

# Teilchen mit negativer Masse: Produktion, Eigenschaften und Anwendungen für die Kernfusion und die Selbst-Beschleunigung

M. Tajmar\* und A. K. T. Assis\*\*  
Institut für Luft- und Raumfahrttechnik  
Technische Universität Dresden  
01062 Dresden, Deutschland  
\* Email: martin.tajmar@tu-dresden.de  
\*\* Institut für Physik 'Gleb Wataghin'  
University of Campinas - UNICAMP  
13083-859 Campinas, SP, Brasilien  
E-Mail: assis@ifi.unicamp.br  
Homepage: <http://www.ifi.unicamp.br/~assis>

Veröffentlichung in Journal of Advanced Physics, Band 4, S. 77-82 (2015).

Übersetzung aus dem Englischen (2015):

Dr. Manfred Pohl, Deutschland

Mail: [unipohl@aol.com](mailto:unipohl@aol.com)

Netz: [www.unipohl.de](http://www.unipohl.de)

## Zusammenfassung

Einige Experimente haben die mögliche Existenz von Partikeln mit einer negativen trägen Masse ergeben. Es ist gezeigt worden, unter welchen Bedingungen Webers Elektrodynamik Gründe für diesen Effekt liefert. Einige spezifische Experimente beziehen sich auf diesen Aspekt, der im Weberschen Gesetz beschrieben ist. Zwei Teilchen mit gleichnamigen elektrischen Ladungen würden sich in dem Falle aufeinander zu bewegen, wenn sie negative effektive träge Massen hätten. Ein neues Konzept für die Kernfusion auf der Basis der Möglichkeit der Schaffung einer negativen effektiven trägen Masse für Ionen wird vorgestellt. Es werden dann einige Eigenschaften der Trägheitsdipolen betrachtet, das heißt, ein System, das durch ein Teilchenpaar gebildet wird, von dem ein Teilchen eine positive effektive träge Masse, während das andere eine negative effektive träge Masse besitzt. Die mögliche Verwendung des Trägheitsdipols als Antriebssystem ist kurz diskutiert.

**Stichwörter:** Negative Masse. Trägheitsdipole. Webers Elektrodynamik. Kernfusion.

**PACS:** 28.52.-s (Fusionsreaktoren), 41.20.-q (Angewandter klassischer Elektromagnetismus), 45.20.D- (Newtonsche Mechanik), 52.58.-c (Andere Methoden der Beschränkung auf die Plasmaphysik).

**PACS** = Physics and Astronomy Classification System (englisch), Klassifizierungssystem der Physik und der Astronomie.

# 1 Einleitung

Zwei Ladungen mit dem gleichen Vorzeichen stoßen einander ab. Wenn sie eine positive träge Masse haben, erfolgt ihre Beschleunigung relativ zu einem Inertialsystem (Bezugssystem) in Richtung der Kraft, so daß sie sich voneinander wegbewegen. Aus demselben Grund würden sich zwei Ladungen mit gleichnamigen Ladungen aufeinander zu bewegen, wenn sie negative träge Massen hätten.<sup>[1]</sup>

Einige neuere Experimente haben ergeben, daß Testpartikel unter geeigneten Bedingungen sich so verhalten können, als hätten sie negative effektive träge Massen. Zeilinger und sein Team haben Neutronen mit einer positiven oder negativen effektiven Masse erzeugt.<sup>[2, 3, 4]</sup> Transiente negative effektive Massen wurden vor kurzem auch für Elektronen in n-dotierten GaAs-Anordnungen beobachtet, die unter sehr hohen elektrischen Feldern und für kurze Zeiten in der Größenordnung einiger hundert Femtosekunden auftraten.<sup>[5]</sup> Negative Trägheit wurde auch durch ein mechanisches Federsystem simuliert, das für erweiterte Dämpfungslösungen verwendet werden kann.<sup>[6]</sup> Auch die Bewegungssynchronisation von Ionen zwischen zwei elektrostatischen Fallen wurde durch das Verhalten negativer Massen erklärt.<sup>[7]</sup> Wenn Ionen in eine solche Falle injiziert werden, streckt sich die Größe der Ionenwolke normalerweise durch Coulombabstoßung. Jedoch wurde festgestellt, daß eine bestimmte Geometrie und ein definiertes elektrostatisches Potential zu einer Stabilisierung (oder Selbstbündelung) der Ionenwolke führt, die so interpretiert wurde, als sei die Masse der Ionen negativ.

In dieser Arbeit haben wir einige Konsequenzen dieser Art von Masse abgeleitet und wir erklären, wie sie unter angemessen kontrollierten Bedingungen im Labor hergestellt werden könnte.

## 2 Negative Masse in Webers Elektrodynamik

Betrachten wir zwei Ladungen  $q_1$  und  $q_2$ , die sich an den Positionen der Vektoren  $\vec{r}_1$  und  $\vec{r}_2$  relativ zum Nullpunkt eines Bezugssystems  $S$  befinden und sich relativ zu diesem System mit den Geschwindigkeiten  $\vec{v}_1$  und  $\vec{v}_2$  und entsprechend den Beschleunigungen  $\vec{a}_1$  and  $\vec{a}_2$  bewegen.

Gemäß Webers Elektrodynamik<sup>[8]</sup> ist die durch die Ladung  $q_2$  auf die Ladung  $q_1$  ausgeübte Kraft  $\vec{F}_{21}$  gegeben durch:

$$\vec{F}_{21} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0} \frac{\hat{r}}{r^2} \left( 1 - \frac{\dot{r}^2}{c^2} + \frac{r\ddot{r}}{c^2} \right) = -\vec{F}_{12}, \quad (1)$$

worin  $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ A}^2 \text{ s}^4 / \text{kgm}^3$  die Vakuumdielektrizitätskonstante ist,  $c = 2,998 \times 10^8 \text{ m/s}$ ,  $r = |\vec{r}_1 - \vec{r}_2|$  ist der Abstand zwischen den Ladungen,  $\hat{r}$  ist der Einheitsvektor von 2 zu 1,  $\dot{r} = dr/dt$  ist die relative Radialgeschwindigkeit zwischen den Ladungen,  $\ddot{r} = d^2r/dt^2$  ist die relative Radialbeschleunigung zwischen ihnen, und  $\vec{F}_{12}$  ist die Reaktionskraft, die von 1 auf 2 ausgeübt wird. Insbesondere die letzte Komponente von  $\vec{F}_{21}$  ist abhängig von der Beschleunigung  $\vec{a}_1$  der Testladung, auf die die Kraft ausgeübt wird. Im Folgenden wird dieser Aspekt von entscheidender Bedeutung sein.

Betrachten wir nun eine ideale dielektrische Kugelsphäre der Masse  $M$  mit dem Radius  $R$ , die gleichmäßig mit einer Gesamtladung  $Q$  aufgeladen ist. Die Ladungen über die Oberfläche der Sphäre werden in der Sphäre als fest angenommen, unabhängig von der Position oder der Bewegung anderer in der Nähe befindlicher Ladungen. Nehmen wir an, daß sich die Sphäre als Ganzes frei mit einer konstanten Linearbeschleunigung  $\vec{A}$  relativ zum Bezugssystem  $S$  bewegen kann. Durch die Integration der Gleichung (1), ist die Kraft  $\vec{F}_{sq}$ , die durch die Sphäre auf ein Testteilchen der Ladung  $q$  und der trägen Masse  $m$  ausgeübt wird, das sich irgendwo innerhalb der Sphäre befindet und sich mit der Beschleunigung  $\vec{a}$  relativ zum Bezugssystem  $S$  bewegt, gegeben mit.<sup>[8, 9, 10]</sup>

$$\vec{F}_{sq} = \frac{qQ}{12\pi\epsilon_0 R c^2} (\vec{a} - \vec{A}) = \frac{q\phi}{3c^2} (\vec{a} - \vec{A}) = m_w (\vec{a} - \vec{A}) = -F_{qs}, \quad (2)$$

worin  $\phi = Q/4\pi\epsilon_0 R$  das elektrostatische Potential der Sphäre ist, von dem angenommen wird, daß es im Unendlichen gegen Null geht,  $m_w = qQ/12\pi\epsilon_0 Rc^2 = q\phi/3c^2$  ist das, was wir in dieser Geometrie Webers träge Masse nennen, und  $\vec{F}_{qs}$  ist die Reaktionskraft, die durch  $q$  ausgeübt wird und auf die elektrisch geladene Sphäre wirkt.

Betrachten wir nun zwei Teilchen mit den Ladungen  $q_1$  und  $q_2$  und entsprechend den normalen trägen Massen  $m_1$  und  $m_2$ , die sich innerhalb der Sphäre befinden.

Nach dem zweiten Newtonschen Bewegungsgesetz ist die Kraft  $\vec{F}_1$ , die auf das Teilchen 1 wirkt, gleich seiner Masse mal seine Beschleunigung,  $\vec{F}_1 = m_1 \vec{a}_1$ . Es gibt zwei Kräfte, die auf 1 wirken, nämlich die Kraft  $\vec{F}_{21}$ , die durch  $q_2$  ausgeübt wird und die Kraft  $\vec{F}_{s1}$ , die durch die umgebende Sphäre ausgeübt wird. Für kleine relative Geschwindigkeiten und für kleine relative Beschleunigungen wird die von Teilchen 2 ausgeübte Kraft im wesentlichen gleich der Coulombschen Kraft sein,  $\vec{F}_{21} = q_1 q_2 \vec{r} / 4\pi\epsilon_0 r^2$ . Nach Gleichung (2) ist die von der geladenen Sphäre auf Teilchen 1 ausgeübte Kraft gegeben durch  $\vec{F}_{s1} = m_{w1}(\vec{a}_1 - \vec{A})$ . Unter Benutzung von  $\vec{F}_{21} + \vec{F}_{s1} = m_1 \vec{a}_1$  gelangen wir zu:

$$\vec{F}_{21} - m_{w1} \vec{A} = (m_1 - m_{w1}) \vec{a}_1 = m_{eff1} \vec{a}_1 . \quad (3)$$

In dieser letzten Gleichung ist der Betrag  $m_{eff1}$  definiert durch:

$$m_{eff1} = m_1 - m_{w1} = m_1 - \frac{q_1 \phi}{3c^2} = m_1 - \frac{q_1 Q}{12\pi\epsilon_0 Rc^2} . \quad (4)$$

Diese Größe  $m_{eff1}$  nennen wir die effektive träge Masse des Teilchens 1.

Gleichung (3) ist ähnlich dem zweiten Newtonschen Bewegungsgesetz, aber jetzt mit dem Testteilchen, das sich verhält, als hätte es eine effektive träge Masse  $m_{eff1} = m_1 - m_{w1}$  anstatt der üblichen Masse  $m_1$ .

Durch Aktion und Reaktion ist die von 1 auf 2 ausgeübte Kraft durch  $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} = -q_1 q_2 \vec{r} / 4\pi\epsilon_0 r^2$  gegeben. Die analoge Bewegungsgleichung für Teilchen 2 ist gegeben mit

$$-\vec{F}_{21} - m_{w2} \vec{A} = (m_2 - m_{w2}) \vec{a}_2 = m_{eff2} \vec{a}_2 , \quad (5)$$

worin  $m_{eff2} = m_2 - m_{w2} = m_2 - q_2 \phi / 3c^2 = m_2 - q_2 Q / 12\pi\epsilon_0 Rc^2$  die effektive träge Masse des Teilchens 2 ist.

Die Bewegungsgleichung für die Sphäre ist gegeben mit  $\vec{F}_{1s} + \vec{F}_{2s} = M \vec{A}$ . Unter Benutzung der Gleichung (2) führt das zu:

$$-m_{w1} \vec{a}_1 - m_{w2} \vec{a}_2 = M_{effs} \vec{A} , \quad (6)$$

worin  $M_{effs} = M - m_{w1} - m_{w2}$  die effektive träge Masse der Sphäre ist.

Die effektive träge Masse des Testteilchens 1 kann positiv oder negativ sein, abhängig vom Vorzeichen von  $q_1 Q$  und auch in Abhängigkeit von der Größe des elektrostatischen Potentials der umgebenden Sphäre. Die kritische Bedingung, bei der die effektive träge Masse zu Null wird, ist gekennzeichnet durch  $m_1 = m_{w1} = q_1 \phi / 3c^2$ .

Die Testladung kann sich so verhalten, als ob sie eine negative effektive träge Masse  $m_{eff1} < 0$  hätte, sofern ihre Ladung dasselbe Vorzeichen hat wie die Sphäre und wenn die Größe des elektrostatischen Potentials  $\phi$  der Sphäre die folgende Bedingung erfüllt:

$$\left. \begin{aligned} \phi &> 3m_1c^2/q_1, & \text{wenn } q_1 > 0 \\ \phi &< 3m_1c^2/q_1, & \text{wenn } q_1 < 0 \end{aligned} \right\}. \quad (7)$$

Zum Beispiel, wenn die Sphäre negativ geladen ist, wird sich ein freies Elektron, das sich im Inneren der Sphäre befindet, so verhalten, als hätte es eine negativ wirkende träge Masse, sofern die Sphäre mit einem Potential geladen ist, dessen Größe mehr als 1,5 MV beträgt. Andererseits wird sich ein Proton dann wie eine negative effektive Masse verhalten, wenn die Sphäre mit einem positiven Potential größer als 2,8 GV aufgeladen ist.

Durch Lösen der Gleichungen (3), (5) und (6) finden wir:

$$\vec{a}_1 = \frac{(m_2 M_{\text{effs}} - M m_{w2}) \vec{F}_{21}}{m_1 m_2 M_{\text{effs}} + m_1 m_{w2} (m_{w1} - M) + m_2 m_{w1} (m_{w2} - M) + M m_{w1} m_{w2}} \quad (8)$$

$$\vec{a}_2 = \frac{(M m_{w1} - m_1 M_{\text{effs}}) \vec{F}_{21}}{m_1 m_2 M_{\text{effs}} + m_1 m_{w2} (m_{w1} - M) + m_2 m_{w1} (m_{w2} - M) + M m_{w1} m_{w2}} \quad (9)$$

und

$$\vec{A} = \frac{(m_1 m_{w2} - m_2 m_{w1}) \vec{F}_{21}}{m_1 m_2 M_{\text{effs}} + m_1 m_{w2} (m_{w1} - M) + m_2 m_{w1} (m_{w2} - M) + M m_{w1} m_{w2}} \quad (10)$$

Aus den Gleichungen (8) bis (10) beziehen wir im einfachsten Fall, wenn  $Q = 0$  und  $\phi = 0$  ist, die herkömmlichen Ergebnisse  $\vec{a}_1 = \vec{F}_{21}/m_1$ ,  $\vec{a}_2 = -\vec{F}_{21}/m_2$  und  $\vec{A} = \vec{0}$ .

Wie üblich kann man im Allgemeinen den Ort  $\vec{r}_{CM}$  des Massenzentrums des Systems, gebildet von Teilchen 1, Teilchen 2 und der Sphäre, durch  $\vec{r}_{CM} = (m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2 + M \vec{r}_s) / (m_1 + m_2 + M)$  definieren, wobei  $\vec{r}_s$  die Position des Zentrums der Sphäre relativ zum Nullpunkt des Bezugssystems S ist. Aus Gleichungen (8) bis (10) folgt im Allgemeinen mit beliebigen Werten von  $m_1$ ,  $m_2$  und  $M$ , daß:

$$\frac{d^2 \vec{r}_{CM}}{dt^2} = \frac{m_1 \vec{a}_1 + m_2 \vec{a}_2 + M \vec{A}}{m_1 + m_2 + M} = \vec{0}. \quad (11)$$

Diese Gleichung zeigt anschaulich, daß das Massenzentrum des gesamten Systems relativ zum trägen Bezugssystem nicht beschleunigt, wenn nur seine inneren Kräfte betrachtet werden.

Im speziellen Falle, in dem  $M \gg (m_1 + m_2)$  erhalten wir aus den Gleichungen (8) bis (10), daß  $M_{\text{effs}} \approx M$  und  $m_1 m_2 M_{\text{effs}} + m_1 m_{w2} (m_{w1} - M) + m_2 m_{w1} (m_{w2} - M) + M m_{w1} m_{w2} \approx M m_{\text{eff1}} m_{\text{eff2}}$ .

Deshalb sind:

$$\vec{a}_1 \approx \frac{\vec{F}_{21}}{m_{\text{eff1}}}, \quad (12)$$

$$\vec{a}_2 \approx -\frac{\vec{F}_{21}}{m_{\text{eff2}}}, \quad (13)$$

und

$$\vec{A} \approx \frac{m_1 m_{w2} - m_2 m_{w1}}{M m_{\text{eff1}} m_{\text{eff2}}} \vec{F}_{21}. \quad (14)$$

### 3 Experimente bezüglich einer effektiven trägen Masse als Funktion des umgebenden elektrostatischen Potentials

Mikhailov veröffentlichte ein Experiment, das zeigt, daß die effektive träge Masse eines Testteilchens linear vom elektrostatischen Potential der umgebenden Sphäre nach Gleichung (4) abhängt. Er legte eine Glimmlampe in ein Glasgefäß, das mit einer dünnen Schicht InGa beschichtet wurde, und in das ein RC-Oszillator innerhalb eines Faradayschen Käfigs untergebracht wurde.<sup>[11]</sup> Das beschichtete Glasgefäß imitiert die geladene dielektrische Sphäre, wie ursprünglich im Jahr 1993 vorgeschlagen wurde.<sup>[9]</sup> Nach Mikhailov sollte die Schwingungsperiode der Lampe direkt proportional zur effektiven Masse der Elektronen sein. In der Tat bemerkte er, daß sich die Schwingungsdauer der Lampe bis hin zu einem Faktor 3/2 veränderte, wenn er das Glasgefäß unter Spannung setzte, wie durch Gleichung (2) vorhergesagt. Junginger und Popovic wiederholten dieses Glimmlampenexperiment mit einigen Änderungen.<sup>[12]</sup> Sie verwendeten anstelle der geladenen Glaskugel eine geladene Anlage, die vollständig mit leitender Folie abgedeckt war, die wie bei Mikhailov mit InGa beschichtet war, und so einen Faradayschen Käfig bildete. Außerdem implementierten Junginger und Popovic anstelle der von Mikhailov verwendeten elektrischen Frequenzmessung der Lampe einen optischen Zähler und beobachteten dabei ein Nullergebnis. Little und Mitarbeiter führten eine ähnliche Nachbildung des Glimmlampenexperiments aus und bemerkten, daß die elektrische Messung der Frequenz der Lampe durch das Faraday-Abschirmpotential in Abhängigkeit von dem verwendeten Kopplungskondensator beeinflusst wird,<sup>[13]</sup> sie fanden ein Null-Ergebnis beim Wegfall des in Mikhailovs ursprünglichem Experiment vorhanden Koppelkondensators und dessen Ersatz durch eine nichtmetallische Glasfaserverbindung zu einem außerhalb der Metallschale befindlichen Detektor. Die Darstellung des Effektes mit dem Koppelkondensator war ähnlich einer Parabel, bei der die Polarität des angelegten Potentials gleichgültig war, anstatt der linearen Beziehung, die Mikhailov festgestellt hatte.

In einem zweiten, unabhängigen Experiment ersetzt Mikhailov die Glimmlampe durch einen Barkhausen-Kurz-Generator, der zu ähnlichen Ergebnissen führt und den Effekt mit dem richtigen Vorzeichen und der Größenordnung des Wertes anzeigt, wie durch Webers Elektrodynamik vorhergesagt wurde.<sup>[14]</sup>

Schließlich wurde das erste Glimmlampenexperiment mit zwei geladenen konzentrischen Sphären wiederholt und gezeigt, daß der Frequenz-Masse-Effekt beim Aufladen der ersten (inneren) Sphäre durch entgegengesetztes Aufladen der Außensphäre ausgeglichen werden kann.<sup>[15]</sup> Einmal mehr deckte sich das Ergebnis dieses dritten Versuchs mit den Vorhersagen in Webers Elektrodynamik.

## 4 Anwendungen für die Kernfusion und Selbstbeschleunigung

### 4.1 Kernfusion durch Wechselwirkung zwischen Ladungen mit gleichem Vorzeichen

Wenn dieser Effekt einer negativen effektiven trägen Masse wirklich existiert, dann könnte dies zu einem neuen Konzept führen, um eine Kernfusion auszulösen. Wir betrachten zunächst, wie es möglich sein könnte, eine Kollision zwischen zwei elektrischen Teilchen mit Ladungen gleichen Vorzeichens zu induzieren.

Betrachten wir zwei Teilchen 1 und 2. Wir stellen wie üblich jedes von ihnen dar durch die träge Masse  $m_1 = m_2 = m$  und die elektrische Ladung  $q_1 = q_2 = q$ . Deshalb ist  $m_{w1} = m_{w2} = m_w = q\phi/3c^2$  und  $m_{eff1} = m_{eff2} = m - m_w = m - q\phi/3c^2$ . Wir werden annehmen, daß sie anfänglich zueinander in Ruhe sind und auch in Ruhe zum trägen Bezugssystem  $S$ . Wenn beide Teilchen die Gleichung (7) erfüllen, so haben wir  $qQ > 0, m_{w1} > m > 0, m_{w2} > m > 0, m_{eff1} < 0$  und  $m_{eff2} < 0$ .

Nach Gleichungen (8) bis (10) mit  $M \gg (m_1 + m_2)$  haben wir dann  $m_1 m_2 M_{effs} + m_1 m_{w2} (m_{w1} - M) + m_2 m_{w1} (m_{w2} - M) + M m_{w1} m_{w2} > 0$ ,  $\vec{a}_1$  wird in die entgegengesetzte Richtung von  $\vec{F}_{21}$  zeigen,  $\vec{a}_2$  wird in die gleiche Richtung wie  $\vec{F}_{21}$  zeigen, während  $\vec{A} = \vec{0}$ . Deshalb werden sich die zwei gleichen Ladungen aufeinander zu bewegen wegen des

gemeinsamen Effektes der gegenseitigen elektrostatischen Abstoßungskraft und ihrem negativen Masseverhalten.

Grundsätzlich könnten sie einander so nahe kommen, daß sie miteinander kollidieren, was zu einer Freisetzung von Energie führen würde. Diese Situation ist in Bild 1 dargestellt, in der die Teilchen 1 und 2 Elektronen innerhalb einer negativ geladenen Sphäre mit einem elektrischen Potential größer als 1,5 MV sind. Bild 1 (a) stellt die Abstoßungskräfte dar, die zwischen diesen negativ geladenen Elektronen ausgeübt werden. Mit dem großen Potential der umgebenden Sphäre verhalten sie sich aber wie negative effektive träge Massen. Deshalb werden diese Abstoßungskräfte die Elektronen aufeinander zu beschleunigen, wie in Bild 1 (b) dargestellt.

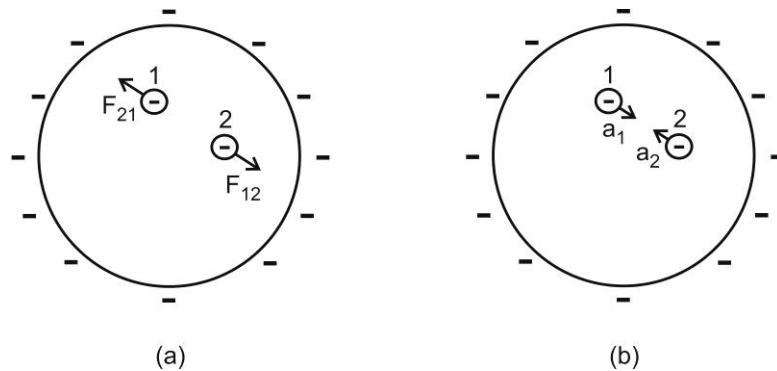


Bild 1: (a) Abstoßende Kraft auf beide Elektronen. (b) Sie beschleunigen wegen ihres negativen Masseverhaltens aufeinander zu.

Die analoge Situation für Protonen ist in Bild 2 dargestellt. Jedes Proton wird sich wie eine negative effektive träge Masse verhalten, wenn die umgebende Sphäre positiv mit einem Potential größer als 2,8 GV geladen wird. Der Wert dieses Potentials ist viel größer als der Betrag des negativen Potentials in welchem ein Elektron sich wie eine negative Masse verhält. Aus diesem Grund gibt es viel mehr Ladungen über der Kugeloberfläche von Bild 2 als der Betrag der negativen Ladungen in der Situation von Bild 1. Zwei anfangs in Ruhe befindliche Protonen innerhalb der Sphäre stoßen einander ab, Bild 2 (a). Wenn das Potential der Hülle Gleichung (7) erfüllt, verhalten sich die Protonen, als hätten sie eine negative Masse und bewegen sich wegen ihrer Abstoßungskräfte in Richtung auf einander zu, wie in Bild 2 (b) dargestellt.

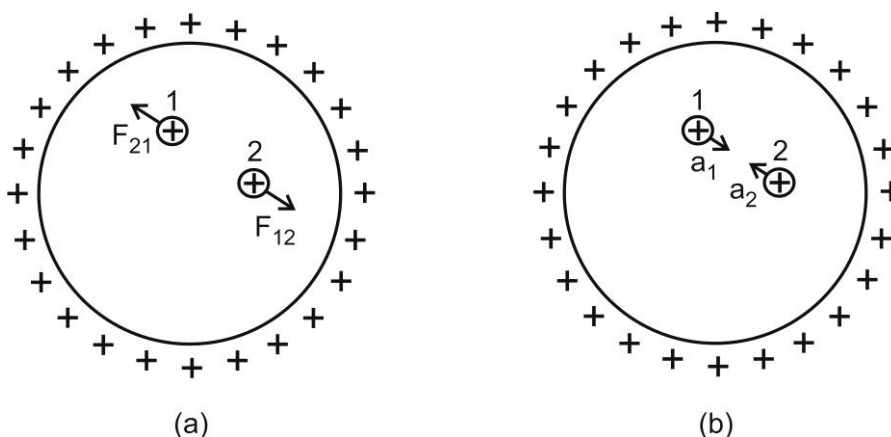


Bild 2: (a) Abstoßende Kraft auf beide Protonen. (b) Sie beschleunigen wegen ihres negativen Masseverhaltens aufeinander zu.

Eine weitere interessante Situation kann eintreten, wenn die beiden gleichen Ladungen sich nicht direkt aufeinander zubewegen, so daß jede von ihnen eine Geschwindigkeit relativ zu einem trägen Bezugssystem hat, die senkrecht zur Verbindungslinie gerichtet ist. In der normalen Newtonschen Theorie können dies zwei Sterne sein, die einander umkreisen und Kreisbahnen relativ zum Bezugssystem der Fixsterne beschreiben. Dies wird geschehen, wenn ihre Gravitationskraft im Gleichgewicht ist mit den Massen der jeweiligen Sterne multiplizierte mit der Zentripetalbeschleunigung auf ihrer Kreisbahn. Genauso können zwei Ladungen mit dem gleichen

Vorzeichen, die sich in einer elektrisch geladenen Sphäre mit einem Potential, das der Gleichung (7) genügt, bewegen, Kreisbahnen um ihren gemeinsamen Schwerpunkt beschreiben. Betrachten wir beispielsweise zwei Elektronen innerhalb einer Sphäre, die auf ein Potential von  $-3MV$  elektrisch geladen ist. Jedes Elektron der Ladung  $q < 0$  würde sich verhalten, als hätte es eine negative effektive träge Masse  $m_{\text{eff}} = -m_e$  derselben Größe wie ihre normalen positiven Massen  $m_e$ . In diesem Fall werden sie Kreisbahnen, mit dem Radius  $r$  umeinander beschreiben, da die Tangentialgeschwindigkeit  $v$  jedes Teilchens die folgende Bedingung erfüllt:

$$\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0(2r)^2} = m_e \frac{v^2}{r} = m_e \omega^2 r, \quad (15)$$

worin  $\omega = v/r$  die Winkelgeschwindigkeit jedes Elektrons relativ zu einem trägen Bezugssystem ist.

Das heißt, dieser Aufbau ermöglicht die Herstellung eines verbundenen Systems aus zwei Ladungen mit dem gleichen Vorzeichen, die einander umkreisen. Dies wäre ähnlich einem Cooperpaar, nun aber mit der Bedingung, daß die Bildung dieses System von außen gesteuert wird, das heißt, aus der Ladungsmenge in der Sphäre.

Diese Situation ist in Bild 3 dargestellt. In (a) stellen wir die Abstoßungskräfte dar, die auf jedes Elektron wirken sowie ihre Tangentialgeschwindigkeiten. In (b) zeigen wir ihre zentripetalen Beschleunigungen aufgrund ihres negativen Massenverhaltens sowie ihre Winkelgeschwindigkeiten, mit denen sie einander umkreisen.

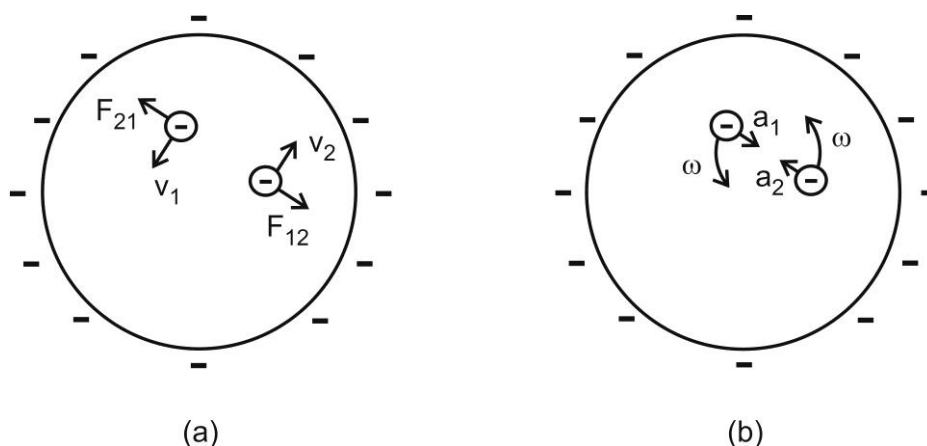


Bild 3: (a) Abstoßungskräfte, die auf beide Elektronen wirken, die eine Anfangsgeschwindigkeit senkrecht zu ihrer Verbindungslinie haben, (b) ihre zentripetalen Beschleunigungen und ihre Winkelgeschwindigkeiten  $\omega = v/r$  relativ zu einem trägen Bezugssystem.

Wenn wir drei oder mehr gleiche Teilchen im Inneren der elektrisch geladenen Sphäre haben, würde das negative Masseverhalten für alle von ihnen gelten. Das heißt, wenn ein System von gleichen Teilchen innerhalb einer geladenen Sphäre zunächst in Ruhe ist und die Gleichung (7) erfüllt ist, werden sie sich dann aufeinander zu bewegen, und im Zentrum wird es zu einer großen Kollision kommen. Nehmen wir nun an, wir haben ein Gas von gleich geladenen Teilchen, die sich aufgrund ihrer thermischen Bewegung zufällig in alle Richtungen bewegen. Durch die Aufladung der Sphäre derart, daß Gleichung (7) erfüllt ist, können diese Teilchen mehrere gebundene Systeme gleicher Ladungen hervorbringen, die einander umkreisen.

Grundsätzlich ist die Aufladung der Sphäre durch den Corona-Effekt begrenzt, der durch die Entladung in der Umgebungsluft entsteht (Zusammenbruch des Feldes bei der Größenordnung von  $3 \times 10^6 V/m$  in der Atmosphäre). Deshalb konnte dieses Potential eine Kollision zwischen zwei Elektronen oder zwischen zwei Positronen generieren, aber für Protonen müßten wir Spannungen in der Größenordnung einiger GV erreichen. In jedem Fall kann das negative Masseverhalten von Protonen mit gepulsten Hochspannungssystemen getestet werden, die solche extrem hohen elektrischen Potentiale erreichen können.<sup>[16]</sup>

## 4.2 Selbstbeschleunigung durch Trägheitsdipole

In diesem Abschnitt interessieren wir uns für etwas, das wir „Trägheitsdipol“ nennen.

Ein elektrischer Dipol wird durch eine positive und eine negative Ladung gebildet. Ein magnetischer Dipol wird von einem Nord- oder Pluspol und einem Süd- oder Minuspol gebildet. Analog nennen wir ein Trägheitsdipol ein System aus zwei Teilchen, in dem eines von ihnen eine normale positive träge Masse hat, während das andere Teilchen eine negative effektive träge Masse hat.

Robert Forward hat bereits ein solches ungewöhnliches Verhalten eines solchen Systems als mögliches Antriebssystem für Raketen erforscht, obwohl er nicht geprüft hat, wie man ein Teilchen mit negativer Masse herstellen kann.<sup>[17]</sup> Friedwardt Winterberg hat ebenfalls die Möglichkeit der Verwendung negativer Materie als erweiterte Raumfahrtantriebe erforscht.<sup>[18]</sup> Webers Elektrodynamik ist ein möglicher theoretischer Rahmen, der zeigt, wie es möglich sein könnte, Teilchen herzustellen, die sich so verhalten, als hätten sie eine negative effektive träge Masse. Weiter unten analysieren wir die Bewegung eines Trägheitsdipols unter diesen Bedingungen, wie sie zuerst im Jahr 2013 betrachtet wurden.<sup>[19]</sup>

Im Folgenden werden wir alle anderen äußeren Kräfte, die auf 1 und 2 wirken, vernachlässigen, mit Ausnahme der Kraft, die sie aufeinander ausüben, und der Kräfte, die durch die Wirkung der elektrisch geladenen Sphäre entstehen. Die Masse  $M$  der Sphäre wird immer viel größer als  $m_1 + m_2$  angenommen. Teilchen 1 und 2 werden in diesem Abschnitt als Ladungen mit entgegengesetztem Vorzeichen betrachtet werden, die sich gegenseitig anziehen. Außerdem werden sie entlang der  $x$ -Achse angeordnet angenommen, die durch den Mittelpunkt der Sphäre verläuft, mit  $x_1 < x_2$ . Deshalb ist  $\vec{r} = -\hat{x}$ , wenn  $\vec{F}_{21}$  entlang der  $x$ -Achse zeigt.

Um ein perfektes Trägheitsdipol aufzubauen, muß  $m_{eff2} = -m_{eff1}$  sein, so daß ihre effektiven trägen Massen dieselbe Größe, aber entgegengesetzte Vorzeichen haben. Nach den Gleichungen (3) und (5) ist diese Bedingung erfüllt, wann immer

$$m_1 + m_2 = \frac{(q_1 + q_2)\phi}{3c^2} \quad (16)$$

ist. Für  $m_1 + m_2 > 0$  kann diese Bedingung nur erfüllt werden, wenn  $q_1 + q_2 \neq 0$  und  $Q \neq 0$  ist.

Außerdem muß  $q_1 + q_2$  dasselbe Vorzeichen wie  $Q$  haben.

Als Beispiel wählen wir Teilchen 1 als ein Positron,  $m_1 = m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$  und  $q_1 = e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ , während Teilchen 2 die doppelte Ladung und die doppelte Masse eines Elektrons haben soll, also einem Cooper-Paar ähnelt, mit  $m_2 = 2m_e = 1,8 \times 10^{-30} \text{ kg}$  und  $q_2 = -2e = -3,2 \times 10^{-19} \text{ C}$ . Aus Gleichung (16) sehen wir, daß dieses System einen Trägheitsdipol bildet, wenn die umgebende Sphäre mit dem Potential  $\phi = 3(m_1 + m_2)c^2 / (q_1 + q_2) = -9m_e c^2 / e = -4,5 \times 10^6 \text{ V}$  geladen ist. In dieser Situation ist  $m_{w1} = -3m_e$ ,  $m_{w2} = 6m_e$ ,  $m_{eff1} = 4m_e = 3,6 \times 10^{-30} \text{ kg}$ ,  $m_{eff2} = -4m_e = -3,6 \times 10^{-30} \text{ kg} < 0$ , und  $M_{effs} = M + 3m_e \approx M$ . Deshalb haben wir  $\vec{a}_1 = \vec{a}_2 \approx \vec{F}_{21} / 4m_e$ , während  $\vec{A} \approx -3\vec{F}_{21} / 4M$ . Das bedeutet, daß beide Teilchen entlang  $\hat{x}$  nach rechts beschleunigt werden, während die Sphäre entlang  $-\hat{x}$  nach links beschleunigt wird.

Obwohl die auf Teilchen 2 wirkende Kraft  $\vec{F}_{12}$  nach links weist, wird es aufgrund seines negativen Masseverhaltens nach rechts beschleunigt. Nach Gleichung (2) ist die durch das Teilchen 1 auf die Sphäre ausgeübte Kraft mit  $\vec{F}_{1s} = 3\vec{F}_{21} / 4$  gegeben, während die von Teilchen 2 auf die Sphäre ausgeübte Kraft mit  $\vec{F}_{2s} = -3\vec{F}_{21} / 2$  gegeben ist. Bild 4 (a) stellt die Anziehungskräfte zwischen den Teilchen 1 und 2 zusammen mit den Kräften dar, die durch jedes Teilchen auf die elektrisch geladene Sphäre ausgeübt werden. Bild 4 (b) stellt die Beschleunigungen der beiden Teilchen relativ zum



trägen Bezugssystem  $S$  zusammen mit der Beschleunigung der Sphäre dar. Obwohl  $|\vec{A}| \ll |\vec{a}_1|$  ist, ist die Größe  $\vec{A}$  unverhältnismäßig groß repräsentiert, um die Tatsache zu veranschaulichen, daß sie in die entgegengesetzte Richtung von Partikeln 1 und 2, beschleunigt wird, so daß sich der Massenmittelpunkt des gesamten Systems relativ zu einem trägen Bezugssystem nicht bewegt.

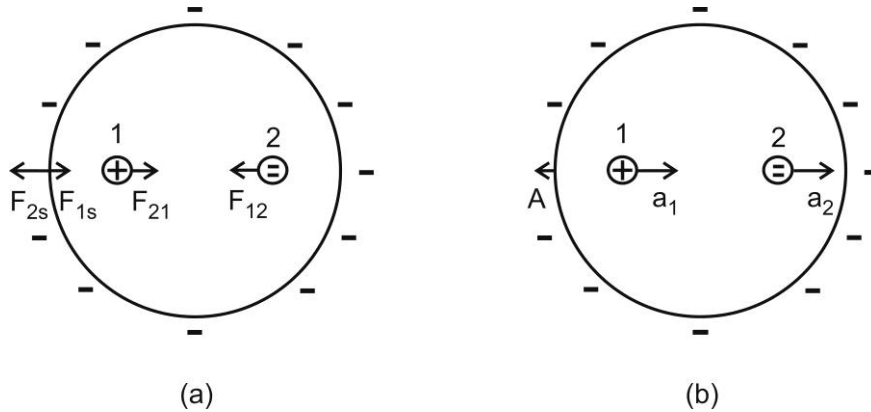


Bild 4: (a) Anziehungskräfte  $\vec{F}_{21}$  und  $\vec{F}_{12}$ , die auf die entgegengesetzt geladenen Teilchen wirken, zusammen mit den Kräften  $\vec{F}_{1s}$  und  $\vec{F}_{2s}$ , die durch jedes Teilchen auf die Sphäre ausgeübt wird. (b) Teilchen 1 und 2 werden gleichermaßen nach rechts beschleunigt, während die Sphäre nach links beschleunigt wird. Teilchen 2 verhält sich wie eine negative effektive träge Masse.

Ein weiteres Beispiel ist, wenn Teilchen 1 ein Alpha-Teilchen ist,  $m_1 = m_\alpha = 6,6 \times 10^{-27} \text{ kg}$  und  $q_1 = 2e = 3,2 \times 10^{-19} \text{ C}$ , während Teilchen 2 ein Elektron ist. Beide werden sich wie ein Trägheitsdipol verhalten, wenn die Sphäre mit einem elektrischen Potential von  $\phi = 4 \times 10^9 \text{ V}$  geladen ist. In diesem Fall sind die effektiven trägen Massen gegeben mit  $m_{\text{eff}1} = -m_\alpha / 3 = -2,2 \times 10^{-27} \text{ kg} < 0$ ,  $m_{\text{eff}2} = m_\alpha / 3 = 2,2 \times 10^{-27} \text{ kg}$  und  $M_{\text{eff}s} = M + m_\alpha / 3 \approx M$ . Deshalb ist  $\vec{a}_1 = \vec{a}_2 \approx -3\vec{F}_{21} / m_\alpha$ , während  $\vec{A} \approx 3\vec{F}_{21} / M$  ist. Das bedeutet, daß die beiden Teilchen entlang  $-\hat{x}$  nach links beschleunigt werden, während die Sphäre entlang  $\hat{x}$  nach rechts beschleunigt wird. Obwohl die auf Teilchen 1 wirkende Kraft  $\vec{F}_{21}$  nach rechts zeigt, wird es aufgrund seines negativen Masseverhaltens nach links beschleunigt werden.

Es ist auch möglich, eine allgemeinere Situation betrachten, in dem eine der effektiven trägen Massen positiv und die andere negativ ist, wenn auch nicht notwendig in der gleichen Größenordnung. Betrachten wir zum Beispiel Teilchen 1 als ein Proton,  $m_1 = m_p = 1,7 \times 10^{-27} \text{ kg}$  und  $q_1 = e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ , während Teilchen 2 ein Elektron ist. In diesem Fall ist  $m_{\text{eff}1} \approx m_p$  und  $m_{\text{eff}2} = -m_e = -9,1 \times 10^{-31} \text{ kg} < 0$ , so daß  $m_{\text{eff}1} \gg |m_{\text{eff}2}|$ . Deshalb sind  $\vec{a}_1 \approx \vec{F}_{21} / m_p$ ,  $\vec{a}_2 \approx \vec{F}_{21} / m_e$  und  $\vec{A} \approx -2\vec{F}_{21} / M$ . Dies bedeutet, daß die beiden Teilchen nach rechts beschleunigt werden, während die Sphäre nach links beschleunigt wird. Dabei ist die Beschleunigung des Teilchens 2 viel größer als die Beschleunigung des Teilchens 1.

Als Robert Forward die Situation an einem Trägheitsdipol studierte, hat er nicht untersucht, wie die negative träge Masse hergestellt werden kann. Er betrachtete nur zwei Teilchen träger Massen mit entgegengesetzten Vorzeichen. Durch das Studium ihrer Bewegung zeigte er, daß sie aufgrund ihrer gegenseitigen Anziehung zur selben Seite hin beschleunigt werden können. Die in diesem Dokument vorgestellte Analyse ergibt andererseits, daß, wenn diese Teilchen mit einer negativen effektiven trägen Masse durch Interaktion mit einer umgebenden elektrisch geladenen Sphäre erzeugt wurden, dann auch in der Analyse des Problems die Bewegung der Sphäre relativ zu einem Bezugssystem in Betracht gezogen werden muß. Es wird dann im allgemeinen Fall gezeigt, daß die Sphäre nach der anderen Seite beschleunigt wird (nach links in diesem Beispiel), obwohl die Teilchen des

Trägheitsdipols zur gleichen Seite hin beschleunigt werden (im Beispiel nach rechts). Deshalb wird das Massenzentrum des gesamten Systems (bestehend aus dem Trägheitsdipol und der Sphäre) relativ zu einem beliebigen Bezugssystem nicht beschleunigt werden, was im Einklang mit dem Impulserhaltungssatz steht.

Deshalb ist es nicht möglich, das gesamte System (zwei gegenpolig geladene Teilchen und die umgebende Sphäre) als ein geeignetes Antriebssystem für eine Rakete zu betrachten, wenn sich das gesamte System im Inneren der Rakete befindet. Die einzige Möglichkeit, die negative Massenwirkung für ein Antriebssystem zu benutzen, wäre die elektrische Sphäre als starr mit der Rakete verbunden anzusehen, damit die internen Testteilchen gemäß der heutigen Raketentechnik wie normaler Treibstoff aus der Rakete ausgeworfen würden. Damit würden, wenn die internen Teilchen aus der Rakete in einer Richtung ausgeworfen werden, die Rakete und die elektrische Sphäre in die Gegenrichtung beschleunigt.

Nach unserem Wissen wurde die erste experimentelle Beobachtung für optische Antriebe, die ein Trägheitsdipol mit zwei Teilchen entgegengesetzter Massen simulieren, welche in dieselbe Richtung beschleunigt werden, kürzlich von Wimmer und Mitarbeitern gemacht, wenngleich sie nur mit Photonen funktionierten.<sup>[20]</sup> Dieser Effekt wurde "diametric drive acceleration" (diametrische Bewegungsbeschleunigung) genannt. Webers Elektrodynamik eröffnet eine allgemeine Methode, die Effekte mit geladenen Teilchen zu studieren. Die Demonstration von Wimmer und Mitarbeitern eröffnet neue Möglichkeiten, nicht nur für die Frequenzumwandlungen und Puls-Lenk-Anwendungen, wie erwähnt wurde, sondern auch für die zukünftige Entwicklung von neuen Antriebssystemen.<sup>[19, 21]</sup>

### **Danksagung**

Einer der Autoren (AKTA) hat den Wunsch, der deutschen Alexander-von-Humboldt-Stiftung und Faepex-Unicamp, Brasilien, für die finanzielle Unterstützung zu danken.

## Literatur:

- [1] G. A. Landis. Comment on 'Negative matter propulsion'. *Journal of Propulsion and Power*, 7:304, 1991. DOI: 10.2514/3.23327.
- [2] A. Zeilinger, C. G. Shull, M. A. Horne and K. D. Finkelstein. Effective mass of neutrons diffracting in crystals. *Physical Review Letters*, 57:3089-3092, 1986.
- [3] K. Raum, M. Koellner, A. Zeilinger, M. Arif, and R. Gähler. Effective-mass enhanced deflection of neutrons in noninertial frames. *Physical Review Letters*, 74:2859-2862, 1995.
- [4] K. Raum, M. Weber, R. Gähler, and A. Zeilinger. Gravity and inertia in neutron crystal optics and VCN interferometry. *Journal of the Physical Society of Japan*, 65:277-280, 1996.
- [5] W. Kuehn, P. Gaal, K. Reimann, M. Woerner, R. Elsaesser, and R. Hey. Coherent ballistic motion of electrons in a periodic potential. *Physical Review Letters*, 104:146602, 2010. Doi: 10.1103/PhysRevLett.104.146602.
- [6] S. Yao, X. Zhou, and G. Hu. Experimental study on negative effective mass in a 1D mass-spring system. *New Journal of Physics*, 10:043020, 2008. DOI: 10.1088/1367-2630/10/4/043020.
- [7] D. Strasser, O. Heber, S. Goldberg, and D. Zajfman. Self-bunching induced by negative effective mass instability in an electrostatic ion beam trap. *Journal of Physics B*, 36:953-959, 2003.
- [8] A. K. T. Assis. *Weber's Electrodynamics*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1994. ISBN: 0792331370.
- [9] A. K. T. Assis. Changing the inertial mass of a charged particle. *Journal of the Physical Society of Japan*, 62:1418-1422, 1993.
- [10] A. K. T. Assis. *Relational Mechanics and Implementation of Mach's Principle with Weber's Gravitational Force*. Apeiron, Montreal, 2014. ISBN: 978-0-9920456-3-0. Available at: <http://www.ifi.unicamp.br/~assis>.
- [11] V. F. Mikhailov. The action of an electrostatic potential on the electron mass. *Annales de la Fondation Louis de Broglie*, 24:161-169, 1999.
- [12] J. E. Junginger and Z. D. Popovic. An experimental investigation of the influence of an electrostatic potential on electron mass as predicted by Weber's force law. *Canadian Journal of Physics*, 82:731-735, 2004.
- [13] S. Little, H. Puthoff and M. Ibison, "Investigation of Weber's electrodynamics," internal report, 2001. URL: <http://exvacuo.free.fr/div/Sciences/Dossiers/EM/Charges/> [Cited 09 April 2014].

- [14] V. F. Mikhailov. Influence of an electrostatic potential on the inertial electron mass. *Annales de la Fondation Louis de Broglie*, 26:33-38, 2001.
- [15] V. F. Mikhailov. Influence of a field-less electrostatic potential on the inertial electron mass. *Annales de la Fondation Louis de Broglie*. 28:231-236, 2003.
- [16] F. Winterberg. Ignition of a deuterium micro-detonation with a gigavolt super marx generator. *Journal of Fusion Energy*, 28:290-295, 2009. DOI: 10.1007/s10894-008-9189-3.
- [17] R. L. Forward. Negative matter propulsion. *Journal of Propulsion and Power*, 6:28-37, 1990.
- [18] F. Winterberg. Negative mass propulsion. *Journal of the British Interplanetary Society*, 64:3-16, 2011.
- [19] M. Tajmar, Propellantless propulsion with negative matter generated by electric charges, AIAA Joint Propulsion Conference, AIAA-2013-3913 (2013).
- [20] M. Wimmer *et al.* Optical diametric drive acceleration through action-reaction symmetry breaking. *Nature Physics Letters*, 2013. DOI: 10.1038/NPHYS2777.
- [21] M. Tajmar. *Advanced Space Propulsion Systems*. Springer, Wien, 2003.