

Döbereiner und das Platin

Dr. Arno Martin, Jena, Friedrich-Engels-Str. 20, 07749 Jena
<arnomartin.jena@t-online.de>

Vor 190 Jahren hat Johann Wolfgang Döbereiner in Jena die katalytische Wirkung des Platins gefunden. Zahlreiche Arbeiten haben sich seitdem mit Döbereiner und dieser Entdeckung befasst.¹ Die vorliegende Veröffentlichung versucht, die Frage zu beantworten, woher das Platin gekommen ist, mit dem Döbereiner gearbeitet hat.

Aus der Geschichte des Platins

Den spanischen Eroberern fielen auf ihren Beutezügen bei den Einwohnern von Mittel- und Südamerika große Mengen an Gold- und Silbergeräten in die Hände. Nachdem diese Quellen geplündert waren, bemühte man sich, die Edelmetalle auch aus ihren natürlichen Vorkommen zu gewinnen. Etwa 1690 fiel Goldsuchern im spanischen Vizekönigreich Neugranada im heutigen Kolumbien auf, dass sich beim Waschen der Goldseifen einiger Flüsse zusammen mit dem begehrten Gold andere silbrig-weißliche Metallkörner von vergleichbar großer Dichte angereichert haben. Dieses neue Metall wurde nach dem spanischen Wort Plata für Silber geringschätzig „Platina“, so viel wie „Silberchen“ genannt. Man hielt es für wertlos, da es sich weder schmelzen noch schmieden ließ und weil man deshalb zunächst keine Verwendung dafür fand. Aber man bemerkte, dass es sich sehr gut mit Gold legieren lässt. Die Dichte dieser Legierungen unterschied sich nur unwesentlich von der Dichte reinen Goldes, sodass Betrüger daraus Münzen mit deutlich geringerem Goldgehalt prägen konnten. Die Spanische Regierung versuchte, das zu verhindern, indem sie die Gewinnung, die Verwendung und den Export von Platin verboten hat. Deshalb gelangte nur wenig Platin nach Europa. Charles Wood (1702-1774) aus einer englischen Familie von Hüttenleuten wanderte in die britische Kolonie Jamaika aus und baute dort eine Anlage zum Verhütten von Bleierzen auf. Er kam in den Besitz von Platin, das offensichtlich durch Schmuggel aus dem spanischen Neugranada nach Jamaika gelangt war. Er schickte das Platin nach England an William Watson. Dieser prüfte das Verhalten des Metalls in starkem Feuer und gegenüber Salz- und Salpetersäure. Seine Untersuchungsergebnisse und einige Proben des Metalls wurden im De-

zember 1750 in London der Royal Society präsentiert.² Platin wurde hier als Semi-Metall bezeichnet, da es spröde ist und sich auch trotz Zusatz von Borax und anderen Flussmitteln nicht schmelzen lässt, ihm daher als typisch angesehene Metalleigenschaften fehlen.

Kurze Zeit später veröffentlichte William Lewis (1708-1781) umfangreiche Untersuchungen an einer weißen metallischen Substanz, von der gesagt wird, sie stamme aus den Goldminen von Spanisch-Westindien. Er hatte festgestellt, dass das „Platina“ genannte Material aus einer Mischung verschiedener Partikel besteht und nicht in natürlichem Zustand vorliegt. Es enthielt Quecksilber, woraus er geschlossen hat, dass man es amalgamiert hatte, um Gold abzutrennen. Neben der Einwirkung von Salz-, Salpeter- und Schwefelsäure und Königswasser studierte er besonders die Fähigkeit zur Bildung von Legierungen mit anderen Metallen.³ Er kam zu dem Ergebnis, dass das Platin nicht ein „verunreinigtes“ Gold ist, wie gelegentlich angenommen worden war, sondern ein eigenes neues Metall. Er stellte eine Reihe von Legierungen aus einem Teil Platin und 1 bis zu 95 Teilen Gold her und beurteilte diese hinsichtlich ihrer Dichte, Farbe, Schmiedbarkeit und Eignung zum Drahtziehen. Er verfolgte dabei das Ziel, schon durch Untersuchung der mechanischen Eigenschaften reines Gold leichter von den häufig in betrügerischer Absicht hergestellten Legierungen unterscheiden zu können.⁴

Auch in Deutschland beschäftigte man sich mit dem neuen schwer zu beschaffenden Metall. Der Chemiker der Berliner Akademie, Andreas Sigismund Marggraf (1709-1782), hatte Mitte des 18. Jahrhunderts durch Vermittlung des Mathematikers Leonhard Euler (1707-1783) Platinerz aus London erhalten. Marggraf ermittelte, dass sich die Dichte des Platins zu der des Goldes wie 18½ zu 19 verhält. Er stellte fest, dass es durch starkes zweistündiges Feuer geringfügig verschweißt wird, aber nicht schmilzt. Durch Hämmern ließen sich die verschweißten Körner wieder voneinander trennen. Auch er konnte Quecksilber aus dem Rohmaterial herausdestillieren zum Zeichen, dass es sich um den Rückstand aus einer Amalgamation handelt.⁵ Er untersuchte die Einwirkung von Säuren, geschmolzenen Salzen und verschiedener Glasgemenge auf das Metall.

Marggrafs Schüler und späterer Nachfolger Franz Carl Achard (1753-1821) ist allgemein bekannt als Erfinder der Rübenzuckerfabrikation. Weitestgehend unbekannt ist dagegen, dass er 1788 ein umfangreiches Werk „*Recherches sur les propriétés des alliages métalliques*“ veröffentlicht hat, in dem er 848 Legierungen aus 10 Metallen beschrieben hat.⁶ Er hat festgestellt, dass Platin mit Arsen eine bei niedriger Temperatur schmelzende außerordentlich spröde Legierung bildet, aus der man durch Erhitzen das Arsen wieder austreiben kann.⁷ Er nutzte diese Eigenschaften, indem er eine geeignete Tonform mit gepulverter Platin-Arsen-Legierung füllte. Er setzte diese

„unter eine Muffel und giebt schnelles starkes Feuer. Die arsenicalische Platina kommt in Fluß, und wenn der Arsenic verflogen ist, wird sie wieder fest, und nimmt die Gestalt des Raumes an. Nach der Erkaltung wird die Form zerschlagen, und das Gefäß, das man aus der Platina gemacht hat, über einen Dorn etwas gehämmert, so ist es fertig“.⁸

Zu dieser Zeit unterhielt in Paris der pfälzbairische Botschafter am Hof Ludwig XVI., Reichsgraf von Sickingen (1737-1791), ein gut ausgestattetes Labor und beschäftigte sich mit dem kostbaren Platin. Die Ergebnisse seiner Untersuchungen wurden in der Akademie in Paris vorgetragen, gesammelt und 1782 ins Deutsche übersetzt veröffentlicht.⁹ Er berichtete, dass das Platin sich nach hinreichender Reinigung schweißen, schmieden und zu feinem Draht ausziehen lässt und sich im Brennpunkt [eines Spiegels] auch schmelzen lässt.¹⁰ Er ist der erste, der ermittelte, dass die Dichte des Platins größer ist als die von Gold. (20,530 : 19,785).¹¹ Er bemerkte auch, dass das Platin von schmelzendem Salpeter angegriffen wird.¹²

In England hat William Hyde Wollaston (1766-1828) ebenfalls Platinerz untersucht. Er entdeckte dabei 1804 die Elemente Palladium und Rhodium.¹³ Auch beschäftigte er sich mit der Darstellung von chemisch reinem Platin und der metallurgischen Verarbeitung desselben in großem Stil. Wollaston hielt das von ihm gefundene Verarbeitungsverfahren geheim. Er machte es erst im Jahre 1828, kurz vor seinem Tode bekannt. Döbereiner nannte ihn wohl deshalb den „in wissenschaftlicher und merkantilischer Hinsicht, schlausten und spekulativsten Chemiker Englands“.¹⁴ Er lebte als Privatmann „... von dem reichen Ertrage seiner Erfindung der Schmiedbarmachung des Platins“.¹⁵ Zur gleichen Zeit hatte nach Vorarbeiten von Fourcroy und Vauquelin^{16,17} in Frankreich der Engländer Smithon Tennant (1761-1815) die beiden weiteren „Platinmetalle“ Osmium und Iridium eindeutig als zwei neue Elemente identifiziert.¹⁸

So waren 1804 fünf „Platinmetalle“ und ihre grundlegenden chemischen und physikalischen Eigenschaften bekannt. Das sechste Platinmetall, das Ruthenium, ist erst 40 Jahre später von Carl Ernst Claus (1796-1864) in Kasan entdeckt worden.¹⁹ Die schwierige Verarbeitung des Platins wurde – jedenfalls an einigen Orten – soweit beherrscht, dass Gefäße und Geräte aus Platin hergestellt und verkauft wurden. Sie fanden wegen ihrer bemerkenswerten Eigenschaften, der hohen Schmelztemperatur und der Beständigkeit gegen viele aggressive Chemikalien, schnell Eingang in die chemischen Laboratorien. Platingeräte gehörten deshalb zu dieser Zeit – Anfang des 19. Jahrhunderts – bereits zur Einrichtung modern ausgestatteter Laboratorien.²⁰

Platin kommt nach Jena

Im Jahre 1789 war Johann Friedrich August Göttling (1755-1809) als außerordentlicher Professor für Chemie nach Jena berufen worden. Als „Anschubfinanzierung“ war ihm von der Regierung die Ausrüstung für ein chemisches Labor übergeben worden. Platingeräte gehörten mit Sicherheit nicht dazu. Als Göttling 1809 gestorben war, wurde ein Jahr später Johann Wolfgang Döbereiner (1780-1849) auf diese außerordentliche Lehrstelle in der Philosophischen Fakultät berufen.²¹ Anders als bei der Berufung Göttings beschränkte sich die Regierung nicht darauf, den neuen Professor beim Einrichten eines privaten chemischen Labors zu unterstützen, sondern begann 1811, ein Großherzogliches, das heißt staatliches chemisches Institut aufzubauen und es der „Oberaufsicht über die unmittelbaren Anstalten für Wissenschaft und Kunst“ zu unterstellen, die vom Minister Johann Wolfgang Goethe (1749-1832) geleitet wurde.²² Zunächst wurden in Nebengebäuden des Jenaer Schlosses Räume als Labor, Hörsaal und zum Aufstellen der Geräte- und der Präparatesammlung eingerichtet. Für die Erstausrüstung des Großherzoglichen chemischen Instituts wurden die Geräte und die Bibliothek aus Göttings Privatlabor gekauft. Döbereiner, der zwar glücklich war, endlich eine feste Anstellung als Professor zu haben, war mit der Ausstattung des Labors nicht zufrieden. Er äußerte später sogar, dass die von Götting übernommenen Geräte mehr historischen als praktischen Wert gehabt hätten.²³ Auch Goethe selbst war sich über die offensichtlichen Unzulänglichkeiten des chemischen Instituts im Klaren. Goethe bemühte sich deshalb, Geld für die Ergänzung der bescheidenen Ausrüstung zu beschaffen. Er erwirkte, dass die Erbherzogin Maria Pawlowna (1785-1859), die Schwiegertochter des Herzogs Carl August, 1000 Taler aus ihrem Privatvermögen für dieses Vorhaben stiftete. Über die zweckmäßige Verwendung dieses Geldes beriet sich Goethe nicht nur mit Döbereiner, sondern auch mit einem anderen Fachmann, dem Physiker Thomas Seebeck.²⁴ Weiterhin erörterte er mit den Hofmechanikern Körner und Otteny und dem Hofkupferschmied Pflug, welche von den benötigten Geräten in Jena hergestellt werden könnten.²⁵ Goethe beschäftigte sich sogar mit dem Plan, Rohplatin zu kaufen, dieses zu reinigen und die als wünschenswert erachteten Gefäße daraus treiben zu lassen.²⁶ Dieses Vorhaben wurde aber nicht verwirklicht. Döbereiner hatte davon dringend abgeraten, weil er fürchtete, „unsere deutschen nicht an Platinarbeiten gewöhnten Metallurgen möchten das Geräth nicht darstellen können“.²⁷ Es werden deshalb noch im Jahr 1812 aus Paris für 113 Taler „Platina Geräte“ bei der Firma Janety und außerdem für 74 Taler ein „gläserner Destillier Apparat“ importiert.²⁸ Marc Etienne Janety stellte die Geräte nach dem von Marggraf erfundenen Verfahren aus einer Platin-Arsen-Legierung her und belieferte damit die Interessenten in Europa.^{29,30} Bemerkenswert für uns heute ist es, dass sich Goethe als sparsamer Minister bei der mit dem Abwickeln des Imports beauftragten Fir-

ma nach dem Grund fragt, warum bei Janety der Preis für das Platin von März bis Anfang May, von Angebot bis zur Lieferung, um 60% gestiegen ist.³¹

Auch der Herzog Carl August (1757-1828) selbst hat sich an Erwerbungen für das chemische Institut beteiligt. Er ließ durch Bernhard von Lindenau³² 1812 in Paris Platinerz kaufen und übergab es Döbereiner.³³ Es ist nicht bekannt, was den Herzog bewogen hat, seinem Chemiker zwei Pfund von dem teuren Platin zukommen zu lassen. Vielleicht wollte er Döbereiner Untersuchungen auf einem immer noch aktuellen Forschungsgebiet ermöglichen, das in Deutschland kaum oder nicht bearbeitet wurde. Eine Äußerung Döbereiners von 1823 deutet darauf hin. In diesem Jahr schrieb er in einer Veröffentlichung, dass ihm der Großherzog „... Behufs wissenschaftlicher Untersuchungen... eine große Menge des aller-schwersten Metalls verliehen habe“.³⁴ Fest steht aber, dass diese großzügige Schenkung die Voraussetzung für Döbereiners folgenreichste und damit wichtigste Forschung bildete.

Es ist dem naturwissenschaftlichen Problemen aufgeschlossenen Herzog möglicherweise nicht unbekannt gewesen, wie sich im benachbarten Erfurt Johann Bartholomäus Trommsdorf (1770-1837) – jener Apotheker, den Goethe 1809 gern als Göttings Nachfolger in Jena gesehen hätte³⁵ – mit einer umfangreichen Arbeit über das rohe Platinerz und die „darin neuentdeckten Metalle“ (Osmium, Iridium, Rhodium und Palladium) im wissenschaftlichen Meinungsstreit zwischen englischen und französischen Chemikern zu Wort gemeldet hatte. Er hatte in dieser Publikation einleitend geschrieben, dass er sich entschlossen hatte: „... mehrere der neuern Untersuchungen zu prüfen, zumal da man bis jetzt in Deutschland dieses noch nicht gethan hat“. Er teilt bedauernd mit, seine Untersuchungen

„wuerden erschöpfender ausgefallen seyn, wenn die Kostspieligkeit des Materials ... nicht ein großes Hinderniß gewesen wäre. Allein dem deutschen Chemiker geht es oft so, daß wenn der englische und französische Chemiker, einen Stoff Pfund- und Unzenweise bearbeiten könnte, er froh seyn muß, wenn er das Material nur Unzen- und Granweise zum Gegenstand seiner Untersuchungen machen kann“.

Er schloss diese Arbeit mit dem Satz ab: „Sobald ich wieder im Besitz einer etwas bedeutenden Menge Platina bin, werde ich diese Versuche fortsetzen“.³⁶ Das zeigt, dass Platin zu dieser Zeit immer noch sehr teuer und schwer zu erhalten war. Trotz dieser Ankündigung hat Trommsdorf später keine weiteren Arbeiten zum Platin veröffentlicht.

Döbereiner beginnt, mit Platin zu arbeiten

Die 1812 erworbenen wertvollen Platingeräte benutzte Döbereiner sofort bei seinen Untersuchungen. Noch im gleichen Jahr berichtete er in Johann C.S. Schweiggers *Journal für Chemie und Physik* von einer Beobachtung, bei der das Material des Tiegels indirekt an der Reaktion beteiligt ist. Er schilderte, dass beim Lösen von Zinn in Salzsäure „...die Säure tumultuarisch zu kochen scheint“, wenn er diese Reaktion in einem „Platinakesselchen“ ausführt, während die Reaktion in einem Glasgefäß nur sehr träge abläuft.³⁷ Auch bei seiner Experimentalvorlesung „schont“ er nicht etwa seine wertvollen Importgeräte, sondern benutzte diese bei seinen Versuchen.³⁸ Die Freude über die guten Eigenschaften des Platintiegels währte nicht lange. Er stellte bereits kurze Zeit später fest, dass der Tiegelboden blasig und löchrig geworden war, nachdem er darin Kaliumnitrat geglüht hatte. Er kommt zu dem Schluss, dass Kalisalpeter „... in einem hohen Grade die Eigenschaft hat, das metallische Platin zu oxydiren.“³⁹ Zu dem Ergebnis, dass das Platin nicht gegen alle aggressiven Chemikalien so beständig ist, wie man angenommen hatte, waren bereits vorher andere Chemiker gekommen. Allerdings wurde dabei die Ansicht geäußert, dass das an dem Verfahren liegen würde, nach dem Janety in Paris das Platin behandelt. Man war der Meinung, dass hierbei das Metall nicht rein genug erhalten wird, wie man schon am spezifischen Gewicht erkennen kann. Es wird berichtet, dass das spezifische Gewicht des von Janety erworbenen Platins 20,01 beträgt, das von Wollaston aber 21,04.⁴⁰ Ein anderer Autor äußerte in diesem Zusammenhang die Absicht, Platingeräte besser aus England zu beziehen, offensichtlich von Wollaston.⁴¹ Erst wesentlich später, 1832, hat Jöns Jakob Berzelius (1779-1848) die aus seinen umfangreichen Erfahrungen beim Untersuchen der Platinmetalle resultierenden ausführlichen Regeln publiziert, die beim Verwenden von Platingeräten zu beachten sind, damit diese nicht beschädigt werden.⁴²

Döbereiners unzulänglichen Arbeitsbedingungen im Schloss wurden wesentlich verbessert, als der Großherzog Carl August 1816 durch Goethe das nach seinem Vorbesitzer benannte Hellfeldsche Haus kaufen ließ und es dem chemischen Institut zur Verfügung stellte. Döbereiner richtete im Obergeschoss einen Saal zum Experimentieren und Räume für die Bibliothek und die Sammlungen ein. Das Untergeschoss bewohnte er mit seiner Familie.⁴³



Abb. 1: Das Hellfeldsche Haus, 1816-1849 Großherzogliches chemisches Institut, um 1860. (Foto Stadtmuseum Jena, A6_083)

Parallel zu anderen Untersuchungen hatte Döbereiner 1812 begonnen, das Rohplatin aufzuschließen und weiter zu verarbeiten, um einerseits chemisch reines Platin zu gewinnen und andererseits auch die vier, erst 1804 entdeckten Metalle Rhodium, Palladium, Osmium und Iridium in die Hand zu bekommen.⁴⁴ Er berichtete, dass er am Ende der Aufarbeitung der königssaurigen Auflösung metallische Theile „... von Silberweißer Farbe“ unbekannter Zusammensetzung erhalten hatte. Döbereiner glaubte, dass es sich um bisher unbekannte Elemente handelt. Der erste, dem Döbereiner von dieser Entdeckung berichtete, ist Goethe. Am 24. Dezember 1818 schrieb er ihm:

„In dem Platinerz, welches mir vor sechs Jahren von Sr. Kgl. Hoheit, ... , verliehen worden habe ich noch zwei neue silberweiße Metalle entdeckt. ... Ich habe noch keiner Arbeit so viel Zeit und Geld geopfert, wie der Untersuchung jenes Erzes, ... aber nun bin ich für beides belohnt.“⁴⁵

Eine Äußerung Goethes zu diesem Brief ist nicht überliefert. Bei der Publikation dieser Entdeckung sechs Monate später hat sich Döbereiner wesentlich zurückhaltender ausgerückt. In dieser Arbeit mit dem Titel „An die Chemiker in England wegen eines neuen Metalles im Platinerz“ hat er sehr vorsichtig geschrieben:

„Ich bin sehr geneigt, diese Substanz für ein neues Metall zu halten, und bitte daher diejenigen Chemiker in England, welche große Quantitäten zum technischen Behuf behandeln, wie z. B. Wollaston, Accum etc. ... auf dieselbe weiter anzufragen.“⁴⁶

Ihm mangelte es an Erz, um sein Ergebnis selbst zu überprüfen. Eine Reaktion auf diese Aufforderung ist nicht bekannt geworden, weder von den namentlich angesprochenen Chemikern, noch von anderer Seite. Wollaston hat nach 1819 bis zu seinem Tode 1828 nichts mehr zu Platinmetallen publiziert. Posthum erschienen 1829 lediglich noch zwei Arbeiten zur Gewinnung von Palladium⁴⁷ und Osmium⁴⁸ und über sein so lange geheim gehaltenes Verfahren, das Platin schmiedbar zu machen.⁴⁹ Döbereiner ist nicht der einzige, dessen vermeintliche Entdeckung eines neuen Elements nicht bestätigt werden konnte. Sein Schüler Gottfried Wilhelm Osann (1796-1866), der 1823 Professor in Dorpat geworden war, hat später 1828/1829 sogar die Entdeckung von drei weiteren Platinmetallen veröffentlicht, die er Polin, Pluran und Ruthenium genannt hat.⁵⁰

Die Entdeckung der Platinkatalyse

Das Platin und seine Begleiter standen Döbereiner weiterhin zur Verfügung. Mit diesem Platin und daraus hergestellten Verbindungen hat er weiter experimentiert. Angeregt durch Arbeiten von Edmund Davy⁵¹ (1785-1857) ließ er Alkohol auf eine platinhaltige Substanz, das von Davy publizierte sogenannte „Knallplatin“ einwirken. Dabei beobachtete er, dass Alkohol, wenn er als Dampf an der Luft einwirkt „glühend verbrennt“, wenn er aber als Flüssigkeit auf das Platinpräparat getropft wird, zu Essigsäure oxidiert wird.⁵²

Döbereiner stellte dann durch thermische Zersetzung von sogenanntem Platinsalmiak, Ammoniumhexachloroplatinat, außerordentlich fein verteiltes Platin her. Er nannte dieses Präparat wegen seiner schwarzen Farbe „Platinmohr“ und begann, die Wechselwirkung von Gasen mit dieser Substanz zu untersuchen.

Der Physiker Paul Erman (1764-1854) hatte bereits 1819 im Zusammenhang mit Untersuchungen zur elektrischen Leitfähigkeit die Reaktion von Wasserstoff mit kompaktem Platin überprüft. Er hatte gefunden, dass ein Platindraht in einem Wasserstoffstrom an der Luft zu glühen beginnt, wenn seine Temperatur größer

als 50 °C ist, unterhalb dieser Temperatur diese Erscheinung aber nicht eintritt. Erman hielt deshalb die Temperatur von 50 °C für die Minimaltemperatur, bei der die Synthese von Wasser aus den Elementen möglich ist.⁵³ Der Physiker Erman hat diese chemische Reaktion an Platindraht nicht weiter untersucht.

Bei seinen Experimenten mit Wasserstoff und Platinmohr beobachtete Döbereiner am 27. Juli 1823, dass sich Wasserstoff in Gegenwart von diesem Platinmohr ohne Mitwirkung irgendwelcher anderer Kräfte, also auch ohne vorheriges Erwärmen wie bei Erman, unter Wärmeentwicklung mit dem Sauerstoff aus der Luft zu Wasser verbindet.⁵⁴ Bereits am nächsten Tag schilderte er Goethe in einem Brief diese Entdeckung, die ihm „... in hohem Grade wichtig erscheint.“⁵⁵ Erst am 31. Juli verfasste Döbereiner eine Kurzmitteilung zum Veröffentlichlichen in der Zeitschrift *Isis*,⁵⁶ die in Jena von Lorenz Oken (1779-1851) herausgegeben wurde und schrieb weitere Artikel über diese Reaktion für mehrere andere naturwissenschaftliche Zeitschriften.⁵⁷ Döbereiner setzte seine Experimente mit Platin und Wasserstoff fort. Schon wenige Tage später, am 3. August, beobachtete er mit einer denkbar einfachen Versuchsanordnung, dass sich ein aus einem dünnen Rohr austretender starker Wasserstoffstrom entzündet, wenn er auf den Platinmohr trifft. Diese neue Erkenntnis beschrieb er umgehend in einem Nachtrag zu den ersten Veröffentlichungen von Ende Juli.⁵⁸ In der *Isis* heißt es in diesem Nachtrag, dass es ihm gelungen sei, die Reaktion von Wasserstoff mit Platin „bis zum höchsten Grade des Glanzes zu steigern“, und er schließt sehr selbstbewusst mit dem Satz:

„Daß ich diese neue Beobachtung nicht etwa bloß zur Darstellung eines neuen Feuerzeuges und einer neuen Lampe, sondern auch zu weit wichtigeren Zwecken benutzen werde, versteht sich von selbst.“⁵⁹

Er bemühte sich nicht darum, seine Erfindung wirtschaftlich zu nutzen. Feuerzeuge, die auf dem von Döbereiner entdeckten Prinzip beruhen, gelangten bald in großen Stückzahlen unter dem Namen „Döbereinersches Feuerzeug“ auf den Markt. Döbereiner schrieb fünf Jahre später:

„Gegen 20 000 derselben sind im Gebrauch, theils in Deutschland, theils in England. Wie wohlhabend wäre ich jetzt, wenn ich mit meiner Erfindung nach England gegangen wäre, und mir dort auf die technische Benützung derselben hätte ein Patent geben lassen. Aber ich liebe die Wissenschaft mehr als das Geld, und das Bewußtsein, daß ich damit vielen mechanischen Künstlern nützlich gewesen, macht mich glücklich.“⁶⁰

Er beherzigt nicht den Rat, den Goethe ihm in anderem Zusammenhange gegeben hatte:

„Ich werde Sie ersuchen, künftig jeden neuen Fund zu sekretieren, mir ihn anzuzeigen, damit man den Versuch mache, ihn zu fremdem und eigenem Nutzen anzuwenden“.⁶¹

Sechs Wochen nach dieser großartigen Entdeckung, am 18. September 1823, begann in Halle die zweite „Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte“. Hier hielt Döbereiner den Eröffnungsvortrag „über die neue höchst merkwürdige Entdeckung, daß Hydrogen auf feinen (aus Platin-Salmiak gewonnene) Platinstaub geblasen, bei Zutritt der atmosphärischen Luft sich entzündet“.⁶² Zur Erklärung dieses Vorgangs gab Döbereiner hier vorsichtig nur an, dass „höchst wahrscheinlich ein neues Naturprincip hier wirksam seyn möchte.“ Im Tagungsbericht heißt es dann weiter: „Hierauf zeigte er zur freudigen Überraschung aller Anwesenden dieses schöne Phänomen selbst.“ Der Sekretär der Gesellschaft, Professor Schweigger (1779-1857), hat die Bedeutung dieser hier vorgestellten Entdeckung für so groß gehalten, dass er äußerte, eigentlich sollte nach einem so wichtigen Vortrage kein anderer an diesem Tage gehalten werden. Am letzten Tag der Versammlung führte Döbereiner eine weitere Anwendung seiner Entdeckung vor: das Verwenden eines Platinkatalysators in der Eudiometrie, bei der Bestimmung des Sauerstoffgehalts der Luft. Das Verfahren besteht darin, dass man durch ein Gemisch aus der zu untersuchenden Luft und Wasserstoff einen elektrischen Funken schlagen lässt. Ein Drittel der dabei durch die Bildung von Wasser eintretenden Volumenverringerung ist gleich dem Sauerstoffvolumen der Luft. Um die Reaktion in Gang zu bringen, benutzte Döbereiner an Stelle des Funkens einen Platinkatalysator. Um ihn besser handhabbar zu machen, bettete er ihn in ein Trägermaterial ein. Aus einem Gemenge von Töpferton und Platinmohr formte er kleine Kugeln im Durchmesser von etwa 2-3 mm und brannte diese vor dem Lötrohr.⁶³ Diese porösen Kugeln wurden dann in das zu analysierende Gasgemisch eingeführt. Das war die erste Anwendung eines Kontaktträgers.

Döbereiners Entdeckung war aber nicht nur für die Tagungsteilnehmer in Halle so interessant, sondern es zeigte sich, dass die wissenschaftliche Welt davon sehr schnell Kenntnis nahm. Keine andere von Döbereiners Veröffentlichungen ist so weit und so schnell verbreitet worden wie die Entdeckung der Platinkatalyse. Über die Geschwindigkeit und auf welchen Wegen diese Entdeckung verbreitet worden ist, das ist an anderen Stellen bereits geschildert worden.⁶⁴ Selbst eine Pariser Tageszeitung berichtet nur drei Wochen nach Döbereiners Entdeckung: „Herr Döbereiner, Professor der Chemie an der Universität Jena, stellt im *Journal für Chemie und Physik*⁶⁵ eine neue Erfindung von größter Wichtigkeit vor“. Nach einer genauen Beschreibung der Versuchsanordnung endet die kurze Meldung mit dem geradezu prophetischen Satz: „Diese schöne Entdeckung wird ein neues Feld in der Forschung der Physik und der Chemie eröffnen“.⁶⁶ Die Tragweite dieser Entdeckung Döbereiners ist von seinen Zeitgenossen außerordentlich schnell

richtig eingeschätzt worden. Man hat sich sofort daran gemacht, diese im wahrsten Sinne „merkwürdige“ Reaktion zu überprüfen. Bereits am 15. September bestätigen Pierre Louis Dulong (1785-1838) und Louis Jaques Thenard (1777-1857), gestützt auf eigene Experimente, diese Reaktion in einem Vortrag vor der Akademie der Wissenschaften zu Paris.⁶⁷ Die gleichen Autoren berichten dann am 3. November an gleicher Stelle von ihren Experimenten zur Einwirkung von Wasserstoff auf Palladium, Rhodium, Osmium und Iridium.⁶⁸ Auch aus Tübingen⁶⁹, Prag⁷⁰ und London⁷¹ kommen umgehend Veröffentlichungen, die Döbereiners Ergebnisse bestätigen. Stolz berichtete Döbereiner 1824 von der Resonanz, die seine Veröffentlichungen in der Fachwelt gefunden hatten: „Sie haben großes Aufsehen erregt, wurden von beinahe allen Chemikern Deutschlands, Frankreichs und Englands wiederholt, und von mehreren derselben ... weiter verfolgt“,⁷² und Berzelius (1779-1848) nannte die Platinkatalyse in seinem Jahresbericht: „Die in jeder Hinsicht wichtigste und ... brillianteste Entdeckung ... des vergangenen Jahres“.⁷³

In den darauf folgenden Jahren arbeitet Döbereiner weiter an der praktischen Anwendung seiner Erfindung. Es erscheinen zahlreiche Arbeiten, in denen Platin oder Platinverbindungen eine Rolle spielen. Unter anderem konstruierte er eine Apparatur, bei der die katalytischen Umsetzung von Wasserstoff und Sauerstoff so gesteuert werden kann, dass keine Explosion eintritt⁷⁴ und beschrieb die Darstellung von großen Mengen von reinster, das heißt konzentrierter Essigsäure durch die katalytische Oxidation von Ethanol.^{75,76} In dieser Zeit fand er zwei weitere katalytische Reaktionen. Er berichtete in einer Notiz von nur zehn Zeilen erstens, dass es ihm gelungen sei:

„2 Volumen schwefliger Säure mit 1 Volum Sauerstoffgas mit Hülfe des hygroskopisch-feuchten Platinmohrs zu rauchender Schwefelsäure zu verdichten und zweitens, dass auch das ‚Oleum Neroli‘, das stark terpenhaltige Pomeranzenblütenöl, „von dem Platinmohr bestimmt wird, sehr viel Sauerstoff aus der Luft anziehen und sich in eine Säure zu verwandeln“.⁷⁷

Platinfunde im Ural

Wenige Monate vor der Entdeckung der Platinkatalyse durch Döbereiner gab es eine andere für die Verwendung von Platin folgenreiche Entdeckung. In St. Petersburg wurden die silbrig-glänzenden bis grauen Metallkörner, die im Ural das Seifengold begleiteten, als Platinminerale identifiziert.^{78,79,80} 1823 befahl Kaiser Alexander I. (1777-1826), der Bruder der Weimarer Erbgroßherzogin Maria Pawlowna, in den Goldgruben auch das Platin zu gewinnen.^{81,82} Auf der Suche

nach einer sinnvollen Verwendung dieses Bodenschatzes stellte um 1826-1827 der russische Finanzminister Graf Cancrin (1774-1845) in- und ausländischen Wissenschaftlern Rohplatin für eingehende Untersuchungen zur Verfügung. Er knüpfte daran die Aufforderung, „den Erfolg ihrer Versuche darüber der russischen Regierung mitzuteilen“. So erhält die Universität Dorpat „4 Pfund (russisch) Platin vom Ural,⁸³ Jöns Jacob Berzelius „durch den in Stockholm residierenden Kaiserlich-Russischen Gesandten ein halbes Pfund Platinsand“.⁸⁴ Weiter werden Proben „roher sibirischer Platina versandt: nach England an die Königliche Sozietät 1 Pfund und an Wollaston ½ Pfund, nach Frankreich an das National-Institut 1 Pfund und an die Sozietät zur Beförderung der Nazional-Industrie 1 Pfund.“⁸⁵ Der Name Döbereiners wird in den hier zitierten Berichten nicht erwähnt. Es ist aber anzunehmen, dass auch er in dieser Zeit Uralsches Platin erhalten hat. Man kann das aus einer Veröffentlichung des Jahres 1828 schließen. Er schrieb hier:

„Die Fortsetzung meiner Versuche über die chemische Dynamik des Platins wurde unterbrochen, oder vielmehr unmöglich gemacht dadurch, dass eine von dem verewigten Großherzoge⁸⁶ dazu bestimmte Quantität von 3 Pfund russischer Platina verloren gegangen ist. Ein solcher Verlust ist für den Chemiker schmerzhaft, besonders für denjenigen, welcher ein solches Naturproduct nicht wie der Physiker als eine träge Masse betrachtet, oder wie der Philosoph bloß beschaut und bewundert, sondern die geheimen Kräfte desselben zu erforschen strebt“.⁸⁷

Döbereiner berichtet nicht, auf welche Weise ihm das Platin abhanden gekommen war. Möglicherweise ist die Erzählung, die in der ersten ausführlichen Goethebiographie enthalten ist, mehr als nur eine Anekdote. Hier wird berichtet, dass der Kaiser von Russland dem großen Chemiker eine Platinerzstufe geschickt hatte. Sie wurde Goethe gegeben, um sie zu begutachten, sich mit einigen Experimenten daran zu erfreuen und sie dann Döbereiner zu schicken. Der als geradezu „manischer Mineraliensammler“ bekannte Goethe konnte sich von dieser Stufe nicht trennen, trotz mehrfacher Anfragen Döbereiners.⁸⁸ Es heißt in der Übersetzung aus dem Englischen von 1885:

„Als Döbereiner endlich die Geduld riß und er sich im Beschwerdenwege an den Großherzog wandte lachte dieser und sagte: „Laßt den alten Esel in Ruhe! Ihr bekommt's doch nie von ihm. Ich will den Kaiser um eine neue Stufe bitten“.⁸⁹

Drei Pfund Platinerz sind heute in Goethes Mineraliensammlung nicht enthalten.⁹⁰ Allerdings fehlen dort auch das gediegene Gold und das Platinerz, das Goethe persönlich 1830 von Cancrin erhalten hatte.⁹¹ Tatsache ist es aber, dass Goethe sich 1828 mit der Beschaffung von Platin beschäftigt hat. Im Oktober fragt er beim Sachsen-weimarischen Generalkonsul an, ob und zu welchem Preis „... gegenwärtig Platina in Leipzig verkäuflich zu finden sey“,⁹² und in seinem Tage-

buch schreibt er im Januar 1829 über einen Besuch des Großherzoglichen Paares: „Auch kam die Platina für Döbereiner zur Sprache“.⁹³ Die Hoffnung Döbereiners, durch die Vermittlung von Marie Pawlowna bald neues Platinerz aus Russland zu erhalten, erfüllte sich zunächst nicht.

Wenn Döbereiner 1828 schreibt, dass ihm weitere Arbeiten mit Platin unmöglich geworden sind, fragt sich der Chemiker von heute, wo die zwei Pfund Platin geblieben sind, die er 1812 erhalten hatte. Legen wir unsere heute geltenden Maßstäbe an das Sammeln von Reaktionsprodukten und die Aufarbeitung von Rückständen an, dann hätte trotz aller Verluste, die beim Präparieren eintreten können, der größte Teil noch vorhanden sein müssen. Zwei Pfund Platin können nicht als Salz gelöst einfach im Abfluss verschwunden sein, den hatte Döbereiner gar nicht.

Döbereiner hat erstmals in dieser Zeit um 1830 Arbeiten veröffentlicht, in denen er auch Platinbegleiter erwähnt. Er berichtete, dass man Platinschwamm, dessen Zündkraft nachgelassen hat, durch Bestäuben mit fein zerteiltem „Irid“ wieder herstellen kann. „Seine Zündkraft ist nicht allein dauernder, sondern auch größer als die des Platins“, und er teilte mit, dass er sich seit sechs Jahren eines „portativen Iridfeuerzeugs“ bedient. Das dürfte das erste Taschengasfeuerzeug gewesen sein. Gleichzeitig bedauerte er, daß ihm Palladium und Rhodium für entsprechende Versuche nicht in ausreichender Menge zu Verfügung stehen. Er hoffte, dass Berzelius, der – wie er glaubt – damit reichlich versehen ist, derartige Untersuchungen durchführen wird.⁹⁴ Aus dieser Bemerkung von 1831 lässt sich schließen, dass er davon wusste, dass die russische Regierung Sibirisches Platin auch anderen Chemikern zur Verfügung gestellt hatte. 1836 beschrieb er, wie er einen „Platinmohr“ präpariert hatte, ohne das Erz in Königswasser lösen zu müssen. Er legierte das Rohplatin mit Zink und behandelte die Legierung mit verdünnter Schwefelsäure. Der verbleibende Rückstand enthielt neben schweren Körnern von unaufgeschlossenem Iridosmium „ein schweres schwarzgraues Pulver, welches aus Platin, Palladium, Iridium, Osmium und Rhodium besteht“. Dieses zusammengesetzte metallische Pulver besaß ebenfalls die Eigenschaft, Sauerstoff aufzunehmen und „metalytisch (oder, wie Berzelius sagt, katalytisch) zu wirken“, organische Verbindungen zu oxidieren.⁹⁵

Döbereiners Mitarbeiter

Erst 1832 trifft die lang ersehnte Sendung von Uralschem Platin in Jena ein. Döbereiner publiziert zunächst nur eine kurze Mitteilung, in der es heißt:

„Sr. Excellenz der Russische Kaiserl. Minister Hr. Graf von Cancrin hat mich mit Uralschem Platinerz, reinem Irid und Irid-Osmium etc. so reich beschenkt, daß ich den vor vier Jahren erlittenen Verlust von drei Pfund Platin verschmerzen kann“.⁹⁶

Döbereiner arbeitet nun wieder verstärkt daran, die chemischen Eigenschaften des Platins zu erforschen und nutzbringend anzuwenden. Es erscheinen Veröffentlichungen, z.B. „Ueber mehrere neue Platinverbindungen“,⁹⁷ über die Anwendung von Platinmohr beim Oxidieren von organischen Verbindungen^{98,99} und „Ueber die Eigenschaften des auf nassem Wege reduzierten Platins.“¹⁰⁰ 1835 veröffentlicht er eine Arbeit, in der er Mitarbeiter erwähnt, seinen Sohn Franz, der „Gehülfe am hiesigen chemischen Laboratorium“ und einen „Postdoc“ Dr. Weiss aus Dorpat. Er ist ein Schüler von Prof. Karl Christian Traugott Friedemann Göbel (1794-1851), der 1828 von Jena nach Dorpat berufen worden war. Sie analysierten „eine ziemlich große Mengen uralischen Platinerzes“ und arbeiteten an der „Darstellung des Irids und Osmiums“.¹⁰¹ Im gleichen Jahr publiziert Franz Döbereiner „Ueber eine neue Methode der Analyse des Platinerzes, der Darstellung des Platinmohrs und chemisch reinen Palladiums“.¹⁰² Einen Sonderdruck dieser Arbeit reicht er im gleichen Jahr der Philosophischen Fakultät der Universität Jena als Dissertation ein.¹⁰³ In dem von Heinrich Wilhelm Ferdinand Wakkenroder (1798-1854) verfassten Gutachten heißt es, ich halte

„... diese neusten Bekanntmachungen über die Analyse des Platinerzes für einen sehr willkommenen Beitrag zur Erweiterung unserer Kenntnisse von diesem interessanten und wichtigen Metallgemische und glaube, dass Jeder, der sich künftig mit der Analyse desselben beschäftigen will, auf diese Arbeit ... Rücksicht nehmen muß“.¹⁰⁴

Am 11. Juli 1835 wird Franz Döbereiner zum Doctor philosophiae promoviert.¹⁰⁵

Durch die Cancrinsche Schenkung von 1832 verfügte Döbereiner wieder über ausreichend Material für Arbeiten mit Platin und seinen Verbindungen. Für die Zeit bis 1845 lassen sich noch insgesamt 18 verschiedene Arbeiten Döbereiners zur Chemie der Platinmetalle nachweisen.¹⁰⁶ Die Kenntnisse, die über das Platin gewonnen worden waren, Vorkommen, Analyse, Verarbeitung und Verwendung, hat er 1836 in einer Monografie zusammengefasst. Auf dem Umschlag des Buches werden die „Besitzer der Döbereinerschen Platinfeuerzeuge“ ausdrücklich als Adressaten erwähnt.¹⁰⁷

Im Oktober 1844 bekannte er, fast schon zurück blickend,

„Die ... dynamischen Eigenschaften des oxyphoren und des schwammigen Platins sind noch immer die Lieblingsgegenstände meines Forschens in den Tagen, die

der freien ungestörten wissenschaftlichen Thätigkeit, den academischen Ferien, gewidmet sind.“¹⁰⁸

Eine derartig großartige und weitreichende Entdeckung wie 1823 ist ihm nicht noch einmal vergönnt gewesen.



Abb. 2: Das Hellfeldsche Haus im Jahre 2013, genutzt von der Biologisch-Pharmazeutischen Fakultät (Foto Arno Martin).

Die Voraussage Döbereiners von 1823: „Daß sich diese neue Beobachtung nicht etwa bloß zur Darstellung eines neuen Feuerzeuges und einer neuen Lampe, sondern auch zu weit wichtigeren Zwecken“ benutzen lässt, hat sich seitdem glänzend bestätigt. Das in einer Pariser Tageszeitung 1823 vorausgesagte „neue Feld in der Forschung der Physik und der Chemie“, die heterogene Katalyse, hat im verflossenen Jahrhundert zu großartigen, vor allem auch technisch verwertbaren Ergebnissen geführt. Durch die Anwendung von platinhaltigen Katalysatoren zur Reinigung der Abgase von Ottomotoren hat der von Berzelius geprägte Begriff „Katalysator“ aus der Sprache der Chemiker mittlerweile Eingang in die Um-

gangssprache und auch ins Bewusstsein der Allgemeinheit gefunden, wenn auch häufig verkürzt zu „Kat“.

Das Hellfeldsche Haus, in dem Döbereiner 1823 die Platinkatalyse entdeckt hat, in dem er bis zu seinem Tode 1849 gearbeitet und gewohnt hat, ist äußerlich fast unverändert erhalten geblieben. Es wird auch heute noch von der Universität Jena genutzt.

Summary: Doebereiner and Platinum

Scientific research on platinum started in the second half of the 18th century after the metal reached Europe from the Spanish colonies in South America. After Döbereiner was appointed as chair to the chemistry department in Jena in 1810, a chemical institute was dedicated to him. With funds donated by the wealthy crown princess Maria Pawlowna, instruments and utensils were purchased for the institute. Among them were vessels made of platinum. In 1812 duke Carl August purchased platinum ore in Paris and provided it for Döbereiner's research. During his experiments with platinum compounds and metallic platinum Döbereiner found the catalytic reaction for the oxidization of ethanol to acetic acid in 1822. In 1823 he discovered that hydrogen would ignite in air by itself when brought into contact with dispersed platinum, so called platinum black. He used this discovery for the design of the „Döbereiner-Feuerzeug“ (Döbereiner's lamp). Döbereiner received more platinum ore from the Ural area from the Russian minister of finance, Cancrin, for further research in 1832.

¹ Alwin Mittasch, Erich Theis, Von Davy und Döbereiner bis Deacon, ein halbes Jahrhundert Grenzflächenkatalyse (Berlin 1932), S. 31-76. – Alwin Mittasch, Döbereiner, Goethe und die Katalyse (Stuttgart 1951). – Dietmar Linke, „Johann Wolfgang Döbereiner und sein Beitrag zur Chemie des 19. Jahrhunderts“, Zeitschrift für Chemie, 21 (1981), S. 309-319. – George G. Kauffman, „Johann Wolfgang Döbereiner's Feuerzeug“, Platinum Metals Review, 43 (1999), S. 122-128.

² William Watson, William Brownrigg, „Several Papers concerning a new Semi Metal, called Platina“, Phil. Trans., 46 (1749-1750), S. 584-596.

- ³ William Lewis, „Experimental Examination of a White Metallic Substance Said to be Found in the Gold Mines of the Spanish West-Indies, and There Known by the Appellations of Platina, Platina di Pinto, Juan Blanca”, *Phil. Trans.*, 48 (1753-1754), S. 638-645.
- ⁴ William Lewis, “Experimental Examination of Platina”, *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, 50 (1757-1758), S. 148-155.
- ⁵ Andreas Sigismund Marggraf: „Essais concernant la nouvelle espèce de corps minéral connu sous le nom de platina del Pinto”, *Histoire de l'Académie Royale des Sciences et des Belles-Lettres de 1757* (1759), S. 31-60.
- ⁶ Wolfgang Hübner, „Achards Legierungskunde: eine verpasste Chance“, *Mitteilungen der Fachgruppe Geschichte der Chemie in der GDCh*, 22 (2012), S.37-52.
- ⁷ Franz Karl Achard: „Sur l'arsenic et sur sa combinaison avec différents corps”, *Nouveaux Mémoires de l'Académie Royale des et Belles-Lettres 1781* (1783), S. 107-109.
- ⁸ Franz Carl Achard, „Leichte Methode, Gefäße aus Platina zu bereiten”, *Crells Chemische Annalen für Freunde der Naturlehre, Arzneigelahrtheit, Haushaltungskunst und Manufakturen*, 1 (1784), S. 3-5.
- ⁹ Karl Heinrich Joseph Reichsgraf von Sickingen, *Versuche über die Platina* (Mannheim 1782).
- ¹⁰ Ders., ebenda, S. 82.
- ¹¹ Ders., ebenda, S. 95.
- ¹² Ders., ebenda, S. 220-221.
- ¹³ William Hyde Wollaston, „On a New Metal, Found in Crude Platina“, *Phil. Trans.*, 94 (1804), S. 419-430.
- ¹⁴ Johann Wolfgang Döbereiner, *Zur Chemie des Platins in wissenschaftlicher und technischer Beziehung* (Stuttgart 1836), S.3.
- ¹⁵ Johann Christian Poggendorf, *Bibliographisch-Literarisches Handwörterbuch zur Geschichte der exacten Wissenschaften*, 2 (Leipzig 1863), Spalte 1362.
- ¹⁶ Antoine Francois de Fourcroy, „Untersuchungen über das Platinerz und Ankündigung eines neuen darin enthaltenen Metalls“, *Neues allgemeines Journal der Chemie*, 2 (1804), S. 269-282.
- ¹⁷ Antoine Francois de Fourcroy, Louis Nicolas Vauquelin, „Nachtrag zu den Untersuchungen über das Platinerz und das darin befindliche neue Metall“, *Neues allgemeines Journal der Chemie*, 3 (1804), S. 262-276.
- ¹⁸ Smithson Tennant, „On Two Metals, found in the Black Powder Remaining after the Solution of Platina”, *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, 94 (1804), S. 411-418.
- ¹⁹ Carl Ernst Claus, „Entdeckung eines neuen Metalls“, *Annalen der Physik und Chemie*, 64 (1845), S. 192-197. – ders., *Fragment einer Monographie des Platin's und der Platinmetalle* (St. Petersburg 1883).

- ²⁰ Vgl. die Verwendung von Platingeräten bei: Chenevix in Richard Chenevix, *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, 92 (1802), S. 329-331 und Johann Bartholomäus Trommsdorf, (Trommsdorfs), *Journal der Pharmacie*, 14 (1806), 2. Stück, S. 15, 40; sowie die von Seebeck benutzten Plattingegenstände in Thomas Seebeck, *Abhandlungen der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin 1822 und 1823, Berlin 1825, Physikalische Klasse*, S. 285–287.
- ²¹ Gerhard Müller, *Vom Regieren zum Gestalten* (Heidelberg 2006), S. 582f.
- ²² Müller, *Regieren*, S.584.
- ²³ Johann Wolfgang Döbereiner, „Großherzogliche Lehranstalt für Chemie“, hrsg. von Jonathan Carl Zenker, *Historisch-topographisches Taschenbuch von Jena und seiner Umgebung besonders in naturwissenschaftlicher u. medicinischer Beziehung* (Jena 1836), S 63.
- ²⁴ Thomas Seebeck (1770-1831), Physiker, ab 1818 Mitglied der Berliner Akademie der Wissenschaften, Entdecker des thermoelektrischen Effekts.
- ²⁵ Johann Wolfgang Goethe, *Sämtliche Werke, Briefe, Tagebücher und Gespräche*, hrsg. Irmtraut und Gerhard Schmid (Frankfurt am Main 1999), Bd 27, S.664.
- ²⁶ Goethe, FA, S.665.
- ²⁷ Hugo Döbling, „Die Chemie in Jena zur Goethezeit“, *Zeitschrift des Vereins für Thüringische Geschichte und Altertumskunde, Neue Folge, Dreizehntes Beiheft* (1928), S. 159.
- ²⁸ Johann Wolfgang Goethe, FA, S. 949-952.
- ²⁹ Johann Wolfgang Döbereiner, *Zur Chemie des Platins in wissenschaftlicher und technischer Beziehung* (Stuttgart 1836), S. 50.
- ³⁰ Adolph Ferdinand Gehlen, „Über Platina-Verarbeitung“, *Journal für Chemie und Physik*, 7 (1813), S. 315.
- ³¹ *Goethes Werke*, Herausgegeben im Auftrage der Großherzogin Sophie von Sachsen (Weimarer Ausgabe), IV. Abteilung, Band 30, S. 168.
- ³² Bernhard von Lindenau, 1780-1854, Astronom, Generaladjutant Herzog Carl Augusts während des Befreiungskrieges, Minister, Kunstsammler – Lindenaumuseum in Altenburg.
- ³³ Johann Wolfgang Döbereiner „Vermischte Bemerkungen“, *Journal für Chemie und Physik*, 6 (1812), S. 211.
Johann Wolfgang Döbereiner „An die Chemiker in England wegen eines neuen Metalles im Platinerz“, *Journal für Chemie und Physik*, 26 (1819), S. 404-405.
- ³⁴ Döbereiner, *Ueber neu entdeckte höchst merkwürdige Eigenschaft des Platins und die pneumatisch-capillare Thätigkeit gesprungener Gläser* (Jena 1823), S. 1.
- ³⁵ Goethe WA, IV. Abteilung, Band 21, S. 84.
- ³⁶ Johann Bartholomäus Trommsdorf, „Beyträge zu den neuesten Untersuchungen der rohen Platina“, *Journal der Pharmacie*, 14 (1806), 2. Stück, S. 3-77.
- ³⁷ Döbereiner, „Vermischte Bemerkungen“, *Journal für Chemie und Physik*, 6 (1812), S. 211.
- ³⁸ Döbereiner, „Über den Baryt“, *Journal für Chemie und Physik*, 6 (1812), S. 367.

- ³⁹ Döbereiner, „Über Platinagefäße“, *Journal für Chemie und Physik*, 10 (1814), S. 217-222.
- ⁴⁰ Adolph Ferdinand Gehlen, „Über ein neues Verfahren, das Platin zum Verarbeiten geschickt zu machen“, *Journal für Chemie und Physik*, 7 (1813), S. 315.
- ⁴¹ Karl August Neumann, „Bemerkungen über Platinagefäße“, *Journal für Chemie und Physik*, 9 (1813), S. 213.
- ⁴² Jöns Jacob Berzelius, „Über verschiedene chemische Operationen und Geräthschaften“, *J. für techn. u. ökonom. Chemie*, 13 (1832), S. 359-362.
- ⁴³ Döbereiner, *Taschenbuch* (wie Anm. 23), S. 63-64. – Döbling, *Chemie* (wie Anm. 27), S. 197-198.
- ⁴⁴ Döbereiner, „Vermischte Bemerkungen“, *Journal für Chemie und Physik*, 6 (1812), S. 212.
- ⁴⁵ Briefwechsel zwischen Goethe und Johann Wolfgang Döbereiner (1810-1830), hrsg. von Julius Schiff (Weimar 1914), S. 56.
- ⁴⁶ Döbereiner, „An die Chemiker in England wegen eines neuen Metalles im Platinerz“, *Schweiggers J.*, 26 (1819), S. 404-405.
- ⁴⁷ William Hyde Wollaston, „Sur la préparation du Palladium. Pd“, *Ann. chim. phys.*, 41 (1829), S. 413.
- ⁴⁸ William Hyde Wollaston, „Sur la préparation de l’ Osmium. Os“, *Ann. chim. phys.*, 41 (1829), S. 414.
- ⁴⁹ William Hyde Wollaston, „On a method of rendering Platina malleable“, *Phil. Trans.*, 119 (1829), S. 1-8.
- ⁵⁰ Gottfried Wilhelm Osann, „Fortsetzung der Untersuchung des Platins vom Ural“, *Annalen der Physik und Chemie*, 89 (1828), S. 283-297. – Gottfried Wilhelm Osann, „Fortsetzung der Analyse des Platins vom Ural“, *Annalen der Physik und Chemie*, 90 (1829), S. 329-357.
- ⁵¹ Edmund Davy, „A new Fulminating Platinum“, *Phil. Trans.*, 107 (1817), S. 136-157. – Edmund Davy, „On Some Combinations of Platinum“, *Phil. Trans.*, 110 (1820), S. 108-125.
- ⁵² Döbereiner, „Verwandlung von Alkohol in Essigsäure“, *Annalen der Physik*, 72 (1822), S. 193-194.
- ⁵³ Paul Erman, „Über eine eigenthümliche reziproke Wirkung der zwei entgegengesetzten elektrischen Thätigkeiten“, *Abhandlungen der königlichen Akademie der Wissenschaften in Berlin aus den Jahren 1818-1819* (1820), S. 351-376. – Es gibt keinen Hinweis darauf, dass Döbereiner von dieser Arbeit gewusst hat. Döbereiner kannte aber Erman schon lange persönlich durch dessen Besuch in Jena. Vgl. Döbling, *Chemie*, S. 167.
- ⁵⁴ Döbereiner, „Neu entdeckte merkwürdige Eigenschaften des Platinsuboxyds, des oxydirten Schwefel-Platins und des metallischen Platinstaubes“, *Journal für Chemie und Physik*, 38 (1823), S. 321-325.
- ⁵⁵ Vgl. Briefwechsel Goethe Döbereiner, S. 78–79.
- ⁵⁶ Döbereiner, „Platin und Wasserstoffgas“, *Isis*, IX (1823), Sp. 989-991.

- ⁵⁷ Döbereiner, „Neu entdeckte merkwürdige Eigenschaften des Suboxyds des Platins, des oxydirten Schwefel-Platins und des metallischen Platinstaubes“, *Annalen der Physik*, 74 (1823), S. 269-272.
- ⁵⁸ Döbereiner, „Nachtrag“, *Journal für Chemie und Physik*, 38 (1823), S. 325–326.
- ⁵⁹ Döbereiner, Nachtrag zu „Platin und Wasserstoff“, *Isis*, IX (1823), Spalte 990-991.
- ⁶⁰ Döbereiner, „Neuere Erfahrungen über Platina“, *Journal für Chemie und Physik*, 54 (1828), S. 417.
- ⁶¹ Goethe WA, IV. Abteilung, Band 26, S. 34.
- ⁶² „Verhandlungen der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte vom 18. bis 20. September 1823“, *Journal für Chemie und Physik*, 39 (1823), S. 3-4.
- ⁶³ Döbereiner, Ueber neu entdeckte höchst merkwürdige Eigenschaft des Platins und die pneumatisch-capillare Thätigkeit gesprungener Gläser (Jena 1823), S. 9-10.
- ⁶⁴ Dietmar Linke, „Johann Wolfgang Döbereiner – Leben und Wirken in seiner Zeit“, Internationales Döbereiner Colloquium 20.-22. Mai 1980 in Jena, Friedrich-Schiller-Universität Jena 1981, S. 22-23. – Christoph Meinel, „Döbereiner und die Chemie seiner Zeit“, *Mitteilungen der GDCh-Fachgruppe Geschichte der Chemie*, 4 (1990), S.46-47.
- ⁶⁵ Döbereiner, *Journal für Chemie und Physik*, 38 (1823), S. 321-325.
- ⁶⁶ *Journal des Débats politiques et Littéraires* (1823), S. 4. Für das Übersetzen danke ich Herrn Dr. Bodo Heyn, Jena.
- ⁶⁷ Pierre Louis Dulong, Louis Jaques Thénard, „Sur la Propriété que possèdent quelques Métaux, de faciliter la combinaison des Fluides élastiques“, *Memoires de l'Academie des Sciences*, 5 (1821-1822), S.476-480.
- ⁶⁸ Dies., „Nouvelles Observations Sur la Propriété dont jouissent certains Corps de favoriser la combinaison des Fluides élastiques“, *Memoires de l'Academie des Sciences*, 5 (1821-1822), S. 481-487.
- ⁶⁹ Christian Gottlob Gmelin, „Ueber Döbereiner's Entdeckung“, *Journal für Chemie und Physik*, 38 (1823), S. 515-517.
- ⁷⁰ Adolph Martin Pleischl, „Beobachtungen über das Entglühen des Platinpulvers im Hydrogenstrom unter Mitwirkung der atmosphärischen Luft“, *Journal für Chemie und Physik*, 39 (1823), S. 142-159.
- ⁷¹ Michael Faraday, „A most extraordinary experiment“, *The Quarterly journal of science literature and art*, 16 (1823), S. 179. – Ders., „Dobereiner's Eudiometer“, ebenda, S. 374-375.
- ⁷² Döbereiner, *Zur pneumatischen Chemie*, vierter Teil (Jena 1824), S. 3.
- ⁷³ Jacob Berzelius, *Jahresbericht über die Fortschritte der physischen Wissenschaften* (Tübingen 1825), S. 60.
- ⁷⁴ Döbereiner, „Bemerkungen“, *Journal für Chemie und Physik*, 42 (1824), S. 60-64.

- ⁷⁵ Döbereiner, „Neue Bereitung des Platinsuboxyd's höchst dünner Platinüberzug statt Platinschwamm, und Bereitung der Essigsäure im Großen mittels des Platinsuboxyds“, [Kastners] Archiv für die gesamte Naturlehre, 9 (1826), S. 341-344.
- ⁷⁶ Döbereiner, „Döbereiner's Essiglämpchen“, Journal für Chemie und Physik, 47 (1826), S. 120-121.
- ⁷⁷ Döbereiner, „Ueber Sauerstoffäther und verwandte Gegenstände“, Annalen der Physik, 100 (1832), S. 609.
- ⁷⁸ Ludwig Wilhelm Gilbert, „Die neu entdeckten Goldwaschwerke am Ural“, Annalen der Physik, 75 (1823), S. 226-227.
- ⁷⁹ Johann Friedrich Erdmann, Beiträge zur Kenntnis des Inneren Russlands, 2. Theil, 2. Hälfte (Leipzig 1826), S. 133.
- ⁸⁰ N. Mamyschew, „Beschreibung der Entdeckung der Platina in Sibirien“, Taschenbuch für die gesammte Mineralogie mit Hinsicht auf die neusten Entdeckungen, hrsg. von Karl Caesar Ritter von Leonhardt, 21. Jahrgang (Frankfurt am Main 1827), Bd 2, S. 265-282.
- ⁸¹ Ebenda S. 268.
- ⁸² Erdmann, Beiträge, S. 133-134.
- ⁸³ Gottfried Wilhelm Osann, „Analyse des Platins vom Ural“, Annalen der Physik, 11 (1827), S. 311-322.
- ⁸⁴ Jöns Jacob Berzelius, „Versuche über die mit dem Platin vorkommenden Metalle, und über das Verfahren zur Zerlegung der natürlichen Platinlegierungen oder Platinerze“, Annalen der Physik, 89 (1828), S. 436-437.
- ⁸⁵ Mamyschew, Taschenbuch, S. 282.
- ⁸⁶ Großherzog Carl August war am 14. 6. 1828 verstorben.
- ⁸⁷ Döbereiner, „Neuere Erfahrungen über Platina“, Journal für Chemie und Physik, 54 (1828), S. 412-413.
- ⁸⁸ Georg Henry Lewes, The Life of Goethe, 2nd ed. (Leipzig 1864), S. 298-299.
- ⁸⁹ Georg Henry Lewes, Goethe's Leben und Werke (Leipzig o. J.), Bd. 2, S. 565.
- ⁹⁰ Hans Prescher, Goethes Sammlungen zur Mineralogie, Geologie und Paläontologie – Katalog (Berlin 1978).
- ⁹¹ Goethe, WA, IV. Abt., Bd. 47, S. 393.
- ⁹² Goethe, WA, IV. Abt., Bd. 45, S. 24.
- ⁹³ Goethe, WA, III. Abt., Bd. 12, S. 14.
- ⁹⁴ Döbereiner, „Beobachtungen, gemacht zum Theil bei chemischen Vorträgen“, Journal für Chemie und Physik, 63 (1831), S. 465-470.
- ⁹⁵ Döbereiner, „Ueber Platinmohr“, Annalen der Physik, 37 (1836), S. 548-549.
- ⁹⁶ Döbereiner, „Briefliche Mitteilungen“, Annalen der Physik, 101 (1832), S. 190.

- ⁹⁷ Döbereiner, „Ueber mehrere neue Platinverbindungen“, *Annalen der Physik*, 104 (1833), S. 180-184.
- ⁹⁸ Döbereiner, „Sauerstoffabsorption des Platins“, *Annalen der Physik*, 107 (1834), S. 512.
- ⁹⁹ Döbereiner, „Außerordentliche Verdichtung des Sauerstoffs durch Platinmohr“, *Journal für praktische Chemie* 1 (1834), S. 76. – Döbereiner, „Platin als reines Oxytrophon (Sauerstoffsauger) erkannt“, *Journal für praktische Chemie* 1 (1834), S. 114. – Döbereiner, „Ueber Platinmohr und Eupion“, *Journal für praktische Chemie* 1 (1834), S. 254. – Döbereiner, „Fortgesetzte Bemerkung über Platinmohr“, *Journal für praktische Chemie* 1 (1834), S. 369-371.
- ¹⁰⁰ Döbereiner, „Ueber Platin“, *Annalen der Physik*, 112 (1835), S. 308-310. – Döbereiner, „Chemische Eigenschaften und physische Natur des auf nassem Wege reducirten Platins“, *Annalen der Physik*, 112 (1835), S. 458-464.
- ¹⁰¹ Döbereiner, „Fernere Mitteilungen über Platin und Osmium.Irid“, *Annalen der Physik*, 112 (1835), S. 464-471.
- ¹⁰² Franz Döbereiner, „Ueber eine neue Methode der Analyse des Platinerzes, der Darstellung des Platinmohrs und chemisch reinen Palladiums“, *Annalen der Pharmacie*, 14 (1835), S. 251-260. – Franz Döbereiner, „Neue Methode der Analyse des Platinerzes“, *Pharmazeutisches Centralblatt*, 6 (1835), S. 767-769.
- ¹⁰³ Universitätsarchiv Jena (UAJ), Best. M, Nr. 276 Vol. I, Bl. 228-239.
- ¹⁰⁴ UAJ, Best. M, Nr. 276 Vol. I, Bl. 240.
- ¹⁰⁵ UAJ, Best. M, Nr. 276 Vol. I, Bl. 317.
- ¹⁰⁶ Ja[me]s Lewis Howe, H. C. Holtz, *Bibliographie of the metals of the Platinum group Platin, Palladium, Iridium, Rhodium, Osmium, Ruthenium 1748-1917* (Washington 1919).
- ¹⁰⁷ Döbereiner, *Zur Chemie des Platins in wissenschaftlicher und technischer Beziehung* (Stuttgart 1836).
- ¹⁰⁸ Döbereiner, „Neue Beiträge zur Geschichte der chemischen Dynamik des Platins“, *Annalen der Physik*, 140 (1845), S. 94-96.