2014

Dampferzeugung mittels Licht

Jufo - Arbeit

Donald Hansen – Andreas Kirch – Leon Heinen

Inhalt

1. Einleitung 1
2. Grundlagen Blasenbildung 2
2.1 Versuchbeobachtung und Analyse 2
2.2 Siedekeime 4
2.3 Nanoparticle Heating 5
3. Material- und Versuchsanforderungen 6
4. Versuche 7
4.1 Versuchsaufstellung 7
4.2 Versuchsvorbereitung 8
4.3 Versuchsdurchführung & Analyse 9
4.4 Bestimmung der Dampfmenge 12
5. Fazit 14
6. Ausblick 14
7. Danksagung 14
8. Quellen: 14

1. Einleitung

Die Dampferzeugung ist ein maßgeblicher Schlüsselfaktor in einem breiten Spektrum von industriellen als auch kommerziellen Prozessen, die historisch unseren Fortschritt ermöglicht haben. So beruht die Erzeugung von Elektrizität auch heute noch vornehmlich auf der Basis von Dampfkraftwerken beziehungsweise thermischer Energie. Dessen ungeachtet benötigt man für einen solchen Prozess jedoch viel Energie. Man muss das Wasser oder eine andere Flüssigkeit zum Sieden bringen, um anschließend mit dem entstandenen Dampf, mittels Turbine und Generator, elektrische Energie erzeugen zu können.
Diesen Energieumwandlungsprozess zu optimieren und zu innovieren ist somit äußerst bedeutsam.
Unsere Arbeit beschäftigt sich mit den Grundlagen von diesem Prozess. Wir konzentrieren uns hierzu zunächst auf die Dampfblasenbildung und auf die Eigenschaften der Dampfblase an sich. Ein potentielles Ziel der Arbeit besteht dann darin gewonnene Erkenntnisse zu nutzen um Wasser oder andere Flüssigkeiten effektiver verdampfen zu lassen.

2. Grundlagen Blasenbildung

Beschäftigen wir uns einmal mit den Grundlagen zur Blasenbildung. Dampfblasen sind gasförmige Moleküle innerhalb einer flüssigen Substanz. Es sind also nicht Vakuum gefüllte Räume wie man annehmen könnte. Wären es Vakuum gefüllte Räume, würden diese aufgrund des starken Unterdrucks sofort implodieren. Im Gegenteil, in der Dampfblase herrscht ein höherer Druck als in der Umgebung. Diese Voraussetzungen machen eine Blase überhaupt erst existenzfähig und sind daher wichtig zu wissen.

Dampfblasen bilden sich in der bekanntesten und alltäglichsten Weise, wenn die gegebene flüssige Substanz über den Siedepunkt erhitzt wird und die Moleküle in den gasförmigen Aggregatzustand wechseln. Druck ist ein mit der Temperatur korrelierender Faktor in diesem Bezug (vgl. Abb 1). So ist es möglich den Druck in dem Behälter zu verringern, um dadurch einen schnelleren Phasenübergang zu gewährleisten. Wir haben uns, nicht zuletzt aufgrund der Notwendigkeit von komplexen Apparaturen in der Praxis, gegen eine detaillierte Auseinandersetzung mit dem Thema Druck entschieden. Konzentrieren wir uns daher nun einmal auf die Erzeugung von Dampf bzw. Dampfblasen mittels einer Temperaturerhöhung - die einfachste Methode: in der Küche mittels Herdplatte, Topf und Wasser.

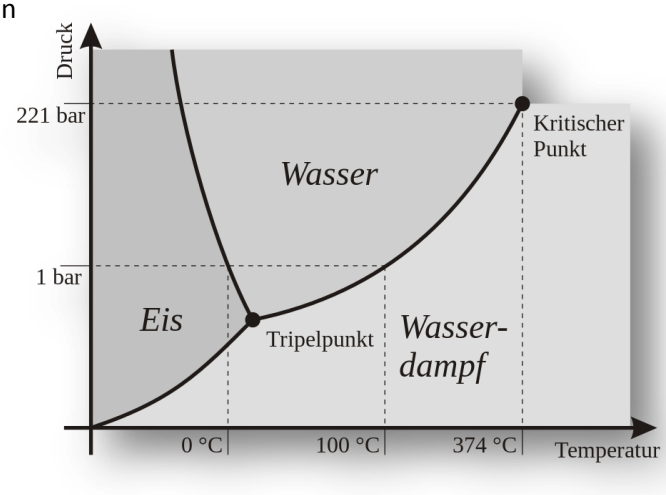

Abbildung 2 – Phasenübergang (1)

2.1 Versuchbeobachtung und Analyse

Betrachtet man mit steigender Temperatur das Auftreten von Blasen, so erkennt man recht schnell, dass zunächst die Blasen sich am Topfboden und im Verlauf allerdings auch an den niedrigen Topfrändern bilden. Darüber hinaus kollabieren die Blasen immer weniger auf dem Weg zur Oberfläche, bis schließlich sie die Oberfläche beständig erreichen und dort aufplatzen. Parallel dazu stellt man fest, dass die Größe der Blasen im zeitlichen Verlauf zunimmt. Die Beobachtungen scheinen so alltäglich trivial, doch man kann einiges an Informationen hieraus gewinnen.

Die Blasen am Boden des Topfes entstehen natürlich dort zunächst, da die Wärme von der Herdplatte über das Metallgestell vom Topf ins Wasser geht, wodurch der Boden die unmittelbare Energiequelle im Aufheizungsprozess des Wassers darstellt. Gehen wir nun aber weiter und analysieren die Ursachen, die für die Blasenbildung am unteren Rand verantwortlich sind, denn wieso sollten sich nicht auch Blasen im Inneren des Wassers bilden?

Nun die Ursache liegt einmal in der höheren Wärmeleitfähigkeit von Metallen gegenüber Wasser. So gelangt zu den Topfrändern mehr thermische Energie, wodurch die Blasenbildung dann ähnlich wie am Topfboden schneller hervorgerufen wird, als im Vergleich zur Wasser Mitte. Wir fanden dieses Argument allerdings unzureichend. Einmal muss man beachten, dass das Metall mit Entfernung zur Heizquelle rapide seine thermische Energie verliert, da diese ebenfalls an Wasser und Umwelt abgegeben wird. Ebenso erklärt die Wärmeleitfähigkeit nicht, weshalb sich in der Wölbung zwischen Topfboden und Topfrand zahlreiche stationäre kleine Blasen befinden. Des Weiteren findet unabhängig von Heizquellen auch zum Beispiel in einem Sektglas den Entstehungsort der Blasen am Glas, nicht im Sekt. Es muss also noch einen anderen Faktor geben, der, neben Druck und thermischer Energie, die Blasenbildung positiv beeinflusst oder wenigstens begünstigt.

Gehen wir vorerst aber einmal weiter mit der Analyse unserer Beobachtungen. Das zunehmende Erreichen der Oberfläche von den Blasen ist unser nächster Punkt. Zunächst erreichen die Blasen nicht die Oberfläche, sondern kollabieren auf dem Weg dorthin.

Dies liegt daran, dass die Blase auf dem Weg nach oben thermische Energie abgibt. Die Blase kühlt in diesem Fall also so stark ab, dass sie ihren Aggregatzustand wieder zurück zu flüssig ändert und kollabiert. Anders ist dies, wenn die gesamte Flüssigkeit bereits die Siedetemperatur erreicht hat. Hier behält die Blase die nötige thermische Energie.

Die großen beziehungsweise immer größer werdenden Blasen kommen dadurch zustande, dass mit Annäherung des Siedepunkts die Energieschwelle zur Blasenbildung immer geringer wird, die zugeführte Energie sich aber nicht ändert. Es können sich also quantitativ mehr oder einfach größere Blasen bilden. Hierdrauf kommen wir sofort zurück.

Um Missverständnissen vorzubeugen: Man beobachtet im Topf ebenfalls, dass Blasen größer werden wenn sie aufsteigen. Dies liegt allerdings an einem anderen Grund. Wenn die Blasen vom Topfboden bis zur Oberfläche aufsteigen sammeln diese andere energiereiche Moleküle auf und vergrößern sich dadurch. Ein weiterer Faktor ist der Umgebungsdruck des Wassers, der mit geringerer Tiefe des Wassers natürlich abnimmt, in diesem Fall geringfügig, aber trotzdem nennenswert. Hierdurch nimmt die Blase mit demselben inneren Druck einen etwas größeren Raum ein.

Zurück zu der im zeitlichen Verlauf immer geringeren Energieschwelle die Überwunden werden muss, wodurch mehr beziehungsweise größere Blasen entstehen können. In der Realität sieht man zwar am Anfang kleine und später große Blasen, jedoch entstehen diese meistens an denselben Punkten. Die essentielle Frage für uns ist, wieso? Wieso bilden sich an ganz bestimmten Stellen, Blasen?
Gehen wir von einer gleichmäßigen Energiezufuhr aus, so muss es einen anderen essentiellen Faktor geben der die Blasenbildung begünstigt.

Hierzu kamen wir schlussendlich auf diese Analogie:
Was macht das Reiskorn im Bierglas?
Im Biergewerbe ist es üblich ein Reiskorn in ein Weizenbier zu legen. Einmal mit dem Ziel, dass das Bier nicht überschäumen. Darüber hinaus soll der Schaum aufgrund der Stärke im Reis feinporiger werden.

2.2 Siedekeime

Es gibt also Keime die das Sieden begünstigen. Auf der Suche nach Aspekten, die solche Siedekeime ausmachen sollen, stießen wir auf ein Buch [i] dass hierfür zwei Faktoren nennt. Der erste begünstigende Faktor soll eine raue und ungleichmäßige Struktur der Oberfläche des Keims sein. Der zweite begünstigende Faktor liegt laut Buch darin, dass sich kleine Luftblasen bereits in winzigen Lücken des Keims befinden, welche eine Art Träger-Blase darstellen soll. Hierdurch soll anscheinend dann weniger Energie aufgebracht werden müssen, um das Wasser an diesem Punkt zum sieden zu bringen.

Es klingt für einen lange schnüffelnden Hund wie eine Erleuchtung, speziell, da man den ersten Aspekt wunderbar auf den Übergang von Topfboden und Topfrand des eben genannten Versuchs beziehen konnte. Ebenfalls konnte man gewissermaßen nachvollziehen wieso nur an bestimmten Stellen auf dem Topfboden sich Dampfblasen bildeten. Nach dem zweiten Anblick haben sich dann aber bereits die Fragen getürmt.

Es ist die Rede von einer ungleichmäßigen Struktur, doch was soll diese ungleichmäßige Struktur im Detail bewirken? Gibt sie einen Fixpunkt an der sich die Energie dann konzentrieren soll? Darüber hinaus, wie wirkt sich ein in der Flüssigkeit gelöster oder ungelöster Keim aus? Welche Eigenschaften muss die Materie des Siedekeims besitzen? Des Weiteren, angenommen mit einer bereits bestehenden (Luft)Blase wäre es weniger energieintensiv eine Dampfblase zu bilden, wäre diese Begünstigung der Blasenbildung nicht von kurzer Dauer.

Wir waren sehr wissbegierig nach Antworten, aber weder das Buch noch das Internet konnten uns detaillierte Erklärungen liefern.

Wir stießen jedoch auf eine sehr junge Erfolgsstory der Rice University

2.3 Nanoparticle Heating

‚Nanoparticle Heating' - so nennen die Forscher, aus der Materialwissenschaft der Rice University in Houston, ihr Erfolgskonzept. Es definiert ein mögliches neues Verfahren zur effizienteren Dampferzeugung.

Das Prinzip besteht darin gebündeltes Sonnenlicht[1] [ii] auf einen Flüssigkeitsbehälter mit einer konzentrierten Menge an lichtabsorbierenden Nanopartikeln zu schicken. Die Nanopartikel sollen dann das Licht absorbieren und anschließend die Energie an die benachbarten Flüssigkeits-Moleküle abgeben. Hierdurch soll sich die nah angrenzende Flüssigkeitsschicht in kurzer Zeit erhitzen, den Aggregatzustand zu gasförmig ändern und schließlich als Dampf aufsteigen.
Die Essenz der Methode liege darin, dass man Dampf erzeugt, jedoch ohne dabei die Flüssigkeit zum Kochen zu bringen, so die Forscher.

Funktioniert dieses Verfahren, so hätte es in der Tat zahlreiche Vorteile gegenüber der herkömmlichen Dampferzeugung. Das konventionelle Verfahren der Dampferzeugung basiert darauf die gesamte Flüssigkeit nahezu gleichmäßig zu erhitzen[2] [iii]. Dies bedeutet, dass auch eine gewisse Menge der absorbierten Energie an die Umgebung abgegeben wird[3] [iv], sich also uneffektiv in Bezug auf die Dampferzeugung auswirkt. Als Gegenmaßnahme, um den Wirkungsgrad[4] [v] möglichst hoch zu halten, nutzen Unternehmen kostenintensivere thermische Isolation. Trotz dieser und weiterer Investitionen kommen konventionelle Kraftwerke jedoch nicht annähernd auf den Wirkungsgrad des ‚Nanoparticle Heating' Verfahrens. So schafft ein konventionelles Dampfkraftwerk in der Spitze einen Wirkungsgrad von 43%. Technologisch wirkungsvollere Kraftwerke, wie ein Gas und Dampf Kombikraftwerk, schaffen sogar bereits einen Wirkungsgrad von 53%[vi]. Und das Nanoparticle Heating Verfahren - Dieses soll, laut Naomi Halas, von der Rice University, einen unvorstellbar effizienten Wirkungsgrad von 82%[vii] [viii]erreichen. Gleichzeitig soll durch Nanoparticle Heating auch absolut eine wesentlich größere Menge an Dampf erzeugt werden.

Eine genaue Studie wurde noch nicht veröffentlicht, lediglich eine erst Präsentation.
Wenn diese Aussagen allerdings stimmen, so müssten die Nanopartikel so viel Energie absorbieren und diese in wirklich kürzester Zeit an die benachbarten Moleküle abgeben, sodass diese dann direkt über den Siedepunkt hinaus erhitzt werden und als Dampfblase aufsteigen.

[1] Wärmestrahlung nach dem Stefan-Boltzmann-Gesetz
[2] Wärmeübertragung- Konduktion & Konvektion
[3] Thermodynamik Dissipation -> Energieentwertung
[4] Verhältnis von zugeführter Energie/Leistung und nutzbarer Energie/Leistung

Denn nur so könnte man die Effekte des klassischen Wärmetransfermodells von Konduktion und Konvektion möglichst minimal halten und so einen Wirkungsgrad von 82% erreichen.[5]

Mit dieser Überlegung sind wir fortan weiter geschritten. Das Ziel war natürlich einmal weiter unseren Fragen zu Siedekeimen nachzugehen, aber auch auf theoretischer als auch experimenteller Weise ‚Nanoparticle Heating' zu untersuchen, ferner das Verfahren zu bestätigen oder zu widerlegen.

3. Material- und Versuchsanforderungen

Um kontrastreiche Versuche zu dem Nanoparticle Heating Verfahren durchführen zu können, müssen wir zunächst einmal theoretisch, die optimale Voraussetzungen für dieses Verfahren klären.

Beginnen wir mit den Nanopartikeln selbst. Dadurch, dass sie so klein sind besitzen sie eine sehr geringe Masse, was den Wärmeaustausch[ix] zwischen Nanopartikeln und der umliegenden Matrix begünstigt. Strittig ist unserer Meinung allerdings ob es nicht eine optimale Größe gibt, denn hier spielen zahlreiche Faktoren eine Rolle. Einmal muss das Partikel möglichst viel Licht absorbieren. Dies wird zunächst dadurch begünstigt, dass das Partikel ein großes Absorptionsspektrum besitzt, allerdings absorbiert das Partikel ebenfalls wesentlich mehr wenn eine quantitativ größere Menge an Molekülen hat, also größer ist. Das Partikel darf allerdings auch nicht zu groß sein. Denn umso größer das Partikel ist, umso mehr Moleküle besitzt es selbst, die aufgeheizt werden müssen, darüber hinaus besitzt es auch eine größere Oberfläche und hat somit mehr umliegende Wassermoleküle, die alle in kürzester Zeit die nötige thermische Energie erhalten müssen um zu sieden.

Gehen wir einmal weiter. Nicht so ambivalente Faktoren stellen die Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit dar. Denn umso geringer die Wärmekapazität des Partikels ist, umso weniger Energie wird benötigt um den Partikel selbst um 1°C zu erhitzen. Dies ist nötig, da nur von wärmerer Materie zu weniger wärmerer Materie thermische Energie übertragen werden kann. Die Wärmeleitfähigkeit gibt an wie gut die Wärme in dem Partikel selbst ausgetauscht wird. Umso schneller diese ausgetauscht wird, umso schneller kann auch der Wärmeaustausch zwischen Partikel und umliegender Matrix stattfinden.

Ein weiterer Faktor begründet sich auf der Überlegung, die Konvektion zusätzlich zu minimieren, indem man ein sehr flaches Flüssigkeitsgefäß nutzt. Hierdurch hat die Blase einen kürzeren Weg bis zur Wasseroberfläche, wodurch sie weniger Wärme an die umliegenden Wassermoleküle abgibt.

[5] Nach unseren Überlegungen

Um eine zusätzliche Optimierung des Wirkungsgrades durchzuführen, wäre der Faktor der Viskosität[6] [x] des Matrix Mediums, sowie dessen Wärmeleitfähigkeit in Bezug auf eine potentielle Energieentwertung an die Umwelt, ebenso nützlich, jedoch zunächst von sekundärer Wichtigkeit.

Der letzte Punkt, den wir hier ansprechen möchten, ist eine energiereiche und intensive Lichtquelle[7] [ii], am besten eine die auch zum Absorptionsspektrum des Partikels passt. Hiermit möchten wir nun in unsere Versuchsvorbereitungen übergehen.

4. Versuche

4.1 Versuchsaufstellung

Mit aufgestellten Hypothesen, Fragen und dem gewonnen Wissen im Kopf, war es nun an der Zeit die Theorie in experimenteller Art und Weise zu untersuchen.
Hierfür stellten wir eine Versuchsreihe auf. Es sollte die Blasenbildung unter Einfluss von einer intensiven Lichtquelle der folgenden Vergleichssubstanzen untersucht werden: Mineralwasser, destilliertes Wasser[8], einer Lösung aus Natriumchlorid und destilliertem Wasser, sowie Goldkolloiden[9] in einer wässrigen Lösung. Natriumchlorid haben wir ausgewählt, da es sich hierbei um einen wasserlöslichen und polaren Siedekeim handelt. Das Gegenstück hierzu bilden die festen und nicht polaren Goldkolloide. Wir haben uns für Goldkolloide entschieden, da diese sich hervorragend für das ‚Nanoparticle Heating' Verfahren eignen. Sie sind zwischen 1 bis 100nm groß, gehören zusammen mit Blei zu den Stoffen mit der geringsten Wärmekapazität[10] [xi] und liegen auch in Sachen Wärmeleitfähigkeit[xii] unter den Top drei Metallen. In unseren Versuchen bildet das Mineralwasser das Vergleichsobjekt, jedoch besitzen diese ebenfalls in geringen Mengen gelöste Ionen[11] [xiii], weswegen wir zusätzlich auf destilliertes Wasser zurückgriffen.

[6] Die Viskosität ist ein Maß für die Zähflüssigkeit eines Fluids -> innere Reibung Teilchen
[7] Strahlen mit möglichst kurzer Wellenlänge -> hoher Frequenz -> E=h*f
[8] Destillat – kein demineralisiertes Wasser
[9] Goldpartikel in Größen zwischen $1\ bis\ 100 \times 10^{-9} m$
[10] 0,128 J/gK
[11] Mineralstoffe: Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium, Eisen, Zink, Phosphor, Chlorid und Kieselsäure

4.2 Versuchsvorbereitung

Damit wir in unserer Versuchsreihe sichtbare Resultate erzielen konnten benötigten wir eine intensive Lichtquelle. Dies stellte sich allerdings schwieriger heraus als gedacht. So begannen wir zunächst mit handelsüblichen Glühlampen, arbeiteten dann mit einer UV-Lampe und später mit einem Baustrahler. Wir waren allerdings mit keiner diesen Lichtquellen zufrieden. Wir suchten feste Apparaturen, wo man sicher sein konnte, dass man wirklich auch nur einen Parameter in einer Versuchsreihe ändert - die Testsubstanz. So kamen wir zunächst auf eine Kohle-bogenlampe. Bei einer Kohle-bogenlampe wird mit einer Brennspannung von rund 25 bis 50 Volk ein Lichtbogen zwischen zwei Graphit-Elektroden erzeugt. Es handelt sich hierbei um eine sehr intensive Lichtquelle, also positiv für unsere Anforderungen. Darüber hinaus besitzt die Kohle-bogenlampe auch eine angekoppelte Schiene mit der man die Entfernung zum Testobjekt kalibrieren und anschließend stetig halten kann. Es war jedoch zu bemängeln, dass man mittels zweier immer weiter abbrennenden Graphit-Elektroden einen Lichtbogen erzeugt, wodurch man nicht stetig gleichbleibende Bedingungen für unsere Versuche hat. Nach reiflicher Überlegung stießen wir dann auf eine Lichtquelle, die all unseren Anforderungen entspricht und auch in der Schule ohne zusätzliche Anschaffung reichlich vertreten war, der Tageslichtprojektor[12]. Die Funktionsweise eines Tageslichtprojektors ist recht simple. Eine 400 Watt Halogenlampe erzeugt Licht, welches anschließend durch einen Hohlspiegel und eine Linse aufgefangen und in Richtung Fresnel-Linse geschickt wird. Hier wird es gebündelt und auf einen Brennpunkt fokussiert. Normalerweise befindet sich hier das Objektiv und anschließend der Umlenkspiegel. Wir haben diese abmontiert und dort eine Haltevorrichtung für Reagenzgläser gebaut (s. Abb. 2 und Abb.3).

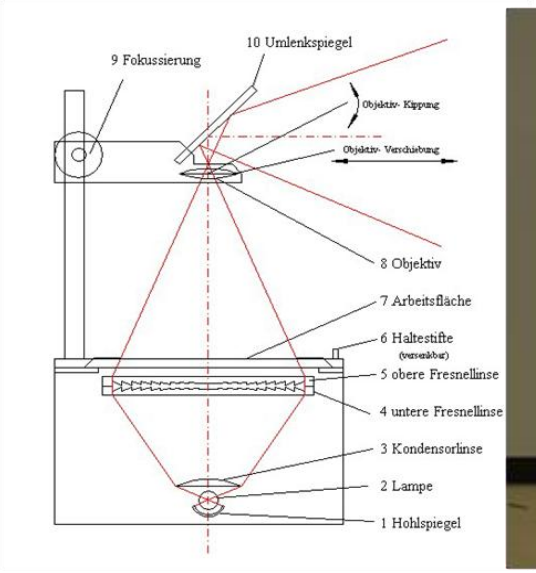

Abbildung 2 – Tageslichtprojektor (2)

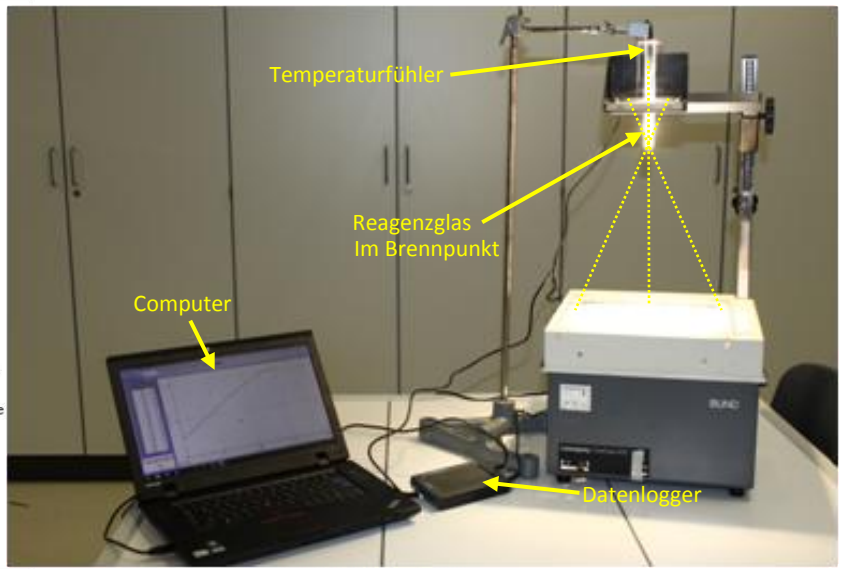

Abbildung 3 – Aufbau der Apparaturen (3)

[12] Auch bekannt unter dem englischen Namen: overhead projector, kurz OHP

Weitere Versuchsvorbereitungsmaßnahmen waren die Aufstellung von Messinstrumenten. Wir haben unsere Versuche nach drei Kriterien untersucht: Zeit, Temperatur und Dampfentstehung. Um im Nachhinein unsere Versuche besser auswerten zu können, haben wir ebenfalls auf eine zweifache Video Aufnahme unserer Versuche zurückgegriffen. Hierfür haben wir einmal ein USB-Kamera mit Vorsatzlinse und IR-Filter bestückt, genutzt. Zusätzlich dazu haben wir mit einer Hochgeschwindigkeitskamera aufgezeichnet.

4.3 Versuchsdurchführung & Analyse

Die ersten Versuche bezogen sich nur auf eine reine Zeitmessung, mit Blick auf das erste sichtbare Sieden. Das ganze wurde begleitet von den beiden Video-kameras.

Wir haben besonderen Wert darauf gelegt, für jeden Versuch die gleichen Umstände zu gewährleisten. So haben wir sehr genau darauf geachtet, dass bei jeder Testsubstanz zum Start eine Temperatur von 23°C herrschte. Darüber hinaus haben wir mittels einer Spritze immer 6ml dosiert und in die Reagenzgläser hineingegeben. Die von uns gebaute Apparatur funktionierte sehr gut und die Ergebnisse waren auf den ersten Blick auch positiv. Nach 2 Minuten und rund 42 Sekunden begann die Goldkolloid-Testsubstanz zu sieden. Die Natriumchlorid Testsubstanz fing nach 6 Minuten an zu sieden. Merkwürdig jedoch war, dass bis zum gesetzten Zeitlimit von 15 Minuten weder das Leitungswasser, noch das destillierte Wasser angefangen hat sichtbare Blasen zu bilden. Man konnte jedoch im Filmmaterial feststellen, dass besonders hier, aber auch bei den anderen beiden Testsubstanzen vertreten, stilles Sieden auftrat. Dies folgerten wir aus der Tatsache, dass man in der Flüssigkeit und auch in der sich darüber befindenden Luft eindeutige „Schlieren“ erkennen konnte. Diese Schlieren sind das Resultat von Dichteunterschieden.

Nun haben wir eine weitere Versuchsreihe gestartet. Hierbei haben wir zusätzlich zu den eben beschriebenen Grundbedingungen mehrfach die Testsubstanzen auf den Temperaturverlauf gemessen.

Hierbei konnten wir eindeutig feststellen, dass Gold im Vergleich zu den Vergleichssubstanzen in wesentlich kürzerer Zeit Temperaturen um 100°C erreichte. Gleichzeitig konnte man feststellen, dass die Temperaturkurve der Goldkolloide relativ linear anstieg. Hier hingegen stiegen die Temperaturkurven der drei anderen Vergleichssubstanzen zunächst stärker an, jedoch wiesen diese im zeitlichen Verlauf dann eine geringere Steigung auf.

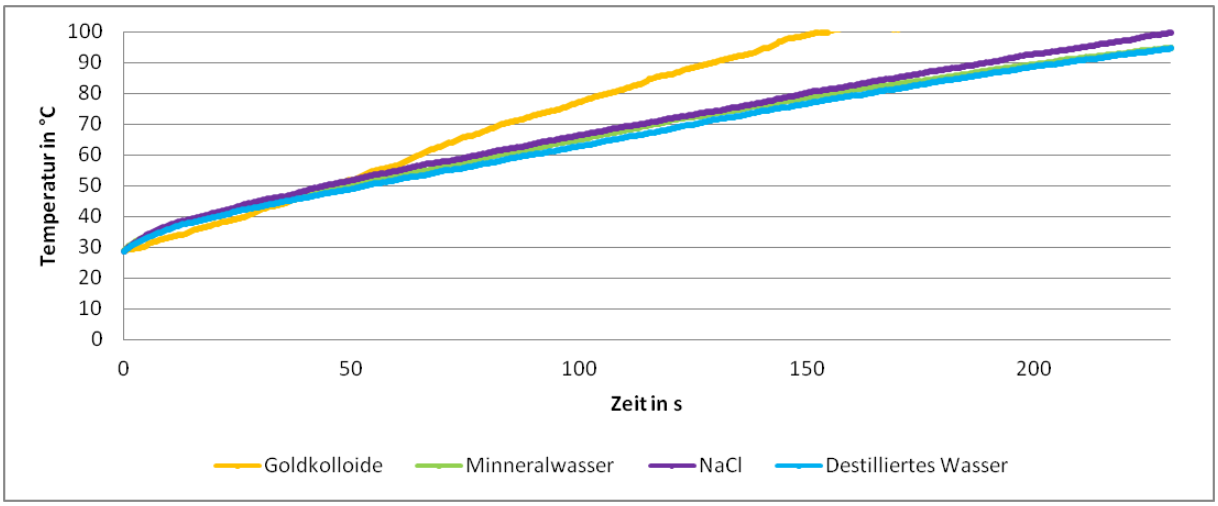

Abbildung 4 - Temperaturkurven (4)

Wir konnten allerdings lediglich zuverlässige Temperaturaussagen bis knapp 100°C machen. Temperaturmessungen oberhalb des Siedepunkts stellten ein wesentliches Problem dar. Dies lag daran, dass der Temperaturfühler selbst einen Siedekeim darstellte, an dem sich dann die meisten Blasen bildeten (siehe Abb: 5). Hierdurch hatten wir keinen festen Bezug mehr zu unseren Testsubstanzen.

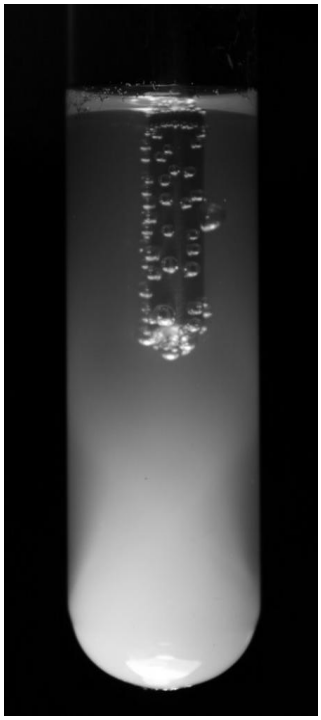

Abbildung 5 - Messfühler als Siedekeim (5)

Um dieses Problem zu lösen versuchten wir andere Wege zu finden, eine Temperaturmessung oberhalb von 100°C zuverlässig durchzuführen. Alle Bemühungen waren mit großer Frustration versetzt und erfolglos. Wir versuchten mittels eines Infrarotmessgerät die Temperaturen zu bestimmen, diese hatten jedoch, auch nach intensivem beschäftigen und justieren der Einstellungen, sowie der Entfernung, keinen Bezug zu den wirklichen Temperaturwerten. Wir versuchten den Temperaturfühler mit einer Schicht zu überziehen, die keine Blasenbildung anregt.

Wir gingen sogar soweit mit unseren Überlegungen, dass wir versuchten über einen Temperaturaustausch zwischen Test-Flüssigkeit und Glas, mit Messungen auf selber Höhe des Glases und Werten unterhalb von 100°C beiderseits, auf Messwerte oberhalb von 100°C zu schließen. Alles erfolglos.

Es gab jedoch einen Hoffnungsstreifen bezüglich einer neuen Erkenntnis in Sachen Temperaturmessung. Nach der Theorie über das Verfahren von ‚Nanoparticle Heating' von Naomi Halas, sollte die Temperatur keine markante Steigung aufweisen. Das Gegenteil war allerdings der Fall. Die Goldkolloid-Testsubstanz erwärmte sich immens und zwar zeitlich gesehen sogar schneller als alle anderen Testsubstanzen.

Mittels der durchschnittlichen Steigung unserer Temperaturkurven (siehe Abb: 5) konnten wir nun eine Delta Q Berechnung vornehmen. Diese gibt uns eine klare Aussage über die zugeführte Energie.

Berechnung Delta Q[13]: Allgemeine Formel:

$$\Delta Q = C \times \Delta T$$
$$C = c \times m$$

Abbildung: 6 - Formeln (1)

C = Wärmekapazität
c = spezifische Wärmekapazität
ΔQ = zugeführte Wärmemenge
m = Masse

Stoff	Wärmekapazitäten	Stoff	Gewichte
Gold (Au)	0,128 J/g*K	Goldkolloid-Lösung	9,97g
Wasser (20°C)	4,182 J/g*K	Destilliertes Wasser	10g
Natriumchlorid (0°C)	0,854 J/(g*K)	Salz	3,57g
Natrium	1,230 J/(g*K)	Leitungswasser	10g
Chlorid	0,480 J/(g*K)	NaCl-Lösung	11,82g (35,8% Salz)
Natriumchlorid	0,855 J/(g*K)	Molare Masse Au:	196,9665 g/mol

Abbildung 7: Tabelle (7)

Goldkolloid-Lösung:

$$C = 0{,}128\frac{J}{g \times K} \times 10^{-6} \times 9{,}97g + 4{,}182\frac{J}{g \times K} \times (1 - 10^{-6}) \times 9{,}97g = 41{,}6945\ \frac{J}{K}$$

$$\Delta Q = C \times \left(0{,}533\frac{^\circ C}{s} + 273{,}15\frac{^\circ C}{s}\right) = \mathbf{11445{,}42}\frac{\boldsymbol{J}}{\boldsymbol{s}}$$

Leitungswasser:

$$C = 4{,}182\frac{J}{g \times K} \times 10g = 41{,}82\frac{J}{K}$$

$$\Delta Q = C \times \left(0{,}272\frac{^\circ C}{s} + 273{,}15\frac{^\circ C}{s}\right) = \mathbf{11434{,}51}\frac{\boldsymbol{J}}{\boldsymbol{s}}$$

Destilliertes Wasser:

$$C = 4{,}182\frac{J}{g \times K} \times 10g = 41{,}82\frac{J}{K}$$

$$\Delta Q = C \times \left(0{,}270\frac{^\circ C}{s} + 273{,}15\frac{^\circ C}{s}\right) = \mathbf{11434{,}42}\frac{\boldsymbol{J}}{\boldsymbol{s}}$$

Natriumchlorid-Lösung:

$$C = 0{,}855\frac{J}{g \times K} \times 0{,}358g \times 11{,}82g + 4{,}182\frac{J}{g \times K} \times 11{,}82g \times 0{,}642 = 35{,}3528\ \frac{J}{K}$$

$$\Delta Q = C \times \left(0{,}266\frac{^\circ C}{s} + 273{,}15\frac{^\circ C}{s}\right) = \mathbf{9666{,}0321}\frac{\boldsymbol{J}}{\boldsymbol{s}}$$

[13] Delta Q beschreibt die zugeführte Energie – hier jedoch unter der Bedingung, dass diese in einen Temperaturanstieg hervorruft

Durch diese Rechnung wird offensichtlich, dass der Goldkolloid-Testsubstanz am meisten Energie zugeführt wird. Es ist ebenfalls auffällig, dass die Natriumchlorid-Lösung sich stark von den anderen drei Testsubstanzen absetzt.[14]

Wieso wird der Goldkolloid-Testsubstanz nun am meisten Energie zugeführt? Eine mögliche Erklärung liegt in einer Übereinstimmung des Emissionsspektrums der Halogenlampe von dem Tageslichtprojektor und dem Absorptionsspektrum der Goldkolloide(siehe Abb: 8 & 9).

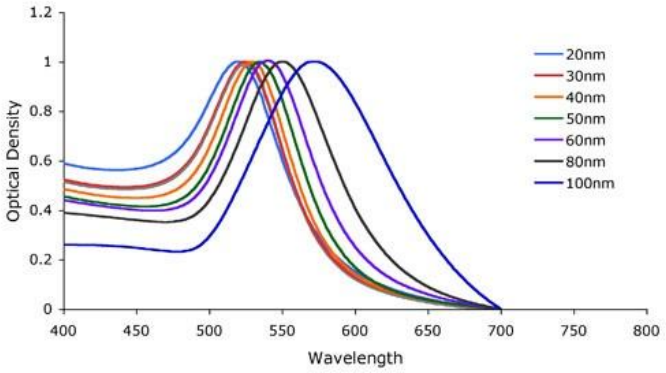

Abbildung 8 – Optisches Absorptionsspektrum Goldkolloide

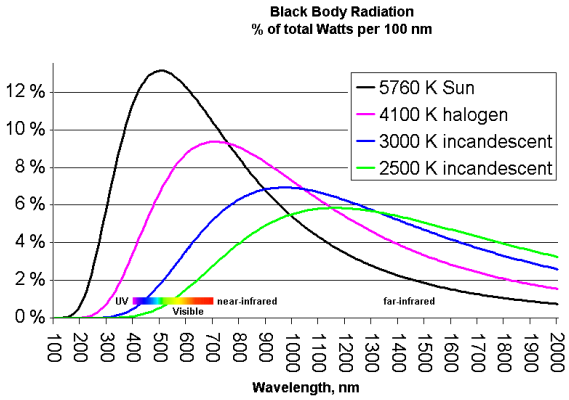

Abbildung 9 – Emissionsspektrum Sonne, Halogenlampe (genutzte Lampe Tageslichtprojektor),…

Aufgrund der Tatsache, dass wir keine zuverlässigen Temperaturmessungen im Siedebereich von 100°C aufweisen konnten, zielten wir nun darauf ab, unsere weiteren Versuchsschritte auf Dampfmessungen zwischen den Testsubstanzen zu vollziehen.

Unsere ersten Versuche bezüglich der Dampferzeugung mit den Reagenzgläsern waren allerdings erfolglos. Die Testsubstanzen spritzten aufgrund von kontinuierlichem Filmsieden über den Gefäßrand hinaus. Mittels einer Nachforschung fanden wir heraus, dass die einheitliche Gefäßstruktur der Reagenzgläser dafür verantwortlich war. Aus diesem Grund wechselten wir unsere Versuchsbehälter zu Kolben.

4.4 Bestimmung der Dampfmenge

Nun wollten wir die Menge des entstehenden Dampfes mittels einer größeren Flüssigkeitsmenge (50ml) in einem Rundkolben bestimmen. Hierzu haben wir den Rundkolben wieder in den Brennpunkt unseres Tageslichtprojektors gesetzt und jede Probe 15 Minuten lang bestrahlt. Vor und nach dem Versuch haben wir den Rundkolben gewogen, um so die Menge des entstandenen Dampfes zu bestimmen.

[14] Hierauf beziehen wir uns im Verlauf der restlichen Arbeit

Diese Versuche lieferten jedoch keine brauchbaren Ergebnisse, da ein Teil des Dampfes schon an der Innenwand des Rundkolbens kondensierte. Um dieses Problem zu lösen, füllten wir den Rundkolben fast vollständig mit unseren Testsubstanzen (100ml), erhöhten die Bestrahlungszeit auf 25 Minuten und fingen den entstehenden Dampf mittels getrockneter Zeolithekügelchen auf. Die Zeolithekügelchen brachten wir in einem Teesieb direkt über der Kolbenöffnung an (siehe Abb. 10). Mit Hilfe der Massenzunahme der ZeolitheKügelchen, konnten wir die Menge des Dampfes recht genau bestimmen. Diagramm 4…. stellt die von uns gemessenen Ergebnisse dar.

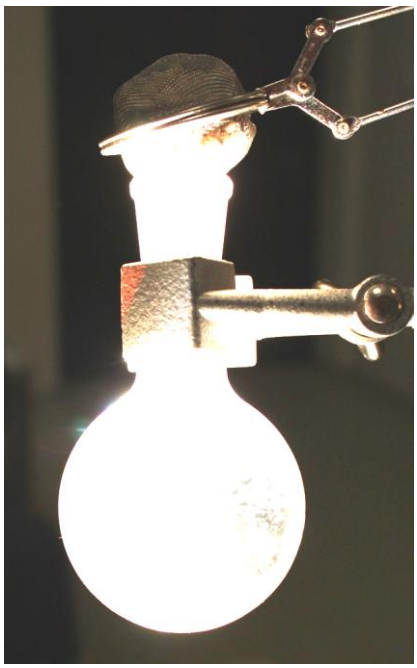

Abbildung 10 - Rundkolben mit Teesieb (10)

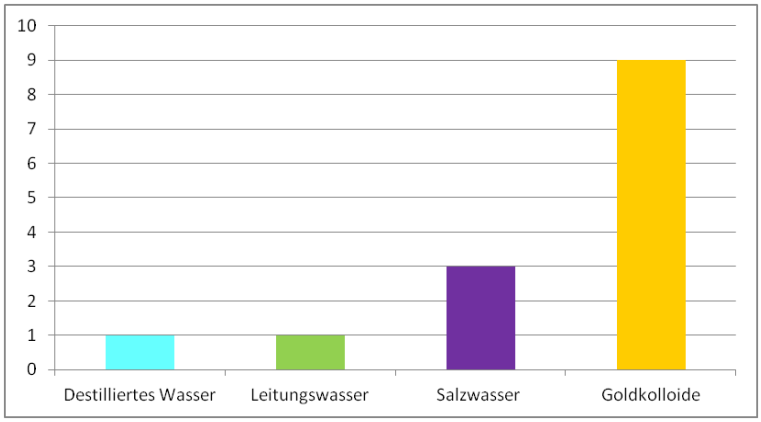

Abbildung 11 – im Brennpunkt Diagramm auf eins normiert (11)

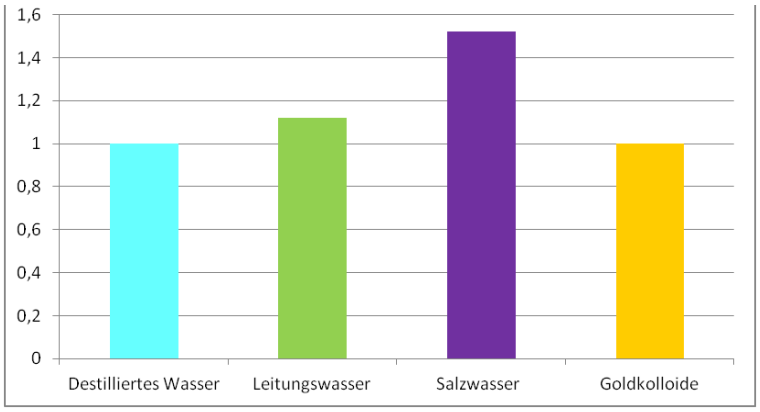

Abbildung 12 – Heizpilz - Diagramm auf eins normiert (12)

Das Diagramm zeigt, dass durch den Einsatz von Goldkolloiden eine deutliche Steigerung der Dampfproduktion erreicht werden kann. Dies führen wir darauf zurück, dass die Goldnanopartikel den Dampfbildungsprozess durch Licht optimal unterstützen. Um dies zu beweisen haben wir einen Kontrollversuch angesetzt. Wir erhitzten unsere Testsubstanzen nun mit einem Heizpilz und erhielten ein ganz anders Ergebnis (siehe Abb. 12).

Damit konnten wir zeigen, dass die Goldnanopartikel die Dampfbildung nicht generell fördern, sondern speziell die Dampfbildung mittels Licht. Somit lässt sich durch Einsatz von Goldnanopartikel der Wirkungsgrad für die Umwandlung von Solarenergie zu thermischer Energie erheblich steigern

5. Fazit

Unsere Ergebnisse bestätigen unsere zu Beginn der Arbeit aufgestellten Überlegungen. Durch den Einsatz von Goldnanopartikeln kann die Dampfproduktion gegenüber den anderen Verfahren um den Faktor 9 gesteigert werden. Dies ist z.B. von besonderer Bedeutung für die Trinkwasserproduktion in Entwicklungsländern. Der von uns gemessene, rasche Temperaturanstieg in den Goldkolloidlösungen bestätigt jedoch nicht die von der Rice University vertretene Meinung, dass man Dampf erzeugen kann ohne dabei das Wasser zu erhitzen.

6. Ausblick

Zurzeit untersuchen wir verschiedene Arten von Nanopartikeln um preiswertere bzw. effizientere Nanopartikel zu finden. Desweiteren haben wir vor die Konzentration von den Goldnanopartikel im Wasser genauer zu untersuchen, da dies ein ausschlaggebender Grund für die Temperatursteigung in unseren Substanzen sein könnte. Weiterhin beschäftigen wir uns mit der Frage, inwieweit die Wasserstoffrückenbindung die Dampfblasenbildung beeinflusst.

7. Danksagung

Wir möchten uns besonders bei unserem Betreuungslehrer Herrn Walter Stein bedanken, der uns immer mit Rat und Tat zur Seite stand.

8. Quellen:

Abbildungen:

(1) Titelbild: eigenes Foto
(2) Phasendiagramm:
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b8/Phasendiagramm_MitAnomalie.svg
(3) Aufbau Apparatur: eigenes Foto
(4) Temperaturkurve: eigene Messwerte
(5) Messfühler ein Siedekeim: eigenes Foto
(6) Formeln:
Physikalische Formeln und Daten – Ernst Klett Verlag GmbH, Stuttgart 1982
(7) Tabelle 1:
http://www.periodensystem.info/
(8) Absorptionsspektrum Goldkolloide:
http://www.cytodiagnostics.com/gold_nanoparticle_properties.php
(9) Emissionsspektrum:
http://heelspurs.com/led.html

Literaturquellen:

i

Literaturquelle Siedekeime

Spiel, Physik und Spaß: Physik zum Mitdenken und Nachmachen Autor: Dr. H. Joachim Schlichting

ii

Literaturquelle *Wärmestrahlung*
https://de.wikipedia.org/wiki/W%C3%A4rmestrahlung

Bildquelle -2- *Planckssches Strahlungsspektrum*
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0e/BlackbodySpectrum_loglog_150dpi_de.png

iii

Literaturquelle *Wärmeübertragung*
http://www.gmehling.chemie.uni-oldenburg.de/Praktikum/Waermeuebertragung.pdf
https://de.wikipedia.org/wiki/W%C3%A4rme%C3%BCbertragung

iv

Literaturquelle *Thermodynamik*
Physik Oberstufe 1. Auflage, 1. Druck 2008, Cornelsen Verlag, Berlin, S. 488-490 14.1.6

v

Literaturquelle Wirkungsgrad
http://de.wikipedia.org/wiki/Wirkungsgrad

vi

Bildquelle -3- *Wirkungsgrad Kraftwerke*
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kraftwerkwirkungsgrad.jpg

vii

Videoquelle Wirkungsgrad Nanoparticle Heating
http://www.youtube.com/watch?v=ved0K5CtmsU

Literaturquelle *Technology Review*
http://www.technologyreview.com/news/507821/nanoparticles-make-steam-without-bringing-water-to-a-boil/

ix

Literaturquelle - *Wärmeaustauschfähigkeit*

http://www.chemgapedia.de/vsengine/glossary/de/w_00228rmeaustausch.glos.html
http://de.wikipedia.org/wiki/W%C3%A4rme%C3%BCbertragung
http://www.researchgate.net/publication/222839245_Generating_heat_with_metal_nanoparticles/file/d912f50c8c14f4c781.pdf

x

Literaturquelle – Viskosität – innere Reibung
http://de.wikipedia.org/wiki/Viskosit%C3%A4t

http://www-med-physik.vu-wien.ac.at/physik/ws95/w9570dir/w9575000.htm
„Als innere Reibung bezeichnen wir die Wechselwirkung von Flüssigkeits- und Gasmolekülen untereinander sowie die Reibungskräfte auf einen bewegten Körper.“

xi

Literaturquelle - Wärmekapazität
http://www.periodensystem.info/elemente/gold/ -> 0,128 kJ/(kg · K)
http://www.periodensystem.info/elemente/blei/ -> 0,129 kJ/(kg · K)
http://de.wikipedia.org/wiki/Gold -> 0,128 kJ/(kg · K)
http://de.wikipedia.org/wiki/Blei -> 0,131 kJ/(kg · K)
Tabelle:
http://de.wikibooks.org/wiki/Tabellensammlung_Chemie/_spezifische_W%C3%A4rmekapazit%C3%A4ten

[xii]

Literaturquelle - Wärmeleitfähigkeit
http://de.wikipedia.org/wiki/W%C3%A4rmeleitf%C3%A4higkeit

[xiii]

Literaturquelle – Ionen – Mineralien
http://www.geo.uni-tuebingen.de/sammlungen/mineralogische-sammlung/inhalt/mineralstoffe-und-mineralwasser.html