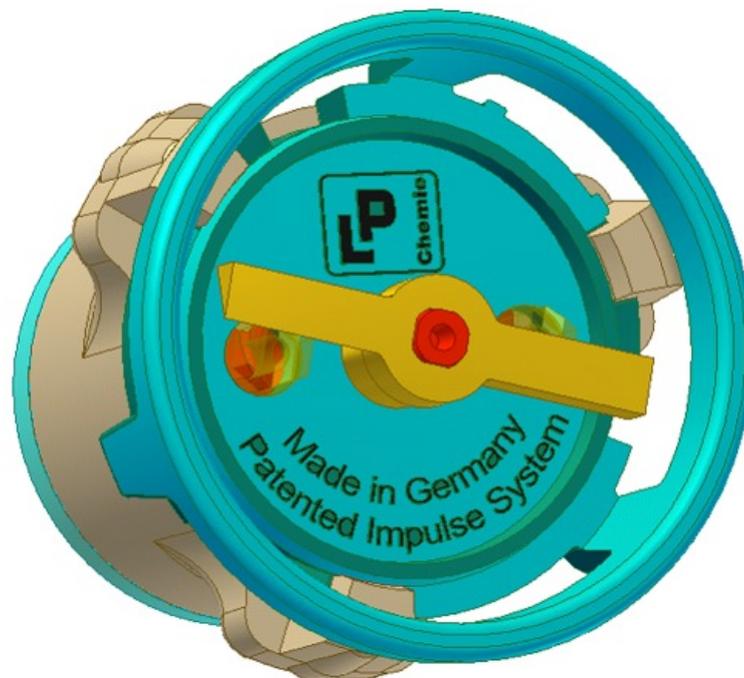


Abschlussbericht

**Strömungsoptimierte Spültechnik zur Verminderung
des Chemikalien- und Wasserverbrauchs beim Ätzen
von Leiterplatten**

DBU-Aktenzeichen: 27064



LP Chemie GmbH & Co. KG

Am Freibad 13

73579 Schechingen

Telefon 07175.922471

Telefax 07175.922472

contact@lp-chemie.de

www.lp-chemie.de

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	27064	Referat	21/2	Fördersumme	69.000, €
----	--------------	---------	-------------	-------------	------------------

Antragstitel **Strömungsoptimierte Spültechnik zur Verminderung des Chemikalien- und Wasserverbrauchs beim Ätzen von Leiterplatten**

Stichworte Impulsdüsen, Ätzen und Spülen

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
18 Monate	10.06.2009	09.12.2010	I

Zwischenberichte: halbjährlich

Bewilligungsempfänger **LP Chemie GmbH & Co. KG**
Am Freibad 13
73579 Schechingen

Tel 07175 / 922471
Fax 07175 / 922472

Projektleitung
Marcus Lang

Bearbeiter
Helmut Herkle

Kooperationspartner **Vaas Leiterplattentechnologie GmbH**
Güglingstraße 47
73529 Schwäbisch Gmünd

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Ziel und Anlass des Vorhabens ist die Reduktion des Chemikalien- und Wasserverbrauchs bei der Herstellung elektronischer Leiterplatten. Dazu ist die Entwicklung eines strömungsoptimierten Spülbades vorgesehen, durch das eine signifikante Reduktion der bei der Herstellung eingesetzten Wassermenge erreicht werden soll. Innovatives Prinzip der vorgesehenen Entwicklung ist die Pulsation des fächerförmigen Spülstrahls. Vorgesehen sind Pulsfrequenzen von bis zu 60 Hz.

Da die Ausbildung eines stabilen Strahls bis zu 2 Sekunden dauert, kann die Pulsation bei diesen Raten erst nach der Strahlformung und somit außerhalb der Düse erfolgen. Dadurch, so die Zielsetzung, soll der Spülwassereinsatz bei der Leiterplattenproduktion um ca. 25% vermindert werden können. In Deutschland werden in ca. 250 - 300 Produktionslinien jährlich ca. 900.000 Kubikmeter Wasser verbraucht, woraus sich ein Einsparpotenzial von über 150.000 Kubikmetern ergibt.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Im Verlauf des Projektes sollten

- die Hardware für das strömungsoptimierte Spülen entwickelt und aufgebaut werden
- die Verfahren und Baugruppen im Labormaßstab untersucht und für den großtechnischen Einsatz skaliert werden
- das Einsparpotenzial im Feldversuch bei der Firma Vaas LT untersucht werden.

Dabei übernahm die LP Chemie GmbH & Co. KG die Entwicklung der technischen Grundlagen und der Anlagen, der Vaas LT GmbH fielen die Arbeiten zur Untersuchung, Entwicklung, Skalierung und Bewertung der Verfahren zu.

Aus der Aufgabenstellung und -verteilung ergaben sich folgende Arbeitspakete:

In einem ersten Schritt (Arbeitspaket 1) sollte die Entwicklung eines Düsenarrays zur Anströmung der zu spülenden Oberflächen geplant werden.

Die Technik sollte sodann als Labor-Prototyp (Arbeitspaket 2) aufgebaut werden, um unter idealisierten Bedingungen die Verfahren zu untersuchen und die Parameter optimieren zu können (Arbeitspaket 3). Am Ende der Laboruntersuchungen stand ein Meilenstein hinsichtlich der Erreichbarkeit der gesetzten Einsparziele und der Entscheidung über die Skalierung der Anlagentechnik für die Feldversuche.

Sollten die geplanten Ziele in der Laborumgebung erreicht werden, würden die Komponenten für das strömungsoptimierte Spülen skaliert und in eine Full-Scale-Anlage integriert. Anschließend sollten dann die Versuche durchgeführt werden, die zur Beurteilung des Einsparpotenzials notwendig wären (Arbeitspaket 4).

Arbeitspaket 5 umfasste das Projektmanagement, das die Dokumentation der Ergebnisse und die Auswertung zur Beurteilung der Umweltrelevanz beinhaltete.

Eine ausführliche Beschreibung der einzelnen Arbeitsschritte und der jeweils angewandten Arbeitsmethoden ist unter Punkt 3 des Schlussberichtes dargestellt.

Ergebnisse und Diskussion

Das Projektziel, eine Düse zur Wassereinsparung durch optimierte Strömung- und Sprühwirkung zu entwickeln, wurde erreicht. Den Erfolg dieses Konzeptes belegen eindrucksvoll das hohe Kundeninteresse und der erfolgreiche Verkauf von über 5.000 Impulsdüsen innerhalb sehr kurzer Zeit.

Im Einzelnen wurden folgende Ergebnisse erreicht:

- Hohe Druckgenauigkeit und geringer Energieverlust durch Reibung des Antriebs
- In umfangreichen Testreihen konnte die universelle Einsetzbarkeit nachgewiesen werden
- Hervorragender Lösungsaustausch an der Oberseite und dadurch deutlich bessere Spülwirkung
- Reduzierung der Frischwassermenge
- In Prozessbädern (Ätzmodulen) wurde die Effektivität je nach Verfahren um 30 – 80 % gesteigert, wodurch die Anlagenlänge verkürzt wird und damit auch der erforderliche Energiebedarf
- Steigerung der Ausbeute und Reduzierung von Nacharbeiten, welche teilweise aggressive Chemikalien erfordern

Folgende umweltrelevanten Ziele wurden mit dieser Entwicklung erreicht:

- Einsparungen von bis zu 20 % Wasser
- Umweltverträglichkeit durch Einsatz langlebiger Werkstoffe
- Energieeinsparung durch Reduzierung der Anlagenlänge in Prozessbädern
- Energieeinsparung durch geringer erforderlichen Pumpendruck

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die neue Impulsdüsenteknologie wird von LP Chemie auf vielerlei Weisen beworben und einer breiten Öffentlichkeit präsentiert. Die erfolgten Werbe- und PR-Maßnahmen zur Markteinführung sind unter Punkt 5 des Schlussberichtes ausführlich dargestellt.

Fazit

Die durch die DBU maßgeblich geförderte Entwicklung einer wassereinsparenden Impulsdüse war sehr erfolgreich. Die wesentlichen Projektziele bezüglich einer einfachen Integration in bestehenden Anlagen wurden erreicht. Die Ergebnisse konnten durch umfangreiche Tests der Prototyp-Anlage nachgewiesen werden. Die erfolgreiche Präsentation der Maschine im Rahmen einer Veranstaltung zur Markteinführung, das große Interesse des Marktes an dieser Maschine und nicht zuletzt die Verkaufserfolge der letzten Monate beweisen die Richtigkeit des Technologiekonzepts und die Bedeutung der Entwicklung für die gesamte Branche. Es ist zu erwarten, dass die Ergebnisse auf andere Bereiche der horizontalen Nassprozesse angewandt werden können. Eine zusätzliche deutliche Reduktion des Wasserverbrauchs bei der Horizontaltechnik kann durch den Ersatz computergesteuerter Mess- und Regeltechnik erreicht werden. Die Entwicklung geeigneter Systeme könnte Thema eines nächsten Entwicklungsschritts sein.

I. INHALTSVERZEICHNIS

1 Zusammenfassung	7
2 Einleitung	8
2.1 Ausgangssituation / Problemstellung	8
2.2 Vorversuche	9
2.3 Innovativer Lösungsansatz	10
2.4 Projektziele.....	14
Technologische Ziele	14
Wirtschaftliche Ziele	15
2.5 Aufgabenstellung	15
AP 5: Monate 1 - 18 Projektmanagement	18
3 Projektumsetzung	20
3.1 Laboraufbau: Umbau einer bestehenden Laborätzmaschine	20
3.2 Machbarkeitsstudie	21
3.3 Elementausführung	22
3.4 Umsetzung von Lösungsvariante 2: Entwicklung der Einzeldüsen	23
3.5 Frequenzmessung	24
3.6 Versuch mit Einzeldüsen.....	25
3.7 Einfluss von Strömungsstabilisatoren	26
3.8 Test des Gesamtsprühbildes mit Düsenstock.....	27
3.9 Aufbau und Versuch mit Düsenstock für Einzeldüsen	28
3.10 Transparente Düse zur optischen Prüfung.....	29
3.11 Kundenversuch: Sonderdüse mit Sprühwinkel 120°	29
4 Projektergebnisse	30
4.1 Technologische Ergebnisse	30
4.2 Umweltrelevanz.....	30
5 Verbreitung der Projektergebnisse	31
6 Fazit	32

II. VERZEICHNIS: BEGRIFFE, ABKÜRZUNGEN UND DEFINITIONEN

Abkürzung	
FuE	Forschung und Entwicklung
PP	Polypropylen
PE	Polyethylen
PVDF	Polyvinylidenfluorid
PVC	Polyvinylchlorid
EPDM	Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk
Viton	Viton ist die Warenbezeichnung der DuPont Performance Elastomere für deren Fluorelastomere

Definition	
Hz	Sprühimpulse pro Sekunde
DES	Develop-Etch-Strip (Ätzanlage mit Entwickler und Stripper)

1 Zusammenfassung

Der Abschlussbericht dieses von der DBU geförderten Projekts beschreibt die Konzeption, Entwicklung und Realisierung einer strömungsoptimierte Spültechnik zur Verminderung des Chemikalien- und Wasserverbrauchs beim Ätzen von Leiterplatten.

Ausgangsbasis:

Spülanlagen, die standardmäßig bei der Leiterplattenproduktion zum Einsatz kommen, werden mit ca. 600 l/Stunde Wasserdurchlauf betrieben. Die Anlagen laufen mindestens im Zweischichtbetrieb (> 5000 Betriebsstunden / Jahr). Somit ergibt sich ein Verbrauch von ca. 3000 m³ Wasser pro Jahr und Produktionslinie. In Deutschland sind ca. 250-300 solcher Linien in Betrieb - mit einem geschätzten Gesamtverbrauch von über 900.000 m³ Wasser.

Zielsetzung:

Durch das strömungsoptimierte Spülen sollten ca. 150 l Wasser je Stunde eingespart werden. Daraus errechnet sich ein Einsparpotenzial von ca. 750 m³ Wasser pro Jahr und Produktionslinie, insgesamt ein Einsparpotenzial von über 150.000 m³ Wasser p. a. allein in der Leiterplattenfertigung der Fa. Vaas LT.

Projektziel war es, mit Hilfe der neuartigen Impulsdüsenteknik diese Einsparzielwerte vollständig oder zu mindestens 70% zu erreichen, was immer noch eine deutliche Verbesserung gegenüber dem Stand der Technik bedeuten würde.

Ergebnis:

Mit Hilfe der geschaffenen Prototypen-Anlage wurde nachgewiesen, dass

- die im Labortest ermittelten Ergebnisse auf einer Fertigungsanlage reproduzierbar sind
- die Qualität der gefertigten Produkte gesteigert werden konnte. Neben der Verkürzung der erforderlichen Anlagentechnik
- die Impulsdüse über längeren Zeitraum zuverlässig in der Funktion ist
- ein geringerer Pumpendruck bei gleichzeitiger Steigerung der Effizienz erforderlich ist.

2 Einleitung

2.1 Ausgangssituation / Problemstellung

Bei der Leiterplatten-Fertigung stellt das Ätzen der Leiterbahnen den zentralen Fertigungsschritt dar. Dabei wird die zu erzeugende Struktur durch eine ätzresistente Maske abgedeckt, die nur die zu entfernenden Bereiche freilässt. Die Masken bestehen je nach zu verwendendem Ätzmedium aus Polymeren (saure Ätzmedien) oder Metallen (alkalische Ätzmedien).

Die Chemikalien müssen nach dem Ätzschritt von den Leiterplatten wieder entfernt werden. Dafür gibt es im Stand der Technik viele unterschiedliche Verfahren (Eintauchen, Spülen, Spritzen, ...). Als wassersparende Spültechniken gelten:

- Kaskadenspülung; dabei wird das Spülwasser über mehrere Spülteile geführt
- Spritzspültechniken
- Mehrfachnutzung des Spülwassers durch Kreislaufführung über Ionentauscher; dabei wird das Spülwasser nach jedem Spülvorgang in der Ionenaustauscheranlage gereinigt und rückgeführt

Als besonders vorteilhaft hat sich dabei das Spritzspülen herausgestellt. Dazu wird über Verteilungsleitungen das Spülwasser zu einer Anordnung von Spritzdüsen geführt und dort als kontinuierlicher, meist fächerförmiger Spülstrahl aus einer oder mehreren Düsen auf das Werkstück geleitet. Je nach Düsentyp werden dabei Tropfen von $<100\mu\text{m}$ Durchmesser erzeugt.

Durch den Aufprall der Spülflüssigkeit auf der Oberfläche kommt es zu einer Durchmischung mit den Chemikalien und somit zu einem effizienten Abtrag. Aus strömungstechnischer Sicht sind die bislang verwendeten Verfahren mit statischem, d.h. immer gleich starkem Spülstrahl, aber noch nicht optimal.

Die gleichbleibende Richtungs- und Geschwindigkeitsverteilung der Tröpfchen im Spülstrahl kann beispielsweise dazu führen, dass aufgrund sich ausbildender Strömungen auf der Leiterplatte nicht alle Ecken der Strukturen in gleichem Maß oder mit gleicher Geschwindigkeit gespült werden. Deswegen wird mit einem erheblichen Überschuss an Spülflüssigkeit gearbeitet, der weit über die Menge hinausgeht, die bei optimaler turbulenter Spülung benötigt würde.

Durch eine Pulsation des Spülstrahls kann ein besserer Ionenaustausch auf den gespülten Oberflächen und somit ein besseres Spülergebnis bei geringerem Wasserverbrauch erreicht werden. Die Entwicklung der dazu notwendigen Anlagentechnik und der Düsen ist Ziel unseres Projekts.

Alle bekannten Ansätze, eine Pulsation zu erzeugen (siehe folgende Tabelle), haben sich als zu langsam für die Nutzung in der Leiterplattenfertigung erwiesen. So hatte beispielsweise die Firma Hitachi die Pulsung des Spülstrahls in der Rohrleitung patentiert, die jedoch bislang in keiner am Markt verfügbaren Anlage umgesetzt wurde.

Die ebenfalls bekannte Lösung zur Pulsation eines Wasserstrahls wurde von der Firma Piller Entgrattechnik, Ditzingen, entwickelt. Soweit wir ermitteln konnten, wurden Lösungen zur Erzeugung von hochenergetischen pulsierenden Wasserstrahlen zum Materialabtrag entwickelt. Die Lösung auf Basis einer Resonanzkammer ist aber auf die Pulsation des Strahls (Zerfall des Strahls in große Tropfen für den Materialabtrag) für die Anwendung des Wasserstrahlschneidens beschränkt und somit nicht mit der im Projekt angestrebten Lösung für das Spülen in der Leiterplattenherstellung vergleichbar.

Verfahren	1	2	3	4
Anlagenhersteller	Hitachi	Piller	Standard	LP Chemie Projektziel
Düsentyp	Einzeldüse mit Unterbrechung VOR dem Strahl	Einzeldüse für Wasserstrahlschneider	Einzeldüse ohne Puls	Einzeldüse mit Unterbrechung NACH dem Strahl
Wasserverbrauch je m² Leiterplattenfläche	Nicht bekannt. Laut Info nie erfolgreicher Serieneinsatz	Kein Einsatz bei LP-Herstellung	250-300 l/h	100-150 l/h
Art der Strahlpulsung	In der Rohrleitung vor der Strahlformung	In einer Resonanzdüse	---	Antrieb durch Turbine, Unterbrechung durch Impulsgeber
Anmerkungen	Kam nie zur Serie, da Sprühbild sich nicht aufbauen konnte (Unterbrechung VOR dem Strahl)	Gebündelter Strahl Tropfengröße zu groß, keine Flächenabdeckung	Winkel 45-60°	Winkel 30° mit 2fach-Ausgang. Dadurch Flächenabdeckung mit höherer Energie

Hierfür wurde ein fächerförmiger Sprühstrahl mit Tröpfchengrößen von ca. 100 µm und einem Öffnungswinkel von 30° benötigt, der KEINEN Materialabtrag erzeugt, sondern homogen und gleichmäßig über eine große Fläche arbeitet. Dieser Strahl muss VOR der Pulsation erzeugt werden, da er ca. 2 Sekunden braucht, um an einem Düsenausgang stabil bereitzustehen. Eine Pulsung in der Düse vor der Strahlformung würde jedes Mal die erneute Stabilisierung am Düsenausgang erfordern, so dass nur eine Taktzeit von deutlich über 2 Sekunden (0,5 Hz) möglich wäre.

Weitere Projekte, wie auch das der Firma Piller, verfolgten die Energieeinsparung beim Wasserstrahlschneiden durch die Optimierung des hydraulischen Systems. Dies ist im beschriebenen Projekt NICHT das vorrangige Ziel. Wir verfolgen die Wassereinsparung als Hauptziel. Dies ist bei uns nicht – vergleichbar zur mechanischen Fertigung – einfach durch Herausfiltern des abgetragenen Materials in einem an sich schon geschlossenen Prozesswasserkreislauf erreichbar. Die Wassereinsparung bei der Leiterplattenreinigung ist sofort in voller Höhe als Minderung des Frischwasserverbrauchs wirksam.

2.2 Vorversuche

Erste Vorversuche mit einfachen Aufbauten ergaben, dass der Ansatz prinzipiell funktioniert und bei erfolgreicher Umsetzung voraussichtlich mit einer Reduktion des Spülwasserverbrauchs um 25% bei gleichem Spülergebnis zu rechnen wäre.

Der Vorversuch wurde wie folgt durchgeführt:

Benutzte Geräte:

1. Labormaschine mit 20 Liter Volumen
2. Sprühstöcke vertikal mit Standarddüsen
3. Bau eines Käfigs aus Kohlefaserstäben, welcher durch Zahnräder um die Sprühstöcke gedreht wird und die Pulsation verursacht
4. Testplatten mit Kupfer und Epoxy-Basismaterial
5. Messung des Oberflächenwiderstandes als Rückschluss auf die Ionenkonzentration auf der Oberfläche

Versuchsdurchführung:

1. Verunreinigung der zu spülenden Oberfläche mit Kochsalzlösung
2. Spülen der Testplatte **ohne** Pulsierung
3. Messung des Oberflächenwiderstandes

Die Messung ergab einen 25-30% niedrigeren Widerstand der Oberfläche.
Durch diesen Test wurde die grundlegende Funktion überprüft und nachgewiesen.

Bei einem folgenden Test wurde das Spülwasser verunreinigt und anschließend 2 Testplatten gespült. Jeweils 1 Platte mit und ohne Pulsierung bei gleicher Geschwindigkeit und Spülwasserqualität.

Das Resultat war ein um etwa 20% geringerer Oberflächenwiderstand bei der gepulsten Variante. Hierdurch lässt sich schließen, dass bei schlechterer Wasserqualität ein deutlich besseres Spülergebnis erzielbar ist. Dadurch muss das Spülwasser nicht in dem bisherigen Maße mit Frischwasser erneuert werden.

Im Rahmen des FuE-Projekts sollte die praktische Umsetzung des Prinzips realisiert werden.

2.3 Innovativer Lösungsansatz

Im Projekt sollte die von LP Chemie zum Patent angemeldete Idee (DE 10 2006 059 046 A1) zur Pulsung des Spülstrahls nach dem Austritt aus der Düse umgesetzt werden.

Dadurch sollte erreicht werden, dass kein gleichförmiger, sondern ein gepulster Strahl der Behandlungsflüssigkeit auf die Oberfläche des Gutes trifft. Durch die Pulsation wird vermieden, dass sich eine laminare Strömung auf der Oberfläche ausbildet, bei der es bekanntlich zu keiner Verwirbelung zwischen Spülmedium und abzuspülender Substanz kommt.

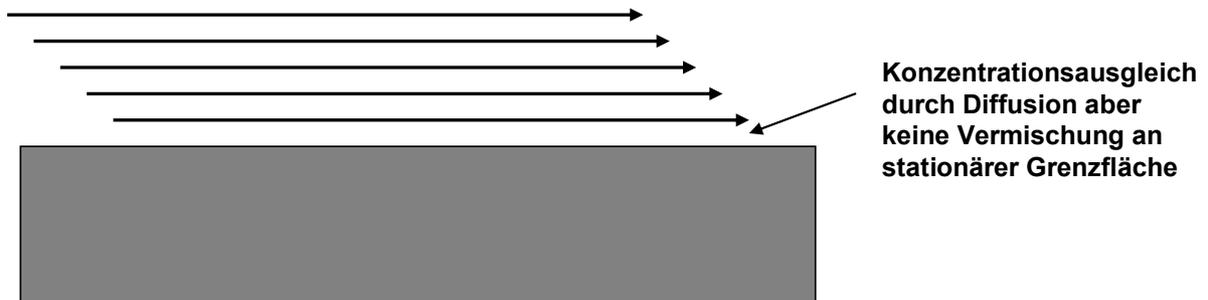


Abbildung 2-1: laminare Strömung als Ursache für geringe Spülwirkung

Durch die auftretenden Turbulenzen wird außerdem dafür gesorgt, dass das Spülmedium besser in Vertiefungen und Kanäle eindringt, die durch den Prozess selbst (nasschemisches Ätzen) oder vorhergehende Prozessschritte (Bohren, Lasern, ...) hergestellt wurden. Bei statischen, laminaren Spülströmungen entstehen hingegen an Ecken und Kanten Strömungsschatten, d. h. in den Bereichen, in denen es durch Wirbelbildung zu einer stationären Kreisströmung kommt, bei der kein Abtransport erfolgt.

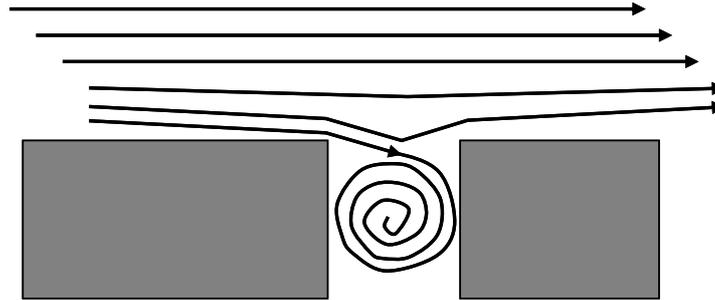


Abbildung 2-2: Entstehung von stationären Wirbeln in Löchern und Abzweigungen bei stationärer laminarer Strömung

Um die notwendige Turbulenz im Strom des Spülmediums zu erreichen, zielte unser Lösungsansatz auf die Pulsation des Spülstrahls ab.

In den Anlagen, die von unseren Kunden zur Herstellung von Leiterplatten genutzt werden kommt ein fächerförmiger Sprühstrahl zum Einsatz mit Tröpfchengrößen von ca. 100 µm und einem Öffnungswinkel von 30° der KEINEN Materialabtrag erzeugt, sondern homogen und gleichmäßig über eine große Fläche arbeitet.

Es dauert ca. 2 Sekunden, bis nach Einschalten der Wasserzufuhr ein stabiler Strahl am Ausgang der Spüldüsen bereitsteht. Eine Pulsung in der Düse vor der Strahlformung würde jedes Mal die erneute Stabilisierung am Düsenausgang erfordern, so dass nur eine Taktzeit von deutlich über 2 Sekunden (0,5 Hz) möglich ist.

Vorversuche haben gezeigt, dass wir hingegen eine Taktung von ca. 40 – 60 Hz benötigen, die nur durch eine Pulsation eines bereits stabilen Strahls NACH der Strahlformung erreicht werden kann und AUSSERHALB der Düse erfolgen muss.

Im Gegensatz zu den oben im Stand der Technik beschriebenen Lösungen wollten wir eine mechanische Pulsation durch Unterbrechung des ausgeformten, stabilen Spülstrahls NACH dem Austritt aus der Düse realisieren. Dies könnte im einfachsten Fall durch eine flexibel bzw. beweglich gelagerte Platte („Strahlunterbrechung“) erreicht werden.

Mögliche Realisierungsformen sind in den folgenden Abbildungen zu sehen.

1.) Realisierung als drehbare, runde Lochplatte

Hierbei rotiert unter der Düse eine elektrisch oder hydraulisch angetriebene, runde Lochscheibe. Trifft der Strahl auf eines der Löcher so kann er ungehindert durchtreten und trifft auf die zu spülende Oberfläche. Trifft er hingegen auf einen geschlossenen Scheibenbereich, so wird die Strömung auf der zu spülenden Oberfläche unterbrochen.

Der dazu notwendige Aufbau ist zweiteilig und bedingt zumindest einen externen Antrieb für die Lochplatte

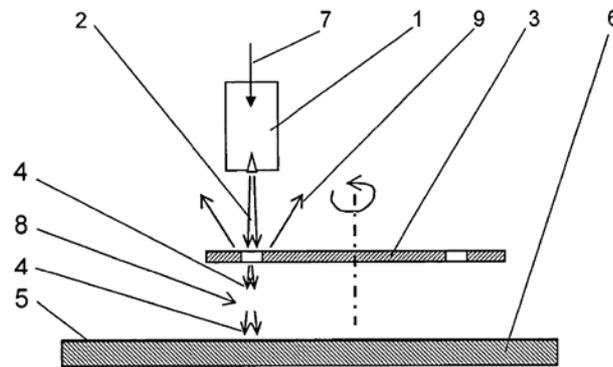


Abbildung 2-2: Pulsation durch drehbare Lochplatte

(1 Düse, 2 Spülstrahl, 3 Lochplatte, 4 Spülstrahl nach Pulsation, 5 zu spülende Oberfläche, 6 zu spülendes Bauteil, 7 Zufuhr Spülmedium, 8 Unterbrechung im Spülstrahl, 9 abgelenktes Spülmedium)

2.) gelochter Zylinder mit zentraler Versorgungsleitung

Eine alternative Methode, die die gleichzeitige Erzeugung mehrerer gepulster Strahlen ermöglicht, wäre ein um eine Versorgungsleitung rotierender, gelochter Zylinder wie in der folgenden Abbildung dargestellt.

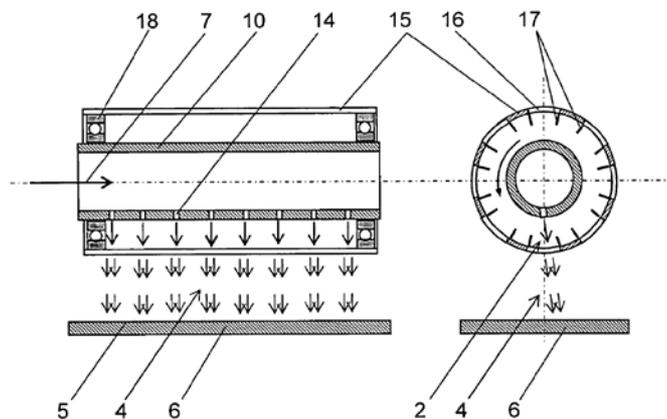


Abbildung 2-3: Pulsation durch drehbare Lochzylinder

(2 aus der Versorgungsleitung austretender Spülstrahl, 4 Spülstrahl nach Pulsation, 5 zu spülende Oberfläche, 6 zu spülendes Bauteil, 7 Zufuhr Spülmedium, 10 Leitung für Spülmedium, 14 Austrittsöffnung aus Versorgungsleitung, 15 Zylindermantel, 16 Öffnungen im Zylinder, 17 „Kragen“ um die Öffnungen herum, 18 Wälzlager)

Der Antrieb könnte durch einen Motor oder durch die geeignete Anströmung der „Krägen“ (17) mit einem schräg aus der Leitung (10) austretenden Spülstrahl (2) erfolgen. Diese Lösung ist für die Reinigung größerer Flächen geeignet, bedingt aber ebenfalls einen aufwändigen technischen Aufbau.

3.) Nutzung einer elastisch aufgehängten, gelochten Prallplatte

Den Nachteil der beiden vorhergehend beschriebenen Lösungen, nämlich die Notwendigkeit eines elektrischen oder hydraulischen Antriebs, wollen wir durch das in der folgenden Abbildung gezeigte Prinzip umgehen.

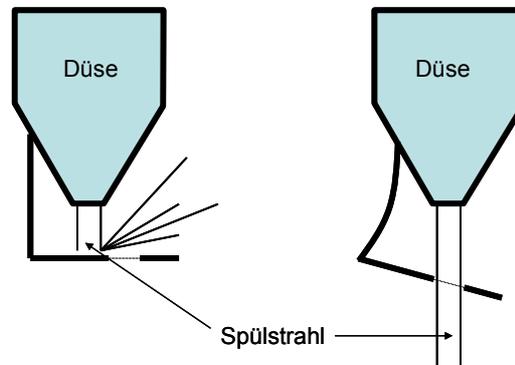


Abbildung 2-4: Funktionsprinzip der mechanischen "Strahlunterbrechung"

Dabei trifft der Strahl nach dem Austritt aus der Düse auf eine beweglich gelagert Prallplatte, die mit einem oder mehreren Löchern versehen ist.

Solange der Strahl auf die „ungelochten“, d.h. soliden Bereiche der Platte auftrifft wird er abgelenkt und erzeugt dabei eine Kraft (Staudruck) auf die Platte, die diese auslenkt. Durch eine geeignete Auslegung der Platte – insbesondere die Abstimmung zwischen Elastizität, Befestigungspunkten und Position der soliden und gelochten Bereiche – kann erreicht werden, dass der Strahl durch die Auslenkung auf einen Bereich der Platte trifft, wo er durch diese hindurchtreten kann.

In dem Moment, in dem er diesen Bereich trifft, erfährt die Platte aber auch keine auslenkende Kraft mehr, da der Staudruck zusammenbricht. Die elastische Aufhängung führt nun dazu, dass die Platte in die Ausgangsposition zurückschwingt, der Strahl wieder auf einen soliden Bereich trifft und der beschriebene Zyklus erneut durchlaufen wird.

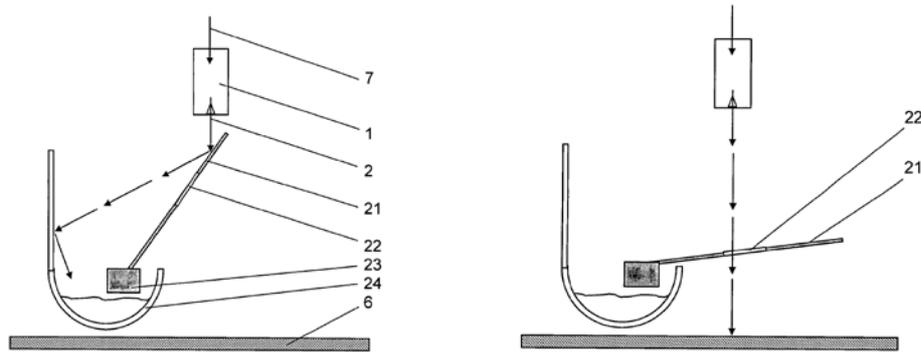
Somit kommt es zu einem Schwingen der Lochplatte, das in seiner Frequenz von mehreren Faktoren abhängt:

- Masse der Platte
- Position und Größe der soliden und gelochten Bereiche
- Position und Elastizität der Aufhängung
- Stärke, d.h. Volumenstrom des Spülstrahls

Insbesondere die elastischen Eigenschaften und Abmessungen des Plättchens sowie die hydrodynamischen Bedingungen der Behandlungsflüssigkeit bestimmen die optimale Frequenz der pulsformigen nasschemischen Behandlung.

Von besonderem Vorteil bei diesem Lösungsansatz ist, dass der Antrieb der Pulsation durch den Volumenstrom des Reinigungsmediums selbst erzeugt wird und somit keinerlei zusätzliche Antriebe notwendig sind.

Die elastische Befestigung der Prallplatte kann auf verschiedene Weise erfolgen. Zum Einen ist eine Befestigung direkt an der Düse, ggf. sogar eine Integration in das Gehäuse der Düse direkt denkbar. Zum Zweiten ist eine von der Düse getrennte Anordnung wie in der folgenden Abbildung denkbar, bei der die Prallplatte mit einer Sammel- bzw. Ablaufrinne für das abgelenkte Spülmedium verbunden ist.



Abbild. 2-5: Kombination von Prallplatte und Sammelrinne (links Spülstrahl abgelenkt, rechts Spülstrahl durchtretend auf die zu spülende Oberfläche)

(1 Düse, 2 Spülstrahl, 6 zu spülendes Bauteil, 7 Zufuhr Spülmedium, 21 solider Bereich der Prallplatte, 22 durchlässiger Bereich der Prallplatte, 23 Aufhängung / Montagepunkt mit Rückstellung, 24 Sammelrinne)

Diese Lösung kann somit sowohl bei neuen wie bei bereits bestehenden Anlagen integriert werden. Die Möglichkeiten zur Platzierung der elastischen Aufhängung und zur Ausgestaltung der Prallplatte sind dabei so vielfältig, dass für jede bestehende Anlagenform eine robuste Lösung möglich erscheint.

Besonders robust erscheinen hier die rotationssymmetrischen Anordnungen (Punkt 2.), die von innen mit dem Spülmedium versorgt werden. Hierbei ist der Vorteil, dass der Antrieb in einer Kreisbewegung rotiert und dadurch ein geringerer Druck auf das Material erfolgt. Die Apparatur wird dabei durch das durchfließende Wasser angetrieben.

Nach ersten Abschätzungen ist Polypropylen für die relativ geringen Drücke von bis zu 3,5 bar ausreichend. Problematisch stellt sich lediglich noch die Auswahl eines geeigneten und kostengünstigen Lagers. Hierfür müssen noch weitere Nachforschungen und Versuche angestellt werden. Bei den ersten Prototypen muss umgehend die Einwirkung auf die Materialien und Komponenten überprüft werden.

2.4 Projektziele

Technologische Ziele

Ziel des Projektes war es, aus den verschiedenen Realisationsmöglichkeiten des Funktionsprinzips diejenigen zu entwickeln, die für die jeweilige Applikation die beste Kombination aus Leistung, Qualität, Wasserreinsparung und Nachrüst- bzw. Ausrüstkosten darstellt.

Technische Ziele waren im Einzelnen:

1. Einfache Integration in bestehende Anlagen
2. Vielseitige Einsatzmöglichkeiten
3. Verkürzung der Prozesszeiten
4. Höhere Effizienz der Anlagen und Prozesse

Wirtschaftliche Ziele

1. Hohe Wassereinsparung
2. Erhöhung der Produktivität
3. Einsparungen an Investitionskosten bei Neuanlagen
4. Kosteneinsparungen durch Prozessoptimierung

2.5 Aufgabenstellung

Während des Projekts sollten

- die Hardware für das strömungsoptimierte Spülen entwickelt und aufgebaut werden
- die Verfahren und Baugruppen im Labormaßstab untersucht und für den großtechnischen Einsatz skaliert werden
- das Einsparpotenzial im Feldversuch bei der Firma Vaas LT untersucht werden.

Im Projekt sollte LP Chemie die Entwicklung der technischen Grundlagen und der Anlagen, die Firma Vaas die Arbeiten zur Untersuchung, Entwicklung, Skalierung und Bewertung der Verfahren übernehmen.

Aus der Aufgabenstellung und -verteilung ergaben sich folgende im Projektplan festgelegten Arbeitspakete:

DBU-Projekt "Optimierung Spültechnik"		Jahr 1												Jahr 2					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Entwicklung strömungsoptimiertes Ätzbad																			
1	Entwicklung eines steuerbaren Düsenarrays zur flexiblen Anströmung																		
2	Entwicklung und Prototypenbau eines Laborspülers																		
3	Untersuchung und Einstellung der Verfahrensparameter																		
4	Skalierung der Anlagentechnik und Durchführung Feldstudie zur Bestimmung des Einsparpotenzials im realen Gebrauch																		
5	Projektmanagement																		

Tabelle 2-1: Aufgabenstellung

In einem ersten Schritt (**Arbeitspaket 1**) sollte die Entwicklung eines Düsenarrays zur Anströmung der zu spülenden Oberflächen geplant werden.

Die Technik sollte sodann als Labor-Prototyp (**Arbeitspaket 2**) aufgebaut werden, um unter idealisierten Bedingungen die Verfahren zu untersuchen und die Parameter optimieren zu können (**Arbeitspaket 3**). Am Ende der Laboruntersuchungen stand ein Meilenstein hinsichtlich der Erreichbarkeit der gesetzten Einsparziele und der Entscheidung über die Skalierung der Anlagentechnik für die Feldversuche.

Sollten die geplanten Ziele in der Laborumgebung erreicht werden, würden die Komponenten für das strömungsoptimierte Spülen skaliert und in eine Full-Scale-Anlage integriert. Anschließend sollten dann die Versuche durchgeführt werden, die zur Beurteilung des Einsparpotenzials notwendig wären (**Arbeitspaket 4**).

Arbeitspaket 5 umfasste das Projektmanagement, das die Dokumentation der Ergebnisse und die Auswertung zur Beurteilung der Umweltrelevanz beinhaltet.

Beschreibung der geplanten Arbeitspakete im Einzelnen:

AP1: Monate 1 - 3

Entwicklung eines steuerbaren Düsenarrays zur flexiblen Anströmung

Ziele und Voraussetzungen des Arbeitspakets

Ziel des Arbeitspakets war ein Prototyp eines steuerbaren Düsenarrays, dessen Düsen in der Lage sind, einen gepulsten fächerförmigen Spülstrahl mit einem Öffnungswinkel von 30° abzugeben.

Durchzuführende Arbeiten:

Für das Arbeitspaket waren folgende inhaltlichen Arbeiten vorgesehen:

- Review und Festlegung der technischen Zielparameter
- physikalische Simulation und Berechnung der Düsengeometrie, insbesondere Betrachtung der Druckverhältnisse, der mechanischen Belastung, der Sicherheitsgrenzen
- Berechnung und konstruktive Auslegung der Komponenten für die Pulsation
- Festlegung der Materialanforderungen, Materialrecherche, Beschaffung der Materialien für den Aufbau des Prototyps
- Aufbau und Test eines ersten Prototyps des Düsenarrays
- Entwicklung der Schnittstellen für die Chemie (Medienzufuhr, Medienabfuhr, Zudosierung) und die Steuerung (Temperatur- und Drucksensorik, Dosierventile und deren Ansteuerung)
- Entwicklung, Aufbau und Integration der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik

Risiken und Gegenmaßnahmen:

Vorversuche hatten gezeigt, dass das geplante Prinzip die Funktion erfüllen sollte. Noch nicht absehbar war, wie sich die eingesetzten Materialien in der Anwendung verhalten würden (Elastizitätsverlust, Versprödung, Bruch, ...). Um das Risiko zu minimieren, wurde extra eine Materialrecherche geplant, um möglichst alle technischen Alternativen bewerten und die beste auswählen zu können.

Meilensteine:

Abschluss der Konstruktion und Materialrecherchen
Fertigstellung des Prototyps für das Düsenarray

Monat 2
Monat 4

AP 2: Monate 4 - 7

Entwicklung und Prototypenbau eines Laborspülers

Ziele und Voraussetzungen des Arbeitspakets

Ziel des Arbeitspakets war die Entwicklung und der Aufbau eines Prototyps für einen Laborspüler und die Integration des Düsenarrays. Voraussetzung hierfür war die Festlegung der Konstruktionsdetails des Düsenarrays in AP 1.

Durchzuführende Arbeiten:

Für das Arbeitspaket waren folgende inhaltlichen Arbeiten vorgesehen:

- Konstruktion der Komponenten für den Laborspüler (Anbindung Düsenarray, Zu- und Ableitungen, Medienversorgung, elektrische Anschlüsse, ...)
- Entwicklung der Steuerung (Temperatur- und Drucksensorik, Dosierventile und deren Ansteuerung)
- Entwicklung der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik
- Modularisierung zur Nachrüstung bestehender Anlagen

Risiken und Gegenmaßnahmen:

Das technische Risiko dieses Arbeitspaketes war die Anbindung an die MSR-Technik, da es dafür bislang keine entsprechenden Standardlösungen gibt. Die Basis, um das Risiko überschaubar zu halten, war das bereits in AP 1 enthaltene Review der Zielparameter, das während der Arbeitspakete regelmäßig überarbeitet und mit dem erreichten Stand abgeglichen wurde.

Meilensteine:

Fertigstellung des Prototyps Monat 7

AP 3: Monate 8 - 12

Untersuchung und Einstellung der Verfahrensparameter

Ziele und Voraussetzungen des Arbeitspakets

Ziel des Arbeitspakets war die Untersuchung des Einflusses der neuen Spültechnik auf grundlegende Verfahrensparameter und ggf. deren Anpassung. Voraussetzung für die Durchführung war die Verfügbarkeit des Prototyps für den Laborspüler aus AP 2.

Durchzuführende Arbeiten:

Für das Arbeitspaket waren folgende inhaltlichen Arbeiten vorgesehen:

- Versuchsreihen unter idealisierten Laborbedingungen zur Bestimmung der Verfahrensparameter (Druck, Durchfluss, Verlust, Standzeit, Durchsatz, Qualitätsentwicklung, ...)
- Untersuchung der Ergebnisse durch Schliffe im REM, optisches Mikroskop
- Chemische Analyse der Entwicklung der Ätzbäder im Laufe der Versuchsreihen
- Ableitung von Skalierungseffekten

Risiken und Gegenmaßnahmen:

In diesem Arbeitspaket lag das zentrale technische Risiko des Projekts. Dieses bestand darin, dass der Einfluss der Pulsation auf die Verfahrensparameter allein durch deren Opti-

mierung nicht soweit verringert werden kann, dass ein Einsatz in größerem Maßstab möglich ist.

Meilensteine:

Abschluss des Arbeitspakets Monat 12

AP 4: Monate 13 - 18**Skalierung der Anlagentechnik und Durchführung Feldstudie zur Bestimmung des Einsparpotenzials im realen Gebrauch****Ziele und Voraussetzungen des Arbeitspakets**

Ziel des Arbeitspakets war die Bestimmung des realisierbaren Einsparpotenzials bei Einsatz der Pulsationsdüsen in der Leiterplattenfertigung. Voraussetzung dafür war der Nachweis, dass die Verfahrensparameter so angepasst werden können, dass ein sicheres, mit der herkömmlichen Qualität vergleichbares Prozessergebnis erzielt werden kann.

Durchzuführende Arbeiten:

Für das Arbeitspaket waren folgende inhaltlichen Arbeiten vorgesehen:

- Konstruktion der Anlagenkomponenten (Zu- und Ableitungen, Medienversorgung, elektrische Anschlüsse, ...) zur Einbindung in Full-Scale-Testanlage
- Entwicklung der Schnittstellen für die Chemie (Medienzufuhr, Medienabfuhr, Zudosierung) und die Steuerung (Temperatur- und Drucksensorik, Dosierventile und deren Ansteuerung)
- Entwicklung der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik
- Einbindung in Full-Scale-Testanlage
- Durchführung von Versuchsreihen unter Realbedingungen zur Bestimmung von Ätzraten, Ätzratenverteilung, Homogenität des Verfahrens, Standzeit, Durchsatz, Qualitätsentwicklung und zur Beurteilung der dabei erreichbaren Einsparungen
- Auswertung und Dokumentation der Versuchsreihen und Bestimmung der Einsparpotenziale, Vergleich mit den formulierten Projektzielen, ggf. Analyse der Abweichungen und Abstimmung von Verbesserungsmöglichkeiten

Risiken und Gegenmaßnahmen:

Das zentrale Risiko dieses Arbeitspakets bestand darin, dass sich mit dem Scale-Up-Einflüsse der neuen Technik auf die Verfahrensparameter ergeben, die in den vorher durchgeführten Arbeiten nicht erkannt wurden.

Meilensteine:

Abschluss der Konstruktion Monat 16
Nachweis des Einsparpotenzials Monat 18

AP 5: Monate 1 - 18**Projektmanagement****Ziele des Arbeitspakets**

Ziel war das Management des Projekts einschließlich aller Arbeiten zur Organisation der Projektarbeit, zur inhaltlichen und zeitlichen Abstimmung, zur Festlegung von Korrekturmaßnahmen sowie zur Erstellung der inhaltlichen und finanziellen Dokumentation.

Durchzuführende Arbeiten:

Für das Arbeitspaket waren folgende inhaltlichen Arbeiten vorgesehen:

- Durchführung Kick-Off-Meeting, interne Treffen der Partner zur jeweils aktuellen Abstimmung der Arbeiten und der Zeitplanung
- Abgleich der inhaltlichen und zeitlichen Planung mit dem tatsächlichen Projektfortschritt
- Abstimmung von Gegenmaßnahmen bei Abweichungen vom Projektplan
- inhaltliche und zeitliche Koordination der Arbeiten der Mitarbeiter beider Partner
- Vorbereitung, Durchführung und Dokumentation von Arbeits- und Organisationsmeetings
- Erstellung Zwischen- und Abschlussdokumentation

Risiken und Gegenmaßnahmen:

Hauptrisiko beim Projektmanagement ist die Einhaltung der zeitlichen und inhaltlichen Planung. Um das Risiko für Abweichungen von der gemeinsamen Zielsetzung zu minimieren war ein regelmäßiger Austausch zwischen den Projektmitarbeitern beider Partner vorgesehen.

Meilensteine:

Kick-Off-Meeting

Monat 1

Projektabschluss und -dokumentation

Monat 18

3 Projektumsetzung

3.1 Laboraufbau: Umbau einer bestehenden Laborätzmaschine

Für den ersten Testaufbau im Technikum wurde eine bestehende Laborätzmaschine umfunktioniert. Die bisher verwendete Ätzkammer wurde zur Spülkammer umgewandelt. Gemessen wurde die Leitfähigkeit in der Kammer. Wie in der Praxis wurde die letzte Spülzone mit einer Leitfähigkeit von 15-30 μS ausgelegt.

Die Testplatten wurden dann mit und ohne Pulsfunktion gespült und die Oberfläche auf ihre Benetzbarkeit und Oberflächengüte überprüft. Hierbei wurden die Testpanels in eine Chemisch-Silber-Lösung getaucht und auf vollständige Belegung überprüft.

Anschließend erfolgten eine schrittweise Verunreinigung des Spülbades und eine Wiederholung des Tests.

Ergebnis:

Bei einer Leitfähigkeit von über 130 μS ist bei einer Pulsrate von 35 Hz die Oberfläche nach Beschichtung mit chemisch Silber zu 100 % bedeckt. Ohne Puls sind gefleckte Fehlstellen erkennbar.



Abbildung 3-1: Leitfähigkeitsmessung in Laboranlage

3.2 Machbarkeitsstudie

Als nächste Schritte folgten die Umsetzung in der Anlagentechnik sowie die Materialauswahl.

Sodann wurde mit der Firma Kuttler die Integration in Form von Elementen erörtert und umgesetzt. Hierbei rotieren Gitterelemente um die Sprühelemente und unterbrechen den Sprühstrahl. Die Ansteuerung erfolgt über frequenzgesteuerte Motoren und einem Zahnradantrieb.

Alternativ wurde die Umsetzung ohne solch weitgehenden Eingriff in die Steuerungstechnik der Anlagen angestrebt.

Lösungsansatz 1:

Unterbrechung über eine unter dem Sprührohr angebrachte Lochplatte. Die Anlage muss dazu jedoch ebenfalls umgebaut werden. Bei relativ neuen Anlagen dürfte dies ein großes Problem für potenzielle Kunden darstellen.

Lösungsansatz 2:

Generierung des Pulsstrahls durch einen Eigenantrieb. Vorstellbar ist hier eine innenliegende Turbine, die einen Unterbrecher antreibt.

Als Material für die Impulsdüse wurden in Betracht gezogen:

1. PP
2. PVDF
3. PVC
4. EPDM
5. Viton
6. RCH 1000
7. Teflon

3.3 Elementausführung

Die Elementausführung wurde von der Firma Kuttler erfolgreich umgesetzt.

Dazu wurden in einem ersten Versuch statt der bisherigen Sprühdüsen Drehkörper ähnlich einem Hamsterrad in das Sprührohr der Anlage eingebracht, um den erwünschten Pulseffekt zu erzeugen. Die Drehelemente wurden mit einem Motor über ein Zahnradgetriebe von außerhalb der Anlage angetrieben.

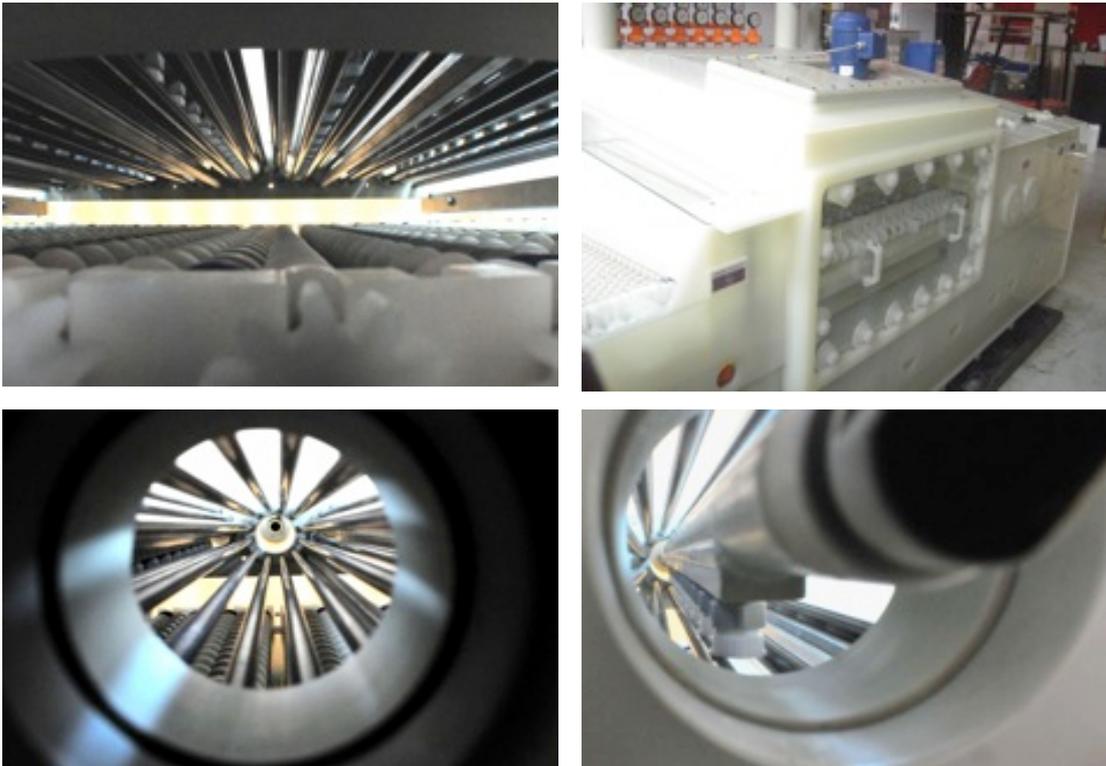


Abbildung 3-2: Rotationselemente

Folgende Schwierigkeiten / Erkenntnisse resultierten daraus:

1. Für den Anschluss an die Leiterplattenproduktion ist eine zusätzliche Motorenausstattung notwendig
2. Drastischer, kosten- und zeitintensiver Eingriff in die bestehende Anlagentechnik
3. Eingriff in die Steuerung der Anlage notwendig
4. Jeder Maschinenbauer müsste einen derartigen Düsenantrieb in die Anlagensteuerung integrieren
5. Hohe Umrüstkosten
6. Geringe Marktdurchdringungschancen, da viele verschiedene Anlagenhersteller auf dem Markt
7. Je Hersteller müsste eine individuelle Düsenvariante entwickelt werden.

Eine vergleichbare Implementierung in die Versuchsanlage bei der Firma Vaas LT scheiterte aufgrund von Platzmangel und mangelnder Kooperationsbereitschaft mit dem betreffenden Anlagenhersteller.

Fazit:

Variante 1 wurde als zu aufwendig und kostenintensiv verworfen und folglich Lösungsansatz 2 angestrebt.

Ferner zeigte sich bei der Inbetriebnahme der Kuttleranlage, dass die Verschleißerscheinungen und Laufprobleme enorm sind.

Die Firma Kuttler bevorzugt ebenfalls die Variante 2, da bestehende Kunden großes Interesse daran bekundeten. Vor allem aus dem asiatischen Bereich (China), wo von Seiten der Regierung Wassereinsparungen dringend gefordert werden.

3.4 Umsetzung von Lösungsvariante 2: Entwicklung der Einzeldüsen

Folgende Überlegungen standen bezüglich der Lösungsvariante 2 im Vordergrund:

- Wie kann die neue Spültechnik ausgestaltet werden, ohne damit in die Anlagentechnik einzugreifen?
- Wie kann eine Leiterplattenanlage ohne Umbau auf-/ ausgerüstet werden?
- Wie lassen sich die Einzeldüsen von selbst, d.h. ohne externen Antrieb, antreiben?
- Die beste Lösung hätte einen genormten Standardanschluss.

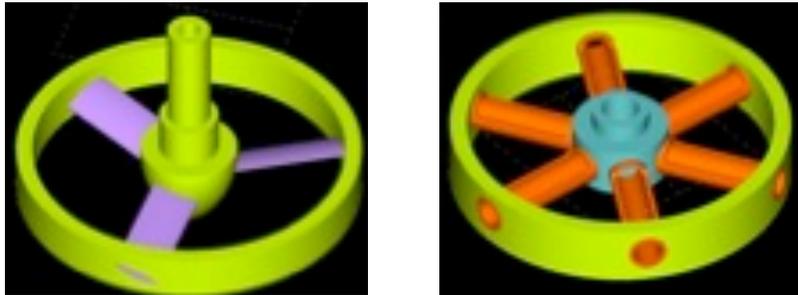


Abbildung 3-3: Antrieb (links) und Unterbrecher (rechts) eines Düsenkörpers mit integrierter Technik zur Pulserzeugung

Die Überlegungen führten zu dem Ergebnis, dass einzelne Pulsdüsen den benannten Anforderungen am besten genügen. Mit einem genormten Standardbajonettanschluss ließen sich die Einzeldüsen an 80 % aller Anlagen komplikationslos anschließen, für andere Anschlüsse müsste ein Universaladapter entwickelt werden.

So erfolgten im nächsten Projektschritt das Design, die Entwicklung und Konstruktion erster Impulsdüsenmuster nach dem Prinzip einer Wasserstrahlmaschine. In dieser befindet sich ein Turbinenrad, das eine Welle und diese wiederum den Unterbrecher antreibt.

In Entwicklungsstufe 1 wurden erste Musterdüsen aus PP gefertigt. Zur Lagerung des Turbinenrads wurden zunächst Glaskugellager verwendet. Diese führten jedoch zu hohen Verschleißkosten und durch ihren Reibungswiderstand zu hohen Energieverlusten.

Eine zweite Idee war die hydrostatische Lagerung der Welle. Das heißt, die Welle läuft auf einem Flüssigkeitspolster, das von dem durchströmenden Medium erzeugt wird. Vorteile: keine Verschleiß, da nur geringe Reibungsverluste.

Doch auch die hydrostatische Lagerung funktionierte nicht wie geplant. Bei ersten Tests kam es zu sehr unterschiedlichen Erscheinungen. Das größte Problem lag in der sicheren Funktionsfähigkeit der Düse. Ferner ist die Ermittlung der Pulsfrequenz nicht gelungen.

Da die Herstellung von Kunststoffdüsen sehr zeit- und kostenaufwendig ist, wurde die Pulsfrequenz mit Stahldüsen ermittelt. Eine rechnerische Ermittlung ging laut Anfrage bei mehreren Universitäten nicht, da die Strömungstechnik zu komplex ist.



Abbildung 3-4: Prototyp PP gespritzt

3.5 Frequenzmessung

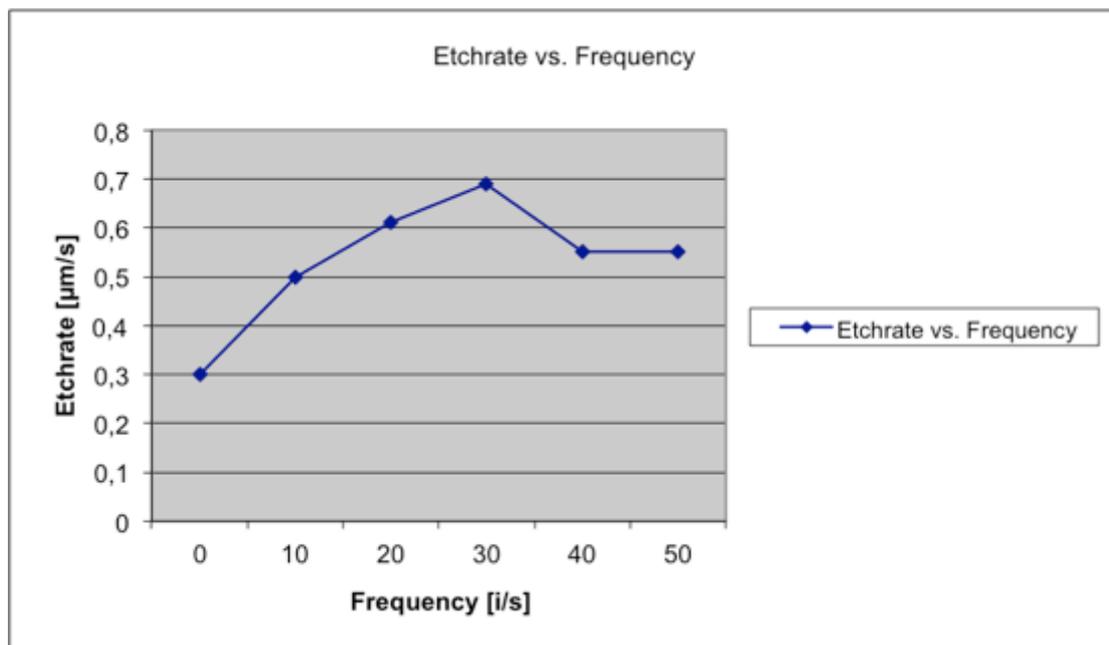


Abbildung 3-5: Verhältnis Ätzrate zu Pulsfrequenz

Das beste Ergebnis konnte bei der Elementausführung bei 35 Hz erzielt werden. In einem Testaufbau mit einer Stahldüse und Turbinen mit verschiedenen Winkeln, sowie unter Einsatz eines Richtmikrofons wurde die Frequenz durch Auftreffen des Strahls auf eine Plexiglasplatte gemessen.

Hierfür wurde durch einen beauftragten Programmierer eine entsprechende Software geschrieben.



Abbildung 3-6: Frequenzmessung

3.6 Versuch mit Einzeldüsen

Eine Düse aus Kunststoff konnte auch nach 4 Optimierungsversuchen nicht erfolgreich umgesetzt werden, da die Masse einer Kunststoff-Turbine im Vergleich zu Stahl deutlich geringer ist. Für die Reinigung in chemischen Prozessen eignen sich Kunststoffdüsen jedoch besser, da Kunststoff chemiebeständiger als Stahl ist.

Hilfe wurde von der Firma Spraying Systems erbeten. Diese hat die Kunststoffdüse nach Einsetzen von vordefinierten Fließrichtungen in der Düse zum Laufen gebracht. Der Einsatz eines Gleitlagers ist derzeit noch nicht umsetzbar.

Es wurde noch die Optimierung des Sprühbildes als Aufgabe mit aufgenommen.



Abbildung 3-7: Prototyp PP mechanisch gefertigt

Ein Betrieb über 24 h war in diesem Stadium nicht möglich, denn es traten Verschleißerscheinungen vor allem im Lagerbereich auf. Die Einführung eines hydrostatischen Lagers zeigte sich als zwingend notwendig.

3.7 Einfluss von Strömungsstabilisatoren

Im Folgenden wurde der Einfluss von Strömungssimulatoren auf die Funktionalität der Impulsdüsen untersucht:

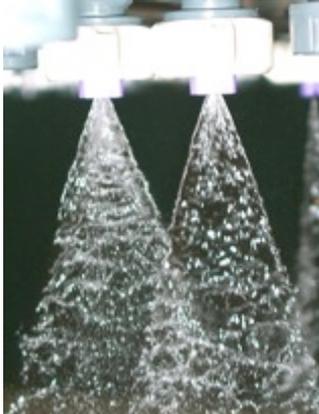


Abb. 3-8: Ohne Stabilisator



Abb. 3-9: Stabilisator



Abb. 3-10: Düse komplett

Bild 3-8 zeigt eine Düse ohne Strömungsstabilisierung.

Bild 3-9 und 3-10 stellen Stabilisatoren der Firma Spraying Systems dar, welche bereits in der Leiterplattenätztechnik eingesetzt werden.



Abbildung 3-11: Sprühstrahl mit Stabilisator

Bild 3-11 zeigt das Sprühbild mit eingesetzten Stabilisatoren. Man sieht sehr deutlich, dass der Strahl ruhiger und feiner ist.

In der nächsten und endgültigen Variante sollte dies – gemeinsam mit dem Gleitlager – umgesetzt werden.

Ferner wurde die Verkleinerung der Düse angestrebt, um eine breitere Integrationsmöglichkeit in bestehende Anlagen verschiedenster Anbieter zu erreichen.

3.8 Test des Gesamtsprühbildes mit Düsenstock



Abbildung 3-12

Bei der Firma Spraying Systems wurden das Gesamtsprühbild (Abb. 3-12) sowie die Verteilung durch die einzelnen Düsen getestet (Abb. 3-13). Die Bilder zeigen die Verteilung und das Sprühbild mit Standarddüsen. Nach Abschluss der endgültigen Prototypen wurde dies mit den Pulsdüsen durchgeführt.



Abbildung 3-13

3.9 Aufbau und Versuch mit Düsenstock für Einzeldüsen

Die Anlage wurde von der Firma Kuttler und der Firma Vaas LT erfolgreich auf die Version mit einem Düsenstock für Einzeldüsen umgebaut. Die Ausführungen der unterschiedlichen Anlagen bei der Firma Vaas wurden hierbei mit einbezogen.

Die hierfür notwendigen Prototypendüsen (128 Stück) werden in den kommenden Wochen eingebaut und getestet. Nach Freigabe erfolgt die Anfertigung des 0-Serien-Werkzeuges, mit dem 20.000 Stück hergestellt werden können.

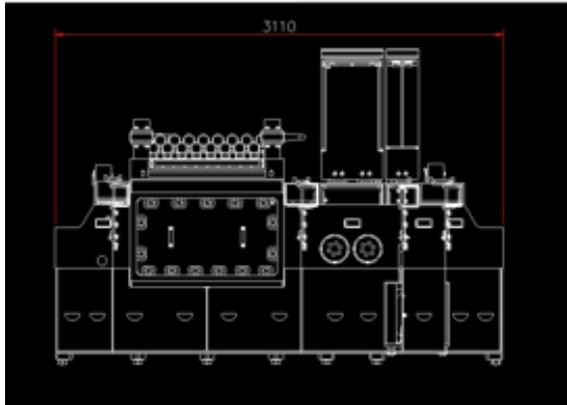


Abbildung 3-14



Abbildung 3-15



Abbildung 3-16



Abbildung 3-17

Die Abbildungen 3-14 bis 3-17 zeigen die Prototypenanlage der Firma Kuttler

Resultat:

Die Strömung ist beim Ätzen deutlich besser. Der Wasserverbrauch muss in einer realen Serienanlage erprobt werden.

3.10 Transparente Düse zur optischen Prüfung

Zur Beobachtung der Verwirbelungen und der Strömung in der Düsenkammer und für weitere Tests wurde eine Düse aus transparentem Kunststoff gefertigt und in ein gläsernes Gehäuse eingebaut.



Abbildung 3-18: Transparenter Düsenkörper

3.11 Kundenversuch: Sonderdüse mit Sprühwinkel 120°



Abbildungen 3-19 und 3-20: Sonderdüse Kundenwunsch

Eine Sonderdüse mit einem Sprühwinkel von 120° wurde nun für die Firma Franz Oberflächentechnik in Geretsried angefertigt. Das Interesse ergab sich im Laufe eines „Small Talks“ und entwickelt sich nun zu einem neuen Anwendungsfall für vertikale Anlagen in der Galvanotechnik.

Resultat:

Für eine effiziente Spülwirkung sind mindestens 60° Sprühwinkel notwendig. Besser 30 - 45°. Bei den eingestellten 120°-Winkel ist der Impact sehr gering und die Spülwirkung ähnlich wie bei einem kontinuierlichen Strahl.

4 Projektergebnisse

4.1 Technologische Ergebnisse

Folgende Technologieziele wurden im Rahmen dieser Entwicklung erreicht:

- Einfache Integration in bestehenden und neuen Anlagen
- Vielseitige Einsatzmöglichkeiten, wie zum Beispiel Resistentwickler, Ätzanlagen, Resiststripper, Lackentwickler, Reinigungsanlagen und Spülbäder
- Bis zu 50% Reduzierung der Prozesszeit und somit der notwendigen Anlagenlänge
- Steigerung der Anlagenkapazität bei bestehenden Anlagen
- Geringere Investitionskosten bei Beschaffung neuer Anlagen

4.2 Umweltrelevanz

Folgende umweltrelevanten Ziele wurden mit dieser Entwicklung erreicht:

- Einsparungen an Ressourcen durch geringeren Spülwasserbedarf
- Umweltverträglichkeit durch Einsatz langlebiger Werkstoffe
- Energieeinsparung durch kürzere Anlagen und geringere Pumpenleistung

	Bisherige Technologie	Neuentwicklung	Einsparung je Linie	Bemerkungen
Spülwasserbedarf DES	600 l/h	450 l/h	150 l/h	
Prozessbad DES	4 m	2 m	6 m	3 Prozess-Stufen
Pumpenleistung DES	6 KW	3 KW	9 KW	3 Prozess-Stufen
Waschzeit Industrielle Teilereinigung	30 Minuten	12 Minuten	18 Minuten	Je Waschvorgang
Erforderliche Temperatur Industrielle Teilereinigung	70 °C	40 °C	30 °C	Geringere Heizkosten und keine Abkühlzeit vor Weiterbearbeitung
Endreinigung Leiterplatten	15 bar	2,5 bar	12,5 bar	Geringerer Energieverbrauch und Anlagenverschleiß
Feinreinigung Industrielle Teilereinigung	120 bar	3 bar	117 bar	Geringerer Energieverbrauch und Anlagenverschleiß; Aufrüstung bestehender Anlagen möglich

Tabelle 4-1: Zusammenfassung der Leistungen

5 Verbreitung der Projektergebnisse

Der Zeitpunkt der Markteinführung der neuen Leiterplatten-Spültechnologie erfordert ein sorgfältiges Abwägen, einerseits soll eine Nachfrage dann geweckt werden, wenn die Technologie für einen industriellen Einsatz ausgereift ist, andererseits brauchen Firmen eine Vorlaufzeit von mehreren Monaten um Investitionsentscheidungen zu treffen.

Folgende Zielgruppen sind bei der Anwendung der Spültechnik in der Leiterplattenfertigung zu beachten:

- Nassprozesse bei der Innenlagenfertigung
- Sämtliche horizontale Prozesse der galvanischen Fertigung
- Nassprozesse bei der Außenlagenfertigung
- Endreinigung der Leiterplattenfertigung

Des Weiteren wurde großes Interesse bei der Photovoltaikfertigung geweckt, da dort ein enorm großer Wasserverbrauch vorhanden ist. Da die PV-Zellen empfindlich auf die mechanischen Einflüsse bei der Herstellung reagieren (Solarzellen zerbrechen), wird gemeinsam mit dem chinesischen Solarzellenhersteller Suntech Power eine eigens für diese Zwecke bestimmte Impulsdüse entwickelt.

Beschreibung der Verbreitungsmaßnahmen:

1. Teilnahme an Fachmessen
2. Vorträge an Fachtagungen
3. Veröffentlichungen in der Fachpresse
4. Mitwirkung in Arbeitskreisen der Industrie
5. Kooperation mit internationalen Fachfirmen
6. Technologiezusammenarbeit mit Großunternehmen

Bereits laufende Kooperationen:

- Samsung
- LG Electronic
- Würth Elektronik
- ZF Lenksysteme
- MacDermid
- MTU
- AT&S
- EIT (IBM)

6 Fazit

Die durch die DBU maßgeblich geförderte Entwicklung einer wassersparenden Impulsdüse war sehr erfolgreich.

Die wesentlichen Projektziele bezüglich der angestrebten Wassereinsparung wurden erreicht.

Die Ergebnisse konnten durch umfangreiche Tests der Prototyp-Anlage, sowie in Großfertigungen in Deutschland und Korea nachgewiesen werden.

Die Entwicklung geeigneter Wasserdosiereinrichtungen sowie dafür adaptierter Steuerungssysteme könnte Thema eines nächsten Entwicklungsschrittes sein.

Nach dem Test der 128 Prototypen bei LP Chemie und Vaas LT wurde ein Einfachwerkzeug in Auftrag gegeben und 5.000 Düsen gefertigt. Der Produktionstest in Großserie wurde bei einem Kunden in Korea durchgeführt, der in der Lage ist, die Qualität der Oberfläche (Partikel) durch ein optisches Lasersystem zu messen.

Eingebaut wurden die Düsen in eine Vierfach-Kaskade mit einem standardmäßigen Wasserzulauf von 300 l/h. Der Zulauf wurde stufenweise um 10, 20 und 30% reduziert, wobei zwischen den Reduzierungen eine Produktionszeit von 2 Stunden war.

Bei einer Reduzierung von 20% war das Ergebnis noch in einem zulässigen Bereich. Zur Prozess-Sicherheit wurde die Reduzierung jedoch auf maximal 15% begrenzt.

Dies bedeutet bei zirka 50 l/h Durchfluss je Kaskade mit durchschnittlich 3 Kaskaden je Anlage und 16 Linien im Produktionsbetrieb eine Einsparung von 150 l/h je Anlage bzw. 2.400 l/h in der Gesamtproduktion,

Daraus ergibt sich eine Wassereinsparung von rund 400 cbm pro Woche bzw. rund 20.000 cbm Wasser p. a.

Mit dem Einfachwerkzeug wurden insgesamt 5.000 Düsen produziert, die alle innerhalb 4 Wochen verkauft waren!

Das Projekt stellt für die LP Chemie ein voller Erfolg dar. Der Markt für die neuen Impulsdüsen ist zu über 90% die Leiterplattenindustrie in Asien.