden Punkte an Stelle einer geradlinigen ist natürlich willkürlich gewählt, sie soll dem Zwecke dienen, den wahrscheinlichen Verlauf der Kurve zum Ausdruck zu bringen. Bei L. Zuntz wurden die Mittelwerte als Durchgangspunkte gewählt.

Beide Kurven zeigen einen ganz auffallend gleichartigen Verlauf, nur liegen die zugehörigen Ordinaten bei gleicher Abszissenlänge bei Durig stets etwas niedriger als bei L. Zuntz. Vielleicht ist dies ein Ausdruck dafür, daß der Belastete, Durig, wegen des Gewichtes, das er zu tragen hatte, ökonomischer ging als der Unbelastete, was dem von N. Zuntz bei seinen Versuchen an P. und B. gefundenen Ergebnis entsprechen würde.¹ Es muß auch nochmals darauf hingewiesen werden, daß der Treibbahnversuch und jener auf freier Bahn nicht als unbedingt vergleichbar bezeichnet werden dürfen. L. Zuntz wie Durig zeigen demnach bei geringen Geschwindigkeiten noch keine sehr bedeutende Zunahme des Umsatzes, dieser steigt jedoch bei beiden rasch an, wenn mehr als 100 *m* pro Minute zurückgelegt werden soll und aus dem Verlauf der Kurven kann man wohl als wahrseinhlich annehmen, daß es ein Forcieren der Marschleistung geben dürfte, bei dem wohl der Umsatz erhöht, aber kaum mehr eine wesentliche Zunahme der Geschwindigkeit erzielt wird. Im Falle des Horizontalmarsches ergibt sich also, daß das Gefühl der Anstrengung in der Tat in einem gewissen kausalen Zusammenhang mit der Steigerung der Verbrennungsvorgänge steht, was zum Beispiel bei der Leistung statischer Arbeit keineswegs zutrifft

Abb. B.

Umsatz pro Meter und Kilogramm in kleinen Kalorien.



B' entspricht 6 Werten. Rn = Rainer. Rl = Reichel. K = Kolmer. M und B Versuchspersonen Caspari's.

Das Verhalten von Kolmer, Reichel und Rainer stimmt gut mit dem von Durig und Leo Zuntz überein. Bei allen drei Genannten zeigt es sich ebenfalls, daß der Unterschied im Umsatz, der durch Geschwindigkeitszuwachs bei langsamem oder mäßig raschem Marschtempo herbeigeführt wird, ein geringer ist. Kolmer war nicht imstande, rascher zu gehen; bei Reichel wurden Versuche mit schnellerem Marschtempo nicht ausgeführt, dagegen findet sich auch bei Rainer der steile Anstieg bei großer Marschgeschwindigkeit ganz deutlich ausgeprägt. Auch bei ihm ist also dasselbe Verhalten ausgesprochen,

¹ Es ist möglich, daß sich die größere Ökonomie dabei nur aus der Art der Berechnung erklärt. Wenn die Minutenleistung in Kilogramm mal Meter wächst und wenn der Wert für den Arbeitsumsatz infolge Abzuges des Erhaltungsumsatzwertes eigentlich zu groß gewählt ist (der Erhaltungsumsatz entspricht ja nicht der adäquaten »Leerlaufarbeit« beim Marsch), so muß der Quotient aus Arbeitsumsatz und Leistung natürlich um so kleiner ausfallen, je größer die Arbeit war.

daß mit steigender Zunahme der Geschwindigkeit jeder weitere Zuwachs stets einen höheren Anstieg des Verbrauches herbeiführt.

In Abb. B sind auch die von Caspari an den Dauergängern gefundenen Werte eingetragen. Von diesen fehlen leider alle Versuche, die bei geringeren als den maximalsten Geschwindigkeiten ausgeführt sind. Die bei B. gewonnenen Werte weichen so sehr voneinander ab, liegen aber andererseits bei so ähnlichen Geschwindigkeiten¹, daß sie nicht zu einer Kurve vereinigt werden können. Bringt man die zwei zusammengehörigen Versuche bei 122 und 126 *m* Geschwindigkeit und jene sechs Werte, die untereinander sehr ähnlich sind und um die Geschwindigkeit von 133 *m* liegen, mit dem Versuche, der bei 129 *m* pro Minute ausgeführt wurde, in Verbindung, so erhält man zwei Kurvenstücke, die sich sehr gut jenem von Rainer anschließen und auf einen etwas höheren Verbrauch hindeuten, als ihn L. Zuntz bei derselben Marschgeschwindigkeit gehabt hätte. In ihrem mittleren Verlauf würden die Kurvenstücke sich sogar fast ganz mit Rainer's Werten decken. Diesem Verhalten nach würde B. etwas unökonomischer gegangen sein als L. Z., wesentlich unökonomischer aber als D., was, wie erwähnt, wohl auf den Umstand zurückgeführt werden kann, daß die Grundbedingungen (Belastung, Tretbahn) nicht dieselben waren.

Ganz aus dem Rahmen des Verhaltens aller bisher besprochenen Versuchspersonen fällt jenes von M., für den ebenfalls eine Kurve nur sehr willkürlich entworfen werden kann. Verbindet man die ungefähr in aufsteigender Reihe sich folgenden Punkte miteinander, so gewinnt man eine viel flacher verlaufende Kurve, als man auf Grund jener von L. Z. und Durig vermuten möchte, ja sie wird fast als nach unten konkav zu deuten sein. Auch ist dann der fehlende Anfangsteil der Kurve kaum annähernd ähnlich jenem in unseren Versuchen zu denken. Es ist nun nicht gut anzunehmen, daß M. sich trotz seines hohen Trainings ganz anders verhalten habe als so geübte Gänger wie L. Zuntz, Rainer und Durig, auch ist es auffallend, daß M. bei einer Geschwindigkeit, die seine Leistungsfähigkeit auf das höchste beanspruchte, so wenig mehr umgesetzt hat als bei einem Marschtempo von 130 bis 140 *m* pro Minute, das für ihn als Dauergänger gar kein so absonderliches gewesen sein kann. Vergleicht man übrigens seinen Umsatz bei dieser letztgenannten Geschwindigkeit mit jenem von L. Z. und D. bei gleichem Tempo, so sieht man, daß er hierbei zwar etwas ökonomischer als L. Z., aber weniger ökonomisch als A. D. gegangen wäre. Auch hier haben wir es mit viel zu wenigen Zahlen zu tun, als daß wir einen gesicherten Einblick in die wirklich gegebenen Verhältnisse gewinnen können, und wenn auch die Werte für den Umsatz bei 130 bis 140 *m* Geschwindigkeit in eine recht befriedigende Übereinstimmung mit den wenigen Versuchen gebracht werden können, die bei gleichartiger Geschwindigkeit an anderen ausgeführt wurden, so werden die zwei bisher einzeln dastehenden Beobachtungen bei den größten bisher erreichten Marschgeschwindigkeiten erst einer weiteren Stütze bedürfen. Von großem Werte wäre es jedenfalls, wenn bei so vorzüglich geübten Gängern, wie es M. und B. waren, die ganze Kurve des Umsatzzuwachses entworfen und mit jener von gewöhnlichen Menschen, die nicht berufsmäßig Sportsleute sind, verglichen werden könnte.

Die Ähnlichkeit im Verlaufe der beiden, das Verhalten von Durig und L. Zuntz kennzeichnenden Kurven, sowie die Tatsache, daß sich diesen auch die Kurven von Rainer, Kolmer und Reichel sehr gut anfügen, legte die Möglichkeit nahe, daß sich vielleicht eine einfache, mathematische Beziehung zwischen den Werten ableiten lasse. Es passen aber die Werte der beiden Kurven weder in die Gleichung eines einzigen Kurventypus, noch ist die Formel eine solche, daß man etwa an einfache Beziehungen wie den Teil einer Parabel² oder Hyperbel denken könnte, was nachstehende Gleichung für die Durig'sche Kurve beweist:

$$100y = 60.00 + 0.0356x - 0.005037x^2 + 0.00004379x^3,$$

die diese als Potenzkurve charakterisiert. Ganz unzweifelhaft ist die Zahl der Versuche für die genauere Feststellung einer derartigen Darstellung derzeit noch viel zu gering und es wird weiterer Unter-

¹ Siehe p. 33 [273].

² Etwa von der Form $100(y - 0.525) = 0.0009(x - 73.00)^{3/2}$.

suchungen bedürfen, um die Formel der Kurven mit einer gewissen Sicherheit zu ermitteln. Als sicher festgestellt muß jedoch gelten, daß für gleichen Geschwindigkeitszuwachs bei verschiedener Grundgeschwindigkeit ganz verschiedene Werte für die Umsatzsteigerung einzusetzen sind.

Immerhin ist es aber möglich, in Analogie mit anderen physiologischen Vorgängen an eine bestimmte Form von Gesetzmäßigkeit zu denken, deren Gültigkeit für den Umsatz bei wachsender Gehgeschwindigkeit um so mehr an Wahrscheinlichkeit gewinnt, als sich aus ihr auch die individuellen Unterschiede zwischen den bisher untersuchten Personen in recht plausibler Weise erklären lassen. Ich verdanke den Hinweis hierauf meinem Mitarbeiter bei der Expedition, Dr. Reichel, und möchte daher die Darlegung in seinen eigenen Worten folgen lassen:

»Die bisher über die Abhängigkeit der Höhe des Umsatzes von der Marschgeschwindigkeit vorliegenden Versuchsergebnisse scheinen sich in leidlicher Annäherung der Gesetzmäßigkeit zu fügen, daß sich der Umsatz von einem bestimmten, individuell verschiedenen Werte der Marschgeschwindigkeit an für gleiche Steigerungen derselben in verhältnismäßig gleichem Maße erhöht; mit anderen Worten, daß einer Steigerung der Geschwindigkeit in arithmetischer Reihe eine solche des Umsatzes in geometrischer Reihe entspricht.

Es würde damit auch hier das einfache Exponentialgesetz Anwendung finden, welches in so vielen, physikalischen und physiologischen Verhältnissen eine genaue oder annähernde Beschreibung der Tatsachen gestattet. Es sei diesbezüglich nur an den Einfluß der Temperatur auf chemische Reaktionsgeschwindigkeiten, an den Zusammenhang von Intervallempfindung und dem Verhältnis der Schwingungszahlen und an das Weber-Fechner'sche Gesetz erinnert.

Jener Geschwindigkeitswert nun, der den Ausgangspunkt der Kurve bildet, ist der höchste, bei dem die Arbeit noch ohne Mehrverbrauch (für die Einheit des Effektes) über den Umsatz bei geringerer Marschgeschwindigkeit geleistet wird. Er wäre also etwa als »ökonomische Maximalgeschwindigkeit« (*Omg*) zu bezeichnen. Der Wert des minimalen — also ökonomischen — Umsatzes (ausgedrückt in Kalorien für die Leistung pro 1 *m* und 1 *kg* Horizontalbewegung¹ darf nach dem Voranstehenden mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit als konstant für alle normalen Menschen angesetzt werden. Sicher berechtigt ist man zu dieser Annahme bei den hier in Vergleich zu stellenden Personen. Für diese gilt unzweifelhaft der Wert von 0.55 Kalorien als Umsatz pro Meter und Kilogramm Horizontalbewegung, so lange die Marschgeschwindigkeit nicht allzusehr angestiegen ist.

Die Gleichung einer auf dieser Voraussetzung begründeten Exponentialkurve müßte also lauten:

$$\frac{\text{Umsatz}}{0.55} = e^{k(\text{Geschwindigkeit} - Omg)}$$

Durch Einsetzen zweier Wertpaare für Geschwindigkeit und Umsatz aus den Versuchsreihen einer Person ist es dann ohne weiteres möglich, die individuelle, ökonomische Maximalgeschwindigkeit zu berechnen. Liegen mehrere brauchbare Wertpaare vor, so muß die Berechnung natürlich mit jedem derselben durchgeführt werden, um den Wert *Omg* durch Mittelung der Resultate zu gewinnen.

Das vorliegende Zahlenmaterial ist für eine solche, kompliziertere Berechnung zu beschränkt, doch lassen sich in den ausgedehnten Kurven, die für drei Versuchspersonen festgelegt erscheinen, leicht je zwei Wertpaare finden, die den Ausgangspunkt *Omg* zu berechnen gestatten. So ergeben für die Versuchsperson L. Zuntz die Mittelwerte der zwei Versuchsgruppen mit erhöhtem Umsatz: 0.66 und 1.07 Kal. bei 98 und 140 *m*/Min. eine ökonomische Maximalgeschwindigkeit von 82 *m*/Min.; für Durig ergeben die Werte 0.60 und 1.03 Kal. bei 115 und 151 *m*/Min. einen *Omg*-Wert von 109 *m*/Min. und bei Rainer ergibt sich aus 0.77 und 0.95 Kal. für 114 und 128 *m*/Min. ein Wert von 92 *m*/Min.

¹ Bezüglich der anzunehmenden entsprechenden Größe des Effektes = 0.07 bis 0.08 *mkgr* siehe p. 22.

Die Tatsache, daß diese Zahlen als Anfangswerte bei einem Minimalumsatz von 0·55 Kal. in den Zug der Kurven leidlich hineinpassen, bildet eben für dieses Material die Bestätigung ausreichenden Zutreffens der geschilderten Gesetzmäßigkeit. Eine gewisse Gewähr dafür, daß diese Form der Beschreibung der Tatsachen auch als eine zweckmäßige betrachtet werden darf, liegt darin, daß die so berechneten ökonomischen Maximalgeschwindigkeiten recht nahe mit jenen Werten zusammenfallen, die sich auf ganz anderem Wege, nämlich direkt aus den Versuchen, als individueller Wanderschritt für dieselbe Person ergeben haben¹.

Die Kenntnis des *Omg*-Wertes gestattet dann natürlich, aus jedem Einzelpunkte auf die Konstante *k*, den »Geschwindigkeitskoeffizienten« des Umsatzes, zu schließen. In den drei zur obigen Berechnung herangezogenen Kurven ergeben sich diese als:

$$k = \frac{2 \cdot 303 (\log \text{Umsatz} - \log 0 \cdot 55)}{\text{Geschwindigkeit} - \text{Omg}}$$

der Reihenfolge nach mit 0·0115, 0·0147 und 0·0152. Die Faktoren jener geometrischen Reihen, in denen der Umsatz fortschreitet ($= e^k$), sind dann 1·0116, 1·0148 und 1·0153. Das oben ausgesprochene Gesetz läßt sich also ziffernmäßig dahin präzisieren, daß oberhalb der ökonomischen Maximalgeschwindigkeit einem Meter Geschwindigkeitszuwachs eine Umsatzsteigerung von rund 1·2—1·5 Prozent des Wertes entspricht.

Völlig analoge Überlegungen können ferner über die Abhängigkeit des Umsatzes von dem Arbeitseffekt beim Horizontalmarsch angestellt werden und müssen, da der Effekt bei jeder einzelnen Versuchsperson der Geschwindigkeit proportional bleibt, zu prinzipiell mit dem Voranstehenden übereinstimmenden Ergebnissen führen. Ein Vorteil dieser Betrachtungsweise ist der, daß damit ein akzidentelles, aber für den Wert der Konstanten sicher stark ins Gewicht fallendes Moment, das bewegte Gewicht berücksichtigt wird. Ein Nachteil liegt allerdings darin, daß die Beziehung dann nicht allein die unmittelbar gemessenen Größen: Geschwindigkeit und Umsatz, sondern auch einen aus ganz anderen Versuchen ermittelten Wert, den normalen Wirkungsgrad der Steigversuche (31 Prozent), mitumfaßt. Die Übertragung dieses Wirkungsgrades auf die Verhältnisse beim Horizontalmarsch bleibt natürlich eine rein hypothetische. Immerhin erscheint nach dem Vorangehenden die Annahme, daß die Steigarbeit und die Arbeit des Gehens auf horizontaler Bahn mit gleichem Wirkungsgrad geleistet werde, gerechtfertigt² und die Berechnung der Funktion: Effekt—Umsatz zulässig. Sie ergibt für die Versuchspersonen L. Zuntz, Durig und Rainer bei den Marschgewichten von 73, 76 und 75 kg und bei einem Arbeitsäquivalent des Horizontalmarsches von 0·07 mkg pro Meter und Kilogramm als ökonomische Maximalleistung der Reihenfolge nach 418, 581 und 481 mkg-Min. und als »Leistungsfähigkeitskoeffizienten« des Umsatzes 0·00221, 0·00285 und 0·00281.

Die Gesetzmäßigkeit würde demnach in dieser Form lauten: Oberhalb der individuellen ökonomischen Maximalleistung entspricht einem Meterkilogramm Leistungszuwachs pro Minute eine Steigerung des Umsatzes pro Meter und Kilogramm um 2·2 bis 2·9 Promille seines Wertes.

Die ökonomischen Maximalleistungen dürften, wie gesagt, schon eher als die betreffenden Geschwindigkeiten als ein numerisches Maß der individuellen Leistungsfähigkeit zu betrachten sein. Sie erscheinen hier für die wenigen in Betracht kommenden Versuchspersonen auffällig stark verschieden, doch entspricht wenigstens die Richtung der Abweichung dem Ergebnisse einer Schätzung nach allgemeinen Gesichtspunkten. Wenn dabei zwei nach Körpergröße, Gewicht, Muskelkraft und Fettpolster so ähnlichen Personen wie Durig und Rainer so weit auseinander liegende Zahlen für die ökonomische Maximalleistung zukommen, so ist zu bedenken, daß sich in der so definierten Marschleistungsfähigkeit

¹ Siehe oben p. 23 u. 24 [263 u. 264].

² Hierbei ist von den Bedenken gegenüber der Frage, inwieweit die Werte für den Umsatz beim Gehen unter Berücksichtigung der adäquaten »Leerlaufarbeit« absolute sind (siehe p. 25 [265] und Kapitel XI, p. 13 [295]) abgesehen.

gewiß neben Momenten der Körperkraft auch solche der Körperproportionen (zum Beispiel der Beinlänge) geltend machen. Auch wäre vielleicht daran zu denken, daß bei der 23jährigen Versuchsperson Rainer die Leistungsfähigkeit der Muskeln, besonders des Herzens, noch nicht ihr volles Maß erreicht hatte. Selbstredend ist aber auch den Grenzen der Methodik und den Versuchsfehlern ein beträchtliches Maß einzuräumen, das bei der geringen Zahl der Beobachtungen nicht unterschätzt werden darf.

Die gegenseitige Annäherung, welche die Koeffizienten der drei Versuchspersonen bei dieser Berechnungsweise erfahren, legt den Gedanken nahe, daß die Unterschiede, die diese bei den drei Versuchspersonen zeigen, überhaupt nur Versuchsfehlern zuzuschreiben sein könnten, um so mehr, als die beiden, unter identischen Versuchsbedingungen gewonnenen Beobachtungsreihen, bei Durig und Rainer einen fast identischen Koeffizienten liefern, obwohl die Anfangswerte der Kurve so stark von einander abweichend sind. Bezüglich Leo Zuntz's ist noch zu erwähnen, daß dieser in seinen Versuchen unbelastet ging, daß er also nur »lebendes Gewicht« zu befördern hatte, während sich bei Durig und Rainer nicht nur die »tote Last«, sondern auch der Einfluß der Anbringung der Versuchsanordnung bemerkbar machte, so daß es nicht befremden kann, wenn wir in seinem Versuche einen von den genannten beiden Personen etwas abweichenden Koeffizienten finden.«

Man ist derzeit wegen der geringen Zahl der Werte keinesfalls schon berechtigt, die im voranstehenden abgeleiteten Beziehungen bereits als erwiesene »Gesetzmäßigkeit« zu bezeichnen, es mögen diese Beziehungen daher vielmehr als Vermutungen ausgesprochen sein, die einen Hinweis darauf liefern sollen, in welchen Bahnen sich das experimentelle Studium nach der Frage über den Einfluß der Geschwindigkeit auf den Umsatz wird weiterhin bewegen müssen; sicherlich ist aber die Tatsache, daß sich hinsichtlich des Umsatzes beim Marsch ein ganz analoges Verhalten ableiten läßt, wie es bei einer Reihe sinnesphysiologischer Vorgänge unzweifelhaft erwiesen ist, von ziemlicher Bedeutung.

Als vollkommen gesichertes Ergebnis der vorstehenden Versuche wird man daher nur feststellen können, daß fünf Versuchspersonen, die als Gänger recht verschieden einzuschätzen sein dürften, die ganz verschiedenes Körpergewicht und ungleiche Beinlänge besitzen, von denen eine sogar ziemlich auffallende Eigenheiten im Gang aufweist, sich doch im Wesen ganz gleichartig verhielten. Bei allen änderte sich der Umsatz beim Marschieren mit mäßiger Marschgeschwindigkeit wenig, dieser stieg jedoch bei allen um so mehr an, je mehr die Geschwindigkeit gesteigert wurde. Es kann demnach bereits jetzt mit voller Sicherheit erwartet werden, daß der Umsatz ganz allgemein mit der Geschwindigkeit nicht linear, sondern in Form einer ansteigenden Kurve wächst.

Bezüglich der mutmaßlichen Gesetzmäßigkeit sei auf das Voranstehende verwiesen. Eine wesentliche Verschiedenheit im Verhalten der fünf Versuchspersonen betrifft nur den Wert, bei dem für den Einzelnen die ökonomische Maximalgeschwindigkeit und die ökonomische Maximalleistung gelegen ist. Auch die maximalen Marschgeschwindigkeiten, die von den einzelnen Personen erreicht wurden, sind verschiedene, teils weil die Beobachteten nicht rascher zu gehen vermochten, teils, weil die Grenze, bis zu der sie ihre Marschgeschwindigkeit hätten steigern können, nicht ermittelt wurde. Es dürften sich also normale Menschen bei Steigerung der Gehgeschwindigkeit ziemlich gleichartig verhalten und nur der Wert, von dem ab ihr Umsatz rasch anzusteigen beginnt, ein individuell wechselnder sein.

Die Überlegenheit des Schnellgängers scheint in der Hauptsache jedoch nicht darin gesucht werden zu müssen, daß dessen Verbrauch bei derselben großen Geschwindigkeit für eine gleich große Leistung ganz ausgesprochen geringer ist, sondern darin, daß für ihn die Möglichkeit besteht, einen höheren Anteil der Umsatzkurve, entsprechend deren steil aufsteigendem Schenkel, zu erreichen, während der Bewegungsapparat, vielleicht auch Herz und Atemapparat, beim langsameren Gänger schon früher versagt, so daß dessen Umsatzkurve, ohne einen steil ansteigenden Abschnitt zu zeigen, abbricht.

Schon bei Besprechung der Resultate von Frentzel und Reach wurde hervorgehoben, daß ein Beweis für die Annahme, daß mit der Abnahme der Geschwindigkeit unter ein Optimum ein Zuwachs des Verbrauches für das Meter und Kilogramm Horizontalbewegung erfolgen soll, keineswegs erbracht ist.

Auch unsere Versuche über geringe Marschgeschwindigkeiten lassen eine Steigung des Umsatzes, die als Stütze der genannten Annahme gelten würde, nicht erkennen. Allerdings war es uns nicht möglich, unser Marschtempo auf ein so geringes Maß wie Frentzel und Reach zu erniedrigen, und wir strebten auch nicht darnach, dies in Reihen von Versuchen zu erreichen. Wir können daher auf Grund unserer Beobachtungen nur aussagen, daß eine Verringerung des Marschtempos auf ungefähr die Hälfte des »Wanderschrittes« zu Werten führte, die mit jenen, die bei behaglichem Gehen gewonnen wurden, ganz identisch sind (siehe Tab. XI, Rainer und Reichel). Man wird also, so lange nicht positive Beweise für eine Zunahme des Umsatzes bei langsamem Gang erbracht werden, daran festhalten können, daß eine umsatzsteigernde Wirkung bei starker Verlangsamung des Marschtempos nicht beobachtet wird.

Es muß noch begründet werden, warum bei den voranstehenden Ausführungen davon Abstand genommen wurde, den Umsatz beim Marsch auf die Körperoberfläche der Versuchsperson zu beziehen und weshalb sämtliche Werte in der Form des Verbrauches für das Kilogramm und Meter ausgedrückt sind. Schon Hösslin¹ hat darauf hingewiesen, daß der Verbrauch für die Horizontalbewegung bei Menschen und Tieren nicht dem Körpergewichte, sondern der dritten Wurzel aus dem Quadrate des Körpergewichtes proportional sei, und Zuntz² hat dieses Verhalten auf Grund von Versuchen an Hunden gleichfalls bestätigt; auch Slowtsoff³ hat später die Frage in Hunderversuchen neuerlich aufgenommen.

Es erschien mir derzeit nicht nötig, beim Menschen auf diese Beziehung zurückzukommen, da doch vorerst, bevor wir bei ihm diese Gesetzmäßigkeit verlässlich nachweisen können, die Höhe des Umsatzes für die Gehzeit genau fixiert sein muß⁴. Wir haben gesehen, daß die älteren Angaben über den Verbrauch bei der Marscharbeit noch sehr weit auseinander gelegen sind, viel weiter, als die Werte, die sich bei der Berechnung auf Gewicht oder Oberfläche ergeben, so lange es sich nicht um Extreme handelt, und mußten ferner einräumen, daß je nach der Eigenart der Versuchspersonen Schwankungen im Umsatz für das Gehen zu gewärtigen sein dürften; endlich konnten wir wenigstens bei einigen Versuchspersonen feststellen, daß die Geschwindigkeit, bei der diese den geringsten Verbrauch für die Einheit des Weges zeigen, eine recht verschiedene ist.

Bei einer solchen Zahl wechselnder Komponenten, zu denen noch der Faktor der Übung hinzutritt der dann, wenn es sich um das Gehen auf der Treibahn handelt, sicher als wesentlich mit in Betracht kommt, ist es wohl ganz ausreichend, wenn man die Werte mit Rücksicht auf das Körpergewicht zum Ausdrucke bringt; in unserem Versuche lag dafür um so mehr Berechtigung vor, als die Unterschiede zwischen den Versuchspersonen in bezug auf deren Körperbeschaffenheit und deren Gang in der dritten Wurzel aus dem Quadrat des Körpergewichtes keinesfalls zum Ausdruck gekommen wären; man denke an den eigenartigen Gang Kolmer's und dessen geringe Beinlänge und an das niedere Körpergewicht Durig's bei einer großen Körper- und Beinlänge⁵; hierbei ist ja nicht zu übersehen, daß auch unsere Methodik der Berechnung der Körperoberfläche nur eine näherungsweise sein kann, die nicht auf alle Fälle paßt. Da das Gewicht der Versuchspersonen sich während der Märsche nur ganz unwesentlich änderte und wir immer nur die Werte von einer Versuchsperson direkt miteinander verglichen, so ist es ganz gleichgültig, ob wir bei dieser den Umsatz stets auf das Quadratmeter oder auf die Körperoberfläche bezogen haben. Wenn wir aber auch so weit sein werden, daß ein reichliches Zahlenmaterial die Größe der Wegkonstante bei verschiedenen Menschen ganz sicher festgestellt hat, so wird erst die Frage zu beantworten sein, welche Marschgeschwindigkeit wir beim Einzelnen in Vergleich zu stellen haben. Nicht

¹ Über die Ursache der scheinbaren Abhängigkeit des Umsatzes von der Größe der Körperoberfläche. Arch. f. (Anat. und) Physiologie, 1888, p. 340.

² Pflüger's Arch., 68, p. 208.

³ Pflüger's Arch., 95, p. 158.

⁴ Das Körpergewicht des Menschen schwankt ja auch in relativ engen Grenzen, während es zum Beispiel bei Hunden um das Zehnfache differieren kann.

⁵ Siehe auch Zuntz, Arch. f. (Anatomie und) Physiologie, 1903, p. 380.

Denkschr. d. mathem.-naturw. Kl. Bd. LXXXVI.

jeder Mensch ist ein Schnellgänger und es ist wohl als sicher anzunehmen, daß ein solcher bei einer Geschwindigkeit, die bei einem anderen schon eine erhebliche Umsatzsteigerung auslöst, noch mit einem Minimum an Verbrauch geht. Dürfen wir nun jenen Wert, der beim Schnellgeher für eine Marschgeschwindigkeit von 100 *m* pro Minute noch gültig ist, mit dem vergleichen, den wir bei einem anderen Menschen finden, der bei einer Marschgeschwindigkeit von mehr als 60 *m* pro Minute bereits mit einer Umsatzsteigerung reagiert? Es scheint mir demnach, daß wir praktisch genommen ein richtiges Bild über den Aufwand einer Person beim Gehen doch nur dann erhalten können, wenn wir alle etwa in Betracht kommenden Faktoren gegeneinander abwägen, wobei es dann ziemlich gleichgültig ist, ob wir den Wert für den Umsatz bezogen auf das Kilogramm oder die Oberfläche ausdrücken.

Gewiß ist gegen die theoretische Richtigkeit von Hösslin's Überlegungen wenig einzuwenden, praktisch und reellen Tatsachen entsprechend müssen wir aber in die Formel noch eine ganze Reihe von Variabeln einsetzen, die wir durch keine Konstanten ersetzen können; was aber eine Formel mit vielen Variabeln bedeutet, ist eine oft erörterte Tatsache, ebenso wie diejenige, daß der Berechnung des wahrscheinlichen Fehlers des Mittels bei wenigen, schlecht stimmenden Resultaten keine Bedeutung zukommt. Schließlich dürfen wir nicht vergessen, daß in dem Ausdruck der Wegkonstante einer Versuchsperson noch keineswegs der wahre Verbrauch für die Fortbewegung eines Kilogrammes entlang einem Meter gegeben ist, indem in diesem Werte die ganze Summe übriger Muskelarbeit — neuerdings eine Variable — einbezogen ist, die ein Mensch zugleich mit dem Gehen leistet, die aber zur Fortbewegung der Last entlang dem Wege nur indirekte Beziehungen hat.

Es ist übrigens bemerkenswert, daß die an uns gefundenen Werte für den Umsatz bei Zurücklegung einer gleichen Wegstrecke trotzdem und trotz der Berechnung auf das Kilogramm bei allen ganz ähnlich sind und sich mit jenen Werten, die auch an anderen Personen verschiedener Körperbeschaffenheit gefunden wurden, nahezu decken. Es ist dies ein Resultat, das sich zu unserer Überraschung ergab, als wir nach Abschluß der eingehenden Studien das in der Literatur vorliegende Material mit den Ergebnissen der Berechnung unserer neuen Versuche verglichen, die wir bereits zwei Jahre vorher fertiggestellt und in den Tabellen geordnet hatten, welche im Anhang zu diesem Abschnitte beige druckt sind. Es dürfte nicht unnötig sein, an dieser Stelle nochmals zu erwähnen, daß sich die ganze Diskussion der Resultate ausschließlich nur auf die Versuche am Menschen beschränken will, weshalb es keineswegs beabsichtigt ist, die in Tierversuchen gewonnenen Ergebnisse zu streifen und die hieraus gezogenen Schlüsse zu besprechen.

Über den Einfluß des Höhenklimas auf den Umsatz beim Marsch auf horizontaler Bahn.

Unsere Kenntnisse über den Aufwand für die Horizontalbewegung in verschiedenen Höhen sind noch recht mangelhafte, was auf verschiedene Ursachen zurückzuführen ist. Wir konnten zeigen, daß sich bei näherem Eingehen auf die Versuche über den Verbrauch bei der Marscharbeit ergibt, daß dieser Abschnitt der Gaswechselphysiologie keineswegs so weit ausgebaut ist, als man meinen möchte, wenn man die Sammelreferate über diesen Gegenstand liest, und daß es noch zahlreicher Versuche bedürfen wird, bis die einschlägigen Fragen entscheidend gelöst sein werden. Umsomehr fehlen natürlich Bestimmungen aus Höhenstationen, da der Aufenthalt in diesen stets ein kurzer zu sein pflegte und man dort nicht jene bequemen Einrichtungen zur Verfügung hat wie im Laboratorium.

Ein wesentliches Hindernis für die Ausführung von Marschversuchen auf horizontaler Bahn im Gebirge bildet ferner die Schwierigkeit, eine geeignete Wegstrecke zu finden; meist ist das Terrain geneigt oder die ebenen Flächen sind zu klein und vielfach ist auch die Wegbeschaffenheit keine derartige, daß sie einen Vergleich mit den Verhältnissen, unter denen in der Ebene marschiert wurde, zulassen würde. Greifen wir auf das zurück, was wir bei den Versuchen über die Bestimmung des

Erhaltungsumsatzes erwähnten, so muß man noch hinzufügen, daß auch die weiten Grenzen, in denen bei älteren Versuchen die Ruheverbrauchswerte schwankten, mit dazu beitragen mußten, die Ergebnisse der Horizontalmarschversuche im Gebirge zu beeinträchtigen.

Die ersten Horizontalmärsche im Gebirge stellten A. Loewy und dessen Mitarbeiter an. Sie verglichen Marschversuche auf Col d'Olen mit solchen, die in Berlin ausgeführt waren. Die Versuche auf Col d'Olen hatten noch unter verschiedenen, ungünstigen Einflüssen zu leiden. Die Analysen mußten im frei aufgehängten Eudiometer ohne Wasserwanne gemacht werden¹, und während der Aufenthaltstage auf Col d'Olen war meist schlechtes Wetter, so zwar, daß der Schnee nur vorübergehend auftaute; es waren daher die Wegverhältnisse auf dem ebenen Plateau vor der Hütte jedenfalls sehr ungünstige. Die zwei Versuche über den Verbrauch bei der Geharbeit hatten in Berlin und Col d'Olen folgende Werte geliefert:

Berlin	Col d'Olen
9·865	11·05 cm^3 O ₂ pro Meter Weg.
10·644	9·88 » » » » »
	10·32 » » » » »

Es findet sich also trotz der erhöhten Atemarbeit und der sicher ungleich ungünstigeren Wegbeschaffenheit bei A. Loewy auf Col d'Olen ein Umsatz, der ganz jenem in Berlin gleichkommt, ein Resultat, das wohl nur besagt, daß die oben ausgesprochene Annahme², daß die beiden Berliner Werte zu hohe sein müssen, bestätigt.

Wesentlich anders liegen die Verhältnisse bei J. Loewy und L. Zuntz.

J. Loewy		L. Zuntz	
Berlin, Mittel	Col d'Olen	Berlin, Mittel	Col d'Olen
Kubikzentimeter Sauerstoff pro Meter Weg		Kubikzentimeter Sauerstoff pro Meter Weg	
8·944	14·61	9·41	9·34
	15·14		9·88
	13·13		12·13

J. Loewy zeigt eine ausgesprochene Steigerung des Umsatzes auf Col d'Olen gegenüber Berlin, wobei allerdings die sehr stark voneinander abweichenden Werte (16 %) dartun, wie variabel die Versuchsbedingungen gewesen sein müssen.

Bei L. Zuntz zeigt ein Wert eine bedeutende Umsatzsteigerung an, zwei liegen den Berliner Werten sehr nahe. Faßt man daher die Ergebnisse der drei Reihen zusammen, so lauten sie: bei einer Versuchsperson keine Änderung, bei einer Zunahme und bei der dritten in zwei Versuchen keine Änderung, in einem eine Zunahme. Das Resumé wird wohl dahin lauten müssen, daß die Versuchsbedingungen derartige waren, daß ein Einfluß des Höhenklimas auf den Umsatz beim Marsch in der Horizontalen nicht untersucht werden konnte.

Nicht viel günstiger muß auch das Urteil über unsere Versuche lauten, die ich gemeinsam mit Zuntz im Jahre 1903 auf Col d'Olen ausführte. Bei mir waren es die ersten Marschversuche, an denen ich überhaupt teilnahm, so daß meine Methodik sowohl als Experimentator wie als Versuchsperson keine befriedigende gewesen sein kann, wenn ich die Sorgfalt bedenke, mit der wir jetzt Marschversuche ausführen und wieder abbrechen, wenn nicht alles tadellos klappt. Außerdem war die Beschaffenheit des Bodens eine sehr wechselnde, denn es fror über Nacht und begann dann aufzutauen, so daß die Wegstrecke, die anfangs hart und fest war, später schlüpfrig wurde³.

¹ Pflüger's Arch., Bd. 66, p. 506.

² l. c. p. 10 [250].

³ Arch. für (Anat. und) Physiologie, Suppl., p. 1904.

Auch über die Ruheversuche, die wir auf Col d'Olen ausführten, konnten wir ein günstiges Urteil nicht fällen¹, ihre Zahl war gering und die Werte schwankend; es darf daher nicht wundernehmen, wenn unter diesen Voraussetzungen die Horizontalmarschversuche auf Col d'Olen kein sicheres Ergebnis lieferten. Bei Zuntz fiel der eine Wert vom ersten Marschtag um rund 20 % niedriger aus als die beiden anderen Versuche und auch bei Durig war in den ersten Versuchen ein niedriger, in den zweiten ein höherer Wert zu beobachten und die Schwankungen übersteigen dabei noch 20 % wesentlich. Es ist daher zwecklos, die betreffenden Werte anzuführen, die durchaus ungeeignet sind, subtile Unterschiede im Umsatz im Vergleich zu den Märschen in der Ebene erkennen zu lassen.

In der Capanna Margherita² führten wir, im Anschlusse an unsere zahlreichen Marschversuche auf Schnee, Horizontalmärsche aus, deren Resultate sehr gut untereinander übereinstimmen. Diese sind durch zahlreiche, gute Ruhewerte fundiert, aber auch ihnen können wir dessenungeachtet eine Beweiskraft nicht zuerkennen. Die Märsche wurden nämlich auf dem Gang der Hütte ausgeführt, wobei wir sechs Türen und ebensoviele Türschwellen passieren mußten; außerdem hatten wir auf engem Raum mit der Gasuhr kehrt zu machen und mußten im Turmzimmer zwischen dem Fenster und dem gemauerten Konsol durchschlüpfen, sorgfältig darauf achtend, daß wir nicht die Thermometer beschädigen, so daß der Aufwand für einen ähnlichen Marsch, auch wenn wir ihn in der Ebene ausgeführt hätten, ein wesentlich höherer gewesen wäre als unter normalen Bedingungen. Es ist ferner zu bemerken, daß die Horizontalmärsche auf dem Gang der Hütte in den Nachmittagsstunden ausgeführt wurden, so daß auch die Verdauungsarbeit für die vorangegangene Mittagsmahlzeit noch mit in Betracht kam.

Die Werte zeigen eine ganz wesentliche Steigerung des Umsatzes an und mögen wegen der Einwände, die gegen sie erhoben werden müssen, nur in den Mitteln angeführt sein:

		Kalorien pro Meter und Kilogramm
Durig	Wien	0·527
	Capanna Margherita	0·668
Zuntz	Berlin	0·6..
	Capanna Margherita	0·774

Nicht uninteressant ist dabei die Tatsache, daß die Marschgeschwindigkeit bei Durig nahezu jene Werte erreichte wie in Wien, denn sie stieg trotz der ungünstigen Wegverhältnisse bis auf 91·6 *m*, und auch Zuntz ging ein Tempo, das sich wenig von jenem in seinen Berliner Versuchen unterschied. Er erreichte auf dem Monte Rosa-Gipfel eine Marschgeschwindigkeit von 66·7 *m*.

Auch die Versuche von Durig und Frau auf der Sporneralpe sind zu einwandfreiem Vergleich nicht geeignet. Es war in dieser Höhenstation eine genügend lange ebene Strecke ebenfalls nicht auffindig zu machen, weshalb die Versuche mit vielen Kehren ausgeführt werden mußten, die zwar in keinem jähen Wenden bestanden, aber dazu zwangen, in kurzem Bogen vom Wege auf den mit Gras bewachsenen Boden überzutreten. Es ist daher nicht einwandfrei zu entscheiden, ob die bei Durig und dessen Frau beobachtete Umsatzsteigerung zum Teile durch eine Wirkung des Höhenklimas bedingt war oder ob diese ausschließlich auf die Wegverhältnisse zurückgeführt werden muß.

Die vollkommene Unsicherheit, die also noch über die aufgeworfene Frage bestand, veranlaßte uns, anlässlich der Expedition im Jahre 1906 Respirationsversuche beim Horizontalmarsch in verschiedenen Höhen auszuführen. Wir dachten selbstverständlich nicht daran, auf der Margherita-Hütte neuerlich zu marschieren, da die Verhältnisse dort infolge der Überfüllung mit unserem und Prof. Alessandri's Gepäck nur noch ungünstigere gewesen wären. Auf Col d'Olen war die Zeit unseres Aufenthaltes zu kurz, um

¹ l. c. p. 546.

² Arch. für (Anat. und) Physiologie, 1904, Suppl.

Märsche durchführen zu können, dagegen fand sich auf dem Semmering anlässlich unserer Winterversuche willkommene Gelegenheit, unter ideal zu nennenden Versuchsbedingungen auf ganz ebener Strecke zu marschieren und so die Resultate unserer Wiener Versuche direkt mit solchen aus 1000 *m* Meereshöhe zu vergleichen. Durch die Liebenswürdigkeit des Hoteliers Panhans stand uns das fast ganz leere, sehr geräumige Waschhaus zur Verfügung, durch dessen Räume wir, ohne eine einzige Kehre ausführen zu müssen, in einer weiten, 34 *m* messenden Ellipse ebenen Fußes gehen konnten. Der Boden war rauh, mit Zementpflaster belegt und bot dem Fuße sehr guten Halt, ohne uneben zu sein. Der Versuchsweg war mit Kreide am Fußboden genau festgestellt und konnte daher ohne Fehler ausgemessen werden.

Tabelle XII.

Horizontalmärsche auf dem Semmering.

Durig.

Geschwindigkeit Meter pro Minute	Wien	100·0 ¹	102·2	103·5	105·0 ¹	110·0 ¹
	Semmering	100·7	102·4 ²	103·2	105·4	110·3
Kleine Kalorien pro Kilogramm und Meter Weg	Wien	0·54	0·550	0·559	0·56	0·58
	Semmering	0·568	0·569	0·587	0·622	0·636
Reichel.						
Geschwindigkeit Meter pro Minute	Wien	95·2 ²	100·8	100·8		
	Semmering	93·4	99·1	103·5	103·9	
Kleine Kalorien pro Kilogramm und Meter Weg	Wien	0·56	0·56	0·56		
	Semmering	0·57	0·58	0·66	0·64	
¹ Aus dem Verlaufe der Kurve gewonnen (interpoliert). ² Zwei Werte gemittelt.						

Es liegen Versuche von Reichel und Durig vor¹. Vorstehende Übersichtstabelle enthält die Hauptresultate, zusammengestellt zugleich mit den Werten jener Versuche, die in Wien bei ähnlicher Geschwindigkeit ausgeführt wurden. (Siehe Tab. XII, Durig).

¹ Siehe Generaltabelle XIII und XV.

Der Versuch an Durig ergibt, daß unter diesen Bedingungen, die bis auf die Höhenwirkung vollkommen vergleichbar waren, mit den Verhältnissen, unter denen die Beobachtungen in Wien ausgeführt wurden, der Aufwand für die Fortbewegung von 1 kg entlang einem Meter Weges auf dem Semmering stets größer war als in der Ebene. Die Ausschläge sind allerdings mit Ausnahme der beiden Versuche, in denen am schnellsten gegangen wurde, gering und fallen noch in die Fehlergrenzen; die letztgenannten beiden Werte beweisen aber unzweifelhaft eine Erhöhung des Umsatzes, für die wohl zum Teil die Steigerung der Ventilation verantwortlich gemacht werden kann.

Ganz analog liegen die Verhältnisse bei Reichel (Tab. XII, Reichel); bei ihm ist kein Wert auf dem Semmering niedriger ausgefallen als der vom zugehörigen Wiener Versuche; es beweisen daher auch die an ihm angestellten Beobachtungen das Auftreten einer Umsatzsteigerung beim Horizontalmarsch in einer relativ noch recht geringen Höhe; bei ihm ist aber der Zuwachs an Atemarbeit keineswegs ein so beträchtlicher gewesen, daß dieser die Erhöhung des Verbrauches beim Gehen erklären könnte.

Bemerkenswert dürfte es auch sein, daß die Umsatzsteigerung besonders bei den größeren Marschgeschwindigkeiten beobachtet wurde, da hierin ein gewisser Hinweis auf die Wirkung des Absinkens des Luftdruckes gelegen ist, das sich um so mehr fühlbar machen muß, je größer der Bedarf an Sauerstoff wird.

Lieferten auch diese wenigen Versuche auf dem Semmering ein recht spärliches Beweismaterial für die Umsatzsteigerung beim Horizontalmarsch im Höhenklima, so stimmen sie doch untereinander recht gut überein und zeigen in den Resultaten einheitlich die Tendenz, zu höheren Werten anzusteigen, als beim Marsch in der Ebene.

Das Resultat, das vorerst nur von zwei Versuchspersonen stammt, ist interessant genug, um zu weiterer Bearbeitung Anstoß zu geben, denn die Tatsache, daß eine so geringe Arbeit wie jene beim Gehen auf ebenem Boden bereits in der Höhe des Semmering mit größerem Energieverbrauch ausgeführt werden soll als in der Ebene, ist, wenn sie sich bewahrheitet, gewiß eine bemerkenswerte. Wir müssen bedenken, daß es wohl ziemlich vieler Versuche und gut übereinstimmender Resultate bedarf, um eine solche Annahme beweiskräftig zu stützen. Der Vergleich mit den Wiener Versuchen leidet aber darum an einer gewissen Unsicherheit, weil die zusammengehörigen, in Wien und auf dem Semmering ermittelten Werte recht wenig zahlreich sind. Die Tatsache, der wir im folgenden Abschnitte begegnen werden, daß bei der Steigarbeit der Umsatz im Höhenklima ebenfalls gesteigert ist, bildet jedenfalls eine Stütze für das auf dem Semmering gefundene Ergebnis und läßt es auch als wahrscheinlich gelten, daß die von Durig und Frau auf der Sporneralpe beobachtete und auch die von Zuntz und Durig in der Capanna Margherita nachgewiesene Erhöhung der Verbrennungsvorgänge beim Gehen auf ebener Bahn wenigstens zu einem Teile auf eine Klimawirkung zurückzuführen sind. Da die Möglichkeit, in großen Höhen Horizontalmärsche auf hierzu geeignetem Terrain auszuführen, eine recht beschränkte ist, wäre es wertvoll, wenn derartige Versuche in den Höhenstationen ausgeführt würden (so Davos, St. Moritz u. a. O.), wo zum Beispiel Tennisplätze eine für Horizontalmärsche im Freien außerordentlich geeignete Bahn vorstellen.

Ergebnisse.

Der Aufwand für das Meter und Kilogramm Horizontalbewegung ist bei der größten Zahl der bisher untersuchten Versuchspersonen mit 0·5 bis 0·6 Kalorien, im Mittel 0·55 Kalorien festgestellt worden.

Unter Annahme eines Wirkungsgrades von 30 % ergibt sich die Leistung beim horizontalen Gehen mit 0·07 bis 0·08 Meterkilogramm pro Meter und Kilogramm Horizontalbewegung.

Es besteht die begründete Vermutung, daß in jenen älteren Versuchen, in denen ein höherer Umsatz für die Wegkonstante gefunden wurde, unvollkommene Übung im Gehen auf der Tretbahn und die Methodik ausschlaggebend für das Zustandekommen des abweichenden Ergebnisses war.

Die in der Respirationskammer von Sondén und Tigerstedt ausgeführten Versuche über das Gehen auf ebenem Boden führen dann, wenn man die Werte für den Erhaltungsumsatz der Versuchspersonen zugrunde legt, zu Resultaten, die untereinander wie auch mit dem im ersten Punkte angegebenen Resultate wohl übereinstimmen.

Es ist unwahrscheinlich, daß bei mäßiger Marschgeschwindigkeit (die den »Wanderschritt« nicht übersteigt) wesentliche Unterschiede im Energieverbrauch für das Gehen auf horizontaler Bahn zwischen normalen Personen bestehen, auch wenn diese verschiedenen Körperbau besitzen oder für das Gehen gut oder wenig trainiert sind.

Die Marschgeschwindigkeit, bei der der Energieverbrauch einer Versuchsperson ein annähernd gleichbleibendes Minimum zu übersteigen beginnt, ist bei verschiedenen Personen wesentlich verschieden. Hierin kommt die Überlegenheit der leistungsfähigeren Person zum Ausdruck.

Der als Wegkonstante bezeichnete Wert ist als Ausdruck für den Rohumsatz bei der Geharbeit aufzufassen; der Wert für den niedriger zu bemessenden Reinumsatz bei der Bewegung auf horizontaler Bahn ist derzeit nicht festzustellen.

Mit zunehmender Marschgeschwindigkeit steigt der Umsatz beim Gehen auf horizontaler Bahn an. Der Zuwachs, den die Verbrennungsvorgänge für die Einheit der Arbeitsleistung hierbei erfahren, ist um so größer, je schneller das Marschtempo ist.

Es ist derzeit nicht möglich, die Beziehung zwischen Geschwindigkeitszuwachs und Umsatzsteigerung endgültig festzustellen, jedoch kann als sicher gelten, daß diese keine lineare ist.

Es kann als wahrscheinlich gelten, daß einer Steigerung der Geschwindigkeit in arithmetischer Reihe eine solche des Umsatzes in geometrischer Reihe entspricht, wenn man die ökonomische Maximalgeschwindigkeit als Ausgangspunkt wählt. Es würde damit das Exponentialgesetz in ähnlicher Weise Anwendung auf den Umsatz beim Marsch finden, wie z. B. auf sinnesphysiologische Vorgänge. Oberhalb der ökonomischen Maximalgeschwindigkeit entsprach bei den untersuchten Personen einem Meter Geschwindigkeitszuwachs eine Umsatzsteigerung von rund 1·2 bis 1·5 Prozent des Wertes.

Es ist nicht wahrscheinlich, daß die Verlangsamung des Marschtempos auf einen niedrigen Wert innerhalb praktisch in Frage kommender Grenzen eine Steigerung des Umsatzes für die Arbeitseinheit herbeiführt; keinesfalls ist zurzeit eine solche Annahme erwiesen.

Für die Anschauung, daß gerade maximal trainierte Menschen jene Arbeit, für die sie trainiert sind, mit dem nämlichen Aufwand an Energie leisten, sind zwingende Beweise ebenfalls nicht gegeben. Die bisher untersuchten Personen weisen wohl bei optimaler (also mäßiger) Geschwindigkeit sämtlich sehr ähnliche Werte für die Wegkonstante auf; bei beschleunigtem wie bei sehr forciertem Gehen war jedoch der Umsatz für die Fortbewegung von 1 kg entlang einem Meter Weges ziemlich verschieden. Die Ursache hierfür kann nur zum Teil darin gesucht werden, daß hierbei Tretbahnversuche mit Märschen auf freier Bahn verglichen wurden, denn auch der Vergleich von Tretbahnversuchen untereinander (Dauergänger) führte zu keinem übereinstimmenden Resultat.

Der Umsatz beim Marsch auf horizontaler Bahn war auf dem Semmering bei derselben Geschwindigkeit größer als in Wien. Es liegt nahe, hierin eine spezifische Wirkung des Höhenklimas zu erblicken.

Auf Grund der Diskussion des vorliegenden Materials ergab sich, daß es noch zahlreicher weiterer Beobachtungen bedarf, um unsere Kenntnisse über den Aufwand beim Gehen auf horizontaler Bahn zu vervollständigen. Einige Gesichtspunkte, die zu erledigen sein werden, mögen anschließend folgen.

Es muß festgestellt werden, welcher Aufwand der reinen Geharbeit entspricht, um die Arbeitsleistung bei horizontalem Gehen auf Grund des Umsatzes berechnen und mit den aus der Mechanik des Ganges abgeleiteten Werten vergleichen zu können. Es wäre also der als »Leerlaufarbeit« für den Horizontalmarsch entfallende Wert zu bestimmen.

Der Vergleich zwischen dem Tretbahnversuch und dem Versuch auf freier Bahn erfordert neue Beobachtungen, wobei insbesondere auf die Bedeutung der Übung für das Gehen auf der Tretbahn in Betracht zu ziehen sein wird.

Die Beobachtungen über den Aufwand beim Horizontalmarsch in der Respirationskammer sind nur durch wenige Werte repräsentiert und unter nicht vollkommen vergleichbaren Kautelen angestellt, eine weitere Ergänzung derselben ist daher dringend erwünscht.

Die Beziehung zwischen Körpergewicht, Körperoberfläche und Umsatz beim Gehen des Menschen bedarf erst der Feststellung.

Die bisherigen Resultate über den Zuwachs des Aufwandes bei Vergrößerung der Marschgeschwindigkeit bedürfen einer Erweiterung durch Untersuchung sehr geübter und minder geübter Gänger. Insbesondere sind Werte über den Aufwand bei sehr großen Gehgeschwindigkeiten festzulegen.

Über den Einfluß des Höhenklimas auf den Umsatz beim Horizontalmarsch liegen eindeutige Resultate bisher ausschließlich vom Semmering vor; es sind deshalb die Untersuchungen über diese Frage aus größeren Höhen noch vollkommen ausständig, die wenigen in 1000 *m* Höhe durchgeführten Versuche bedürfen weiterer Ergänzung.

Größe der Verbrennungsvorgänge beim Marsch auf horizontaler Bahn.

Wien.

Belastung rund $13\frac{1}{2}$ kg.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Nummer	Datum	Atemgröße in Liter pro Minute		CO ₂ 0/0	Analyse		pro Minute Kubikzentimeter		R. Q.	Nach Abzug des Ruhe- wertes pro Minute cm ³		Geschwindigkeit		Kilo- gramm	Gewicht	Umsatz pro Kilogramm und Meter horizontal			
		beob- achtet	redu- ziert		CO ₂ 0/0	O ₂ 0/0	N 0/0	CO ₂ produ- ziert		O ₂ ver- braucht	Weg pro Minute Meter	Marsch- zeit für 1 km	CO ₂ cm ³			O ₂ cm ³	Kalorien	Meter- kilo- gramm	
408	2./III. 1907	35·42	32·26	4·71	15·92	79·37	1510	1640	0·920	1312	1426	0·920	126·0	7'56"	76·1	0·137	0·148	0·735	0·314
409		28·08	25·60	4·68	15·76	79·56	1193	1357	0·877	995	1142	0·871	116·6	8 34		0·112	0·129	0·628	0·268
410		47·05	42·79	4·32	16·14	79·54	1834	2101	0·874	1638	1886	0·868	141·8	6 58		0·152	0·175	0·854	0·365
411		53·36	48·65	4·68	15·63	79·69	2262	2659	0·851	2064	2445	0·844	152·5	6 32		0·178	0·211	1·023	0·437
412	3./III. 1907	22·96	20·88	4·25	15·88	79·78	881	1098	0·804	683	884	0·773	102·3	9 47	76·2	0·088	0·114	0·543	0·232
413		21·89	19·86	4·30	15·34	79·66	848	1142	0·743	650	927	0·701	102·1	9 46		0·084	0·119	0·559	0·239
414		19·28	17·60	4·00	15·93	80·07	699	921	0·759	501	706	0·709	83·8	11 56		0·078	0·110	0·517	0·221
415		17·78	16·22	3·98	15·98	80·04	640	845	0·758	444	630	0·703	72·3	13 50		0·081	0·115	0·536	0·229
Mittel ¹		30·73	27·88	4·38	15·82	79·81	1233	1444	0·811	1036	1131	0·799	109·6		76·15	0 114	0·153	0·674	0·263

Semmering.

355	13./I. 1907	25·51	22·19	4·03	16·04	79·93	925	1134	0·815	733	907	0·809	100·7	9'58"	76·3	0·095	0·118	0·568	0·243
356		30·80	26·88	3·52	16·78	79·29	938	1161	0·808	745	934	0·798	102·7	9 44		0·094	0·117	0·572	0·244
357		29·48	25·76	3·52	16·65	79·83	899	1154	0·779	706	927	0·762	102·1	9 48		0·090	0·119	0·566	0·242
358		26·72	21·76	4·58	15·30	80·12	986	1283	0·771	793	956	0·829	103·2	9 42		0·107	0·121	0·587	0·251
264	14./I. 1907	26·67	23·31	4·79	15·39	79·82	1109	1338	0·827	917	1111	0·825	110·3	9 04	76·5	0·109	0·131	0·636	0·272
265		27·32	23·95	4·37	15·80	79·83	1037	1267	0·812	844	1040	0·812	105·4	9 29		0·106	0·129	0·622	0·266
Mittel ¹		27·75	23·97	4·13	15·99	79·89	982	1223	0·802	790	979	0·806	104·1		76·4	0·101	0·123	0·592	0·255

¹ Die Mittelwerte können ein wahres Bild des Verhaltens nicht liefern, da die Versuche bei verschiedenen Marschgeschwindigkeiten ausgeführt wurden und der Umsatz daher bei den einzelnen Beobachtungen stark verschieden ist.

Kolmer.

Tabelle XIV.

Größe der Verbrennungsvorgänge beim Marsch auf horizontaler Bahn.

Wien.

Belastung zirka 13 kg.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Nummer	Datum	Atemgröße in Litern pro Minute		Analyse			pro Minute Kubikzentimeter		R. Q.	Nach Abzug des Ruhe- wertes pro Minute cm^3		R. Q.	Geschwindigkeit Weg pro Minute Meter	Marsch- zeit für 1 km	Kilo- gramm	Umsatz pro Kilogramm und Meter horizontal			
		beob- achtet	redu- ziert	CO ₂ %	O ₂ %	N %	CO ₂ produ- ziert	O ₂ ver- braucht		CO ₂ produ- ziert	O ₂ ver- braucht					CO ₂ cm^3	O ₂ cm^3	Kalorien	Meter- kilo- gramm
316	5./III. 1907	40·51	36·54	3·30	16·94	79·76	1195	1523	0·784	980	1266	0·774	100·9	9'55"	94·2	0·103	0·133	0·635	0·271
317		40·50	36·54	3·75	16·78	79·47	1359	1556	0·873	1145	1299	0·881	105·2	9·33		0·115	0·131	0·642	0·274
318		43·38	38·67	3·53	17·05	79·39	1195	1532	0·891	1095	1274	0·861	100·0	10		0·116	0·136	0·659	0·281
319		41·15	37·84	3·65	16·89	79·46	1369	1567	0·874	1155	1309	0·883	104·0	9·36		0·118	0·134	0·654	0·279
320	6./III. 1907	20·57	18·92	4·05	15·92	80·04	759	997	0·763	544	739	0·736	69·2	14·27	94·2	0·083	0·113	0·535	0·228
321		25·26	23·18	3·14	17·00	79·86	721	959	0·751	506	702	0·721	62·4	16·02		0·086	0·119	0·561	0·240
322		21·31	19·61	3·78	16·05	80·17	735	1014	0·725	521	726	0·689	67·0	14·55		0·083	0·120	0·560	0·239
323		18·83	17·30	4·73	15·26	80·01	813	1024	0·818	598	766	0·768	66·4	15·03		0·094	0·122	0·591	0·252
324		19·06	17·49	3·23	17·00	79·77	559	720	0·776	344	463	0·742	49·2	20·19		0·085	0·115	0·542	0·231
Mittel ¹		30·07	27·34	3·35	16·54	79·66	967	1210	0·806	766	949	0·784	80·5		94·2	0·089	0·112	0·567	0·225
Rainer.																			
Wien.																			
Belastung zirka 13 kg.																			
351	30./VI. 1907	21·08	18·33	4·48	15·43	80·09	816	1057	0·816	633	839	0·754	91·3	10'46"	75·4	0·092	0·129	0·578	0·249
352		21·68	19·04	4·54	15·82	79·64	859	1002	0·857	676	783	0·862	88·8	11·16		0·101	0·117	0·571	0·244
353		21·91	19·09	4·56	15·66	79·78	865	1042	0·829	682	824	0·827	90·4	11·06		0·100	0·121	0·584	0·249
354		20·80	18·12	4·58	15·58	79·84	825	1006	0·820	641	787	0·815	88·8	11·16		0·096	0·118	0·567	0·242
355		30·30	25·76	5·05	14·87	80·08	1293	1627	0·793	1109	1409	0·767	115·8	8·38		0·127	0·161	0·772	0·330
356		19·06	16·55	3·88	15·91	80·21	637	880	0·724	454	662	0·686	76·9	12·50		0·078	0·114	0·533	0·228
357		14·06	12·23	4·12	16·07	79·81	499	619	0·806	316	400	0·789	47·2	21·17		0·089	0·116	0·538	0·229
358		34·49	29·90	6·06	14·16	79·78	1804	2082	0·866	1620	1863	0·869	129·5	7·43		0·112	0·195	0·954	0·407
Mittel ¹		23·42	21·13	4·41	15·44	79·80	981	1166	0·814	769	948	0·799	80·8		75·4	0·112	0·138	0·638	0·272

¹ Siehe Anmerkung p. 49.

Größe der Verbrennungsvorgänge beim Marsch auf horizontaler Bahn.

Wien.

Belastung zirka 16 kg.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Nummer	Datum	Atemgröße in Liter pro Minute		Analyse			pro Minute Kubikzentimeter		R. Q.	Nach Abzug des Ruhe- wertes pro Minute cm ³			Geschwindigkeit		Gewicht Kilo- gramm	Umsatz pro Kilogramm und Meter horizontal			
		beob- achtet	redu- ziert	CO ₂ o/0	O ₂ o/0	N o/0	CO ₂ produ- ziert	O ₂ ver- braucht		CO ₂ produ- ziert	O ₂ ver- braucht	R. Q.	Weg pro Minute Meter	Marsch- zeit für 1 km		CO ₂ cm ³	Kalorien	Meter- kilo- gramm	
344	28./VI. 1907	29·15	25·62	4·88	15·54	79·58	1243	1391	0·893	1027	1130	0·909	100·8	9'55"	100·3	0·102	0·104	0·550	0·234
345		28·93	25·42	4·81	15·56	79·36	1215	1417	0·860	1099	1156	0·865	96·4	10 19		0·103	0·119	0·583	0·249
346		26·74	23·50	4·97	15·38	79·65	1161	1939	0·867	945	1078	0·876	94·8	10 33		0·099	0·113	0·554	0·237
347	29./VI. 1907	27·16	23·83	4·88	15·43	79·69	1156	1349	0·857	940	1088	0·864	95·2	10 31		0·098	0·138	0·556	0·237
348		27·37	23·99	4·96	15·35	79·69	1182	1377	0·858	966	1116	0·866	95·2	10 31		0·101	0·118	0·570	0·243
349		21·57	18·83	4·80	15·46	79·74	898	1064	0·844	682	799	0·838	75·9	13 10		0·088	0·105	0·510	0·218
350		19·95	17·44	4·38	15·99	79·63	758	888	0·855	542	627	0·865	59·3	16 51		0·091	0·105	0·514	0·220
Mittel 1		25·84	22·67	4·81	15·50	79·62	1087	1321	0·862	886	999	0·869	88·2		100·3	0·096	0·115	0·548	0·234

Semmering.

Belastung zirka 14 kg.

351	13./I. 1907	26·23	22·99	4·53	15·43	80·04	1035	1324	0·781	825	1077	0·784	93·2	10'44"	95·45	0·098	0·118	0·566	0·242
352		25·45	22·20	4·90	14·80	80·20	1081	1428	0·756	872	1180	0·739	99·0	10 06		0·093	0·125	0·591	0·252
353		25·39	22·13	4·81	14·94	80·25	1057	1391	0·759	848	1146	0·741	99·2	10 04		0·099	0·121	0·572	0·244
354		24·23	21·11	4·82	15·03	80·15	1011	1307	0·774	802	1059	0·756	93·6	10 41		0·089	0·119	0·563	0·240
356	14./I. 1907	30·77	26·90	4·79	15·20	80·01	1281	1609	0·796	1071	1361	0·799	103·5	9 40	95·45	0·109	0·138	0·659	0·281
357		29·34	25·50	4·87	15·03	80·10	1235	1575	0·784	1026	1327	0·787	103·9	9 37		0·112	0·134	0·641	0·274
Mittel 1		26·90	23·47	4·79	15·07	80·12	1116	1439	0·775	907	1192	0·768	98·7		95·45	0·100	0·126	0·600	0·256

1 Siehe Anmerkung p. 49.