

Abschlußbericht

HOMAG Maschinenbau AG
Schopfloch

unter Mitarbeit von:

Institut für Werkzeugmaschinen
Universität Stuttgart
Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. U. Heisel

zum Forschungsvorhaben

**Duales Staub- und Späneentsorgungskonzept
für Holzbearbeitungsmaschinen**

gefördert durch:

Deutsche Bundesstiftung Umwelt (AZ: 01060)

März 96

I Inhaltsverzeichnis

I Inhaltsverzeichnis

II Formelsammlung

1	Einleitung	7
2	Stand der Technik	9
2.1	Durchlaufmaschinen	9
2.2	Absaugtechnik der Durchlaufmaschinen	11
3	Energiebilanz und Kosten	13
3.1	Energiebedarf zur Absaugung des Zerspansungs-gutes bei Durchlaufmaschinen	13
3.2	Energiekosten der Absauganlage	15
3.3	Investitionskosten der Absauganlage	16
3.4	Energieeinsparung bei verminderter Absaugleistung	16
4	Neues Entsorgungskonzept	18
5	Grundlagenuntersuchungen zum Entsorgungskonzept	22
5.1	Untersuchung der Versuchsmaschine	22
5.2	Allgemeine Betrachtung zur Staubmessung	23
5.3	Staubmessungen der Originalmaschine	23
5.3.1	Versuchsbedingungen	24
5.3.2	Meßprogramm	25
5.3.3	Meßergebnisse	25
5.4	Untersuchungen zum Unterdruck	33
5.5	Untersuchungen der Spülluft	35
5.5.1	Sedimentation auf eine Fläche bei senkrechter Anströmung	35

37	5.5.2	Wirkung auf ein bereits sedimentiertes Spanngemisch bei senkrechter Anströmung
38	5.5.3	Sedimentation auf eine ebene Fläche bei paralleler Anströmung
40	5.5.4	Wirkung auf ein bereits sedimentiertes Spanngemisch bei paralleler Anströmung
42	5.6	Untersuchungen zur Spülluft in der Maschine
42	5.6.1	Untersuchungen zum Spülluftventilator
43	5.6.2	Strömungsmessungen in der Versuchsmaschine
45	5.6.3	Bestimmung der erforderlichen Spülluftgeschwindigkeit zur Abreinigung der Maschineninnenflächen
47	5.7	Untersuchungen zu Leitelementen
47	5.7.1	Gerade Leitelemente
48	5.7.2	Gekrümmte Leitelemente
49	5.7.3	Geschlossene, gerade Leitelemente
50	5.7.4	Geschlossene, gekrümmte Leitelemente
52	5.8	Untersuchungen zur Sedimentation der Späne auf geneigte Flächen
56	5.9	Untersuchungen zu Verschlußmechanismen des Transportspates
57	5.9.1	Umlaufende Verschlüsse
63	5.9.2	Feststehende Verschlüsse
72	6	Untersuchte Verschlußmechanismen des Transportspates
72	6.1	Feststehende Rechteck-Elemente am Oberdruckbalken
73	6.1.1	Versuchsbedingungen für die staubtechnischen Untersuchungen
73	6.1.2	Meßprogramm
74	6.1.3	Meßergebnisse der Staubmessung
80	6.2	Feststehende Elemente mit gekrümmter Kontur
80	6.2.1	Staubtechnische Untersuchung der gekrümmten Elemente
81	6.2.2	Meßergebnisse der Staubmessung
87	7	Verschlußelemente für die Ein- und Austrittsöffnung des Werkstücks
88	7.1	Konzept für den Werkstückein- und Austrittsverschluß
95	7.2	Verschluß aus Kunststoffstäben

97	7.3	Verschluß aus Drahtbürsten
100	8	Untersuchungen zur Spülluft in der Versuchsmaschine
102	8.1	Messung der Strömungsgeschwindigkeit in der Versuchsmaschine
102	8.2	Strömungsmessung in der Versuchsmaschine
105	8.3	Einfluß der Spülluft auf die Staub- und Späneemission
108	9	Applikation auf den Prototypen
117	9.1	Realisierung der Anforderungen
117	9.1	Prototyp
121	9.2	Verschlußelemente des Transportspates
123	9.3	Verschlußelemente für die Werkstückein- und Austrittsöffnung
128	9.4	Separierung der Eckenfräsaggregare
129	9.5	Spänefanghaube für das Profilträsaggregat
133	9.6	Spülluftventilator und Spülluftdüse
136	9.7	Spülluftventilator für die Aggregate
144	9.8	Staubmessung des Prototypen
148	9.9	Strömungsmessung des Prototypen
150	9.10	Energiebilanz des Prototypen
151	10	Zusammenfassung
153	11	Literatur

II Formelzeichen

Bezeichnung	Einheit	Zeichen
Beschleunigung	$m\ s^{-2}$	a
Eingriffstiefe	mm	a _p
Fläche	m ²	A
Spanbreite	mm	b
spez. Wärmekapazität der Luft	$kJ/kg\ K$	c _{pl}
Luftwiderstandsbeiwert	-	c _w
Staubkonzentration	mg/m^3	c _s
Durchmesser	mm	d
Spannungsbreite	mm	e
Energie	J	E
Vorschubweg	mm	f
Aktivkraft	N	F _a
Schnittkraft	N	F _c
Druckkraft	N	F _p
Volumenkraft	N	F _v
Stützkraft	N	F _s
Erdbeschleunigung	m/s^2	g
Höhe	mm	h
mittlere Spandicke	mm	h _m
spez. Heizleistung von Heizöl	kJ/kg	H _{u,el}
Impuls	$kg\ m/s$	I
Trägheitsmoment	mm ⁴	J
spezifische Schnittkraft	N/mm^2	k _c
Antriebskosten	DM	K _A
Raumnachheizungskosten	DM	K _H
Gesamtkosten	DM	K _G
Länge	mm	l
Masse	kg	m

Drehmoment	Nm	M
Umdrehungen	min ⁻¹	n
Druck	bar, Pa, psi	p
Leistung	W	P
Wärmestrom	kJ/kg·K	\dot{Q}
Radius	mm	r
Gaskonstante	kJ/kmol K	R
Reynoldszahl	-	Re
Rauhiefe	µm	R _z
Wegkoordinate	m	s
Zeit	h, min, s	t
Temperatur	°C, K	T
Geschwindigkeit	m/s	v
Vorschubgeschwindigkeit	m/s	v _f
Schnittgeschwindigkeit	m/s	v _c
spez. Spannungsvolumen	cm ³ /min·kW	V _°
Volumenstrom	cm ³ /s	\dot{V}
Schneidanzahl	Stück	z
Höhenkoordinate	mm	z _{1,2}
Freiwinkel	Grad	α
Keilwinkel	Grad	β
Spanwinkel	Grad	γ
Betriebskoeffizient	-	ψ
Winkel	Grad	δ
Temperaturdifferenz	K	Δθ
Dichte der Luft	kg/m ³	ρ _L
kinematische Viskosität	m ² /s	ν
Wirktungsgrad	-	η
dynamische Viskosität	Pa·s	η

DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
IFW	Institut für Werkzeugmaschinen
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe
TRK	Technische Richtkonzentration
VDMA	Verband deutscher Maschinen- und Anlagenbauer e.V.

Abkürzungen

A	Antrieb
E	emittiert
ER	erfällt
ges	gesamt
K	Kugel
L	Luft
max	maximal
min	minimal
s	Staub
W	Widerstand

Indizes

μ	-	Gleitreibungszahl
σ	N/mm ²	Spannung

1 Einleitung

In der holzbe- und verarbeitenden Industrie sind zahlreiche Probleme auf den hohen Staub- und Späneanfall bei der Produktion zurückzuführen. Die Beeinträchtigung der Bearbeitungsqualität, die gesundheitliche Belastung des Bedienpersonals und die sehr hohen Entsorgungskosten des Zerspanungsgutes sind in dieser Branche neben der Lärmproblematik an erster Stelle zu nennen.

Die erreichbare Bearbeitungsqualität ist entscheidend für die Konkurrenzfähigkeit des Herstellers und gewinnt zunehmend an Gewicht, da die immer häufiger zu beobachtende kommissionsweise Fertigung kaum noch Zeit für Nachbesserungen am Endprodukt zuläßt. Beeinflußt wird die Bearbeitungsqualität durch den Staub- und Späneanfall insbesondere aufgrund der hohen Fluggeschwindigkeiten und durch die elektrostatische Aufladung der Partikel. Die mit hohen Geschwindigkeiten fliegenden Partikel, z.T. bis über 100 m/s, wirken stark abrasiv auf empfindliche Werkstückoberflächen und -kanten. Die elektrostatische Aufladung bewirkt, daß Partikel am Werkstück anhaften und beim Verleimprozeß zu Abdrücken und fehlerhafter Verleimung führen.

Darüber hinaus können die empfindlichen Schneiden von Diamantwerkzeugen durch größere Partikel, mit hoher kinetischer Energie beschädigt werden.

Die Führungen der Achsen und die Achsenantriebe (Kugelgewindespindel, Zahnstange-Ritzel) verschleißten durch anhaftende Partikel schneller und beeinflussen die Positionierung dadurch negativ. Auch die Lager der Bearbeitungsaggregate werden durch eindringende Partikel im Lauf der Zeit geschädigt. Die dadurch verschlechterten Rundlauf Eigenschaften können zu Werkzeugbruch und schlechter Bearbeitungsqualität führen.

Für das Bedienpersonal sind die hohen Staubkonzentrationen während des Betriebes, beim Werkzeugwechsel oder bei Wartungsarbeiten gesundheitsgefährdend. Insbesondere die kanzerogene Wirkung von Buchen- und Eichenstaub wird hervorgehoben. Die TRGS 533

"Holzstaub" gibt deshalb einen Staubkonzentrationsrichtwert von 2 mg/m^3 als den höchsten zulässigen Wert für alle holzbearbeitenden Maschinen und Arbeitsplätze vor.

Um diese Problemstellungen zu lösen wird in der Regel die Absaugleistung soweit erhöht, bis die Staubkonzentration im Rahmen der gesetzlichen Vorschriften liegt. Dies führt bis zur Neuanschaffung einer leistungsfähigeren Absauganlage. Einhergehend damit sind erheblich steigende Entsorgungskosten. Hier sind dementsprechend innovative Techniken erforderlich, die mit weit geringerem Energiebedarf und kostengünstigeren Absauganlagen eine ausreichende Entsorgung gewährleisten.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde am Beispiel von Durchlaufmaschinen eine maschinenbezogene Entsorgungstechnik entwickelt, die weniger als 50 % der bisherigen Luftmenge und Leistung zur Entsorgung von Staub- und Spänen benötigt. Für den Anwender dieses Maschinentyps wirkt sich dies unmittelbar in den geringeren Betriebskosten aus. Aber auch langfristige Investitionen, wie eine neue Absauganlage werden kostengünstiger, da mit kleineren Anlagen kalkuliert werden kann.

2 Stand der Technik

2.1 Durchlaufmaschinen

Durchlaufmaschinen (Bild 2.1.1) werden vorwiegend für die Weiterverarbeitung von Spanplatten und vereinzelt, von Vollholzplatten verwendet. Man unterscheidet dabei in einseitige und doppelseitige Maschinen für das Post-, Softformingverfahren sowie als Doppelndroffler für rein spanende Bearbeitung.

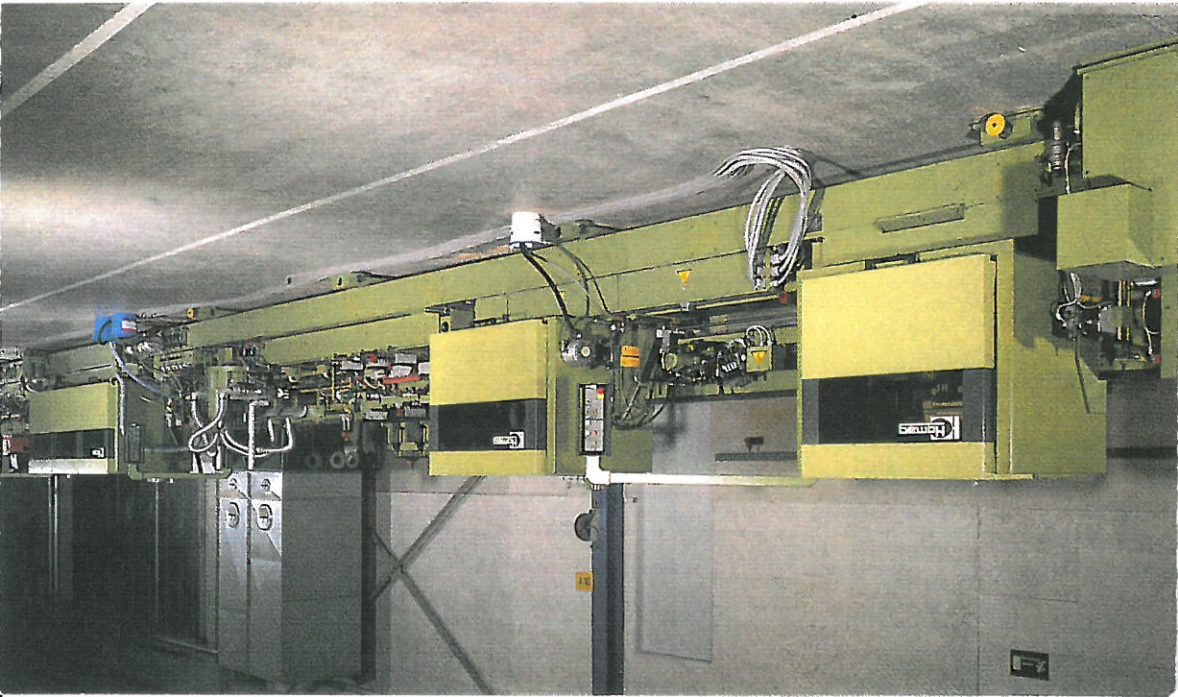


Bild 2.1.1: Durchlaufmaschine mit Format-, Verleim- und Nachbearbeitungsteil

Einseitige Maschinen können nur eine Schmalflache pro Werkstückdurchlauf bearbeiten und können deshalb mit einer Transporteinrichtung versehen werden, die das Werkstück um 90° oder 180° dreht und der Anlage erneut zuführt, bis sämtliche Schmalseiten bearbeitet sind.

Doppelseitige Maschinen können zwei gegenüberliegende Schmalflächen gleichzeitig bearbeiten, wobei auch hier eine Rückführung mit 90° Drehung des Werkstückes angewendet wird, um alle vier Schmalflächen bearbeiten zu können.

In der Regel durchläuft das Werkstück zuerst den Formatteil in dem die Schmalflächen bearbeitet werden, anschließend die Verleimstation in der der Umleimer aufgebracht wird, und abschließend die Nachbearbeitungsstation in der der Umleimer bearbeitet wird. Die Beschickung der Maschinen erfolgt dabei manuell oder automatisch. Handhabungseinheiten für das Werkstückhandling und Plattenstappelpelstationen werden optional angeboten.

Das Postformungsverfahren unterscheidet sich zum Softformungsverfahren dadurch, daß hier ein Teil der Plattenkante bis zur Beschichtung zerspannt wird und der überstehende Teil umgebogen und auf die Schmalfläche geklebt wird. Dadurch bildet sich eine Kante ohne Stoß, da die Oberflächenbeschichtung nicht unterbrochen wird. Diese Technik wird für höherwertige Spanplattenprodukte angewandt.

Beim Softforming wird eine Leiste oder Folie auf die Schmalfläche der Platte aufgebracht, wodurch zwei Stöße entstehen die meist sichtbar bleiben. Dieses Verfahren wird für höher belastete Werkstücke eingesetzt.

Reine spanende Bearbeitung wird für Paneele und andere Plattenwerkstücke angewandt die keine Umleimung benötigen.

Das Werkstückspektrum reicht von der wenige Zentimeter großen und sehr dünnen Spanplatte bis zu meterlangen und über 50 mm dicken Platten.

Besonders beim Postformungsverfahren entsteht im Formatteil sehr viel Zerspanung, da erhebliche Mengen an Werkstoff zerspannt werden. Hier wird folglich auch die höchste Anschlußleistung für die Absaugung benötigt. Der Verleimteil besitzt eine gesonderte Absaugung für die Klebstoffdämpfe. Die Nachbearbeitungseinheit benötigt nur eine geringe Absaugleistung, da hier in der Regel nur noch der geringe Überstand des Laminates abgefräst wird.

2.2 Absaugtechnik der Durchlaufmaschinen

Bei Durchlaufmaschinen häufig miteinander kombiniert werden häufig Raum- und Einzelabsaugung miteinander kombiniert. Die Raumabsaugung setzt eine geschlossene Kapselung voraus, innerhalb der die Bearbeitung stattfindet. An einer oder mehreren bestimmten Stellen innerhalb des Raumes (meist im Maschinenboden) wird über definierte Öffnungen Luft und mit dieser das Zerspangut abgesaugt.

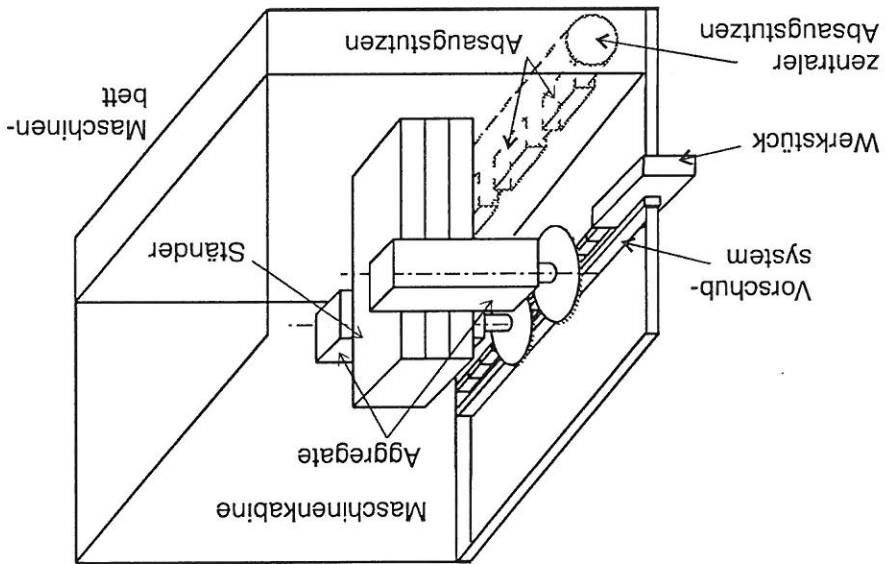


Bild 2.2.1: Raumabsaugung am Beispiel einer Durchlaufmaschine

Prinzipiell kann damit nicht das ganze Zerspannungsgut erfasst werden, da nicht die gesamte Raumboothfläche abgesaugt werden kann. Dies gilt vor allen Dingen für den Maschinenboden, auf dem sich der Hauptteil der Partikel ansammelt. Grundsätzlich bleiben bestimmte Bereiche innerhalb der Maschine mit Zerspannungsgut beaufschlagt und behindern den Werkzeugwechsel und Wartungsarbeiten erheblich. In der Praxis werden durch einen Druckluftstrahl, den der Bediener über spezielle Öffnungen in die Maschinenkapsel einbringt, diese Ablagerungen vor dem Öffnen der Maschinen abgeblasen. Dieser Vorgang dauert je nach Maschinengröße und bis zu mehrere Minuten.

Bei der Raumabsaugung ist im Gegensatz zur Einzelabsaugung an den Aggregaten ein automatisierter Werkzeugwechsel möglich. Außerdem sind die Verfahrwege der Achsen

größer als bei der Einzelabsaugung, da keine Begrenzung durch die großvolumigen Hauben besteht. Der Bearbeitungsprozess ist bei der Raumabsaugung in der Einlaufphase von neuen Werkzeugen und Werkstücken aufgrund der besseren Sicht auf alle relevanten Aggregate und Elemente besser beherrschbar. Auch ist die notwendige Absaugleistung bei gleichem Volumenstrom geringer, da die Strömungswiderstände durch die erheblich größeren Querschnitte kleiner sind als bei der Einzelabsaugung.

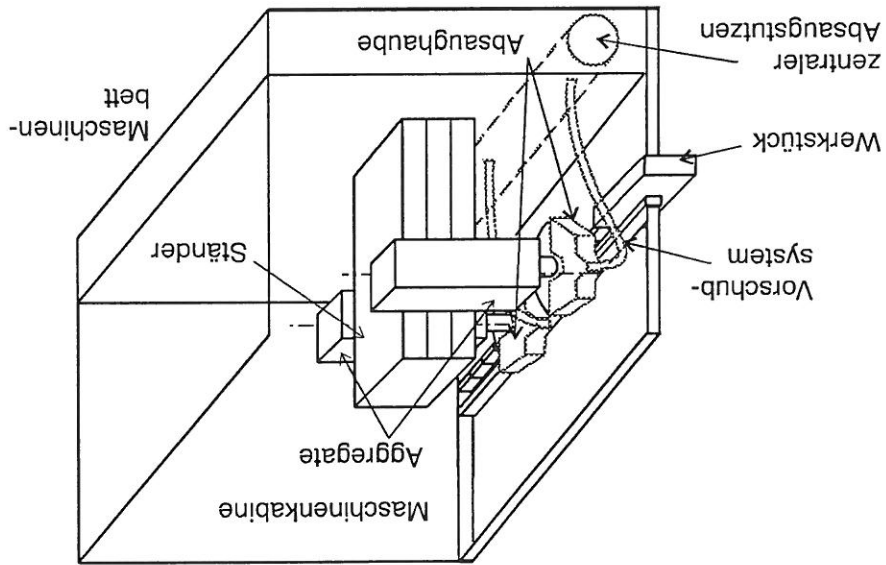


Bild 2.2.2: Einzelabsaugung am Beispiel einer Durchlaufmaschine

Die Einzelabsaugung (Bild 2.2) ist bei entsprechender Auslegung der Absaughauben und gleichzeitig hoher Absaugleistung in der Lage, daß entstehende Zerspangut mit einem hohen Erfassungssgrad abzusaugen. Die Absaughauben oder Stützen haben neben den oben aufgeführten Einschränkungen noch den Nachteil hoher Fertigungskosten zu sein, da für jedes Werkzeug eine eigene Haube oder ein Stützen erforderlich ist. Diamantwerkzeuge sind bei der Montage bzw. Demontage der Hauben vom Aggregat gefährdet, da kleinste Stöße gegen die Schneiden zu Abplatzern führen, die das Werkzeug unbrauchbar machen.

Ein weiterer Nachteil ist die zeitlich begrenzte Dichtwirkung der Bürstenverschlüsse die sich in den Ein- und Austrittsöffnungen der Haube befinden. Zum einen führt die Relativbewegung zwischen Werkstück und Relativbewegung zu Verschleiß, zum anderen erfolgt durch daß

Aufprallen des Zerspanungsgutes eine starke Schädigung des Materials. Dadurch ist nach bestimmter Zeit eine nachlassende Verschleißwirkung festzustellen.

Unter anderem deshalb wird die Einzelabsaugung oftmals mit der Raumabsaugung kombiniert, wenn ein hoher Gesamterfassungsgrad gefordert wird. Prinzipiell verursacht diese Vorgehensweise hohe Investitionskosten und Betriebskosten, aber aufgrund der vorliegenden Erkenntnisse über die Entsorgungstechnik sind derzeit keine besseren Alternativen verfügbar.

3 Energiebilanz und Kosten

3.1 Energiebedarf zur Absaugung des Zerspanungsgutes bei

Durchlaufmaschinen

Der Energiebedarf der für die Absaugung des Zerspanungsgutes von Durchlaufmaschinen, hängt von verschiedenen Parametern ab. Entscheidend ist die Größe der Maschine, die Absaugtechnik und das Zeitspannungsvolumen der Werkzeuge. Daneben ist die Betriebsdauer und die Umgebungstemperatur, aufgrund der Nachheizung der zugeführten Raumluft, mitbestimmend.

In Tabelle 1 sind die in Deutschland eingesetzten Durchlaufmaschinen und deren Leistungsbedarf (reine Antriebsenergie für die Absauganlage) aufgeführt.

Maschinentyp	Anzahl [Stück]	Leistungsbedarf pro Maschine [kW]	Gesamtleistungsbedarf [kW]	Absaugvolumenstrom pro Maschine [m ³ /h]
Doppelseitig, groß	1.000	55	55.000	25.000
Doppelseitig, Mittel	2.000	22	44.000	10.000
Einseitig, klein	10.000	10	100.000	5.000

Tabelle 1: Leistungsbedarf und Absaugvolumenstrom der Absauganlagen für

Durchlaufmaschinen in Deutschland

Der gesamte Leistungsbedarf der Absauganlage berechnet sich damit zu rund 200.000 kW und der Absaugvolumenstrom zu 95.010.000 m³/h. Zum Antriebsenergiebedarf muß noch die notwendige Energie zur Nachheizung der zugeführten Luft der Maschinenhalle hinzuaddiert werden, um den von der Absaugung verursachten Energiebedarf zu erhalten. Es liegen hierzu jedoch keine genauen Angaben vor, da jeder Betrieb individuell seine Werkräume temperiert. Es kann jedoch von einem Mittelwert ausgegangen werden, sowie auch von einem Mittelwert der zurückgeführten Luftmenge ausgegangen werden kann.

Zur Erwärmung des der Raumluft entnommenen Luftvolumenstromes wird Energie benötigt:

$$Q = V \cdot c_{pL} \cdot \rho_L \cdot \Delta\theta$$

[1]

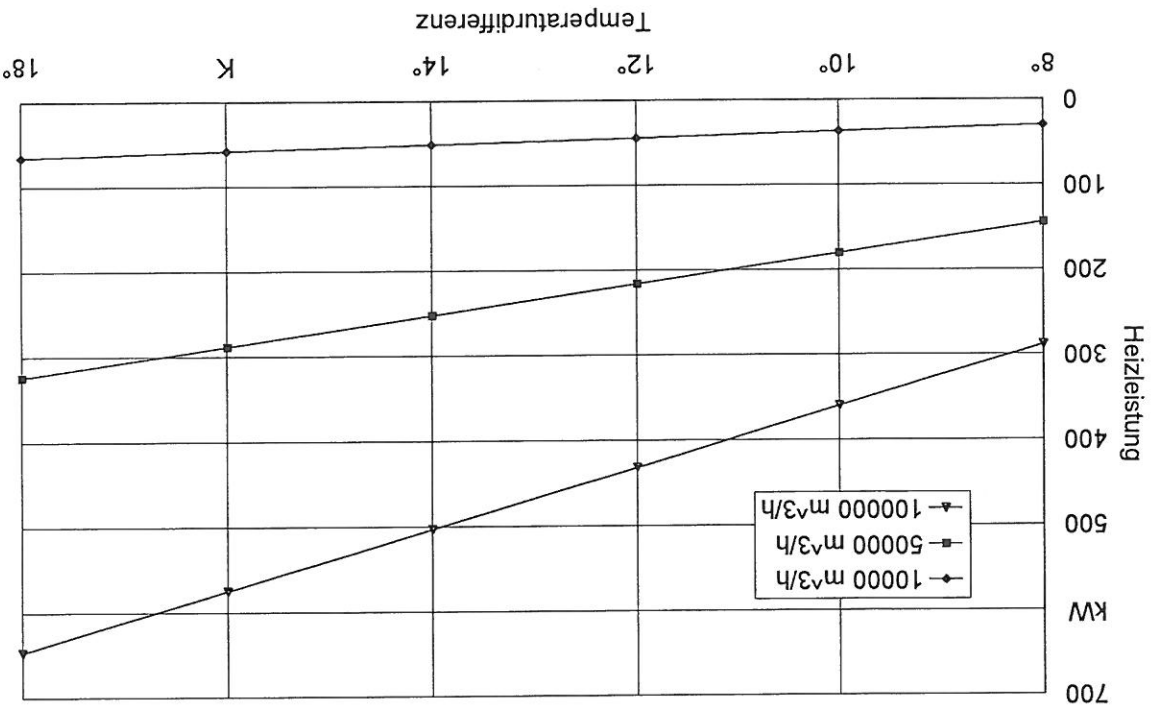


Bild 3.2.1: Heizleistung kW bei verschiedenen Temperaturdifferenzen und Volumenströmen

Die Wärmeströme werden für Absauganlagen mit teilweiser Luftrückführung ohne Wärmetauscher berechnet. Wärmetauscher, wie sie für Absauganlagen verwendet werden, können einen Betriebskoeffizienten (Wirkungsgrad) von ca. 60% erreichen, wodurch der

3.2 Energiekosten der Absaugung

ausfällt.

notwendige Wärmestrom für die Nachheizung bei 100 % Abluftbetrieb um 60 % geringer

Die Energiekosten lassen sich aufteilen in die reinen Antriebskosten der Absauganlage und die Energiekosten für die Raumnachheizung.
Die Energiekosten (Stromkosten) für den Ventilator berechnen sich wie folgt:

$$K_A = 1,0,15 \frac{\text{DM}}{\text{kWh}} \cdot P \quad [\text{DM}]$$

[2]

Die Betriebszeit wird mit 10 h Laufzeit pro Tag bei durchschnittlich 230 Arbeitstagen pro Jahr angenommen. Als Antriebsleistung werden rund 200.000 kW angesetzt. Für mittlere Handwerksbetriebe mit mehreren Mitarbeitern können Kosten von 0,15 DM/kWh Strom veranschlagt werden.

$$K_A = 230 \frac{\text{a}}{\text{d}} \cdot 10 \text{h} \cdot 0,15 \frac{\text{DM}}{\text{kWh}} \cdot 200.000 \text{kW}$$

[3]

$$K_A = 69 \text{ Mio. DM pro Jahr}$$

[4]

Die Kosten für die Nachheizung der abgeführten Raumluft sollen am Beispiel einer Ölheizung ermittelt werden. Als mittlere Temperaturdifferenz wird 10 Kelvin angenommen, und hier mit konstanter Wärmekapazität c_p der Luft gerechnet.

$$K_H = \frac{H_u}{m \cdot c_p \cdot \Delta \theta} \cdot \frac{\text{kg}}{0,61 \text{ DM}}$$

[5]

$$K_H = \frac{1,33 \exp 0,9 \cdot 230 \frac{\text{a}}{\text{d}} \cdot 0,5 \cdot 10 \text{h}}{40.000 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}} \cdot \frac{\text{kg}}{0,61 \text{ DM}}$$

[6]

$$K_H = 23,3 \text{ Mio. DM pro Jahr}$$

[7]

Die gesamten Betriebskosten für die Absaugung und Raumnachheizung der Durchlaufanlagen belaufen sich somit auf rund 92 Mio. DM pro Jahr für Deutschland.

Nicht mit eingerechnet sind die Wartungs- und Reparaturkosten der Absauganlage sowie die weiteren Kosten für die Entsorgung des abgesaugten Zerspanungszeuges. Kontrollmessungen in den Betrieben zur Einhaltung der gesetzlich vorgeschriebenen Staubkonzentrationswerte nach der TRGS 402 "Arbeitsbereichsanalyse", deren Kosten der Betreiber zu bezahlen hat, sind ebenfalls nicht berücksichtigt.

3.3 Investitionskosten der Absauganlage

Die Investitionskosten betragen für eine Standard-Absauganlage ca. 2.500,- DM bis 3.000,-DM pro 1.000 m³/h Absaugvolumenstrom. Je nach Ausstattung erhöhen sich die Kosten erheblich. Wärmetauscher und Rückführung der abgesaugten Luft, soweit dies nach TRGS 560 "Luftückführung beim Umgang mit krebserzeugenden Gefahrstoffen" zulässig ist, werden vermehrt verwendet und senken die Raumnachheizungskosten. Jedoch sind die Investitionskosten rund 20 % höher als bei einer Standard-Absauganlage.

3.4 Energieeinsparung bei verminderter Absaugleistung

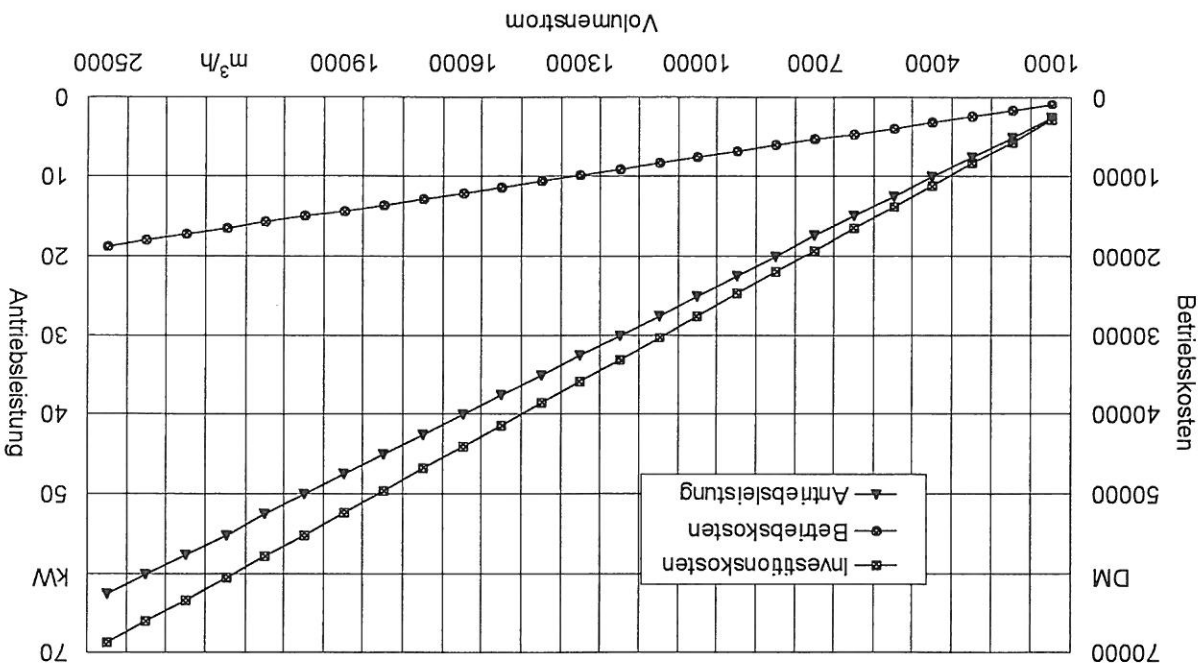
Die Energieeinsparung und damit die Betriebskosten sind für Durchlaufmaschinen linear zum abgesaugten Volumenstrom, wie in Bild 3.4.1 dargestellt.

Die Antriebsleistung des Ventilators und damit 75 % der Betriebskosten ist in erster Linie von der Rohrleitungslänge zwischen Maschine und Abscheider sowie dem Strömungswiderstand der angeschlossenen Maschinen abhängig. Viele kleine Maschinen benötigen durch ihren insgesamt höheren Strömungswiderstand und der größeren Leitungslänge bei gleichzeitig geringerem Rohrdurchmesser wesentlich mehr Absaugleistung als einzelne, große Maschinen.

Auch das verwendete Filtermaterial hat einen erheblichen Einfluß von bis zu 30 % auf die notwendige Leistung des Ventilators. Entsprechend steigen dadurch die Gesamtbetriebskosten für die Absauganlage an.

Eine Einsparung von 50 % des Energiebedarfes für die Absaugung der Durchlaufmaschinen würde bei einem Kraftwerkswirkungsgrad von 30 % über 192.000 kWh Primärenergieeinsparung bedeuten.

Bild 3.4.1: Kosten einer Standard Absauganlage in Abhängigkeit des max. Luftvolumenstromes



4 Neues Entsorgungskonzept

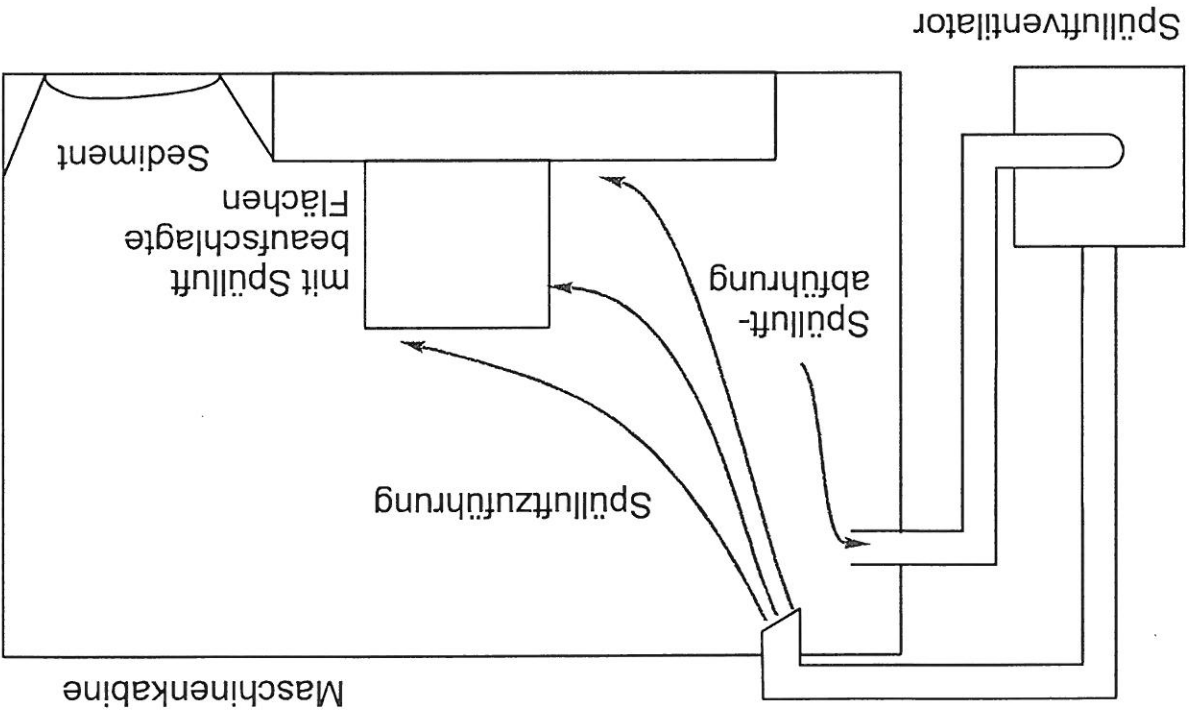
4.1 Prinzip des Entsorgungskonzeptes

Das neue Entsorgungskonzept (Bild 4.1.1) basiert auf den drei wesentlichen Komponenten Spülluft, Sedimentation und Leitelementen. Staub und Späne, die sich im Inneren der Maschine auf den Aggregaten und Funktionsteilen ablagern, werden durch einen definierten Spülluftstrom abgeblasen. Diese Partikel werden in einem Behälter, der einen Teil des Maschinenbodens darstellt, gesammelt. In diesen Sedimentationsraum gelangen sie zum Teil durch die Spülluft. Die dafür erforderlichen Spülluftöffnungen unmittelbar oberhalb des Maschinenbodens müssen so angeordnet sein, daß der gesamte Maschinenboden mit möglichst konstanter Luftgeschwindigkeit überströmt wird. Andere Flächen in der Maschine (Führungen, Aggregate) werden ebenfalls durch einen Spülluftstrom abgeblasen, so daß das Innere der Maschine weitestgehend von Ablagerungen frei bleibt.

Zur Unterstützung der Spülluft gehört auch eine entsprechende Gestaltung des Innenraumes der Maschine, die die Sedimentation der Späne in dafür vorgesehene Bereiche begünstigt. Dazu zählt, daß horizontale Flächen, auf welchen sich Späne ablagern können, nach Möglichkeit vermieden werden und statt dessen schräge Flächen gewählt werden. Auch müssen Bereiche vermieden werden, in welchen sich Späne ablagern können ohne dort vom Spülluftstrom erfaßt zu werden. Leitelemente sollen den Späneflug derart beeinflussen, daß ein gezieltes Absetzen der Partikel im Sedimentationsbehälter möglich ist.

Der externe Ventilator entnimmt der Maschinenkabine Luft und bläst diese über geeignete Düsen auf die von Ablagerungen freizuhaltenden Flächen. Es entsteht damit ein geschlossener Kreislauf der mit geringem Energieaufwand betrieben werden kann. Die Ventilatorleistung ist von der Fläche und der Bauart und Anzahl der Blasdüsen abhängig. Unregelmäßige, rauhe Oberflächen erfordern eine höhere Leistung als gleichmäßige, ebene Flächen.

Bild 4.1.1: Prinzip des Entsorgungskonzeptes



Aus dem Sedimentationsraum können die Späne energiesparend mit Hilfe eines mechanischen Transportmittels, z.B. mit einem Förderband oder einer Förderschnecke, aus der Maschine transportiert und der Absaugung oder direkt einer Brikettieranlage zugeführt werden.

Der Volumenstrom der Zentralabsaugung kann durch die Wahl eines geringeren Absaugquerschnittes gesenkt werden, jedoch muß er mindestens 20 m/s Strömungsgeschwindigkeit nach TRGS 553, betragen. Dadurch wird verhindert, daß sich in den Absaugleitungen keine Partikelanhäufungen auftreten.

Die Leitelemente haben zwei wesentliche Funktionen zu erfüllen. Sie müssen den Spänestrahl derart lenken, daß keine Öffnungen der Maschinenkabine direkt mit Partikeln bestrahlt werden. Außerdem müssen sie verhindern, daß sich die Werkzeuge gegenseitig und die Werkstückoberfläche mit Partikeln, hoher kinetischer Energie, beaufschlagen.

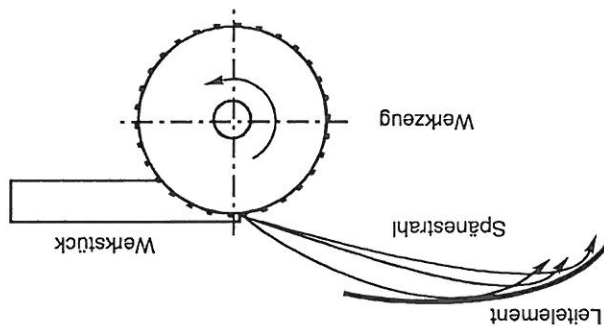


Bild 4.1.2: Wirkung von Leitelementen

Im Bild 4.1.3 ist das Gesamtkonzept ohne Leitelemente wie es an der Versuchsmaschine aufgebaut wurde zu sehen.

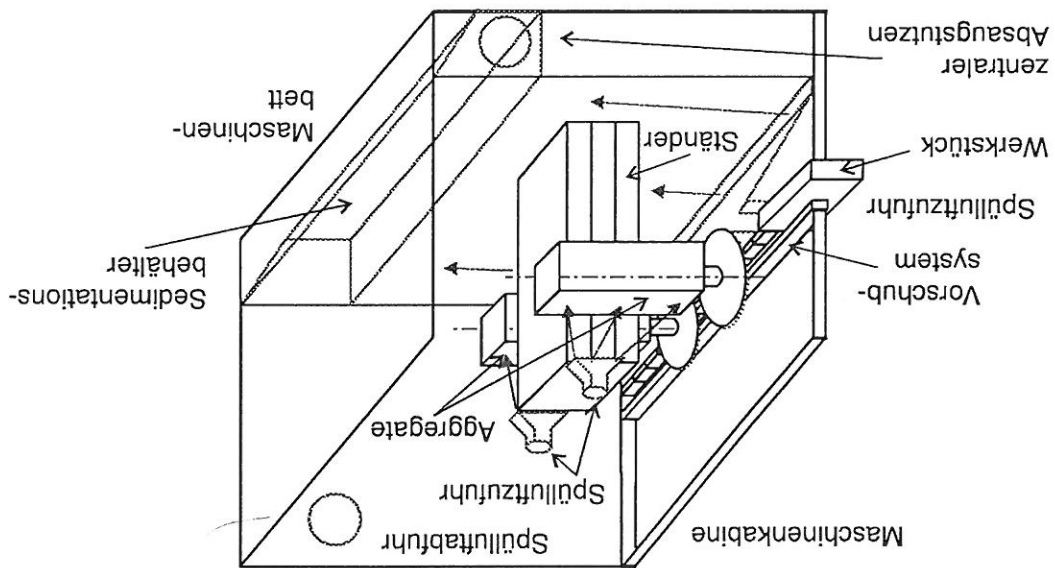


Bild 4.1.3: Neues Entsorgungskonzept

Wesentlicher Bestandteil des Konzeptes ist weiterhin eine mindestens 50 % Reduzierung der Absaugleistung. Um jedoch einem Anstieg der Staubemission der Maschine entgegen zu wirken, ist eine Umgestaltung der Maschinenkabine derart notwendig, daß die Öffnungsquerschnitte auf ein Minimum reduziert werden.

Die Investitionskosten liegen gegenüber der kombinierten Raum- und Einzelabsaugung bei kleinen Maschinen mit wenigen Aggregaten höher, und bei großen Maschinen mit vielen Aggregaten niedriger.

Die Betriebskosten sind mit dem neuen EntSORGUNGSKONZEPT erheblich geringer, wobei sie bei kleinen Maschinen spezifisch geringer ausfallen als bei größeren, da die Spülluftzuführung störungstechnisch günstiger ausgeführt werden kann.

5 Grundlagenuntersuchungen zum Entsorgungskonzept

5.1 Untersuchung der Versuchsmaschine

Um die Anforderungen an das Konzept zu kennen ist es zunächst erforderlich, die vorhandene, unveränderte Versuchsmaschine (Bild 5.1.1) zu untersuchen. Dazu wurden Staubmessungen bei verschiedenen Absauggeschwindigkeiten und Werkstückdicken durchgeführt. Ebenso wurde der Staub- und Späneflug bei verschiedenen Bearbeitungsvorgängen beobachtet und bewertet.

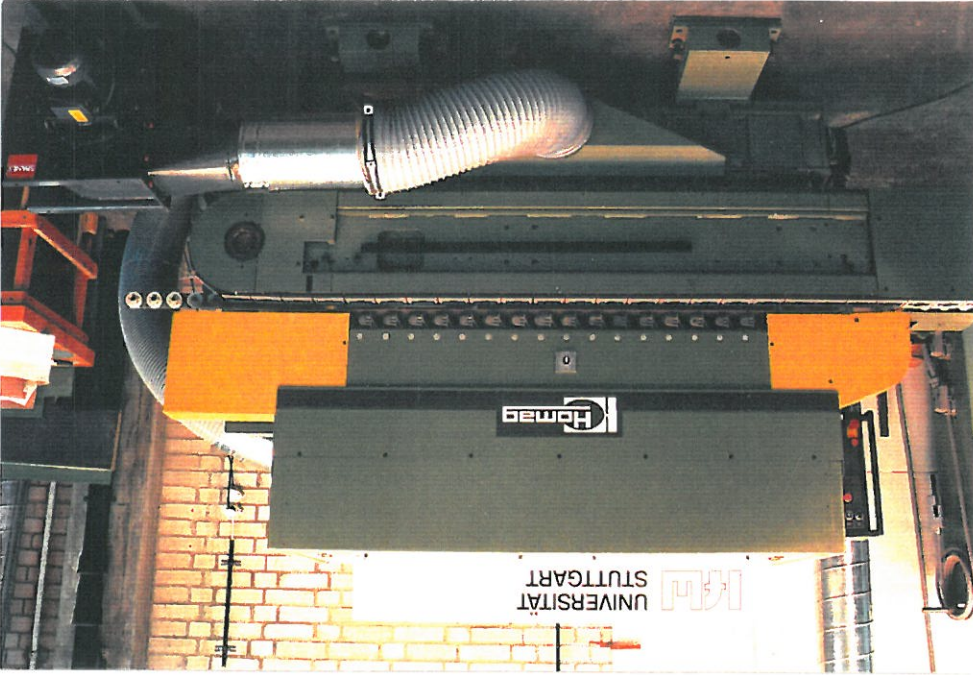


Bild 5.1.1: Versuchsmaschine Doppellendprofiler der Fa. Homag

Bei der Versuchsmaschine handelte es sich um einen Doppellendprofiler mit zwei Aggregaten von je $4,4 \text{ kW}$ bei 5880 min^{-1} . Der Vorschub wird über eine Gliederkette und einen Riemen bewirkt wobei die maximale Vorschubgeschwindigkeit 20 m/s beträgt. Es können verschiedene Werkstückstoffe mit Werkstückdicken bis 60 mm bearbeitet werden. Der Absaugvolumenstrom beträgt bei 20 m/s Absauggeschwindigkeit $2837 \text{ m}^3/\text{h}$.

5.2 Allgemeine Betrachtung zur Staubmessung

Als Staub bezeichnet man Partikel mit relativem Durchmesser $< 0,5$ mm. Gesamtstaub ist definiert als der Staubanteil, der mit einer Ansaugeschwindigkeit von $1,25$ m/s z u 10 % ertafelt wird. Feinstaub umfaßt ein Staubkollektiv, welches ein Abscheidesystem passiert, daß in seiner Wirkung der theoretischen Trennfunktion eines Sedimentationsabscheiders entspricht, der die Teilchen mit einem aerodynamischen Durchmesser von 50 μm zu 50 % abscheidet. Die Staubmessungen erfolgen nach DIN 33 891 mit einem Staubsammlergerät vom Typ Gravikon VC 25. Der Filter des Staubsammlergerätes hält Partikel von 10 μm zu 80 %, von 20 μm zu 70 % und von 50 μm zu 50 % zurück. Durch das Auswiegen des Filters vor und nach der Messung wird die Massenbeladung bestimmt. Aus dieser läßt sich mit der Meßzeit der Anteil von Feinstaub pro Kubikmeter Luft bestimmen.

Konzentration	$C = \Delta m/Q$	[mg/m ³]
Angesaugtes Volumen	$Q = (22,5 \text{ m}^3/\text{h}) * \text{Meßzeit}$	[m ³]

5.3 Staubmessungen der Originalmaschine

Grundsätzlich gelten die Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) 102 und 402. Die TRGS 102 legt die TRK - Werte für Neu- und Altanlagen fest und bestimmt die Anwendung der TRK Werte. Die TRGS 402 ist die Meßvorschrift, die die Art und Inhalte der Arbeitsbereichsanalyse festlegt und Häufigkeit und Interpretation der Meßergebnisse definiert. Vorgeschrieben waren seit 1987 TRK-Werte für Neuanlagen von 2 mg/m³ und 5 mg/m³ für Altanlagen und seit 1993 gelten einheitlich 2 mg/m³ Sie beziehen sich auf den gesamten einatembaren Staub, der auch als Gesamtstaub bezeichnet wird. Diese Werte gelten für sämtliche Holzarten.

Für Maschinen des untersuchten Typs (Doppelendprofiler in geschlossener Bauweise) existiert noch zum Zeitpunkt der Messung noch keine maschinenspezifische Meßvorschrift. Die Messungen erfolgten deshalb in Anlehnung an Meßvorschriften anderer Maschinen wie

Schleifmaschinen, für die bereits eine Norm erarbeitet wurde. Die Norm gibt die Versuchsdauer, den Zerspanungszyklus, die Werkstoffdaten, die Betriebsbedingungen der Maschine sowie die Umgebungsbedingungen und die Aufstellung der Staubammelgeräte an. Die Staubkonzentration wird an drei Meßstellen in einer Höhen von 1650 mm bestimmt. Für die Untersuchungen wurde ein Versuchszyklus gewählt, der von einer Person ohne Hilfsmittel realisierbar ist. In Bild 5.3.1 sind die Meßpunkte für die Staubemissionsmessung dargestellt.

5.3.1 Versuchsbedingungen

Als Versuchswerkstoff wurde beschichtete Spanplatte (FPY) mit einer Stärke von 19 mm bzw. 57 mm mit einer Länge von jeweils 900 mm bei einer Mindestbreite von 100 mm verwendet. Die Bearbeitung mit einem Sägeblatt erfolgte im Gleichlauf mit einer Vorschubgeschwindigkeit von 8 m/min ($0,133 \text{ m/s}$) einer Drehzahl von 2880 min^{-1} und einer Einstelltiefe von 35 mm. Die Zerspanung erfolgte mittels des ersten Aggregats. Der Flugkreisdurchmesser betrug 190 mm, die Breite der Hartmetallschneiden 3,2 mm und die Stammblattdicke 2 mm. Das Sägeblatt besaß 54 Zähne mit Wechselverzahnung. Pro Minute wurden drei Werkstücke bearbeitet, dies entspricht einer Auslastung von 30 % während der Meßzeit von 45 min. Das zerspannte Volumen betrug damit $0,0456 \text{ m}^3$ bzw. $2,736 \text{ kg}$ Masse bei einer Dichte von 600 kg/m^3 . Nach Untersuchungen des IfW der Universität Stuttgart entstehen daraus rund 20 % einatembarer Gesamtstaub.

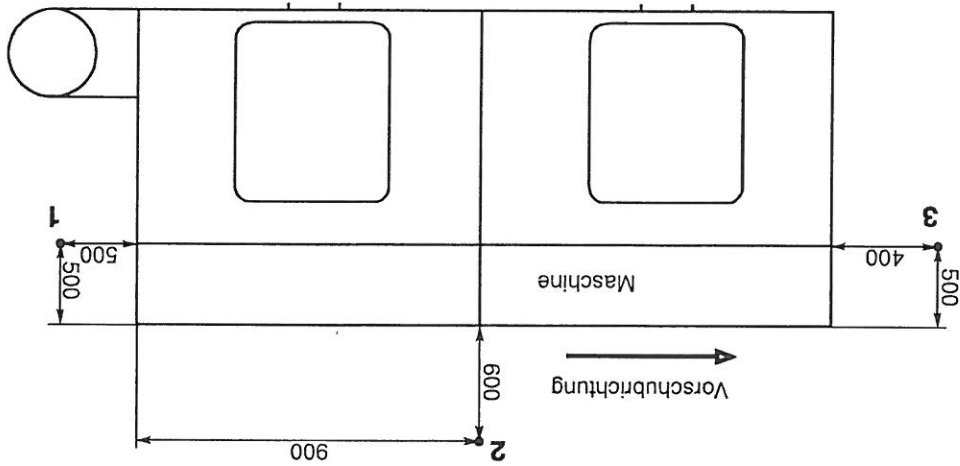


Bild 5.3.1: Meßpunkte für die Staubmessungen

5.3.2 Meßprogramm

Die Staubkonzentrationsmessungen dienen in erster Linie dazu, systematisch die Wirkungsweise der vorgenommenen Veränderungen an der Maschine mit dem Originalzustand zu vergleichen. Dabei gilt es, den Originalzustand dokumentieren um den Umfang der Maßnahmen, die für das neue Spänensortierungskonzept notwendig sind, abschätzen zu können. Gleichzeitig mit den Staubmessungen wurden Beobachtungen an verschiedenen Positionen der Maschine zum Staubaustritt und Späneflug durchgeführt.

Versuchsparameter für die Staubmessungen:

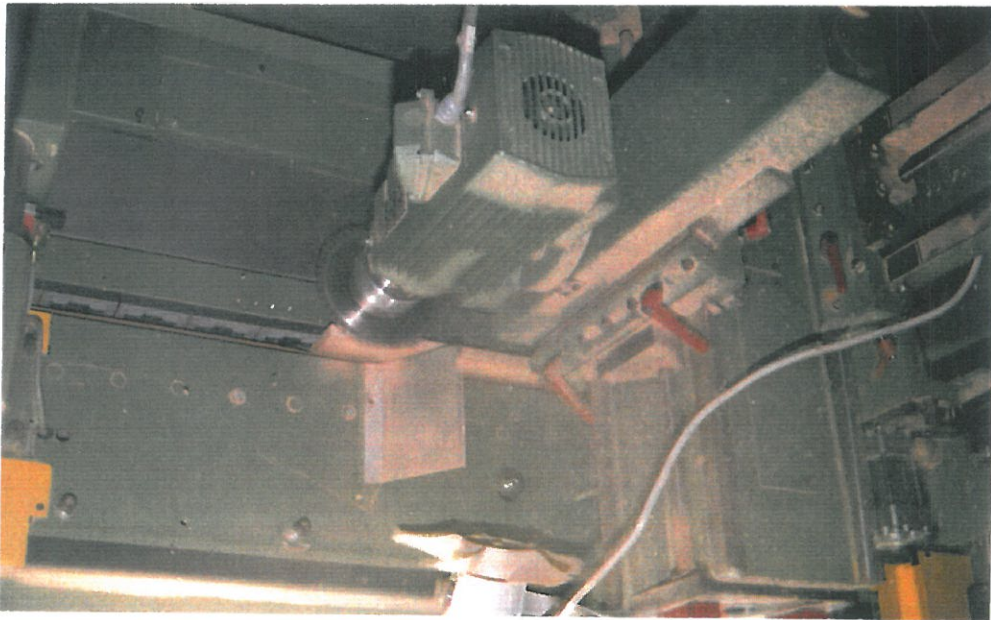
Versuch	Absaugvolumenstrom [m ³ /h]	Werkstückdicke [mm]	Spülluft [mit/ohne]
1	2.837	19	ohne
2	2.269	19	ohne
3	1.968	19	ohne
4	1.702	19	ohne
5	1.134	19	ohne
6	567	19	ohne

Tabelle 2: Parameter für die Staubmessungen

5.3.3 Meßergebnisse

Der Staub und die Späne verteilen sich bei reiner Raumabsaugung in der gesamten Maschinenkabine unabhängig davon welches Werkzeug und welche Zerspanungsparameter gewählt werden. Ursache dafür ist die Luftströmung die durch das Werkzeug entsteht, und die aufgrund der Maschinenabsaugung durch sämtliche Öffnungen in die Maschinenkabine einströmende Luft. Beim Zerspanen von Mitteldichter Faserplatte (MDF) entsteht im Vergleich zu Vollholz und Spanplatte wesentlich mehr Staub. Dieser Staub haftet an sämtlichen Maschineninnenflächen an.

Bild 5.3.3.1: Verwirbelung des Zerspanungsgutes in der Maschine



In den meisten Kantenanleimmaschinen arbeitet das beim Eintritt befindliche Aggregat im Gegenlauf und das beim Austritt befindliche im Gleichlauf (Nutfräsen).

Der Spänestrahl des Werkzeuges ist dadurch unmittelbar auf die Ein- oder Austrittsöffnung des Werkstückes gerichtet. Dadurch tritt bei geringer Absaugleistung bis über 50 % des Zerspanungsgutes aus diesen Maschinenöffnungen aus.

Beim Nutfräsen in der Unterseite des Werkstückes wird im Gleichlauf auf der hinteren Bearbeitungsstation auch bei hohen Absaugvolumenströmen sehr viel Zerspanungsgut ausgetragen. Wird dabei die Absaugleistung um 50 % gesenkt, treten über 70 % der Partikel aus der Kabine aus (Bild 5.3.3.2 und 5.3.3.3). Dies gilt allerdings nur wenn die Verschlussbürsten, welche das austreten

Beim Anschnitt, wenn die Zerspannung beginnt, ist ein kurzer, intensiver Spänestrahl aus dem Spalt zwischen Oberdruckriemen und Kettenbahn zu beobachten. Insbesondere bei verringerter Absaugleistung wird dadurch eine erhebliche Menge Zerspangut aus der Maschine ausgetragen (Bild 5.3.3.4). Dies ist vor allem bei gesenkter Absauggeschwindigkeit der Fall.

Bild 5.3.3.3: Späneausritt beim Nutfräsen mit 0 m/s Absauggeschwindigkeit

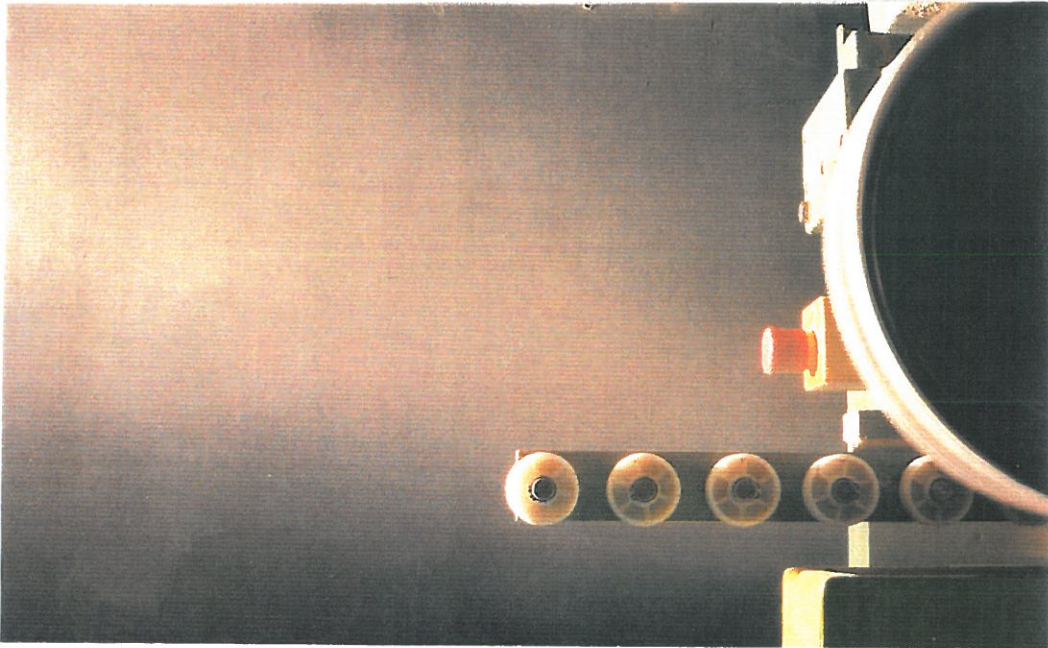
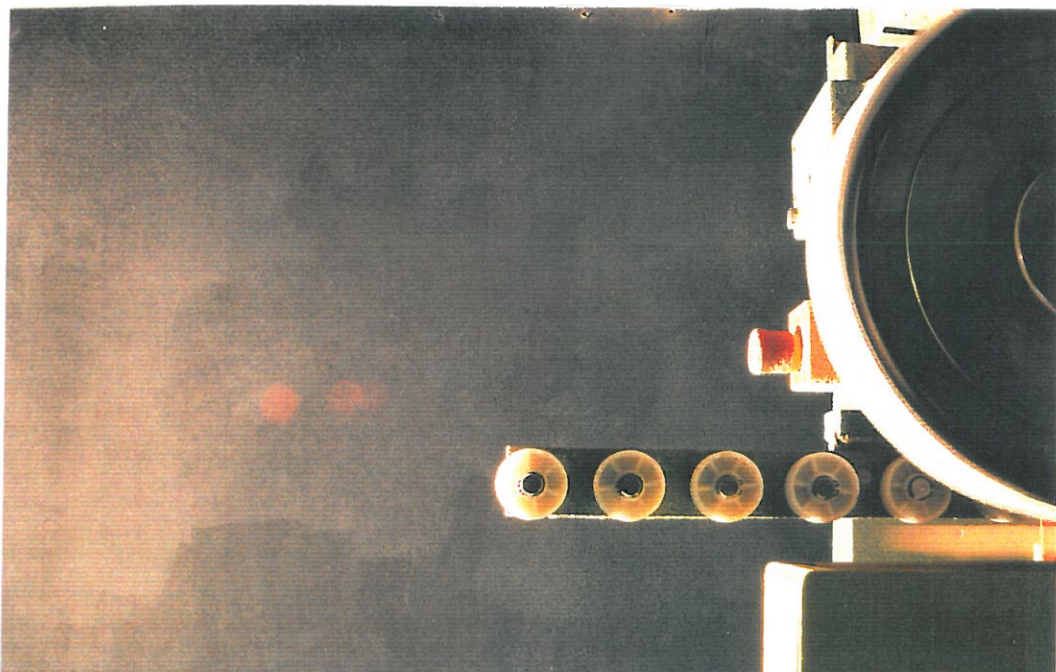


Bild 5.3.3.2: Späneausritt beim Nutfräsen mit 20 m/s Absauggeschwindigkeit



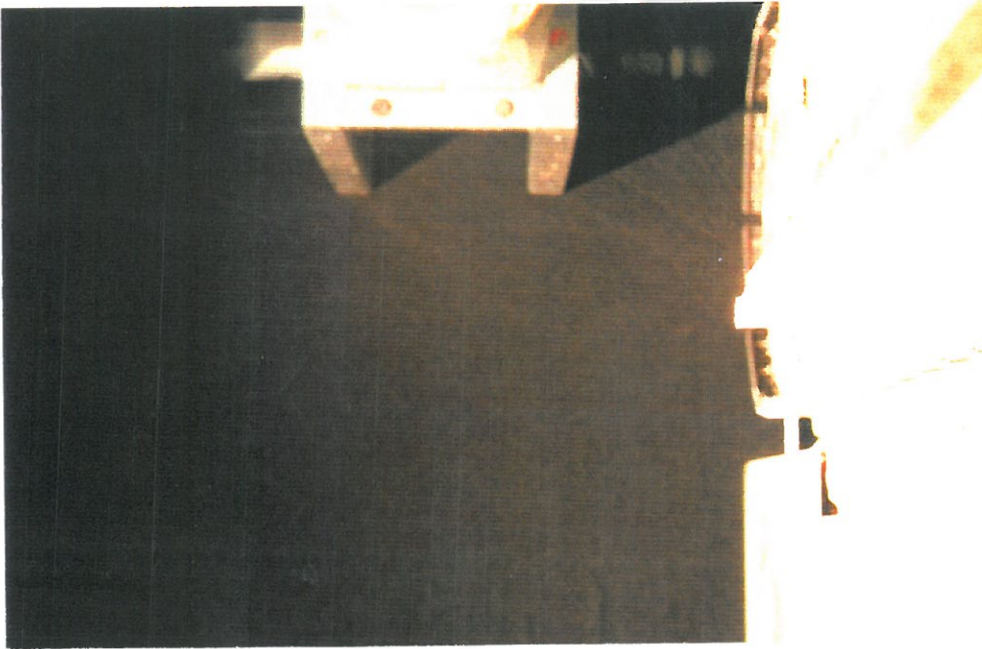


Bild 5.3.3.4: Späneausstritt beim Anschnitt

Auf den Bearbeitungsaggregaten und Funktionsflächen (Führungen etc.) lagern sich große Mengen an Zerspanungsgut ab (Bild 5.3.3.5), das mit einer einfachen Raumabsaugung nicht entfernt werden kann. Mit sinkender Absaugleistung nimmt die Menge der Ablagerungen rascher zu. Bei den Ablagerungen auf Flächen über dem Maschinenboden stellt sich ab einer gewissen Menge ein Beharrungszustand ein, bei dem die weiterhin auftretenden Späne in den Sedimentationsbehälter abgelenkt.

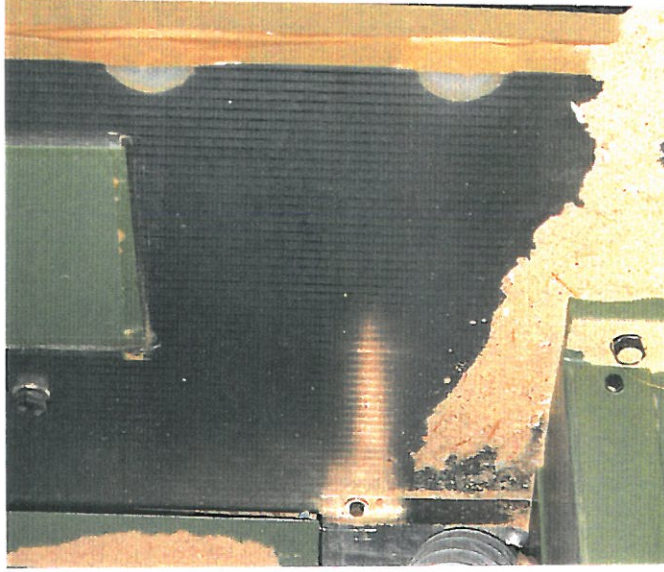


Bild 5.3.3.5: Ablagerungen in der Maschine

Die Ergebnisse der Staubmessung zeigen deutlich, daß bei abgesenkter Absaugleistung die Staubkonzentration in der Umgebung der Maschine stark ansteigt. Weiterhin ist festzustellen, daß im Bereich der Austrittsöffnung bei geringerem Absaugvolumenstrom eine höhere Staubkonzentration vorliegt als in der Mitte der Maschine oder bei der Eintrittsöffnung. Dies hängt damit zusammen, daß der Absaugrohranschluß vom hinteren Bereich am weitesten entfernt liegt und dadurch die Ansaugwirkung dort am geringsten ist. Die Staubkonzentrationsmessungen ergaben, daß die Versuchsmaschine Homag FI 52, im Originalzustand ab einem Absaugvolumenstrom von 1400 m³/h die zulässige Staubkonzentration nach der TRGS 102 ($C_s < 2 \text{ mg/m}^3$), bei 19 mm Werkstückdicke, einhält. Bei einer Werkstückdicke von 57 mm wird die erlaubte Konzentration unter den gewählten Versuchsbedingungen weit überschritten.

In den folgenden Diagrammen 5.3.3.6 bis 5.3.3.13 werden die wesentlichen Meßwerte dargestellt.

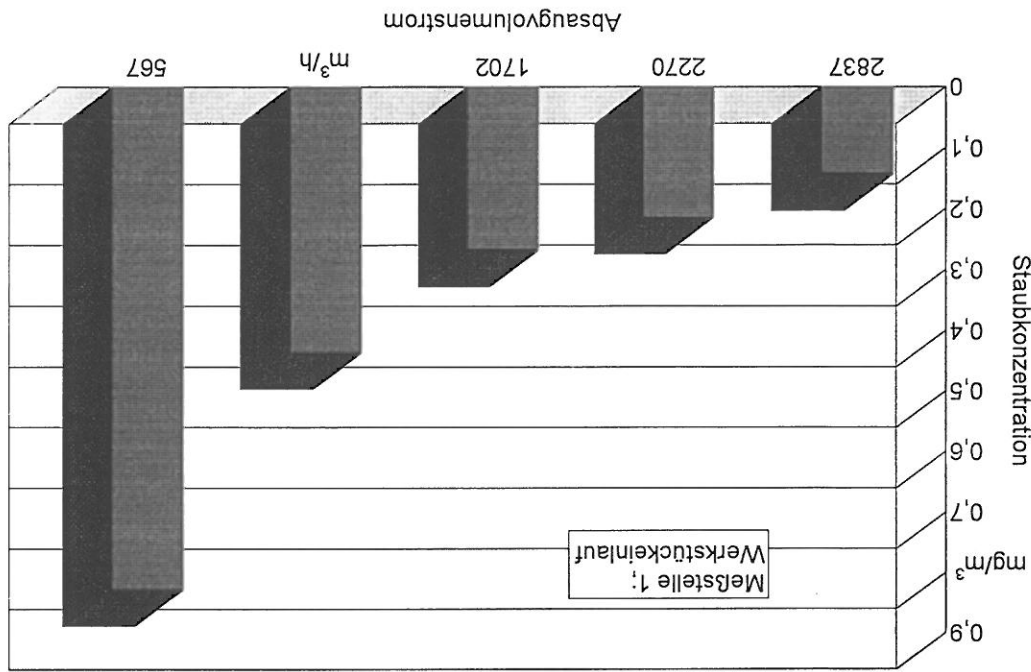


Bild 5.3.3.6: Staubkonzentration der Originalmaschine in Abhängigkeit von der Absauggeschwindigkeit

Bild 5.3.3.8: Staubkonzentration der Originalmaschine in Abhängigkeit von der Absauggeschwindigkeit

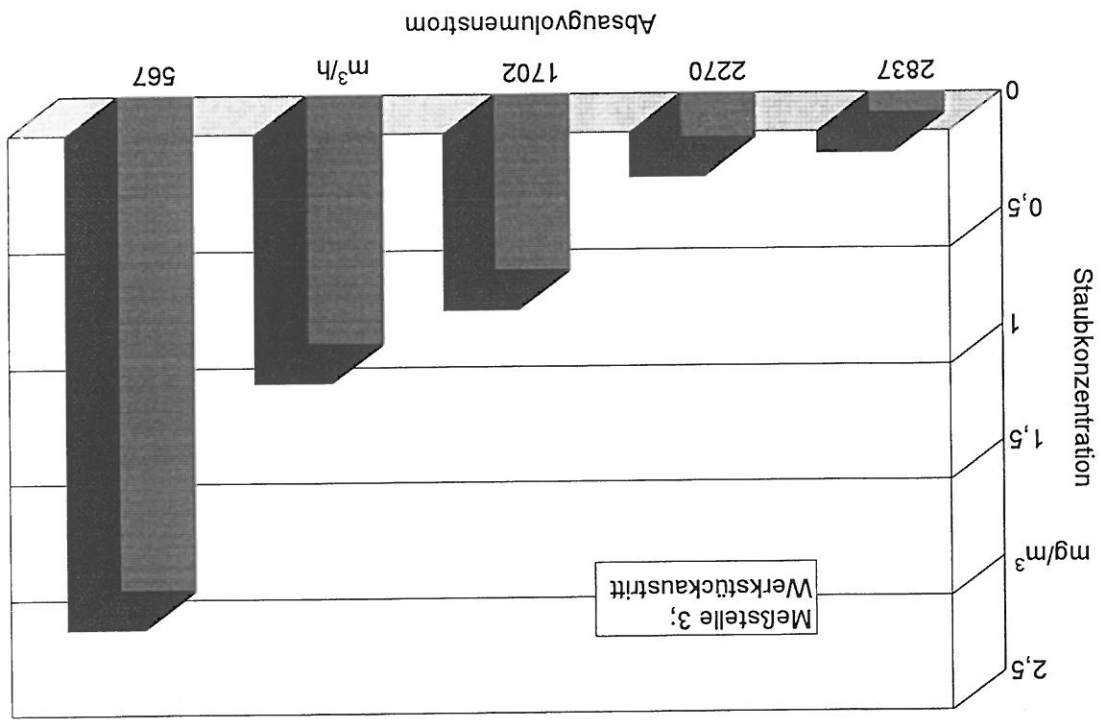


Bild 5.3.3.7: Staubkonzentration der Originalmaschine in Abhängigkeit von der Absauggeschwindigkeit

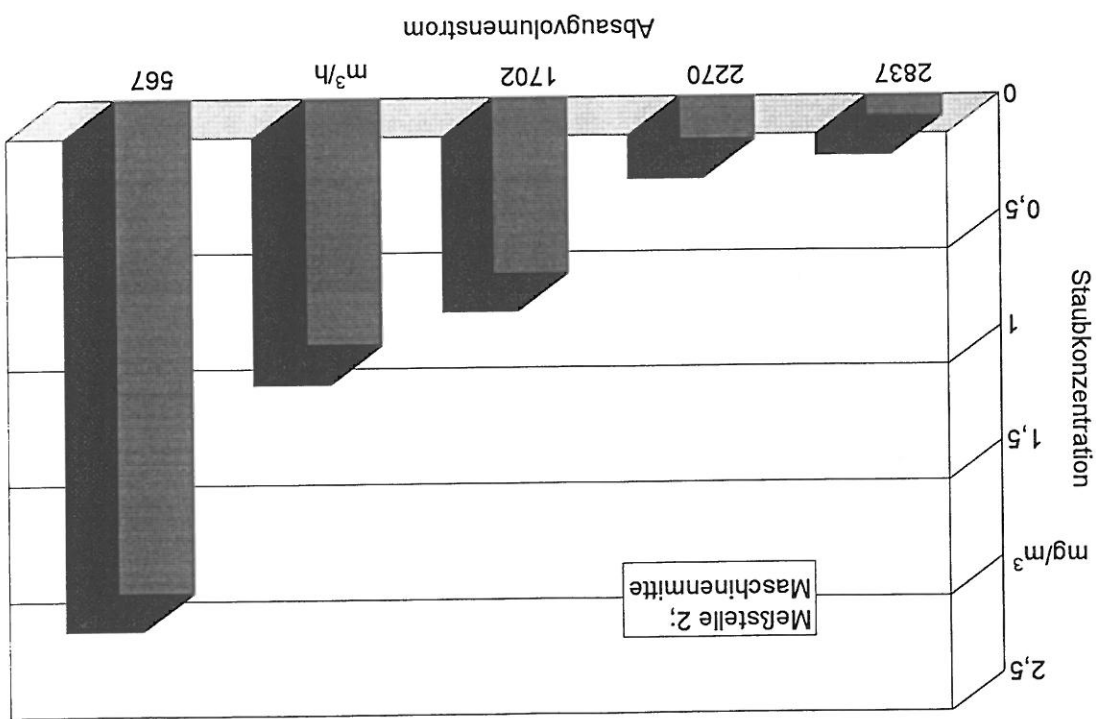


Bild 5.3.3.10: Staubkonzentration der Originalmaschine in den verschiedenen Meßpunkten

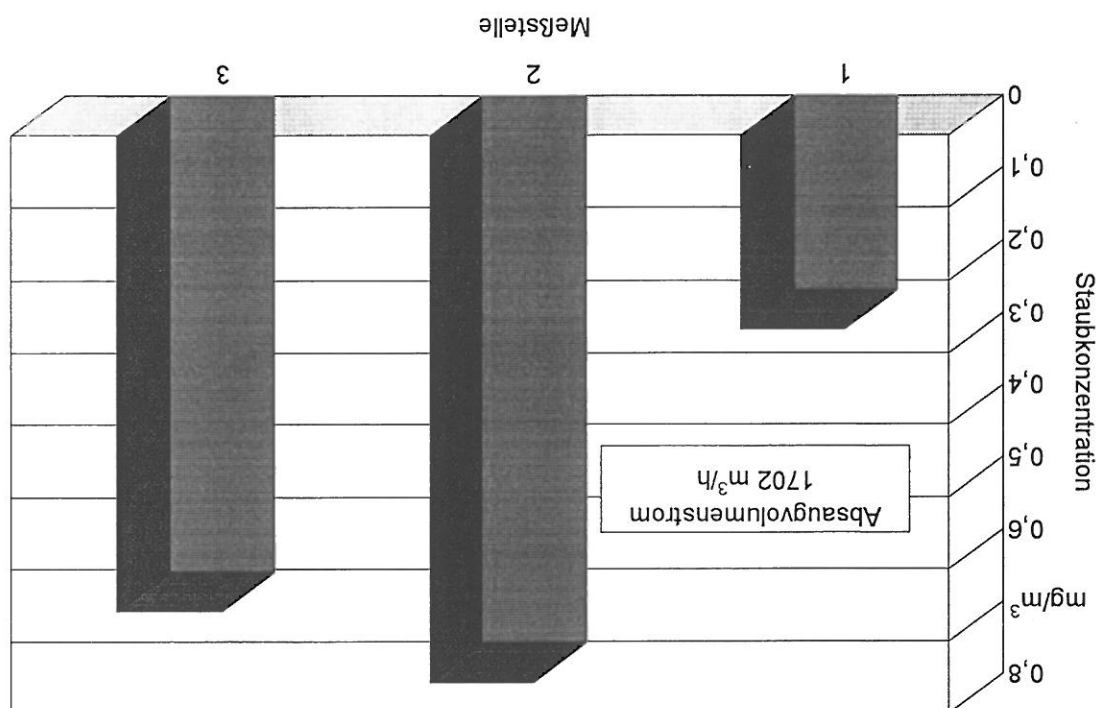


Bild 5.3.3.9: Staubkonzentration der Originalmaschine in den drei Meßpunkten

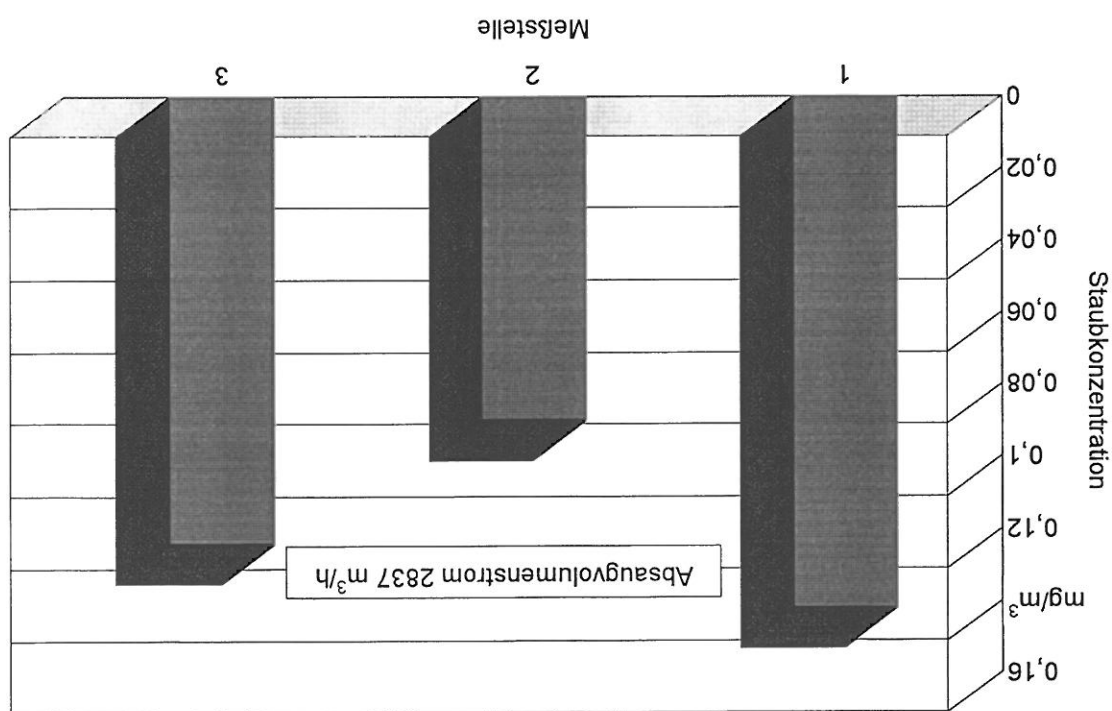


Bild 5.3.3.12: Vergleich von 19 mm und 57 mm Spanplatte (Originalmaschine)

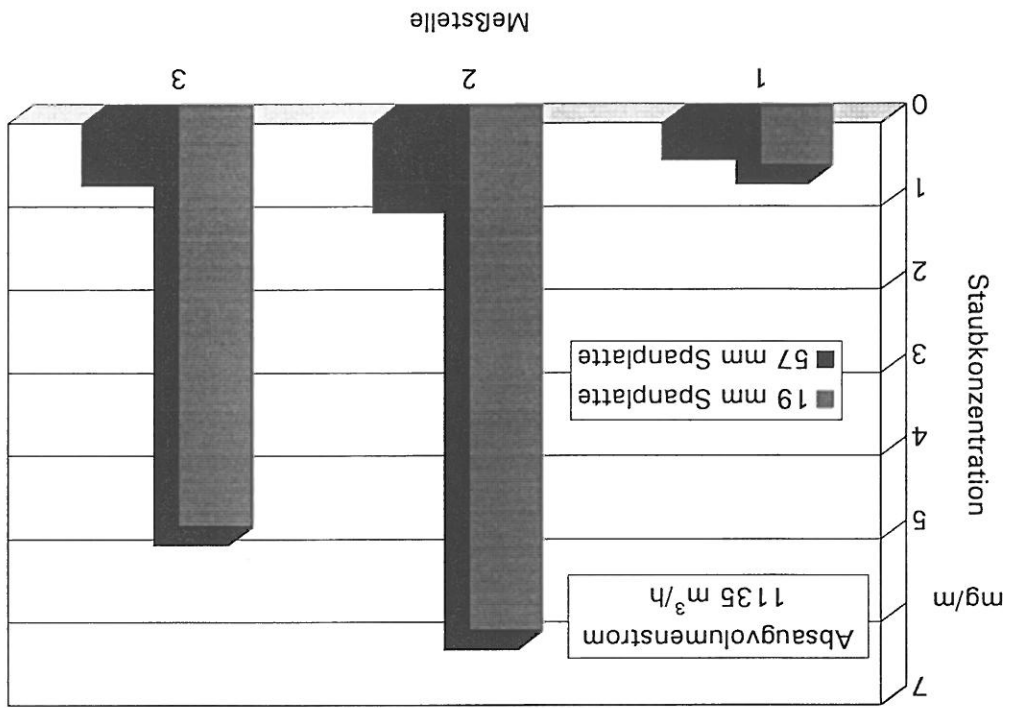
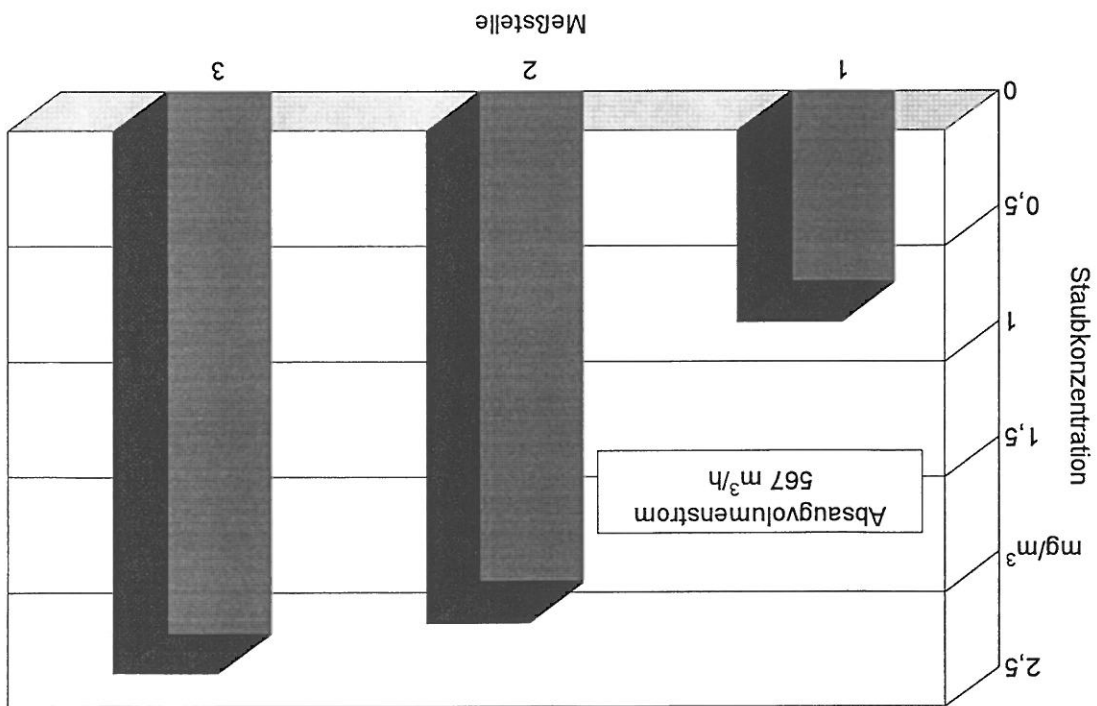


Bild 5.3.3.11: Staubkonzentration der Originalmaschine in den verschiedenen Messpunkten

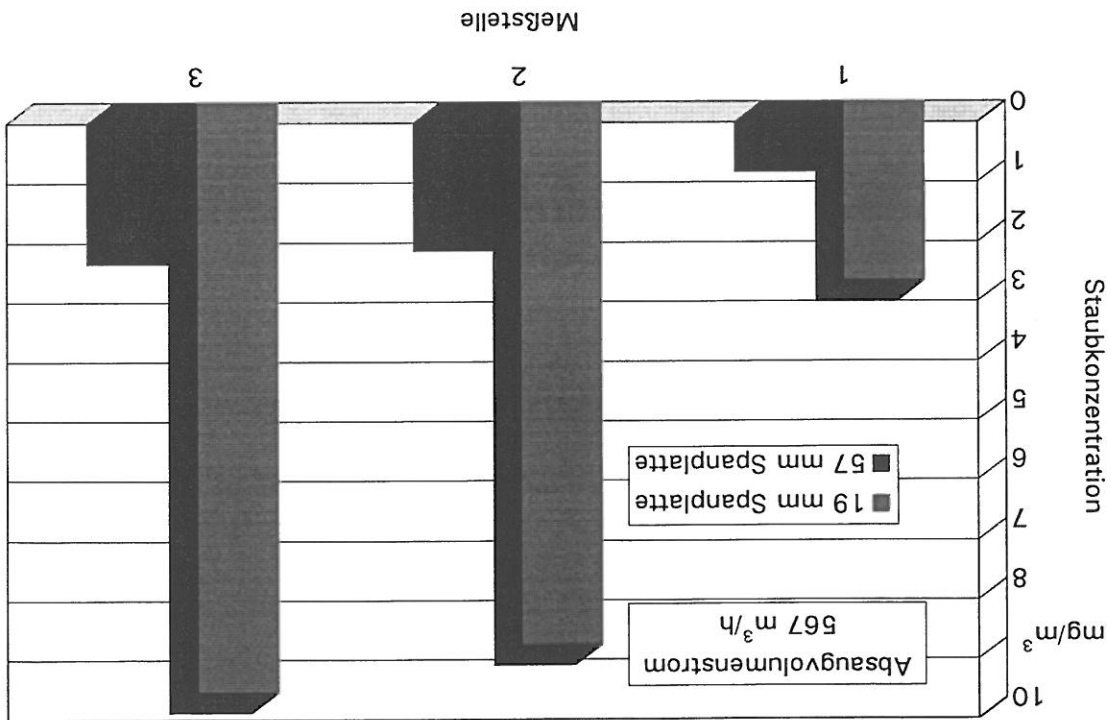


Der Unterdruck gibt in Abhängigkeit vom abgesaugten Volumenstrom Auskunft über die Dichtigkeit der Maschinenkapsel. Häufig wird der Unterdruck bei gekapselten Maschinen gemessen und als Kriterium für die Güte der Absaugwirkung verwendet, wobei jedoch keine allgemein zugänglichen Daten existieren, sondern lediglich Erfahrungswerte der Maschinenherstellers.

5.4 Untersuchung zum Unterdruck

Die Auswertung der Staubmessungen und der visuellen Beobachtungen führt zu dem Schluß, daß die Abdichtung der Maschine erheblich verbessert werden muß, wenn die Absaugleistung gesenkt werden soll ohne daß der TRK-Wert für Holzstaub überschritten wird.

Bild 5.3.3.13: Vergleich von 19 mm und 57 mm Spanplatte (Originalmaschine)



Um die Größenordnung des Unterdruckes in Relation zur Staubemission für unterschiedliche Luftvolumenströme und Spaltweiten setzen zu können, (entspricht der Werkstückdicke) wurde der Unterdruck in der Maschine gemessen (Tabelle 5.4.1).

Spaltweite [mm]	10	20	30	40	50	60
Druckdifferenz [Pa] Originalmaschine	175	155	129	112	98	87

Tabelle 3: Unterdruck in der Maschinenkapsel in Abhängigkeit von der Werkstückdicke bei 2837 m³/h Absaugvolumenstrom

Die im Betrieb auftretenden Unterdrücke liegen höher als die Tabellenwerte, da hierbei der Luftfeintrittsquerschnittsfläche um die Werkstückseitenfläche geringer wird. Im Bild 5.4.2 ist zu sehen, daß der Unterdruck unter den gewählten Versuchsbedingungen mindestens 50 Pa betragen muß.

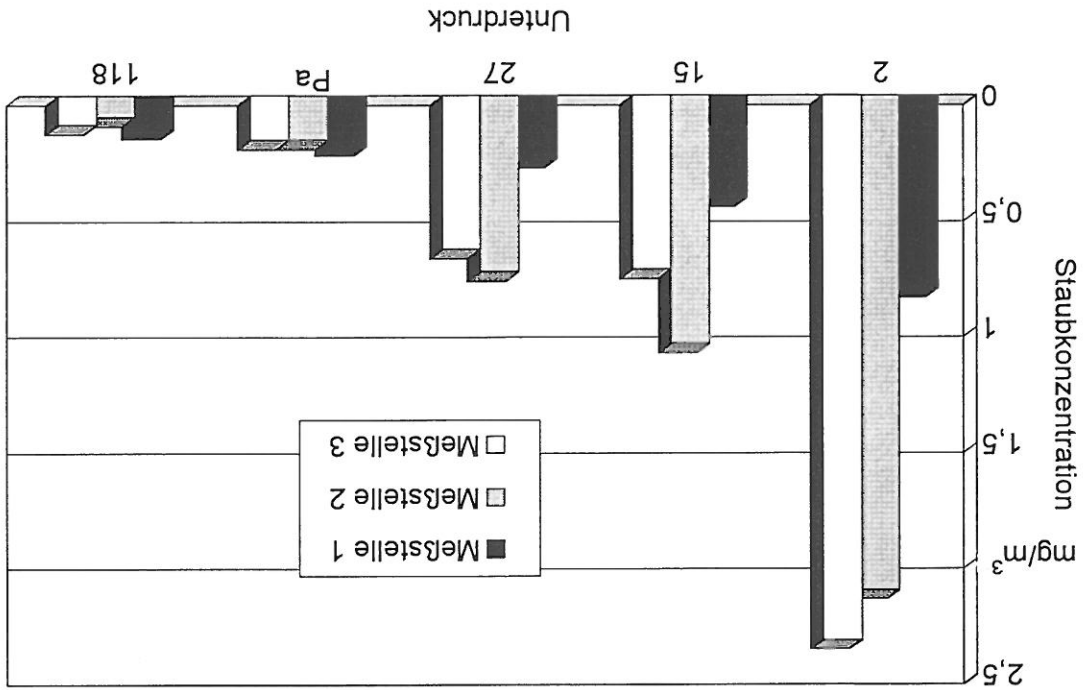


Bild 5.4.1: Staubkonzentration der Originalmaschine in Abhängigkeit der Druckdifferenz in der Maschinenkapsel

Prinzipiell sind die Transportspaltöffnungen und die Werkstückdurchgangsöffnungen verantwortlich für die hohe Staubemission und müssen für das neue Konzept, insbesondere bei stark gesenkter Absaugleistung, mit entsprechenden Elementen abgedichtet werden.

5.5 Untersuchung zur Spülluft

Voraussetzung für das Funktionieren des Späneentsorgungsprinzips ist u.a. die Kenntnis der minimal notwendigen Spülluftgeschwindigkeit, um eine ungewollte Späneablagerung zu verhindern. Ebenso interessiert die Spülluftgeschwindigkeit, bei der schon aussedimentierte Späne und Staub wieder in Bewegung gesetzt werden können. Es ist zu vermuten, daß diese Luftgeschwindigkeiten von der Art der Späne, insbesondere von deren Masse und Partikelform abhängig sind.

Für die Versuche wurden Staub- und Spänapartikel bis zu einer maximalen Größe von 30 mm Länge, 10 mm Breite und einer Spandicke von 0,3 mm verwendet. Die Blaslufte wurde mit einem Dreiblatt-Axiallüfter über einer Versuchsfläche mit einer Rauigkeit von $R_z = 100 \mu\text{m}$, auf der die Späne / Staub - Fraktion zum Aussedimentieren kamen, erzeugt.

5.5.1 Sedimentation auf eine Fläche bei senkrechter Anströmung

Zur Ermittlung des Einflusses der Spülluftwirkung bei senkrechter Anströmung wurde der Lüfter in 1 m Höhe über der Sedimentationsfläche angebracht und so ausgerichtet, daß die Rotorachse orthogonal auf den Boden zeigte. Die Versuchsanordnung ist in Bild 5.5.1.1 dargestellt.

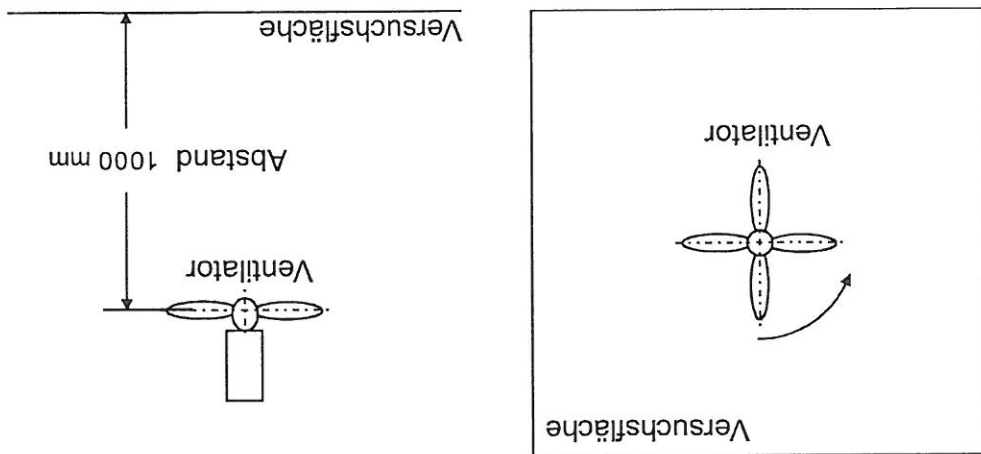


Bild 5.5.1.1: Versuchsanordnung bei senkrechter Anströmung der Versuchsfläche

Bei einem ersten Versuch wurde das Staub / Späne - Gemisch oberhalb des rotierenden Lüfters auf die Versuchsfläche gegeben, wobei der Lüfter mit maximalem Luftvolumenstrom von 1870 m³/h betrieben wurde. Dabei wurden die Späne von der Luftströmung erfasst und sedimentierten entsprechend ihrem Gewicht und ihrer Form in unterschiedlicher Entfernung von der Lüftermittellachse. In der Mitte der Fläche bildete sich ein späne- und staubfreier, kreisförmiger Bereich mit 800 mm Durchmesser. Am Rand dieses Kreises war eine Anhäufung von Spänen mit einem geringen Anteil von Staub erkennbar, der restliche Staub wurde durch die Spülluft wesentlich weiter nach außen getragen.

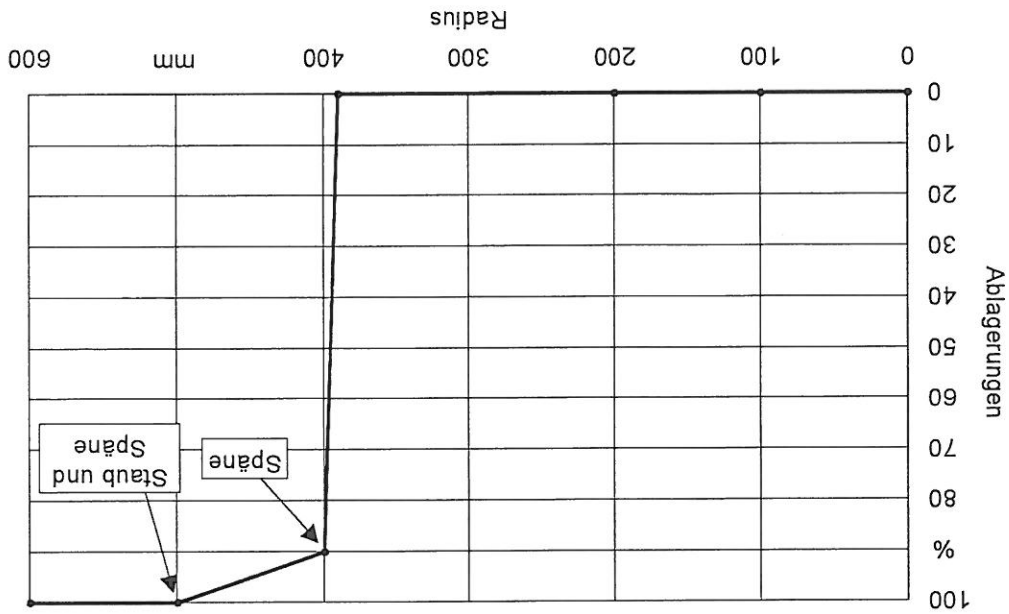


Bild 5.5.1.2: Verteilung der Partikel bei senkrechter Anströmung

Über den Boden wurde zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit ein Raster gelegt. Das Rastermaß betrug 200 mm. Die Strömungsgeschwindigkeit wurde in 10 mm Höhe über Grund mit einem Hitzdrahtfühler gemessen. Sie betrug im Übergangsbereich, in dem die ersten größeren Späne aussedimentierten, ca. 1,5 m/s.

5.5.2 Wirkung von Spülluft auf ein bereits sedimentiertes Spangemisch bei senkrechter

Anströmung

Bei unveränderter Versuchsanordnung (entsprechend 5.5.1) wurden die Späne vor Inbetriebnahme des Lüfters auf der Versuchsfläche am Boden auf insgesamt 1,5 m² mit einem durchschnittlichen Schichtdicke von 10 mm verteilt. Anschließend wurde der Lüfter mit seinem maximalen Volumenstrom von 1870 m³/h betrieben. Im Bild 5.5.2.1 ist die Wirkung der Spülluft prinzipiell dargestellt

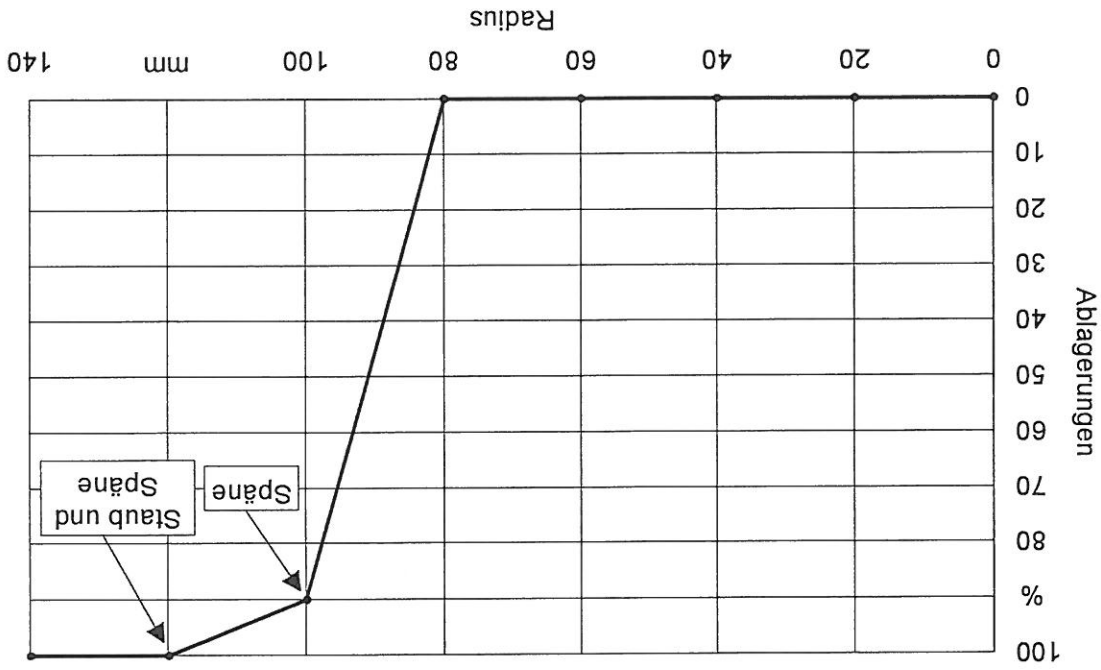


Bild 5.5.2.1: Verteilung von sedimentierten Spänen nach Spülluftzugabe bei senkrechter Anströmung der Fläche

Es ist ersichtlich, daß die Späne auf einer etwa kreisförmigen Fläche mit ca. 250 mm Durchmesser weggeblasen wurden. Am Rand des Gebietes entstand eine Anhäufung von Spänen. Diese Späneanhäufung bildet eine Barriere, die eine weitergehende Abreimigung verhindert. Die Luftgeschwindigkeit beträgt im Bereich der Anhäufung ca. 4,8 m/s. Dies bedeutet, daß zum Aufwirbeln bereits abgelagerter Späne etwa die 3-fache Luftgeschwindigkeit erforderlich ist, die für eine Vermeidung der Sedimentation im Flug befindlicher Späne benötigt wird.

5.5.3 Sedimentation auf eine ebene Fläche bei paralleler Anströmung

In den nachfolgend beschriebenen Versuchen wurde der Lüfter horizontal angeordnet, d. h. ein parallel zum Boden liegendes Strömungsfeld erzeugt. Der Abstand des Lüfteraußenrandes zum Boden wurde mit 20 mm möglichst klein gewählt. Damit war gewährleistet, daß schon in geringer Entfernung vom Lüfter die Grundgeschwindigkeit in Bodennähe relativ hoch ist. Zunächst wurden die Späne bei unterschiedlichen Lüfterdrehzahlen von oben ausgestreut. Dabei ergab sich folgende Form und Größe der sedimentationsfreien Fläche wie in Bild 5.5.3.1 zu sehen.

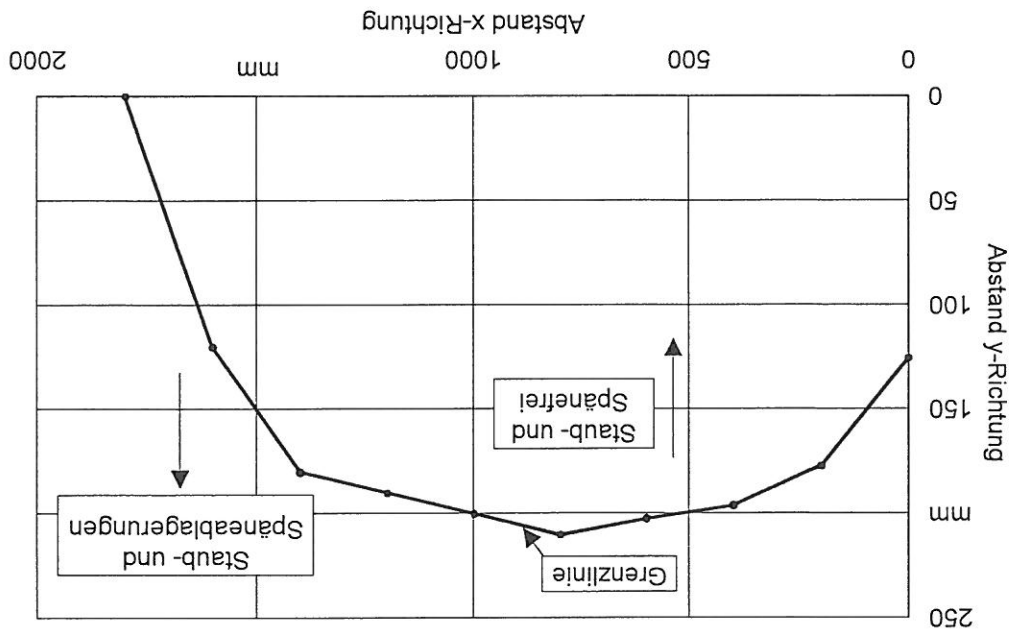


Bild 5.5.3.1: Späneverteilung bei paralleler Anströmung der Sedimentationsfläche (Sedimentation aus dem Bewegungszustand der Späne)

Die Messungen ergaben, daß die Späne bei einer Strömungsgeschwindigkeit unterhalb von 1,5 m/s sedimentierten. Auch hier war festzustellen, daß der Feinstaub über den sich ausbildenden Grenzbereich hinausgetragen wurde. Im Bild 5.5.3.2 ist das Strömungsgeschwindigkeitsprofil über der Meßfläche in einer Höhe von 10 mm oberhalb des Bodens dargestellt.

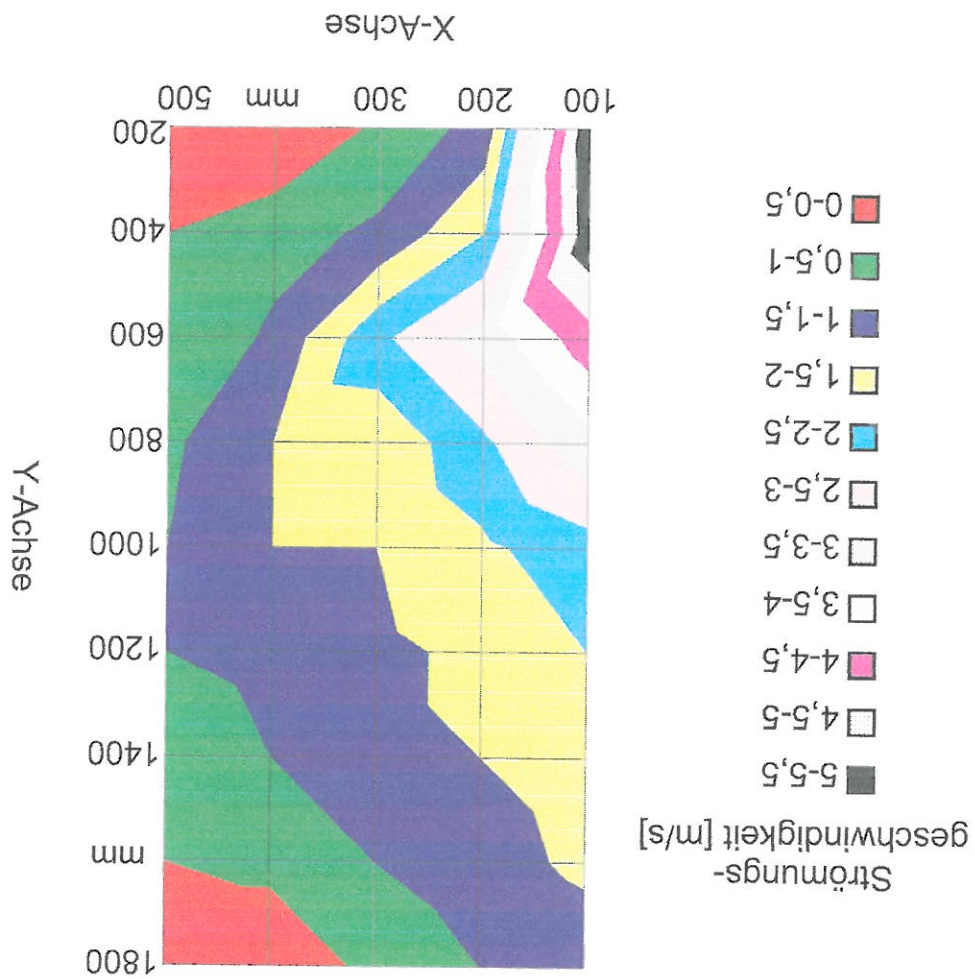


Bild 5.5.3.2: Strömungsgeschwindigkeitsprofil über der Meßfläche in 10 mm Höhe bei zur Fläche paralleler Strömung (bei maximalem Volumenstrom des Ventilators)

5.5.4 Wirkung von Spülluft auf ein bereits sedimentiertes Spangemisch bei paralleler Anströmung

In Kapitel 5.5.3 wurde ermittelt, welche Strömungsgeschwindigkeit bei paralleler Anströmung erforderlich ist, um die Sedimentation von bewegten Spänen und Staub zu verhindern. Im folgenden Versuch wurde untersucht, welche Strömungsgeschwindigkeit zur Abreinigung von abgelagerten Spänen mit einer durchschnittlichen Schichtdicke von 10 mm erforderlich ist. Das folgende Bild 5.5.4.1 zeigt die freigeblasene Fläche bei maximaler Lüfterdrehzahl. Analog zur Anordnung mit vertikalem Lüfter stellt sich auch hier eine Anhäufung des Staubes in einem bestimmten Abstand zum Lüfter ein.

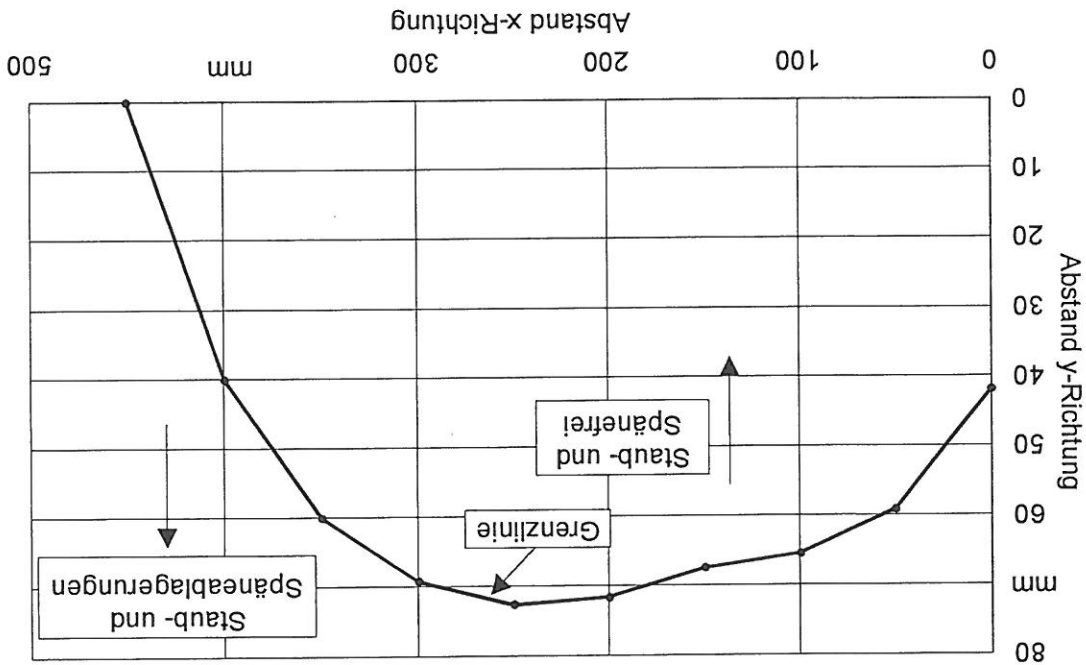


Bild 5.5.4.1: Freigeblasene Fläche bei paralleler Anströmung und vorheriger Sedimentation

Die notwendige Luftgeschwindigkeit zum Abblasen bereits sedimentierter Späne betrug 3,5 m/s, etwa das 2,5-fache gegenüber der erforderlichen Spülluftgeschwindigkeit, bei der eine Sedimentation im Bewegungszustand der Späne verhindert wird.

Nach den Ergebnissen dieser Vorversuche können die nachfolgend beschriebenen Mindestforderungen an die erforderlichen minimalen Luftgeschwindigkeiten formuliert werden:

- Mindestluftgeschwindigkeit über Grund bei Parallelströmung zur Verhinderung von Ablagerungen von in Bewegung befindlichem Staub und Spänen: 1.5 m/s
- Mindestluftgeschwindigkeit über Grund bei Parallelströmung zur Beseitigung schon aussedimentierter Späne einer 10 mm dicken Schicht: 3.5 m/s
- Mindestluftgeschwindigkeit über Grund bei senkrechter Anströmung zur Verhinderung von Ablagerungen: 1.5 m/s
- Mindestluftgeschwindigkeit über Grund bei senkrechter Anströmung zur Beseitigung schon aussedimentierter Späne einer 10 mm dicken Schicht: 3.5 m/s
- Möglichst parallele Anströmung der abzublaseenden Fläche

5.6 Untersuchung zur Spülluft in der Maschine

5.6.1 Untersuchung zum Spülluftventilator

Nachdem die Spülluftanforderungen bekannt sind, wurde der Ventilator der Versuchsmaschine und die damit erreichbare Spülluftgeschwindigkeit untersucht. Dazu wurde die Luftgeschwindigkeit in der Maschine und die Leistungsaufnahme sowie die Strömungsgeschwindigkeit in der Zuführungslleitung zu Maschine gemessen.

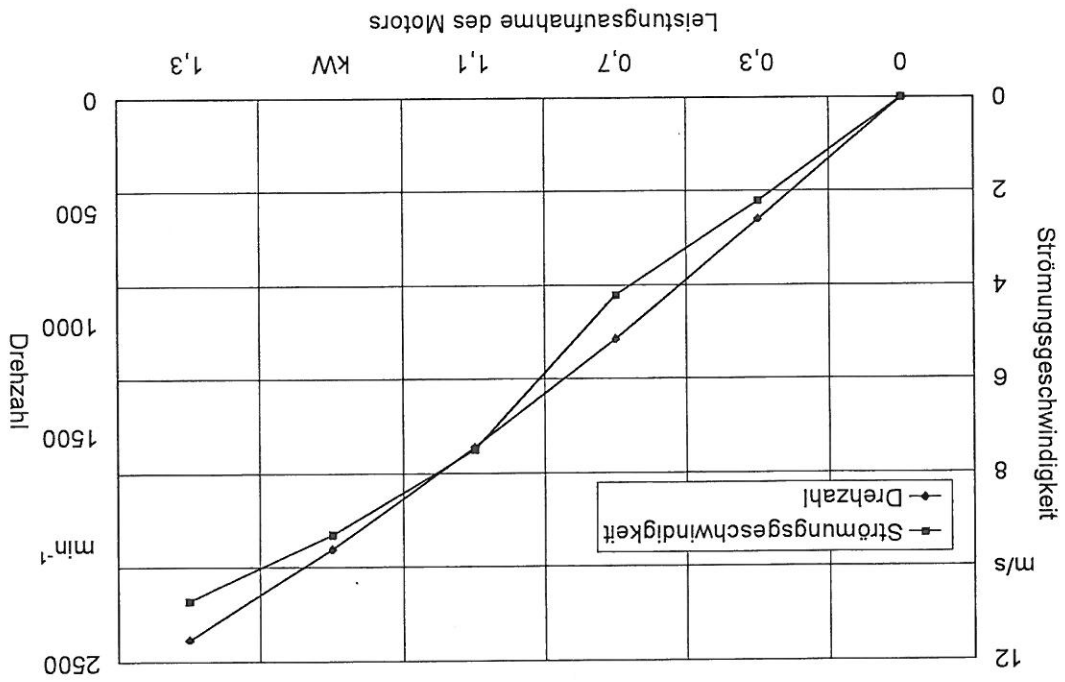


Bild 5.6.1.1: Volumenstrom - Drehzahl - Netzfrequenz - Diagramm des Ventilators

Um eine effektive Spülvirkung auf den Maschinenflächen zu erreichen ist die mit dem Lüfter erzielbare maximale Strömungsgeschwindigkeit aufgrund der Erkenntnisse aus den Vorversuchen ausreichend.

5.6.2 Strömungsmessung in der Maschine

Zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit in der Maschinenkapfel wurden 7 Meßstellen festgelegt. Die Messpunkte lagen in verschiedenen Höhen, um die räumliche Verteilung der Spülflut beurteilen zu können (Bild 5.6.2.1).

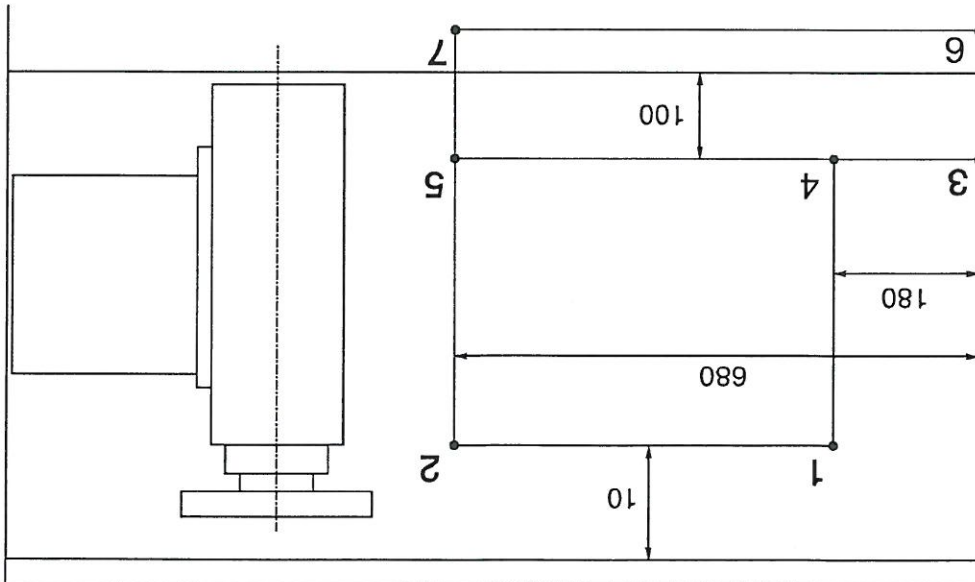


Bild 5.6.2.1: Meßpunkte für die Bestimmung der Spülflutgeschwindigkeit

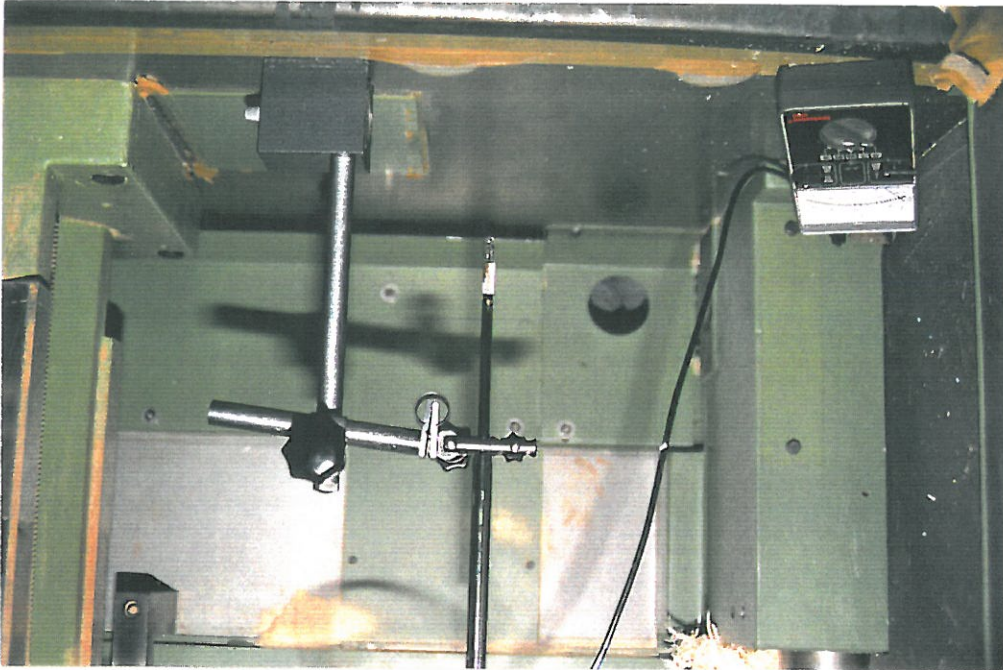


Bild 5.6.1.2: Strömungs-Geschwindigkeitsmessung in der Versuchsmaschine

Mittels Drehzahlregelung des Gebläses wurde die gewünschte Größe der Strömungsgeschwindigkeit über dem Maschinenboden eingestellt. In den Bildern 5.6.1.3 und 5.6.1.4 sind die Strömungsgeschwindigkeiten für den Meßpunkt 1 und 4 dargestellt. Es ist zu erkennen, daß die Spülluftgeschwindigkeit im Bereich von 0 mm bis 50 mm Höhe ausreichend groß ist, um die Späne abzublasen.

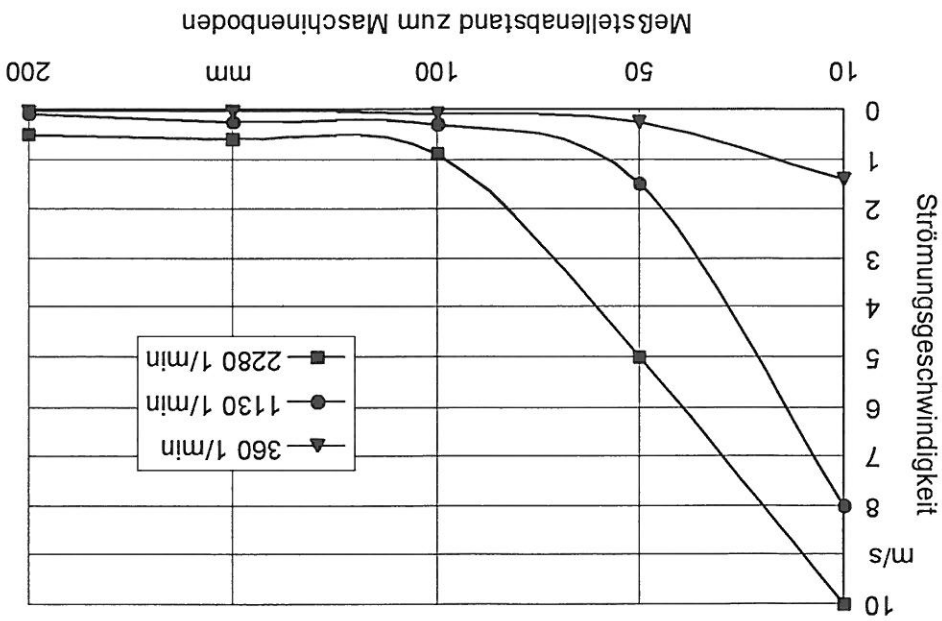


Bild 5.6.1.3: Strömungsgeschwindigkeit im Meßpunkt 1

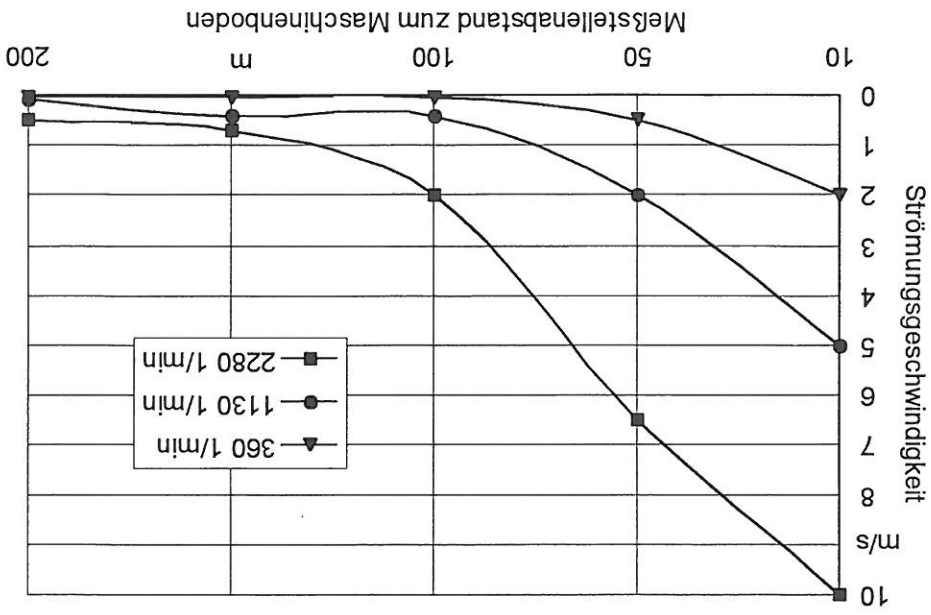


Bild 5.6.1.4: Strömungsgeschwindigkeit im Meßpunkt 4

5.6.3 Bestimmung der erforderlichen Spülluftgeschwindigkeit zur Abreinigung der Maschinenflächen

In dieser Versuchreihe wurde untersucht, welche minimale Strömungsgeschwindigkeit in der Maschine erforderlich ist, um den Maschinenboden sicher von Staub und Spänen freizuhalten. Die Messung der Strömungsgeschwindigkeit erfolgte in den Punkten 1 und 2 (vgl. Bild 5.6.3.1). Die Wirksamkeit der Spülluft wurde während des Zerspanungsprozesses anhand des Anteils der von Staub und Spänen freigehaltenen Fläche im Verhältnis zur Gesamtfläche des Maschineninnenbodens beurteilt. Die Spülluftgeschwindigkeit wurde 10 mm nach dem Eintrittsspalt der Spülluft in die Maschine bestimmt.

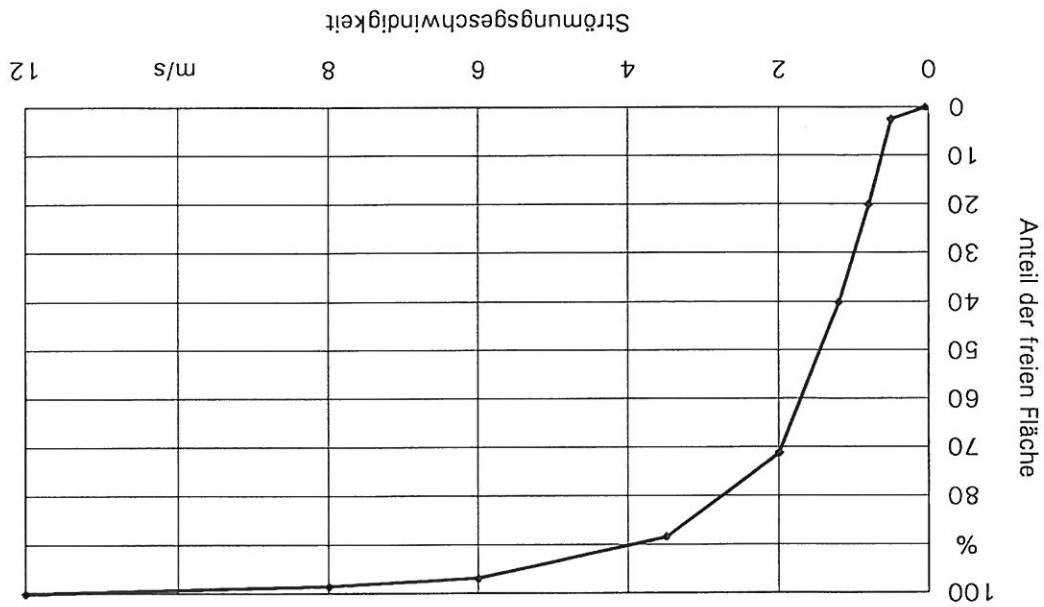


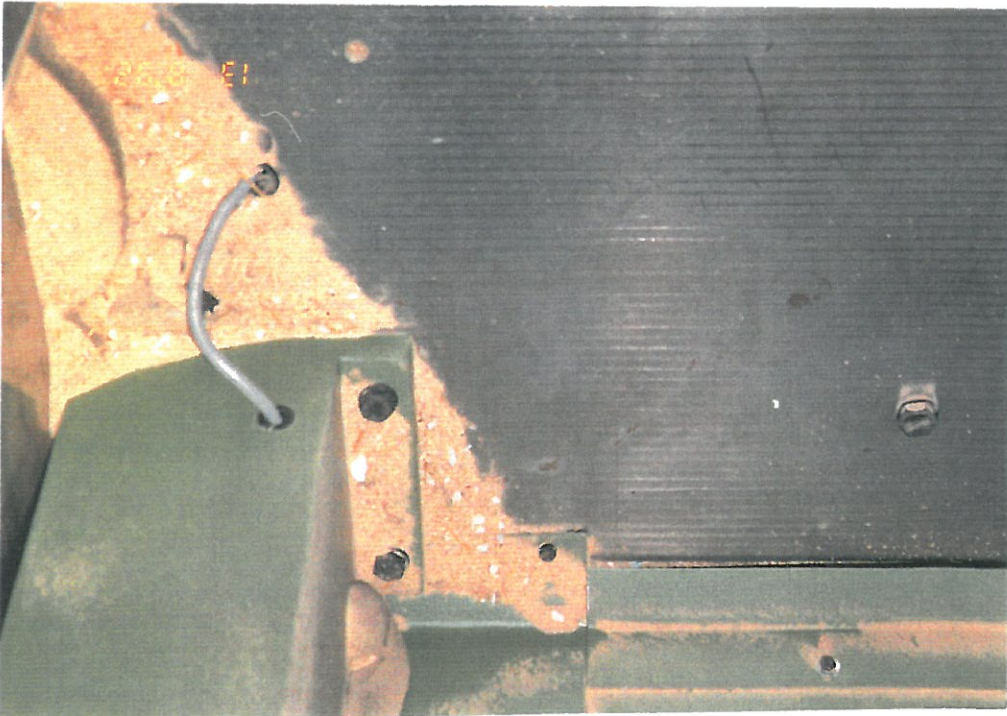
Bild 5.6.3.1: Von Staub und Spänen freigehaltene Fläche

Um das Maschinenbett sicher von Staubablagerungen freizuhalten, ist in einer Höhe von 10 mm eine Strömungsgeschwindigkeit von mindestens 5 m/s anzustreben. Dabei gelten folgende Einschränkungen: Entstehen sehr lange Späne (Spreißel) beim Zerspanungsprozess, die sich zwischen Wänden oder sonstigen Bauteilen einklemmen können, so kann eine Staubansammlung bis zu einer bestimmten Höhe nicht verhindert werden. Auch sehr hohe Strömungsgeschwindigkeiten können beim Vorhandensein von Ecken und anderen strömungsungünstigen Gebieten wirkungslos sein, da sich hier stehende Wirbel ausbilden. Derartig verursachte Ablagerungen, können durch vermeiden von toten Räumen verhindert werden.

Zusammenfassung:

Mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 3,5 m/s, dies entspricht einem Luftvolumenstrom von 100 m³/h, wäre bereits schon eine 100-prozentige Reinigungswirkung erreichbar. Ablagerungen in Ecken, in denen der Spülluftvolumenstrom nicht wirken kann sind bis zu einem bestimmten Maß mit Partikeln belegt (Bild 5.6.3.2).

Bild 5.6.3.2: Staub und Späne in Eckenbereichen der Maschine



5.7 Untersuchungen zu Leitelementen

Leitelemente sollen in erster Linie verhindern, daß Partikel ungebremst auf Öffnungen in der Maschinenkabine zufliegen und austreten können. Weiterhin sollen sie die gegenseitige Beeinflussung der Aggregate, insbesondere aber der Werkzeuge durch die Partikel unterbinden, um Beschädigungen zu vermeiden.

Zur Findung der geeigneten Form und Größe wurde zunächst ein Lastenheft aufgestellt in dem die wesentlichen Anforderungen festgehalten sind. Ausgehend davon wurden verschiedene Muster gebaut und auf Ihre Eignung untersucht. Es kann unterschieden werden zwischen geraden, gekrümmten und geschlossenen geraden oder gekrümmten Leitelementen.

5.7.1 Gerade Leitelemente

Gerade Leitelemente sind ebene Platten oder Körper die in beliebiger Position zum Werkzeug und Werkstück angeordnet sein können, jedoch den Spänestrahlfeld definiert umlenken. In Bild 5.7.1.1 ist ein einfaches gerades Element dargestellt.

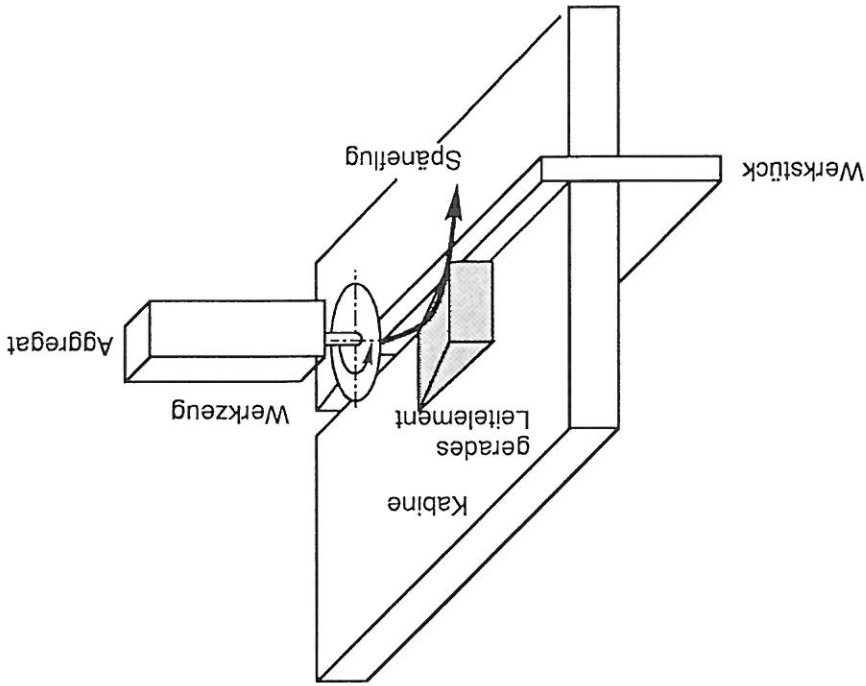


Bild 5.7.1.1: Gerades Leitelement

Im Versuch hat sich gezeigt, daß gerade Leitelemente Staub und Späne in Abhängigkeit von ihrer Größe und Anordnung zu einem Großteil umlenken. Der Abstand von Werkstück und Leitelement muß dazu sehr gering sein, da durch Abstände von 1 mm bis 2 mm sehr viel Zerspannungsgut hindurchtreten kann und die Funktion dadurch nicht mehr erfüllt ist. Die Anforderung, den Spänestrahl von den Öffnungen fernzuhalten kann mit dieser Bauform nur Bedingt erfüllt werden. Durch den Impuls beim Aufprall der Partikel auf das Leitelement zerstreuen sich das Zerspannungsgut in der gesamten Maschine und gelangt dadurch teilweise umgebremst bis zu den Öffnungen. Auch die gegenseitige Beeinflussung der Werkzeuge wird durch dieses Zerstreuen nur bedingt unterbunden. Prinzipiell ist diese einfache und kostengünstigste Form von Leitelementen gut geeignet, bei komplexen Maschinenstrukturen eingesetzt zu werden.

5.7.2 Gekrümmte Leitelemente

Gekrümmte Leitelemente besitzen gegenüber der geraden Bauform theoretisch den Vorteil, daß der Impuls der Partikel auf die Elementoberfläche geringer ist (Bild 5.7.2.1).

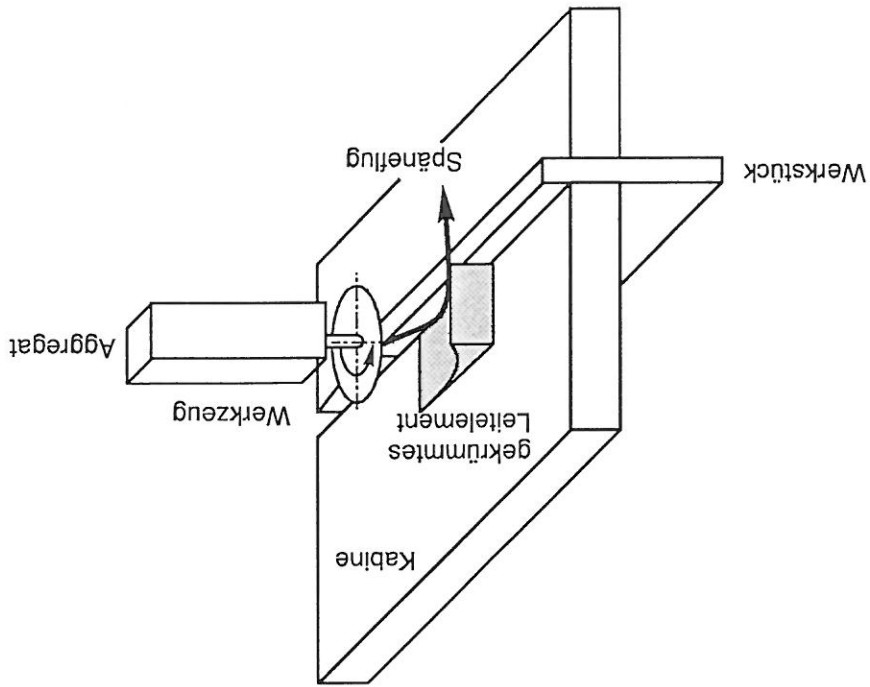


Bild 5.7.2.1: Gekrümmtes Leitelement

Es hat sich allerdings im Versuch herausgestellt, daß die erforderlichen Radien, um den Impuls auf ein geringes Maß zu reduzieren, zu groß sind, um in einer Durchlaufmaschine eingesetzt zu werden. Die maximal realisierbaren Radien, bei den vorgegebenen Maschinenabmessungen und Aggregatabständen bieten gegenüber den geraden Leitelementen keine nennenswerten Vorteile.

5.7.3 Geschlossene, gerade Leitelemente

Um das Zerstäuben der Späne zu vermeiden, kann statt eines ebenen flächigen Elementes, ein geschlossenes verwendet werden. Versuche mit geraden, geschlossenen Elementen haben gezeigt, daß hiermit die Umlenkung der Partikel besser realisiert werden kann (Bild 5.7.3.1).

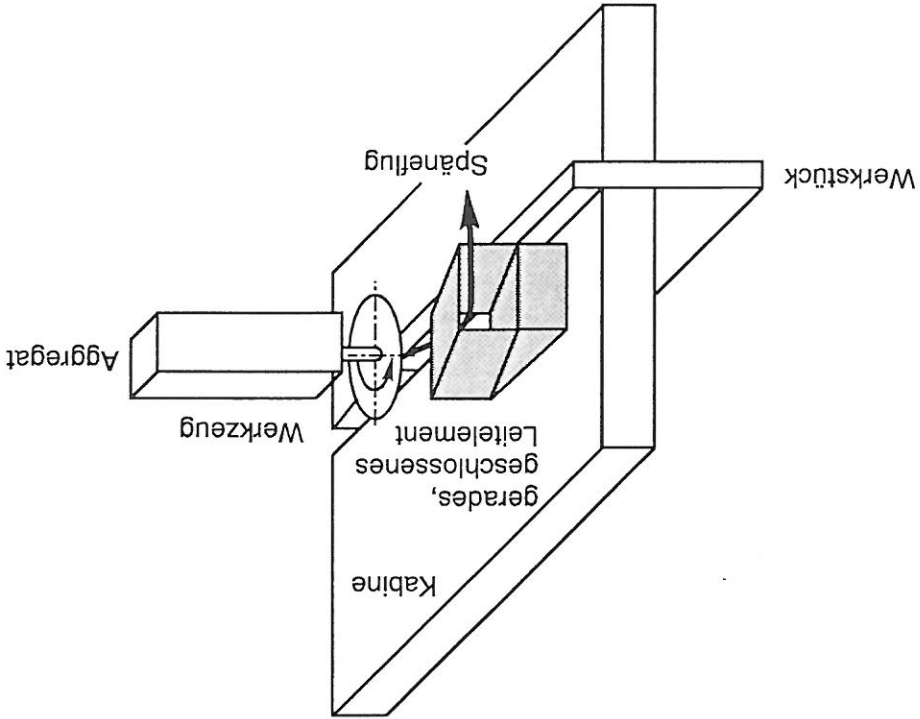


Bild 5.7.3.1: Gerades, geschlossenes Leitelement

Allerdings ist nach dem Austritt der Späne aus dem Leitelement dasselbe Zerstäuben wie bei offenen Leitelementen zu beobachten. Verhindert werden kann dies durch entsprechend lange

Elemente, mit integrierten Partikelbremsen. Dem steht jedoch der große Platzbedarf gegenüber, der für Durchlaufmaschine nicht vertretbar erscheint.

5.7.4 Geschlossene, gekrümmte Leitelemente

Mit gekrümmten, geschlossenen Leitelementen (Bild 5.7.4.1) kann das Zerstäuben am Ende des Elements dann reduziert werden, wenn die Krümmung so stark ist, daß die Partikel ihre hohe Fluggeschwindigkeit durch Reibung verlieren. Dies gelingt nur mit relativ langen Elementen, welche den Werkzeugwechsel und die Verstellung der Achsen erschweren.

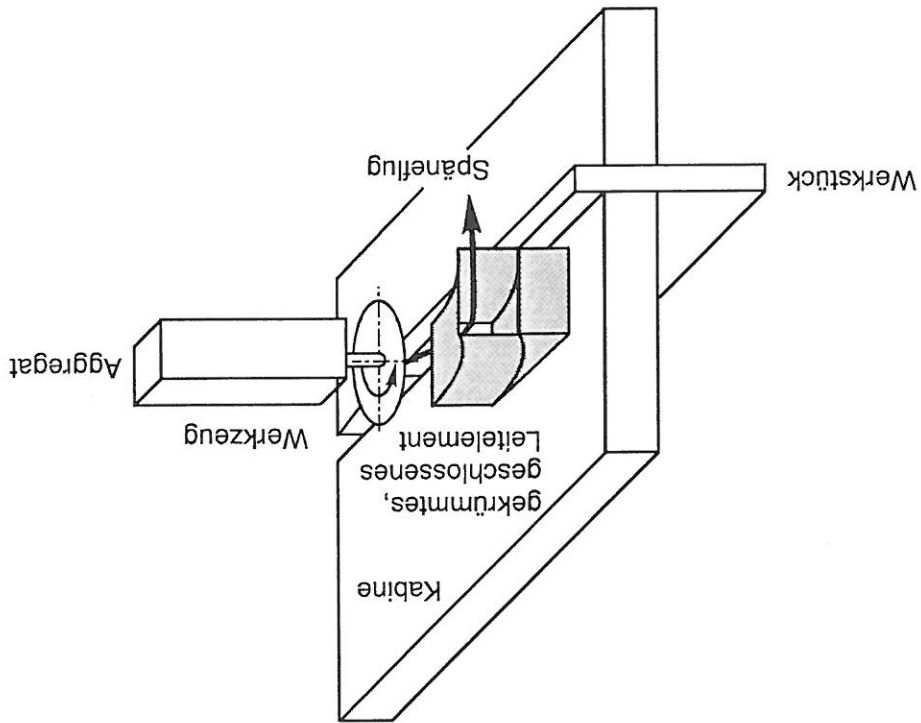


Bild 5.7.4.1: Gekrümmtes, geschlossenes Leitelement

Zusammenfassung:

Alle konzipierten und untersuchten Leitelemente erfüllten nicht vollständig die an sie gestellten Anforderungen. Eine Umlenkung des Staub / Spänestrahls in Richtung Sedimentationsraum ohne erneute Aufwirbelung des dort bereits abgelagerten Späne- Staubgemisches ist nicht erreichbar. Die kinetische Energie der größeren Späne und der vom Werkzeug verursachte Luftstrom sind die Hauptgründe für dieses Verhalten.

Obwohl keine gezielte Lenkung des Spänestrahls erreicht werden konnte, sedimentierte bei den Versuchen der Großteil der Späne immer in den vorausbestimmten Räumen aus d.h., eine gezielte Führung des Spänestrahls in den Sedimentationsraum ist nicht unbedingt erforderlich. Dieses Phänomen erklärt sich mit den Strömungsverhältnissen, die sich stationär in der Maschine einstellen. Der Transport der Späne in das Sammelbecken kann daher ausschließlich mit Hilfe der Spülluft realisiert werden.

Die Elemente wurden deshalb für die Versuchsmaschine und die später realisierte Maschine nicht als erforderlich angesehen und nur vereinzelt eingebaut.

5.8 Untersuchung zur Sedimentation der Späne auf geneigten Flächen

Durch die Senkung der Absaugleistung und den Wegfall der Absaughauben lagert sich das Zerspanungsgut zum Großteil auf allen waagerechten Flächen in der Maschine ab. Der Aufwand um alle Flächen in der Maschine mit Spülluft zu beaufschlagen ist sehr groß und kann in bestimmten Bereichen nicht realisiert werden.

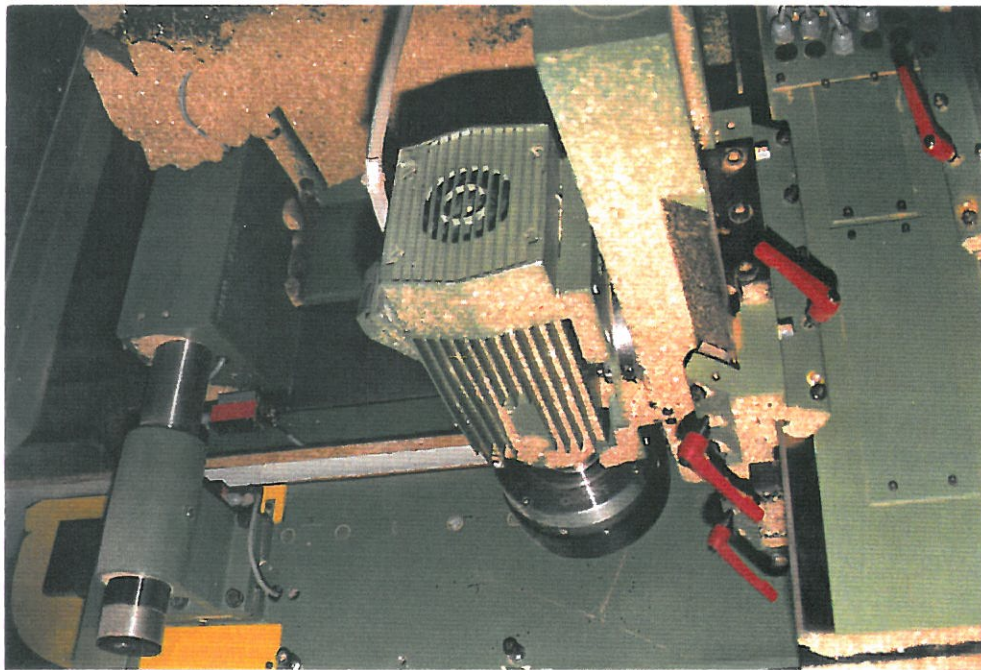


Bild 5.8.1: Staubablagerungen in der Versuchsmaschine

Bild 5.8.1 zeigt, welche Gebiete in der Maschine nicht von der Spülluft erfaßt werden, erkennbar durch sedimentierte Späne. Auf diesen Flächen kann eine Staub- und Späneablagerung vermieden werden, wenn sie eine ausreichende Neigung, bei einer nicht zu große Oberflächenrauigkeit aufweisen.

In den folgenden Versuchen wurde für drei verschiedene Materialien mit unterschiedlicher Oberflächenrauigkeit diesen minimal notwendige Winkel zur Vertikalen, bei dem sich keine Staub- und Spänapartikel absetzen können ermittelt. Das folgende Bild 5.8.2 zeigt die Versuchsanordnung. Das Gemisch von Staub und Spänen wurde senkrecht von oben auf die

Fläche aufgebracht.

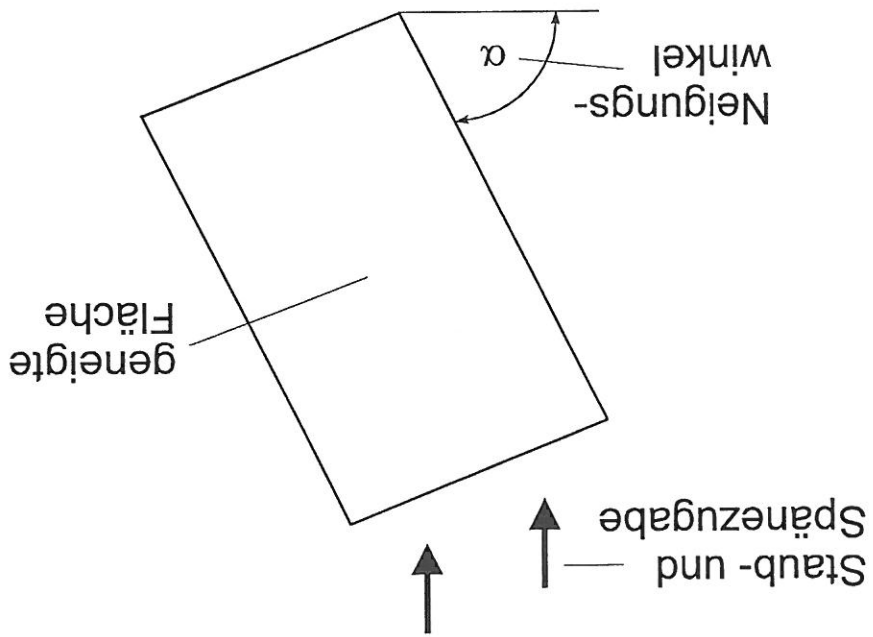


Bild 5.8.2: Versuchsanordnung zur Ermittlung der notwendigen Neigung zum vollständigen Abblättern von Staub und Spänen

Untersucht wurden gewalzte Aluminiumoberflächen ($R_z = 10 \mu\text{m}$), gefräste Stahloberflächen ($R_z = 40 \mu\text{m}$) und lackierte Stahlblechoberflächen ($R_z = 100 \mu\text{m}$) verwendet. Die Bilder 5.8.3 bis 5.8.5 geben die Ergebnisse wieder, wobei die Prozentzahl der Abblätternung angibt, welche Menge der Gesamtmenge von der Oberfläche abblättern bzw. nicht liegen bleibt.

Bild 5.8.4: Neigungswinkel für geträsten Stahl

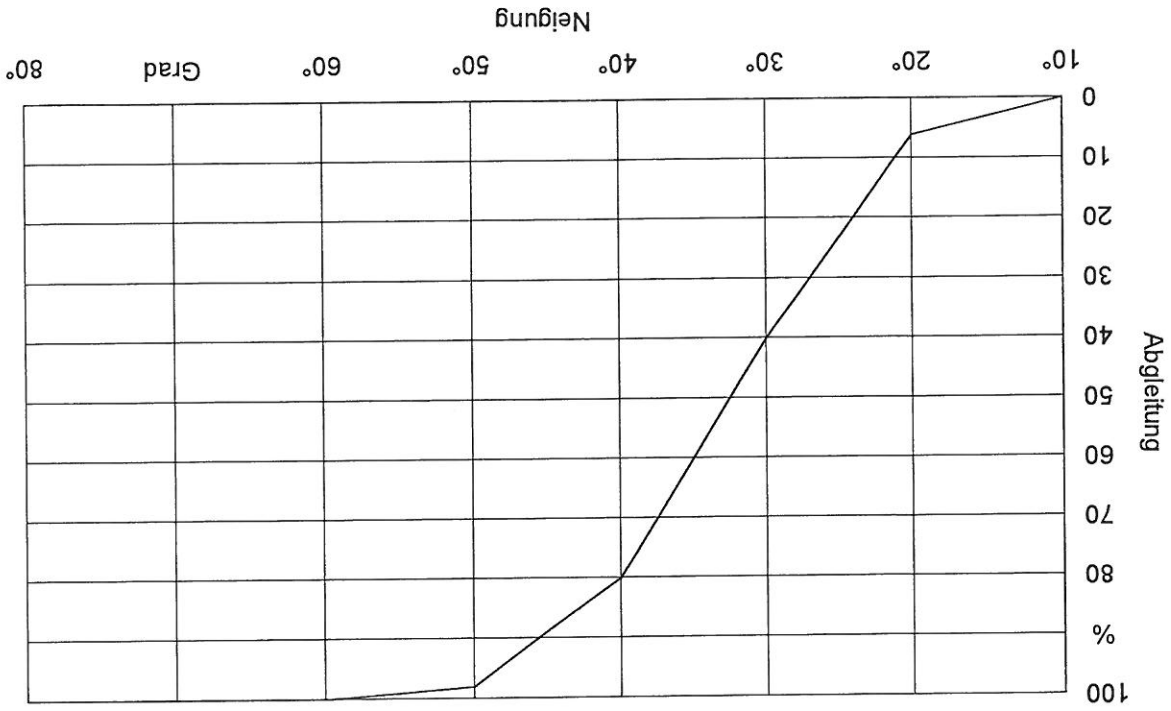
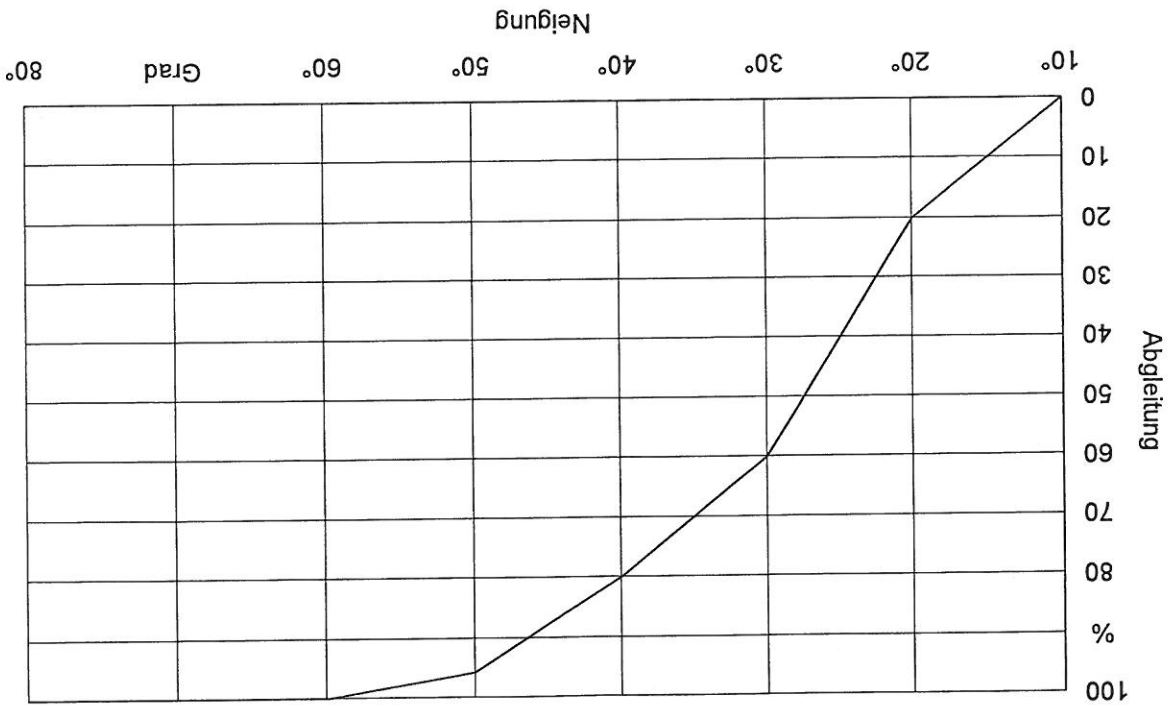
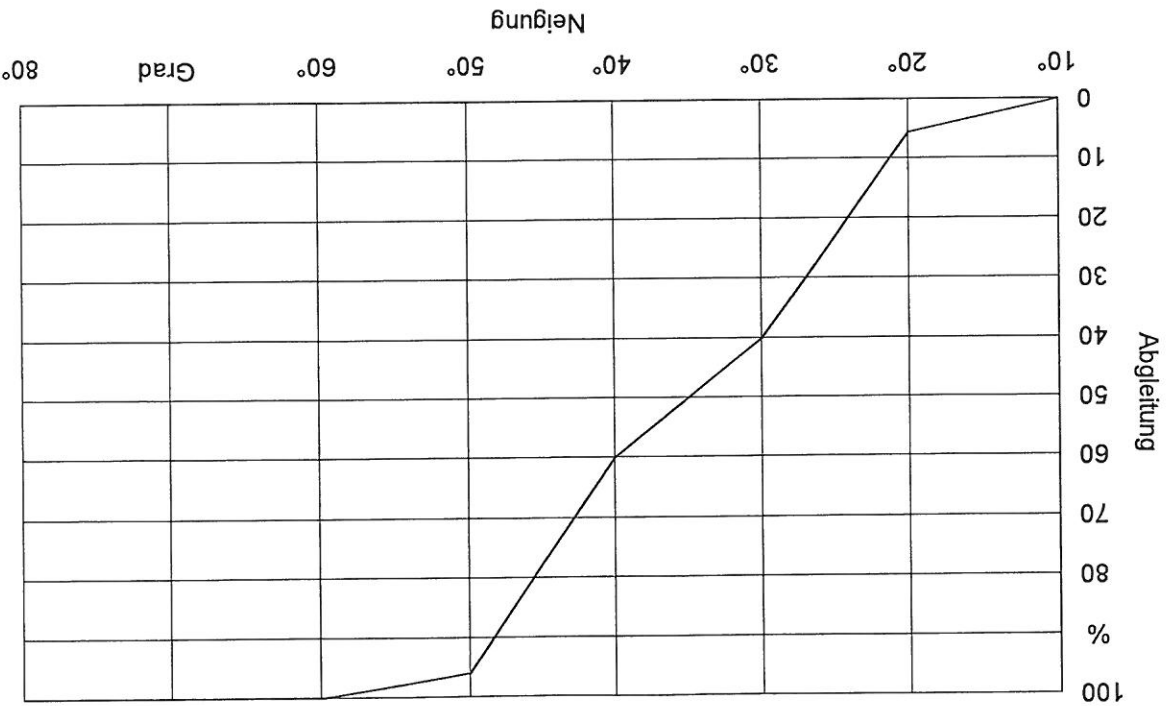


Bild 5.8.3: Neigungswinkel für gewalztes Aluminium (Fallrichtung = Walzrichtung)



Den Bildern ist zu entnehmen, daß für die untersuchten Oberflächenarten ein Neigungswinkel von 50° ausreicht, um sie praktisch vollständig von Staub und Spänen freizuhalten. Voraussetzung ist allerdings, daß am Ende der Gleitfläche keine Anhäufung des Materials erfolgen kann und keine elektrostatische Aufladung vorhanden ist. Ist dies der Fall, so entsteht eine Barriere, an der sich nachfolgende Partikel ansammeln. Die unteren Begrenzungen dieser Flächen müssen deshalb entweder in einem Gebiet mit ausreichend hoher Spülflugeschwindigkeit liegen oder unmittelbar in ein Sammelbecken münden. Zum experimentellen Nachweis der Wirkungsweise für Flächen wurden Bleche mit einem Neigungswinkel von 45° an verschiedenen Stellen in der Versuchsmaschine montiert. Hierbei zeigte sich, daß die z.T. schon geringe, vorhandene Luftbewegungen (Absaugung, Spülluft) Ablagerungen verhindern. Die vorhandene Spülluft hat die Sedimentation am Fuß der Bleche verhindert.

Bild 5.8.5: Neigungswinkel für lackiertes Stahlblech



Zusammenfassung :

Horizontal Flächen innerhalb der Maschine, die voraussichtlich nicht von der Absaugung oder der Spülluft beaufschlagt werden, und von Spänen frei gehalten werden sollten müssen vermieden werden. Statt dessen sind Flächen mit einer Neigung von minimal 50° vorzusetzen. Die Oberflächentrauhigkeit der Flächen sollte möglichst gering sein, um daß Anhaften von Staub zu verhindern.

5.9 Untersuchung zu Verschlussmechanismen für die Öffnung zwischen Gliederkette und Oberdruckriemen

Die Staubmessungen und die dazugehörigen Beobachtungen haben ergeben, daß im wesentlichen dem Spalt zwischen Oberdruckriemen und Transportkette Staub emittieren kann. Es ist deshalb ein Verschluss dieser Öffnung erforderlich, der den folgenden Anforderungen gerecht wird:

- Integrationsfähigkeit in herkömmliche Kantenanleimmaschinen und Doppelendprofiler,
- Keine Behinderung des Werkstücks, Werkzeugs, Bearbeitungsvorganges,
- Keine Behinderung beim Werkzeugwechsel und bei der Werkzeugpositionierung,
- Keine Behinderung bei der Einstellung der Werkstückdicke,
- Nicht an eine bestimmte Werkzeugform und -art gebunden,
- Für Gleich- bzw. Gegenlaufbearbeitung ausgelegt,
- Ohne Bedienungsperson funktionstüchtig, keine Einstellung erforderlich,
- Keine Einstellung durch Personal nach Werkstückart- und Werkzeugartwechsel,
- Leichte Montage,
- Einfacher Aufbau,
- Keine Verminderung der Absaugwirkung im Werkstückspalt,
- Kostengünstig,
- Hohe Lebensdauer.

Die Verschlussmechanismen lassen sich in die zwei wesentliche Prinzipie, umlaufender und feststehender Verschluss unterteilen.

5.9.1 Umlaufende Verschlüsse

Umlaufende Verschlüsse haben dieselbe Vorschubgeschwindigkeit wie der Oberdruckriemen bzw. die Transportkette und verlaufen in gleicher Richtung parallel zu diesen. Der wesentliche Vorteil der umlaufenden Verschlüsse ist, daß zwischen Verschlussbelement und Werkstück keine Relativbewegung auftritt. Nachteilig ist der konstruktive Aufwand um diese Verschlüsse in die Durchlaufmaschine zu integrieren. Die folgenden Bilder zeigen Beispiele für umlaufende Verschlüsse.

A) Senkrecht bewegliche Rechteck-Elemente

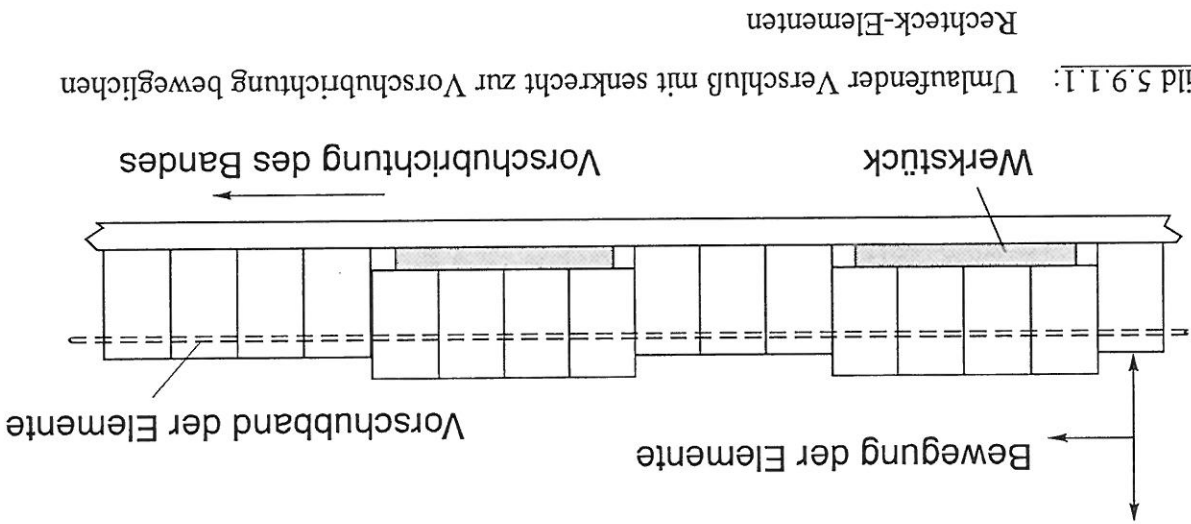


Bild 5.9.1.1: Umlaufender Verschluss mit senkrecht zur Vorschubrichtung beweglichen Rechteck-Elementen

Kennzeichen:

- Senkrechte Zustell-Bewegung durch Gewichtskraft
- Material Kunststoff, Hartgummi oder Metall

Vorteile:

- Keine Reibung zwischen Werkstück und Elementen

- Gute Dichtwirkung

Nachteile:

- Je nach Breite der Elemente entstehen Lücken durch die Staub und Späne austreten können
- Führungen der Elemente müssen vor Staub und Spänen geschützt werden

- Mehr als doppelte Anzahl an Elementen erforderlich wie zur ausschließlichen Abdichtung der
Öffnung benötigt wird

B) Federunterstützte Rechteck-Elemente

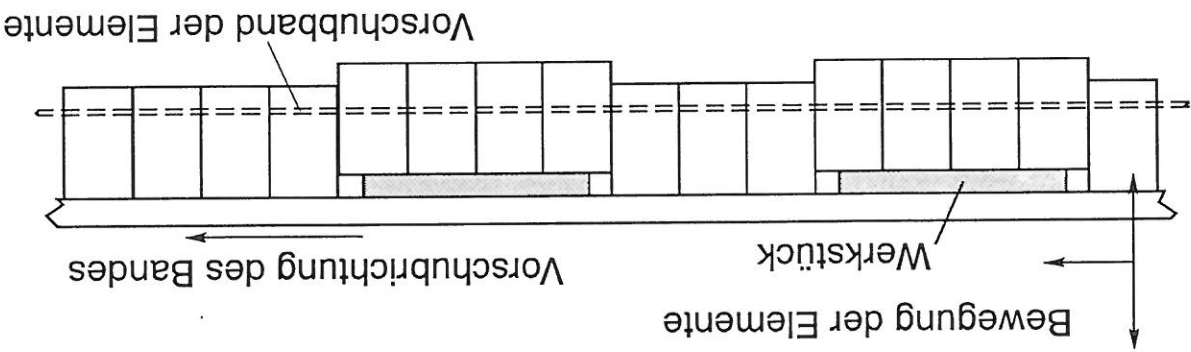


Bild 5.9.1.2: Umlaufender Verschluss mit Federunterstützen, senkrecht zur Vorschubrichtung beweglichen Rechteck Elementen

Kennzeichen:

- Elemente werden über Federn zugestellt
- Elementmaterial Kunststoff, Hartgummi oder Metall

Vorteile:

- Keine Reibung zwischen Werkstück und Elementen
- Gute Dichtwirkung

Nachteile:

- Je nach Breite der Elemente entstehen Lücken durch die Staub und Späne austreten können

- Mehr als doppelte Anzahl an Elementen erforderlich wie zur ausschließlichen Abdichtung der Öffnung benötigt wird
- Führungen und Federn der Elemente müssen vor Staub und Spänen geschützt werden
- Konstruktiv aufwendig und teuer

c) Umlaufende Folie

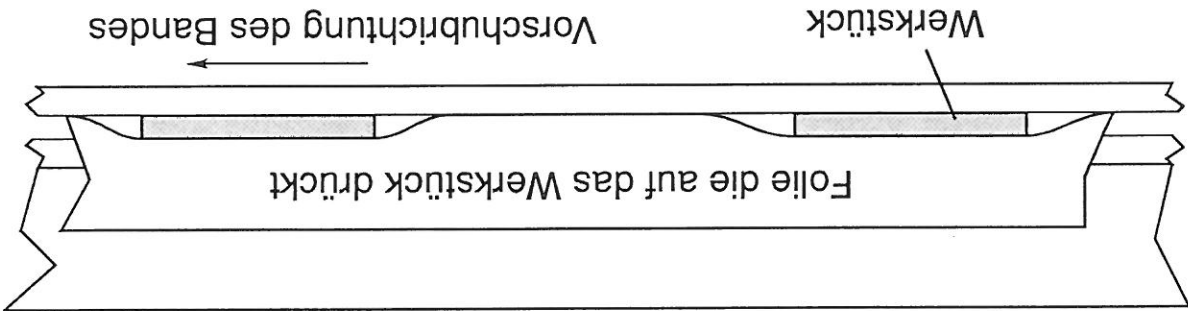


Bild 5.9.1.3: Umlaufende Folie die auf dem Werkstück aufliegt

Kennzeichen:

- Folie aus flexiblem und zähem Material

Vorteile:

- Einfacher Aufbau
- Günstige Herstellkosten
- Schmutzunempfindlich

Nachteile:

- Großer Platzbedarf
- Lücke vor und nach dem Werkstück
- 180° Umlenkung der Folie ungünstig
- Steht in Abhängigkeit von der Werkstückdicke weit von der Maschine ab

D) Geschäumte Kunststoffabdeckung

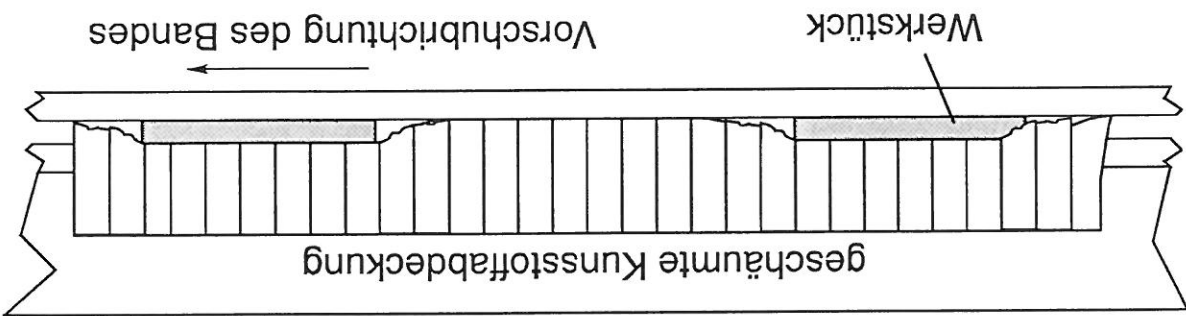


Bild 5.9.1.4: Umlaufende, geschützte Folie die auf dem Werkstück aufliegt

Kennzeichen:

- Folie aus flexiblem und zähem Material

Vorteile:

- Einfacher Aufbau

- Günstige Herstellkosten

- Schmutzunempfindlich

Nachteile:

- Großer Platzbedarf

- Lücken vor und nach dem Werkstück kleiner als bei durchgängiger Folie

- Schwierige 180° Umlenkung mit hoher Wahrscheinlichkeit der Ribbildung

- Steht in Abhängigkeit von der Werkstückdicke weit von der Maschine ab

E) Jalousie-Elemente

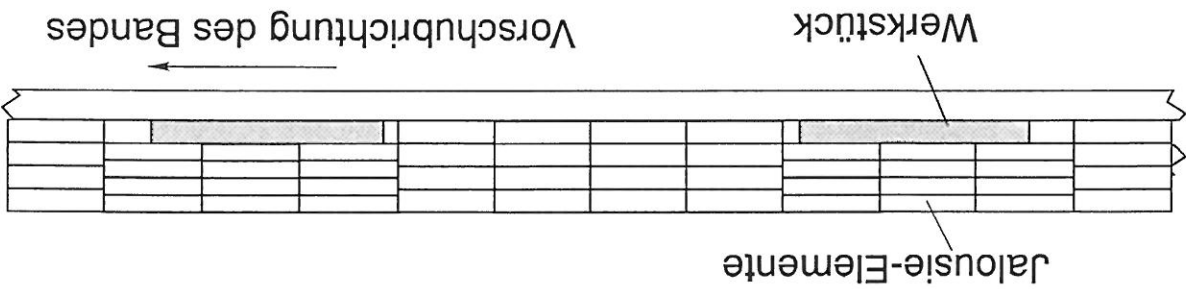


Bild 5.9.1.5: Umlaufende Jalousie-Elemente

Kennzeichen:

- Balkenelemente werden zusammengeschieben
- Elemente aus Kunststoff, Hartgummi oder Metall
- Elemente werden durch Gewichtskraft betätigt

Vorteile:

- Keine Reibung zwischen Werkstück und Elementen
- Gute Dichtwirkung

Nachteile:

- Hohe Herstellkosten
- Je nach Breite der Elemente schlechte Dichtwirkung vor und nach den Werkstückkanten
- Hoher konstruktiver Aufwand
- Teuer

F) Senkrecht und parallel verschiebbare Elemente

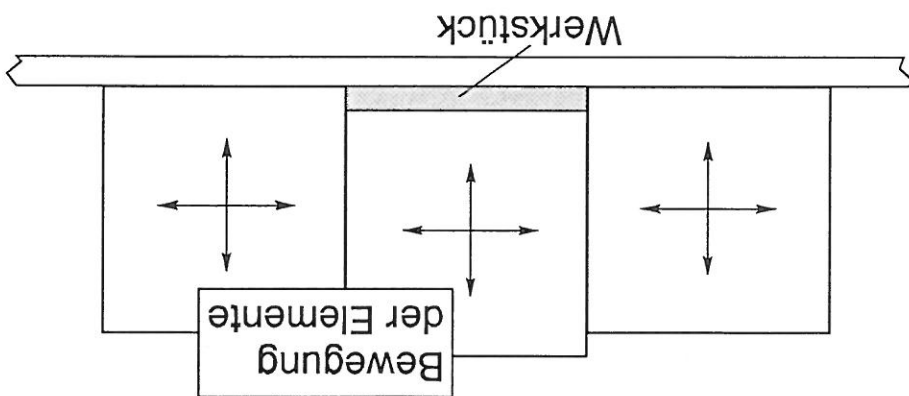


Bild 5.9.1.6: Umlaufende Elemente die senkrecht und parallel zur Vorschubrichtung verschiebbar sind

Kennzeichen:

- Elemente werden je nach Stellung nach unten, oben, rechts oder links verschoben
- Federmechanik für die Bewegung

Vorteile:

- Sehr gute Abdichtung
- Keine Reibung zwischen Werkstück und Element

Nachteile:

- Hohe Herstellkosten
- Hoher konstruktiver Aufwand

Zusammenfassung:

Der wesentliche Vorteil der umlaufenden Verschlüsse, nämlich die Werkstückoberfläche nicht zu beschädigen, ist nur mit hohem konstruktiven Aufwand zu realisieren. Die Herstellkosten für die erforderliche Mechanik und die Kosten für den Antrieb sind ebenso sehr nachteilig. Jedoch kann mit diesen Elementen eine sehr gute Verschlusswirkung erreicht werden.

5.9.2 Feststehende Verschlussэлементе

Kennzeichnend für feststehende Verschlussэлементе ist das Vorhandensein einer Relativbewegung zwischen Werkstück und Element. Die geringere Teileanzahl und der erheblich geringere konstruktive Aufwand gegenüber einer umlaufenden Lösung sind Vorteile der feststehenden Elemente. Nachteilig wirkt sich jedoch die Relativbewegung aus, da hierdurch das Werkstück und insbesondere die Werkstückkanten beschädigt werden können.

A) Feststehende Rechteck-Elemente

Bewegung der Elemente

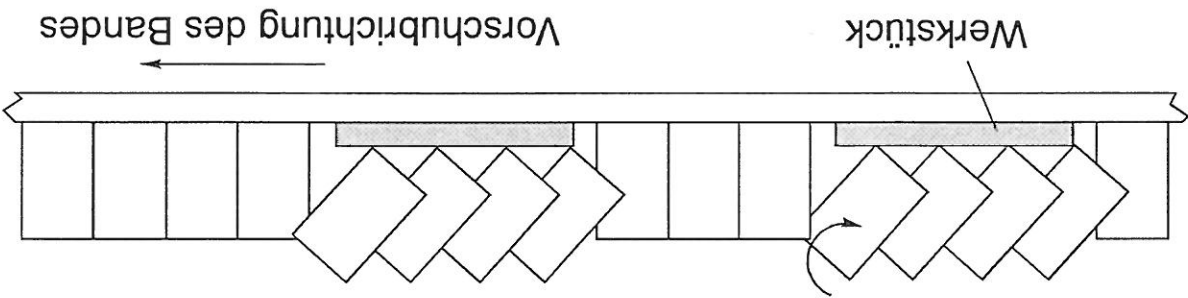


Bild 5.9.2.1: Feststehende Elemente die durch die Werkstückkante ausgelenkt werden

Kennzeichen:

- Elemente sehr leicht und elastisch
- Auslenkung der Elemente durch die Werkstückvorderkante
- Rückstellung durch Gewichtskraft
- Neigungswinkel der Elementachse zur Vorschubrichtung 2° bis 6°

Vorteile:

- Geringe Teileanzahl
 - Sehr einfacher und kostengünstiger Aufbau
- Nachteile:
- Geringe Tiefe der überlappenden Teile

- Dichtwirkung nimmt mit größeren Werkstückdicken ab
- Gefahr der Werkstückkantenbeschädigung

B) Feststehende Folie

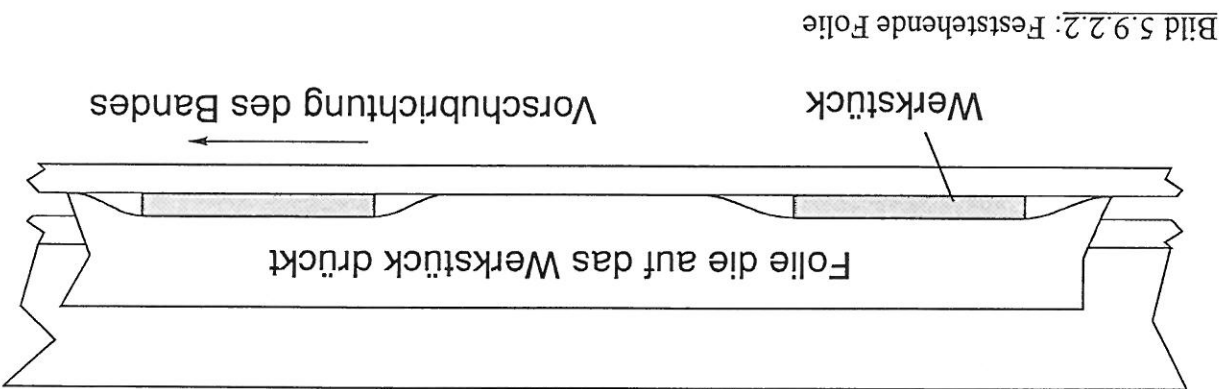


Bild 5.9.2.2: Feststehende Folie

Kennzeichen:

- Folie wird durch die Werkstücke vertikal verdrängt und wölbt sich dabei nach außen

Vorteile:

- Sehr einfacher und kostengünstiger Aufbau

Nachteile:

- Hoher Verschleiß
- Reibung zwischen Werkstück und Folie
- Schlechte Dichtwirkung bei dicken Werkstücken

C) Feststehende Elemente ober- und unterhalb des Werkstückes

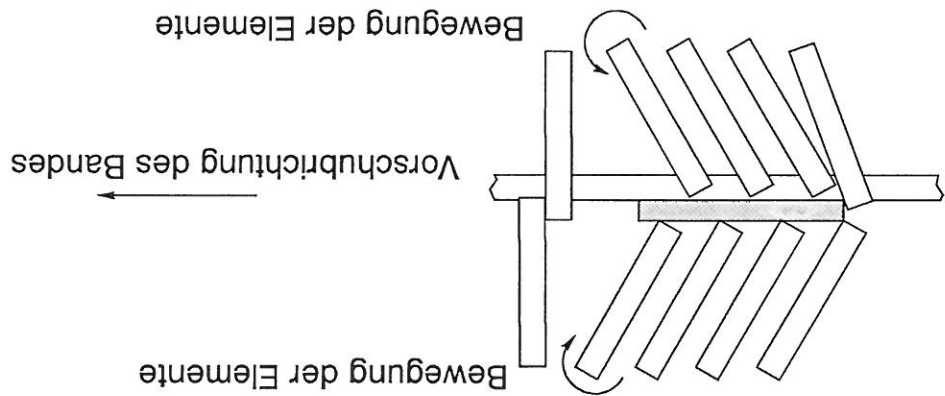


Bild 5.9.2.3: Feststehende Elemente ober- und unterhalb des Transportspaltes

Kennzeichen:

- Elemente werden durch die Werkstückvorderkante verdrängt
- Elemente oben werden durch Gewichtskraft zurückgestellt, unten durch Federkraft

Vorteile:

- Geringe Teilanzahl
- Einfacher und kostengünstiger Aufbau

Nachteile:

- Dichtwirkung nimmt mit größeren Werkstückdicken ab
- Bessere Dichtwirkung als bei reiner Ober- oder Unterseitenbestückung
- Gefahr der Werkstückkantenschädigung durch Stöße
- Große Anzahl von Elementen erforderlich

D) Folie mit Andruckrollen

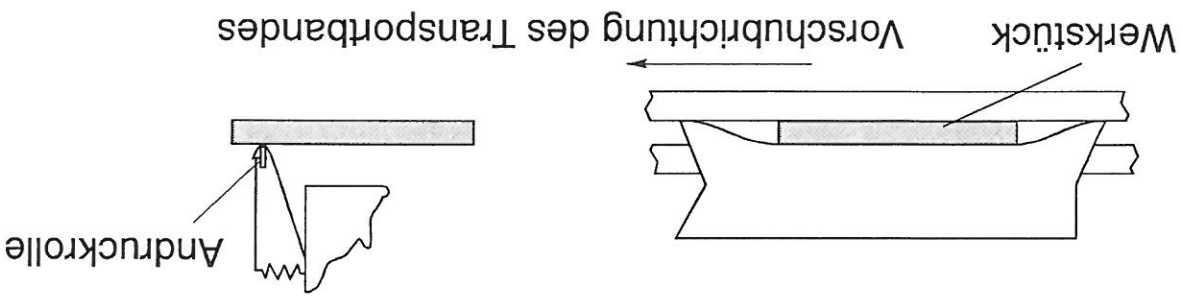


Bild 5.9.2.4: Feststehende Folie mit Andruckrollen

Kennzeichen:

- Folie wird durch die Werkstücke vertikal verdrängt und wölbt sich dabei nach außen
- Andruckrollen zur besseren Anlage der Folie an die Werkstückkanten

Vorteile:

- Sehr einfacher und kostengünstiger Aufbau
- Bessere Dichtwirkung bei dicken Werkstücken im Vergleich zur rollenlosen Ausführung

Nachteile:

- Hoher Verschleiß
- Hohe Belastung der Werkstückvorder- und Hinterkante durch Stöße
- Reibung zwischen Werkstück und Folie

B) Pneumatisch od. hydraulisch bewegte Elemente

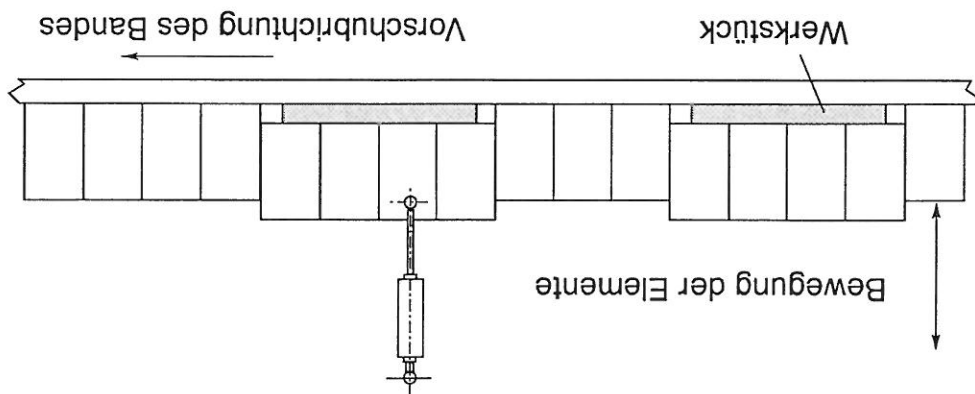


Bild 5.9.2.5: Pneumatisch oder hydraulisch betätigte Elemente

Kennzeichen:

- Über Taster ausgelöste Pneumatik- oder Hydraulikzylinder bewegen die Elemente
- Taster werden von den Werkstücken oder Nocken betätigt

Vorteile:

- Keine Beschädigungsgefahr für das Werkstück
- Gute Dichtwirkung

Nachteile:

- Hohe Fertigungskosten
- Hoher Konstruktiver Aufwand
- Nicht wartungsfrei

F) Federbetätigte Elemente

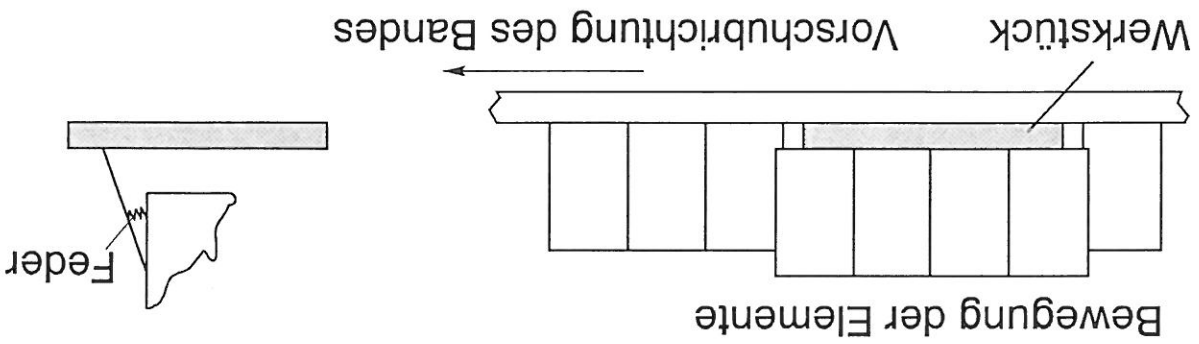


Bild 5.2.9.6: Federbetätigte Rechteckelemente

Kennzeichen:

- Elemente werden durch die Werkstücke seitlich verdrängt und durch Federn angedrückt
- Elemente aus Kunststoff oder Metall

Vorteile:

- Einfacher Aufbau
- Kostengünstig

Nachteile:

- Schlechte Abdichtwirkung insbesondere bei dicken Werkstücken
- Beschädigungsgefahr der Werkstückvorderkante durch Stöße
- Steht bei dicken Werkstücken weit von der Maschine ab
- Reibung zwischen Werkstück und Elementen

G) Elemente durch Hubnocken betätigt

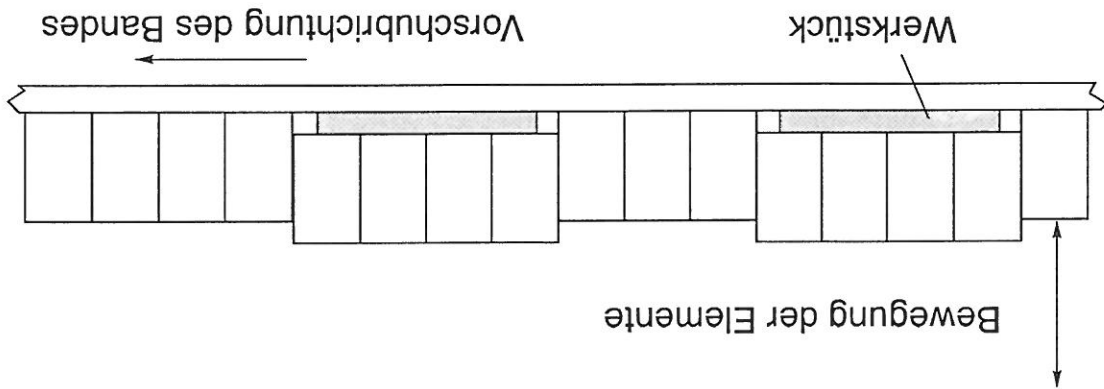


Bild 5.2.9.7: Feststehende Elemente durch Hubnocken betätigt

Kennzeichen:

- Elemente werden durch Nocken im Vorschubband angehoben
- Nocken werden durch das Werkstück aktiviert
- Elemente aus Kunststoff, Hartgummi oder Metall

Vorteile:

- Gute Dichtwirkung

Nachteile:

- Aufwendige Führung der Elemente
- Staub- und späneempfindlich
- Schlechte Abdichtwirkung insbesondere bei dicken Werkstücken
- Dichtwirkung durch Abstand zwischen Werkstück und Elementunterkante ungünstig
- Beschädigungsgefahr der Werkstückvorderkante

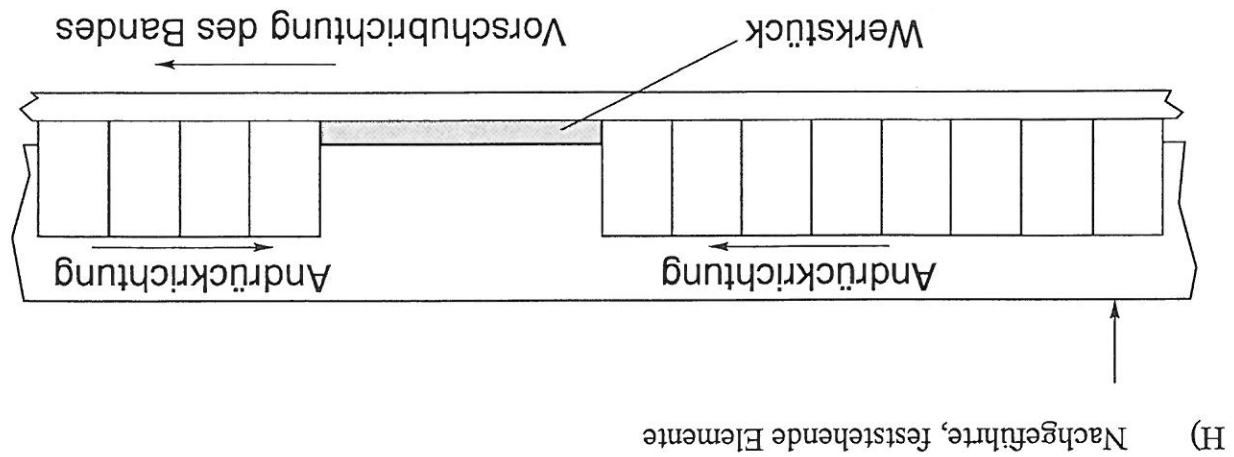


Bild 5.2.9.8: Nachgeführte, feststehende Elemente

Kennzeichen:

- Elemente werden durch Nocken angehoben und über Federn in Vorschub- bzw.

Gegen die Vorschubrichtung an die Vorder- bzw. Hinterkante des Werkstückes angedrückt

- Elemente aus Kunststoff oder Metall

Vorteile:

- Sehr gute Abdichtwirkung

Nachteile:

- Komplizierter Aufbau

- Teuer

- Schmutzemphindlich

Zusammenfassung:

Feststehende Elemente sind gegenüber umlaufenden erheblich kostengünstiger und weitaus weniger kompliziert im Aufbau. Allerdings kann mit umlaufenden Elementen die Abdichtung besser realisiert werden.

Innerhalb des Projektes wurden insgesamt 3 verschiedene Varianten realisiert, wobei zwei durch Staubmessungen überprüft wurden. Die dritte, umlaufende wurde nur auf Ihre mechanischen Eigenschaften untersucht.

Im folgenden werden die beiden feststehenden Varianten A und E (federbetätigt mit Drehbewegung) sowie die Ergebnisse der Staubmessungen dargestellt.

6 Untersuchte Verschlussvarianten des Transportspalt

6.1 Feststehende Rechteck-Elemente am Oberdruckbalken

Die Rechteck-Elemente (Bild 6.1.1) werden am Oberdruckbalken befestigt und überlappen den Transportspalt immer vollständig. Bei 80 % Werkstückdurchsatz sinkt die Verschlusswirkung auf 85 % d.h. 15 % der Fläche zwischen der Gliederkette und dem Oberdruckriemen bleiben offen. Die aus Plexiglas bestehenden beweglichen Elemente werden vom Werkstück nach oben geschwenkt bis sie auf diesem gleiten. Nachdem das Werkstück das Element passiert hat drehen diese durch die Schwerkraft wieder in ihre Ruhelage zurück.

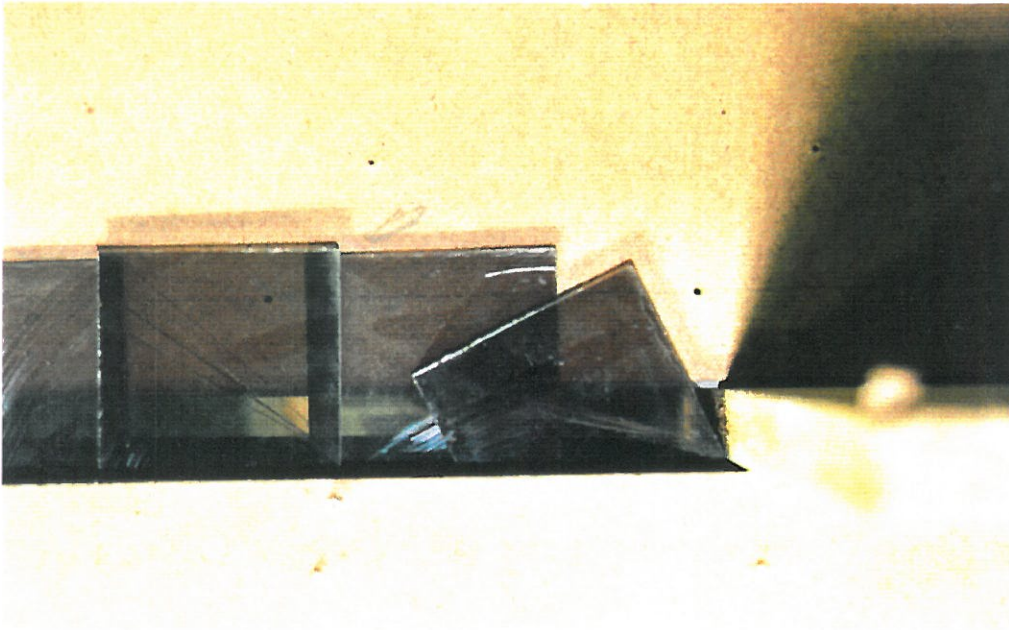


Bild 6.1.1: Rechteck-Elemente am Oberdruckbalken

Kratzer oder Abplutzer, die durch die Elemente verursacht werden könnten, könnten an Kanten auf den verschiedensten Werkstückoberflächen nicht beobachtet werden. Die Elemente selbst zeigten keine Beschädigungen jedoch in den Lagerstellen und den Berührungsoberflächen mit anderen Elementen traten geringfügige Verschleißerscheinungen auf. Diese Beobachtungen konnten für insgesamt 50.000 Werkstückdurchläufe mit Vorschubgeschwindigkeiten von 8 m/s bis 20 m/s gemacht werden. Durch andere Materialien und größer dimensionierte Lager kann der Verschleiß erheblich reduziert werden.

6.1.1 Versuchsbedingungen für die staubtechnische Untersuchung

Als Versuchswerkstoff wurde beschichtete Spanplatte (FPY) mit einer Stärke von 19 mm bzw. von 57 mm mit einer Länge von jeweils 900 mm sowie einer Mindestbreite von 100 mm verwendet. Die Bearbeitung erfolgte im Gleichlauf mit einer Vorschubgeschwindigkeit von 8 m/min einer Drehzahl von 2880 min⁻¹. Der Flugkreisdurchmesser betrug 190 mm, die Breite der Hartmetallschneiden 3,2 mm und die Stammblattdicke 2 mm, die Einstelltiefe 35 mm. Das Sägeblatt besaß 54 Zähne mit Wechselverzahnung. Pro Minute wurden drei Werkstücke bearbeitet, dies entspricht einer Auslastung von 30 %. Das zerspannte Volumen betrug damit 0,0456 m³ bzw. 2,736 kg Masse bei einer Dichte von 600 kg/m³.

6.1.2 Meßprogramm

Die Staubkonzentrationsmessungen dienten in erster Linie dazu, systematisch die Wirkungsweise der vorgenommenen Veränderungen an der Maschine mit dem Originalzustand zu vergleichen. Gleichzeitig mit den Staubmessungen wurden Beobachtungen an verschiedenen Positionen der Maschine zum Staubaustritt und Späneflug durchgeführt.

Versuchsparameter für die Staubmessungen:

Versuch	Absaugvolumenstrom [m ³ /h]	Werkstückdicke [mm]	Spülluft [mit/ohne]	Staubsperre mit/ohne
1	20	19	ohne	mit
2	16	19	ohne	mit
3	14	19	ohne	mit
4	12	19	ohne	mit
5	8	19	ohne	mit
6	4	19	ohne	mit
7	8	57	ohne	mit
8	4	57	ohne	mit

Tabelle 4: Meßprogramm der Staubmessung

6.1.3 Meßergebnisse der Staubmessung

Die Verwirbelungen von Staub und Spänen sind deutlich höher als in der Originalmaschine, da das durch das geringere Absaugvolumen eine größere Staubkonzentration in der Maschinenkabine vorliegt. Der Spänestrahl ist in Abhängigkeit von Drehrichtung, Vorschubrichtung und Einstelltiefe unmittelbar auf die Ein- oder Austrittsöffnung des Werkstückes gerichtet. Der bei der Originalmaschine auftretende starke Austritt von Staub und Spänen kann bei der Versuchsmaschine auch bei geringerem Absaugvolumenstrom nicht beobachtet werden. Jedoch wird auch beim Nutfräsen in der Unterseite des Werkstückes im Gleichlauf auf der hinteren Bearbeitungsstation bei geringen Absaugvolumenströmen etwas Zerspannungsgut ausgetragen.

Auf den Bearbeitungsaggregaten und Funktionsflächen (Führungen etc.) lagern sich auch bei der modifizierten Maschine große Mengen an Zerspannungsgut ab d.h. auch hier wird Spülluft benötigt.

Die Ergebnisse der Staubmessung zeigen deutlich das bei abgesenkter Absaugleistung die Staubkonzentration im Vergleich zur Originalmaschine kaum ansteigt. Weiterhin ist festzustellen, daß im Bereich der Austrittsöffnung bei geringen Absauggeschwindigkeiten eine höhere Staubkonzentration vorliegt als in der Mitte der Maschine oder bei der Eintrittsöffnung. Dies hängt damit zusammen, daß der Absaugrohranschluß vom hinteren Bereich am weitesten entfernt liegt, und dadurch die Ansaugwirkung dort am geringsten ist. Die Staubkonzentrationsmessungen ergaben, daß die Versuchsmaschine HOMAG Fl. 52 im Originalzustand ab einem Absaugvolumenstrom größer 1418 m³/h die zulässige Staubkonzentration nach der TRGS 553 ($C_s \leq 2 \text{ mg/m}^3$), bei 19 mm Werkstückdicke, einhält. Bei 57 mm Werkstückdicke wird die erlaubte Konzentration unter den gewählten Versuchsbedingungen weit überschritten.

Bild 6.1.3.2: Staubkonzentration in Abhängigkeit von der Absauggeschwindigkeit (Maschine mit Transportpaltverschluss "A" aus Kapitel 5.9.2)

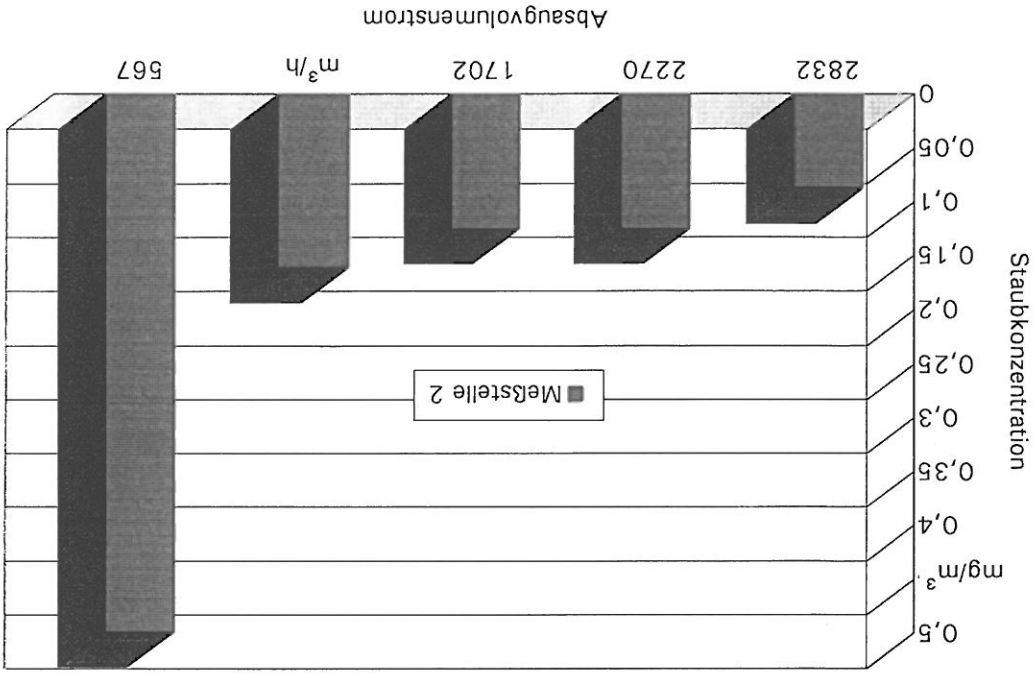
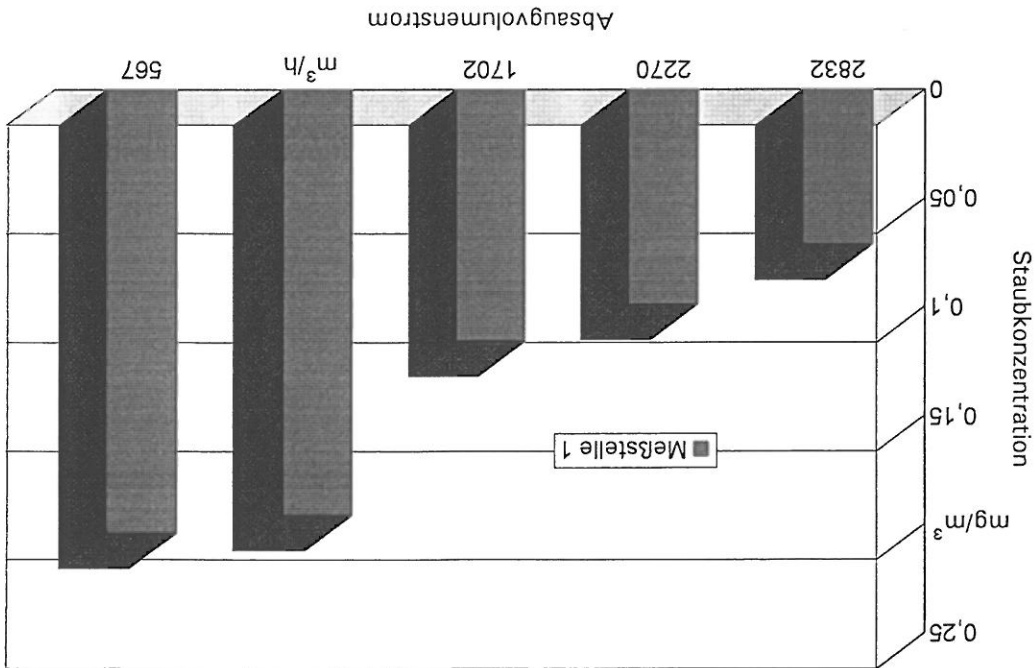


Bild 6.1.3.1: Staubkonzentration in Abhängigkeit von der Absauggeschwindigkeit (Maschine mit Transportpaltverschluss "A" aus Kapitel 5.9.2)



In den folgenden Diagrammen werden die wesentlichen Meßwerte dargestellt.

Bild 6.1.3.4: Staubkonzentration bei den verschiedenen Meßpunkten (Maschine mit Transportpaltverschluß "A" aus Kapitel 5.9.2)

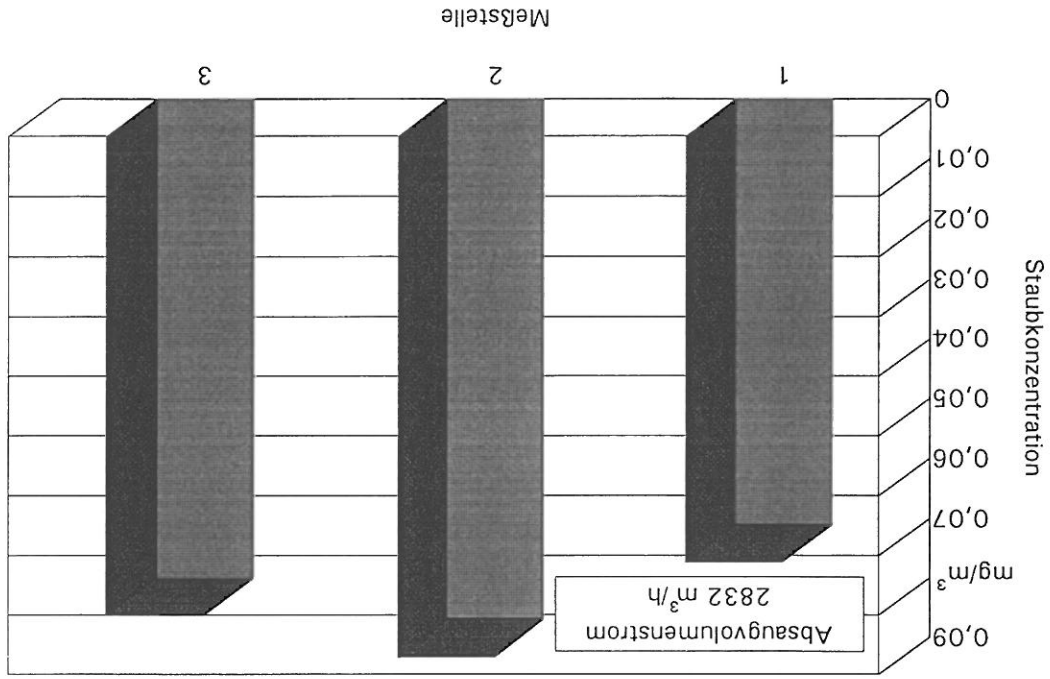


Bild 6.1.3.3: Staubkonzentration in Abhängigkeit von der Absauggeschwindigkeit (Maschine mit Transportpaltverschluß "A" aus Kapitel 5.9.2)

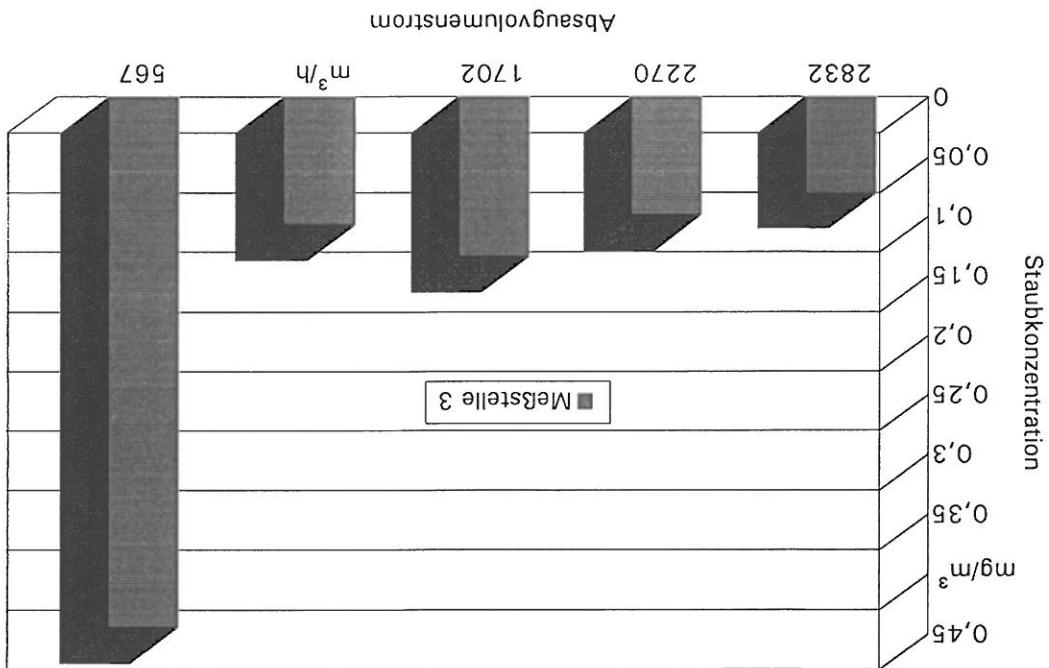


Bild 6.1.3.6: Staubkonzentration bei den verschiedenen Meßpunkten (Maschine mit Transportspaltverschluß "A" aus Kapitel 5.9.2)

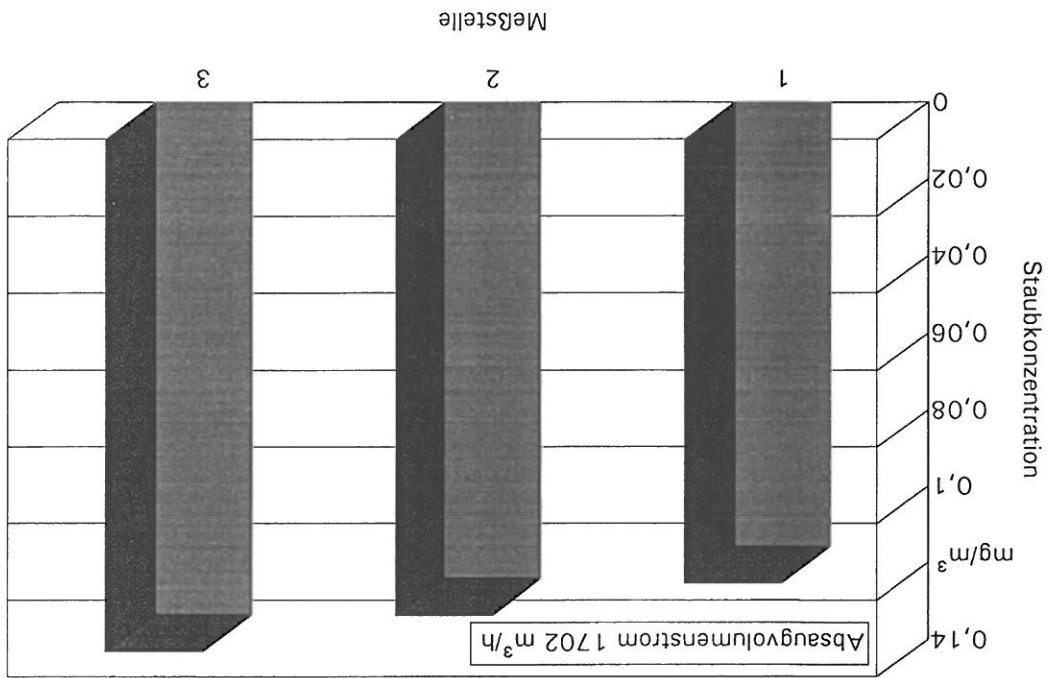


Bild 6.1.3.5: Staubkonzentration bei den verschiedenen Meßpunkten (Maschine mit Transportspaltverschluß "A" aus Kapitel 5.9.2)

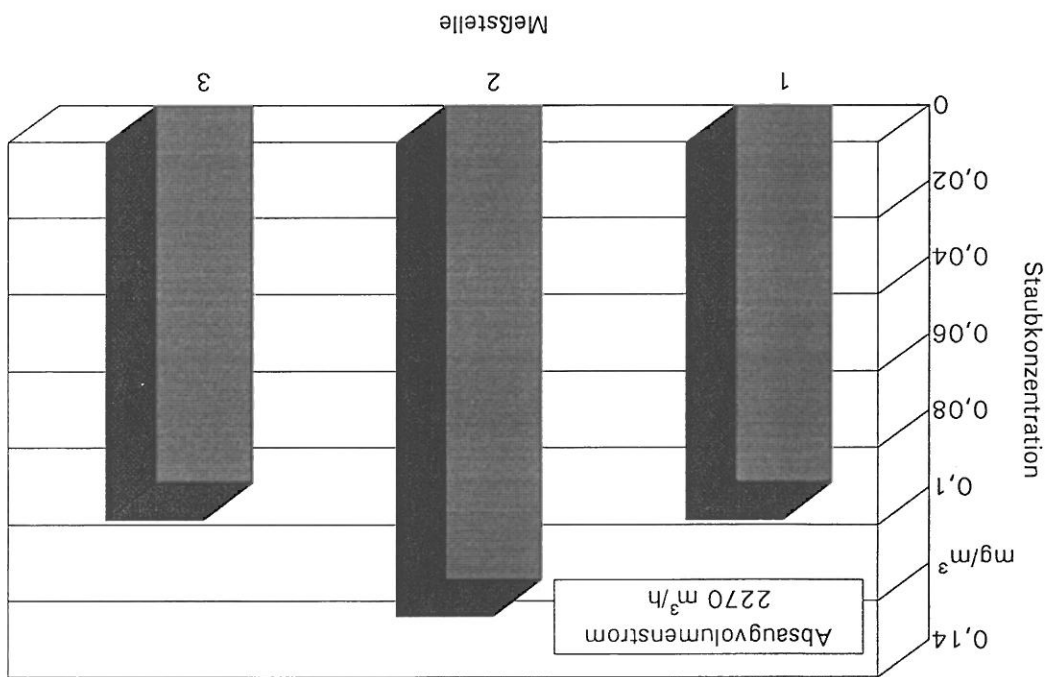


Bild 6.1.3.8: Staubkonzentration bei den verschiedenen Meßpunkten (Maschine mit Transportspaltverschluss "A" aus Kapitel 5.9.2)

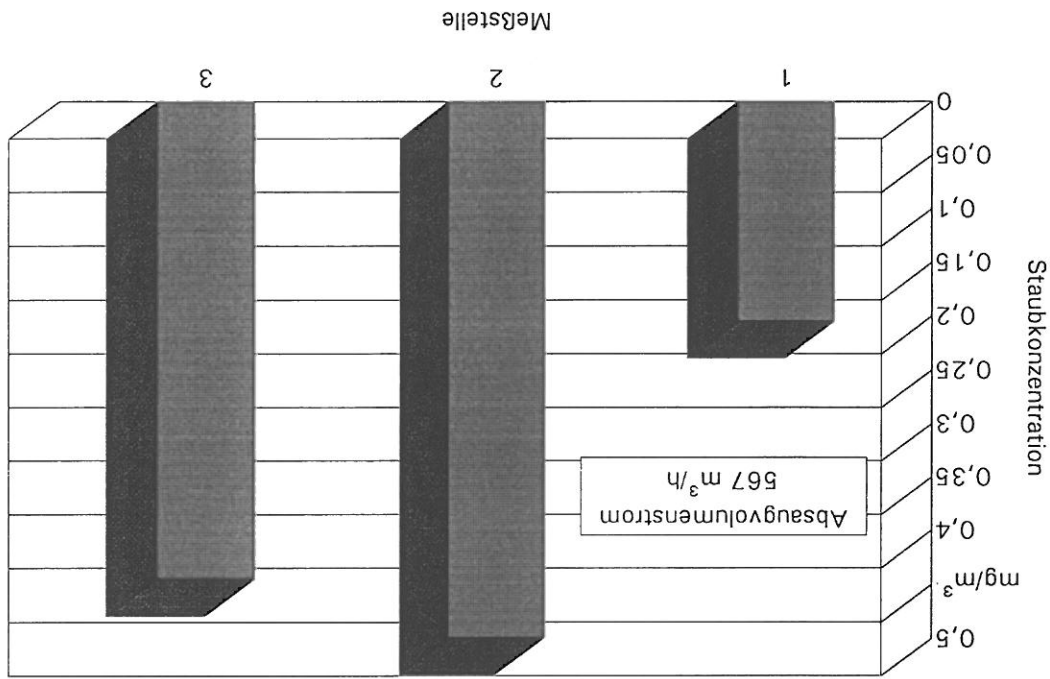


Bild 6.1.3.7: Staubkonzentration bei den verschiedenen Meßpunkten (Maschine mit Transportspaltverschluss "A" aus Kapitel 5.9.2)

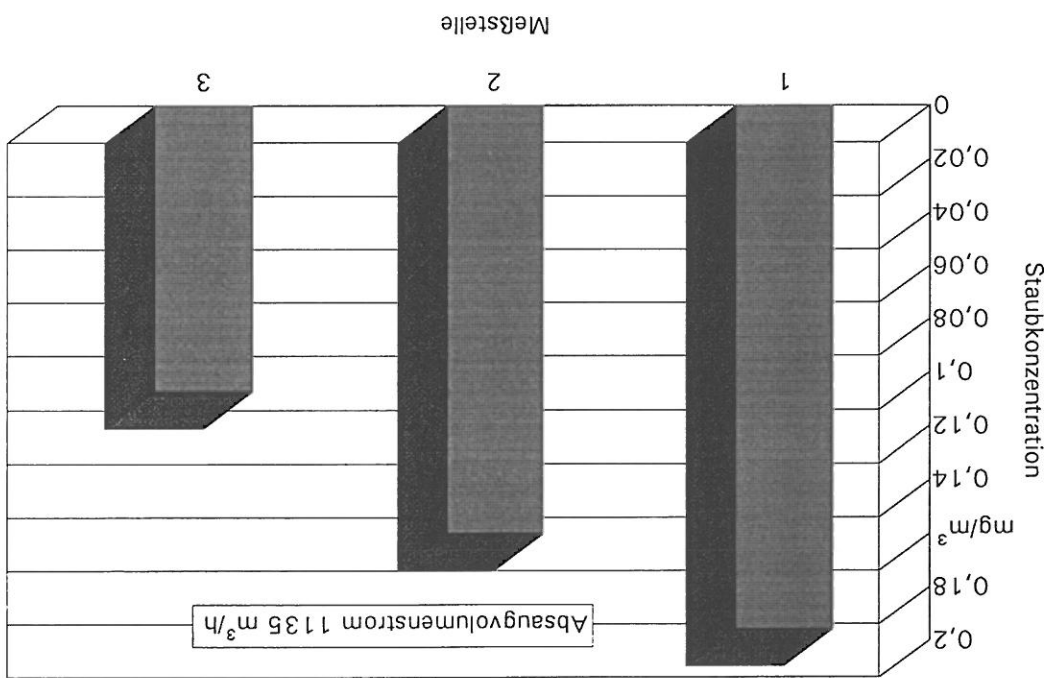


Bild 6.1.3.10: Vergleich von 19 mm und 57 mm Spanplatte bei 8 m/s Absauggeschwindigkeit

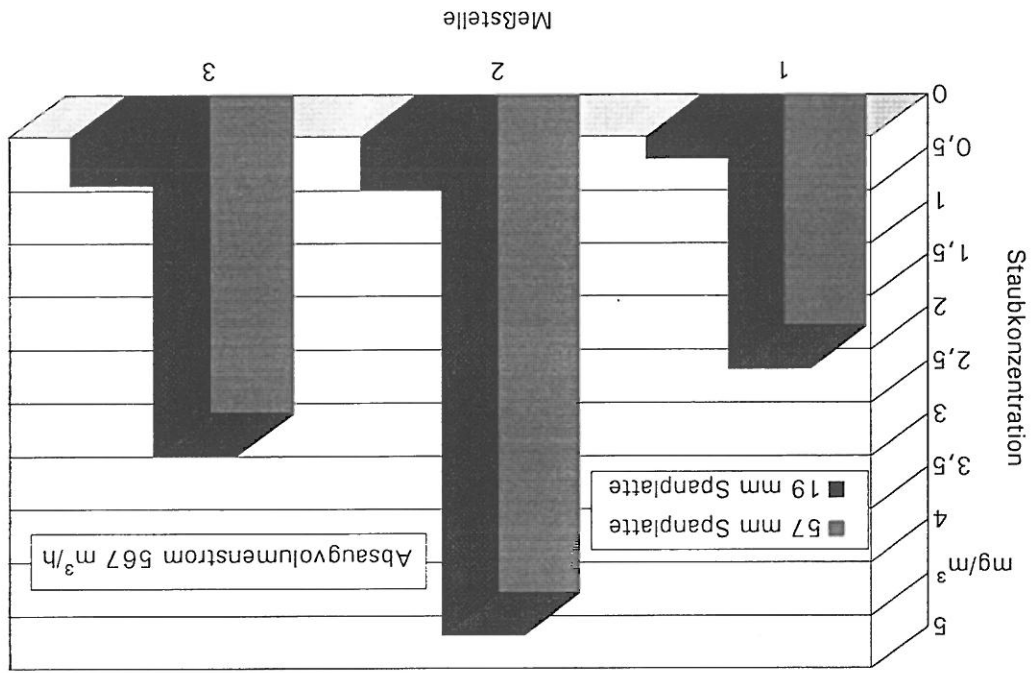
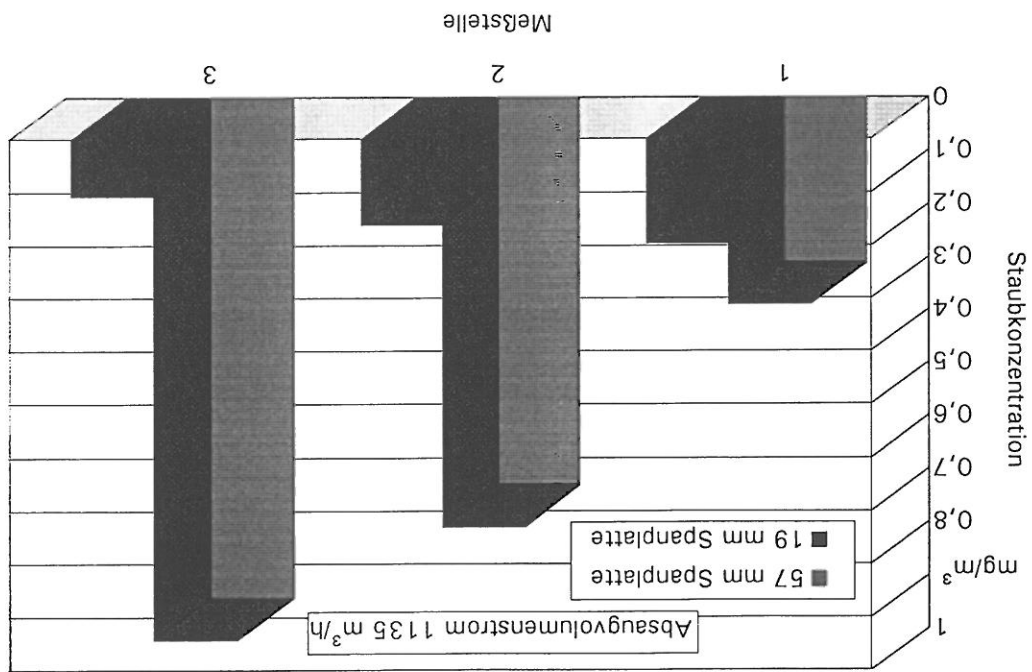


Bild 6.1.3.9: Vergleich von 19 mm und 57 mm Spanplatte (Maschine mit Transportspaltverschluss "A" aus Kapitel 5.9.2)



Zusammenfassung:

Die Variante mit feststehenden Rechteck-Elementen bietet sehr gute Ergebnisse bis zu einem Absaugvolumenstrom von rund 1134 m³/h. Ab diesem Volumenstrom ist die vorhandene offene Fläche zu groß. Es wurden deshalb Elemente entwickelt die eine geänderte Kontur haben, wodurch die Abdeckung besser ist.

6.2 Feststehende Elemente mit gekrümmter Kontur

Diese Polyamid-Elemente überdecken den Transportspalt im Betrieb mit 95% im Vergleich zu den Rechteck-Elementen mit nur 85% bei 80 % Auslastung mit 19 mm dicken und 500 mm langen Werkstücken. Dadurch steigt die Einstromgeschwindigkeit in die Maschine durch die verbleibenden Öffnungen an, wodurch weniger Partikel austreten können. Die Funktionsweise ist gleich denen der Rechteck-Elementen, jedoch sind sie um 5° zur Vorschubrichtung angestellt. Der Anstellwinkel ermöglicht längere Elemente, die nicht gegen die Lagerstellen der anderen Elemente stoßen, wie dies bei längeren Rechteck-Elementen der Fall wäre. Die gekrümmten Elemente wurden analog zu den vorhergehenden staubtechnisch untersucht.



Bild 6.2.1: Feststehende Elemente mit gekrümmter Kontur und Anstellwinkel

Kratzer oder Abplazer an Kanten konnten auch bei diesen Elementen auf den verschiedensten Werkstückoberflächen nicht beobachtet werden. Verschleißerscheinungen der Elemente konnten aufgrund des zäheren und etwas weicheren Materials nicht beobachtet werden. Diese ist nach dem Durchlauf von insgesamt 50.000 Werkstücke bei Vorschubgeschwindigkeiten von 8 m/s bis 20 m/s festzustellen gewesen.

6.2.1 Staubtechnische Untersuchung der gekrümmten Elemente

Das Meßprogramm (Tabelle 6.2.1.1) und die -bedingungen sind gleich den vorhergehenden Untersuchungen.

Versuch	Absauggeschwindigkeit [m/s]	Werkstückdicke [mm]	Spülluft [mit/ohne]	Staubsperrre mit/ohne
9	2.837	19	ohne	mit
10	2.269	19	ohne	mit
11	1.986	19	ohne	mit
12	1.702	19	ohne	mit
13	1.134	19	ohne	mit
14	567	19	ohne	mit
15	1.134	57	ohne	mit
16	567	57	ohne	mit

Tabelle 5: Parameter für die Staubmessung

6.2.2 Meßergebnisse der Staubmessung

Die Verwirbelungen von Staub und Spänen sind deutlich höher als in der Originalmaschine, da sich durch den geringeren Absaugvolumenstrom mehr Partikel in der Maschinenkabine befinden. Der bei der Originalmaschine auftretende starke Austritt von Staub und Spänen tritt bei diesen Elementen nicht auf. Jedoch wird auch hier beim Nutfräsen, in der Unterseite des Werkstückes, im Gleichlauf auf der hinteren Bearbeitungsstation bei geringen Absaugvolumenströmen, etwas Zerspannungsgut ausgetragen.

Auf den Bearbeitungsaggregaten und Funktionsflächen (Führungen etc.) lagern sich auch bei der modifizierten Maschine große Mengen an Zerspanungsgut ab.

Die Ergebnisse der Staubmessung (Bild 6.2.2.1 bis 6.2.2.10) zeigen deutlich, daß bei abgesenkter Absaugleistung die Staubkonzentration in der Umgebung der Maschine im Vergleich zu den Rechteck-Elementen weniger ansteigt. Die Staubkonzentrationsmessungen ergaben, daß die Versuchsmaschine HOMAG Fl. 52 im modifizierten Zustand ab einer Absauggeschwindigkeit größer 8 m/s die zulässige Staubkonzentration nach der TRGS 553 ($C_s \leq 2 \text{ mg/m}^3$), auch bei einer Werkstückdicke von 57 mm unter den gewählten Versuchsbedingungen einhält.

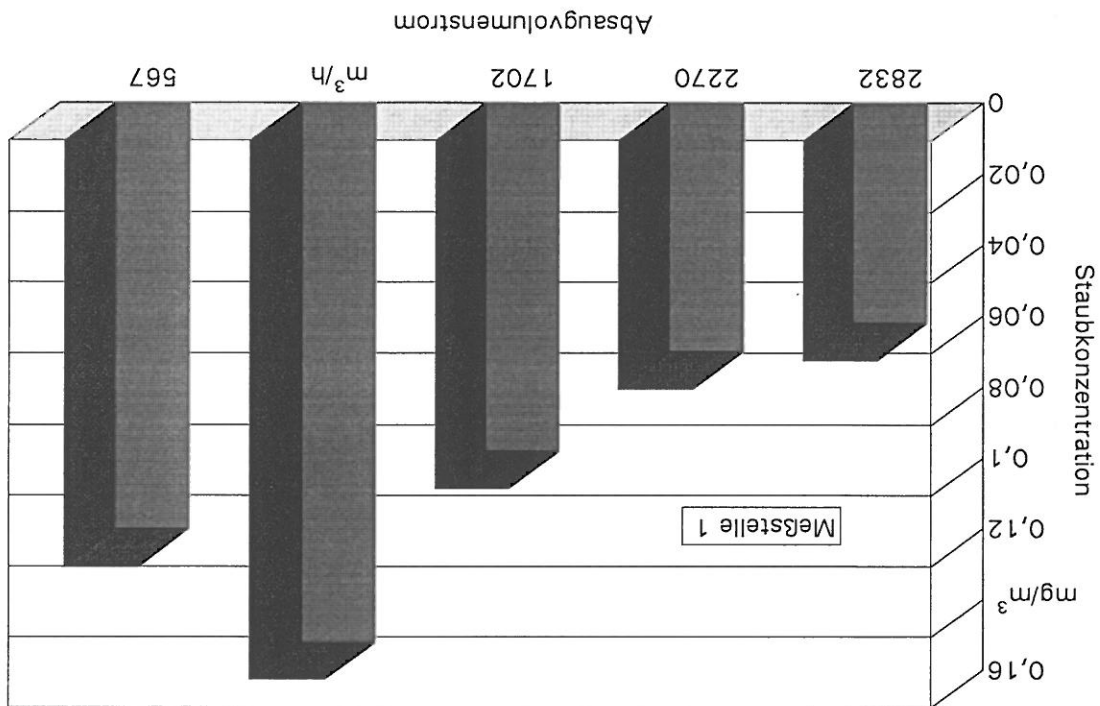


Bild 6.2.2.1: Staubkonzentration in Abhängigkeit von der Absauggeschwindigkeit (Maschine mit gekrümmten Verschluss-elementen)

Bild 6.2.2.3: Staubkonzentration in Abhängigkeit von der Absauggeschwindigkeit (Maschine mit gekrümmten Verschlussblemen)

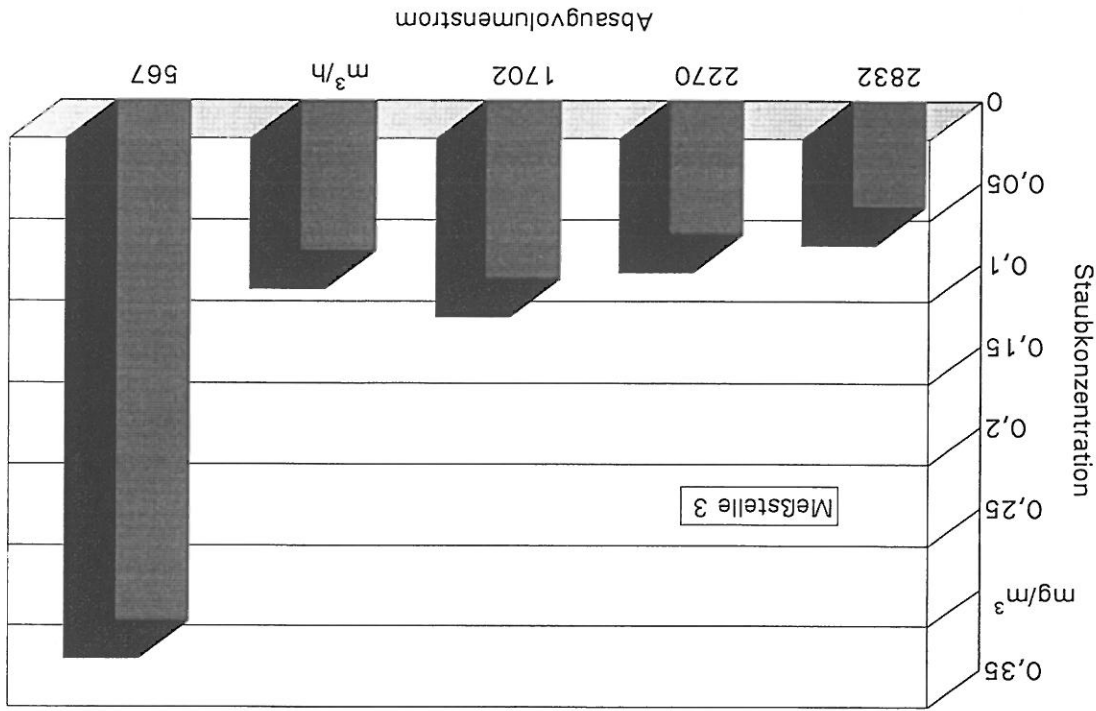


Bild 6.2.2.2: Staubkonzentration in Abhängigkeit von der Absauggeschwindigkeit (Maschine mit gekrümmten Verschlussblemen)

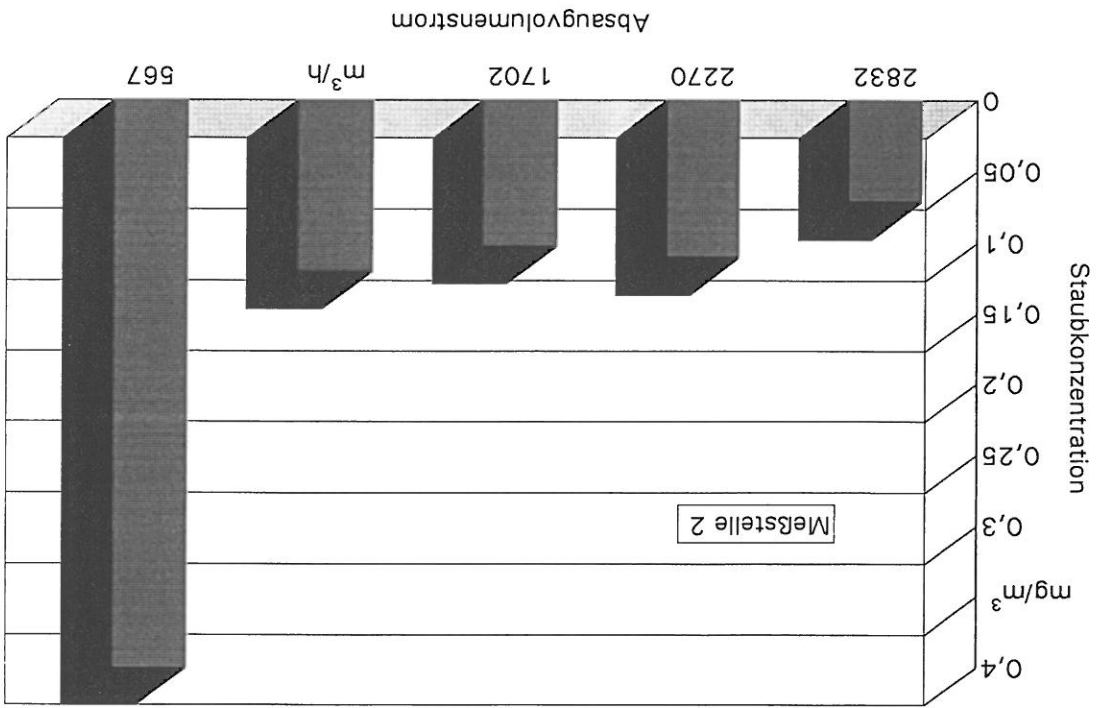


Bild 6.2.2.5: Staubkonzentration in Abhängigkeit von der Absauggeschwindigkeit (Maschine mit gekrümmten Verschlußelementen)

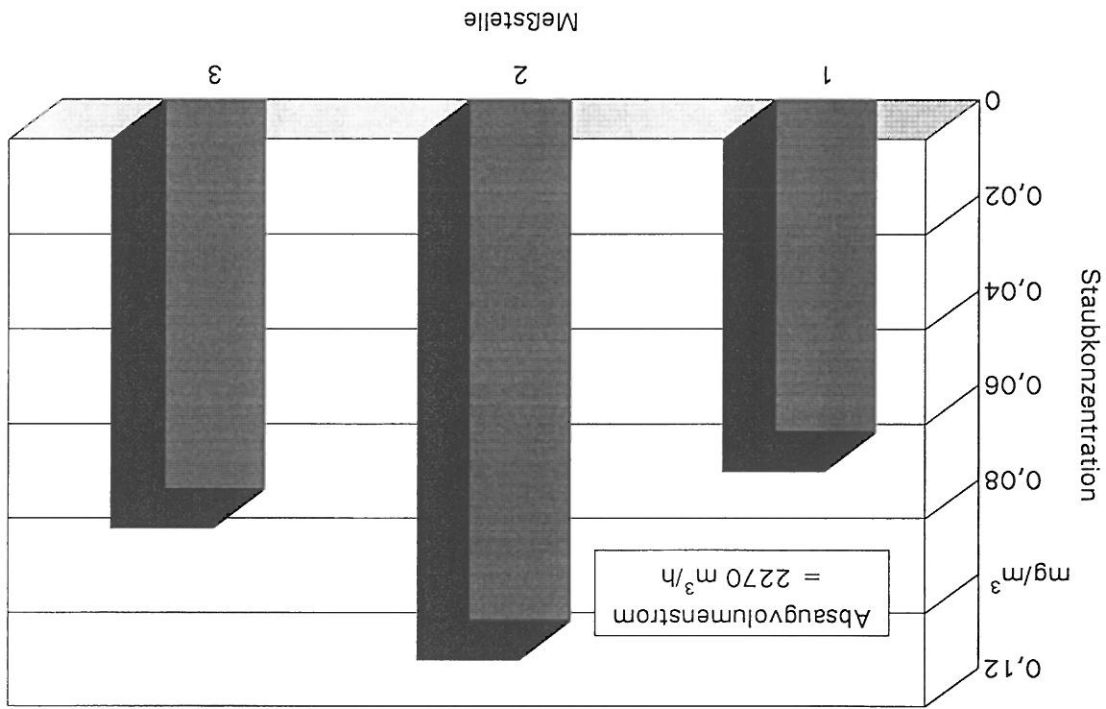


Bild 6.2.2.4: Staubkonzentration in Abhängigkeit von der Absauggeschwindigkeit (Maschine mit gekrümmten Verschlußelementen)

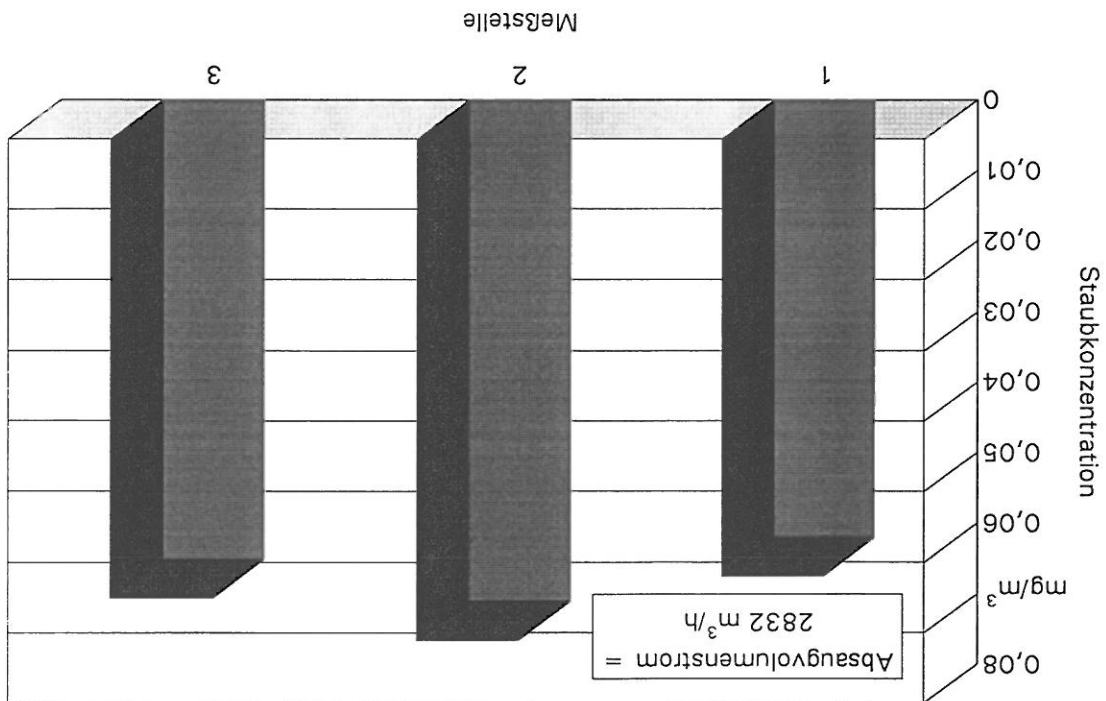


Bild 6.2.2.7: Staubkonzentration in Abhängigkeit von der Absauggeschwindigkeit (Maschine mit gekrümmten Verschlussbelementen)

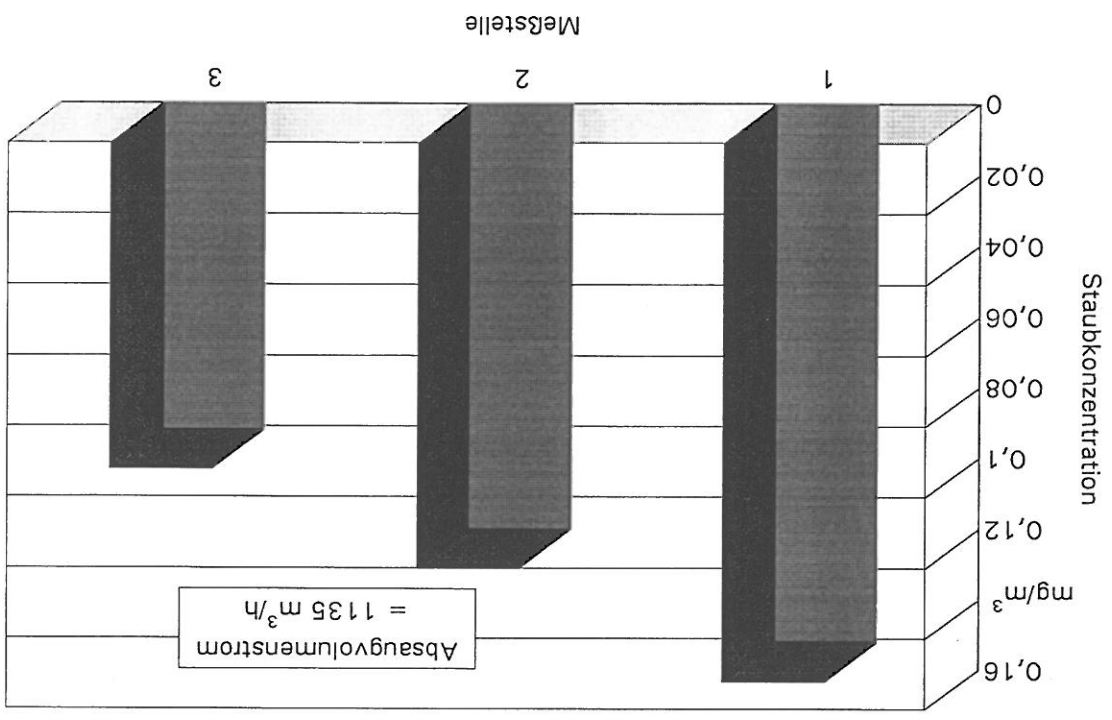


Bild 6.2.2.6: Staubkonzentration in Abhängigkeit von der Absauggeschwindigkeit (Maschine mit gekrümmten Verschlussbelementen)

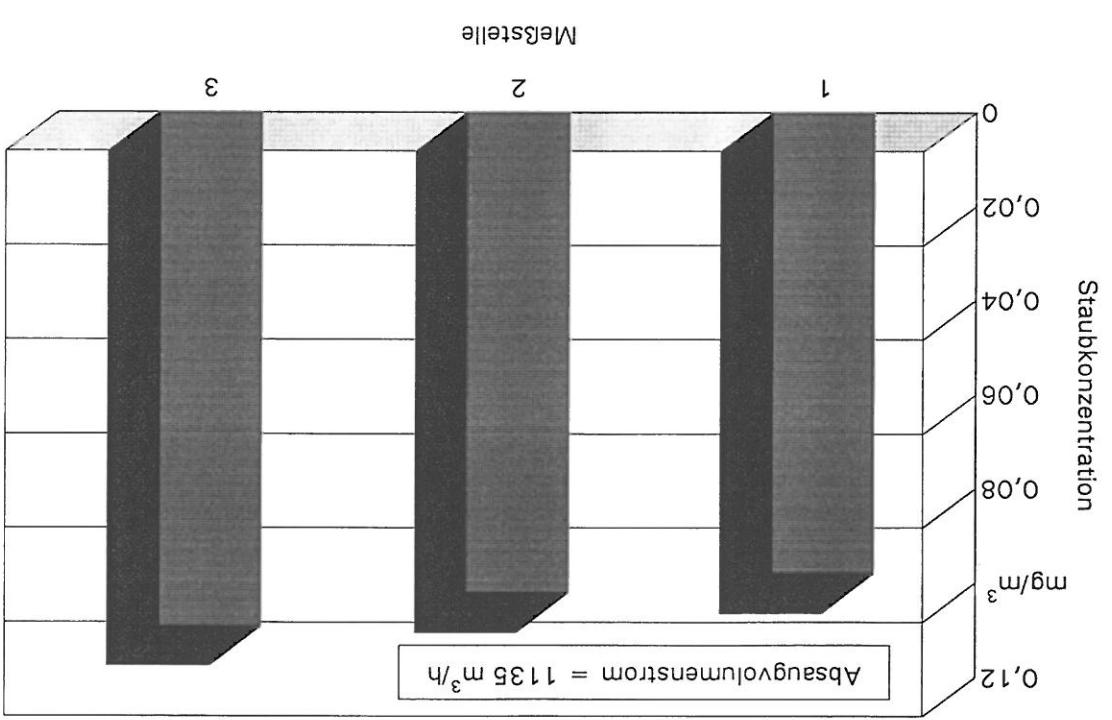


Bild 6.2.2.9: Vergleich von 19 mm und 57 mm Spanplatte bei 8 m/s Absauggeschwindigkeit (Maschine mit gekrümmten Verschlussblemen)

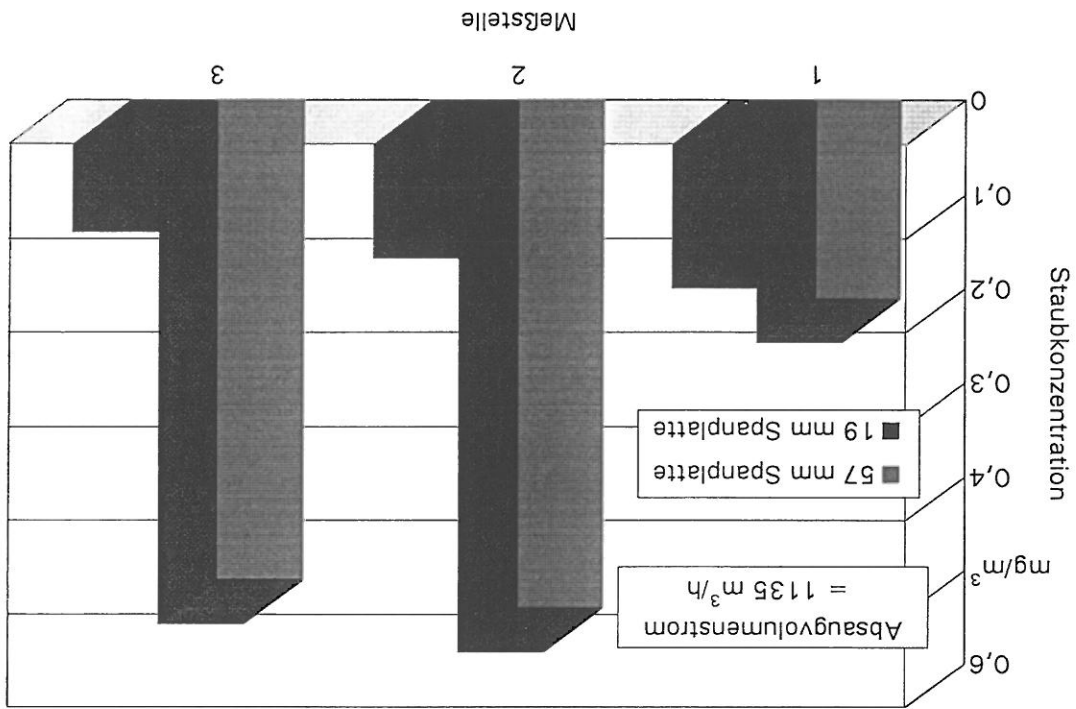
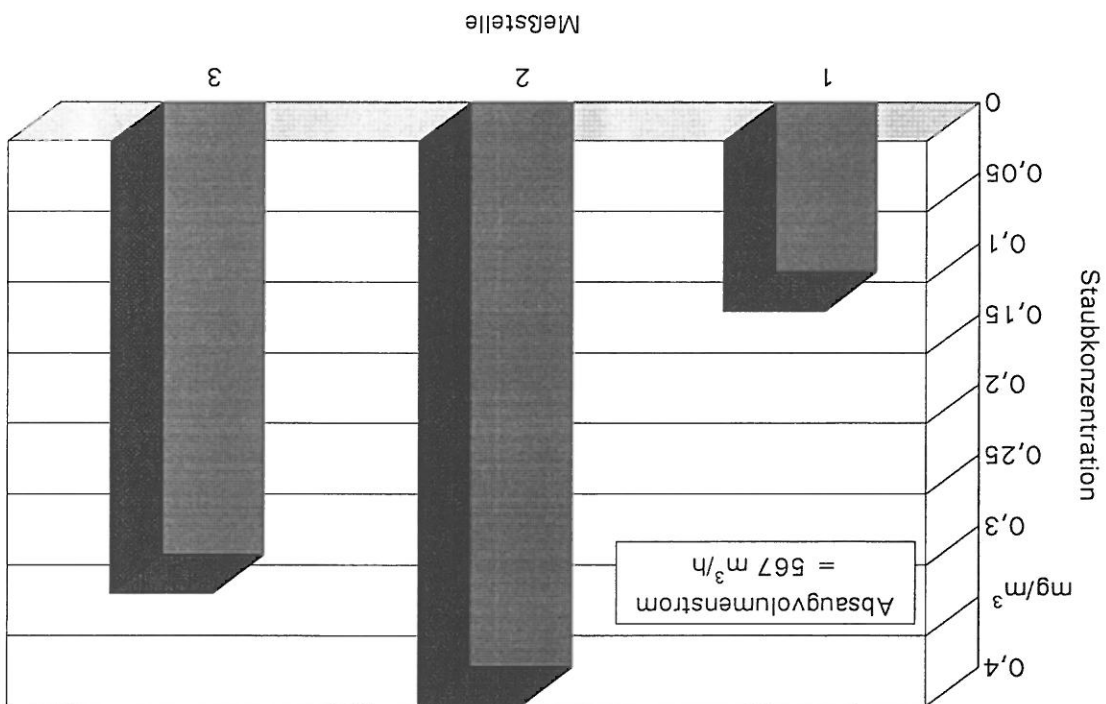


Bild 6.2.2.8: Staubkonzentration in Abhängigkeit von der Absauggeschwindigkeit (Maschine mit gekrümmten Verschlussblemen)



Verschiedene Bearbeitungsprozesse (Nutfräsen im Gleichlauf auf dem hinteren Aggregat) machen zusätzliche Verschlüsse im Bereich des Werkstückein- und Austritts erforderlich. Es ist nicht möglich bei diesen Bearbeitungsprozessen den Transportspalt und alle sonstigen Öffnungen soweit zu verschließen bis im Ein- und Austritt eine genügend hohe Strömungsgeschwindigkeit entsteht, um alle Partikel abzusaugen. Die hohe kinetische der Partikel z.B. beim Nutfräsen kann nur durch einen mechanischen oder einen anderen

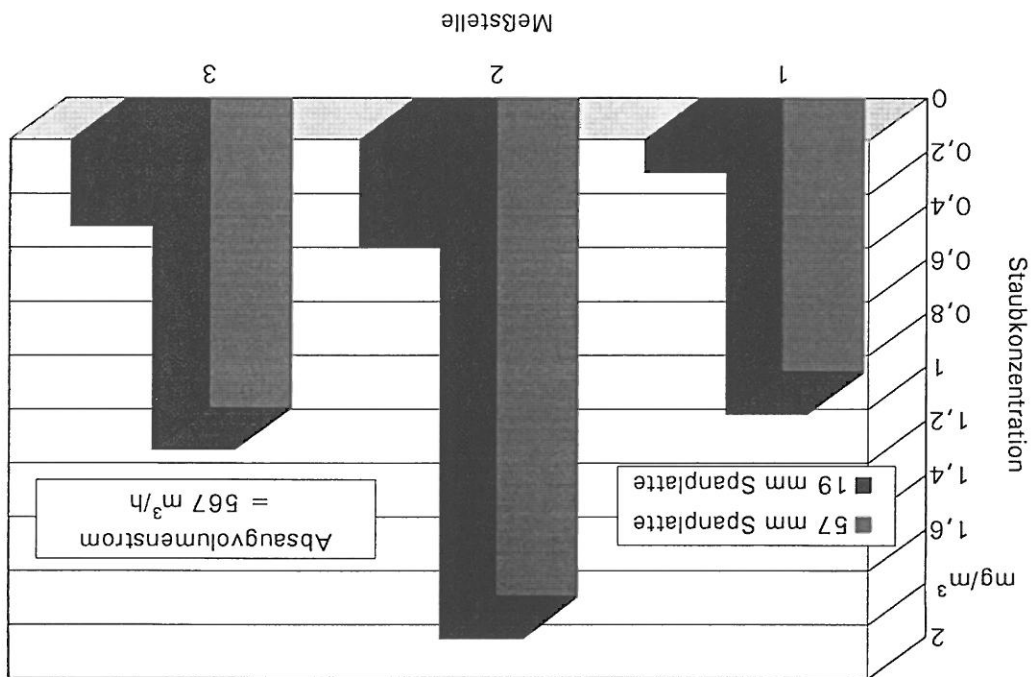
Werkstückes

7 Verschlüsselemente für die Ein- und Austrittsöffnung des

Zusammenfassung:
Die feststehenden, gekrümmten Element sind sehr gut geeignet um den Transportspalt zuverlässig abzudichten. Für den im Anschluß an die Voruntersuchungen gefertigten Prototypen wurden diese Elemente in geringfügig geänderter Form verwendet.

Absauggeschwindigkeit (Maschine mit gekrümmten Verschlüsselementen)

Bild 6.2.2.10: Vergleich von 19 mm und 57 mm Spanplatte bei 8 m/s



geeigneten Verschuß der als Bremse wirkt, verringert werden. Im folgenden werden Varianten aufgezeigt und die staubtechnischen Untersuchungen erläutert.

7.1 Konzepte für den Werkstücke- und Austrittsverschuß

Die Verschlüsse für den Ein- und Auslaufbereich müssen den folgenden Anforderungen gerecht werden:

- Integrationsfähigkeit in Durchlaufmaschinen für die Holzbearbeitung,
- Keine Behinderung des Werkstücks, Werkzeuges, Bearbeitungsvorganges,
- Keine Beschädigung des Werkstückes,
- Keine Behinderung beim Werkstückwechsel und bei der Einnistung der Werkstückdicke,
- Nicht an Werkzeugart gebunden,
- Keine Einnistung durch Personal,
- Leichte Montage,
- Einfacher Aufbau,
- Kostengünstig,
- Hohe Lebensdauer,
- Auch zur Separierung der Bearbeitungsaggregate geeignet.

Die Verschußmechanismen wurden unter der Vorgabe konzipiert, daß staubtechnisch nur eine Verschußrichtung zu beachten ist. Die Umkehrung der Verschußrichtung wird fast ausschließlich für sehr selten vorkommende Einstellvorgänge benötigt.

A) Verschuß mit Rollenelementen

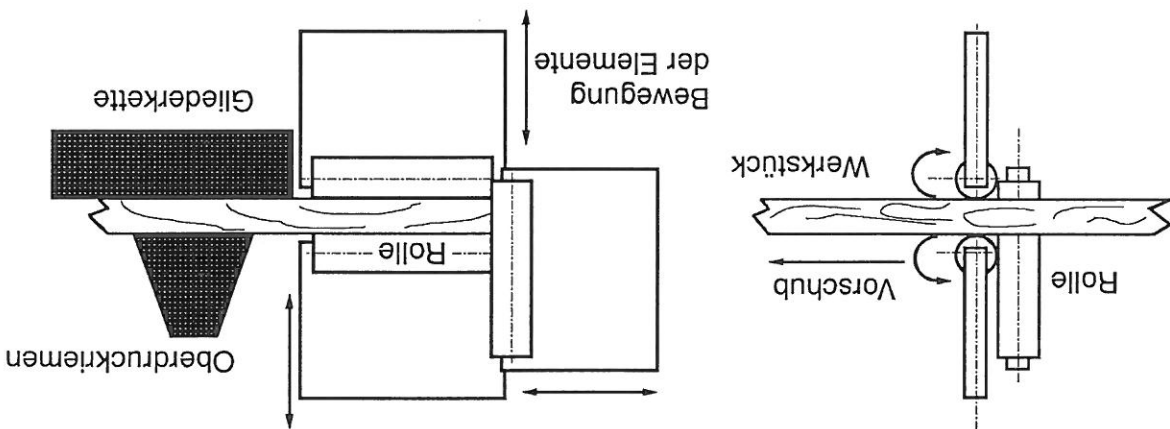


Bild 7.1.1: Verschuß mit Rollenelementen

Kennzeichen:

- Die Rollen werden über Federn an das Werkstück angeedrückt
- Rollen und Klappen aus Kunststoff, Hartgummi oder Metall
- Rollen versetzt angeordnet

Vorteile:

- Sehr gute Abdichtung (nicht beim Nuten)
- Hohe Lebensdauer

Nachteile:

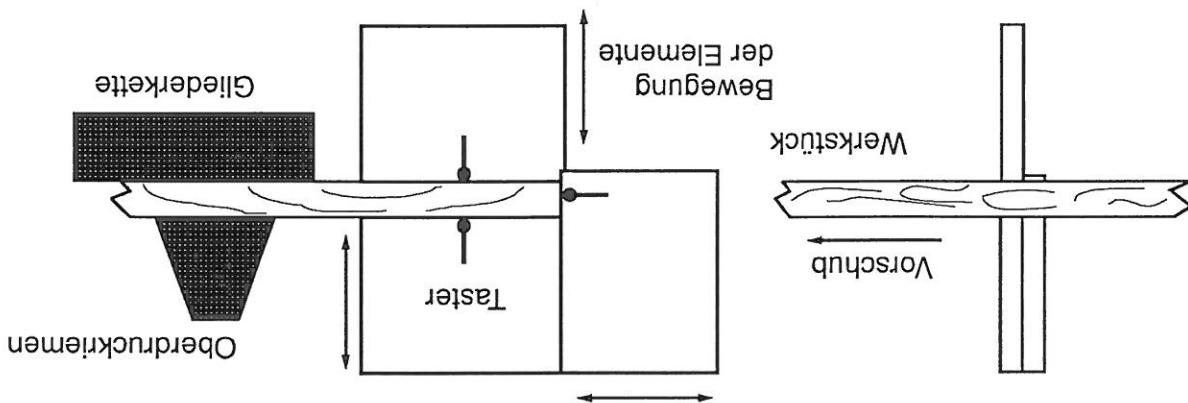
- Gefahr der Beschädigung der Werkstückkante, insbesondere bei dicken Werkstücken
- Benötigt viel Bauraum
- Schmutzempefindlich
- Benötigt Wartung

- Schmutzempfindlich
 - Kostintensiv
 - Aufwendig durch Taster und Zustelleinrichtung
- Nachteile:

- Benötigt wenig Bauraum in Vorschubrichtung
 - Gute Späne- und Staubrückhaltung bei mehrstufiger Ausführung (nicht beim Nuten)
- Vorteile:

- Schmäler Aufbau
 - Elemente aus Kunststoff oder Metall
 - Elemente fahren bis auf einen kleinen Spalt ans Werkstück
 - Zustellbewegung über Pneumatikzylinder, elektrisch o.ä..
 - Taster ermitteln Zustellbewegung
- Kennzeichen:

Bild 7.1.2: Verschuß mit Abdeckplatten die durch Tastelemente positioniert werden



B) Abdeckplatten mit Tastelementen

c) Folie

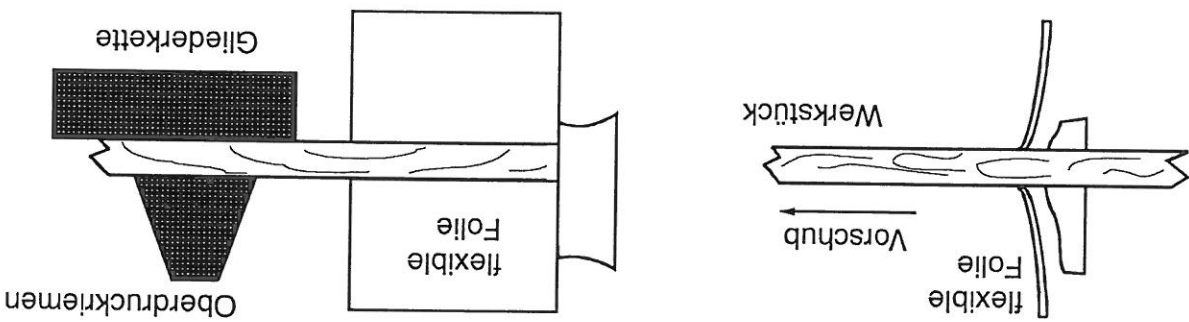


Bild 7.1.3: Folie zur Abdeckung der Öffnung

Kennzeichen:

- Die flexible Folie wird vom Werkstück verdrängt und legt sich auf dessen Oberfläche an
- Folie aus zähem, elastischem Material

Vorteile:

- Sehr preisgünstig
- Abdichtwirkung gut
- Einfacher Austausch möglich

Nachteile:

- Benötigt viel Bauraum, insbesondere bei dickeren Werkstücken
- Gefahr der Beschädigung der Werkstückkanten
- Hoher Verschleiß

D) Geschlitzte Folie

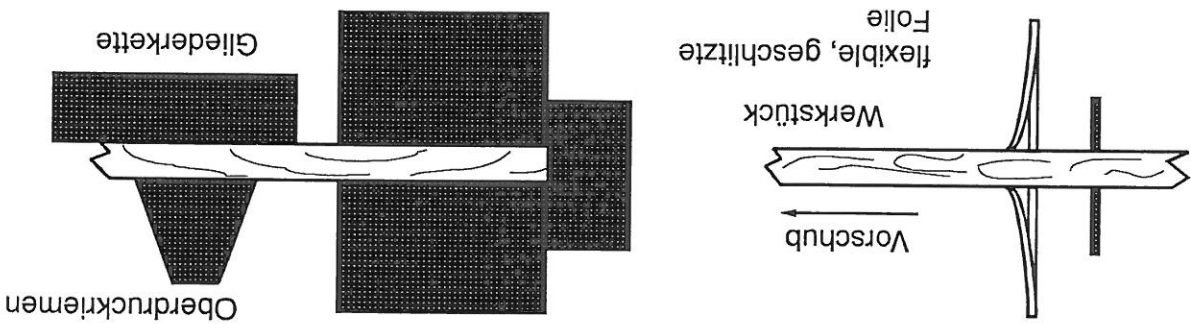


Bild 7.1.4: Flexible, geschlitzte Folie zur Abdeckung der Öffnung

Kennzeichen:

- Die flexible Folie wird vom Werkstück verdrängt und legt sich an dieses an
- Folie aus zähem, elastischem Material
- Folie mit Schlitz zur besseren Anpassung an die Werkstückkontur

Vorteile:

- Sehr preisgünstig
- Abdichtwirkung besser als bei nicht geschlitzter Folie

Nachteile:

- Benötigt viel Bauraum, insbesondere bei dickeren Werkstücken
- Gefahr der Beschädigung der Werkstückkanten
- Verschleiß hoch

E) Stabelemente

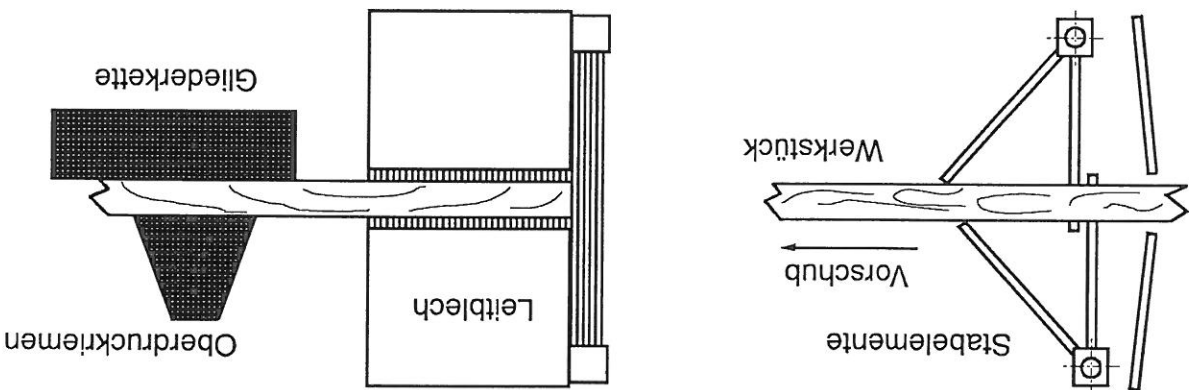


Bild 7.1.5: Stabelemente auf der Ober- und Unterseite des Werkstückes

Kennzeichen:

- Stabelemente werden über Federn (Unterseite) und Gewichtskraft (Oberseite) zurückgestellt
- Leit Elemente vor den Stäben um direkten Spänebeschuß zu verhindern
- Stäbe aus sehr leichtem, zähem Material (Kunststoff, Hartgummi etc.)

Vorteile:

- Sehr gute Abdichtwirkung
- Verschleiß gering
- Kostengünstig

Nachteile:

- Benötigt je nach Länge der Stäbe viel Bauraum
- Gefahr der Beschädigung der Werkstückvorderkante

F) Drahtelemente

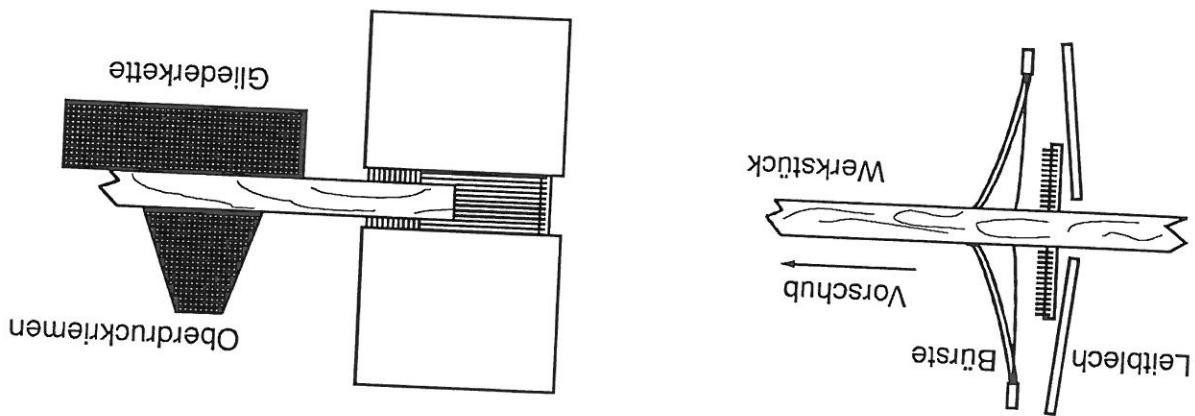


Bild 7.1.6: Bürsten als Verschlussэлеmente der Öffnungen

Kennzeichen:

- Bürsten mit sehr langen, zweifach, hintereinander angeordneten Drähten
- Bürsten aus Federstahl mit gerundeten Spitzen auf der Werkstückseite

Vorteile:

- Sehr gute Abdichtwirkung (auch ohne Leitelemente)
- Geringer Verschleiß
- Sehr gute Anpassung an Werkstückkontur

Nachteile:

- Hohe Fertigungskosten
- Gefahr der Beschädigung der Werkstückoberfläche

Die Varianten mit Federdraht und Kunststoffstäben als Verschlussbelemente wurden realisiert und sowohl stautechnisch und auf deren Lebensdauer und untersucht. Alle anderen Varianten sind aufgrund von Kosten, Verschleiß, Bauraum etc. für die im Versuch verwendete Maschine nicht geeignet gewesen.

7.2 Verschluss aus Kunststoffstäben

Im Bild 7.2.1 ist ein Teil der Verschlussbelemente für die Oberseite im Werkstückauslauf zu sehen.

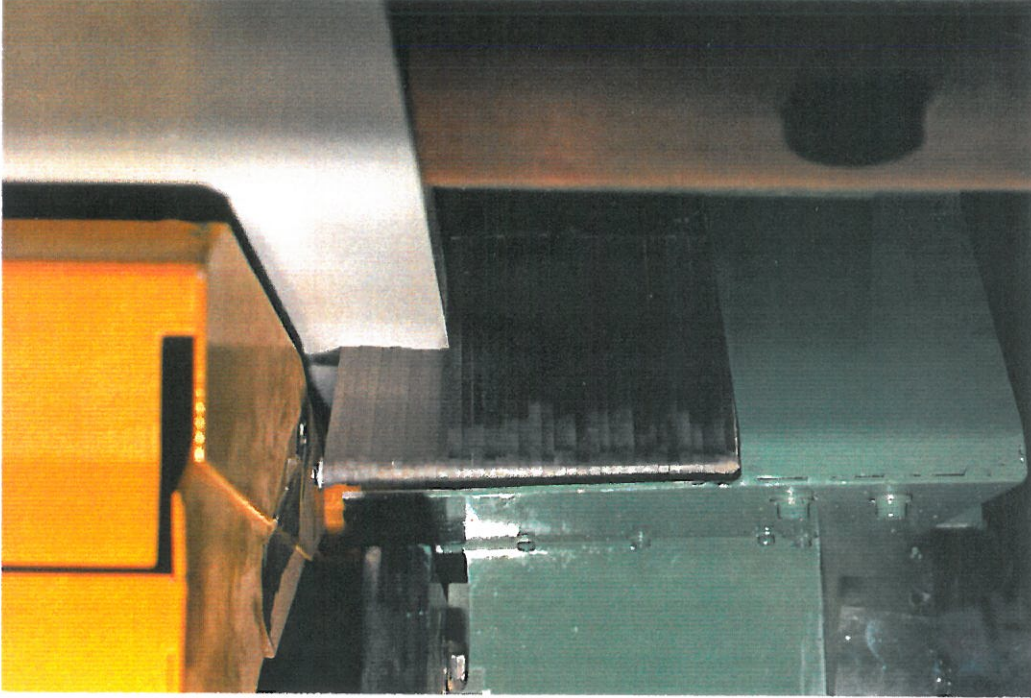


Bild 7.2.1: Verschluss aus Polyamidstäben für den Werkstückaustritt

Diese Elemente wurden mit einer Staubbmessung bei $1134 \text{ m}^3/\text{h}$ Absauggeschwindigkeit untersucht. Dabei war die Maschine mit den gekrümmten Absperrelementen für den Transportspalt ausgerüstet. Um die Wirkung der Elemente beim Nutfräsen zu ermitteln wurde

bei 2837, 2268, 1702, 1134 und 567 m³/h Absaugvolumenstrom die beim Werkstückauslauf austretende Partikelmenge gemessen. Abschließend erfolgte eine mechanische Prüfung bei 20 m/min Vorschubgeschwindigkeit mit insgesamt 100.000 Werkstückdurchläufen.

Die Staubkonzentrationsmessung zeigt, daß mit Verschlüssen am Werkstücken und -Austritt beim Nutfräsen auf der hinteren Bearbeitungseinheit. Hier sinkt der Anteil der austretenden Partikel bei der Originalmaschine erheblich. Auch bei der modifizierten Maschine verbessert sich das Ergebnis, wenngleich nicht so drastisch. Bemerkenswert ist das beim Nutfräsen die Wirkung der Verschußelemente auf den Staub- und Spänaustritt der hintere Öffnung größer ist als der Verschuß des Transportspaltes.

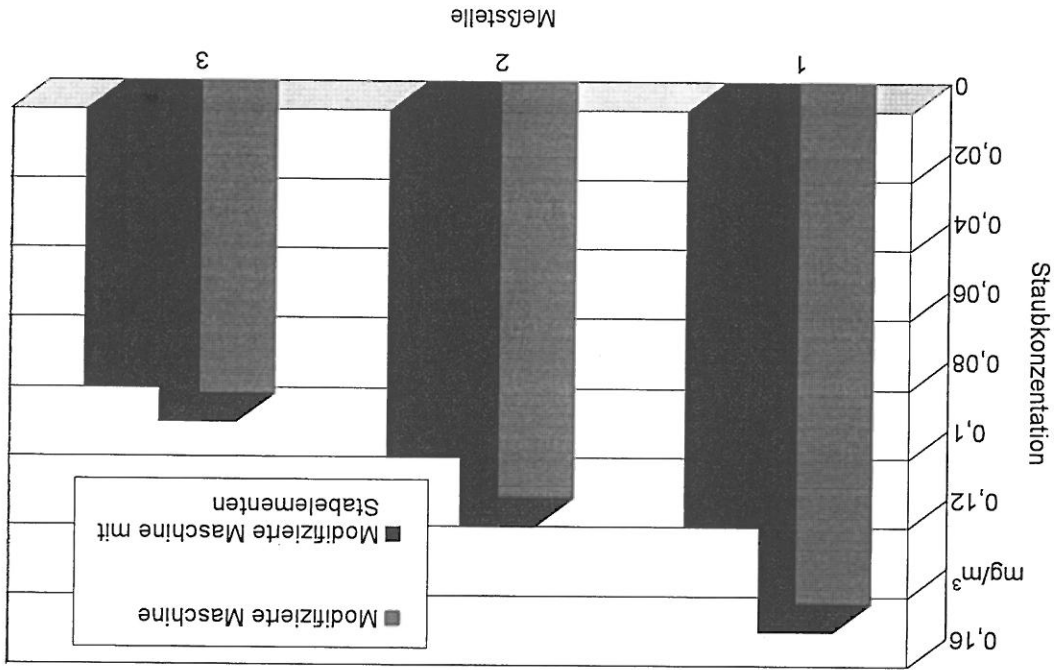
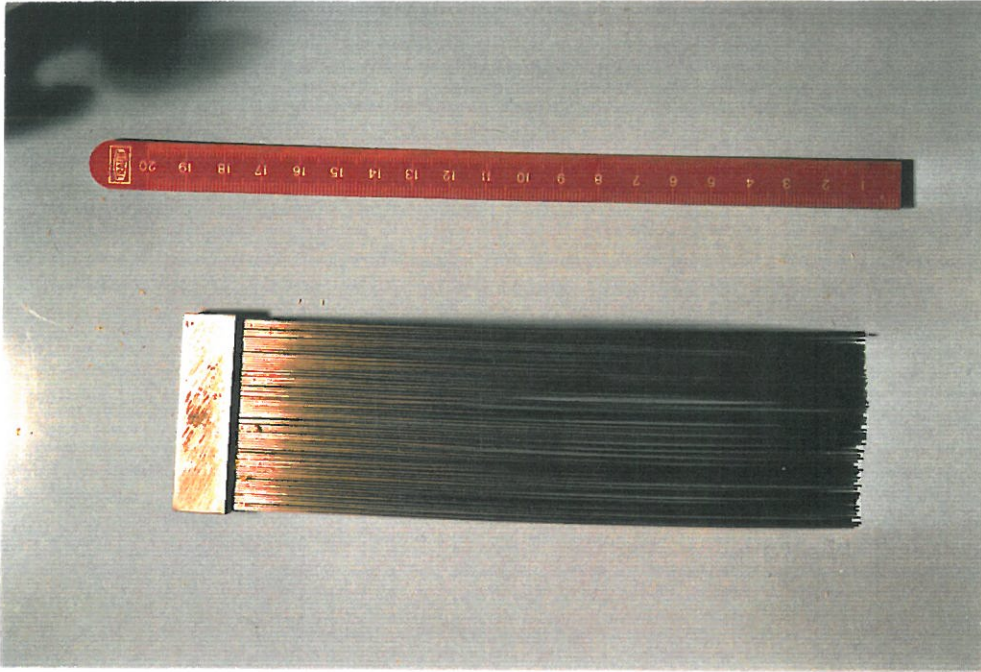


Bild 7.2.2: Staubkonzentration bei 1134 m³/h Absaugvolumenstrom

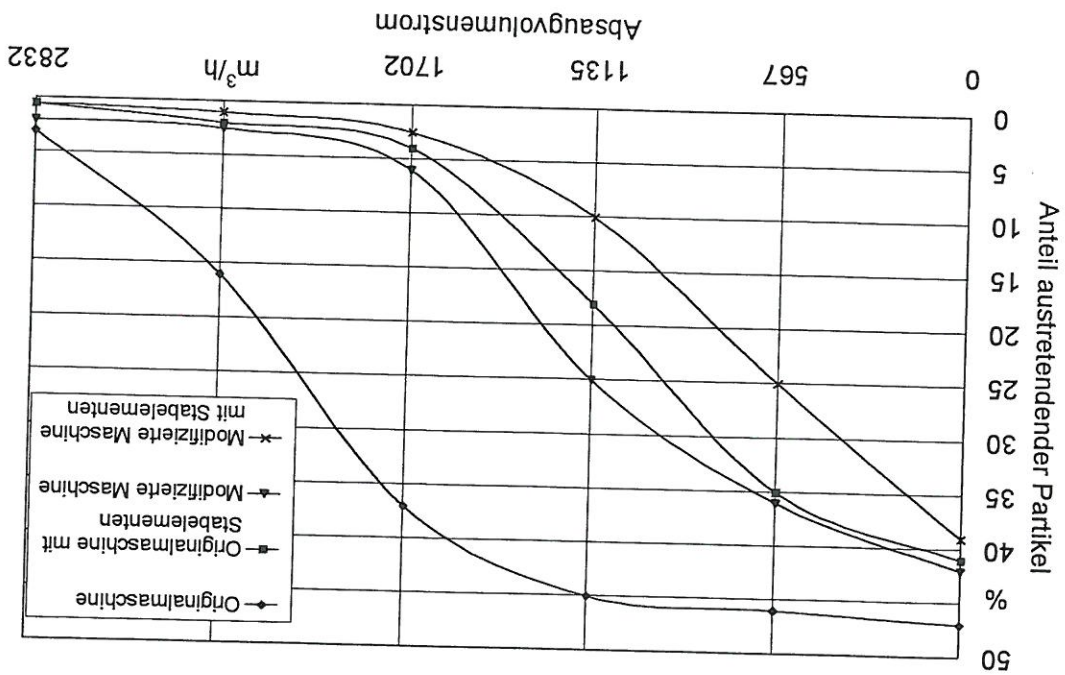
Während der 100.000 Werkstückdurchläufe sind deutliche Schleifspuren auf der Oberfläche der Polyamidstäbe aufgetreten. Die Lagerstellen der Stäbe, wiesen mehr Spiel auf als zu Beginn der Untersuchungen. Beschädigungen auf der Werkstückoberfläche, an Kanten konnten nicht festgestellt werden.

Bild 7.3.1: Drahtbürste als Verschleiß



7.3 Verschleiß des Werkstückes und -Ausstritt mit Drahtbürsten

Bild 7.2.3: Staub- und Späneausstritt beim Nutfräsen



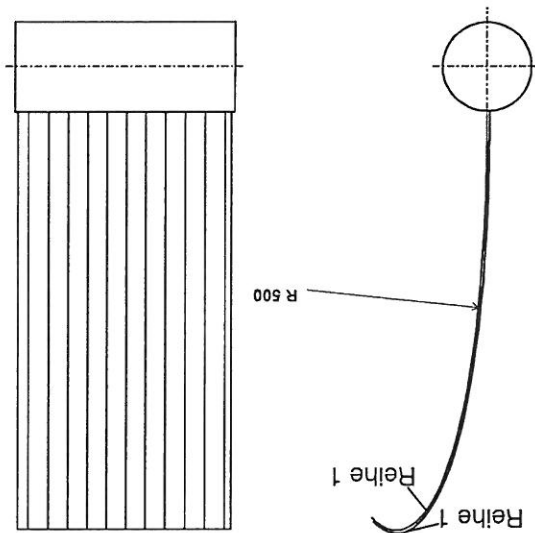


Bild 7.3.2: Drahtbürste in zweireihiger Ausführung

Mit 1134 m³/h Absaugvolumenstrom wurde eine Staubbemessung durchgeführt (Bild 7.3.3). Um die Wirkung der Elemente beim Nutrasen zu ermitteln, wurde die beim Werkstückaustritt austretende Partikelmenge gemessen. Abschließend erfolgte eine mechanische Prüfung bei 20 m/min Vorschubgeschwindigkeit mit insgesamt 100.000 Werkstück- durchläufen.

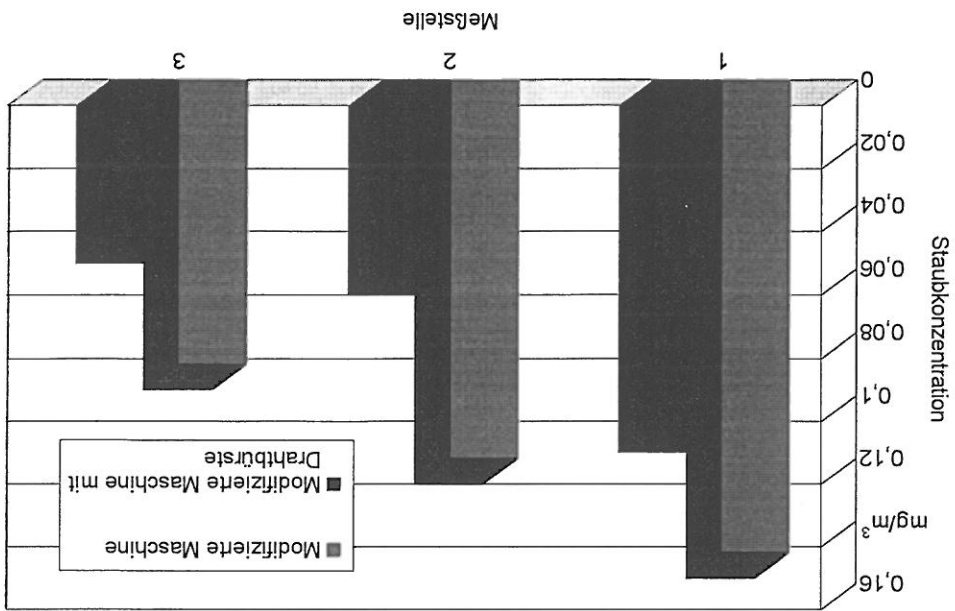


Bild 7.3.3: Staubbemessung bei 1134 m³/h Absaugvolumenstrom

Zusammenfassung

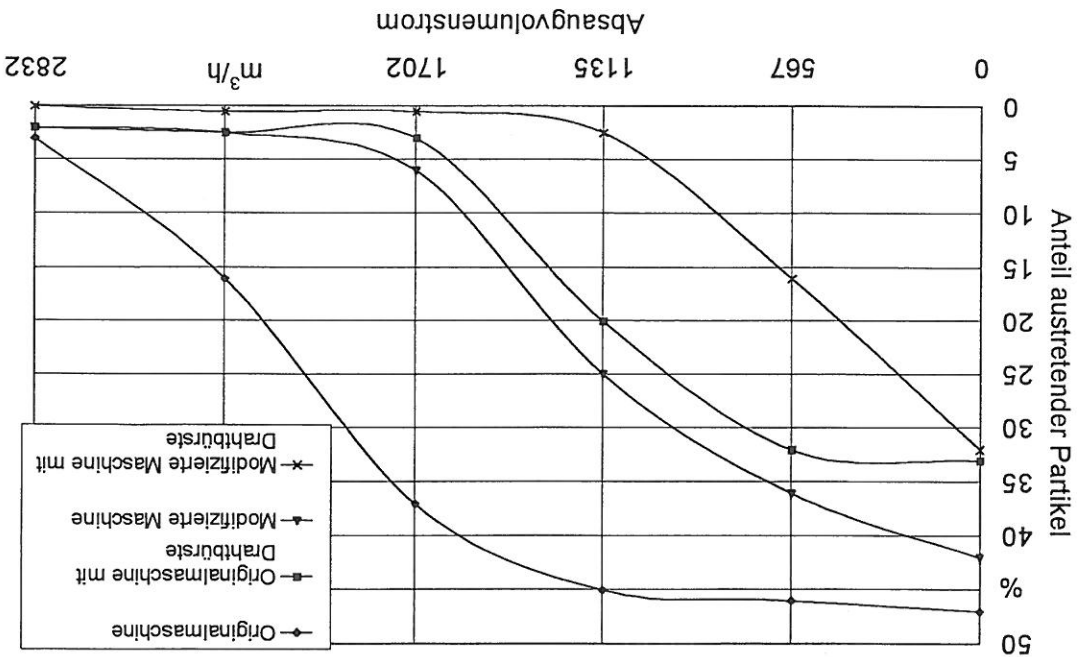
Beide Elemente haben sich als sehr wirkungsvoll erwiesen, wobei jede Variante Vorteile gegenüber der anderen hat. Die Drahtbürsten können bei schlechter Fertigung, insbesondere

aus.

Die bessere Wirkung der Drahtbürste gegenüber den Polyamidstäben ist auf die kleineren, frei werdenden Öffnungen beim Werkstückdurchgang zurückzuführen. Bei konturierten Werkstücken, insbesondere der Vorderkante bei NC-gesteuerten Achsen wirkt sich dies stark

sinkt der Anteil der austretenden Partikel bei der Originalmaschine erheblich. Hier Bild 7.3.3 deutlich die Wirkung beim Nutfräsen auf der hinteren Bearbeitungseinheit. Die Staubkonzentrationsmessung zeigt, daß mit Verschlüssen am Werkstücken und -Austritt eine bessere Senkung der Emission erreicht ist. Insbesondere zeigt

Bild 7.3.3: Staub- und Späneausstritt am Werkstückauslauf beim Nutfräsen



den gerundeten Enden, zu Kratzspuren auf empfindlichen Oberflächen führen. Bei den Polyamidstäben sind keine Schäden an den Werkstückoberflächen aufgetreten.

Kostenvorteile der Polyamidstäbe gegenüber der Drahtbürste bestehen, bei geringen Stückzahlen und bei Elementbruch. Wenn eine Drahtborste bricht und in das rotierende Werkzeug gelangt ist die Wahrscheinlichkeit sehr groß, daß die Schneiden beschädigt werden; bei den Kunststoffelementen ist diese Gefahr deutlich geringer.

Insgesamt sind die Drahtbürsten bei zweireihiger Ausführung (Bild 7.3.4) und sorgfältig abgerundeten Enden sehr gut geeignet die Öffnungen dauerhaft und effizient zu verschließen.

8. Untersuchung der Spülluft in der Versuchsmaschine

Die Aufgabe der Spülluft ist es, den Innenraum der Maschine von Staub- und Späneablagerungen freizuhalten um Wartungs- und Umrüstarbeiten besser zu ermöglichen. Zudem soll die Spülluft die Partikel in den Sedimentationsbehälter transportieren von wo aus sie über ein Förderband zur zentralen Absaugstelle transportiert werden.

Die erforderliche Spülluftmenge wurde bereits in Voruntersuchungen ermittelt, so daß nur noch die Applikation eines geeigneten Spülluftgebläses und entsprechender Zu- und Abführungsverbindungen zur Maschine erforderlich waren. Die umgerüstete Maschine wurde dann im Originalzustand und in modifizierter Form staubtechnisch untersucht.

Zur Erzeugung der Spülluft wurde ein Radialventilator (Bild 8.1) mit 1,5 kW Motornennleistung bei $U = 2880 \text{ min}^{-1}$ verwendet. Das Laufrad hat eine Nennaufnahmelleistung von 0,97 kW bei einem Volumenstrom von $1800 \text{ m}^3/\text{h}$.

Zugeführt wurde die Spülluft über eine breite Düse (Bild 8.2) die sich über den gesamten Maschinenboden in Vorschubrichtung erstreckt. Diese Düse mit veränderlicher Spaltweite von

0 mm bis 20 mm wird in der Originalmaschine bei bestimmten Bearbeitungsschritten als zusätzlicher Absaugschritt verwendet. Die Spülluftabfuhr erfolgt oberhalb des Sedimentationsbehälters nahe der Kabinendecke. Untersuchungen haben ergeben, daß diese Position die geringste Partikelumwälzung im Spülluftsystem ergibt und das Zerspanngut ungehindert sedimentieren kann.

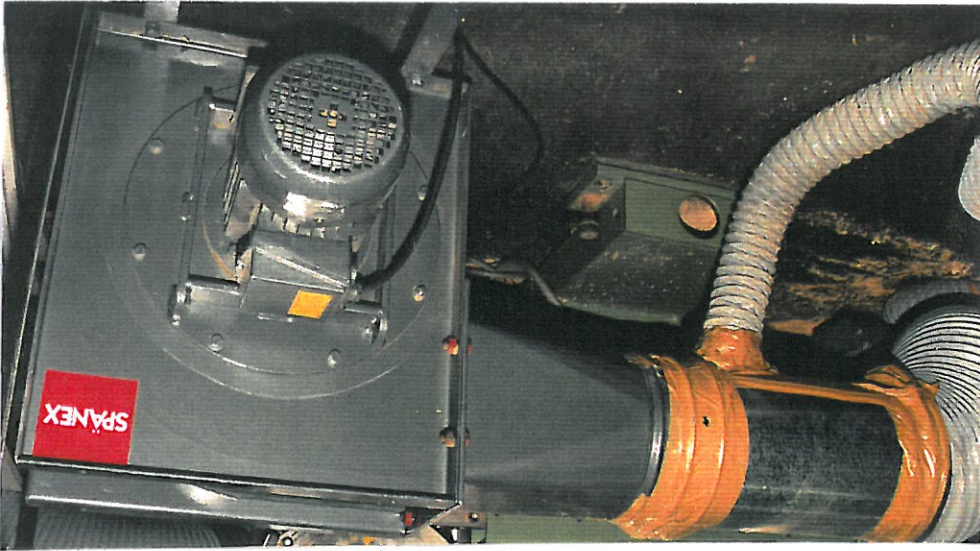


Bild 8.1: Spülluftgebläse

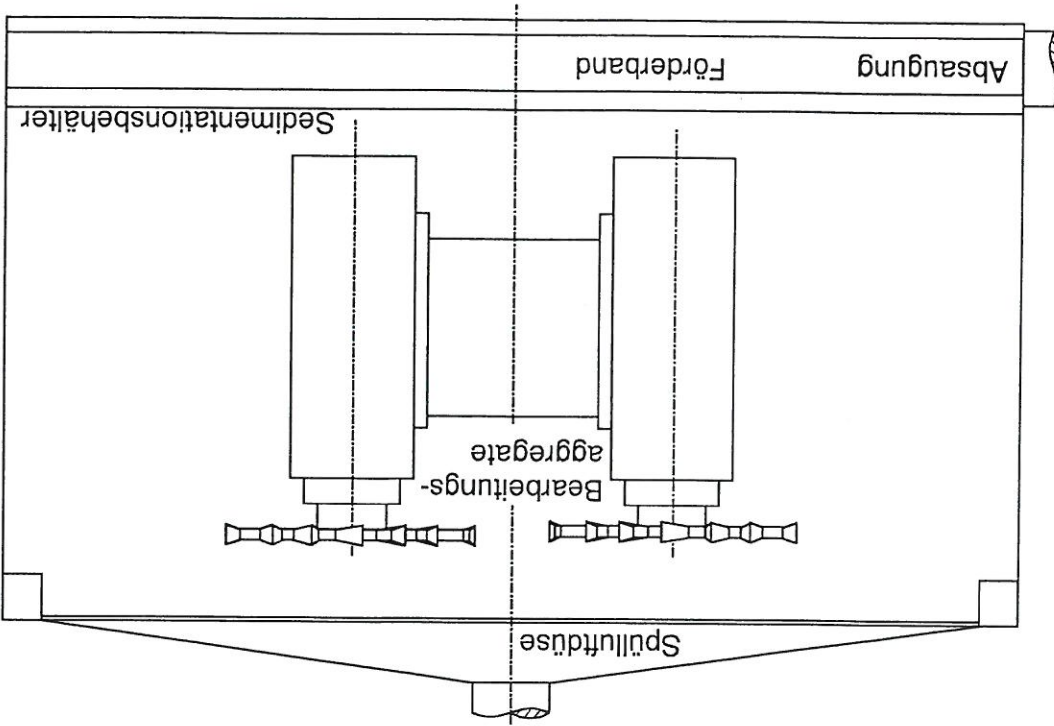


Bild 8.2: Spülluftzuführung in die Maschine

8.1 Messung der Strömungsgeschwindigkeit in der Versuchsmaschine

Die Drehzahl des Ventilators und damit der Volumenstrom wurden über einen statischen Frequenzumformer stufenlos geregelt. Leistungsaufnahme, Drehzahl und der dazugehörige Volumenstrom sind in Bild 8.1.1 dargestellt. Die Leistung und das Fördervolumen des Spülluftventilators sind nach den Ergebnissen der Voruntersuchungen ausreichend groß um die Maschineninnenfläche von Ablagerungen frei zu halten. Die theoretische Spülluftgeschwindigkeit die bei maximalem Volumenstrom und entsprechend eingestelltem Düsen Schlitz liegt bei ca. 15 m/s.

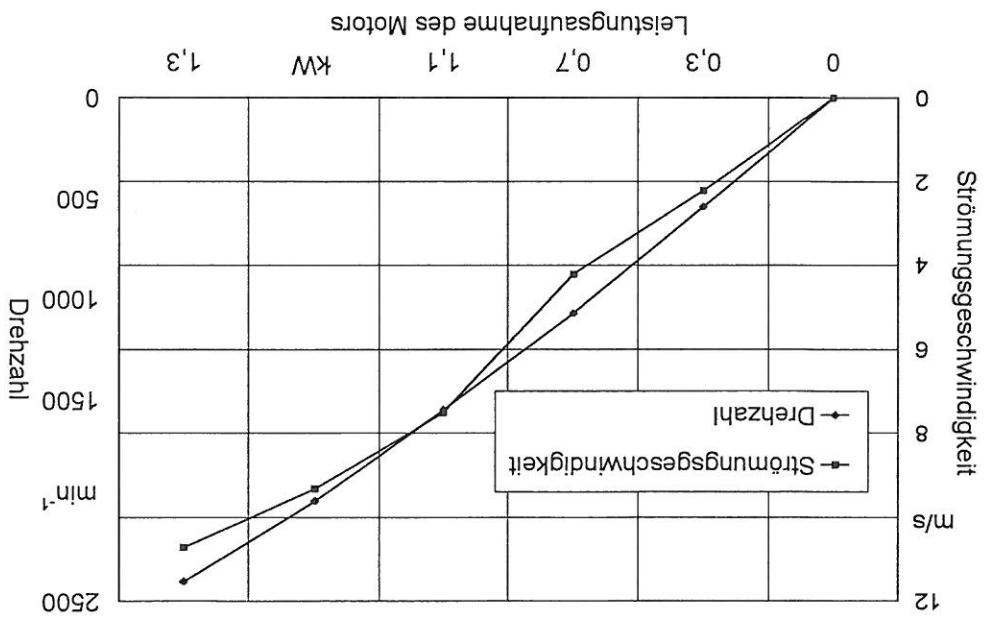


Bild 8.1.1: Drehzahl-Leistungs-Volumenstromdiagramm des Spülluftventilators

8.2 Strömungsmessung in der Versuchsmaschine

Zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit im Maschineninneren wurden 7 Meßstellen festgelegt, an denen die Messungen durchgeführt wurden. Die Messpunkte lagen in verschiedenen Höhen um auch bei größeren Staub- und Späneablagerungen die Wirkung der Spülluft beurteilen zu können.

Der Abstand Messpunkte zum Maschinenbett betrug 10 mm bis 200 mm in 50 mm Schritten. Die Drehzahl wurde im Bereich von $n = 178 \text{ min}^{-1}$ bis $n = 2280 \text{ min}^{-1}$ geregelt.

In Bild 8.2.1 ist die Strömungsgeschwindigkeit in 10 mm Höhe über dem Maschinenboden dargestellt.

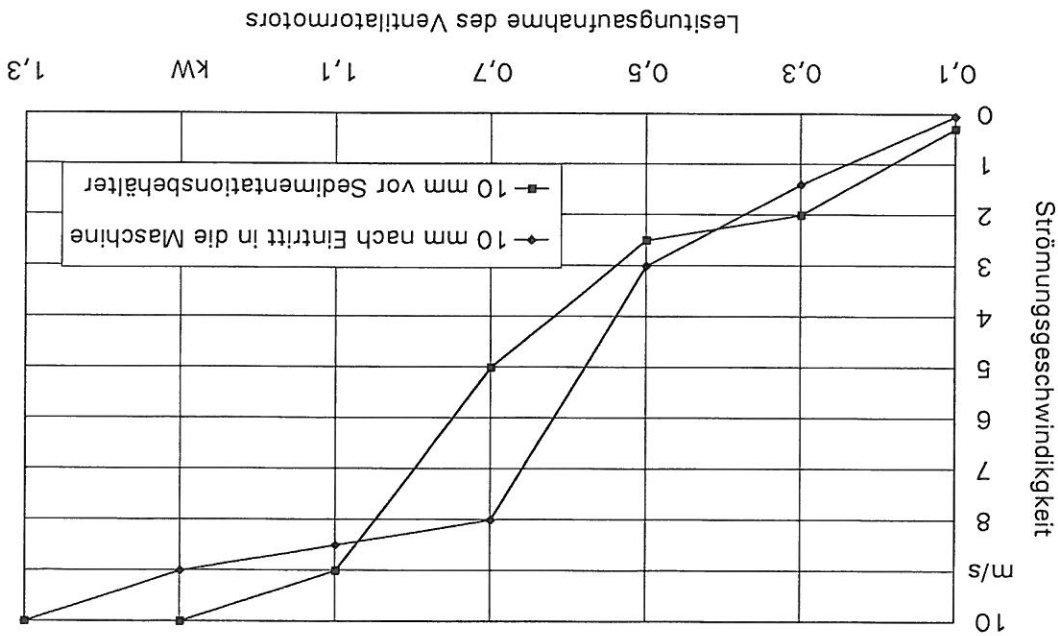


Bild 8.2.1: Strömungsgeschwindigkeit in 10 mm Höhe über dem Maschinenboden

Mit einer Antriebsleistung von 0,5 kW des Ventilator Motors mit einem Wirkungsgrad des Laufrades von 0,7 ist die Spülluftgeschwindigkeit, nach den Erkenntnissen aus den Versuchen zur Spülluft, ausreichend hoch, um den Maschinenboden von Ablagerungen frei zu halten.

Um dies für die Versuchsmaschine zu überprüfen wurden Versuchsreihe mit unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten über dem Maschinenboden gefahren. Folgende Versuchparameter wurden gewählt:

-Absaugvolumenstrom = $2937 \text{ m}^3/\text{h}$

-FPY Spanplatte mit 19 mm Stärke (weiß beschichtet)

-Wechselzahn Sägeblatt mit $\varnothing = 190$ mm und $z = 54$ Zähnen

-Drehzahl $n = 5880$ min⁻¹

-Vorschubgeschwindigkeit $v_f = 8$ m/s

Die Wirkung der Spülluft wurde anhand des Einflusses auf das Zerspanungsgut beurteilt; die Auflistung unten gibt die Bewertung wieder:

0 %	keine Entfernung von Staub und Spänen
20 %	Staub bewegt sich gering
40 %	Staub wird weggeblasen
60 %	Späne bewegen sich
80 %	große Späne bewegen sich
100 %	Alle Späne und aller Staub werden entfernt

Die Spülluftgeschwindigkeit wurde 10 mm über Grund und 10 mm nach dem Eintritt der Spülluft in die Maschine bestimmt.

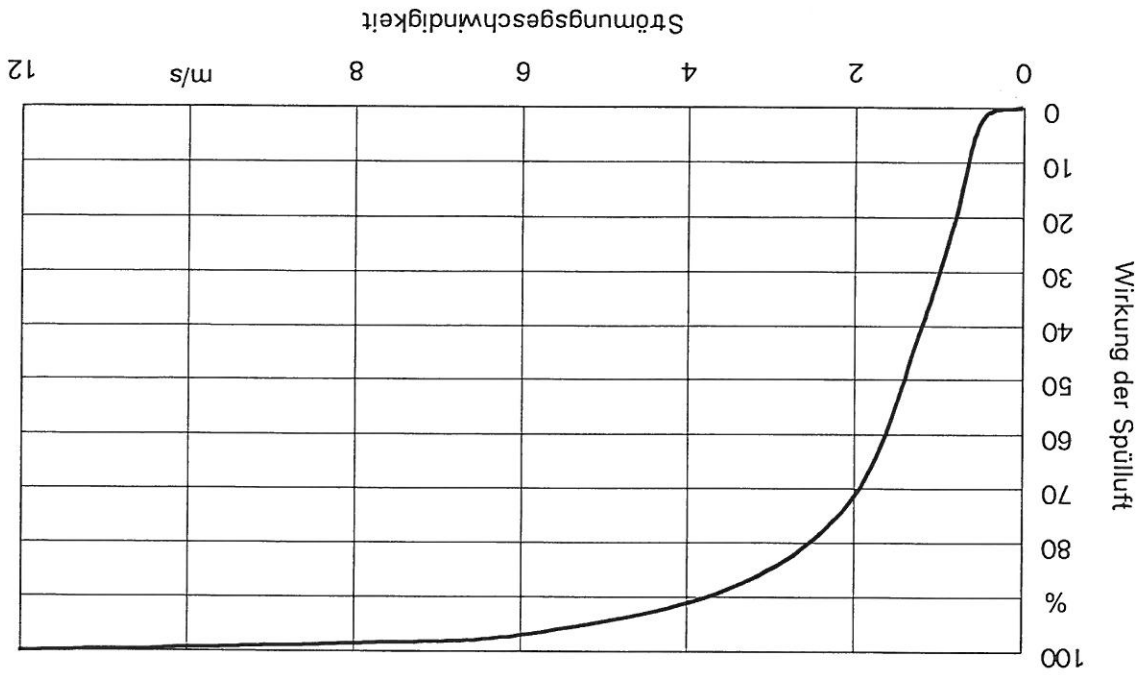


Bild 8.2.1: Wirkung der Spülluft in der Versuchsmaschine

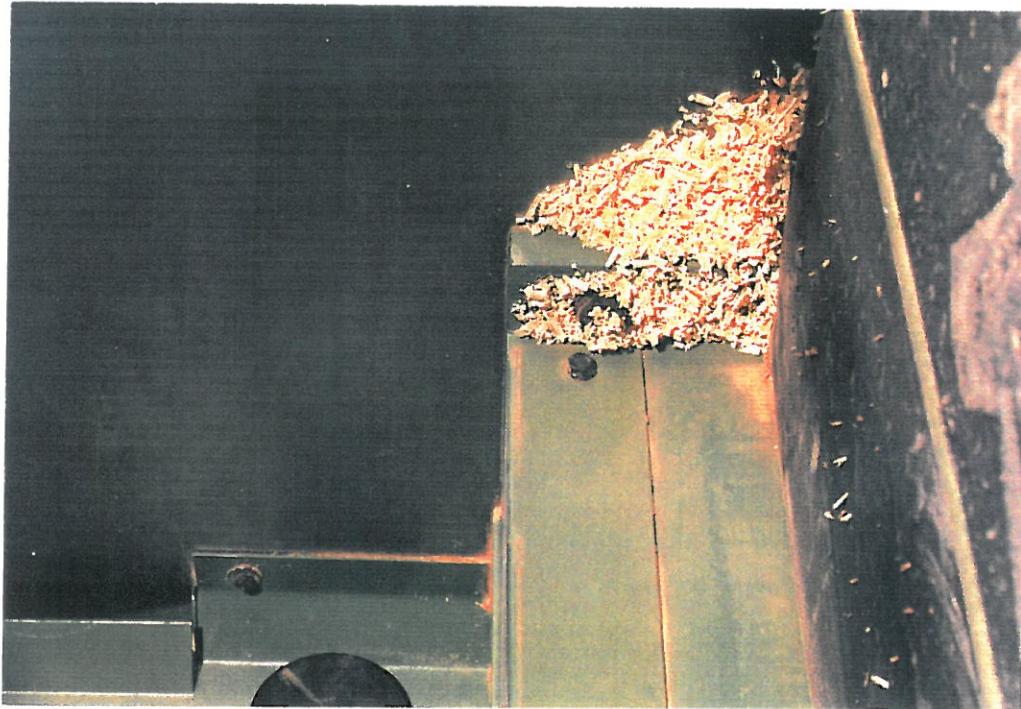


Bild 8.2.2: Eckenablagerung durch Windschatten

Die Untersuchungen zeigen, daß entsprechend den Vorversuchen mit einer Spülluftgeschwindigkeit von 3,5 m/s der Maschinenboden von Ablagerungen frei gehalten werden kann. Ablagerungen in den Ecken lassen sich hiermit, aber auch mit höheren Strömungsgeschwindigkeiten nicht verhindern (Bild 8.3.2).

8.3 Einfluß der Spülluft auf die Staub- und Späneemission

Die Spülluft verursacht innerhalb der Maschinenkabine starke Verwirbelungen, wodurch Teile des Zerspanungsgerätes in die Nähe der Öffnungen gelangen können. Bei der Auslegung der Spülluft ist darauf zu achten, daß der Blasstrahl nicht unmittelbar auf eine Kabinenöffnung gerichtet ist. Inwiefern sich dies auf die Staub- und Späneemission auswirkt wurde durch Staubmessungen der Originalmaschine, der Maschine mit Rechteck-Elementen und mit gekrümmten Elementen untersucht.

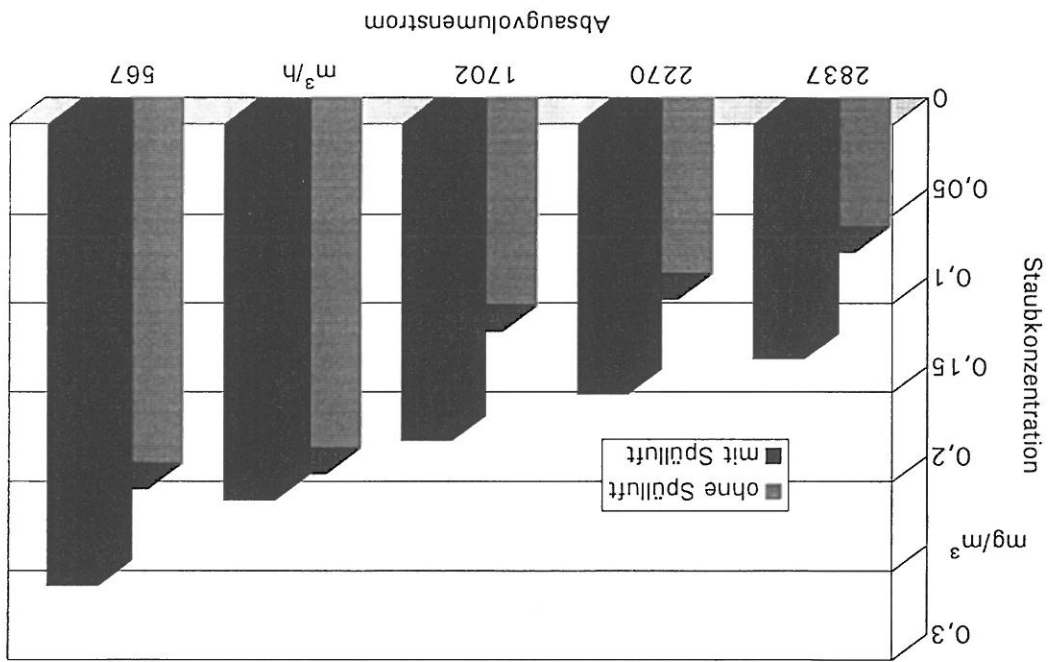


Bild 8.3.2: Staubmessung im Meßpunkt 1 (Maschine mit Rechteck-Elementen)

Die dargestellten Staubmessungen geben die Ergebnisse für die Meßpunkte 1 am Werkstückeinlauf wieder.

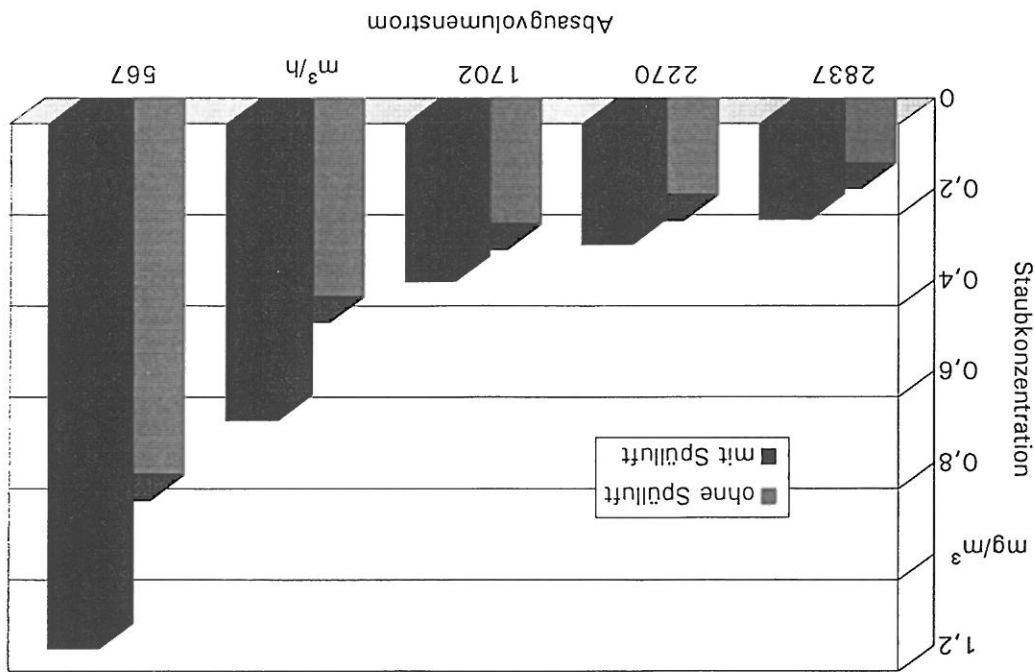


Bild 8.3.1: Staubmessung im Messpunkt 1 (Originalmaschine)

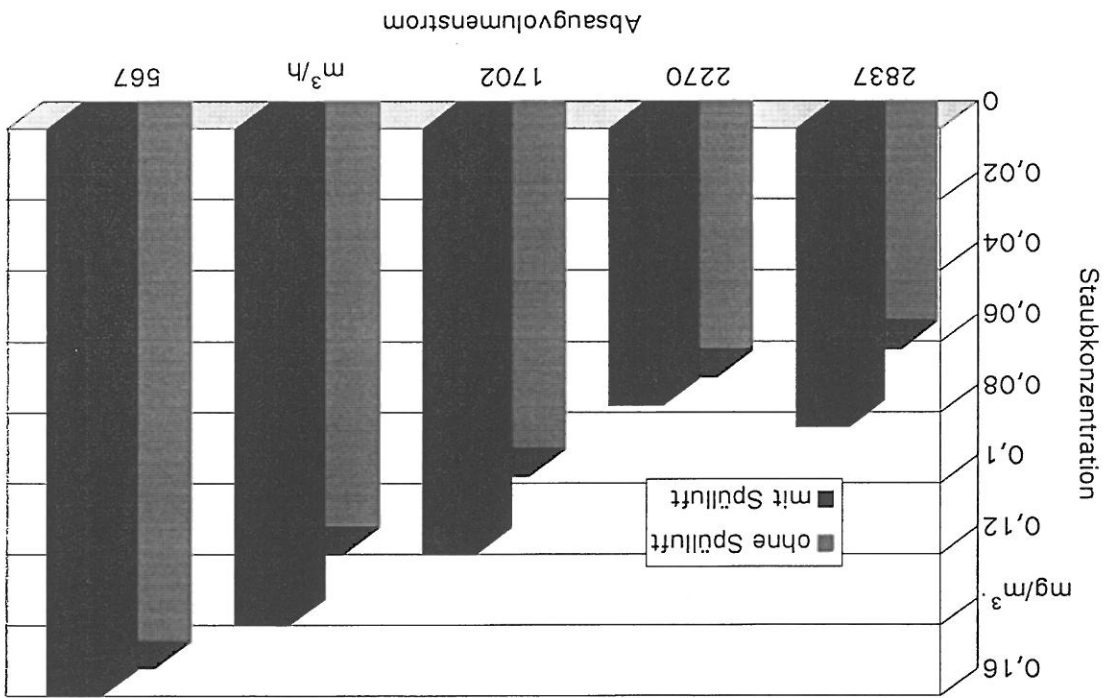
Um das Maschinenbett sicher von Staubablagerungen freizuhalten, ist in einer Höhe von 10 mm eine horizontale Strömungsgeschwindigkeit von mindestens 5 m/s über der gesamten Fläche anzustreben. Dabei gelten folgende Einschränkungen: Entstehen beim Zerspanungsprozess leistenförmige Abfälle, so bilden diese ein strömungstechnisches Hindernis an dem sich Partikel anhäufen. Tote Winkel in denen geringe Luftgeschwindigkeiten herrschen, oder sich stehende Wirbel ausbilden müssen vermieden werden. Derartig verursachte Ablagerungen können durch konstruktive Maßnahmen vermieden werden.

Zusammenfassung:

Maschinenkabine.

Die Staubmessungen ergaben, daß die Staubemission durch die Spülluft grundsätzlich etwas höher ist. Zurückzuführen ist dies auf die stärkere Verwirbelung im inneren der Absaugvolumenströme zu erkennen. Deutlich ist der Anstieg der Staubkonzentration aller drei Maschinenvarianten, bei geringeren

Bild 8.4.3: Staubmessung im Meßpunkt 1 (Maschine mit gekrümmten Elementen)



9 Applikation auf eine reale Maschine

In den Voruntersuchungen und den entsprechenden Modifikationen der Versuchsmaschine, konnten alle wesentlichen Erkenntnisse für das neue Entsorgungskonzept gefunden und realisiert werden. Ausgehend davon wurde eine Maschine mit der neuen Entsorgungstechnik ausgerüstet und bei einem Anwender erprobt.

9.1 Zusammenfassung der Anforderungen an ein Maschinenkonzept mit dem neuen Staub- und Späneentsorgungssystem

IFW	Anforderungsliste für das Entsorgungskonzept an Durchlaufmaschinen		Bearbeiter		Nr.: Blatt: Datum:	
			Ersatz für	Ersatz		
Lfd. Nr.	Änderung	F	W	Anforderung	Quantifizierung	Bemerkung
		F		Festforderung		
		M		Mindestforderung		
		W		Wunsch		
1.1	Erzeugung der Spülluft für den Maschinenboden mit einem Radialventilator	F				
1.2	Leistung des Radialventilators je Maschinenmeter	M			$P < 0.5 \text{ kW/m}$	
1.3	Gesamtdruck des Ventilators	M			$\Delta p \geq 1000 \text{ Pa}$	
1.4	Spülluftgeschwindigkeit für den Maschinenboden	M			$V_s \geq 10 \text{ m/s}$	
1.5	Zuführung der Spülluft über die gesamte Breite des Maschinenbodens	F				

1.6	F	Rückführung der Spülluft zum Ventilator		
1.7	M	Spülluftaustrittsöffnung aus der Maschinenkapsel höher als der Sedimentationsraum	Abstand \geq 600 mm	
1.8	M	Förderung von Partikeln durch Spülluft möglich	Partikelgröße $>$ 1 cm ³	
1.9	F	Einfache Reinigung der Spülluftleitungen		
1.10	M	Spülluftdüse soll geringe Verstopfungseignung aufweisen	Düsenweite $>$ 10 mm	
1.11	M	Spülluftabfuhröffnung durch Gitter geschützt	Gitterweite $<$ 15 mm	
1.12	W	Reinigung des Gitters von außen möglich		
1.13	F	permanenter Spülluftstrom		
1.14	W	Regelung der Spülluft über die Maschinensteuerung		
2.1	F	Spülluft für die Flächen in der Maschinenkapsel		
2.2	M	Anzahl der Axialventilatoren	1 Stück/m	
2.3	W	Leistung der Axialventilatoren	$200 \text{ W} > P_v > 100$	
2.4	F	permanenter Spülluftstrom		
2.5	F	Förderung von Partikeln durch Spülluft möglich	Partikelgröße $>$ 1 cm ³	
2.6	W	Drehzahl niedrig	$n_0 <$ 1000 1/min	
2.7	M	niedrige Bauhöhe des Ventilators	$h_v <$ 150 mm	
2.8	F	geringer abrasiver Verschleiß		
2.9	M	geringe Erwärmung des Motors	$\vartheta >$ 50 °C	
2.10	M	geringer vertikaler Abstand zu den Flächen	$a <$ 500 mm	

2.11		W	Neigungsverstellung		
3.1		F	Verschlußbelemente des Längsverschlusses aus Kunststoff	ABS	
3.2		M	Masse klein	$m < 20 \text{ g}$	
3.3		M	Dicke	$d \leq 2 \text{ mm}$	
3.4		M	Breite	$b \leq 60 \text{ mm}$	
3.5		M	Länge	$l \leq 200 \text{ mm}$	
3.6		F	Auslenkung der Elemente durch das Werkstück		
3.7		W	Für Vor- und Rücklauf geeignet		
3.8		F	Geringer Verschleiß durch Reibung auf dem Werkstück		
3.9		F	Keine Beschädigung der Werkstückvorderkante		
3.10		W	Rückstellung der Elemente durch Eigengewicht		
3.11		M	Abstand Elemente - Maschine	$d_{\text{EM}} \leq 0,5 \text{ mm}$	
3.12		M	Reibung Elemente - Maschine	$\mu \leq 0,3$	
3.13		W	Lagerung mit Zapfen	$D_{\text{Zapfen}} \geq 10 \text{ mm}$	
3.14		M	hoher Vorschub möglich	$V_f \geq 50 \text{ m/min}$	
3.15		F	Geringer abrasiver Verschleiß der Elemente durch Späne		
3.16		F	Keine Beschädigung der Werkstückoberfläche		
3.17		M	Funktion bei minimalem und maximalem Unterdruck gegeben	$80 \text{ Pa} > p > 50 \text{ Pa}$	
3.18		M	Werkstückdicke	bis 60 mm	
3.19		F	Werkstücke mit profilierter Vorderkante bearbeitbar		

3.20	F	Werkstücke mit Aussparungen bearbeitbar		
3.21	W	Federunterstützung der Elemente als Option		
3.22	F	Kein verklebmen und verhasen der Elemente möglich		
3.23	F	Elemente einfach austauschbar		
3.24	F	einfache Befestigung		
3.25	F	Funktion der gesamten Maschine darf bei Ausfall von einzelnen Elementen nicht gestört sein		
3.26	F	Keine Beeinträchtigung der Funktion durch Staub		
4.1	F	Leitelemente zwischen den einzelnen		
4.2	M	Mehrstufiger Aufbau	Anzahl > 4 Stück	
4.3	W	Werkstoff verschleißfest	Stahl, Aluminium	
4.4	M	Geringer Abstand der Elemente zueinander	40 mm > a > 20 mm	
4.5	F	Winkel zum Werkstück horizontal	$\alpha = 90^\circ$	
4.6	F	Winkel zum Werkstück vertikal	$\alpha = 90^\circ$	
4.7	M	Abstand Leitelemente zur Ober- und Unterseite gering	1,5 mm > a_L > 0,5 mm	
4.8	M	Höhe über dem Werkstück	$h_{ow} > 200$ mm	
4.9	M	Höhe unter dem Werkstück	$h_{uw} > 200$ mm	
4.10	F	Stirnseitig durch Kunststoffklappen gedichtet		
4.11	F	Breite der Kunststoffklappen so groß als möglich	$b_w > 100$ mm	

4.12	M	Abstand Werkstück Leitelemente stirnseitig	$a_{1s} = 0$	
4.13	F	Vor- und Rücklauf möglich		
4.14	F	Werkstückdicke	bis 60 mm	
4.15	F	Automatische Anpassung an das Werkstück		
4.16	F	Kein verklemmen und verhasen der Elemente möglich		
4.17	F	Elemente einfach austauschbar		
4.18	F	einfache Befestigung		
4.19	F	Funktion der gesamten Maschine darf bei Ausfall von einzelnen Elementen nicht gestört sein		
4.20	F	Keine Beeinträchtigung der Funktion durch Staub+Späne		
4.21	F	Werkstücke mit Aussparungen bearbeitbar		
4.22	F	Werkstücke mit profilierter Vorder- und Rückseite bearbeitbar		
5.1	F	Verschleiß am Einlauf durch Kunststoffstäbe		
5.2	F	Material	Kunststoff ABS	
5.3	M	Masse	$m < 10 \text{ g}$	
5.4	M	Breite	$b < 2 \text{ mm}$	
5.5	M	möglicher Vorschub hoch	$V_f > 50 \text{ m/min}$	
5.6	F	Verschleiß gering		
5.7	W	Vor- und Rücklauf geeignet		
5.8	F	Auslenkung durch Werkstück		
5.9	F	Werkstückdicke	bis 60 mm	

6.8	F	Auslenkung durch Werkstück		
6.7	W	Vor- und Rücklauf geeignet		
6.6	F	Verschleiß gering		
6.5	M	möglicher Vorschub hoch	$V_f > 50 \text{ m/min}$	
6.4	M	Breite	$b < 2 \text{ mm}$	
6.3	M	Masse	$m < 10 \text{ g}$	
6.2	F	Material	Kunststoff ABS	
6.1	F	Verschluß am Auslauf aus Kunststoff		
5.21	F	Werkstücke mit Aussparungen bearbeitbar		
5.20	F	Werkstücke mit profilierter Vorder- und Rückseite bearbeitbar		
5.19	F	Keine Beschädigung des Werkstückes		
5.18	F	keine Auslenkung durch einströmende Luft		
5.17	F	geringer Partikelaustritt		
5.16	F	Keine Beeinträchtigung der Funktion durch Späne		
5.15	F	Keine Beeinträchtigung der Funktion durch Staub		
5.14	F	Funktion der gesamten Maschine darf bei Ausfall von einzelnen Elementen nicht gestört sein		
5.13	F	einfache Befestigung		
5.12	F	Elemente einfach austauschbar		
5.11	F	Kein Verklemmen und Verhaken der Elemente möglich		
5.10	F	Automatische Anpassung an das Werkstück		

6.9	F	Werkstückdicke	bis 60 mm	
6.10	F	Automatische Anpassung an das Werkstück		
6.11	F	Kein Verklemmen und Verhaken der Elemente möglich		
6.12	F	Elemente einfach austauschbar		
6.13	F	einfache Befestigung		
6.14	F	Funktion der gesamten Maschine darf bei Ausfall von einzelnen Elementen nicht gestört sein		
6.15	F	Keine Beeinträchtigung der Funktion durch Staub		
6.16	F	Keine Beeinträchtigung der Funktion durch Späne		
6.17	F	geringer Partikelaustritt		
6.18	F	keine Auslenkung durch einströmende Luft		
6.19	F	keine Beschädigung des Werkstückes		
6.20	F	Werkstücke mit profilierter Vorder- und Rückseite bearbeitbar		
7.1	F	Bürste für das Nuten		
7.2	M	Anzahl	2 Stück/Öffnung	
7.3	F	Material	Federstahl	
7.4	M	Länge	$l > 150 \text{ mm}$	
7.5	M	Breite	$b > 50 \text{ mm}$	
7.6	M	Drahtdurchmesser	$D_D \leq 0,5 \text{ mm}$	
7.7	M	Drähte in Reihe		
7.8	M	Abrundung der Drahtspitze	$R_D > 10 \text{ mm}$	

7.9	M	möglicher Vorschub hoch	$V_f > 50 \text{ m/min}$	
7.10	F	Verschleiß gering		
7.11	W	Vor- und Rücklauf geeignet		
7.12	F	Auslenkung durch Werkstück		
7.13	F	Werkstückdicke	bis 60 mm	
7.14	F	Automatische Anpassung an das Werkstück		
7.15	F	Kein Verklümmen und Verhaken der Elemente möglich		
7.16	F	Elemente einfach austauschbar		
7.17	F	einfache Befestigung		
7.18	F	Funktion der gesamten Maschine darf bei Ausfall von einzelnen Elementen nicht gestört sein		
7.19	F	Keine Beeinträchtigung der Funktion durch Staub		
7.20	F	Keine Beeinträchtigung der Funktion durch Späne		
7.21	F	geringer Partikelaustritt		
7.22	F	keine Auslenkung durch einströmende Luft		
7.23	F	keine Beschädigung des Werkstückes		
7.24	F	Werkstücke mit profilierter Vorder- und Rückseite		
8.1	M	Unterdruck in der Maschinenkapsel	$80 \text{ Pa} > p > 50 \text{ Pa}$	
8.2	F	Druckregelventil in der Maschinenkapsel		
8.3	M	Absaugvolumenstrom bei $2,5 \text{ m}^3$ Kapselvolumen	$2000 \text{ m}^3/\text{h} > V_A > 1000 \text{ m}^3/\text{h}$	

9.1	W	geneigte Flächen im Kapselinneren	> 45° (horizontal)	
9.2	W	Rauhtiefe	$R_z \leq 10 \mu\text{m}$	
9.3	W	Verlagerung der Flächen aus der Kapsel		
9.4	F	Abblasen der ebenen Flächen mit Spülluft	$V_L > 10 \text{ m/s}$	
9.5	W	Oberfläche des Maschinenbodens	$R_z \leq 10 \mu\text{m}$	
10.1	F	Sedimentationsbehälter möglichst tief	$t > 300 \text{ mm}$	
10.2	W	Boden in Richtung Sedimentationsbehälter geneigt	$45^\circ > \alpha > 10^\circ$	
10.3	F	Fläche von Spülluftaustrittsöffnung bis Sedimentationsbehälter eben und		
11.4	F	Förderband im Sedimentationsbehälter		
11.5	M	Bandgeschwindigkeit hoch	$V > 0,05 \text{ m/s}$	
11.6	F	Absaugöffnung am Förderbandende		

Tabella 6: Anforderungsliste an den Prototypen mit dem Entsorgungskonzept

Die Tabelle enthält alle wesentlichen Anforderungen für die Ausrüstung einer Maschine mit dem Spülluftentsorgungskonzept.

9 Realisierung der Anforderungen

9.1 Prototyp

Die einseitige Durchlaufmaschine vom Typ KFR 10 / 19 / QE / S wurde als Prototyp ausgewählt, wobei nur die Bereiche für das Formatbearbeitungsteil (F-Teil) mit hoher Zerspanleistung modifiziert wurde. Der Nachbearbeitungsteil in dem die Kunststoffkanten bearbeitet werden, wird konventionell abgesaugt. Im Nachbearbeitungsteil treten zusätzliche Probleme wie statische Aufladung und Klebstoffreste auf, deren Entsorgung in einem gesonderten Projekt untersucht werden sollte. Bild 9.1.1 zeigt den Prototypen in der Montagehalle des Herstellers.

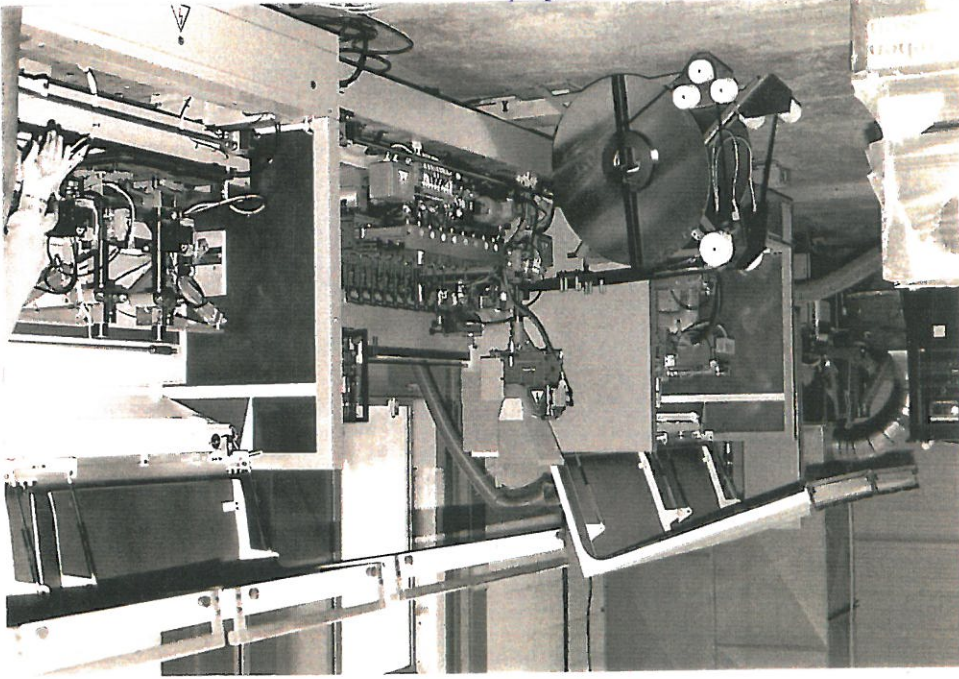


Bild 9.1.1: Prototyp HOMAG KFR 10 / 19 / QE / S

Auf dieser Maschine werden plattenförmige, beschichtete Spanplatten bearbeitet. Im F-Teil (Bild 9.1.2) werden die Kanten mit drei Aggregaten bearbeitet und anschließend im Verleimteil (Bild 9.1.3) mit einem Kunststoffumleimer beklebt. Im Nachbearbeitungsteil (G-Teil) (Bild 9.1.4) wird das Werkstück durch Kappen und Bündigfräsen des überstehenden Umleimers sowie Schwabbeln fertiggestellt.

Bild 9.1.3: Verteilteil

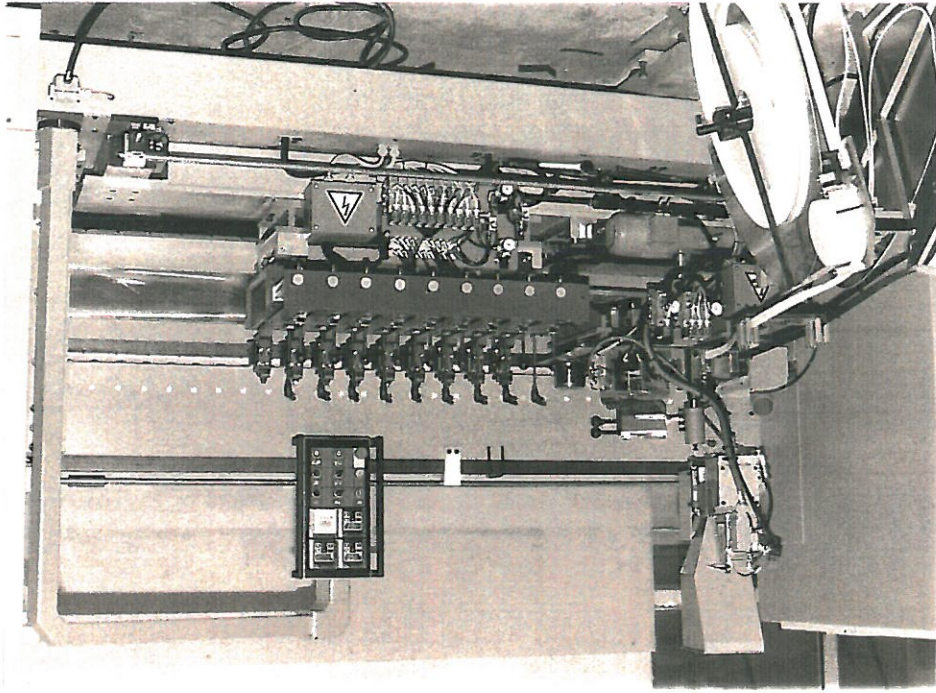


Bild 9.1.2: Formattteil, F-Teil

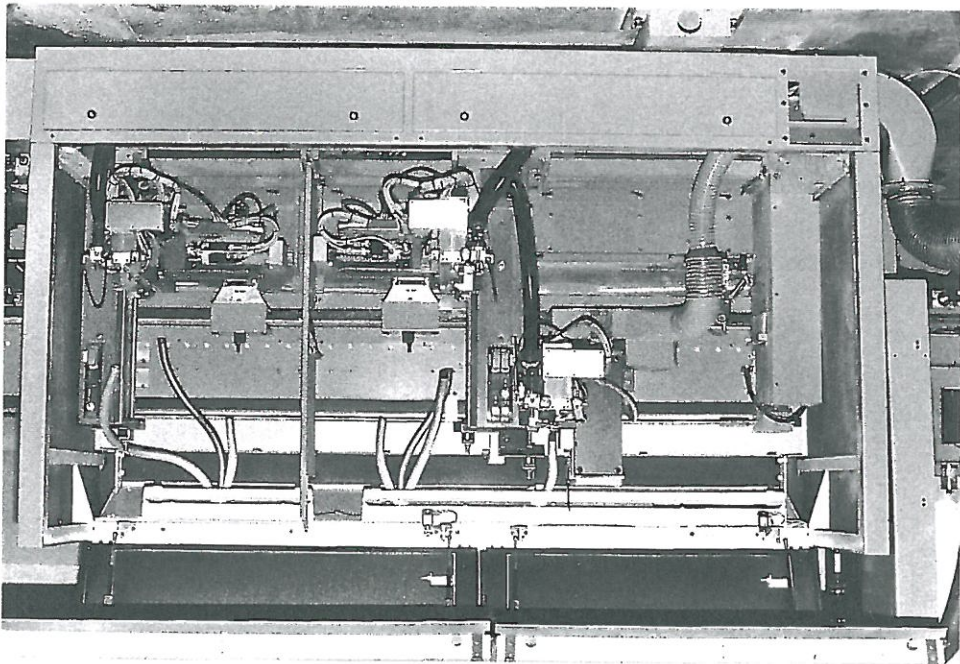
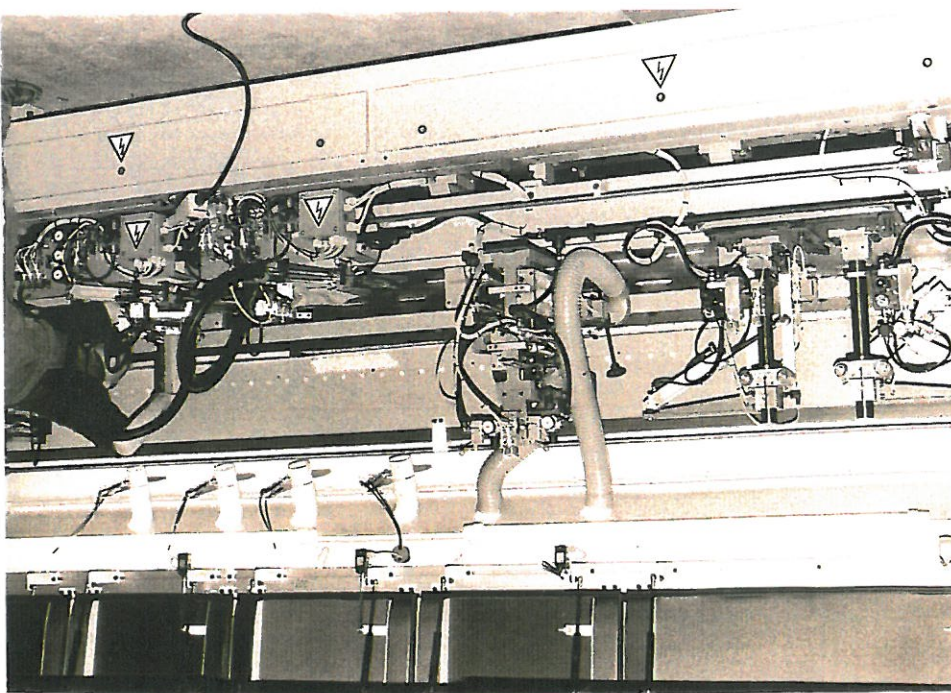


Bild 9.1.4: Nachbearbeitungsteil, G-Teil



Technische Daten:
 Gesamtlänge: 10,5 m
 Länge F-Teil 2,80 m
 Länge Verleimteil 2,42 m
 Länge G-Teil 4,20 m
 Länge Rest 1,08 m
 Max. Vorschub 25 m/min
 Max. Werkstückdicke 30 mm
 Max. Werkstückbreite beliebig
 Werkstücklänge beliebig

Das Profilfräsaggregat, sowie die Eckenfräsaggregate im F-Teil sind NC-gesteuert und mit Diamantfräsern bestückt. Das Werkzeugdrehzahl beträgt 6.000 min^{-1} Umdrehungen. Der Profilfräser arbeitet im Gegenlauf, bei den Eckenfräsaggregaten arbeitet der erste Fräser im Gleichlauf und der zweite im Gegenlauf.

Die Werkzeuge im G-Teil (Sägeblätter, Profiltäser) sind mit Hartmetallschneiden bestückt und arbeiten im Gleich- oder Gegenlauf mit 6.000 min^{-1} bis 18.000 min^{-1} Umdrehungen.

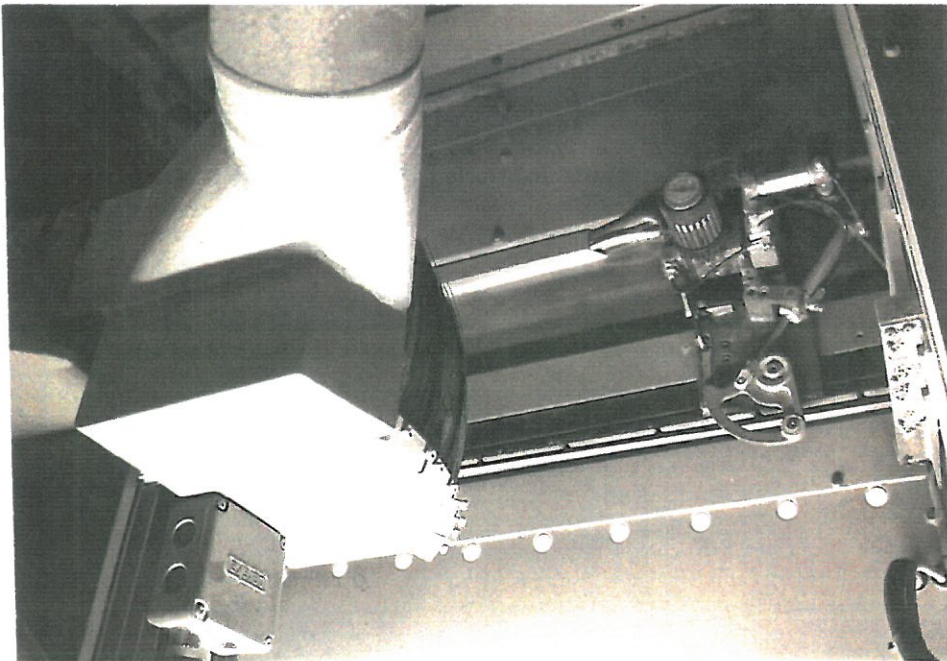


Bild 9.1.5: Absaughaube für das Konturfräsaggregat

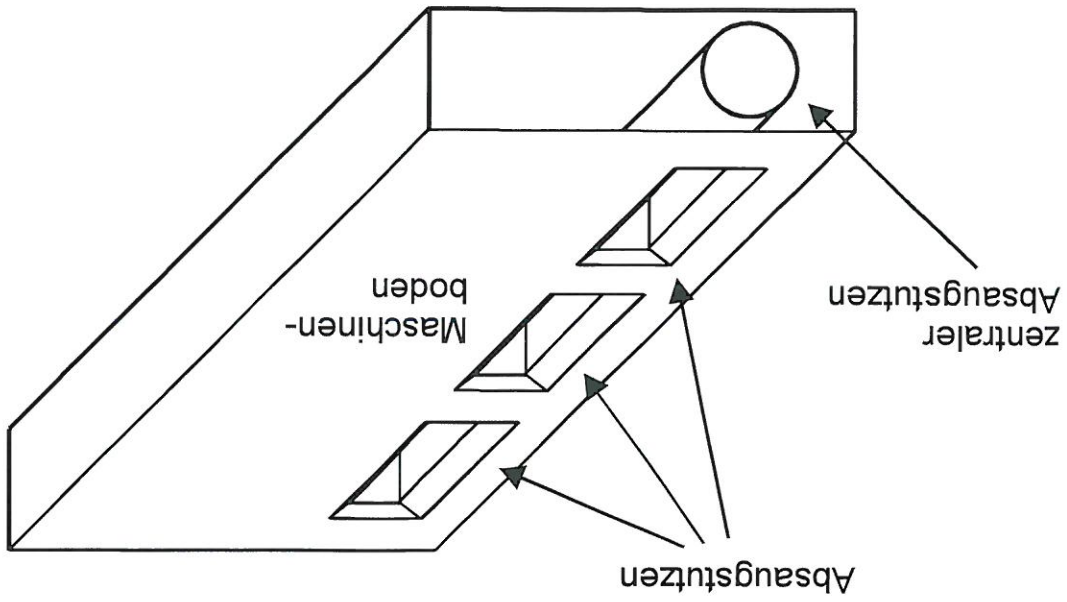


Bild 9.1.6: Öffnungen im Maschinenboden für die Raumabsaugung

Die Entsorgung dieses Maschinentyps erfolgt durch eine Kombination von Einzelabsaugung und Raumabsaugung. Im F-Teil ist für jedes Aggregat eine Absaughaube (Bild 9.1.5) vorgesehen. Zusätzlich befinden sich im Maschinenboden unterhalb der Bearbeitungspositionen Absaugöffnungen (Bild 9.1.6), um die staubbelastete Luft in der Maschinenkapsel abzusaugen. Im G-Teil werden ausschließlich Einzelabsaughauben für jedes Aggregat verwendet. Größere Restteile die nicht von der Absaugung erfasst werden, müssen regelmäßig vom Bedienpersonal entfernt werden.

9.2 Verschlussэлеmente für den Transportspalt

Die Verschlussэлеmente für den Transportspalt mußten an die vorhandene Maschinenstruktur angepaßt werden. Im Bild 9.2.1 ist die Anbausituation für die Elemente am Oberdruckbalken

sehen.

Die gekrümmten Verschlussэлеmente benötigten aufgrund der Schrägstellung ihrer Lager um 1,5° (Bild 9.2.2) eine Bauhöhe von 12 mm. Bei zweiseitigen Maschinen sind dies zusammen 24 mm wodurch sich das Blockmaß von bisher 160 mm auf 170 mm vergrößert. Das bisherige Blockmaß von 160 mm mußte weiterhin gewährleistet werden. Aufgrund dessen hätten die Lagerstellen der Verschlussэлеmente in den Oberdruckbalken versenkt werden müssen. Durch Bohrungen zwischen den Lagerstellen der Andruckrollen des Oberdruckriemens oder eine Längsnut im Oberdruckbalken, wäre dies zu realisieren gewesen.

Bild 9.2.2: Schrägstellung der Elemente

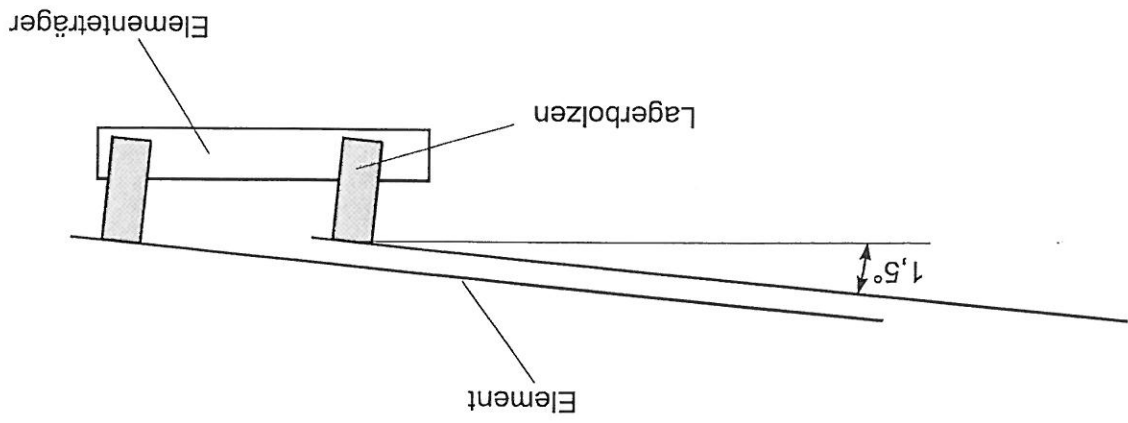
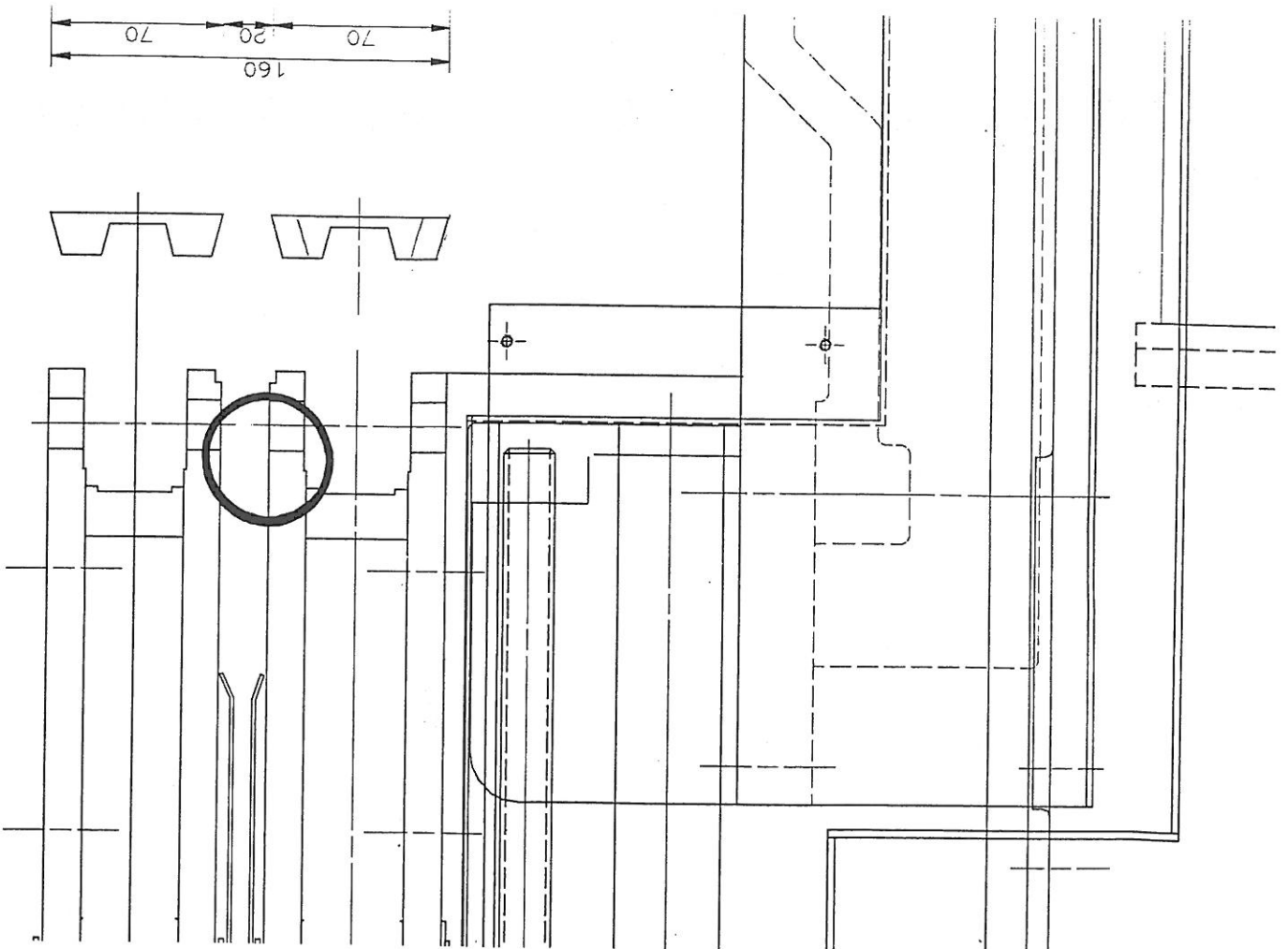


Bild 9.2.1: Einbausituation für die Elemente am Oberdruckbalken



Die Lagerstellen der Andruckrollen des Oberdruckriemens (Bild 9.2.3) liegen jedoch so weit auseinander das der erforderliche Lagerabstand der Verschlussbelemente nicht mehr eingehalten werden könnte.

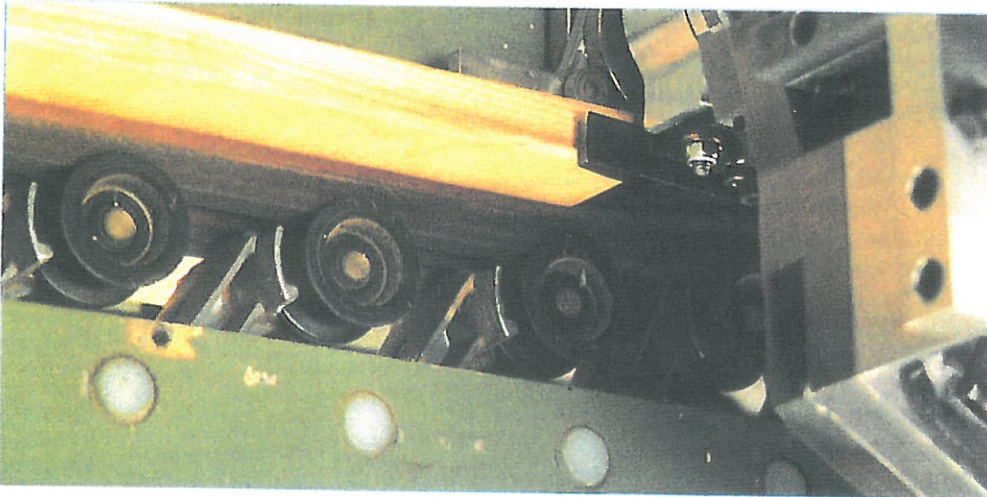


Bild 9.2.3: Lagerstellen der Andruckrollen im Oberdruckriemen

Durch eine Längsnut oder entsprechende Bohrungen über den Lagerstellen der Andruckrollen müßten die Verschlussbelemente deshalb verlängert werden, wodurch der Neigungswinkel von $1,5^\circ$ auf $2,4^\circ$ vergrößert werden müßte. Das Aufbaumaß der Verschlussbelemente erhöht sich dadurch auf über 15 mm. Das Blockmaß würde entsprechend von 160 mm auf inakzeptable 166 mm ansteigen.

Alternative Befestigungsstellen für die Verschlussbelemente am Oberdruckbalken sind nicht vorhanden. Die Lagerstellen der Andruckrollen so zu ändern, das sie näher beieinander liegen ist mit erhebliche Kosten verbunden da der gesamte Oberdruckbalken abgeändert werden müßte.

Deshalb wurde eine Befestigung der Verschlussbelemente am Gliederkettenträger entwickelt, da dort die Lagerstellen um 12 mm nach innen versetzt werden können.

Über Federn werden die Verschlussbelemente gegen eine Anlageschiene am Oberdruckbalken gedrückt. Sie bewirken die Rückstellung der Verschlussbelemente. In Bild 9.2.3 ist die Einbausituation mit Bemassung dargestellt.

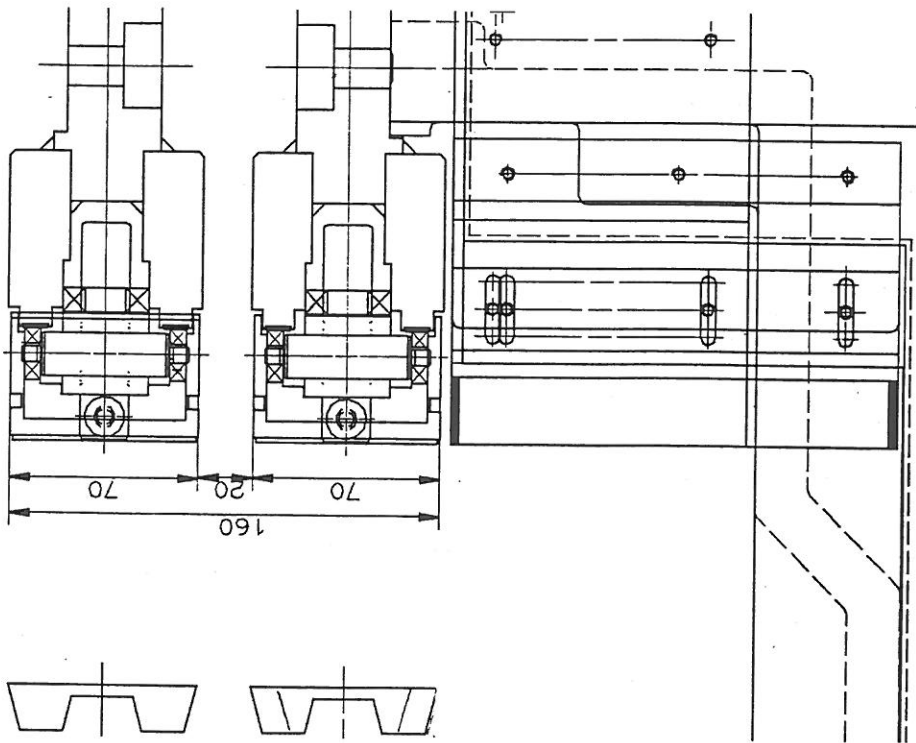


Bild 9.2.3: Einbausituation am Gliederkettenträger

Durch die Anbringung am Gliederkettenträger konnte die Form der Elemente beibehalten werden (Bild 9.2.4).

Die Federn wurden so ausgelegt, dass der Impuls durch den Werkstückstoß auf die Werkstückkante, gering ist. Die Federn sind so vorgespannt, daß sich die Elemente nach dem Werkstückdurchgang mit geringer Drehgeschwindigkeit aufrichten.

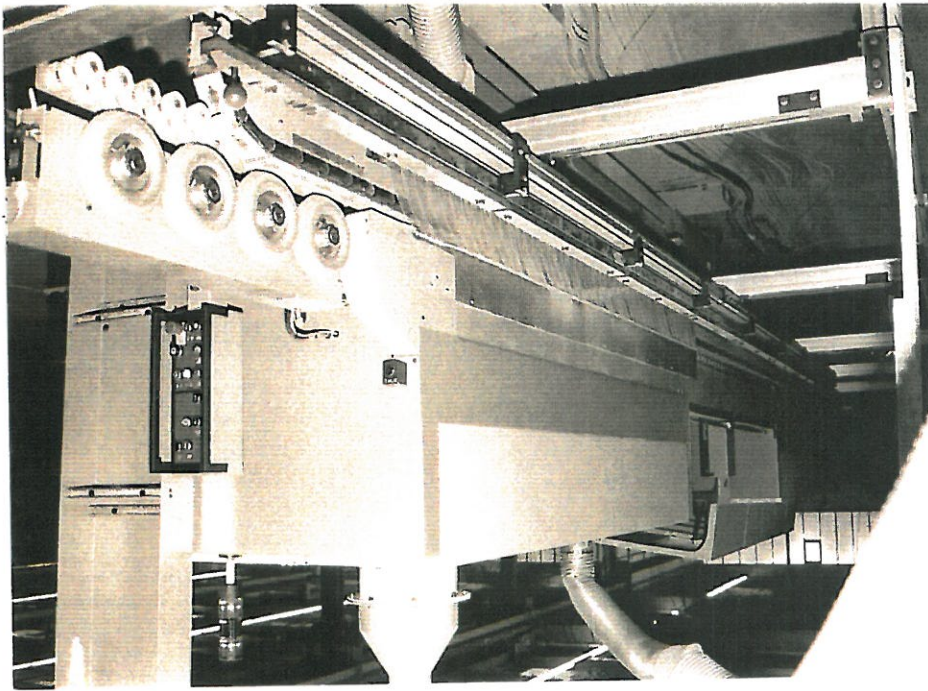


Bild 9.2.4: Elemente am Gliederkettenträger

Die Kraft um die Verschlussbelemente aus der Ruhelage in die Lage zu bewegen so, daß der Transportspalt offen ist, ist geringer als bei hängender Anordnung am Oberdruckbalken. Die Gewichtskraft des Elementes wirkt nach einem bestimmten Neigungswinkel gegen die Federkraft (Bild 9.2.5).

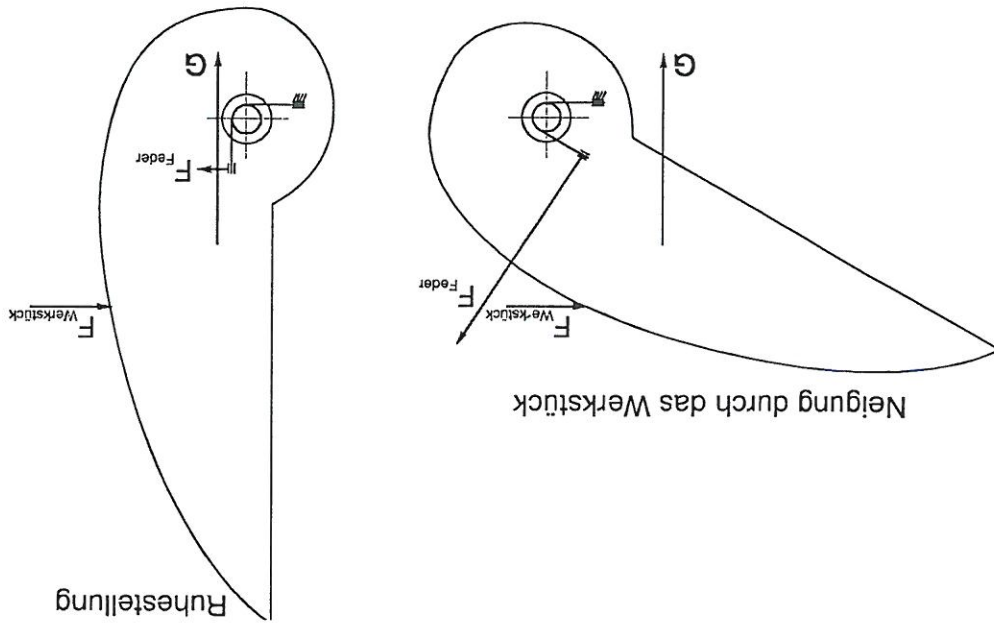


Bild 9.2.5: Kräfte am Verschlussbelement

Von Nachteil bei dieser Anbringung der Verschlussbelemente, ist der höhere Fertigungs- und Montagearaufwand.

Die Verschlussbelemente werden zu je 8 Stück auf Trägern vormontiert und die Federn vorgespannt. Diese Träger können komplett montiert und zum leichteren Austausch einzelner defekter Verschlussbelemente demontiert werden.

Im Dauerlauf haben sich auch nach 20.000 Werkstückdurchläufen keine Beeinträchtigungen an den Elementen gezeigt. Lediglich die Federkraft hat geringfügig nachgelassen ohne das dies einen Einfluß auf die Funktion gehabt hätte.

Es konnten an der Vorderkante der Werkstücke keine Beschädigungen festgestellt werden. Auch auf der Oberfläche der Werkstücke waren keine Kratzspuren zu erkennen.

9.3 Verschlussbelemente für die Werkstückein- und Austrittsöffnung

Für den Verschuß des Werkstückein- bzw. austritts wurden die in Kapitel 7.2 beschriebenen Kunststoffstabelement verwendet. Die Stabelemente wurden unmittelbar im Ein- bzw. Austritt montiert (Bild 9.3.1). Die Stabelemente bestehen aus Acrylglas mit 95 mm Länge, 10 mm Breite und 10 mm Höhe. Die Rückstellung der Stabelemente erfolgt durch die Gewichtskraft und zusätzlich durch Drehfedern in deren Lagerstelle. Die Federn sind erforderlich, damit die Stabelement in ihrer Ruhelage nicht von der einströmenden Luft ausgelekt werden. Dadurch würde sich eine Öffnung bilden aus der Staub- und Späne austreten können.

Beschädigungen an den Elementen konnten nach ca. 20.000 Werkstückdurchläufen bislang nicht festgestellt werden.

Bei Werkstücken mit bogenförmiger bzw. bei einer 45° Vorderkante kam es zunächst zum Bruch der Stabelemente in der Lagerstelle. Dies war darauf zurückzuführen das die Elementkanten aufgrund der angriffenden Querkraft brachen. Durch Abrundung der Kanten

konnte dies Problem behoben werden, wobei keine Beeinträchtigung der Dichtwirkung festzustellen war.

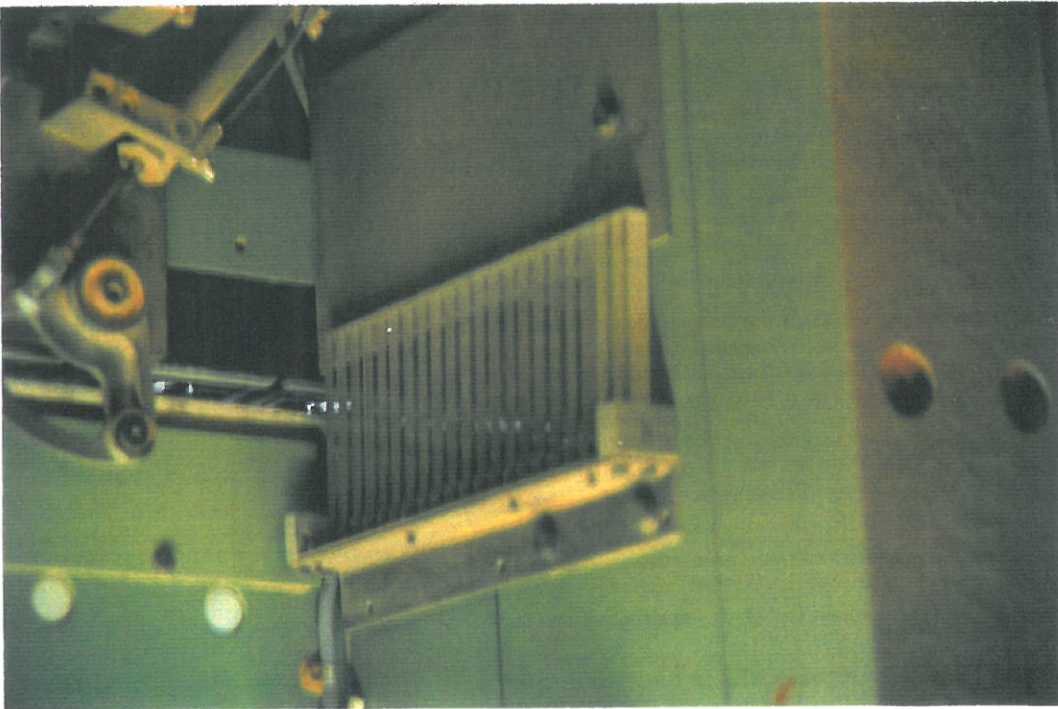


Bild 9.3.1: Stabelemente im Werkstückeintritt

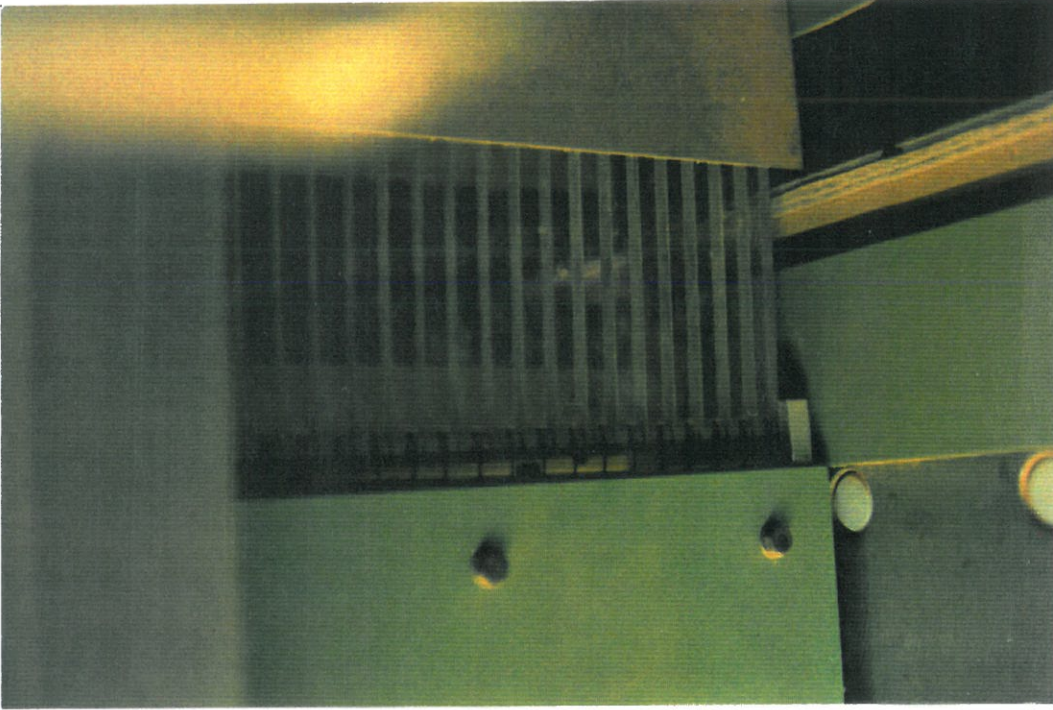


Bild 9.3.2: Stabelemente im Werkstückaustritt

9.4 Separierung der Eckenfräsaggregate

Die beiden Eckenfräsaggregate wurden durch eine Zwischenwand mit einer Durchgangsöffnung für die Werkstücke getrennt. Durch die Separierung wird verhindert, daß sich die Bearbeitungsstationen gegenseitig mit Partikeln beaufschlagen und dadurch beeinflussen. In die Öffnung der Trennwand wurden die Drahtelemente nach Kapitel 7.3 installiert. (Bild 9.4.3).

Es hat sich gezeigt, daß durch die Trennung der beiden Aggregate, eine starke Verwirbelung des Zerspanungsstückes auftritt. Durch den Aufprall der Partikel auf die federnden Metallbürsten fliegen diese in unterschiedliche Richtungen.

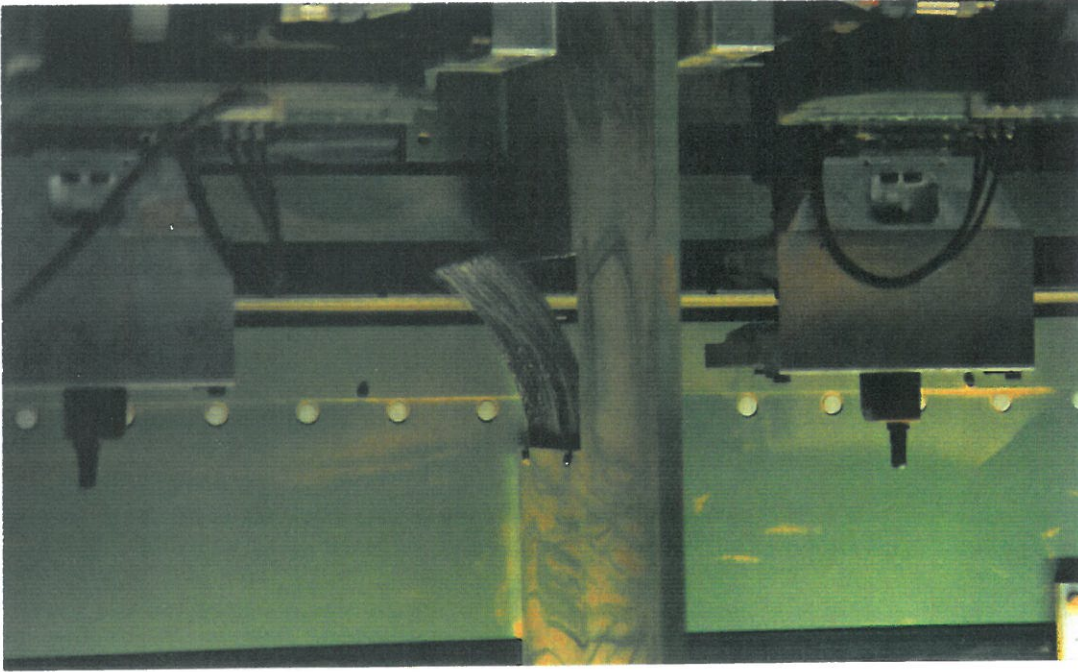


Bild 9.4.3: Drahtelemente zur Separierung der Eckenfräsaggregate

Aufgrund der starken Verwirbelung kommt es auf den Werkstückoberflächen zu größeren Staubablagerungen. Um diese Ablagerungen zu verringern wurde daraufhin eine am Werkstückaustritt der Maschinenkabine befindliche Vorrichtung, zur Abblasung und Absaugung der Werkstückoberfläche, verbessert. Die Staubablagerungen konnten dadurch beseitigt werden.

Versuche die Verwirbelung durch verschiedenen große Hauben, kleinere die das Werkzeug umschließen und größere welche auch die Schlitzen umschließen zu reduzieren, haben sich als ungeeignet erwiesen. Auch verschiedene Leitelemente zur Umlenkung der Spänestrahlen zeigten analog zu den Untersuchungen der Versuchsmaschine keine befriedigende Wirkung. Die Bürsten wiesen nach bislang 20.000 Werkstückdurchläufen keinerlei Verschleiß auf. Die Werkstückoberflächen und -Kanten zeigen keine Kratzspuren.

9.5 Spänefanghaube für das Profilträsaggregat

Grundsätzlich handelt es sich bei dieser Haube um keine Absaughaube sondern um eine Spänefanghaube mit der wesentlichen Aufgabe, daß Zerspannungsgut gezielt umzuleiten. Erforderlich war diese Haube, da die Zerspanleistung beim Fräsen von 45° Ecken so groß ist, daß extrem viel Zerspannungsgut in der Kabine verwirbelt wird. Die Verwirbelung ist so stark, das während des Bearbeitungsprozesses keine Sicht auf die Bearbeitungsstellen in der Maschine besteht. Während der Einfahrzeit für neue Werkzeuge, Werkstücke etc. ist dies jedoch erforderlich.

Der Einlauf der Haube wurde durch die Federbürsten abgeschlossen. Im unmittelbaren Bereich des Spänestrahls wurden die Bürsten doppelt angebracht. Der Auslauf wurde nicht verschlossen.

Die Haube verfügte über ein Späneleitrohr durch das die Späne auf das Transportband im Sedimentationsbecken geleitet werden. Die Innenkontur und der Übergang der Haube zum Rohr sind so gestaltet, daß der Staub und die Späne strömungsgünstig geleitet werden.

Um die hohe Geschwindigkeit der Partikel zu verringern befinden sich im Rohr drei Staubbremsen (Bild 9.5.1).

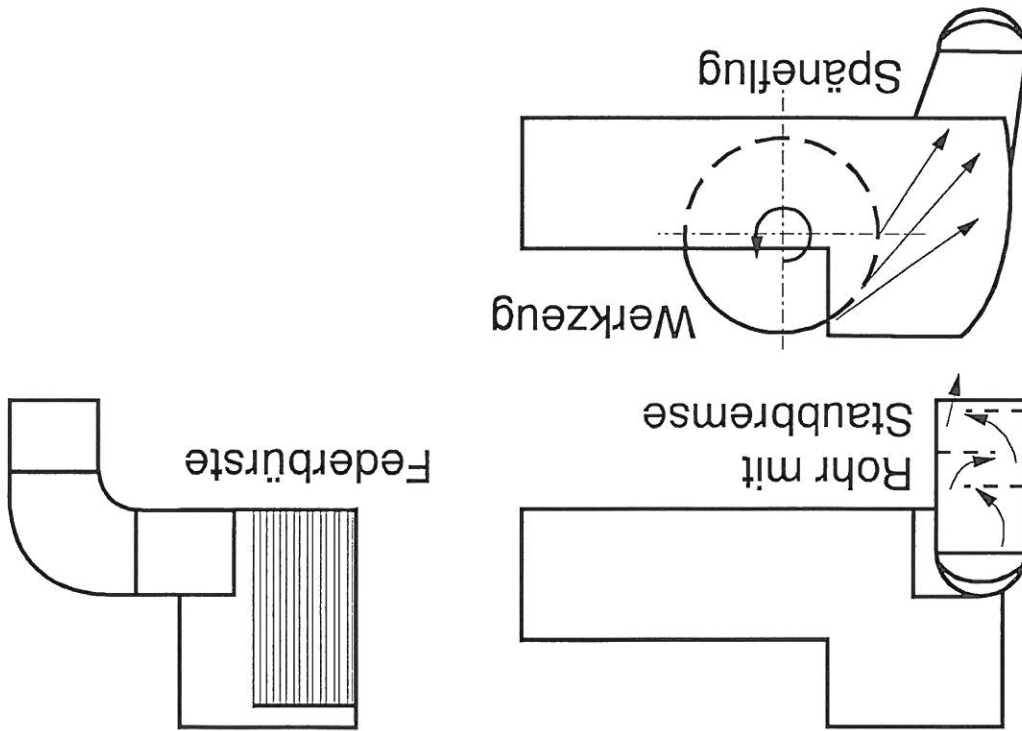


Bild 9.5.1: Spänefling im Rohr der Spänefanghaube des Konturfräsaggregates

Die Wirkung der Spänebremsen war sehr gut wodurch zunächst kein Absauganschluß für diese Haube erforderlich war. Im Betrieb hat sich allerdings gezeigt, daß diese Haube an die Absaugung angeschlossen werden sollte um den Staub vollständig aus der Haube abzusaugen, da sich sonst eine Staubschicht auf dem Werkstück absetzt.

Der Absauganschluß wurde zunächst in die Zentralabsaugung beim Förderband integriert (Bild 9.5.2) und die Spänebremsen aus dem Rohr entfernt. Die Staubschicht auf dem Werkstück wurde dadurch wesentlich geringer aber das Ergebnis war noch nicht zufriedenstellend. Daraufhin wurde der Rohrquerschnitt vergrößert und die Absaugstelle unmittelbar in die Leitung der Zentralabsaugung gelegt (Bild 9.5.3).

Bild 9.5.3: Absaugung der Haube über die Zentralabsaugung

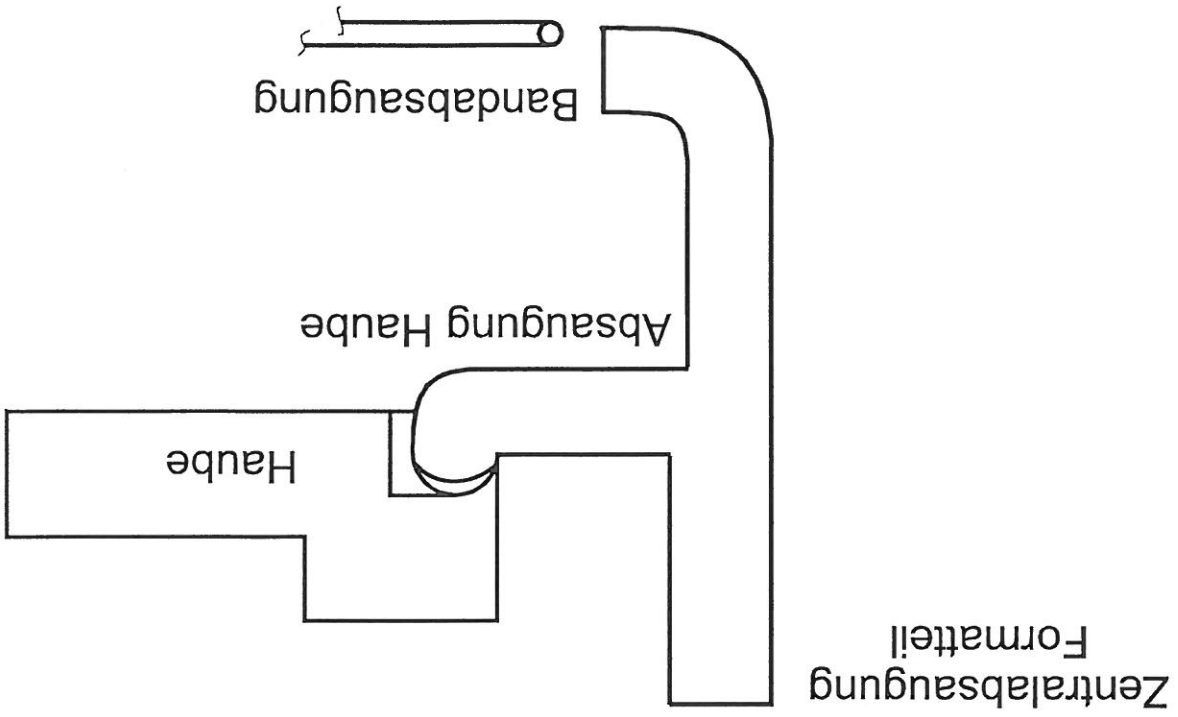
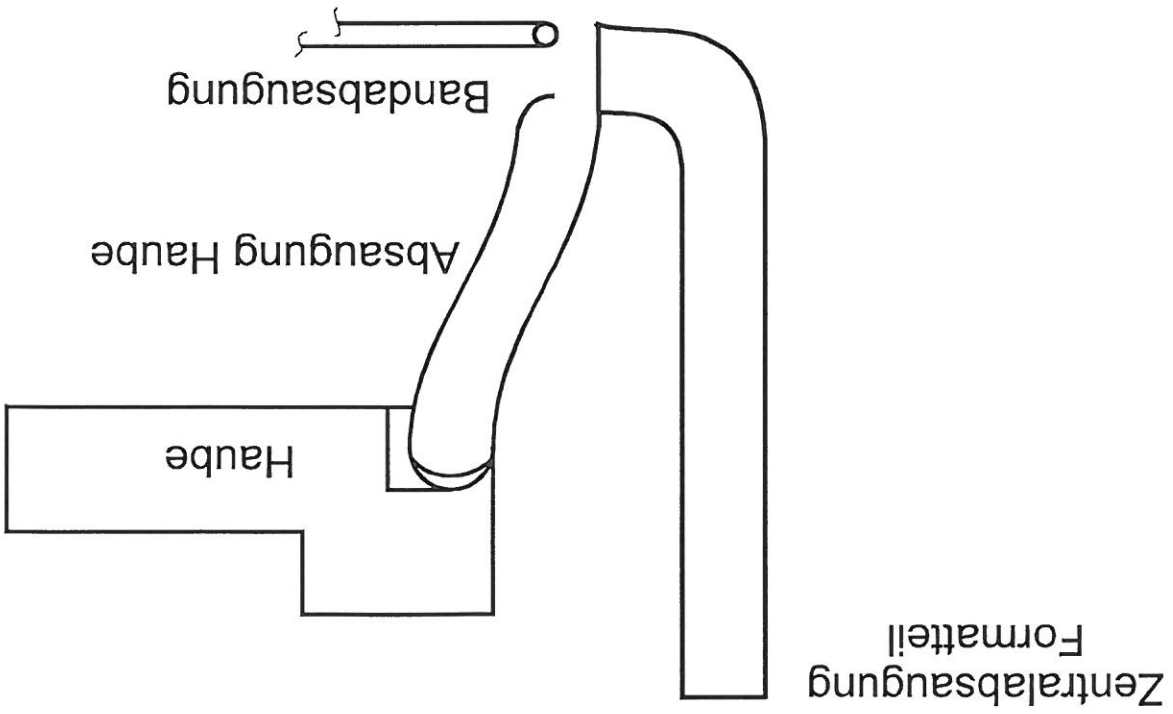


Bild 9.5.2: Absaugung der Haube über den Förderbandanschluß



Mit der Absaugung der Haube (900 m³/h) war die Staubschicht geringer und mit der zusätzlich verbesserten Absaugung und Abblasung der Werkstückoberfläche am Ende des F-Teils (Bild 9.5.4) war das Gesamtergebnis befriedigend.



Bild 9.5.4: Absaug- und blasvorrichtung am Ende des F-Teils

Die Gesamtabsaugleistung der Maschine wurde für den Betrieb der Haube nicht erhöht. Der Absaugvolumenstrom der Haube wurde dem Volumenstrom für die Absaugung des Sedimentationsbehälter abgezweigt. Die Absaugwirkung im Sedimentationsbehälter hat sich dadurch nicht verschlechtert.

Es hat sich kein Einfluß der Haube auf die Bearbeitungsqualität gezeigt. Für die Drahtbürsten kann dasselbe festgestellt werden wie für die Bürsten zwischen den Eckenfräsaggregaten.

9.6 Spülluftventilator und Spülluftdüse

Für die Erzeugung der Spülluft wurde ein Hochdruck-Radialventilator mit 5 kW Nennleistung eingesetzt. Er fördert bei 2800 min^{-1} Umdrehungen $2240 \text{ m}^3/\text{h}$ Luft mit 3450 Pa Gesamtdruck. Nach den Untersuchungen an der Versuchsmaschine wäre ein Ventilator mit $1,5 \text{ kW}$ Motornennleistung ausreichend zur Erzeugung der erforderlichen Spülluftmenge gewesen. Allerdings ist der Einbau (Bild 9.6.1) für den Spülluftkanal sehr eingeschränkt gewesen. Der geringe Bauraum ergibt sich aus der Forderung die einseitige Maschine später zu einer zweiseitigen aufrüsten zu können und durch die Mittenunterstützung im einseitigen Zustand. Dadurch mußte die Spülluftdüse sehr schmal (von 10 mm auf 5 mm abnehmend) gewählt werden. Dies ist notwendig um einen konstanten Druck und damit eine gleichmäßige Strömungsgeschwindigkeit über dem gesamten Maschinenboden zu erreichen.

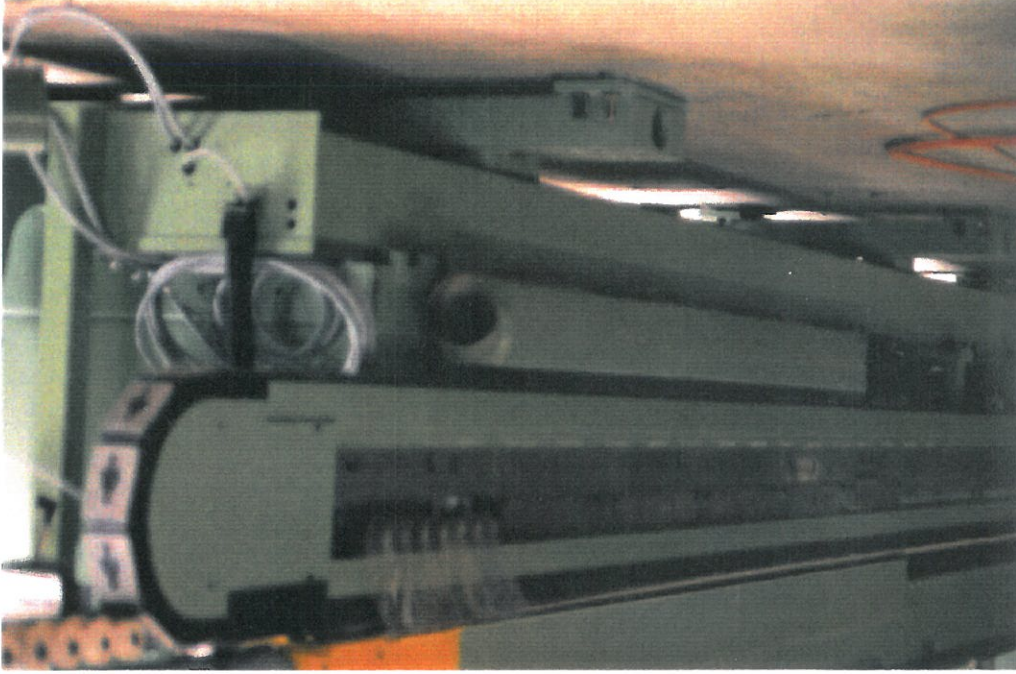


Bild 9.6.1: Einbausituation für den Spülluftkanal

Der gemessene Unterdruck in der Saugleitung des Ventilators beträgt rund 1200 Pa und die gemessene Leistungsaufnahme des Ventilatormotors beträgt $2,9 \text{ kW}$.

Die gemessene Spülluftgeschwindigkeit beträgt ca. 10 m/s entlang des gesamten Maschinenbodens. Spätere Änderungen haben dazu geführt, dass die Strömungsgeschwindigkeit auf ca. 9 m/s sank. Die Wirkung der Spülluft blieb unverändert, keinerlei Zerspannungsgut blieb auf dem Boden liegen.

Der Spülluftkanal wurde an den Verbindungsstellen zur Maschine mit SilikonDICHTmasse versehen um den Austritt von Spülluft und Staub nach außen in die Umgebung der Maschine zu verhindern.

Im Spülluftkanal sind senkrecht zur Einströmrichtung Leitbleche angeordnet, die die Luft um 90° umlenken damit der Boden senkrecht zum Sedimentationsbehälter abgelassen wird (Bild 9.6.2)

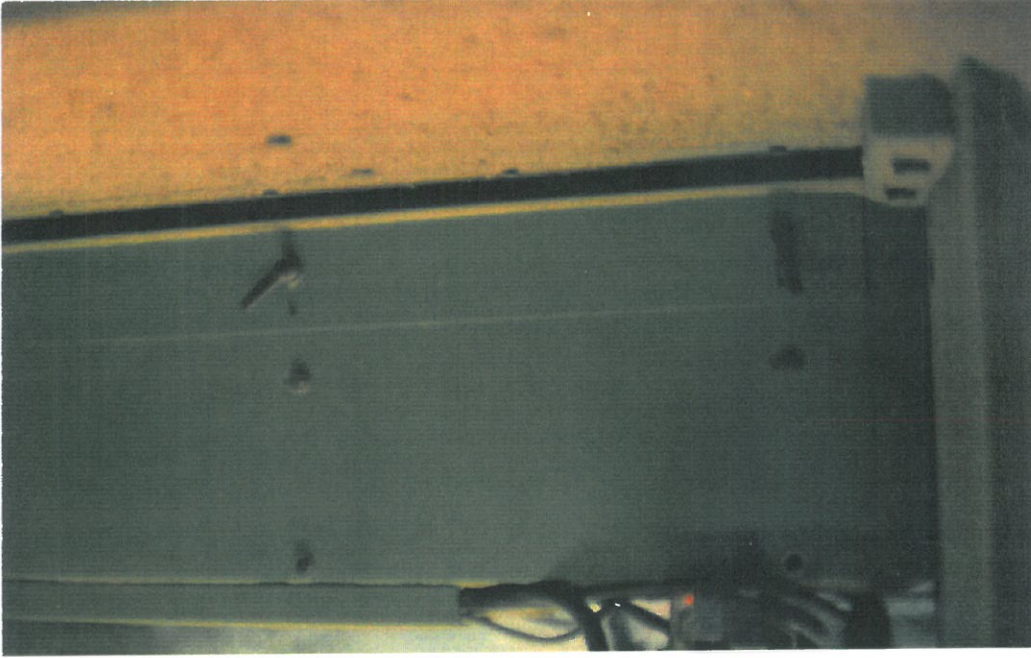


Bild 9.6.2: Umlenkbleche im Spülluftkanal

Die Spülluftdüse kann von 0 mm bis 40 mm Öffnungsweite verändert werden. Bei Verunreinigungen der Düse oder des Kanals durch z.B. langfaserige Späne, wird die maximale Öffnungsweite eingestellt und die Düse freigespült. Grobe Teile können von Hand entfernt werden.

Die Spaltweite beträgt im Bereich des Werkstückeintritts ca. 10 mm und nimmt konstant ab, bis zum Werkstückaustritt mit 5 mm.

Beim Prototypen wird die Spülluft über eine Öffnung von 280 mm Durchmesser in der Kabinendecke abgeführt. Die Leitung wird dann auf 120 mm reduziert, wodurch die Strömungsgeschwindigkeit auf 43,2 m/s bzw. der Spülluftvolumenstrom auf 1782 m³/h ansteigt.

Grundsätzlich wird durch die Spülluft immer einiges Zerspanungsgut im Umlauf gehalten. Es handelt sich dabei nur um Feinstaub und keine Späne, wie die Voruntersuchungen ergaben. Späne gelangen nur in die Ansaugöffnung der Spülluftabsaugung, wenn sie durch den Zerspanungsprozess unmittelbar dorthin fliegen. Allein durch die geringe Strömungsgeschwindigkeit können sie nicht angesaugt werden.

Versuche mit einer Staubsperre, bestehend aus einem Lochblech, vor der Ansaugöffnung der Spülluft haben gezeigt, das hierdurch ein großer Anteil der geförderten Partikel in der Spülluft aufgefangen werden können. Der Vorteil dieser Staubsperre ist daß sich weniger Partikel im Spülluftumlauf befinden.

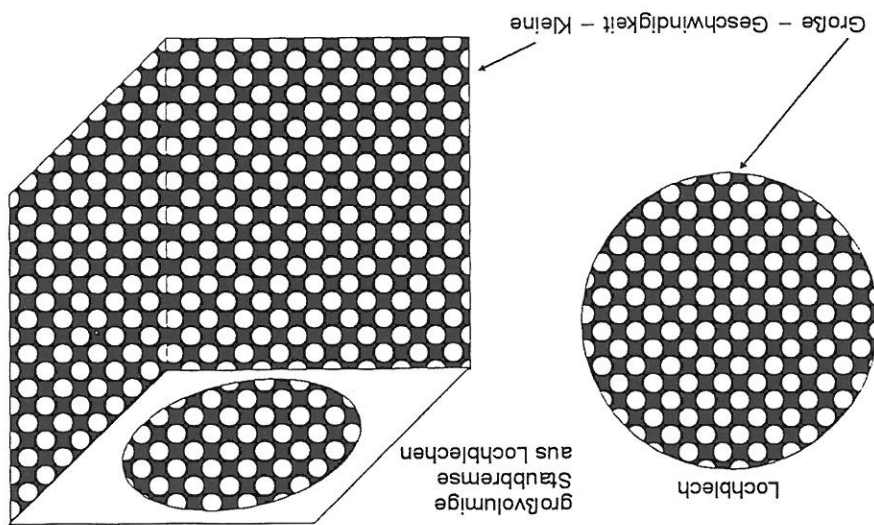
Bei dem zur Verfügung stehenden Bauraum allerdings setzt sich das Lochblech, mit seiner kleinen Oberfläche, nach kurzer Zeit zu. Durch die Verwendung einer großvolumigen Vorrichtung mit Lochblechen (Bild 9.6.3) kann dieses Problem behoben werden.

Außer dem Maschinenboden ist es erforderlich alle anderen Flächen (Aggregate, Aggregatträger etc.) mit Spülluft zu beaufschlagen, um keine Staub- und Späneablagerungen zu erhalten. Alle Parameter für die Spülluft wurden in den Vorversuchen und in der Versuchsmaschine ermittelt und überprüft. Ausgehend davon wurden insgesamt vier

9.7 Spülluftventilatoren für die Aggregate

Hier sinkt die Luftgeschwindigkeit vor den Lochblechen je nach Baugröße (Volumen) erheblich, wodurch die Partikel an das Blech stoßen, dort aber nicht mehr festgesaugt werden. Die Partikel fallen nach unten und das Lochblech bleibt dauerhaft frei von Ablagerungen. Aufgrund des vorhandenen Bauraumes im Prototypen, war es aber nicht möglich diese Vorrichtung zu installieren. Dadurch ist immer ein geringer Anteil Staub im Spülluftumlauf. Es hat sich gezeigt, daß die Menge und die Größe der geförderten Partikel zu keiner Beeinträchtigung der Maschinenfunktionen führen.

Bild 9.6.3: Staubbremse vor der Ansaugöffnung der Spülluft



Axialventilatoren mit 200 Watt Nennleistung, 1800 min^{-1} Umdrehungen und 2100 m^3/h Volumenstrom in den Prototypen eingebaut (Bild 9.7.1).

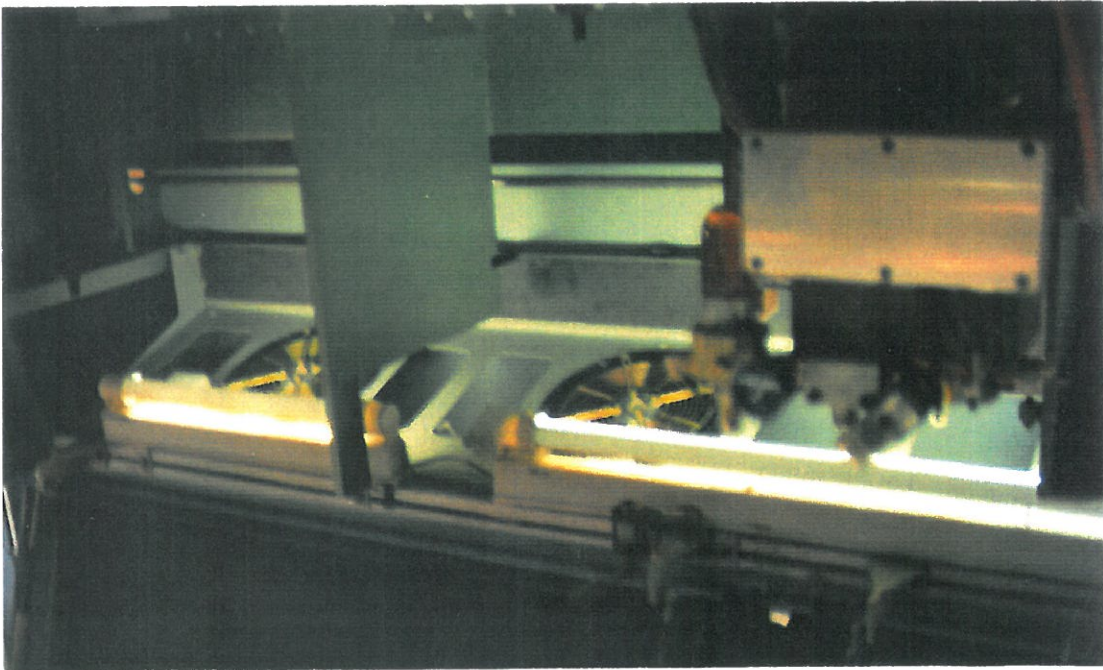


Bild 9.7.1: Spülluftventilatoren im Prototypen

Die Einbautraum (Bild 9.7.2) war so bemittelt, daß es zur Ablösung der Strömung von den Ventilatorblättern kam d. h. der Ventilator konnte nur einen Bruchteil der Luft fördern.

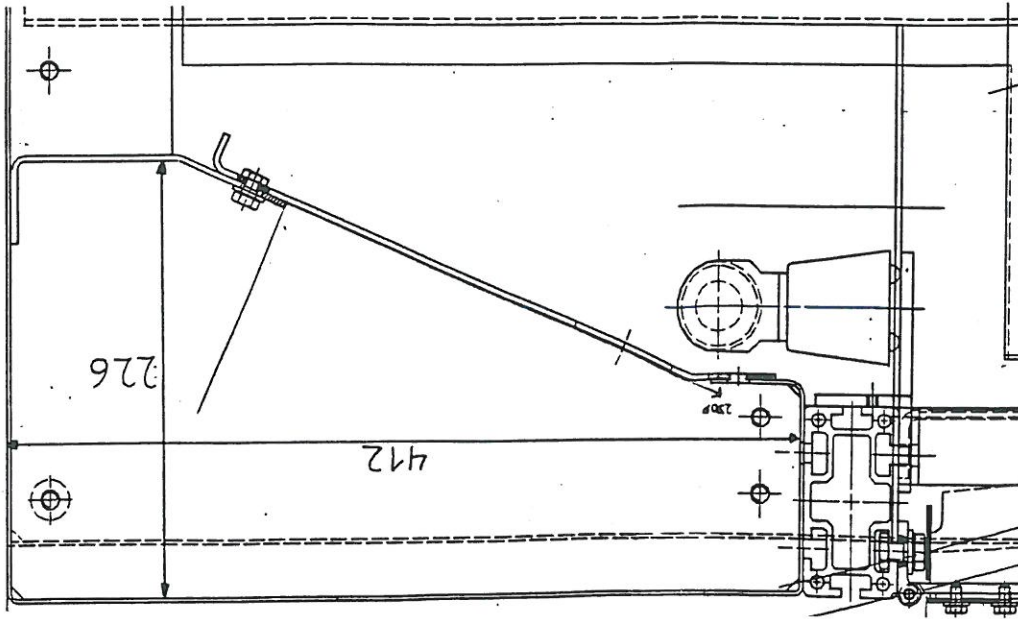
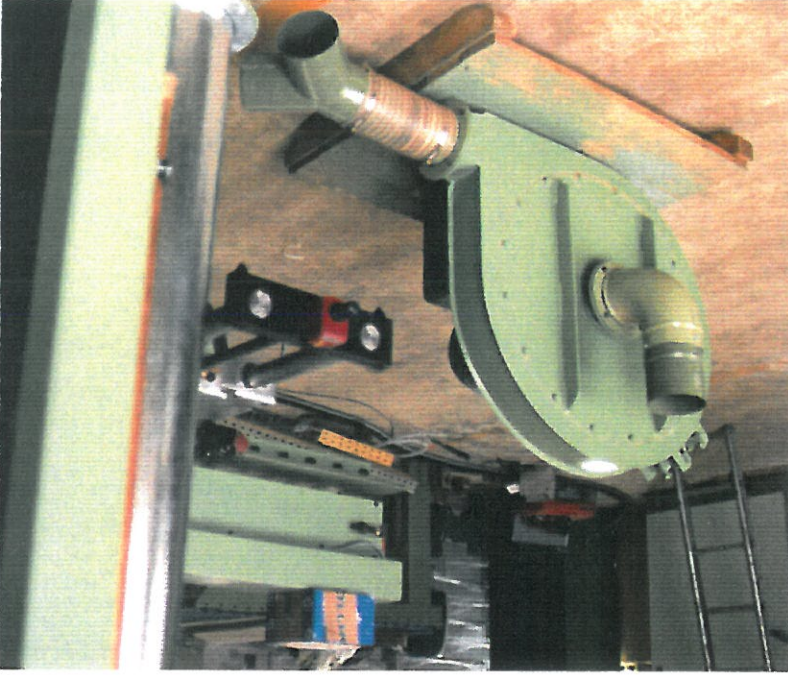


Bild 9.7.2: Einbausituation der Spülluftventilatoren für die Aggregate und Aggregateträger

Bild 9.7.3: Radialventilator mit Y-Verzweigung



Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde ein Teil der Spülluft für den Maschinenboden abgezweigt und über flexible Leitungen den Aggregateflächen zugeführt.

Die Spülluft durch andere Ventilatoren die sich innerhalb der Maschinenkabine befinden zu erzeugen, ließ sich aufgrund des kleinen zur Verfügung stehenden Raums nicht realisieren.

Späneablagerungen freizuhalten.

Die Ventilatoren wurden nach zahlreichen Versuchen demontiert und durch kleinere mit nur 1200 m³/h Volumenstrom ersetzt. Auch mit diesen Ventilatoren zeigte sich keine wesentliche Verbesserung, da es auch hier zu Strömungsablösungen kam. Noch kleinere Ventilatoren zeigten keine Ablösungen mehr, jedoch war das geförderte Volumen zu gering. Die erreichbare Luftgeschwindigkeit ist damit nicht ausreichend gewesen, um die Flächen von Staub- und Späneablagerungen freizuhalten.

Die Vergrößerung der Ansaugöffnungen (je 2 flächengleiche pro Ventilator) brachte keine Verbesserung. Nur durch einen größeren Abstand der Ventilatoren zur Maschinenwand seitlich und oben, ist eine Verbesserung zu erreichen gewesen. Aufgrund des großen Verfahrensweges der Aggregate und der Höhe der Ständer ließ sich dies nicht realisieren.

Die restlichen Flächen wie die Oberseiten der Ständer und des Profilfräsaggregates wurden nicht abgelassen. Nachdem Strömungsmessungen ergeben haben, daß die Spülluftgeschwindigkeit am Maschinenboden durch die Abzweigung eines Teils des Spülluftvolumenstromes um 0,5 m/s auf 9,5 m/s abnahm, wurden weitere Verzweigungen

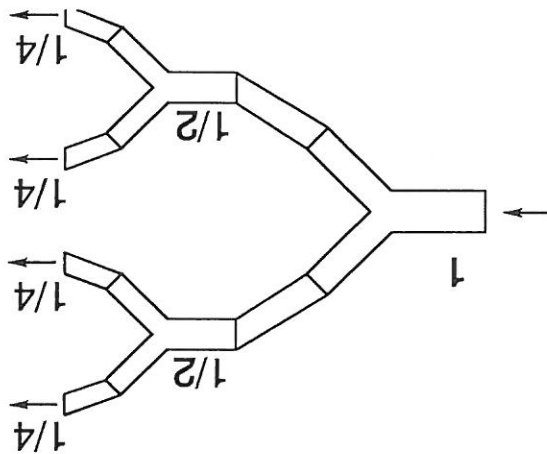
Die Suporte wurden aufgrund ihrer großen Länge nicht vollständig abgelassen, da der Luftstrom weniger gut auffächerte.

Durch die hohe Strömungsgeschwindigkeit wurden die Aggregate vollständig abgelassen, da der Luftstrom beim Auftreffen auf die Oberflächen auffächerte.

Die Rohröffnungen wurden auf die beiden Eckenfräsaggregate und deren Suporte gerichtet. Die Ausblasgeschwindigkeit betrug zwischen 35 m/s und 42 m/s je nach Länge der Rohre. Der Volumenstrom betrug zwischen 90 m³/h und 106 m³/h je Rohr. Der gesamte Spülluftvolumenstrom für die Aggregateflächen betrug damit ca. 400 m³/h.

Auf die Enden der vier Äste wurde je ein flexibler Metallschlauch mit 30 mm Durchmesser gesteckt, die gebogen werden können und dann in ihrer Lage verharren.

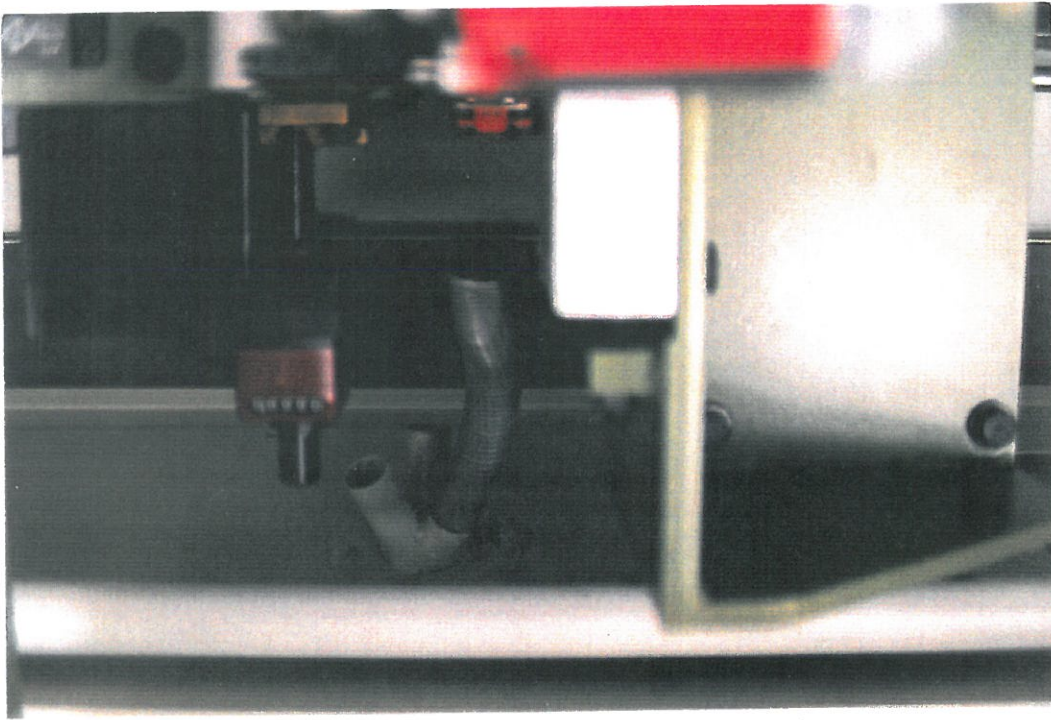
Bild 9.7.4: Verzweigung der Spülluft



Y-Verzweigung mündete (Bild 9.7.4).

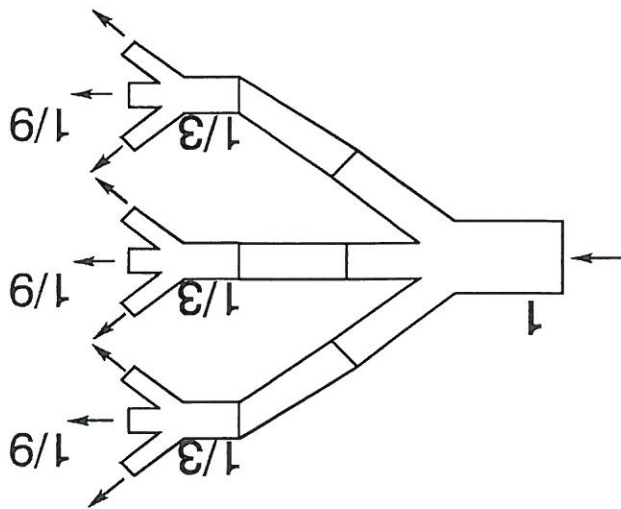
Ein Verteiler für die Spülluft saß oben in der Maschinenabdeckung und verfügt in ersten Untersuchungen über eine Y-Verzweigung von der jeder Abzweig wieder in einer

Bild 9.7.6: Spülluftzuführung für das Konturfräsaggregat



Im Bild 9.7.5 sind die dreifachen Verzweigungen zu sehen, wobei je drei Ausgänge für ein Aggregat vorgesehen waren. Auf dieses Verzweigungen wurden unterschiedlich lange flexible Metallschläuche montiert und auf die einzelnen Flächen ausgerichtet. Die Bilder 9.7.6 bis 9.7.8 zeigen die Spülluftzuführung für die Aggregate.

Bild 9.7.5: Dreifachverzweigungen für die Aggregatspülluft



installiert um auch diese Flächen mit Spülluft beaufschlagen zu können.

Spülluftzuführung unverändert rund 2,9 kW.

Die Leistungsaufnahme des Spülluftventilators betrug nach allen Abänderungen der

Bild 9.7.8: Spülluftzuführung für das zweite Eckenfräsaggregat

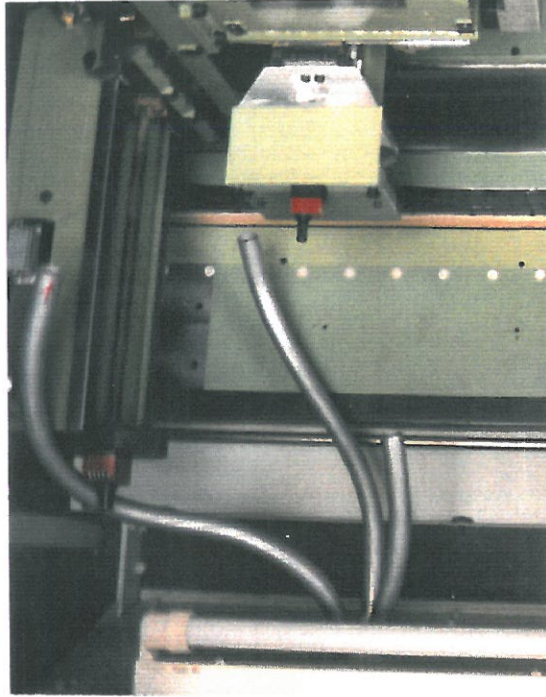
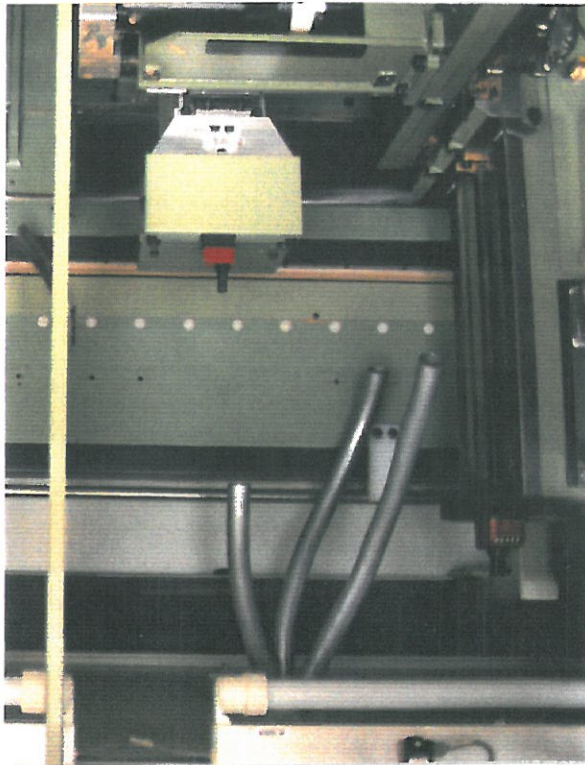


Bild 9.7.7: Spülluftzuführung für das erste Eckenfräsaggregat



Die Strömungsgeschwindigkeiten in den Röhren lag zwischen 35 m/s und 40 m/s. Der gesamte Volumenstrom für alle drei Aggregate betrug damit ca. 900 m³/h.

Die Strömungsgeschwindigkeit über dem Maschinenboden betrug nach dem Einbau der insgesamt 9 Spülluftzuführungen, noch 9 m/s und war damit ausreichend groß um alle Partikel abzublasen.

Es gibt allerdings innerhalb der Maschine nach wie vor Flächen die nicht abgeblasen werden konnten. Auch mit länglichen Flachdüsen auf den Metallschlauchenden und der damit verbesserten Auffächerung können diese nicht erreicht werden.

Im Prototyp konnte somit das Spülluftprinzip nicht vollständig verwirklicht werden, da die räumlichen Voraussetzungen für eine effiziente Spülluftzerzeugung (Axialventilatoren) nicht gegeben sind.

Statt einzelner Schläuche sind, vergleichbar mit der Spülluftdüse am Maschinenboden, auch für die Aggregatflächen etc. Ausblasdüsen denkbar, die sich über die gesamte Maschinenlänge erstrecken und unter verschiedenen Winkeln von oben auf die Flächen blasen (Bild 9.7.9).

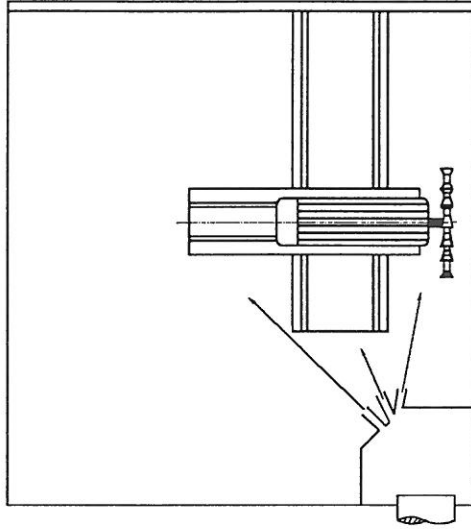


Bild 9.7.9: Mehrfachdüse für die oberen Flächen

Denkbar ist auch eine kontinuierlich schwenkende Ausblasdüse welche die gesamte Fläche überdeckt (Bild 9.7.10).

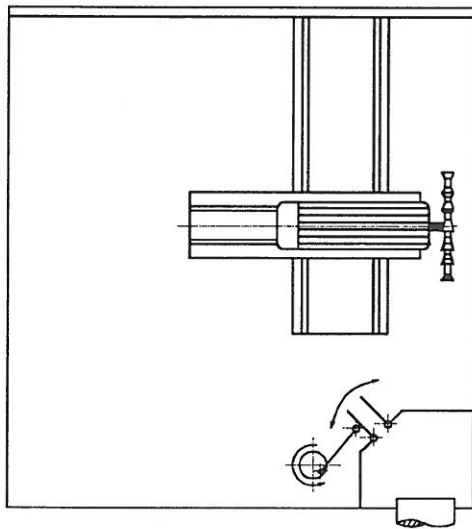


Bild 9.7.10: Schwenkbare Ausblasöffnung für die obere Spülluft

9.8 Staubmessung des Prototypen

Der mit der neuen Entsorgungstechnik ausgerüstete Prototyp, wurde staubtechnisch untersucht. Die insgesamt 6 Meßpunkte sind im Bild 9.8.1 zu sehen, wobei Meßpunkt 5 im Raum gewählt wurde, um die Umgebungsbelastung (Zentrallager des Möbelherstellers) zu erfassen.

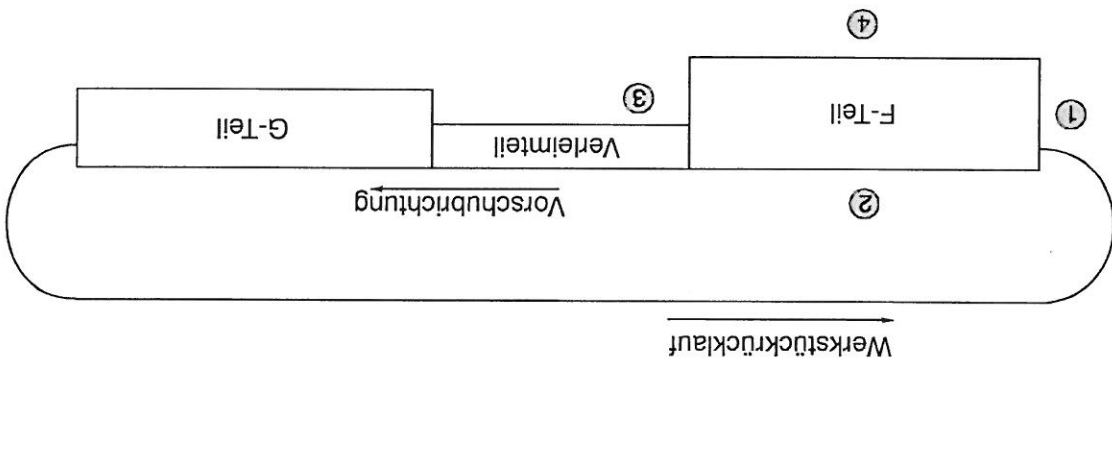


Bild 9.8.1: Meßpunkte für die Staubmessung des Prototypen

Als Werkstoff wurde beschichtete Spanplatte von 19 mm Dicke, 600 mm Länge und 450 mm Breite verwendet. Die Meßdauer betrug 45 Minuten, die Anzahl der Werkstücke 270.

Die Bedienung erfolgte durch zwei Personen die sowohl für die Beschickung der Maschine, als auch für die Abstapelung der Werkstücke verantwortlich waren.

Die Werte in den Meßpunkten 1, 2, 3 und 4 sind ausschlaggebend für die Bewertung der Staubemission der Maschine. Der Meßwert sollte hier nicht über dem Richtwert von 2 mg/m^3 der Gefahrstoffverordnung liegen. In den folgenden Diagrammen (Bild 9.8.2 bis 9.8.5) sind die Meßwerte dargestellt.

Bild 9.8.3: Meßwerte der Messung 2

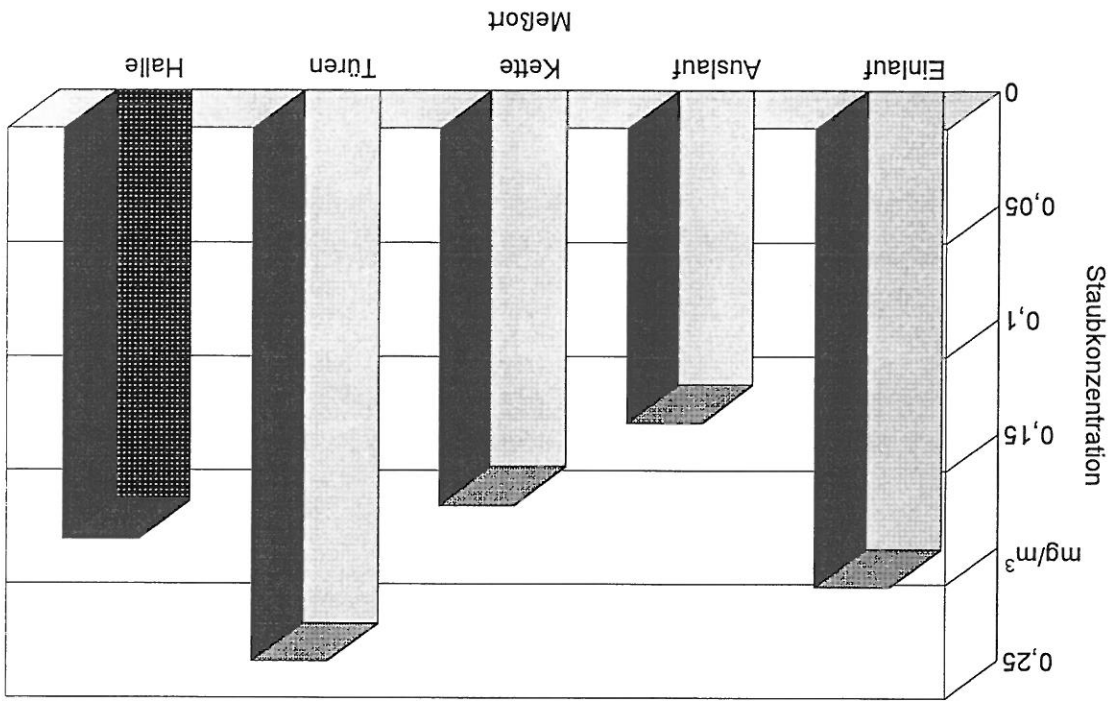


Bild 9.8.2: Meßwerte der Messung 1

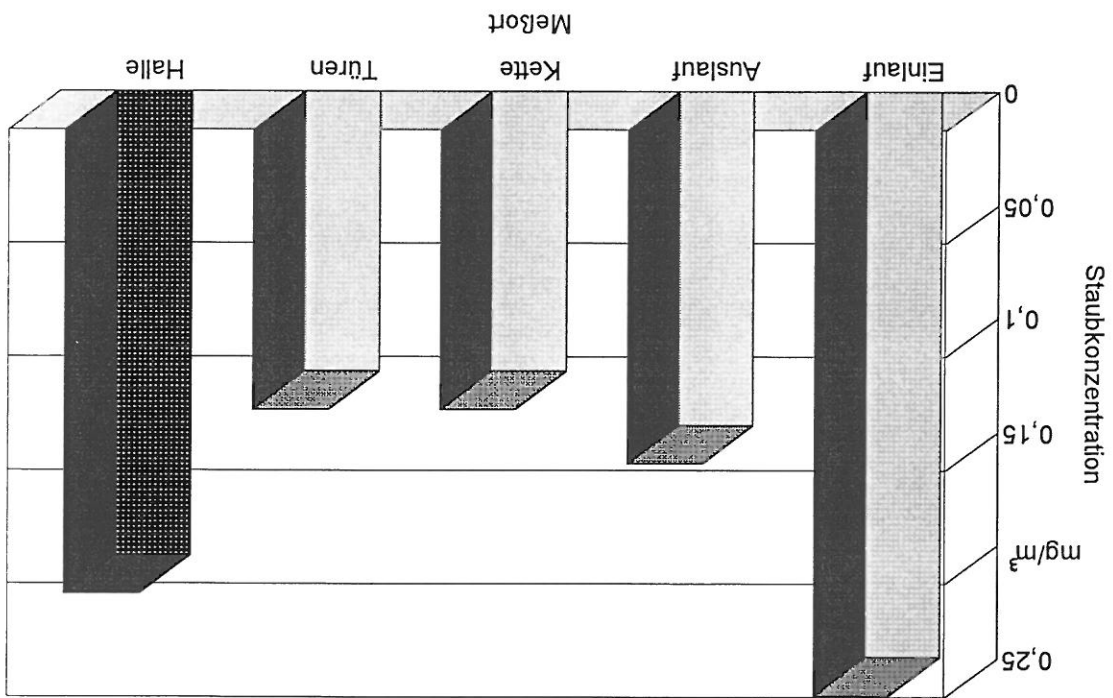


Bild 9.8.5: Mittelwert der Messungen

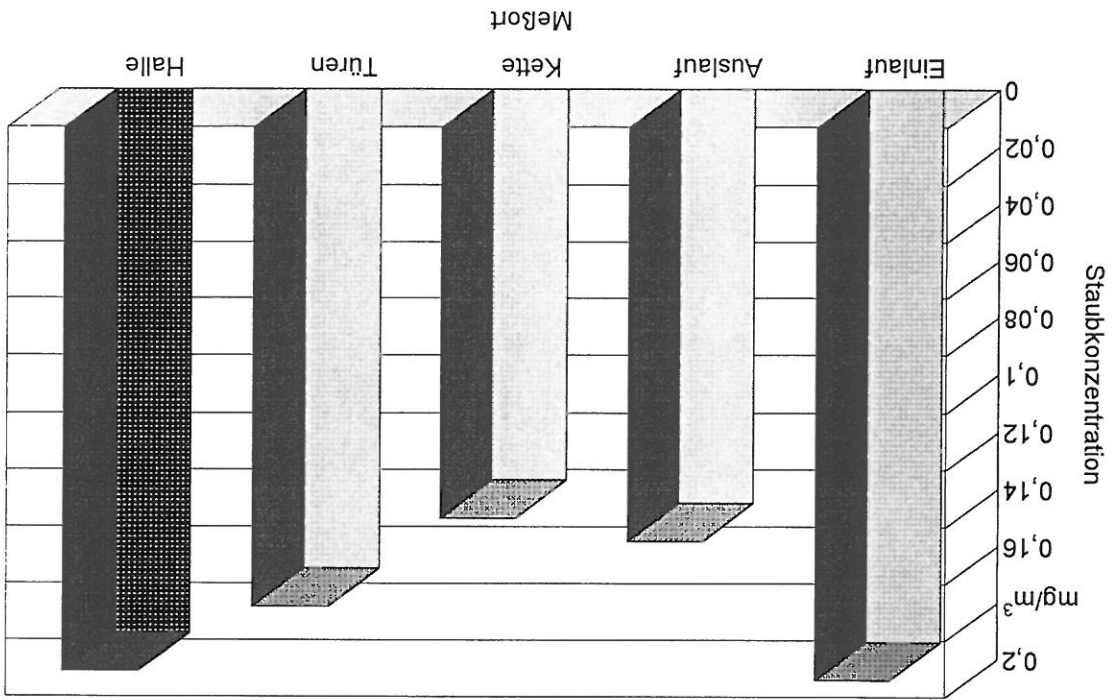
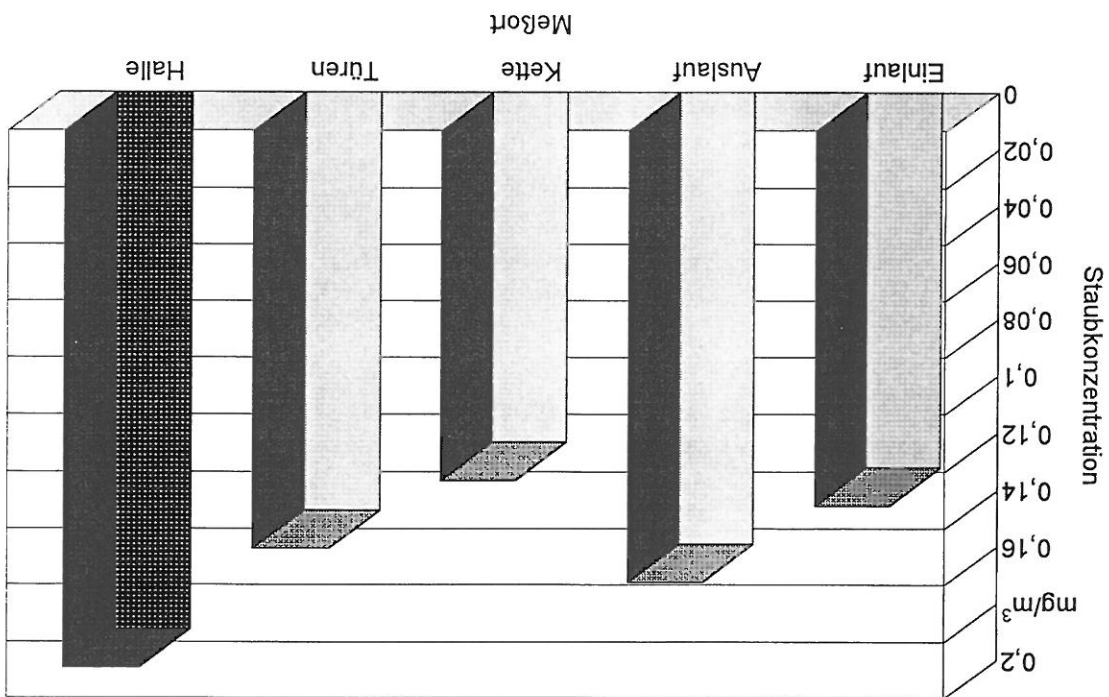


Bild 9.8.4: Meßwerte der Messung 3



Bei Messung 1 liegen die Meßwerte zum Teil etwas höher, da während dieser Messung ständig ein Gabelstapler Paletten aus dem Lager transportierte und unmittelbar an der Maschine vorbei, zu einem der beiden ca. 6 m von der Maschine entfernten Aufzüge transportierte. Bei Messung 2 und 3 fuhr der Stapler weniger oft in das Lager, wodurch die Werte etwas niedriger liegen.

Der hohe Meßwert in Punkt 5 kommt ebenfalls durch den Stapler zustande, da dieser Meßpunkt unmittelbar neben den beiden Aufzugtüren lag und es dort beim Öffnen und Schließen der Türen zu starken Luftströmungen kam, die am Boden liegenden Staub aufwirbelten.

Im Meßpunkt 1 resultiert der gegenüber den anderen Punkten höhere Meßwert aus dem Beschickungs- und Abstapelvorgang, der unmittelbar in dessen Nähe durchgeführt wurde.

Bemerkenswert ist der geringe Meßwert im Punkt 2 unmittelbar bei der Transportkette, da hier die höchsten Staubkonzentrationen erwartet wurden.

Der etwas höhere Meßwert im Punkt 4 bei den Türen der Maschine ist darauf zurückzuführen, daß einer der Bediener von Zeit zu Zeit das Verleimteil kontrollierte. Dabei passierte er diese Meßstelle mit geringem Abstand von ca. 500 mm.

Der für die Beurteilung der Maschine relevante Mittelwert liegt mit $0,161 \text{ mg/m}^3$ deutlich unter dem TRK-Wert von 2 mg/m^3 .

9.9 Strömungsmessungen

Im folgenden sind die Messergebnisse der Strömungsmessungen innerhalb des Spülluftsystems des Prototypen und der Absauganlage dargestellt. Gemessen wurden die Strömungsgeschwindigkeit über dem Maschinenboden, in den neun Spülluftdüsen für die Aggregate, in der Zu- und Ableitung des Spülluftventilators sowie in der Absaugleitung. Aus den Strömungsgeschwindigkeiten und den Leitungsquerschnitten wurde dann der Volumenstrom berechnet.

Volumenstrom der Absaugleitung des F-Teils:	2.872 m ³ /h
Volumenstrom der Spülluftzuleitung der Bodendüse:	1.122 m ³ /h
Volumenstrom der Aggregatspülluft:	900 m ³ /h

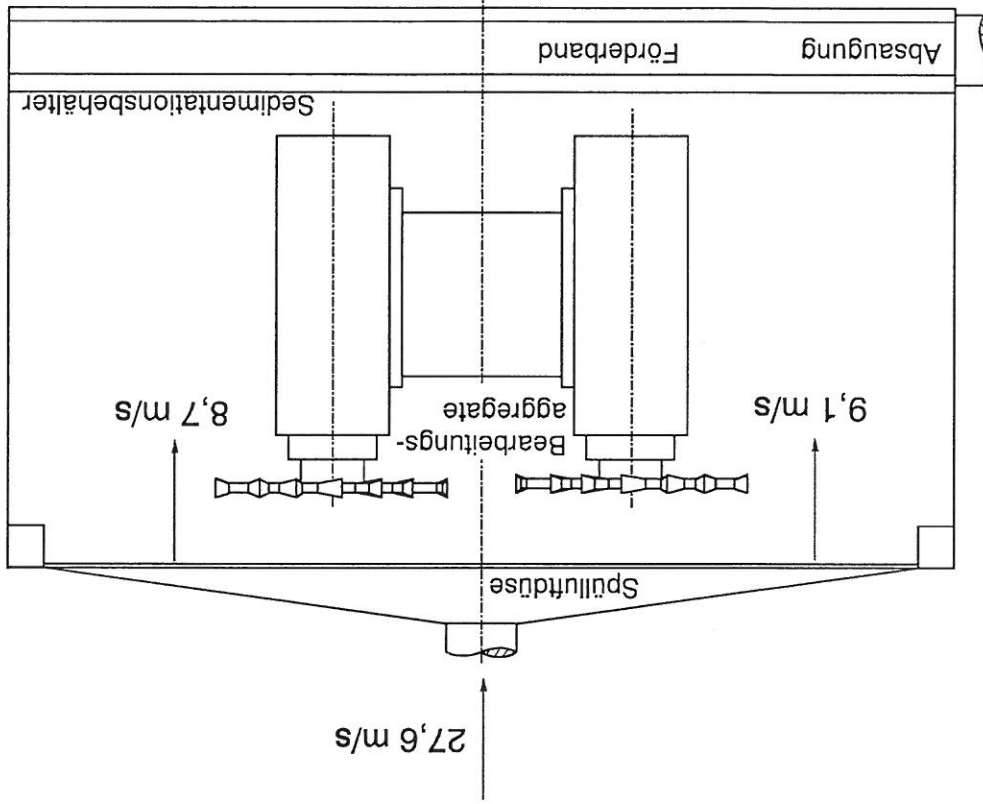


Bild 9.9.1: Strömungsgeschwindigkeit über dem Maschinenboden

Die Strömungsgeschwindigkeit über dem Maschinenboden ist völlig ausreichend um Ablagerungen zu verhindern.

Bis auf geringe Mengen in toten Winkel und Vertiefungen, bleibt der Boden frei von Partikeln.

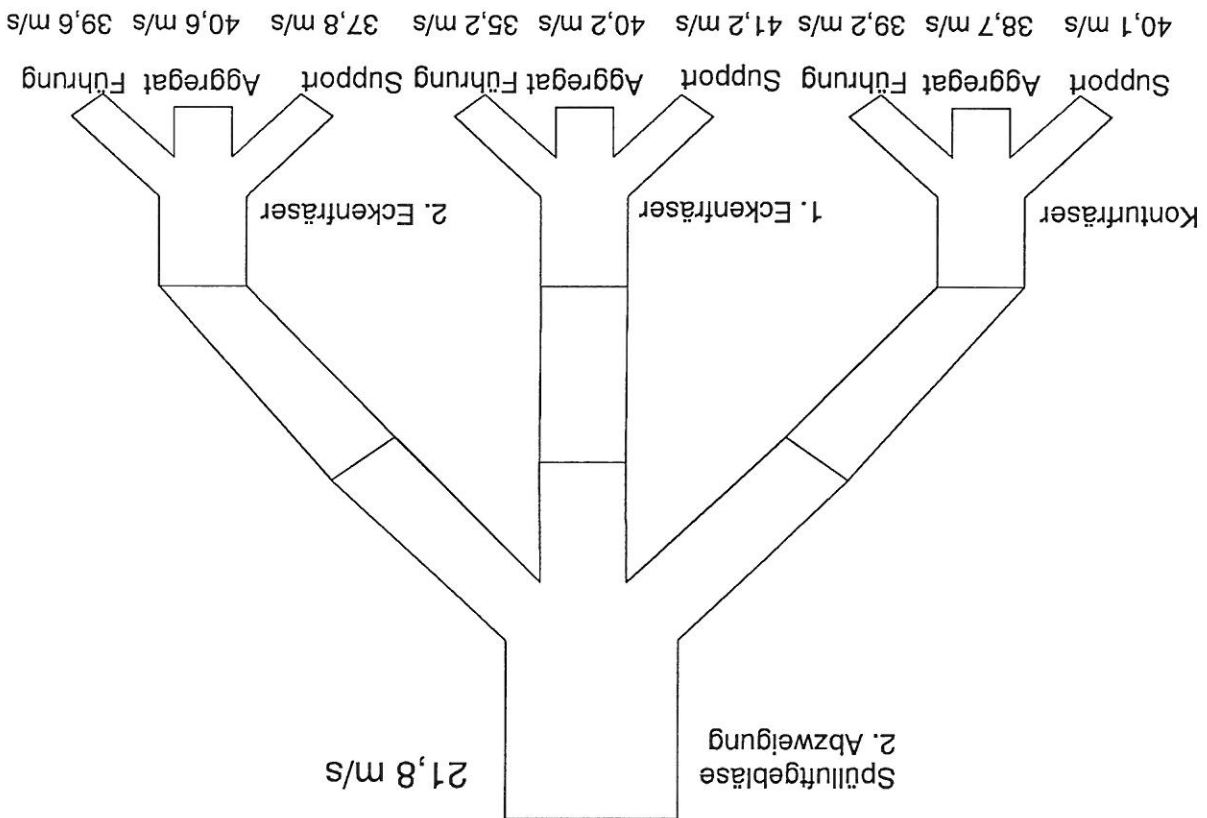


Bild 9.2: Strömungsgeschwindigkeiten in den 9 Spülluftdüsen für die Aggregate

Im Bild 9.2 sind die Meßwerte in den Spülluftdüsen für die Aggregate, Führungen und Supporte dargestellt.

Die Strömungsgeschwindigkeiten sind unmittelbar in den Austrittsöffnungen der Röhre gemessen worden. Sie nehmen bis zu den Aggregat-, Ständer- und Führungsoberflächen um rund 50% ab. Die Oberflächen werden jedoch bis auf Ecken und Hohlräume in denen nur eine geringe Strömungsgeschwindigkeit herrscht, vollständig abgeblasen.

Der Spülluftventilator ist nach den Meßergebnissen überdimensioniert und kann gegen einen Radialhochdruck-Ventilator mit 3 kW Nennleistung ausgetauscht werden.

9.10 Energiebilanz des Prototypen

Bei der Energiebilanz wird der erforderliche Energiebedarf der Serienausführung zur Absaugung des F-Teils der Maschine mit dem Prototypen verglichen. Zur Absaugleistung des F-Teils muß die Leistung des Spülluftventilators hinzuzaddiert werden. In der Tabelle 9.10.1 sind die Ergebnisse dargestellt.

Herkömmliche Absaugung F-Teil				
Neues Konzept F-Teil + Spülluftventilator				
Absaugleistung [kW]	14,2	8,9		
Absaugvolumenstrom [m ³ /h]	6.650	2.800		
Investitionskosten ca. [DM]	19.950	8.400		
Betriebskosten pro Jahr [DM] incl. Raumnachheizungskosten	7.965	4.354		

Tabelle 9.10.1: Energiebilanz für den Prototypen

Aufgrund der Staubmessungen kann davon ausgegangen werden, daß auch mit noch geringerer Absaugleistung ein befriedigendes Ergebnis erzielt werden kann. Der Energiebedarf des Spülluftaggregates kann bei besserer Auslegung des Spülluftdüse für den Maschinenboden von 3 kW auf 2 kW gesenkt werden.

10 Zusammenfassung

Ziel dieses Forschungsvorhabens, war es den Energieaufwand für die Entsorgung des Zerspanungsgutes von Durchlaufmaschinen in der Holzbearbeitung zu reduzieren und gleichzeitig die Staub- und Späneemission zu senken.

Das neu entwickelte und in diesem Forschungsvorhaben, untersuchte Entsorgungskonzept ist geeignet diese Anforderungen zu erfüllen.

Das Prinzip basiert auf den zwei wesentlichen Prinzipien, Spülluft in Verbindung mit Sedimentation der Partikel und einer wesentlich verbesserten Abdichtung der Maschine.

Bei stark verminderter Absaugung kommt es in der Maschine bei Raum- und Einzelabsaugung zu Ablagerungen innerhalb der Maschinenkabine. Die Spülluft bläst diese sedimentierten Partikel gezielt in einen sog. Sedimentationsbehälter. In diesem Behälter befindet sich am Boden ein Förderband, daß die Partikel zur zentralen Absaugstelle befördert. Mit gezielten Spülluftströmen werden außerdem innerhalb der Maschine alle Funktionsflächen von Partikeln freigehalten um die Funktionssicherheit zu gewährleisten.

Die Abdichtung der Maschine wurde verbessert, da bei verminderter Absaugleistung erhebliche Mengen an Staub und Spänen aus den Öffnungen der Maschine austreten. Durch entsprechend flexible Elemente für den Werkstückein- und Austritt sowie die Öffnung zwischen Oberdruck und Kettenbahn konnte dies realisiert werden. Die Staub- und Späneemissionen konnten dadurch unter den gesetzlich vorgeschriebenen Wert von 2 mg/m^3 gesenkt werden.

Der Energieaufwand für die Entsorgung konnte um 50 % reduziert werden, wobei durch entsprechend günstiger Auslegung der Maschine sowie der Absaug- und Spülluftelemente 70 % erreichbar sind.

Das in diesem Forschungsvorhaben untersuchte Entsorgungskonzept kann auf den Formatbearbeitungsteil, in dem die Zerspaltung der Holzwerkstoffe erfolgt, angewendet werden. Jedoch für den Nachbearbeitungsteil der Durchlaufmaschinen, in dem die Kunststoffkanten bearbeitet werden, ist dieses Konzept nicht ohne weiteres einsetzbar.

Die bei der Kunststoffzerspaltung entstehenden Späne sind elektrostatisch aufgeladen. Es wäre aufgrund dessen außerordentlich schwierig die Partikel gezielt an eine definierte Position zu befördern, da die Partikel immer bestrebt sind an einer Oberfläche anzuhafeln. Um dies zu verhindern müßte die Aufladung der Partikel verhindert werden.

Der Energieaufwand zur Entsorgung dieser Partikel ist zudem sehr hoch, da dieselben hohen Absauggeschwindigkeiten wie bei der Absaugung der Holzpartikel benötigt werden, jedoch im Vergleich nur ein Bruchteil an Zerspaltungsgut anfällt. Der Energieaufwand für das Spülluftkonzept im Nachbearbeitungsteil wäre ebenfalls sehr hoch, da eine wesentlich größere Fläche abgeblasen werden muß als im Formatteil.

Weiterhin sind die Kunststoffpartikel aus PVC, ABS, Acryl und Polypropylen usw. unerwünscht, da sie sich mit den Holzpartikeln in der Absauganlage vermischen und bei einer anschließenden Verbrennung giftige Gase erzeugen können.

Für den Nachbearbeitungsteil existiert somit bislang keine geeignete Methode um das Kunststoff-Holzspänegemisch sinnvoll zu entsorgen. Hier besteht noch ein erheblicher Forschungsbedarf, insbesondere muß die elektrostatische Aufladung der Partikel untersucht werden.

11 Literatur

- [1] VDI 2225 Blatt 1+2: Grundlagen des technisch-wirtschaftlichen Konstruierens
- [2] Langenbeck, K.: Vorlesungsskript Praxis des systematischen Konstruierens Universität Stuttgart Institut für Maschinenelemente 1988
- [3] VDI Richtlinie 2222/1: Ablaufplan der Konstruktionsmethode
- [4] Rodenacker, W: Methodisches Konstruieren Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1970
- [5] Bosnjakovic, F: Technische Thermodynamik Band 1,6 Dresden 1972
- [6] Köhler, Rognitz: Maschinenteile B.G. Teubner 1988
- [7] Lechner, G.: Konstruktionslehre 1-4. Vorlesungsskript Universität Stuttgart Institut für Maschinenelemente 1986
- [8] Kovats, A. D.; Desmur, G.: Pumpen, Ventilatoren, Kompressoren G. Braun Verlag 1968

- [9] Eck, B.: Ventilatoren Springer Verlag 1972
- [10] Krause, W.: Zahnriemengetriebe Hütting Verlag 1988
- [11] Bohl: Ventilatoren Vogel Buchverlag 1983
- [12] Hahne, E.: Thermodynamik Girardet Verlag 1992
- [13] Niemann, G. u. Winter, H.: Maschinenelemente Band 1, 2, 3 Springer Verlag 1986
- [14] Loomann, J.: Zahnradgetriebe Springer Verlag 1988
- [15] Antriebstechnik Handbuch 92 Vereinigte Fachverlage 1992
- [16] Müller, S.: Grundlagen eines Späneentsorgungskonzeptes Diplomarbeit am IfW Uni Stuttgart 1993

- [17] Recknagel / Sprenger:
Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik
R. Oldenburg München Wien 1981
- [18] Rötischer, H.:
Industrielle Absauganlagen
Gesundheitsingenieur 1954 Nr. 19/20
- [19] Demner, W. J.:
Theoretische und experimentelle Untersuchungen an dreidimensionalen
Wirbelströmungen für industrielle Absauganlagen
IPA-IAO Veröffentlichung Springer-Verlag 1993
- [20] Weber, M.:
Strömungsfördertechnik
Krauskopfverlag Mainz 1974
- [21] Brühl, H.:
Einfluß von Feinstoffen in Korngemischen auf den hydraulischen Feststofftransport in
Rohrleitungen
Technische Universität Hannover H 43 1976
- [22] Schauki, N.:
Der Widerstand von Zylindern und Kugeln bei instationären Verhältnissen
Universität Karlsruhe Dissertation 1972
- [23] Möller, H.:
Untersuchung über den pneumatischen Transport von Feinstaub in einer
horizontalen Förderleitung
Universität Karlsruhe Dissertation 1964

- [24] Hupe, H. R.; Pfeifer, W.; Röttele, S.:
Erfassungsanlagen für luftfremde Stoffe. Grundlagen-Auslegung-Ausführung
VDI-Kommission Düsseldorf Reinhaltung der Luft 1985
- [25] Franzgrote, W.:
Entstaubungstechnik in der Holz- und Möbelindustrie
Holz und Kunststoff 1987 Nr. 5
- [26] Heisel, U.:
Entstaubungskonzepte in der Holzindustrie. Vortrag auf dem 8. Holztechnischen
Kolloquium in Bransschweig 1991
- [27] Muschelkautz, E.:
Theoretische und experimentelle Untersuchungen über die Druckverluste
pneumatischer Förderleitungen unter besonderer Berücksichtigung des
Einflusses von Gutmischung und Gutgewicht
VDI Forschungsheft 476 Düsseldorf 1959
- [28] Kotesovec, V.:
Das Strömungsfeld von Fräswerkzeugen
Holztechnologie 29 Nr. 3 1988
- [29] Drakl, F.:
Theoretische Bestimmung der Strömungsverhältnisse bei Saugschlitzfen
Heizung Lüftung Klima 21 Nr. 5 1971
- [30] Church, C.; Snow, J.:
Measurement of axial pressures in tornado-like Vortices
Journal of the atmospheric sciences Vol 42 1985

- [31] Loy, F.; Durst, F.; Teach: Ein Berechnungsverfahren für zweidimensionale laminare und turbulente Strömungen
Universität Karlsruhe IFH 1981
- [32] TRGS 553
Gefahrstoffverordnung
Holz Berufsgenossenschaft
- [33] Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik Technische Universität Braunschweig 9. Holztechnisches Kolloquium (HTK)
Vulkan-Verlag 1994
- [34] Westkämper, E.; Licher, E.; Prekwinkel, F.: Hochgeschwindigkeitszerspanung von Holz und Holzwerkstoffen,
Holz und Kunststoff 25, 1990, S. 1438-1441
Holz und Kunststoff 26, 1991, S. 300-302
- [35] Beyer, P.-H.: Technologie von CNC-Holzbearbeitungsmaschinen
Cornelsen Girardet Verlag 1991
- [36] Westkämper, E.; Bertling, L.; Freytag, J.; Fuß, M.; Prekwinkel, F.: Konstruktive Maßnahmen zur Reduzierung der Staubemission an spanenden Holzbearbeitungsmaschinen
Vulkan Verlag Essen 1991
- [37] Heisel, U.; Tröger, J.; Steihoff, R.; Fischer, A.: Berührungsloses Meßverfahren zur Beurteilung der Struktur bearbeiteter Holzoberflächen.
HOB Die Holzbearbeitung 44, 1991, S. 18 - 24

- [38] Tröger, J.; Kröppelin, D.:
Zum Einfluß der Gestalt der Schneidenecke beim Kreissägen
HOB Die Holzbearbeitung 45 1992
HOB Die Holzbearbeitung 45 1992
- [39] Heisel, U.; Tröger, J.:
Zum Stand der Erkenntnisse über die am Schneidkeil wirkenden Kräfte
(Manuskript bei "Holz- und Kunststoffverarbeitung")
- [40] Heisel, U.; Tröger, J.: Holz- und Metallbearbeitung, Gemeinsames und Unterschiede
(Manuskript bei "Maschinenmarkt")
- [41] n.n. IfW der Universität Stuttgart:
Untersuchung, Optimierung und Neuentwicklung von Maschinen und Verfahren in der
Holzbearbeitung
HOB 38 (1991) 5, S.51, ebenso in: Holz-Zentralblatt Nr. 52/ 53 vom 03.05.1991
- [42] Heisel, U., Fujii, Y. und Eggert, O.:
Japanische Holzbearbeitungsmaschinen weiter im Aufwind
HOB 38 (1991) 5, S. 175 - 178
- [43] Eggert, O.:
Werkzeugüberwachung durch Körperschall zur Brucherkennung (EMO-Report)
DIMA 45 (1991) 9, S. 28 - 32
- [44] Eggert, O.:
Zerkleinern und Briкетieren als Entsorgungskonzept mit Energierückfluß
HOB 40 (1993) 7/8, S. 65 - 68

- [45] Egger, O.:
Stromerzeugung zur ökologischen Verwertung von Rest- und Abfallholz
HOB 41(1994) 6, S. 65 - 66
- [46] Egger, O.:
Lösungsansätze zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit auf HTK diskutiert -
Bericht vom 9. Holztechnischen Kolloquium (HTK), 1. Teil
HOB 41 (1994) 7/8, S. 48 - 50
- [47] Egger, O.:
Recycling und ökologische Aspekte der modernen Holzbearbeitung - Bericht vom 9.
Holztechnischen Kolloquium (HTK), 3. Teil und Schluß
HOB 41 (1994) Nr. 6, S. 80 - 86.
- [48] Heisel, U.; Lang, E.:
Einflußgrößen auf die Staubemission von Handoberfräsmaschinen
HOB 40 (1993) Nr.5, S.100 - 113
- [49] Heisel, U.; Lang, E.:
Staubabsaugung an Elektrowerkzeugen
Trockenbau und Akustik (1992) Nr.7, S. 56 - 67
- [50] Heisel, U.; Lang, E.:
Staub- und Geräuschemission von Handkreissägen
Trockenbau und Akustik (1992) Nr.10, S. 34 - 41 Teil 1, (Teil 2 1993)
- [51] N,N.:
Internationale Eisenwarenmesse in Köln mit Aussteller- und Besucherrekord.
HOB 39 (1992) Nr.4, S. 53 - 57.

- [52] Lang, E.: Eisenwarenmesse in Köln: Der technische Fortschritt zeigt sich im Detail HOB - Die Holzbearbeitung 39 (1992) Nr.5, S. 98 - 104.
- [53] N.N.: Verbesserungen im Detail bei Elektrowerkzeugen HOB - Die Holzbearbeitung 40 (1993) Nr. 6, S. 54 - 58
- [54] Heisel, U.; Lang, E.: Staub- und Späneerfassung - Schwachstelle bei Handkreissägemaschinen HOB 38 (1991) Nr.6, S. 57 - 64.
- [55] Müller S.: Lösungsansätze zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit auf HTK diskutiert HOB September (94) Nr.10, S.72
- [56] Heisel, U.; Weiss, E.: Langbandschleifmaschine - eine Maschine mit kritischer Stauberfassung HOB Die Holzbearbeitung 40, 1994, S. 72 - 76
- [57] Heisel, U.; Niemeyer W. H.; Weiss, E.: Lärm- und staubarmer Fräsprozess mit wendelförmigen Schneiden HOB Die Holzbearbeitung 40, 1990, S. 90 - 98