



Lärminderung an Kastenwaschanlagen

Abschlussbericht

FSA-Projektnummer: F - 03 - 1601

Verfasser: B.Eng. Ronny Herzog

Stand: 20 Dezember 2018

Inhalt

1.	Motivation	1
2.	Beispiele aus der Praxis	1
3.	Übersicht	3
3.1	Einsatz und Betrieb	4
3.2	KLT - Kisten	4
3.3	Reinigungskonzept und Sinnerscher Kreis	5
4.	Aufbau & Funktion	6
5.	Lärmquellen	8
5.1	Kreiselpumpen.....	8
5.2	Spritzdüsen (Einstoffdüsen)	10
5.3	Düsenmessung.....	12
5.4	Abblasung & Wrasenabzug (modellabhängig / optional)	16
5.5	Impulsgeräusche	19
5.6	Transportband	19
6.	Lärminderungsansätze	20
6.1	Kreiselpumpen.....	20
6.2	Konstruktive Maßnahmen des Leitungssystems.....	21
6.3	Düsen	22
6.4	Abblasung (modellabhängig / optional)	23
6.5	Air-Knifes (Luftmesser).....	25
6.6	Zentrifugentrocknung.....	28
6.7	Impulsgeräusche	29
7	Mikroperforierte Platten (MPP) - Absorber	30
7.1	Einsatz von SonoPerf ® A	31
7.2	Material Absorbing Sound and Heat (MASH®)	32
7.3	Vergleich von MASH® und SonoPerf®	32
7.4	MASH - Reinigungsprüfung	34
8	Schalldurchlässigkeit bei Lochblechen	36
9	Ausblick	38
9.1	Hydrophysikalische Wasseraufbereitung	39
9.2	Innovative lärmindernde Konzepte	40
9.3	Betriebliche Entwicklung und neue technologische Ansätze	41
10	Fazit	42
11	Einige Hersteller von Kistenwaschmaschinen	43
12	Abbildungsverzeichnis	44
13	Quellenverzeichnis	46

Kurzfassung

Kasten- bzw. Kistenwaschmaschinen sind in der Lebensmittelindustrie, insbesondere in der Fleischbranche neben Kuttern und Injektoren, eine der dominanten Schallquellen und mitverantwortlich für die Berufskrankheit der lärmbedingten Schwerhörigkeit im betrieblichen Umfeld (BK 2301 – Lärmschwerhörigkeit).

Nachfolgend werden grundlegende Eigenschaften von Kistenwaschmaschinen aufgezeigt und die signifikanten Ursachen der Lärmentwicklung diskutiert. Einer Analyse einzelner Komponenten werden gezielt, wenn möglich, Maßnahmen gegenübergestellt die zur Minderung der Schallabstrahlung beitragen (können). Hier werden ebenfalls bereits vorhandene Konzepte aufgeführt, die in vielen Fällen, jedoch nicht umfassend von Unternehmen umgesetzt werden.

Darüber hinaus sind heute unterschiedliche metallische (faserfreie) Absorptionsmaterialien verfügbar, die gerade bei älteren Anlagen, oder Herstellern die sich wenig mit der Thematik befassen, eingesetzt werden können. Es wird deren Wirksamkeit und Einsatzbereich erörtert sowie ausblickend Möglichkeiten zur Umsetzung aufgezeigt.

Letztendlich ist auch das Verhalten von Mitarbeitern und Beteiligten entscheidend bei der Lärmprävention und Umsetzung verbindlicher Vorgaben des Schallschutzes wie es nach Art des Betriebes möglich ist.

1. Motivation

In Betrieben der Nahrungsmittelherstellung und –verarbeitung sind Beschäftigte in verschiedenen Branchen und Bereichen unterschiedlich starken Schalldruckpegeln ausgesetzt. Dabei sind bestimmte Maschinen und Anlagen auffällig, die bei häufigem Einsatz signifikant zur Lärmbelastung beitragen. Diese sind im Prozess der fortschreitenden Lärminderung bzw. Prävention mit zusätzlichem Aufwand zu behandeln, welcher mit dem vorliegenden Bericht am Beispiel der Kastenwaschanlagen vorgenommen werden soll.

Leise Waschanlagen für Kisten und Behälter, werden von den Unternehmen der Fleischindustrie nur selten nachgefragt. Hier stehen eher ökonomische Aspekte wie Kosten, Verbrauch oder Platzbedarf im Vordergrund. Hersteller geben akustische Kenndaten, trotz entsprechender Verordnungen (z.B. Maschinenrichtlinie), kaum als Kenngröße beim Verkauf ihrer Produkte an. Damit ist eine Sensibilisierung von Betrieben und Einkäufern, auch diese Herstellerangaben stärker nachzufragen, dringen nötig. Es gilt weiterhin anzumerken, dass die Einflussnahme auf die Lärminderung in der Konstruktionsphase am größten ist und nachträgliche Einflussmöglichkeiten oftmals gering, oder mit viel Aufwand bei der späteren Installation verbunden sind.

Abseits der Getränkeindustrie, sind Kasten-/Kistenwaschmaschinen kaum als geschlossene, oder gar komplette Waschstraße mitsamt Einhausung verfügbar. Dadurch ergeben sich je nach Anlagengröße, Konstruktion und Umgebungsbedingung am Aufstellort meist energieäquivalente Dauerschallpegel deutlich über dem in der Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung festgelegten oberen Auslösewert von 85 dB(A). Es finden sich Messwerte bis zu über 100 dB(A) bei größeren Anlagen, abhängig von Aufstellungsort und Konstellation.

2. Beispiele aus der Praxis

Beispiel 1



Abbildung 1: Einlauf Kistenwaschmaschine

Einleger einer einspurigen Kistenwaschmaschine mit Kistenniederhalter und Lamellenvorhang.

Äquivalenter Dauerschallpegel:

$$L_{pAeq} = 88,8 \text{ dB(A)}$$

Beispiel 2



Abbildung 2: Auslauf Kistenwaschanlage

Auslauf einer doppelspurigen Kistenwaschanlage mit anschließender Trocknung und Kunststoff-Verschlussklappen.

Äquivalenter Dauerschallpegel:

$$L_{pAeq} = 98,8 \text{ dB(A)}$$

Beim Einkauf von Kistenwaschmaschinen sind Unternehmen zunächst mit entsprechenden Werbeangeboten und Herstellerangaben konfrontiert. Die exemplarische Betrachtung einer Bedienungsanleitung zur Maschine aus **Beispiel 1** gibt folgende Informationen zur Schallabstrahlung und ihrer Ermittlung wieder:

Geräuschemission

Betriebszustand der Waschanlage:

Vollastbetrieb, Antriebsband läuft, Waschpumpe ist eingeschaltet, Paletten werden gewaschen, Waschmedium hat ca. 50°C.

Aufstellbedingung:

Freifeldmessung

Schalldruckpegelangabe:

Messung nach EN/ISO 12100-2 (Sicherheit von Maschine)

- ca. 1 m Abstand
- ca. 1,6 m Höhe
- Zugehöriger Messpunkt: Einlauf- und Auslauf der Anlage

Höchster Schalldruckwert 85 dB(A)

Weitere Emissionen

Nicht bekannt

Abbildung 3: Auszug aus zugehöriger Bedienungsanleitung gemäß Praxisbeispiel 1 (Abb.1); Quelle: [1]

Die Angabe „Höchster Schalldruckwert“ konnte an anderer Stelle der Betriebsanleitung als der äquivalente Dauerschallpegel L_{pAeq} ausgemacht werden. Die Vergleichsmessung aus **Beispiel 1** fand nicht unter Freifeldbedingungen nach Herstellerangaben, sondern in schallharter, praxisgerechter Umgebung gemäß hygienischer Anforderungen statt. Das Schallabsorptionsvermögen von leicht zu reinigenden, abwaschbaren und somit stark reflektierenden Oberflächen wie z.B. Fliesen liegt bei unter 5%. Somit ergab sich eine Schalldruckpegelerhöhung von +3,8 dB(A) bei vergleichbarem Messpunkt am Einlauf der Waschmaschine. Der Auslauf der Anlage war über ein Förderband mit einem separaten Raum zur Kistenentnahme und Trocknung verbunden und dadurch nicht als exponierter Arbeitsplatz betroffen. Wie weit der tatsächliche Emissionswert an dieser Stelle von den vorgegebenen 85 dB(A) in der Betriebsanleitung abweicht, konnte nicht genau ermittelt werden. Darüber hinaus ist die Norm DIN EN ISO 12100-2 (Sicherheit von Maschinen – Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsleitsätze) keine Messnorm. Worauf sich die ungefähren Abstandsangaben hierbei beziehen (Eingang Waschtunnel, Abstand Einleger etc.) ist unklar.

3. Übersicht

Kistenwaschmaschinen kommen in verschiedenen Gewerben der Nahrungsmittelindustrie zum Einsatz. Als solche werden technische Vorrichtungen bzw. Anlagen bezeichnet, die für die Reinigung und hygienische Behandlung von sogenannten Kleinladungsträger-Kisten (KLT-Kisten) in Gebrauch sind.

Eine allgemeine Benennung für „Kistenwaschanlagen“ ist nach unterschiedlichen Quellen nicht eindeutig klar. Bisweilen sind auch Bezeichnungen als Durchlaufwaschanlage, Beschickungsanlage, Kastenwaschanlage, oder Kisten-/Kastentrinser in Gebrauch. Tendenziell grenzt sich der Begriff „Kasten“ durch den Einsatz in Brauereibetrieben ab.

Der eigentliche Vorgang zur Reinigung von KLT-Kisten kann grob (je nach Gerätegröße und Ausstattung) in die Prozesse

- Einweichen
- Waschen
- Spülen
- Trocknen

eingeteilt werden. Die Leistungsfähigkeit einer Anlage bezieht sich auf den Durchsatz erreichbarer Reinigungen pro Stunde, was in einer Kapazität Kisten/h oft in die Produktbezeichnung einer Waschmaschine einfließt (siehe **Abb. 4**)¹.

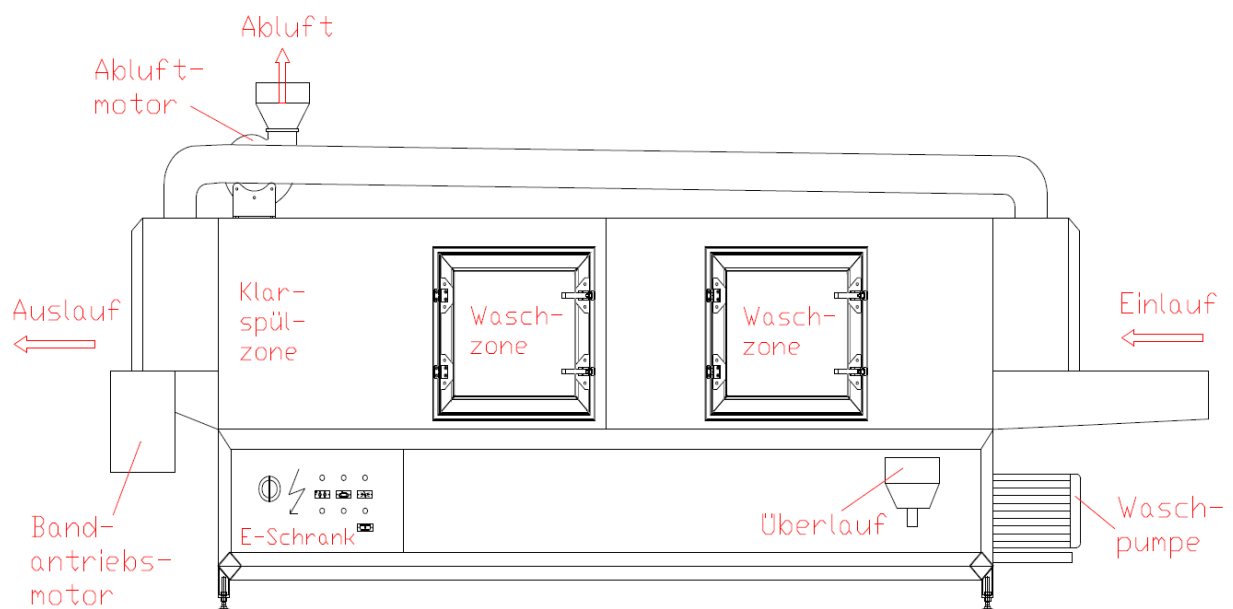


Abbildung 4: Prinzipieller Aufbau einer Kistenwaschmaschine (Contino 650 Q); Quelle: [1]

¹ Beispiel Kitzinger Contino 650 Q mit einer Kapazität von maximal 650 Kisten / h

3.1 Einsatz und Betrieb

Je nach Unternehmensgröße und Gewerbeart werden Kistenwaschmaschinen unterschiedlich stark im täglichen Arbeitsablauf genutzt. Während größere Unternehmen ihre Anlagen oft raumübergreifend mit einer entsprechenden Förderanlage auf den Reinigungsprozess abstimmen, werden in kleineren Betrieben Waschmaschinen eher beiläufig, oft nur einige Stunden pro Woche eingesetzt. Die Integration dieser Geräte verläuft selten optimal. Häufig werden Anlagen ausgetauscht oder wachsen mit dem Bedarf des Unternehmens mit. Daraus resultiert ebenfalls ein gehobener Anspruch an Platz, Raumausnutzung und Aufstellmöglichkeiten. Laute Maschinen werden daher nicht selten in einer Umgebung eingesetzt, die als Lärmbereich vermeidbar wäre und eine entsprechende Exposition der Beschäftigten eingeschränkt werden könnte.

Bedient werden Kistenwaschmaschinen meist von ein oder zwei Personen jeweils am Ein- und Auslauf der Waschstraße. Letzterer kann auch in einen abgetrennten Raum führen wo die Kisten entsprechend behandelt und gelagert werden. Zusätzliche Arbeiten wie Überprüfung der Restfeuchtemenge an den Kisten, Entfernung ausgeklopfter Produktionsreste um den Einlaufbereich sowie Kontrolle von Druck oder Grad der Wasserverschmutzung sind weitere Aufgaben von Beschäftigten im Umfeld dieser Anlagen.

Allein für die Fleischwirtschaft mit 14.636 Unternehmen im Jahr 2015 kann nach Abschätzung einer 2-Mann-Bedienung, unter Annahme von größeren Waschanlagen bei Betrieben ab 50 Beschäftigten, von einer starken Lärmbelastung bei mindestens 1200 Beschäftigten ausgegangen werden.

3.2 KLT - Kisten

Kleinladungsträger-Kisten sind besonders für die Lagerung und den Transport im Lebensmittelbereich geeignet. Sie bestehen aus physiologisch unbedenklichem, lebensmittelechtem HDPE (hochverdichtetes Polyethylen), sind praktisch geruchlos, temperaturbeständig und nehmen wenig Feuchtigkeit auf. Diese, seit Jahren für die fleischverarbeitende Industrie als rote, sogenannte „Pool-E-Kisten“ bekannt, entsprechen Richtlinien des Europäischen Handelsinstituts (EHI) und der Norm DIN 55423. Mehrweggebinde sind mit den Nummern E1 - E6 bei einer Grundfläche von 600x400 mm definiert. In den verbreiteten Kistenwaschmaschinen in der Fleischindustrie sind hauptsächlich die Bauhöhen E1 (125 mm), E2 (200 mm) und E3 (300 mm) im Einsatz.

Das Management von Leergebinden findet über einen offenen Pool unterschiedlicher Hersteller statt. In Deutschland sind dabei ca. 100 Mio. Kisten im Einsatz. Europaweit mehr als 400 Mio. Sie werden an unterschiedlichsten Stellen im betriebsinternen Produktionszyklus bei direktem Kontakt mit Lebensmitteln, als auch außerbetrieblich als Transportbehälter für Lebensmittel mit wiederverwertbarer Verpackung eingesetzt. Diese Bedingungen, aus wechselndem Einsatz in diversen Betriebsabläufen in Verbindung mit unterschiedlichen Lagerzeiten, stellen allerhöchste Ansprüche an Hygiene, Restfeuchtigkeit und Reinigung.

In Zusammenarbeit mit der Fleischindustrie, dem Handel und Verbänden wurde durch die Standardisierungsorganisation GS1 Köln, unter freiwilliger Verpflichtung der Teilnehmer die sukzessive Umstellung auf einen neuen hellblauen „E-Performance-Behälter“ bis zum 31.12.2019 beschlossen. Diese neue Box besteht aus qualitativ hochwertigerem Material für bessere Haltbarkeit und erhöht durch die Farbgebung die Erkennung von Fremdkörpern (z.B. Abrieb oder Absplinterung) im Produkt. Die Rückverfolgbarkeit durch die komplette Lieferkette soll mittels integriertem weltweit eindeutigen GRAI-Code (Global Returnable Assset Identifier) erfolgen. Zusätzlich sieht die Lebensmittelinformationsverordnung Angaben im Klartext zur besseren Identifikation vor. Daten wie Inhalt, Gewicht etc. sollen per Etikett an einem zusätzlichen äußeren Noppenfeld angebracht werden. Der Umstellungsprozess verläuft jedoch wegen erhöhtem Kistenpreis sehr schleppend.

3.3 Reinigungskonzept und Sinnerscher² Kreis

Die Wirkung einer Reinigung wird grundsätzlich von vier Parametern und ihrem wechselseitigen Einfluss bestimmt (siehe **Abb. 5**):

- Reinigungsmittel
- Druck (Mechanik)
- Kontaktdauer
- Reinigungstemperatur

Alle vier voneinander abhängigen Faktoren sind in bestimmtem Maß veränderbar und ergeben in Summe ein konstantes Gesamtergebnis. Das bedeutet, eine Reduktion in einem Schwerpunkt erfordert den Mehraufwand in einem oder allen anderen Bereichen der Anwendung. So hat eine mögliche Verbesserung in der Mechanik (also die mechanische Lösung von Verschmutzung und Kontaktherstellung mit dem Reinigungsmittel durch z.B. neuartige Düsenttechnologie) einen geringeren Einsatz chemischer Waschmittel, geminderter Temperatur und/oder eine verkürzte Reinigungsdauer zur Folge.

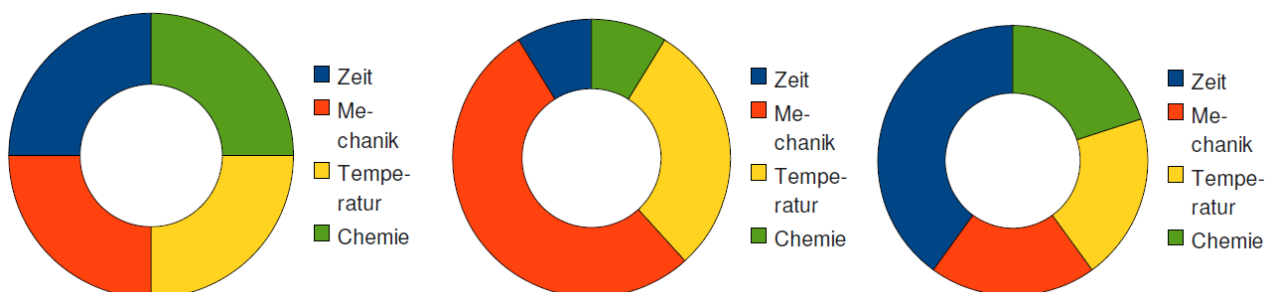


Abbildung 5: Vier Wirkfaktoren beim Reinigungsprozess; Quelle: wastopac.com

² Nach dem Tensidenchemiker Herbert Sinner (1900 – 1988), ehemaliger Leiter der Waschmittel-Anwendungstechnik bei Henkel

4. Aufbau & Funktion

Kistenwaschmaschinen werden vom Hersteller in zahlreichen Ausführungen, Baugrößen, Leistungsklassen und Anforderungsprofilen produziert und auf die Wünsche und Bedürfnisse eines Kunden angepasst.

Aufgebaut ist eine Waschanlage meist aus einem einwandigen, rostfreien Edelstahlgehäuse (z.B. V2A Nirosta). Ein Ketten-Schleppsystem in ein- oder zweispuriger Ausführung transportiert die zu reinigenden Kisten über einem Elektromotor durch verschiedene Behandlungszonen.

Während kleine Waschmaschinen oft eine einfache Wasch- und Spülstation besitzen, verfügen größere Anlagen über verschiedene Waschzonen und die Reinigung erfolgt dabei in mehreren Stufen durch ein Kaskadensystem aus Vor- und Hauptwäsche, Klarspülung, Trocknung und Sterilisation (vgl. **Abb. 6 + 7**). Auch Zwischenabblase, Bürstenreinigung und Dunstabzug (Wrasenabzug) über ein oder mehreren Waschstationen ist verbreitet. Die eigentliche Schmutzentfernung findet durch eine Kombination aus den Faktoren Reinigungsmittel, Druck, Kontaktdauer und Temperatur statt (siehe **Abschnitt 3.3**).

Für jede Wascheinheit steht meist ein eigener Wassertank mit Schmutzfilter und Umwälzpumpe (Kreiselpumpe) bereit. Diese speist ringsum laufende, oder oben und unten angebrachte Sprühköpfe oft in individuell einstellbarer Ausrichtung für den jeweiligen Reinigungsprozess. Ebenfalls Etiketten- oder Kleberesteentfernung über Hochdruckdüsen ist möglich.

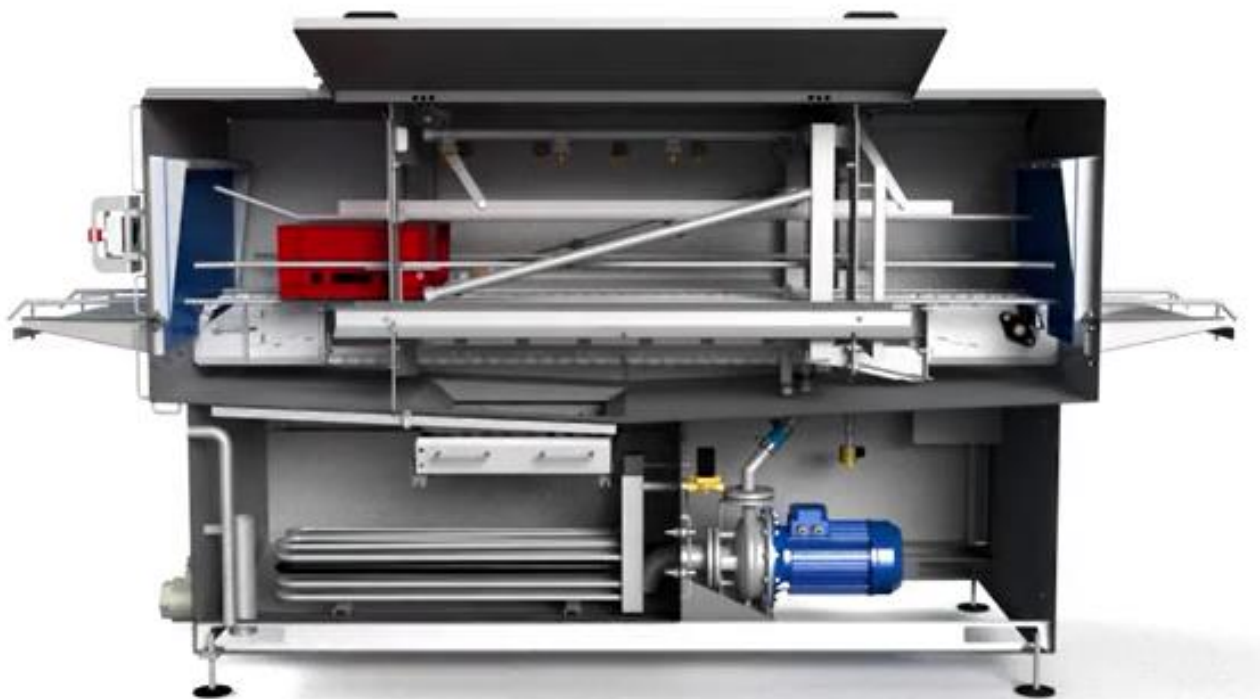


Abbildung 6: Einfache Kistenwaschmaschine in geöffnetem Zustand; Quelle: Elpress.com

Beheizt werden Kistenwaschanlagen entweder per Dampf, elektrisch oder in Verbund mit Öl (Thermoöl). Hierbei steigert sich die regelbare Wassertemperatur von der Vorwäsche mit etwa 30°C, über die Hauptwaschstationen mit ungefähr 40°C – 60°C, der Klarspülung mit ca. 60°C bis auf etwa 85°C bei der Sterilisation.

Zur Innenraumreinigung der Anlage selbst, sind entlang der Waschstraße Revisionsöffnungen / Wartungstüren vorhanden. Neuerdings werden auch abschnittsweise Möglichkeiten zum Zugang des Tunnels angeboten (z.B. Flügeltüren), oder je nach Größe eine Öffnung der ganzen Maschine ermöglicht (vgl. **Abb. 6 + 7**).

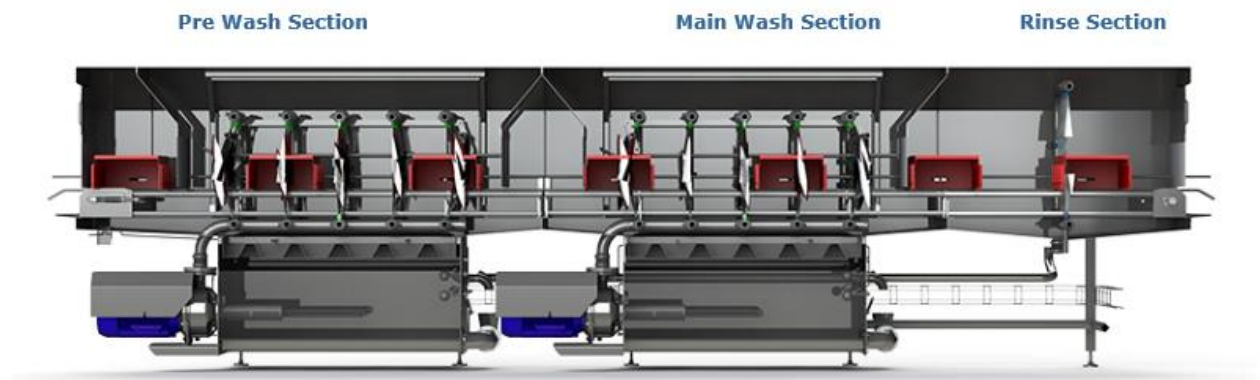


Abbildung 7: Mehrstufige Waschanlage mit Reinigungszone; Quelle: Elpress.com

Sowohl kleine als auch größere Anlagen sind entweder über eine automatisierte Infrastruktur oder zur vorteilhaften Einpersonen-Bedienung mit einem Kistenwender ausgestattet. Dieser, in relativer Nähe zum Einlauf verortet, bietet zusätzlich die Möglichkeit durch abrupte Abbremsung der KLT-Kiste vorab Grobschmutz- bzw. Restinhalt vor der eigentlichen Reinigung zu entfernen. Die Steuerung der Waschanlage kann als integrierte Elektronik ausgeführt sein, oder in Abhängigkeit von Platzbedarf und Aufstellposition in einem E-Schrank gut zugänglich in relativer Nähe erfolgen.

Generell besitzen Waschanlagen für einen Fleischverarbeitungsbetrieb einen anderen Aufbau als eine Maschine mit gleicher Leistung für einen Backbetrieb oder einen Gemüsehandel. Je nach Branche und Nutzungsart werden unterschiedliche Anforderungen an Reinigung und Zugänglichkeit gestellt.

Faktoren die von Herstellern für eine exakt konfigurierte Maschine, abseits von einleitend erwähnten ökonomischen Gesichtspunkten, verstärkt beachtet werden:

- Waschdruck
- Waschtankinhalt
- Wasch- und Spültemperatur
- Düsenausrichtung und -ausführung
- Ausgestaltung der Fördervorrichtung
- Platten-, Kasten- oder Automatikfilter
- Geplanter Mitarbeitereinsatz, z.B. Ausrüstung der Maschine mit einem Kistenwender zur Einpersonen-Bedienung

5. Lärmquellen

5.1 Kreiselpumpen

Pumpen zum Fördern von Flüssigkeiten, oder Flüssigkeit-Feststoff-Gemischen werden grundsätzlich in die Kategorien *Verdrängerpumpen* und *Strömungspumpen* eingeteilt. Beide Prinzipien setzen einen gewissen Druckaufbau und damit die Notwendigkeit von Abdichtung voraus. Während bei ersterem, das Medium als geschlossenes Volumen abhängig von erreichbarem Vakuum, örtlichem Druck und entsprechender Stoffdichte selbstständig angesaugt werden kann, sind Strömungspumpen durch ihren zentrifugalen, mechanischen Ansatz eher Dauerläufer für hohe Fördermengen und nicht zu Dosierungen geeignet. Hierrunter fallen die Bauformen Axial-, Diagonal- und Radial(kreisel)pumpen. Strömungspumpen müssen beim Anlauf mit dem zu fördernden Medium gefüllt sein. Gerät während des Betriebs Luft in den Keislauf (z.B. Mikroblasen bei hohen Fließgeschwindigkeiten in Verbindung mit Druckminderung), führt dies nicht nur zur Verminderung der Förderleistung, sondern in Form von Kavitation (Dampfblasen) auch zur Beschädigung von Lager, Laufrad, Pumpengehäuse und Gleitringdichtungen. Die Implosion dieser Dampfblasen ist für starke Lärmentwicklung im Pumpenbetrieb verantwortlich. Dabei können je nach Kavitationsart, Umstand und Anlagengröße Pegelsprünge von bis zu 30 dB im Verhältnis zum Regulärbetrieb vorkommen. Für die Einschätzung des funktionalen Zusammenhangs einer Kreiselpumpe ist die Betrachtung des Gesamtsystems aus Grundplatte, Rohrleitung, Antrieb und Armatur unerlässlich.

Als Antrieb von Kreiselpumpen kommen Elektromotoren in Form von Drehstromasynchron-Motoren zu Einsatz. Beide sind als Einheit direkt verbunden und befinden sich modellabhängig in das Maschinengehäuse integriert (vgl. **Abb. 6**) oder abgetrennt im Nahbereich zur jeweiligen Waschsektion. Eine Umbauung oder Schutzumhüllung ist je nach Hersteller und Anlagengröße ausgeführt (vgl. **Abb. 7**). Kreiselpumpen sowie das angeschlossene Rohrleitungssystem erzeugen ein breitbandiges Betriebsgeräusch und bilden, abhängig von der Pumpenleistung, u.a. eine Hauptlärmquelle von Kistenwaschanlagen. Die Schalleistung des Gesamtsystems ist mit **Formel (1)** quantifizierbar. Die Leistung der Pumpen steigt bei größeren Anlagen bis in den zweistelligen Kilowatt-Bereich. Der ebenfalls vorhandene Antriebsmotor der Fließbandsteuerung fällt dagegen von der Leistung ab (bis ca. 1 KW) und trägt kaum zur Schallemission einer Kistenwaschanlage bei. Zudem kommen vereinzelt Hochdruckpumpen zur Etikettenentfernung zum Einsatz.

$$L_{wA} = 68 + 16 * \log\left(\frac{P_0}{1 \text{ kW}}\right) \quad (1)$$

L_{wA} : Schalleistungspegel [dB(A)]

P_0 : Motornennleistung [kW]

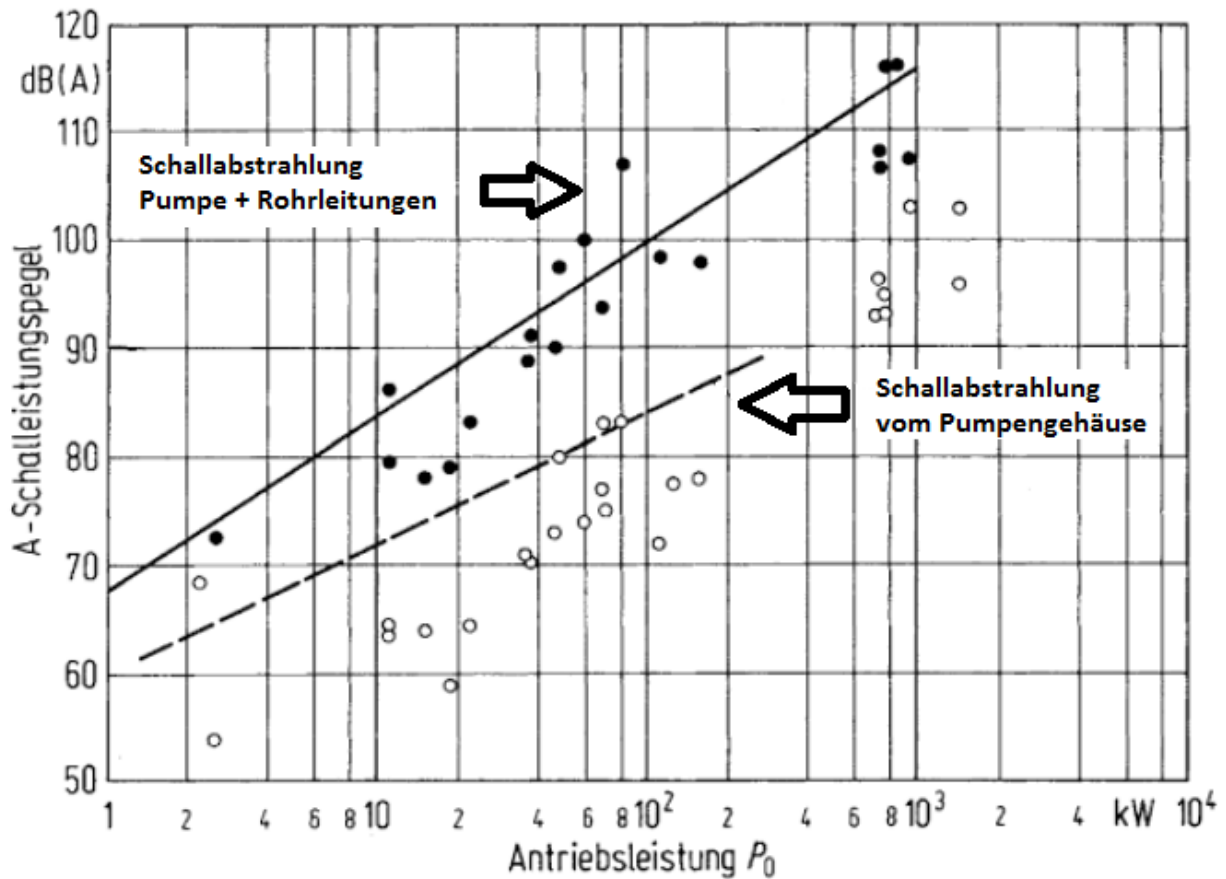


Abbildung 8: Schalleistungspegel von Kreiselpumpen gemäß Formel (1); Quelle: [5]

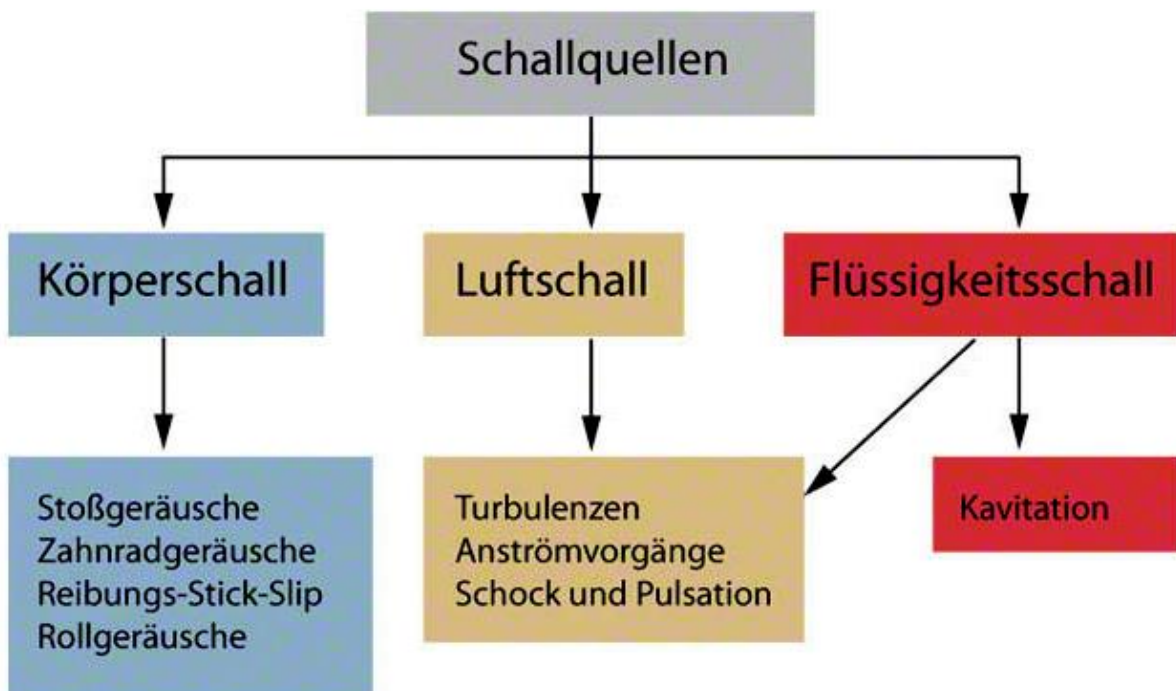


Abbildung 9: Schallquellen bei Kreiselpumpen; Quelle: [20]

5.2 Spritzdüsen (Einstoffdüsen)

In den einzelnen Waschzonen findet der Reinigungsvorgang über ein System mit umlaufenden, oder je nach Reinigungsmethoden und Konstruktion, oben bzw. unten angebrachtem Düsenverbund statt (Düsenstock, Düsenbaum). Dabei trifft der Wasserstrahl sowohl auf die Kistenaußen- und Innenseite als auch auf Innenverkleidung und Bleche des Waschtunnels was abhängig von Anzahl, Einstellung und Art der Düsen ebenfalls zur Schwingungsanregung und Schallabstrahlung beiträgt. In älteren Kistenwaschmaschinen werden häufig einfache Düsenrohre eingesetzt. Modernere Anlagen verwenden eher Flachstrahldüsen die oftmals als Clipdüsen ausgeführt sind. Diese können, entsprechend justiert, in beliebigem Winkel auf die zu reinigende Fläche eingestellt werden und sind im Vergleich zu offenen Rohren deutlich effizienter in der Ausrichtung bzw. Handhabung und somit auch mit positiven Auswirkungen auf die Reinigungsleistung und Lärmentwicklung. Ausschlaggebend hinsichtlich Wirksamkeit und Wirkungsgrad von Sprühdüsen ist die Tropfengröße und ihre Verteilung auf dem zu reinigenden Objekt. Flachstrahldüsen besitzen eine V- oder U-förmige Austrittsöffnung mit elliptischen bzw. rechteckförmigen Aufprallflächen (vgl. **Abb. 10**):

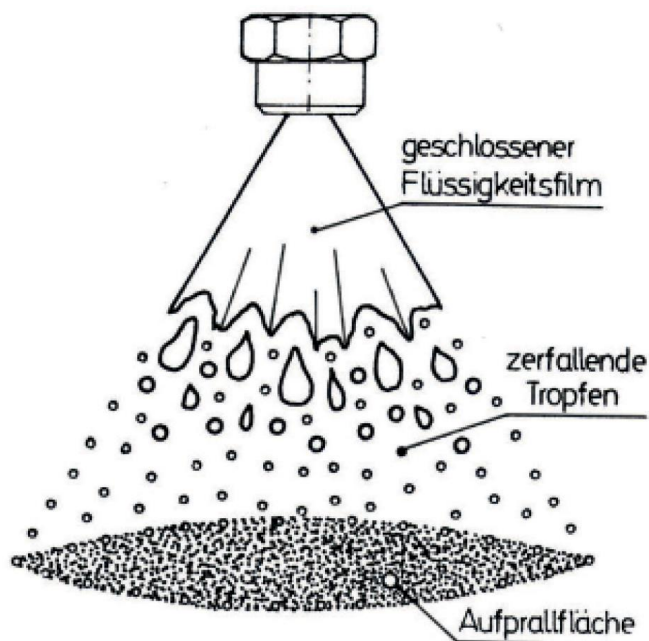


Abbildung 10: Skizze des Tropfenspektrums; Quelle: [7]

Über die Faktoren Spritzwinkel und -druck, Volumenstrom und Art der Flüssigkeit wird entsprechend der Bauform die Zerstäubung der Düse charakterisiert. Flachstrahldüsen bilden zwischen Hohlkegel- (feine Tropfen) und Vollkegeldüsen (grobe Tropfen) ein mittleres Tropfenspektrum. Ausgehend von oben genannten Faktoren besitzen diese eine Größenordnung gemäß Sauterdurchmesser d_{32} im Bereich von $300 \mu\text{m}$ – $1200 \mu\text{m}$. Um überhaupt zerstäuben zu können muss mindestens ein Flüssigkeitsdruck (Fließdruck) von $0,3 \text{ bar}$ - $0,5 \text{ bar}$ anliegen. Typische Werte bei Flachstrahldüsen im Niederdruckbereich liegen zwischen $0,5 \text{ bar}$ und 20 bar .

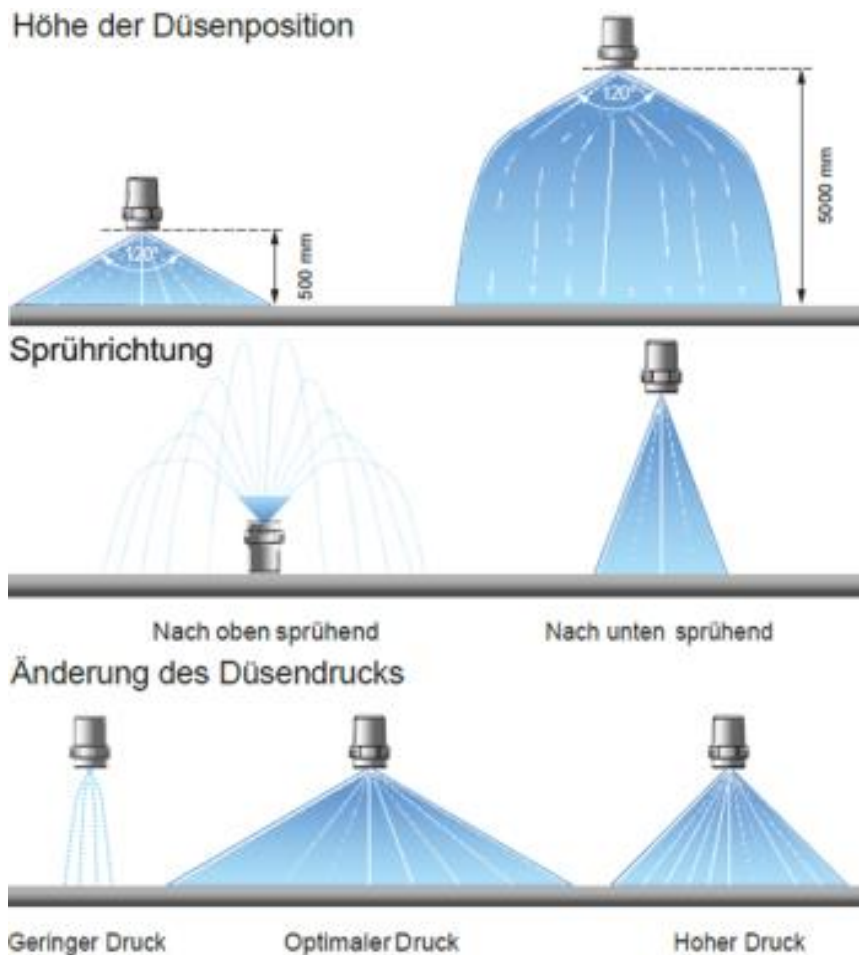


Abbildung 11: Diverse Düsenparameter; Quelle: [7]

Die Aufprallkraft (vgl. **Formel (2)**), also die Einwirkung des Sprühstrahls auf die zu reinigende Oberfläche, ist letztendlich die entscheidende Größe für die Lärmentwicklung unterschiedlicher Strahl- und Sprühsysteme. Zu beachten ist hierbei, dass ein geringer Spritzdruck gröbere, und eine Erhöhung des Drucks kleinere Tropfengrößen zur Folge hat. Allerdings resultiert hieraus ebenfalls eine Verringerung der Spritzbreite (siehe **Abb. 11**). Dem entgegengesetzt erzeugen Düsen mit gegebener Spritzcharakteristik bei geringen Volumenströmen ein feineres und mit hohem Volumenstrom ein gröberes Tropfenspektrum.

Sprühdüsen können je nach Konstruktionsweise, mit und ohne Hochdruck (ca. 80 - 120 bar) betrieben werden (Etikettenentfernung) und einen Schalleistungspegel von teilweise über 100 dB(A) erreichen.

Zur Ermittlung der Aufprallkraft unterschiedlicher Düsen, muss zunächst die maximale theoretische Aufprallkraft berechnet werden. Diese wird gemäß Herstellern entweder in $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ oder vereinzelt, für einen höheren Praxisbezug, in $\frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$ angegeben ($1\text{kg} \triangleq 9,81\text{N}$).

$$I_{\text{theor.}} = \kappa \times \dot{V} \times \sqrt{P} \quad (2)$$

$I_{\text{theor.}}$: max. theoretische Aufprallkraft $\left[\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right]$

κ : Konstante = 0,024 bar (20°C)

\dot{V} : Volumenstrom [l/min]

P : Flüssigkeitsdruck [bar]

Abhängig von der theoretischen Aufprallkraft, lässt sich über die Faktoren Spritzcharakteristik und Spritzwinkel der prozentuale Anteil der Aufprallkraft ermitteln (*Abstand 0,3 m* vgl. **Tabelle 1**)

Spritzbild	Spritzwinkel	Max. theoret. Aufprallkraft [%]
Vollkegel	15°	11 %
	30°	2,5 %
	50°	1,0 %
	65°	0,4 %
	80°	0,2 %
	100°	0,1 %
Flachstrahl	15°	30 %
	25°	18 %
	35°	13 %
	40°	12 %
	50°	10 %
	65°	7 %
	80°	5 %
	Hohlkegel	60°
80°		

Tabelle 1: Prozentuale Aufprallkraft in Abhängigkeit vom Spritzwinkel bei einem Abstand von 30 cm

5.3 Düsenmessung

Der Einsatz von Kunststoff-Systemdüsen (siehe **Abb. 12**), einfachen Rohrdüsen oder fest montierten gewinkelten Flachstrahldüsen (**Abb. 13**) ist heute bei den meisten Waschanlagen verbreitet. Erstere werden durch einen rückseitigen Bügel komfortabel an einem vorgefertigten Wasserrohr montiert. Ganze Sprührohre lassen sich leicht montieren und im Bedarfsfall schnell und kostengünstig austauschen. Der Hersteller hat durch diese Konstruktionsweise einen geringen Fertigungsaufwand. Besagte und meist im Einsatz befindliche Flachstrahldüsen, eignen sich durch einen überlappenden Spritzstrahl sehr gut um Oberflächen ohne Sprüschatten mit einer gleichmäßigen Flüssigkeitsverteilung zu beaufschlagen.



Abbildung 12: Easy-Clip Flachstrahldüse; Quelle: [17]



Abbildung 13: Gewinkelte Rohrdüsen; Quelle: [2]

Merkmale von Düsen der Baureihe Easy-Clip:

- Düsen lassen sich von Hand ohne Werkzeug schnell auswechseln und ausrichten
- Klemmadapter passt zu jeder beliebigen Düse
- Schnellmontagesystem mit speziellen "Einrast"-Einsätzen
- Polypropylen, gegen die Mehrzahl der Säuren und Laugen beständig
- Für Betrieb bei höheren Drücken mit Doppelklammer lieferbar
- Ausführungen als Low-Impact-Düsen

Manche Hersteller geben eine möglichst hohe Effizienz bei Stahlbreiten bis zu einem Winkel von 60° an. Nach **Tabelle 1** sinkt die maximale theoretische Aufprallkraft zwischen 15° und 25° um 12%. Bei Vergrößerung des Sprühwinkels über 60° nur noch im geringen einstelligen Prozentbereich. Tatsächlich sind bei Kunststoffdüsen recht wenige Modelle einzelner Fabrikation in größeren Strahlbreiten verfügbar. Dies ist weiterhin abhängig vom spezifischen Spritzbild, das sich bei Flachstrahldüsen in die drei Geometrien rechteckig, elliptisch und Pralltellerbauchform (Deflektor) aufteilt.

Einen Überblick ausschlaggebender Düsenparameter und ihren Wechselwirkungen gegenüber äußeren Einflussfaktoren zeigt nachfolgende **Tabelle 2**. Je nach Spezifikation können diese für einzelne Merkmale unterschiedlicher Düsen anders ausfallen. Die nachstehend aufgeführte Tabelle gilt insbesondere für Flachstrahldüsen.

	Erhöhter Betriebsdruck	Erhöhte Dichte	Erhöhte Viskosität	Erhöhte Oberflächenspannung	Erhöhte Flüssigkeitstemperatur
Strahlqualität	besser	–	schlechter	–	besser
Volumenstrom	steigt	kleiner	kleiner	kein Einfluss	?
Spritzwinkel	erst größer, dann kleiner	–	kleiner	kleiner	größer
Tropfengröße	kleiner	–	größer	größer	kleiner
Tropfengeschwindigkeit	größer	kleiner	kleiner	–	größer
Aufprallkraft	größer	–	kleiner	–	größer
Verschleiß	größer	–	kleiner	kein Einfluss	?

Tabelle 2: Unterschiedliche Einflussfaktoren bei Flachstrahldüsen

Konkrete Herstellerdaten zur Lärmentwicklung bei Wasserdüsen sind kaum vorhanden. Im März 2017 fand im reflexionsarmen Halbraum der BGN Mannheim eine exemplarische Messung von Schalldruckpegeln an einer als repräsentativ ermittelten Flachstrahldüse (**BETE NF60**) statt.

Hierfür wurden grundlegenden Rahmenbedingungen und technischen Spezifikationen auf Basis von typischen Reinigungsprozessen sowie Herstellerangaben und Datenblättern abgebildet. Als primäre Bezugsquelle diente eine moderne Waschanlage vom Typ Contino (vgl. **Abb. 6**). Zum Vergleich stehen die Daten einer älteren Schröder-Kastenwaschanlage.

Diese arbeitet mit höherem Betriebsdruck und reinigt Kisten systematisch über vier Waschstationen mit jeweils eigener Pumpe und Düsensektion (siehe **Tabelle 3**).

Typ	Pumpenleistung	Betriebsdruck	Volumenstrom der Pumpe	Düsenzahl (Sektion)	Durchflussrate je Düse
Contino 650 Q	11 kW	3 bar	1500 l / min	66	22,7 l / min
Schröder 1500 W	7,5 kW	4 bar	411 l / min	18 (x4)	22,8 l / min

Tabelle 3: Vergleich von zweier Kistenwaschmaschinen

Bei angegebenem (maximalem) Volumenstrom der Kreiselpumpe und Anzahl der Düsenbäume pro Reinigungsabschnitt beträgt die Durchflussrate pro Düse bei beiden Waschanlagen ungefähr 23 l/min.

Dieser Referenzwert, inklusive oben angegeben Kenndaten, führten zur Auswahl eines Düsentyps, der mit dem in der Praxis eingesetzten Flachstrahldüsentyp vergleichbar ist (siehe **Tabelle 4**). Gemessen wurde die angegebene Düse zunächst im Freifeld bei 3 bar Fließdruck in 2m Höhe zum Erdboden ohne direktes Aufprallgeräusch.

Typ	Fließdruck	Durchflussrate	Strahlwinkel
BETE 1/4" NF60-654	3 bar	23,7 l / min	65°

Tabelle 4: Spezifikation der Testdüse

Gemessen wurde die angegebene Düse zunächst *im Freifeld*, bei 3 bar Fließdruck in 2 m Höhe zum Erdboden ohne direktes Aufprallgeräusch.

Hierbei ergab sich im seitlichen Messabstand von 1 m zum Düsenkopf ein Schalldruckpegel von **61,5 dB(A)**. Bei Betrachtung unkorrelierter Schallquellen und der Vereinfachung einer Wascheinheit als Punktschallquelle (Verhältnis der Ausdehnung zum Abstand Immissionsort) kann für n-Schallquellen pauschal eine Pegelzunahme von

$$\Delta L = 10 \cdot \log(n) \quad (3)$$

berechnet werden.

Im vorliegenden Fall, bei angegebenem Düsentyp und Anzahl der Spritzdüsen gemäß **Tabelle 3** (Contino 650 Q), resultiert ein Summenschalldruckpegel ohne Aufprallgeräusch von:

$$L_{\text{Düse}} + \Delta L = 61,5 \text{ dB(A)} + 10\log(66) = 79,69 \text{ dB} \approx 80 \text{ dB(A)}$$

Beim Auftreffen des Spritzstrahls auf eine feste Oberfläche erhöht sich der Schalldruckpegel deutlich (vgl. **Abb. 14** bzw. **Tabelle 5**). Eine dezidierte Aussage und der Bezug zur Lärmentwicklung in den Waschstationen bei Kistenwaschmaschinen ist aufgrund zahlreicher Variablen wie Anzahl an Düsen, deren Ausrichtung, Abstand, Betriebsdruck und Sprührichtung (vgl. **Abb. 11**), sowie teilweise mit Wasser benetzte Oberflächen und Kistengrößen als auch deren Anzahl im Waschtunnel nicht möglich!



Abbildung 14: Schallpegelmessung einer Flachstrahldüse BETE NF60

Als verlässlicher und reproduzierbarer Messwert konnte eine Schalldruckpegelerhöhung im Bereich von 2 - 3 dB pro Abstandshalbierung der Düse zur Oberfläche, bei konstanter Distanz des Messgeräts von 1 m zur Aufprallfläche ermittelt werden ³ (siehe **Tabelle 5**).

Abstand zur Aufprallfläche:	60 cm	30 cm	15 cm
Pegel $L_{A,eq}$:	81,6 dB(A)	83,9 dB(A)	86,5 dB(A)
Pegeldifferenz bei Abstandshalbierung:		+ 2,3 dB	+ 2,6 dB

Tabelle 5: Schallpegel bei variablem Düsenabstand und Messabstand 1 m zur Aufprallfläche

³ Es gilt zu beachten, dass der alleinige Pegel hier nicht als Referenz angesehen werden darf. Die Messbedingung entspricht nicht der Situation innerhalb von Kistenwaschmaschinen. Zusätzlich ist die Düse mit einer Flussrate von 23,7 l/min im vorliegenden Fall, explizit für kleinere Waschstraßen, leicht überdimensioniert. Zu beachten gilt ausschließlich die Pegeländerung bei Abstandshalbierung.

5.4 Abblasung & Wrasenabzug (modellabhängig / optional)

Besitzt die Kistenwaschmaschine eine angegliederte Abblaseinheit, werden hier die KLT-Kisten vom Waschwasser oder vorhandener Restfeuchtigkeit befreit. Einerseits aus hygienischen Gründen wenn längere Standzeiten anstehen, andererseits auch zur Rückführung des Nachspülwassers in den Waschkreislauf. Auch eine Abblaseinheit kann ähnlich der Waschstraße aus mehreren Zonen aufgebaut sein um Feuchtigkeit nicht erneut auf angrenzende KLTs zu bringen. Dabei sind zwei potentielle Lärmquellen zu beachten:

1. **Abblasventilatoren**
2. **Luftdüsen**

Abblasventilatoren werden in Kistenwaschmaschinen als Radialventilatoren eingesetzt. Die Funktion eines Ventilators ist es, ein bestimmtes Medium (z.B. Luft) durch ein System zu transportieren. Dabei muss der Ventilator einen entstehenden Widerstand, der dem Volumenstrom entgegengesetzt wird, mittels Druckaufbau überwinden. Das Medium wird bei Radialventilatoren genau wie bei Axialventilatoren parallel zur Achse über die Einströmdüse angesogen, jedoch über das Laufrad 90° , also senkrecht dazu ausgeblasen (vgl. **Abb. 15**). Der Vorteil von Radialventilatoren ist der höhere Druckaufbau bei gleichem Luftvolumen. Im Spiralgehäuse wird die Luft aus dem Laufrad gesammelt und von der Zunge ausgehend, durch fortlaufende Querschnittsvergrößerung, ein Teil des dynamischen Drucks in statischen Druck umgewandelt. Das Betriebsgeräusch von Ventilatoren ist ein breitbandiges Rauschen mit überlagerten tonalen Komponenten. Je nach Leistungsklasse sind Schalleistungspegel von über 100 dB(A) keine Seltenheit.

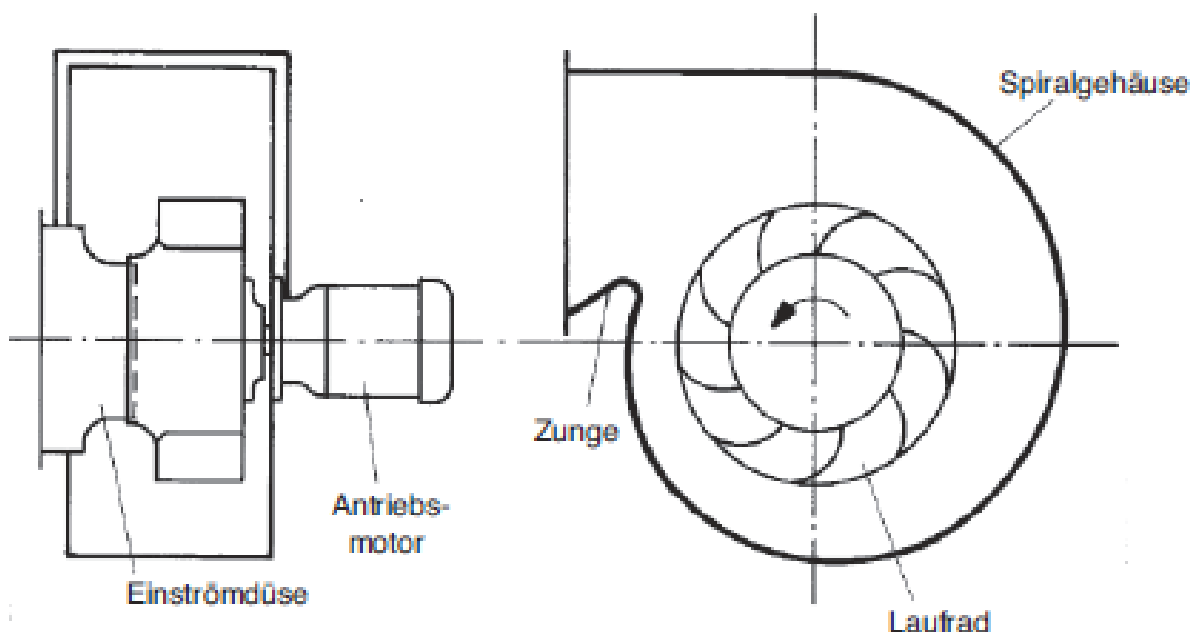


Abbildung 15: Schematische Darstellung eines Radialventilators; Quelle: [21]

Über angeschlossene Rohrverbindungen mit teils variablem Querschnitt, wird das Medium weiter zur vorgesehenen Anwendung transportiert. Bei Kistenwaschmaschinen findet die Entfernung von Feuchtigkeit und Restwasser auf verschiedenste Weise statt. Während bei manch älteren Maschinen noch einfache Löcher in Düsenrohren genutzt wurden, kommt heute ein breites Arsenal an Luftdüsen zum Einsatz.

Ventilatoren sind ebenfalls beim Dunstabzug (sog. Wrasenabzug) im Einsatz. Diese Absaugventilatoren sind in der Leistung allerdings geringer dimensioniert und daher lärmtechnisch wenig ausschlaggebend. Ist eine Waschmaschine damit ausgerüstet, können Abzüge am Anfang und Ende einer Waschstraße montiert, oder für jede Waschsektion einzeln eingesetzt sein.

Luftdüsen bei stationären Anwendungen werden durch Festlegung eines bestimmten Volumenstroms zur Aus-, Abblasung bzw. Trocknung und vielen anderen Anwendungen eingesetzt. Bei KLT-Gebinden in der Lebensmittelindustrie sind hierbei oftmals Restfeuchtemengen von 3g oder weniger gewünscht. Um dies zu erreichen stehen eine Vielzahl von Modellen mit unterschiedlichen Bauformen und Materialien zur Verfügung.



Abbildung 16: Auswahl diverser Druckluftdüsen; Quelle: Luftdüsen-Shop.de

Bei herkömmlichen Luftdüsen wird einfach Luft durch ein Loch geblasen (vgl. **Abb. 17**). Die dabei erzeugten Geräusche entstehen aufgrund von Turbulenzen. Die in der Praxis noch häufig für vielfältige Anwendungen genutzten Einlochdüsen, verursachen bei etwa 3 bar Betriebsdruck und charakteristischer tonaler Geräuschentwicklung, Schalldruckpegel größer 80 dB(A) bei freier Ausblasung. Hindernisse im Düsenstrahl oder das Anblasen von Objekten, erhöht in der Regel den Geräuschpegel signifikant (z.B. Kanten, Löcher, usw.). Beim Anblasen von Werkstücken können Pegel von 90 – 100 dB(A) auftreten. Eine gezielte Düsenbestimmung, also deren Größe und der tatsächlich benötigte Druck, können bereits maßgeblich zur Verminderung von Lärm führen.



Abbildung 17: Einfache Rundöffnung bei der Abblasung von KLT-Kisten

Über die Aufspaltung des Luftstroms in parallele Ausgangskanäle und zusätzlichen Einsatz von Diffusoren, lassen sich teils deutlich geräuschgeminderte Luftdüsen realisieren. Runde Bohrungen oder Schlitze teilen dabei den Luftstrom in kleinere Luftstrahlen und führen zu geringeren Verwirbelungen im Mündungsbereich der Düse und zur günstigeren Verteilung des Luftstroms auf angeblasenen Oberflächen. Werden Bohrungen und Kanäle entsprechend angeordnet, kann dies selbst mit nahezu unverminderter Leistungsreduktion geschehen.

Beispiel Flachstrahldüsen



Mehrkanal-Flachstrahldüsen (siehe **Abb. 18**) besitzen speziell geformte Düsenöffnungen und leiten einströmende Luft in gleichmäßig angeordnete Luftkanäle. Die Verteilung geschieht dadurch strömungsgünstig und Turbulenzen können vermindert werden. Der Geräuschpegel hängt jedoch ebenfalls maßgeblich vom Luftdruck und der Positionierung der Düse ab. Eine höhere Strahlgeschwindigkeit und entsprechend höhere Drücke führen abhängig von der Düsenöffnung generell zu höherem Lärm.

Abbildung 18: Windjet - Mehrkanaldüsen gelten bereits als geräuscharm; Quelle: [16]

5.5 Impulsgeräusche

Zusätzlich zum breitbandigen Betriebsgeräusch von Kistenwaschanlagen, das sich aus dem Schall der Antriebspumpe und Waschvorgang zusammensetzt, kommt je nach Anwendungsfall Stoß- bzw. Impulslärm im Reinigungsprozess hinzu. Bei der logistischen Situation und Einsatz eines Kistenwenders sind Prallgeräusche beim Auftreffen der KLT Kisten untereinander oder an vorgegebenen Auswurfstellen für Restschmutz im alltäglichen Betriebsablauf weit verbreitet. Ein Ablegen statt Werfen der Kisten auf Böden oder Oberflächen bleibt aufgrund des hektischen Arbeitsablaufs meist aus. Auch Klappverschlüsse, vorwiegend am Auslauf von Waschanlagen (vgl. **Abb. 2**), können bei schlechter Wartung zu Anschlaggeräuschen am Gehäuserand führen. Werden Kisten händisch, z.B. am Beschickungstisch von Personal abgeklopft, entsteht hier ebenfalls eine impulshaltige Lärmbelastung in unmittelbarer Nähe zum Beschäftigten.

5.6 Transportband

Zum Transport von Kisten werden größere Waschanlagen statt mit einem Ketten- oder neuartigen Spiralsystem oftmals mit Transportbändern (Modulbänder/Gewebebänder) ausgestattet. Sind diese in der Länge häufig ungünstig auf den Betriebsablauf oder Anforderungsfall eingestellt. Sie schlagen durch unzureichende Wartung aus, woraus Laufgeräusche durch Schleifen des Bandes oder sogar Anschlaggeräusche an umgebenden Bau- bzw. Maschinenteilen entstehen (siehe **Abb. 19**).



Abbildung 19: Ausgeschlagene Transportbänder von KLT-Förderstrecken

6. Lärminderungsansätze

6.1 Kreiselpumpen

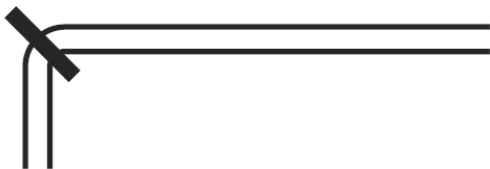
Ein allgemeiner Trend zu höheren Drehzahlen wirkt sich negativ auf die Geräuschemission von Kreiselpumpen aus. Hierdurch kann die Dimensionierung verkleinert werden. Die bessere Ausnutzung von Werkstoffen sorgt zudem für dünnere Wandstärken und begünstigter Schwingungsanregung. Messungen in Betrieben bestätigen hohe Schalldruckpegel am unteren Rand von Kistenwaschanlagen weit über dem im Lärmschutz geforderten oberen Auslösewert von 85 dB(A). Oft wird der Unterboden der Anlagen schlecht oder gar nicht verschlossen bzw. schall- oder wärmeisoliert (vgl. **Abb. 6** – offener Bereich unter Kreiselpumpe). Einige Ausnahmen gibt es nur von bestimmten Serien weniger Hersteller (siehe **Abschnitt 9.2**). Hier sind Unterbauten mit wenigen Millimetern Stahlblech komplett verschweißt. Weitere Möglichkeiten zur Lärmreduktion werden nachfolgend, der Übersichtlichkeit wegen, stichpunktartig aufgezählt:

- Pumpen sollten nicht nur aufgrund der Schallemission, sondern auch wegen energie-technischen Gründen im Betriebspunkt des besten Pumpenwirkungsgrades betrieben werden. Die Schallabstrahlung ist bei der optimalen Betriebsdrehzahl am geringsten.
- Kapselung der Kreiselpumpe bzw. schalldämmende Auskleidung des umgebenden Gehäuses
- Einbringung von Kompensatoren in das Rohrleitungssystem
- Lagerung der Umwälzpumpe auf Gummi-Metall-, oder Federelementen
- Pumpenlager überprüfen bzw. ersetzen. Eine gut gewartete Pumpe läuft ruhiger
- Pumpe sollte stets ruhig und erschütterungsfrei laufen
- Die Lagertemperatur darf bis 50°C über Umgebungstemperatur liegen, darf aber 90°C nicht überschreiten
- Lack- oder Farbabplatzung kann Hinweis auf Vibration oder Druckschläge sein.
- Strömungsgeräusche geben Aufschluss auf optimalen Betriebspunkt oder Kavitation
- Kupplungspakete geben Aufschluss über gleichmäßige Belastung und Laufruhe
- Mangelschmierung bei der Gleitringdichtung, durch Leckage läuft Wasser zum Lagerträger. Wälzlager werden beschädigt -> Wellenbruch!
(laut Herstellern werden 75% der Pumpenausfälle durch Probleme mit der Gleitringdichtung verursacht).

6.2 Konstruktive Maßnahmen des Leitungssystems

Wie in **Abb. 8** ersichtlich, trägt der Verbund von Pumpe und Übertragungssystem mit steigender Pumpenleistung zunehmend zur Schallemission bei. Konventionell werden hydraulische Leitungssysteme als einfache, wartungsarme Rohrleitungen konstruiert. Je nach Aufwand und Verbindungsstrecke findet dies ohne weitere Fixierung statt. Eine zusätzliche Ankopplung an das Gehäuse kann die Pulsation der Pumpe nur geringfügig reduzieren. Die Aufhängung sollte zudem, wegen Verlust an Steifigkeit, an festen Bogenstücken erfolgen (vgl. **Abb. 20 a**). Eine verminderte Körperschallabstrahlung findet dadurch jedoch nicht statt. Durch Kombination von flexibler Schlauchleitung und starrer Leitung (Impedanzsprung) kann durch die Elastizität des Schlauchmaterials eine Dämpfung herbeigeführt werden. Die verschiedenen Bauelemente mit ihren unterschiedlichen Steifigkeitseigenschaften wirken hierbei als Federelemente (vgl. **Abb. 20 c + d**). Durch weitere Übergänge zwischen starren und flexiblen Leitungen kann eine stärkere Reduzierung der Schallübertragung erreicht werden (vgl. **Abb. 20 e**).

a) Traditionell, sehr schlecht



b) geringer Effekt



c) gut



d) sehr gut



e)

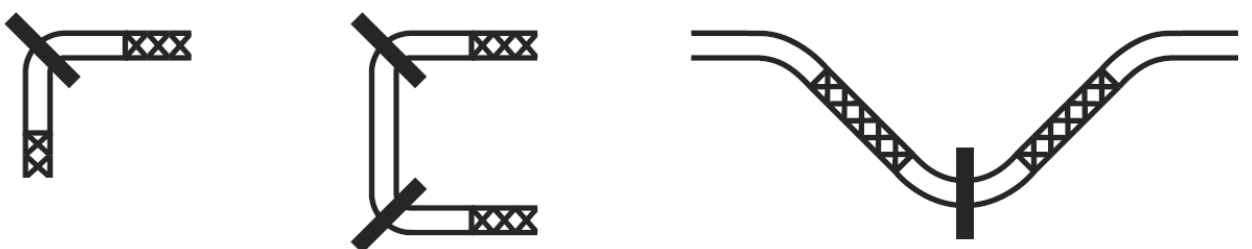


Abbildung 20: Kombination und Fixierung von Leitungselementen; Quelle: [7]

6.3 Düsen

Im Bereich der eigentlichen Reinigung besteht die Möglichkeit, statt einfacher Düsen oder gar Sprührohre, auf Konstruktionen zu achten die möglichst lärmarm eingesetzt werden können (vgl. **Abb. 21 + Abb. 22**). Darunter ist zu verstehen, dass die Düsenart, Austrittsöffnung, Anordnung und Kombination von ganzen Düsenbäumen als Gesamtheit an der Schallabstrahlung während des Waschvorgangs beteiligt sind (vgl. **Abschnitt 5.2**).



Abbildung 21: Einfaches Düsenrohr



Abbildung 22: MEMO-Clip Düse

Für eine einfache Reinigung mit gutem Waschergebnis, ist ein möglichst hoher Aufpralldruck (Wurfweite) bei optimaler Strahlqualität wichtig. Punktueller Beaufschlagung führt nicht zu vollständig gereinigten Behältern. Unter akustischem Gesichtspunkt ist genau dies nicht wünschenswert. Hoher Aufpralldruck und eine bestimmte Tropfengröße führen beim Auftreffen auf geschlossene Flächen zu entsprechender Schallabstrahlung. Es ist folglich ein Kompromiss zwischen Reinigungsergebnis und potentieller Lärminderung gefragt. Primäre Faktoren die in diesem Zusammenhang sind:

- Düsenabstand (zur Aufprallfläche und untereinander)
- Betriebsdruck bzw. Volumenstrom
- Düsenanordnung (oben, unten, seitlich)
- Sprühwinkel
- Verschleiß

Wie in **Abschnitt 5.3** beschrieben, verändert sich die Aufprallkraft mit Abstand der Düse(n) zur Reinigungsfläche der KLT-Kiste (innen und außen). Viele Waschanlagen müssen zugleich die verschiedenen Kistengrößen (E1, E2 und E3) reinigen. Dabei ergeben sich jedoch verschiedene Abstände zwischen Düsen und zu reinigender Oberfläche. Das Szenario mit dem höchsten Reinigungsanspruch ist die Innenreinigung von E3 Kisten. Hierbei muss der Betriebsdruck hoch genug sein, um mit den unteren Düsen bei entsprechender Strahlbreite und Aufpralldruck auch stark anhaftende Verschmutzungen am Innenboden zu entfernen. Wie **Abbildung 11** zeigt, entsteht noch zusätzlich das Problem des gleichförmigen, flächendeckenden Sprühbildes entgegen der Gravitation. Im umgekehrten Fall, muss ein gutes Reinigungsergebnis der obigen Düsen zum Kistenunterboden gewährleistet sein. Da alle umlaufenden Düsen(bäume) von einer zentralen Pumpeneinheit angesteuert werden, ist der Systemdruck bei allen Düsen identisch. Somit entsteht je nach Tiefe der Kiste ein optimierbares Verhältnis aus Reinigungseffizienz und Lärmentwicklung.

Diese Ausgangssituation ermöglicht, unter Beachtung des steigenden Aufwands, einige Ansatzpunkte zur Reduktion des Schalldruckpegels. Zum einen ist eine verbesserte Abstimmung auf die jeweilige Anwendung der Reinigung durch Clip- bzw. Momo-Clip Düsen oder die richtige Auswahl der Düsen möglich. Düsenrohre bieten abgesehen vom Vorteil der schnellen Austauschbarkeit keine nennenswerten Vorteile und sind nicht mehr zeitgemäß. Unter Beachtung von **Tabelle 1**, ist auch eine Reduktion der Düsenzahl und gleichzeitig gemindertem Volumenstrom bei vergrößertem Spritzwinkel vorstellbar. Unter Umständen auch in Waschanlagen mit eigener Vorreinigung und einhergehender, längerer Einweichphase zur Schmutzablösung der Gebinde. Der erhöhte Platzbedarf ist jedoch als gewichtiges Gegenargument zu bewerten. Viele Kistenwaschmaschinen besitzen zur Fixierung der KLT-Behälter gegen den Druck der unteren Düsen einen Kistenniederhalter, der von der bedienenden Person auf die jeweilige Gebindegröße beim Beginn der Reinigung eingestellt werden muss. Hierüber könnten statt Sprühdüsen für die äußere Reinigung (Unterboden) auch Bürsten eingesetzt werden (Hygienebürsten HACCP-konform). Durch die Verringerung der Düsenanzahl ist ebenfalls eine geringere Dimensionierung des Pumpensystems möglich.

Auch Verschleiß der Sprühdüsen kann zu einer steigenden Lärmentwicklung führen. Durch Materialabtragung findet eine Vergrößerung des Querschnitts der Düsenöffnung statt. Beschädigung oder Verstopfung ändern somit das Sprühbild einzelner Düsen. Folglich wird dadurch auch der Volumenstrom beeinträchtigt. Nach Herstellerangaben, sollten für einen störungsfreien Betrieb die Partikel im Düsenkreislauf $1/3$ des geringsten Querschnitts nicht übersteigen. Einer entsprechenden Wartung kommt also eine besondere Bedeutung zu.

6.4 Abblasung (modellabhängig / optional)

Eine Ursache für Lärm bei der Abblasung von Kistenwaschmaschinen sind hohe Luftgeschwindigkeiten. Einige Hersteller argumentieren für verlängerte Wasch- und Trockentunnel zur Lösung ohne erhöhten Energieaufwand. Eine Möglichkeit die Abblasleistung zu reduzieren besteht demnach durch Verwendung von ergänzenden Heizelementen (Erhöhung des Energiebedarfs).

Turbulenz- und Wirbelgeräusche, sowie Vibration von Schaufeln, Lagerungen und Motor führen zur Luftschallabstrahlung. Im direkten Umfeld des Ventilators ist dafür der Körperschall ausschlaggebend. Eine Minderung erfolgt üblicherweise durch mechanische Entkopplung der angeschlossenen Kanäle über Federsysteme oder Kompensatoren. In den Kanalsystemen können sowohl saug- als auch druckseitig eingebrachte Schalldämpfer dafür sorgen die Schallemission zu mindern. Eine Einhausung der Ventilatoren (vgl. **Abb. 23**) ist gerade bei größeren Anlagen mit mehreren Abblasstufen eine wirksame Maßnahme, da diese auch als Ergänzung angeboten oder getrennt vom primären Waschvorgang aufgestellt werden können.



Abbildung 23: Ablaseinheit kaskadierter Radialventilatoren in Einhausung; Quelle: [2]

Oft befinden sich Abblasventilatoren in unmittelbarer Nähe von Waschanlagen oder gar extern positioniert und können relativ frei in den Raum abstrahlen (siehe **Abb. 24**). In diesen Fällen ist eine schallabsorbierend ausgekleidete Umbauung realisierbar (vgl. **Abb. 25**). Ein Ventilator, mit aus Lochblech aufgebautem Gehäuse, kann durch Faservlies belegt in eine luftdichte Kapselung eingesetzt werden. Als Absorptionsmaterial kommt Mineralwolle (z.B. Steinwolle) zum Einsatz, welche die vom Laufrad erzeugte Schallenergie aufnimmt und damit weniger Abstrahlung in das Kanalsystem stattfindet. Dadurch kann eine Schalldruckpegelminderung, je nach Drehzahl, von 6 - 20 dB erreicht werden.

Hierbei ist zu beachten, dass sich durch diese Maßnahme der Wandwiderstand für die Luftreibung erhöht und der Volumendurchsatz geringfügig reduziert wird (vgl. ZIAS – Zentralinstitut für Arbeitsschutz. Katalog Lärminderungsmaßnahmen).



Abb. 24: Ventilatoren auf Waschanlage; Quelle [14]

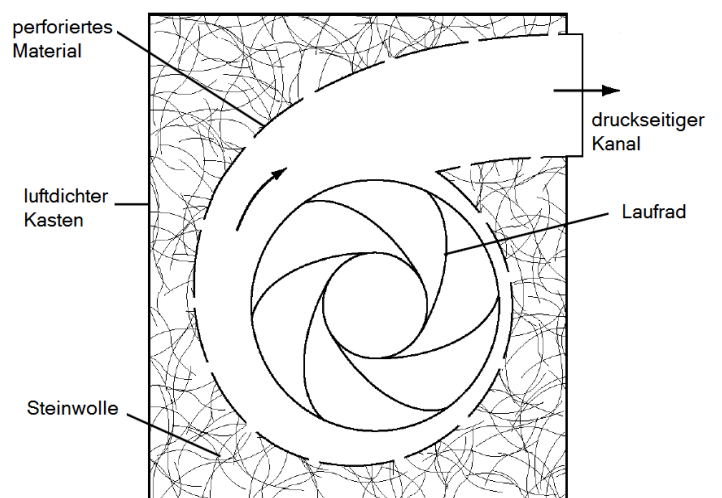


Abb. 25: Schallabsorbierende Konstruktion; Quelle [7]

Die durch Turbulenzen entstehenden Geräusche, also Schall der aus der Verwirbelung einer eintretenden Strömung in ein ruhendes identisches Medium (Gas, Flüssigkeit) eintritt (sog. Freistrahlergeräusche), weisen ein breitbandiges Schallemissionsspektrum mit einem Maximum bei mittleren Frequenzen auf. Bei Radialventilatoren treten zudem tonale Komponenten in den Vordergrund.

Das Institut für Maschinenwesen der Technischen Universität Clausthal stellt in einem Projekt zur Luftschallabstrahlung folgende Gestaltungsregeln zur Lärminderung bei Ventilatoren auf:

- Strömungstechnische Schaufeloptimierung auf den Betriebspunkt
- Schrägstellen der Schaufeln von Radialrädern
- ungleichmäßige Anordnung von Leit- und Laufschaufeln bei Axialstufen
- Vermeiden von Umlenkungen und Querschnittssprüngen
- Volumenstromvariation durch Drehzahländerung statt durch Drallregelung oder Drosselung
- Strömungsgeschwindigkeit niedrig halten
- Umfangsgeschwindigkeit verringern

Die Gesamtschalleistung von Ventilatoren kann für den optimalen Betriebspunkt (maximaler Wirkungsgrad) unter Zuhilfenahme technischer Datenblätter der Hersteller mit folgender **Formel 4** approximiert werden:

$$L_w \approx 37 + 10 \log (V) + 20 \log (\Delta p_t) \quad (4)$$

L_w : Gesamtschalleistungspegel [dB] ± 4 dB

V : Volumenstrom [m^3/s]

Δp_t : Totaldruckerhöhung [Pa]

6.5 Air-Knives (Luftmesser)

Die Flüssigkeits- bzw. Restwasserentfernung kann bei Abblasstationen basierend auf unterschiedlichen Luftdüsen erfolgen. Diese reichen von einfachen Gebläsen oder Bohrlöchern in Rohren, über Flachschilddüsen bis zu sogenannten Luftmessern. Bei Betrachtung der Lärmentwicklung sind letztere, auch gegenüber bereits beispielhaft erwähnten Mehrkanal-Flachstrahldüsen deutlich im Vorteil (siehe **Abb.26**).

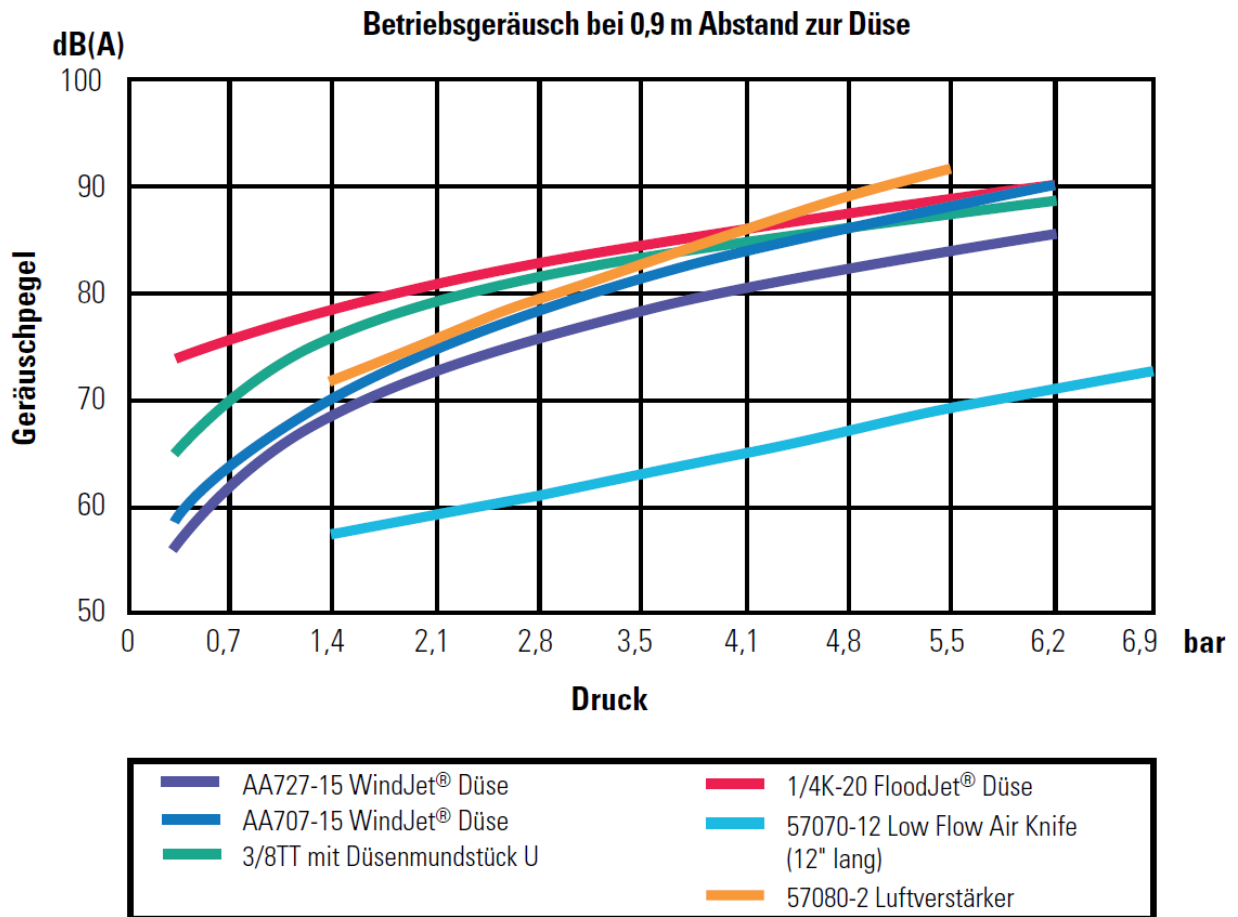


Abbildung 26: Schalldruckpegelvergleich von Druckluft-Blasdüsen; Quelle: [18]

Bei einem Airknife, wird die zur Verfügung stehende Luft mit einem definierten Druck über den Einlass (1) und einer Kammer mit bestimmtem Volumen und Ausformung zu einer schlitzförmigen Öffnung geleitet (2). Dieser Luftspalt kann durch sogenannte Shims (Zwischenlage aus Folie oder Blech) im Bereich von meist 0,3 mm bis 0,8 mm variiert werden (vgl. **Abb. 28**). Der primäre Luftstrom, der die Düse auf einer durchgehenden Fläche verlässt, schneidet die umgebende Luft wie ein Messer. Dieser einheitliche Vorhang laminarer Luftströmung reißt die Umgebende Raumluft (3) mit sich (Luftinduktion) und kann dazu benutzt werden Gegenstände, Werkstücke oder Oberflächen mit hoher Aufprallkraft zu trocknen bzw. abzublasen (vgl. **Abb. 27**).

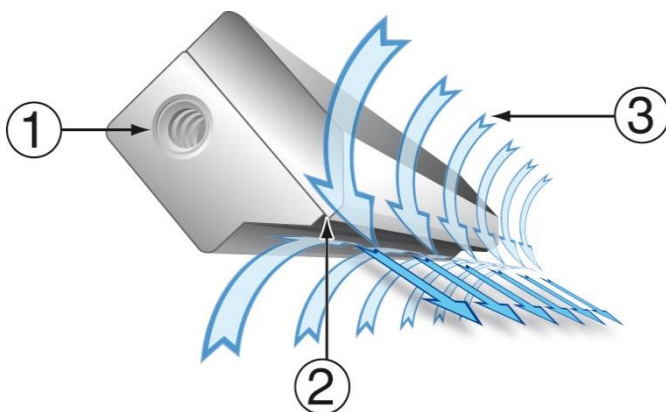


Abbildung 27: Air-Knife Skizze; Quelle: [19]



Abbildung 28: Shim Set für Air-Knifes; Quelle: [19]

Air Knifes werden ab Werk in der Regel mit Shims der Dicke 0,5 mm ausgeliefert. Je nach Anwendung kann hiermit die Blaskraft bzw. das Luftvolumen angepasst werden. Dickere Shims vergrößern den Luftspalt **(2)** und erhöhen über den Volumenstrom ebenfalls den Geräuschpegel. Ein möglichst geringer Abstand des Luftmessers zum Produkt (bei entsprechend angepasstem Volumenstrom) in Verbindung mit einer dünnen Zwischenlage ist daher die bestmögliche Kombination in Bezug auf Wirkungsgrad, Abblasergebnis und Lärm-entwicklung.

Folgende generelle Empfehlungen und Leitsätze können gegenüber einer geringeren Lärm-emission meist in Verbindung mit einer Kostenreduzierung gemacht werden:

- Wählen Sie immer eine Düse aus, die mit dem niedrigst möglichen Luftverbrauch das gewünschte Ergebnis erzielt. So maximieren Sie die Einsparungen und reduzieren den Geräuschpegel.
- Installieren Sie vor den Druckluft-Blasdüsen ein Ventil und ein Manometer in der Zuführungsleitung. Regeln Sie den Druck auf das Minimum herunter, mit dem die gewünschten Ergebnisse noch erzielt werden. Geringerer Druck erhöht die Sicherheit, verringert den Geräuschpegel und kann Kosten sparen
- Ein erheblicher Anteil des Geräuschpegels wird beim Auftreffen des Luftstroms auf die Zieloberfläche erzeugt. Dieses insbesondere dann, wenn hierbei Kanten oder Löcher vom Luftstrom beaufschlagt werden. Daher ist ein optimaler Arbeitspunkt, abhängig von Düsenart, Luftdruck bzw. Volumenstrom und Abstand zu wählen.
- Druckluft-Blasdüsen sollten auf Kugeldrehgelenken montiert werden, damit eine akkurate Ausrichtung ermöglicht wird
- Bei Reinigungsaufgaben sollte die Düse nicht senkrecht zur Zielfläche installiert werden. Es wird empfohlen einen Winkel von 15° bis 45° relativ zur behandelnden Zieloberfläche einzuhalten.
- Bei Luftmessern besser eine längere Einheit, statt 2 oder 3 kleinere Produkte wählen.
- Zwischenspeicher mit Druckluft am Anwendungspunkt nutzen
- Lecks im Druckluftsystem finden und beheben
- Druckluft am Anwendungspunkt regulieren

6.6 Zentrifugentrocknung

Alternativ zur Abblasung mit Radialventilatoren oder Druckluft und der damit verbundenen Lärmproblematik, bietet die italienische Firma Colussi Ermes seit geraumer Zeit unterschiedliche Anlagen auf Basis geschleuderter Kistentrocknung an. Diese, auch als Zentrifugentrockner bezeichnet, können ebenfalls problemlos an vorhandene oder neue Kistenwaschanlagen angegliedert werden und erreichen Trockengrade von 2-4 g Restfeuchte pro Kiste (bei konventioneller Trocknung sind unter entsprechendem Aufwand (Energie, Lärm) mit Hochleistungstrocknern Restfeuchtemengen von ca. 2 g möglich).

Das Unternehmen bietet in kompakter Ausführung eine einfache und doppelte Schleuder-Trocknung mit Kapazitäten von 1200 bzw. 2400 Kisten/Stunde an (vgl. **Abb. 29 und 30**) Ebenso eine Version in Zweibahn-Ausführung mit bis zu 4200 Kisten/Stunde, sowie größere Varianten mit bis zu 7200 Kisten/Stunde Maximalleistung für falt-, Klapp- oder steife Kisten.



Abbildung 29: Auslauf einer einfachen Zentrifugentrocknung

Eine exemplarische Messung einer einfachen Zentrifugentrocknung am Ein- und Auslaufbereich der Anlage ergab bei folgenden Spezifikationen Schalldruckpegel gemäß **Tabelle 6**:

- Maschinengeschwindigkeit: 100 %
- Zentrifugengeschwindigkeit: 100 %
- Zentrifugen-Drehzahl: 8
- Augenblickliche stündliche Auslastung: 1036 Zyklen (maximal 1200)

Messung	Datum	T _M [min:s]	L _{pAeq} [dB]	L _{pCpeak} [dB]
Einlauf Trocknung	23.10.18	00:49	79,9	103,4
Auslauf Trocknung	23.10.18	00:38	78,9	103,4
Auslauf Kistenwäsche	23.10.18	00:35	86,1	105,4
Raumpegel (2m seitlich)	23.10.18	00:33	79,2	101,4

Tabelle 6: Messergebnisse einer einfachen Zentrifugentrocknung

Als Hauptschallquelle des Raums war nach Messung die Kistenwaschanlage auszumachen. Diese schloss mit dem Auslauf der Kisten in ca. 2 m Abstand über ein Förderband an den Eingang der Schleudertrocknung an. Eine Raumrückwirkung auf das Messergebnis der Zentrifugentrocknung ist somit gegeben. Unter isolierten Bedingungen, ist somit eher ein geringerer Lärmpegel der einfachen Trocknungseinheit zu erwarten.

Bei Betrachtung der doppelten Zentrifugentrocknung gemäß **Abb. 30**, ist aufgrund der zweifachen gegliederten Schleuderung eine Pegelerhöhung um + 3dB zu vermuten. Diese, sowie die anderen Varianten im Produktportfolio der Schleudertrocknung, sollte nach Möglichkeit zukünftig genauer untersucht werden.



Abbildung 30: Doppelte kompakte Zentrifugentrocknung

6.7 Impulsgeräusche

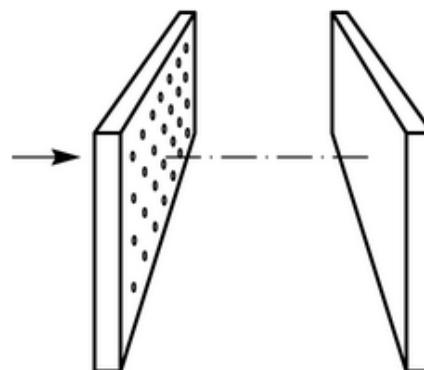
Im Falle des Kistenwenders sind Bremsbänder oder Bremsrollen bzw. seitliche Verjüngung der Kistenführung eine Möglichkeit, Stoßgeräusche zu reduzieren. Manche Hersteller bieten auch eine Abschottung des gesamten Umkehrelements (C-Element) an. Allerdings besteht hier die Gefahr der Körperschallabstrahlung (Einsatz schallabsorbierender Materialeien sinnvoll). Etwaige Klappen von Kisten-Ein- und Ausläufen die nach dem Fördervorgang von Behältern diese verschließen, sollten mit entsprechend stoß- und abriebfesten Materialien zur Reduktion von Impulsgeräuschen ausgestattet sein. Hierdurch wird eine Geräuschbildung beim Durchlauf der Kisten und nachfolgendem Abschluss der Öffnungen unterbunden. Die Vorrichtung muss regelmäßig auf ihre Abnutzung kontrolliert werden. KLTs sollten zudem händisch gesäubert anstatt zur gröberen Schmutzentfernung an Kanten oder Ecken aufgeschlagen werden.

7 Mikroperforierte Platten (MPP) - Absorber

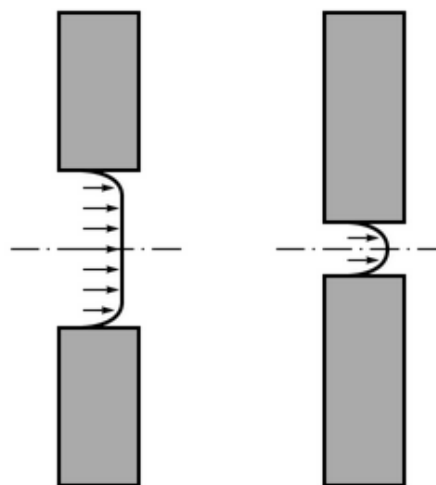
Für den Einsatz in hygienisch anspruchsvollen Bereichen, scheiden konventionelle, schallabsorbierende Maßnahmen mit hohen Absorptionsgraden wie aus der Raumakustik bekannt a priori aus. Bedingt durch eine feuchte und warme Umgebung in Verbindung mit regelmäßiger Reinigung können poröse Absorber (z.B. Mineralwolle) nicht eingesetzt werden. Als einzig praktikable Absorber kommen nur solche in Frage, die unter genannten Bedingungen, auch langfristig, bestehen. Selbst Acrylglas (Eintrübung und Bruchgefahr) oder Aluminium (Abnutzung) sind in vielen Fällen den Anforderungen nicht gewachsen. Edelstahl ist das Mittel zum Zweck.

Mikroperforierte Absorber bestehen prinzipiell aus einem perforierten Material in gewissem Abstand zu einer geschlossenen Fläche. Trifft Schall auf die gelochte Platte, wird zunächst ein bestimmter Anteil kinetischer Energie über Reibung in Wärme umgesetzt (Dissipation), sowie über die Steifigkeit des Luftvolumens zwischen den Platten abgebaut. Es handelt sich somit um ein Masse-Feder-System gemäß der Funktion eines Helmholtz-Resonators. (vgl. **Abb. 31 unten**).

MPP-Absorber besitzen im Vergleich zu herkömmlichem Lochblech (siehe **Abschnitt 8**) einen geringen Lochflächenanteil und können für einen relativ breitbandigen Frequenzbereich ausgelegt werden. Dieser steigt mit dem Abstand zur hinterlegten Fläche (vgl. **Abb. 31 oben** bzw. **Abb. 34/35**) und kann bezogen auf den Anwendungsfall für ein frequenzbezogenes Absorptionsmaximum berechnet werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit der mehrlagigen Gestaltung der Lochplatten womit der Schallabsorptionsgrad deutlich gesteigert werden kann. Diese Option erscheint, aufgrund des ohnehin hohen Anschaffungspreises mikrogeschlitzter Materialien, eher wenig praxisrelevant.



Prinzipieller Aufbau eines mikroperforierten Absorbers: gelochte Platte, Luftschicht, schallharte Rückwand



Schnelleprofil: links in einem normalen Helmholtz-Resonator, rechts in einem mikroperforierten Absorber

Abbildung 31: MPP-Absorber-Prinzip [23]

7.1 Einsatz von SonoPerf® A

Die Kitzinger Maschinenbau GmbH setzt seit Januar 2013 das Produkt SonoPerf® A im Ein- und Auslauf seiner Kistenwaschanlagen ein (vgl. **Abb. 32**). Bei SonoPerf® A handelt es sich (im Vergleich zu SonoPerf® D mit absorbierender Hinterlegung) um ein leicht zu reinigendes, mikrogeschlitztes Stahl- oder Aluminiumblech der Andritz-Fiedler GmbH mit einer Blechstärke von 0,5 – 0,8 mm und einer Lochung $< 0,14$ mm. Die offene Fläche beträgt 3% (vgl. **Abschnitt 8**). Das Material hat ohne Hinterlegung mit Akustikvlies oder Mineralwolle in einlagiger Ausführung einen bewerteten Schallabsorptionsgrad von $\alpha_w = 0,4$. Durch den Einsatz von ca. 1m^2 in Dreieckform im Maschinenauslauftunnel konnte laut Hersteller eine Pegelminderung von 2 dB(A) erreicht werden. Unabhängige Messungen liegen hierbei nicht vor.

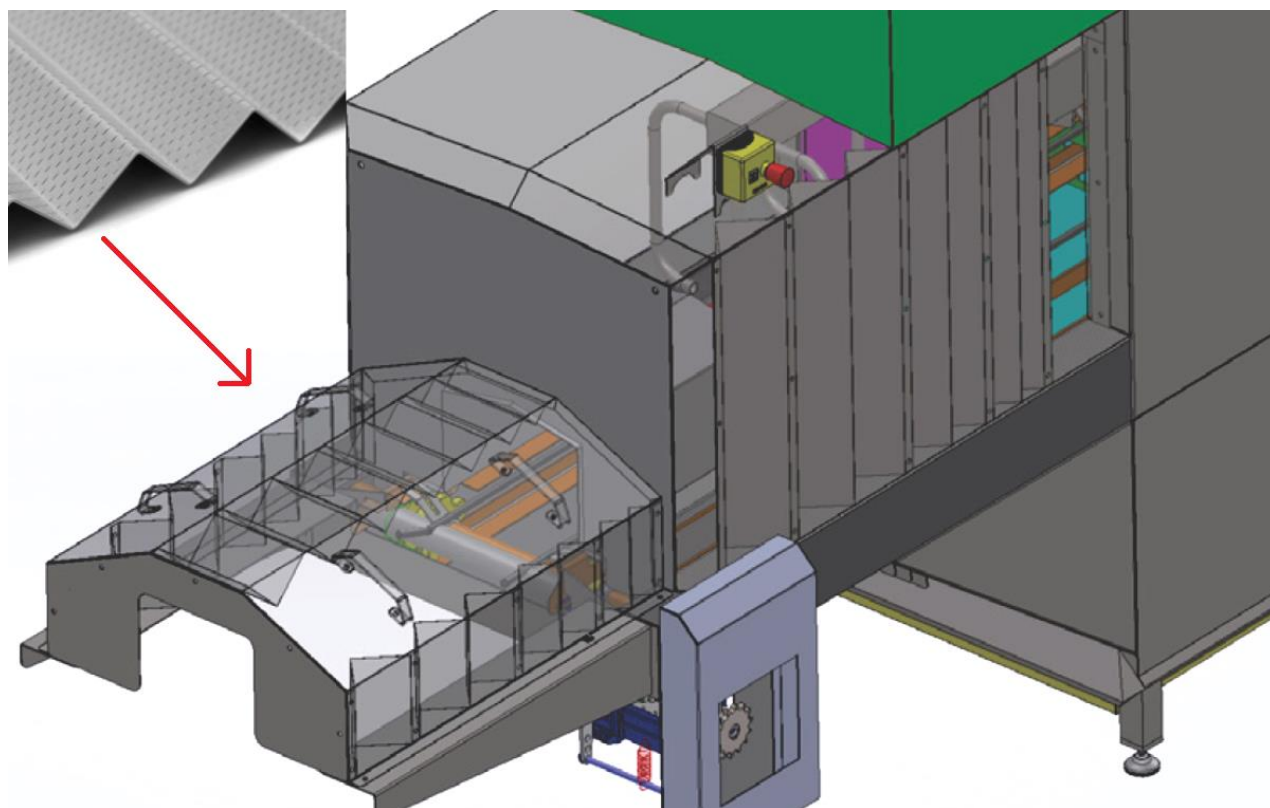


Abbildung 32: SonoPerf® A in Kisten- und Batteriewaschmaschinen; Quelle: [15]

7.2 Material Absorbing Sound and Heat (MASH®)

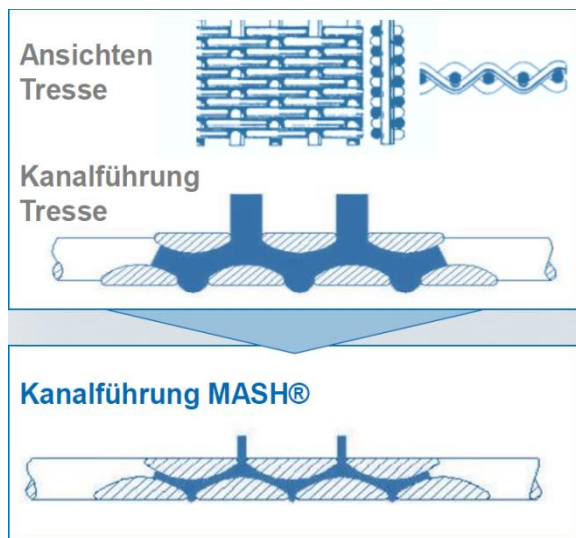


Abbildung 33: Skizze MASH

Neben SonoPerf® befindet sich seit einigen Jahren ein weiteres faserfreies und akustisch wirksames Material aus Metallgewebe am Markt. (vgl. **Abb. 33**). Das Unternehmen filtertechnik.Europe GmbH (fteu), erwachsen aus der Maschinen- und Anlagentechnik mit Fluidfiltration bzw. -dispersion, bietet mit dem Produkt MASH® eine dreidimensionale Interferenzstruktur bei einem bewerteten Schallabsorptionsgrad $\alpha_w = 0,6$. Der Vorteil dieses gewebeartigen Edelstahl- bzw. Aluminiummaterials ist laut Hersteller seine strukturelle Flexibilität und Verformbarkeit (tiefziehen, falten, plissieren) ohne akustischen Nachteil. Zur Zeit wird MASH® (bzw. SonoPerf®) hinsichtlich Reinigung und mikrobiologischer

Eignung (Abklatschtests) bei verschiedenen Unternehmen der Lebensmittelindustrie auf alltägliche Anforderungen untersucht. Eine uneingeschränkte Empfehlung, insbesondere bei direktem Kontakt mit Lebensmitteln kann aufgrund der Ergebnisse aus **Abschnitt 7.4 – MASH Reinigungsprüfung** – nicht ausgesprochen werden. Fraglich bleibt nach wie vor, ob trotz der vorhandenen Tiefenstruktur, langfristig eine Keimbelastung ausgeschlossen werden kann. Weiterführend ob die akustische Wirkung, trotz verschiedener tensidhaltiger Reinigungsmittel bzw. der Benetzung des Materials mit Flüssigkeiten unterschiedlicher Oberflächen- und Grenzflächenspannung, gewährleistet bleibt.

7.3 Vergleich von MASH® und SonoPerf®

Der Direktvergleich der beiden oben angeführten Materialien Mash® und SonoPerf®, gibt Aufschluss über die frequenzabhängige Absorption bei einem Wandabstand von 200 mm (siehe **Abb 34/35**). Die Verläufe der Kennlinien, zeigen bei besagtem Wandabstand vergleichbare Charakteristika bei z.B. 1 kHz und 500 Hz. Deutlich ist ein akustischer Vorteil der Tiefenstruktur bei MASH mit höherem bewertetem Schallabsorptionsgrad von 60% gegenüber SonoPerf mit 40% erkennbar. Wird der Wandabstand erhöht, kann dadurch eine breitbandigere Absorptionswirkung gegenüber tiefen Frequenzen erzielt werden. Dies ist materialunabhängig immer der Fall und kann über eine Frequenzmessung bei entsprechender Analyse, im Praxisfall vorteilhaft zur zielgerichteten Montage der Materialien genutzt werden.

Messung nach DIN EN ISO 354

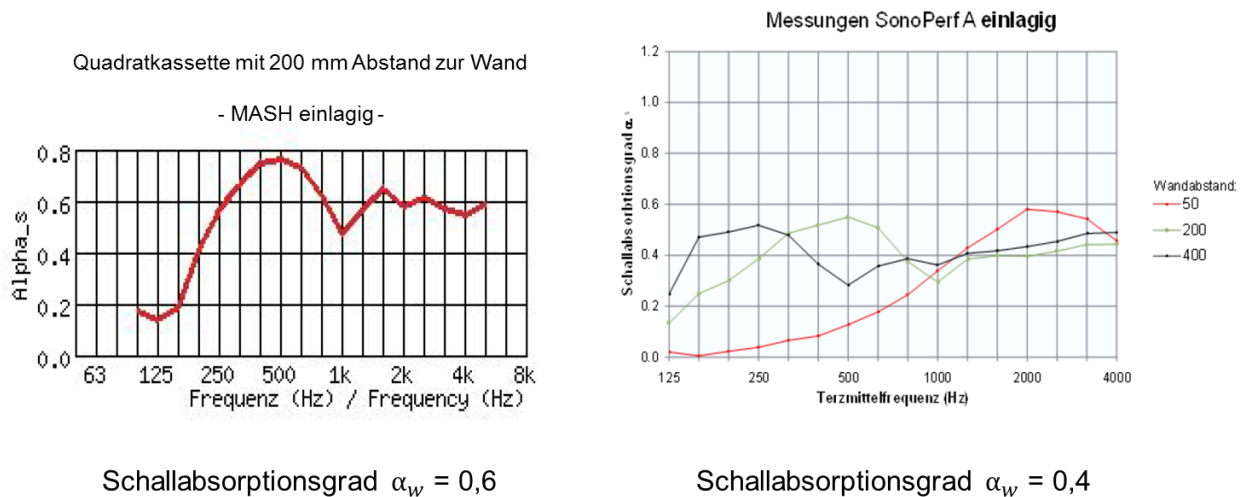


Abbildung 34: Vergleich der Schallabsorptionsgrade beider Materialien

Eine Erhöhung des Schallabsorptionsgrades kann durch zweilagige Anwendung der Materialien auch ohne Hinterlegung poröser Absorber erreicht werden. Der Hersteller gibt dazu Vergleichskurven, macht jedoch keine genaueren Angaben zum Abstand der einzelnen Absorptionsflächen. Dies könnte in einem weiteren Schritt näher untersucht werden (vgl. nachfolgende **Abb. 35** sowie **Abschnitt 9**).

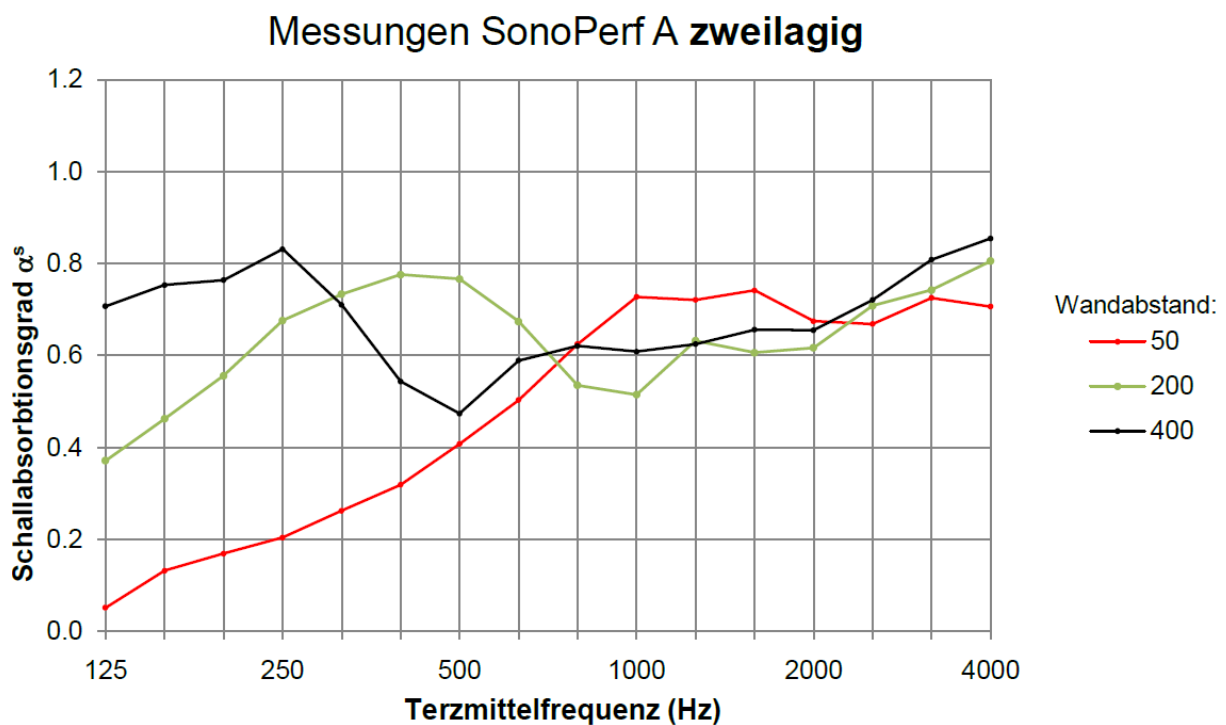


Abbildung 35: Absorptionskennlinien von SonoPerf in doppellagiger Ausführung

7.4 MASH - Reinigungsprüfung

Durch ein mehrere Stufen führendes Verfahren, wurde das Gewebe-Material MASH im mikrobiologischen Labor der BGN nach Anschmutzung eines Probeträgers (300 x 300 mm) dem Versuch der Reinigung unterzogen. Die zu Grunde liegende Fragestellung war der Einsatz im Nahrungsmittelbereich im Umfeld von Maschinen bei direktem Kontakt mit Lebensmitteln.

Eine Suspension mit folgenden Bestandteilen wurde dabei aufgekocht, auf den Probeträger gebracht und einer Antrocknung überlassen (vgl. **Abb. 36 + 37**):

- 1 Ei
- 3,0 % BSA
- 12 g Chia-Samen
ad 100 ml mit 3,8 % Vollmilch

Die erste Stufe der Reinigung erfolgte mit einem Hochdruckreiniger (Kärcher HD 5/15 CX Plus) im Abstand 90/45 cm über einen Zeitraum von 60s bezogen auf das Prüffeld (siehe **Abb. 38 + 39**).

Der noch beschmutzte Prüfkörper wurde in einer zweiten Stufe einem enzymatischen Laborreiniger (Mucosal, 0,7 %) zum Abbau von Proteinen für zwei Stunden ausgesetzt und mit Trinkwasser gespült (vgl. **Abb. 40 + 41**).

In der dritten Stufe wurde die verbleibende visuelle Verschmutzung mit einem Spülschwamm mechanisch beseitigt (vgl. **Abb. 42 + 43**).

Das nach stereomikroskopischer Prüfung weiterhin unbefriedigende Reinigungsergebnis, führte in einer vierten Stufe zu einer 24-stündigen Behandlung mit Mucosal 0,7% und anschließender desinfizierenden Reinigung (3 min, 93°C) in einer Laborspühlmaschine (siehe **Abb. 44 + 45**).

Ergebnis gemäß Labor:

„...Für den geplanten Einsatz des MASH-Materials in der Lebensmittelstellung wurde eine Anschmutzungsmatrix gewählt, die protein- und fettreich ist und gute Anheftungseigenschaften aufweist, sowie den direkten Kontakt von Maschinenoberflächen mit Nahrungsmitteln im experimentellen Maßstab abbilden kann.

Keine der in Stufe 1-3 gewählten Vorgehensweisen resultierte in ein ausreichendes Reinigungsergebnis, Reste der Anschmutzung waren immer noch vorhanden. Aufgrund der Maschengeflechtstruktur waren auch nach intensiver, mechanischer Reinigung in den Zwischenräumen Reste der Prüfanschmutzung unter der Stereolupe erkennbar geblieben. Selbst nach einer desinfizierenden Reinigung (Stufe 4) blieben Reste der Anschmutzung auf der Oberfläche sichtbar. Diese waren auch visuell im Probenstück im Gegenlicht erkennbar.

Die Reinigung des Prüfkörpers erbrachte mit einfachen Methoden kein zufriedenstellendes Ergebnis...“



Abbildung 36: Anschmutzung des Probekörpers

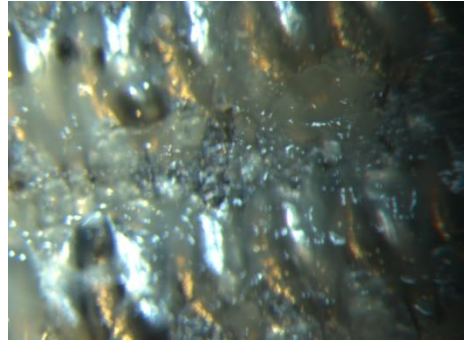


Abbildung 37: Mikroskopische Betrachtung

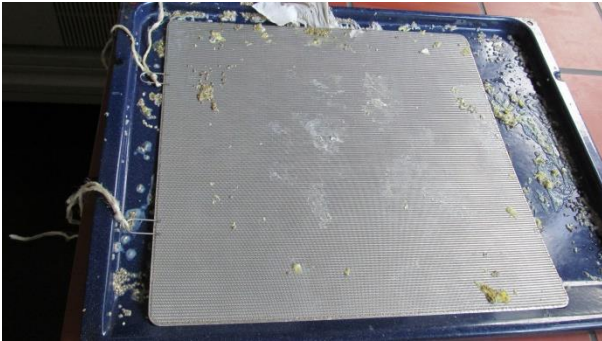


Abbildung 38: Nach Hochdruckreinigung

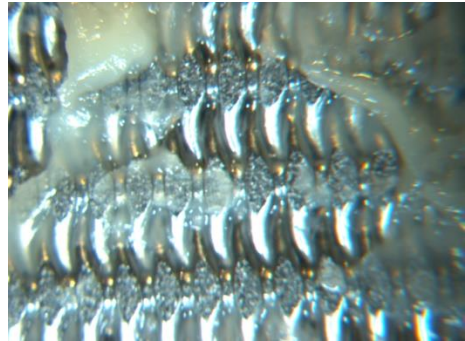


Abbildung 39: Betrachtung nach Hochdruckreinigung



Abbildung 40: Nach Mucosol 0,7% Behandlung

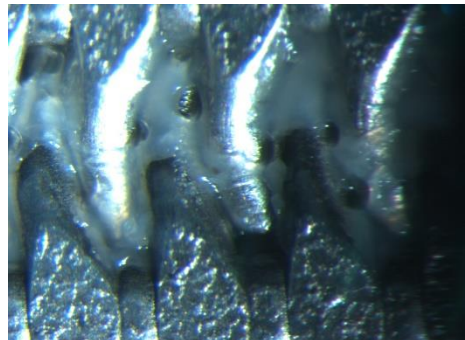


Abbildung 41: Betrachtung nach Mucosolbehandlung



Abbildung 42: Nach Reinigung mit Spülschwamm

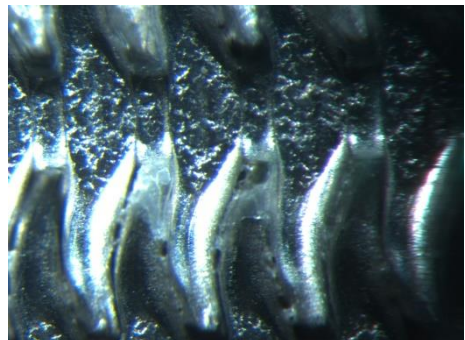


Abbildung 43: Betrachtung nach händischer Reinigung

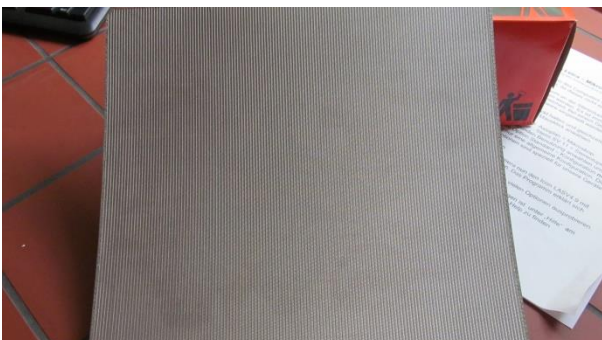


Abbildung 44: Nach 24h-Behandlung mit Mucosol

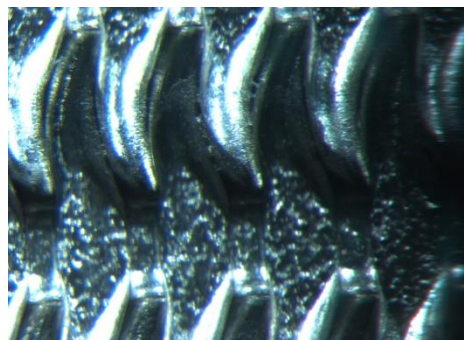


Abbildung 45: Betrachtung nach 24h-Behandlung

8 Schalldurchlässigkeit bei Lochblechen

Innerhalb von Kistenwaschanlagen kommen teilweise Lochbleche zum Einsatz. Auch zur Verblendung oder zum mechanischen Schutz mit gewisser Durchsichtigkeit werden perforierte Bleche im Außenbereich eingesetzt. Im Durchlaufkanal der Kisten kommen sie vereinzelt als wasserdurchlässiges Auflage- oder Führungsmaterial zum Einsatz.

Mit Bedacht auf die absorbierende Wirkung mikrogeschlitzter Bleche, stellt sich die Frage, bei welchem Lochflächenanteil ein Effekt bei reinem Schalldurchgang an handelsüblichem Lochblech feststellbar ist. Nachfolgend werden unterschiedliche Geometrien im Lochmuster bei verschiedenen Blechen aufgezeigt. Dabei wurde, je nach Verfügbarkeit, eine Steigerung des prozentualen Durchlasses um ca. 10% angestrebt (vgl. **Abb. 46 – 51** – *Achtung: nur noch näherungsweise Maßstabsgetreu*).



Abbildung 46: Rundlochung gerade; 7% Lochflächenanteil



Abbildung 47: Rundlochung versetzt; 15% Lochflächenanteil



Abbildung 48: Langlochung versetzt; 26% Lochflächenanteil



Abbildung 49: Langlochung versetzt; 37% Lochflächenanteil

Rundlochung versetzt

Rv 5-7

(Durchlass: 46%)

Maßstab 1:1

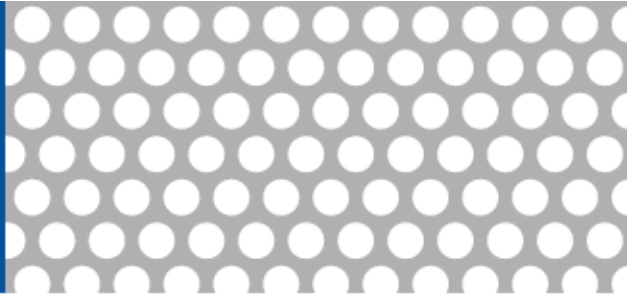


Abbildung 50: Rundlochung versetzt; 46% Lochflächenanteil

Rundlochung versetzt

Rv 7-9

(Durchlass: 55%)

Maßstab 1:1

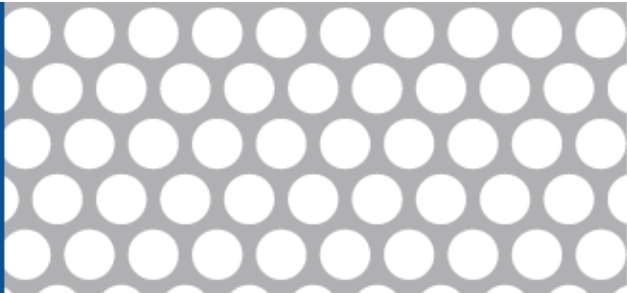


Abbildung 51: Rundlochung versetzt; 55% Lochflächenanteil

Die Untersuchung der Schalldurchlässigkeit von konventionellen Lochblechen wurde mit einer definierten Schallquelle unterhalb des Materials im Halbfreifeldraum der BGN Mannheim durchgeführt. Die Messung fand mit einem Klasse 1 Messgerät im Nahfeld (ca. 10 cm Abstand) zur Oberfläche statt. Sie zeigt bei den vorliegenden Blechen bis zu einem Lochflächenanteil (Öffnungsfläche) von 7% keinen Einfluss der unterschiedlichen Geometrien. Ab ca. 1,6 kHz macht sich bei diesem eine Durchlassminderung von bis zu 9dB im höheren Frequenzverlauf bemerkbar. Untersucht wurden insgesamt 6 unterschiedliche Bleche nach vorangegangener Auflistung, sowie eine Vergleichsmessung ohne Lochblech (vgl. **Abb. 52**).

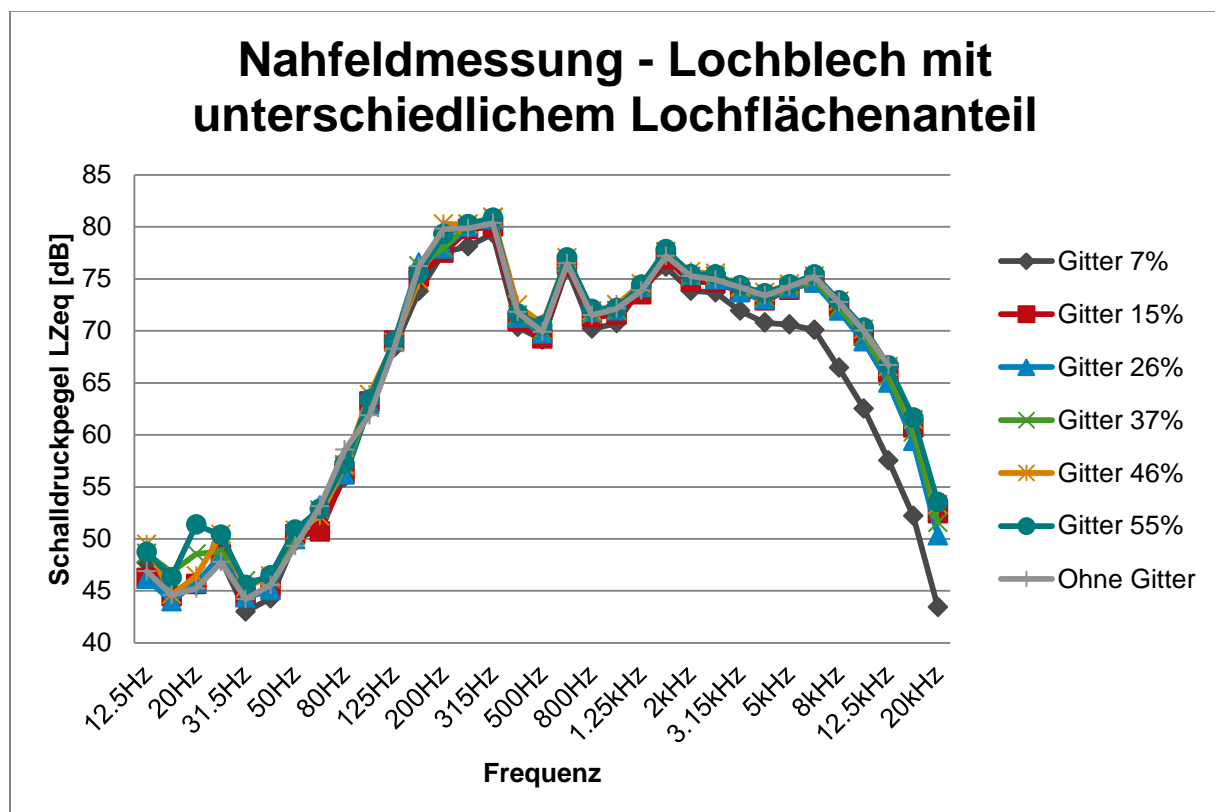


Abbildung 52: Einfluss verschiedener Lochbleche auf den Schalldurchtritt

9 Ausblick

Im Folgenden werden Maßnahmen und Ansatzpunkte aufgeführt, die sich aus vorangegangenen Betrachtungen dieser Untersuchung ergeben und in weiteren Schritten aufgegriffen bzw. als weitere Projekte vertieft werden können:

- **Ergänzende Untersuchung von Lochblechen**
 - Zur Vertiefung der Messergebnisse aus **Abschnitt 8**, besteht Wissensbedarf über weitere Auswirkungen von Oberflächen mit geringem Lochflächenanteil. Insbesondere verschiedene Öffnungsflächen und -verteilungen können dabei unerwartete Auswirkungen auf Schalltransmission haben. Da Lochbleche in unterschiedlichsten Formen und Lochungen an Maschinen verbaut sind, kommen diese bei Emissionsmessungen und Beurteilungen besonders im Bezug zu Messungen im Nahfeld zum Tragen.

- **Schallabsorption bei mehrlagigen Hygieneabsorbern**
 - Hersteller von in hygienisch anspruchsvollen Umgebungen nutzbaren faserfreien Absorbern veröffentlichen akustische Kenndaten oft ohne weiterführenden praxisnahen Bezug. So werden Absorptionskennlinien mehrlagiger Materialien vereinfacht unter den Angaben einlagiger Versuche publiziert (vgl. **Abschnitt 7.3**). Untersuchungen im Hallraum (unter Umständen auch mittels Intensitätssonde) könnten einerseits eine oft vermutete Hinterlegung mit andersartigem Absorptionsmaterial verifizieren und zum anderen, die Wirkung dieser Elemente bei unterschiedlichen Abständen untereinander messtechnisch erfassen. Dieses Wissen ermöglicht bzw. erleichtert Empfehlungen und den praxisgerechten Einsatz schallabsorbierender Materialien in hygienisch anspruchsvollen Umgebungen.

- **Mikrobiologische Untersuchungen zu weiteren Reinigungsmethoden von MASH**
 - Die Ergebnisse der Reinigungsprüfung des maschenartigen, metallischen Absorptionsmaterials MASH (vgl. **Abschnitt 7.4**) brachte kein zufriedenstellendes Ergebnis des Materials bei direktem Kontakt mit Lebensmitteln. Die Reinigungsmethoden sind in Zusammenhang mit Zeit, Art und verwendetem Reinigungsmittel unterschiedlich. Der im Abschnitt aufgeführte Laborreiniger Mucasol, wird in der Industrie nicht verwendet. Hier besteht die Möglichkeit, abhängig von der vorherrschenden Kontamination, eine Prozedur zu entwickeln, die den Einsatz von MASH auch bei möglichem Kontakt mit Lebensmitteln nutzbar macht.

9.1 Hydrophysikalische Wasseraufbereitung

Die Firma Reinhard Mannesmann GmbH entwickelte in Kooperation mit den Stadtwerken Arnsberg ein hydrophysikalisches Wasseraufbereitungssystem kurz MHP-System (Mannesmann Hydrophysikalische Wasseraufbereitung). Dabei handelt es sich um eine Einrichtung zur biozidfreien Aufbereitung von Prozesswasser, die in vielen Bereichen der konventionellen Reinigung vorteilhaft eingesetzt werden kann. So sollen laut Hersteller organische Verunreinigungen eliminiert und bakterielle Belastung, stetiges Keimwachstum sowie Neuverkeimung verhindert werden (vgl. **Abb. 53**).

Die zentrale Funktionseinheit des Systems, ist eine Reaktionskammer die ähnlich einer Zentrifuge mit Unterdruck und Scherkräften arbeitet (Laval- bzw. Venturidüsen-Effekt).

Interessant in Bezug auf Lärminderung an Kisten- und Kastenwaschmaschinen ist der Einfluss auf die Trocknungsphase und die damit einhergehende Reduktion der Abblaseung. So schreibt das Magazin „Getränkeindustrie“ in ihrer Ausgabe 10/2016:

„Die Technik des MHP-Systems sorgt zudem für eine Viskositätsänderung des Wassers und dadurch eine Reduzierung der Wasseroberflächenspannung um bis zu 40 Prozent. Dadurch verbessert sich das Abtropfverhalten deutlich, was dazu führt, dass Kisten und Kasten nach dem Lauf durch eine Waschanlage spürbar schneller trocknen und die Restwassermenge auf dem Reinigungsgut signifikant geringer ist. Zudem lösen sich durch die besagten physikalischen Effekte auch fest haftende Beläge und Verschmutzungen auf den Getränkeboxen zuverlässig.“

Unterm Strich zeigen sich also deutliche Vorteile im Vergleich zu einer herkömmlichen Kastenwaschanlage, die mit Tensiden arbeitet und eine langwierige und teilweise aufwendige Trocknungsarbeit erfordert.“

Da diese Anlage jedoch eine Hochdruck-Kreiselpumpe enthält, bleibt zu klären, wie weit die positiven Effekte die Gesamtbilanz im Hinblick auf Lärm überwiegen.



Abbildung 53: MHP-System in vollständiger Ausbaugröße

Aufgrund der erhöhten Komplexität, Mehraufwand sowie Platzbedarf und der Einführung verhältnismäßig leiser Zentrifugentrocknungsanlagen (vgl. **Abschnitt 6.4**) wurde dieser Ansatzpunkt nicht weiter verfolgt.

9.2 Innovative lärmindernde Konzepte



Abbildung 55: Doppelwandige 65mm-Struktur;
Quelle: Colussi Ermes

Bisher bieten nur ausgesuchte Hersteller von Kistenwaschanlagen Alternativen die sich bauartbedingt positiv auf Lärm und Schallemission auswirken. Beispielhaft steht hier das deutsche Unternehmen Kitzinger mit der Serie „Spiracon“, welche einen vollständig verschweißten Unterbau aus größtenteils 3 mm Edelstahlblech aufweist (siehe **Abb. 54**) oder die italienische Firma Colussi Ermes mit einer doppelwandigen Konstruktion aus einer isolierten 65 mm Struktur (vgl. **Abb. 55**). Dies hat sowohl lärmtechnische als auch energetische Vorteile und ist als wegweisend zu betrachten. Der Zugänglichkeit zwecks Reinigung in alle Bereiche der Waschstraße muss lärmbezogen eine gute Isolation der Flügeltüren, Zuleitungen, Revisionslöcher und der Ablaufkanäle zugrunde liegen. Beim Ein- und Auslauf der Waschstraßen sowie in allen Zwischenstationen können zusätzlich zur Abtrennung (auch mehrlagig) Lamellen eingesetzt werden. Vereinzelt geben Hersteller auf Nachfrage an, verschiedene schallabsorbierende Materialien mit hydropho-

bierender Oberfläche (z.B. Cellofoam® F800 CB oder HR290 CB) oder bestimmte schalldämmende oder teilweise absorbierende Produkte wie Armaflex® bzw. Arma-sound® einzusetzen. Aus wirkungsvollem praxisnahem Einsatz ist davon bisher nichts bekannt. Abgesehen hiervon, ist empfehlenswert, konstruktive Maßnahmen zur Lärminderung direkt an der Stelle einzusetzen wo Personal unmittelbar betroffen ist. Dies sind entweder Ein- und Ausleger von Waschanlagen bzw. bei vorhandenem Kistenwender und Einzelpersonen-Bedienung der Einlegebereich für Kisten. Hier ist meist eine Waschtunnelhöhe vorzufinden, die abhängig von der verwendeten Kisten-größe eine erhebliche Schallaustrittsöffnung darstellt. Ein möglicher Ansatzpunkt unter Einbeziehung schallabsorbierender Mate-



Abbildung 54: Waschanlage der Spiracon-Serie mit geschlossenem Unterbau; Quelle [1]

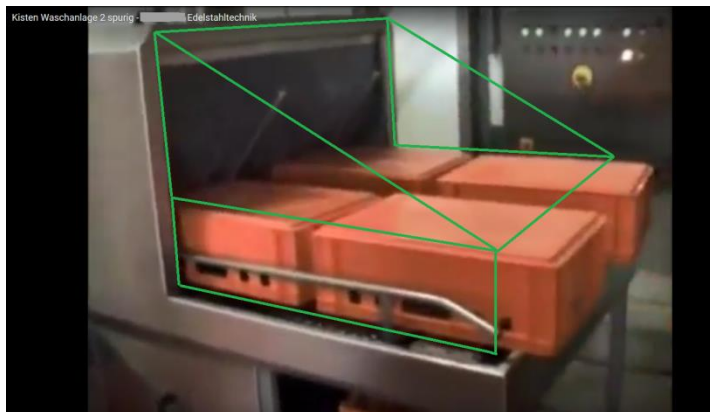


Abbildung 56: Doppelspurige Anlage mit Ansatz für Edelstahl-Schallabsorber; Quelle [24]

rialien wie MASH oder SonoPerf, zeigt **Abbildung 56**. Es besteht die Möglichkeit, unabhängig vom Hersteller der Waschanlage, wirksame Schallschutzmaßnahmen in den Betrieben einzusetzen. Auch eine mobile Version solcher Vorbauten ist denkbar. Ein Effekt, besonders bei Beachtung weit verbreiteter Situationen gemäß **Bild 1 Abschnitt 2** bei kleineren Anlagen, könnte eine Unterschreitung des Auslösewertes von 85 dB(A) am Arbeitsplatz sein.

9.3 Betriebliche Entwicklung und neue technologische Ansätze

Weitreichende Veränderungen im betrieblichen Umfeld stehen in den nächsten Jahren unter dem Vorzeichen der Informationstechnologie. Die rasante Entwicklung und für 2020 angestrebte Einführung im Zusammenhang mit der nächsten Generation mobiler Netzwerke (5G) gilt als wichtiger Schritt in den Bereichen IoT (Internet of Things), Industrie 4.0 und KI (Künstliche Intelligenz). Der weitere Verlauf zunehmender Vernetzung aller Betriebskomponenten untereinander, stellt durch den technologischen Fortschritt ebenfalls Optionen für zukünftige, lärmindernde Maßnahmen zur Disposition. Was bisher reine Wartung und Inspektion von Anlagen war, wird zukünftig verstärkt in die Welt digitaler Tools, App-Anwendungen und Konnektivität von Maschinen und Geräten vordringen. Hierdurch folgt ein prozeduraler Ablauf über die Prozesse – digitales erfassen von Daten, Bewertung und Analyse von Daten, bis zur Vorhersage wahrscheinlich eintretender Ereignisse – die übersichtlich in drei Stadien eingeteilt werden können:

- **Preventive Maintenance (Vorbeugende Instandhaltung)**
 - ➔ Status quo – Durch Wartung und Kontrolle lassen sich Verschleiß und Abnutzungen erkennen und entsprechend austauschen oder Gegenmaßnahmen einleiten. Plötzlich auftretende Schäden können jedoch nicht vermieden werden.
- **Conditionbased Maintenance (Zustandsabhängige Instandhaltung)**
 - ➔ Rückblickende Auswertung von Daten und entsprechende Gegenmaßnahmen. Maschinen und Anlagen übertragen sensorabhängig Betriebsdaten an eine Cloud die manuell oder automatisch ausgewertet werden können. Gegenmaßnahmen können jedoch erst eingeleitet werden, wenn bereits Abweichungen vom Sollwert aufgetreten sind.
- **Predictive Maintenance (Vorausschauende Instandhaltung)**
 - ➔ Prognostizierte Wartung von Maschinen und Komponenten. Auf Basis von Wahrscheinlichkeiten, Erfahrungen und diverser Prüfparameter werden Informationen analysiert und adäquat reagiert. So sollen Probleme und Defekte gar nicht erst entstehen, sondern über eine entsprechende Früherkennung, Unregelmäßigkeiten antizipiert werden.

Auch heute schon werden Updates von Anlagen und Optimierungen von Ablaufsteuerungen durch den Hersteller via Netzwerkverbindung per Fernwartung umgesetzt. Dieser kann z.B. neue Firmware-Versionen eigenhändig aufspielen. Der Betreiber wird per E-Mail in Kenntnis gesetzt. Zukünftig wird es durch den gezielten Einsatz von Sensoren möglich, Schäden an z.B. Lagern, Pumpen oder Maschinenkomponenten frühzeitig zu erkennen und die damit verbundenen höheren Lärmpegel und Ausfallzeiten zu minimieren oder Überschreitungen bestimmter Grenzwerte bei Parametern wie Vibration und die einhergehende Körperschallabstrahlung zu reduzieren.

Im konkreten Fall von Kistenwaschmaschinen wäre ein erster Schritt zur Lärmreduzierung die Detektion von Gebinde im Waschtunnel und die darauf abgestimmte Reinigung bzw. Trocknung. Pumpen, Sprühsystem und Ventilatoren wären nicht mehr kontinuierlich aktiv. Auch eine intelligente Steuerung von z.B. Düsen oder Luftmessern bei unterschiedlichen Abständen und Höhen der Kisten sind vorstellbar. Nicht nur zum Vorteil leiserer Maschinen, sondern auch zur Einsparung von Wasser, Luft und Energie.

10 Fazit

Wie die vorangegangene Untersuchung zeigt, treten beim Betrieb von Kistenwaschanlagen einzelne Schallquellen deutlich hervor. Bei kleineren Maschinen sind verstärkt Unterböden und Austrittsöffnungen der Waschstraße betroffen. Größere Anlagen, oft mit zusätzlicher Trocknung verbunden, können den Geräuschpegel durch starke Luftströmungen deutlich erhöhen. Eine Minderung gesundheitsgefährdender Schalldruckpegel ist, wie beschrieben, nicht mit wenig Aufwand nachträglich zu erreichen. Im Sinne der Prävention einerseits, sowie um Betriebskosten und Aufwand möglichst gering zu halten, sollte die Überlegung und Planung zu lärmgeminderten Maschinen und Anlagen so früh wie möglich erfolgen. Es wird dringend empfohlen, akustische Kenndaten **vor** dem Einkauf beim Hersteller oder Verkäufer nachzufragen und auf dieser Grundlage, neben Preis und Energieverbrauch, nachhaltige Entscheidungen zu treffen. Der Emissions-Schalldruckpegel ist eine Pflichtangabe nach EG-Maschinenrichtlinie bzw. deutscher Maschinenverordnung (9. ProdSV). Viele Hersteller geben dennoch keine Schalleistungs- oder Schalldruckpegel gemäß Verordnung an. Hier sollte ein Schwerpunkt über die Nachfrage beim Einkauf gesetzt werden. Nur auf dieser Basis können Vergleiche angestellt werden. Der Konflikt ist offenkundig! Darüber hinaus gilt, dass diesbezügliche Angaben meist nicht die konkrete Situation des letztendlichen Einsatzortes beschreiben (siehe **Abschnitt 2 – Beispiele aus der Praxis**). Ein Betrieb in hygienisch unbedenklicher und leicht zu reinigender Umgebung, führt letztendlich durch raumakustische Rückwirkung schallharter Oberflächen zur Erhöhung des Expositionspegels am Arbeitsplatz. Dieser lässt sich durch den Einsatz raumakustischer Maßnahmen am Betriebsort reduzieren. Gleichwohl ist es in erster Instanz wichtig, Lärmreduktion an der Quelle zu betreiben. Zusätzlich kann je nach Betriebsgröße eine Verlängerung des Ein- und Auslaufs eingerichtet werden und somit, außer dem beschriebenen Schallschutzvorbau und innovativer Konzepte einzelner Hersteller (siehe **Abschnitt 9.2**), eine Pegelminderung am Arbeitsplatz über den Abstand zur Lärmquelle erreicht werden.

Weiterhin gilt es zu beachten, dass einzelne Kistenwaschanlagen im Betrieb auf ihre jeweilige Anwendung (z.B. welche Kistenhöhe wird hauptsächlich oder ausschließlich gereinigt) eingestellt werden sollten. Der Hersteller nimmt die Einrichtung und damit Systemdruck, Sprühdüsen, Air-Knives, Ausrichtung oder Bedienplatz evtl. nur pauschal vor. Auch durch regelmäßige Wartung kann einer verschleißbedingten Schallpegelerhöhung vorgebeugt werden. Art, Ausmaß und Dauer der Lärmexposition hängt ebenfalls von den Kenntnissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten der Beschäftigten ab (vgl. Technische Regeln zur Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung (TRLV Lärm)).

11 Einige Hersteller von Kistenwaschmaschinen

<u>Kitzinger GmbH</u>	(D - 24976 Handewitt)	www.kitzinger-gmbh.de
<u>Elpress BV</u>	(Niederlande - Boxmeer)	www.elpress-hygiene.de
<u>Colussi Ermes</u>	(Italien - Casarsa della Delizia)	www.colussiermes.it
<u>Kittner BG</u>	(Bulgarien - Kaloyanovo)	www.kittnerbg.com
<u>Unifortes</u>	(Niederlande - Strijen)	www.unifortes.com
<u>Niros GmbH</u>	(D - 94539 Grafing)	www.niros.si
<u>Unikon</u>	(Holland - Barneveld)	www.unikon.com
<u>Kohlhoff GmbH & Co. KG</u>	(D - 59423 Unna)	www.kohlhoff-hygiene.de
<u>Hobart GmbH</u>	(D - 77656 Offenburg)	www.hobart.de
<u>Zingel oHG</u>	(D - 58566 Kierspe)	www.zingel-hygienetechnik.de
<u>F & L GmbH</u>	(D - 15898 Neuzelle)	www.flnet.de
<u>Firmenich GmbH & Co. KG</u>	(D - 42719 Solingen)	www.firmenich.de
<u>Haßheider GmbH</u>	(D - 32289 Rödinghausen)	www.hassheider.com
<u>Mafo Holding B.V.</u>	(Niederlande - Wierdensestraat)	www.mafo.nl

12 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einlauf Kistenwaschmaschine.....	1
Abbildung 2: Auslauf Kistenwaschanlage	1
Abbildung 3: Auszug aus zugehöriger Bedienungsanleitung gemäß Praxisbeispiel 1 (Abb.1)	2
Abbildung 4: Prinzipieller Aufbau einer Kistenwaschmaschine (Contino 650 Q); Quelle: [1].	3
Abbildung 5: Vier Wirkfaktoren beim Reinigungsprozess; Quelle: wastopac.com	5
Abbildung 6: Einfache Kistenwaschmaschine in geöffnetem Zustand; Quelle: Elpress.com ..	6
Abbildung 7: Mehrstufige Waschanlage mit Reinigungszonen; Quelle: Elpress.com	7
Abbildung 8: Schallleistungspegel von Kreiselpumpen gemäß Formel (1); Quelle: [5].....	9
Abbildung 9: Schallquellen bei Kreiselpumpen; Quelle: [20]	9
Abbildung 10: Skizze des Tropfenspektrums; Quelle: [7].....	10
Abbildung 11: Diverse Düsenparameter; Quelle: [7]	11
Abbildung 12: Easy-Clip Flachstrahldüse; Quelle: [17]	12
Abbildung 13: Gewinkelte Rohrdüsen; Quelle: [2].....	12
Abbildung 14: Schallpegelmessung einer Flachstrahldüse BETE NF60	15
Abbildung 15: Schematische Darstellung eines Radialventilators; Quelle: [21]	16
Abbildung 16: Auswahl diverser Druckluftdüsen; Quelle: Luftdüsen-Shop.de	17
Abbildung 17: Einfache Rundöffnung bei der Abblasung von KLT-Kisten	18
Abbildung 18: Windjet - Mehrkanaldüsen gelten bereits als geräuscharm; Quelle: [16]	18
Abbildung 19: Ausgeschlagene Transportbänder von KLT-Förderstrecken	19
Abbildung 20: Kombination und Fixierung von Leitungselementen; Quelle: [7]	21
Abbildung 21: Einfaches Düsenrohr	22
Abbildung 22: MEMO-Clip Düse	22
Abbildung 23: Abblaseinheit kaskadierter Radialventilatoren in Einhausung; Quelle: [2]	24
Abbildung 24: Ventilatoren auf Waschanlage; Quelle [14]	24
Abbildung 25: Schallabsorbierende Konstruktion; Quelle [7]	24
Abbildung 26: Schalldruckpegelvergleich von Druckluft-Blasdüsen; Quelle: [18]	26
Abbildung 27: Air-Knife Skizze; Quelle: [19]	26
Abbildung 28: Shim Set für Air-Knives; Quelle: [19].....	26
Abbildung 29: Auslauf einer einfachen Zentrifugentrocknung	28
Abbildung 30: Doppelte kompakte Zentrifugentrocknung.....	29
Abbildung 31: MPP-Absorber-Prinzip [23]	30
Abbildung 32: SonoPerf® A in Kisten- und Batteriewaschmaschinen; Quelle: [15].....	31
Abbildung 33: Skizze MASH.....	32
Abbildung 34: Vergleich der Schallabsorptionsgrade beider Materialien.....	33
Abbildung 35: Absorptionskennlinien von SonoPerf in doppelagiger Ausführung.....	33
Abbildung 36: Anschmutzung des Probekörpers	35
Abbildung 37: Mikroskopische Betrachtung	35
Abbildung 38: Nach Hochdruckreinigung.....	35
Abbildung 39: Betrachtung nach Hochdruckreinigung	35
Abbildung 40: Nach Mucosal 0,7% Behandlung	35
Abbildung 41: Betrachtung nach Mucosalbehandlung	35
Abbildung 42: Nach Reinigung mit Spülschwamm.....	35
Abbildung 43: Betrachtung nach händischer Reinigung.....	35
Abbildung 44: Nach 24h-Behandlung mit Mucosal	35
Abbildung 45: Betrachtung nach 24h-Behandlung.....	35

Abbildung 46: Rundlochung gerade; 7% Lochflächenanteil	36
Abbildung 47: Rundlochung versetzt; 15% Lochflächenanteil.....	36
Abbildung 48: Langlochung versetzt; 26% Lochflächenanteil	36
Abbildung 49: Langlochung versetzt; 37% Lochflächenanteil	36
Abbildung 50: Rundlochung versetzt; 46% Lochflächenanteil.....	37
Abbildung 51: Rundlochung versetzt; 55% Lochflächenanteil.....	37
Abbildung 52: Einfluss verschiedener Lochbleche auf den Schalldurchtritt.....	37
Abbildung 53: MHP-System in vollständiger Ausbaugröße.....	39
Abbildung 54: Waschanlage der Spiracon-Serie mit geschlossenem Unterbau; Quelle [1]...40	
Abbildung 55: Doppelwandige 65mm-Struktur; Quelle: Colussi Ermes.....	40
Abbildung 56: Doppelspurige Anlage mit Ansatz für Edelstahl-Schallabsorber; Quelle [24]..40	

13 Quellenverzeichnis

- [1] Kitzinger GmbH – www.kitzinger-gmbh.de (letztmaliger Aufruf: 23.01.17)
- [2] Elpress BV - www.elpress-hygiene.de (letztmaliger Aufruf: 11.10.18)
- [3] Kittner BG - www.kittnerbg.com (letztmaliger Aufruf: 14.10.16)
- [4] Kohlhoff GmbH & Co. KG - www.kohlhoff-hygiene.de (letztmaliger Aufruf: 14.10.16)
- [5] Müller, Möser - Taschenbuch der technischen Akustik – 3.Auflage / 2004
- [6] Bedienungsanleitung & Technische Dokumentation – Elpress EKW-V80.2
- [7] VDI-Wissenforum – Maschinen lärmoptimiert konstruieren – Dr.-Ing. Uwe Trautmann
- [8] Niemann, Tiedemann – Lärmemission und Lärmschutz bei Industrieanlagen
- [9] Betriebsanleitung - Kitzinger Contino Q 650
- [10] Unifortes - www.unifortes.com (letztmaliger Aufruf: 21.09.16)
- [11] Kreiselpumpenlexikon – www.ksb.de (letztmaliger Aufruf: 24.01.17)
- [12] Düsenübersicht – www.duesen.de (letztmaliger Aufruf: 19.01.17)
- [13] Zeitschrift Getränkeindustrie – Ausgabe Oktober 2016
- [14] Elpress - Technische Produktdokumentation EKW-V115.2
- [15] Case-Studie Kitzinger Maschinenbau GmbH
- [16] Lechler Produktkatalog (PDF) – Präzisionsdüsen für die Chemische Industrie
- [17] Hennlich – www.hennlich.at (letztmaliger Aufruf: 05.09.17)
- [18] Spraying Systems – Airknife / Blasmesser – Produkt-Datenblatt
- [19] Eputec Drucklufttechnik – www.eputec.de (letztmaliger Aufruf: 17.11.17)
- [20] ksb – Pumpen und Amaturen – www.ksb.com (letzter Aufruf: 07.02.18)
- [21] TROX X FANS GmbH - Grundlagen der Ventilatorentechnik (01/2013)
- [22] IFA Handbuch – Geräuschgeminderte Druckluftdüsen (02/2016)
- [23] Hunecke – www.hunecke.de (letzter Aufruf: 14.11.17)
- [24] Haßheider GmbH – www.hassheider.com (letzter Aufruf: 04.12.18)
- [25] TU Clausthal - www3.imw.tu-clausthal.de/forschung/projekte/EQUIP/studiarbeit/lsm.html