

Aus der Sektion Verfahrenstechnik  
der Technischen Hochschule „Carl Schorlemmer“ Leuna-Merseburg  
Wissenschaftsbereich Umweltschutztechnik  
(Leiter des Wissenschaftsbereiches: Doz. Dr.-Ing. J. Petroll)

## **Untersuchungen zur Leistungssteigerung von Zyklonabscheidern**

Von Uwe Frost

Mit 6 Abbildungen und 1 Tabelle

(Eingegangen am 15. Januar 1985)

### 1. Einleitung

Fliehkraftabscheider finden nach wie vor als einfache und billige Entstauber eine breite Anwendung in der Industrie. Ein traditionelles Einsatzgebiet ist die Entstaubung rostgefeuerter Dampferzeuger. Wegen ihrer ungenügenden Abscheideleistung im Feinkornbereich werden sie außerdem in vielen Fällen – z. B. in Brikettfabriken – als Grobentstaubungsstufe vor einem Hochleistungsabscheider eingesetzt.

Im Bericht des ZK der SED an den X. Parteitag orientiert Genosse Erich Honecker auf die Nutzung der einheimischen Braunkohlenressourcen. In einem bisher nicht gekannten Umfang muß sich die gesamte Volkswirtschaft auf den direkten Einsatz von Rohbraunkohle einstellen. Mit dem ausschließlichen Einsatz von Rohbraunkohle in rostgefeuerten Dampferzeugern kommt es durch den Anfall großer Flugaschemengen in den Rauchgasen zu einer Erschwerung der Abscheidebedingungen. Es muß deshalb nach weiteren Möglichkeiten gesucht werden, die Abscheideleistung von Zyklonabscheidern zu steigern. Ausführliche Untersuchungen zum Einfluß konstruktiver Variabler auf das Abscheideergebnis von Zyklonen wurden zuletzt vor mehr als 15 Jahren in der DDR durchgeführt. Die Tatsache, daß es noch immer keine exakte Methode zur Vorausberechnung der Zyklonabscheiderleistung gibt, ließ eine Aufarbeitung neuerer Gedanken und Lösungen notwendig erscheinen.

### 2. Aufbau und Wirkungsweise von Zyklonabscheidern

Zyklonabscheider werden auch als dreidimensionale Wirbler mit Umkehr der Strömungsrichtung bezeichnet. In ihnen wird zur Abscheidung der Staubteilchen die Zentrifugalkraft ausgenutzt. Zyklone haben einen sehr einfachen Aufbau, besitzen keine bewegten Einbauten und sind deshalb sehr wartungsarm. Die wichtigsten Teile sind in der Abbildung 1 dargestellt.

Das staubhaltige Gas tritt mit einer Geschwindigkeit von 15–20 m/s tangential in einen rotationssymmetrischen Abscheideraum ein, in dem sich eine abwärtsgerichtete Wirbelströmung ausbildet. Auf die im Gasstrom mitgeführten Teilchen wirkt die Zentrifugalkraft. Unter dem Einfluß dieser Kraft gelangen die Teilchen an die Zyklonwand und werden hier abgeschieden. Die Staubpartikel werden unter der Einwirkung der Schwerkraft und der sich ausbildenden nach unten gerichteten Wirbelströmung abtransportiert. Das gereinigte Gas verläßt den Zyklonabscheider oben durch das Tauchrohr, nachdem das Gas seine Strömungsrichtung umgekehrt hat.

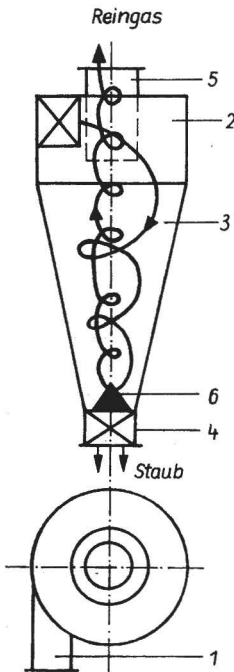


Abb. 1

Aufbau und Wirkungsweise eines Zyklons.

1 - Gaseintritt, 2 - zylindrisches Oberteil, 3 - konisches Unterteil, 4 - Staubaustrag, 5 - Gasaustritt (Tauchrohr), 6 - Staubaustragskegel

An dieser Stelle sei der Begriff Abscheidegrad eines Zyklonabscheiders erläutert. Unter diesem versteht man den prozentualen Anteil der Masse des abgeschiedenen Staubes an der Masse des in den Zyklonabscheider eintretenden Staubes. Zyklonabscheider arbeiten selektiv, d. h. sie scheiden allgemein große Teilchen besser ab als kleine.

### 3. Experimentelle Untersuchungen zur Optimierung der Zyklongeometrie

#### 3.1. Versuchsziel

Die Abscheidung von Staubteilchen aus strömenden Gasen mittels Fliehkraft erfordert energetische Aufwendungen. Der Energieverbrauch äußert sich im Strömungswiderstand des Zyklonabscheiders, der durch den Druckabfall charakterisiert wird. Für die leistungsmäßige Beurteilung von Zyklonen sind daher die folgenden beiden Kriterien stets im Zusammenhang zu betrachten:

1. energetische Aufwendungen (Druckabfall über dem Zyklon)
2. Abscheidegrad des Zyklonabscheiders.

Entscheidende Ansatzpunkte für die Verbesserung der Abscheidegrad-Druckabfallcharakteristik sind die Tauchrohr- und die Staubaustragsgestaltung, die in dieser Arbeit untersucht wurden.

Ziel der Untersuchungen war die Bestimmung der optimalen Kegelstellung im TGL-Zyklon und die leistungsmäßige Beurteilung verschiedener Tauchrohrformen.

#### 3.2. Beschreibung der Versuchsanlage

Die Untersuchungen wurden auf dem Entstaubungsversuchsstand des VEB „Entstaubungstechnik“ EAM durchgeführt (Abb. 2). Für die Versuche wurde ein TGL-Zyklon mit einem Gasnenndurchsatz von  $900 \text{ m}^3/\text{h}$  verwendet. Die Frischluft wird aus dem Raum abgesaugt, durch die Entstaubungsanlage gefördert und anschließend über

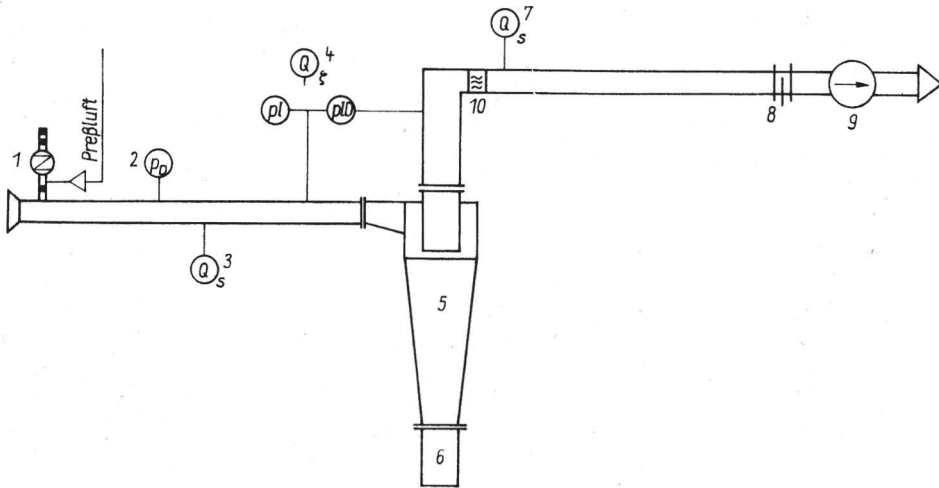


Abb. 2. Zyklonversuchsanlage Kulkwitz.

1 – Staubzugabe, 2 – Geschwindigkeitsmeßstelle, 3 – Staubmeßgerät, 4 – Luftfeuchtigkeitsmeßstelle, 5 – Zyklon (900 m<sup>3</sup>/h), 6 – Staubsammelbehälter, 7 – Staubmeßgerät, 8 – Steckschieber, 9 – Ventilator, 10 – Drallkranz

Dach ins Freie geleitet. Ein Radialventilator saugt die Luft reingasseitig an. Der Versuchsstaub gelangt über eine Dosierwaage kontinuierlich zur Staubaufgabestelle und wird über eine Schleuse mit Hilfe von Preßluft in die Ansaugleitung der Versuchsanlage eingegeben. In der Ansaugleitung befinden sich eine Geschwindigkeits- und eine Staubkonzentrationsmeßstelle. Der staubbeladene Gasvolumenstrom gelangt in den Zyklonabscheider und wird hier entstaubt. Der abgeschiedene Staub fällt durch ein Staubfallrohr in einen mit dem Zyklon gasdicht verbundenen Staubsammelbehälter. In der Reingasleitung befindet sich eine Staubkonzentrationsmeßstelle. Die Regelung des Gasvolumens erfolgt über einen Schieber in der Reingasleitung.

### 3.3. Versuchsdurchführung

#### 3.3.1. Bestimmung einer optimalen Kegelstellung im TGL-Zyklon

Zur Vermeidung der Wiederaufwirbelung von bereits abgeschiedenen Staub wurden in der Literatur der Einbau von Austragskegeln am konischen Zyklonunterteil vorgeschlagen. Ein schlanker, in den Abscheideraum hineinragender Kegel soll folgende Wirkungen nach sich ziehen:

- eine stetige Umlenkung der äußeren Zyklonabwärtsströmung
- eine Druckminderung durch die Reibung im Ringspalt (zwischen Kegel und Zyklonwand) und damit eine Verringerung des Druckgradienten
- es wird der am Bunkergrund auftretenden Sekundärströmung, die eine Wiederaufwirbelung von bereits abgeschiedenen Staub bewirkt, durch den Einbau eines Austragskegels mit ebenen Abschluß eine zweite Sekundärströmung entgegengesetzt.

Ausgehend von diesen Erkenntnissen wurde die Stellung eines Austragskegels im Zyklonunterteil variiert. Die untersuchten Kegelstellungen sind in Abbildung 3 ersichtlich. Die Kegelstellung 2 ist dabei die gegenwärtig in TGL-Hochleistungszyklonen eingesetzte Variante. Die Versuche wurden mit den verschiedenen Staubarten Rohmehl, Suprasil, Talkum und Quarzstaub durchgeführt.

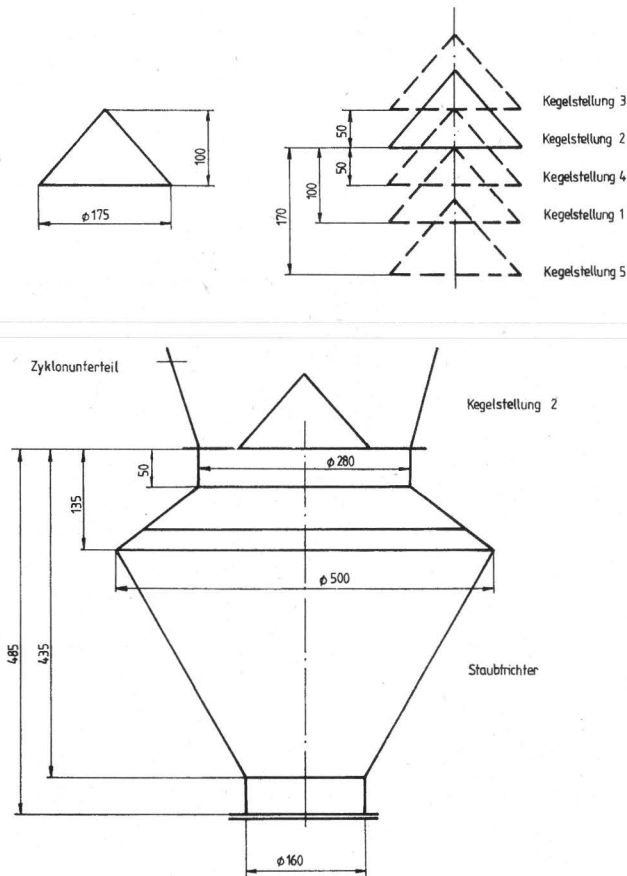


Abb. 3. Kegel, Kegelstellung und Staubtrichter

### 3.3.2. Untersuchungen zur Verbesserung der Tauchrohrform in Zyklonabscheidern

Bei den Versuchen zur Ermittlung einer optimalen Tauchrohrvariante konnte auf eine Vielzahl von Untersuchungen zurückgegriffen werden, die in Veröffentlichungen vorlagen. In Auswertung der vorliegenden Literatur wurden die in den Versuchen eingesetzten Tauchrohre konstruiert. Als wichtigstes Kriterium wurde hierbei eine Einflußnahme auf die am Zyklondeckel auftretende Sekundärströmung angesehen, die ein direktes Austreten der staubbeladenen Gasströmung verursacht. Die radiale Zuströmung zum Tauchrohr im kritischen Bereich des Tauchrohrradius konzentriert sich auf den unmittelbar unter dem Tauchrohr befindlichen Raum. Durch nach unten konisch erweiterte Tauchrohre kann diesem Effekt entgegengewirkt werden. Bei entsprechender Neigung der Tauchrohrwandung kann am Tauchrohr eine Rückströmung erzwungen werden. Die Abbildung 4 zeigt die Strömungsverhältnisse am Tauchrohr bei den verschiedenen Tauchrohrformen. Dabei ist allerdings zu beachten, daß es bei zu großen Rückströmungen zu Staubanreicherungen unmittelbar am Tauchrohr kommen kann. Zyklische Durchbrüche, bei denen der angesammelte Staub den Zyklonabscheider mit dem Gasstrom durch das Tauchrohr verläßt, sind dann nicht zu vermeiden. Es ist auf eine nach unten gerichtete Strömung mit einer minimalen Radialkomponente hinzu-

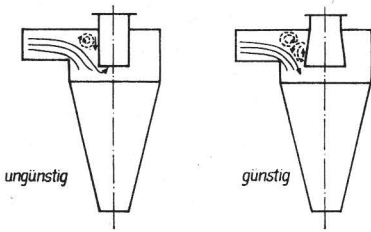


Abb. 4. Strömungsverhältnisse am Tauchrohr bei verschiedenen Tauchrohrformen

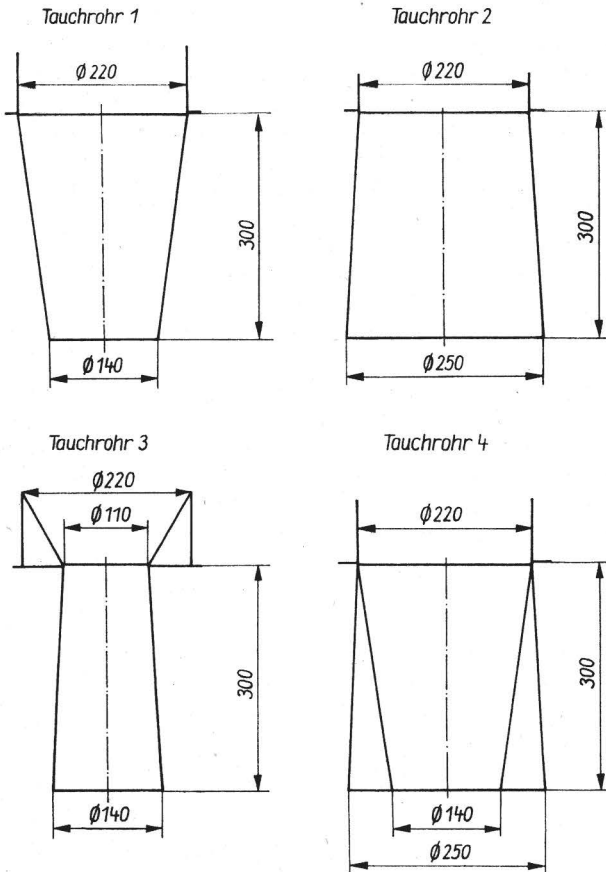


Abb. 5. Tauchrohrformen

arbeiten. Zum Erreichen dieses Effektes wurde ein Winkel von  $< 5^\circ$  zwischen konischer und zylindrischer Tauchrohrwand vorgeschlagen. Experimentelle Untersuchungen an Großzyklonen standen zu dieser Problematik noch aus.

Die Untersuchungen zur Bestimmung einer optimalen Tauchrohrvariante wurden mit den in Abbildung 5 dargestellten Tauchrohren und mit der in den vorangegangenen Versuchen ermittelten, günstigsten Kegelstellung durchgeführt.

Die Versuche wurden mit dem gegenwärtig in TGL-Hochleistungszyklonen eingesetzten Tauchrohr 1 begonnen und mit den selbst konstruierten Tauchrohrvarianten 2-4 fortgesetzt. Als Versuchsstäube kamen hierbei ebenfalls Rohmehl, Suprasil, Talkum und Quarzstaub zum Einsatz.

### 3.4. Versuchsergebnisse

Zur Auswertung der Versuche und zum Vergleich der Leistung von Zyklonabscheidern mit den verschiedenen Kegelstellungen und Tauchrohrvarianten wurden der Druckverlust (Energieverbrauch) und der Gesamtabseidegrad herangezogen.

Die Versuche zur Bestimmung der optimalen Kegelstellung zeigen, daß mit der Kegelstellung 2 die besten Abscheideergebnisse erzielt werden.

Im Vergleich zu den anderen Kegelstellungen ist der Druckabfall über dem Zyklon mit Kegelstellung 2 nur geringfügig, so daß diese Variante als die beste angesehen werden muß. Die Versuche zur Bestimmung einer optimalen Tauchrohrgeometrie wurden deshalb im wesentlichen mit dieser Kegelstellung durchgeführt. Die Untersuchungen der verschiedenen Tauchrohrformen wurden mit dem gegenwärtig in TGL-Hochleistungszyklonen eingesetzten Tauchrohr 1 begonnen. Eine Verbesserung der Einlaufstromverhältnisse sollte mit dem Einbau des Tauchrohres 2 erzielt werden. Mit dieser Tauchrohrform soll der sich bei anderen Tauchrohrformen negativ auf die Abscheideleistung auswirkende Kurzschlußstrom, der ein direktes Austragen von Staubteilchen in den Reingasstrom hervorruft, durch Verbesserung der Druckverhältnisse am Tauchrohr unterbunden werden. Die Gegenüberstellung zeigt, daß mit Tauchrohr 2 eine Verschlechterung der Abscheideleistung auftritt. Der Abscheidegradabfall konnte mit dem sehr viel größeren Eintrittsdurchmesser des Tauchrohres 2 gegenüber dem des Tauchrohres 1 erklärt werden. Wir hielten es daher für angebracht, ein Tauchrohr 3 mit einer dem Tauchrohr 2 gleichen Geometrie und einem dem Tauchrohr 1 angepaßten Tauchrohreintrittsdurchmesser zu konstruieren. Mit diesem Tauchrohr wurde eine Abscheidegradverbesserung gegenüber der Tauchrohrvariante des TGL-Hochleistungszyklons erzielt. Mit der Tauchrohrvariante 4 sollte der Einfluß eines sich in Strömungsrichtung verengenden Mantels, der sich über dem Tauchrohr eines Hochleistungszyklons befindet, überprüft werden. Die Abscheidegrade weisen hier keine deutliche Tendenz auf.

Tabelle 1. Abscheidegrade  $\eta$  des Hochleistungszyklons in Abhängigkeit von der untersuchten Staubart und der verwendeten Tauchrohrform (in %)

Staubart	Tauchrohrform	1	2	3	4
Rohmehl		95,2	94,6	95,9	96,3
Talkum		94,9	92,1	94,6	94,3
Suprasil		74	69	75,2	80,1
Quarzstaub		68	60,5	76,8	70,7

Zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit der verschiedenen Zyklonvarianten wurden des weiteren die Druckabfall-Volumenstromabhängigkeiten aufgenommen, die es ermöglichen, Aussagen über die Energieaufwendungen beim Betreiben der Anlage zu erhalten. Die sich hierbei ergebenden Abhängigkeiten sind in Abbildung 6 dargestellt. Die Versuche zeigen, daß sich mit dem Einsatz der Tauchrohrform 2 eine gravierende Energieverbrauchssenkung gegenüber der zur Zeit im TGL-Hochleistungszyklon eingesetzten Variante erzielen läßt. Der höchste Energieaufwand muß beim Einsatz des Tauchrohres 3 registriert werden. Der engste Querschnitt des Tauchrohres 3 mit einem Durchmesser von 110 mm mußte auf den konstruktiv vorgegebenen Auslaufdurch-

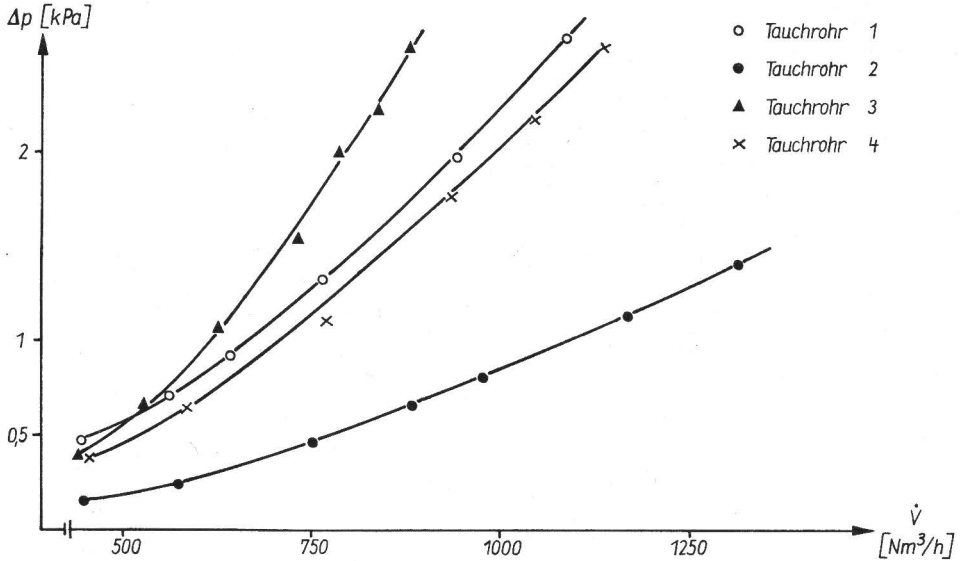


Abb. 6. Abhängigkeit des Druckabfalls am Zyklon vom Volumenstrom der staubfreien Strömung bei Kegelstellung 2 für verschiedene Tauchrohrformen

messer von 220 mm mittels eines Diffusors erweitert werden. Die Bedingungen ließen es nicht zu, einen für den Strömungsvorgang optimalen Winkel des Diffusors einzustellen. Eine geringe Absenkung des Energieverbrauches wäre mit konstruktiven Veränderungen zu erreichen. Mit Tauchrohr 4 wurde eine Absenkung des Energieverbrauches gegenüber dem Tauchrohr 1 erzielt. Dieser Effekt läßt sich durch eine Unterbindung der Umströmung der Tauchrohreintrittskante erklären. Zwischen Tauchrohrmantel und Tauchrohr bildet sich ein Luftpolster aus, das den Druckabfall günstig beeinflusst. Die Beurteilung der verschiedenen Tauchrohrformen erfolgte nun auf der Grundlage dimensionsloser Kennzahlen für den Druckverlust (Energieverbrauch) und für den Gesamtabscheidegrad.

Für alle untersuchten Stäube konnte gezeigt werden, daß der Zyklon mit dem Tauchrohr 2 die beste Variante ist.

#### 4. Zusammenfassung

Innerhalb dieser Arbeit wurden Untersuchungen zur Leistungssteigerung von Zyklonabscheidern vorgenommen. Ausgehend von theoretischen Betrachtungen wurden Schwachstellen bei der Staubabscheidung mit Zyklonabscheidern untersucht. Die Versuche wurden mit dem Ziel der Bestimmung einer optimalen Kegelstellung im TGL-Zyklon und einer Verbesserung der Tauchrohrform durchgeführt. Es lassen sich, nachdem noch weitere Optimierungsversuche abgeschlossen wurden, folgende Aussagen treffen:

Speziell für Rauchgasentstaubungsanlagen (Rostfeuerung, grober Staub) sind durch Veränderung der Tauchrohrgeometrie Tauchrohre mit halben energetischen Aufwand bei gleichbleibender Leistung der Zyklonabscheider einsetzbar. Beim Anwender könnte dies zu folgendem volkswirtschaftlichen Nutzen führen:

- Senkung des Energieaufwandes  
Druckabfallgewinn von etwa 600 Pa
- für 3,2 t/h-Dampfkessel mit Hochleistungszyklon ergibt sich eine Senkung des Energieaufwandes von 16,5 kW auf 13,2 kW, was einer Energieeinsparung von 20 % entspricht

- bei dreischichtiger Anlagenauslastung beträgt die eingesparte elektrische Leistung 23,76 MWh
- bei etwa 80 Anlagen 3,2 t/h ergeben sich 1900 MWh Energieeinsparung mit einem Nutzen von 152 000 Mark.

Die Ergebnisse dieser Arbeit wurden dem VEB ETK zur Anwendung empfohlen. Die mit den durchgeführten Versuchen optimierte Tauchrohrgeometrie wurde außerdem als Patent angemeldet

can. Ing. Uwe Frost  
Wissenschaftsbereich Umweltschutztechnik  
DDR - 4200 Merseburg  
Otto-Nuschke-Straße