

## Ueber wässrige Lösungen metallischen Goldes; von *Richard Zsigmondy*.

---

Gelegentlich meiner Untersuchung über die Löslichkeit des Cassius'schen Goldpurpurs in Ammoniak, über welche ich später berichten werde, drängte sich mir die Ueberzeugung auf, dass es gelingen müsste, das Gold — unter Einhaltung gewisser Vorsichtsmaassregeln — so aus der Lösung seiner Salze zu reduciren, dass es, obgleich in den metallischen Zustand übergeführt, in dem im Ueberschusse vorhandenen Wasser gelöst bleibt.

Nach zahlreichen Versuchen, die mit wechselndem Glücke durchgeführt waren, gelang es mir endlich, die Bedingungen, unter deren Einhaltung man solche Lösungen mit einiger Sicherheit herstellen kann und die wichtigsten Eigenschaften dieser Goldlösungen festzustellen.

Ich will gleich eingangs erwähnen, dass das Gold in verschiedenen gefärbten Zuständen in wässriger Lösung erhalten werden kann, wenn diese Farben auch nicht die grosse Mannigfaltigkeit aufweisen, wie die des colloidalen Silbers, welches wir durch die vortrefflichen Untersuchungen von Carey Lea kennen gelernt haben; man erhält hochrothe, blaue und tintenschwarze Goldlösungen, sowie alle Arten von Uebergängen zwischen diesen Färbungen je nach den Versuchshedingungen, unter denen das Gold reducirt wird, und es scheint mir, dass die blauen oder violetten Lösungen am leichtesten zu erhalten sind.

Für mich aber hatten die rothen Lösungen das meiste Interesse, hauptsächlich deshalb, weil ich mit ihrer Hülfe die alte, noch nicht vollständig beantwortete Frage nach der chemischen Natur des Cassius'schen Goldpurpurs ihrer endgültigen Entscheidung zuführen konnte, und ich habe mich darum auch bisher fast ausschliesslich mit dem Studium der rothen Goldlösungen befasst.

*Herstellung der rothen Goldlösungen.*

Man kann diese Lösungen erhalten durch Versetzen stark verdünnter, kochend heisser, schwach alkalischer Lösungen von Goldchlorid mit verschiedenen Reductionsmitteln. Am geeignetsten erweist sich der Formaldehyd, weniger gut wirkt Acetaldehyd oder Alkohol. Auch mit Hydroxylamin konnte ich manchmal rothe Lösungen von metallischem Golde erhalten.

Ich will hier zahlreiche misslungene Versuche übergehen und lieber gleich die Vorschrift geben, nach welcher rothe Goldlösungen leicht hergestellt werden können.

25 ccm einer Lösung von 0,6 g Goldchloridchlorwasserstoff im Liter (ich verwendete das krystallisirte Goldchlorid, welches beim Eindampfen einer Lösung von Gold in Königswasser hinterbleibt) werden mit 100—150 ccm Wasser verdünnt, hierauf mit 2—4 ccm<sup>1)</sup> einer 0,2 normalen Lösung von Kaliumcarbonat oder Kaliumbicarbonat versetzt und zum Sieden erhitzt.

Unmittelbar nach dem Aufkochen entfernt man die Flüssigkeit von der Flamme und fügt partienweise, aber ziemlich schnell, 4 ccm einer Lösung von einem Theile frisch destillirtem Formaldehyd (Ph. G. III)<sup>2)</sup> in hundert Theilen Wasser zur kochend heissen Goldlösung unter lebhaftem Umrühren der Flüssigkeit.

Kurze Zeit darauf wird man ein Dunklerwerden der ursprünglich farblosen Flüssigkeit bemerken oder, bei günstigen Versuchsbedingungen, das vorübergehende Auftreten einer prächtig

---

<sup>1)</sup> Die Menge des Alkalizusatzes und der Verdünnungsgrad richtet sich nach der Beschaffenheit des destillirten Wassers. Erhält man bei einer Operation schwarz-violette Färbungen statt der rothen, so ist stärker zu verdünnen und mehr Alkali zu nehmen. Gewöhnlich habe ich mit 100 ccm Wasser und 3 ccm Kaliumcarbonatlösung gearbeitet.

<sup>2)</sup> Es wurden nur die zwischen 97° und 100° übergehenden Theile aufgefangen und nachher verwendet. Zuweilen ist es nöthig, obige Lösung noch auf das drei- bis vierfache zu verdünnen.

hellrothen Farbe, die den Beginn der nach wenigen Secunden beendigten Reaction andeutet; die Flüssigkeit erscheint schliesslich in der ganzen Masse mehr oder weniger tiefroth gefärbt und kann hierauf gekocht oder Monate lang stehen gelassen werden, ohne sich im Mindesten zu verändern.

Aber nicht immer erhält man rein hochrothe oder carminrothe, vollkommen ungetrübte Flüssigkeiten; gewöhnlich erscheint die Farbe etwas dunkler purpurn, häufig violett oder blauschwarz und im auffallenden Lichte stark getrübt.

Will man rein rothe Lösungen erhalten, so hat man viele Umstände zu beachten: Verwendet man statt des verdünnten Formaldehyds concentrirten und fügt ihn in der Kälte zu, so erhält man statt der rothen Lösungen häufig blaue; kocht man die verdünnte Goldsolution zu lange, so dass der Ueberschuss der Kohlensäure entweicht, und fügt dann, wie vorgeschrieben, verdünnten Formaldehyd hinzu, so wird die Flüssigkeit meist trübe, violettroth. Aehnliches kann man auch beobachten, wenn man zuerst Formaldehyd und dann das Kaliumcarbonat zur heissen Lösung hinzufügt.

Die grösste Aufmerksamkeit muss der Reinheit des destillirten Wassers zugewendet werden; die meisten meiner anfänglichen Misserfolge waren auf die geringfügigen Verunreinigungen des käuflichen destillirten Wassers zurückzuführen; so genügten Spuren von Erdalkaliphosphaten im Wasser, um jeden Versuch, rothe Lösungen zu erhalten, vergeblich zu machen. Die reinsten rothen Farben erhielt ich dagegen mit Wasser, welches nochmals destillirt und in einem Silberkühler condensirt worden war.

Mischt man den Formaldehyd nicht schnell mit der Goldlösung, so erhält man auch häufig blauviolette, stark getrühte Lösungen. Dies ist wohl der Grund, warum ich, mit grösseren Flüssigkeitsmengen (zwei bis drei Liter) operirend, trotz genauer Einhaltung aller sonstigen Vorsichtsmaassregeln keine schön rothen Lösungen erhalten konnte.

Arbeitet man aber mit kleineren Flüssigkeitsmengen, so

kann man bei genauer Befolgung meiner Vorschrift leicht schöne rothe Lösungen erhalten, die dann durch Dialyse weiter gereinigt werden können.

Da die nach obiger Vorschrift bereitete Goldlösung sehr verdünnt ist (sie enthält ungefähr 5 mg Gold in 100 ccm), so interessirte es mich zunächst, sie weiter zu concentriren.

Dies konnte durch blosses Einkochen nur bis zu einem gewissen Grade geschehen; bis zur Hälfte des ursprünglichen Volumens liess sie sich unverändert einkochen, beim weiteren Concentriren aber wurde sie schwarzviolett und liess das Gold als schwarzes Pulver fallen. Die Ursache davon ist jedenfalls in der Anhäufung der bei der Reaction gebildeten Salze zu suchen, die, wie fast alle Salze, fällend auf das colloidal gelöste Gold einwirken.

Um die Lösungen unverändert weiter zu concentriren, mussten sie gleichzeitig gereinigt werden und das geschah durch Dialyse.

Durch öfteres Wiederholen ein und derselben Operation konnte ich leicht grössere Lösungsmengen herstellen, die dann zu je zwei bis drei Liter der Dialyse unter gleichzeitiger Concentration unterworfen wurden. Als Dialysator wurde eine etwa acht Liter fassende Glasschale verwendet, die über die Hälfte mit destillirtem Wasser gefüllt war und über deren Rand die benetzte Pergamentmembran so gelegt wurde, dass sie einen auf der Wasseroberfläche liegenden Sack bildete. In den so gebildeten Sack aus Pergament wurde die verdünnte Goldlösung geschüttet und das ganze offen an einem 40—50° warmen Orte aufgestellt.

Auf diese Weise gelang es mir, die Goldlösung in wenigen Tagen auf den zehnten bis zwanzigsten Theil ihres ursprünglichen Volumens einzuengen, ohne dass sie Neigung zeigte, sich zu zersetzen.

In dem Maasse, in welchem die Concentration zunimmt, wird die Lösung intensiver roth; verdünnt man eine Probe mit Wasser, so erhält man wieder die ursprüngliche Farbe.

Es ist interessant, beim Einengen zu beobachten, wie die verdunstende Lösung auf der Pergamentmembran schöne Ringe metallisch glänzenden Goldes zurücklässt, die, über verdampfendes Quecksilber gehalten, dieses stellenweise unter Amalgambildung aufnehmen.

Es war nicht schwer, im Dialysator Flüssigkeiten zu bekommen, die 0,12 pC. colloidales Gold enthielten; weiter konnten die Lösungen nach diesem beschleunigten Verfahren nicht concentrirt werden, da das Gold beim fortgesetzten Einengen sich am Rande der Flüssigkeit abschied, in dem Maasse als das Lösungsmittel verdampfte.

#### *Eigenschaften der rothen Goldlösungen.*

Die nach dem oben mitgetheilten Verfahren erhaltenen rothen Flüssigkeiten sind als mehr oder minder vorunreinigte wässrige Lösungen metallischen Goldes in colloidalem Zustande zu betrachten.

Die metallische Natur des gelösten Goldes habe ich erwiesen; die Beweise sollen weiter unten mitgetheilt werden. Dass das Gold in den verdünnteren Lösungen wirklich gelöst und nicht bloss suspendirt war, geht daraus hervor, dass die Flüssigkeiten sich kochen, einengen und durch das dichteste Papierfilter giessen liessen, ohne Metall abzuscheiden, dass sie selbst nach drei Monate langem Stehen vollkommen unverändert<sup>3)</sup> blieben, keinen Niederschlag absetzten und auch nicht die mindeste Neigung zeigten, das gelöste Gold fallen zu lassen, was man an einer allmählichen Entfärbung der oberen Flüssigkeitspartien hätte erkennen können, die aber nie beobachtet wurde.

Für die colloidale Natur des gelösten Goldes endlich spricht sein Verhalten gegen Salze und bei der Dialyse und Elektrolyse.

Wie alle colloidal gelösten Körper vermag auch das Gold bei der Dialyse die Membran nicht zu durchdringen, man

<sup>3)</sup> Abgesehen vom Auftreten von Schimmelpilzen, die ich öfters beobachten konnte, und auf die ich später zu sprechen komme.

mag es eindampfen, soweit man wolle. Selbst durch Elektrolyse ist man nicht im Stande, das Gold durch die Membran zu treiben; es wandert mit der negativen Elektrizität und setzt sich demnach an der positiven Elektrode ab oder, wenn es von dieser durch eine Membran getrennt ist, auf letzterer; in beiden Fällen als schwarzes Pulver.

Die durch Dialyse gereinigten, etwa 0,1 pC. Gold enthaltenden Flüssigkeiten sind geschmacklos im Gegensatz zu Goldchloridlösungen, die, selbst bei viel grösserer Verdünnung, einen herben, metallischen Geschmack besitzen.

Wie schon erwähnt, wird das metallische Gold aus seiner Lösung durch Neutralsalze, Säuren und Alkalien, wenn sie in genügender Menge vorhanden sind, ausgefällt. Ich will nun einige hierhergehörige Versuche beschreiben.

Kleinere Antheile einer 0,005 pC. Gold enthaltenden, hochrothen Lösung wurden versetzt mit Lösungen von Kochsalz, Chlormagnesium, Chlorbaryum, Magnesiumsulfat, Natriumphosphat, Natriumcarbonat, Ammoniumcarbonat, Ammoniummolybdat und Rhodankalium.

In allen Fällen schlug die schön hochrothe Farbe nach dem Salzzusatze sofort in blau um und schon nach wenigen Minuten zeigte eine beginnende Entfärbung der oberen Flüssigkeitspartien an, dass das Gold gefällt worden war.

Nach acht bis neun Stunden waren alle Proben entfärbt; am Boden der Flüssigkeit fand sich das Gold als blauschwarzes Pulver wieder.

Nur gegen Ferrocyankalium als Fällungsmittel zeigte die Goldlösung ein abweichendes Verhalten. Die Farbe der Flüssigkeit verwandelte sich in Grün, nach achtstündigem Stehen in rein Gelb, ohne dass Gold gefällt worden wäre.

Mineralsäuren,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ , auch in geringen Mengen zugesetzt, bewirkten vollständige Fällung des Goldes unter genau den gleichen Erscheinungen, die ich bei den Salzlösungen beschrieben habe; die Essigsäure zeigt dagegen ein davon etwas abweichendes Verhalten: sie verändert die hoch-

rothe Farbe der Flüssigkeit in Violettroth, das, allmählich dunkler werdend, schliesslich in Tintenschwarz übergeht. Das Gold bleibt anfangs gelöst, setzt sich aber schliesslich auch zu Boden.

Die fixen Alkalien fällen das Gold blau, während Ammoniak weder die Farbe, noch die Löslichkeit des Goldes im geringsten verändert.

Interessant war das Verhalten der wässrigen Goldlösungen gegen überschüssig zugesetzten Alkohol. Dieser verändert die Farbe der Lösung allmählich in Dunkelviolet und bewirkt eine vollständige Fällung des metallischen Goldes, das aber zuweilen die Eigenschaft, sich im Wasser zu lösen, beibehält. Wie ich nachträglich aus der Literatur über das colloïdale Silber ersah, hat Schneider<sup>4)</sup> ein ähnliches Verhalten des Lea'schen Silbers benutzt, um dieses zu reinigen. Ich glaube, dass man nach dem Verfahren von Schneider auch das colloïdale Gold im Zustande grösster Reinheit erhalten würde, nur müsste man erst die Bedingungen herausfinden, es so zu fällen, dass es im Wasser löslich bleibt. Das colloïdale Gold unterscheidet sich darin ganz wesentlich vom colloïdalen Silber, dass es eine viel grössere Neigung hat als letzteres, sich zu grösseren, wasserunlöslichen Molekularcomplexen zu vereinigen. Dies mag übrigens seinen Grund zum Theil auch in der grösseren Reinheit<sup>5)</sup> der nach meinem Verfahren hergestellten Lösungen haben. Elektrolytisch oder durch Kochsalz gefälltes Gold löst sich nicht mehr in Wasser.

#### *Verhalten der Goldlösungen bei der Elektrolyse.*

Ich habe mehrere Versuche angestellt, um die Wirkung des galvanischen Stromes auf meine Goldlösungen zu studiren; zwei dieser Versuche will ich hier mittheilen:

<sup>4)</sup> Ber. d. deutsch. chem. Ges. **25**, 1281 (1892).

<sup>5)</sup> Darunter verstehe ich hier die Abwesenheit anderer Colloide wie Eisenoxyd. Auf diese Verhältnisse will ich bei anderer Gelegenheit zu sprechen kommen.

In ein abgesprengtes, am Halse mit einer Pergamentmembran versehenes Pulverglas wurde die durch Dialyse vorher gereinigte und concentrirte rothe Goldlösung gebracht. Dieses Glas wurde mit seinem durch Pergament verschlossenen Theile in das in einem etwas grösserem Glase befindliche destillirte Wasser eingetaucht. Im Wasser befand sich — der Pergamentmembran gegenüber und dieser parallel gestellt — das als positive Elektrode dienende Platinblech; die negative Elektrode wurde in die im ersten Glase befindliche Goldlösung eingehängt und bestand ebenfalls aus Platin. Als Stromquelle diente eine Batterie von acht hintereinander geschalteten Accumulatoren.

Bald nach dem Schliessen des Stromkreises begann eine sehr schwache Gasentwicklung an den Elektroden; nach einer halben Stunde war die Flüssigkeit verfärbt und zeigte einen kleinen Bodensatz auf der Membran und nach etwa einer Stunde war das Gold vollständig gefällt, aber nicht wie sonst immer als metallisch glänzender Ueberzug auf der negativen Elektrode, sondern als schwarzes Pulver auf der Pergamentmembran.

Das Goldmetall in wässriger Lösung verhält sich demnach wie die meisten anderen colloïdal gelösten Körper und wandert mit der negativen Elektricität, vermag aber wie die Colloïde die Membran nicht zu durchdringen und bleibt auf derselben liegen. Das so gefällte Gold kann in Wasser zu einer blauen Flüssigkeit aufgeschlämmt werden, nach einigen Tagen aber ist alles Gold wieder zu Boden gesunken.

Bringt man die Goldlösung direct zwischen die beiden Elektroden, so setzt sich das Gold an der positiven Elektrode als schwarzes Pulver ab, das man sofort als Metall erkennt, wenn man es trocknen lässt; es nimmt dann augenblicklich den schönsten Goldglanz an.

#### *Verhalten des gelösten Goldes gegen Quecksilber.*

Ich habe versucht, das in Wasser gelöste Gold mit Quecksilber zu amalgamiren. Es wurden etwa 100 ccm einer durch



Dialyse gereinigten und concentrirten Goldlösung in eine verschlossene Glasflasche gebracht und mit Quecksilber längere Zeit geschüttelt. Dabei wurde die Flüssigkeit weder entfärbt, noch liess sich irgend welche Veränderung der Intensität der Farbe feststellen. Auch bei mehrwöchentlichem Stehen der Goldlösung über Quecksilber oder beim Einkochen der Lösung über Quecksilber zeigte sich keinerlei Veränderung. Ich schliesse daraus, dass das in Wasser gelöste Gold keine oder nur sehr geringe Neigung besitzt, sich mit Quecksilber zu amalgamiren<sup>6)</sup>.

Es darf das nicht wunderbar erscheinen, selbst wenn man nicht annehmen will, dass das in Wasser gelöste Gold eine allotrope Modification darstelle, denn auch das durch Kochsalz oder Salzsäure gefällte Gold hat kein Bestreben, sich mit Quecksilber zu vereinigen; es geht auch hier die Vereinigung sehr langsam und unvollständig vor sich.

Offenbar wird das äusserst fein zertheilte Gold durch seine grosse Adhäsion zum Wasser vor der Einwirkung des Quecksilbers geschützt. Ich erwähne diese Eigenschaften deshalb, weil das mit rother Farbe auf anderen Körpern niedergeschlagene Gold<sup>7)</sup> sich bei gewöhnlicher Temperatur ebenfalls nicht amalgamiren lässt und weil Berzelius aus der Unfähigkeit des im Cassius'schen Goldpurpur enthaltenen Goldes<sup>8)</sup>, sich zu amalgamiren, den falschen Schluss gezogen hat, Goldpurpur sei eine chemische Verbindung von Goldoxydul mit den Oxyden des Zinns.

Die *Veränderung der Goldlösung beim Eindampfen* ist nicht uninteressant und verdient erwähnt zu werden. Es scheint,

---

<sup>6)</sup> Bei einem Versuche mit anderer Flüssigkeit konnte ich eine beträchtliche Abnahme der Intensität der Färbung wahrnehmen. Diese Verhältnisse müssen noch näher studirt werden.

<sup>7)</sup> Solche Niederschläge von Gold auf  $MgO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $SnO_2$  u. s. w. sind von Müller (Journ. f. pract. Chem. [2] **30**, 252) näher studirt worden. Auch der Cassius'sche Goldpurpur ist als inniges Gemenge von Gold mit Zinnsäure zu betrachten.

<sup>8)</sup> Im Vereine mit der damals unaufgeklärten Ammoniaklöslichkeit des Purpurs.

dass das Gold nur in geringem Grade in Wasser löslich ist (jedenfalls viel weniger löslich, als das colloïdale Silber), denn beim Verdunsten einer etwa 0,1 pC. Gold haltenden Flüssigkeit auf einem Uhrglase oder an den seichten Stellen meines Dialysators setzt sich zunächst ein blauschwarzes Pulver ab, während die dieses umgebende Flüssigkeit entfärbt wird.

Verdampft dann das Wasser vollständig, so verwandelt sich das anfangs lose auf der Unterlage liegende Pulver in eine fest anhaftende Schicht von metallisch glänzendem Golde.

Ueber die Concentration, bis zu welcher man Goldlösungen eindampfen kann, ohne dass ein Niederschlag herausfällt, lässt sich schwer etwas Bestimmtes sagen, da schon ganz geringe Verunreinigungen, die kaum aus dem Lösungsmittel zu entfernen sind, auf die Löslichkeit des Metalles einen beträchtlichen Einfluss ausüben.

Ich erhielt durch Eindampfen der verdünnten Goldlösungen auf dem Dialysator Flüssigkeiten, die etwas mehr als 0,1 pC. Gold enthielten; sie erschienen zwar ganz gleichmässig tiefroth und flossen ohne Hinterlassung eines Rückstandes durch ein Filter, konnten aber doch nicht mehr als Lösungen betrachtet werden, da sie nach etwa achttägigem Stehen sich zu entmischen begannen, indem sich zwei scharf abgegrenzte Schichten bildeten, von denen die obere vollkommen gleichmässig hellroth war, während die untere tief dunkelroth erschien, offenbar von einem sich allmählich absetzenden gallertigen Niederschlage so intensiv gefärbt.

Es war mir nun interessant zu erfahren, ob der tiefrothe Niederschlag in Wasser löslich sei oder nicht. Da ich nicht warten konnte, bis die suspendirten Theilchen sich zu Boden gesetzt hatten (das hätte meiner Schätzung nach etwa ein halbes Jahr gedauert), so begnügte ich mich mit folgender Probe:

Es wurde die ganze, in zwei Schichten geschiedene Flüssigkeit wieder durchgeschüttelt, wodurch sie die ursprüngliche Farbe wieder annahm; ein Theil der Flüssigkeit wurde nun auf das

fünffache, ein anderer Theil auf das zehnfache mit destillirtem Wasser verdünnt und alle drei Flüssigkeiten, die unverdünnte und die beiden verdünnten, der vollkommenen Ruhe überlassen.

Nach mehrwöchentlichem Stehen hatte die unverdünnte Flüssigkeit sich genau, wie vorhin beschrieben, in zwei gefärbte Schichten geschieden, die fünffach verdünnte, einen kleinen Bodensatz abgesetzt, sich sonst aber nicht verändert, die zehnfach verdünnte Lösung aber hatte weder etwas abgesetzt noch auch sonst irgendwie eine Aenderung erkennen lassen.

Aus diesem Verhalten geht hervor, dass die ursprüngliche  $\frac{1}{10}$ -procentige Lösung mehr Gold enthielt, als sich lösen konnte, dass der daraus sich abscheidende Niederschlag in Wasser löslich ist und dass die Löslichkeit des Goldes in diesem speciellen Falle zwischen 0,01 und 0,05 pC. liegt.

Wenn das Gold in Wasser nicht gelöst, sondern bloss suspendirt gewesen wäre, so hätte sich in allen Fällen nach mehreren Wochen in den oberen Theilen der Flüssigkeit eine beginnende Entfärbung zeigen müssen (wie ich das bei zahlreichen scheinbaren Lösungen beobachtet habe). Eine solche Entfärbung trat aber in den reineren und gehörig verdünnten Flüssigkeiten nie ein. Wären die aus der concentrirten Lösung sich abscheidenden Theilchen in Wasser unlöslich gewesen, dann hätten sie sich auch bei zehnfacher Verdünnung wieder absetzen müssen. Sie haben sich aber nicht abgesetzt, sind darum wasserlöslich.

Ich bin überzeugt davon, dass die Löslichkeit des Goldes in Wasser sich als viel grösser erweisen wird, als oben angegeben, wenn man dafür Sorge trägt, dass die in der Flüssigkeit befindlichen Salze vollständig entfernt werden. Bisher habe ich mich aber mit einer so weitgehenden Reinigung nicht befassen können.

#### *Schimmelpilze in der Goldlösung.*

Fast alle Lösungen von metallischem Golde, welche nicht durch Dialyse gereinigt und concentrirt worden waren, hatten

nach ein- bis zweiwöchentlichem Stehen kleine Culturen von Schimmelpilzen angesetzt. In wenigen Fällen wuchsen diese Pilze von einem Punkte der Oberfläche aus zu grossen, halbkugelförmigen Gebilden und ich konnte bemerken, dass die Flüssigkeit in dem Maasse, in welchem die Schimmelpilze wuchsen, immer heller wurde.

In einem 200 ccm fassenden Kölbchen war die Goldlösung sogar ganz entfärbt worden und ich sah zu meiner Verwunderung, dass kein Gold sich am Boden des Gefässes abgesetzt hatte, wohl aber, dass das Mycelium des Pilzes schwarz erschien.

Dies liess in mir die Vermuthung entstehen, dass der Schimmelpilz bei seinem Lebensprocess das Gold aus der Lösung aufgenommen und in seinem Mycelium verdichtet hatte.

Ich nahm daher eine kleine Probe davon aus der Flüssigkeit und betrachtete sie unter dem Mikroskope. Das Mycelium erschien als ein Gewirre schwarzer Fäden, man konnte aber auch einzelne tiefdunkelrothe Fäden darunter bemerken.

Nach dem Eintrocknen des Präparates erschien dasselbe dem unbewaffneten Auge als goldglänzender Fleck; unter dem Mikroskope im reflectirten Lichte nahm es das Aussehen eines Geflechtes aus reinem Golddraht an.

Durch die reichliche Goldaufnahme wird das Mycelium des Pilzes auch derart belastet, dass es sich nur so lange in der Flüssigkeit schwebend zu halten vermag, als ein Theil der Fäden durch Oberflächenspannung an der Oberfläche festgehalten wird. Schüttelt man die Flüssigkeit, so fällt das ganze Gebilde sogleich zu Boden.

#### *Nachweis der metallischen Natur des gelösten Goldes.*

Obgleich das Aussehen der rothen Flüssigkeiten, ihr Verhalten beim Verdunsten und bei der Elektrolyse, die Bedingungen ihrer Herstellung (Reduction von Goldchlorid mit sehr kräftigen Reductionsmitteln<sup>9)</sup> bei Siedehitze) ziemlich unzweideutig darauf

<sup>9)</sup> Ich habe wiederholt rothe Goldlösungen bei Anwendung des von Clemens Winkler (Ber. d. deutsch. chem. Ges. **22**, 899) als

hinweisen, dass man es hier nur mit wässrigen Lösungen metallischen Goldes zu thun haben konnte, so schien es mir doch wünschenswerth, die metallische Natur des colloidal gelösten und durch Salze fällbaren Körpers auf analytischem Wege nachzuweisen.

Das war nicht ganz leicht, denn ich konnte nach meinem Verfahren nur sehr stark verdünnte Lösungen erhalten und musste, um daraus eine zur Analyse geeignete Niederschlagsmenge zu erhalten, durch öfteres Wiederholen ein und derselben Operation jedesmal zwei bis drei Liter Flüssigkeit herstellen, die hierauf durch Dialyse gereinigt und concentrirt wurden, um schliesslich durch Kochsalz gefällt zu werden. Der Niederschlag wurde dann durch Decantiren gewaschen und nach zwei Methoden untersucht.

Nach seiner Herstellungsweise und seinem Verhalten konnte der in Wasser gelöste rothe Körper nur Gold oder eines seiner Oxyde sein oder auch ein Gemenge dieser Körper<sup>10)</sup>; es war daher nothwendig, den Niederschlag zunächst auf seinen Gehalt an Sauerstoff zu prüfen; dies geschah durch Glühen im Kohlensäurestrom und Untersuchung der entweichenden Gase.

Von den bekannten Oxyden des Goldes konnte man übrigens von vornherein einige ausschliessen: Das Goldoxyd  $\text{Au}_2\text{O}_3$ , weil dieses durch Kochsalz bei den angewandten Concentrationen nicht ausgefällt wird, das Golddioxyd  $\text{AuO}_2$ , welches ockergelb gefärbt ist, und dessen Anwesenheit sich durch seinen grossen Sauerstoffgehalt verrathen haben würde, und das purpurne Goldoxyd, dessen Existenz schon von Proust, Buisson, Figuier u. A. bezweifelt worden war

sicher wirkendes Reductionsmittel empfohlenen Hydroxylamins erhalten und für gewöhnlich nur deshalb den Formaldehyd vorgezogen, weil ich für diesen die Bedingungen, unter welchen er rothe Lösungen bildet, bereits ausprobt hatte.

<sup>10)</sup> Eine rothgefärbte, salzartige Verbindung des Goldes würde bei der Dialyse und bei der Elektrolyse durch die Membran gegangen sein.

und das nach analytischen Untersuchungen von Krüss<sup>11)</sup> nicht existirt.

Man erkennt auch beim Durchlesen der darauf bezüglichen Literatur, dass die Annahme des purpurnen Goldoxydes ein Nothbehelf war, der über die Schwierigkeiten der Erklärung des Cassius'schen Goldpurpurs als chemische Verbindung und über einige andere Schwierigkeiten hinweghelfen sollte, ein Nothbehelf, der aber fallen musste, sobald man die Eigenschaften des fein zertheilten Goldes, die Körper, mit denen es innig gemischt ist, roth zu färben, erkannt hatte. Bewiesen hat die Existenz des rothen Goldoxydes bisher noch Niemand.

Es bleibt demnach von den bekannten Oxyden des Goldes nur mehr das Oxydul  $\text{Au}_2\text{O}$  übrig, das, selbst blau gefärbt, in schwarzblauen, aus meinen Lösungen erhaltenen Niederschlägen enthalten sein konnte.

Das Oxydul zerfällt aber nach Berzelius beim Behandeln mit Salzsäure in Gold und Goldchlorid und man kann aus der Menge des bei dieser Reaction entstandenen Chlorides auf den Gehalt des Niederschlags an Oxydul schliessen. Dieser Reaction habe ich mich ebenfalls bei der Untersuchung meiner Niederschläge bedient, nur möchte ich noch erwähnen, dass ich durch Vorproben mich davon überzeugt hatte, dass die Niederschläge, mit dem Achat gedrückt, den Glanz und die Farbe gewöhnlichen Goldes annehmen.

*Prüfung des Niederschlages durch Bestimmung seines  
Sauerstoffgehaltes.*

Es wurden zunächst nach oben mitgetheilter Vorschrift 4,4 Liter rother, stark verdünnter Goldlösung hergestellt und diese im Dialysator auf 47 ccm eingeengt. Die zurückbleibende Flüssigkeit war tiefroth gefärbt, an dickeren Schichten undurchsichtig; sie wurde mit concentrirter Kochsalzlösung versetzt und an einen warmen Ort gestellt, um das Absetzen des

<sup>11)</sup> Diese Annalen **237**, 279.

augenblicklich entstandenen blauschwarzen Niederschlages zu beschleunigen. Einige Stunden später hatte sich der Niederschlag vollkommen abgesetzt und konnte durch Decantiren leicht gewaschen werden. In der abgegossenen Flüssigkeit rief Schwefelwasserstoff oder Zinnchlorür keine Reaction hervor. Das Waschen wurde so lange fortgesetzt, bis eine Probe des Waschwassers keine Chlorreaction mehr zeigte. Die ganze Menge des Niederschlages wurde hierauf auf ein Asbestfilter gebracht und sammt dem Filter und der dazu gehörigen Trichterröhre bei 100° bis zur Gewichtsconstanz getrocknet.

Der Niederschlag war nach dem Trocknen schwarz gefärbt und wog 0,0612 g. Durch die Röhre wurde nun Kohlensäure geleitet und nach dem Vertreiben der darin enthaltenen Luft wurde die Stelle, an welcher der Niederschlag lag, allmählich auf Rothgluth erhitzt.

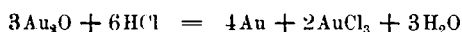
Es entwich etwas Wasser, ausserdem 0,6 ccm Gas (auf 760 mm und 0° reducirt), welches über Kalilauge aufgefangen wurde. Phosphor und alkalische Pyrogallussäure vermochten aus diesem Gase nur etwas mehr als 0,1 ccm aufzunehmen, der Rest war jedenfalls Stickstoff.

Wäre der Niederschlag Goldoxydul gewesen, so hätten sich 1,67 ccm Sauerstoff entwickeln müssen, bei Anwesenheit der höheren Oxyde des Goldes noch mehr.

Der geringe Sauerstoffgehalt des beim Glühen entweichenden Gases lässt darauf schliessen, dass das äusserst fein vertheilte Goldpulver beim Trocknen nicht unbedeutende Mengen Luft auf seiner Oberfläche condensirt hatte, die dann beim Glühen entweichen musste. Es war demnach aus der Gasentwicklung kein sicherer Schluss auf den etwaigen Gehalt des Goldes an Oxydul zu ziehen; nur das konnte mit Sicherheit festgestellt werden, dass der Niederschlag zum grössten Theile aus metallischem Golde bestand. Um nun eine weitere Bestätigung dafür zu haben, wurde nach einem anderen Verfahren gearbeitet.

Zwei Liter rother Lösung wurden auf ein Liter concentrirt und dann mit Kochsalz gefällt. Der durch Decantiren

gewaschene Niederschlag wurde hierauf in noch feuchtem Zustande mit Salzsäure gekocht, bei welcher Operation nach Berzelius und Figuier alles Oxydul nach der Gleichung



zerlegt wird.

Bei der Behandlung mit Salzsäure ballte sich der schwarze Niederschlag in kürzester Zeit zu braunen Klümpchen vom Aussehen des gewöhnlichen, durch Eisenvitriol gefällten Goldes zusammen und die Säure nahm gleichzeitig eine schwach gelbliche Färbung an.

Es wurde nun das zurückbleibende Gold und das in Lösung gegangene gewichtsanalytisch bestimmt.

Das zurückgebliebene Gold wog 0,0752 g, das in Lösung gegangene 0,0001 g; es ergibt sich daraus, dass die Menge des im Niederschlage enthaltenen Goldoxyduls äusserst gering war und weniger als 1 pC. betrug.

Obgleich es kaum einem Zweifel unterliegt, dass der durch Kochsalz, ebenso wie durch die Neutralsalze, Säuren und Alkalien ausgefällte Niederschlag wirklich der colloidal gelöste Körper ist, welcher der Goldlösung die rothe Farbe ertheilt, so könnte doch der Einwand erhoben werden, dass der Salzzusatz eine Reduction etwa gelösten Oxydes hervorgerufen haben könnte.

Dagegen ist zu bemerken, dass Kochsalz kein Reductionsmittel ist und dass bei der Fällung des Goldes nie Sauerstoffentwicklung beobachtet werden konnte. Es bliebe, wenn man obigen Einwand gelten lässt, nur mehr die Annahme übrig, dass das Chlornatrium als Contactsubstanz die Uebertragung des Sauerstoffes aus einem etwa gelösten Oxyde auf das noch überschüssig vorhandene Reductionsmittel bewirkt haben könnte. Dahin abzielende Versuche haben nun gezeigt, dass dem Kochsalz keine solche Wirkung zukommt, sondern dass es geradezu die Reduction des im oxydirten Zustande gelösten Goldes bedeutend verzögert, ja sogar ganz zu verhindern vermag.

Fasst man mit den Ergebnissen der Analyse das Verhalten



der Lösung bei der Elektrolyse zusammen, erinnert man sich daran, dass das Gold beim Verdunsten der Lösungen als metallisch glänzender Ueberzug auf der Unterlage zurückbleibt, ferner dass die Reduction bei Siedehitze mit einem sehr kräftig wirkenden Reductionsmittel vorgenommen wurde, so kann kein Zweifel mehr bestehen, dass die rothen Flüssigkeiten wirklich Gold als Metall gelöst enthielten.

Dass das Gold im Zustande äusserster Zertheilung roth erscheint, ist übrigens schon lange bekannt. So hat Faraday<sup>12)</sup> die optischen Eigenschaften des Goldes eingehend studirt und dabei sein Augenmerk besonders einem roth durchsichtigen Golde zugewandt. Auf Faraday's Arbeit werde ich im Anhang ausführlicher zu sprechen kommen; jetzt möchte ich hier nur noch erwähnen, dass Knaffl<sup>13)</sup> das Gold bei der Reduction mit Oxalsäure in roth gefärbtem Zustande erhielt und Müller<sup>14)</sup> zahlreiche Körper mit Gold roth gefärbt hat.

Es war aber meines Wissens bisher nicht bekannt, dass dieses fein zertheilte Gold auch als colloïdaler Körper im Wasser gelöst erhalten werden kann. Faraday hatte, wie ich weiter unter ausführen werde, solche Lösungen wahrscheinlich in Händen, er hielt sie aber für farblose Flüssigkeiten, die suspendirtes Gold enthielten. Die colloïdalen Lösungen waren damals noch nicht näher bekannt; Graham's Arbeiten fallen einige Jahre später.

Man kann Gold in roth durchsichtigem Zustande auch erhalten, wenn man käufliches Glanzgold oder das zu seiner Darstellung dienende Goldpräparat, stark mit Lavendelöl verdünnt, in dünner Lage auf Glas streicht und das so vorbereitete Glas in einem Muffelofen auf dunkle Rothgluth erhitzt. Die organischen Bestandtheile des Glanzgoldes verbrennen dabei vollständig und das Gold bleibt in äusserst dünner Schicht auf

<sup>12)</sup> Faraday, Phil. Trans. 1857, 145; Poggend. Ann. **106**, 316.

<sup>13)</sup> Dingl. polytechn. Journ. **168**, 191.

<sup>14)</sup> Journ. f. pract. Chem. [2] **30**, 252.

dem Glase zurück. Es erscheint dann im durchfallenden Lichte rosenroth.

Ich habe nun die Absorptionsspectren dieser dünnen Goldschichten verglichen mit denjenigen des Rubinglases und der rothen colloidalen Goldlösungen.

*Absorptionsspectren des roth und blau durchsichtigen Goldes.*

Es war in allen Fällen, in denen das Gold als roth gefärbter Körper auftritt, ein mehr oder minder verwaschenes Absorptionsband im grünen Theile des Spectrums zu beobachten und ausserdem eine von F an zunehmende einseitige Absorption im blauen Theile des Spectrums. Die letztere findet sich immer wieder (auch im blau oder grün durchsichtigen Golde), dagegen konnte man beträchtliche Aenderungen in der Lage und Breite des Streifens im Grün beobachten, je nach der Reinheit der rothen Farbe des Goldes; der Streifen verschwand vollständig im blau und grün durchsichtigen Golde.

In Fig. 1 gebe ich die Absorptionsspectra in graphischer Darstellung<sup>15)</sup>, so wie sie mir bei Betrachtung durch das Zeiss'sche Vergleichsspectroskop erschienen sind und bemerke dazu, dass die von mir entworfenen Curven bloss zur ungefähren Orientirung dienen sollen. Ein genaues Bild der Absorptionsspectren könnte man erst bei Anwendung des Spectralphotometers erhalten. Eine derartige genaue Feststellung der Farben würde sich aber kaum lohnen, da der rothe Zustand des Goldes recht unbeständig ist und als Uebergangsform auftritt bei der Verwandlung des Goldes aus dem Zustande atomistischer Vertheilung in den gewöhnlichen metallischen. Man kann nicht sagen: dies ist die Absorption des roth gefärbten Goldes, weil man nicht wissen kann, wieviel von den blauen Goldtheilchen eine Lösung enthält.

Nur bei Einhaltung aller oben angegebenen Vorsichtsmaassregeln erhält man schön roth gefärbte Lösungen, welche eine

<sup>15)</sup> Wie sie von H. W. Vogel in seiner praktischen Spectralanalyse (Berlin 1889) vorgeschlagen wurde.

*Absorptionsspectren der Goldlösungen und Goldgläser.*

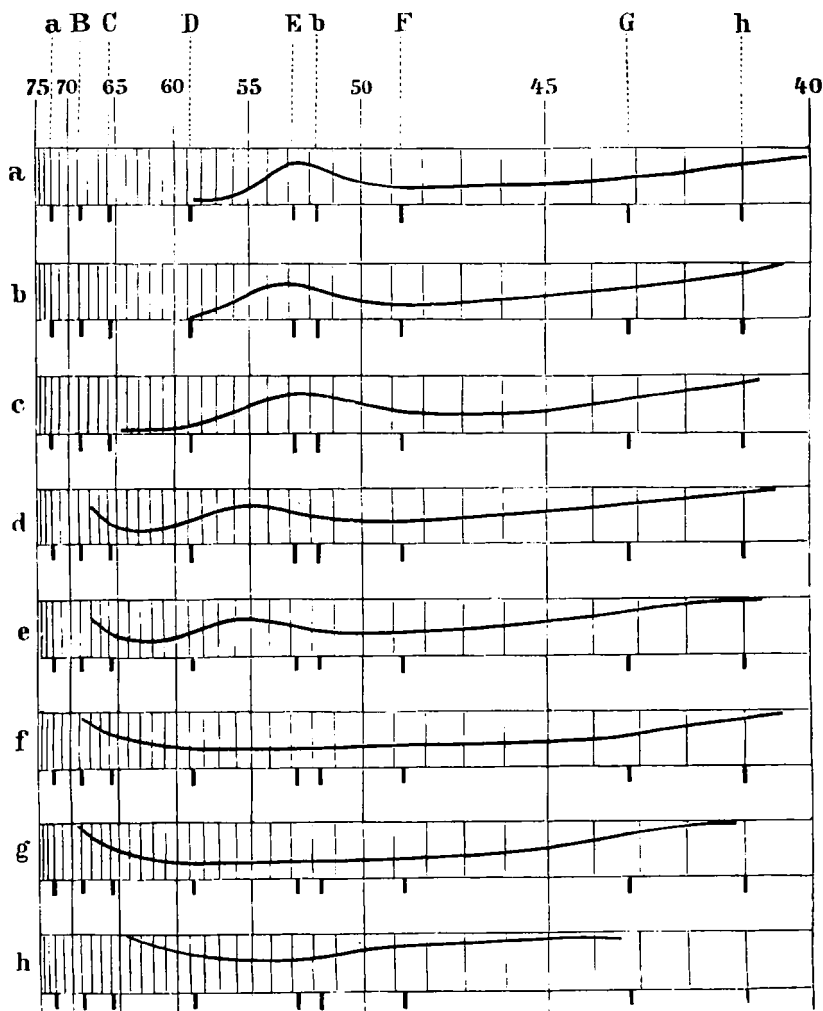


Fig. 1.

a Roths Rubinglas; b Rosa Rubinglas; c Goldlösung (roth); d Dünne Schichten metallischen Goldes (rothviolett); e Goldlösung (violett); f Goldlösung (blau); g Dünne Goldschicht (blau); h Glanzgold (grün).

Absorption aufweisen, wie sie in Curve c Fig. 1 dargestellt ist. Häufig erhält man violette Lösungen. Curve e stellt die Absorption einer solchen Lösung dar. Fast übereinstimmend damit ist die Absorptionscurve d der durch Einbrennen von Glanzgold erhaltenen dünnen Goldschichten, wenn man mehrere solche Schichten übereinanderlegt, deren Farbe dann violett-roth erscheint.

Dieselbe Veränderung des Goldes, welche ich bei meinen rothen Goldlösungen durch Zusatz von Neutralsalzen oder Säuren hervorrufen kann, erleidet die aus Glanzgold hergestellte dünne Goldschicht durch starken Druck oder leichte Reibung. Beide Operationen verursachen eine fast momentane Umwandlung des roth durchsichtigen Goldes in blau durchsichtiges Gold. Die entsprechenden Absorptionscurven sind bei f und g eingezeichnet.

In noch dichterem Zustande erhält man das Gold in den Goldschlägerhäutchen oder in dicken Lagen eingebrannten Glanzgoldes; es erscheint dann grün durchsichtig als zweiseitig absorbirender Körper (Fig. 1 h).

Am schönsten und feurigsten tritt die rothe Farbe des Goldes im Goldrubinglase zu Tage. Dieses besitzt auch den intensivsten und am schärfsten abgegrenzten Absorptionsstreifen im Grün (Fig. 1 a und b).

Dass das Rubinglas bei misslungener Herstellung auch in violetter und blauer Farbe auftritt und dann sehr stark getrübt — lebrig, wie die Glasfabrikanten sich ausdrücken — erscheint, will ich hier nur erwähnen, ebenso dass statt der rothen Farbe der wässrigen Goldlösungen manchmal eine schwarzviolette Farbe erhalten wird, die alle Spectralgebiete ziemlich gleichmässig absorbirt.

Aus dem Vergleiche der Absorptionscurven ergibt sich, dass der Absorptionsstreifen im Grün um so breiter und verwaschener wird und um so weiter nach dem rothen Theile des Spectrums rückt, je mehr der rothe Zustand des Goldes sich dem blauen nähert.

Anhang.

Es wäre sehr zu verwundern, wenn Jemand, der sich mit dem Studium der Eigenschaften eines Körpers befasst, der schon seit dem grauen Alterthume Gegenstand eingehender Betrachtungen gewesen ist, nicht zahlreiche Berührungspunkte mit älteren Arbeiten finden würde.

Ich glaube nicht fehl zu gehen, wenn ich die Vermuthung ausspreche, dass so mancher Forscher, der sich mit Untersuchungen über das Gold und dessen Verbindungen befasst hat, derartige rothe Flüssigkeiten, die ich als wässrige Goldlösungen beschrieb und näher studirt habe, schon in Händen hatte, ohne ihnen besondere Beachtung zu schenken.

Weil aber nichts Allgemeines über colloïdales Gold bekannt war, diese Form des Edelmetalles, in welcher es gewöhnlich nicht auftritt, die aber wegen ihrer interessanten Eigenschaften in den Handbüchern der Chemie gewiss beschrieben worden wäre, so ging ich, ohne mich um frühere Arbeiten zu kümmern, an die Durchführung meiner eigenen Untersuchung und habe erst nach ihrem Abschlusse die Arbeiten anderer Forscher im Originale durchgelesen.

Dabei stiess ich auf eine Abhandlung, die, je mehr ich mich in sie vertiefte, um so mehr meine Aufmerksamkeit fesselte durch die Fülle experimentellen Materiales und durch die Gründlichkeit, mit der sie durchgeführt worden war. Sie hat zum Gegenstande *das Gold und seine Beziehungen zum Lichte* und ihr Autor ist Michael Faraday<sup>16)</sup>.

In Deutschland scheint diese Arbeit des grossen englischen Forschers wenig bekannt zu sein, sonst hätte sie gewiss von jenen Männern, welche sich mit dem Studium der rothen Färbungen des Goldpurpurs und des Rubinglases befasst haben, als grundlegend citirt werden müssen. Es sei mir daher gestattet, auf Faraday's Arbeit einzugehen, wenigstens soweit, als sie Beziehungen zu der vorliegenden Publication hat.

<sup>16)</sup> Faraday, Experimental Relations of Gold (and others Metals) to light. Phil. Trans. 1857, 145.

Faraday untersucht zunächst die Farbe eines gewöhnlichen Goldblattes; er vermindert dann die Dicke desselben durch allmähliches Ablösen auf den zehnten Theil und erhitzt es nun. Er beobachtet dabei, dass die Farbe des Goldblattes in roth umschlägt; durch Drücken mit dem Achat wird das rothe (rauhe) Gold wieder in glattes, blau durchsichtiges Gold umgewandelt. (Dieselbe Erscheinung, welche ich bei dünnen Lagen von Glanzgold beobachtet habe.)

Faraday zerstäubt dann Golddraht mit dem elektrischen Funken und findet, dass man dadurch rothe, blaue und grüne Beschläge erhalten kann; er liefert den Nachweis, dass diese Beschläge aus metallischem Golde bestehen.

Des Weiteren versucht Faraday — wahrscheinlich um über den färbenden Bestandtheil des Goldrubinglases Aufschluss zu erhalten — roth gefärbte Goldtheilchen auch in Wasser suspendirt zu erhalten. Er hat dieses Ziel erreicht durch Reduction verdünnter Goldchloridlösungen mit Phosphor. Er erhielt rothe oder blaue Flüssigkeiten, die metallisches Gold in Form suspendirter Theilchen enthielten. Dass eben diese Theilchen suspendirt und nicht gelöst waren, schloss Faraday erstens daraus, dass sie sich absetzten, zweitens aber daraus, dass die Flüssigkeiten im auffallenden Lichte getrübt erschienen. Die meisten der Flüssigkeiten liessen, wie eben erwähnt, das darin enthaltene Gold fallen, was man an dem Bodensatz erkennen konnte, der sich immer wieder erneuerte, wenn man die darüber befindliche, gefärbte Flüssigkeit vom Niederschlage abhob und dann stehen liess. Manchmal aber konnten rothe oder blaue Flüssigkeiten erhalten werden, die nach Monaten noch ihre Farbe bewahrten.

Durch Kochen wurden die rothen Flüssigkeiten mehr bläulich-roth und erschienen dann stärker getrübt, als ursprünglich; die gekochten Flüssigkeiten liessen das Gold verhältnissmässig schnell fallen <sup>17)</sup>.

<sup>17)</sup> Wie mir Dr. Bredig-Leipzig mittheilt, hat er durch Zerstäuben von Golddraht unter Wasser mit Hülfe des elektrischen Lichtbogens

Durch Zusätze von Salzen und Säuren wurden blaue Niederschläge erhalten, die sehr rasch zu Boden fielen. Faraday widmete der Ursache dieser Erscheinung weitgehende Betrachtungen; wenn damals die colloidalen Lösungen schon bekannt gewesen wären, so hätte ihm die Analogie im Verhalten seiner Goldtheilchen mit dem der colloidal gelösten Körper hier auffallen müssen und er hätte sich der Aussicht, dass das metallische Gold doch auch gelöst sein könnte, nicht ganz verschlossen. Sicherlich hätte er dann auch versucht, die Flüssigkeiten durch Dialyse von der gelösten Phosphorsäure und Salzsäure zu befreien und zu concentriren. Wahrscheinlich hätte er seine beim Golde gewonnenen Erfahrungen dann auch auf andere Metalle übertragen.

Faraday hat aber die Arbeiten Graham's nicht gekannt, diese wurden erst mehrere Jahre später publicirt. Dass ein Metall anders als in Form seiner Verbindungen gelöst sein könnte, war zur damaligen Zeit undenkbar. Darum sucht Faraday auch den Beweis zu erbringen, dass selbst in jenen Flüssigkeiten, welche nur wenig getrübt waren und gar nicht absetzen wollten, das Gold nur suspendirt und nicht gelöst sei.

Er concentrirt das Sonnenlicht mit Hilfe einer Linse und fängt das Sonnenbild in der Flüssigkeit auf. Dadurch wird die Trübung der Flüssigkeit sehr deutlich sichtbar gemacht.

Daraus, dass selbst die nicht absetzenden Flüssigkeiten bei dieser scharfen Prüfung Trübungen erkennen liessen, schloss Faraday, dass das Gold in ihnen nur suspendirt und nicht gelöst sein könnte.

Ich möchte hier nur noch kurz erwähnen, dass Faraday sehr eingehend die Niederschläge untersucht hat, die sich aus den Flüssigkeiten absetzten, dass er sie als metallisches Gold

---

blaurothe Flüssigkeiten erhalten, die sich beim Kochen und gegen Salze ähnlich verhalten, wie die Faraday'schen. Vergl. Bredig, Ueber einige Eigenschaften des elektrischen Lichtbogens, Vortrag, gehalten in der Hauptversammlung der Deutschen elektrochemischen Gesellschaft 1898.

erkannt und auch versucht hat, sie mit Quecksilber zu amalgamiren; dass er seine Ansicht über den Cassius'schen Purpur aussprach und ihn als Gemenge von metallischem Golde mit Zinnoxid ansah; dass er das Goldrubinglas zum Gegenstande seiner Betrachtungen gemacht hat und durch Reduction von Goldsalzen zu metallischem Golde in Gelatine rothe Färbungen erzeugen konnte, die es wahrscheinlich machten, dass Rubinglas seine Farbe dem metallischen Golde verdanke; dass er schliesslich die Reflexion dünner Blättchen und die der durch Gold gefärbten Flüssigkeiten im polarisirten Lichte untersucht hat.

Nun noch einige Worte über die rothen Flüssigkeiten Faraday's, welche als Gemenge von Wasser mit suspendirtem Golde angesehen wurden.

Nach dem Verhalten dieser Flüssigkeiten und ihren Eigenschaften kann es für uns nicht zweifelhaft sein, dass Faraday der Hauptsache nach Flüssigkeiten in Händen hatte, die wir heute als Gemenge von colloidal gelöstem und in Wasser suspendirtem Golde ansehen würden.

Dass suspendirte Theilchen vorhanden waren, geht daraus hervor, dass die Flüssigkeiten metallisches Gold fallen liessen; dass colloidal gelöstes Gold vorhanden war, aus dem Umstande, dass einige der Lösungen ihre Färbung unverändert beibehielten, ohne das Gold abzusetzen und aus dem Verhalten dieser Flüssigkeiten, das einen Vergleich mit meinen Beobachtungen gestattet.

Den Haupteinwand Faraday's gegen das Gelöstsein des Goldes, die geringe Trübung seiner Flüssigkeiten, können wir heute nicht mehr gelten lassen, da wir eine grosse Zahl von Flüssigkeiten kennen, die einwandfrei als Lösungen anerkannt werden und doch recht stark getrübt erscheinen; ich erinnere an die colloidalen Lösungen von Eisenoxyd, von Silber, von Kupfersulfid und daran, dass die organische Chemie zweifellos eine Unzahl solcher getrühter Lösungen kennt.

Die Trübung einer *richtig bereiteten* Goldlösung ist, wie ich aus Erfahrung weiss, thatsächlich so gering, dass man sie nur bei guter Beleuchtung *im auffallenden Lichte* sieht und



dass man sie eher für eine schwache Fluorescenz als für eine Trübung halten möchte; die Flüssigkeiten sind soweit klar, dass man im auffallenden Lichte noch die Bodenreflexe der Flasche tiefroth hervorleuchten sieht. Man kann aber mit genau dem gleichen Gehalte an metallischem Golde auch so stark getrübe Flüssigkeiten erhalten, dass sie im auffallenden Lichte das Ansehen von mattgeschliffenem Kupfer bekommen; man sieht, das Gold verräth sich schon, wenn es nicht vollständig gelöst ist.

Eine geringe Menge dieser trüben Flüssigkeit genügt, um eine grosse Menge klarer Flüssigkeit zu trüben. Da nun bei der Reduction des Goldes jedenfalls Theilchen von allen möglichen Grössen entstehen, so wird selbst in den bestbereiteten Goldlösungen ein, wenn auch kleiner Antheil des Goldes in grösseren Theilchen vorhanden sein, die dann der Lösung das Aussehen einer schwach fluorescirenden Flüssigkeit verleihen. Die Hauptmenge des Goldes ist aber in solchen Lösungen im auffallenden Lichte unsichtbar; wenn sie es nicht wäre, so müsste die Flüssigkeit ebenso opak aussehen, wie die stärkst getrübe mit gleichem Goldgehalte.

Wenn nun die Goldtheilchen so klein sind, dass sie im auffallenden Lichte<sup>18)</sup> nicht mehr gesehen werden können, dass die Flüssigkeit unter der stärksten Vergrösserung homogen erscheint, dass die Theilchen trotz ihres hohen specifischen Gewichtes nicht mehr zu Boden sinken, dann glaube ich, liegt kein Bedenken mehr vor, sie als gelöst zu betrachten<sup>19)</sup>.

Ich musste, obgleich mit innerem Widerstreben, diese Verhältnisse so eingehend besprechen, damit mir nicht der Vorwurf gemacht werde, ich hätte leichtfertig meine Flüssigkeiten Lösungen von metallischem Golde genannt, während Faraday

---

<sup>18)</sup> Ohne Anwendung concentrirten Sonnenlichtes.

<sup>19)</sup> Es liegt in meinen Ausführungen kein innerer Widerspruch mit den Anschauungen Faraday's, da man ja die colloidalen Lösungen als Suspensionen äusserst fein zertheilter fester Körper im Lösungsmittel ansehen kann.

das Gelöstsein des Goldes in seinen, wenn auch auf anderem Wege gewonnenen, so doch in vielfacher Hinsicht mit den meinen übereinstimmenden Flüssigkeiten auf das Entschiedenste bestreitet.

Ich kann nicht abschliessen, ohne noch zweier Arbeiten der neueren Zeit zu gedenken, in welchen auch das Auftreten rother Färbungen bei Reduction von Goldchloridlösungen beobachtet, aber in anderem Sinne ausgelegt wurde.

Krüss und Schmidt<sup>20)</sup> beobachteten das Auftreten kirschrother Lösungen bei Zusatz von schwefliger Säure zu einem mit Wasser überschichteten, goldhaltigen Rückstande, und Clemens Winkler<sup>21)</sup> hat eine ähnliche gefärbte Flüssigkeit durch Behandeln von Goldchloridlösungen ( $\text{AuCl}_3$ ) mit schwefliger Säure erhalten und auch eingehender beschrieben. Das Verhalten dieser Lösungen beim Kochen, beim Zusatz von Salzen und Säuren stimmt gut mit dem der wässrigen Goldlösungen überein. Ob die ersteren colloïdale Lösungen von metallischem Golde waren, oder, wie Clemens Winkler annimmt, ihre Farbe dem roth gefärbten schwefligsauren Goldoxydul verdanken, darüber könnten erst weitere Versuche Aufschluss geben.

Schliesslich möchte ich noch mittheilen, dass ich demnächst in einer bereits abgeschlossenen Arbeit über den Cassius-schen Goldpurpur berichten und darin auf einige andere interessante Eigenschaften colloïdaler Lösungen aufmerksam machen werde.

<sup>20)</sup> Ber. d. deutsch. chem. Ges. **20**, 2636 (1887).

<sup>21)</sup> Ber. d. deutsch. chem. Ges. **22**, 893 (1889).

---