



# **Ökonomische und energetische Potentiale des Luftdrucks als alternatives Antriebsmedium**

Diplomarbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades  
Magister rerum socialium oeconomicarumque  
Magister der Sozial- und Wirtschaftswissenschaften  
im Studienzweig Umweltsystemwissenschaften

eingereicht bei

O. Univ.- Prof. DI Dr. Stefan P. Schleicher  
Institut für Volkswirtschaftslehre  
an der Karl- Franzens- Universität Graz  
von

Lothar Hofer

Graz, März 2006

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1. EINLEITUNG</b> .....	1
<b>2. DIE ENTSTEHUNG DES LUFTDRUCKS</b> .....	5
<b>2.1. DIE ATMOSPHÄRE</b> .....	5
<b>2.2. DER LUFTDRUCK</b> .....	6
<b>3. DIE ENTDECKUNG DES LUFTDRUCKS</b> .....	9
<b>3.1. GASPARO BERTI</b> .....	10
<b>3.2. OTTO VON GUERICKE</b> .....	11
<b>3.3. EVANGELISTA TORRICELLI</b> .....	14
<b>4. DER BAROMETER</b> .....	17
<b>4.1. BAROMETERARTEN</b> .....	17
<b>5. NUTZUNG DES LUFTDRUCKS FÜR DEN ANTRIEB VON UHREN</b> .....	19
<b>5.1. DIE ERSTEN DURCH LUFTDRUCK BETRIEBENEN UHREN</b> .....	19
<b>6. FRIEDRICH RITTER VON LÖSSL</b> .....	21
<b>6.1. DIE AUTODYNAMISCHE UHR VON FRIEDRICH RITTER VON LÖSSL</b> .....	28
<b>6.1.1. Funktionsweise der autodynamischen Uhr</b> .....	31
<b>6.2. HAUPTBESTANDTEILE DER AUTODYNAMISCHEN UHR</b> .....	33
<b>6.2.1. Das Antriebswerk</b> .....	33
<b>6.2.2. Das Ventil</b> .....	36
<b>6.2.3. Das Aufzugswerk</b> .....	37
<b>6.2.4. Das Laufwerk</b> .....	38
<b>6.2.5. Das Pendelwerk</b> .....	39
<b>6.3. DAS ENDE DER LÖSSL-UHR</b> .....	41
<b>6.4. DIE LÖSSL-UHR, EIN PHYSIKALISCHES PERPETUUM MOBILE</b> .....	43
<b>6.5. LÖSSL'S POTENTIALE FÜR DIE ZUKUNFT</b> .....	46
<b>7. DIE ATMOS<sup>®</sup>-UHR</b> .....	47

<b>8. POTENTIALE DES LUFTDRUCKS FÜR ALTERNATIVENERGIEN .....</b>	<b>49</b>
<b>8.1. ALTERNATIVE ENERGIEFORMEN.....</b>	<b>50</b>
<b>8.2. WINDENERGIE.....</b>	<b>51</b>
<b>8.3. SONNENENERGIE .....</b>	<b>52</b>
8.3.1. Solartechnologie.....	53
8.3.2. Photovoltaik.....	54
8.3.3. Unkonventionelle Photovoltaiktechnologie .....	54
8.3.4. Hochvakuum-Solarkollektoren .....	55
8.3.5. Luftwärmekollektoren .....	56
<b>9. DIE WÄRMEPUMPE .....</b>	<b>57</b>
<b>9.1. GESCHICHTE DER WÄRMEPUMPE.....</b>	<b>58</b>
<b>9.2. ALLGEMEINE FUNKTIONSWEISE EINER WÄRMEPUMPE.....</b>	<b>59</b>
<b>9.3. ÖKONOMIE DER WÄRMEPUMPE.....</b>	<b>61</b>
<b>9.4. NEUE MÖGLICHKEITEN FÜR DIE WÄRMEPUMPENTECHNOLOGIE .....</b>	<b>61</b>
<b>9.5. DIE HOCHDRUCKWÄRMEPUMPE .....</b>	<b>64</b>
9.5.1. Peter Bammers Luftdruckauto .....	66
<b>10. DAS LUFTAUTO VON GUY NÈGRE.....</b>	<b>69</b>
<b>10.1. FUNKTIONSWEISE UND HAUPTBESTANDTEILE DES AIRCAR.....</b>	<b>69</b>
10.1.1. Der Luftdruckmotor .....	70
10.1.2. Der Luftfilter .....	71
10.1.3. Die Luftdrucktanks .....	71
10.1.4. Das Wiederaufladen der Tanks.....	72
10.1.5. Die Karosserie .....	73
10.1.6. Die Elektronik .....	73
<b>10.2. WIRTSCHAFTLICHKEIT UND VERBRAUCH .....</b>	<b>73</b>
<b>10.3. VERSCHIEDENE MODELLE DES AIRCARS.....</b>	<b>74</b>
<b>10.4. LIZENZVERGABEN .....</b>	<b>75</b>
<b>10.5. ZIELE UND VISIONEN VON MDI .....</b>	<b>77</b>
<b>10.6. UMWELTVERTRÄGLICHKEIT DES AIRCAR.....</b>	<b>77</b>
<b>11. AP TECHNOLOGIES CORPORATION.....</b>	<b>81</b>
<b>11.1. AP TECHNOLOGIE.....</b>	<b>81</b>
<b>11.2. APT PROTOTYPEN UND ERSTES SERIENMODELL .....</b>	<b>82</b>
11.2.1. Einsatz einer SOFC Brennstoffzelle .....	83
11.2.2. Prototyp APT Stickstoff Gokart .....	84

<b>12. STATIONÄRE ENERGIESYSTEME .....</b>	<b>85</b>
<b>12.1. DIE ENTWICKLUNG DES STIRLINGMOTORS.....</b>	<b>85</b>
<b>12.2. FUNKTION DES STIRLINGMOTORS.....</b>	<b>88</b>
<b>12.3. WEITERE ANWENDUNGSBEREICHE VON STIRLINGMASCHINEN.....</b>	<b>91</b>
<b>13. DIE SUNMACHINE .....</b>	<b>93</b>
<b>13.1. SUNMACHINE TECHNOLOGIE.....</b>	<b>93</b>
<b>13.2. FUNKTION DER SUNMACHINE .....</b>	<b>94</b>
<b>13.3. DIE SUNMACHINE IM VERGLEICH MIT ANDEREN ENERGIESYSTEMEN .....</b>	<b>96</b>
<b>13.4. PROTOTYPEN DER SUNMACHINE .....</b>	<b>99</b>
<b>13.5. ANDERE PROJEKTE DER SUNMACHINE GMBH .....</b>	<b>99</b>
13.5.1. Der Sunwell.....	99
13.5.2. Akustischer Stirlingmotor .....	100
<b>13.6. WIRTSCHAFTLICHKEIT DER SUNMACHINE .....</b>	<b>101</b>
<b>14. ENERGIEKRAFTWERKE IN WÜSTENSTAATEN.....</b>	<b>103</b>
<b>14.1. DIE SUNMACHINE ALS ENERGIEKRAFTWERK.....</b>	<b>103</b>
<b>14.2. BEREITS BESTEHENDE ENERGIEKRAFTWERKE ÄHNLICHER ART .....</b>	<b>105</b>
14.2.1. Amonix .....	105
14.2.2. Solar Systems.....	105
14.2.3. Das Turmsolarkraftwerk THEMIS.....	106
<b>15. ÖKONOMISCHE ASPEKTE ALTERNATIVER ENERGIEFORMEN.....</b>	<b>107</b>
<b>15.1. TECHNOLOGISCHES LERNEN .....</b>	<b>107</b>
<b>15.2. LERNKURVEN.....</b>	<b>108</b>
<b>15.3. LERNKURVEN IM ENERGIESEKTOR .....</b>	<b>109</b>
<b>15.4. DIE WIRKUNG TECHNOLOGISCHEN LERNENS .....</b>	<b>112</b>
<b>16. RESÜMEE.....</b>	<b>115</b>
<b>17. QUELLENANGABE UND LITREATURERZEICHNIS.....</b>	<b>119</b>
<b>I. Abbildungsverzeichnis</b>	
<b>II. Verzeichnis Internetquellen</b>	
<b>III. Literaturverzeichnis</b>	

# 1. Einleitung

Wir leben in einer Epoche, in der sich ohne Zweifel der schnellste und tiefgreifendste Wandel der bisherigen Menschheitsgeschichte vollzieht.

Die Menschheit erfährt heute innerhalb nur weniger Jahrzehnte einen grundlegenden Wandel, als jener, der zuvor in der Zeitspanne vom Mittelalter bis zum modernen Industriezeitalter stattgefunden hat.

Wir befinden uns zur Zeit auf einer Erde, die die größte Bevölkerungsdichte seit Menschen gedenken beherbergen muss. Dazu kommt, dass die Menschheit immer größer werdende Bedürfnisse und Forderungen hat, mit dem Ziel eine höhere Lebensqualität in Anspruch nehmen zu können.

Durch den Globalisierungsgedanken ist heute das Leben und Handeln der Menschheit durch globalen Informationsfluss, Weltmärkte, Umweltprobleme, Ressourcenengpässe, weltweiten Technologietransfer, Kriege, die die ganze Welt betreffen, sowie durch politische und private Entscheidungen eines jeden Einzelnen für einen eigenen Lebensstil, die nicht nur regionale, sondern mittlerweile globale Auswirkungen auf die ganze Welt haben geprägt.

Dieser Trend steigt weiter und an eine Rezession der globalen Entwicklungskurve ist gar nicht erst zu denken.

Was zu diesem Trend hinzu kommt, ist, dass sich die zur Zeit noch weniger entwickelten Länder von dieser rasanten Zukunftsentwicklung nicht ausschließen möchten und immer mehr einen Lebensstandard anstreben, den wir in unserer westlichen Welt schon seit einiger Zeit genießen.

Im Sinne der Globalisierung darf und kann auch diesen Ländern dieser Wunsch nicht verwehrt werden. Doch wenn eine Milliarde Chinesen und eine Milliarde Inder erst einmal einen westlichen Lebensstandard erreicht haben, müssen sich einige Dinge auf der Erde drastisch ändern. Denn wenn alle Menschen so leben würden, wie es heute zwei Milliarden in den Industriestaaten tun, würden wir die Ressourcen und Atmosphären zweier zusätzlicher Planeten wie der Erde benötigen.

Bereits in den 70er Jahren hat der *Club of Rome* mit der Veröffentlichung der „Grenzen des Wachstums“, auf die „outer limits“ dessen, was der Planet Erde verkraften kann, hingewiesen. Seitdem haben sich viele Menschen und Regierungen selbst in dem Glauben gelassen, dass es sich dabei um rein theoretische und beliebig verschiebbare Werte handle.

Doch aktuelle Entwicklungen, wie der Wirtschaftsboom in China, die steigende weltweite Ressourcenproblematik, allen voran das Beispiel Erdöl, der Klimawandel, der Welthunger, immer stärker werdende Umweltkatastrophen und der Anstieg der globalen Umweltverschmutzung sind Indizien dafür, dass die Grenzen des Wachstums sehr wohl ernst zu nehmen sind.

Es ist jedoch schwierig ein Allheilmittel für diese globale Problematik auf den Tisch zu legen. Der *Club of Budapest* plädierte am Anfang dieses Jahrtausends auf die Notwendigkeit, ein globales Bewusstsein zu entwickeln, welches über den von Adam Smith und David Ricardo, den klassischen Ökonomen des 18. Jahrhunderts, begründeten „Laissez-faire-Liberalismus“ hinausgeht. Sinngemäß übersetzt bedeutet „laissez-faire“, in diesem Sinne, leben und leben lassen<sup>1</sup>.

Diese Philosophie sollte nach Ervin Laszlo, Mitglied des Club of Rome, Wissenschaftsberater der UNESCO, mit zeitgemäßen Einschränkungen versehen werden. Die Menschen auf unserem Planeten so leben zu lassen, wie sie möchten, ist keine aussichtsvolle Perspektive. Die Reichen und Mächtigen würden sich die Ressourcen unter den Nagel reißen und die Ärmere würden jeglichen Zugang verlieren. Deshalb lautet Ervin Laszlos Devise, „Lebe so, dass die anderen auch leben können“<sup>2</sup>.

Dieser Wechsel von einer konsumorientierten Lebensweise zu einer, die nach gemeinsamen verantwortungsvollen globalen Werten strebt, verlangt eine fundamentale Bewusstseinsveränderung jedes einzelnen globalen Bürgers.

Um auf der Erde einen globalen Lebensraum zu schaffen, auf dem alle Menschen friedlich und zufrieden miteinander leben können, müssen die „Grenzen des Wachstums“ und die damit einhergehenden Ressourcen- und Umweltprobleme ernst genommen werden.

---

<sup>1</sup> M. Fuchs/ G. Apfelthaler: Management internationaler Geschäftstätigkeit, Springer Verlag, Wien 2002, S58

<sup>2</sup> Ervin Laszlo: Das dritte Jahrtausend, Suhrkamp 1998, S.68

Eines der globalen Hauptprobleme, welches auch für den Klimawandel und andere Umweltprobleme, sowie mittlerweile auch für Kriege, mitverantwortlich ist, ist das Energieproblem.

Der gesamte weltweite Energiebedarf liegt laut aktueller BP Statistik, „statistical review of world energy 2005“, zurzeit bei mehr als 450 EJ (Exajoule), beziehungsweise 125.000 TW/h (Terrawattstunden) pro Jahr und weist eine steigende Tendenz auf.

Dabei werden mehr als 370 EJ von fossilen Energieträgern wie Erdöl, Erdgas, Kohle und Kernenergie zur Verfügung gestellt. Nur etwa 80 EJ fallen davon auf regenerative Energieträger.

Für eine nachhaltige globale Energielösung muss dieses Ungleichgewicht zwischen den umweltbelastenden Primärenergieträgern und den saubereren alternativen Energieformen beseitigt werden. Es scheint unsinnig, an fossilen Energieträgern festzuhalten, könnte man doch, wie in zahlreichen wissenschaftlichen Szenarien wiederholt dargelegt wurde, den gesamten Weltbedarf an Energie mittels alternativer Energieformen mehrfach decken.<sup>3</sup>

Die Tage des billigen Erdöls gehen zwangsläufig dem Ende zu. Ob der letzte Tropfen nun in 20 oder 60 Jahren fließt, ist dabei nur noch nebensächlich.

Tatsache ist, dass die Menschheit von Energie abhängig ist, der Energiebedarf ständig steigt, und dass alternative Energieformen immer mehr in den Vordergrund treten.

Noch bevor man eine Energielösung für die Erde findet, sollte man sich aber die Frage stellen, wie viel Energie tatsächlich benötigt wird, und ob es nicht sinnvoll wäre, erst einmal darüber zu reflektieren, die Mechanismen unserer Zivilisation zu modifizieren und unseren, teilweise maßlosen Konsum etwas einzuschränken, anstatt in einem beispiellosen Raubzug der Ausbeutung, die Erde zu verwüsten und verantwortungslos ihre Ressourcen zu verbrauchen.

Basierend auf der Geschichte der Entdeckung des Luftdrucks und seines großen Potentials, zeigt diese Arbeit, dass einer sauberen Energielösung aus technologischer, aber auch aus ökonomischer Sichtweise, theoretisch nichts mehr im Wege steht.

---

<sup>3</sup> Hermann Scheer: Energieautonomie, Kunstmann, München 2005, S.54

## 2. Die Entstehung des Luftdrucks

### 2.1. Die Atmosphäre

Die Atmosphäre ist die Grundlage für die Entstehung des Luftdrucks. Das Wort Atmosphäre kommt aus dem griechischen und bedeutet soviel wie Dunstkugel. (*atmos* = Dunst; *sphaira* = Kugel) Die Atmosphäre ist also die Dunst- oder Gaskugel, die einen Planeten, wie zum Beispiel die Erde, umgibt. Passender wäre daher eher der Begriff Gashülle.

Die Atmosphäre bildete sich aus der so genannten Uratmosphäre oder Primordialatmosphäre. Diese Uratmosphäre entstand aus der Entgasung der noch flüssigen Erde. Es wird angenommen, dass sie hauptsächlich aus Stickstoff, Schwefeldioxid, Kohlendioxid sowie aus Wasserdampf bestand und so einem Gasgemisch entsprach, welches Vulkane heute noch ausstoßen.

Vor etwa 4,2 Milliarden Jahren kühlte sich die Erde dann soweit ab, dass der aus dem Erdinneren ständig ausgasende Wasserdampf kondensierte, und sich als flüssiges Wasser auf ihr halten konnte. Nach der Abkühlung der Erdoberfläche bildeten sich schließlich die Ozeane und die erste Atmosphäre. Diese so genannte erste Atmosphäre enthielt zunächst keinen freien Sauerstoff. Sauerstoff wurde erst langsam durch die Photosynthese von Meeresalgen und primitiven pflanzlichen Organismen gebildet. Heute besteht die uns umgebende Atmosphäre hauptsächlich aus Stickstoff (78%) und Sauerstoff (21%). Das restliche Prozent setzt sich aus Kohlenstoff-Sauerstoffverbindungen, Stickstoff-Sauerstoffverbindungen und Edelgasen, wie beispielsweise Argon, zusammen.

Die Bildung der heutigen Atmosphäre erfolgte schließlich mit der Ausbildung der Hydrosphäre, Lithosphäre und Biosphäre. Die Atmosphäre, wie wir sie heute kennen, existiert abgesehen von geringfügigen Schwankungen, seit circa 350 Millionen Jahren.

Die Atmosphäre gliedert sich in mehrere durch ihre Temperatur klar unterscheidbare Stockwerke.

Die Troposphäre ist die unterste Schicht der Atmosphäre und ihre Obergrenze ragt von 8 Kilometer im Polargebiet bis zu 18 Kilometer in den Tropen. In ihr spielt sich fast das gesamte Wetter ab. Weiters enthält die Troposphäre 99% des gesamten Wasserdampfes der Atmosphäre. Die Troposphäre wird durch die Tropopause von der nächsten Schicht, der Stratosphäre, getrennt. Innerhalb der Tropopause ist die Temperatur konstant. Die sich nach



oben anschließende Stratosphäre reicht bis etwa 55 Kilometer Höhe. Sie ist praktisch wolkenfrei und an ihrer unteren Grenze beträgt der Luftdruck nur noch ein Zehntel des Bodenluftdruckes. Darüber liegt die Mesosphäre, welche bis 80 Kilometer Höhe reicht und in die Mesopause übergeht. Ab einer Höhe von 85 Kilometer befindet sich die oberhalb der Mesosphäre liegende und sich bis etwa 600 Kilometer über die Erdoberfläche ausdehnende Thermosphäre. In ihr sind die einzelnen Gasteilchen sehr weit voneinander entfernt. Darüber hinaus markiert die Exosphäre den Übergang zwischen Atmosphäre und dem interplanetaren Raum und erstreckt sich zwischen etwa 600 und 1000 Kilometern über der Erdoberfläche. Diese wird meistens nicht als eine wirkliche Schicht der Atmosphäre gezählt. Ab der Exosphäre wird der Einfluss der Erdschwere so gering, dass Luftteilchen ungehindert in den Weltraum abströmen können und andererseits kosmische Materie zuströmen kann.

Trotz der verschiedenen, bis ins Weltall reichenden Schichten der Atmosphäre, konzentrieren sich 99% der Atmosphärenmasse in den unteren 40 Kilometern. Dies hat wiederum zur Folge, dass der Atmosphärendruck mit zunehmender Höhe dramatisch abnimmt.<sup>4</sup>

### **2.2. Der Luftdruck**

Die Atmosphäre der Erde wird im Allgemeinen mit dem Begriff Luft bezeichnet. Wegen der andauernden Luftbewegung auf der Erde bleibt die Zusammensetzung des Gasgemisches im Wesentlichen ausgeglichen. Aufgrund der Schwerkraft der Erde übt die Masse der Luft auf ihre Unterlage einen bestimmten Druck aus, der als Luftdruck bezeichnet wird.

Demnach ist der Luftdruck der hydrostatische Druck eines beliebigen Ortes, den die atmosphärische Luft infolge der Schwerkraft auf diesen ausübt. Der Luftdruck ist deshalb auch die Grundvoraussetzung dafür, dass sich der Mensch nicht durch Verdampfen seiner Körperflüssigkeit auflöst, da er den für den Menschen notwendigen Außendruck darstellt. Dabei erfährt der Mensch einen konstanten, von jeder Richtung gleichmäßigen Druck der Erdatmosphäre. Dieser ist im Normalfall nicht spürbar, da sich unser Organismus darauf eingestellt hat.

Begibt sich der Mensch jedoch in extreme Höhen, wie etwa beim Höhenbergsteigen, wird der Unterschied zum Luftdruck in meist unangenehmer Weise deutlich spürbar. Im Bergsteigerjargon spricht man dabei von dünner Luft. Die Atmung fällt viel schwerer, die

---

<sup>4</sup> Dominik Hezel: [www.astronomie.de/sonnensystem/erde/atme.htm](http://www.astronomie.de/sonnensystem/erde/atme.htm), 10.6.05

Leistungsfähigkeit nimmt ab und viele Bergsteiger bekommen die so genannte Höhenkrankheit, da dem Organismus weniger Sauerstoff als in gewohnten Höhenlagen zur Verfügung steht.<sup>5</sup>

In Hochlagen ist die Entfernung zur Grenze der Erdatmosphäre wesentlich geringer als in Tieflagen. Dadurch ist auch die Luftsäule kürzer und so der Luftdruck am Boden niedriger. Deshalb ist der Luftdruck im Hochgebirge eben weitaus kleiner als im Flachland oder auf Meereshöhe. Regionale Schwankungen des Luftdruckes sind maßgeblich an der Entstehung des Wetters beteiligt. Deshalb gilt der Luftdruck in der heutigen Zeit als eines der wichtigsten meteorologischen Elemente für die Wettervorhersage (Hochdruck-, Tiefdruckgebiete).

Die gängigsten Maßeinheiten für den Luftdruck sind Hektopascal (hPa) oder die auch zulässige Einheit Bar ( $\text{bar} = 10^5 \text{ Pa}$ ). Dabei entspricht ein Pascal, dem auf eine Fläche von  $1\text{m}^2$  gleichmäßig wirkenden Druck bei einer Kraft von 1N (Newton). 100 Pascale sind 1 Hektopascal und entsprechen der früher verwendeten Einheit Millibar (mBar). Um den Luftdruck an verschiedenen Orten vergleichbar zu machen, wird der gemessene Luftdruck zum Luftdruck auf Meereshöhe relativiert.<sup>6</sup>

---

<sup>5</sup> John Krakauer: In eisigen Höhen, Piper, München 2000, S.36

<sup>6</sup> Meteo Graphics GmbH: [www.wetter24.de/help/luftdruck.html](http://www.wetter24.de/help/luftdruck.html), 10.6.05

### 3. Die Entdeckung des Luftdrucks

Zwischen 1620 und 1660 waren ohne Zweifel die hydro-pneumatischen Experimente in ganz Europa im Mittelpunkt wissenschaftlicher Anstrengungen. Diese führten schließlich zur Entdeckung des Vakuums und in weiterer Folge auf den Rückschluss eines all umspannenden Luftdruckes. Die für Jahrhunderte lange gültige Hypothese von Aristoteles, dass die Natur eine Abscheu vor der Leere habe („*horror vacui*“), konnte aber von den Forschern des 17. Jahrhunderts schließlich widerlegt werden.

Ausschlaggebend für diese Entdeckungen war eine Beobachtung florentinischer Brunnenmeister in den 30er Jahren des 17. Jahrhunderts, die zunächst für einige Verwirrung sorgte. Bei ihrer Arbeit machten sie die rätselhafte Entdeckung, dass eine Saugpumpe Wasser aus nicht mehr als 10 Meter Tiefe emporheben kann. Dieser Sachverhalt wurde zunächst von Galileo Galilei in seinem Hauptwerk „*Discorsi e dimostrazioni mathematiche*“ erläutert, konnte aber erst später durch seinen Schüler Evangelista Torricelli geklärt werden, der diesen Effekt schließlich auf den Luftdruck zurückführte.

Neben Galilei und Torricelli gab es auch noch andere Wissenschaftler in dieser Zeit, die sich mit diesem Problem auseinandersetzten und es erforschten. Dabei kann man bis heute nicht ausschließen, dass auf Grund der damaligen Zeit und des damaligen fehlenden Informationsflusses einige Forscher dieselben Entdeckungen machten, ohne dabei über die Versuche und Erkenntnisse ihrer Kollegen Bescheid gewusst zu haben. Sicher ist jedoch, dass die Entdeckungen des Vakuums und des Luftdruckes im 17. Jahrhundert neue Türen für die Wissenschaft und in weiterer Folge für die Industrialisierung und dem damit einhergehenden westlichen Wohlstand öffneten. Sie bildeten die Grundlagen für spätere Entwicklungen wie zum Beispiel des Barometers bis hin zur Dampfmaschine und bilden auch heute noch einen wesentlichen Bestandteil in der modernen Physik.

Nachfolgend werden drei Wissenschaftler dieser Zeit beleuchtet, denen eine maßgebende Rolle bei der Entdeckung des Vakuums und des Luftdruckes zugesprochen werden kann.

### 3.1. Gasparo Berti (1600-1643)

Angeregt durch Galileo Galileis Werk "*Discorsi*", führten um 1640 Gasparo Berti, Raffaello Maggiotti, Athanasius Kircher und Nicolo Zucchi in Rom ein Experiment mit einem sogenannten Wasserbaroskop durch. Ihr Ziel war es, ein künstliches Vakuum zu erzeugen. Dazu befestigte Gasparo Berti mit seinen Kollegen an seiner Hauswand ein langes Bleirohr, welches unten in einen Wasserbehälter hineinragte und mit einem Hahn verschlossen wurde. Am oberen Ende des Rohres befand sich ein großer Glaskolben mit zwei Öffnungen, welche separat verschlossen werden konnten. Berti füllte zunächst den Wasserbehälter bis zur Hälfte mit Wasser und drehte dann den Hahn zu. Danach wurden das Bleirohr und die Flasche vollständig mit Wasser aufgefüllt und verschlossen. Schließlich wurde der Hahn geöffnet und das Wasser lief bis zu einer bestimmten Höhe in den Wasserbehälter aus. Das Wasser lief jedoch nicht über und bildete im Rohr eine Wassersäule, deren Höhe deutlich oberhalb der des Wasserbehälters lag.

Das Ergebnis war, dass der Wasserstand bis zum nächsten Tag unverändert blieb, obwohl der Verschlusshahn die ganze Zeit geöffnet war. Berti und seine Kollegen bestimmten daraufhin mit einer Sonde den Wasserstand im Bleirohr bei rund 10 Meter. Um zu demonstrieren, dass sich im Glaskolben ein Vakuum gebildet hatte, schlossen sie den Hahn vom Wasserbehälter und öffneten die Schraube an der oberen Öffnung des Glaskolbens, was zur Folge hatte, dass die Luft den vom Wasser entleerten Raum mit lautem Getöse auffüllte.<sup>8</sup>

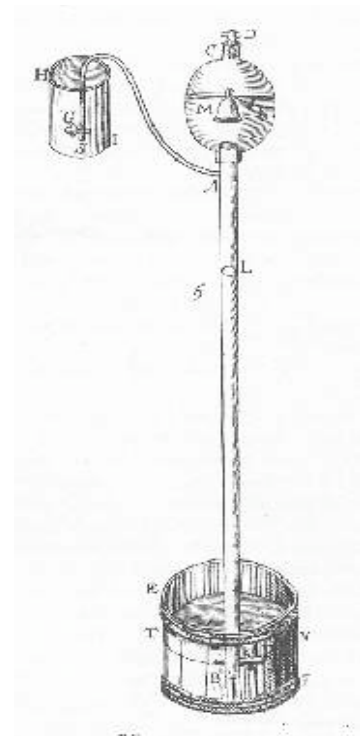


Abb.1: Gasparo Bertis Wasserbaroskop<sup>7</sup>

<sup>7</sup> L'esperienza di Gasparo Berti, Incisione da Technica: Curiosa di P. Schott, Herbipoli 1664

<sup>8</sup> Gerhard Stöhr 2005: [www.freunde-alter-wetterinstrumente.de/12barges06.htm](http://www.freunde-alter-wetterinstrumente.de/12barges06.htm), 15.6.05

### 3.2. Otto von Guericke (1602-1686)

Otto von Guericke aus Deutschland war einer der bedeutendsten Wissenschaftler des 17. Jahrhunderts. Er wurde 1602 als Sohn einer alteingesessenen Magdeburger Patrizierfamilie geboren. Dadurch waren für ihn der Besuch von höheren Schulen und ein Studium an mehreren Universitäten vorbestimmt. Otto von Guericke studierte zunächst Jura in Leipzig, Helmstedt und Jena. Daraufhin begann er ein Studium im niederländischen Leiden, wo er mit den damaligen modernsten Studieninhalten der Philosophie, Astronomie, Mathematik und den naturwissenschaftlichen sowie technischen Disziplinen vertraut wurde. Nach Beendigung dieses Studiums zählte Otto von Guericke zu einem der ersten graduierten deutschen Ingenieure. Auf Grund seiner Ausbildung und seiner familiären Herkunft, waren für ihn angesehene Ämter der Stadt Magdeburg vorbestimmt. Jedoch lebte Otto von Guericke im 17. Jahrhundert nicht nur in der Epoche der „Frühen Neuzeit“, wo sich die Wissenschaftsdisziplinen herausbildeten und eine Neuordnung naturwissenschaftlicher Institutionen begann, sondern auch in der schweren Zeit der Reformation und Gegenreformation und des Dreißigjährigen Krieges. Otto von Guericke fungierte mehr als 50 Jahre als Mitglied des Rates und davon 30 Jahre als Bürgermeister seiner Stadt. Zunächst betätigte Guericke sich als Rat des Verteidigungs- und Bauwesens, sowie in weiterer Folge als geschätzter Diplomat in verschiedensten Missionen im Dienste seiner Stadt während des Dreißigjährigen Krieges.

Nachdem Magdeburg im Jahre 1666 zu Kloster Berge, dem Kurfürstentum Brandenburg, angeschlossen wurde, folgten für Guericke 30 ruhigere Jahre, in denen er sich schließlich mit mehr Zeit seinen wissenschaftlichen Arbeiten widmen konnte.<sup>9</sup>

Otto von Guericke befasste sich in erster Linie mit der wissenschaftlichen Entdeckung der Eigenschaften von Luft. Er wusste aus seinen Beobachtungen des Himmels, dass die Sterne sehr weit entfernt sein mussten, aber trotzdem gut zu sehen waren. Andererseits stellte er dabei aber fest, dass beim Blick auf benachbarte Hügelketten bereits nach kurzer Entfernung die weiter entfernt liegenden Hügel im Dunst verschwanden. Daraus stellte Guericke die Vermutung auf, dass zwischen dem Beobachter auf der Erde und den Sternen im Wesentlichen keine Luft sein durfte. Um seine Vermutung prüfen und beweisen zu können, benötigte er ein Experiment. Otto von Guericke's technisches Wissen und eine qualifizierte Handwerkerschaft führten ihn schließlich zum experimentellen Erfolg. In seinem eigenen

---

<sup>9</sup> Dr. Klaus Hieckmann: [www.magdeburg.ihk.de/3169.html](http://www.magdeburg.ihk.de/3169.html), 15.6.05

Werk, *"Experimenta Nova Magdeburgica de Vacuo Spacio"*, Amsterdam 1672, berichtet Guericke, wie er mit einer damals gängigen umgebauten Löschspritze zuerst ein mit Wasser gefülltes Fass, und als das nicht richtig gelingen wollte, eine Kupferkugel, luftleer zu pumpen versuchte. Schließlich gelang es Guericke mit einer umkonstruierten Löschspritze, die Luft aus der Kupferkugel zu pumpen. Guericke war jedoch mit der Qualität des Vakuums nicht zufrieden und richtete daher seine Aufmerksamkeit zunächst auf die Verbesserung seiner Luft-, beziehungsweise Vakuumpumpe. Sein Ziel war es, eine „hochgradige Leere“ zu erzeugen. Als er dieses Ziel schließlich erreichte, war seine erste große technische Leistung, die Erfindung der Luftpumpe, gegeben.

In seinen weiteren Forschungen über das Vakuum gelang es Otto von Guericke, Wasser aus einem Eimer, der im Hof stand, zuerst in das 1. Stockwerk und nach Verlängerung des Rohres sogar in den 2. Stock zu leiten. Erst beim Versuch das Wasser in das 3. Stockwerk zu pumpen, scheiterte Guericke.

Nachdem Guericke einen Fehler in seiner Versuchseinrichtung ausschließen konnte, schloss er daraus, dass der Grund dafür am "äußeren Luftdruck" liegen musste.<sup>10</sup>

Um seine Erfindungen in der Öffentlichkeit zu präsentieren, arrangierte der Erfinder eine Reihe spektakulärer Schauversuche. Sein bekanntestes Experiment welches er 1654 zur Demonstration des Vakuums vor dem römisch-deutschen Kaiser Ferdinand II vorführte, war das der „Magdeburger Halbkugeln“. Dabei pumpte Guericke zwei aneinander gelegte Halbkugeln aus Metall luftleer, sodass sie vom äußeren Luftdruck fest zusammengepresst wurden. Danach wurden auf jeder Seite acht Pferde vor die Kugel gespannt, die diese wieder halbieren sollten, was jedoch nicht gelang. Sobald Guericke allerdings ein Ventil öffnete und so Luft zurück in die Kugel strömen konnte, zerfiel die Kugel ganz von selbst in zwei Teile.

In einem anderen Experiment ließ Guericke einen Zylinder mit einem beweglichen Kolben aufstellen. An dem Kolben war ein Seil befestigt, welches über ein Gewinde von 50 Männern festgehalten wurde. Als Guericke mittels seiner Vakuumpumpe die Luft aus dem Gefäß pumpte, konnten die 50 Männer den Kolben nicht am Absinken hindern.

---

<sup>10</sup> Gerhard Stöhr 2005: [www.freunde-alter-wetterinstrumente.de/12barges06.htm](http://www.freunde-alter-wetterinstrumente.de/12barges06.htm), 16.6.05



Abb.2:  
 Der „Magdeburger-  
 Halbkugel-Versuch“  
 Otto von Guericke als  
 Stich aus seinem 1672  
 in Amsterdam  
 erschienenen Buch:  
 "Experimenta Nova  
 Magdeburgica de  
 Vacuo Spacio"<sup>13</sup>

Mit diesen Experimenten gelang es Otto von Guericke, die Jahrhunderte lang gültige Hypothese von Aristoteles, „*horror vacui*“, „*die Abscheu der Leere der Natur*“, zu widerlegen. Guericke konnte beweisen, dass Stoffe nicht von Vakuum angesaugt, sondern vom umgebenden Luftdruck zusammengedrückt werden.<sup>11</sup>

Aus dieser Erkenntnis heraus plante Guericke sein nächstes Projekt. Ähnlich wie Gasparo Berti in Rom, beabsichtigte Guericke die Installation eines Wasserbarometers an seinem Wohnhaus. Dabei verband der Konstrukteur fünf Teilrohre so miteinander, dass sie luftdicht waren. Das letzte Teilstück war aus Glas gefertigt, damit man darin den Wasserspiegel beobachten konnte. Schließlich wurden solche Wasserbarometer in ganz Europa, hauptsächlich vor Schulen und Universitäten mit dem Ziel errichtet, die Zusammenhänge des Luftdruckes besser verstehen zu lernen. Guericke gelang es schließlich, mit seinem Wasserbarometer das Wetter vorherzusagen und ging so auch als einer der Vorreiter der Wettervorhersage in die Geschichte ein. Otto von Guericke's Barometer bekam daraufhin schließlich den Namen "*Magdeburger Wettermännchen*".<sup>12</sup>

<sup>11</sup> H. Dittmar-Ilgen: Warum platzen Seifenblasen, Hirzel-Verlag, Stuttgart, S.16

<sup>12</sup> Prof. Dr. Manfred Casties 2002: [www.freunde-alter-wetterinstrumente.de/12barges06.htm](http://www.freunde-alter-wetterinstrumente.de/12barges06.htm), 16.6.05

<sup>13</sup> Otto von Guericke: Experimenta Nova Magdeburgica de Vacuo Spacio, 1672

### 3.3. Evangelista Torricelli (1608-1647)

Etwa zur selben Zeit wie Otto von Guericke in Magdeburg fungierte der Galilei Schüler Evangelista Torricelli in Italien. Evangelista Torricelli wurde 1608 in Faenza geboren. 1624 begann Torricelli sein Studium an dem Jesuitenkolleg in Faenza, welches er später am Kolleg in Rom fortsetzte. Durch seine außerordentliche Begabung wurde er schließlich an der Universität von Rom aufgenommen. Dort wurde Torricelli von Pater Benedetto Castelli, einem Schüler Galileis, unterrichtet und fungierte zusätzlich als dessen Sekretär.

Nach dieser Zeit war Torricelli bis ins Jahre 1641 Sekretär von mehreren namhaften Mathematikern und Physiker. Letztendlich zog es Torricelli nach Florenz, wo er für kurze Zeit als Sekretär des Genies Galileo Galilei arbeitete. In dieser Zeit unterstützte er Galilei hauptsächlich bei der Vollendung dessen Hauptwerkes, „*Discorsi e dimostrazioni mathematiche*“. Ein halbes Jahr später, 1642, verstarb Galileo Galilei und Torricelli übernahm seine Stelle als Hofmathematiker des Großherzog Ferdinand II. von Toscana in Florenz, welche er bis zu seinem eigenen Tod, bis 1647 inne hatte. Evangelista Torricelli erwies sich als durchaus würdiger Nachfolger von Galileo Galilei am Hof des Großherzogs. Als hervorragender Mathematiker seiner Zeit beschäftigte er sich zum Beispiel mit Quadratproblemen, mit der logarithmischen Spirale und bestimmte das Volumen von Rotationskörpern, wofür er als erster seiner Kollegen ein uneigentliches Integral benutzte.



Abb.3: Darstellung des "Torricellischen Versuches", Kupferstich aus J. d'Alencé - *Neu erfundene mathematische Curiositaeten* - Mainz 1695 <sup>14</sup>

---

<sup>14</sup>Neu erfundene Curiositäten: Kupferstich, Darstellung des Toricellischen Versuches, Mainz 1695



Aber auch im Bereich der Physik errang Torricelli fortschrittliche Erkenntnisse. Am meisten Aufsehen erregte er mit der Entdeckung der so genannten „*Torricellischen Leere*“ um 1643. Für diese Errungenschaft führte er gemeinsam mit Vincenzo Viviani (1622-1703) folgendes Experiment durch. Anders als Gasparo Berti im Jahre 1640 wählten Torricelli und Viviani Quecksilber als Flüssigkeit auf Grund seines höheren spezifischen Gewichtes. Bei ihrem Versuch füllten die beiden Forscher ein 1 Meter langes Glasrohr, welches auf einer Seite geöffnet war, mit Quecksilber. Danach stürzten sie das Rohr mit dem offenen Ende, welches zunächst mit einem Daumen verschlossen wurde, in eine mit Quecksilber gefüllte Schale, sodass das Quecksilber in der Röhre absinken konnte, bis es an einer bestimmten Höhe stehen blieb. Im oberen Teil der Glasröhre bildete sich ein luftleerer Raum, welche als „*Torricellische Leere*“ bekannt wurde. Torricelli hatte die Glasröhre mit einer Skala versehen und konnte so den Quecksilberstand bei circa 760 Millimeter messen. Torricellis erste Kombination einer mit Quecksilber gefüllten Röhre und einem Gefäß mit einer Skala ergab die unmittelbar älteste Form eines Barometers.

In weiterer Folge konnte Torricelli zeitliche Schwankungen der Länge der Quecksilbersäule beobachten und deutete diese als eine Variation des Druckes der umgebenden Luft. Seine Arbeiten und Erkenntnisse fasste Evangelista Torricelli in seinem Hauptwerk „*Opera Geometrica*“ zusammen.

Für einen langen Zeitraum und zum Teil auch noch heute wurde der Luftdruck nach Torricelli in Torr angegeben, wobei 1 Torr einem Millimeter der Quecksilbersäule entspricht. Dabei ist der Normdruck 760 Millimeter, welcher auch mit 760 Torr oder 1013 Hektopascal gleichzusetzen ist.

## 4. Der Barometer

Die Bezeichnung Barometer leitet sich, wie so viele andere Bezeichnungen für wissenschaftliche Instrumente, aus dem Griechischen ab und bedeutet „Schweremesser“, wobei „*Baros*“ Schwere und „*Metron*“ Maß bedeutet.

Wie schon erwähnt wird Evangelista Torricelli mit seinem Experiment um 1643 als Erfinder des Barometers angesehen. Mitte des 17. Jahrhunderts wurde allmählich der Zusammenhang zwischen Schwankungen des Luftdrucks und deren Auswirkungen auf das Wetter bekannt. Neben Otto von Guericke spielten dabei Robert Boyle (1627-1691) und Robert Hooke (1635-1703) eine wichtige Rolle. Nachdem anfangs Wasser- sowie Quecksilberbarometer ausschließlich für wissenschaftliche Zwecke aufgestellt wurden, fand der Barometer zwischen 1670 und 1680 seinen Nutzen auch im privaten Gebrauch.

### 4.1. Barometerarten

Grundsätzlich lassen sich Barometer in zwei verschiedene Arten einteilen. In Flüssigkeitsbarometer und in Dosen- oder Aneroidbarometer („*aneroid*“ = nicht feucht).

Bei den Flüssigkeitsbarometern handelt es sich heute fast ausschließlich um Quecksilberbarometer, von denen es verschiedene Bauarten gibt. Die einfachste und gängigste Version beruht auf Torricellis Version des Barometers mit einer festen Skala, an der der Höhenunterschied zwischen der Quecksilberoberfläche im Gefäß und der Quecksilberoberfläche in einer Röhre abgelesen wird.

Für den weiteren Verlauf dieser Arbeit sollte zunächst ein genauere Blick auf die Funktionsweise des Dosen- oder Aneroidbarometers geworfen werden, welcher vollständig ohne Flüssigkeit arbeitet. Da Quecksilberbarometer außerordentlich empfindlich und unhandlich sind, suchte man schon bald nach Wegen auch ohne Flüssigkeit auskommen zu können. Erstmals gelang dies dem Franzosen Lucien Vidie (1805-1866) im Jahre 1843. Wesentlicher Bestandteil eines solchen Aneroidbarometers ist ein dosenartiger Hohlkörper, auch VIDI Dose genannt, aus dünnem Blech, der durch den wechselnden Luftdruck verformt wird. Dabei ist der Deckel der Dose zur Oberflächenvergrößerung gewellt. Die Dose ist mit dem Gehäuse des Barometers verschraubt, sodass sich der Deckel in Abhängigkeit vom

Luftdruck auf und ab bewegen kann. Dieses Barometersystem verhält sich nun so, dass bei steigendem Luftdruck die Dose zusammengedrückt und bei fallendem Luftdruck ausgedehnt wird. Die Auf- und Abbewegungen der Dose werden von einem kleinen Stift, der sich in der Mitte des Dosendeckels befindet über eine Metallplatte und über einen Hebel schließlich auf den Zeiger übertragen. Als Gegengewicht für den Luftdruck wirkt eine Druckfeder auf die Dose.



Abb.4: Darstellung eines alten Aneroidbarometers<sup>15</sup>

Ungefähr 200 Jahre nach der Erfindung der mechanischen Barometer werden diese nun immer häufiger von elektrischen Wetterstationen ersetzt und so mehr und mehr zu nostalgischen Sammelobjekten.<sup>16</sup>

---

<sup>15</sup> Ohne Vervasser, 2004: [www.historische-barometer.de](http://www.historische-barometer.de), 20.6.05

<sup>16</sup> Prof. Dr. Manfred Casties 2002: [www.freunde-alter-wetterinstrumente.de/12barges.htm](http://www.freunde-alter-wetterinstrumente.de/12barges.htm), 21.6.05

## 5. Nutzung des Luftdrucks für den Antrieb von Uhren

### 5.1. Die ersten durch Luftdruck betriebenen Uhren

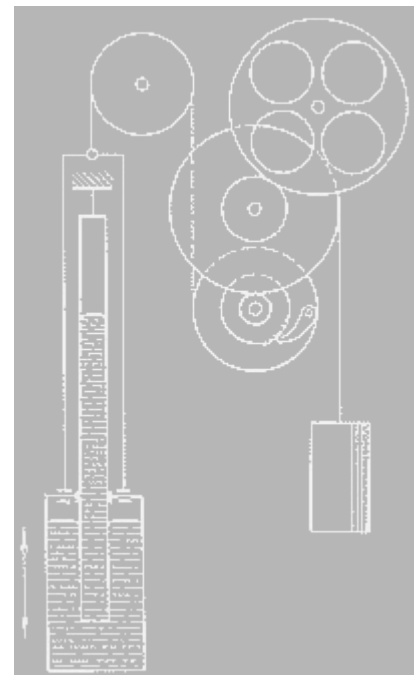
Wurde der Luftdruck nach seiner Entdeckung zunächst für Forschungszwecke und für Messungen mittels Barometer genutzt, so entdeckte man Mitte des 18. Jahrhunderts ein völlig neues Potential des Luftdrucks.

Man kam auf die Idee, die durch Luftdruckschwankungen verursachte Kraft für den Antrieb eines mechanischen Systems zu nutzen.

Als erster machte sich der französische Uhrmacher Le Plat 1751 das Medium Luft als Antriebssystem für eine Uhr zum Nutzen. Sein Uhrwerk wurde mittels eines großen Schaufelrades durch Zugluft angetrieben. Dabei gelang es Le Plat, den Luftdruckunterschied von zwei Potentialgefällen zu nutzen.

Einige Jahre später, im Jahre 1770, nutzte der englische Automatenbauer Cox ebenfalls Luftdruckschwankungen als Antriebsmedium für eine Bodenstanduhr. Cox machte sich dabei die Erfindung Torricellis Quecksilberbarometers zu Nutze. Seine Erfindung bestand im Wesentlichen aus

einem riesigen Quecksilberbarometer mit eineinhalb Zentner Quecksilberinhalt. Dabei befand sich das Quecksilber zu einem Teil in einer im Gestell der Uhr angebrachten Urne und zum anderen Teil in einer kolbenförmigen Steigröhre, welche mit ihrem unteren Ende in die Urne hineinragte. Die Urne und die Steigröhre waren im Uhrenkasten gegeneinander beweglich angeordnet. Das System war so konstruiert, dass die Urne bei steigendem Luftdruck emporgehoben werden und bei fallendem Luftdruck absinken konnte. Dabei gelang es Cox beide Bewegungsrichtungen auszunutzen, um seine Uhr anzutreiben.<sup>18</sup>



*Abb.5: Luftdruckbetriebenes Uhrensistem nach Cox<sup>17</sup>*

<sup>17</sup>Mayer, 2003: Beinahe ein Perpetuum mobile, [www.wundersamessammelsurium.de](http://www.wundersamessammelsurium.de), 23.6.05

<sup>18</sup>Max Geitl: Der Siegeslauf der Technik, 1890, S.303

## 6. Friedrich Ritter von Lössl

Etwa einhundert Jahre später gelang schließlich dem österreichischen Ingenieur Friedrich Ritter von Lössl die Umsetzung einer rein durch den Luftdruck betriebenen Uhr.

Friedrich Ritter von Lössl wurde am 17. Jänner 1817 in Weiler im Allgäu geboren. Er stammte aus einer deutschen Handwerkerfamilie aus dem Böhmerwald, die über Generationen das Messerschmiedhandwerk betrieben hatte.

In der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts wanderten die Brüder Johann Andreas und Johann Baptist nach München aus. Beide machten in München ihren Weg und wurden 1790 als Ritter und Edle von Lössl in den kurbayrischen Reichsverband aufgenommen. Der Sohn von Johann Baptist von Lössl war der Landgerichtsassessor Josef Valentin Johann Baptist Ritter von Lössl, der es ebenfalls zu hohem Ansehen brachte.

1817 wurde er stolzer Vater von Friedrich Ritter von Lössl. Waren der Vater und der Großvater Friedrichs als Verwaltungsbeamte mit technischen Dingen nur sehr wenig vertraut, so musste Friedrich von Lössl sein Talent und Interesse zu technischen Dingen von seinen Vorfahren, den Messerschmiedern aus dem Allgäu, geerbt haben.

Neben seinem Interesse für die Technik war der junge Lössl auch ein begeisterter Wandersmann. Während der Ferien in seiner Gymnasialzeit unternahm er regelmäßig ausgedehnte Wanderungen. Zum Beispiel wanderte Lössl von München über Straubing in den Bayerischen Wald und wieder zurück. Oder von München in die Schweiz und wieder zurück. Damals war es nicht außergewöhnlich, sich mehr mit der Natur auseinanderzusetzen und solche ausgedehnten Reisen zu unternehmen. So weitete Friedrich Ritter von Lössl bei seinen Marathonwanderungen auch sein technisches Interesse und Verständnis aus, indem er



*Abb. 6: Friedrich Ritter von Lössl, Erfinder, Denker und Visionär<sup>19</sup>*

---

<sup>19</sup> Österreichische National Bibliothek: Friedrich Ritter von Lössl

zahlreiche Berg- und Wasserwerke sowie andere zahlreiche technische Anlagen besichtigte und bei seinen Märschen darüber sinnierte.

Nach seiner Gymnasialzeit begann Lössl 1836 an der Universität München zu studieren. Gleichzeitig studierte er an der polytechnischen Hochschule und an der Kunstakademie.

Schon 1839, noch vor Beendigung seines Studiums, nahm Lössl, bedingt durch die ersten Eisenbahnbauten, eine Stelle als Ingenieurassistent beim Eisenbahnbau München-Augsburg in einem Baubüro an. Das hauptsächliche Interesse Lössls galt zu dieser Zeit schon der Luftfahrt. Dieses konnte er beim Eisenbau erfolgreich einsetzen, indem er große Segel auf die Transportwagen für Schotter montieren ließ, um die Pferde durch Hilfe des Windes zu entlasten. Damit erregte der in Ingenieurkreisen noch unbekannt Lössl bereits großes Aufsehen.

1841, gleich nach dem erfolgreichen Abschluss seines Studiums, wurde der junge Ingenieur von der königlichen bayrischen Eisenbahnkommission in Nürnberg zum technischen Ingenieur ernannt und war beim Bau der Bahnlinie Augsburg-Donauwörth tätig. Er leitete dabei unter anderem den Bau der Donaubrücke bei Donauwörth. Bei diesem Brückenbau war Lössl für die Überwachung der Fundierungsarbeiten zuständig. Darunter fielen zehn Steinpfeiler, die er ständig beobachten musste. Hierzu benutzte der junge Ingenieur ein Segelboot, welches ihn weiter zu Studien über den Winddruck anregte. Man kann sich vorstellen, dass es kein leichtes Unterfangen war mit einem Segelboot auf der Donau in der Nähe dieser Brücke zu bleiben, ohne von der nicht unwesentlichen Strömung abgetrieben zu werden.

Obwohl Lössls eigentliche Interessen den Studien der Luft, deren Verhalten und einer später vielleicht einmal mögliche Luftfahrt galten, beschäftigte er sich bis zu seinem 46. Lebensjahr beruflich bedingt hauptsächlich mit Eisenbahnbauten.

1843 nach erfolgreicher Beendigung vorangegangener Projekte, wurde der nun schon angesehene Ingenieur Friedrich Ritter von Lössl nach Lindau versetzt, wo er die Vorarbeiten zum Bau der Eisenbahnstrecke Lindau-Immstadt-Kempten leitete, welche er 1848 beendete.

Lössls Leben schien zu dieser Zeit sehr hektisch, und er eilte von einer Eisenbahnlinienplanung zur nächsten.

1848 wurde er nach Burgau bestellt, wo er die Bahnlinie Augsburg-Ulm in nur kurzer Zeit plante. Noch im selben Jahr begann er mit den Vorarbeiten zum Bahnbau München-Salzburg. Im November 1849 beendete er auch diese Arbeit.

Im gleichen Monat dieses Jahres heiratete Friedrich Ritter von Lössl seine Geliebte Luise Probst.

Als Friedrich Ritter von Lössl im selben Jahr den Bau der Strecke Lindau-Kempten beendete, zog er mit seiner frisch verheirateten Ehegattin nach München und nahm dort eine Stelle beim Lokomotivenbauer Maffai an, wo er sogleich mit Arbeiten an der Bahnlinie München-Salzburg beschäftigt wurde. Diese Strecke sollte bei Großhesselohe über die Isar führen und dann über Holzkirchen, Traunstein schließlich nach Salzburg. Da der Brückenbau über die Isar sehr schwierig schien und die Strecke auch viele, damals als gefährlich eingestufte Gefällstrecken hatte, beschloss Lössl, erst eine Studienreise in die Gebiete zu unternehmen. 1850 vollendete Lössl seine Baupläne für diese schwierige Strecke soweit, dass mit den Bauarbeiten begonnen werden konnte. 1852 erbaute Friedrich Ritter von Lössl die Isarbrücke und die Traunsteinbrücke, sowie den schwierig herzustellenden Bahnkörper bei den Chiemseemooren.

Im selben Jahr entwickelte der erfolgreiche Ingenieur auch Schichtreliefs, die auf der Industrieausstellung in München, sowie auf Ausstellungen in London und Wien großes Aufsehen erregten.

Zur selben Zeit geriet die Bahngesellschaft München-Salzburg trotz guten Baufortschritts mehr und mehr in wirtschaftliche Schwierigkeiten, was schließlich soweit ging, dass der Bau dieser Bahn vorerst eingestellt werden musste.

Lössl wurde daraufhin nach Bamberg versetzt, wo er mit der Beaufsichtigung der Hochbauten betraut wurde.

1855 beauftragte ihn ein Bankhaus, die Bahnlinie Starnbergsee-Penzberg zu trassieren. Zusätzlich leitete Lössl zur selben Zeit den Aufbau eines Fabrikunternehmens in Immenstadt.

1856 hätte Lössl eine leitende Stelle bei der bayrischen Ostbahn übernehmen sollen, die ihm aber auf Grund seiner politischen Einstellung doch nicht gewährt wurde. Aus diesen Gründen versuchte Lössl eine Stelle im Ausland zu bekommen, was bei seinem ausgezeichneten Ruf als Ingenieur kein Problem darstellte. So bekam er noch im selben Jahr eine Stelle als Ingenieur erster Klasse bei der Kaiserin-Elisabeth-Bahn in seinem geliebten Nachbarland Österreich. Zunächst wurde Lössl mit der Erbauung der Bahnlinien Salzburg-Freilassing, Linz-Salzburg und Wels-Passau beauftragt. Am Ende des Jahres 1856 wurde er schließlich zum Betriebs- und Bahnerhaltungschef der Elisabeth-Bahn Linz ernannt. In Linz konnte sich Lössl nun auch wieder die Zeit nehmen, sich seinen eigenen Ideen und Visionen zu widmen. Dazu zählten zum Beispiel Versuchsfahrten auf der Donau und auf der Enns mit einem von

ihm selbst gebauten Schiff, das sich durch eine sehr eigenwillige Konstruktion flussaufwärts bewegen sollte. Mit dieser Idee wollte Lössl bei „Schlepparbeiten“ Pferde durch Schiffe ersetzen. Lössls Schiffprojekt wurde jedoch von den ersten Dampfern rasch verdrängt. Trotzdem ist auch diese Idee ein Indiz für Lössls Bestimmung zum Visionär.

Einige Ideen Lössls erlangten jedoch sehr wohl das Aufsehen der Technikgesellschaft seiner Zeit. So wurde Lössl für die vorher schon erwähnte Erfindung seiner Schichtreliefs in London auf der Weltausstellung 1862 mit einer Goldmedaille ausgezeichnet.

Zur selben Zeit arbeitete er an der Planung der Bahnverbindung Linz-Ried-Braunau. 1856 wurde er Direktor dieser Bahnlinie und für die Zeit deren Errichtung von seinem eigentlichen Arbeitgeber, der Elisabeth-Westbahn, beurlaubt. 1868 wurde jedoch auf Grund drohender Kriegsgefahr der Bau der Bahnverbindung Linz-Ried-Braunau eingestellt und Lössl kehrte nach Linz zurück. Wenig später wurde Lössl zum Vorstand des Betriebsdienstes der Kaiserin-Elisabeth-Westbahn mit Sitz in Wien ernannt, wo er noch im gleichen Jahr in die Direktion dieses Bahnunternehmens berufen wurde.

1868 gab Lössl seine begehrte Stelle bei der Elisabeth-Westbahn auf und fing an, sich privat anderen Projekten zu widmen. Vorerst verschlug es den begehrten Ingenieur nach Ungarn, wo er an mehreren Bahnprojekten arbeitete. Er trassierte die Bahnstrecke Fünfkirchen-Mohacs-Esseg, die nach Sissek führte. Anschließend erbaute er die Strecke Przemysl-Sambor-Stanislaw-Drohobycs-Borislav, sowie die Verbindung von Dolina über die Karpaten nach Rust. Diese Arbeiten waren für ihn jedoch mit großen Unannehmlichkeiten und Anstrengungen verbunden. Nach der Fertigstellung dieser Projekte trassierte Lössl noch die Bahnlinie von Laibach nach Karlstadt und einige weitere kleinere Strecken. Danach wurde von Lössl die Oberleitung des Rieder-Bahnbaus übertragen, wofür er einige Jahre zuvor schon die Vorarbeiten geleistet hatte. Trotz erheblicher Schwierigkeiten bei dem Bau der Innbrücke bei Braunau konnte Lössl den Bau dieser Bahnstrecke 1870 erfolgreich abschließen.

Gleich anschließend begann Lössl mit den Vorarbeiten für die Salzkammergutbahn. Diese sollte von Schärding über Ried, Bad Ischl und Bad Aussee schließlich nach Selzthal führen. Dies war vermutlich Lössls erste Begegnung mit dem Ausseerland. Lössl war von der schönen Gegend, den vielen Bergen und den klaren Seen so fasziniert, dass er später in diese Gegend zurückkehrte.

Es war 1871 als Friedrich Ritter von Lössl endgültig aus der Verwaltung der Westbahn ausschied. Er wurde Chefingenieur in der Bauabteilung der Franco-Österreich Bank.



In dieser Stellung arbeitete er an der bereits im Bau befindlichen Karlstadt-Ogulin Bahnverbindung, sowie an der Strecke Dirasso-Pola und einigen Anschlussstrecken bei Triest. Weiters arbeitete Lössl in dieser Zeit an einem Plan für einen Kanal, der die Donau mit der Save verbinden sollte, sowie an einem Generalbebauungsplan für eine Wiener Stadtbahn, aus der schließlich die heutige U6 hervorging.

1873 entwickelte Lössl die Schichtreliefs für die Salzkammergutbahn, für die er auf der Wiener Weltausstellung wiederum, wie schon 1862 in London, eine Goldmedaille erhielt.

1874 unternahm Lössl einige private Studienreisen. In diesem Jahr widmete sich der Ingenieur verstärkt den Themen, die ihn schon seit seiner Gymnasialzeit interessierten. Er besichtigte neben Lüftungseinrichtungen für Tunnelsysteme auch Wasserturbinenanlagen und widmete sich erneut den Kräften des Luftdrucks. Noch im selben Jahr gelang es Lössl seinen ersten Prototyp einer autodynamischen Uhr zu konstruieren.

1875 wurde Lössl noch einmal von der Westbahn Gesellschaft mit den Beendigungsarbeiten der Bahnlinien Salzburg-Bischofshofen-Zell am See und von Kitzbühl nach Wörgl beauftragt. Als er 1876 diese Projekte abschloss, übernahm er die Sanierung der Erzherzog-Albrecht-Bahn in Galizien, welche durch einen Erdbeben stark beschädigt worden war.

Im selben Jahr erwarb Friedrich Ritter von Lössl von der steirischen Baugesellschaft ein Sanatorium in Bad Aussee, welches er sanierte und zu einem erstklassigen, sehr beliebten Hotel ausbaute. Dieses nannte er Badehotel Elisabeth, welches heute noch als Schülerheim und im Sommer als Hotel geführt wird. Die Entwicklung seiner Wahlheimat, Bad Aussee lag Lössl sehr am Herzen. Lössl verbrachte nach dem Erbau der Salzkammergutbahn sehr viel Zeit im schönen Ausseerland.

Als 1880 etwas Ruhe bei den Bahnbauten eintrat, widmete sich Lössl zunächst einmal der Entwicklung von neuen Schnellbremsen für Straßenbahnen. Weiters arbeitete er an einer Verbesserung der von ihm entwickelten Schichtreliefs und ließ diese mit verschiedener Beleuchtung fotografieren. Die Schattierungen übertrug Lössl auf Karten, für die sich nicht zuletzt auch das Militärgeographische Institut interessierte.

Diese etwas ruhigere Zeit nutzte Lössl auch dazu, sich eine eigene Werkstatt mit großem Hofraum zu errichten. In erster Linie war diese Werkstatt für die Herstellung seiner autodynamischen Uhr gedacht.

Im selben Jahr noch, 1880, wurde die erste im Freien stehende autodynamische Uhr, welche Lössl in seiner neuen Werkstatt anfertigte, im Wiener Cottagegarten aufgestellt und in Takt gesetzt, wo sie viel Aufsehen erregte.

1880 war auch das Jahr, indem der geniale Bahnstreckenbauer sein letztes Bahnlinienprojekt in Angriff nahm und fertig stellte, die Mühlkreisbahn. Mit bereits über 60 Jahren und nach fast 50 Jahren Eisenbahnstreckenbau zog sich Lössl nach und nach aus seinem Berufsleben zurück.

Für Friedrich Ritter von Lössl ging nun die Ära seiner erfolgreichen beruflichen Laufbahn zu Ende und der geniale Ingenieur widmete sich von nun an verstärkt der autodynamischen Uhr und seinen Visionen über eine bemannte Luftfahrt.

Bereits 1881 war in der gewerblichen Ausstellung von Linz eine autodynamische Uhr von Lössl zu sehen, die mit großer Bewunderung bestaunt wurde. Nach der Ausstellung machte Lössl sein Werk der Stadtgemeinde Linz zum Geschenk. In den nächsten Jahren wurden weitere autodynamische Uhren von Lössl in Wien aufgestellt. Bekannt sind jene von der Hernalser Hauptstraße, der Währinger Straße, der Volksoper und der Rotunde. Weiters wurde eine Uhr bei Leobensdorf vor dem Salzerbad aufgestellt.

Stand- und Monumentaluhren waren zu dieser Zeit nur selten zu sehen, da man diese wie Turmuhren wöchentlich oder sogar täglich händisch aufziehen musste. Die Erfindung Lössls erübrigte nun jenes lästige Aufziehen. Die von Lössl aufgestellten Uhren tickten völlig zufriedenstellend und selbstständig. Die Werke und Aufzugsvorrichtungen der Uhren waren so ausgefeilt, dass Friedrich Ritter von Lössl für Jahrzehnte Betriebssicherheit garantieren konnte. Störungen, die selbstverständlich nicht ganz ausblieben, wurden meist nur durch äußere Einflüsse hervorgerufen, jedoch nicht durch technisches Gebrechen.

Friedrich Ritter von Lössl, der stets ein agiles Leben führte, wurde mit der Zeit zu einem stillen Gelehrten, der seiner Zeit etwas voraus zu sein schien. Der pensionierte Ingenieur und Vordenker hielt in den nächsten Jahren vor Physikern und Ingenieuren Vorträge über seine Visionen und Erkenntnisse über die Aerodynamik. Lössl war davon überzeugt, dass einmal Menschen mit Flugzeugen durch die Luft fliegen würden. Diese Überzeugung schöpfte Lössl in erster Linie aus seinen eigenen Luftwiderstandsversuchen. Bei seinen Ingenieurkollegen stieß er damit jedoch aber nur auf heiteres Gelächter.

1887 erhielt Friedrich Ritter von Lössl einen traurigen Schicksalsschlag, als seine Frau Luise plötzlich verstarb. Lössl selbst erkrankte in diesem Jahr an einer schweren Lungenentzündung, von der er sich nur langsam erholte.

Bereits im fortgeschrittenen Alter von 71 Jahren erbaute der Ingenieur und Erfinder 1888 seine eigene Villa in seiner Wahlheimat Bad Aussee, welche er Villa Gentiana nannte. Lössl ließ seine Villa mit einem prächtigen Turm ausstatten, welchen er für seine

Luftwiderstandsversuche nutzte. Lössl machte viele Flugversuche mit seinen selbst angefertigten Flugmodellen, um neue Erkenntnisse der Aerodynamik zu erlangen. Die Treppe seines Hauses wurde von dem Ingenieur so angelegt, dass der freie Schacht einen Raum für die Versuche seiner Uhrenpendel bot.

Diesen Forschungen zu Folge brachte Lössl 1895 das Buch, *„Der Luftwiderstand, der Fall durch die Luft und der Vogelflug“*, heraus, welches bei seinen Ingenieurkollegen sehr umstritten war. In diesem Zusammenhang wäre es einmal mehr interessant, nachzuforschen und herauszufinden, in wie weit Lössls damalige Theorien über die Aerodynamik und einer möglichen Luftfahrt mit dem heutigen Wissen der Flugtechnik übereinstimmen.

Ab 1896 wurde die Villa Gentiana zu Friedrich Ritter von Lössls hauptsächlichem Wohnsitz. Dort nahm er sich schließlich die Zeit, einige persönliche Dinge niederzuschreiben, welche auch zum Teil veröffentlicht wurden.

In einem Bericht über seinen Beruf als Bahnstreckenplaner und –erbauer, sowie über seine Hobbys, die Luftfahrt und die autodynamische Uhr, schreibt Lössl:

*„Bezüglich meiner Nivellierungen, Trassierungen, meiner Bauprojekte und Bauleitungen liegen von mir jetzt viele Eisenbahngleise und Eisenbahnstationen, auf welchen neben Millionen Tonnen Fracht sich Hunderttausende von Menschen herumtummeln. Sooft ich daran denke, erinnere ich mich dabei mit herzinnigem, heimlichem Vergnügen an die zahlreichen Details meiner einstigen eifrig betriebenen und glücklich beendeten Mitarbeit. Diese Erinnerung genügt mir.“*

Zu seinen Erkenntnissen aus seinen Luftwiderstandsversuchen schreibt Lössl:

*„Meine sonstigen auf Flugtechnik bezüglichen aerodynamischen Experimentalstudien, welche meines Wissens von niemanden sonst mit gleicher Intensität und Beharrlichkeit unternommen wurden, haben mir viel Vergnügen bereitet. Wenn sie auch nicht zu dem Riesenerfolg führten, den vollendeten menschlichen Kunstflug ins Leben zu rufen, sondern nur ein klein wenig dazu beigetragen haben. Ein vollkommener Kunstflug des Menschen wird meines Erachtens niemals zu Stande gebracht werden, sondern nur etwas Ähnliches, mittels drachenartiger Apparate mit Horizontalantrieb.“*

Zu seiner Erfindung der autodynamischen Uhr schreibt Lössl:

*„Was aber meine Erfolge des Luftstudiums betrifft, so schwanken meine Gefühle. Ich glaube, dass die autodynamischen Uhren mit ihren atmosphärischen Motoren und luftgebremsten Kompensationspendeln während ihres allzu langwierigen Zustandekommens hauptsächlich durch die gleichzeitigen Leistungen der Elektrizitätstechnik überholt und in den Schatten gestellt wurden. Die Aufmerksamkeit von den Uhren wurde zunächst abgelenkt. Ich sage zunächst, denn es dürfte noch einmal die Zeit kommen, wo man sich ihrer erinnern und sich auch ihrer bedienen wird.“<sup>20</sup>*

1907 erkrankte Friedrich Ritter von Lössl, als er in Wien mit den Vorbereitungen zur Abreise nach Bad Aussee beschäftigt war, wiederum an einer schweren Lungenentzündung, von der er sich nicht mehr erholte. Am 14. Mai 1907 verstarb Friedrich Ritter von Lössl im stolzen Alter von 90 Jahren in Wien, wo er auf dem Gersthofer Friedhof beigesetzt wurde. Das Grab ist auch heute noch, leider in einem völlig verwahrlosten Zustand, vorhanden.

In seiner Wahlheimat erinnert neben der einzigen noch existierenden Monumentaluhr von Lössl ebenso die nach dem genialen Ingenieur und Erfinder benannte Lösslpromenade an den Genius und Gönner Bad Aussees. Trotz der eben beschriebenen Leistungen Lössls und seiner innigen Verbindung zu Bad Aussee, fand man es leider nicht für angebracht, Friedrich Ritter von Lössl als Visionär seiner Zeit bei der steirischen Landesausstellung 2005, „*Narren und Visionäre*“, in irgendeiner Art und Weise zu ehren oder zumindest zu erwähnen.

## **6.1. Die autodynamische Uhr von Friedrich Ritter von Lössl**

Friedrich Ritter von Lössl zeigte schon am Anfang seiner Ingenieurskarriere großes Interesse an den Eigenschaften der Luft, sowie deren Veränderung auf Grund unterschiedlicher äußerer Einflüsse, wie zum Beispiel Temperaturschwankungen. Er beschäftigte sich schon sehr bald, neben seiner beruflichen Tätigkeit, mit der Wirkung hermetisch eingeschlossener Luftmassen und deren Verhalten bei Druckschwankungen. Dazu führte Lössl privat dutzende Versuche durch. Es gelang Lössl festzustellen, dass die mechanische Umsetzung von Luftdruckschwankungen und ein Temperaturwechsel ausreichend sind, um schwere Gewichte

---

<sup>20</sup> Technisches Museum in Wien: Blätter der Technikgeschichte, 1946

anzuheben, und weiters, dass man diese leicht gewonnene Kraft auch für feinere Mechanismen nutzen kann. Darauf hin plante Friedrich Ritter von Lössl eine Uhr zu bauen, die allein durch Luftdruckschwankungen und Temperaturwechsel angetrieben werden sollte. Dazu bestellte er bei einem angesehenen Uhrmacher in Wien das erste Uhrwerk für eine sich selbst antreibende und aufziehende Uhr nach seinem System. Lössls Ziel war es, die Mechanik der Uhr so zu konstruieren, dass sie sich selbsttätig und ohne Kraft von außen in Gang hielt, und dass somit eine Wartung der Uhr nicht von Nöten sein würde. Was dies bei öffentlichen Uhren, die man zu dieser Zeit noch ständig nachstellen und aufziehen musste, bedeutete, kann man sich gut vorstellen.

Etwa zur gleichen Zeit machte Lössl die Bekanntschaft mit einem Uhrmacher namens Mahler, der von Lössls Idee begeistert war und ihn in seiner Idee unterstützte. Der Plan war, dass der angestrebte Luftantrieb nicht nach der Art von Windmühlen im Freien funktionieren, sondern stattdessen mit eingeschlossenen Luftmassen arbeiten sollte. Uhrmacher Mahler hatte selbst an der Sonnenseite seines Hauses eine Eisenstange im Boden eingemauert, die bis zur Dachrinne reichte, sodass sich das obere Ende dieses Rohres frei bewegen konnte. Es war so konstruiert, dass sich das freie Ende der Eisenstange unter Einfluss von geringen Temperaturschwankungen hin und her schieben konnte. Die Ausdehnungen der Stange wurden mittels eines Hebelwerkes in das Innere seines Hauses geleitet und die entstandene Kraft dazu verwendet, Gewichte aufzuziehen, die wiederum Mahlers Hausuhr antrieben. Mahler dürfte bei Lössl große Zuversicht für dessen eigenen Plan, eine autodynamische Uhr zu bauen, ausgelöst haben.<sup>21</sup>

Dem Ingenieur Lössl war klar, dass die räumliche Ausdehnung von Luft um vieles größer ist, als die von Eisen. Demnach folgerte er, dass eine hermetisch eingeschlossene Luftmasse bei natürlichen Temperaturschwankungen eine erheblich größere Arbeitsleistung erbringen müsste. Lössls Erkenntnisse waren nun, nicht zuletzt auf Grund Mahlers Unterstützung, so weit fortgeschritten, dass er nun beginnen konnte, seine Idee zu verwirklichen. Dies alles geschah noch in Lössls Linzer Zeit. Dort fertigte Friedrich Ritter von Lössl 1874 schließlich die erste Uhr nach seinem System an. Zunächst konstruierte der Erfinder Zimmerwanduhren, die circa eine Laufzeit von zwei Monaten hatten. Diese Zimmeruhren wurden mit einem Kolben, der in einem Zylinder auf und ab ging, angetrieben. Dabei war der Kolben mit einer Kette verbunden, über welche das Uhrwerk aufgezo-gen wurde. Der Zylinder war durch ein kleines Rohr an ein Gefäß gekoppelt, welches außerhalb des Hauses angebracht sein musste.

---

<sup>21</sup> Josef H.Schröer: Die autodynamische Uhr, Günter Druck GmbH, Schauenroth 2003, S.9

Dabei reichten bereits die Temperaturschwankungen von Tag und Nacht völlig aus, um die Uhr ständig aufzuziehen. Goss man zum Beispiel kühles Wasser über das Gefäß, konnte man deutlich beobachten, wie sich das in ihm befindliche Gewicht um einige Millimeter anhob und so den Kolben im Zylinder in Bewegung versetzte.<sup>22</sup>

Der Tüftler Friedrich Ritter von Lössl verbesserte seine Technologie und konstruierte zunächst Zimmerwanduhren nach seinem System, die für Innenräume bestimmt waren. Für die Mechanik dieser Uhren bekam Lössl nach anfänglichen Schwierigkeiten das Deutsche Reichs-Patent Nr. 15048 erteilt.<sup>23</sup>

Lössls Wanduhren waren beliebt und wurden auch über die Grenzen Österreichs hinweg verkauft. Wie viele dieser Wanduhren Lössl konstruierte, beziehungsweise verkauft wurden, ist jedoch nicht bekannt. Eine von einem Liebhaber selbst wieder in Gang gebrachte originale Lössl Wanduhr befindet sich heute noch in der Nähe Wiens.

Wie schon erwähnt, waren diese Wanduhren nach Lössls genialem System allerdings nur für geschlossene Räume gebräuchlich, wo keine extremen Temperaturwechsel, keine große Luftfeuchtigkeit, kein Wind und keine Erschütterungen vorkamen. So durfte es dem Besitzer auch nichts ausmachen, manchmal eine Zeiger- oder Tempo-Korrektur der Uhr vorzunehmen.<sup>24</sup>

Lössls nächstes Ziel war es, eine Uhr nach seinem System zu konstruieren, die auch an freier Luft als Monumentaluhr funktionierte. Dies erwies sich zunächst als weit schwierigeres Unterfangen, da eine solche Uhr der wechselhaften Witterung, den unterschiedlichen Jahreszeiten, sowie auch allen Arten von Insekten standhalten musste. Eine solche Wunderuhr zu konstruieren, die all diesen Dingen standhalten konnte und



Abb. 7:  
Funktionstüchtige  
Lössl-Wanduhr<sup>25</sup>

<sup>22</sup> Josef H. Schröer: Die autodynamische Uhr, Günter Druck GmbH, Schauenroth 2003, S.9

<sup>23</sup> Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architekten Vereines, Wien 27.Sept. 1895, Nr. 39, S.1

<sup>24</sup> Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architekten Vereines, Wien 27.Sept. 1895, Nr. 39, S.2

<sup>25</sup> Lothar Hofer: Funktionstüchtige Lössl-Wanduhr in der Nähe Wiens, Juli 2005

trotzdem einwandfrei funktionierte, sodass sie über Jahrzehnte nicht nachgestellt werden musste, gelang Friedrich Ritter von Lössl schließlich im Jahre 1880.<sup>26</sup>

Für seine Erneuerungen an seinem Uhrensystem und der speziell robusten Bauweise seiner Monumentaluhren bekam Lössl schließlich das Deutsche Reichs-Patent Nr. 69723, worin die deutliche Effizienzsteigerung Lössls Uhrensystems festgehalten wurde.<sup>27</sup>

Dies konnte schließlich auch an der Lössl-Uhr, die im Linzer Volksgarten aufgestellt wurde erfolgreich demonstriert werden. Sie zeigte angeblich ganze 21 Jahre korrekt die Zeit an, ohne dass man sie auch nur einmal bedienen hätte müssen.<sup>28</sup>

### **6.1.1. Funktionsweise der autodynamischen Uhr**

Die Funktion der Lössl Uhr lässt sich, ähnlich wie bei Cox, am Besten über die Funktion eines Barometers erklären. Man stelle sich vor, man legt zum Beispiel dem Quecksilber eines Hebel-Barometers am Ende seines Glasrohres ein kleines Gewicht an, welches durch das Emporsteigen des Quecksilbers etwas angehoben wird. In weiterer Folge sorgt man dafür, dass nur jene Kraft des Emporsteigens genutzt wird und so das Gewicht bei Niedergang des Quecksilbers nicht mit zurücksinkt. So kann theoretisch, wenn auch nur sehr langsam und in einem sehr geringen Ausmaß, nahezu ständig Arbeit gewonnen werden.

Nach diesem theoretischen Prinzip funktioniert auch die autodynamische Uhr von Friedrich Ritter von Lössl. Der Unterschied ist, dass bei der Lössl Uhr hingegen weder Quecksilber noch eine andere Flüssigkeit die Rolle eines Druckvermittlers spielt, sondern das Medium Luft selbst. Es ist bekannt, dass die Lufthülle die unsere Erde umschließt, ein bestimmtes Gewicht hat und deshalb einen gewissen Druck auf die Oberfläche der Erde ausübt, welchen sich Lössl für sein Uhrensystem zu Nutzen machte. Dieser Druck beträgt circa 1 Kilogramm pro Quadratcentimeter. In der Höhe des Meeresspiegels etwas mehr und in höher liegenden Gegenden wiederum etwas weniger. Der Luftdruck nimmt also mit der Höhe ab. Da der Luftdruck ein allseitiges Gleichgewicht darstellt, ist er für unsere Sinnesorgane in der Regel nicht direkt wahrnehmbar.

Wenn man nun aber die in einem Gefäß befindliche Luft künstlich herausschafft, so wird der äußere Luftdruck sofort auf das Gefäß drücken und es auch zerdrücken, wenn es nicht widerstandsfähig genug ist.

---

<sup>26</sup> Josef H.Schröer: Die autodynamische Uhr, Günter Druck GmbH, Schauenroth 2003, S.14

<sup>27</sup> Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architekten Vereines, Wien 27.Sept. 1895, Nr. 39, S.2

<sup>28</sup> Josef H.Schröer: Die autodynamische Uhr, Günter Druck GmbH, Schauenroth 2003, S.9

Nimmt man hingegen nur einen Teil der Luft aus dem geschlossenen Gefäß heraus, so wird die zurückbleibende Luft auf Grund ihrer elastischen Ausdehnbarkeit zwar noch immer das ganze Gefäß ausfüllen, jedoch in einem verdünnten Zustand mit verminderter Spannung, sodass sie dem äußeren Luftdruck nur noch einen verhältnismäßig geringen Gegendruck entgegensetzen kann. Weiters gilt, dass der Druck der Atmosphäre an ein und dem selbem Ort nicht immer konstant bleibt, sondern fortlaufend variiert, und dass auch die unterste, an der Erdoberfläche aufliegende Luftschicht, unter der variablen Pressung der oberen Schichten verschiedene Dichtigkeiten und Spannungsverhältnisse annimmt. So kommt es, dass die Eigenschaften einer in einem hermetisch abgeschlossenen Gefäß befindlichen Luft, schon nach kurzer Zeit nicht mehr mit der äußeren Luft und deren wechselnden Eigenschaften übereinstimmt. Lässt die äußere Luftspannung zum Beispiel um nur 1 Prozent nach, so überwiegt die Luftspannung im eingeschlossenen Behälter auch um 1 Prozent und drückt von innen mit einer Kraft von 10 Gramm pro Quadratcentimeter auf die Gefäßwand. Im umgekehrten Fall, wenn der Außendruck um 1 Prozent zunimmt, erleidet die Gefäßwand einen Druck von außen mit einem Druck von ebenfalls 10 Gramm pro Quadratcentimeter.

Dies lässt sich daraus berechnen, dass die durchschnittliche Spannung der Atmosphäre mit 1 kg auf 1 cm<sup>2</sup> wirkt. Diesem Druck entspricht wiederum ein mittlerer Barometerstand von etwa 740 mm der Quecksilbersäule. Folglich erzeugt beispielsweise eine Barometerdifferenz von 1 Prozent, das sind in diesem Fall 7,4 mm, einen Druck oder im umgekehrten Fall einen Zug von 1/100 kg, beziehungsweise 10 Gramm pro Quadratcentimeter oder 10 Liter pro Kubikmeter.

Man kann annehmen, dass die durchschnittliche tägliche Barometerschwankung zwischen 3 und 5 Prozent beträgt. Allein die Temperaturschwankungen, denen die Luft ausgesetzt ist, bewirken ebenfalls eine Ausdehnung oder Zusammenziehung ihrer Materie. Dies geschieht schon bei 2,73°C. mit 1/100 ihres Volumens, das sind wiederum 10 Liter pro Kubikmeter, wodurch ebenfalls, wenn die Luft in einem Behälter eingeschlossen ist, ein Druck mit 100 kg auf jeden Kubikmeter des Behälters hervorgerufen wird. Die Ausdehnungs- und Druckwirkung der Temperatur ist demnach kräftiger als die barometrische. Im Vergleich leistet ein einziger Grad Celsius ebenso viel, wie 2,5 mm Barometerbewegung.<sup>29</sup>

Die tägliche Temperaturdifferenz, von welcher die untersten Schichten der atmosphärischen Luft und alle im Freien aufgestellten Objekte betroffen sind, beträgt zwischen 5 und 10°C. und ist im Hochsommer meist wesentlich höher.

---

<sup>29</sup> Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architekten Vereines, Wien 1895, Nr. 41



Friedrich Ritter von Lössl machte sich nun zur Aufgabe, aus dieser von der Natur freiwillig dargebotenen Kraftäußerung, welche in dem fortwährenden Druck- und Volumenwechsel der Luft besteht, den bestmöglichen Nutzen zu ziehen. Der besagte Wechsel der Luftdruckverschiebung geht zeitweise so langsam und schwach vor sich, dass man eine Ausnutzung desselben kaum für mechanisch lohnend erachten könnte. Zu anderen Zeiten wiederum treten so rasche und starke Kraftäußerungen auf, dass sich ein schüchterner Ingenieur wohl kaum getraut hätte, diese alle einzufangen und zu verwerten. So kommt es auch, dass Lössl für seine autodynamische Uhr in der Tat nur die kleineren und mittleren atmosphärischen Kraftlieferungen benutzte. Trotzdem stellte sich heraus, dass diese Kräfte mehr als ausreichend sind, um Lössls geniales Uhrensystem mit der nötigen Antriebsenergie zu versorgen. Friedrich Ritter von Lössl erklärte in einem Vortrag vor dem Allgemeinen technischen Verein in Wien am 27. März 1886, dass in großen, öffentlich aufgestellten autodynamischen Standuhren ein Luftvorrat von  $\frac{1}{2}$  m<sup>3</sup> vorhanden ist, und dass die auf- und abwärts gehende Zylinderbewegung zusammengenommen bis zu 12 cm ausmachen kann und hierbei einen Druck von 7 bis hin zu 10 kg ausübt.<sup>30</sup>

Die tatsächliche Umwandlung der atmosphärischen Naturkraft in eine maschinelle Antriebskraft wird durch das Laufwerk der Uhr vollbracht. Dabei ist es wesentlich, dass dieser Apparat nicht unmittelbar auf das Uhrwerk wirkt, sondern wegen seiner unregelmäßigen Funktionsweise die Aufgabe hat, die Zuggewichte oder Zugfedern der Uhr zeitweise aufzuziehen, um so den fortlaufenden aufgezogenen Zustand erhalten zu können und somit durch deren regelmäßigen Ablauf der eigentliche Uhrgang zustande kommen kann.

## **6.2. Hauptbestandteile der autodynamischen Uhr**

### **6.2.1. Das Antriebswerk**

Das Antriebswerk ist der wesentlichste Bestandteil des komplizierten Uhrensystems, bei dessen Erfindung Lössl von den damals gebräuchlichen und üblichen Konstruktionsarten ganz abkommen musste. Für die Aufnahme des abwechselnden inneren und äußeren Luftdrucks konnte Lössl keine gewöhnliche Kolbenbewegung anwenden, wie sie bei Dampfmaschinen oder Pumpen üblich waren, da es sich bei dem System Lössl's um verhältnismäßig viel schwächere und sehr langsam vor sich gehende Druckwirkungen handelte.

---

<sup>30</sup> Museum des Reichsgaues Oberdonau in Linz: Schriften über autodynamische Uhren, Nr.374, 1942

Dafür boten Kolbenzylinder einen zu hohen Reibungswiderstand und waren für das äußerst empfindliche System zu undicht. Auch barometerähnliche Methoden mit Wasser, Quecksilber oder sonstige Flüssigkeiten waren für dieses System ungeeignet.

Aufgrund der ungeeigneten bestehenden Systeme entwickelte Friedrich Ritter von Lössl für seine durch Luftdruck betriebene Uhr einen eigenen Zylinder, der in seiner Funktion an einen Blasebalg oder an eine Ziehharmonika erinnert.

Hauptbestandteil des Zylinders sind Blechplatten, die abwechselnd eine Form eines breiten oder schmalen Ringes haben. Zwischen der äußeren und inneren Peripherie sind die Blechplatten kreisförmig gewellt oder gefaltet und so schichtartig übereinander miteinander verbunden, indem sie paarweise durch steife Vertikalringe an ihren äußeren Peripherien und durch kleinere solcher Verbindungsringe an ihren inneren Peripherien luftdicht verlötet sind. Das ganze System, welches an seinem oberen und unteren Ende durch volle Platten verschlossen ist, bildet eine Art Doppelzylinder, welcher sich nach Art einer Harmonika seiner Länge nach leicht auseinander oder zusammenziehen kann. Dabei ist der Zylinder komplett luftdicht und steht bei der Monumentaluhr aufrecht auf der Bodenplatte, während die Deckelplatte nach oben hin frei beweglich bleibt, um die energiespendende Bewegung ausführen zu können. Durch die Bodenplatte ist der Zylinder mittels Rohr in Verbindung mit einem steifwandigen und hermetisch verschlossenen Reservoir, worin sich eine bestimmte Menge der natürlichen atmosphärischen Luft befindet. Das Reservoir kann sich dabei sowohl unmittelbar unter dem Zylinder, als auch in einiger Entfernung befinden. Die meisten Wanduhren nach Lössls System hatten zum Beispiel eine Rohrverbindung zu ihrem Reservoir, welches sich außerhalb des Innenraumes befand. Gemeinsam mit dem Reservoir hält der Zylinder die eingeschlossene Luft fest und verharrt in seiner Ausgangsstellung, solange die eingeschlossene Luft dieselbe Spannung beibehält. Sobald zwischen der eingeschlossenen



*Abb. 8: Blasebalgähnlicher Blechzylinder als Motor der Lössl Wanduhr<sup>31</sup>*

<sup>31</sup>Lothar Hofer: Funktionstüchtiger Nachbau eines Lössl-Blechzylinder in der Nähe Wiens, Juli 2005

Luft und der umgebenden freien Atmosphäre ein Spannungsunterschied auftritt, sei es durch Erwärmung oder Abkühlung des Luftreservoirs, wird bei Überwiegen der inneren Spannung eine Streckung und bei Überwiegen der äußeren Spannung ein Zusammenziehen des elastischen Zylinders erfolgen. Der Druck, der bei der Bewegung der Zylinderdeckplatte ausgeübt wird, ist von der barometrischen oder thermometrischen Differenz und von der Querschnittsfläche des Zylinders abhängig. Die fast andauernden Zylinderbewegungen können mit Zuhilfenahme entsprechender Maschinenteile zum Aufziehen von Zugfedern oder Gewichten verwendet werden, sodass der Zylinder als selbsttätiger Motor funktioniert. Dabei funktionierten Lössls Wanduhren mittels Gewichtsaufzug und Lössls Monumentaluhren mit Zugfedern. Die zu erreichende Länge der Zylinderbewegung ist ebenfalls von der Querschnittsfläche des Zylinders abhängig.<sup>32</sup>

Hat eine Uhr nur einen einzigen Antriebszylinder, so ist die zur Bewegungsübertragung bestimmte Zugkette oder Schubstange in der Mitte seiner Deckelplatte angebracht. Sind zwei oder mehrere nebeneinander stehende Zylinder im Uhrenkasten vorhanden, sind die Mittelpunkte ihrer Deckplatten durch eine steife Brücke miteinander verbunden, auf welcher in der Mitte die betreffende Kette oder Stange montiert ist. Mittels einer Zugkette kann schließlich nur die abwärts gehende Zylinderbewegung ausgenutzt werden, was bedeutet, dass nur eine einfache Zugbewegung auf das Aufzugswerk der Uhr übertragen wird. Bei der Schubstange hingegen kann eine Doppelwirkung erreicht werden. Dieses System ist effektiver, da es durch eine gezahnte Schubstange auf ein doppeltes Sperrradsystem wirkt.

Es ist klar, dass die Luftbewegung im Motor manchmal nur in geringem Maße eintritt, sodass sie für einen vollständigen Antrieb des Zylinders nach oben oder unten nicht ausreicht. Die kleinen Zylinderbewegungen können keinerlei Schaden im System verursachen. Sie wiederholen sich manchmal so häufig, dass die Summe ihrer Wirkungen sogar ein besseres Resultat ergibt als bei größeren äußeren Druckveränderungen. Durch zu große Druckveränderungen können so starke Volumenschwankungen der Innenluft auftreten, dass die positiven oder negativen Druckwirkungen die Aufnahmefähigkeit und Festigkeit der Antriebszylinder übersteigen.<sup>33</sup>

---

<sup>32</sup> Österreichisch-Ungarische Uhrmacherzeitung: Selbsttätiger atmosphärischer Motor, Nr.3,1881

<sup>33</sup> Museum des Reichsgaues Oberdonau in Linz: Schriften über autodynamische Uhren, Nr.374, 1942

### **6.2.2. Das Ventil**

Diesen außergewöhnlich großen Bewegungen und Druckwirkungen wird ein Ventil entgegengesetzt. Dieses Sicherheits- oder Betriebsventil ist in der Deckwand des Luftreservoirs angebracht und öffnet sich sofort automatisch, sobald die obere Deckplatte des Motorzylinders eine ihr im Voraus zugemessene Höhengrenze erreicht oder auf eine Begrenzung der Tiefe absinkt. Durch Öffnen des Ventils tritt die eingeschlossene Reservoirluft mit der äußeren Atmosphäre in Kommunikation und die beiderseitig bestehende Spannungsdifferenz wird entweder durch Ausblasen oder Einsaugen von Luft vollständig ausgeglichen, sodass jede weitere Zylinderbewegung oder Druckwirkung unterbleibt. Die Vorrichtung ist ferner so konstruiert, dass sich nach dem besagten Spannungsausgleich das Betriebsventil wieder schließt und somit der Zylinder dann in einen Stadium still steht, von welchem aus entweder jede weitere Bewegungsfortsetzung abermals unterbrochen wird oder aber die schließlich bevorstehende Rückbewegung vollwertig begonnen werden kann.

Auf diese Weise ist es möglich, dass die eingeschlossene Reservoirluft immer nur eine ihr gestattete Maximal- oder Minimalspannung annehmen kann, welche bis zu einem bestimmten Maß mit der Mittelspannung der Atmosphäre übereinstimmt und es so zu keinen maschinellen Beschädigungen kommen kann.

Die Ventilvorrichtung, welche nur aus einem vertikalen dünnen Stift, welcher in eine entsprechende konische Öffnung passt, besteht, wird auch noch aus einem anderen Anlass in Funktion gebracht. Sobald nämlich die Lössl-Uhr völlig aufgezogen ist, sodass sie weder einer weiteren Kraftzufuhr bedarf, oder eben eine solche ohne Schaden aufnehmen kann, öffnet sich das Ventil selbsttätig und bleibt so lange geöffnet, bis ein neuer Kraftbedarf entsteht. Bis dahin ruht auch jegliche Zylinderbewegung. So kommt es, dass die Uhr, für welche die Kraftzufuhr viel höher gerechnet ist, als ihr wirklicher Bedarf beträgt, sich für gewöhnlich im Zustande der vollen Aufgezogenheit befindet und dass der Motor immer nur subsidiär von Zeit zu Zeit dazwischen arbeitet. Auch aus dieser Anordnung geht also der Umstand hervor, dass in einer autodynamischen Uhr überhaupt nur ein kleiner Teil der zu Gebote stehenden Naturkraft wirklich verwendet wird.<sup>34</sup>

---

<sup>34</sup> Museum des Reichsgaues Oberdonau in Linz, Sonderabdruck aus der Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architekten Vereines: Über Erfahrungen mit autodynamischen Uhren, Wien 1896

### 6.2.3. Das Aufzugswerk

Da die für das Uhrensystem so wichtigen Thermometerschwankungen in unseren heimischen Gegenden hauptsächlich nur während der Frühjahrs- und Sommerzeit eintraten, musste sich Lössl etwas einfallen lassen, um die durch die Luftdruckveränderungen gewonnene Energie besser speichern zu können. Ziel war es, die durch den Motor erzeugte Arbeitskraft in großer Quantität gegebenenfalls auch für längere Zeit zu akkumulieren. Dieses Problem löste der Ingenieur durch eine geschickte Verknüpfung von mehreren Zugfedern.

Die Aufgabe der Federn im Aufzugswerk besteht nicht darin, durch die Kraft des Motors gemeinschaftlich aufgezogen zu werden und in weiterer Folge ihre summierte Arbeitsleistung auf das Uhrwerk zu übertragen, sondern, dass nur die erste der hintereinander gereihten Federn ihren Aufzug von der Schubstange des Motors erhält, indem ihre Kernwelle von jener gedreht wird. Durch die Windung und Spannung dieser Feder, wird auch deren Federhaus in Drehung versetzt. Diese Federhausdrehung übt wiederum ihren Zug nicht unmittelbar auf das Uhrwerk aus, sondern setzt die Kernwelle der zweiten



Abb. 9: Originales Aufzugswerk einer Lössluhr mit mehreren Federhäusern <sup>35</sup>

Zugfeder in Bewegung. Die dadurch verursachte Drehung des zweiten Federhauses überträgt sich sodann auf die dritte. Dieser Prozess fährt soweit fort, bis die letzte Feder des Systems gewunden und gespannt ist. Erst dann überträgt dieses letzte Federhaus seinen Zug auf das Gangwerk der Uhr, was wiederum bedeutet, dass die letzte Feder nicht ihre maximale Anzahl von Windungen erreicht haben kann, bis alle vorher befindlichen Federn auf die gleiche Windungszahl gespannt sind. <sup>36</sup>

Demnach macht das erste Federgehäuse eine sehr große Anzahl von Rotationen, bis auch das letzte vollständig aufgezogen ist. Das letzte Federhaus macht folglich ebenso viele

<sup>35</sup> Lothar Hofer: Originales Lössl-Aufzugswerk in der Nähe Wiens, Juli 2005

<sup>36</sup> Museum des Reichsgaues Oberdonau in Linz, Sonderabdruck aus der Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architekten Vereines: Über Erfahrungen mit autodynamischen Uhren, Wien 1896

Ablaufrotationen, wenn es sich in umgekehrter Weise völlig entspannt. Dies ist aber praktisch nie der Fall, da Lössl stets genügend Federgehäuse für sein Uhrensystem einsetzte.

Mit Hilfe dieses Federsystems ist es dem Erfinder schließlich gelungen, den Betrieb seiner Monumentaluhren im Voraus auf 100 Tage oder mehr abzusichern, für den Fall, dass für diese ganze Zeit keine neue Aufzugsaktion stattfinden würde. Theoretisch ließe sich auf diese Weise die Antriebskraft für beliebig große Zeiträume ansammeln.

Weiters bleibt noch zu erwähnen, dass am Gehäuse jeder Uhr ein optisches Signal angebracht war, welches dem damit Vertrauten, ohne Einblick in das verschlossene Innere der Uhr, angezeigt hat, in welchem Stadium des Aufzuges sich das Uhrwerk gerade befand.<sup>37</sup>

#### **6.2.4. Das Laufwerk**

Das Laufwerk ist in der Uhr oberhalb des Aufzugwerks positioniert und funktioniert ähnlich wie bei einer ganz normalen Uhr. Grundsätzlich besteht es aus einem Bodenrad, einem Zentrumsrad, zwei Übersetzungsrädern und der Pendelwelle. Die hauptsächliche Abweichung zu einem herkömmlichen Uhrensystem besteht darin, dass alle Wellen vertikal stehen und alle Räder horizontal liegen. Dabei ist der Zapfen an jedem oberen Wellenende körnerförmig zugespitzt und das untere Wellenende unten eingebohrte. Auf diese Weise sind die Lagerungen der Wellen vor Staub und sonstiger Verunreinigung geschützt.<sup>38</sup>

Die Lagerlöcher der Wellen waren mit einer Palladium-Legierung versehen, sodass diese, ohne jemals einer zusätzlichen Schmiere zu bedürfen, ein für ein Uhrwerk überhaupt mögliches Minimum an Reibungswiderstand gewährleisteten.

Ein wesentlicher Vorteil des Lösslschen Laufwerks gegenüber den herkömmlichen Uhrensystemen war, dass sich die Räder nicht mit ruckartiger, sondern mit einer konstanten, immer gleich bleibenden Geschwindigkeit drehten. Lössl gelang es dadurch, die fortwährend auftretende Überwindung der Trägheitsmomente in seinem System zu umgehen und so, die in gewöhnlichen Uhren zu leistende Hauptarbeit einzusparen. Diese bedeutende Meisterleistung erreichte der Erfinder durch eine völlig neuartige Konstruktionsweise des Pendelwerkes.<sup>39</sup>

---

<sup>37</sup> Museum des Reichsgaues Oberdonau in Linz: Schriften über autodynamische Uhren, Nr.374, 1942

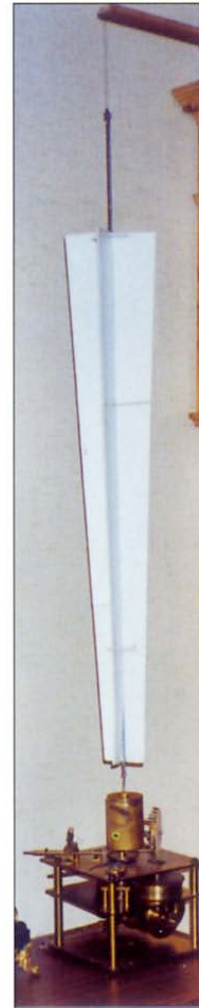
<sup>38</sup> Josef H.Schröer: Die autodynamische Uhr, Günter Druck GmbH, Schauenroth 2003, S.73

<sup>39</sup> Museum des Reichsgaues Oberdonau in Linz: Schriften über autodynamische Uhren, Nr.374, 1942

### 6.2.5. Das Pendelwerk

Das Regulierungspendel in Lössls Monumentaluhrensysteem ist im Gegensatz zu seinen Wanduhren kein schwingendes, sondern ein sich im Kreis rotierendes, konisches oder zentrifugales Pendel.

Das obere Ende des Pendels besteht aus einem elastischen Draht, mit dem es an dem höchsten Punkt des Uhrgehäuses an einem Hebel aufgehängt ist. Bei den großen Standuhren beträgt die Pendellänge sogar über 3 Meter. An seinem unteren Ende hängt ein circa 3 kg schweres Gewicht, welches bei der Adjustierung des Werkes beliebig vergrößert oder verkleinert werden kann. Zusätzlich ist dieses Gewicht an der Pendelstange mittels Schraube auf- und abwärts höhenverstellbar. Unterhalb des Gewichts läuft die Pendelstange in eine feine Nadel aus. Wiederum unterhalb dieser Nadel befindet sich die Deckplatte des Laufwerks. Hängt das Pendel ruhig herab, deutet es mit der Nadel auf das Zentrum der kreisförmigen Pendelschwingung. In diesem Zentrum ragt aus der oberen Deckplatte des Laufwerks die so genannte Pendelwelle hervor. Die Nadelspitze des Pendels liegt dabei mit 5 bis 6 Millimeter an einem sehr dünnen, auf der Pendelwelle befestigtem, Blechplättchen auf, welches auch als Mitnehmer bezeichnet wird. Auf Grund dieser Konstruktion wird die Pendelnadelspitze bei einer beginnenden Drehung der Pendelstange in Bewegung versetzt und in eine Kreisbahn gedrängt, deren Durchmesser zunächst noch sehr klein ist. Der Widerstand des Pendelgewichts ist zu dieser Zeit fast gleich Null. So kommt es, dass bei zunehmender Drehbewegung der Pendelwelle das Pendel in immer größeren Kreisbahnen herumgeführt wird. Dabei entfernt sich der Berührungspunkt der Nadel und deren Mitnehmer immer mehr vom Zentrum und das Pendelgewicht nimmt eine immer größere Kreisbahn an. Dies wird so lange fortgesetzt, bis der erwünschte Kreisdurchmesser und die optimale Geschwindigkeit erreicht ist, welche durch die gegebene



*Abb. 10:  
Konisches  
Pendel der  
Lössl-Uhr<sup>40</sup>*

<sup>40</sup> Lothar Hofer: Nachbau eines konischen Lössl-Pendels in der Nähe Wiens, Juli 2005

Antriebskraft der Pendelwelle überhaupt erzeugt werden kann und welche bei gleich bleibender Antriebskraft dann ebenfalls konstant bleibt.<sup>41</sup>

So erklärt sich, dass bei der besagten Anordnung die kleinste Antriebskraft genügt, um das Pendel aus seiner Ruhelage zu bringen und in Schwung zu versetzen, woraufhin das Pendel ständig in Bewegung bleibt, solange die Pendelstange noch eine Spur von Kraft besitzt und sich zu drehen vermag. Dies ist gegenüber einem hin und her gehenden Pendel ein bedeutender Vorteil, da ein solches nur mittels Eingriff von Menschenhand aus seiner Ruhelage in Schwung gebracht werden kann und bei geringster Störung seiner Funktion sofort in seine Ruhelage zurückfällt.<sup>42</sup>

Die Gangsicherheit des autodynamischen Laufwerks wird noch durch einen weiteren Umstand gesichert. Wenn das rotierende Pendelgewicht in seinem normalen Rotationskreis schwingt, hat es bereits eine von seiner Schwere und dem Quadrat seiner Geschwindigkeit abhängige Kraft in sich gespeichert. Sollte der Antrieb des Laufwerks aus irgend einem Grund stocken und die Pendelwelle in Stillstand geraten, weil zum Beispiel ein Insekt zwischen den Rädern klemmt, so wird das Pendel nicht sofort in Stillstand versetzt, sondern es wird seine Schwungbewegung sogar als antreibende Kraft fortsetzen. In diesem umgekehrten Fall wird nun die Pendelnadel seinen Mitnehmer und in weiterer Folge auch die Pendelwelle mit allen dazugehörigen Rädern des Laufwerks mit der aus dem Geschwindigkeitsquadrat und der aus dem 3 kg schweren Gewicht hervorgehenden Energie antreiben. Dieser Vorgang dauert zwischen 10 und 15 Minuten und das zwischen den Rädern befindliche Hindernis sollte während dieser Zeit zerquetscht und unschädlich gemacht werden. Tatsächlich kam es vor, dass aus schlecht verschlossenen Laufwerken einiger Probeuhren Käfer und ähnliche unerwünschte Eindringlinge entfernt werden mussten, da sich diese zwischen Zahnräder des Laufwerks verkeilten und somit einen Stillstand der Uhren bewirkten.<sup>43</sup>

Ein weiterer Bestandteil des Regulationspendels ist die flügelartige Luftbremse. Diese besteht aus zwei sich rechtwinkelig durchkreuzten breiten Blechstreifen, die vom oberen Aufhängungsdraht des Pendels bis hin zum zylindrischen Gewicht reichen. Durch die Luftbremse des Pendels wird im Inneren des Uhrengehäuses eine viel größere Menge an Luft zur Widerstandsaktion gezwungen und der Schwungkreis im Allgemeinen auf ein zulässiges Maß, auf nur wenige Zentimeter Durchmesser, reduziert. Der andere Zweck der

---

<sup>41</sup> Museum des Reichsgaues Oberdonau in Linz: Schriften über autodynamische Uhren, Nr.374, 1942

<sup>42</sup> Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architekten Vereines, Wien 4. Okt. 1895, Nr.40, S.1

<sup>43</sup> Museum des Reichsgaues Oberdonau in Linz: Schriften über autodynamische Uhren, Nr.374, 1942



Pendelbremse besteht darin, dass eine zufällige Zu- oder Abnahme der Antriebskraft im Laufwerk nicht auch eine entsprechende Vergrößerung oder Verkleinerung des Schwungkreises verursacht. Einerseits wird bei einer Kraftzunahme die Pendelnadel in Längsrichtung des Mitnehmers weiter nach außen gedrängt, wobei durch die Verlängerung des Hebels, an dem das Pendel am oberen Gehäuse befestigt ist, eine proportionale Verminderung des Effektes erreicht wird. Andererseits wird bei einer Vergrößerung des Schwungkreises auch eine vermehrte Kreiselgeschwindigkeit des Pendels eintreten. Diese höhere Geschwindigkeit ruft dann einen stärkeren Luftwiderstand für das Pendel hervor, welcher im quadratischen Verhältnis zur Geschwindigkeit zunimmt. Bei einer Kraftzunahme treten die genau entgegengesetzten Vorgänge ein. Das Resultat jedoch ist, dass alle diese innerhalb gewisser Grenzen auftretenden Schwankungen in der Antriebskraft schließlich keine messbaren Änderungen des Schwungkreises hervorrufen. Demnach sorgt das Pendelwerk letztlich für einen immerwährenden gleichmäßigen Gang in vollkommener Isochronität.<sup>44</sup>

### **6.3. Das Ende der Lössl-Uhr**

Trotz des genialen Systems und der garantierten dauernden Gangweise der autodynamischen Uhr konnte sich Lössls Erfindung letztendlich nicht durchsetzen.

Die außerordentliche Erfindung Lössls wurde durch eine andere abgelöst. Die Vervollkommnung der Erfindung der elektrischen Uhr wurde zur starken Konkurrenz der Lössl-Uhr. Die elektrische Uhr wurde schon um die Jahrhundertwende von einer Zentraluhr gesteuert. Sie wurde nach und nach an Plätzen wie Bahnhöfen, Postämter und anderen öffentlichen Gebäuden installiert. Zu dieser Zeit war es aus ökologischer und aus ökonomischer Sicht völlig egal, von welcher Energiequelle die Uhren angetrieben wurden, da es damals keine Energieknappheit und keine Umweltverschmutzung gab und selbige auch nicht absehbar waren.

Die Innovation, die die autodynamische Uhr von Lössl mit sich brachte, dass sie nie aufgezogen werden musste, erfüllte die elektrische Uhr ebenso. Der wesentliche Vorteil der elektrischen Uhr gegenüber der Lössl-Uhr war ein ökonomischer. Die Lössl Monumentaluhr kostete auf Grund des gusseisernen Gehäuses, der weitaus aufwendigeren Mechanik und der längeren Herstellungszeit um ein Vielfaches mehr, als die wesentlich einfacher herzustellende

---

<sup>44</sup> Museum des Reichsgaues Oberdonau in Linz: Schriften über autodynamische Uhren, Nr.374, 1942

und handlichere Elektrouhr. Ein weiterer Grund war, dass elektrische Antriebe schnell zu technischem Standard wurden und im Gegensatz zu Lössls Monumentaluhren in Massenanfertigungen weitaus billiger und effizienter produziert werden konnten.

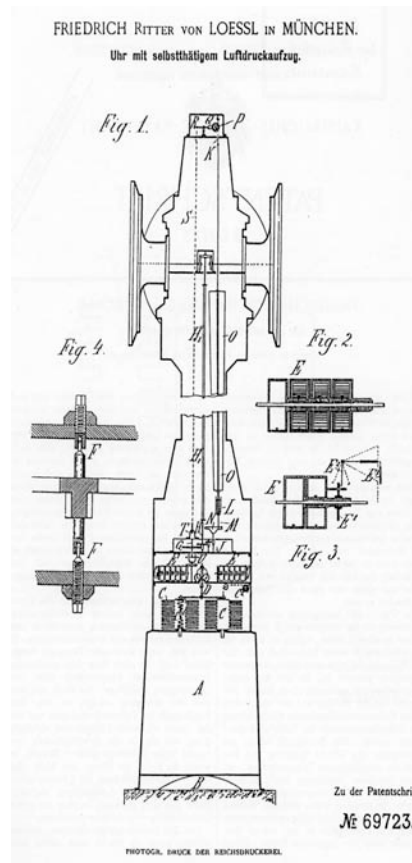


Abb. 11:

Links:

Die Lössl-Uhr in Bad Aussee, unbeachtet bei der steirischen Landesausstellung 2005, Narren & Visionäre.

Rechts:

Reichspatent und Querschnitt der Lössl-Uhr des Kaiserlichen Patentamts aus dem Jahre 1893.<sup>45</sup>

So ausgefeilt Lössls Uhrensystem auch war, konnte es aus ökonomischen Gründen einfach nicht mit der modernen Elektrotechnik mithalten. Zu dem kam hinzu, dass Lössl zu dieser Zeit schon für die damalige Zeit mit 75 Jahren ein älterer Herr war und mehr oder weniger alleine mit seiner Erfindung dastand. Auch wenn Lössl wartungsfreien Betrieb für viele Jahre garantierte, bevorzugte man wahrscheinlich auch aus dem Grund elektrische Uhren, weil für Personal, welches die Uhr reparieren konnte, garantiert war. Ein anderes Argument sich gegen Lössls Erfindung zu entscheiden war, dass eine Lössl-Monumentaluhr an die 1,5 Tonnen wog und somit der Elektrouhr gegenüber absolut unhandlich war.

Wahrscheinlich erwies sich aus einer Kombination dieser Gründe Lössls Erfindung zu dieser Zeit als unökonomisch und wurde deshalb von einer anderen „zeitgerechteren“ Variante

<sup>45</sup> Links: Lothar Hofer: Die Lössl-Uhr in Bad Aussee, Juni 2005; Rechts: Patentschrift No 15048, 1880

verdrängt. So konnte es leider dazu kommen, dass heute keine autodynamische Monumentaluhr von Lössl mehr in Betrieb ist. Wie viele autodynamische Wanduhren, außer der des Lössl-Experten in der Nähe Wiens, heute noch existieren und wie viele davon noch intakt sind, ist leider nicht bekannt.

Wie bereits erwähnt, befindet sich die letzte bekannte, heute noch stehende Lössl-Monumentaluhr in Bad Aussee. Dieses einstige Wunderwerk der Technik befand sich ursprünglich in Wien in der Währinger Straße. Als die neue Stadtbahn gebaut wurde, musste sie allerdings von ihrem Standplatz entfernt werden. Friedrich Ritter von Lössl ließ die demontierte Uhr nach Bad Aussee schaffen und machte sie der Gemeinde zum Geschenk, wo sie bis ins Jahre 1979, mit Ausnahme einer kurzen Unterbrechung in der Kriegszeit, ausschließlich durch Lössls autodynamisches Antriebssystem die korrekte Zeit anzeigte.

1979 wurde der autodynamische Antriebsmotor schließlich durch einen elektrischen Antrieb ersetzt. Als Grund dafür, werden zwei verschiedene Versionen erzählt. Die eine besagt, dass die Uhr aufgrund des stärker gewordenen Verkehrsaufkommens im Ortszentrum und den damit einhergehenden verstärkten Bodenvibrationen funktionsuntüchtig wurde. In der anderen Version wird davon gesprochen, dass niemand mehr im Ort lebte, der die Uhr reparieren beziehungsweise adjustieren konnte oder wollte.<sup>46</sup>

#### **6.4. Die Lössl-Uhr, ein physikalisches Perpetuum Mobile**

Dass Lössl mit seiner Erfindung einen schon zu seiner Zeit wunden Punkt der Technik traf, zeigt sich in einem Bericht über den Versuch einer Patentanmeldung in der Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architektenvereins aus dem Jahre 1895:

*„In Folge der mit dem selbstwirkenden Aufzugswerk erlangten tatsächlichen Resultate nimmt der Erfinder keinen Anstand, dasselbe nach wie vor als physikalisches Mobile perpetuum zu benennen, obwohl gegen die Möglichkeit eines solchen schon mehrseitig Einspruch erhoben wurde, und auch bei der erstmaligen Patenterwerbung des Erfinders im Jahre 1880 das Reichspatentamt den Antrag zurückwies, indem es die Ausführbarkeit eines derartigen Apparates negierte. Erst auf weitere Darstellungen hin wurde dem selbsttätigen atmosphärischen Motor der autodynamischen Uhr das Reichspatent Nr. 15048 erteilt.“<sup>47</sup>*

---

<sup>46</sup> Persönliche Gespräche mit Ortsansässigen und Zeitzeugen, Sommer 2005

<sup>47</sup> Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architekten Vereines, Wien 1895, Nr. 39, S.1

Weiters wird in diesem Bericht zwischen einem mechanischem und einem physikalischem Perpetuum Mobile unterschieden.

Demnach ist ein mechanisches Perpetuum Mobile ein Apparat, der durch eine Kombination von technischen Bauteilen ohne jegliche zusätzliche Kraftquelle eine endlose Bewegung schafft. Anders gesagt, eine Maschine, die es vermag, sich vollkommen selbständig anzutreiben.

Eine solche Maschine entspräche einem Perpetuum Mobile erster Art und ist laut dem 1. Hauptsatz der Thermodynamik nicht möglich.

Der 1. Hauptsatz der Thermodynamik stammt von dem deutschen Arzt und Physiker Robert Mayer (1814-1878) aus dem Jahre 1842. Er besagt, dass sich Energie nur in verschiedene äußere Formen umwandeln lässt, aber weder aus Nichts erschaffen noch zerstört werden kann. Ein Perpetuum Mobile erster Art, eine Maschine mit der sich fortlaufend Arbeit aus dem Nichts gewinnen lässt, ist demnach unmöglich. Bis heute wurde die Definition des 1. Hauptsatzes physikalisch nicht durchbrochen und leuchtet unmittelbar auch logisch ein.

Der 2. Hauptsatz der Thermodynamik stammt von dem französischen Ingenieur Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796-1832) aus dem Jahre 1824. Er besagt, dass die Arbeitsleistung einer Wärmekraftmaschine, deren Antriebsteile in regelmäßiger Folge immer wieder die gleiche Stellung einnehmen, stets mit einem Wärmeübergang von höherer zu tieferer Temperatur verknüpft ist. Dies sagt im Grunde aus, dass eine Maschine, die aus der Wärme der Umgebung Arbeit gewinnt, ein Perpetuum Mobile zweiter Art, nicht möglich ist.

Der 1. sowie der 2. Hauptsatz der Thermodynamik beziehen sich in ihren jeweiligen Definitionen auf ein geschlossenes System. So wie, laut der Definition der Hauptsätze, die gesamte Energie in einem abgeschlossenen System konstant ist, so ist aber die Energiezunahme in einem offenen System gleich der Energieabnahme der Umgebung.<sup>48</sup>

Lössls physikalisches Perpetuum Mobile greift indessen auf eine in der Natur vorhandene Energiequelle, welche „*niemals*“ zu Ende geht, zum andauernden Antrieb zurück.<sup>49</sup>

Konkret nutzt Lössls autodynamisches System den Spannungsausgleich zwischen einem in einem hermetisch abgeschlossenen Behälter befindlichen Luftdruck und den sich ständig verändernden Luftdruck der freien Natur, um Energie für das Antriebssystem zu gewinnen.

---

<sup>48</sup> Harald Chmela, Wolfgang Wiedergut: Grundlagen und Praxis der Freien Energie, Franzis Verlag GmbH, Poing 2004, S.17

<sup>49</sup> Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architekten Vereines, Wien 1895, Nr. 39, S.1

Dem Erfinder Friedrich Ritter von Lössl gelang es schließlich, die Systemgrenzen seines physikalischen Perpetuum Mobiles nach außen hin zu öffnen und die durch die Natur zur Verfügung gestellten Luftdruckschwankungen und Temperaturänderungen als dauernde Energiequelle zu nutzen.

Ein solches physikalisches Perpetuum Mobile scheint zunächst mit einem Perpetuum Mobile 2. Art identisch. Betrachtet man den 2. Hauptsatz der Thermodynamik genauer, erkennt man, dass dem nicht so ist, da Lössl in seinem System nicht die Temperatur oder den Luftdruck selbst, sondern lediglich das energetische Potential der Temperatur- sowie der Luftdruckschwankungen als Energiequelle nutzt. Somit wird gegen die Regeln des 2. Hauptsatzes nicht verstoßen, da die Energie nicht aus der Wärme selbst, sondern nur aus deren Veränderung gewonnen wird.

Unter der Voraussetzung, das Universum nicht als geschlossenes System zu betrachten, fungiert ein physikalisches Perpetuum Mobile in einem offenen System und nutzt die Energieumwandlungen zwischen seinen Systemgrenzen aus.

Der 2. Hauptsatz der Thermodynamik wird dabei in seiner bestehenden Form durch eine solche Maschine nicht widerlegt, sondern in seiner Anwendung lediglich von einem abgeschlossenen System auf ein offenes erweitert. So könnte man folglich ein physikalisches Perpetuum Mobile auch als „Perpetuum Mobile 2. Art offenen Systems“ bezeichnen.

So wurde Friedrich Ritter von Lössl die Bezeichnung eines physikalischen Perpetuum Mobiles für sein Uhrensystem schließlich doch gewährt und er erhielt sein Patent.



*Abb. 12:  
Heute noch zu lesende  
Inscription auf der Lössl  
Monumentaluhr von  
Bad Aussee<sup>50</sup>*

<sup>50</sup> Lothar Hofer: Inschrift auf der Lössl-Uhr in Bad Aussee, Juni 2005

## 6.5. Lössls Potentiale für die Zukunft

Man könnte darüber diskutieren, ob es sich bei Lössl anders verhielt, als bei anderen Erfinderkollegen vor seiner Zeit, deren Erfindungen sich ebenfalls nicht durchsetzen konnten. In der Regel ist es so, dass eine Technologie durch eine neuere, innovativere ersetzt wird. Bei Lössl könnte man aber die Hypothese aufstellen, dass vielleicht nicht sein Konstrukt, aber seine Idee seiner Zeit voraus war und vom damaligen technischen Fortschritt überholt und so die Ära der autodynamische Uhr von der Einführung der elektrischen Uhr überrollt wurde.

Trotzdem war Lössl damals überzeugt, dass man sich seiner autodynamischen Uhr an einem späteren Zeitpunkt noch erinnern und sich ihrer bedienen würde.

Lössl war kein Uhrmacher, sondern in erster Linie Ingenieur, dessen Aufgabenbereich es war, neue Eisenbahnlinien zu verwirklichen. Vielleicht ist ihm gerade dabei klar geworden, wie viel Kohle als unwiederbringlicher Rohstoff nahezu sinnlos verheizt werden muss, um damit in Wirklichkeit nur wenig erreichen zu können. Denn der Wirkungsgrad der damaligen Dampfmaschinen war nun einmal sehr unökonomisch, ganz zu schweigen von den ökologischen Auswirkungen.

Es ist anzunehmen, dass sich Lössl aus diesem Grund schon damals im Klaren war, dass einmal die Zeit kommen würde, in der über umweltfreundlichere Energieformen, wie Sonne, Wind und Wärmeströme, nachgedacht werden müsste.<sup>51</sup>

Inwieweit Lössls Erkenntnisse in der heutigen Technik Anwendung finden und welches weitere Potential für die Zukunft vorhanden ist, soll in weiterer Folge bearbeitet werden.

---

<sup>51</sup> Josef H. Schröer: Die autodynamische Uhr, Günter Druck GmbH, Schauenroth 2003, Stimmen zum Buch  
\* Atmos<sup>®</sup> ist ein eingetragenes Warenzeichen der Manufaktur Jaeger-LeCoultre, Rue de la Golisse 8

## 7. Die Atmos<sup>®</sup>-Uhr

Dass Lössls Erfindung nicht völlig ausgestorben ist und die Technologie weiterentwickelt beziehungsweise perfektioniert wurde, demonstriert die Atmos-Uhr der schweizer Uhrenfirma Jaeger-LeCoultre. Es ist davon die Rede, dass es nach Lössl mehrere Konstrukteure gegeben haben soll, die eine autodynamische Uhr entwickelt oder nachgebaut haben sollen. Dazu gehören unter anderen C. Paganini, T. Dieden und J.L. Reutter.<sup>52</sup>

Jean-Leon Reutter wurde 1899 in Neuchâtel in der Schweiz geboren und widmete sich schon in seiner Jugend der Idee einer sich selbst antreibenden Uhr. Ende der zwanziger Jahre entwickelte er schließlich das Prinzip der Atmos-Uhr, welches später für die Firma Jaeger LeCoultre patentiert wurde.

Grundsätzlich funktioniert Reutters Atmos-Uhr ähnlich wie die Lössl-Uhr. Im Gegensatz zu Lössls Uhr, welche durch reine Umgebungsluft aufgezogen wird, verwendet Reutter ein Flüssigkeitsgemisch, welches ebenso auf Temperatur- und Luftdruckschwankungen reagiert, als Arbeitsmittel für seine Uhr. Durch die Ausdehnung des Gemisches wird ebenfalls eine Feder aufgezogen. Als Flüssigkeitsgemisch verwendet die Firma Jaeger LeCoultre heute Äthylchlorid, eine bei 12°C verdampfende Flüssigkeit. Dabei genügt der Atmos-Uhr ein Temperaturunterschied von nur 1°C für den sicheren Antrieb für 48 Stunden. Da diese geringe Temperaturdifferenz allein durch die Tag- und Nachtschwankungen immer gegeben ist, kann man in diesem Fall wohl von einem perfekten physikalischen Perpetuum Mobile, beziehungsweise „Perpetuum Mobile 2. Art offenen Systems“ sprechen.

Inwieweit Lössls autodynamisches Uhrensystem als Vorlage für die Entwicklung Reutters Atmos-Uhr gedient hat, ist nicht sicher. Tatsache ist zum Einen, dass die Firma Jaeger LeCoultre Lössl zwei Seiten in dem Buch „*Living on Air – History of the Atmos Clock*“<sup>53</sup> widmet, und zum Anderen, dass Jaeger LeCoultre die Funktion der Atmos-Uhr für mehrere Jahrhunderte garantieren kann. Die Atmos-Uhr genießt in der Schweiz großen symbolischen Wert und ist das Aushängeschild für die andauernde Funktion und exakte Präzision eines Schweizer Uhrwerkes. Aus diesem Grund wird heute von der Schweizer Regierung an Staatsmänner und Prominente eine Atmos-Uhr verschenkt.<sup>54</sup>

---

<sup>52</sup> Jean Lebet: *Living on Air - History of the Atmos Clock*, Printed in Switzerland, Jaeger-LeCoultre 1997, S.18

<sup>53</sup> Jean Lebet: *Living on Air - History of the Atmos Clock*, Printed in Switzerland, Jaeger-LeCoultre 1997, S.16

<sup>54</sup> Michael Hictaler 2001: [www.schmuckecke.de/klassiker/lecoultre.html](http://www.schmuckecke.de/klassiker/lecoultre.html), 8.6.2005

## 8. Potentiale des Luftdrucks für Alternativenergien

Durch die Entdeckung des Vakuums und des Luftdrucks von Wissenschaftlern des 17. Jahrhunderts in der Epoche der „Frühen Neuzeit“ wurde auch eine neue Zeit der Technik eingeleitet. Neben der Nutzung des Quecksilberbarometers des Galilei Schülers Evangelista Torricelli in Italien, erlangte der Magdeburger Bürgermeister Otto von Guericke durch seine spektakulären Versuche, wie zum Beispiel durch den der „Magdeburger Halbkugeln“ 1654, Erkenntnisse, die bis in die heutige Zeit nachwirken. Sein in Kapitel 3 schon erwähnter Schauversuch, bei dem 50 Männer einen vom Vakuum angezogenen Kolben nicht zurückhalten konnten, war der Grundstein für die erste Kraftmaschine aus einem Kolben und einem Zylinder.

Aus Otto von Guericke's Erkenntnissen und Erfindungen folgte im Jahre 1765 die Entwicklung der Dampfmaschine des Engländers James Watt, der damit das Industriezeitalter einleitete.

1816 bekam die Dampfmaschine Konkurrenz von dem, von den Brüdern Stirling entwickelten, Heißluft- beziehungsweise Stirlingmotor, der ohne den zur damaligen Zeit sehr gefährlichen Dampfkessel auskam.

Es folgten weitere Heißluftmotoren wie der von Ericsson 1833, bis 1876 Nikolaus Otto mit seinem Ottomotor und Rudolf Diesel 1893 mit seinem Dieselmotor die neue Ära des Verbrennungsmotors einleiteten.

Nicht zuletzt gilt der Magdeburger Bürgermeister und Erfinder auch als der Vorreiter in der Elektrotechnik mit der zur damaligen Zeit magischen Erfindung der Elektrisiermaschine.

Weil, wie eben dargestellt, das für die Technik relevante Potential des Luftdrucks viel größer ist, als zunächst vermutet, widmet sich diese Arbeit verstärkt dem energetischen und ökonomischen Potential für Alternativtechnologien.

Im Speziellen handelt es sich nachfolgend um das energetische sowie ökonomische Potential des Luftdrucks bei alternativen Energietechnologien. Man könnte sagen, dass der Ausdruck „*alternativ*“ in diesem Fall nicht nur für eine regenerative erneuerbare Energieform steht, sondern auch illustriert, dass es „*alternative*“ Technologien in ihrer Um-, beziehungsweise Durchsetzung schwerer haben als konventionelle.

So wie Otto von Guericke bei den Vorführungen seiner Schauexperimente zur Demonstration des Vakuums anfangs Hexerei nachgesagt wurde und Friedrich Ritter von Lössl Probleme bei



der Patentanmeldung seiner genialen autodynamischen Uhr hatte, so schwierig haben es in der heutigen Zeit auch alternative Energietechnologien in ihrer Umsetzung.

Diesen Umstand verdeutlicht nicht zuletzt das 6. Forschungsprogramm der europäischen Energiepolitik in dem geplanten Zeitraum von 2003 bis 2007. Im Rahmen dieses Programms der Europäischen Union sind für die Förderung erneuerbarer Energiequellen in der Union und in Entwicklungsländern zusammen etwas weniger als 100 Millionen Euro vorgesehen.

Im Vergleich dazu werden für die nukleare Forschungen im selben Programm 1.2 Milliarden Euro veranlasst, einmal ganz davon abgesehen, dass die EU-Kommission 2003 das "Nuklearpaket" und die Erhöhung der Euratom-Kredite von 4 auf 6 Milliarden Euro beschlossen hat.<sup>55</sup>

## 8.1. Alternative Energieformen

Wie einleitend in dieser Arbeit erwähnt, werden wir nicht umhin kommen, unser Energiesystem radikal zu ändern und von fossilen Brennstoffen mehr und mehr auf alternative Energieformen umzusteigen, wollen wir unseren Planeten auch für zukünftige Generationen ganz im Sinne der Nachhaltigkeit lebenswert gestalten und erhalten.

Die Hauptenergiequelle unseres Sonnensystems ist für unseren Planeten die Sonne, welche außerdem die Grundlage für die in weiterer Folge besprochenen alternativen Energieformen bildet. Die Entstehung der Atmosphäre und die daraus resultierende Bildung des Luftdruckes hätte ohne Sonneneinwirkung niemals stattfinden können.

Aber auch die Bildung des Erdöls oder beispielsweise der Braunkohle wäre ohne Einfluss der Sonne unmöglich gewesen. Würde man einen Zeitraum von mehreren Millionen Jahren in Kauf nehmen und die Nach-, beziehungsweise Neubildung von Erdöl abwarten, so ließe sich auch bei Erdöl von einer erneuerbaren Energieform sprechen. Doch ist diese Argumentation für den Menschen auf Grund der langen Entstehungszeit irrelevant und man bezieht sich bei alternativen Energieformen ausschließlich auf Energiequellen, die unmittelbar nachfließen

---

<sup>55</sup> Entscheidung Nr. 1230/2003/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Juni 2003 zur Festlegung eines mehrjährigen Programms für Maßnahmen im Energiebereich: "Intelligente Energie für Europa" (2003-2006) [Amtsblatt L 176 vom 15.7.2003], 2005:<http://europa.eu.int/scadplus/leg/de/s14000.htm>, 30.6.05

können, beziehungsweise immer vorhanden sind. In erster Linie sind dies Energieformen, die sich das Wasser, den Wind oder die Sonne zu Nutze machen.

Die nachfolgend dargestellten potentiellen Erfindungen im Alternativenergiebereich veranschaulichen und geben gleichzeitig Hoffnung, wie der Weg zu einer umweltfreundlichen Energieversorgung aussehen könnte.

## 8.2. Windenergie

Auf Grund der technischen Standardisierung von Windkraftanlagen werde ich nur kurz auf diese alternative Energieform eingehen.

In Zusammenhang mit dem Luftdruck werden die bis zu 60 Meter langen Rotorblätter einer Windmaschine durch die Kraft des Windes angetrieben. Winde sind ein wesentlicher Bestandteil unserer Atmosphäre und wehen, um Luftdruckgefälle ständig miteinander auszugleichen, was jedoch nie vollständig gelingt und so ein ewig andauernder Strömungszyklus der Luft garantiert ist.

Dass sich die Windkraft auf dem harten Energiemarkt durchgesetzt hat, zeigt, dass sie zur Zeit die weltweit am stärksten wachsende Energieart ist. Die globalen Windkraftkapazitäten wuchsen 2002 um 27 % und Experten prognostizieren, dass sie sich in den nächsten 20 Jahren wahrscheinlich noch ver-15-fachen wird. Davon fallen 73 % auf Europa und mehr als die Hälfte hiervon auf Deutschland.<sup>56</sup>

In Österreich sind derzeit 424 Windenergieanlagen mit einer jährlichen Leistung von etwas mehr als 600 Megawatt (MW) in Betrieb. Leider ist die aktuelle Tendenz nicht steigend, da es für Neuanlagen derzeit keine Preisabnahmegarantie mehr gibt.

Trotzdem wurden 2004 in Österreich 1,44 % des benötigten Stroms von Windkraftanlagen geliefert. 2003 waren es noch 0,58 % und laut dem österreichischen Universitätsprofessor und renommierten Umweltexperten Dr. Bernd Lötsch wären sogar bis zu 10 % im Bereich des Möglichen.<sup>57</sup>

Ende 2004 war Deutschland mit fast 17.000 MW installierter Windenergieleistung die weltweite Nummer Eins. Auf Nummer Zwei folgte Spanien mit weniger als der halben Leistung Deutschlands. Betrachtet man jedoch die pro Kopf Leistung von Windenergie

---

<sup>56</sup> Landesinstitut für Schule und Weiterbildung, Soest: [www.learn-line.nrw.de/angebote/agenda21/thema/energie.htm/10.11.05](http://www.learn-line.nrw.de/angebote/agenda21/thema/energie.htm/10.11.05)

<sup>57</sup> Kronen Zeitung, Katharina Messner, Sie ernten den Wind, S. 23, 6.11.2005

verschoben sich die Verhältnisse ein wenig und somit war Dänemark mit einer Windkraftleistung von 580 Watt pro Kopf und einer Jahresleistung von circa 3.000 MW die klare Nummer Eins. Wiederum gefolgt von Deutschland und Spanien. Damit konnte Dänemark bereits 2003 mehr als 27 % seines gesamten Strombedarfs decken.<sup>58</sup>

Bis jetzt haben Dänemarks Windenergieanlagen bereits die Verbrennung von rund 1,5 Millionen Tonnen Kohle vermeiden können, was der globalen Umwelt umgerechnet eine Emission von etwa 3,7 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>, 7.000 Tonnen Stickoxide NO<sub>x</sub> und circa 250.000 Tonnen Staub und Flugasche erspart hat.<sup>59</sup>

Erstaunlich ist auch, dass Dänemark mit nur 5 Millionen Einwohnern mehr Windkraftanlagen als die Vereinigten Staaten mit 290 Millionen Einwohnern installiert hat.

Dennoch kommt eine sehr optimistische Behauptung zur zukünftigen Nutzung von Windkraftanlagen aus den USA. Die beiden Stanford Universitätsprofessoren Dr. Cristina Archer und Prof. Marc Jacobson, die Windmessungen von 7.500 Wetterstationen und 500 Messballonen weltweit untersucht und zusammengetragen haben, behaupten, dass das jährliche und weltweit anfallende Windpotential einer Leistung von etwa 36.000 Kernkraftwerken entspricht. Dies könnte wiederum mit Leichtigkeit ein Vielfaches der benötigten elektrischen Energie der Welt abdecken.<sup>60</sup>

Ob es jedoch sinnvoll wäre, die gesamte Energie für die Menschheit durch Windkraftanlagen zur Verfügung zu stellen ist fraglich. Klar ist jedoch, dass die Ressource Wind für eine sinnvolle Energieerzeugung noch nicht gänzlich ausgeschöpft ist.

### **8.3. Sonnenenergie**

Die Sonne versorgt die Erde nun seit etwa 5 Milliarden Jahren ununterbrochen mit Energie aus der in ihr ständig ablaufenden Kernfusion von Wasserstoff zu Helium. Wissenschaftlern zu Folge wird der Wasserstoffvorrat der Sonne noch mindestens weitere 5 Milliarden Jahren anhalten.<sup>61</sup>

Verglichen mit unseren gegenwärtigen primären Energieträgern ist das ein unvorstellbar langer Zeitraum. Es scheint deshalb auch unlogisch, sich auf Energiequellen zu fixieren, die

---

<sup>58</sup> WINDPOWER MONTHLY: [www.windpower-monthly.com](http://www.windpower-monthly.com), 04/2005

<sup>59</sup> Wolfgang Wiedergut: Freie Energie für ein neues Jahrtausend, Verlag Arge Bindu, 2002, S.13

<sup>60</sup> Dr. Cristina Archer /Prof. Marc Jacobson, 2005: [www.stanford.edu/group/efmh/winds](http://www.stanford.edu/group/efmh/winds), 6.11.2005

<sup>61</sup> Verfasser Landesinstitut für Schule und Weiterbildung, Soest: [www.learn-line.nrw.de/angebote/agenda21/thema/energie.htm/](http://www.learn-line.nrw.de/angebote/agenda21/thema/energie.htm/) 10.11.05

schon nach nicht einmal 100 Jahren als nahezu ausgeschöpft gelten oder auf eine Energiequelle, die große Gefahren in sich birgt und extrem schwere und nur über gigantische Zeiträume abbaubare Rückstände hinterlässt und nicht etwa auf eine Energiequelle, die es schon lange vor der Existenz des Menschen gegeben hat und auch noch mindestens gleich lange geben wird.

Als Energiequelle für die Erde liefert die Sonne jährlich eine Energiemenge von etwa  $1,08 \cdot 10^{18}$  kWh, was in etwa dem 10.000fachen des Weltprimärenergiebedarfs entspricht.<sup>62</sup>

Ein weiterer Punkt ist, dass die Sonne überall auf der Erde scheint und so energiestandortbezogenen Kriege vermieden werden könnten, ließe sich ein Weg finden, den Energiebedarf der Menschen aus der Kraft der Sonne zu decken. Ob dies tatsächlich möglich wäre, ist schwer zu beantworten.

Wege, solare Energie zu nutzen, gibt es viele. Diese führen über die Photovoltaik, solare Warmwasserpaneele und Wärmepumpen bis hin zu parabolischen Brennsiegeln, deren mögliches Potential an späterer Stelle dargestellt wird.

### **8.3.1. Solartechnologie**

Die derzeit am weitesten fortgeschrittenen Entwicklungen aus dem Bereich der Solarenergie sind jene der solaren Warmwasserkollektoren.

Gegenwärtig sind etwas mehr als 14 Millionen Quadratmeter verglaste Sonnenkollektoren im Einsatz, um Sonnenenergie zu nutzen. Bei einer durchschnittlichen Energieausbeute von circa 2 kWh pro Quadratmeter am Tag in Mitteleuropa, entspricht das einer Energiemenge von 28 Millionen kWh täglich, die an fossiler Energie eingespart werden können.

Laut dem 1997 verabschiedeten Weißbuch für "Erneuerbare Energien" der Europäischen Kommission sollen bis ins Jahre 2010 sogar 100 Millionen Quadratmeter Sonnenkollektoren in Europa in Betrieb sein und umweltfreundlich und nachhaltig Wärmeenergie zur Verfügung stellen. Auch wenn im Jahre 2004 der Solarmarkt einen Zuwachs von 12% verzeichnen konnte, wird dieses Ziel wahrscheinlich nicht erreicht werden können.<sup>63</sup>

---

<sup>62</sup> Bundesverband Solarindustrie, 2005: [www.bsi-solar.de/marktdaten](http://www.bsi-solar.de/marktdaten) / Sonnenkollektoren in Europa / Quelle: ESTIF, Juni 2005 / 8.11.2005

<sup>63</sup> Bundesverband Solarindustrie, 2005: [www.bsi-solar.de/marktdaten](http://www.bsi-solar.de/marktdaten) / Sonnenkollektoren in Europa / Quelle: ESTIF, Juni 2005, 8.11.2005

Trotzdem kann man mit Sicherheit sagen, dass es einen weiteren Zuwachs konventioneller Solartechnologie in Europa geben wird, und dass diese Technologie ihren Beitrag für eine saubere Energiewirtschaft leisten wird.

### **8.3.2. Photovoltaik**

Neben der Solartechnologie befindet sich die Photovoltaik, welche direkt Strom aus der Sonne erzeugt, ebenso auf dem Vormarsch.

Die Gesamtleistung von Photovoltaikanlagen in Deutschland ist seit 1990 auf über 300 MW angestiegen. Damit hinkt die Photovoltaik der Windenergie zwar etwas hinterher, die Entwicklung ist aber dennoch viel versprechend.<sup>64</sup>

Vor allem ist zu bedenken, dass Sonnenenergie und im Speziellen die Photovoltaik den Vorteil hat, dass sie sich auch für Regionen eignet, wo sich der Zugang zu anderen Energiequellen als sehr schwierig oder gar als unmöglich erweist, da die Sonne, zumindest tagsüber, eben überall scheint. Man denke hierbei zum Beispiel an hoch gelegene Almen oder an Boote auf offenem Wasser, wo Photovoltaikanlagen als Inselsysteme ganz leicht und auch verhältnismäßig günstig den benötigten Strom erzeugen könnten. Ein anderes Beispiel wäre die Raumfahrttechnologie, wo schon seit Jahrzehnten die Photovoltaiktechnologie erfolgreich angewandt wird.

### **8.3.3. Unkonventionelle Photovoltaiktechnologie**

Eine der aussichtsreichsten Entwicklungen auf dem Gebiet der Photovoltaik kommt von dem 1910 geborenen US-Amerikaner Dr. Alvin Marks aus Massachusetts. Auch wenn diese Erfindung nicht unmittelbar mit den Potentialen des Luftdrucks zusammenhängt, sei sie an dieser Stelle trotzdem als revolutionäre Technologie erwähnt.

Der Erfinder und Inhaber von 120 US-Patenten wollte sich nicht damit zufrieden geben, dass die Ausbeute der Photovoltaik bei nur 33% liegt. Bei herkömmlichen Siliziumsolarzellen schlagen die Photonen des Lichtes Elektronen aus dem Silizium heraus, die dann in weiterer Folge als elektrischer Strom genutzt werden können. Bei diesem Prozess geht jedoch ein Großteil, etwa 67% der Energie aus dem Sonnenlicht, als Wärme verloren.

---

<sup>64</sup> VDEW, 2006: [www.strom.de](http://www.strom.de), 02.02.2006

In Marks umgesetzter Idee wird das ungerichtete Sonnenlicht polarisiert, sodass sich alle Photonen in dieselbe Richtung bewegen. Durch diese Methode verhindert Marks, unnötig Wärme zu erzeugen. Stattdessen können so 80% des Lichtes über so genannte Polymerketten, winzige organische Molekülketten, ähnlich wie bei der Photosynthese weitergeleitet und schließlich in elektrische Energie umgewandelt werden. Für diesen Vorgang verwendet Dr. Marks einen Polarisations- oder auch Lumeloidfilm, dessen Erzeugung er auf einen halben Euro pro Watt schätzt.

Im Vergleich dazu kostet die Herstellung einer herkömmlichen Siliziumsolarzelle mit einem deutlich geringeren Wirkungsgrad von nur 25% im Idealfall zurzeit noch zwischen drei und vier Euro pro Watt. Kosten von einem Euro pro Watt werden momentan von diversen Herstellern für möglich gehalten und angestrebt.<sup>65</sup>

Dr. Marks bezeichnete in einem Interview mit der amerikanischen Wissenschaftsjournalistin Jeane Manning die Entwicklung seines Lumeloidfilms als weitgehend abgeschlossen und serienreif. Aus Hoffnung, mit seiner Erfindung in Produktion gehen zu können und mit der Absicht, einen Weg zu einer effizienteren und umweltfreundlicheren Stromerzeugung aus der Sonne zu ebnen, ist der Amerikaner eine Allianz mit der Westinghouse Electric Corporation, einem der weltgrößten Stromproduzenten, eingegangen. Trotz der Aussicht, mit seiner Innovation eventuell in Serie gehen zu können, kritisiert Marks die Industrie und Regierungen, die seiner Meinung nach aus Unwissen oder aber auch mit Absicht ihre Forschungsgelder allein für die schrittweise Verbesserung einer mangelhaften Solartechnik ausgeben, die im Gegensatz zu seiner Erfindung kaum eine Chance bietet, die fossilen Brennstoffe zu ersetzen.<sup>66</sup>

Ob Marks Kritik gerechtfertigt ist, wird sich an Hand seines eigenen Beispiels, der möglichen Produktion seines Lumeloidfilms, in nächster Zukunft weisen.

#### **8.3.4. Hochvakuum-Solarkollektoren**

Hingegen Dr. Marks Erfindung des Lumeloidfilms, bedienen sich manche neuen Entwicklungen der Solarkollektortechnik der Luft sowie des Vakuums.

Bei Hochvakuum-Solarkollektoren gelingt es durch ein Hochvakuum in den Kollektoren einen unnötigen Wärmeabfluss nahezu vollständig zu verhindern. Bei dieser neuartigen

---

<sup>65</sup> Stefan Glunz: Stand und Perspektiven der Photovoltaik, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, (ISE), D-79100 Freiburg , 9.5.2005

<sup>66</sup> Jeane, Manning: Energie, bessere Alternativen für eine saubere Welt, Omega Verlag, Aachen 2002, S.71/72

Kollektorentechnik trifft die Sonneneinstrahlung direkt auf das Medium innerhalb des Kollektors und erhitzt dieses fast ohne Verluste von Wärmeenergie. Da das Trägermedium mittels Vakuum vom Außenbereich getrennt ist, kann die durch die Sonne erzeugte Wärme per Konvektion nur noch in sehr geringem Maß an die Umgebung abströmen. Die Wärmeabstrahlung von Hochvakuum-Solarkollektoren liegt bei maximal 6%, der Absorptionsgrad des Sonnenlichtes hingegen bei mindestens 93%.<sup>67</sup>

Die guten Werte ermöglichen auch, dass bei direkter Sonneneinstrahlung auch im Winter bei Minusgraden bis zu 20°C, Temperaturen bis zu 30°C plus erzielt werden können. Im Sommer hingegen lassen sich problemlos 150°C erzeugen. Da in den warmen Sommermonaten nicht so hohe Temperaturen zum Heizen benötigt werden, ließe sich dieser Wärmeüberschuss wahrscheinlich mittels Koppelung mit einer Wärmekraftmaschine zur zusätzlichen Energiegewinnung nutzen.<sup>68</sup>

### **8.3.5. Luftwärmekollektoren**

Luftwärmekollektoren funktionieren in ähnlicher Art und Weise wie Hochvakuum-Solarkollektoren, stellen jedoch ein noch größeres Potential für eine alternative Energieproduktion für die Zukunft dar.

Zurzeit findet diese Technologie hauptsächlich in Kanada Anwendung. Dort nutzen Industriebetriebe, wie zum Beispiel die Bombardier Canadair Aircraft Factory, Luftkollektoren in den Außenflächen ihrer Fabrikhallen, um Heizkosten einzusparen.<sup>69</sup>

Aber auch in Österreich sind bereits Luftwärmekollektoren in Anwendung. Die Glasfassade des neuen Verwaltungsgebäudes der oberösterreichischen Lehrerverkrankenkasse in Linz dient nicht nur dem Sonnen- oder Lärmschutz, sondern hat großflächig eingebaute Luftwärmekollektoren, die die Zuluft erwärmen. Durch den Einsatz von Luftwärmekollektoren kann auf eine teure und gesundheitsbedenkliche Klimaanlage verzichtet und ein optimales Raumklima erzielt werden.<sup>70</sup>

---

<sup>67</sup> Ohne Verfasser: [www.solar-tube.com](http://www.solar-tube.com), 12.7.2005

<sup>68</sup> Wolfgang Wiedergut: Freie Energie für ein neues Jahrtausend, Verlag Arge Bindu, Graz 2002, S.18

<sup>69</sup> Wolfgang Wiedergut: Freie Energie für ein neues Jahrtausend, Verlag Arge Bindu, Graz 2002, S.16

<sup>70</sup> Ohne Verfasser, 2004: [www.flv.at/FM044/LKUF.htm](http://www.flv.at/FM044/LKUF.htm) LKUFOÖ, 12.7.2005

## 9. Die Wärmepumpe

Grundsätzlich zieht die Wärmepumpe mit Hilfe eines Mediums, wie zum Beispiel Luft, Wärme aus der Umgebung, erhöht diese durch Kompression und beheizt somit beispielsweise ein Haus. Für die Erwärmung der Erde und somit auch für die Grundlage der Funktion eines jeden Wärmepumpensystems ist wiederum die Sonne verantwortlich.

Generell ist die Wärmepumpentechnik ein Bestandteil der Wärmetechnik. Ihr ebenfalls zur Wärmetechnik gehörendes Gegenstück ist die Kälte- oder Klimatechnik. Im Hinblick auf die zukünftige Entwicklung von Energie und Umwelt nimmt die Wärmepumpentechnik einen hohen Rang ein. Die Bedeutung der Kälte-, Klima und Wärmepumpentechnologie lässt sich auch im Vergleich mit der Automobilindustrie demonstrieren. Dabei verhält es sich so, dass der weltweite Umsatz der Kälte-, Klima- und Wärmepumpentechnik nur 10% niedriger ist, als jener der Automobilindustrie. Der Grund dafür liegt zum einen in der steigenden Notwendigkeit der Kältetechnik für die Sicherstellung der Lebensmittelversorgung der Weltbevölkerung und zum anderen in der Schaffung von angenehmen Arbeitsbedingungen mit Hilfe der Klimatechnik vor allem in den Klimazonen, in denen die derzeit expandierenden Entwicklungsländer liegen.<sup>71</sup>

Im Gegensatz dazu findet die Wärmepumpentechnik ihre Anwendung in erster Linie in klimatisch kälteren Regionen wie zum Beispiel in Europa und zählt zu den Bahnbrechern der alternativen Energieformen. Ihre Bedeutung ergibt sich aus der Notwendigkeit, die Verbrennung von fossilen Energieträgern wie Kohle und Erdöl und die daraus resultierenden CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren, um dem drohenden Klimawandel entgegenzuwirken. Die Wärmepumpentechnik kann als Schlüsseltechnologie, mit dem dieses Ziel vielleicht erreicht werden könnte, bezeichnet werden.

Generell sind Wärmepumpen und Klima-, sowie Kältemaschinen Aggregate, mit denen der natürliche und dem 2. Hauptsatz entsprechende Wärmefluss von einem höheren zu einem tieferen Temperaturniveau durch Zufuhr von Arbeit umgekehrt wird. Nutzt man dabei die auf tieferem Temperaturniveau entnommene Wärme zur Kühlung, spricht man von einer Kältemaschine. Nutzt man in umgekehrter Weise die auf einem tieferen Temperaturniveau entnommene, auf ein höheres Niveau gebrachte, beziehungsweise „gepumpte“ Wärme, so

---

<sup>71</sup> H. Halozan, Institut für Wärmetechnik, Technische Universität Graz, Graz, November 1998, S.1



spricht man von einer Wärmepumpe. Es handelt sich dabei offensichtlich um dieselbe Maschine, bei der lediglich die Anwendungsseite vertauscht wurde und die Temperaturverhältnisse unterschiedlich sind. So kann man sagen, dass unser alltäglich gebräuchlicher Kühlschranks einer umgekehrten Wärmepumpe entspricht.

## 9.1. Geschichte der Wärmepumpe

Die Grundlage für die Entwicklung der Wärmepumpentechnik geht zurück auf den französischen Ingenieur Sadi Carnot, den wir schon bei der Debatte über Friedrich Ritter von Lössls physikalischen Perpetuum Mobile kennen gelernt haben. Mit dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik lieferte Sadi Carnot auch die Grundlage für die Kälte-, Klima- und Wärmepumpentechnik. In seiner im Jahre 1824 erschienenen Arbeit „*Über die bewegende Kraft des Feuers und die Maschinen zu deren Ausnutzung*“, versuchte der französische Ingenieur ursprünglich den Wirkungsgrad von Dampfmaschinen zu verbessern und zu berechnen. Dabei erkannte Carnot, dass der Wirkungsgrad vom Temperaturniveau des Prozesses und von der nutzbaren Temperaturdifferenz abhängig ist. Dies bedeutet, dass das Höchstmaß an mechanischer Arbeit dann gewonnen werden könnte, wenn alle Zustandsänderungen umkehrbar wären und die vorhandene Temperaturdifferenz nicht durch Wärmeübertragungsvorgänge verloren gehen würde. Aus dieser Erkenntnis leitete der Franzose den nach ihm benannten rechtsdrehenden Carnot-Prozess ab, der die Grundlage für die Erzeugung mechanischer Energie aus thermischen Prozessen darstellt, sowie die Feststellung der erreichbaren Effizienz ermöglicht. Demnach ist der Carnot-Prozess ein idealtypischer Kreisprozess, in dem ein Medium nach dem Durchlauf durch eine Wärmekraftmaschine denselben energetischen Zustand hat wie zu Beginn dieses Prozesses. Dabei ist der Prozess reversibel, was bedeutet, die Richtung des Kreislaufes ist umkehrbar. Heute wird der Carnot-Prozess als idealer theoretischer Vergleichsprozess für reale Prozesse in der Thermodynamik verwendet. Die Quintessenz der Theorie Carnots lautet, dass Wärmeenergie beim Kontakt zweier Körper unterschiedlichen Temperaturniveaus vom wärmeren Körper zum kälteren fließt und für die Gewinnung mechanischer Energie endgültig verloren ist, was somit auch die Grundlage für den 2. Hauptsatz der Thermodynamik schafft. Wichtig dabei ist, dass der Carnot-Prozess selbst ohne Energieentwertung arbeitet und daher praktisch nicht verwirklicht werden kann.

Durchläuft man nun den Carnot-Prozess in umgekehrter Richtung und wird so dem kälteren Medium unter Kraftzufuhr Wärme entzogen und dem wärmeren Medium zugeführt, spricht man von einem linksdrehenden Carnot-Prozess, der die Grundlage für die Kältemaschine und für die Wärmepumpe bildet.

Die erste mechanische Umsetzung einer Wärmepumpe gelang dem Österreicher Peter Ritter von Rittingen (1811-1872) im Jahre 1855 auf der Basis Carnots Theorien in der Saline von Ebensee in Oberösterreich. Dort wurde sie bei der Salzgewinnung zum ersten Mal eingesetzt. Der Grund dafür war der Energiemangel in der Gegend rund um die Saline, da die umstehenden Wälder abgeholzt waren und die Eisenbahn noch nicht fertig gestellt war und somit keine Kohle geliefert werden konnte. Die Anlage funktionierte so, dass der Verdichter der Anlage durch ein Wasserrad angetrieben wurde. Der aus der Sole austretende Wasserdampf wurde durch Verdichtung auf ein höheres Temperaturniveau gebracht und konnte so wiederum für die Eindampfung und Vorwärmung der Sole verwendet werden. Auf Grund von Korrosionsproblemen durch die aggressive Sole und der baldigen Fertigstellung der Bahnlinie war die Anlage jedoch nur kurz, aber erfolgreich in Betrieb.<sup>72</sup>

## 9.2. Allgemeine Funktionsweise einer Wärmepumpe

Wie schon erwähnt, ist die Funktionsweise der Wärmepumpe gleich der eines umgekehrten Kältschranks, an dem man sich den Prozess meist etwas besser vorstellen kann. Betrachten wir deshalb zunächst die Funktionsweise eines Kältschranks.

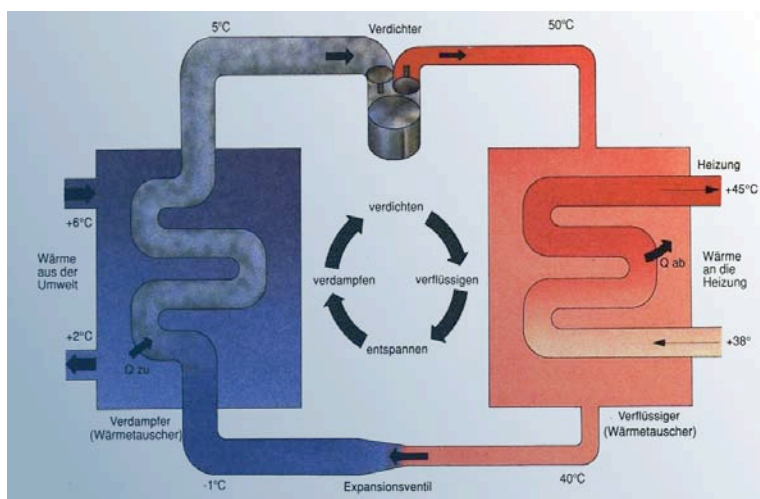
Zu erst benötigt man eine Möglichkeit, Wärme aus dem Kühlraum abzuführen, um so eine Abkühlung des gewünschten Raumes zu erlangen. Dieser Prozess wird durch Entspannung eines unter Druck stehenden Mediums, zum Beispiel Luft, in einer Kältschleife durchgeführt. Dabei ist die Kältschleife meist an der Unter- oder Rückseite des zu kühlenden Raumes so angebracht, dass das expandierende Gas die Wärme abziehen kann und den Raum so abkühlt. Nachfolgend wird das nun warme und entspannte Gas an der Rückseite des Kältschranks mittels Kompressor wieder komprimiert, wobei die aus dem Kühlraum abgezogene Wärme wieder aus dem Medium entweicht. Da sich diese Wärmeabgabe nun außerhalb des gut isolierten Kühlraumes abspielt, konnte eine thermische Potentialdifferenz geschaffen werden. Wird die Wärme des Mediums abgegeben, kann es wieder in der Kältschleife entspannt werden und so dem zu kühlenden Raum weiter Wärme entziehen. Im Laufe der Zeit würde so

---

<sup>72</sup> H. Halozan, Institut für Wärmetechnik, Technische Universität Graz, Graz, November 1998, S.2

der Kühlraum immer kälter werden und die Umgebung immer wärmer. Zur Erzeugung der nötigen thermischen Potentialdifferenz wird Energie für den Kompressor benötigt.

Der Wärmepumpenprozess funktioniert hingegen genau umgekehrt. Im Gegensatz zum Kühlschrank befinden sich der Kühlraum einer klassischen Wärmepumpe im Garten, und der Raum, in dem die Wärme abgegeben wird, im Haus. Dabei wird bei der Kompression des Mediums die anfallende Wärme im Haus über einen Wärmetauscher direkt ins Zentralheizungssystem übertragen. Das nun abgekühlte und unter Druck stehende Medium wird in den Garten geleitet, wo es in einer Kühlschleife der Umgebung wieder Wärme entziehen kann. Dazu sei gesagt, dass die Wärme der Umgebung durch die Energie der Sonne, beziehungsweise durch den ständigen Ausgleich der Umgebungstemperatur nachfließt. Umgekehrt fließt auch die Wärme des Hauses mittels Strahlung wieder an die Umgebung zurück, wodurch ein ständiger Kreislaufprozess gegeben ist.



*Abb. 13:  
Funktionsprinzip  
der Wärmepumpe.  
Durch Expansion und  
Kompression eines  
Mediums bewegt sich  
thermische Energie  
innerhalb eines  
Kreislaufprozesses.<sup>73</sup>*

Verblüffend ist die überaus hohe Leistungsziffer der Wärmepumpe. Die Leistungsziffer ergibt sich aus dem Verhältnis zwischen der Leistung des Kompressors und der Leistung der nutzbaren Wärme. Bei herkömmlichen Wärmepumpen liegt die Leistungsziffer schon etwa bei 1:4. Das bedeutet, dass die Wärmepumpe 4x soviel thermische Energie liefert, als der Kompressor an elektrischer Nutzenergie verbraucht. Anders gesagt, benötigt der Kompressor im Vergleich zur gewonnenen Heizleistung beziehungsweise Wärmeenergie nur  $\frac{1}{4}$  soviel Energie. Tatsächlich verhält es sich auch so, dass durch den Gebrauch einer Wärmepumpe circa  $\frac{3}{4}$  der Heizkosten eingespart werden können.

<sup>73</sup> Archiv, Wolfgang Wiedergut: Funktionsprinzip der Wärmepumpe

### 9.3. Ökonomie der Wärmepumpe

Auch wenn das Potential der Wärmepumpentechnologie längst noch nicht ausgeschöpft ist, gibt es für die Hausheizung oder die Warmwasserbereitstellung bereits mehrere gut funktionierende Varianten dieses Systems.

Neben den ökologischen Vorteilen der Wärmepumpe wird die Wärmepumpe auch aus ökonomischer Sichtweise immer konkurrenzfähiger. So kostet eine Wärmepumpe für einen Neubau mit 150 m<sup>2</sup> Grundfläche ungefähr 15.000 €. Das ist in etwa der gleiche Preis wie für eine Pelletsheizung, etwas billiger als eine Hackschnitzelheizung und nur unwesentlich teurer als eine Ölheizung. Hinzu kommt, dass es meist auch Landesförderungen für alternative Hausenergiesysteme gibt.

Nach der Installation der Wärmepumpe fallen nur noch geringe Kosten an. Die durchschnittliche Stromkosten für den Betrieb des Generators der Wärmepumpe betragen für ein 150 m<sup>2</sup> Heim weniger als 350 € pro Jahr und liegen somit deutlich unter den Betriebskosten einer Öl-, Pellets- oder Hackschnitzelheizung.

Ein weiterer Vorteil der Wärmepumpe gegenüber anderen Heizsystemen ist, dass sie von Rohstoffen und deren Preisschwankungen völlig unabhängig ist.

Der größte Nachteil der Wärmepumpe ist, dass sie für einen Einbau in bereits bestehende Häuser, auf Grund von anfallenden, meist groben Umbauarbeiten, fast nicht rentabel ist.

Trotzdem sollte man auch für Sanierungsvorhaben die Wärmepumpe nicht ganz außer Acht lassen. Denn kombiniert man die Wärmepumpe zum Beispiel mit Wärmedämmmaßnahmen, wird das System auch aus ökonomischer Sicht wieder interessant.

### 9.4. Neue Möglichkeiten der Wärmepumpentechnologie

Nicht zuletzt aufgrund der vorher dargestellten hohen Leistungsziffer der Wärmepumpe steckt in ihr ein hohes Potential für die Zukunft im Rahmen alternativer Energieformen.

So müsste es doch interessant sein, einen Weg zu finden, die aus dem Kompressionsprozess der Wärmepumpe gewonnene Wärmeenergie für den Betrieb des Kompressors zu nutzen.

Es scheint verwunderlich, dass dazu noch kein ernsthafter Versuch unternommen worden ist. Im Vergleich zur gewöhnlichen Wärmepumpe, bei der der Kompressor durch eine externe Energiequelle betrieben wird, würde ein autarkes System ein Grundpotential benötigen, welches zum Beispiel durch zwei getrennte Wärmetauscherflächen realisiert werden könnte.

In diesem Fall könnte es sich, ähnlich wie bei Lössls autodynamischer Uhr, um ein selbstlaufendes System in einem offenen System handeln, und der 2. Hauptsatz der Thermodynamik wäre davon nicht betroffen.

Schließlich scheinen weitere Methoden möglich, um Verbesserungen in der Wärmepumpentechnologie voranzutreiben. So ist die Leistung der Wärmepumpe von mehreren Komponenten, wie etwa von dem erzeugten Druck, der gegebenen Fläche für die Wärmeaufnahme und der verfügbaren Wärmedifferenz, abhängig. Da die Effizienz einer Wärmepumpe von der im Außenraum befindlichen thermischen Energiemenge abhängig ist, wäre es demnach sinnvoll, drei bereits existierende Technologien miteinander zu koppeln, nämlich die Solartechnologie, die Wärmepumpentechnik und die Stirlingtechnologie. Würde man zum Beispiel die Wärmepumpe mit Hochvakuum-Solarkollektoren oder Luftwärmekollektoren koppeln, so könnte die Ausbeute der durch eine Kompression des Mediums erzielbaren Energiemenge exponentiell ansteigen. Da im Weiteren die Leistung der Wärmepumpe auch von der Menge des durchlaufenden Mediums und dessen Druck abhängig ist, ließe sich das System auch durch Druckerhöhung weiter optimieren.

So wären aufgrund der technischen Optionen wesentlich höhere Leistungsziffern möglich und selbst unter der Annahme eines extrem niedrigen Wirkungsgrades einer gekoppelten Wärmepumpenanlage stünde für den Betrieb des Kompressors genügend Energie für einen autonomen Betrieb zur Verfügung. Die Solar- und Wärmepumpentechnologie scheinen zunächst wie zwei komplementäre Systeme, die bei genauerer Überlegung aber nach Schlüssel- und Schlossprinzip zusammenpassen.

Zum einen nähert sich die Solaranlage durch die Kollektorflächen über die Räumlichkeit dem Prinzip der Leistung, Energie/Zeit. Auf der anderen Seite tut dies die Wärmepumpe durch die Kompression ihres Mediums, das bei nachfolgender Entspannung in der Lage ist, mehr Energie/Zeit der Umgebung zu entziehen.<sup>74</sup>

Die Nutzung von kompressiblen Medien unter hohem Druck in Kombination mit großen Kollektorflächen scheint demnach ein sinnvoller nächster Schritt für die Wärmepumpentechnologie zu sein.

---

<sup>74</sup> Harald Chmela, Wolfgang Wiedergut: Grundlagen und Praxis der Freien Energie, FranzisVerlag, Poing 2004, S.50

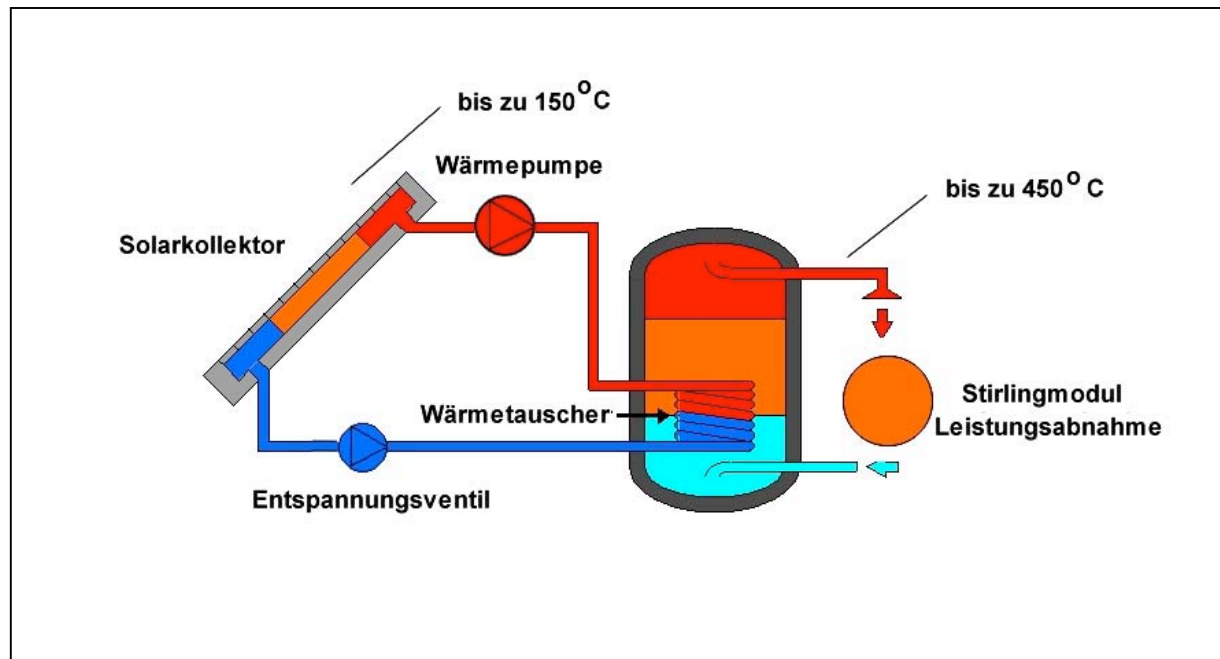


Abb. 14: In der Synthese der Solar-, Wärmepumpen- und Stirlingtechnologie liegt der Knackpunkt einer neuen, autarken Energietechnologie der Zukunft.<sup>75</sup>

Durch den in der Abbildung dargestellten Solarkollektor ließe sich die durchschnittliche Ausgangstemperatur einer Wärmepumpe von circa 20 C° auf bis zu 150 C° erhöhen. Unter Verwendung eines höheren Ausgangsdrucks von 200 bar, ließe sich durch Kompression eine Temperatur von bis zu 450 C° erzielen. Die daraus entstehende Überflusenergie in Form von Wärme ließe sich mit Hilfe eines Stirlingmotors nutzen. Mit dieser gewonnenen Energie könnte wiederum der Kompressor der Wärmepumpe versorgt werden. Durch Kopplung dieser drei herkömmlichen Technologieformen könnte wahrscheinlich relativ einfach ein autarkes Energiesystem generiert werden.

Aus ökonomischer Sichtweise würde sich diese neue Form der Wärmepumpe sehr schnell amortisieren, weil neben den Wartungskosten keine weiteren Kosten zu erwarten wären.

Der einzige Nachteil dieses Systems liegt darin, dass ein Medium unter hohem Druck zwar geringere Temperaturdifferenziale, aber dafür auch mehr Zeit für die Erhitzung benötigt, da sich klarerweise ein dichtes Medium langsamer erwärmt als ein dünnes.

Dieses Problem oder aber auch diese Idee führt uns schließlich zu dem genialen System des österreichischen Ingenieurs Peter Bammer, der Hochdruckwärmepumpe.

<sup>75</sup> Wolfgang Wiedergut: Synthese der Solar-, Wärmepumpen- und Stirlingtechnologie

## 9.5. Die Hochdruckwärmepumpe

Am 5. November 2003, genau 25 Jahre nach der Volksabstimmung gegen die Inbetriebnahme des Kernkraftwerkes Zwentendorf im niederösterreichischen Tullnerfeld, gründete der Österreicher Peter Bammer die AirComPower Energietechnik GmbH, die sich zur Aufgabe gemacht hat, die Forschung und Entwicklung im alternativen und emissionsfreien Energiebereich voranzutreiben.

Als oberstes Ziel setzten sich Peter Bammer und sein Team, den kompletten Energiemix von Kraft, Wärme, Kälte und Strom miteinander zu koppeln und die gewandelte Energie an jedem Ort, zu jeder Zeit und für jedermann für eine autarke, unabhängig jeglicher Primärenergie, Energieversorgung verfügbar zu machen. Dieses Ziel sollte durch Energiegewinnung aus Temperaturdifferenzen beziehungsweise aus der Kraft der Sonneneinstrahlung erreicht werden. Neben einer lebens- und erhaltenswerten Zukunft stehen dabei der Umweltgedanke, sowie die Wirtschaftlichkeit im Vordergrund des Unternehmens.<sup>76</sup>

Diese Ziele führten die AirComPower schließlich zur Entwicklung eines völlig neuen Wärmepumpensystems, der Hochdruckwärmepumpe. Mit diesem System ist es Bammer schließlich gelungen, verschiedene Komponenten der Wärmepumpentechnologie, der Pneumatik und der Solarenergie erstmals miteinander zu verknüpfen.

Der technische Clou der Anlage dabei ist die Nutzung der Expansion normaler Umgebungsluft unter hohem Druck.

Man stelle sich vor, man erwärmt einen Behälter mit einem Inhalt von 1.000 Liter bei einem Druck von 1 bar um 200°C, so steigt der Druck im Behälter auf 1,732 bar, beziehungsweise um 3,66 Liter rechnerischem Volumen. Das ergibt sich deshalb, weil der Ausgaskoeffizient der Luft von der Gaskonstante abhängig ist und  $1/273,2$  also  $0,00366/1^\circ\text{C}$  beträgt.

Nimmt man nun aber einen Behälter, der mit 200 bar Druckluft vorgespannt ist, braucht man diesen folglich nur um 1°C zu erwärmen, um einen Druckanstieg auf 200,732 bar zu erreichen. Das heißt, man erhält ebenfalls eine Druckdifferenz von 0,732 bar bei einer Erwärmung des gleichen Volumens um nur 1°C unter hohem Ausgangsdruck.

Die Idee ist, genau diesen Druckanstieg mit einem speziellen Druckluftmotor zu nutzen, da eine solch niedrige Temperaturdifferenz für den Betrieb eines Stirlingmotors nicht ausreichen würde.

---

<sup>76</sup> AirComPower Energietechnik GmbH: [www.aircompower.at](http://www.aircompower.at), 19.9.2005

Der von den Brüdern Stirling 1816 erfundene Stirlingmotor ist im Prinzip eine Zweitakt-Kolbenmaschine, welche die Expansion und Kontraktion eines gasförmigen Mediums ausnutzt. Dabei wird das Gasmedium zwischen der kalten und warmen Seite so hin und her bewegt, dass es mit der entstehenden Volumendifferenz den Arbeitskolben in Bewegung versetzen kann. Wesentlich für die Stirlingmaschine ist eine hohe Temperaturdifferenz zwischen dem unveränderlichen kalten und warmen Kolbenraum. Für die Verwendung im Niedertemperaturbereich sind herkömmliche Stirlingmotoren deshalb nicht geeignet.

Auf Grund dessen ist es bei der Hochdruckwärmepumpe notwendig, den Gasraum für die Expansion und Kontraktion des Arbeitsmediums vom direkten Kolbenbereich mittels Ventil zu separieren und gleichzeitig die Gasmenge entsprechend zu vermehren.

Diese Aufgabe löste Bammer, indem er Hochdrucksolargaspaneele, die im Gegensatz zu herkömmlichen Solarkollektoren mit komprimierter Luft befüllt sind, für sein System verwendet. In dieser ausgeklügelten Konstruktion sind alle Paneele mit dem Kolbenraum eines Luftmotors über eine komplizierte, prozessorgesteuerte Ventilregelung direkt vernetzt und können so einzeln zu- und abgeschaltet werden. Diese Hochdrucksolarpaneele sind dabei so angeordnet, dass je zwei Stück auf einer schwenkbaren Achse liegen, sodass sich das Ventil des auf der Sonnenseite befindlichen Paneels zum Druckluftmotor öffnet sobald es den entsprechenden Druckanstieg erreicht hat. Das auf der Schattenseite befindliche und im Verhältnis kühlere Solarpaneel erzeugt hingegen einen Unterdruck, der wiederum ausgenutzt werden kann.

Ist das Druckgefälle zwischen den beiden Solarpaneelen abgearbeitet, drehen sie sich auf ihrer Achse so, dass sich das zuvor expandierende Medium auf der Schattenseite kontrahieren und das kalte, dichtere Medium sich auf der Sonnenseite expandieren kann.

Anstelle des für dieses Niedertemperatursystem ungeeigneten Stirlingmotors, verwendet Bammer für seine Hochdruckwärmepumpe einen zwangsgesteuerten Differentialkolben, der sich für die Nutzung des Differenzdrucks als viel geeigneter erweist. Aus der Anwendung eines Differentialkolbens ergeben sich folgende wesentliche Vorteile.

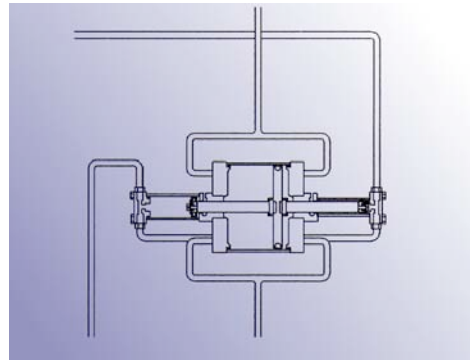
Zum einen lässt sich der aus dem Temperaturdifferential gewonnene und im System befindliche Luftdruck mittels Übersetzung des Differentialkolbens weiter erhöhen und folgend separat in einem Druckluftspeicher als Druckenergie speichern.

Als weiterer wesentlicher Effekt entsteht bei der erneuten Kompression des Mediums im Kreislaufprozess des Differentialkolbens zusätzlich Wärme, die in einem zweiten Mediumskreislauf zur Erhöhung der Temperatur des primären Kreislaufes oder direkt zum



Heizen verwendet werden kann. So kann auch in umgekehrter Art und Weise bei der Entspannung des Mediums, die entstehende Kälte direkt zum Kühlen beziehungsweise für den Aufbau eines Unterdrucks genutzt werden.

*Abb. 15: Zwangsgesteuerter Differentialkolben mit zwei Zylindern, die das Druckpotential zwischen zwei Hochdruckpaneelen aus dem Temperaturunterschied zur Bewegung des Kolbens umsetzen.<sup>77</sup>*



### **9.5.1. Peter Bammers Luftdruckauto**

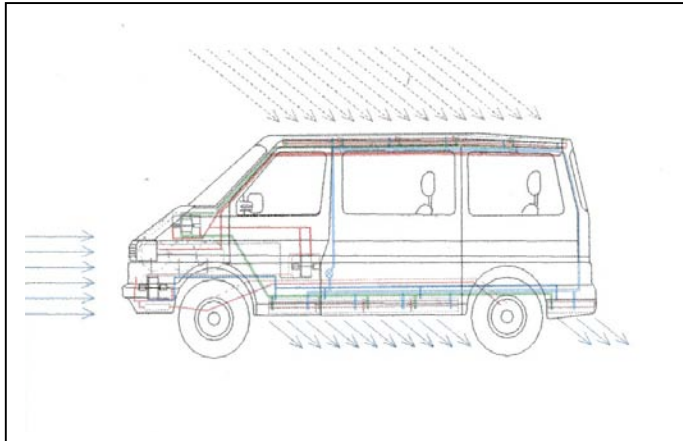
Der Erfinder Peter Bammer ging schließlich noch einen Schritt weiter und machte sich an die Arbeit, ein Prototypenfahrzeug mit seinem Hochdruckluftsystem als Antrieb zu konstruieren. Bei diesem Prototyp wurden am Dach und an der Bodenplatte Druckluftpaneele angebracht, um das notwendige Temperaturdifferenzial zustande zu bringen. Um größt mögliche Flächen und Räume ausnutzen zu können, entschied man sich bei dem Prototyp für einen Kleinbus, in dem der Differentialkolben sowie die Hochdrucksolargaspaneele ohne Probleme im Motorraum beziehungsweise am Dach und in der Bodenplatte untergebracht werden konnten. Dabei ist die Aufgabe des Differentialkolbens als Druckwandler im Auto dieselbe wie bei der Hochdruckwärmepumpe. Durch das Hin- und Herbewegen des Differentialkolbens wird im zweistufigen Kreislaufprozess der ausgehende Grunddruck von 25 bar aus dem Speicher auf einen Betriebsdruck von etwa 300 bar erhöht. Dieser erhöhte Luftdruck reicht schließlich aus, einen, für dieses System am besten geeigneten 100 KW starken Ölhydraulikmotor anzutreiben.

Eine separate Niedertemperaturanlage zieht Druckenergie aus dem Temperaturdifferential, das sich zwischen den Paneelen im Dach und in der Bodenplatte befindet, und füllt so den Drucktank. Bereits ab einem Temperaturunterschied von nur 1 Grad Celsius beginnt der zweite Kolben den Druckspeicher zu füllen.

---

<sup>77</sup> AirComPower Energietechnik GmbH: Zwangsgesteuerter Differentialkolben

Da bei der zweiten Druckwandlungsstufe sehr hohe Temperaturen durch die Kompression frei werden, können diese ins Heizsystem des Fahrzeuges geleitet werden. Andererseits findet bei der Entspannung der 300 bar im Hydraulikmotor eine sehr große Abkühlung statt, die wiederum in die Klimaanlage geleitet werden kann. Zusätzlich wird bei diesem Prototyp die entstehende Bremsenergie direkt in Druck umgewandelt und in den Druckluftspeicher geleitet. Dadurch wird eine optimale Energierückgewinnung gewährleistet.



*Abb. 16:  
Hochdruckpaneele im Dach  
und in der Bodenplatte  
sorgen für das nötige  
Temperaturdifferential für  
den Differentialkolben und  
den Antrieb des  
Ölhydraulikmotor.<sup>78</sup>*

Im Grunde genommen braucht ein nach diesem System betriebenes Fahrzeug keinerlei externen Treibstoff mehr, sondern bezieht seine Energie aus den eigenen, im Auto befindlichen Luftdruckflaschen, die sich durch die Temperaturdifferenzen der Luft von selbst wieder auffüllen. Im Idealfall vollzieht sich das Wiederauffüllen der Luftdruckflaschen während der Fahrt.

Auch wenn es sich bei diesem Modell um einen Prototyp mit noch bestehenden „Kinderkrankheiten“ handelt, zeigt es deutlich, dass Bammers System grundsätzlich auch für den Antrieb eines Fahrzeuges geeignet ist und eine regelrechte Sensation in der Automobil-, beziehungsweise in der gesamten Energietechnologie darstellt.

Sollte Bammers System allein nicht ausreichend sein, die Fahrzeuge vollständig mit dem nötigen komprimierten Luftdruck zu versorgen, könnten stationäre Anlagen unter Anwendung derselben oder einer anderer alternativen Technologie genügend Druckluft bereitstellen, um den Betrieb dieser umweltfreundlichen Fahrzeuge zu gewährleisten. Dazu wäre theoretisch nicht einmal ein separaten Tankstellennetz notwendig, da die bereits vorhandene Infrastruktur genutzt werden könnte. Theoretisch deshalb, da man sich heute kaum vorstellen kann, dass die Öllobby dies zulassen, geschweige denn fördern würde.

<sup>78</sup> AirComPower Energietechnik GmbH: Darstellung des AirComPower Luftdruckautos

Zusätzlich könnte eine solche futuristische Tankstelle die durch die Kompression anfallende große Menge an Wärme in ein umliegendes Heizsystem einspeisen oder gar für die eigene Stromerzeugung nutzen.

Peter Bammers Konzept ist zukunftsweisend und physikalisch einleuchtend. Mit der Entwicklung seiner Hochdruckwärmepumpe hat er einen neuen Weg aus der ökologischen Krise einer permanenten Umweltzerstörung aufgezeigt. Zudem hat er die Wärmepumpentechnologie revolutioniert, neue Wege in der Stirlingmotorenentwicklung beschritten und nicht zuletzt bahnbrechende Ansätze für eine neue umweltfreundliche Automobiltechnologie geliefert. Die Firmenziele Peter Bammers AirComPower Energietechnik GmbH einer autarken, für jedermann zugänglichen Energieform können in der Pilotphase grundsätzlich als erreicht bezeichnet werden.

Bedauerlicher Weise fand diese geniale Idee noch keine ideelle oder finanzielle Unterstützung von Seite der Industrie oder der Europäischen Union.

## 10. Das Luftauto von Guy Nègre

Der österreichische Erfinder Peter Bammer ist aber nicht der Einzige, der auf die Idee kam, das energetische Potential von Luft als Antriebsmedium für ein Fahrzeug zu nutzen.

In Frankreich lebt der bekannte Ingenieur Guy Nègre, der dem Rennsport als erfolgreicher Formel 1-Motorenkonstrukteur den Rücken kehrte und schließlich eine neue Herausforderung für sich suchte. Nègre setzte sich zum Ziel, einen umweltfreundlichen, abgasfreien Motor zu konstruieren. Dazu bediente er sich seines Know-hows, welches er sich in der Formel 1 angeeignet hatte. Dank Nègres Forschungs- und Entwicklungsarbeit werden die Rennwagen der Formel 1 heute mit Kompressorluft gestartet.

Nach seiner Karriere in der Formel 1 gründete Guy Nègre zusammen mit Investoren im Jahre 1991 die Firma MDI (Motor Development International) in Luxemburg, um dem Ziel eines Null-Emissionsfahrzeuges einen weiteren Schritt näher zu kommen.

Zunächst entwickelte Ingenieur Nègre den Prototyp eines Hybridfahrzeuges, welches mit einem Verbrennungsmotor für Langstrecken und mit einem luftbetriebenen Kompressormotor für den Stadtbetrieb und für Kurzstrecken ausgerüstet wurde.

Nur drei Jahre später gelang es dem französischen Ingenieur schließlich ein Fahrzeug zu konstruieren, das alleine durch Druckluft angetrieben werden konnte. Dieses sensationelle Gefährt benannte Nègre mit dem passenden Namen „AirCar“.

*„Formel 1 Wagen werden mit Kompressorluft gestartet. In meinem Auto ist die Kompressorluft der Treibstoff für den Motor“*, erklärt Nègre in einem Interview.<sup>79</sup>

### 10.1. Funktionsweise und Hauptbestandteile der des AirCar

Grundsätzlich funktioniert Guy Nègres Erfindung ähnlich, wie jene des österreichischen Erfinders Peter Bammer. Beide Forscher arbeiten an einem System welches es schafft, Luft zu komprimieren, diese in Drucklufttanks zu speichern und bei Bedarf als Energiequelle zu nutzen. So werden bei Guy Nègres AirCar durch Entspannung der komprimierten Druckluft die Zylinder in Bewegung gebracht und das Fahrzeug somit in Bewegung versetzt.

---

<sup>79</sup> Ronald Engert: Zeitschrift, Tattva Viveka, Nr. 9, Revilak Verlagsservice, 8225 Gilching, 1998

Dabei verzichtet der nur 20 kg schwere Drehkolbenmotor des AirCar komplett auf eine umweltbelastende Verbrennung fossiler Kraftstoffe. Stattdessen wird das Fahrzeug vollständig durch reine, in den Tanks mitgeführte komprimierte Druckluft angetrieben.

### **10.1.1. Der Luftdruckmotor**

Der über die Jahre von Guy Nègre immer weiter verbesserte Luftdruckmotor ist im wahrsten Sinne des Wortes das Herzstück des AirCar. Mit dem doppelten Wirkungsgrad der Leistungsabgabe eines Benzinmotors entwickelt der Expansionsmotor einen Überdruck in sechs Zylindern, deren Kolben den Wagen schließlich antreiben. Zunächst nimmt die erste Kolbenkammer atmosphärische Luft auf und verdichtet diese. Anschließend wird die Luft zur nächsten Kammer geleitet, wo komprimierte Luft je nach Bedarf eingespritzt wird. Wie bei einer Verbrennungsmaschine werden die Kammern nacheinander befüllt und können so die Kolben in Bewegung versetzen. Die dabei entstehende Ausdehnung dieser Mischung aus der gegebenen Außenluft und der komprimierten Druckluft treibt die Kolben und somit schließlich das Fahrzeug an. Und das vollkommen schadstofffrei, geruchlos und leise.

Als Schmiermittel werden im AirCar ausschließlich biologisch abbaubare Öle, wie Speiseöl, eingesetzt. Das Wartungsintervall für das AirCar soll laut Nègre nur 50.000 km betragen.



#### ***Haupteigenschaften des AirCar Motors***

*Hubraum: 600 cm<sup>3</sup> x 6 Zylinder*

*Leistung: 50 kw bei 3500 U/min*

*Drehmoment: 12,6 Nm bei 1300 U/min*

*Gewicht: 20 kg*

*Spitzengeschwindigkeit: 135 km/h*

*Reichweite: 250 – 300 km*

*Ladezeit der Tanks: 4-6h elektrisch,*

*2-3 min an einer Hochdruckladestation*

*Abb. 17: Luftdruckmotor von Nègres umweltfreundlichen AirCar<sup>80</sup>*

---

<sup>80</sup> Archiv, Wolfgang Wiedergut: Bestandteile des AirCar Motors

### 10.1.2. *Der Luftfilter*

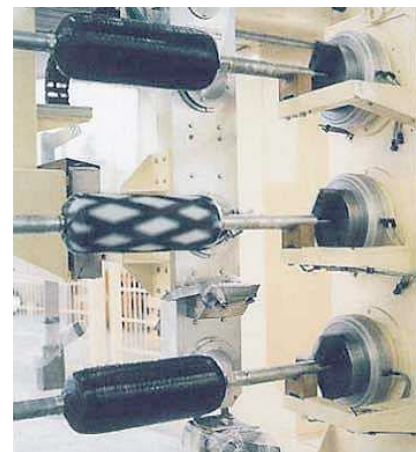
Die Luft, die aus dem Auspuffrohr des AirCar austritt, ist reiner als jene, die aus der Umgebung aufgenommen wurde, da sie vor der Einspritzphase gefiltert werden muss. Dafür wird ein Kohlenstofffilter verwendet. Die Luft die das AirCar ausstößt hat nur zwischen 15°C und 0°C. Gäbe es genügend solcher luftdruckbetriebener Automobile, wäre es denkbar, dass diese in gewisser Weise auch der Klimaerwärmung entgegenwirken würden. Tatsache ist, dass dieses System es ermöglicht, dass die Luft, die das Auspuffrohr verlässt, reiner ist als jene, die zur Komprimierung aufgenommen wurde. Somit kann das AirCar von sich behaupten, dass es das erste Fahrzeug ist, das Luft als sauberes Antriebsmedium verwendet, und diese sogar noch bei laufendem Motor reinigt.

Natürlich ist dabei nicht außer Acht zu lassen, dass das Fahrzeug ebenso wie moderne Industrieanlagen oder Dieselfahrzeuge einen verschmutzten Filter hinterlässt, der zu gegebener Zeit entgiftet oder ausgetauscht werden muss.

### 10.1.3. *Die Luftdrucktanks*

Da im Motor auf Grund des Luftdruckantriebs nur Temperaturen bis 400 Grad Celsius entstehen, ist die Materialbelastung sehr gering. Dies wirkt sich wiederum positiv in einer langen Lebensdauer und in niedrigen Wartungskosten aus.

Die Reichweite des neuesten AirCar „Modular 4“ soll voraussichtlich zwischen 250 und 300 km ausmachen. Diese doch ganz beträchtliche Reichweite verdankt das Gefährt seinen 4 kevlarummantelten Mehrschichttanks, die 90.000 Liter Pressluft bei 300 bar fassen können. Die Tanks haben eine Länge von 2,10 m und einen Durchmesser von 23 cm. Dabei handelt es sich um Tanks, die bereits in öffentlichen Bussen mit Erdgasantrieb erfolgreich eingesetzt werden.



*Abb. 18:*

*Mit Kevlar beschichtete  
Sicherheitstanks des  
französischen  
Raumfahrtsunternehmens  
EADS<sup>81</sup>*

<sup>81</sup> Archiv, Wolfgang Wiedergut: Kevlarsicherheitstanks von EADS

Die Tanks sind aus mehrschichtigem Verbundwerkstoff und mit Kevlar umhüllt und mit Sollbruchstellen versehen. Kevlar birgt die Eigenschaft, dass bei einem Defekt des Tanks dieser nicht explodieren kann, sondern die darin befindliche Luft nur auspfeift, was höchstens etwas Lärm verursacht. Durch diese Hightechlösung im Bereich des Tanksystems wird beim AirCar äußerste Sicherheit gewährleistet. MDI verwendet für das AirCar Tanks, die vom europäischen Raumfahrtsunternehmen EADS hergestellt werden.<sup>82</sup>

#### **10.1.4. Das Wiederaufladen der Tanks**

Grundsätzlich gibt es zwei verschiedene Methoden, die Tanks der AirCar-Modelle wieder aufzuladen. Zum Einen zu Hause in der eigenen Garage über die Steckdose oder zum Anderen an einer Luftdrucktankstelle mittels Hochdruckladestation.

Zu Hause in der Garage wird der Motorkompressor über die Steckdose mit Strom versorgt und kann so selbst seine Tanks mit komprimierter Luft befüllen. Die Ladedauer hängt davon ab, ob man 220V Haushaltsstrom oder 380V Starkstrom verwendet. Bei 220V braucht man für die „CityCat’s“ etwa 5 und für die kleineren „MiniCat’s“ etwa 3 Stunden Ladezeit. Bei Starkstrom lädt sich das „CityCat“ in 3 und das „MiniCat“ in nur 2 Stunden auf.

Zukünftig sollten Tankstellen mit Hochdruckladestationen ausgerüstet werden, um die Luftautos auch unterwegs auftanken zu können. Dabei würde vorkomprimierte Luft der Hochdruckladestationen direkt in das Fahrzeug gepumpt werden. Ähnliche Systeme existieren bereits, um Erdgas betriebene Busse zu betanken. Solch ein Hochdruckladesystem würde die „AirCat’s“ in weniger als 3 Minuten vollständig auftanken.

#### **10.1.5. Die Karosserie**

Die Karosserie des AirCar wird aus Fiberglas hergestellt. Daraus ergeben sich Vorteile von geringen Kosten und von geringem Gewicht für das Automobil der Zukunft. Ein weiterer Vorteil von Fiberglas ist, dass es gegenüber Blech sicherer ist, da es bei einem Unfall nicht zu gefährlichen Schnittverletzungen kommen kann. Zusätzlich ist Fiberglas einfacher und kostengünstiger zu reparieren als Blech. Einmal ganz von der Eigenschaft abgesehen, dass Fiberglas auch nicht rosten kann.

---

<sup>82</sup> EADS / European Aeronautic Defence and Space Company / [www.eads.com](http://www.eads.com), 5.10.05

<sup>83</sup> EADS / European Aeronautic Defence and Space Company / [www.eads.com](http://www.eads.com), 5.10.05

Trotz der positiven Eigenschaften von Fiberglas plant MDI, es als Materialkomponente für die Karosserie durch Hanffaser zu ersetzen. Durch die Verwendung von Hanffaser und Naturlacken will MDI eine Karosserie auf den Markt bringen, die zu 100% biologisch abbaubar ist. Die technischen Eigenschaften der Karosserie würden sich dabei gegenüber der Verwendung von Fiberglas aber nicht verändern.

Ein interessanter Aspekt zu diesem Vorhaben ist, dass bereits Henry Ford Hanffaser für die Karosserie für das im Jahre 1915 produzierte T-Model verwendete.<sup>84</sup>

### **10.1.6. Die Elektronik**

Eigens für das AirCar entwickelte Guy Nègre ein völlig neuartiges Elektroniksystem. Unter Verwendung einer Funksteuerung werden den elektronischen Komponenten über einen Regler die entsprechenden Signale gesendet und die gesamten Elektronikteile des AirCar sind nur noch durch ein einziges Kabel im Auto miteinander verbunden. Das System ist somit weit übersichtlicher, als jenes von herkömmlichen Fahrzeugen, und dadurch auch einfacher zu installieren und zu reparieren. Hinzu kommt, dass eine große Menge an unhandlichem Kabelmaterial eingespart werden kann.

## **10.2. Wirtschaftlichkeit und Verbrauch**

Nègres AirCar fährt nicht nur mit reiner Luft. Es besteht auch vorwiegend aus umweltfreundlichen Komponenten und der Betrieb des Fahrzeuges mit Pressluft ist zudem auch fünfmal billiger als der eines herkömmlichen Fahrzeuges mit Verbrennungsmotor. Dies rechnet sich vor allem im Nahverkehrsbereich, für den das AirCar auch in erster Linie ausgelegt ist.

Um den Tank von 300 Liter/300 bar, also insgesamt mit 90.000 Liter komprimierter Luft zu befüllen, benötigt man an die 17 kWh Strom. Bei einem derzeitigen durchschnittlichen Ökostrompreis von 18 Cent/kWh ergibt das einen Preis von circa 3 Euro pro Tankfüllung. Mit dieser Tankfüllung fährt das AirCar zwischen 250 und 300 km. Das heißt, umgerechnet kostet die Tankfüllung pro 100 km in etwa 1 Euro und das liegt weit unter den derzeitigen Preisen von Benzin, Diesel oder Biodiesel.

---

<sup>84</sup> Ohne Verfasser: [www.chanvre-info.ch/info/de/Zu-Henry-Fords-Auto.html](http://www.chanvre-info.ch/info/de/Zu-Henry-Fords-Auto.html)



Hinzu kommt, dass das AirCar im deutschen, sowie im österreichischen Kraftfahrzeugsteuergesetz als Elektrofahrzeug eingestuft wird und so Steuerbegünstigungen bekäme. Nach dem deutschen Kraftfahrzeugsteuergesetz wäre das AirCar demnach für einen Zeitraum von 5 Jahren und nach dem österreichischen Kraftfahrzeugsteuergesetz sogar gänzlich von der Steuer befreit.<sup>85/86</sup>

Ein weiterer Aspekt für die Ökonomie des AirCars ist die Verwendung einer Bremskraftrückkopplung, wobei die bei einer Bremsung anfallende Bremsenergie gespeichert und dann wieder als Antriebsenergie verwendet werden kann.

### **10.3. Verschiedene Modelle des AirCars**

Nach nun fast 15 Jahre Bestehen des Unternehmens MDI gibt es auch mehrere verschiedene Modelle um den Anforderungen einer modernen Automobilfirma nachzukommen.

Vorerst spezialisieren sich Guy Nègre und sein Team in erster Linie auf Fahrzeuge für den Nahverkehrsbereich.

Die ursprünglichen Modelle des AirCars sind die „*CityCat's*“. Davon gibt es mittlerweile mehrere Varianten. Einen Familien-Van mit sechs Sitzen, einer Schiebetür und ausreichendem Stauraum, auch erhältlich als Taximodell. Weitere Modelle sind ein Mini-Pickup, sowie ein zweisitziger Lieferwagen mit einer maximalen Nutzlast von jeweils 500 kg. Das Neueste von MDI ist das Modell „*MiniCat*“. Mit dem „*MiniCat*“ beweist Guy Nègre, dass er bei seinen Autos nicht nur auf einen luftdruckbetriebenen Antrieb, sondern ebenso auf ein ausgeklügeltes Design großen Wert legt. Der „*MiniCat*“ repräsentiert laut MDI das Stadtauto der Zukunft.

---

<sup>85</sup> Deutsches Bundesgesetzblatt 1991, Kraftfahrzeugssteuergesetz § 3d.

<sup>86</sup> Österreichisches Bundesgesetzblatt 1992, Kraftfahrzeugssteuergesetz § 2 (1) Z.9



Abb. 19: Taxi von AirCar auch als Sechssitzer Familien Van im Programm von MDI<sup>87</sup>

**Das AirCar: „CityCat-Taxi“**

*Länge: 3.84 m*

*Breite: 1.72 m*

*Höhe: 1.75 m*

*Sitze: 6*

*Eigengewicht: 750 kg*

*Höchstgeschwindigkeit: 110 km/h*

*Reichweite: 200 – 300 km*

*Ladezeit: 3 min an einer*

*Hochdruckladestation*



Abb. 20: AirCars „MiniCat“, das Stadtauto der Zukunft<sup>88</sup>

**Das AirCar: „MiniCat“**

*Länge: 2.65 m*

*Breite: 1.62 m*

*Höhe: 1.64 m*

*Sitze: 3 in der Mitte*

*Eigengewicht: 550 kg*

*Höchstgeschwindigkeit: 110 km/h*

*Reichweite: 150 km*

*Ladezeit: 2 min an einer*

*Hochdruckladestation*

## 10.4. Lizenzvergaben

Ursprünglich wandte sich Nègre mit seiner Erfindung an große Automobilkonzerne. Diese waren an Nègres Innovation jedoch nicht wirklich interessiert. Als Grund nannten sie dem Franzosen, dass sie ihre gesamte Produktionsschiene ändern müssten, was sich wirtschaftlich nicht rentieren würde. So entschied sich der Erfinder, mit MDI sein eigenes Fahrzeug zu entwickeln und auch zu produzieren. Weiters arbeitete MDI ein eigenständiges Konzept aus, um das Fahrzeug selbst produzieren zu können. MDI's Ziel besteht nicht nur darin, Autos zu verkaufen, sondern ganze Fabrikanlagen inklusive aller Lizenzen zur Produktion der AirCars. Die Kosten, eine AirCar Fabrik aufzustellen, sollen laut MDI bereits nach 3 Jahren Produktion wieder vollständig eingenommen werden können.

MDI hat weltweit 369 globale Zonen abgesteckt, für die schlüsselfertige Fabriken vorgesehen sind. Die Zonen wurden dabei nach Kriterien wie ihrer geographischen Lage, Einwohner, dem zur Verfügung stehenden Energiepotential sowie der möglichen Zahl der zu verkaufenden Autos definiert. Unter anderem enthalten die Lizenzen einer bestimmten Zone neben der Produktion der Fahrzeuge auch den Vertrieb und die Marketingrechte für die nachhaltigen Fahrzeuge.

Andererseits muss ein noch undefinierter prozentualer Anteil des Gewinnes vom Lizenznehmer an MDI in Form eines Produktionsrechts für den Luftdruckmotor abgegeben werden.

MDI sieht sich als globales Unternehmen, in dem alle Lizenznehmer miteinander vernetzt sind und gewinnorientiert zusammenarbeiten.

### **Eine schlüsselfertige Fabrik enthält:**

- Die Exklusivrechte für eine geographische Zone
- Lizenzen für die gesamte Produktpalette
- Zugang zu den zentralen Lagern
- Das Fabrikgebäude mit voraussichtlich 5.000 m<sup>2</sup>
- Die gesamte Maschinenpalette, die für die Produktion notwendig ist
- Einschulung des Personals

---

<sup>87</sup> Archiv, Wolfgang Wiedergut: AirCar, Modell „Taxi“

<sup>88</sup> Archiv, Wolfgang Wiedergut: AirCar, Modell „MiniCat“

Bis jetzt wurden 37 Lizenzen weltweit reserviert beziehungsweise verkauft. Reserviert wurden Lizenzen für Frankreich, Deutschland, Indien, Spanien und die Schweiz.

Bereits verkauft wurden Lizenzen für Italien, Mexiko, Neuseeland, Australien, Panama, Ecuador, Kolumbien, Peru, Lettland, Estland, Portugal und Israel.

MDI plant, in absehbarer Zukunft bis zu 400 Firmen weltweit zu errichten.

## 10.5. Ziele und Visionen von MDI

Guy Nègres langfristiges Ziel ist es, ein Luftauto auf den Markt zu bringen, das mit den herkömmlichen Fahrzeugen der großen Automobilkonzerne vollständig konkurrieren kann.

Nämlich ein Luftdruckauto, das im Stande ist, auch außerhalb der Stadt eine passable Leistung zu erbringen. Mit der Entwicklung eines Hybriden, der bei Bedarf von Luftdruckantrieb auf Treibstoff umschalten kann, beziehungsweise ab einer Geschwindigkeit von 60 km/h automatisch auf flüssigen Treibstoff umschalten kann, ist Nègre auf dem besten Weg, auch dieses Ziel früher oder später zu erreichen. Vielleicht gelingt es Nègre sogar einmal mit einem Rennwagen in die Formel 1 zurückzukehren, der nicht nur durch Kompressorluft gestartet, sondern auch vollständig damit angetrieben wird.

Ein weiterer Bereich, an dem MDI Entwicklungen durchführt, sind stationäre Energiesysteme für eine saubere, nicht standortfixierte Energieversorgung. Ein schwerwiegendes Problem der Energieversorgung ist die Speicherung der Energie beziehungsweise des Stroms. MDI plant, in Zukunft Lösungen für genau dieses Problem anzubieten. Mit großen Luftdrucktanks soll die Energie, wie bei den AirCars, als komprimierte Luft gespeichert und somit bedarfsgerecht zur Verfügung gestellt werden.

## 10.6. Umweltverträglichkeit des AirCar

Trotz der Verwendung von nur wenig bis gar nicht umweltbelastenden Materialien für das AirCar, wie Speiseöl als Schmiermittel und demnächst Hanffaser für die Karosserie, stellt sich die Frage, wo der nötige Strom für die Luftkomprimierung für das AirCar herkommt.

Obwohl das AirCar ausschließlich durch Druckluft angetrieben wird, und dabei die Luft das Fahrzeug noch in einem reineren Zustand verlässt, als sie bei der Komprimierung aus der Umgebung aufgenommen wurde, muss berücksichtigt werden, woher die Energie kommt, die der Kompressor benötigt, um die Luft in den nötigen komprimierten Zustand zu versetzen.

Anders als bei Ingenieur Peter Bammers Luftdruckauto, der wie schon erklärt versucht, die Tanks seines Luftdruckfahrzeugs ständig durch gegebene Luftdruckschwankungen mit komprimierter Luft wiederzubefüllen, benötigen Guy Nègres AirCars dazu elektrischen Strom. Man kann nun argumentieren, dass dies nur eine Verschiebung des Problems darstellt, da der Strom für die sauberen AirCars von meist weniger sauberen Kraftwerken zur Verfügung gestellt werden würde, die ohnehin schon teilweise an ihre Produktionsgrenzen gestoßen sind. Darüber hinaus setzt Frankreich verstärkt auf den Einsatz von Atomstrom und da Guy Nègre Franzose ist, liegt es nahe, ihm zu unterstellen, dass er saubere Luftautos produziert, die bei genauerer Betrachtung durch umstrittenen Atomstrom angetrieben werden. Ob dies bei den Nutzern, zumindest außerhalb Frankreichs, Wohlgefallen hervorrufen würde, ist fraglich.

Ob es nun möglich wäre, den Strom für die AirCars ausschließlich auf saubere Art und Weise durch die Verwendung von erneuerbaren oder alternativen Energiequellen zur Verfügung zu stellen, ist schwierig zu beantworten.

Langfristiges Ziel sollte es auf jeden Fall, ganz von Peter Bammers Grundidee eines fahrzeuginternen Luftkomprimierungssystems abgesehen sein, dass Haushalte einmal in der Lage sind, selbst genügend Strom zu erzeugen, um nicht nur ihr Heim, sondern auch ihr oder ihre Fahrzeuge mit Energie versorgen zu können. Mittlerweile gibt es ohnehin Niedrigenergiehäuser, die jetzt schon mehr Energie beziehungsweise Strom erzeugen können als sie benötigen und den restlichen Teil zurück ins Netz speisen.

Auch dabei könnte in nicht all zu ferner Zukunft das Potential des Luftdrucks, wie zum Beispiel die von MDI in Entwicklung befindlichen stationären Energiespeichersysteme, eine nicht ganz unwesentliche Rolle spielen.

Aber auch für die unvermeidlichen stationären Luftdrucktankstellen für die Fahrzeuge von Guy Nègre gibt es mehrere Möglichkeiten einer umweltfreundlichen, nachhaltigen Lösung mit Hilfe der Anwendung von Luftkomprimierung.

Mögliche Beispiele hierfür liefert der Erfinder Guy Nègre selbst. Bei einem Projekt verwendet Nègre die alternative Energieform Luft, bei einem anderen Wasser.

In seinem auf Windenergie basierenden System komprimieren einzig und alleine Windmühlen mit dem Strom aus Windenergie die Umgebungsluft, um sie dann in komprimierter Form für die Luftdruckautos zur Verfügung zu stellen.

---

<sup>89</sup> Archiv, Wolfgang Wiedergut: Vision Luftdrucktankstelle am Fluss

Eine weitere Idee von Guy Nègre basiert auf einer Studie von MDI, die besagt, dass viele große Städte der Welt wie zum Beispiel Paris oder London an großen Flüssen liegen. Nègres Idee ist es daher, große Boote an solchen Flüssen ufern zu lassen. Dabei soll das Wasser durch zwei Rohrleitungen durch die Boote fließen und die Strömung in Energie transformiert werden. Beim Durchfließen der Rohranlagen betreibt das Flusswasser Turbinen, die dabei Strom erzeugen. Der auf diese Art generierte Strom wird dann, ähnlich wie bei einem Laufwasserkraftwerk, für die Komprimierung von Luft herangezogen. Im nächsten Schritt wird die nun verdichtete Luft in großen Luftdrucktanks gespeichert. Über Tankschläuche können dann die Luftautos am Festland betankt werden.

Dies wäre auf jeden Fall ein völlig umweltfreundliches, portables System, welches auch andere Energienehmer, wie zum Beispiel mit Luftdruck betriebene Boote, mit komprimierter Luft versorgen könnte.

Ganz andere Argumente bezüglich der Diskussion über die Energiebereitstellung für Luftautos liefert der Schweizer Partner von MDI, AP Technologies Corporation.

APT argumentiert, dass es durch Einsatz des Luftmotors bezüglich Verschmutzung zu zwei Verschiebungen und einer Optimierung kommt.

Zum einen finden 80% aller Autofahrten in den städtischen Zentren statt. Durch Einsatz von Luftdruckautos wird einer unmittelbaren Verschmutzung der Stadtzentren, wo auch die größte Bevölkerungsdichte vorherrscht, entgegengewirkt.

Die zweite Verschiebung bezieht sich laut des Unternehmens APT auf die Luftverschmutzung. Für die Komprimierung der Luft wird, wie schon besprochen, elektrischer Strom benötigt. Entscheidet sich nun ein Autofahrer für das Luftauto, so entscheidet er sich für ein schadstofffreies Fahrzeug. Da der Staat den Strom über Großanlagen den Konsumenten zur Verfügung stellt, obliegt es laut APT nicht der Verantwortung des Autofahrers, welche Energiequellen dazu herangezogen werden, sein Auto aufzutanken.



*Abb. 21: Guy Nègres Vision einer am Fluss liegenden Luftdrucktankstelle<sup>89</sup>*

Durch die EU-Strombinnenmarktrichtlinie von 1997, welche die Liberalisierung des Europäischen Strommarktes zum Ziel hat, können ab 2008 die zukünftigen Luftdruckautobesitzer europaweit ihren Stromanbieter und so die Energiequelle für das Auftanken ihres Luftautos selbst wählen.<sup>90</sup>

Zum Anderen heißt es, dass die Nachfrage das Angebot bestimmt, und sobald genügend Autofahrer nach einem umweltfreundlichen Fahrzeug beziehungsweise im Fall des AirCar nach einer umweltfreundlichen Energiequelle für das Auftanken fragen, werden die Stromanbieter über kurz oder lang gezwungen sein, auf eine umweltfreundliche Energieerzeugung umzustellen.

Mit Optimierung meint das Team von APT schließlich, dass der Verschmutzungsgrad beim Verbrennen von geringen Mengen Erdöl in vielen einzelnen Fahrzeugen weitaus höher ist, als der, der bei Verbrennen von großen Mengen Erdöl in einer einzigen Großanlage entsteht.

---

<sup>90</sup> EU-Richtlinie Elektrizitätsbinnenmarkt, Amtsblatt Nr. L 027 vom 30.1.1997, S 20

## 11. AP Technologies Corporation

Die AP Technologies Corporation GmbH ist ein Partner von MDI und vertritt die Interessen des AirCar Unternehmens von Guy Nègre in der Schweiz.

Das Ziel des schweizer Technologieunternehmens ist es, zukunftsweisende Technologien, speziell emissionsfreie Antriebstechnologien, zu entwickeln, anzubieten, sich an solchen Projekten zu beteiligen und sie zu erhalten.

Neben der Zusammenarbeit mit MDI forscht und entwickelt APT an umweltentlastenden Antriebssystemen für Fahrzeuge und Boote. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf Antriebssystemen auf der Basis von Druckluft, flüssiger Luft und Brennstoffzellen.

Die Vision von AP Technologies ist es, weltweit größter konzernunabhängiger Hersteller von umweltschonenden und kostengünstigen Antriebstechnologien zu werden.

Diesbezüglich verweist das schweizer Unternehmen optimistisch auf eine Studie von Frost & Sullivan, die besagt, dass der Markt für Fahrzeuge mit alternativen Antriebssystemen, egal welcher Art, alleine in Deutschland von etwa 10.000 Fahrzeugen pro Jahr heute, auf rund 450.000 Fahrzeuge pro Jahr bis ins Jahre 2010 anwachsen wird. Dabei fokussieren die Schweizer einen Marktanteil von 15%.<sup>91</sup>

Die größten Marktpotentiale für hybride Elektrofahrzeuge sieht Frost & Sullivan vorerst in Großbritannien und Frankreich. Laut Dr. Julia Reuter könnte Deutschland auf lange Sicht zum größten Markt für HEV (Hybrid Electric Vehicles) werden.

### 11.1. AP Technologie

Das Unternehmen AP Technologies ist, wie bereits erwähnt, auch selbst mit der Entwicklung von effizienten Antriebssystemen beschäftigt. Das Hauptgewicht legt APT, ebenso wie MDI, auf luftdruckbetriebene Systeme.

Das APT Antriebssystem ist an Effizienz und an Laufruhe kaum zu übertreffen. AP Technologies verwendet als Luftdruckmotor einen Drehkolbenmotor, bei dem es wie bei Hubkolbenmotoren zu keinen statischen Aufladungen kommt. Sensationell dabei ist, dass bei diesem 6-Zylinder Drehkolbenmotor lediglich 0,07 bar an Druck ausreichen, um die Reibung

---

<sup>91</sup> Dr. Julia Reuter: Frost & Sullivan's Analysis Of The European Market For Full And Mild Hybrid Electric Vehicles (Report B126), [www.frost.com](http://www.frost.com), 17.10.2005



zu überwinden und die Kolben in Gang zu setzen. Das bedeutet, dass ein normales Pusten ausreicht um die Kolben in Bewegung zu bringen. Für das Fahrzeug selbst heißt das, dass kein zusätzliches Aggregat notwendig ist, um den Motor zu starten.

Zusätzlich muss für die Schmierung des Motors kein Öl verwendet werden, da die geniale Bauweise und die extrem hohe Effizienz es erlaubt, die Kolben und die anderen beweglichen Teile auf Luft zu polstern.

Laut AP Technologies gibt es weltweit keine vergleichbar effizienten Rotationsmotoren dieser Art, die einen Wirkungsgrad von mehr als 85% erreichen.

Ebenso wie bei dem Motor von Guy Nègre ist die Emission bei diesem Luftdruckmotor unter Verwendung von alternativen Energiequellen wie Wasser, Wind und Sonne gleich Null.

## **11.2. APT Prototypen und erstes Serienmodell**

Mittlerweile verfügt das aufsteigende Schweizer Unternehmen über zwei Prototypen und ein Modell. Die aktuellen Prototypen sind der Smart P1 und der APT P2.

Bei dem ersten Prototyp handelt es sich um einen handelsüblichen Smart, der von Ingenieuren von AP Technologies auf einen Druckluftbetrieb umgebaut wurde. Damit ist APT gelungen, dass auch ihr eigenes, auf Druckluft basierendes Antriebssystem vollständig funktionsfähig ist. Die Reichweite von nur 50 km ist zwar eher bescheiden, jedoch wurde der Smart P1 nur mit ganz normalen Tauchflaschen als Tank ausgerüstet.

Bei dem zweiten Prototyp handelt es sich um ein 4-Sitzer-Straßenfahrzeug, welches in weiterer Folge in den Varianten Van, Pickup, Lieferwagen, Limousine und Cabrio in unterschiedlichen Leistungsgrößen produziert werden soll.

Derzeit verfügen die beiden Prototypen über einen hauseigenen Druckluftmotor von APT mit einer Leistung von 28 kW bei 1000 U/min und circa 200 NM.

Die Reichweite des APT P2 soll an die 200 km betragen und eine vollständige Tankfüllung soll nicht mehr als 2,80 Euro kosten.

Bei dem ersten Serienmodell von AP Technologies handelt es sich um ein Golfcar. Für das Golfcar wird ein kleinerer Di Pietro-Luftdruckmotor verwendet. Der Di Pietro Motor bringt es mit 32 NM und 1006 U/min auf etwa 8 kW Leistung. Das Golfcar hat circa eine Reichweite von 15 km und kostet 4.000 Euro exkl. Mehrwertsteuer.<sup>92</sup>

---

<sup>92</sup> AP Technologies Corporation, 2004: [www.aircars.ch/index.php?lang=de&type=models](http://www.aircars.ch/index.php?lang=de&type=models), 19.10.05

In nächster Zukunft sollen auch Boote mit dem Di Pietro Motor ausgerüstet werden. Eine völlig umweltfreundliche Antriebstechnologie für Boote wäre vor allem für Seen mit einer zu erhaltenden Wasserqualität interessant.

### **11.2.1. Einsatz einer SOFC Brennstoffzelle**

Ein bekanntes Problem bei Druckluftfahrzeugen ist die Stromerzeugung für die Boardelektronik, wie zum Beispiel für Radio oder Digitalanzeigen. Generatoren, die direkt mit dem Expansionsmotor gekoppelt sind, verbrauchen Leistung, die man eigentlich besser für den Antrieb verwenden könnte.

Dieses Problem lösten die Ingenieure von APT mit einer Brennstoffzelle. Mit dem Einsatz einer Brennstoffzelle kann die Stromerzeugung vom Antriebssystem getrennt werden. Dabei ist die Brennstoffzelle mit einer Batterie verbunden und kann über den Ladezustand des Stromspeichers gesteuert werden. Das heißt, dass die Brennstoffzelle immer dann aktiv wird, sobald die Batterie Ladung aufnehmen kann. Wenn die Batterie vollständig geladen ist, stellt die Brennstoffzelle automatisch auf Schlummerbetrieb. Die dabei anfallende Abwärme wird für die Vorerwärmung der Expansionsluft verwendet.

Für diesen Vorgang eignen sich nur Hochtemperaturbrennstoffzellen vom Typ SOFC (Solid Oxide Fuel Cells), so genannte keramische Brennstoffzellen. Anders als die üblichen Niedertemperatur-Brennstoffzellen verzichten diese völlig auf den Einsatz von reinem Wasserstoff und können mit flüssigen Kohlenwasserstoffen und Luft oder aber auch mit Biomasse betrieben werden. Die Leistungsdichte der SOFC liegt bei etwa 1 kW pro Liter. Die entstehende Abwärme wird dem Prozess rückgeführt und somit der Wirkungsgrad optimiert. Der Aufbau dieser keramischen Brennstoffzellen besteht aus 2,5 kW Stack-Modulen, die mobil sowie stationär einsetzbar sind. Die Aufheizdauer, um die volle Arbeitsleistung zu erzielen, liegt derzeit bei 3 – 5 Minuten. Durch die Speicherung der elektrischen Energie in einem Akkumulator kann eine Trennung der Stromerzeugung und der benötigten elektrischen Leistung erreicht werden.

Für die bestmögliche Entwicklung einer eigenen SOFC ist die AP Technologies GmbH eine Kooperation mit einer Schweizer Universität eingegangen.<sup>93</sup>

---

<sup>93</sup> AP Technologies Corporation, 2004: [www.aircars.ch/index.php?lang=de&type=works](http://www.aircars.ch/index.php?lang=de&type=works), 19.10.05

### **11.2.2. Prototyp APT Stickstoff Gokart**

Wie bereits erwähnt, besteht die Luft die wir täglich einatmen zu 78% aus gasförmigem Stickstoff und nur zu 21% aus Sauerstoff. Neben dem Einsatz von Druckluft als Antriebsmedium beschäftigt sich APT mit dem Einsatz von flüssiger Luft, also Stickstoff (N<sub>2</sub>), als umweltfreundlichen Treibstoff. Aus diesem Grund hat die Firma APT ein stickstoffbetriebenes Gokart entwickelt.

Stickstoff ist gasförmig, kann aber mit Hilfe von Verdichtern, also unter hohem Druck und mit Gasabscheidern, bei einer Temperatur von 197°C minus in flüssigen Stickstoff umgewandelt werden. Die aufzuwendende Leistung zur Erzeugung von einem Liter Flüssigstickstoff beträgt um die 300 Watt. Hinzu kommt, dass Industriebetriebe, die Edelgase aus der Luft filtrieren wollen, Stickstoff als Nebenprodukt gewinnen und diesen meist als Abfallprodukt in die Atmosphäre entweichen lassen. Würde man die kalte flüssige Luft jedoch in Vakuumentanks speichern, könnte diese bis zu vier Wochen erhalten bleiben. Erwärmt man nun den gespeicherten Stickstoff, beginnt sich dieser auszudehnen und sich von flüssigen in gasförmigen Zustand umzuwandeln. Dabei erhält man völlig schadstofffreie Druckenergie, die sich für den Antrieb eines Druckgasmotors nutzen lässt.

Bei Verflüssigung von Stickstoff wird das Volumen bis zu 1/800 verkleinert. Ein wichtiger Aspekt dabei ist, dass beim Umwandlungsprozess kein Stickstoff verloren geht. Hinzu kommt, dass Stickstoff nicht brennbar und somit auch komplett ungefährlich ist.

Im Prinzip funktioniert der Stickstoffmotor wie eine umgedrehte Luftpumpe. Bei Expansion des Druckgases wird ein Kolben des Motors nach unten gedrückt, und sobald dieser seinen maximalen Weg zurückgelegt hat, kann das Gas über ein Ventil nach außen entweichen. Daraufhin zieht sich der Kolben wieder zusammen und der Prozess beginnt von vorn.

Dass dem Stickstoff in Zukunft noch eine bedeutende Rolle als alternativer Treibstoff zukommen wird, zeigt die Tatsache, dass alleine in Deutschland bereits jetzt über 1.400 Stickstofftankstellen existieren. Der Stickstoffmotor ist, wie der Luftdruckmotor von MDI, vollständig schadstofffrei und zukunftsweisend. Wie beim Luftdruckauto darf man aber auch nicht vergessen, dass Energie aufgewendet werden muss, um Stickstoff zu verflüssigen.

Trotzdem zeigen beide Varianten, dass bereits viel versprechende technische Lösungsansätze für alternative Antriebssysteme existieren. Einer schrittweisen Umsetzung einer zeitgemäßen Antriebstechnologie steht demnach aus technischer Sicht nichts mehr im Wege.<sup>94</sup>

---

<sup>94</sup> AP Technologies Corporation, 2004: [www.aircars.ch/index.php?lang=de&type=models](http://www.aircars.ch/index.php?lang=de&type=models), 20.10.05

## **12. Stationäre Energiesysteme**

Neben dem Gebrauch von Luftdruck für mobile Energiesysteme stellt sich als nächstes die Frage nach Einsatzmöglichkeiten für das Medium Luft auch im Bereich von stationären Energiesystemen.

Wie die von Peter Bammer entwickelte Hochdruckwärmepumpe zeigt, eignet sich das Potential des Luftdrucks auch für stationäre Energiesysteme.

Nicht zu vergessen sind Windkraftanlagen, die mit Hilfe der Luftbewegung in Dänemark bereits mehr als 27 % des gesamten jährlichen Strombedarfs decken. Im Vergleich zu Peter Bammers Hochdruckwärmepumpe sind Windkraftanlagen aber großflächige Energieanlagen, die einen staatlichen oder privaten Betreiber haben und Energie nur in großem Ausmaß produzieren. Der einzelne Einsatz einer Windmaschine wäre nicht nur unwirtschaftlich, sondern auch unsinnig, wenn man bedenkt, dass nicht überall ausreichend Wind weht und dass Windanlagen auch einen gewissen Lärm verursachen.

Neben den verschiedenen Methoden, Luft durch den Einsatz von sauberer Alternativenergie zu komprimieren und in diesem Zustand oder in Form von flüssigem Stickstoff bedarfsgerecht zu speichern, nutzt der Nürnberger Physiker Eckard Weber das Potential des Luftdrucks direkt mittels Stirlingmotor, um daraus in weiterer Folge Nutzenergie zu gewinnen.

Der Vorteil an Webers System liegt darin, dass es durchaus denkbar wäre, es als Großanlage oder aber auch für den privaten Gebrauch wirtschaftlich rentabel umzusetzen.

Vor näherer Betrachtung der „Solarstirlingmaschine“ von Weber, ist es sinnvoll, erst einen genaueren Blick auf die generelle Funktionsweise des Stirlingmotors zu werfen.

### **12.1. Die Entwicklung des Stirlingmotors**

Die Erfindung des Stirlingmotors geht zurück auf den schottischen Geistlichen Robert Stirling (1790 – 1878) im Jahre 1816.

Robert Stirling besuchte die Universität von Edinburgh, wo er die Fächer Latein, Griechisch, Logik und Mathematik belegte. Daraufhin beschloss Robert Stirling, Priester zu werden und begann ein Studium der Rechtswissenschaften und Theologie an der Universität von Glasgow.

Nach der Beendigung seiner Studien 1815 wurde er im Folgejahr von der schottischen Kirche zum Priester geweiht.

In der schweren Zeit der industriellen Revolution arbeiteten selbst sechsjährige Kinder in den Kohlebergwerken Schottlands. So auch in der Gemeinde des Pfarrers Robert Stirling. Dabei mussten die Arbeiter schwere Kohlenkübel durch die engen Stollen, von denen der Boden meist unter Wasser stand, befördern.

Es gab zwar zu dieser Zeit bereits Wasserpumpen, die durch Hochdruckdampfmaschinen von James Watt angetrieben wurden, aber ihre Leitungen und Kessel explodierten oft unter dem gefährlich hohen Dampfdruck und forderten so zahlreiche Opfer in den Kohlengruben.

Getrieben von der Idee, die furchtbare Arbeit in den Kohlenbergwerken seiner Heimat etwas erträglicher und sicherer zu machen, gelang es dem damals erst 26-jährigen Robert Stirling, eine neuartige Wärmekraftmaschine zu erfinden. Im September des Jahres 1816 erhielt der schottische Ingenieur Robert Stirling das Patent für seine Heißluftmaschine, die später als Stirlingmotor bekannt wurde. Seine Maschine wurde zunächst als Wasserpumpe für den Bergbau in Ayrshire in Schottland eingesetzt, wo sie für zwei Jahre einwandfrei funktionierte, bis ein Teil des Motors durchbrannte.

Dieser erste eingesetzte Stirlingmotor war sehr einfach konstruiert und wurde nach und nach bis zum heutigen Tag noch entscheidend weiterentwickelt. Zunächst wurde ein zweites Schwungrad eingebaut und der Druck des Arbeitsmediums erhöht. Dabei wurde Robert Stirling von seinem Bruder James, der Mechanikingenieur war, unterstützt.

Im Jahre 1843 lieferten die Brüder Stirling einen damals sehr leistungsstarken Dampfmotor an eine Gießerei in Schottland. Der Motor hatte eine Leistung von 34 kW bei einer Umdrehungszahl von 28 U/min. Bei dieser Maschine kam auch erstmals ein Regenerator mit Drahtgeflechten zum Einsatz. Das Revolutionäre an dieser Stirlingmaschine war, dass bei gleicher Leistung der Treibstoffverbrauch für den Antrieb der Maschine nur ein Drittel gegenüber dem der vorherigen Dampfmaschine ausmachte. Dieser Stirlingmotor war vier Jahre im Dauereinsatz und brachte es auf einen, im 19. Jahrhundert nicht wieder erreichten Wirkungsgrad von 18%.<sup>95</sup>

Durch die Erfolge des Stirlingmotors wurde er nach und nach weiterentwickelt und verbessert. Seine Blütezeit erlebte die Heißluftmaschine nach Stirling Ende des 19. Jahrhunderts. Zu dieser Zeit wurde der Stirlingmotor als Einzel-Energiequelle in Privathaushalten des aufkommenden Bürgertums eingesetzt. Es ist heute kaum zu glauben,

---

<sup>95</sup> Martin Vogel, 2005: <http://de.wikipedia.org/wiki/Stirlingmotor/Geschichte> / 1.11.05

dass der Stirlingmotor damals ein Massenprodukt war, in etwa vergleichbar mit den Elektromotoren, die in unseren heutigen Haushalten verwendet werden. So kam es, dass Anfang des 20. Jahrhunderts weltweit ca. 250.000 Stirlingmotoren beispielsweise als Tischventilatoren, Wasserpumpen oder als Antriebe für Kleingeräte im Einsatz waren. Privathaushalte und Handwerksbetriebe konnten durch die Erfindung und Entwicklung der Brüder Stirling mit mechanischer Energie versorgt werden.

Erst durch die Erfindungen und zunehmende Verbreitung von Otto-, Diesel- und Elektromotoren konnte der Stirlingmotor zunehmend vom Markt verdrängt werden.

Trotzdem kam es nie dazu, dass die geniale Erfindung des Stirlingmotors komplett von der Bildfläche verschwand. Einen neuerlichen Aufschwung erlebte die Heißluftmaschine in den dreißiger Jahren des vergangenen Jahrhunderts durch das niederländische Unternehmen Philips. Philips begann in dieser Zeit die Massenproduktion von Radios und suchte für die Stromerzeugung eine leicht zu bedienende und transportable Kraftmaschine für Gebiete ohne Stromversorgung. In diesem Zusammenhang entwickelte das Unternehmen selbst einen neuartigen Stirlingmotor, der völlig unwucht lief und sich beinahe beliebig verkleinern ließ.

Durch den Zweiten Weltkrieg wurde die Weiterentwicklung der Stirlingmaschinen vorerst unterbrochen und ab Mitte des 20. Jahrhunderts stellte sich durch den Einsatz von Transistoren das Problem der Energieversorgung für Radios nicht mehr.

Folglich wurden Versuche mit dem Stirlingmotor in den verschiedensten Bereichen, wie in der Schiffs-, in der Automobilindustrie oder beim Militär unternommen, ohne in diesen Gebieten einen serienreifen Durchbruch erzielen zu können.

Neuerliche Bedeutung erlangte der Stirlingmotor erst wieder ab dem Jahr 1975 im Zusammenhang mit Blockheizkraftwerken und der Kraft-Wärme-Kopplung.

Diesem Forschungszweig widmet sich auch das staatliche Forschungszentrum Joanneum Research in Graz am Institut für Energieforschung.

Dabei fokussiert sich die Arbeit der Ingenieure des Research Instituts auf den Einsatz von Stirlingmaschinen bei Biomasse-Fernheizwerken, um dabei den elektrischen Eigenbedarf dieser Anlagen zu decken. Durch die Anwendung einer Kraft-Wärme-Kopplung kann aus Biomasse neben der Erzeugung von Wärme für Heizzwecke auch elektrischer Strom produziert werden. Aufgrund dieser Innovation bei Biomasse-Fernheizwerken kommt es zu einer Doppelnutzung der Anlage, und der Gesamtwirkungsgrad des Biomasseneinsatzes wird deutlich verbessert.

Im Rahmen des Projekts ÖKOPARK Hartberg konstruierte das Joanneum Research in Graz einen Stirlingmotor, der seit 2003 im Biomasse-Fernheizwerk in Hartberg funktionstüchtig die Anlage unterstützt. Die Maschine hat 30 kW Motorleistung und einen Wirkungsgrad von 26 %.

Weiters entwickelte das Joanneum Research Institut für Energieforschung ein Stirling-Kleinkraftwerk, welches mit Holz betrieben wird. Dieses Stirling-Kleinkraftwerk soll der Strom- und Wärmeerzeugung im Leistungsbereich unter 300 kW dienen. Die Kolbenmaschine dieses Stirlingmotors wird relativ unkompliziert durch die heißen Abgase einer Holzfeuerung betrieben.

Der bereits fertig gestellte Prototyp dieses Stirling-Kleinkraftwerks bringt eine elektrische Leistung von bis zu 3 kW, was einem Strombedarf eines größeren Einfamilienhauses entspricht.

Anlehnend an dieses Modell wird in diesem Jahr in Deutschlandsberg eine Stirlingmaschine mit einer elektrischen Leistung von circa 30 kW errichtet. Mit diesem Projekt soll der Energiebedarf der Fernheizanlage Deutschlandsberg gedeckt werden.

In einem zukünftigen Projektschritt des Grazer Forschungsinstituts soll versucht werden, die elektrische Leistung des Stirlingmotors auf mehr als 100 kW zu erhöhen.<sup>96</sup>

## 12.2. Funktion des Stirlingmotors

Grundsätzlich handelt es sich bei einem Stirlingmotor um einen Heißluft-, beziehungsweise Heißgaskolbenmotor, der als periodisch arbeitende Wärmekraftmaschine von außen zugefügte Wärmeenergie in mechanische Energie transformiert.

Eine Besonderheit der Stirlingmaschine ist die Vielfalt der einsetzbaren Brennstoffe beziehungsweise die für die äußere Erhitzung unterschiedlichen einsetzbaren Technologien. Dazu können neben Biomasse als Brennstoff zum Beispiel auch Hochvakuum-Solarkollektoren eingesetzt werden. Daher ist der Stirlingmotor auch speziell für den stationären Einsatz geeignet. Weitere Vorteile dieses Motors sind seine extrem hohe Laufruhe und seine gute Teillastungswirkungsgrade.<sup>97</sup>

---

<sup>96</sup> Dr. Erich Podesser: [www.joanneum.ac.at/de/umwelt\\_energie/schwerpunkte\\_liste.php?p\\_iid=IEF](http://www.joanneum.ac.at/de/umwelt_energie/schwerpunkte_liste.php?p_iid=IEF), 5.11.2005

<sup>97</sup> Dr. Erich Podesser: [www.joanneum.ac.at/de/umwelt\\_energie/schwerpunkte\\_liste.php?p\\_iid=IEF](http://www.joanneum.ac.at/de/umwelt_energie/schwerpunkte_liste.php?p_iid=IEF), 5.11.2005

Im Stirlingmotor bewegen sich zwei, an einem Schwungrad um 90 Grad versetzte Zylinder, ein Kompressionszylinder und ein Arbeitszylinder, hin und her. Dabei verrichtet der Arbeitskolben mechanische Arbeit, die dementsprechend umgewandelt beziehungsweise genutzt werden kann. Der Kompressionszylinder hingegen dient nur dazu, das Gasmedium zu verschieben.

Grundsätzlich kann der Arbeitsablauf des Stirlingmotors in vier Takten eines Kreisprozess erklärt werden. Folgend werden diese vier wesentlichen Arbeitsschritte erklärt.<sup>98</sup>

### Isotherme Expansionsphase 1-2

Zuerst wird das Antriebsgas im Inneren des Motors über den Erhitzer von Außen derart erhitzt, dass es beginnt, sich auszudehnen. Der dadurch entstehende Druck drückt nun den Antriebszylinder nach unten. Der Kompressionszylinder befindet sich in dieser Phase an seinem oberen Totpunkt, beginnt sich aber, über das Schwungrad mit dem Arbeitszylinder verkoppelt, etwas zeitversetzt ebenfalls nach unten zu bewegen. In diesem ersten Schritt verrichtet der Antriebskolben Arbeit und bewegt damit das Schwungrad.

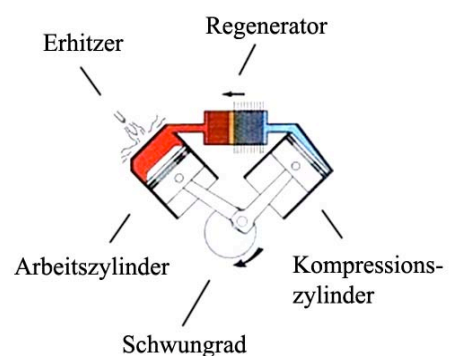


Abb. 22: Isotherme Expansion

### Isochore Kühlphase 2-3

Nach Erreichen seines unteren Totpunktes beginnt sich der Arbeitskolben wieder nach oben zu bewegen. Dadurch drückt er das Arbeitsmedium durch den Regenerator, wo er isochor, also ohne Volumensänderung, Wärme abgibt, zurück in den gekühlten Kompressionszylinder, der sich langsam nach unten bewegt. Dabei kühlt das Antriebsmedium ab, und der Druck im Motor fällt.

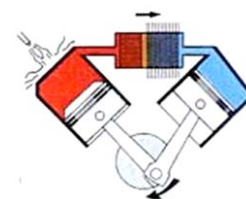


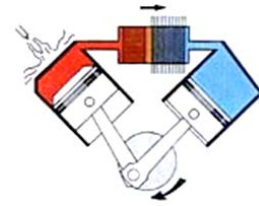
Abb. 23: Isochore Kühlphase

<sup>98</sup> Archiv: Peter Kindermann, Die vier Arbeitsschritte des Stirlingmotors



### **Isotherme Kompressionsphase 3-4**

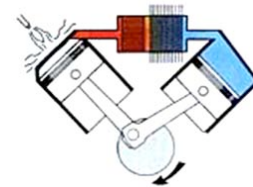
Aufgrund des Druckabfalls wird durch den Luftdruck solange Arbeit verrichtet, bis der Druck im Arbeitsraum wieder Atmosphärenniveau erreicht hat. Der Antriebskolben bewegt sich weiter nach oben, wobei die Luft komprimiert wird. Dafür benötigt der Antriebskolben zusätzliche Energie, die durch die Bewegung des Schwungrades aufgebracht wird. Die Position des Kompressionszylinders verändert sich bei diesem Prozess kaum.



*Abb. 24: Isotherme Kompression*

### **Isochore Heizphase 4-1**

In diesem letzten Schritt des Stirlingprozess dreht sich das Schwungrad so weiter, dass der Kompressionszylinder sich schließlich wieder nach oben bewegt. Durch diese Kolbenbewegung wird das Gasmedium vom kühlen in den heißen Bereich verschoben. Dabei gibt der Regenerator die im zweiten Takt generierte Wärme an das Medium ab und sorgt so, neben der Erwärmung von Außen, für eine zusätzliche Wärmequelle.



*Abb. 25: Isochore Heizphase*

Nun beginnt der Stirlingprozess wieder von vorne.

### **Isotherme und Isochrone Abläufe im Stirlingprozess**

Der erste sowie der dritte Prozess des Stirlingprozess sind isotherm, der zweite und der vierte Prozess isochor.

Isotherm bedeutet, dass die Temperatur des Arbeitmediums konstant bleibt.

Beim ersten Schritt kommt es zu einer isothermen Expansion und beim Dritten zu einer isothermen Kompression.

Bei isochoren Prozessen bleibt das Volumen des Gasmediums konstant.

Bei Schritt zwei handelt es sich um eine isochore Wärmeabfuhr und bei Schritt vier um eine isochore Wärmezufuhr.<sup>99</sup>

Wesentlich an der Funktion von Stirlingmaschinen ist, dass sie durch ihren ausgeklügelten Mediumskreislauf theoretisch den Carnot-Wirkungsgrad und somit einen höheren Wirkungsgrad als Dampfmaschinen oder Verbrennungsmotoren erreichen.

Bei einem idealtypischen Kreisprozess, dem schon genannten Carnot-Prozess, erreicht das Gasmedium einer Wärmekraftmaschine nach Vollzug des Prozesses denselben energetischen Zustand wie vor Beginn des Prozesses. Der Prozess wäre demnach auch umkehrbar. Bei einem solchen Prozess würde man einen Wirkungsgrad von mindestens 100% erreichen, den man nach dem Französischen Ingenieur auch als „Carnot-Wirkungsgrad“ bezeichnet. In der Praxis ist dies, laut Sadi Carnot, auch bei Stirlingmaschinen auf Grund von Reibungsverlusten nicht möglich.

Trotzdem gibt es Konstruktionen von so genannten Niedrigtemperatur-Stirlingmaschinen, die nur sehr geringe Temperaturdifferenzen für den Antrieb benötigen. Das wären zum Beispiel kleine Stirlingmaschinen, die mit Hilfe einer Kerzenflamme oder sogar nur durch die Wärme der Handfläche angetrieben werden können.

### **12.3. Weitere Anwendungsbereiche von Stirlingmaschinen**

Neben den schon erwähnten Einsatzbereichen von Stirlingmotoren, wie zum Beispiel bei Blockheizkraftwerken, gäbe es eine Vielzahl von Möglichkeiten, die den Stirlingmotor in naher Zukunft wieder mehr aufleben lassen könnte.

Folgend sind einige davon erwähnt ohne dabei näher darauf einzugehen.

So ist es beispielsweise denkbar, die Stirlingtechnologie für kältemittelfreie Kühlprozesse einzusetzen.

Als Antriebsmedium für Autos eher ungeeignet, wäre es allerdings denkbar, den Stirlingmotor als Antriebsmaschine für Boote und Schiffe einzusetzen.

Der Vorteil der möglichen extremen Miniaturisierung öffnen dem Stirlingmotor die Schranken für die Satelliten- und Raumfahrttechnologie.

---

<sup>99</sup>Klaus Wetzstein, 2000: [www.k-wz.de/vmotor/stirling.html](http://www.k-wz.de/vmotor/stirling.html), 2.11.2005

Sogar in der Medizintechnik denkt man an den Einsatz von Stirlingmaschinen. Dabei soll ein Stirlingmotor als Pumpe für eine Hydraulikflüssigkeit arbeiten, die wiederum eine Blutpumpe für ein Herzunterstützungssystem antreibt. Erste Testläufe sind bereits im Gange.

Aufgrund der autarken Einsatzmöglichkeit eignet er sich außerdem hervorragend für den Gebrauch in Dritte Welt Ländern. Dabei bedient man sich der unerschöpflichen Kraft der Sonne als Wärmequelle. Ein wesentlicher Vorteil gegenüber Verbrennungsmaschinen in solchen Regionen ist, neben der starken Sonneneinstrahlung, der geringe Wartungs- beziehungsweise Instandhaltungsaufwand dieser Wärmemaschinen.

Dabei eignet sich der Stirlingmotor als Wasserpumpe genauso gut, wie als direktes Stromerzeugungsaggregat, so auch DI Dr. Erich Podesser vom Joanneum Research Graz.<sup>100</sup>

An dieser Stelle nun zurück zur Entwicklung des Nürnberger Physikers Weber.

---

<sup>100</sup>Dr. Erich Podesser: [www.joanneum.ac.at/de/umwelt\\_energie/schwerpunkte](http://www.joanneum.ac.at/de/umwelt_energie/schwerpunkte), 5.11.2005

## 13. Die Sunmaschine

Schon vor mehr als 20 Jahren hatte der deutsche Entwicklungsingenieur Eckard Weber aus Nürnberg die Vision, direkt Strom aus der Sonne durch die Kombination von Parabolspiegel und Stirlingmodulen zu erzeugen. Seitdem gilt Weber als einer der Pioniere in der Stirlingmotorenentwicklung. Bereits 1986 installierte Weber seine hauseigene solare Wasserpumpe, die mit einer Freikolben-Stirlingmaschine angetrieben wird. Die Antriebsenergie bezieht die Pumpe dabei aus einem integrierten Solarkollektor, und die Kühlung erfolgt über das selbst geförderte Grundwasser. Schon damals wusste Weber, dass sich sein System auf Grund der einfachen Konstruktion auch für Dritte-Welt-Länder bestens eignen würde.

In weiterer Zukunft könnte dieses System aber nicht nur für Dritte-Welt-Länder interessant sein, sondern ebenso für unsere westliche Kultur, da jetzt schon davor gewarnt wird, dass das Wasser einmal die umkämpfteste Ressource der Erde sein wird. Ergänzend sei dazu erwähnt, dass zum jetzigen Zeitpunkt etwa ein Drittel der Weltbevölkerung unter einer unzureichenden Trinkwasserversorgung leidet. Bei anhaltendem Trend würde sich diese Situation bis zum Jahr 2025 auf zwei Drittel der Weltbevölkerung ausdehnen, so der „Club of Budapest“, eine Fortsetzung des berühmten „Club of Rome“ aus den 70er Jahren.<sup>101</sup>

Mittlerweile hat der Nürnberger Konstrukteur auch schon einige Lizenznehmer für diese, in weiterer Zukunft vielleicht sehr wichtige Erfindung gefunden.

Doch dies ist bei Weitem nicht das einzige Projekt, welches Weber motiviert, seine Forschungsarbeiten voranzutreiben.

### 13.1. Sunmaschine Technologie

Nach einer Entwicklungszeit von etwas mehr als drei Jahren und einem beträchtlichen Kostenaufwand von mehreren Millionen Euro gelang es Eckard Weber und seinem Team, unter dem Chefkonstrukteur Stefan Viebach schließlich einen Motor zu entwickeln, der nur von „Licht und Luft“ leben und daraus Strom und Wärme erzeugen kann.

Dabei handelt es sich um die so genannte „Sunmaschine“, die sowohl mit gasförmigen Brennstoffen als auch mit Sonnenlicht betrieben werden kann. Dieser revolutionäre

---

<sup>101</sup> Ervin Laszlo: Das dritte Jahrtausend, suhrkamp Taschenbuch, Frankfurt am Main 1998, S.24

Sunmachinestirling wurde von Ingenieur Viebach so konzipiert, dass er problemlos als stromerzeugende Hausheizung eingesetzt werden kann. Weitere Prototypen der Sunmaschine, die mit flüssigen Brennstoffen oder mit Holzpellets betrieben werden können, sind in Arbeit. Luft ist für die Sunmaschine deshalb ein wichtiger Bestandteil, weil ein integrierter Stirlingmotor den Generator antreibt.

Theoretisch könnte der Stirling mit reiner Luft als Medium angetrieben werden. Um eine optimale Lebensdauer zu erreichen, und um die Maschine nicht durch Korrosion zu gefährden, entschied sich Viebach für den Einsatz von Stickstoff. Mit einem aus der Industrie kopierten, bereits seit Jahren bewährten Verfahren wird Stickstoff mit Hilfe von Hohlfaserbündel-Molekularsieben von der Luft abgeschieden. Das ständig zur Verfügung stehende Arbeitsmedium Stickstoff wird mittels Kompressor in den Motorraum befördert.

Wie bereits erwähnt, ist ein Stirlingmotor eine Zweikolbenmaschine. Bei Webers Sunmaschine sind der Kompressions- und der Expansionszylinder in einem Winkel von 90° zueinander montiert. Die beiden Zylinder, die über Pleuel, Kurbelwelle und Schwungrad bewegt werden, treiben die Achse eines Generators an, der dadurch wiederum Strom erzeugt.

Die vom Stirlingmotor erzeugte Abwärme wird von Kühlkanälen, die den Motor umgeben und vom Heizungswasser durchströmt werden, genutzt.

Über dem Expansionskolben befindet sich ein Wärmetauscher, der auf Grund der niedrigen Leistungsdichte des Stirlings, sprich 750 U/min bei maximalem Arbeitsgasdruck von 30 bar, mit großen Wärmeaufnahme Flächen ausgestattet ist. Die hierzu notwendige Wärme kann von Verbrennungsmedien genauso gut wie von der Sonne bereitgestellt werden.

Neu an diesem Stirling ist auch, dass er aus trocken laufenden Werkstoffen gefertigt wird und somit ganz ohne Schmieröl auskommen kann.<sup>102</sup>

## **13.2. Funktion der Sunmaschine**

Die Hauptbestandteile der Sunmaschine sind schnell erklärt. Die wichtigsten Komponenten sind zweifellos der Solarspiegel, der je nach Leistungsgröße zwischen 2,5 und 4m Durchmesser dimensioniert ist und der Stirlingmotor, in dessen Brennpunkt bis zu 3.000°C erreicht werden.

Die, durch die Kombination von Solarspiegel und Stirlingmotor, gebündelte Sonnenenergie bringt je nach Spiegeldurchmesser eine Gesamtsystemleistung von 1 bis 4 kW Strom sowie

---

<sup>102</sup> Sunmaschine GmbH, 18.10.2005: [www.sunmaschine.de](http://www.sunmaschine.de), 12.11.05

2,5 bis 20 kW Wärme beziehungsweise einen Heißwasservorlauf von 90°C für den Haushalt. Im Gegensatz zu einer herkömmlichen Wärmepumpe oder zu anderen Haustechnologien kann mit der revolutionären Sunmaschine ein herkömmliches Einfamilienhaus mit Wärme, Brauch-, sprich Warmwasser und sogar Strom problemlos versorgt werden. Und dies für etwa 80.000 Stunden völlig wartungsfrei und ohne zusätzliche Betriebs- oder Energiekosten.<sup>103</sup>

Bei Bedarf in der Nacht oder bei zu schwacher Sonneneinstrahlung schaltet sich bei der Sunmaschine ein eingebauter Gasbrenner automatisch zu, der dafür sorgt, dass der Solarstirling eine gleichmäßige Produktion von Wärme, Warmwasser und Strom gewährleisten kann.

Falls in den Sommermonaten keine Hauswärme benötigt wird, kann die Anlage auch als Klimaanlage betrieben werden.

Der Parabolspiegel der Sunmaschine ist nach der so genannten Blütenkelchtechnologie aus 8 Segmenten aus eisenfreiem und hochtransparentem Solarglas angefertigt. Zusätzlich sind die Spiegelsegmente der Sunmaschine zweidimensional gebogen, dauerhaft mit Silber verspiegelt und wetterfest versiegelt. Die extrem kratzfeste Oberfläche des Spiegels ist gegen Hagelschlag resistent und kann es auch mit Wüstenstürmen bis zu einer Windstärke 12 aufnehmen.<sup>104</sup>

In den bekannten Sonnenspiegelkraftwerken von Kalifornien werden bereits seit mehr als 15 Jahren ähnliche Spiegel wirtschaftlich rentabel und ohne technische Probleme eingesetzt.<sup>105</sup>

Eine weitere Besonderheit dieses Energiesystems besteht darin, dass der Parabolspiegel durch die Elektronik der Sunmaschine vollautomatisch dem Sonnenstand nachgeführt wird. Das bedeutet nicht nur, dass die Sunmaschine äußerst effizient und einfach arbeitet, sondern auch, dass sie sogar dann produktiv ist, wenn der Besitzer auf Urlaub ist. In dieser Zeit wird die produzierte Überschussenergie gegen Rückvergütung ins Netz gespeist und so das Energiekonto für den Winter aufgefüllt.

Durch die Sunmaschine können laut Weber ein Brennwärtekessel mit 6 Solarkollektoren und eine gute Photovoltaikanlage problemlos ersetzt werden. Hinzu kommt, dass die Sunmaschine weniger kostet und eine längere Lebensdauer hat.<sup>106</sup>

---

<sup>103</sup> Sunmaschine GmbH, 18.10.2005: [www.sunmaschine.de](http://www.sunmaschine.de), 12.11.05

<sup>104</sup> Sunmaschine GmbH, 18.10.2005: [www.sunmaschine.de](http://www.sunmaschine.de), 12.11.05

<sup>105</sup> energieportal24: [www.energieportal24.de/solarenergie\\_solarspiegel.php](http://www.energieportal24.de/solarenergie_solarspiegel.php), 11.11.05

<sup>106</sup> ENERGIE & MANAGEMENT vom 1. April 2001, Seite 8 / 12.11.05



Abb. 26: Prototyp der Sunmaschine in freier idyllischer Natur<sup>107</sup>

### ***Hauptkennzeichen der Sunmaschine***

*Stirlingmaschine von Stefan Viebach*

*Brennfokustemperatur: 3.000°C*

*Zylindervolumen: 163 – 650 ccm*

*600 -1.000 U/min*

*Arbeitsmedium: Stickstoff*

*Gasdruck: 35 bar*

*Gesamtwärmeleistung: 10 – 20 kW*

*Heißwasservorlauf: 90°C*

*Elektrische Leistung: 1 – 4 kW*

*Solarspiegel: 2,5 – 4m Durchmesser*

*Automatische Sonnennachführung*

*80.000 h wartungsfrei*

### **13.3. Die Sunmaschine im Vergleich mit anderen Energiesystemen**

Zukünftiges Ziel ist es, Modelle mit unterschiedlichen Leistungen auf den Markt zu bringen. Die unterschiedlichen Energiestationen werden vorerst eine elektrische Leistung von 1, 2 und 4 kW mit einer entsprechenden Wärmeleistung aufbringen. Dabei können alle drei Anlagen mit einer Nennleistung von 20% im Teillastbetrieb gefahren werden.

Außerdem eignet sich die Sunmaschine mit einem elektrischen Wirkungsgrad bis zu 35% und einem Brennwertgesamtwirkungsgrad bis zu 105% mittels Kraft-Wärme-Kopplung bestens als autarke Energiestation.

Nachfolgend wird die Sunmaschine mit anderen Energiesystemen verglichen. Zum Einen mit Blockheizkraftwerken, die durch Kraft-Wärme-Kopplung betrieben werden. Zum Anderen mit Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerken und mit Brennstoffzellen-Heizgeräten, die sich noch im Entwicklungsstadium befinden. Weiters noch ein Vergleich mit der konventionellen Strom- und Wärmeerzeugung im Kraftwerk beziehungsweise im Hausheizkessel.<sup>108</sup>

---

<sup>107</sup> Wolfgang Wiedergut, Prototyp der Sunmaschine

<sup>108</sup> Sunmaschine GmbH, 18.10.2005: [www.sunmaschine.de](http://www.sunmaschine.de), 17.11.05

## 1. Gesamtwirkungsgrad

Sunmaschine: 105 %<sup>a</sup>

Blockheizkraftwerk: 87 %<sup>b</sup>

Brennstoffzelle: 80 %<sup>c</sup>

Kraftwerk und Heizkessel: 55 %<sup>b</sup>

*a.) Die Sunmaschine Technologie ist eine Brennwerttechnik mit Stromerzeugung. Der Wirkungsgrad wird größer als 100% durch Kondensation des Wasserdampfs im Abgas.*

*b.) ASUE Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. Kaiserslautern: Heizsysteme im Vergleich, Kraft Wärmekopplung mit Erdgas, Haustechnik 2000*

*c.) HGC - Hamburg Gas Consult: Die Polymer Elektrolyt Membran Brennstoffzelle PEFC in der Hausenergieversorgung.*

## 2. Kohlendioxidemissionen<sup>a</sup>

Sunmaschine: 38 %

Blockheizkraftwerk: 42 %

Brennstoffzelle: 45 %

Kraftwerk und Heizkessel: 100 %

*a.) Bei Betrieb mit Erdgas im Vergleich zu dem heute üblichen Brennstoffmix der Kraftwerke und Heizkessel (=100%).*

## 3. Möglichkeit der Nutzung unterschiedlicher Brennstoffmedien

Sunmaschine:

Grundsätzlich alle Brennstoffe möglich, sowie direkte Sonneneinstrahlung.

Blockheizkraftwerk:

Nur einige gasförmige und flüssige Brennstoffe möglich.

Brennstoffzelle:

Nur Wasserstoff möglich, der erst durch Dampfreformierung mittels Erdgas oder durch Wasserstoffelektrolyse hergestellt werden muss.

Kraftwerk und Heizkessel:

Alle Brennstoffe möglich.



#### **4. Wartungsaufwand**

Sunmaschine:

niedrig, bis 80.000 Betriebsstunden wartungsfrei.

Blockheizkraftwerk:

hoch, Öl-, Zündkerzenwechsel, etc., alle 3-5tausend Stunden.

Brennstoffzelle:

hoch, viele sicherheitsrelevante Teile.

Kraftwerk und Heizkessel:

hoher Kontroll- und Wartungsaufwand im Kraftwerk.

#### **5. Gesamtkosten für Strom und Wärme pro Jahr**

Sunmaschine: <sup>a</sup>

1.000 € pro Jahr.

Blockheizkraftwerk:

Sind nicht für Haushalte am Markt.

Brennstoffzelle: <sup>b</sup>

Nicht wirtschaftlich, da Strom und Wärme doppelt so teuer als wenn konventionell erzeugt.

Kraftwerk und Heizkessel: <sup>a</sup>

1.500 € pro Jahr, wenn Heizkessel für Haushalt.

*a.) Brennstoffkosten: Strom: 2,25 Cent/kWh, Stromerzeugung: 12,5 Cent/kWh, Stromexport: 5 Cent/kWh. Berücksicht man Fördermittel und mögliche Steuerersparnis, so liegen die Kosten noch niedriger. Es ist sogar denkbar durch Stromrückspeisung ins Netz Gewinne zu erzielen.*

*b.) ONSI PC 25C, Bericht der ASUE über den Preis der deutschen Gaswirtschaft 1998, Brennstoffzellen-Heizkraftwerk in Saarbrücken-Nachtweide.*

## 13.4. Prototypen der Sunmaschine

Aufgrund der innen abgeschlossenen Funktionsweise des Stirlingmotors erlaubt er verschiedene Methoden äußerer Wärmezufuhr, sei es über Verbrennungsmedien, Wärmeflächen oder über die Sonne.

So hat Weber einen Prototyp entworfen, der auch mit Erd-, Bio- oder Flüssiggas betrieben werden kann. Weiters ist ein Solarstirlingmodul in Kombination mit einem emissionsarmen, CO<sub>2</sub>-neutralem Holzpelletsbrenner in Planung.

Der Sunmaschine-Prototyp hat eine thermische Leistung von 6 kW, wobei der integrierte Brenner künftig bis 20 kW Wärmeleistung zur Verfügung stellen kann. Somit ist ein zusätzlicher Spitzenlastkessel nicht notwendig.

## 13.5. Andere Projekte der Sunmaschine GmbH

### 13.5.1. *Der Sunwell*

Neben der Sunmaschine, einer Energiemaschine, die neben Wärme und Warmwasser auch noch Strom für einen Haushalt zur Verfügung stellen kann, arbeitet das Team der Sunmaschine GmbH, allen voran Eckard Weber, auch noch an anderen viel versprechenden Projekten basierend auf der Sunmaschine Technologie.

Wie bereits im Punkt „Weitere Anwendungsbereiche von Stirlingmaschinen“ erwähnt, eignen sich Stirlingmaschinen auf Grund des geringen Wartungsbedarfs und der Sonneneinstrahlung als Energiequelle bestens für den Einsatz in Dritte Welt Ländern oder Wüstenstaaten. In solchen Regionen könnte der Stirling als Wasserpumpe oder als direktes Stromerzeugungsaggregat verwendet werden.

Für diese Zwecke entwickelte Ingenieur Weber den Sunwell, eine auf den Solarstirling basierende Wasserpumpe. Alles was der Sunwell benötigt ist Sonne und Grundwasser und ist demnach völlig umweltfreundlich und schadstofffrei. Die Antriebskraft zieht der Sunwell, nach einem ähnlichen Prinzip wie es bereits Evangelista Torricelli oder Otto von Guericke angewandt haben, aus der Temperaturdifferenz zwischen der Sonneneinstrahlung und dem Grundwasser und arbeitet somit nach dem Funktionsprinzip der Stirlingmaschine.

Bereits eine Kollektorfläche von 1m<sup>2</sup> erzeugt einen so großen Temperaturunterschied zwischen dem Grundwasser und der sonnenbestrahlten Kollektorfläche, der ausreicht um 6.000l Wasser aus circa 7m Tiefe pro Tag zu fördern.

Durch seine hohe Betriebssicherheit, seine einfache Bedienung und seinen geringen Wartungsaufwand eignet sich der Sunwell bestens für den Einsatz in Dritte Welt Ländern.

### **Funktion des Sunwell**

Wie schon beim Stirlingmotor bringt auch der Arbeitszylinder des Sunwells unter Ausnutzung von Druck ein Schwungrad beziehungsweise eine Kurbelwelle zum Rotieren. Grundsätzlich können über diese Kurbelwelle verschiedenste Aggregate angetrieben werden.

Das bedeutet, dass der Sunwell nicht zwangsläufig nur als Wasserpumpe eingesetzt werden kann. Weiters kann er zur Trinkwasserbereitstellung, sprich für Meerwasserentsalzung, oder zum Kornmahlen eingesetzt werden. Zudem kann der Sunwell in Reihen geschaltet auch als effizientes Kraftwerk eingesetzt werden.



*Abb. 27: Der Sunwell  
Kollektorfläche: 1 m<sup>2</sup>  
Mechanische Leistung:  
50 Watt  
Pumpleistung:  
1.000 l/h<sup>109</sup>*

### **13.5.2. Akustischer Stirlingmotor**

Ein weiteres Projekt von Eckard Weber ist der akustische Stirlingmotor. In diesem Projekt experimentiert das Team rund um Weber mit nichtkinematischen Stirlingmodulen. Ziel dabei ist, dass die Kolben der Stirlingmaschine nur durch elektromagnetische Kräfte in Bewegung versetzt werden. Im akustischen Stirlingmotor soll dies durch die Kompression und Expansion einer Schallwelle bewerkstelligt werden. Der Schallwelle wird dabei nur durch Temperaturdifferenzen Energie bereitgestellt oder entzogen. Erste Erfolge konnten bereits verbucht werden.<sup>110</sup>

---

<sup>109</sup> Sunmachine GmbH, 18.10.2005: Der Sunwell, [www.sunmachine.de](http://www.sunmachine.de), 17.11.05

<sup>110</sup> ENERGIE & MANAGEMENT vom 1. April 2001, Seite 8 / 12.11.05

### 13.6. Wirtschaftlichkeit der Sunmaschine

Eckard Weber rechnet damit, dass für eine kleine Serienproduktion ab 500 Stück pro Jahr ein ökonomisch akzeptabler Preis erzielbar ist. Seiner optimistischen Einschätzung nach wird die Nachfrage nach seiner umweltfreundlichen Erfindung eine Massenproduktion von mehr als 100.000 Modulen pro Jahr in nächster Zukunft ermöglichen.

Bevor Weber mit seiner angestrebten Kleinserienfertigung beginnen kann, muss die Sunmaschine noch den einen oder anderen Feldtest in Bezug auf Funktionstüchtigkeit und Langlebigkeit bestehen. Dazu folgt der Deutsche einem, bis Ende 2006 detaillierten Entwicklungsplan, mit dessen Hilfe er mit einem Investitionsvolumen von 6 Millionen Euro die Sunmaschine mit Leistungsgrößen zwischen 1 bis 4 kW zur Serienreife führen will.<sup>111</sup>

Für die tatsächliche Umsetzung seines Projektes benötigt der Nürnberger Physiker noch weitere strategische Partner und Anleger, die sich am Markt der dezentralen Energieversorgung einbringen beziehungsweise beteiligen wollen. Aus diesen Gründen hat Eckard Weber die Sunmaschine GmbH in Form einer Beteiligungsgesellschaft ins Leben gerufen.

Tatsache ist, dass aus Gründen der steigenden Bevölkerungszahl oder des Gleichziehens von östlichen Staaten, wie etwa China oder Indien, mit den Westlichen, der Energiebedarf in nächster Zukunft drastisch ansteigen wird. Wegen der drohenden Ölkrise ist es absehbar, dass nicht nur der Energiebedarf, sondern auch die Energiekosten ansteigen werden. So wird mittlerweile Energie als das „Gold des 21. Jahrhunderts“ bezeichnet und jemand, der die Möglichkeit hat, unabhängig Energie zu erzeugen, besitzt eine Goldgrube, so Weber.<sup>112</sup>



Abb. 28: Die Sunmaschine als Goldgrube des 21. Jahrhunderts<sup>113</sup>

<sup>111</sup> ENERGIE & MANAGEMENT vom 1. April 2001, Seite 8, 12.11.05

<sup>112</sup> Sunmaschine GmbH, 18.10.2005: [www.sunmaschine.de](http://www.sunmaschine.de), 15.11.05

<sup>110</sup> Sunmaschine GmbH, 18.10.2005: Goldgrube des 21. Jahrhunderts, [www.sunmaschine.de](http://www.sunmaschine.de), 17.11.05

## 14. Energiekraftwerke in Wüstenstaaten

Nachfolgend werden einige Möglichkeiten in Betracht gezogen, das Potential unserer Wüsten für die Energieproduktion zu nutzen.

Zurzeit wird insgesamt etwa ein Siebtel der gesamten Erdoberfläche von Wüstenzonen bedeckt. Die zehn größten Wüsten bilden davon eine Fläche von fast 15 Millionen Quadratkilometer. Die größte aller Wüsten ist die Sahara in Afrika mit einer Gesamtfläche von 8.700.000 Quadratkilometern.

Dort erbringt die Sonne jährlich eine Leistung von 2.800 kW Energie pro Quadratmeter.

Marktanalysen der Energieberatung Bölkow Systemtechnik zufolge, reichen bereits weniger als 13.000 Quadratmetern der Sahara aus, um ganz Europa mit Energie zu versorgen.

Somit würde allein die Fläche der Sahara ausreichen, um den gesamten Weltenergiebedarf der Menschheit decken zu können.<sup>114</sup>

Interessant an den folgenden Beispielen ist, dass nicht nur in Afrika, sondern auf fast allen Kontinenten Wüstenflächen für die Energieproduktion nutzbar gemacht werden könnten.

### 14.1. Die Sunmaschine als Energiekraftwerk

Das folgende Szenario des Experten für alternative Energielösungen, Wolfgang Wiedergut, verdeutlicht das Potential der Sunmachinetechnologie.

Es scheint vor allem sinnvoll, Sunmaschinen dort aufzustellen, wo viel Sonne scheint und genügend Platz vorhanden ist. Kein Ort würde sich daher dafür besser eignen, als die nicht genutzten Wüstenflächen, wie zum Beispiel die Sahara.

Die Sunmaschine erbringt pro Quadratmeter Spiegelfläche eine Kilowattstunde elektrische Leistung. Bei einem Spiegeldurchmesser zwischen 3 und 4 m mit einer Fläche von circa 10 m<sup>2</sup> sind das 10 kW/h, bei 1.000 m<sup>2</sup> Fläche 1.000 MW, und so weiter.

Spiegelfläche	Leistung
1 m <sup>2</sup>	1 kW
10 m <sup>2</sup>	10 kW
1.000.000 m <sup>2</sup>	1.000 MW

*Abb. 29: Energiekraftwerkszenario für die Sunmaschine<sup>115</sup>*

---

<sup>114</sup> Wochenzeitung: Die Zeit, 28.4.2005, Nr. 18, S.35

Demnach erbringt eine Gesamtspiegelfläche von 1.000.000 m<sup>2</sup> Fläche eine elektrische Leistung von 1.000 MW, die Leistung eines mittleren Kernkraftwerks.

Für eine Spiegelfläche von 1.000.000 m<sup>2</sup> sind umgerechnet 10.000 Module à 10 m<sup>2</sup> Spiegelfläche von Nöten. Insgesamt würde das Sunmachine – Energiekraftwerk an die 2.000 - 2.500 km<sup>2</sup> Wüstenfläche von 8.700.000 km<sup>2</sup> der Sahara benötigen.

Ein Sunmachinemodul kostet in etwa 10.000 €. Somit ergeben sich Gesamtkosten von 100 Millionen Euro für ein 1.000 MW Sunmachine – Energiekraftwerk.

Verdoppelt man diesen Preis, können auch Transport-, Montage- und sonstige anfallende Kosten gedeckt werden.

Würde man Spiegel mit einer Spiegelfläche von 20 m<sup>2</sup> oder mehr anstatt von 10 m<sup>2</sup> installieren, könnten die Stückzahlen und somit auch die Produktionskosten gesenkt werden.

Als Stromspeicher schlägt Herr Wiedergut Wasserstoff vor, der über den Schiffsweg bei schon bestehender Infrastruktur, völlig sicher transportiert werden kann.

Im Vergleich zu diesem Szenario kostet das, sich gerade im Bau befindliche 1.500 MW Kernkraftwerk im westfinnischen Olkiluoto 3 Milliarden Euro. Die anfallenden Kosten von Urangewinnung, -aufbereitung und Lagerung der radioaktiven Abfälle sind hierbei noch nicht inbegriffen.<sup>116</sup>

Dazu sei noch zu berücksichtigen, dass die Forschungsgelder für die Kerntechnologie dabei nicht einberechnet sind.

Würde man nun für die Summe von 3 Milliarden Euro Sunmaschinenmodule in der Wüste aufstellen, käme man nach obigem Szenario auf eine elektrische Leistung von etwa 30.000 MW, beziehungsweise 30 GW, einem Vielfachen von dem, was das finnische Kernkraftwerk produzieren wird können.

Für ein Sunmachine – Energiekraftwerk mit einer Leistung von 30 GW würde man schließlich an die 70.000 km<sup>2</sup> Wüstenfläche benötigen. Weitere 8.000.000 km<sup>2</sup> Wüstenfläche der Sahara stünden dann noch immer zur Verfügung.

Das Szenario zeigt, dass es durchaus möglich wäre, aus der Sahara ein riesiges Energiekraftwerk zu machen, welches die ganze Welt mit sauberer Energie versorgen könnte.

---

<sup>115</sup> Lothar Hofer, Energiekraftwerkszenario für die Sunmachine

<sup>116</sup> Zeitschrift: profil, 16.1.2006, Nr. 3, S.84

## 14.2. Bereits bestehende Energiekraftwerke ähnlicher Art

Ähnliche kommerzielle, bereits bestehende Solarenergiegroßkraftwerke sind das 25 kW Solarsystem der Firma Amonix in Phoenix USA, das ebenfalls mit verspiegelten Schüsseln arbeitende Solarkraftwerk der australischen Firma Solar Systems oder die Turmsolarkraftwerke in den französischen Pyrenäen.

Im Gegensatz zur Sunmaschine arbeiten diese Systeme ohne Kombination mit der Stirlingtechnologie und können deshalb auch keinen ähnlich hohen Wirkungsgrad erreichen.

Trotzdem veranschaulichen diese Anlagen die Machbarkeit einer ökonomisch und ökologisch sinnvollen Durchführung solarer Großprojekte.

### 14.2.1. *Amonix*

Mit einem Zellwirkungsgrad von 26% und einem Systemwirkungsgrad von gut 18% pro Modul errichtete Amonix im Jahr 2001 einen 300 kW Photovoltaikpark mit 12 Einzelmodulen für das Arizona Public Service, dem größten Energieanbieter Arizonas.<sup>117</sup>

### 14.2.2. *Solar Systems*

Ein anderes, ebenfalls bereits erfolgreiches solares Kraftwerkssystem ist jenes der australischen Firma Solar Systems. Ähnlich wie die Sunmaschine arbeitet dieses Kraftwerk mit automatisch der Sonne nachgeführten Solarspiegel, die jeweils ein zentral befindliches Solarzellenfeld integriert haben.

Der Solarspiegel reflektiert die Sonnenstrahlen auf das Solarzellenfeld, welches die Energie des Sonnenlichtes, im Gegensatz zu Eckard Webers Stirlingmotor, über einen Wärmetauscher zur Stromerzeugung an einen Generator weiterleitet.

Der Gesamtsystemwirkungsgrad dieses Solarsystems liegt mit 19% aber deutlich unter dem der Sunmaschine, ähnlich wie jener des Amonix Systems.<sup>118</sup>

---

<sup>117</sup> Ohne Verfasser: [www.amonix.com](http://www.amonix.com), 10.2.2006

<sup>118</sup> Solar Systems & Peripherals, 2006: [www.solarsystems.com.au](http://www.solarsystems.com.au), 10.2.2006

### **14.2.3. Das Turmsolarkraftwerk THEMIS**

Dieses gigantische Solarkraftwerk in den französischen Pyrenäen arbeitet mit 200 Solarspiegeln, die einen in 80 Meter Höhe am Turm installierten Absorber bestrahlen, der wiederum Sonnenlicht in Strom umwandelt. Das Kraftwerk bringt es auf eine elektrische Gesamtleistung von 2,5 MW.<sup>119</sup>

### **14.2.4. Das Aufwindkraftwerk**

Auch Aufwindkraftwerke gehören aufgrund ihrer Funktionsart zu solarthermischen Kraftwerken. Das dahinter steckende Prinzip ist einfach. Warme Luft strömt nach den Gesetzen der Thermik nach oben und treibt im Schornstein befindliche Windräder an, welche über einen Generator Strom erzeugen.

Das bekannteste Aufwindkraftwerk von Manzanares in Spanien produzierte jahrelang Strom, bis ein Orkan den knapp 200 Meter hohen Kamin zum Einsturz brachte. Das Kraftwerk wurde nicht wieder aufgebaut, bewies aber, dass die Technologie einwandfrei funktionierte.

Nun soll im australischen Mildura das erste kommerzielle Aufwindkraftwerk gebaut und mit einem 1.000 Meter hohen Kamin gleichzeitig höchstes Gebäude der Welt werden.

Die Baukosten für das 200 MW Kraftwerk werden mit rund 750 Millionen Euro veranlasst. Die Idee für das Projekt kommt von dem deutschen Bauingenieur Prof. Jörg Schlaich.



*Abb. 30:  
Das Aufwindkraftwerk von  
Manzanares in Spanien mit einer  
Kollektorfläche von 45.000 m<sup>2</sup>  
und einem Kamin von 195 m  
Höhe und 10 m Durchmesser<sup>120</sup>*

Vergleicht man jedoch die Kosten dieses Megaprojektes mit den Kosten, die für einen Sunmachine-Energiepark mit gleicher Leistung anfallen würden, stellt sich die Frage, ob Aufwindkraftwerke die sinnvollste und ökonomischste Umsetzung solarer Energie sind.

---

<sup>119</sup> Université Claude Bernard Lyon1: [www-obs.univ-lyon1.fr](http://www-obs.univ-lyon1.fr), 22.2.2006

<sup>120</sup> Université Claude Bernard Lyon1: Das Aufwindkraftwerk, [www-obs.univ-lyon1.fr](http://www-obs.univ-lyon1.fr), 22.2.2006



## 15. Ökonomische Aspekte alternativer Energieformen

Gegenüber den herkömmlichen Photovoltaikanlagen oder den so genannten Parabolrinnen haben solare Großkraftwerke ein höheres Entwicklungspotential. So konnte zum Beispiel in den USA mit solarthermischen Großanlagen in einem Zeitraum von über 15 Jahren Solarstrom für einen Preis von 0,12 €/kW produziert werden.

Aufgrund nicht allzu hoher Investitions- sowie Entstehungskosten und einem hohen Standardisierungsgrad für solare Großkraftwerke prognostiziert die Internationale Energieagentur IEA eine langfristige Kostenreduktion für solarthermischen Strom auf weniger als 0,035 € pro Kilowattstunde.<sup>121</sup>

Auch bei den anderen erwähnten alternativen Energiesystemen, wie zum Beispiel der Wärmepumpe oder dem Luftauto ist, wenn die Nachfrage steigt, eine Kostenreduktion zu erwarten.

### 15.1. Technologisches Lernen

Der Hauptgrund, weshalb es sich lohnt, neue oder alternative Technologien zu fördern und auch in solche zu investieren, liegt im technologischen Lernen eines jeden Produktes. Wie bei kleineren technologischen Produkten, wie zum Beispiel einem DVD-Player, verhält es sich bei großen Energieanlagen auch nicht anders.

Unter technologischem Lernen versteht man grundsätzlich diejenigen Veränderungen, die ein Produkt in einer gewissen Zeitspanne von der Forschung und Entwicklung bis zum Verkauf auf dem Markt erfährt. Dies bedeutet, dass dabei alle auftretenden Kosten berücksichtigt werden. Dazu gehören zum Beispiel Kosten des Vertriebs oder des Marketings sowie alle anderen Kostenfaktoren wie technischer Fortschritt, Änderung des Rohstoffverbrauches, Rationalisierungen oder Einsparungen durch verbessertes Know-How der Mitarbeiter. Um dieses technologische Lernen darstellen zu können, verwendet man so genannte Lernkurven.

---

<sup>121</sup> energieportal24: [www.energieportal24.de/solarenergie\\_solarspiegel.php](http://www.energieportal24.de/solarenergie_solarspiegel.php), 11.11.05

## 15.2. Lernkurven

Grundsätzlich beschreibt eine Lernkurve, dass die Kosten eines industriell gefertigten Gutes mit einer kumulierten Verdoppelung seiner Produktion um einen gewissen Prozentsatz sinken. Dieser Prozentsatz bildet nun die Lernrate des Produktes und liegt je nach Technologie und Produkt meist zwischen 5 und 30 %. Somit stellen Lernkurven eine Relation zwischen zwei grundsätzlichen Werten eines Produktes her. Nämlich zwischen den Kosten und der Erfahrung, bezogen auf die kumulierte Herstellung dieses Produktes. Mathematisch lässt sich diese Relation folgendermaßen darstellen:

$$C = C_0 \cdot ACC - E$$

Demnach sind C die Kosten zu einem bestimmten Zeitpunkt,  $C_0$  die Kosten einer kumulierten Einheit, ACC die kumulierte Produktion zu diesem Zeitpunkt und E der Lernparameter.

Für die Lernkurve ergibt sich daraus eine Gerade mit der Steigung (- E). Bei Verdoppelung der kumulierten Produktion ergibt sich daraus eine Kostensenkung von  $2 - E$  gegenüber den ursprünglichen Kosten. Diese Kostensenkung ergibt wiederum die so genannte Fortschrittsrate (Progress Ratio, PR), die sich wie folgt berechnen lässt:

$$PR = 2 - E$$

Häufiger als die Fortschrittsrate wird jedoch die schon oben erwähnte Lernrate (LR), welche die Kostenreduktion bei einer Verdoppelung der kumulierten Produktion beschreibt, verwendet. Diese lässt sich mathematisch ebenfalls darstellen:

$$LR = 1 - PR = 1 - 2 - E$$

Erstmals aufmerksam auf technologisches Lernen wurde man bereits im Jahre 1925, als man eine Abnahme der Montagezeit von Flugzeugen bei steigender Produktionszahl feststellen konnte. Aus dieser Beobachtung formulierte Wright 1936 ein Modell, dessen Hauptaussage es war, dass die Flugzeugmontagestunden bei Verdoppelung der kumulierten Produktionsmenge konstant prozentual abnehmen. Dieses Modell bildete damals bereits die Grundlage für das Konzept der Lernkurven.

### 15.3. Lernkurven im Energiesektor

Vor allem im Bereich der Entwicklung unseres Energiesystems spielen Lernkurven eine immer wichtiger werdende Rolle. Um einen Wechsel im Energiesektor von fossilen auf alternative Energieformen vollziehen zu können, geht man von der Annahme aus, dass Alternativenergien in naher Zukunft eine Kostenreduktion erfahren werden, welche schließlich zu einer ernsthaften Konkurrenzfähigkeit mit den herkömmlichen, fossilen Energieträgern führen soll. Dieser Prozess kann mit Hilfe folgender Lernkurve dargestellt werden.

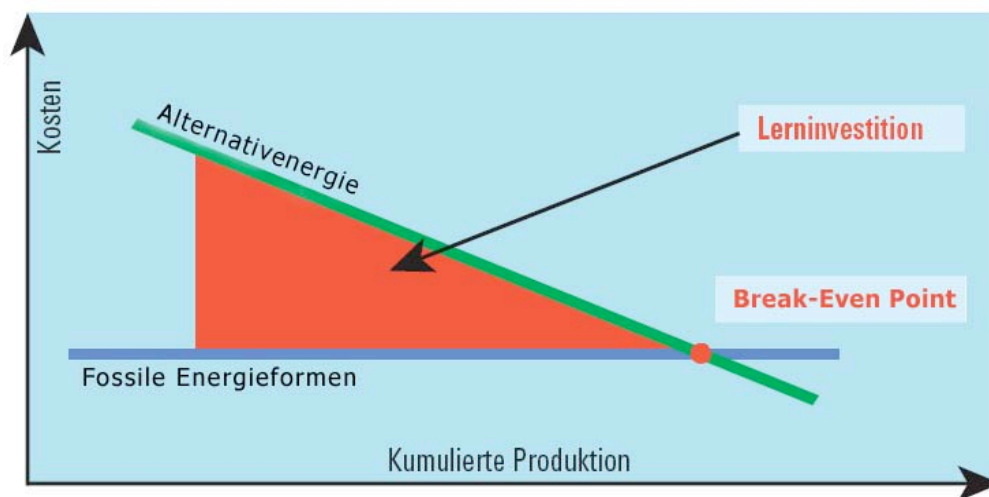


Abb. 31: Lernkurven alternativer und fossiler Energieformen<sup>122</sup>

Die vorangegangene Abbildung zeigt, dass die Kosten für Alternativenergie an ihrem Markteintritt wesentlich höher sind, als jene Kosten, für die bereits bestehenden, fossilen Energieformen mit standardisierter Technologie.

Damit die Alternativenergie mit der fossilen Energie konkurrieren kann, müssen die Kosten auf dasselbe Niveau gesenkt werden.

Aufgrund der in der Lernkurve als Funktion dargestellten und gewonnenen Erfahrung, können die Kosten durch eine ansteigende Produktion oder aber durch andere Lernfaktoren gesenkt werden. Dies geht schließlich soweit, bis der Punkt der Kostengleichheit, der so genannte Break-Even Point erreicht wird. Ab dem Erreichen des Break-Even Points kann das Ziel zunächst als erreicht betrachtet werden.

<sup>122</sup> DI. Martin Sochor/Lothar Hofer: Lernkurven alternativer und fossiler Energieformen

Die Fläche, die in Abbildung 32 zwischen der Alternativenergie und den fossilen Energieformen rot dargestellt ist, bezeichnet jene Kosten, die zusätzlich anfallen würden, würde man die erforderliche Energiemenge gänzlich durch den Einsatz von Alternativenergie bereitstellen. Diese Mehrkosten werden auch als Lerninvestitionen oder Lernkosten definiert. Kommt es tatsächlich einmal soweit, dass die Lernkurve über den Break-Even Point hinauschießt, bedeutet das, dass ab diesem Zeitpunkt die Energiekosten für alternative Energien geringer sind, als jene der fossilen Energieformen.

Die bis dahin aufgebrauchten Lerninvestitionen könnten so im Nachhinein, zumindest in einem gewissen Maße, kompensiert werden. Das Problem hierbei liegt bei der meist sehr hohen Zeitspanne, bis eine neue Technologie Konkurrenzfähigkeit erreicht hat.

Im Bereich der Energietechnologie ist besonders an dieser Stelle die Politik gefragt, dieses anfänglich bestehende Ungleichgewicht auszugleichen. Die bei Markteinführung auftretenden hohen Lernkosten müssen zunächst von staatlichen oder privaten Förderprogrammen gedeckt werden. So konnte zum Beispiel bei Sonnenkollektoren die Lernkurve durch staatliche Förderungsprogramme stark verkürzt werden.

Damit alternative Energieformen zu einem gewissen Zeitpunkt Marktreife erreichen können, müssen diese Jahrzehnte lang Lerninvestitionen in Kauf nehmen, um auf der Lernkurve hinunterlaufen zu können. Durch eine mit Subventionen finanzierte Markteinführung kann die Produktion gesteigert werden und die erwünschten Lerneffekte treten nach und nach automatisch ein.

Neben staatlichen oder privaten Förderprogrammen hat auch die Entwicklung von Nischenmärkten eine entscheidende Bedeutung. So sind alternative Energieformen in Nischenmärkten untereinander schon konkurrenzfähig, auch wenn sie teurer sind als herkömmliche Energieformen. Der Grund dafür ist, dass in Nischenmärkten der Konsument aus bestimmten Gründen bereit ist, für ein gewünschtes Produkt einen höheren Preis zu bezahlen. Auf den Energiemarkt bezogen kann das eventuell daher kommen, dass der Konsument ein gewisses Umweltbewusstsein entwickelt hat oder Energieunabhängigkeit erreichen will.

Auch auf diese Weise wird durch bewusste Konsumenten ein Teil der Lerninvestitionen übernommen.

Die nachfolgende Abbildung der IEA (Internationalen-Energie-Agentur) zeigt, wie sich bereits einige alternative Energieformen gegenüber den fossilen Energieformen in nur wenigen Jahren auf ihren jeweiligen Lernkurven bewegt haben.

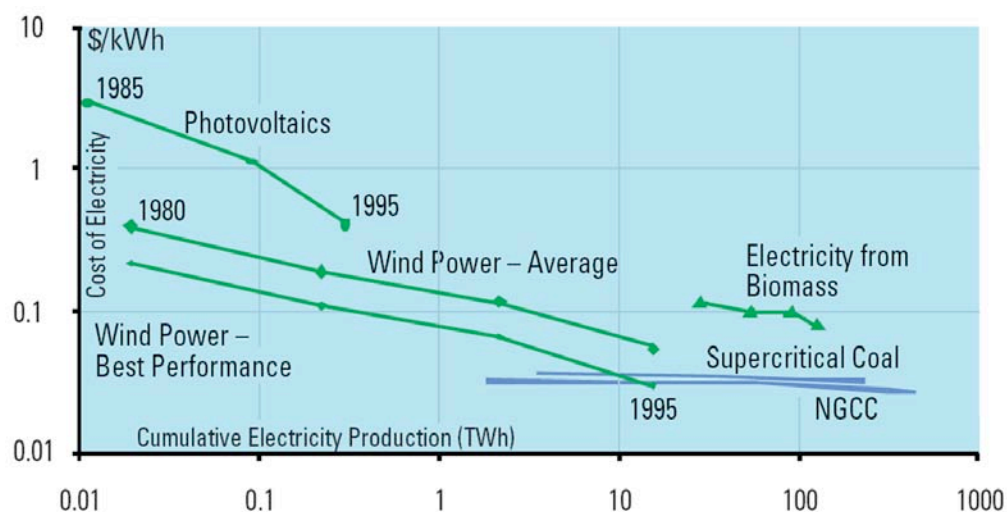


Abb. 32: Vergleich von Lernkurven alternativer und fossiler Energieformen <sup>124</sup>

Die IEA bezeichnet die Lernkurven bei alternativen Energieformen als erfreulich hoch. Bei der Photovoltaik konnte die IEA eine Kostenreduktion von beachtlichen 35 %, bei der Windenergie von 18 % und bei der Biomasse von 15 % bei jeder Verdoppelung des kumulierten Absatzes registrieren.

Im Vergleich dazu konnten bei den standardisierten fossilen Energietechnologien, Kohle und Erdgas, jedoch nur noch Kostensenkungen zwischen 3 und 4 % bei jeder kumulierten Verdoppelung des Umsatzes festgestellt werden.<sup>123</sup>

Die Studie zeigt aber auch, dass sich die Zukunftsaussichten neuer Energietechnologien vernünftigerweise nicht nur an der unmittelbaren Wirtschaftlichkeit auf Primärmärkten orientieren müssen.

Während bei den alternativen Energieformen eine positive Kostendynamik im Gange ist, kämpfen die konventionellen Energieformen mit einer zunehmenden Verteuerung. So ist die technologische Effizienz von Kohlekraftwerken oder anderen fossilen Energieanlagen, zum Beispiel durch kostenaufwändige End-of-Pipe Anlagen, die zur Reduktion von Abgasen

<sup>123</sup> IEA: Experience Curves for Energy Technology Policy, Paris 2000, S. 21

<sup>124</sup> Rudolf Rechsteiner: Grün Gewinnt, Orell Füssli Verlag, Zürich 2003, S. 98

dienen, am Sinken. Hinzu kommen eine Verknappung und eine immer komplizierter und teurer werdende Gewinnung von Rohstoffen, wie etwa bei Erdgas oder Erdöl.

Bezogen auf das technische Lernen dieser Technologien bedeutet das, dass aus den genannten Gründen sogar mit einem Anstieg der Lernkurven gerechnet werden muss und sich so der Break-Even Point zu Gunsten der Alternativtechnologien verschieben wird. Diesen Wandel kann man zum Beispiel auch am Verlauf der aktuellen Ölpreiskurve verfolgen.

Schließlich werden auch staatliche sowie länderübergreifende Beschlüsse und Richtlinien, wie Steuererhöhungen oder CO<sub>2</sub>-Abgaben, ihre Wirkung nicht verfehlen, um die durch fossile Energieformen verursachten, externen Kosten zumindest teilweise decken zu können.<sup>125</sup>

#### **15.4. Die Wirkung technologischen Lernens**

Anhand der eben beschriebenen Lernkurven kann veranschaulicht werden, wie wichtig technologisches Lernen für neue Technologien und deren Umsetzung ist. Zudem kann mit Hilfe von Lernkurven analysiert werden, wie lange eine Technologie in etwa benötigen wird, bis sie konkurrenzfähig am Markt eingeführt werden kann. Dabei veranschaulichen Lernkurven nicht nur positive Lerneffekte neuer Technologien, wie zum Beispiel bei den geförderten Alternativenergien, sondern auch negative Lerneffekte, wie sie zum Beispiel nach und nach bei fossilen Energieformen aufgrund der ansteigenden Förderungskosten oder anderen Problemen auftreten.

Selbstverständlich gibt es aber auch negative Lerneffekte bei neuen Technologien, die sich daraus resultierend oft nicht durchsetzen können und den Markteintritt nicht schaffen.

Zu diesem Thema ein Blick zurück auf die, von Friedrich Ritter von Lössl erfundene autodynamische Uhr. War die Lössl-Uhr erst einmal aufgestellt, musste man sich so gut wie um nichts mehr kümmern und sie lief viele Jahre wartungsfrei von selbst. Trotzdem konnte sich dieses Wunderwerk der Technik nicht gegen die damals ebenso neuartige Elektrouhr behaupten.

Anhand von Lernkurven kann dies ganz leicht nachvollzogen werden. Da die Lössl-Uhr kein Massenprodukt war und nur in aufwendigen Einzelstücken und in zeitaufwendiger Handarbeit ohne jegliche staatliche Förderungen von Lössl als Privatperson angefertigt worden war, konnte kein positiver Lerneffekt erzielt werden. Die elektrische Uhr hingegen war technisch einfacher, verbrauchte weniger Material und konnten schnell in einer hohen Stückzahl

---

<sup>125</sup> Rudolf Rechsteiner: Grün Gewinnt, Orell Füssli Verlag, Zürich 2003, S. 98ff

produziert werden, was zur Folge hatte, dass die Nachfrage stieg und die Lernkurve einen positiven Verlauf vollzog.

Demnach sind Lernkurven ein gutes Indiz dafür, ob eine neue Technologie gegenüber anderen, bereits bestehenden Technologien die Chance hat, auf Grund ihrer Lernerfahrungen konkurrenzfähig zu werden.

Trotzdem sei davor gewarnt, neue Erfindungen oder Ideen gleich auf das Abstellgleis zu befördern, nur weil es den Anschein hat, dass sie sich vorerst nicht lohnen.

Hätte man der Erfindung des autodynamischen Antriebes von Lössl mehr Aufmerksamkeit gewidmet, so hätte sich die Idee von Peter Bammers Luftdruckauto mittlerweile vielleicht schon in die Realität umsetzen können.

## 16. Resümee

In diesem abschließenden Teil meiner Arbeit möchte ich nun der Frage nachgehen, ob wir nun ein Energieproblem haben oder nicht.

Allein basierend auf dem Potential des Luftdrucks konnten in dieser Arbeit Lösungsansätze in verschiedenen Größenordnungen vorgestellt werden, die in ihrer Kombination auch im Stande sein müssten, das Energieproblem ad acta zu legen.

Es ist jedoch auch verständlich, dass es unmöglich ist, solche Technologien sofort in standardisierter Form, kompatibel und kostengerecht auf den Markt zu bringen.

Von vielen Seiten wird berichtet, dass alternative Energieformen zwar im Kommen, aber bis jetzt „leider“ noch nicht rentabel sind. Dazu sei gesagt, dass die neuen Technologien in erster Linie für die großen Energiekonzerne unrentabel sind, und diese deshalb auch nicht wirklich an einer möglichst schnellen Markteinführung interessiert sind. Nicht ganz zufällig halten große Erdölkonzerne, wie etwa BP oder Shell, den Hauptaktienanteil an verschiedenen alternativen Energietechnologien.

Trotzdem werden große Energiekonzerne von sich aus erst dann bereit sein, auf andere Energiesysteme umzustellen, wenn auch der letztmögliche Profit aus den fossilen Energieträgern gewonnen werden konnte. Ob es sich bei diesen neuen Energiesystemen um alternative Energieformen handeln wird, bleibt abzuwarten.

Zurzeit ist auch wieder die Kernkraft als Allheilmittel für das Energieproblem im Gespräch. Nur 15 Jahre nach der Tschernobyl-Katastrophe wird in Finnland wieder ein neues Kernkraftwerk in Europa gebaut.

Mit dem internationalen Forschungsprojekt ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) im südfranzösischen Cadarache will man mittels Kernfusion von Deuterium- und Tritiumatomen ebenfalls das Energieproblem lösen. Hierfür investiert eine internationale Staatengemeinschaft, darunter auch die EU, vorerst einmal über 10 Milliarden Euro. So nennt das internationale Forschungsteam Konstruktionskosten zwischen 2.400 und 4.800 US-Dollar pro Kilowatt Leistung, was einem Preis zwischen 14 und 38 Cent pro Kilowattstunde entspricht und somit höher ist, als der heutige Durchschnittspreis für Strom aus Windanlagen. Dabei sind aber nicht einmal die anfallenden Kosten für die Entsorgung beziehungsweise Lagerung des anfallenden Atommülls mit einberechnet.



Man bedenke nur, wie viele Sun- oder Windmaschinen man mit diesem Geld in unseren Wüsten installieren könnte. Dazu kommt, dass man sich nicht einmal sicher ist, ob die Forschungsanlage in Caradache jemals wirklich funktionieren wird.<sup>126</sup>

Wie sich die weltweite Einstellung gegenüber der Kernkraft erneut entwickeln wird, bleibt mit Spannung abzuwarten. Für Europa werden dazu die Entscheidungen der deutschen Bundeskanzlerin Dr. Angela Merkel eine entscheidende Rolle spielen.

Außerhalb Europas sind weltweit circa 100 neue Kernkraftwerke in Bau oder in Planung.

Es scheint also, dass das Energieproblem vielmehr ein politisches, als ein technologisches Problem ist. Die ganze Sache ist jedenfalls ineinander sehr verstrickt und undurchsichtig. So kann man kaum nachvollziehen, dass Regierungen weltweit jährlich einen Betrag von 1.000 Milliarden Dollar für Waffen ausgeben, allen voran die USA, die auch Kriege um Öl führen, um sich die letzten leicht zugänglichen Ölressourcen zu sichern oder vielleicht sogar aus machtpolitischen Gründen, um sich die Energieversorgung Europas zu sichern, anstatt mit diesem Geld ein für alle Mal das Energieproblem mit sauberen unblutigen Mitteln zu lösen.<sup>127</sup>

Meiner Meinung nach gibt es nur eine Lösung des Energieproblems und die liegt darin, dass sich jeder bewusst werden muss, dass es auf jeden einzelnen von uns ankommt.

Mahatma Gandhi hat einmal gesagt: „Sei Du selbst die Veränderung, die Du in der Welt sehen möchtest,“ und Margaret Mead hat hinzugefügt: „Zweifle nie daran, dass eine kleine Gruppe engagierter Menschen die Welt verändern kann – solche Gruppen sind nämlich die einzigen, denen es bislang auch gelungen ist, Veränderungen herbeizuführen“.

Das bedeutet, wie auch schon bei den vorher dargestellten Lernkurven ersichtlich, dass das Energieproblem nur dann gelöst werden kann, wenn jeder einzelne Konsument bereit ist, sein Nachfrageverhalten zu verändern und für eine nachhaltige Zukunft, einen Teil der anfänglich auftretenden Lernkosten zu übernehmen. Dann müssen schließlich auch Politik und Wirtschaft reagieren, denn in einer freien Marktwirtschaft ist nach wie vor die Nachfrage der alles entscheidende Faktor.

Jeder einzelne kann damit beginnen, aus seinem Eigenheim oder seinem unmittelbarem Umfeld mit Hilfe alternativer Technologien eine Energieselbstversorgungsstation zu generieren. Rückblickend auf die in der Arbeit dargestellten Technologien und deren

---

<sup>126</sup> Gottfried Derka: Zeitschrift profil, 16.1.2006, Nr. 3, S. 88

<sup>127</sup> Ervin Laszlo: Das dritte Jahrtausend, Suhrkamp 1998, S. 39

Möglichkeiten, könnte jeder einzelne in Zukunft sein eigener Energieproduzent für Wärme, Strom und sein Fahrzeug werden.

Dass dies einen völlig neuen Energiebegriff mit politischen, volkswirtschaftlichen und wirtschaftlichen Folgen nach sich ziehen würde, der nicht jedem gefällt, darf nicht unterschätzt werden. Energiekonsumenten würden zu Selbstversorgern oder sogar zu Energielieferanten. Große Energieversorgungsunternehmen müssten dann völlig umstellen und würden von Energieanbietern zu Energieverwaltern werden, was wiederum den wirtschaftlichen Kreislauf mit unabsehbaren Folgen tangieren würde.

Trotzdem ist ein energietechnologischer und energiepolitischer Wandel unumgänglich sowie notwendig und es sollte deshalb nicht versucht werden, diesen zu verhindern.

Und wenn es an der Zeit ist, dass jeder einzelne erkannt hat, dass es auf ihn selbst ankommt und bereit ist, Verantwortung für sein Handeln zu übernehmen und seine Nachfrage auf eine saubere und nachhaltige Technologie auszurichten, kann die anfangs gestellte Frage schnell und einfach beantwortet werden: Wir haben kein Energieproblem!

## 17. Quellenangabe und Literaturverzeichnis

### I. Abbildungsverzeichnis

Abb.1: Gasparo Bertis Wasserbaroskop.....	10
Abb.2: Otto von Guericke: Experimenta Nova Magdeburgica de Vacuo Spacio, 1672 .....	13
Abb.3: Darstellung des "Torricellischen Versuches", Kupferstich aus J. d'Alencé - Neu erfundene mathematische Curiositaeten - Mainz 1695.....	14
Abb.4: Darstellung eines alten Aneroidbarometers.....	18
Abb.5: Luftdruckbetriebenes Uhrensistem nach Cox .....	19
Abb.6: Friedrich Ritter von Lössl, Erfinder, Denker und Visionär .....	21
Abb.7: Funktionstüchtige Lössl-Wanduhr .....	30
Abb.8: Blasebalgähnlicher Blechzylinder als Motor der Lössl Wanduhr.....	34
Abb.9: Originales Aufzugswerk einer Lössluhr mit mehreren Federhäusern.....	37
Abb.10: Konisches Pendel der Lössl-Uhr .....	39
Abb.11: Links: Die Lössl-Uhr in Bad Aussee, unbeachtet bei der steirischen Landesausstellung 2005, Narren & Visionäre. Rechts: Reichspatent und Querschnitt der Lössl-Uhr des Kaiserlichen Patentamts aus dem Jahre 1893.....	42
Abb.12: Heute noch zu lesende Inschrift auf der Lössl Monumentaluhr von Bad Aussee .....	45
Abb.13: Funktionsprinzip der Wärmepumpe. Durch Expansion und Kompression eines Mediums bewegt sich thermische Energie innerhalb eines Kreislaufprozesses. ....	60
Abb.14: In der Synthese der Solar-, Wärmepumpen- und Stirlingtechnologie liegt der Knackpunkt einer neuen, autarken Energietechnologie der Zukunft.....	63
Abb.15: Zwangsgesteuerter Differentialkolben mit zwei Zylindern, die das Druckpotential zwischen zwei Hochdruckpanelen aus dem Temperaturunterschied zur Bewegung des Kolbens umsetzen. ....	66

Abb.16: Hochdruckpaneele im Dach und in der Bodenplatte sorgen für das nötige Temperaturdifferential für den Differentialkolben und den Antrieb des Ölhydraulikmotor.....	67
Abb. 17: Luftdruckmotor von Nègres umweltfreundlichen AirCar .....	70
Abb. 18: Mit Kevlar beschichtete Sicherheitstanks des französischen Raumfahrtsunternehmens EADS.....	71
Abb. 19: Taxi von AirCar auch als Sechssitzer Familien Van im Programm von MDI .....	75
Abb. 20: AirCars „MiniCat“, das Stadtauto der Zukunft.....	75
Abb. 21: Guy Nègres Vision einer am Fluss liegenden Luftdrucktankstelle.....	78
Abb. 22: Isotherme Expansion .....	89
Abb. 23: Isochore Kühlphase .....	89
Abb. 24: Isotherme Kompression .....	90
Abb. 25: Isochore Heizphase.....	90
Abb. 26: Prototyp der Sunmaschine in freier idyllischer Natur.....	96
Abb. 27: Der Sunwell Kollektorfläche: 1 m <sup>2</sup> Mechanische Leistung: 50 Watt Pumpleistung: 1000 l/h.....	100
Abb. 28: Die Sunmaschine als Goldgrube des 21. Jahrhunderts .....	101
Abb. 29: Energiekraftwerkszenario für die Sunmaschine .....	103
Abb. 30: Das Aufwindkraftwerk von Manzanares in Spanien mit einer Kollektorfläche von 45.000 m <sup>2</sup> und einem Kamin von 195 m Höhe und 10 m Durchmesser .....	106
Abb. 31: Lernkurven alternativer und fossiler Energieformen.....	109
Abb. 32: Vergleich von Lernkurven alternativer und fossiler Energieformen.....	111

## **II. Verzeichnis der Internetquellen**

**Dr. Archer Cristina /Prof. Jacobson Marc, 2005:**

[www.stanford.edu/group/efmh/winds](http://www.stanford.edu/group/efmh/winds)

**Dr. Casties Manfred 2002:**

[www.freunde-alter-wetterinstrumente.de/12barges06.htm](http://www.freunde-alter-wetterinstrumente.de/12barges06.htm)

**Graf G.E. 2004:**

[www.flv.at/FM044/LKUF.htm](http://www.flv.at/FM044/LKUF.htm) LKUFOÖ, 12.7.2005

**Hezel Dominik:**

[www.astronomie.de/sonnensystem/erde/atme.htm](http://www.astronomie.de/sonnensystem/erde/atme.htm)

**Hictaler Michael 2001:**

[www.schmuckecke.de/klassiker/lecoultre.html](http://www.schmuckecke.de/klassiker/lecoultre.html)

**Dr. Hieckmann Klaus:**

[www.magdeburg.ihk.de/3169.html](http://www.magdeburg.ihk.de/3169.html)

**Mayer 2003:**

Beinahe ein Perpetuum mobile, [www.wundersamessammelsurium.de](http://www.wundersamessammelsurium.de)

**Dr. Podesser Erich:**

[www.joanneum.ac.at/de/umwelt\\_energie/schwerpunkte\\_liste.php?p\\_iid=IEF](http://www.joanneum.ac.at/de/umwelt_energie/schwerpunkte_liste.php?p_iid=IEF)

**Dr. Reuter Julia:** Frost & Sullivan's Analysis Of The European Market For Full And Mild Hybrid Electric Vehicles (Report B126), [www.frost.com](http://www.frost.com), 17.10.2005

**Stöhr Gerhard 2005:**

[www.freunde-alter-wetterinstrumente.de/12barges06.htm](http://www.freunde-alter-wetterinstrumente.de/12barges06.htm)

**Vogel Martin 2005:**

<http://de.wikipedia.org/wiki/Stirlingmotor/Geschichte>

**Wetzstein Klaus 2000:**

[www.k-wz.de/vmotor/stirling.html](http://www.k-wz.de/vmotor/stirling.html)

**O.V.: Amonix Incorporated**

[www.amonix.com](http://www.amonix.com)

**O.V.: AP Technologies Corporation, 2004:**

[www.aircars.ch/index.php?lang=de&type=models](http://www.aircars.ch/index.php?lang=de&type=models)

**O.V.: AirComPower Energietechnik GmbH:**

[www.aircompower.at](http://www.aircompower.at)

**O.V.: Bundesverband Solarindustire, 2005:**

[www.bsi-solar.de/marktdaten](http://www.bsi-solar.de/marktdaten) / Sonnenkollektoren in Europa / Quelle: ESTIF

**O.V.: EADS / European Aeronautic Defence and Space Company:**

[www.eads.com](http://www.eads.com)

**O.V.: energieportal24:**

[www.energieportal24.de/solarenergie\\_solarspiegel.php](http://www.energieportal24.de/solarenergie_solarspiegel.php)

**O.V.: Meteo Graphics GmbH:**

[www.wetter24.de/help/luftdruck.html](http://www.wetter24.de/help/luftdruck.html)

**O.V.: Soest, Lesinstitut für Schule und Weiterbildung:**

[www.learn-line.nrw.de/angebote/agenda21/thema/energie.htm](http://www.learn-line.nrw.de/angebote/agenda21/thema/energie.htm)

**O.V.: Solar Systems & Peripherals, 2006:**

[www.solarsystems.com.au](http://www.solarsystems.com.au)

**O.V.:** Sunmachine GmbH, 18.10.2005:

[www.sunmachine.de](http://www.sunmachine.de)

**O.V.:** Université Claude Bernard Lyon1:

[www-obs.univ-lyon1.fr](http://www-obs.univ-lyon1.fr),

**O.V.:** VDEW, 2006:

[www.strom.de](http://www.strom.de)

**O.V.:** WINDPOWER MONTHLY:

[www.windpower-monthly.com](http://www.windpower-monthly.com)

**O.V.:**

[www.historische-barometer.de](http://www.historische-barometer.de)

**O.V.:**

[www.chanvre-info.ch/info/de/Zu-Henry-Fords-Auto.html](http://www.chanvre-info.ch/info/de/Zu-Henry-Fords-Auto.html)

**O.V.:**

[www.solar-tube.com](http://www.solar-tube.com)

### **III. Literaturverzeichnis**

**Chmela Harald/Wiedergut Wolfgang:** Grundlagen und Praxis der Freien Energie, Franzis Verlag GmbH, Poing 2004

**Deutsches Bundesgesetzblatt** 1991, Kraftfahrzeugssteuergesetz § 3d.

Derka Gottfried: Zeitschrift profil, 16.1.2006, Nr. 3

**Die Zeit:** Wochenzeitung, 28.4.2005, Nr. 18

**ENERGIE & MANAGEMENT** vom 1. April 2001

**Engert Ronald:** Zeitschrift, Tattva Viveka, Nr. 9, Revilak Verlag, 8225 Gilching, 1998

**Ervin Laszlo:** Das dritte Jahrtausend, suhrkamp Taschenbuch, Frankfurt am Main 1998

**EU-Richtlinie Elektrizitätsbinnenmarkt,** Amtsblatt Nr. L 027 vom 30.1.1997

**Fuchs /Apfelthaler:** Management internationaler Geschäftstätigkeit, Springer, Wien 2002

**Geitl Max:** Der Siegeslauf der Technik, 1890

**Glunz Stefan:** Stand und Perspektiven der Photovoltaik, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme, (ISE), D-79100 Freiburg, 2005

**Halozan H:** Institut für Wärmetechnik, Technische Universität Graz, Graz, November 1998

**IEA:** Experience Curves for Energy Technology Policy, Paris 2000

**Lebet Jean:** Living on Air - History of the Atmos Clock, Printed in Switzerland, Jaeger-LeCoultre 1997



**Messner Katharina:** Kronen Zeitung, Sie ernten den Wind, 6.11.2005

**Manning Jeane:** Energie, bessere Alternativen für eine saubere Welt, Omega, Aachen 2002

**Museum des Reichsgaues Oberdonau in Linz:** Sonderabdruck aus der Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architekten Vereines:  
Über Erfahrungen mit autodynamischen Uhren, Wien 1896

**Museum des Reichsgaues Oberdonau in Linz:** Schriften über autodynamische Uhren,  
Nr.374, 1942

**Österreichisches Bundesgesetzblatt 1992:** Kraftfahrzeugssteuergesetz § 2 (1) Z.9

**Österreichisch-Ungarische Uhrmacherzeitung:** Selbsttätiger atmosphärischer Motor,  
Nr.3,1881

**Rechsteiner Rudolf:** Grün Gewinnt, Orell Füssli Verlag, Zürich 2003

**Scheer Hermann:** Energieautonomie, Kunstmann, München 2005

**Schröer H. Josef:** Die autodynamische Uhr, Günter Druck GmbH, Schauenroth 2003

**Technisches Museum in Wien:** Blätter der Technikgeschichte, 1946

**Wiedergut Wolfgang:** Freie Energie für ein neues Jahrtausend, Verlag Arge Bindu, 2002

**Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architekten Vereines:** Wien 27.Sept. 1895, Nr. 39