

Altlasten der Physik (67) Verdunsten und Sieden

F. Herrmann

Gegenstand

Wasser (und auch jede andere Flüssigkeit) kann auf zwei Arten verdampfen: Es kann verdunsten, und es kann sieden. Wenn man Wasser Wärme zuführt, so nimmt die Temperatur zunächst zu. Ist die Siedetemperatur erreicht, so steigt die Temperatur nicht weiter. Eine analoge Unterscheidung beim Schmelzen gibt es nicht.

Hierzu einige typische Bemerkungen aus Lehrbüchern:

„Wird der Dampfdruck gleich dem auf der Flüssigkeit lastenden Druck eines anderen Gases, so siedet die Flüssigkeit. Dann tritt die Dampfbildung nicht nur an der Oberfläche der Flüssigkeit, sondern auch im Innern auf; es bilden sich Dampfblasen.“⁽¹⁾

„Eine Flüssigkeit siedet, sobald ihr Dampfdruck dem auf der Flüssigkeit lastenden Luftdruck gleicht. Die Siedetemperatur hängt daher vom Luftdruck ab.“⁽²⁾

„Sieden: Beim Sieden entstehen im Innern der Flüssigkeit Dampfblasen. Während des Siedens ändert sich die Temperatur nicht ... Verdunsten: Die Gasbildung findet auch ständig an der Oberfläche der Flüssigkeit bei Temperaturen unterhalb der Siedetemperatur statt.“⁽³⁾

Mängel

Man findet keine überzeugenden Antworten auf die folgenden, nahe liegenden Fragen:

1. Warum geht der Verdampfungsprozess beim Verdunsten langsam und beim Sieden schnell?
2. Warum steigt die Temperatur des Wassers nicht mehr, wenn der Siedepunkt erreicht ist?

Dabei sind die Antworten leicht zu geben: Die Geschwindigkeit des Verdunstungsprozesses ist dadurch bestimmt, wie schnell der entstehende Wasserdampf von der Wasseroberfläche weggelangt zu Stellen, an denen der Partialdruck des Wasserdampfes kleiner ist. Das ist ein Diffusionsprozess, und Diffusionsprozesse sind notorisch langsam. Man kann den Abtransport des Dampfes bekanntlich dadurch beschleunigen, dass man pustet, also durch Konvektion nachhilft. Die Geschwindigkeit der Verdampfung wird beim Sieden nicht mehr durch Diffusion begrenzt. Da der Dampfdruck über der Wasseroberfläche gleich dem Atmosphärendruck ist, das Gas dort also reiner Wasserdampf ist, ist der Abtransport nicht mehr ein Diffusions-, sondern ein praktisch widerstandsloser Strömungsprozess. Der Dampf fließt jetzt ungehindert ab. Die Nachlieferung hängt nur noch davon ab, wie schnell das flüssige Wasser geheizt wird.

Führt man flüssigem Wasser, dessen Temperatur noch unterhalb der Siedetemperatur liegt, Entropie genügend schnell zu, so kann der entstehende Dampf diese nicht abtransportieren. Die Entropie staut sich, und die Temperatur des Wassers steigt. Ist die Siedetemperatur erreicht, so existiert dieser „Flaschenhals“ nicht mehr. Der Dampf entsteht in dem Maße, wie die zur Verdampfung nötige Entropie nachgeliefert wird. Das gilt auch dann, wenn der Atmosphärendruck nicht 1 bar ist, wenn also die Siedetemperatur nicht 100 °C beträgt.

Die Bläschenbildung ist zwar ein auffälliger, aber für das Sieden nicht notwendiger Effekt. Erhitzt man nämlich die Flüssigkeit von oben mit einer Infrarotlampe, so beginnt das Sieden, sobald die Oberfläche die Siedetemperatur erreicht, ohne dass Bläschen entstehen.

Es ist auch sicher nicht geschickt, vom auf der Flüssigkeit *lastenden* Druck zu sprechen. Der Druck ist eine lokale Größe, und man kann nicht sagen, dass der Druck eines Systems auf einem anderen lastet. Wenn derjenige Druck gemeint ist, den das Gas über der Flüssigkeitsoberfläche hat, so wäre es wohl besser, ihn nicht als Luftdruck bezeichnen. Denn je mehr man sich der Siedetemperatur nähert, desto weniger Sauerstoff und Stickstoff enthält das Gas an dieser Stelle. Ist die Siedetemperatur erreicht, so ist das Gas reiner Wasserdampf.

Herkunft

Das Augenscheinliche, die Bläschen, scheinen den Blick auf das Wesentliche zu verstellen.

Entsorgung

Man kommt um die Betrachtung des Wasserdampfpartialdrucks über der Wasseroberfläche nicht herum. Beim Verdunsten ist er kleiner als der Atmosphärendruck. Das verdampfende Wasser kann nur über den langsamen Diffusionsprozess entweichen. Beim Sieden ist das Gas über der Wasseroberfläche reiner Wasserdampf. Für dessen Abtransport gibt es keinen Widerstand mehr. Man erklärt die Bläschenbildung, klärt aber gleichzeitig, dass diese nur dann ein Indiz für das Sieden sind, wenn das Wasser von unten geheizt wird. Noch bequemer wird die Erklärung, wenn man das chemische Potenzial einführt, denn sowohl der Phasenübergang, als auch der anschließende Stofftransport werden durch ein chemisches Potenzialgefälle angetrieben.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Friedrich Herrmann, Abteilung für Didaktik der Physik, Universität, 76128 Karlsruhe

¹⁾ Gerthsen-Kneser-Vogel, Physik, Springer-Verlag, Berlin, 1977, S. 189.

²⁾ Sexl, Raab, Streeruwitz: Das mechanische Universum, Band I, Verlag Moritz Diesterweg, Frankfurt, 1980, S. 205.

³⁾ Physik, GROSS-BERHAG, Ernst Klett Schulbuchverlag, Stuttgart, 1996, S. 92.