

# Kesselsteinfreier Betrieb von Dämpfmaschinen

Ing. K. Tschackert, KDT, VEB Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal  
Ing. H. Püttmann, VEB Kreisbetrieb für Landtechnik Parchim, Bezirk Schwerin

Steinablagerungen, d. h. sich in fester Form auf den Heizflächen der Dampferzeuger abscheidende Wasserhärtebildner, beeinträchtigen wesentlich den Betrieb von Kartoffel- und Erddämpfanlagen. In Abhängigkeit von der Dichte weisen die Steinablagerungen ein 25- bis 100fach geringeres Wärmeleitvermögen als der Stahl der Kesselbleche auf [1]. In der Praxis äußert sich das in einem starken Rückgang der Dämpfleistung und somit in einem erhöhten Arbeitszeitbedarf je t Dämpfgut, einem Anstieg des Kohleverbrauchs (Bild 1) und hohen Instandsetzungskosten.

Da sich die Härtebildner bevorzugt an den heißesten Heizflächen abscheiden und dadurch der Wärmeübergang an diesen am stärksten gehemmt wird, kommt es zu einer starken Überhitzung dieser besonders dicke Steinablagerungen tragenden Flächen (Wärmestau). Infolge der unterschiedlichen Erwärmung der Heizfläche bilden sich mechanische Spannungen und elektrochemische Potentialdifferenzen aus.

Übersteigt die Kesselblechtemperatur den kritischen Wert von 350°C, so kommt es zu einer starken Verringerung der Werkstofffestigkeit [2], zur örtlichen Verzunderung der Kesselbleche und zur Ausbildung von Korrosionselementen (Stahl/Zunder) [3].

Nicht selten treten infolge dieser Veränderungen Risse, Ausbeulungen sowie verstärkte rauch- und wasserseitige Korrosion auf, die eine weitere Nutzung des Dampferzeugers ausschließen. Beim Dampferzeuger F349 treten diese Erscheinungen besonders in der Nähe der Feuerungsöffnung, in dem relativ schmalen, sich mit Steinablagerungen füllenden Spalt zwischen der Feuer- tür und der Ascheklappe, auf.

Wegen der Notwendigkeit, mit Werkstoffen und Energieträgern sparsam umzugehen, soll nachfolgend nochmals auf ein Wasseraufbereitungsverfahren (Ionenaustausch) hingewiesen werden, das sich in anderen Industriezweigen (z. B. in Verbindung mit Heizanlagen) seit Jahren bestens bewährt hat, aber in der Landwirtschaft kaum Anwendung findet.

## 1. Ursachen der Steinbildung

Bei der Erwärmung des Kesselwassers über eine Temperatur von 80°C wandeln sich die in nicht aufbereitetem Wasser enthaltenen Karbonathärtebildner, z. B.  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ , infolge Störung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichts in Karbonate ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ) mit einer geringeren Wasserlöslichkeit und in als Gas entweichendes Kohlendioxid um.

Da auch die Löslichkeit der Nichtkarbonathärtebildner mit steigender Temperatur geringer wird und es infolge des Entweichens von nahezu salzfreiem Dampf zu einer Salzanreicherung kommt, fallen bei Überschreitung der Löslichkeitsgrenze auch die Nichtkarbonathärtebildner aus. Die aus unbehandeltem Wasser ausfallenden Härtebildner bilden hauptsächlich fest auf der Metalloberfläche haftende Steinablagerungen, die an den heißesten Heizflächen die größte Dicke aufweisen und in Abhängigkeit von Wasser-

härte ( $1^\circ\text{dH} \cong 1 \text{ g CaO}/100 \text{ l Wasser}$ ) sowie Wasserdurchsatz anwachsen.

## 2. Möglichkeiten der Steinentfernung

Über die Möglichkeiten der Entfernung von Steinablagerungen beim Dampferzeuger F349 wurde schon in [4] ausführlich berichtet; deshalb soll nachfolgend nur eine zusammenfassende Aussage getroffen werden.

Der für die Dämpfmaschinen eingesetzte Wasserkammer-Steilsieder F349 (einschließlich Varianten) kann wegen der geringen Weite der Siederohre (76 mm) und der Unzugänglichkeit einiger weiterer Flächen nur teilweise mechanisch von den Steinablagerungen befreit werden. Die verbleibenden Steinablagerungen verursachen Wärmestau und dienen als Kristallisationskeimpunkt für neue Ablagerungen.

Eine Reinigung mit inhibierter Säure ( $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) verursacht besonders wegen der erforderlichen Arbeits- und Umweltschutzmaßnahmen hohe Kosten. Die Entfernung der Steinablagerungen mit organischen Komplexbildnern (z. B. Berliplex [5]) erfordert zwar einen geringeren Aufwand für Arbeits- und Umweltschutzmaßnahmen, bedingt aber hohe Lohn- und Energiekosten (Kessel muß 24 Stunden auskochen).

Da sich während der erneuten Benutzung des Dampferzeugers sofort wieder Steinablagerungen bilden, werden durch die Reinigung lediglich die negativen Auswirkungen der Ablagerungen gemildert. Eine vollständige Beseitigung der negativen Auswirkungen ist nur durch eine Verhinderung der Steinbildung möglich.

## 3. Möglichkeiten der Verhütung von Steinablagerungen

Auch hier soll, da die Möglichkeiten in [4] diskutiert wurden, nur kurz auf die Verfahrensauswahl eingegangen werden. Eine Prüfung der bekannten Wasseraufbereitungsverfahren ergab, daß im Neutralaustauschverfahren enthärtetes Wasser am besten den zu stellenden Anforderungen genügt. Stationäre Ionenaustauscheranlagen werden wegen ihrer Einfachheit, Zuverlässigkeit, hohen Wirtschaftlichkeit und der Qualität des erzeugten Wassers seit rd. 40 Jahren verstärkt u. a. für die Speisung stationärer Hoch- und Niederdruckdampferzeuger eingesetzt. Durch Praxisversuche während der Dämpfperiode 1966/67, über die ebenfalls in [4] berichtet wurde, sowie den Einsatz weiterer fahrbarer Neutralaustauscher, über die z. T. nachfolgend informiert werden soll, konnte der Beweis erbracht werden, daß auch der Einsatz von fahrbaren, mit Rohwässern wechselnder Beschaffenheit arbeitenden Neutralaustauschern in Verbindung mit mobilen Dämpfmaschinen möglich und ökonomisch vorteilhaft ist.

Die in der letzten Zeit entwickelten Verfahren zur Verhütung von Steinablagerungen, wie z. B. die Ultrafiltration und die ständige Dösierung von organischen Komplexbildnern, sind für den vorliegenden Einsatzfall unökonomisch. Auch die umstrittene magnetische Aufbereitung oder die u. a. bei der

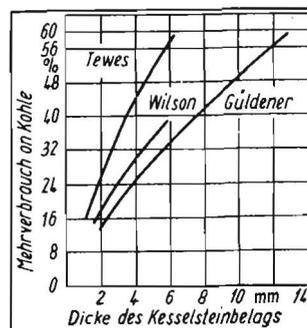
Deutschen Reichsbahn übliche Innenaufbereitung eignen sich nicht für die Dampferzeuger der Dämpfmaschinen, da diese nicht über Entschlammungsventile verfügen.

## 4. Neutralaustauschverfahren

Das Neutralaustauschverfahren beruht auf der Fähigkeit spezieller mit Natriumionen angereicherter Kunstharze, Natriumionen reversibel gegen die Kalzium- und Magnesiumionen der Härtebildner auszutauschen (Kationenaustauscher). Derartige Ionenaustauscher werden im VEB Chemiekombinat Bitterfeld produziert und unter dem Namen Wofatit KPS gehandelt. Der Austauschvorgang verläuft sehr schnell, so daß ein Durchströmen mit maximal 25 m/h ausreicht, um eine Enthärtung bis auf  $0,1^\circ\text{dH}$  zu erreichen. Die Austauscher erlauben einen kontinuierlichen und diskontinuierlichen Betrieb und sind relativ unempfindlich gegen eine Veränderung der Rohwasserqualität. Nach Angaben des Herstellers sollte das Rohwasser die in Tafel 1 ausgewiesenen Grenzwerte nicht überschreiten. Diese Anforderungen erfüllen Wässer, die die im Standard TGL 22433 für Trinkwasser geforderten Werte erreichen. Wie in [4] dargelegt, kann jedoch auch Wasser, das diese Grenzwerte überschreitet, ökonomisch im Neutralaustauschverfahren enthärtet werden. Hat der Austauscher eine der nutzbaren Volumkapazität (NVK) entsprechende Menge an Ca- und Mg-Ionen aufgenommen, so kann durch Einleitung einer Kochsalzlösung die Rückreaktion, d. h. der Austausch  $\text{Ca}^{2+}$  bzw.  $\text{Mg}^{2+}$  gegen  $\text{Na}^+$  (Regenerierung) eingeleitet werden (Dauer rd. 20 min). Bei vorschriftsmäßiger Behandlung kann das Wofatit etwa 10 Jahre benutzt werden.

Die für das Neutralaustauschverfahren erforderliche Anlage (Standards WM 06-91 und TGL 27-61128) besteht aus einem Düsenboden, den entsprechenden Rohrleitungen und Ventilen, einem zylindrischen Gefäß (z. B. Durchmesser 426 mm, Höhe 2000 mm), das das Wofatit aufnimmt, und dem Salzlöser (Durchmesser 426 mm, Höhe 500 mm). Auch die vom VEB Wasseraufbereitungsanlagen Markkleeberg angebotene Kleinenthärtungsanlage, bei der der Austauscher und der Salzlöser zu einer Säule zusammengefaßt wurden (Höhe 2100 mm), erwies sich während der vom VEB KfL Parchim in drei

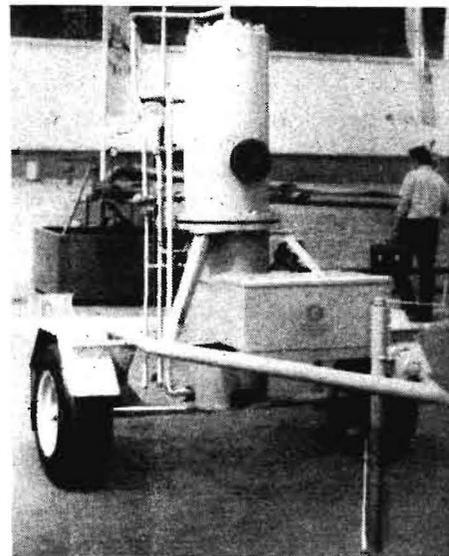
Bild 1. Einfluß von Steinablagerungen auf den Kohleverbrauch nach [1]



Tafel 1. Anforderungen an das Rohwasser bei der Enthärtung mit Wofatit KPS (Grenzwerte) nach [6]

Eisen	0,1 mg/l	KMnO <sub>4</sub> -Verbrauch	30 mg/l
Mangan	0,1 mg/l	Gesamthärte	50 °dH
Aluminium	0,1 mg/l	Gesamtsalzgehalt	10 mval/l

Bild 2  
Mobiler Neutralaustauscher



Tafel 3. Zusammenstellung der Kosten mit und ohne Neutralaustauscher

		Kosten ohne Neutralaustauscher	Kosten mit Neutralaustauscher
Kohle	M	11 962	9 968
Lohn	M	24 300	20 250
Instandsetzungskosten	M	3 165	791
Abschreibung und Instandhaltung 10 %	M	–	1 300
Salz für Regenerierung	M	–	50
Summe in M		39 427	32 359

Tafel 2. Beschaffenheit des verwendeten Leitungswassers

Gesamthärte	°dH	18,8
Karbonathärte	°dKH	18,8
freie Kohlensäure	mg/l	–
gebundene Kohlensäure	mg/l	–
pH-Wert		7,5
Eisen	mg/l	1,3
Mangan	mg/l	0,1
Nitrit	mg/l	0,006
Chlorid	mg/l	15
Wasserdurchsatz	m <sup>3</sup>	rd. 1 800

Landwirtschaftsbetrieben durchgeführten Erprobung als geeignet.

Die Bedienung der Neutralaustauscheranlage ist relativ einfach.

### 5. Praktische Erfahrungen

Über die vom VEB Prüf- und Versuchsbetrieb (PVB) Charlottenthal in den Jahren 1966/67 vorgenommene Praxiserprobung einer mobilen und einer stationären Neutralaustauscheranlage wurde bereits in [4, 7] ausführlich berichtet. Die vom VEB PVB Charlottenthal in Betrieb genommene mobile Anlage (Austauschergröße 426 mm × 2000 mm) kam von 1968 bis 1974 (12000 t Kartoffeln) in der KAP Glesin, Bezirk Leipzig, mit einer im Jahr 1968 ausgelieferten fahrbaren Dämpfmaschine F405 zum Einsatz. Die Neutralaustauscheranlage wurde mit Leitungswasser betrieben (Tafel 2).

Während der gesamten Nutzungsperiode traten am Dampferzeuger und an der Neutralaustauscheranlage keine Störungen auf, d. h. es waren keine Instandsetzungsmaßnahmen (nur Austausch des Wassermengenmessers) erforderlich. Eine Verringerung der Dämpfleistung, wie sie bei mit Hartwasser betriebenen Anlagen festzustellen ist, trat nicht ein. Durch den Betreiber wird bestätigt, daß die Bedienung der Neutralaustauscheranlage keine hohen Anforderungen an den Maschinisten stellt und keine zusätzliche Arbeitszeit erfordert. Eine im Mai 1973 vom

damaligen VEB Dämpferbau Lommatzsch vorgenommene Überprüfung des Dampferzeugers ergab keine Steinablagerungen an der Heizfläche [8]. Im Jahr 1975 wurde die Dämpfmaschine F405 einer Grundinstandsetzung zugeführt, bei der auch der Innenkessel getauscht wurde. Über die Beschaffenheit des Innenkessels zum Zeitpunkt des Tausches und über seine Notwendigkeit liegen keine Angaben vor. Nach Aussagen des Technischen Leiters der KAP Glesin beträgt die Nutzungsdauer der Dampferzeuger im Raum Leipzig bei Speisung mit Hartwasser etwa 2 Kampagnen.

Im vorliegenden Fall konnte also die Nutzungsdauer des Dampferzeugers durch Einsatz einer Neutralaustauscheranlage etwa um 500 % verlängert werden.

Auch die in Verantwortung des VEB KfL Parchim im Zeitraum 1982/83 in 3 Landwirtschaftsbetrieben vorgenommene Erprobung von 3 mobilen Wasserenthärtungsanlagen (Bild 2) brachte positive Ergebnisse. Es wurde eingeschätzt [9], daß die Anlagen in der Praxis einsetzbar sind und das angestrebte Ziel – Einsparung von Energie, Material und Instandsetzungskosten – erreicht wird.

### 6. Ökonomische Ergebnisse

Anhand eines Beispiels aus der Praxis (KAP Glesin) soll gezeigt werden, welche ökonomischen und materialwirtschaftlichen Vorteile der Einsatz von Neutralaustauschern in Verbindung mit Dämpfmaschinen bringen kann. Dabei wurde von folgenden Bedingungen ausgegangen:

- Dämpfmaschine F405 mit einer Kampagneleistung von 1500 t Kartoffeln
- Kohleverbrauch mit Neutralaustauscher 78 t
- ohne Neutralaustauscher 93,60 t
- Arbeitszeitbedarf mit Neutralaustauscher 4050 AKh
- ohne Neutralaustauscher 4860 AKh (bedingt durch reduzierte Dämpfleistung)
- Nutzungsdauer des Innenkessels

mit Neutralaustauscher 8 Jahre  
ohne Neutralaustauscher 2 Jahre

– Anschaffungspreis des Neutralaustauschers rd. 13000 M.

Eine Kostenzusammenstellung für diese Bedingungen beim Betrieb mit und ohne Neutralaustauscher enthält Tafel 3.

### 7. Zusammenfassung

In Dampferzeugern u. ä. Anlagen erhöhen sich die Betriebskosten durch abgeschiedene Wasserhärtebildner, die sich an den Heizflächen anlagern.

Durch Vorschaltung von stationären bzw. mobilen Neutralaustauscheranlagen, d. h. durch Verwendung von enthärtetem Speisewasser, können diese negativen Auswirkungen beseitigt, die Betriebs- und Instandsetzungskosten wesentlich gesenkt und der Wirkungsgrad der o. g. Anlagen erhöht werden.

### Literatur

- [1] Seelmeyer, G.: Rost- und Steinschutz in Niederdruckanlagen. Weinheim: Verlag Chemie 1950.
- [2] Stumper, R.: Speisewasser und Speisewässerspflüge. Berlin: Springer Verlag 1931.
- [3] Mamet, A. P.: Korrosion und Korrosionsschutz in Dampfkesselanlagen. Berlin: Verlag Technik 1955.
- [4] Tschackert, K.: Untersuchungen zur Beseitigung und Verhütung von Steinbildungen in ND-Dampferzeugern der Dämpfmaschinen. VEB Prüf- und Versuchsbetrieb Charlottenthal, Abschlußbericht 1966 (unveröffentlicht).
- [5] Zur chemischen Reinigung energetischer Systeme – Berliplex. VEB Berlin Chemie, Prospekt 1980.
- [6] Wofatit-Information. VEB Farbenfabrik Wolfen 1963.
- [7] Tschackert, K.: Der kesselsteinfreie Betrieb von Dämpfmaschinen. Dt. Agrartechnik, Berlin 17 (1967) 8, S. 359–362.
- [8] Kretzschmar, R.: Bericht über Wofatitenthärtung. VEB Dämpferbau Lommatzsch 1973.
- [9] Lühmann, H.: Erprobung der Wasserenthärtungsanlage. Erprobungsbericht der LPG „Schwarzbuntzucht“ Kalbe, Bezirk Magdeburg, 1983.