

# Die „Neuen Magdeburger Versuche über den leeren Raum“

Otto von Guericke's Weg zur Lehre vom Luftdruck

Peter Streitenberger und Ditmar Schneider

Otto von Guericke (1602–1686) gehört zweifellos zu den großen Erneuerern der Naturwissenschaft im 17. Jahrhundert. Seine Vakuumpumpe zählt neben Teleskop, Mikroskop, Pendeluhr und Barometer zu den großen Erfindungen dieser Zeit. Berühmt wurde der vor 400 Jahren geborene Forscher vor allem durch seine handfesten und augenscheinlichen Vakuumexperimente, mit denen er dem interessierten Publikum auf eindrucksvolle Weise die Wirkungen des atmosphärischen Luftdrucks demonstrierte. Viele seiner Experimente, von denen der mit den Magdeburger Halbkugeln weltweit zu den bekanntesten gehört, üben auch heute noch eine große Faszination auf den Betrachter aus (Abb. 1). Weniger bekannt sind dagegen Guericke's physikalisch-interpretatorischen Leistungen, ohne die er nicht unabhängig und selbstständig zur Lehre vom Luftdruck gelangt wäre. Die Tatsache nämlich, dass die mit seinen Versuchen demonstrierten Kraftwirkungen eine Folge des Schweredruckes der Luft hülle der Erde sind, mag dem heutigen Betrachter als eine Selbstverständlichkeit erscheinen, für die Menschen in der Mitte des 17. Jahrhunderts war dies keineswegs der Fall. Im Gegenteil, derartige Vorführungen schienen zunächst sogar die damals vorherrschende aristotelische Lehrmeinung vom *horror vacui*, der so genannten Abscheu der Natur vor der Leere, zu bestätigen.

Viele Peripatetiker, die Vertreter der aristotelischen Schulphilosophie, verstanden unter dem Begriff des *horror vacui* damals schon nicht mehr eine übernatürliche Wesenheit, sondern ein „imaginäres Band der Natur“, eine Art von innerer Zusammenhaltkraft der Körper. Diese sollte bei Annäherung an die absolute Leere, zum Beispiel bei zunehmender Verdünnung der Luft in einem Gefäß, unüberwindbar werden und so die Entstehung eines leeren Raumes letztendlich verhindern. So wie man eine obere Grenze der Zusammendrückbarkeit von

Luft annahm, postulierte man auch eine untere Grenze ihrer Verdünnbarkeit. Denn im Rahmen der peripatetischen Philosophie führte die Existenz eines leeren Raumes zu logischen Widersprüchen und war deshalb kein erlaubter Zustand der Natur.

Die grundlegende Erkenntnis, dass es einen Schweredruck der umgebenden Luft gibt und dieser bei der Erzeugung der Leere überwunden werden muss, hatte vor Guericke schon Galileis Schüler Evangelista Torricelli (1608–1647) bei seiner Erfindung des Quecksilberbarometers im Jahre 1643, der Torricelli-Röhre, vermutet und Blaise Pascal (1623–1662) in den Jahren 1646 bis 1648 durch systematische Experimente mit der Torricelli-Röhre nachgewiesen. Die meisten von Pascals Abhandlungen und Briefen, insbesondere seine beiden für die Begriffsbildung und Axiomatik der Hydrostatik der Fluide so wichtigen Abhandlungen über „Das Gleichgewicht von Flüssigkeiten“ und „Das Gewicht der Masse der Luft“, sind aber erst 1663 nach Pascals frühem Tode erschienen, sodass Guericke Mitte der fünfziger Jahre des 17. Jahrhunderts keine Kenntnis davon haben konnte. Guericke erfuhr nach eigenem Bekunden von Torricellis Experiment mit der Quecksilbersäule erstmals auf dem Regensburger Reichstag 1654 durch den Kapuzinerpater Valerian Magni (1587–1668), der selbst Versuche machte und darüber publizierte.

Guericke's Weg zum Vakuum unterschied sich schon vom experimentellen Ansatz her so grundlegend von den Versuchen Torricellis, Magnis und Pascals, dass allein schon die Herstellung eines physikalischen Zusammenhanges zwischen diesen beiden so verschiedenen experimentellen Zugängen zur Vakuumproblematik eine nicht zu überschätzende Erkenntnisleistung darstellt. Bei Guericke äußerte sich der *horror vacui*, anders als bei der Torricelli-Röhre, in Form von Kräften, die am Kolben seiner Luftpumpe angriffen. Ihm musste bald klar gewesen sein, dass der zu überwin-

dende Widerstand nicht im Innern der Pumpe oder Gefäße liegt, sondern dass die Überwindung dessen, was dann bald als äußerer Luftdruck erkannt und mehr und mehr zum Gegenstand der Untersuchung wurde, das entscheidende Problem ist. So konnte er auch schon kurze Zeit nach Regensburg die wahren Ursachen für die Höhe der



Flüssigkeitssäulen in den Torricelli-Magni-Pascal-Experimenten erkennen und mit den eigenen Beobachtungen in Zusammenhang bringen.

Die Entwicklung von Guericke's Ideen und Experimenten im Zeitraum von etwa 1654 bis 1663 kann man seinen Briefen an den Jesuitenpater und Professor für Mathematik in Würzburg Caspar Schott entnehmen, die dieser zusammen mit genauen Beschreibungen von Guericke's Experimenten in seinen Büchern „Mechanica Hydraulico-Pneumatica“ von 1657 und „Technica Curiosa“ von 1664 veröffentlicht hat. Denn Guericke's eigenes Werk „Experimenta Nova Magdeburgica de Vacuo Spatio“ erschien erst 1672, lange nachdem schon andere wichtige Arbeiten, die zum Teil schon auf Guericke's Untersuchungen aufbauten, erschienen waren. Vermittelt durch seinen Briefwechsel mit Schott befand sich Guericke nach den ersten öffentlichen Demonstrationen seiner Vakuumexperimente 1654 in Regensburg im Brennpunkt einer wissenschaftlichen Debatte über das Vakuum, in der er sich nun mit den ausgefeilten Argumenten der Peripatetiker auseinandersetzen musste. Unter dem

**Abb. 1:** Eine der vielen Wiederholungen des historischen Versuchs mit den Magdeburger Halbkugeln durch die Otto-von-Guericke-Gesellschaft e. V.

Dr. Peter Streitenberger, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Fakultät für Naturwissenschaften, Institut für Experimentelle Physik, Postfach 4120, 39016 Magdeburg; Dr. Ditmar Schneider, Otto-von-Guericke-Gesellschaft e.V. Magdeburg, Guericke-Forschungsarchiv, Zschokkestraße 32, 39104 Magdeburg

Zwang dieser Auseinandersetzung entwickelte Guericke immer subtilere Experimente und theoretische Argumente als Beweise für die Existenz des Vakuums und die Wirkungen des Luftdrucks.

So kann Guericke spätestens seit 1656 die physikalische Wirkungsweise des Luftpumpens mit einem



**Abb. 2:** Titelkupfer von Guericke's Hauptwerk aus dem Jahre 1672 mit der Barometerprobe (oben links), den Magdeburger Halbkugeln (oben rechts), einer Vakuumluftpumpe (unten links), kleinem und großem Rezipienten (unten rechts) und dem „hydraulisch-pneumatischen Gerät“ (Mitte)

„natürlichen Expansionsbestreben“ der Luft erklären und auf dieser Grundlage seine Pumpenkonstruktion verbessern. Er ermittelt mit Hilfe eines Wasserbarometers den Luftdruck zu „19 bis 20 Ellen“ Höhe einer Wassersäule. Im Unterschied zum Verfahren nach Torricelli-Magni-Pascal, das auf dem Absinken und anschließendem Hängenbleiben der Flüssigkeitssäule innerhalb einer vorher vollständig mit Flüssigkeit gefüllten und anschließend vertikal aufgerichteten Röhre basiert, kann Guericke die Flüssigkeit in einer luftleer gepumpten Röhre aufsteigen lassen. Aus den beobachteten Schwankungen der Höhe der Wassersäule und somit des Luftdrucks schließt er auf eine endliche vertikale Erstreckung der Atmosphäre und auf einen leeren Raum darüber.

Seit 1656 kann Guericke die Druckkräfte auf Pumpenkolben und Halbkugeln auch berechnen, indem er die Gesetze der Hydrostatik von Flüssigkeiten in der auf den Holländer Simon Stevin (1548–1620) zurückgehenden Formulierung (die er seit seinem Studium der Festungsbaukunst 1623/24 in Leiden kennt) auf Luft überträgt. 1657 lässt er in Magdeburg erstmals bis zu 12 Pferde vor zusammgelegte und eva-

kuierte Halbkugeln spannen. Die großen Magdeburger Halbkugeln lässt er 1661 fertigen und mit 16 oder 20 Pferden auseinander ziehen. Er unterscheidet zwischen Druck und Druckkraft und wendet das Prinzip der allseitigen Druckausbreitung zur Erklärung der Kraftwirkungen auf von Luft umspülte Körper wie die Halbkugeln an. Guericke überprüft diese Zusammenhänge quantitativ, indem er die zusammgelegten luftleeren Halbkugeln aufhängt, die für deren Trennung erforderliche Gewichtskraft misst und mit dem aus der Druckhöhe der Luft von ca. 10 m Wassersäule resultierenden theoretischen Wert vergleicht. Richtigerweise setzt Guericke dabei die Querschnittsfläche der Halbkugeln in das Verhältnis zur Basisfläche seiner zylindrischen Luftsäule und trägt somit dem Prinzip Rechnung, wonach die in einer vorgegebenen Richtung wirkende Kraft eines ruhenden Fluides auf die Kugeloberfläche gleich derjenigen ist, welche die Projektion der gekrümmten Fläche auf die zur angenommene Richtung normale Ebene erleidet. Dass ihm die zugrunde liegenden physikalischen Gesetze bewusst sind, zeigt er auch bei der Dimensionierung des Zylinders seiner Hebe- und Senkmaschine, mit der er die aktive Rolle des Luftdrucks demonstriert.

Ebenso ist Guericke mit dem Gegenwirkungsprinzip vertraut. So lässt er die berechnete Druckkraft der Luft paarweise und entgegengesetzt auf die evakuierten Halbkugeln wirken und schreibt im 23. Kapitel des 3. Buches der „Experimenta Nova Magdeburgica“: „Man findet also dort als Gewicht dieser Luftsäule 2.686 oder 2.687 Pfund, und mithin presst der Luftdruck die eine Halbkugel mit einem Gewicht von 2.686 Pfund gegen die andere. Mit gleichem Gewicht drückt die andere ihrerseits dagegen, so dass 8 Pferde, wenn sie abreißen, einen Zug von 2.686 Pfund aushalten oder ausüben. Die übrigen 8 üben auf der anderen Seite an der zweiten Halbkugel einen gleich großen Gegenzug aus.“ Hieraus schlussfolgert er, dass im Falle der an einem Galgen aufgehängten evakuierten Halbkugeln die untere von der oberen ebenfalls durch dieses Gewicht von 2.686 Pfund abgerissen wird.

Höhepunkte der Versuchs- und Geräteentwicklung Guericke's zum Luftdruck sind ein aus heutiger Sicht als Barometerprobe zu be-

zeichnendes Gerät zum Nachweis der Güte des mit seiner Pumpe erzeugten Vakuums sowie ein „hydraulisch-pneumatisches Gerät“, mit dem er grundlegende Versuche zum mechanischen Gleichgewicht von Wasser und Luft durchführt (Abb. 2). Beide Geräte sind um 1661 entstanden und stellen dem Prinzip nach verkürzte Wasserbarometer oder Manometer dar, die den verminderten Druck einer gegenüber der Außenluft isolierten und verdünnten Luftmenge anzeigen. Spätestens hier ist Guericke gezwungen, deutlich zwischen Druck aufgrund des Expansionsbestrebens und Gewicht der Luft zu unterscheiden. Diese Versuche kann man in eine Reihe mit dem berühmten Vakuum-in-Vakuum-Versuch von Pascal stellen, bei dem mittels zweier ineinander gesetzter Torricelli-Röhren das Absinken einer Quecksilbersäule im Vakuum demonstriert wird. Während sich jedoch Pascal 1648 dabei noch mit den begrenzten Möglichkeiten der Torricelli-Röhre begnügen musste, können Guericke und insbesondere dann Boyle und Huygens die Möglichkeiten der Guericke'schen Vakuumluftpumpe nutzen.

So wie der Versuch mit den Magdeburger Halbkugeln und den 16 Pferden derjenige mit der größten Popularität ist, so sind für Guericke die mit dem „hydraulisch-pneumatischen Gerät“ durchgeführten Versuche offenbar diejenigen mit der größten wissenschaftlichen Bedeutung. Denn während die Versuche mit diesem Gerät historisch erst am Ende eines langen Entwicklungsweges liegen, stellt er diese in seinem Werk von 1672 im 17. und 18. Kapitel des 3. Buches nun an den Anfang seiner Experimente zu den Wirkungen des Luftdrucks. Konsequenterweise hat daher Guericke gerade dieses Gerät in das Zentrum des Titelkupfers seines Hauptwerkes gesetzt (Abb. 2).<sup>1)</sup>

\*

Funktionsfähige Nachbauten dieser und anderer Versuche Guericke's einschließlich seiner Vakuumluftpumpen können in ihrem physikgeschichtlichen Kontext in dem von der Otto-von-Guericke-Gesellschaft e. V.<sup>2)</sup> wissenschaftlich betreuten Otto-von-Guericke-Museum Lukasklausen in Magdeburg besichtigt werden.

1) Für eine ausführliche Darstellung mit Literaturangaben siehe P. Streitenberger, D. Schneider, Otto von Guericke und die Begründung der Lehre vom Luftdruck, Vakuum in Forschung und Praxis 14 (2002), Nr. 6

2) <http://www.uni-magdeburg.de/org/ovgg/>; hingewiesen sei auch auf die noch bis 5. Januar 2003 dauernde Guericke-Ausstellung im Magdeburger Kulturhistorischen Museum: <http://www.ottovonguericke-ausstellung.de/>