



Doctoral Thesis

Brüdenverschmutzung bei der adiabaten Entspannungsverdampfung in einem vertikalen Rohr mit kritischer und unterkritischer Strömung

Author(s):

Herren, Erwin

Publication Date:

1981

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000218250> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH 6747

BRÜDENVERSCHMUTZUNG BEI DER ADIABATEN ENTSPANNUNGSVERDAMPFUNG
IN EINEM VERTIKALEN ROHR MIT KRITISCHER UND UNTERKRITISCHER
STRÖMUNG

A B H A N D L U N G

zur Erlangung

des Titels eines Doktors der Technischen Wissenschaften
der

E I D G E N O E S S I S C H E N T E C H N I S C H E N
H O C H S C H U L E Z U E R I C H

vorgelegt von

E R W I N H E R R E N

Dipl. Masch. Ing. ETH

geboren am 11. Dez. 1949

von Mühleberg (Kt. Bern)

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. F. Widmer, Referent

Prof. M. Berchtold, Korreferent

1981

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Entspannungsverdampfung von Flüssigkeiten und Gemischen ist ein verbreitetes Verfahren, das in verschiedenen Anlagen aufgrund energetischer Betrachtungen oder technischer Randbedingungen eingesetzt wird. Für die Entspannung von Suspensionen mit abrasiven Feststoffen eignet sich besonders die adiabate Verdampfung in einem senkrechten Rohr, weil damit der Druckabfall über das Gravitationskraftfeld erreicht wird und somit die kostspieligen Folgen der Erosion an Drosselorganen vermieden werden können. Eine wichtige Voraussetzung bei der Auslegung solcher Entspannungsanlagen ist die Kenntnis der Brüdenreinheit, die durch das Mitreissen von Flüssigkeitströpfchen im Expansionsgefäß beeinträchtigt wird. Diese Brüdenreinheit wird quantitativ erfasst durch den Dekontaminationsfaktor, der angibt, wie gross der Massenanteil an mitgerissener Flüssigkeit im Brüdendampf ist. Diese Brüdenreinheit hängt sowohl von den geometrischen Verhältnissen im Expansionsgefäß wie auch von den thermo- und fluiddynamischen Bedingungen der Entspannungsverdampfung ab. Das Ziel der Arbeit war, diese Einflüsse, die bei der vertikalen adiabaten Entspannungsverdampfung weitgehend unerforscht sind, zu untersuchen.

Aus den Messungen der Dekontaminationsfaktoren in Funktion der vielen Parameter konnten wichtige Abgrenzungen für den Einsatz von Expansionsgefässen aufgestellt werden. Eine zentrale Stellung nimmt dabei das Phänomen des kritischen Strömungszustandes einer Zweiphasenströmung ein.

Aus der untersuchten Literatur und den vorhandenen Arbeiten am Institut für Verfahrens- und Kältetechnik geht folgendes hervor:

1. Bei einem geraden Rohr tritt der kritische Querschnitt beim Rohraustritt auf.

2. Falls bei der Entspannungsverdampfung die kritische Ausdampfbreite ΔT_c erreicht wird, muss jede weitere Erhöhung der Ausdampfbreite eine zusätzliche Restverdampfung im Freistrahle nach dem Rohraustritt zur Folge haben.
3. Ist die Ausdampfbreite ΔT grösser als die kritische Ausdampfbreite ΔT_c , so liegt am Austritt eine zweiphasige Freistrahlexpansion mit radialen Druckgradienten und Phasenübergang vor, was zu einer Aufweitung des Strahles und zu einem vollkommenen Dispergieren der Flüssigkeit führt.

Die experimentellen Untersuchungen zeigen, dass das Eintreten des kritischen Strömungszustandes auf die Brüdenverschmutzung einen zweifachen Einfluss hat:

1. Das explosionsartige Verdampfen am Austritt des Rohres führt zur Bildung vieler kleiner Tröpfchen. Somit verschiebt sich einerseits mit steigender überkritischer Ausdampfbreite ($\Delta T > \Delta T_c$) das Tropfenspektrum zu immer kleineren Tröpfchen und andererseits steigt die Tropfenanzahl. Dies führt beim Ueberschreiten der kritischen Ausdampfbreite zu einer starken z.T. sprungartigen Zunahme der Verschmutzung.
2. Bei einem kritischen Strömungszustand am Austritt des Rohres wird die Agglomeration der Tropfen umso mehr verhindert je grösser die Restverdampfung ist, die im expandierenden Freistrahle stattfinden muss. Dies hat bei grossen überkritischen Ausdampfbreiten ($\Delta T - \Delta T_c > 10^\circ\text{C}$) die Bildung von Wirbeln zur Folge, die den gesamten Brüdenraum erfassen. Dadurch wird das Mitschleppen von grossen Tropfen verstärkt. Die Brüdenverschmutzung reagiert in diesem Bereich sehr sensibel auf die geometrischen Verhältnisse (Niveauhöhe im Expansionsgefäss, Abstand, Form und Grösse des Prallschirms).

Die Wirbelbildung kann verhindert werden durch

- grössere Prallschirme (besseres Abbremsen und Agglomerieren der Flüssigkeit).

- höheres Flüssigkeitsniveau (Verkleinern der Impulsaustauschfläche).
- kleinere Oeffnungswinkel des Prallschirms (von 120° auf 90° grosse Verbesserung, von 90° auf 60° noch kleine Verbesserung. Ein Oeffnungswinkel von 60° hat sich bewährt).

Im weiteren haben die Versuche gezeigt:

1. Ein Fluten des Rohraustritts lässt die Brüdenverschmutzung immer stark ansteigen.
2. Für die Dampfbelastung, bezogen auf die Fläche des umgelenkten Flüssigkeitsschirms, existiert eine Grenze, bei deren Ueberschreitung die Sekundärzerstäubung am Flüssigkeitsschirm infolge des Durchdringens des Brüdenampfes massgebend wird und zu grösserer Verschmutzung führt.
3. Im unterkritischen Bereich ($\Delta T < \Delta T_c$) haben die Form und die Grösse des Prallschirms sowie die Niveauhöhe der Flüssigkeit im Expansionsgefäss keinen grossen Einfluss auf die Verschmutzung. Dies mag auf die Konfiguration der vorliegenden Entspannungsverdampfung zurückzuführen sein, weil einerseits bei einem derart hohen Steigrohr der unterkritische stabile Bereich der Ausdampfbreite nur sehr schmal und andererseits der kritische Durchsatz relativ klein ist.
4. Dekontaminationsfaktoren von 10^4 - $2 \cdot 10^4$ stellen bei der vorliegenden Anlage eine Grenze dar, die nicht überschritten werden kann. Dies wird darauf zurückgeführt, dass ein gewisser Anteil von sehr feinen Tröpfchen entsteht, die so klein sind, dass sie bei üblichen Dampfbelastungen im Brüdenraum sowieso mitgerissen werden. Nach den Messresultaten zu schliessen, muss bei sehr kleinen Dampfbelastungen ein Tropfenspektrum mit zwei Maxima, also zwei überlagerte Verteilungen, auftreten. Bei der einen Verteilung sind die

Tropfen so gross, dass sie problemlos abgeschieden werden, bei der anderen Verteilung sind sie jedoch so klein, dass sie durch die Schwerkraft nicht abgeschieden werden können. Nach einer Schätzung muss ihr Durchmesser weniger als 50 μm betragen.

Die Berechnungen und Vergleiche aus der Literatur zeigen:

1. Bei tiefen Drücken im Expansionsgefäss ($p < 1,2$ bar) herrscht bei stabiler Entspannungsverdampfung vor dem Austritt des Steigrohres ein Strömungsbild vor, welches mit einer Ringströmung, deren Dampfkern mit Flüssigkeitsteilchen beladen ist, verglichen werden kann.
2. Aus den Beobachtungen und Berechnungen kann abgeschätzt werden, dass etwa die Hälfte des Flüssigkeitsmassenstromes in disperser Form im Dampfkern transportiert wird.
3. Tropfen, die in der Ringströmung infolge Losreissens von Oberflächenwellen entstehen, sind bei üblicher Dampfbelastung eindeutig grösser als die Tropfen, die am Austritt des Rohres infolge Dispergierens der Flüssigkeit entstehen.

Zusammenfassend lassen somit diese Untersuchungen eine zuverlässige Abschätzung der für die Brüdenverschmutzung massgebenden Faktoren zu und bilden damit eine wertvolle Grundlage zur allgemeinen Dimensionierung von Expansions- bzw. Abscheidegefässen bei Entspannungsverdampfungsanlagen.

Die weiteren Untersuchungen, die im folgenden kurz angeregt werden, können in vier verschiedene Arten aufgeteilt werden:

1. Versuche um die aufgestellten Hypothesen zu erläutern:

Die aufschlussreichsten Versuche bestehen darin, die Tropfengrösse zu messen. Diese Messungen sind zwar sehr zeitraubend und aufwendig, aber durch die vorliegenden Messergebnisse sind die wichtigsten Bereiche abgesteckt worden.

Ausserdem wäre die Erfassung der effektiven Geschwindkeitsverteilung im Brüdenraum sehr interessant.

2. Versuche um die Parameterbereiche zu erweitern:

Als Beispiele seien angeregt: Prallschirmgrösse über einen weiteren Bereich variieren, um die Grenze der Wirkung zu untersuchen. Untersuchungen bei höheren Drücken durchführen.

3. Beziehen weiterer Parameter:

Insbesondere wäre der Effekt des Höhe-Durchmesser-Verhältnisses eines Steigrohres zu untersuchen.

4. Untersuchungen fluiddynamischer Art am Austritt des Steigrohres: Aufschlussreich wären Untersuchungen über Flüssigkeitsbeladung im Dampfkern in Abhängigkeit der Ausdampfbreite und vor allem die Beeinflussung des kritischen Strömungszustandes durch Variieren der Austrittsform des Steigrohres.

SUMMARY

The flash evaporation of liquids and slurries is a widely used operation in chemical engineering processes. To avoid the problems of erosion in valves the slurry can be expanded in a vertical tube called riser. The erosion is then mainly located at the baffle plate over the outlet of the riser. The product losses in evaporator vapor may result from foaming, splashing or entrainment. On the restriction of cheap and simple baffle construction the present work investigates the entrainment losses due to the presence of droplets in the vapor. The experiments were carried out with boiling caustic soda solution of about 4 %. The flashing between lower and upper vessel discharges in a riser of a height of 8 m and an inside diameter of 50 mm. The experimental study meets the influence of the following parameters:

- Geometry of the umbrella shaped baffle
- Distance between baffle and outlet of riser
- Height of liquid level in flashing vessel relative to the outlet of the riser
- Temperature difference between lower and upper vessel (5 - 35 °C)
- Temperature in the lower vessel (100-120 °C)

The separation efficiency was defined by the decontamination factor (kg vapor per kg entrained solution).

Special attention has been paid to the phenomena of entrainment when critical two phase flow occurs at the outlet of the riser. This critical state can be defined by a critical temperature difference. A further increase of the temperature difference leads to a sudden decrease of the decontamination factor. If the temperature difference exceeds more than 10 °C the critical temperature difference, the decontamination factor depends highly on all geometrical proportions in the

flash vessel (height of the level in the flash vessel, shape of umbrella baffle, distance of the baffle from the outlet of the riser ...). These effects are explained by vortex formation in the vapor space of the flash vessel due to intensive momentum exchange by important residual evaporation of the liquid just after the outlet of the riser.

An analysis of the various mechanisms of droplet formation and the discussion of the critical two phase flow phenomena together with the experimental results lead to the conclusion that the droplet formation at the outlet of the riser which highly depends on temperature difference of the flash evaporation is of main importance. The inside diameter of the flashing vessel which determines the settling of the droplets against the moving vapor is in a wide range of secondary interest as soon as it exceeds 10 times the riser inside diameter. The highest decontamination factor obtained by undercritical flow lies between $1 - 2 \times 10^2$.