



universität
wien

Diplomarbeit

Titel der Diplomarbeit

Die frühe technische Nutzung der Elektrizität im
Bergbau und Hüttenwesen sowie in der Metallver-
arbeitung. Beispiele aus dem deutschsprachigen
Raum bis zum Ersten Weltkrieg

verfasst von

Harald Schmidtbauer

angestrebter akademischer Grad

Magister der Philosophie (Mag. phil.)

Wien, Jänner 2013

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A312

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Geschichte

Betreuer:

Univ. Doz. Dr. Hubert Weitensfelder

Danksagung

Im Laufe meines Studiums wurde ich von vielen Personen unterstützt denen ich auf diesem Weg danken möchte. Besonderer Dank gebührt dabei meinen Eltern Christine und Gerhard Schmidtbauer, die mich immer unterstützt und an mich geglaubt haben. Auch bei meiner Freundin Birgit möchte ich mich für ihre moralische und hilfsbereite Unterstützung bedanken. Ein großer Dank gebührt ganz besonders Herrn Univ. Doz. Dr. Hubert Weitensfelder für die hervorragende Betreuung meiner Diplomarbeit.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Fragestellung.....	5
2. Die Voltasäule und ihre Weiterentwicklungen.....	7
2.1 Akkukulator.....	10
2.2 Thermosäulen.....	11
3. Das magnetelektrische Prinzip.....	12
3.1 Die elektromagnetische Maschine.....	12
3.2 Der Dynamo.....	14
3.3 Der Elektromotor.....	17
3.4 Der Beginn der elektrischen Starkstromtechnik.....	18
4. Elektrizität im Bergbau.....	23
4.1 Suche nach Rohstoffen mit Elektrizität.....	23
4.2 Elektrische Lampen und Beleuchtungsanlagen im Bergbau	
4.2.1 Die elektrische Grubenlampe von Alphonse Dumas und Camille Benoît.....	23
4.2.2 Elektrische Grubenbeleuchtung am Beispiel des Mechernicher Bergwerks.....	25
4.3 Elektrisches Zünden von Sprengladungen.....	27
4.4 Elektrische Wasserpumpstationen.....	29
4.5 Elektrische Grubenlokomotiven.....	33
4.6 Elektrische Förderanlagen.....	39
4.6.1 Frühe elektrische Förderanlagen.....	45
4.6.2 Elektrische Förderanlagen mit Strom von Gasmotoren.....	47
4.7 Elektromagnetische Trennung von Erzen.....	47
4.8 Ein elektromagnetischer Hammer von Siemens und Halske.....	48

5. Elektrizität im Hüttenwesen.....	49
5.1 Die Herstellung von Roheisen und Stahl	
In Elektroschmelzöfen.....	50
5.1.1 Héroult-Schmelzöfen in Ferlach.....	56
5.1.2 Elektisch betriebener Gusseisenwagen.....	58
5.2 Aluminium.....	60
5.2.1 Aluminiumproduktion der Hütte Lend.....	64
5.2.2 Aluminiumproduktion der Hütte Steeg.....	65
6. Metallbearbeitung.....	66
6.1 Schmelzen und Lösen von Metallen durch Nutzung.....	
der Elektrizität.....	66
6.2 Vergolden und Versilbern durch Elektrizität.....	67
6.3 Die elektrische Niederschlagung von Kupfer.....	69
6.4 Der Verfahren der Galvanoplastik.....	70
7. Elektrizität für den Antrieb von Werkzeugmaschinen.....	72
8. Zusammenfassung.....	74
Literatur.....	77
Abstract.....	81

1 Einleitung und Fragestellung

Die Nutzbarmachung der Elektrizität gehört zu den wichtigsten Errungenschaften der Moderne. Erste Erfahrungswerte des 19. Jahrhunderts führten zu Neu- und Weiterentwicklungen im 20. Jahrhundert sowie bis in die Gegenwart. Doch welche Entdeckungen auf dem Gebiet der Nutzbarmachung der Elektrizität bildeten den Ausgangspunkt für diese scheinbar endlose Serie an Erfindungen und Verbesserungen? Die Bandbreite ist enorm: Sie erstreckte sich von der Chemie über das Kommunikations- und Verkehrswesen bis hin zur Beleuchtung und zur Antriebstechnik.

Bei den elektrischen Nutzungen gibt es zwei grundlegende Unterscheidungen: Einerseits ersetzte oder ergänzte der elektrische Strom bereits bestehende und bekannte Anwendungen, andererseits wurde erst ab dem Zeitpunkt der Verfügbarkeit der neuen Kraft eine Nutzbarmachung generell möglich.

Um das breite Gebiet einzugrenzen, wird sich die nachfolgende Arbeit auf frühe elektrische Anwendungen im Bergbau und Hüttenwesen beschränken. Außerdem wird der Versuch unternommen, frühe elektrische Nutzungen anhand von Beispielen der Ver- und Bearbeitung von Metallen darzustellen. Der Fokus auf deutschsprachige und angrenzende Gebiete sowie auf Beispiele vor dem Ersten Weltkrieg begrenzt zusätzlich den Umfang des Themas.

Die später folgenden Beispiele werfen die Fragen auf, weshalb es gerade in diesem oder jenem Fall zu einer Anwendung der Elektrizität gekommen ist und warum sie in anderen Bereichen vorerst ausblieb. Welche Nutzungen konnten sich über einen längeren Zeitraum etablieren, und welche wurden aus Mangel an Erfolg wieder verworfen? Neben den Fragen der Produktivitätssteigerung und Erhöhung der Betriebssicherheit wird auch die Frage nach möglichen Hindernissen gestellt, die den Einsatz von Elektrizität in bestimmten Bereichen vorerst blockierten.

Bevor Beispiele von frühen elektrischen Anwendungen aus den Bereichen Bergbau, Hüttenwesen sowie Ver- und Bearbeitung von Metallen genannt werden, sollen die Grundvoraussetzungen erwähnt werden, die eine Nutzbar-

machung überhaupt erlaubten: beginnend mit den galvanischen Elementen, die in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts erste Anwendungen im kleinen Kreis ermöglichten, über die ersten einfachen magnetischen Induktionsmaschinen bis hin zum Dynamo und der damit verbundenen Starkstromtechnik.

Bahnbrechende Erfindungen entwickelten sich aus einem großen Grundstock an Vorkenntnissen. Anfängliche Fehlschläge führten in oft jahrelangen Versuchsreihen zum Erfolg und zu einer anschließenden Nutzung im vorerst kleinen Rahmen.

2 Die Voltasäule und ihre Weiterentwicklungen

Das Phänomen der Elektrizität ist bereits seit langer Zeit bekannt. Der griechische Naturphilosoph Thales von Milet experimentierte mit einem durch Reibung aufgeladenen Bernstein, der durch seine elektrostatische Aufladung Holzspäne oder andere leichte Körper anziehen konnte. Durch die Reibungsexperimente wurde die positive und negative Elektrizität und damit das Gesetz der Polarität bekannt. Es besagt, dass sich gleichartige elektrische Körper abstoßen, ungleichartige sich aber anziehen.¹ Dieses Gesetz sollte die Grundlage der im 19. Jahrhundert entdeckten magnetischen Induktion bilden. Auch die elektrische Leitfähigkeit der einzelnen Stoffe konnte durch die Reibungsexperimente festgestellt werden: Während Metalle, Kohle, Säuren, Wasser oder Gase als gute Leiter identifiziert werden konnten, wurden Glas, Porzellan oder Guttapercha in die Kategorie der Nichtleiter eingeteilt. Wie die stromleitenden Stoffe, spielt oft auch die Gruppe der Nichtleiter eine wichtige Rolle in der Elektrotechnik. Sie werden als Isolatoren bezeichnet und dienen zur Vermeidung von Stromverlust.²

Trotz der gewonnenen Erkenntnisse und der Erfindung von Reibungs-Elektrisier-Maschinen konnte bis zum Ende des 18. Jahrhunderts noch nicht von einer Nutzung der Elektrizität gesprochen werden. Diese Apparate brachten elektrische Entladungen hervor, allerdings mit nur sehr geringer Leistung. Für praktische Anwendungen waren sie nicht geeignet.³ Das sollte sich mit der Entwicklung einer zuverlässigen und kontinuierlichen Stromquelle schlagartig ändern: 1780 beobachtete der italienische Arzt Luigi Galvani beim Sezieren eines Froschschenkels mit einem metallenen Gegenstand eine Bewegung des Muskels. Diese Bewegung interpretierte er zunächst als eine „tierische Elektrizität“. Das Experiment fand großen Anklang und zog das Interesse weiterer Forscher auf sich. Darunter befand sich Alessandro Volta. Er sah in diesem Phäno-

¹ Walter Häntzschel, Erfindungen und Experimente. Gemeinverständliche Darstellung aus allen Gebieten der Technik und ihrer Anwendung in der modernen Industrie und dem Gewerbebetriebe, Bd. 2 (Berlin 1906) 298f.

² Häntzschel, Erfindungen und Experimente, 300f.

³ Heiko Weber, Die Elektrisiermaschinen im 18. Jahrhundert (Berlin 2011).

men keine „tierische Elektrizität“ und vermutete stattdessen eine „metallische Schließung“. Den Schlüssel in seinen Experimenten fand er in der Verwendung von zwei verschiedenen Metallen. Sie bildeten den zentralen Punkt bei der Entwicklung des ersten galvanischen Elements.⁴

Aber war es wirklich die erste Apparatur, die auf diesem Prinzip beruhte? Archäologische Ausgrabungen der 1930er Jahre bei Bagdad führten zu einer neuen Theorie: Forscher fanden einen etwa 14 cm großen vasenförmigen Gegenstand, den sie als möglichen Erzeuger von Elektrizität identifizierten. Dieser potentielle Vorgänger der Batterie wurde dem Partherreich zugeordnet und auf ein Alter von etwa 2.000 Jahren geschätzt.⁵

Allerdings konnte die Entwicklung Voltas die Elektrotechnik nachhaltig revolutionieren. 1799 stellte er die nach ihm benannte Voltasche Säule vor. Er verwendete 30 bis 40 Scheiben aus Zink und Kupfer, die er übereinander reihte. Dazwischen wurden in Säure getränkte Stoffkreise platziert.⁶ Die Säule lieferte brauchbare Elektrizität und konnte durch eine höhere Anzahl von Metallscheiben ihre Spannung weiter vergrößern. Mit der Voltaschen Säule wurden zahlreiche Anwendungen ermöglicht. Der Brite Humphry Davy zählte zu den ersten Chemikern, die sich die Elektrizität der galvanischen Elemente zunutze machten. Inspiriert vom französischen Chemiker Antoine Laurent de Lavoisier, löste er mithilfe der Elektrolyse zahlreiche Metalle aus ihren Verbindungen. Aus deren Salzen isolierte Davy erstmals Barium, Strontium, Calcium und Magnesium. Trotz seiner Erfolge gelang es ihm 1809 aber nicht, Aluminium aus Tonerde zu gewinnen.⁷

Neben der Elektrochemie zählte die Telegrafie zu den ersten praktischen Anwendungen der Voltaschen Säule. Bereits 1809 stellte der bayerische Arzt und Erfinder Samuel Thomas von Sömmering einen von ihm konstruierten Telegrafen

⁴ Gustav *Albrecht*, Geschichte der Elektrizität, mit Berücksichtigung ihrer Anwendung (A. Hartleben's Elektro-technische Bibliothek Bd. 28 (Wien/Pest/Leipzig 1885) 126.

⁵ Nasser *Kanani*, Die Batterie der Parther. Gab es elektrischen Strom schon vor 2000 Jahren? (Bad Saulgau 2005).

⁶ *Albrecht*, Geschichte der Elektrizität, 126.

⁷ Elisabeth Christine *Vaupel*, Zur Frühgeschichte des Aluminiums: Friedrich Wöhlers (1800 – 1882) und Henri Sainte-Claire Devilles (1818 – 1881) Leistungen im Lichte neuer brieflicher und gegenständlicher Quellen. In: Deutsches Museum, Wissenschaftliches Jahrbuch 1992/93 (München 1993) 235-237.

einfacher Bauart vor, der mithilfe galvanischer Ströme betrieben wurde.⁸

Nachteilig wirkte sich der schnelle Leistungsverlust der Volta-Säule aus. Die elektromotorische Kraft des ersten galvanischen Elements wurde durch die Ablagerung von Wasserstoff auf den Kupferscheiben verringert. Der Wasserstoff bildet sich bei der Lösung des Zinksulfats aus dem Zink durch die Schwefelsäure. Er bewirkt eine so genannte „Polarisationsspannung“, die bei Stromentzug immer stärker wird und die Leistung des Elements rasch absinken lässt.⁹

Um die Leistungsdauer zu steigern, wurden „konstante Elemente“ entwickelt. Ihre positiven Elektroden wurden mit sauerstoffreichen Verbindungen überzogen. Der von der anhaftenden Salpetersäure oder Chromsäure abgegebene Sauerstoff bindet sich mit dem Wasserstoff und wird zu Wasser. Damit konnte die störende Polarisation vermieden werden. Ein Beispiel lieferte das vom britischen Chemiker John Frederic Daniell entwickelte und nach ihm benannte Daniell-Element. Die darin enthaltene Kupfersulfatlösung verhindert eine Polarisation durch den Wasserstoff, der aus der Reaktion von Zink und Schwefelsäure entsteht. Daniells galvanische Zelle lieferte bereits gleichmäßigen Strom, allerdings bei einer relativ niedrigen elektromotorischen Kraft von 1,1 Volt. Leistungstärker war die Konstruktion von Robert Wilhelm Bunsen. Er entwickelte ein Kohle-Zink-Element, das eine höhere Spannung lieferte und durch Verwendung einer Kohleplatte als Elektrode die Polarisation stark einschränkte. Die in Salpetersäure getränkte Kohleplatte bildete das Kernstück der zylinderförmigen Zelle. Ein Zinkrohr bildete die zweite Elektrode. Es wurde in verdünnte Schwefelsäure getaucht und durch ein Isolationsrohr von der Salpetersäure abgeschirmt. Mit einer Leistungsabgabe von etwa 1,9 Volt konnte das Bunsen-Element überzeugen, allerdings entstanden durch den chemischen Prozess der Zelle giftige Stickoxiddämpfe.¹⁰

Die späteren Nachfolger der ersten galvanischen Elemente sind im allgemeinen

⁸ Albrecht, Geschichte der Elektrizität, 256.

⁹ Max Fett, Oskar P. Krämer, Robert Weiner, Die Geschichte der Galvanotechnik und die Entwicklung der galvanischen Metallüberzüge bis zur Neuzeit. Schriftenreihe Galvanotechnik (Saulgau/Württemberg 1959) 22.

¹⁰ Fett, Krämer, Weiner, Geschichte der Galvanotechnik, 25f.

Sprachgebrauch als „Batterie“ bekannt. Genau genommen kann aber erst dann von einer Batterie gesprochen werden, wenn zwei oder mehr galvanische Elemente miteinander verbunden werden.¹¹

2.1 Der Akkumulator

Ein weiteres galvanisches Element bildet der Akkumulator. 1850 erfunden, konnte er erstmals 1859 effizient genutzt werden. In den Behältern der ersten Akkumulatoren befand sich verdünnte Schwefelsäure, in die mehrere Gitter aus Blei getaucht wurden. Die Bleiplatten waren abwechselnd mit Bleisuperoxid (positiver Pol) und schwammigem Blei (negativer Pol) überzogen. Wird Strom in den Akku geleitet, kommt es zu einer chemischen Umlagerung der Stoffe und damit zu einer Speicherung der Elektrizität. Wird Strom entzogen, findet der Prozess in umgekehrter Richtung statt. Aufgrund ihres hohen Gewichts und der damit verbundenen hohen Transportkosten konnte sich der Einsatz von Akkumulatoren vorerst nur begrenzt durchsetzen, und hier vor allem im stationären Bereich. In ihren Anfangsjahren wurden Akkumulatoren etwa als Pufferbatterien verwendet. Dies wird im Kapitel „elektrische Förderanlagen“ näher erläutert. Auch die ersten elektrischen Kraftzentralen wurden mit Akkumulator-Räumen ausgestattet, um den schwankenden Strombedarf ausgleichen zu können.¹² 1881 entwickelte der französische Elektrotechniker Camille Faure einen Akkumulator mit höherer Leistungsaufnahme. Er bestand aus Bleiplatten, die mit Bleioxid überzogen und in verdünnte Schwefelsäure getaucht wurden. Der 75 Kilogramm schwere Akku konnte wesentlich schneller geladen werden und erbrachte laut Herstellerangaben die Stundenleistung eines Pferdes. Aufgrund des relativ hohen Gewichts fand er aber nur im stationären Bereich Anwendung.¹³

1883 fand in Wien eine Elektrotechnische Ausstellung statt, in deren Rahmen neben anderen Innovationen auch Akkumulatoren vorgeführt wurden. Die el-

¹¹ Häntzschel, Erfindungen und Experimente, Bd. 1, 309.

¹² Max Seitel (Hg.), Der Siegeslauf der Technik, Bd. 1 (Stuttgart/Berlin/Leipzig 1910) 280f.

¹³ G. van Muyden, Heinrich Frauberger, Die Erfindungen der neuesten Zeit. Zwanzig Jahre Industrieller Fortschritte im Zeitalter der Weltausstellungen. Mit Rücksicht auf Patentwesen und Kunstindustrie (Leipzig/Berlin 1883) 207.

elektrische Beleuchtung des Kaiserpavillons durch Akkumulatoren und der Betrieb eines Elektrobootes durch die Stromspeicher konnten vom Publikum begutachtet werden. In einer Rotunde setzte man kleinere Werkzeugmaschinen mithilfe von Akkus in Bewegung. Unter den Ausstellern befanden sich Firmen wie Faure-Sellon-Volckmar, Weidmann aus Zürich und die ehemalige Anglo-Austrian Brush Electrical Company aus Wien, die 1883 unter dem Firmennamen „The International Electric Company“ vertreten war.¹⁴

2.2 Thermosäulen

Während Akkumulatoren bis in die Gegenwart einen sehr wichtigen Sektor der Elektrotechnik bilden, wurden so genannte „Thermosäulen“ nur in einem relativ kurzen Zeitraum als Stromquelle verwendet. Entdeckt wurde diese Art der Stromerzeugung vom deutschen Physiker Thomas Seebeck. 1823 stellte er fest, dass zwei verschiedene Metalle Elektrizität abgeben, sobald sie unterschiedlichen Temperaturen ausgesetzt werden. Bei leistungsfähigen Thermosäulen wurden Reinnickel-Elektroden mit Gas erhitzt. Sie bildete dabei den positiven Pol. Der negative Pol wurde durch eine gekühlte Antimon-Legierung gebildet. Eine aus 66 miteinander verbundenen Thermosäulen bestehende Batterie leistete vier Volt Spannung bei drei Ampere Stromstärke.¹⁵

Der in Wien ansässige Mechaniker und Erfinder Siegfried Marcus stellte 1865 ein von ihm entwickeltes Thermo-Element vor. Es leistete nur rund vier Prozent im Vergleich zu einem Bunsen-Zink-Kohle-Element. Zu einer Batterie von 125 Elementen verbunden, war es aber in der Lage, einen Platindraht mit einem halben Millimeter Stärke zum Schmelzen zu bringen.¹⁶ Für die positive Elektrode verwendete Marcus eine Metalllegierung aus Kupfer, Zink und Nickel sowie einen kleinen Anteil von Kobalt, um die elektromotorische Kraft zu verstärken. Bei der negativen Elektrode wurden zwei Drittel Antimon sowie ein Drittel Zink

¹⁴ *Anonym*, Ueber elektrische Accumulatoren in Wien. Die elektrischen Accumulatoren auf der Elektrischen Ausstellung in Wien 1883. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 250 (1883) 261-263.

¹⁵ *Fett, Krämer, Weiner*, Die Geschichte der Galvanotechnik, 26.

¹⁶ *Anonym*, Eine neue und sehr kräftige thermo-elektrische Säule von Siegfried Marcus. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 176 (1865) 365.

und Wismut verwendet.¹⁷ Bei einer seiner Thermo-Säulen verschraubte Marcus jeweils 32 Stäbe der positiven und negativen Elektroden zu zwei Gittern. Diese Gitter wurden miteinander verschraubt und verstärkt. Während die positiven Stäbe auf bis zu 600 Grad erhitzt wurden, sorgte Wasser für die Abkühlung der negativen Stäbe. Dadurch konnte ein maximaler Temperaturunterschied erzielt werden. Marcus sah seine Thermo-Säule zwar als noch nicht ausgereift, er glaubte aber an eine Zukunft dieser Technik.¹⁸ Allerdings arbeitet eine Thermo-Säule sehr unwirtschaftlich, denn nur ein Bruchteil der zugeführten Wärmeenergie kann als Strom wieder zurückgewonnen werden.

3 Das magnetelektrische Prinzip

Die ab Beginn des 19. Jahrhunderts entwickelten galvanischen Elemente ermöglichten erste kommerzielle Anwendungen von Elektrizität. Sie bildeten die Grundlagen der Elektrochemie und der Telegrafie. Aufgrund der nur mäßigen Leistungsabgabe von Voltasäulen oder Bunsen-Batterien war ihr Einsatzradius in der Elektrotechnik begrenzt und der Betrieb teuer. Eine Innovation, die der Elektrotechnik gegen Ende des 19. Jahrhunderts zu ihrem endgültigen Durchbruch verhelfen sollte, bildete die Entdeckung der magnetischen Induktion.

3.1 Die elektromagnetische Maschine

Aus seinen eigenen Erkenntnissen und inspiriert von den Physikern Hans Christian Oerstedt, André-Marie Ampère und François Arago, konstruierte Michael Faraday 1831 eine magnetelektrische Maschine. Mit ihr wurde es erstmals möglich, Strom nicht nur chemisch, sondern alternativ elektromagnetisch zu erzeugen. Ihre ersten Anwendungsgebiete fand sie in der Telegrafie und in der Galvanoplastik, die noch näher erläutert wird.¹⁹ Aber auch für die Stromver-

¹⁷ *Anonym*, Thermische Säule von Marcus, 366.

¹⁸ *Anonym*, Thermische Säule von Marcus, 367.

¹⁹ *Fett, Krämer, Weiner*, Die Geschichte der Galvanotechnik, 33.

sorgung von Leuchttürmen wurden einfach konstruierte Induktionsmaschinen verwendet.²⁰

Diese Maschine von Faraday nahm sich der französische Instrumentenbauer Antoine-Hippolyte Pixii als Vorbild und konstruierte seinerseits die erste magnetoelektrische Wechselstrommaschine. Bei diesem Modell rotierte ein hufeisenförmiger Magnet um zwei festmontierte Drahtspulen mit Eisenkern. Dabei bildeten sich an den jeweiligen Drahtenden gleichmäßige Induktionsströme.²¹

Das Problem der ersten magnetoelektrischen Maschinen lag jedoch an den nicht besonders starken Induktionsströmen, die sie erzeugten. Die verwendeten Stahlmagneten lieferten eine zu geringe magnetische Kraft, um damit starke Ströme zu erzielen. Ein Lösungsansatz lag in der Verwendung von Elektromagneten anstelle der permanenten Magnete. Die mit Draht umwickelten Elektromagnete aus weichem Eisen mussten durch eine externe Batterie mit Strom versorgt werden. Obwohl die Induktionsmaschinen mit den Elektromagneten eine höhere Spannung erzeugen konnte, war ihr Einsatz immer noch ineffizient. Der Grund lag in der abnehmenden Leistung der Batterien für die Elektromagneten.²²

Eine elektrische Kraftübertragung auf längeren Strecken war mangels geeigneter Induktionsmaschinen noch nicht möglich.²³ Mit dem Problem der leistungsschwachen Stromerzeuger beschäftigte sich Werner von Siemens.²⁴ Bereits 1859 konstruierte er eine leistungstärkere Version der bestehenden Induktionsmaschinen. Seine so genannte „Doppel-T-Maschine“ war in der Lage, wesentlich stärkere Ströme hervorzubringen als andere derartige Apparate. Die Verbesserungen lagen einerseits in der relativ langen, dichtumwickelten Ankerspule und andererseits in den aus mehreren Schichten bestehenden Stahlmagneten. Diese permanenten Magnete montierte Siemens so nah wie möglich am Anker, um die magnetische Wirkungsweise zu maximieren. Den Namen „Dop-

²⁰ *Muyden, Frauberger*, Die Erfindungen der neuesten Zeit, 198.

²¹ *Häntzschel*, Erfindungen und Experimente, Bd. 1, 378.

²² *Seitel*, Siegeslauf der Technik, Bd. 1, 271.

²³ *Seitel*, Siegeslauf der Technik, Bd. 1, 152.

²⁴ *Häntzschel*, Erfindungen und Experimente, Bd. 1, 379.

pel-T“ trägt dieser handkurbelbetriebene Vorgänger des Dynamos aufgrund seiner Ankerform im Querschnitt.

3.2 Der Dynamo

Trotz der stärkeren Strommenge seiner Maschinen erkannte Siemens das Leistungsdefizit der permanenten Magneten.²⁵ 1866 konstruierte er seinen ersten richtigen Dynamo, der ohne Stahlmagneten arbeitete und den Strom für die äußeren Elektromotoren selbst produzierte. Dieser Stromerzeuger sollte der Starkstromtechnik zu ihrem Durchbruch verhelfen. In diesem Jahr brachte ein deutsch-österreichischer Krieg zahlreiche Neuerungen auf dem militärischen Sektor. Dazu zählten verbesserte Minenzünder, unbemannte Sprengschiffe und Innovationen in der Militärschifffahrt.²⁶

Siemens konnte das Problem der geringen Leistung mit dem von ihm umgesetzten „dynamoelektrischen Prinzip“ lösen, das er 1867 der Berliner Akademie der Wissenschaften vorstellte. Der Titel seiner Präsentation lautete: „Über die Umwandlung von Arbeitskraft in elektrischen Strom ohne Anwendung permanenter Magnete.“ Siemens war also der Meinung, dass eine Induktionsmaschine mit Elektromagneten konstruiert werden musste, die vom eigenen Strom der Maschine gespeist wurden. Doch wie sollten die Elektromagneten des Dynamos damit versorgt werden, noch bevor es zu einer Drehung kam? Auch auf diese Frage konnte Siemens eine passende Antwort finden. Er stellte einen bereits leicht vorhandenen Magnetismus in den Maschinenteilen fest. Dieser ermöglicht es, die Elektromagneten mit einer leichten Spannung zu versorgen.²⁷ Der anfänglich schwache Strom wird durch die Erhöhung der Drehzahl des Generators immer stärker und steigert gleichzeitig die Leistung des verbundenen Elektromagneten. Durch dieses Zusammenspiel werden sehr starke Ströme ermöglicht, die konstruktionsbedingt mit den zuvor verwendeten Induktionsmaschinen nicht erreicht werden konnten.²⁸ Darüber hinaus ermöglichte der Dyna-

²⁵ *Muyden, Frauberger*, Die Erfindungen der neuesten Zeit, 198.

²⁶ *Werner von Siemens*, Lebenserinnerungen (Berlin 1916) 251.

²⁷ *Seitel*, Siegeslauf der Technik, Bd. 1, 271f.

²⁸ *Häntzschel*, Erfindungen und Experimente, Bd. 1, 379.

mo eine Stromgewinnung in jeder gewünschten Spannung und Stärke.²⁹ Siemens konnte sein Prinzip erstmals in Form eines Zündapparates anwenden. Die Physiker Heinrich Gustav Magnus, Heinrich Wilhelm Dove und Peter Rieß zeigten sich bei einer Vorführung von den Leistungsdaten des Dynamos verblüfft.³⁰

Zeitgleich mit Siemens entwickelte der englische Ingenieur Henry Wilde einen ähnlichen Apparat. Als Grundlage diente ihm die „Doppel-T-Maschine“ von Siemens. Wildes Dynamo-Konstruktion bestand aus einem kleineren und einem größeren Apparat der magnetelektrischen Maschine von Siemens. Beim größeren tauschte er die permanenten, festsitzenden Magnete gegen Elektromagnete, die vom Strom der kleineren Maschine gespeist wurden. Für eine korrekte Polrichtung sorgte ein dazwischen geschalteter Stromwender, wie ihn bereits Moritz Hermann von Jacobi bei seinem 1834 vorgestellten Elektromotor verwendet hatte.³¹

Bei einer Pariser Weltausstellung 1867 stellte Siemens einen von seiner Firma gebauten Dynamo aus. Anfängliche Probleme mit der starken Erhitzung der Drahtwindungen konnten bei weiteren Entwicklungen beseitigt werden.³² Die Dynamos wurden zu Beginn mit Handkurbeln in Bewegung gesetzt. Erst später wurden sie durch Riemen mit Dampfmaschinen verbunden. Eine bessere Variante konnte mit der Aggregatbauweise erzielt werden. Die Dynamomaschine wurde dabei direkt an die Antriebswelle der Dampfmaschine gekoppelt.³³ Bereits vor der Entwicklung der modernen Dynamomaschine hatte der italienische Physiker Antonio Pacinotti 1860 einen nach ihm benannten Ring konstruiert. Dieser wurde zur Gänze mit einem Draht umwickelt und die beiden Enden des Drahtes fest miteinander verlötet. Auf einer Achse befestigt, dreht sich der Ring um einen Magneten. Durch die Drehbewegung entsteht durch den Induktor Strom, der mit zwei einander gegenüberliegenden Kohlebürsten innerhalb des Rings abgenommen wird.³⁴

²⁹ *Siemens*, Lebenserinnerungen, 253.

³⁰ *Siemens*, Lebenserinnerungen, 252.

³¹ *Muyden, Frauberger*, Die Erfindungen der neuesten Zeit, 199.

³² *Siemens*, Lebenserinnerungen, 254.

³³ *Fett, Krämer, Weiner*, Die Geschichte der Galvanotechnik, 34.

³⁴ *Häntzschel*, Erfindungen und Experimente, Bd. 1, 378f.

1871 entwickelte der belgische Konstrukteur Zénobe Gramme eine ähnliche Konstruktion, die einen wesentlichen Fortschritt bei Elektromotoren brachte. Der „Grammesche Ring“ war aber auch ein wesentlicher Bestandteil leistungsfähiger Gleichstromgeneratoren. In Kombination mit dem dynamoelektrischen Prinzip von Siemens leisteten diese Maschinen einen wichtigen Beitrag zur modernen Stromerzeugung.³⁵ Ein solcher Gleichstromgenerator von Gramme wurde 1873 bei der Wiener Weltausstellung der Öffentlichkeit gezeigt. Er wird gegenwärtig im Technischen Museum in Wien ausgestellt (Abb 1).

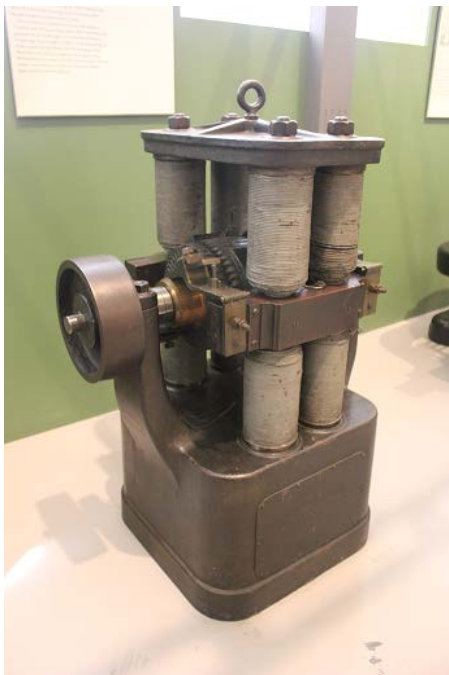


Abb 1. Gleichstromgenerator von Gramme, Technisches Museum Wien

Neben dem Stromgenerator von Gramme waren bei der Wiener Weltausstellung die Firmen Siemens in London, Siemens und Halske in Berlin sowie die Pariser Gesellschaft L'Alliance mit Dynamomaschinen vertreten. Dieser überschaubare Anbieterkreis verdeutlicht die damals noch sehr junge Technik der modernen Stromgeneratoren.³⁶ Während die Maschine des französischen Herstellers hauptsächlich zur Stromerzeugung für elektrische Beleuchtung geeignet

³⁵ Häntzschel, Erfindungen und Experimente, Bd. 1, 379.

³⁶ Hippolyte Fontaine, Die magnet-elektrischen Maschinen auf der Wiener Weltausstellung. In: Dingers Polytechnisches Journal, Bd. 221 (1874) 260-262.

war, präsentierte Gramme universell einsetzbare Dynamomaschinen. Sie waren sowohl für elektrisches Licht als auch für den Einsatz in der Galvanoplastik oder der Telegrafie nutzbar. Die Unterschiede bestanden in der ungleichen Anzahl der isolierten Drahtwindungen. Diese Flexibilität wurde den Besuchern der Schau anhand von Versilberungen, Laborexperimenten und elektrischen Beleuchtungskörpern vorgestellt. Die Größe der verwendeten Dynamomaschinen entsprach etwa einem Kubikmeter, bei rund einer Tonne Gewicht.³⁷

Am 3. Juni kam es unter Anwesenheit von Kaiser Franz Joseph zur ersten elektrischen Kraftübertragung: Direktor Hippolyte Fontaine ließ zwei seiner Gramme-Stromgeneratoren an einen Gasmotor von Étienne Lenoir koppeln. Der erzeugte Strom wurde über ein längeres Stromkabel zu einem etwas kleineren Gramme-Generator geleitet. Dieser wurde durch den zugeführten Strom zum Elektromotor und betrieb die Wasserpumpe eines großen Springbrunnens.³⁸

Mit den Induktionsmaschinen der neuesten Generation konnte Strom nun kostengünstig erzeugt werden. Er sollte vor allem für industrielle Zwecke Verwendung finden. Eine Nutzungsausweitung auf Beleuchtung oder Haushalt war in den 1870er Jahren noch nicht vorgesehen.³⁹

3.3 Der Elektromotor

Eng mit der elektromagnetischen Induktion und dem daraus resultierenden elektrischen Generator hängt die Entwicklung des Elektromotors zusammen. Der Aufbau eines Elektromotors unterscheidet sich kaum vom Stromgenerator. Wird ein Dynamo unter Spannung gesetzt, wirkt er als Elektromotor und umgekehrt. Während einerseits der Dynamo Bewegungsenergie in elektrische Kraft umwandelt, kann andererseits ein Elektromotor vorhandene elektrische Kraft in Bewegung umsetzen.⁴⁰

³⁷ Fontaine, magnet-elektrische Maschinen, 261.

³⁸ Anonym, Die Kraftübertragungen auf der elektrischen Ausstellung in Wien 1883. In: Dingers Polytechnisches Journal, Bd. 250 (1883) 470.

³⁹ Fett, Krämer, Weiner, Die Geschichte der Galvanotechnik, 33f.

⁴⁰ Seitel, Siegeslauf der Technik, Bd. 1, 275f.

Doch bevor eine technische Nutzung von Elektromotoren möglich war, mussten zahlreiche Versuche zu einer zweckmäßigen Lösung zusammengefügt werden. Zu Beginn der 1820er Jahre entwickelte der britische Physiker Peter Barlow einen nach ihm benannten Vorgänger des Elektromotors. Beim „Barlow-Rad“ rotierte ein sternförmiges Metallrad über einen Elektromagneten. Die Bewegungskraft war aber zu schwach, um sie kommerziell nutzen zu können. Das gleiche galt für elektromagnetische Wippen. Auch sie erfüllten aufgrund ihrer geringen Antriebsleistung nicht den gewünschten Zweck.

Eine Nutzbarmachung der elektromagnetischen Bewegung gelang dem Physiker und Ingenieur Moritz Hermann von Jacobi. Er entwickelte 1834 einen Elektromotor, der mit Gleichstrom betrieben wurde. Die Konstruktion wirkte noch sehr einfach, allerdings drehte sich der Motor bereits nach dem Stromrichtungswechsel-Prinzip. Dieses Prinzip wurde durch den von Jacobi entwickelten Kommutator ermöglicht. Er wechselte die Stromfrequenz für die auf einer rotierenden Holzscheibe montierten Elektromagnete. Diese wiederum wirkten auf fest montierte Elektromagnete. Als eine der ersten praktischen Anwendung setzte Jacobi seinen Motor 1838 in St. Petersburg für den Antrieb eines Boots auf der Newa ein. Der bis zu 185 Watt starke Motor wurde an zwei jeweils links und rechts montierte Schaufelräder des Bootes gekoppelt. Ein Jahr später konnte Jacobi die Motorleistung bereits um das bis zu Vierfache steigern. Die Motorleistung lag bei diesen Versuchsfahrten bei über 700 Watt.⁴¹

3.4 Der Beginn der elektrischen Starkstromtechnik

Ende der 1870er Jahre setzte in der Elektrotechnik eine neue Ära ein. 1879 begann nicht nur Siemens mit der Konstruktion einer ersten elektrischen Lokomotive, in diesem Jahr fanden auch zahlreiche Versuche der elektrischen Kraftübertragung über weitere Strecken statt. 1881 gelang dem Franzosen Marcel Depréz auf einem Internationalen Elektrotechnikkongress in Paris eine erste öffentliche Stromübertragung über eine längere Strecke. Er übertrug elf Kilowatt

⁴¹ Peer *Hempel*, Deutschsprachige Physiker in alten St. Petersburg, Georg Parrot, Emil Lenz und Moritz Jacobi im Kontext von Wissenschaft und Politik. Schriften des Bundesinstituts für ostdeutsche Kultur und Geschichte, Bd. 14 (München 1999) 172f.

starken Strom auf normalen, vier Millimeter dicken Telegrafendrähten. Der Versuch über eine Strecke von 50 Kilometern wurde ein Jahr später mit einer Kabellänge von 57 Kilometern im Raum München wiederholt. Depréz setzte auf 1.300 Volt starken Gleichstrom.⁴²

Mitte der 1880er Jahre erreichte der Elektrotechniker Hippolyte Fontaine bei seinen Versuchen bereits einen Nutzeffekt von 50 Prozent. Den Durchbruch erzielte die elektrische Kraftübertragung auf langen Strecken jedoch erst mit Verwendung von Wechselstrommaschinen. Im Gegensatz zu Gleichstrom kann dieser transformiert und dadurch auf kostengünstigeren Überlandleitungen transportiert werden. Wie die Versuche von Depréz zeigten, musste der Gleichstrom mit einer Spannung von mehreren tausend Volt von einem Generator erzeugt werden, um ihn für lange Leitungsübertragungen nutzbar zu machen. Strom mit einer derart großen Spannung zu erzeugen, stößt an die Leistungsgrenzen der Generatoren. Die Transformation bei Wechselstrom ermöglicht es hingegen, den erzeugten Strom auf eine sehr hohe Voltanzahl hochzuspannen, bei einer vergleichsweise niedrigen Amperezahl. Dadurch kann der Wechselstrom auf einem Kabel mit relativ geringem Durchmesser auf langen Strecken befördert werden.⁴³ Am Zielort angelangt, wird der Wechselstrom wieder auf seine ursprüngliche Spannung zurücktransformiert.

Mit der Entwicklung des Wechselstromgenerators und der Konstruktion eines geeigneten Induktionsmotors konnten nach Jahrzehnten wichtige Probleme der elektrischen Kraftübertragung gelöst werden. Im August 1891 wurde im Rahmen eines Internationalen Elektrotechnikkongresses in Frankfurt am Main die weltweit erste Hochspannungsübertragung mit Wechselstrom demonstriert.⁴⁴

Über eine Distanz von 175 Kilometern wurde Drehstrom aus Wasserkraft von Lauffen am Neckar nach Frankfurt transportiert.⁴⁵ Mit dem Zusammenspiel von Dynamomaschine und Transformatorentchnik konnte nun jede gewünschte

⁴² Seitel, Siegeslauf der Technik, Bd. 1, 152.

⁴³ Seitel, Siegeslauf der Technik, Bd. 1, 153.

⁴⁴ Seitel, Siegeslauf der Technik, Bd. 1, 154.

⁴⁵ Roland Schwarz, Aluminium für die Elektrotechnik. Wirtschaftliche und politische Bedingungen einer Werkstoffinnovation zu Beginn des 20. Jahrhunderts. In: Technikgeschichte, Bd. 60 (1993) 111.

Spannung und Stromstärke erzeugt, auf eine längere Überlandleitung transportiert und schließlich für Beleuchtungs- oder Kraftzwecke verwendet werden.⁴⁶

Um Drehkraft auf eine Dynamomaschine übertragen zu können, wurde zu Beginn auf die Dampfmaschine gesetzt. Diese Art der Stromerzeugung war jedoch bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts nicht unumstritten: Einerseits wurde der Abbau der Kohle in den Lagerstätten immer teurer, andererseits lag der Wirkungsgrad bei Erzeugung von Strom durch eine Dampfmaschine nur bei zwölf Prozent. Dieser schlechte Wert beruht auf dem großen Wärmeverlust, der bei den einzelnen Stationen der Dampfmaschine entsteht, und auf der Reibung der Maschinenteile.⁴⁷

Eine Alternative zur Dampfmaschine wurde mit der Wasserkraft gefunden. Der Strom konnte damit nicht nur kostengünstiger gewonnen, sondern auch in Regionen produziert werden, in denen es kaum Kohle gab oder ihr Import mit hohen Kosten verbunden war. Die Industrie bezeichnete das Wasser bereits als „weiße Kohle“ und sah mit seiner Nutzung den Beginn der „dritten Periode“ der industriellen Entwicklung. Italien mit seinen geringen fossilen Rohstoffvorkommen, war eines der ersten Länder, das auf die Wasserkraft setzte. In Europa folgten Länder wie Schweden, Norwegen und in Österreich Regionen in Tirol und der Steiermark. Um 1908 wurde die jährliche Ersparnis von Kohle durch Wasserkraft in der Stromerzeugung auf elf Millionen Tonnen geschätzt.⁴⁸

Ein Beispiel aus Übersee liefern die Niagarafälle: Wilhelm Siemens berechnete 1877 die mögliche Strommenge, die aus den Wassermassen zwischen den Staatsgrenzen von Kanada und den USA zu gewinnen war. Er nannte die Zahl von rund 12,5 Gigawatt, die zusammen eine jährliche Kohleneinsparung von rund 260 Millionen Tonnen ergeben würden.⁴⁹ Tatsächlich wurden zu Beginn des 20. Jahrhunderts aus den Wasserkraften der Niagarafälle etwa 220 Megawatt Strom gewonnen. Der Schätzwert, den Siemens für die maximale Stromausbeute genannt hatte, wurde drei Jahrzehnte später auf 25 Gigawatt verdoppelt. Aufgrund der Nutzung entstand rund um die Niagarafälle eine ganze In-

⁴⁶ Seitel, Siegeslauf der Technik, Bd. 1, 282.

⁴⁷ Seitel, Siegeslauf der Technik, Bd. 1, 139f.

⁴⁸ Seitel, Siegeslauf der Technik, Bd. 1, 282.

⁴⁹ Muyden, Frauberger, Die Erfindungen der neuesten Zeit, 195.

dustriestadt. Obwohl der Umweltaspekt zu dieser Zeit noch kaum eine Rolle spielte, wurde in diesem Zusammenhang bereits von „Sauberkeit und Reinlichkeit“ der Stromerzeugung durch Wasser gesprochen. Bei den Niagarafällen trat ein radikaler Wandel ein: Die rauchenden Schornsteine und lauten Dampfmaschinen, wie sie in anderen Industriegebieten noch die Norm bildeten, wurden durch leise Dynamomaschinen und Elektromotoren ersetzt.⁵⁰ Speziell das 1895 an den Wasserfällen errichtete Aluminiumwerk konnte von den starken Strömen profitieren. Auch in der Schweiz lieferte ein Wasserkraftwerk am Rheinfall bei Neuhausen den Strom für ein seit 1888 produzierendes Aluminiumwerk.⁵¹ Das erste Flusskraftwerk Europas entstand Ende des 19. Jahrhunderts am Rhein bei Rheinfelden im deutschen Baden nahe der Schweizer Grenze. Es bildete den Ausgangspunkt für zahlreiche Unternehmensgründungen: Auf ehemaligem Ackerland wurden die „Elektrochemischen Werke Rheinfelden“, die „Chemische Fabrik Elektron“, die „Aluminiumfabrik Rheinfelden“ sowie eine Natriumfabrik der „Deutschen Gold- und Silberscheideanstalt“ errichtet. Direkt am Gelände entstanden Wohnbauten für die Arbeiterschaft. Auf Schweizer Seite gingen zahlreiche Maschinenfabriken in Betrieb, die mit dem Strom des Rheinfeldener Kraftwerks gespeist wurden. Diesen verwendete man einerseits für Beleuchtungsanlagen und andererseits für die elektrische Kraftübertragung. Durch die Errichtung des Kraftwerks entwickelte sich das Gebiet am Oberrhein zu einer bedeutenden Industrieregion.⁵² In nördlicheren Ländern Deutschlands galt weiterhin die Kohle als primäre Energieform. Trotz der großen Kohlevorkommen im Ruhrgebiet entstand 1905 die Urfttalsperre. Dabei handelte es sich um ein Kraftwerk mit Staumauer, das die Wasserkräfte der Urft für die Stromerzeugung nutzte.⁵³ Außerdem plante eine Hamburger Gesellschaft bei Cuxhaven im heutigen Niedersachsen bereits

⁵⁰ Seitel, Siegeslauf der Technik, Bd. 1, 145.

⁵¹ Schwarz, Aluminium für die Elektrotechnik, 110.

⁵² Anonym, Die Ausbreitung der Grossindustrie am Oberrhein. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 312 (1899) 48.

⁵³ Seitel, Siegeslauf der Technik, Bd. 1, 147.

Anfang des 20. Jahrhunderts, die Kraft von Ebbe und Flut in Elektrizität zu verwandeln. Diese Art der Stromerzeugung wurde als möglicher Ersatz für die Zeit nach der Erschöpfung der Kohle gesehen.⁵⁴

Auch in Österreich gab es frühe Überlegungen einer Nutzung der Wasserkraft für die Stromerzeugung. Der Wiener Ingenieur Josef Popper soll in diesem Zusammenhang bereits im November 1862 ein Schreiben an die Wiener Akademie der Wissenschaften geschickt haben. Er verwies darin auf die „Naturmotoren“, die mit Ebbe und Flut oder in Form von Wasserfällen in den Gebirgsregionen vorhanden seien. Auch die starken Winde sollten für den Antrieb von „magnetelektrischen Maschinen“ genutzt werden. Der erzeugte Strom könnte dann über Telegrafenleitungen vom Berg ins Tal befördert werden. Anschließend sollte der Strom für die Elektrochemie oder für den Antrieb von Elektromotoren zur Verwendung kommen.⁵⁵

4 Die Elektrizität im Bergbau

Bis Mitte des 17. Jahrhunderts waren „Schlägel“ und „Eisen“ die typischen Werkzeuge für den Grundstoffabbau des Bergmanns. Bis heute werden diese beiden Werkzeuge als stilisierte Symbole für den Bergbau verwendet. Um 1627 wurde erstmals Schwarzpulver für das Heraussprengen des erzhaltigen Materials aus dem Felsen eingesetzt. Das immer wiederkehrende Problem des Wassereintruchs ins Stollensystem konnte ein Jahrhundert später in England mit den ersten Dampfmaschinen vermindert werden. Diese wurden für das Herauspumpen des Wassers eingesetzt. Der hohe Kohleverbrauch war aufgrund der großen verfügbaren Mengen vorerst zweitrangig. Mit dieser Methode war es möglich, immer tiefere Vorkommen zu erschließen. Steinkohle wurde in den frühindustrialisierten Gebieten immer wichtiger, da Holz als primärer Brennstoff ein knappes Gut war.⁵⁶

⁵⁴ Seitel, Siegeslauf der Technik, Bd. 1, 146.

⁵⁵ Anonym, Kraftübertragungen, 470.

⁵⁶ Seitel, Siegeslauf der Technik, Bd. 1, 316.

Von der Erfindung der „Volta Säule“ und den daraus resultierenden Weiterentwicklungen konnte auch der Bergbau profitieren. Zunächst blieb er seinen alten Traditionen treu, mit der Zeit wurde er aber durch den Einsatz der Elektrizität revolutioniert.⁵⁷

4.1 Suche nach Rohstoffen mit Elektrizität

Das Aufspüren von Rohstoffvorkommen bildete einen der ersten elektrischen Anwendungsbereiche im Bergbau. Das traditionelle Benutzen von Wünschelruten für die Suche nach Grundstoffen wurde ab der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts durch die effizientere Methode des elektrischen Messens ergänzt. Als Messinstrumente dienten zwei Metallstäbe, die in einem bestimmten Abstand in den Boden versenkt wurden. Diese Stäbe wurden mit galvanischen Elementen verbunden und der erzeugte Widerstand durch Messinstrumente ermittelt. War der Widerstand der elektrischen Wellen gering, konnten die Bergleute davon ausgehen, dass die Erdschichten ausreichend Metalle verbargen.⁵⁸

4.2 Elektrische Lampen und Beleuchtungsanlagen

Auch der Sicherheitsaspekt war für den Einsatz der Elektrizität im Bergbau von Bedeutung: Eine der größten Gefahren im Untertagebau war die Bildung von Gasen und die daraus resultierende Explosionsgefahr bei der Verwendung offener Lichtquellen. Sie wurde verringert durch die Errichtung von Lüftungsanlagen in den Stollen und durch die vom englischen Physiker Humphry Davy entwickelte Sicherheitslampe.⁵⁹

4.2.1 Die elektrische Grubenlampe von Alphonse Dumas und Camille Benoît

Für Rettungseinsätze in Bergwerken entwickelten der französische Bergwerksdirektor Alphonse Dumas und der Arzt Camille Benoît Anfang der 1860er Jahre

⁵⁷ Seitel, Siegeslauf der Technik, Bd. 1, 317f.

⁵⁸ Seitel, Siegeslauf der Technik, Bd. 1, 320.

⁵⁹ Seitel, Siegeslauf der Technik, Bd. 1, 321.

einen elektrischen Beleuchtungsapparat. Diese Lampe beruhte auf einer von Heinrich Geißler 1854 erfundenen Glasröhre, einer Induktionsspule von Heinrich Rühmkorff und einer Bunsen-Batterie als Energiequelle.⁶⁰ Die Batterie und die Induktionsspule wurden in einer wasserdichten Ledertasche verstaut, die um die Schultern getragen werden konnte. Die Geißlerröhre wurde in einem Glaszylinder eingeschlossen und durch ein Gehäuse aus Kupferblech und Kautschuk geschützt. Die Glasröhre war an der Tasche des Bergmanns befestigt und sorgte für eine sichere Fahrt ins Stollensystem. Die zugeführte Spannung der Batterie ließ sich durch einen montierten Knopf an der Tasche regulieren. Die während des Betriebs angesammelten Gase der Batterie konnten durch einen aus der Tasche geleiteten dünnen Lüftungsstab entweichen. Der ganze Leuchtapparat wog fünfeinhalb Kilo. Trotz der empfindlichen Komponenten war die Lampe von Dumas und Benoît solide konstruiert und konnte somit von jedem Bergmann bedient werden.⁶¹

Diese elektrische Bergwerkslampe wurde 1862 durch den französischen Bergbauingenieur Jean Adolphe Alphonse Parran in den südfranzösischen Steinkohlegruben von Alès getestet. Er beschrieb das Licht als „lebhaft fluoreszierend“ und mit jenem einer damals üblichen Sicherheitslampe vergleichbar. Der Apparat sei leicht zu tragen und an allen Orten des Bergwerks verwendbar. Die Batterie war erst nach zwölf Stunden zu tauschen und die Kosten der Lampe bereits mit jenen von konventionellen Sicherheitslampen vergleichbar. Außerdem sei die Lampe aufgrund ihrer Unabhängigkeit von Sauerstoff bei der Bergung von verunglückten Bergleuten besser geeignet als die bisher verwendeten Lampen. Für etliche Sicherheitslampen konnte die starke Zugluft der Belüftungsanlagen im Stollen zum Problem werden und damit Rettungsmaßnahmen enorm erschweren.

Mit der neuartigen elektrischen Grubenlampe sollte es nach Parrans Vorstellung möglich sein, Rettungsarbeiten, die zuvor noch Tage andauerten, in wenigen Minuten erfolgreich abzuschließen. Die Bergleute der Steinkohlegrube in Alès beurteilten die Lampe von Dumas und Benoît durchwegs positiv. Aller-

⁶⁰ *Anonym*, Über die elektrische Lampe von Dumas und Benoit und ihre Anwendung zum Wegthun der Sprengschüsse beim Bergbau. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 176 (1865) 201f.

⁶¹ *Anonym*, Lampe von Dumas und Benoit, 205f.

dings merkten sie an, dass sie das elektrische Licht im Stollen nicht vor unerwartet austretenden Gasen warnen konnte. Bei den bisher verwendeten Sicherheitslampen veränderten sich Licht und Form der Flamme, sobald sich Gas in der Grubenatmosphäre bildeten. Als Gegenmaßnahmen mussten daher bei der Verwendung von elektrischen Grubenlampen zusätzliche Apparate zur Messung der Umgebungsluft mitgeführt werden.⁶²

4.2.2 Elektrische Grubenbeleuchtung am Beispiel des Mechernicher Bergwerks

Aus der Idee für den Einsatz elektrischer Grubenlampen entwickelten sich ganze Beleuchtungsanlagen für den Bergbau. Ein Beispiel dafür liefert der Grubenbetrieb des ehemaligen „Mechernicher Bergwerk-Aktien-Vereins“ im südlichen Nordrhein-Westfalen. Neben günstigeren Betriebskosten und der zu erwartenden Produktionssteigerung war es der Sicherheitsaspekt, der den damaligen Generaldirektor Friedrich Wilhelm Hupertz zu einer Umrüstung bewog. Im Dezember 1881 wurde mit der Installierung der Beleuchtungsanlage begonnen. Hergestellt wurden die Lampen und Kabeln von Siemens und Halske. Mit der Montage wurde die Düsseldorfer Firma Boeddinghaus beauftragt. Es sollten aber nicht nur der Untertagebau elektrisch beleuchtet, sondern auch ein Abbau über Tage, während der Nachtzeiten, mit Elektrolampen ermöglicht werden. Die Arbeitseinteilung sah die Gesteinssprengung für die Tagesschicht und den anschließenden Abtransport für die Nachtschicht vor. Die benötigten Lampen wurden in einer sicheren Entfernung zur Grube auf Laternenmasten positioniert. Hätte man die elektrische Beleuchtung zu nah am Abbauort aufgestellt, wäre sie möglicherweise durch die Sprengladungen beschädigt worden. Um eine ausreichende Beleuchtung für den nächtlichen Abtransport zu gewährleisten, wurde das Licht der Lampen mit speziellen Spiegeln gebündelt. Jede dieser Lampen erreichte eine Lichtstärke von 3.000 Normalkerzen.⁶³ Das würde nach heutigem Stand etwa 23 Stück 100 Watt-Glühlampen entsprechen.⁶⁴

⁶² *Anonym*, Lampe von Dumas und Benoit, 205f.

⁶³ *Anonym*, Ueber die elektrische Beleuchtung der Mechernicher Gruben. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 253 (1884) 42.

⁶⁴ URL:http://www.siemens.com/history/pool/beteiligte_unternehmen/aktive_beteiligungen/902k004de_100jahre_osram.pdf (16.10.2012).

Um einen plötzlichen Lichtverlust zu vermeiden, wurde jeder Lampenmast mit zwei Beleuchtungskörpern ausgestattet. Musste man bei einer Lampe die abgebrannte Kohlenspitze ersetzen, konnte die zweite Lampe ohne Probleme zugeschaltet werden. Damit wurde den Bergleuten und ihren Arbeitspferden eine konstante Lichtstärke garantiert. Für die Stromversorgung der Reflektorlampen installierten die Betreiber zwei dampfbetriebene Dynamomaschinen. Ein drittes Aggregat überbrückte mögliche Wartungsarbeiten. So konnte eine dauerhafte Beleuchtung stattfinden.⁶⁵ Nach einer mehrmonatigen Betriebsphase stellten die Bergwerksbetreiber fest, dass die Unfallquote durch den Einsatz der elektrischen Beleuchtung stetig sank. Einerseits erhielten die Bergleute bessere Sicht, andererseits wurde es dem Sicherheitspersonal jetzt möglich, die Bergleute bei der nächtlichen Arbeit besser zu kontrollieren. Weiterhin bereitete der Tiefnebel. Speziell in der Nacht konnten ihn die Lampen trotz hoher Strahlkraft nur bedingt durchdringen.

Die Betreiber zeigten sich aber von der neuen Beleuchtungsanlage für ihren Tagebau hoch zufrieden. Siemens und Halske sowie Boeddinghaus stellten der Mechernicher Erzgrube 11.000 Mark⁶⁶ in Rechnung. Eingerechnet wurden neben den Beleuchtungskörpern Dampfmaschine, Dynamomaschinen und die gesamte Verkabelung. Vor der Nutzung des elektrischen Lichts in der Mechernicher Grube hatten 89 Erdöllampen und bis zu 15 Öllaternen für die Beleuchtung der Anlage gesorgt. Aufgrund ihrer schlechten Leuchtkraft mussten sie nah am Geschehen positioniert werden. Die Kosten für Brennmittel und Wartung hatten sich auf 2,39 Mark pro Stunde belaufen. Nach der elektrischen Umrüstung senkten sich die stündlichen Kosten auf 1,85 Mark. Neben der wesentlich besseren Lichtqualität für die bis zu 300 Bergmänner und 25 Pferde pro Schicht vergünstigten sich auch die Betriebskosten.

Aufgrund der positiven Erfahrungswerte der neuen Technologie im Tagebau startete die Bergwerksleitung den Versuch, die elektrische Beleuchtung auch für den Untertagebau einzusetzen.⁶⁷ Neben den wirtschaftlichen Vorteilen

⁶⁵ *Anonym*, Mechernicher Grube, 43.

⁶⁶ 1878 verdiente in Deutschland ein Arbeiter pro Monat durchschnittlich 60 Mark.

Anonym, Löhne und Lebensmittel-Preise in Europa und in den Vereinigten Staaten von Amerika. In: Polytechnisches Journal, Bd. 235 (1880) 162f.

⁶⁷ *Anonym*, Mechernicher Grube, 43.

erwarteten sie sich, wie im Tagebau, eine Senkung der Unfallquote. Die Schächte im unterirdischen Stollensystem wurden durch Sprengungen der Felswände ständig erweitert. Nur lose verankertes Gestein konnte mit den zuvor verwendeten Pechfackeln kaum erkannt werden. Es bedeutete für die täglich in drei Schichten arbeitenden Bergmänner und Pferde eine ständige Gefahr. Der Explosionsstaub in der Stollenatmosphäre wirkte verstärkend auf die ohnehin schlechte Sicht. Die ersten Versuche untertage wurden mit einer 3.000-Normalkerzenlampe⁶⁸ unternommen. Sie wurde von einer Gleichstromdynamomaschine gespeist. Das Licht der Lampe wurde auf die Stollendecke gerichtet und versuchsweise Sprengpulver gezündet, um seine Auswirkung auf die Sicht zu untersuchen.⁶⁹ Das Ergebnis der Versuchsreihe führte schließlich 1883 zur Installierung von zehn je 350 Normalkerzen starken Kohlelampen.⁷⁰ Für die nötige Energie sorgte ein Wechselstrom-Dynamo, den man an die Dampfmaschine der Wasserpumpe im zentralen Krafthaus koppelte. Das Stromkabel wurde in den 90 Meter tiefen Schacht geleitet und mit einem gummiisolierten Bleikabel verbunden. Diese unterirdischen Kabel mussten während der Sprengarbeiten teilweise entfernt werden, um Beschädigungen zu vermeiden. Die Verzweigungen der Erdkabel erreichten eine Länge von bis zu 3.000 Meter.⁷¹

4.3 Elektrisches Zünden von Sprengladungen

Auch das Zünden von Sprengpulver zählte zu den ersten elektrischen Anwendungen im Bergbau. Ein galvanisches Element wird dabei mit einem dünnen Eisendraht kurzgeschlossen. Der Eisendraht beginnt zu glühen und zündet direkt das Pulver. In einigen Bergwerken im südfranzösischen Département Gard

⁶⁸ 3.000 Normalkerzenlampen entsprachen dem heutigen Gebrauch von 23 Stück 100 Watt-Glühlampen.

URL:http://www.siemens.com/history/pool/beteiligte_unternehmen/aktive_beteiligungen/902k004de_100jahre_osram.pdf (16.10.2012).

⁶⁹ Anonym, Mechnischer Grube, 44.

⁷⁰ 350 Normalkerzen entsprechen der Leistung von drei 90 Watt Glühlampen

URL:http://www.siemens.com/history/pool/beteiligte_unternehmen/aktive_beteiligungen/902k004de_100jahre_osram.pdf (16.10.2012).

⁷¹ Anonym, Mechnischer Grube, 44f.

wurde diese Methode für die Schachtausweitung bereits zu Beginn der 1850er Jahre praktiziert.

Wie bei der wenige Jahre später verwendeten elektrischen Grubenlampe, spielte Alphonse Dumas bei dieser Nutzung eine wichtige Rolle. Für die elektrischen Zündungen verwendeten die Bergbauingenieure mehrere zu einer Batterie zusammengeschlossene Bunsen-Elemente. Wie bereits bei der elektrischen Lampe, konnte auch bei der elektrischen Sprengung die Sicherheit im Stollen verbessert werden: Musste der Schwefelfaden zuvor noch im Schacht angezündet werden, so konnten sich die Bergmänner bei der elektrischen Zündung nun ohne Gefahr in Sicherheit bringen. Das Verglühen des Zünddrahtes erfolgte erst nach Ertönen eines Signals.⁷²

Das von Alphonse Dumas und dem damaligen Bergbauingenieur des Bergwerks Lac im Département Ardèche in die Wege geleitete elektrische Zündverfahren hätte ohne die Verwendung eines Induktionsapparates vermutlich keinen langfristigen Erfolg erzielt. Die Sprengung mit Batterien war oft zu kompliziert, und diese Zündmethode wäre wohl nur im Versuchsstadium geblieben. 1855 stellte Heinrich Daniel Rühmkorff einen Induktionsapparat vor, mit dem er das Sprengpulver präzise zünden konnte. Für diese Sprengmethode waren nicht wie bei Dumas schwere Batterien notwendig, sondern lediglich eine kleine Spule und ein leichtes galvanisches Element. Auch der eigentliche Pulverzünder stellte im Vergleich zum einfachen Metallfaden von Dumas eine qualitative Verbesserung dar.⁷³

Die experimentelle elektrische Zündung von Sprengpulver wurde in den 1850er Jahren nicht nur in Bergwerken, sondern zeitgleich auch im militärischen Sektor praktiziert. In Österreich setzte die Armee etwa ab 1853 Elektrisiermaschinen zum Zünden von Minen ein. Diese Apparate bestanden in der Regel aus zwei Scheiben und einer Leidener Flasche, einer vereinfachten Variante des Kondensators.⁷⁴ Je nach Größe konnte mit einer Elektrisiermaschine eine Patrone aus mehreren Kilometern Distanz gezündet werden. Sie war also für diese

⁷² *Anonym*, Über die elektrische Lampe von Dumas und Benoit und ihre Anwendung zum Wegthun der Sprengschüsse beim Bergbau. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 176 (1865) 210.

⁷³ *Anonym*, Lampe von Dumas und Benoit und ihre Anwendung, 210.

⁷⁴ Carl Kuhn, Ueber die Benützung von elektrischen und Volta'schen Apparaten zum Zünden von Sprengladungen und Minenöfen. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 146 (1857) 35.

Zwecke vollkommen ausreichend. Aufgrund ihrer schwachen Leistung konnten diese Apparate jedoch nicht in anderen Bereichen eingesetzt werden.

Der Nachteil der eingesetzten mobilen Elektrisiermaschinen lag in ihrer Größe: Selbst die kleinsten Apparate waren um einiges größer als die handlicheren elektro-magnetischen Induktionsapparate. Diese wurden mit einer kleineren Batterie versorgt und in einem etwa 30 mal 20 cm großen Holzkasten verstaut.⁷⁵ Bei der Zündung von Minen und bei Felssprengungen wurde die Anzahl und Größe der Voltaschen Batterie auf die Sprengdistanz abgestimmt. Die Menge der gleichzeitig zu sprengenden Ladungen musste ebenfalls auf die Leistung der Batterie ausgerichtet werden.⁷⁶

Auch beim Bau der Semmeringbahn in den 1840er Jahren kam es zur Anwendung elektrischer Sprengungen: Der Wiener Mechaniker Karl Winter verwendete für die Felsfreilegung auf einem rund fünf Kilometer langen Streckenabschnitts eine Elektrisiermaschine.⁷⁷

4.4 Elektrische Wasserpumpstationen

Ende des 19. Jahrhunderts bestand eine industrialisierte Bergwerksanlage typischerweise aus einer Baracke, in der das Büro und die Personalräume untergebracht waren, sowie aus einem hohen Eisenturm. Diese von außen sichtbaren Türme bildeten die Grundlage für eine gut funktionierende Seilförderung. Mit ihr konnten Bergleute samt Werkzeug und das abgebaute Material auf dem schnellsten Wege in den oder aus dem Berg gebracht werden. Förderanlagen im Bergbau, die zuvor noch von tierischer Muskelkraft oder Dampfkraft betrieben wurden, erhielten mit dem Elektromotor eine weitere Antriebsart. Diese elektrische Nutzung wird im Kapitel Elektrische Förderanlagen noch näher beschrieben. Auch die für den Bergbau notwendigen Wasserpumpstationen wurden bereits alternativ zum Dampfbetrieb elektrisch betrieben.⁷⁸

Die Wassereinbrüche stellten für den Bergbau immer wieder ein Problem dar.

⁷⁵ Kuhn, Volta'sche Apparate zum Zünden, 35,37.

⁷⁶ Carl Kuhn, Ueber die Benützung von elektrischen und Volta'schen Apparaten zum Zünden von Sprengladungen und Minenöfen. In: Dingers Polytechnisches Journal, Bd. 145 (1857) 353.

⁷⁷ Albrecht, Geschichte der Elektrizität, 126.

⁷⁸ Seitel, Siegeslauf der Technik, Bd. 1, 328f.

Um einen sicheren und wirtschaftlichen Abbau betreiben zu können, muss der Wasserspiegel im Stollensystem auf einen geeigneten Stand gebracht werden. In der Stadt Eisleben in Thüringen musste sogar der Oberröblinger See ausgepumpt werden.

Erderschütterungen in den 1890er Jahren verschärften das Problem des eindringenden Wassers. Es waren bereits Wasserhebemaschinen mit einer Gesamtleistung von etwa 200 Kubikmetern pro Minute im Einsatz. Aufgrund des hohen Salzgehalts des Stollenwassers wurden die Rohrleitungen aus Bronze gefertigt. Ein Teil dieser Hebepumpen wurde bereits mit Elektromotoren betrieben. Für die Erzeugung des nötigen Stroms wurden „Körtingsche Viertaktmotoren“ und „Oechelhäuser Motoren“ verwendet. Die angekuppelten Dynamomaschinen lieferten 3.000 Volt Drehstrom.⁷⁹

Um die Effizienz des elektrischen Betriebs in den Bergwerken zu steigern, wurden neben den Wasserpumpen weitere Anlagen auf elektrische Nutzung umgerüstet. Förderanlagen, Grubenbahnen und Beleuchtungsanlagen wurden von einer zentralen Kraftstation mit Strom versorgt. In diesen Stationen setzten Dampf- oder Verbrennungsmaschinen den Dynamo in Bewegung. Trotz einiger Vorreiter in der Nutzung von Elektrizität in Bergwerken bildete die Dampfkraft bis Ende des 19. Jahrhunderts den primären Antrieb.⁸⁰

Bis zur Nutzung von modernen Dampf- oder Elektropumpen wurde der Wasserspiegel im Stollen bis in die 1880er Jahre in vielen Fällen mit Newcomen-schen Dampfmaschinen gesenkt. Aufgrund ihres hohen Kohlebedarfs wurden sie immer teurer im Betrieb. Der Preisanstieg von Kohle zwang die Bergwerksbetreiber, auf wirtschaftlichere Pumpmethoden zu setzen. Der Eschweiler Bergwerks-Verein setzte Ende des 19. Jahrhunderts für seine Zeche Nothberg Zwillingsverbundpumpmaschinen ein, die mit einer Gesamtleistung von 10.000 Litern pro Minute die antiquierten „Schwingebalken-Maschinen“ ersetzten.⁸¹ Die neuen Pumpanlagen bedeuteten bereits einen großen Fortschritt für den Bergbau. Trotz guter Erfolge in ihren Einsatzgebieten standen sie zu einem

⁷⁹ A. Mieth (Hg.), Die Technik im zwanzigsten Jahrhundert. Die Verarbeitung der Rohstoffe, Bd. 1 (Braunschweig 1911) 224.

⁸⁰ Anonym, Die Bergwerks- und Hüttenmaschinen auf der Düsseldorfer Ausstellung. In: Dingers Polytechnisches Journal, Bd. 317 (1912) 312.

⁸¹ Anonym, Düsseldorfer Ausstellung, 506.

späteren Zeitpunkt mit den elektrischen Pumpanlagen in Konkurrenz. Um weiterhin Bestellungen in ihren Auftragsbüchern verbuchen zu können, versuchten die Produzenten dampfbetriebener Pumpen, den elektrischen Antrieb als nicht zweckmäßig darzustellen. Sie argumentierten mit den langjährigen positiven Erfahrungswerten ihrer großen Dampfanlagen.

Bei einer Ausstellung in Düsseldorf 1902 zeigte die 1873 gegründete Maschinenfirma Haniel und Lueg eine dieser großen Dampfwasserhaltungsmaschinen.⁸² Die Produktion von Maschinen war nur eines der Standbeine dieses Düsseldorfer Unternehmens. Unter dem Firmennamen wurden ferner Eisen- und Rohrgießereien sowie Stahl-, Hammer- und Presswerke mit rund 2.000 Beschäftigten betrieben. Neben den Wasserpumpen erzeugten sie zahlreiche Bergwerks- und Hüttenmaschinen.⁸³

Obwohl die Entwicklung von dampfbetriebenen Pumpen bereits einige Jahre zurück lag, zählten die Anlagen von Haniel und Lueg mit einer Pumpmenge von rund 25.000 Litern pro Minute zu den leistungsstärksten ihrer Art. Dabei wurden vier Pumpzylinder mit jeweils rund 100 Liter Förderleistung an eine 3.600 PS starke Verbunddampfmaschine gekoppelt. Ausgestattet mit einem 6,6-Meter - Schwungrad, konnte die Pumpe das Stollenwasser ohne Probleme über eine Schachthöhe von 500 Metern an die Oberfläche befördern.⁸⁴ Neben dieser dampfbetriebenen Pumpe stellten Haniel und Lueg auch elektrische Pumpen her. Eine dieser Maschinen wurde in der Steinkohlenzeche Rheinpreußen bei Duisburg eingesetzt. Sie konnte bei einer Leistung von rund 400 Kilowatt pro Minute 5.500 Liter Wasser über eine Schachthöhe von 450 Meter fördern. Wie bei der Nutzung von Elektrizität im Bergbau üblich, wurde der Strom in einem zentralen Krafthaus erzeugt. Der 2.000 Volt-Drehstrom wurde über zwei Kabel in den Stollen geleitet und versorgte den Elektromotor der Pumpe mit rund 480 Kilowatt. Haniel und Lueg verwendeten als Antrieb für die Anlage in Rheinpreußen Elektromotoren der Frankfurter EAG (Elektrizitäts-Aktiengesellschaft vormals W. Lahmeyer & Co). Der Aufbau dieser elektrischen Anlage glich jenem einer Dampfmaschine: Der Elektromotor bildete gleichzeitig das Schwungrad

⁸² *Anonym*, Düsseldorfer Ausstellung, 507.

⁸³ *Anonym*, Düsseldorfer Ausstellung, 510.

⁸⁴ *Anonym*, Düsseldorfer Ausstellung, 507f.

der Pumpe. Die beiden Pleuelstangen und ihre Pumpzylinderköpfe wurden jeweils links und rechts an der Achse des Motors montiert. Ähnlich der Dampf-pumpe desselben Herstellers wurden die Pumpkolben mit 60 Umdrehungen pro Minute bewegt. Trotz des höheren Kaufpreises im Vergleich zu einer Schnell-pumpe wurde eine große, langsam arbeitende Pumpanlage von den Betreibern als zuverlässiger eingestuft.⁸⁵

Die Inbetriebnahme der elektrischen Zwillings-Differentialpumpe erfolgte durch eine spezielle Anlassvorrichtung. Sie setzte die Maschine durch den vorhandenen Steigleitungsdruck in Bewegung. Noch bevor Strom vom Krafthaus in den Motor floss, bewegte sich das große Magnetschwungrad bereits mit 15 bis 20 Umdrehungen pro Minute.⁸⁶ Um Kurzschlüsse zu verhindern, wurden die elektrischen Komponenten mit genügend Abstand vom eigentlichen Pumpmechanismus montiert. Verformungen der Gussteile sollten durch Verwendung von hochwertigem Stahl vermieden werden. Die Rohrleitungen wurden speziell abgedichtet, um einen Wassereintritt in die elektrischen Teile zu verhindern. Im Vergleich zu den dampfbetriebenen Pumpen war die Wartung und Bedienung der elektrischen Anlagen einfacher. Die elektrische Wasserhaltung sollte sich deshalb günstiger auf die Gesamtkosten auswirken.

Bereits um die Jahrhundertwände setzten zahlreiche Bergwerksbetreiber elektrische Wasserpumpen von Haniel und Lueg ein. Die Größen der Anlagen variierten je nach Bedarf. Im Kalkwerk von Bernburg im heutigen Sachsen-Anhalt wurde eine 90-Kilowatt-Anlage mit 1.250 Litern Förderleistung pro Minute installiert. Eine weitere Elektropumpe wurde an das Steinkohlebergwerk von Bochum-Wattenscheid geliefert. Sie förderte 7.000 Liter Wasser pro Minute, bei einer Leistung von rund 690 Kilowatt, aus einem 600 Meter-Schacht.⁸⁷

⁸⁵ *Anonym*, Düsseldorf Ausstellung, 509.

⁸⁶ *Anonym*, Düsseldorf Ausstellung, 509.

⁸⁷ *Anonym*, Düsseldorf Ausstellung, 510.

4.5 Elektrische Grubenlokomotiven

Für eine Steinkohlegrube in Zauckerode bei Dresden wurde 1882 erstmals eine von Siemens und Halske gebaute elektrische Grubenlokomotive eingesetzt. Die 700 Meter lange Gleisanlage besaß eine Spurweite von 56,6 cm. Die Lokomotive konnte mit einer Bruttoladung von bis zu zehn Tonnen eine Geschwindigkeit von zwölf Kilometern pro Stunde erreichen. Um einen problemlosen Wendebetrieb zu ermöglichen, wurde die Grubenlokomotive an beiden Enden mit Sitzen ausgestattet. Gespeist wurde sie von einem zentralen Dynamo, dessen erzeugter Strom mittels Kabel direkt in den Stollen geleitet wurde.⁸⁸ Zu einer weiteren frühen Nutzung kam es in Neu-Staßfurt. Im dortigen Salzbergwerk soll bereits 1880 ein elektrischer Bergwerkszug verwendet worden sein.⁸⁹

Ein österreichisches Beispiel findet sich im kärntnerischen Bleiberg. Die dort eingesetzte elektrische Grubenbahn zählte zu den ersten in Österreich. Der Grundgedanke für ihre Errichtung lag wiederum in einer Betriebserleichterung und Betriebsersparnis. Die im Rudolfschacht installierte Bahn führte über eine 1.680 Meter lange Hauptstrecke, die im Laufe der Jahre durch Nebengleise erweitert wurde. Die elektrische Bahn förderte bei einem jährlichen Betrieb von 234 Tagen etwa 52.500 Tonnen pro Jahr. Auf den Schienensträngen wurden täglich 400 Hunte (Förderwagen), die jeweils mit etwa einer halben Tonne Bleigestein beladen waren, zu den Förderschächten gezogen. Vor Inbetriebnahme der Grubenbahn übernahmen sogenannte „Hund-Stösser“ diese Aufgabe. Im Schnitt konnten sie pro Tag 19 Förderwagen zu den Schächten schieben. Diese mühevollen Tätigkeit wurde in vielen Fällen von den oft jungen Grubenmännern bestreikt. Das war einer der Gründe, weshalb sich die Bergwerksleitung zu einem Ersatz durch die Grubenbahn entschloss. Der Inbetriebnahme ging die Installation einer Dampfmaschine 1887 in der Zentralaufbereitung voraus. Diese wurde in weiser Voraussicht auf eine spätere elektrische Nutzung bereits leistungsstärker dimensioniert. Während für die Aufbereitungsanlage 32 PS Leis-

⁸⁸ *Anonym*, Elektrische Grubenbahn. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 247 (1883) 45,46.

⁸⁹ A. *Miethe* (Hg.), Die Technik im zwanzigsten Jahrhundert. Die Verarbeitung der Rohstoffe, Bd. 1 (Braunschweig 1911) 324.

tung erforderlich waren, konnte der Überschuss von acht Pferdestärken mittels Dynamomaschine in Elektrizität umgewandelt werden. Die Budapester Firma Ganz und Co. wurde Ende der 1880er Jahre mit der Installation einer Beleuchtungsanlage sowie mit der Konstruktion der elektrischen Grubenbahn beauftragt.⁹⁰

Zunächst wurde mit der Montage von 30 Glühlichtern und zwei Bogenlampen begonnen. Gegenüber der bis zu diesem Zeitpunkt verwendeten Beleuchtung kam es zu einer Kostenminderung von 1.000 Gulden⁹¹, bei einer gleichzeitigen Verdoppelung der Lichtstärke.

Bei der anschließenden Errichtung der elektrischen Bahn standen die Konstrukteure vor großen Schwierigkeiten: Einerseits war bei der Leitungsinstallation aufgrund der wasserdurchzogenen Schächte höchste Vorsicht geboten, andererseits musste die elektrische Lokomotive den Abmessungen des Stollensystems entsprechen. Der Motorwagen musste aufgrund der Enge schmaler als 70 cm gebaut und die elektrischen Oberleitungen auf einer Höhe von unter 1,70 Metern befestigt werden. Im Gegensatz zu der 1882 in Betrieb genommenen sächsischen Grubenbahn, die eine Spurweite von 56,6 cm aufwies, musste in Bleiberg aus Rücksicht auf die vorhandenen Förderwagen eine Spurweite von 43 cm beibehalten werden. Diese vorgegebenen Bedingungen erschwerten die Ausführung des Projekts.⁹² Um eine möglichst hohe Rentabilität im Bergwerksbetrieb zu erreichen, musste die elektrische Bahn auf die Leistungsfähigkeit der bestehenden Schachtfördermaschine abgestimmt werden. Alle Maschinen waren in Bleiberg auf die tägliche Fördermenge von 224 Tonnen Erzgestein einzustellen.⁹³

Die von Ganz und Co. berechneten 2.000 Watt an Leistungsanforderung für den Triebwagen, wurden auf Kupfer- und Siliziumbronzedrähten vom der Zent-

⁹⁰ *Anonym*, Die elektrische Grubeneisenbahn in Bleiberg. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 287 (1893) 227.

⁹¹ Zum Vergleich: Ein „Hund-Stösser“ verdiente pro Schicht einen Gulden und 20 Neukreuzer. *Anonym*, Grubeneisenbahn Bleiberg, 229.

⁹² *Anonym*, Grubeneisenbahn Bleiberg, 227.

⁹³ *Anonym*, Grubeneisenbahn Bleiberg, 227.

ralaufbereitung übertragen. Der Durchmesser des Oberleitungsdrahtes wurde für einen möglichst niedrigen Spannungsverlust bemessen. Auch der höhere Energiebedarf für das Anfahren der Lokomotive sowie für die Beleuchtung der Stollen musste berücksichtigt werden. Die an den Motor gekoppelte Dynamomaschine war in der Lage, 6.000 Watt zu produzieren. Diese Spannung reichte aus, um die Lokomotive und die Beleuchtungskörper ohne nennenswerten Lichtschwankungen betreiben zu können. Der Dynamo wurde mit 700 Umdrehungen pro Minute betrieben und konnte dadurch ohne Regulator eine konstante Stromspannung abgeben.⁹⁴

Wie beim heute noch gebräuchlichen Haushaltsstrom lag die Spannung der verwendeten Dynamomaschine bei 220 Volt. Die Stromstärke wurde mit 22 Ampere festgelegt. Als Metall für die 95 Meter lange Stromleitung zwischen Stromerzeuger und Bergwerksschacht wurde Kupfer gewählt. Für die Oberleitung der Grubenbahn wählte man hingegen Siliziumbronze. Bei dieser Frage wog die Firma Ganz und Co. zwei Aspekte ab. Einerseits musste der Stromleiter möglichst robust konstruiert sein, andererseits sollte er möglichst wenig Widerstand und somit Spannungsverlust bieten. Kupfer hat den großen Vorteil, dass seine Stromleitfähigkeit sechsmal höher liegt als jene des Schmiedeeisens. Noch schlechter als dieses schneidet Gussstahl ab: Seine Leitfähigkeit liegt um das Zehnfache unter jener des Kupfers. Versuche, die große Stabilität des Stahls mit der guten Leitfähigkeit von Kupfer zu kombinieren, scheiterten aus Kostengründen. Hingegen bot ein Stromkabel aus Siliziumbronze zweierlei Vorteile. Seine Leitfähigkeit war dem Kupfer ebenbürtig und die Zugfestigkeit mit rund 50 Prozent im Vergleich zum Stahl ausreichend.

Bei der Elektrifizierung der Bergwerksanlage in Bleiberg spannte Ganz und Co. zwei blanke sechs Millimeter starke Kupferdrähte zwischen Zentralaufbereitung und dem Stollensystem. Zusätzlich wurde eine Blitzschutzvorrichtung installiert, um Schäden im Stromkreis zu vermeiden. Schwieriger gestaltete sich das Verlegen der Leitung unter Tage: Aufgrund der hohen Feuchtigkeit im Schacht mussten die Kupferdrähte dreifach isoliert und zusätzlich mit einer Bleihülle ummantelt werden. Entlang der Schächte wurde das Stromkabel in wasser-

⁹⁴ *Anonym*, Grubeneisenbahn Bleiberg, 228.

ichten Holzrinnen geführt. Am Ende des Schachtes teilte man den Strom wieder auf zwei Kupferdrähte auf, die eine Verbindung zur Bahnoberleitung sicherstellten. Bei der an der Stollendecke montierten Oberleitung wurden die robusteren Siliziumbronzedrähte verwendet. Damit sollte der Metallabrieb durch die Stromabnehmer der Lokomotive vermindert werden. Die Kabel wurden parallel im Abstand von 33 Zentimetern oberhalb der Bahngleismitte gespannt. Die Leitungsträger wurden zusätzlich mit Porzellanisolatoren vor Stromverlust durch das Erzgestein geschützt. Beim Befahren von Nebengleisen wurde die Stromverbindung oberhalb der Lok synchron mit den Weichen verändert.⁹⁵ Die Herausforderung für die Lok-Konstrukteure lag in den Vorgaben der Bleiberger Grubenbetreiber: Sie musste schmal, niedrig und trotzdem leistungsfähig sein. Die zweiachsige Lok wurde mit einem Elektromotor mit Ankerwicklung ausgestattet. Wie die Dynamomaschine im Krafthaus, sollte sich die Umdrehungszahl des Motors auf 700 pro Minute einpendeln. Der Motor leistete 1,6 Kilowatt und konnte bereits einen Wirkungsgrad von 70 Prozent vorweisen. Die Umdrehungszahl wurde mithilfe einer Getriebeschnecke auf 88 Umdrehungen



Abb 2. Bleiberger Grubenlokomotive, Technisches Museum Wien

⁹⁵ *Anonym*, Grubeneisenbahn Bleiberg, 228f.

reduziert. Die Kraft dieser Welle wurde mit einer Antriebskette auf eine Radachse übertragen. Mit einer weiteren Antriebskette wurde auch die zweite Radachse in Bewegung versetzt. Alle mechanischen Teile der Lok, der Elektromotor und die Getriebeeinheit wurden durch eine karosserieartige Blechverkleidung vor der Stollenfeuchtigkeit geschützt.⁹⁶

Zwei an den jeweiligen Enden der Lokomotive angebrachte Glühlampen gewährleisteten bei der Fahrt gutes Licht entlang der Gleisanlage. Das Lok-Eigengewicht von rund 1,5 Tonnen sorgte für eine gute Haftung der Zugräder auf den glatten Schienen. Somit war das Anfahren mit mehreren schwer beladenen Förderwägen leichter möglich. Zusätzlich wurden die Lokomotivachsen mit Scheibenbremsen ausgestattet, um die Garnitur auch bei schwerer Beladung innerhalb von zehn Metern stoppen zu können. Diese Bremsen konnten, wie die Motorlaufrichtung, vom Führerstand aus gesteuert werden.⁹⁷ Die Stromabnehmer bestanden aus zwei Eisenröhren. An ihren Enden wurden Rollkontakte befestigt, die mithilfe von Spiralfedern an die Siliziumbronzedrähte der Oberleitung gedrückt wurden. Je nach Bedienung der Stromregler der Lok schwankte ihr Stromverbrauch zwischen acht und 16 Ampere. Nur die notwendige Stärke von 35 Ampere beim Anfahren des Zuggespanns war beträchtlich höher.

Doch welche Kostenvorteile konnte die Bleiburger Bergwerksleitung verbuchen? Wie bereits erwähnt, konnten die Beleuchtungskosten durch Verwendung von elektrischen Glühlampen um 1.000 Gulden pro Jahr gesenkt werden. Auch die Kosten der Erzförderung im Stollen reduzierten sich mit der Nutzung der elektrischen Grubenbahn. Vor ihrer Inbetriebnahme waren pro Schicht sechs „Hund-Stösser“ für das Schieben der Förderwägen verantwortlich. Als Tageslohn erhielten sie je einen Gulden und 20 Neukreuzer. Insgesamt schafften sie bei ihrer Schicht zusammen rund 92 Tonnen abgebautes Erzgestein zu den Förderschächten. Die Personalkosten lagen pro Tonne Erz also bei rund acht Neukreuzern. Nach der Umstellung schafften vier Füller und der für den

⁹⁶ *Anonym*, Grubeneisenbahn Bleiberg, 229.

⁹⁷ *Anonym*, Grubeneisenbahn Bleiberg, 229.

Betrieb benötigte Zugsführer gemeinsam 78 Tonnen Erz pro Schicht, was zu Personalkosten von fünfeinhalb Neukreuzern führte. Beim anfänglichen Betrieb im Rudolfschacht 1891 lagen die jährlichen Personaleinsparungen noch bei 495 Gulden. Mit der schrittweisen Aufnahme des elektrischen Grubenbahnbetriebs in den Nebengruben betrug die Ersparnis bereits 3.525 Gulden pro Betriebsjahr.⁹⁸ Die Bergbaulöhne in Mitteleuropa waren vergleichsweise gering. Im Vergleich dazu lagen die Löhne nordamerikanischer Bergbauarbeiter in manchen Regionen beim Zehn- bis Zwanzigfachen. Durch einen höheren Maschinenanteil konnte die Mitarbeiterzahl pro abgebaute Tonne gesenkt werden, wodurch nordamerikanische Bergwerke trotz des hohen Lohnniveaus konkurrenzfähig bleiben konnten.⁹⁹

Die Gesamtkosten von 13.000 Gulden für die teilweise Elektrifizierung des Erzbergwerks in Bleiberg sollten sich nach Ansicht der Betreiber nach 14 Jahren amortisieren. Diese Kosten beinhalteten die gesamte elektrische Bahnanlage sowie die elektrische Beleuchtung der Aufbereitung und jene der Stollen.¹⁰⁰ Diese erste elektrische Grubenlokomotive Österreichs ist gegenwärtig im Wiener Technischen Museum (Abb 2) ausgestellt.

Die elektrischen Grubenlokomotiven bedeuteten nicht nur eine Kosteneinsparung, sondern vor allem auch eine Erleichterung für das Grubenpersonal. Zuvor mussten noch Grubenmänner, zum Teil auch Jugendliche die schweren Hunte zu den Förderschächten transportieren. Aber auch Zugtiere konnten durch die modernere Technik ersetzt werden. Neben den elektrischen Grubenlokomotiven kamen auch ketten- oder seilgezogene Förderwägen zum Einsatz.¹⁰¹

Um 1900 produzierte die „Union-Elektrizitäts-Gesellschaft“ elektrische Feldbahnen mit einer Leistung von rund 66 Kilowatt Leistung, die z.B. für den Kalktransport verwendet wurden. Um eine möglichst große Flexibilität zu gewährleisten, waren die Gleise und elektrischen Oberleitungen mobil und konnten ohne großen Aufwand montiert und wieder abgebaut werden. Durch Verwendung des flexiblen Gleismaterials konnten Kosten eingespart werden. Neben

⁹⁸ *Anonym*, Grubeneisenbahn Bleiberg, 229.

⁹⁹ *Anonym*, Düsseldorfer Ausstellung, 510.

¹⁰⁰ *Anonym*, Grubeneisenbahn Bleiberg, 229.

¹⁰¹ *Seitel*, Siegeslauf der Technik, Bd. 1, 327.

Steinbrüchen wurden diese Feldbahnen auch bei Ernteeinsätzen in der Landwirtschaft eingesetzt.¹⁰²

Bei der Düsseldorfer Ausstellung von 1902 wurde der elektrischen Grubenlokomotive eine erhebliche Bedeutung zuerkannt. Für diesen Zweck stellte die 1896 gegründete Benrather Maschinenfabrik in einer Sonderhalle zwei Exemplare mit 18 bzw. 73 Kilowatt Leistung aus.¹⁰³

4.6 Elektrische Förderanlagen

Neben den Grubenlokomotiven wurden auch Kettenförderanlagen mit Elektromotoren kombiniert und damit die Dampfmaschine nur noch für die Stromerzeugung im zentralen Krafthaus benötigt.¹⁰⁴

Eine solche frühe elektrische Kettenförderung für Erze wurde in der Stadt Aschersleben im heutigen Sachsen-Anhalt errichtet. Ende der 1880er Jahre wurde im dortigen Salzbergwerk „Schmidtmansthal“ eine ca. 1.000 Meter lange Anlage installiert. Ihr reibungsloser Einsatz führte zur Errichtung einer weiteren Kettenförderung im Untertagebau. Dabei wurden die verkuppelten Grubenwagen mit einer Geschwindigkeit von 30 Metern pro Minute aus dem Berg gezogen, wobei die Ladung pro Wagen 800 Kilo wog. Errichtet wurde die Anlage von der Firma Siemens und Halske. Die für die Stromversorgung benötigte Dynamomaschine wurde mit einer 24 PS leistenden Dampfmaschine gekoppelt. Zwischen dem Maschinenraum und der elektrischen Förderanlage im Stollen wurde ein mit Bitumen versiegeltes Stromkabel verlegt.¹⁰⁵

In einem Fachartikel von 1901 wurden dampfbetriebene Förderanlagen mit elektrisch betriebenen verglichen. Neben den weit niedrigeren Betriebskosten wurden vor allem die gleichmäßigeren Bewegungen der elektrischen Fördermaschine positiv gewertet. Außerdem waren die elektrischen Anlagen weit einfacher und kostengünstiger zu warten als die Dampfmaschinen. Auch die pro-

¹⁰² Walter Häntzschel, Erfindungen und Experimente. Gemeinverständliche Darstellung aus allen Gebieten der Technik und ihrer Anwendung in der modernen Industrie und dem Gewerbebetriebe. Bd. 3 (Berlin 1906) 425.

¹⁰³ Anonym, Düsseldorfer Ausstellung, 510.

¹⁰⁴ Anonym, Elektrische Kettenförderung beim Bergbau. In: Dingers Polytechnisches Journal, Bd. 279 (1891) 24.

¹⁰⁵ Anonym, Elektrische Kettenförderung, 24.

blematische Wärmeentwicklung durch den Abdampf entfiel mit dem Einsatz von Elektromotoren. Die Betriebskosten steigerten sich bei den dampfbetriebenen Anlagen noch weiter, wenn diese vor jeder Schicht wieder von neuem geheizt und auf Kesseldruck gebracht werden mussten. Die elektrischen Förderanlagen wurden von den zentralen Maschinenhäusern mit Strom versorgt. Um nicht vorhandene Stromkapazitäten zu überwinden, wurden zusätzlich Akkumulatoren eingesetzt.¹⁰⁶

Die technologische Weiterentwicklung mitteleuropäischer Bergwerke war gegen Ende des 19. Jahrhunderts eine Voraussetzung, um mit den nordamerikanischen Abbaubetrieben konkurrieren zu können. Die Industrie- und Gewerbeausstellung 1902 in Düsseldorf sollte für diesen Zweck dem Fachpublikum die neuesten Errungenschaften der Bergbautechnik präsentieren.¹⁰⁷

Bei den Fördermaschinen für den Bergwerksbetrieb standen Anfang des 20. Jahrhunderts Zwillings- und Verbunddampfmaschinen den Förderanlagen mit elektrischem Antrieb gegenüber, die ihren Strom von zentralen Kraftstationen bezogen.¹⁰⁸ Neben der Antriebsart gab es bei den eingesetzten Förderanlagen unterschiedliche Bauweisen. Diese mussten mit zunehmender Erschließungstiefe und steigendem Tragseilgewicht immer größer konzipiert werden. Eine typische dampfbetriebene Anlage förderte bis zu acht Transportwägen mit einer Nutzlast von rund vier Tonnen Abbaumaterial zutage. Für die Seilbewegung wurden Spiraltrommeln von sieben bis elf Metern Durchmesser eingesetzt. Das Funktionsprinzip beruhte dabei auf der konischen Trommel: Je tiefer das Seil der Förderanlage in den Schacht gelangte, desto langsamer wurden die daran befestigten Transportkörbe. Das unterschiedliche Drehmoment veränderte auch den Kraftaufwand der Antriebsmaschine. Um das Problem des Tragseilgewichts zu lösen, entwickelte Carl Friedrich Koepe mit der Treibscheibenförderung eine verbesserte Variante. Im Gegensatz zu konventionellen Förderanlage wurden dabei keine breiten Antriebstrommeln verwendet, sondern schmale Seilscheiben. Das Seil wurde im Schacht als Kreislauf um die einzelnen Scheiben ge-

¹⁰⁶ *Anonym*, Dampffördermaschine oder elektrische Fördermaschine. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 317 (1902) 91-93.

¹⁰⁷ *Anonym*, Düsseldorfer Ausstellung, 309.

¹⁰⁸ *Anonym*, Düsseldorfer Ausstellung, 309.

spannt und durch Nutzung des Reibungseffekts vorbeigezogen. Die sich auf und ab bewegend Transportkörbe wurden jeweils als Gegengewicht verwendet, um den Antrieb zu entlasten.¹⁰⁹ Bei der Düsseldorfer Ausstellung wurde eine mit 500 Volt Gleichstrom betriebene Hauptschachtförderung nach dem Bauprinzip von Koepe ausgestellt.¹¹⁰

Eine weitere Variante stellten die Bobinen-Förderanlagen dar. Hierbei wurden an Flachseilen befestigte Transportkörbe in die Schächte gezogen. Ähnlich der Spiraltrommel wurden die Seile auf Seilscheiben gewickelt.¹¹¹ Diese konnten aufgrund der größeren Auflagefläche der Flachseile bei gleichbleibender Förderleistung kleiner dimensioniert werden. Zum Vergleich: Bei einer Nutzlast von rund zweieinhalb Tonnen, die über eine Schachthöhe von 400 Metern gezogen werden sollte, musste die Treibscheibe bei Verwendung von Rundseilen einen Durchmesser von sechseinhalb Metern aufweisen. Bei Bobinen-Förderanlagen mit Flachseil reichte eine 3,5-Meter-Treibscheibe.

Das führte zu einem günstigeren Anschaffungspreis.¹¹² Trotz der Vorteile stellten einige Konstrukteure die Betriebssicherheit bei Verwendung von Förderanlagen mit Flachseilen zunächst in Frage.¹¹³ Diese unterschiedlichen Auffassungen der Ingenieure spiegelten sich bei der Düsseldorfer Ausstellung von 1902 wider. Dort wurden Fördermaschinen mit Rundseilbetrieb ebenso beworben wie jene mit Flachseilen. Den Betreibern war es in erster Linie wichtig, dass die neu angeschafften Anlagen für die immer tiefer gelegenen Schächte geeignet waren. Neue Förderanlagen sollten nicht nur leistungsfähiger werden, sondern auch die Betriebskosten des jeweiligen Bergwerks senken.¹¹⁴

Auch die Verwendung modernerer Dampfmaschinen führte zu einer Senkung der Kosten. Doch dem Sparpotenzial zum Trotz ergaben sich durch die Nutzung der Dampfkraft in den Förderanlagen immer größere Probleme: Ihre Effizienz wurde etwa durch Bremsvorgänge, bei denen in vielen Fällen Gegen-

¹⁰⁹ *Anonym*, Düsseldorfer Ausstellung, 309.

¹¹⁰ *Anonym*, Düsseldorfer Ausstellung, 335.

¹¹¹ *Anonym*, Düsseldorfer Ausstellung, 310.

¹¹² *Anonym*, Düsseldorfer Ausstellung, 314f.

¹¹³ *Anonym*, Düsseldorfer Ausstellung, 310.

¹¹⁴ *Anonym*, Düsseldorfer Ausstellung, 377-379.

dampf verwendet werden musste, stark gemindert. Dem empfahl sich der Antrieb durch Elektrizität.

Bei der Errichtung einer neuen Bergwerksanlage mussten die Betreiber zunächst das geeignetere System finden. Die Anschaffungskosten wurden der zu erwartenden Wirtschaftlichkeit gegenüber gestellt. Berechnungen zeigten eine deutliche Verminderung des Kohleverbrauchs bei Verwendung von Elektromotoren. Die Dampfmaschinen wurden nicht mehr für den direkten Antrieb der Förderanlagen verwendet, sondern in den zentralen Kraftstationen der Bergwerksanlage an Dynamomaschinen gekoppelt. Eine ausgereifte Variante der Dampfmaschine bildete die Verbunddampfmaschine (Abb 3). Sie konnte durch Verwendung eines Niederdruckzylinders, den Dampf des Hochdruckzylinders nutzen und dadurch einen besseren Wirkungsgrad erzielen. Der Kohleverbrauch konnte durch Nutzung des Elektromotors um etwa die Hälfte ebenso gesenkt werden wie einen gleichmäßigeren Lauf und eine weitere Effizienzsteigerung der Dampfmaschine.¹¹⁵

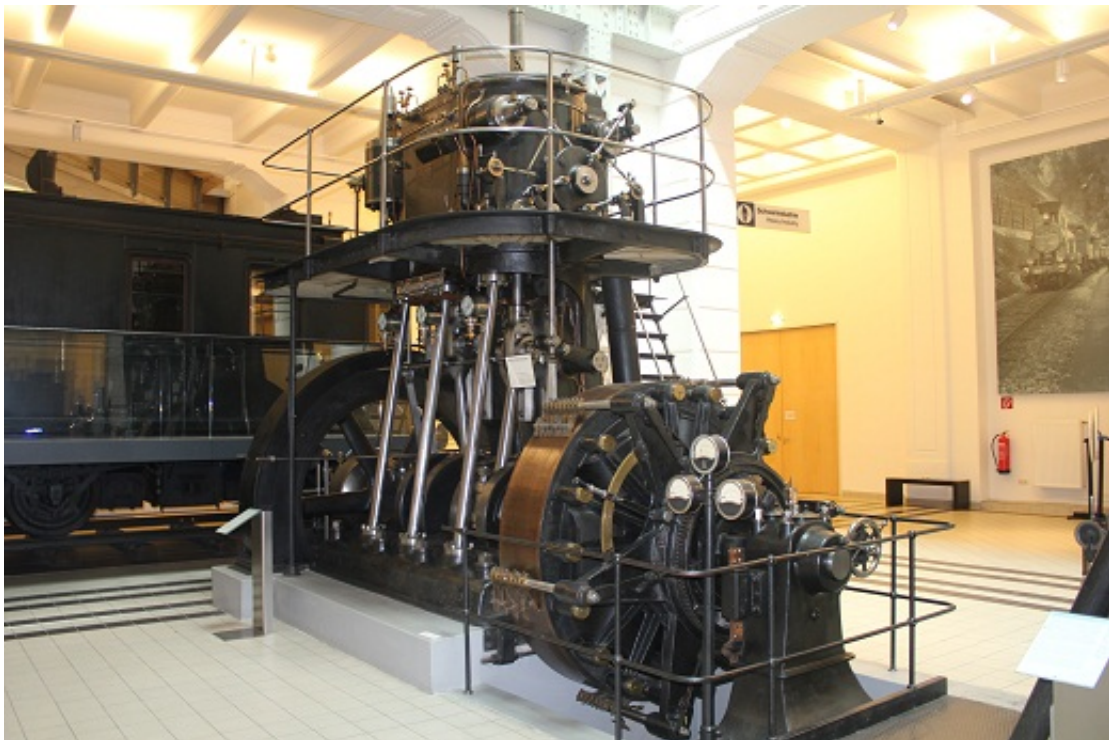


Abb 3. Zweizylinder-Verbunddampfmaschine. Technisches Museum Wien

¹¹⁵ Anonym, Düsseldorfer Ausstellung, 310f.

Um den schwankenden Energiebedarf der elektrischen Förderanlage auszugleichen, wurden zunächst Pufferbatterien, also Akkumulatoren, in den Stromkreis integriert. Diese Methode war aber nicht zielführend und verursachte einen zu hohen Energieverlust. Die Verwendung von Drehstrom und eines zusätzlichen Generators für die Stromspitzen der Förderanlage brachten bessere Ergebnisse. Einer der Anbieter solcher Anlagen war die Union Elektrizitätsgesellschaft.¹¹⁶

Bei der Düsseldorfer Ausstellung von 1902 galten elektrische Förderanlagen noch als große Innovation des Bergbaubetriebs. Vor allem bei großen Bergwerksanlagen blieb die Dampfkraft weiterhin die führende Antriebsart.¹¹⁷ Im Rahmen der Ausstellung konnten die Anbieter von elektrischen Förderanlagen jedoch bereits zahlreiche Aufträge verbuchen. Die Gelsenkirchener Bergwerksgesellschaft orderte bei Siemens und Halske eine elektrische Hauptförderanlage für den Schacht Zollern II. Als weiterer Konstrukteur war die Friedrich-Wilhelmshütte an der Lieferung beteiligt. Mit der Firma Schuckert und Co. war bei der Ausstellung ein weiterer Produzent für derartige Anlagen vertreten. Sie wurden von der Preußengrube in Oberschlesien für die Herstellung einer elektrischen Anlage mit einer Gesamtleistung von rund vier Megawatt beauftragt.¹¹⁸ Bei der Auswahl geeigneter Förderanlagen gab es für die Bergwerksbetreiber bestimmte Kriterien, um die Sicherheit im Schachtbetrieb gewährleisten zu können. Sie sollten in der Lage sein, eine bestimmte Fördergeschwindigkeit zu erreichen und diese vor der Entladerampe schrittweise zu verringern. Die Erfahrungen mit den elektrischen Betrieb zeigten, dass die Dreh- und Gleichstrommotoren durch die zugeführte Leistung der Krafthäuser ohne Probleme geregelt werden konnten. Eine zu hohe Drehzahl des Elektromotors bei Überschreitung des Ladegewichts konnte durch seine gleichzeitige Bremswirkung als Dynamo verhindert werden. Die Hersteller garantierten den Betreibern eine einfachere Bedienung der elektrischen Förderanlagen im Vergleich zu den dampfbetriebenen. Die erforderliche Anstellung von nur einem Maschinisten und das stoß-

¹¹⁶ *Anonym*, Düsseldorfer Ausstellung, 311.

¹¹⁷ *Anonym*, Düsseldorfer Ausstellung, 382.

¹¹⁸ *Anonym*, Düsseldorfer Ausstellung, 311f.

freiere Anfahren durch den Elektromotor stellten weitere Vorzüge des neuen Antriebs dar. Sehr langsame Fahrtgeschwindigkeiten erlaubten zudem routinemäßige Zugseilkontrollen, die bei Nutzung durch Dampfkraft nur nach einer zeitaufwendigen Drosselung möglich waren.¹¹⁹

Besonders bei neu errichteten Bergwerksanlagen setzten die Betreiber auf die Elektrizität. Ein Beispiel dazu liefert der bereits genannte Schacht Zollern II bei Dortmund. Neben der Elektrifizierung sämtlicher Arbeitsmaschinen beschloss die Gelsenkirchener Bergwerks-Aktiengesellschaft im März 1901, auch die Hauptfördermaschine elektrisch zu betreiben. Zuvor wurden die zu erwartenden Betriebskosten mit jenen alternativer Antriebsarten verglichen.¹²⁰ Die Förderanlage wurde nach dem Koepe-Prinzip gebaut und war in der Lage, sechs Förderwagen mit einem Gesamtgewicht von über vier Tonnen entlang des 500 Meter hohen Schachts zu transportieren. Dabei sollte eine Höchstgeschwindigkeit von 20 Metern pro Sekunde erreicht werden. Bei einem störungsfreien Betrieb und Verwendung von bis zu drei Entladebühnen konnte somit eine maximale Förderleistung von rund 4.000 Tonnen Kohle pro Tag erreicht werden.¹²¹

Die Treibscheibentechnik von Koepe eignete sich für Zollern II besonders gut, da nur von einer Sohle gefördert wurde und sich der Gewichtsausgleich des Unterseils günstig auf die Eigenschaften der Elektromotoren auswirkte. Zudem konnte die Konstruktion mit einer relativ kleinen Treibscheibe ausgestattet werden. Bei Verwendung einer konventionellen Spiraltrommel hätte die Förderanlage mehr Platz in Anspruch genommen. Durch den gewählte Durchmesser der Koepe-Scheibe von sechs Metern wurde eine ausreichende Flächenpressung erzielt und ein seilschonender Betrieb ermöglicht.

Wie am Beginn der industriellen Nutzung von Elektrizität noch üblich, wurde die Anlage mit Gleichstrom betrieben. Die Motoren wurden mit 500 Volt versorgt und waren links und rechts direkt an der Treibscheibenachse montiert. Um den schwankenden Strombedarf zu decken, wurden zusätzlich Akkumulatoren eingesetzt.¹²²

¹¹⁹ *Anonym*, Düsseldorf Ausstellung, 312.

¹²⁰ *Anonym*, Düsseldorf Ausstellung, 379.

¹²¹ *Anonym*, Düsseldorf Ausstellung, 380.

¹²² *Anonym*, Düsseldorf Ausstellung, 380.

Die Verwendung von zwei Motoren reduzierte die Ausfallsquote der Anlage. Auch die einzelnen Geschwindigkeitsstufen konnten mit zwei Antrieben besser erreicht werden. Diese Stufen lagen zwischen zwei und 20 Metern pro Sekunde. Die Stromzufuhr ließ sich mithilfe von zwei getrennten Anlasswiderständen auf dem Steuerpult regeln. Bei routinemäßigen Seilkontrollen konnte die Geschwindigkeit sogar auf 30 Zentimeter reduziert werden. Um die Positionen der Förderkörbe stets im Auge zu behalten, wurde an der Bedienerstelle ein „Tiefenzeiger“ angebracht. Dadurch konnte der Maschinist die Seilgeschwindigkeit schrittweise vermindern, sobald sich ein Förderwagen der Entladerampe näherte. Bei Überschreitung der Höchstgeschwindigkeit wurde die Stromzufuhr automatisch gekappt, und eine Seilbremse sorgte für den Stillstand der Förderanlage.¹²³

Neben den Anlasswiderständen befand sich auf dem Steuerpult der Steuerhebel für die Luftdruckbremse der Anlage. Diese wirkte nur dann, wenn zuvor die Stromzufuhr unterbrochen wurde. Die Funktionsweise glich jener der dampfbetriebenen Fördermaschinen: Bei den Dampfanlagen bewegte die Dampfkraft einen Zylinder auf die Bremsblöcke, bei den elektrischen Anlagen wirkte die Druckluft auf den Bremszylinder.¹²⁴

4.6.1 Frühe elektrische Förderanlagen

Ein Beispiel einer frühen elektrischen Förderanlage zeigt der ehemalige Bergbauschacht in Thiede bei Braunschweig. Zu Beginn der 1890er Jahre lieferte die Firma Siemens eine derartige Gleichstromanlage, die bei einer Nutzlast von 800 Kilogramm sechs Meter pro Sekunde bewältigen konnte. Bei Personenbeförderung reduzierte sich die Geschwindigkeit aus Sicherheitsgründen um die Hälfte. Die Bergwerksbetreiber von Thiede erwarteten sich von der neuen Anlage, dass sie in einer Acht-Stunden-Schicht, bei 32 Umläufen pro Stunde, rund 200 Tonnen Material zu Tage fördern sollte. Diese Mindestanforderung konnte der Hersteller bei Abnahme der Anlage um das Zweieinhalbfache übertreffen.

¹²³ Anonym, Düsseldorf Ausstellung, 381.

¹²⁴ Anonym, Düsseldorf Ausstellung, 381.

Bei einem Dauerbetrieb von knapp sechs Stunden transportierte die Fördermaschine insgesamt rund 313 Tonnen Nutzlast. Zusätzlich wurden zwischen den Materialförderungen immer wieder Bergarbeiterfahrten unternommen.¹²⁵

Eine bereits größer konzipierte Anlage lieferte Siemens für den Steinkohlebergbau im damaligen österreichisch-schlesischen Karwin, heute Karviná im Osten Tschechiens. An das dortige Bergwerk lieferte Siemens Ende des 19. Jahrhunderts zwei Schachtfördermaschinen. Sie wurden mit Drehstrom betrieben und von der Hauptkraftstelle beim Hohenegger Schacht mit Elektrizität versorgt. In diesem Schacht wurde eine der beiden Fördermaschinen verwendet. Die zweite Anlage befand sich im neun Kilometer entfernten Erzherzog Albrecht-Schacht und wurde ebenfalls von der Hohenegger Hauptstelle mit Strom beliefert.¹²⁶

Bei Hohenegg befand sich die kleinere der beiden Anlagen. Mit einer Geschwindigkeit von maximal vier Metern pro Sekunde konnte sie eine Nutzlast von knapp eineinhalb Tonnen aus einer Tiefe von 260 Meter befördern. Der durch ein Getriebe mit der Trommel verbundene Drehstrom-Elektromotor leistete bei 150 Umdrehungen pro Minute 125 Kilowatt. Die elektrische Fördermaschine im Erzherzog Albrecht-Schacht bewältigte dagegen die doppelte Fördermenge: Mit den vier verwendeten Kohlewagen konnten bei einem Umlauf knapp drei Tonnen Material aus 225 Metern Tiefe gefördert werden. Der Durchmesser der Antriebstrommel lag bei achteinhalb Metern, ihre Breite bei 140 Zentimeter. Der Motor der Anlage wurde durch Anlasswiderstände geregelt, der Bremsvorgang erfolgte durch fußpedalgesteuerte Backenbremsen. Zusätzlich wirkten die Bremsen durch eine Sicherheitsvorrichtung automatisch, wenn der Transportwagen seine Be- oder Entladeposition verfehlte. Auch bei einem unerwarteten Stromausfall sorgte ein außer Kraft gesetzter Elektromagnet für ein Abbremsen des Fördersystems.¹²⁷

¹²⁵ *Anonym*, Düsseldorf Ausstellung, 336.

¹²⁶ *Anonym*, Düsseldorf Ausstellung, 335.

¹²⁷ *Anonym*, Düsseldorf Ausstellung, 335f.

4.6.2 Elektrische Förderanlagen mit Strom von Gasmotoren

Der Strom für große elektrische Förderanlagen wurde hauptsächlich von Dampfmaschinen in den zentralen Kraftstellen der Bergwerke erzeugt. Elektrische Förderanlagen mit weniger Leistung konnte alternativ durch an Gasmotoren gekoppelte Dynamomaschinen betrieben werden. Die Firma Louis Soest und Co. stellte derartige Anlagen her.¹²⁸

Im Gegensatz zur großen elektrischen Förderanlagen von Zollern II bewältigten jene von Louis Soest und Co bei drei bis fünf Metern Fördergeschwindigkeit nur 1,2 Tonnen Nutzlast. Der Gleichstrommotor leistete bei 300 Umdrehungen pro Minute zwischen 74 und 103 Kilowatt. Der Strom wurde nicht in einer zentralen Kraftstelle erzeugt, sondern der Gasmotor war direkt auf der Förderanlage montiert. Er lieferte dem Elektromotor 440 Volt Spannung.¹²⁹

4.7 Elektromagnetische Trennung von Erzen

Bei Eisenerz wurde bereits früh eine elektromagnetische Aufbereitung angewandt. Das zuvor auf eine gewisse Größe zerkleinerte Erzgestein wurde an großen Elektromagneten vorbeigeführt. Durch die Anziehungskraft konnten die Gesteinsbrocken nach ihrem jeweiligen Eisengehalt sortiert werden.¹³⁰

Die Ursprünge dieses Verfahrens könnten in den 1830er Jahren zu finden sein: Um Eisenspäne in seiner Gießerei von anderen Metallresten zu trennen, verwendete der Ire Robert Mallett für gewöhnlich einen herkömmlichen Eisenmagneten. Er beklagte jedoch das mühsame Abbürsten der anhaftenden Eisenspäne und entwickelte deshalb einen „temporären Magneten“. Für diesen Zweck umwickelte Mallett mehrere 15 cm lange u-förmige Eisenstäbe mit Draht. Auf einer Linie aufgestellt, setzte er seine Elektromagneten mit einer Batterie unter Strom. Eine mechanisch betriebene Förderanlage kippte die Metallspäne auf die Magnete, und die anhaftenden Eisenspäne konnten durch Stromunter-

¹²⁸ *Anonym*, Düsseldorf Ausstellung, 382.

¹²⁹ *Anonym*, Düsseldorf Ausstellung, 382.

¹³⁰ *Seitel*, Siegeslauf der Technik, Bd. 1, 333.

brechung leicht von den Elektromagneten gelöst werden. Mallett sah in seiner Entwicklung großes Potenzial für ähnliche und größere Anwendungsbereiche.¹³¹

Die Entdeckung des Elektromagnetismus selbst geht auf den Dänen Johann Christian Oersted zurück. Er experimentierte mit einer Voltaschen Batterie und erkannte, dass ein stromdurchfließender Draht eine Magnetnadel in Bewegung setzen kann. Als erster schrieb er seine Erkenntnisse 1820 auf und teilte sie anderen Wissenschaftskollegen mit. In der deutschen Übersetzung wurden seine Beobachtungen 1820 als „Versuche über die Wirkung des elektrischen Conflicts“ bezeichnet. Seine Entdeckung stieß in ganz Europa auf großes Echo. Namhafte Wissenschaftler wie Humphry Davy und André-Marie Ampère wiederholten und verfeinerten Oesteds Experiment. Diese Erkenntnisse bildeten wiederum den Ausgangspunkt für die Experimente von Michael Faraday. 1831 entdeckte er die Möglichkeit, aus Elektrizität Magnetismus zu erzeugen. Seine elektromagnetische Induktion stellte die Grundlage für den später entwickelten Elektromotor und den Dynamo dar.¹³²

4.8 Ein elektromagnetischer Hammer von Siemens und Halske

Auf dem Elektromagnetismus beruhte auch eine weitere Erfindung von Siemens und Halske. Sie wurde 1879 in Berlin zum Patent angemeldet. Dabei handelte es sich um einen „elektrischen Hammer“, der aus einer hohlen Eisenstange bestand, die von drei Magnetspulen umschlossen wurde. Eine Spule war fest mit der Stange verbunden und versetzte diese bei Stromzufuhr in eine permanente magnetische Wirkung. Die beiden restlichen Elektromagneten wirkten wie ein Zylinder und bewegten die Eisenstange wie einen Kolben hin und her. Durch den Wechselstrom in den Drahtspulen wurde die Stange schließ-

¹³¹ *Anonym*, Ueber eine wohlfeile Anwendung des Elektro-Magnetismus zu technischen Zwecken. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 59 (1836) 153f.

¹³² *Anonym*, Die ersten elektromagnetischen Entdeckungen und Versuche, an denen Faraday teilnahm. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 346 (1931) 161.

lich in kräftige Hammerbewegungen versetzt. Durch diese Apparatur sollte der Gesteinsabbau in den Bergwerksstollen für die Arbeiter erleichtert werden.¹³³

5 Elektrizität im Hüttenwesen

Der englische Chemiker Humphry Davy entdeckte die Methode der Darstellung von Metallen durch die Elektrolyse. Neben dem konventionellen Schmelzverfahren entwickelte sich Jahrzehnte später mit der Elektrometallurgie im Hüttenwesen eine alternative Art der Metallgewinnung. Während Davy die Elektrizität an bereits geschmolzenen Metallen erprobte, gelang es Moritz Hermann von Jacobi, die Metalle direkt mit Strom aus einer Lösung zu scheiden. Für das Hüttenwesen war die Entdeckung Jacobis revolutionär, aus einer Kupfervitriollösung mithilfe der Elektrizität reines Kupfer zu erlangen. Dieses Verfahren wurde als „elektrische Raffination“ oder als „Läuterung der Metalle“ bezeichnet.¹³⁴

Diese neuartige Methode der elektrolytischen Metallabscheidung konnte vorerst nur im kleinen Rahmen praktiziert werden. Eine großindustrielle Produktion wurde erst durch den von Siemens 1867 entwickelten Dynamo ermöglicht. Die durch das „dynamoelektrischen Prinzip“ nun zur Verfügung stehenden starken und zuverlässigen Ströme leiteten einen entscheidenden technologischen Fortschritt im Bergbau und im Hüttenwesen ein. Auch damit konnte der immer weiter steigenden Metallenachfrage Rechnung getragen werden.¹³⁵

Im Bergbau wurde Elektrizität in Form von kleinen Grubenlokomotiven und Kettenförderanlagen bereits früh eingesetzt. Auch im Hüttenwesen wurde die Nutzung von Elektrizität bei steigenden Produktionsraten immer wichtiger. Professor Georg Stauber von der Technischen Hochschule in Charlottenburg stellte 1912 in einem wissenschaftlichen Beitrag Überlegungen zur Zukunft der deut-

¹³³ *Anonym*, Siemens und Halske's elektrischer Hammer. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 238 (1880) 91f.

¹³⁴ *Seitel*, Siegeslauf der Technik, 1. Band, 318.

¹³⁵ *Seitel*, Siegeslauf der Technik, 1. Band, 318.

schen Hüttenwerke an: Die Dampfkraft und die Presswasserantriebe sollten durch die „Elektrizität als Betriebsmittel“ ersetzt werden, um mit den Weltmarktpreisen zu konkurrieren. Ein „elektrischer Zentralbetrieb“ sollte für einen reibungsfreien Antrieb der einzelnen Maschinen sorgen. Das aus den Hochöfen gewonnene Gas (Hochofengas) sollte nach Einschätzung von Stauber für die Stromerzeugung mit Gasmaschinen genutzt werden und damit die Dampfmaschinen ersetzen. Stauber begründet diesen Vorschlag mit der doppelten Energieausbeute, die ein Gasmotor im Vergleich zur Dampfmaschine erreichen könnte. Als Nachteil sah er die noch zu geringe Zuverlässigkeit von Gasmotoren.¹³⁶

5.1 Die Herstellung von Roheisen und Stahl in Elektroschmelzöfen

Die großindustriellen Schmelzprozesse wurden bis gegen Ende des 19. Jahrhunderts mit Holzkohle oder Gas durchgeführt. Einerseits war die Anschaffung von Kohle bis zu diesem Zeitpunkt noch kostengünstig, andererseits die Technik elektrischer Schmelzvorgänge noch nicht praxistauglich. Ein zunehmender Preisanstieg führte zu Überlegungen und Versuchen alternativer Schmelzverfahren. Mit der Nutzung von Elektrizität im Hüttenwesen erhofften sich die Ingenieure eine Reduktion des Kohleanteils im Schmelzverfahren.

Die Entwicklungen von geeigneten Elektro-Schmelzverfahren nahmen Jahrzehnte in Anspruch: Auch Werner von Siemens war früh von der Bedeutung des elektrischen Lichtbogens für die metallischen Schmelzprozesse überzeugt. Sein Bruder Wilhelm reichte zahlreiche Patente im Gebiet der Elektrometallurgie ein. Größere kommerzielle Erfolge konnte er aber mit seinen Entwicklungen nicht erzielen. Im Bereich der Roheisengewinnung durch Elektrizität setzte er auf eine ähnliche Methode, wie sie auch im konventionellen Hochofenverfahren angewandt wurden. Er bestückte einen Kohletiegel mit Erz, Kalk und Kohle. Zwei integrierte Kohleelektroden sorgten im Inneren des Tiegels für den nötigen

¹³⁶ A. Miethe (Hg.): Die Technik im zwanzigsten Jahrhundert. Die Verarbeitung der Rohstoffe, Bd. 2 (Braunschweig 1912) 81.

Lichtbogen, den Siemens durch Strom einer Dynamomaschine erzeugte. Das Ergebnis konnte den Erwartungen aber nicht entsprechen. Das Problem lag in der Verwendung der Kohle: Sie vermengte sich mit dem abgeschiedenen Eisen und versetzte es mit einem hohen Kohlenstoffanteil. Das Resultat war Eisen minderwertiger Qualität. Durch den Schmelzprozess wurden ebenso die beiden teuren Kohleelektroden unbrauchbar. Auch der Stromverbrauch stieg durch den großen Widerstand der abgegebenen Schlacke stark an. Trotz der anfänglichen Schwierigkeiten war das erklärte Ziel von Werner von Siemens, dass in naher Zukunft alle Metalle auf dem elektrischen Weg dargestellt werden könnten.¹³⁷ Aufgrund des nur mäßigen Erfolgs wurde die Entwicklung der Elektroschmelztechnik vorerst eingestellt. Mit der zunehmenden Verteuerung der Kohle in manchen Regionen erlangte das Thema „Elektrostahlöfen“ aber wieder an Aktualität.

Am Beginn des 20. Jahrhundert standen den Hüttenwerken zwei ausgereifte Möglichkeiten für die Eisen- und Stahlproduktion auf elektrischen Weg zur Verfügung. Ein Verfahren bestand in der Erzeugung eines Lichtbogens mithilfe von zwei Elektroden. Die erreichte Hitze würde Metall zum Schmelzen bringen. Die andere Möglichkeit lag in der Verwendung eines Metallstücks mit geringem Querschnitt, das direkt unter Strom gesetzt wird und durch den entstehenden Widerstand zu glühen beginnt.¹³⁸

Ein Pionier in der praxistauglichen Lichtbogentechnik war der Italiener Emilio Stassano. Er entwickelte ein Verfahren, das eine kostengünstige Herstellung von Eisen und Stahl mithilfe von Elektrizität ermöglichte. Seine Methode wurde erstmals in einer Eisenhütte am Iseosee in Oberitalien eingesetzt.¹³⁹ Anders als Siemens verwendete Stassano für seinen Ofen feuerfeste Materialien und verzichtete auf kohlehaltige Stoffe. Im Inneren seines Ofens sollte eine Temperatur von etwa 2.000 Grad für ausreichend Hitze sorgen.¹⁴⁰ Das verwendete Eisenerz

¹³⁷ *Seitel*, Siegeslauf der Technik, Bd. 1, 354f.

¹³⁸ *Miethe*, Technik zwanzigstes Jahrhundert, Bd. 1, 207.

¹³⁹ *Albert Neuburger*, Verfahren zur Gewinnung von Eisen und Stahl direkt aus den Erzen auf elektrischem Wege. In: *Dinglers Polytechnisches Journal*, Bd. 319 (1904) 220.

¹⁴⁰ *Seitel*, Siegeslauf der Technik, Bd. 1, 357.

wurde in der Nähe des Betriebs abgebaut und bot für das Verfahren eine ausgezeichnete Qualität.¹⁴¹

Vor der Schmelze unterzog man das Eisenerz einem elektromagnetischen Aufbereitungsverfahren: Das gewaschene, getrocknete Erz wurde zerkleinert und das Pulver an leistungsstarken Elektromagneten vorbeigeleitet. Die angezogenen Partikel bestanden aus über 90 Prozent aus Eisenoxid.

Für das Schmelzverfahren wurden 1.000 Teile des hochwertigen Eisenerzpulvers mit 231 Teile Holzkohle und 111 Teile Kalkstein im Stassano-Ofen vermengt. Ein geringer Anteil von Teer in der Mischung ermöglichte eine Brikettierung der Masse. Die Briketts wurden mit speziellen Pressen hergestellt und sollten eine Loslösung der einzelnen Bestandteile während des Schmelzprozesses verhindern. Je nach Menge des zugeführten Teers konnte der Schmelzofen weiches Eisen oder Stahl produzieren.¹⁴²

Diese Methode erwies sich als relativ effektiv aber auch als kostspielig. Um die Kosten für die elektrische Eisenproduktion senken zu können, arbeitete Stassano an einem Verfahren, das ohne die Brikettierung funktionieren sollte. Stassano-Elektroöfen neuerer Generation wurden in Eisenhütten bei Turin und Rom installiert. Um die Roheisen-Reinheit zu erhöhen und gleichzeitig den Stromverbrauch zu verringern, wurden sie drehbar ausgeführt. Durch diese Drehbewegung konnte ein gleichmäßiger Schmelzvorgang des Gemenges erzielt werden und die anfallende Schlacke von den Elektroden ferngehalten werden. Damit konnte einerseits auf die kostenintensive Brikettierung verzichtet werden, und andererseits verursachte die Schlacke keinen störenden Widerstand an den Elektroden mehr.¹⁴³ Um für eine ausreichende Kühlung der Kohleelektroden zu sorgen, füllte Stassano ihren Innenraum mit Wasser. Durch diese Methode konnte der Verbrauch von Elektroden und somit die Betriebskosten weiter gesenkt werden.¹⁴⁴

Ein ausgereifter Ofen von Stassano war in der Lage, 2.500 bis 3.000 Kilo Stahl pro Tag zu produzieren. Dem gegenüber stand ein Energieverbrauch von 120

¹⁴¹ Neuburger, Gewinnung von Eisen auf elektrischem Wege, 220.

¹⁴² Neuburger, Gewinnung von Eisen auf elektrischem Wege, 220.

¹⁴³ Neuburger, Gewinnung von Eisen auf elektrischem Wege, 221.

¹⁴⁴ Seitel, Siegeslauf der Technik, Bd. 1, 357.

bis 140 Kilowatt. Für die Erzeugung einer Tonne Eisen mussten die Stassano-Öfen mit 1,6 bis 1,7 Tonnen Erz beladen werden. Eine Stahlhütte mit mehreren solcher Öfen konnte pro Tag bereits rund 30 Tonnen Stahl produzieren. Albert Neuburger errechnete für das Verfahren von Stassano Gesamtkosten von etwa 90 Mark¹⁴⁵, die für die Erzeugung einer Tonne Eisen aufgewendet werden mussten.¹⁴⁶ Diese Kosten beinhalteten einen Aufwand von rund 20 Mark für das Eisenerz und etwa 18 Mark für den zugeführten elektrischen Strom. Die Gesamtkosten verringerten sich durch die Nutzung des entstehenden Schmelzofengases um mehr als 14 Mark. Bei der Schmelze von einer Tonne entstanden gleichzeitig etwa 900 Kubikmeter des brennbaren Gas.¹⁴⁷

Die daraus resultierenden Kosten beliefen sich auf knapp über 75 Mark pro Tonne fertigem Eisen. Dieser niedrige Wert veranlasste das Deutsche Patentamt, einen Sachverständigen ins oberitalienische Darfo zu entsenden. Dr. Hans Goldschmidt bestätigte mit einigen Einschränkungen diese günstige Kostenlage. Er führte die niedrigen Kosten auf die gute Qualität der Erze, die billigeren Arbeitskräfte und die preiswertere Wasserkraft zurück. Die Kosten der Eisenerzeugung in Westfalen beliefen sich zur selben Zeit auf 150 bis 170 Mark pro Tonne. Allerdings, so bemerkte Goldschmidt, müssten das italienische Eisen mit jenem aus Westfalen bezüglich der jeweiligen Qualität genauer verglichen werden.

Der Marktpreis für gewöhnlichen Stahl lag in Deutschland am beginnenden 20. Jahrhunderts bei rund 100 Mark je Tonne. Die Marktpreise des hochwertigen Tiegelsstahls beliefen sich 1904 auf 300 Mark.¹⁴⁸

Wie das Beispiel Oberitalien zeigt waren die Bestrebungen, Roheisen durch Nutzung von Elektrizität herzustellen, gebietsabhängig. Die Elektroschmelzmethode setzte sich in Ländern mit einem größeren Vorkommen an Eisenerz, gepaart mit einem Mangel an geeigneter Kohle, wie es in Italien der Fall war, schneller durch. Der Strom wurde aber nicht nur für den gesamten Produk-

¹⁴⁵ Der durchschnittliche Monatslohn eines Arbeiters im Bereich industrieller Mittel- und Großbetriebe lag bei etwa 60 Mark. A. Bantlin, Die deutsche Industrie und die Arbeiterversicherung. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 316 (1901) 220.

¹⁴⁶ Neuburger, Gewinnung von Eisen auf elektrischem Wege, 222.

¹⁴⁷ Neuburger, Gewinnung von Eisen auf elektrischem Wege, 222.

¹⁴⁸ Neuburger, Gewinnung von Eisen auf elektrischem Wege, 222.

tionsprozess genutzt, konventionell erzeugtes Roheisen wurde einer späteren elektrischen Nachbehandlung unterzogen. Es gab die Möglichkeit, das Eisen elektrisch flüssig zu halten oder es zu einem späteren Zeitpunkt mithilfe eines Lichtbogens wieder einzuschmelzen. Beide Verfahren erhöhten die Qualität des Metalls.¹⁴⁹ Neben Stassano beschäftigte sich auch der Franzose Paul Héroult mit der Gewinnung von Eisen und Stahl aus Erzen durch Nutzung der Elektrizität. Auch bei seinem Verfahren war eine Vermeidung von Kohlenstoff im Roheisen entscheidend.

Bei seinen ersten Elektroöfen goss Héroult das bereits geschmolzene Eisen in speziell isolierte Behälter. Die Kohleelektroden tauchte er nur so weit in das flüssige Eisen, dass diese zwar die oberhalb schwimmende Schlacke berührten, allerdings mit dem Roheisen nicht in Berührung kamen. Bei dieser Methode nutzte Héroult den großen Widerstand der Schlacke, der den Strom zwang, den kürzesten Weg durch die Schlackenschicht zu wählen, das Roheisen darunter zu durchqueren und anschließend wieder durch die Schlackenschicht und den Behälter die zweite Elektrode zu verlassen.

Bei diesem Prozess kam es zu keiner direkten Berührung der Kohleelektroden mit dem Eisen und somit zu keiner Abscheidung von Kohlenstoff in das Metall. Das Funktionsprinzip war nur möglich, wenn die Schlackenschichten zwischen Elektrode und Roheisen sowie zwischen den beiden Elektroden unterschiedliche Temperaturen aufwiesen.¹⁵⁰

Héroult war ständig bemüht, sein Elektroschmelzverfahren zu verbessern. Seine Öfen wurden zuerst in französischen Hütten eingesetzt, später fanden sie ebenso in Neuhausen in der Schweiz erstmals Verwendung. In allen Werken wurde günstiger Strom aus Wasserkraft verwendet. Ein Werk der „Société Electro-Metallurgique Francaise“ in Froges nahe der italienischen Grenze lieferte am 28. Dezember 1900 die ersten zur Gänze aus Strom hergestellten Stahlteile. Anfänglich wurde eine tägliche Produktion von rund sechs Tonnen hochwertigen Werkzeugstahl erzielt. Während der Schneeschmelze konnte der

¹⁴⁹ *Miethe*, Technik zwanzigstes Jahrhundert, Bd. 1, 207.

¹⁵⁰ *Neuburger*, Gewinnung von Eisen auf elektrischem Wege, 231.

überschüssige Strom auch für die elektrische Gusseisengewinnung in Froges verwendet werden.¹⁵¹

Weiterentwicklungen ergaben einen Elektroofen, bei dem die Elektroden über ein Spiralgestänge manuell innerhalb des Ofentiegels auf und ab bewegt werden konnten. Die optimale Lage der Elektroden konnte der Anlagenbediener mithilfe eines montierten Spannungsmessgeräts genau bestimmen.¹⁵²

Der französische Industrielle Charles Albert Keller konstruierte einen elektrischen Schmelzofen, der die Technologie von Stassano und Heroult kombinierte. Die Anlage bestand aus zwei elektrischen Öfen, wobei der erste für das Herauslösen von Roheisen und Schlacke aus dem Erz und der zweite zum Raffinieren genutzt wurde. Eine terrassenförmige Anordnung erlaubte ein Abfließen des Roheisens vom oberen zum unteren Tiegel innerhalb der Ofenanlage. Die beim Schmelzprozess entstehenden Gase wurden für das Vortrocknen des Erzgemenges sowie zur Unterstützung bei der Reduzierung des Rohmaterials verwendet. Im unteren Tiegel sorgte die Zugabe von Kalk für eine bessere Schlackenbildung.¹⁵³

Die beschriebenen elektrischen Schmelzverfahren wurden zu Beginn nur in kohlearmen Gebieten praktiziert. In Regionen mit großen Kohlelagerstätten, wie etwa dem deutschen Ruhrgebiet, wurde weiterhin der Martinofen eingesetzt, mit dem qualitativ hochwertiger Stahl produziert werden konnte. Der französische Elektrometallurge Gustave Gin sah jedoch auch für die kohlereichen Gebiete eine Zukunft in der Elektroschmelze: Er vertrat die Meinung, dass das durch den Schmelzprozess gewonnene Gas für die Stromerzeugung genutzt werden könne, und zwar ähnlich kostengünstig wie die Erzeugung aus Wasserkraft.¹⁵⁴

¹⁵¹ *Neuburger*, Gewinnung von Eisen auf elektrischem Wege, 231.

¹⁵² *Neuburger*, Gewinnung von Eisen auf elektrischem Wege, 232.

¹⁵³ *Neuburger*, Gewinnung von Eisen auf elektrischem Wege, 233.

¹⁵⁴ *Neuburger*, Gewinnung von Eisen auf elektrischem Wege, 234.

5.1.1 Héroult-Schmelzofen in Ferlach

In Österreich war das Hüttenwerk in Ferlach (Kärnten) ein Pionier der Elektroschmelze. Das Unternehmen installierte 1909 einen Elektroofen nach dem Prinzip von Héroult. Diese Entscheidung war durchaus gewagt, denn das Schmelzen mithilfe eines Lichtbogens befand sich noch in der Entwicklungsphase. Für diesen innovativen Schritt zeigte sich die KESTAG (Kärntnerische Eisen- und Stahlwerks-Aktiengesellschaft) verantwortlich, die zuvor Pläne für eine Hochofen-Errichtung wieder verworfen hatte.

Der erste Lichtbogenofen der Habsburgermonarchie ging im steirischen Judenburg in Betrieb. So wie der spätere Elektroofen in Kärnten, beruhte er auf der Entwicklung von Héroult.¹⁵⁵

Kärnten kann bereits auf eine lange Tradition in der Eisenerzeugung zurückblicken: Aus dem Jahr 1541 ist eine Roheisenerzeugung mit Flossöfen in der Gemeinde Krems überliefert. Bereits Ende des 18. Jahrhunderts wurde in der heutigen Gemeinde Ruden im Bezirk Völkermarkt ein erster Tiegelgussstahl-ofen mit einem angeschlossenen Blechwalzwerk errichtet. In den 1840er Jahren erfolgte in Prävali, dem heutigen slovenischen Prevalje, erstmals in diesem Gebiet eine Puddelstahl-ofen-Beheizung durch Gas. An diesem Standort wurden vor allem Eisenbahnschienen in großen Mengen produziert.

Großen Anklang fand die Stahlerzeugung auch in der Gemeinde Hüttenberg, mithilfe der damals noch üblichen Bessemer-Methode in den 1860er Jahren. 1870 erfolgte die erste Errichtung eines Koksofens im alpenländischen Gebiet.¹⁵⁶

Das Werk in Ferlach war ein Traditionsbetrieb der Drahtproduktion. Seit seiner Gründung im 17. Jahrhundert wurde es ständig erweitert. Mit großen finanziellen Schwierigkeiten wurde das Unternehmen nach dem Wiener Börsenkrach von 1873 konfrontiert. Eine mögliche Werksschließung konnte durch die Be-

¹⁵⁵ Hans Jörg Köstler, Das Elektrostahlwerk in Ferlach 1909 – 1940. In: Carinthia II, Bd. 176, 96. Jahrgang (Klagenfurt 1986) 43,47.

¹⁵⁶ Köstler, Elektrostahlwerk Ferlach, 43f.

teilung des Bleiberger Industriellen Paul Mühlbacher verhindert werden. Am Ende des Jahrzehnts übernahm dieser die Hütte komplett. 1906 kam es zur Gründung der KESTAG, die für größere Investitionen am Standort Ferlach sorgen sollte.¹⁵⁷

Der 1909 errichtete Elektroofen war mittlerweile der fünfte seiner Art in der Monarchie. Er wurde im Schnitt mit 5,5 Tonnen Stahlschrott oder Roheisen beladen. Die beiden in der Grundfläche 30 mal 30 Zentimeter großen Kohleelektroden versorgte man mit einphasigen 750 Volt-Wechselstrom. An einem Tag wurde vier- bis fünfmal flüssiger Stahl aus dem Tiegel gegossen und in meterlangen Blöcken ausgehärtet. Die Blöcke walzte man anschließend zu 5,5 Millimeter dickem Stahldraht.

Die guten Erfahrungswerte der neuen Technologie und die hervorragende Stromversorgung durch umliegende Wasserkraftwerke führten im Werk Ferlach ein Jahrzehnt später zur kompletten Umrüstung auf Elektroschmelzöfen.¹⁵⁸ In den 1920er Jahren wurden die mittlerweile veralteten Héroult-Öfen durch modernere Fiat-Elektroöfen ersetzt. Das Turiner Unternehmen verbesserte die Öfen von Héroult durch eine Reduktion des Kohleelektrodenverbrauchs und entwickelte ferner eine Methode für eine bessere Handhabung der entstehenden Ofengase.¹⁵⁹

Die Verwendung von Elektrizität in der Eisenerzeugung brachte gegenüber der konventionellen Herstellung von Eisen aus Erzen mithilfe von Steinkohle mehrere Vorteile: Die elektrischen Verfahren sind unabhängig von der umgebenden Atmosphäre, können höhere Temperaturen im Schmelzofen erzeugen und das Roheisen beliebig lang flüssig halten. Die elektrische Methode führte zu besseren Eigenschaften des flüssigen Eisens. Im Gegensatz zu den bisherigen Schmelzverfahren konnten Gussstücke hergestellt werden, die zuvor nicht möglich waren. Legierungen mit Wolfram und anderen Metallen konnten mit der Elektroschmelztechnik in einer größeren Menge produziert werden.¹⁶⁰

¹⁵⁷ Köstler, Elektrostahlwerk Ferlach, 44.

¹⁵⁸ Köstler, Elektrostahlwerk Ferlach, 47f.

¹⁵⁹ Köstler, Elektrostahlwerk Ferlach, 50f.

¹⁶⁰ Mieth, Technik zwanzigstes Jahrhundert, Bd. 1, 208.

Vor dem Einsatz von Elektroöfen in Hüttenwerken wurde Werkzeugstahl mit dem konventionellen „Tiegelstahlprozess“ erzeugt. Mit dem Elektrostahlprozess konnten die relativ hohen Kosten für die Werkzeugstahlproduktion gesenkt werden. Die niedrigen Produktionskosten waren an eine günstigere und zuverlässigere Stromversorgung geknüpft. Es gab ebenso Hybridverfahren, indem konventionell durch Kohle geschmolzener Stahl für eine gleichbleibende Qualität durch die Elektroschmelze flüssig gehalten wurde.¹⁶¹ Die längere Lagerung von verflüssigtem Eisen führte aber gleichzeitig zu höheren Kosten. Der Strom war zwar noch sehr billig, die damit erzielte Qualitätssteigerung wurde von den Abnehmern des Stahls aber nicht mit einem besseren Verkaufspreis quittiert.¹⁶²

5.1.2 Elektrisch betriebene Gusseisenwagen

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts setzte ein Großteil der Stahl- und Walzwerke auf die konventionellen Antriebsarten Dampf und Druckwasser.¹⁶³ Für den Transport von flüssigen Roheisen wurden dampfhydraulische Gießwagen eingesetzt. Diese arbeiteten einerseits zuverlässig, andererseits wiesen sie aufgrund der darauf montierten Dampfmaschine ein hohes Eigengewicht auf.¹⁶⁴ Die Bedienung eines derartigen Gießwagens musste von mindestens zwei Arbeitern durchgeführt werden. Das bedeutete höhere Personalkosten. Elektrisch betriebene Gusswagen waren bereits wesentlich leichter im Gewicht als herkömmliche dampfhydraulisch betriebene. Sie konnten mit weniger Personal und einfacher bedient werden.

Auf Jahre gerechnet, kompensierten die niedrigeren Betriebskosten den höheren Anschaffungspreis der elektrischen Gusswagen. Trotz ihrer neuartigen Konstruktion und den damit verbundenen geringeren Erfahrungswerten konnten

¹⁶¹ *Miethe*, Technik zwanzigstes Jahrhundert, Bd. 1, 209.

¹⁶² *Miethe*, Technik zwanzigstes Jahrhundert, Bd. 1, 210.

¹⁶³ *Miethe*, Technik zwanzigstes Jahrhundert, Bd. 2, 84.

¹⁶⁴ *Miethe*, Technik zwanzigstes Jahrhundert, Bd. 2, 86.

sie sich sehr rasch in den Hüttenwerken etablieren. Das ständige Heizen der Dampfmaschine, um den Gusswagen auch während der kurzen Pausen betriebsfähig zu halten, war ein grundlegender Nachteil, der mit dem elektrischen Transportwagen beseitigt werden konnte.¹⁶⁵

Der Gewichtsanteil für den Antrieb des elektrischen Gusswagens war vergleichsweise gering. So sehr man sich bei der Frage nach der Antriebsart auch einig war: Die Frage nach der Kraftübertragung führte noch zu Konfrontationen. Dabei ging es nicht nur um den Kostenfaktor, sondern auch um die Betriebssicherheit. Ziel war es, einen elektrischen Gusswagen zu konstruieren, der die waagrechten und vertikalen Bewegungen der Gießpfanne möglichst präzise und zuverlässig ausführen konnte. Dabei konnte die Kraft des Elektromotors mithilfe einer Spindel oder mit der bewährten Art des Presswassers an die Pfanne weitergeleitet werden. Die Verwendung der letztgenannten Variante war bereits beim Einsatz von Dampfmaschinen üblich. Dabei wurde die Drehbewegung für den Antrieb einer Kompressionsanlage genutzt, die Wasser auf ein betriebsfähiges Druckniveau brachte. In diesem Fall wurde das Presswasser in hydraulischen Leitungen zum Ausleger der Pfanne geleitet.

Diese Übertragungsart wurde von vielen Ingenieuren als die geeignetere angesehen. Dem gegenüber standen die Befürworter des direkten Antriebs mit dem Elektromotor. Sie argumentierten mit einer steigenden Zuverlässigkeit bei Verwendung von besseren Übertragungsmaterialien. Als Beispiel nannten sie die Verwendung einer Nickelstahl-Hubkette, die eine leistungsstarke Verbindung zwischen dem Elektroantrieb und dem Gestänge der Hubpfanne sicherstellte. Sie warnten vor dem möglichen Szenario einer platzenden Hydraulikleitung, die zu einem Kurzschluss des elektrischen Systems am Gusswagen führen könnte. Eine vergleichbare Diskussion wurde bei der Entwicklung der modernen Aufzugstechnik geführt: Die Zuverlässigkeit und der Sicherheitsaspekt standen auch hier im Mittelpunkt der Entscheidungsfindung. Zu Beginn war es noch der hydraulische Kolben, der für eine sichere und zuverlässige Kraftübertragung sorgen sollte. Durch die jahrelange Erprobung setzte sich jedoch der direkte

¹⁶⁵ Carl Michenfelder, Moderne Gießwagen und Gießkrane für Stahlwerke. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 322 (1907) 681.

elektrische Antrieb durch. Somit verlor das Druckwasser sowohl in Produktionsbetrieben als auch in der erwähnten Aufzugstechnik sein Monopol.¹⁶⁶

Für den zuverlässigen und betriebssicheren Betrieb der elektrischen Gusswagen war nicht nur die Übertragungsart entscheidend, sondern auch die Art der Konstruktion. Die Gießpfanne musste optimal am Ausleger des Gusswagens montiert und gelagert sein, um eine ausreichende Bewegungsfreiheit garantieren zu können. Die Antriebsspiralen sollten großzügig dimensioniert und in einer notwendigen Anzahl vorhanden sein. In einem Lothringer Hüttenwerk verursachte ein fehlerhafter elektrischer Gusswagen erhebliche Probleme in der Produktion: Aufgrund von schwerwiegenden Abnutzungen der Getriebeteile konnte die Gießpfanne nicht mehr gehoben und gesenkt werden. Derartige Vorfälle führten zu einer weiteren Verbesserung der elektrischen Gusswagen.¹⁶⁷

Trotz des Fortschritts in der Konstruktion entstand bei zunehmender Produktion ein Platzproblem bei den schienengeführten Transportwagen. Als optimalere Lösung galten bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts elektrische Deckenkräne. Mit schwenkbaren Auslegern ausgestattet, sollten sie in immer größerer Anzahl in den Stahlwerken zur Verwendung kommen.¹⁶⁸

5.2 Aluminium

Aluminium kommt im Gegensatz zu Eisen nicht in metallischer Gestalt vor, weshalb seine Entdeckung nur durch geeignete Methoden möglich war.¹⁶⁹

Bereits Jahrhunderte zuvor wurde das Mineral Alaun abgebaut, aus dem sich die Bezeichnung Aluminium ableitet. In der Natur kommen Aluminiumverbindungen relativ häufig vor, später wurde Bauxit zu einem der wichtigsten Rohstoffe für die Herstellung.¹⁷⁰

Die Existenz von Aluminium dürfte schon länger bekannt sein. Bereits in den 1780er Jahren vermerkte der französische Chemiker Antoine Laurent de Lavoisier, dass Tonerde vermutlich aus einem Metalloxid besteht. Er glaubte, das

¹⁶⁶ *Michenfelder*, Gießwagen und Gießkrane, 682.

¹⁶⁷ *Michenfelder*, Gießwagen und Gießkrane, 683.

¹⁶⁸ *Miethe*, Technik zwanzigstes Jahrhundert, Bd. 2, 94.

¹⁶⁹ *Vaupel*, Frühgeschichte des Aluminiums, 231.

¹⁷⁰ *Vaupel*, Frühgeschichte des Aluminiums, 235-237.

Oxid sei fest mit Sauerstoff verbunden und könne nicht gelöst werden. Davy bestätigte 1807 die Erkenntnisse von Lavoisier und nannte das in der Tonerde gebunden Metall „Alumina“.¹⁷¹

Davy gelang es, aus zahlreichen Erden die jeweiligen Metalle mithilfe der Voltaschen Säule und der Elektrolyse herauszulösen. Denselben Vorgang wollte er mit der Tonerde wiederholen. Obwohl er bei seinen Versuchen immer leistungstärkere galvanische Elemente verwendete, gelang ihm keine Herauslösung von brauchbarem Aluminium.¹⁷²

Mehr Erfolg hatte 1825 der dänische Physiker Hans Christian Oersted. Mit einem Kaliumamalgam gelang es ihm erstmals, aus Aluminiumchlorid reines Aluminium zu gewinnen. Diese Entdeckung löste einen Experimentierboom mit dem neuen Metall aus. Diese Versuche führten 1854 zur Entwicklung der Schmelzflusselektrolyse.

Nun war die Herstellung etwas größerer Mengen Aluminium aus Natrium-Aluminium-Chlorid möglich.¹⁷³

In Frankreich gab Napoleon III. den Anstoß zur Aluminiumherstellung in großen Mengen. Er war von diesem neuartigen Metall so fasziniert, dass er die Entwicklungskosten des Herstellungsverfahrens finanziell unterstützte.¹⁷⁴

Das Metall wurde auf der Pariser Weltausstellung von 1855 erstmals in Form eines Kilo-Blocks ausgestellt und in Presse als „Silber aus Lehm“ bezeichnet. Aluminium hatte zu dieser Zeit noch einen höheren Preis als Gold. Die ersten produzierten Gegenstände aus Aluminium waren Becher und Kleiderknöpfe sowie eine Kinderklapper für den Sohn des Staatspräsidenten und späteren Kaisers. Es folgten Ausrüstungsteile und Musikinstrumente aus Aluminium für die französische Armee. Trotz der anfänglichen Euphorie erkannte man bereits die Nachteile des neuen Metalls: Es verlor in der Luft seinen Glanz, war aufgrund des tonartigen Geschmacks nur bedingt als Geschirr verwendbar und

¹⁷¹ Martina König, Gustav Otruba, Zur Geschichte des Aluminiums in Salzburg und Oberösterreich. In: Österreich in Geschichte und Literatur, 40. Jahrgang (1996) 157–181.

¹⁷² Vaupel, Frühgeschichte des Aluminiums, 235-237.

¹⁷³ König, Otruba, Geschichte des Aluminiums, 157.

¹⁷⁴ Seitel, Siegeslauf der Technik, Bd. 1, 395.

konnte zunächst nicht gelötet werden. Das Ziel war es, Aluminium in einer reineren Form und billiger herzustellen. Das gelang durch chemische Verbesserungen und mit dem 1867 entwickelten Dynamo von Siemens. Um Aluminium in großen Mengen herzustellen, musste neben der Dynamomaschine auch das Produktionsverfahren verbessert werden.¹⁷⁵

Bereits Mitte der 1850er Jahre entwickelten Robert Bunsen und Henri Deville eine Darstellung von Aluminium durch Elektrolyse. Den Ausgangsstoff bildete Natrium-Aluminium-Chlorid. Ein echter Durchbruch konnte aber erst drei Jahrzehnte später erzielt werden. Dem Franzosen Paul Héroult wurde das erste Patent über die Grundlage der Schmelzflusselektrolyse zugeschrieben. Damit konnte metallisches Aluminium durch Zugabe von Tonerde und Kryolith kathodisch herausgeschmolzen werden. Bei einer typischen Aluminiumerzeugung ließen sich aus vier Tonnen Bauxit etwa zwei Tonnen Aluminiumoxid gewinnen. Durch Zugabe von rund 50 Kilo Kryolith sowie Kohlenelektroden im Ausmaß von einer halben Tonne wurde bei einer Stromzufuhr von 14.000 bis 16.000 Kilowattstunden Gleichstrom rund eine Tonne reines Aluminium hergestellt. Dieses bewährte Verfahren wird bis heute angewendet, wobei neben Héroult der Amerikaner Charles Hall und der Direktor der AIAG (Aluminium-Industrie-Aktiengesellschaft), Martin Kiliani, maßgeblich beteiligt waren.¹⁷⁶ Zusammen mit der Hochspannungstechnik und dem von ihnen entwickelten Verfahren, konnte Aluminium Ende der 1880er Jahre in großen Mengen und vor allem preisgünstiger erzeugt werden.¹⁷⁷

Die chemische Abscheidung von Aluminium durch Natrium wurde nur mehr im kleinen Rahmen durchgeführt. Die Anfänge der Aluminiumherstellung durch die Schmelzflusselektrolyse waren von Geheimhaltung geprägt. Nur wenige Werke waren in der Lage, große Mengen des leichten Metalls herzustellen. Neue Erfahrungen aus der Produktion wurden nicht veröffentlicht, um den Mitbewerbern einen Schritt voraus zu sein.¹⁷⁸ Das neue Metall ermöglichte Weiterentwicklung in der Verbrennungsmotortechnik und in der aufstrebenden Elektroindust-

¹⁷⁵ *Seitel*, Siegeslauf der Technik, Bd. 1, 396.

¹⁷⁶ Hans Jörg *Köstler*, Zur Geschichte der Aluminiumhütte in Lend, Steeg und Ranshofen. In: Österreichischer Kalender für Berg, Hütte und Energie, (Wien 1986) 143-145.

¹⁷⁷ *König, Otruba*, Geschichte des Aluminiums, 158.

¹⁷⁸ Hugo *Krause*, Das Aluminium und seine Legierungen. Die Herstellung und die Eigenschaften des Aluminiums und seiner Legierungen, Bd. 1 (Wien/Leipzig 1923) 95.

rie. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde Aluminium auch für den Automobil-, Luftschiff- und Flugzeugbau verwendet.¹⁷⁹

Unklarheit herrschte zunächst über die Verwendung von Aluminium in der Elektrotechnik. Im Gegensatz zu den USA zögerte die Elektroindustrie in Deutschland, großflächig Stromkabel aus Aluminium anstelle von Kupfer zu verwenden. Die Befürworter hofften, durch die leichteren Kabel weniger Strommasten entlang der Hochspannungsstreck platzieren zu müssen.¹⁸⁰

In den deutschsprachigen Gebieten wurde 1888 mit der „Aluminium-Industrie-Aktiengesellschaft“ eines der ersten einschlägigen Unternehmen gegründet. Der in Zürich ansässige Verein baute im Gründungsjahr bereits ein erstes Aluminiumwerk bei Neuhausen am Rheinfall, wo durch Wasserkraft auch der hohe Strombedarf gedeckt werden konnte. Das Herstellungsverfahren beruhte auf dem Patent Héroult.¹⁸¹ Das produzierte Aluminium wurde beispielsweise von der Schweizer Maschinenbaufirma Escher, Wyss und Co. zum Bau kleiner Segelboote verwendet. Diese wurden 1891 bei der Internationale Elektrotechnischen Ausstellung 1891 in Frankfurt am Main ausgestellt.¹⁸²

In der Habsburgermonarchie leistete Carl Joseph Bayer mit der Entwicklung alternativer Verfahren einen wichtigen Beitrag zur Aluminiumproduktion. Zu Beginn der 1890er Jahre meldete er sein „Bayer-Verfahren“ zum Patent an. Dem deutschen Metallurgen Alfred Wilm gelang mit speziellen Legierungen die Herstellung von „Duraluminium“: Durch Beigabe von Magnesium und Kupfer erhöhte sich der Härtegrad des Aluminiums.¹⁸³

Um die Jahrhundertwende war Aluminium bereits mit einem Reinheitsgehalt von 99,9% herstellbar. Militärische Ausrüstungsgegenstände und Maschinenteile, die besonders leicht sein mussten, wurden nun in Massen billig produziert. Durch neue Verfahren wurde es möglich, Aluminium zu löten und galvanisch mit anderen Metallen zu überziehen. Durch den Überzug mit Kupfer entstanden Gegenstände mit einer goldfarbenen Oberfläche. Die Vorzüge dieser „Alumi-

¹⁷⁹ Roland Schwarz, Aluminium für die Elektrotechnik. Wirtschaftliche und politische Bedingungen einer Werkstoffinnovation zu Beginn des 20. Jahrhunderts. In: Technikgeschichte, Bd. 60 (1993) 107–128.

¹⁸⁰ Krause, Aluminium, 110.

¹⁸¹ König, Otruba, Geschichte des Aluminiums, 158.

¹⁸² Anonym, Ueber Fortschritte in der Aluminiumindustrie. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 284 (1892) 253–255.

¹⁸³ König, Otruba, Geschichte des Aluminiums, 158.

niumbronze“ lagen in ihrem geringen Gewicht. So gelang es, Brillenfassungen oder andere optische Hilfsmittel herzustellen.¹⁸⁴

1906 lag die jährliche weltweite Produktion von Aluminium gerade bei 6.590 Tonnen. Durch die Verwendung von Aluminium als Kupferersatz, in der Rüstungsindustrie während des Ersten Weltkriegs steigerten sich 1918 die Produktionsraten auf jährlich 131.000 Tonnen.¹⁸⁵

5.2.1 Aluminiumproduktion der Hütte Lend

In der Donaumonarchie begann die erste großangelegte Aluminiumerzeugung in der Hütte Lend im Pinzgau (Salzburg). Die Produktionsstätte wurde vom deutsch-schweizerischen Konsortium AIAG errichtet. Durch eine ehemalige Gold- und Silberhütte konnte Lend bereits eine Bergbautradition vorweisen. Außerdem eignete sich die nahe gelegene Gasteiner Ache für die nötige Stromversorgung der Aluminiumhütte. Das produzierte Leichtmetall war für den heimischen Verbrauch und den osteuropäischen Markt bestimmt. Schwankende Wassermengen der Gasteiner Ache führten in den ersten Jahren immer wieder zu Problemen im Werk Lend. Die Elektrizität des Kraftwerks Klamstein reichte bei Niedrigwasser oft nicht für die Aluminiumerzeugung. Personalmangel im Schichtbetrieb verschärfte die Situation. Trotz der eher ungünstigen Bedingungen konnten im ersten vollen Betriebsjahr 1899 rund 200 Tonnen Aluminium erzeugt werden. Dieser Wert steigerte sich 1903 auf eine Jahresproduktion von etwa 700 Tonnen.

Durch den Bau des Kraftwerks Rauris-Kitzloch und der Errichtung einer 7,2 Kilometer langen Hochspannungsleitung zum Standort Lend stieg die jährliche Produktion 1904 bereits auf 1.025 Tonnen. Die 7.000 Volt-Leitung zwischen dem Rauriser Kraftwerk und Lend war die erste „Großkraftübertragungsanlage“ der Monarchie.

Der nötige Rohstoff wurde in Form von Aluminiumoxid aus dem Herzogtum Krain, dem heutigen Slowenien, bezogen. Neben Aluminium wurde im AIAG-Werk Lend auch Karbid hergestellt. Bis zum Ausbruch des Ersten Weltkriegs

¹⁸⁴ Seitel, Siegeslauf der Technik, Bd. 1, 396.

¹⁸⁵ König, Otruba, Geschichte des Aluminiums, 158f.

blieb der Standort Lend die einzige Aluminiumproduktionsstätte der Donaumonarchie. Kriegsbedingt stieg die jährliche Produktion ab 1915 auf 3.000 Tonnen. Für diesen Anstieg mussten das Elektrizitätswerk Stern und Hafferl in Steeg zugeschaltet werden.¹⁸⁶ Die Staumauern des Kraftwerks wurde zu Beginn des 20. Jahrhunderts primär für die Hochwasserentlastung von Donau und Traun gebaut. Erst ab 1907 wurden die Staustufen für die Stromerzeugung genutzt.¹⁸⁷

5.2.2 Aluminiumproduktion der Hütte Steeg

Um den steigenden Aluminiumbedarf des Krieges zu decken, wurde auch in Steeg in der Gemeinde Goisern (Oberösterreich) eine Produktionsstätte errichtet. Die Anlage sollte jährlich 1.300 Tonnen Aluminium liefern und startete 1917 mit bis zu 1.000 Arbeitern, unter ihnen viele Kriegsgefangene aus Russland und Italien. Das verwendete Bauxit wurde hauptsächlich aus Dalmatien angeliefert.¹⁸⁸

Als „Salzburger Aluminium Group“ besteht der Standort Lend bis heute.¹⁸⁹ hingegen wurde die Aluminiumproduktion in Steeg 1943 stillgelegt. Bis heute existiert jedoch mit der SGL Carbon GmbH und Co. KG in Steeg ein Nachfolgebetrieb.¹⁹⁰

¹⁸⁶ König, Otruba, Geschichte des Aluminiums, 159f.

¹⁸⁷ URL: <http://www.energieag.at/Kraftwerke/> [20.09.2012].

¹⁸⁸ König, Otruba, Geschichte des Aluminiums, S. 160f.

¹⁸⁹ URL: <http://www.sag.at/de/unternehmen/> [20.09.2012].

¹⁹⁰ URL: <http://www.sglgroup.com/cms/international/company/sglgroup-worldwide/steeg/> [20.09.2012].

6 Metallbearbeitung

6.1 Das Schmelzen und Lösen von Metallen durch Nutzung der Elektrizität

Das Herauslösen von Metallen mithilfe der Elektrolyse zählte zu den ersten Anwendungen von Elektrizität. Der Chemiker Humphry Davy konnte durch den Schmelzfluss die Alkalielemente erstmals darstellen. Trotz einiger falscher Annahmen lieferte er damit die ersten praxistauglichen Grundlagen für die Elektrochemie.

Der vor allem durch die Entdeckung der elektromagnetischen Induktion bekannte Michael Faraday war ein Schüler von Davy. Vor seinen elektromagnetischen Experimenten beschäftigte er sich mit der Elektrochemie und prägte mehrere Grundbegriffe der Elektrolyse. Sie beinhalteten die heute noch gebräuchlichen Fachbegriffe wie: „Elektrolyt“ für die stromdurchfließende Flüssigkeit oder aber die „Elektroden“, als Bezeichnung der positiven „Anode“ und der negativen „Kathode“. Auf den Erkenntnissen von Faraday und Georg Simon Ohm aufbauend, befasste sich ferner der deutsche Physiker Friedrich Kohlrausch mit den „Elektrolyten“ und deren Leitfähigkeiten.¹⁹¹

Mit der Entwicklung der elektromagnetischen Induktionsmaschine stand der Elektrochemie eine neue Stromquelle zur Verfügung. Der schwache Gleichstrom der vorerst einfachen Apparate reichte für die elektrolytischen Verfahren aus. In der Anfangsphase konnte der erzeugte Strom direkt von der Induktionsmaschine in die Galvanobecken geleitet werden. Mit der Etablierung der Starkstromtechnik ab den 1880er Jahren musste der produzierte Drehstrom zunächst transformiert werden, um ihn für das chemische Verfahren nutzbar zu machen.¹⁹²

¹⁹¹ Fett, Krämer, Weiner, Die Geschichte der Galvanotechnik, 19f.

¹⁹² Fett, Krämer, Weiner, Die Geschichte der Galvanotechnik, 34.

6.2 Vergolden und Versilbern durch Elektrizität

Diese Verfahren beschränkten sich zunächst auf Experimente und kleinere Anwendungen, bei denen die Spannung der galvanischen Batterie ausreichte. Bereits 1805, fünf Jahre nach der Konstruktion des ersten galvanischen Elements durch Volta, verwendete sein Schüler Lodovico Gasparo Brugnatelli die Stromquelle für Vergoldungszwecke. Trotz der frühen Nutzung der Batterie für Veredelungsverfahren konnten erst Jahrzehnte später qualitativ hochwertige Metallüberzüge erreicht werden.¹⁹³

Werner von Siemens, der spätere Entdecker des dynamoelektrischen Prinzips, experimentierte um das Jahr 1840 im Bereich der elektrolytischen Metallerstellung. Er wurde dabei von Moritz Hermann Jacobi inspiriert, dem es als erstem gelang, Kupfer in metallischer Form durch Elektrolyse aus einer Lösung von Kupfervitriol darzustellen.¹⁹⁴ Aufgrund des Mitwirkens von Siemens bei einem Soldatenduell in Magdeburg, musste er eine mehrmonatige Festungshaft absitzen. Diese Zeit nutzte er, um seine elektrolytischen Experimente fortzusetzen. Er richtete für diesen Zweck ein kleines Labor in seiner Gefängniszelle ein. Die dafür notwendigen Materialien ließ er sich in die Zelle schmuggeln. Seine Versuche führten zu erfolgreichen Ergebnissen: Siemens konnte einen in Lösung getauchten Silberlöffel mithilfe der Elektrolyse vergolden. Als Stromquelle verwendete er eine Batterie von Daniell.

In den 1840er Jahren war die galvanische Vergoldung und Versilberung in Deutschland noch relativ neu. Das wissenschaftliche Umfeld war deshalb von den Ergebnissen überrascht. Noch im Gefängnis sitzend, schloss Siemens mit einem Juwelier einen Vertrag über die Verwendung seines galvanischen Verfahrens ab. Ironischerweise war er über seine vorzeitige Entlassung aus der Haftanstalt nicht besonders begeistert. Um seine Experimente ungehindert fortsetzen zu können, forderte Siemens für sich Haftverlängerung, die ihm jedoch nicht gestattet wurde. Seine militärischen Vorgesetzten zeigten sich an seinen

¹⁹³ Fett, Krämer, Weiner, Die Geschichte der Galvanotechnik, 27.

¹⁹⁴ Siemens, Lebenserinnerungen, 24.

Haftexperimenten interessiert und versetzten ihn zum „Feuerwerkskommando“ nach Spandau.¹⁹⁵ Mit der Berliner Neusilberfabrik Henninger konnte Siemens einen weiteren Vertrag schließen. Seine Entwicklung sollte in der Produktion zur Anwendung kommen und er am Gewinn der Firma beteiligt werden. Damit wurde der erste Betrieb für die elektrolytische Versilberung und Vergoldung in Deutschland gegründet.¹⁹⁶

Siemens wollte seine Methode auch in England einsetzen. Ein ähnliches Verfahren war jedoch bereits von George Richards Elkington in England zum Patent angemeldet worden.¹⁹⁷

Das galvanische Veredelungsverfahren beschränkte sich in den Anfangsjahren auf das Vergolden und Versilbern von Luxusgegenständen. Emil Stöhrer, ein Mechaniker in Leipzig, veröffentlichte 1847 eine Instruktion für das Vergolden mithilfe eines Stromgenerators. Für den Vorgang verwendete er eine handbetriebene Induktionsmaschine, die mit einem permanenten Hufeisenmagneten und zwei Magnetspulen ausgestattet war. Über zwei Messingstäbe mit angebundenen Platinfäden leitete Stöhrer den Strom in einen mit Goldlösung gefüllten Glasbehälter. Der eine Faden war mit dem zu vergoldenden Gegenstand verbunden, der zweite an einer kleinen Platinplatte befestigt. Beim Drehen der Induktionsmaschine konnte der Benutzer durch gleichzeitiges Berühren der beiden Messingstäbe die Funktionsweise des Apparates kontrollieren.¹⁹⁸

Die zu vergoldenden Gegenstände mussten vor dem Eintauchen in die Goldlösung gesäubert und poliert werden, um ein makellooses Ergebnis zu erzielen. Wollte man nur gewisse Stellen eines Gegenstandes vergolden, mussten die anderen mit einer Wachs- oder Harzschicht abgedeckt werden. Einfach gestaltete sich das Veredeln des Inneren eines Bechers: Dieser wurde mit einer Goldlösung gefüllt und mit dem Platindraht verbunden. Das am zweiten Draht befestigte Platinblättchen wurde anschließend vorsichtig in der Lösung bewegt. Ein perfektes Endresultat konnten die Vergolder durch abschließendes Polieren erreichen. Emil Stöhrer benutzte für seine Lösung reines Gold, das er je nach

¹⁹⁵ *Siemens*, Lebenserinnerungen, 26f.

¹⁹⁶ *Siemens*, Lebenserinnerungen, 29.

¹⁹⁷ *Siemens*, Lebenserinnerungen, 30.

¹⁹⁸ *Anonym*, Ueber die Anwendung der magnet-elektrischen Maschine zum Versilbern und Vergolden der Metalle. In: *Dinglers Polytechnisches Journal*, Bd. 107 (1848) 56.

Gegenstand mit der acht- bis zu zwanzigfachen Menge an destilliertem Wasser verdünnte. Sollte die Vergoldung rötlicher ausfallen, mengte er eine Kupferlösung hinzu.¹⁹⁹

Durch das neue Verfahren der Edelmetallbeschichtung durch Elektrizität wurden die konventionellen Methoden der Feuerbeschichtung und der Silberplattierung teilweise abgelöst.²⁰⁰ Mit der Verwendung leistungsstarker Dynamomaschinen konnte die Größe und Anzahl der zu überziehenden Gegenstände erweitert werden.

6.3 Die elektrische Niederschlagung von Kupfer

Für die Reingewinnung von Metallen eigneten sich besonders die Dynamomaschinen von Zénobe Théophile Gramme und Friedrich von Hefner-Alteneck. Im Gegensatz zu jenen Stromerzeugern, die für den Motorantrieb oder für Beleuchtungszwecke konstruiert wurden, änderten sich die Anforderungen für die Metallniederschlagung. Hier war weniger die elektromotorische Kraft als die Stromstärke gefragt. Dem entsprechend konstruierten die Hersteller Dynamomaschinen mit großem Anker und Elektromagneten, allerdings mit weniger Windungen.

Einer dieser stromstarken Dynamos wurde von der Firma Siemens und 1879 für das königliche Hüttenwerk in Oker im Harz geliefert.²⁰¹ Sie beruhte auf dem System des Siemensmitarbeiters Hefner-Alteneck. Der Dynamo lieferte 24 Stunden am Tag Strom für die Kupferniederschläge der Hütte. Mit einer Leistung von sieben Kilowatt ermöglichte er dem Unternehmen eine tägliche Produktionsmenge von 250 bis 300 Kilo Kupfer.²⁰²

Das Kupfer selbst konnte durch die Elektrizität nicht direkt aus den Erzen gewonnen werden. Der elektrolytische Prozess verfeinerte es jedoch und ver-

¹⁹⁹ *Anonym*, Anwendung magnet-elektrischer Maschine. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 107 (1848) 57.

²⁰⁰ Valentina Tobisch Ljubic, Hubert Weitensfelder, Wolfgang Kautek, Die Anfänge der Galvanoplastik und Galvanografie in Österreich. In: Blätter für Technikgeschichte (2012) 136.

²⁰¹ *Anonym*, Siemens und Halske's dynamo-elektrische Maschine. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 240 (1881) 39.

²⁰² Muyden, Frauberger, Die Erfindungen der neuesten Zeit, 216.

besserte seine elektrische Leitfähigkeit. Bei den ersten Verfahren wurde das Rohkupfer oder der Kupferstein in bleiverkleidete Holzbottiche gelegt, die mit Lauge gefüllt waren. Die Anode des zugeführten Stroms wurde an die Rohkupferplatten angeschlossen, die ihre Kupferanteile stetig an die Kathode abgaben. An den Feinkupferblechen setzte sich das Elektrolytkupfer ab. Trotz seiner schlechten Gießeigenschaft wurde Kupfer aufgrund seiner Witterungsbeständigkeit und seiner guten Polierfähigkeit zu einem beliebten Metall.²⁰³

6.4 Das Verfahren der Galvanoplastik

Bereits vor der Anwendung der Galvanoplastik wurden Gegenstände mithilfe der Elektrochemie beschichtet. Dieses Verfahren wurde „Galvanostegie“ genannt und diente als Vorlage für die spätere „Galvanoplastik“. Als Erfinder dieser Methode gilt Moritz Hermann von Jacobi, der zuvor bereits den ersten praxistauglichen Elektromotor konstruierte. Er veröffentlichte 1840 seine Experimentalreihe Galvanoplastik. Diese spezielle Technik erlaubte die Herstellung von Negativabdrücken unterschiedlicher Gegenstände. Im Unterschied zur elektrischen Edelmetallbeschichtung wurde bei der Galvanoplastik das aufgetragene Kupfer vom Objekt wieder abgehoben und etwa als Druckplatte für Kupferstiche verwendet. Der große Vorteil dieser Technik bestand in der Vervielfältigung einer großen Menge von Kupferstichkopien ohne Qualitätsverlust. Abgenutzte Platten konnten beliebig oft durch neue galvanoplastische Platten vom Originalobjekt ersetzt werden.

Ein verwandtes Verfahren entwickelte Franz von Kobell. Der Mineraloge und Schriftsteller aus München überzog ab 1840 Tuschezeichnungen mit einem Kupferniederschlag und erhielt als Resultat einen perfekten Negativabdruck. Diese Variante der Galvanisierung bezeichnete er als „Galvanografie“. Beide Techniken, Galvanoplastik und Galvanografie weckten die Aufmerksamkeit zahlreicher Unternehmer.²⁰⁴

²⁰³ Seitel, Siegeslauf der Technik, Bd. 1, 382f.

²⁰⁴ Tobisch Ljubic, Weitensfelder, Kautek, Anfänge Galvanoplastik, 136 u. 138f.

Großes Interesse für die Objektvervielfältigung durch die Galvanotechnik zeigte Franz Theyer. Er war Besitzer eines Warengeschäfts für das Bürgertum in der Wiener Innenstadt. 1840 wurde der „Niederösterreichische Gewerbeverein“ gegründet, dem Theyer 1841 beitrug. In den Räumlichkeiten des Vereins war ihm das Experimentieren mit der Galvanotechnik möglich. Seine gefertigten Druckplatten waren bei den Kupferstechern aufgrund der guten Qualität sehr gefragt. Gemeinsam mit dem Wiener Erfinder und Mediziner Erwin Waidele vervielfältigte Theyer ab 1842 eine Reihe von Zeichnungen und Gemälden mithilfe der Galvanoplastik. Sie erkannten den großen Vorteil gegenüber herkömmlicher Methoden. Ihre erzeugten Kupferplatten stellten sie bei zahlreichen Ausstellungen vor. Speziell dem Kunstmarkt öffnete die Galvanoplastik neue Tore: Neben der hohen Genauigkeit der Abdruckplatten zum Original konnten auch die Preise der angefertigten Kopien gesenkt und damit eine neue Käuferschicht erschlossen werden.²⁰⁵

Zuvor konnten per Hand getriebene Kupferplatten nur für wenige Drucke verwendet werden, wobei die Qualität nach jedem Druckvorgang abnahm. Auch die Genauigkeit wurde durch Kratzspuren an den Platten verfälscht. Noch vor der Einführung der Galvanotechnik wurden bei der Erzeugung von Metallstichen Stahl- den Kupferplatten vorgezogen, um mehr Exemplare damit drucken zu können. Die Herstellung der Stahlplatten erwies sich jedoch aufgrund der Materialhärte als nachteilig. Eine der ersten kommerziellen Anwendungen von Theyer und Waidele war das Vervielfältigen der „Wiener Neujahrsglückwunsch-Enthebungskarten“. Für die Anfertigung der Kupferplatte verwendeten sie den Strom einer Batterie. Diese Karten wurden für wohlhabende Bürger angefertigt und der daraus erzielte Erlös für wohltätige Zwecke verwendet.²⁰⁶

1853 gestaltete der deutsche Kupferstecher und Maler Georg Ludwig von Krell mit dem Gutenberg-Denkmal, in Frankfurt am Main, ein größeres galvanoplastisches Objekt, das bis heute besteht.²⁰⁷ Mit der Methode der Galvanoplastik können auch nichtmetallische Gegenstände mit einem Edelmetallüberzug ver-

²⁰⁵ Tobisch Ljubic, Weitensfelder, Kautek, Anfänge Galvanoplastik, 136, 138f.

²⁰⁶ Tobisch Ljubic, Weitensfelder, Kautek, Anfänge Galvanoplastik, 138f.

²⁰⁷ Fett, Krämer, Weiner, Die Geschichte der Galvanotechnik, 46.

sehen werden. Wie bei den metallischen Gegenständen konnte sich auch die Galvanoplastik mit der Entwicklung der Dynamomaschine ab dem Jahr 1866 besser entwickeln. Neue Verfahren wurden während der Wiener Weltausstellung von 1873 und bei der zehn Jahre später stattfindenden Wiener Elektrischen Ausstellung präsentiert.²⁰⁸

7 Elektrizität für den Antrieb von Werkzeugmaschinen

Durch die Entwicklung des Elektromotors kam es in den metallbearbeitenden Großbetrieben zu Veränderungen; Der klassische Antrieb der einzelnen Bearbeitungsmaschinen erfolgte bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts meist durch die Dampfmaschine. Hierbei wurde die erzeugte Bewegung mithilfe von Transmissionen von der zentralen Kraftanlage, zu den einzelnen Werkzeugmaschinen weiter geleitet. Bei der Errichtung neuer Fabriksanlagen für die Metallverarbeitung Ende des 19. Jahrhunderts wurde bereits die Verwendung eines elektrischen Antriebs in Erwägung gezogen. Allerdings sollte die Bewegungskraft des Elektromotors nicht mehr mithilfe einer einzigen Transmission, sondern als Einzel- oder Gruppenantrieb verteilt werden. Der Vorteil dieser Übertragungsart lag in ihrer Zuverlässigkeit. Wenn es zu einem Defekt des elektrischen Antriebs oder zu einem Problem in der Kraftübertragung kam, waren in der Regel nur einzelne Werkzeugmaschinen betroffen und nicht der gesamte Betrieb. Ein weiterer Vorteil lag in der Bewegungsfreiheit; Maschinen mit Einzelantrieb konnten ohne Probleme von einem zum anderen Standort des Betriebs verlegt werden.²⁰⁹ Speziell Betriebe mit angeschlossenem Wasserkraftwerk setzten früh auf den elektrischen Antrieb ihrer Maschinen.²¹⁰

Am Beginn der Nutzung elektrischer Bearbeitungsmaschinen galt es einige Schwierigkeiten zu überwinden. Ohne große Probleme konnten Maschinen elektrisch in Bewegung versetzt werden, die eine hohe Drehzahl erforderten.

²⁰⁸ Tobisch Ljubic, Weitensfelder, Kautek, Anfänge Galvanoplastik, 146f.

²⁰⁹ A. Miethe (Hg.), Die Technik im zwanzigsten Jahrhundert. Das Verkehrswesen, die Großfabrikation, Bd. 4 (Braunschweig 1912) 416.

²¹⁰ Muyden, Frauberger, Die Erfindungen der neuesten Zeit, 215.

Dazu zählten in der Metallindustrie etwa Schleif- und Fräsmaschinen. Komplizierter gestaltete sich die elektrische Motorisierung von Bearbeitungswerkzeugen, die mit unterschiedlichen Umdrehungszahlen arbeiteten. Dabei wurde ein oft kostenintensiver Umbau erforderlich.

Einerseits konnte die Maschinengeschwindigkeit mit Riemenscheiben unterschiedlicher Größen erreicht werden, andererseits wurde versucht, die Motorleistung durch Widerstände zu drosseln. Diese Methode hatte allerdings bei den erreichten niedrigen Drehzahlen einen erheblichen Kraftverlust des Elektromotors zur Folge. Weiterentwicklungen führten Ende des 19. Jahrhunderts zu regulierbaren Antrieben. Neue Elektromotoren in Form von Nebenschlussmaschinen ermöglichten etwa zwischen 400 und 2.000 Umdrehungen pro Minute, bei geringem Kraftverlust.²¹¹

Das bereits erwähnte Düsseldorfer Unternehmen Haniel und Lueg verwendete für den Antrieb der Bearbeitungsmaschinen Ende des 19. Jahrhunderts hauptsächlich Elektromotoren. Wie bei den großen Bergwerksanlagen wurde der Strom in einer zentralen Hauptanlage mit einer Gesamtleistung von rund 1,2 Megawatt produziert und für Maschinenantrieb und Beleuchtung genutzt. Die Gleichstromgeneratoren erzeugten 10.500 Ampere bei einer Spannung von 110 Volt. Gekoppelt waren sie an vier Verbunddampfmaschinen mit jeweils 300 bis 800 PS Leistung.²¹²

Bei der „Internationalen Elektrischen Ausstellung“ 1883 am Wiener Weltausstellungsgelände sorgte die Firma Heilmann, Ducommun und Steinlen für den elektrischen Antrieb der präsentierten Werkzeugmaschinen. Die einzelnen Maschinen wurden durch zwei Elektromotoren der Firma Gramme und über Transmissionswellen betrieben.

Die Motorleistung von 1.200 Umdrehungen pro Minute lieferten zwei größere Dynamomaschinen des gleichen Produzenten. Diese beiden Krafterzeuger erhielten ihre Drehbewegung von einer Zwillingsdampfmaschine der Gebrüder Sulzer aus Winterthur. Im Westflügel der Ausstellung war die „Österreichischen Waffenfabriks-Gesellschaft“, die heutige „Steyr-Mannlicher“, mit einer elektrisch

²¹¹ *Miethe*, Technik zwanzigstes Jahrhundert, Bd. 4, 417f.

²¹² *Anonym*, Düsseldorfer Ausstellung, 511.

betriebsenen Gewehrschloss-Einlassmaschine vertreten. Die Stromversorgung stammte von einer Dynamomaschine der Firma Schuckert.²¹³

8 Zusammenfassung

Das Thema der Nutzbarmachung von Elektrizität vom 19. Jahrhundert bis zum Ersten Weltkrieg erstreckt sich über einen breiten Bogen von Anwendungsgebieten. Auch in der gewählten Eingrenzung auf ihre Nutzung im Bergbau und im Hüttenwesen sowie in den deutschsprachigen Gebieten kann in dieser Diplomarbeit nur ein kleiner Teil an Beispielen wiedergegeben werden. Die gute Quellenlage, etwa durch das umfangreiche und in dieser Arbeit immer wieder zitierten Polytechnischen Journals von Dingler ermöglicht weitere Forschungstätigkeiten und Eingrenzungen innerhalb des Themenbereichs.

Im Bergbau und Hüttenwesen musste sich die Elektrizität dem Wettbewerb vorhandener Technologien und Anwendungen stellen. Effizienz und Kostenersparnis standen für die Betreiber an oberster Stelle, gefolgt vom Sicherheitsfaktor. Bei der elektrischen Lampe von Alphonse Dumas und Camille Benoît wird ein kurzer Exkurs in die südwestfranzösischen Bergbauggebiete unternommen. Die Lampe wurde Anfang der 1860er Jahre entwickelt und beruhte auf bewährte Komponenten wie der Bunsen-Batterie oder der Geißlerröhre. Im Gegensatz zur zuvor verwendeten gasbetriebenen Sicherheitslampe von Humphry Davy war die elektrische Lampe unabhängig von Zugluft und Atmosphäre des Stollens.

Ein Beispiel für eine größere elektrische Beleuchtungsanlage lieferte das Mechernicher Bergwerk in Nordrhein-Westfalen. Ab 1881 begannen die Betreiber mit der Installierung von Elektrolampen, die für den Tage- und Untertagebau genutzt wurden. Sie ersetzten Erdöllampen, die zuvor nur einen beschränkten nächtlichen Abbau ermöglichten. Wie bei vielen anderen Bergwerksbetrieben

²¹³ *Anonym*, Die Kraftübertragungen auf der elektrischen Ausstellung in Wien 1883. In: Polytechnisches Journal, Bd. 250 (1883) 471.

wurde für die Stromerzeugung eine Dampfmaschine mit gekoppelter Dynamomaschine im Krafthaus der Grube eingerichtet. Für eine Effizienzsteigerung stellten ähnliche Gruben ab den 1880er Jahren auch andere Bereiche der Anlage auf den elektrischen Betrieb um. Zu den Nutzungen zählten elektrische Wasserpumpen, elektrische Förderanlagen oder elektrische Grubenbahnen für den Materialtransport innerhalb des Stollens. Ein Beispiel dazu stellt das Bleiberger Bergwerk dar, das ab 1887 eine von Ganz und Co. hergestellte elektrische Grubenlok einsetzte. Dieser Entscheidung gingen streikende Grubenmänner voraus, die gegen die mühevollen Arbeit des Ziehens der Hunte protestierten. Auch in Bleiberg wurden nicht nur eine Grubenbahn installiert, sondern auch eine elektrische Beleuchtungsanlage in Form von Bogenlampen. Bei der Montage beider Systeme mussten topografische und betriebsbedingte Probleme von den Ingenieuren bewältigt werden. Die elektrische Verkabelung musste vor der feuchten Umgebung des Stollensystems geschützt und die Grubenlok für das vorhandene Gleismaterial der Hunte konstruiert werden. Wie die vorhandenen Datensätze zeigen, rechnete sich die Umstellung auf die elektrische Nutzung für das Bleiberger Unternehmen.

Ein härterer Wettbewerb herrschte bei den Produzenten von Grubenförderanlagen. Es wurden nicht nur unterschiedliche Systeme von Anlagen angeboten sondern mit dem Elektro- und Dampfbetrieb auch zwei verschiedene Antriebsarten. Bei einer Düsseldorfer Ausstellung wurden beide Möglichkeiten den potentiellen Käufern angeboten und ihre jeweiligen Vorteile gezeigt. Beide Systeme konnten durch ständige Verbesserungen zunehmend kostendeckend für den Bergwerksbetrieb eingesetzt werden.

Die elektrische Nutzung wurde auf das Hüttenwesen ausgeweitet. Elektrische Schmelzöfen von Paul Héroult und Emilio Stassano revolutionierten die Erzschnmelze. Sie ermöglichten qualitativ hochwertigeren Stahl und im Falle der norditalienischen Betriebe verbilligten sich die Herstellungskosten. Das war einerseits aufgrund der guten Erzqualität und andererseits durch den günstigen Strom aus Wasserkraft möglich.

Während die Elektrizität in den Eisen- und Stahlhütten nur als Ergänzung zur Kohle genutzt wurden, war sie für die großindustrielle Herstellung von Aluminium unumgänglich. Das leichte Metall kann zwar auch chemisch aus der Tonerde gelöst werden, allerdings nur in kleinen Mengen. Wie beim elektrischen

Stahlöfen leistete Paul Héroult für die Schmelzflusselektrolyse wichtige Entwicklungen. Nach ersten großen Aluwerken in Frankreich und in der Schweiz folgten mit den Hütten Lend und Steeg erste österreichische Ableger. Bei allen Betrieben stand die Nutzung der billigen Wasserkraft im Vordergrund. Dem entsprechend wurden die Aluminiumwerke in der Nähe von großen Flüssen errichtet. In der Metallbearbeitung wurde ab der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts der elektrische Strom von Batterien für die Edelmetallbeschichtung genutzt. Im Kunstgewerbe war die Entwicklung der „Galvanoplastik“ von entscheidender Bedeutung. Sie ermöglichte die Herstellung von Kupferstichplatten in hoher Qualität und beliebiger Menge.

Im Bereich elektrische Antriebe von Werkzeugmaschinen ermöglichten weiterentwickelte Elektromotoren eine zunehmend effizientere Alternative zur dampfbetriebenen Transmission. Nicht nur die Großindustrie, sondern auch Klein- und Mittelbetriebe setzten ab Beginn des 20. Jahrhunderts auf den elektrischen Antrieb.

Literaturliste

Felix *Ahrens* (Hg.), Das Buch der Erfindungen. Gewerbe und Industrie. Gesamtdarstellung aller Gebiete der gewerblichen und industriellen Arbeit sowie von Weltverkehr und Weltwirtschaft, Bd. 2 (Leipzig 1898).

Gustav *Albrecht*, Geschichte der Elektrizität, mit Berücksichtigung ihrer Anwendung, A. Hartleben's Elektro-technische Bibliothek, Bd. 28 (Wien/Pest/Leipzig 1885).

Anonym, Dampffördermaschine oder elektrische Fördermaschine. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 317 (1902) 85–93.

Anonym, Die Ausbreitung der Grossindustrie am Oberrhein. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 312 (1899) 48.

Anonym, Die Bergwerks- und Hüttenmaschinen auf der Düsseldorfer Ausstellung. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 317 (1902) 309–621.

Anonym, Die deutschen Werkstoffnormen der Nichteisenmetalle. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 341 (1926) 192–194.

Anonym, Die elektrische Grubeneisenbahn in Bleiberg. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 287 (1893) 227–230.

Anonym, Die ersten elektromagnetischen Entdeckungen und Versuche, an denen Faraday teilnahm. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 346 (1931) 161–164.

Anonym, Die Kraftübertragungen auf der elektrischen Ausstellung in Wien 1883. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 250 (1883) 470–472.

Anonym, Eine neue und sehr kräftige thermo-elektrische Säule von Siegfried Marcus. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 176 (1865) 365–368.

Anonym, Elektrische Grubenbahn. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 247 (1883) 45f.

Anonym, Elektrische Kettenförderung beim Bergbau. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 279 (1891) 23f.

Anonym, Löhne und Lebensmittel-Preise in Europa und in den Vereinigten Staaten von Amerika. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 235 (1880) 162–164.

Anonym, Siemens und Halske's elektrischer Hammer. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 238 (1880) 91f.

Anonym, Ueber die Anwendung der magnet-elektrischen Maschine zum Versilbern und Vergolden der Metalle. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 107 (1848) 55–57.

Anonym, Ueber die elektrische Beleuchtung der Mechernicher Gruben. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 253 (1884) 42–45.

Anonym, Ueber die elektrische Lampe von Dumas und Benoit und ihre Anwendung zum Wegthun der Sprengschüsse beim Bergbau. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 176 (1865) 201–213.

Anonym, Ueber eine wohlfeile Anwendung des Elektro-Magnetismus zu technischen Zwecken. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 59 (1836) 153–154.

Anonym, Ueber elektrische Accumulatoren in Wien. Die elektrischen Accumulatoren auf der Elektrischen Ausstellung in Wien 1883. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 250 (1883) 261–263.

Anonym, Ueber Fortschritte in der Aluminiumindustrie. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 284 (1892) 253–255.

A. *Bantlin*, Die deutsche Industrie und die Arbeiterversicherung. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 316 (1901) 218–221.

Max *Fett*, Oskar P. *Krämer*, Robert *Weiner*, Die Geschichte der Galvanotechnik und die Entwicklung der galvanischen Metallüberzüge bis zur Neuzeit. Robert *Weiner* (Hg.), Schriftenreihe Galvanotechnik, (Saulgau/Wttbg 1959) 10–60.

Hippolyte *Fontaine*, Die magnet-elektrischen Maschinen auf der Wiener Weltausstellung. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 221 (1874) 260–262.

Walter *Häntzschel*, Erfindungen und Experimente. Gemeinverständliche Darstellung aus allen Gebieten der Technik und ihrer Anwendung in der modernen Industrie und dem Gewerbebetriebe. (Berlin 1906).

Peer *Hempel*, Deutschsprachige Physiker in alten St. Petersburg, Georg Parrot, Emil Lenz und Moritz Jakobi im Kontext von Wissenschaft und Politik. Schriftenreihe des Bundesinstituts für ostdeutsche Kultur und Geschichte, Bd. 14 (München 1999).

Nasser *Kanani*, Die Batterie der Parther. Gab es elektrischen Strom schon vor 2000 Jahren? (Bad Saulgau 2005).

Martina *König*, Gustav *Otruba*, Zur Geschichte des Aluminiums in Salzburg und Oberösterreich. In: Österreich in Geschichte und Literatur 40 (1996) 157–181.

Hans Jörg *Köstler*, Das Elektrostahlwerk in Ferlach 1909 – 1940. In: Carinthia II, Jg. 176, Nr. 96 (1986) 43–56.

Hans Jörg *Köstler*, Zur Geschichte der Aluminiumhütte in Lend, Steeg und Ranshofen. In: Österreichischer Kalender für Berg, Hütte und Energie, 32 (Wien 1986) 143–157.

Hugo *Krause*, Das Aluminium und seine Legierungen. Die Herstellung und die Eigenschaft des Aluminiums und seiner Legierungen. Bd. 1 (Wien/Leipzig 1923).

Carl *Kuhn*, Ueber die Benützung von elektrischen und Volta'schen Apparaten zum Zünden von Sprengladungen und Minenöfen. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 145 (1857) 346–360 und Bd. 146 (1857) 34–43.

Erich *Lauer* (Hg.), Moderne Energie für eine neue Zeit. Die Drehstromübertragung Lauffen a.N. Frankfurt a.M. 1891. ZEAG Zementwerk Lauffen – Elektrizitätswerk Heilbronn AG (Heilbronn 1991).

Carl *Michenfelder*, Moderne Gießwagen und Gießkrane für Stahlwerke. In: Dinglers Polytechnisches Journal, Bd. 322 (1907) 679–683.

A. *Miethe* (Hg.), Die Technik im zwanzigsten Jahrhundert. Die Verarbeitung der Rohstoffe, Bd. 1 (Braunschweig 1911).

A. *Miethe* (Hg.), Die Technik im zwanzigsten Jahrhundert. Die Verarbeitung der Rohstoffe, Bd. 2 (Braunschweig 1912).

A. *Miethe* (Hg.), Die Technik im zwanzigsten Jahrhundert. Das Verkehrswesen, die Groszfabrikation, Bd. 4 (Braunschweig 1912).

G. van *Muyden*, Heinrich *Frauberger*, Die Erfindungen der neuesten Zeit. Zwanzig Jahre Industrieller Fortschritte im Zeitalter der Weltausstellungen. Mit Rücksicht auf Patentwesen und Kunstindustrie (Leipzig/Berlin 1883).

Albert *Neuburger*, Verfahren zur Gewinnung von Eisen und Stahl direkt aus den Erzen auf elektrischem Wege. In: *Dinglers Polytechnisches Journal*, Bd. 319 (1904) 219–234.

Roland *Schwarz*, Aluminium für die Elektrotechnik. Wirtschaftliche und politische Bedingungen einer Werkstoffinnovation zu Beginn des 20. Jahrhunderts. In: *Technikgeschichte*, Bd. 60 (1993) 107–128.

Max *Seitel* (Hg.), Der Siegeslauf der Technik, Bd. 1 (Stuttgart/Berlin/Leipzig 1910).

Werner von *Siemens*, Lebenserinnerungen (Berlin 1916).

Valentina *Tobisch Ljubic*, Hubert *Weitenfelder*, Wolfgang *Kautek*, Die Anfänge der Galvanoplastik und Galvanografie in Österreich. In: *Blätter für Technikgeschichte*, Bd. 74 (2012) 135–161.

Elisabeth Christine *Vaupel*, Zur Frühgeschichte des Aluminiums: Friedrich Wöhlers (1800 – 1882) und Henri Sainte-Clairen Devilles (1818 – 1881) Leistungen im Lichte neuer brieflicher und gegenständlicher Quellen. In: *Deutsches Museum, Wissenschaftliches Jahrbuch* 1992/93 (München 1993) 231–281.

Heiko *Weber*, Die Elektrisiermaschinen im 18. Jahrhundert (Berlin 2011).

Abstract

Die Nutzung der Elektrizität wurde durch die Erfindung der Voltasäule und ihrer Weiterentwicklungen ermöglicht. In der Elektrochemie fanden die sogenannten galvanischen Zellen eines ihrer ersten Einsatzgebiete. Mit den elektrischen Strömen konnten Metalle zunächst gelöst und veredelt werden. Im Kunstgewerbe war die Entwicklung der Galvanoplastik eine wichtige Errungenschaft. Die Entwicklung des magnetelektrischen- und dem späteren dynamoelektrischen Prinzips verhalf der Elektrizität zu ihrem endgültigen Durchbruch. Das elektrische Zeitalter im Bergbau setzte mit der Nutzung von Batterien für die Rohstoffsuche, elektrische Grubenbeleuchtung und dem Zünden von Sprengladungen mithilfe von Strom ein. Die Erfindung des Dynamos in den 1860er Jahren durch Werner von Siemens ermöglichte eine Ausweitung der Nutzung auf elektrische Grubenbahnen, elektrische Förderanlagen sowie elektrische Wasserpumpen. Im Hüttenwesen konnten die starken Ströme für elektrische Metallschmelzprozesse genutzt werden. Die Massenproduktion von Aluminium wurde durch die Erzeugung von leistungsstarkem Strom ermöglicht. Federführend waren Gebiete, denen billig erzeugter Strom aus Wasserkraft zur Verfügung stand. Immer besser entwickelte Elektromotoren führten ab dem Ende des 19. Jahrhunderts zu einer zunehmenden Verdrängung der Dampfmaschinen für den Antrieb von Maschinen aller Art.

Lebenslauf

Ausbildung:

1985 bis 1989 Volksschule in Aschbach-Markt

1989 bis 1993 Hauptschule in Aschbach-Markt

1993 bis 1994 Polytechnischer Lehrgang Aschbach-Markt

1994 bis 1997 Tischlerlehre und Besuch der Landesberufsschule Pöchlarn. Abschluss mit Gesellenprüfung

2002 bis 2004 Berufsreifeprüfung beim WIFI in Steyr und HTL Bau und Design in Linz

2004 bis 2013 nebenberufliches Studium der Geschichte an der Universität Wien