Betonwerk Godelmann KG
Industriestraße 1 – 92269 Högling

Demonstrationsvorhaben Trockenschleifanlage

Abschlussbericht

BMU-Programm zur Förderung von Demonstrationsvorhaben
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
gefördert unter dem Az: K II b 1 – 001443 der KfW Bankengruppe

von

Bernhard Godelmann

Januar 2011

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis III

Tabellenverzeichnis IV

Zusammenfassung 5

1 Einleitung 6

1.1 Hintergrund 6

1.2 Vorhaben 6

1.3 Umsetzung 7

2 Hauptteil 10

2.1 Grundlagen 10

2.1.1 Betonwaren 10

2.1.2 Schleifverfahren 15

2.2 Nassschleifverfahren 18

2.2.1 Prozessablauf 18

2.2.2 Funktion des Wasser 20

2.2.3 Komponenten der Wasseraufbereitung 21

2.2.4 Abfallprodukte 26

2.3 Trockenschleifverfahren 28

2.3.1 Motivation 29

2.3.2 Prozessablauf 30

2.3.3 Trockenschleifprozess 35

2.3.4 Abfallprodukte 37

2.3.5 Diskussion der Ergebnisse 42

2.4 Ökologische Bewertung 43

2.5 Ökonomische Bewertung 46

3 Umsetzung 50

A Anhang 51

Anlagenverzeichnis 51

A.1 Erste Anlage 51

A.2 Zweite Anlage 51

Quellenverzeichnis 52

Literaturverzeichnis 52

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1–1: Wasseraufbereitung 8
Abbildung 2–1: Betonelement 11
Abbildung 2–2: Pflastersteine 12
Abbildung 2–3: Terrassenplatten 12
Abbildung 2–4: Schleifprozess 16
Abbildung 2–5: Aufbau einer Schleifscheibe 17
Abbildung 2–6: Layout Nassschleiflinie 18
Abbildung 2–7: Kalibriermaschinen 19
Abbildung 2–8: Wasseraufbereitung 21
Abbildung 2–9: Auswaschanlage 22
Abbildung 2–10: Wasseraufbereitungsanlage 23
Abbildung 2–11: Filterpresse 24
Abbildung 2–12: Filterkuchen 26
Abbildung 2–13: Layout des neuen Trockenschleifprozess 30
Abbildung 2–14: Bild des neuen Trockenschleifprozess 31
Abbildung 2–15: Maschineneinstellung 31
Abbildung 2–16: Trockenschleifstation im Schnitt 32
Abbildung 2–17: Leitbleche 33
Abbildung 2–18: Serviceklappe mit Absaugstutzen 34
Abbildung 2–19: Terrassenplatten Granit Hell und Anthrazit 36
Abbildung 2–20: In- und Output Nassschleifprozess 43
Abbildung 2–21: In- und Output Trockenschleifprozess 44

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Übersicht verschiedener Zusatzstoffe 13
Tabelle 2-2: Leistung und Preis der Wasseraufbereitung 25
Tabelle 2-3: Mengenberechnung 27
Tabelle 2-4: Materialstückliste der Terrassenplatten 35
Tabelle 2-5: Vergleich Nass- und Trockenbearbeitung 45
Tabelle 2-6: Vergleich der Fixkosten 46
Tabelle 2-7: Vergleich der Variablen Kosten 48

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Einsatz von Trockenschleifanlagen als umweltverträglichen Prozess zum Schleifen von Betonwaren. Der Grund für das Trockenschleifen besteht darin, Fertigungstechnologien mit minimalen Belastungen für die Umwelt zu verwenden.
Bisher erfolgt die Bearbeitung mit dem Kühlmedium Wasser. Dazu ist eine Wasseraufbereitung mit einem hohen Energiebedarf notwendig. Das anfallende Abfallprodukt beim Schleifprozess, der Schleifschlamm, muss auf Deponien entsorgt werden.
Bei einem Trockenschleifprozess kann das Abfallprodukt „Staub“ der Produktion zurückgeführt werden. Es entsteht ein geschlossener Kreislauf, durch den sich neben ökologischen auch ökonomische Vorteile realisieren lassen.

Mit dem Trockenschleifen ist es möglich, beim Schleifen von Betonwaren auf die Verwendung von Wasser zu verzichten. Die Entsorgung eines Abfallprodukts entfällt vollständig. Es fällt kein Schleifschlamm mehr an. Der anfallende Staub beim Trockenschleifen wird wieder in der Produktion verwendet. Die Staubmengen, welche der Produktion wieder zugeführt werden, können an natürlichen Rohstoffen 1:1 eingespart werden.
Da unser Unternehmen in Deutschland einen geschätzten Marktanteil von ca. 1 % bei geschliffenen Betonprodukten hat, und wir in 2010 ca. 62.000 m² geschliffene Betonplatten und Pflastersteine gefertigt haben, schätzen wir in Deutschland ein Volumen von ca. 6,5 Mio. m² dieser Beläge für den Freiraum. Bei einem Abtrag von durchschnittlich 4 mm/m² entspricht dies einer Menge von ca. 26.000 m³, oder ca. 70.000 to, Schleifstaub.

1 Einleitung

Der Wertschöpfungsprozess wird heute nicht mehr nur von technischen und wirtschaftlichen Aspekten charakterisiert. Die öffentliche Diskussion beleuchtet mehr und mehr deren Folgen für die menschliche und natürliche Umwelt. Produzenten finden sich dadurch in einem ständigen Spannungsfeld aus Technologie, Ökonomie und Ökologie.

1.1 Hintergrund

Zunehmende Umweltprobleme und verschärfte gesetzliche Vorschriften erfordern eine stetige Weiterentwicklung von Produkten und Fertigungsprozessen. Das Ziel besteht darin, das Produkt und seine Erstellung umweltfreundlich zu gestalten.
Bei der Produktion steht neben der Leistung und den qualitativen Eigenschaften auch besonders die Umweltverträglichkeit der Fertigung im Vordergrund. Doch nicht nur das ökologische Gewissen gegenüber nachfolgenden Generationen fördert den Umweltgedanken. Auch große wirtschaftliche Vorteile können durch eine umweltfreundliche Fertigung realisiert werden. Steigende Kosten für Energie, Ressourcen und Abfallentsorgung prägen das Bewusstsein der Unternehmen, in eine umweltfreundliche Fertigung zu investieren. Daneben stellt der praktizierte Umweltschutz inzwischen ein wichtiges Marketinginstrument der Betriebe dar.

1.2 Vorhaben

Durch den Einsatz innovativer Technologien wurde ein neues Prozessverfahren entwickelt, bei der der ökologische Aspekt der Produktion im Mittelpunkt steht. Die Fa. Godelmann hat durch den Einsatz dieser fortschrittlichen Verfahren ein komplett neues Produktionswerk errichtet, in dem erstmalig eine optimierte Anlagenkombination den fortschrittlichen Stand der Technik zur Verminderung von Umweltbelastungen aufzeigt und als Demonstrationsvorhaben in großtechnischem Maßstab dient.

1.3 Umsetzung

Derzeit wird beim Schleifen von Beton- und Betonwerksteinplatten mit Diamant- und Karborundumwerkzeugen gearbeitet. Ein ungekühlter Zerspanungsvorgang würde sowohl beim zu bearbeitenden Betonprodukt, als auch bei der Bearbeitungsmaschine zu Schäden, die bis zur Zerstörung gehen können, führen. Um diese destruktiven Folgen zu verhindern, erfolgt derzeit beim Fräsen und Schleifen von Betonprodukten eine Kühlung mittels Wasser (bis 150 m3/h), wodurch das Problem der Schleifschlammentsorgung entsteht.

Durch das Fräsen und Schleifen der Betonprodukte entstehen Feststoffe, die zusammen mit dem Kühlwasser (1) zunächst in einem Vorfluter (Schleifwasserbecken) (2) gesammelt und durch eine Schöpfeinrichtung grob abgetragen werden. Das verbleibende Gemisch, bestehend aus Wasser, Zement, Mehlkorn und Farbpigmenten, wird in eine Wasseraufbereitungsanlage (Sedimentationssilo) (3) gepumpt. Um die Trennung der Partikel von Wasser zu beschleunigen, erfolgt mittels einer Flockungsmitteldosierstation (4) eine Beimischung von Polyelektrolyten. Das dadurch entstandene, überstehende Wasser an der Silooberkante wird von abfiltrierbaren Stoffen befreit und in ein Klarwassersilo (5) abgeleitet. Das geklärte Wasser weist einen extrem hohen pH-Wert auf und muss daher vor dem Wiedergebrauch neutralisiert werden. In einem Reaktorbehälter (6) werden Chemikalien zugegeben und durch die Zugabe von Säure wird der pH-Wert reduziert. Mit einer entsprechenden Pumpstation (7) wird das behandelte Wasser als Kühlmittel wieder der Schleifmaschine zugeführt.

Der im Sedimentationssilo (3) anfallende Schlamm, bestehend aus Zement, Zusatzmittelrückständen, Farbpigmenten und Flockungsmittel, muss weiterbehandelt werden, um ihn in eine transportfähige und deponiefähige Form zu bringen. Dies geschieht durch den Einsatz von Filterkammerpressen (8), in denen durch Drücke bis 300 bar zwischen den Filtertüten eine ausreichende Feststoffdichte für die Deponierung erzeugt wird (Trockensubstanzgehalt max. 50 %). Der entstehende Filterkuchen (8) wird in einem Container gesammelt und anschließend zur Deponie gebracht.

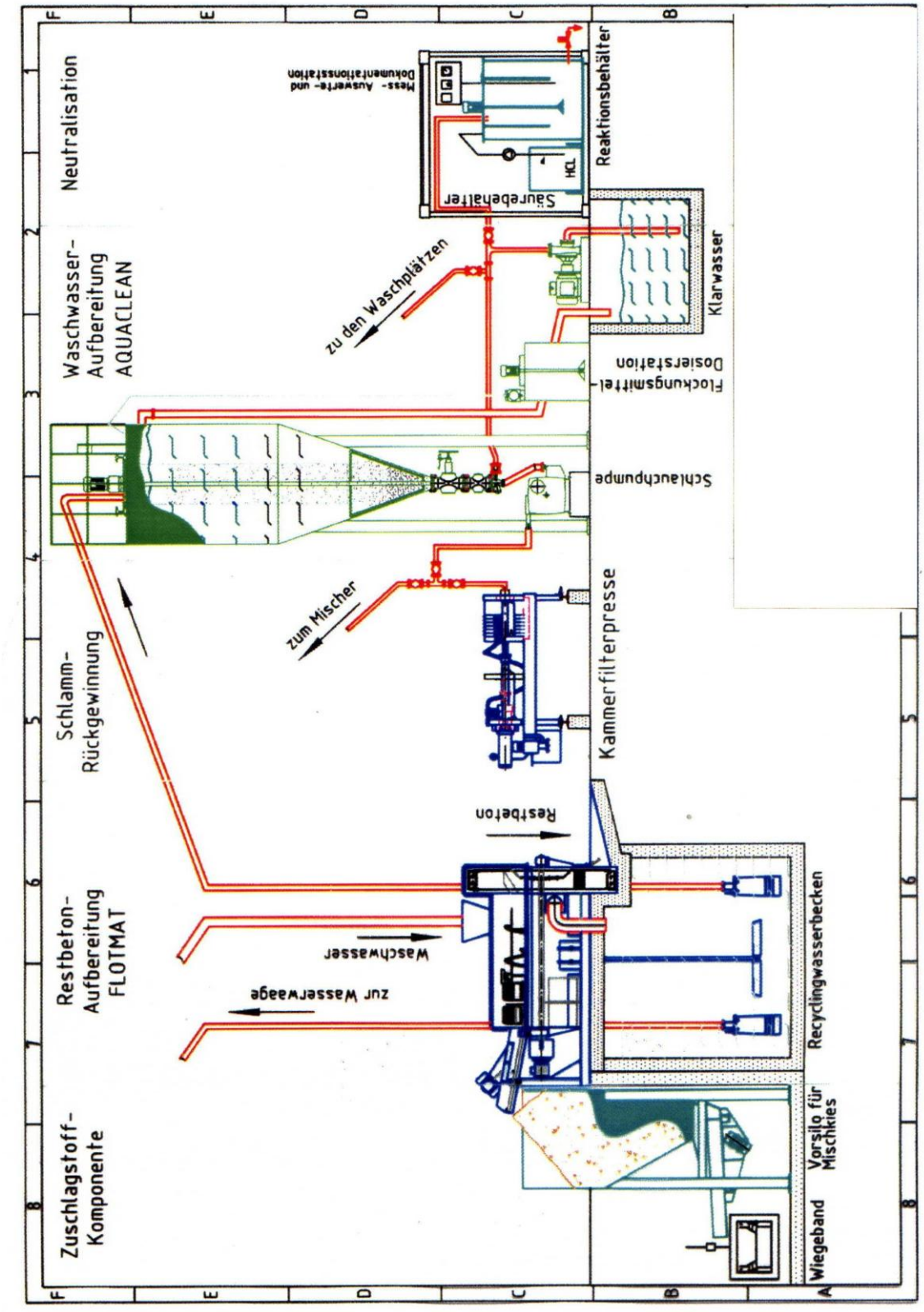


Abbildung 1–1: Wasseraufbereitung

Die derzeit praktizierte „Nass-Technologie“ (siehe oben) bringt sehr hohe Investitionskosten für die Anschaffung der Schleifschlammentsorgungsanlage zwischen 200.000 und 500.000 EUR, je nach Größe der Anlage, mit sich. Bei den variablen Kosten fallen vor allem die Energiekosten (Stromkosten für 50 bis 150 kW/h) ins Gewicht. Daneben entstehen Aufwendungen für Chemikalien und Filtertücher sowie Deponiekosten, je nach Standort bis 150,-€ je Tonne Schleifschlammabfall.
Durch die Einführung der neuen „Trocken-Technologie“ entfallen alle diese oben angeführten Kosten und vor allem die umweltproblematische Schleifschlammentsorgung.

Durch den Einsatz des neuen Trockenschleifprozesses, ergeben sich gegenüber dem Nassschleifprozess zahlreiche praktische, wirtschaftliche und umweltrelevante Vorteile:

- Schleifschlammabfall wird komplett vermindert
- Energieeinsparung bis zu 20 %
- Frischwasserverbrauch entfällt
- Keine Abwasserbelastung
- Chemikalien werden zu 100% eingespart
- Platzeinsparung aufgrund nicht notwendiger Peripherieanlage für die Schleifschlammentsorgung
- Enorme Reduzierung der Investitions- und Betriebskosten
- Schleifstaub kann direkt im Herstellungsprozess für neue Betonwaren eingesetzt werden

2 Hauptteil

2.1 Grundlagen

Das folgende Kapitel beschäftigt sich mit den Grundlagen des Schleifprozesses und des Werkstoffs Beton. Dazu wird zunächst der Schleifprozess allgemeingültig definiert und schematisch beschrieben.

2.1.1 Betonwaren

Beton ist ein künstlich hergestellter Stein. Er besteht aus mindestens drei Ausgangsstoffen, Zement, Wasser und Zuschlagstoff.
Zement wird aus den Rohmaterialien Kalkstein, Ton und Sand hergestellt. Er dient als Bindemittel, um die Bestandteile des Betons dauerhaft zu verbinden.[1]
Als Zuschlagstoffe werden in der Regel Sand, Kies und Splitt verwendet. Kies wird aus Flüssen und Seen gewonnen. Seine Form ist rund. Splitt dagegen wird aus dem Berg abgebaut. Die großen Steinblöcke werden in Brechanlagen auf die gewünschte Größe zerkleinert. Durch die hohen mechanischen Kräfte in der Anlage bricht der Stein. Dadurch erhält Splitt eine spitze Form. Unter einer Korngröße von 2mm werden Kies und Splitt als Sand bezeichnet. Dabei ist gewaschener Sand aus Flüssen und Seen rund, gebrochener Sand scharfkantig.

[1] Vgl. [Ebe 02] Ebeling, K. et al.: 2002, (S. 6ff)

Neben diesen Grundstoffen können Zusatzstoffe eingemischt werden. Das sind zumeist chemische Stoffe, die die Optik beeinflussen oder das Verarbeiten des Betons vereinfachen. .Abbildung 2–1 ein Betonelement im Schnitt.

Abbildung 2–1: Betonelement

Betonwaren zählen zur Gruppe der Betonerzeugnisse. Sie sind dadurch gekennzeichnet, dass der Beton vor dem Einbau bereits erhärtet ist und nicht erst an seinem Bestimmungsort abbindet.
Betonerzeugnisse werden daher in stationären Betonwerken hergestellt. Man unterteilt die Erzeugnisse in Betonfertigteile und Betonwaren. Fertigteile sind Bauteile aus Stahl- oder Spannbeton wie z.B. Wände, Decken, Stützen oder ganze Gebäudeeinheiten.[2]

[2] Vgl. [VDZ 00] Verein Deutscher Zementwerke e.V.: 2000, (S. 179ff)

Der Begriff Betonwaren bezeichnet dagegen kleinere Elemente wie Pflastersteine, Terrassenplatten und Wandelemente. Sie werden auf modernen Fertigungsmaschinen in Großserien hergestellt. In der Regel ist bei diesen Produkten kein Zusatz von Stahl notwendig. Die folgenden Abbildungen zeigen Musterflächen mit Pflastersteinen und Terrassenplatten.[3]

Abbildung 2–2: Pflastersteine

Abbildung 2–3: Terrassenplatten

[3] Vgl. [Fel 99] Feldmann, H. et al.: 1999, (S. 465)

Für die Bearbeitung vor allem das Schleifen der Betonwaren ist die Festigkeit ein wichtiger Parameter. Sie kennzeichnet den Widerstand gegen verformende oder trennende mechanische Beanspruchung. Die Festigkeit des Betons hängt im Wesentlichen von drei Faktoren ab, der Härte der Zuschlagstoffe, dem Aushärtegrad und der Porosität des Betons.

Material	Rohdichte	Wasseraufnahme	Druckfestigkeit	Biegezugfestigkeit	Schleifabnutzung
	g/cm³	Gew.-%	N/mm²	N/mm²	cm³/50cm²
Granit	2,6 - 2,8	0,2 - 0,5	160 - 240	10 - 20	5 - 8
Granodiorit	2,6 - 2,8	0,2 - 0,5	160 - 240	10 - 20	5 - 8
Diorit	2,8 - 3,0	0,2 - 0,4	170 - 300	10 - 22	5 - 8
Quarzdiorit	2,8 - 3,0	0,2 - 0,4	170 - 300	10 - 22	5 - 8
Gabbro	2,8 - 3,0	0,2 - 0,4	170 - 300	10 - 22	5 - 8
Syenit	2,6 - 2,8	0,2 - 0,5	160 - 240	10 - 20	5 - 8
Alkalisyenit	2,6 - 2,8	0,2 - 0,5	160 - 240	10 - 20	5 - 8
Monzonit	2,6 - 2,8	0,2 - 0,5	160 - 240	10 - 20	5 - 8
Essexit	2,6 - 2,8	0,2 - 0,5	160 - 240	10 - 20	5 - 8
Rhyolith	2,5 - 2,8	0,2 - 0,7	180 - 300	15 - 20	5 - 8
Rhyodacit	2,5 - 2,8	0,2 - 0,7	180 - 300	15 - 20	5 - 8
Andesit	2,5 - 2,8	0,2 - 0,7	180 - 300	15 - 20	5 - 8
Tholeiitbasalt	2,9 - 3,0	0,1 - 0,3	250 - 400	15 - 25	5 - 8
Dolerit	2,8 - 3,0	0,2 - 0,4	170 - 300	10 - 22	5 - 8
Melaphyr	2,9 - 3,0	0,1 - 0,3	250 - 400	15 - 25	5 - 8
Trachyt	2,5 - 2,8	0,2 - 0,7	180 - 300	15 - 20	5 - 8
Phonolit	2,5 - 2,64	0,3 - 5	170 - 250	8 - 25	
Tephrit	2,2 - 2,4	4 - 10	80 - 150	8 - 12	12 - 15
Basanit	2,2 - 2,4	4 - 10	80 - 150	8 - 12	12 - 15
Nephelinit	2,2 - 2,4	4 - 10	80 - 150	8 - 12	12 - 15
Tuffstein	1,8 - 2,0	6 - 15	20 - 30	2 - 6	
Mikrogabbro	2,89	0,29	283	15,8	6,2
Konglomerat	2,3	2,8	34,5 - 38	6	
Grauwacke	2,6 - 2,65	0,2 - 0,5	150 - 300	13 - 25	7 - 8
Tonschiefer	2,7 - 2,8	0,5 - 0,6		50 - 80	
Kalkstein	2,6 - 2,9	0,2 - 0,6	80 - 180	6 - 15	15 - 40
Dolomitstein	2,6 - 2,9	0,2 - 0,6	80 - 180	6 - 15	15 - 40
Amphibolit	2,7 - 3,1	0,1 - 0,4	170 - 280		
Marmor	2,6 - 2,9	0,2 - 0,6	80 - 180	6 - 15	15 - 40
Quarzglimmerschiefer	2,75	0,1	252	35	9,5
Serpentinit	2,6 - 2,8	0,1 - 0,7	140 - 250		8 - 18
Dolomitmarmor	2,85	0,23	99	13,2	
Gneis	2,6 - 3,0	0,1 - 0,6	160 - 280		4 - 10
Migmatit	2,68	0,39	155	20,4	
Granulit	2,6 - 3,0	0,1 - 0,6	160 - 280		4 - 10
Quarzit	2,6 - 2,7	0,2 - 0,5	150 - 300	13 - 25	7 - 8
Fruchtschiefer	2,74		195	28	40 - 80
Hornfels	2,74		195	28	40 - 80
Quarzitschiefer	2,68	0,24	232	36,2	

Tabelle 2-1: Übersicht verschiedener Zusatzstoffe

Die Tabelle zeigt verschiedene Zuschlagstoffe mit ihrer Rohdichte, Wasseraufnahme, Druckfestigkeit, Biegezugfestigkeit und Schleifabnutzung. Es sind obere und untere Grenzen angegeben, da die Zuschläge aus unterschiedlichen Vorkommen stammen. Für die Härte der Zuschlagstoffe sind vor allem die Rohdichte und die Druckfestigkeit relevant. Je höher die Werte sind, desto härter ist der Zuschlagstoff. Die Rohdichte als Quotient aus Masse und Volumen ist ein direkter Indikator für die Offenporigkeit eines Stoffes. Die Druckfestigkeit gibt die Widerstandsfähigkeit eines Werkstoffs bei der Einwirkung von Druckkräften an. Sie wird als Quotient aus Kraft und Fläche ausgedrückt. Damit ist der Wert ein Maß dafür, wie leicht das Material zerstört werden kann.

Die Schleifabnutzung drückt die Abspanleistung eines bestimmten Werkzeugs auf einer definierten Fläche bei einer vorgegebenen Einsatzzeit aus. Je weicher der Zuschlagstoff ist, desto höher ist die Abtragsleistung.

Anhand der Tabelle 2-1 lassen sich so z.B. Granit und Tholeiitbasalt als harte Zuschlagstoffe identifizieren, während z.B. Marmor und Kalkstein weiche Materialien sind.[4]

Der Aushärtegrad von Beton wird durch die Umgebungseinflüsse (Luftdruck, Luftfeuchtigkeit und Temperatur) und der Zusammensetzung (Wassergehalt und chemische Zusätze) beeinflusst. In der Regel werden Betonwaren nach 24 Stunden bearbeitet. Seine endgültige Härte erreicht der Beton jedoch erst nach Monaten.[5]

[4] Vgl. [VDZ 00] Verein Deutscher Zementwerke e.V.: 2000, (S. 209ff)

[5] Vgl. [Sch 05] Schulze, R.: 2005, (S. 2.5)

2.1.2 Schleifverfahren

Schleifen ist ein abtragendes Fertigungsverfahren, bei dem mit Schleifmitteln die Oberfläche oder auch Unterseiten von Betonwaren bearbeitet wird. Es zählt zu den Endbearbeitungsverfahren. Durch die Rotation eines Schleifmittels, dem Werkzeug, wird eine Schnittbewegung induziert. Die Schleifkörper sind im Werkzeug geometrisch unbestimmt angeordnet. Die Werkzeuge bestehen aus einem Gemisch, das sich aus Schleifkorn z.B. Diamant und Bindung z.B. Sintermetall zusammensetzt. Der Schneidwerkstoff ist unregelmäßig und in der Orientierung willkürlich im Gemisch enthalten.[6]

Anhand der deutschen Norm lässt sich der Schleifprozess genau klassifizieren. Schleifen fällt in die Gruppe der trennenden Bearbeitung und gehört nach DIN 8589 zu den spanenden Fertigungsverfahren mit geometrisch unbestimmter Schneide. Bei einer detaillierten Klassifizierung muss der Prozess zunächst genauer betrachtet werden. Er wird in folgender Abbildung dargestellt.

[6] Vgl. König, W. et al.: 1985, (S. 20f)

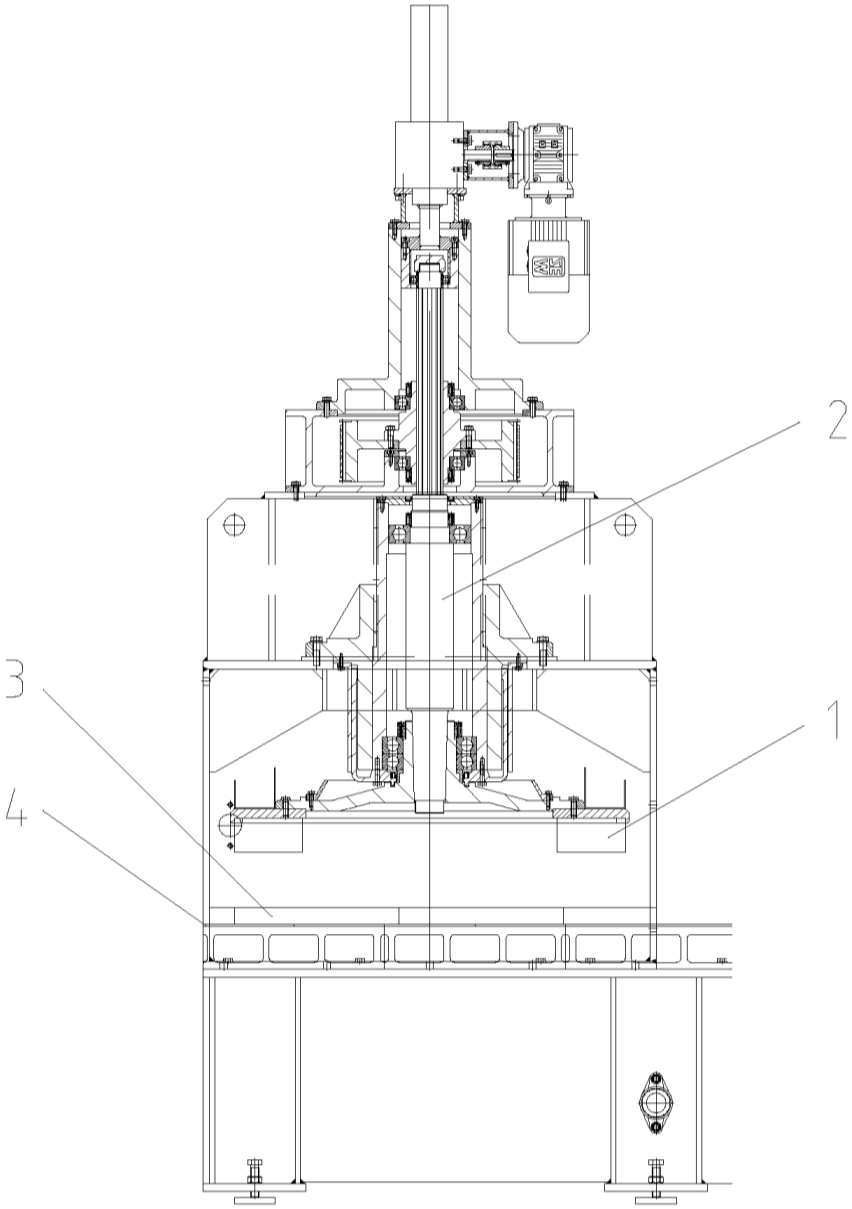


Abbildung 2–4: Schleifprozess

In Abbildung 2–4 ist der Prozess skizziert. Das Schleifwerkzeug (1) ist auf dem Schleifteller befestigt. Dieser ist mit der rotierenden Welle (2) verbunden und wird vom Motor angetrieben. Das Werkstück (3) wird unterhalb des Werkzeugs über einen Fördergurt (4) transportiert. Im abgesenkten Zustand wird durch die rotierende Bewegung des Werkzeugs das Werkstück abgespant. Anhand der Übersicht der verschiedenen Fertigungsverfahren lässt sich eine genaue Klassifizierung vornehmen.

Für das Schleifen stehen verschiedene Werkzeuge zur Verfügung. Sie unterscheiden sich in zwei Kriterien voneinander. Auf der einen Seite in der Wahl des Schleifkorns, auf der anderen Seite in der Wahl der Bindung, die den Schneidwerkstoff festhält. Die folgende Abbildung zeigt den schematischen Aufbau eines Werkzeugs.

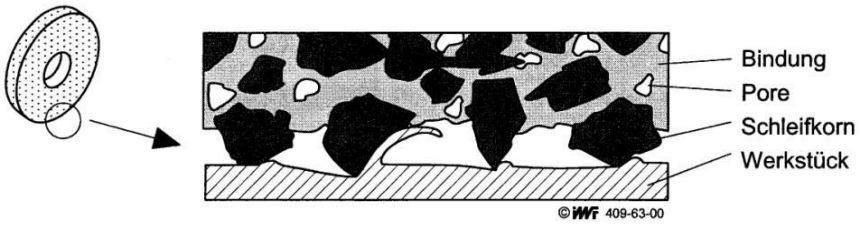


Abbildung 2–5: Aufbau einer Schleifscheibe

Die Detailansicht einer Schleifscheibe verdeutlicht den Aufbau. Die Bindung ist das Trägerelement für das Schleifkorn. Je nach Zusammensetzung und Herstellungsvorgang beinhaltet sie mehr oder weniger Luftporen.

Das Schleifkorn muss beim Schleifvorgang schneidfähig bleiben. Dazu ist es notwendig, dass das Korn nach einer gewissen Einsatzzeit splittert oder den Bindungsverband verlässt. Dann kommen neue Schneiden zum Einsatz. Der Prozess der Selbstschärfung kann durch die Eigenschaft der Bindung gesteuert werden.[7]
Die Aufgabe der Bindung besteht darin, das in ihr enthaltene Schleifkorn festzuhalten und damit die Funktion als effizientes Schleifmittel zu gewährleisten. Dazu ist es notwendig, dass die Bindung das Schleifkorn so lange hält, bis das Ende seiner Standzeit erreicht ist. Das bedeutet, dass Bindung und Schleifkorn gleich schnell verschleißen.[8]

[7] Vgl. Schulze, R.: 2005, (S. 3.2)

[8] Vgl. Zitt, U.-R.: 1999, (S. 66ff)

2.2 Nassschleifverfahren

Betonwaren werden heute - außer siehe 2.3 Trockenschleifverfahren - ausschließlich unter Verwendung von Wasser geschliffen. Das folgende Kapitel beschäftigt sich mit dieser Nassbearbeitung. Darin werden insbesondere die Funktionen des Wassers und die notwendige technische Ausstattung beschrieben. Das Kapitel schließt mit der Untersuchung der Abfallstoffe und verschiedener Entsorgungsmöglichkeiten.

2.2.1 Prozessablauf

Im Anschluss an die Herstellung werden Betonwaren in Trockenkammern eingelagert, um abzubinden. Dort erreichen sie in der Regel nach 24 Stunden die Mindesthärte für die Schleifbearbeitung. Der darauf folgende Prozessablauf ist in folgender Abbildung dargestellt.

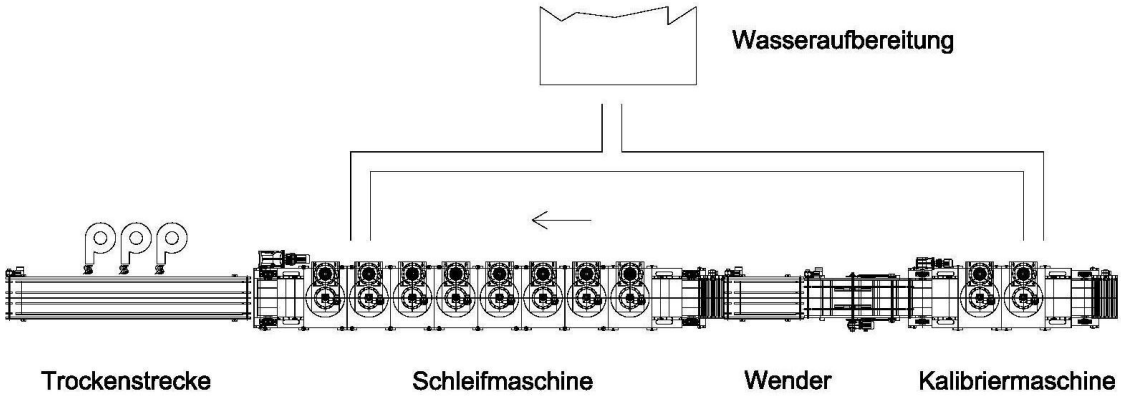


Abbildung 2–6: Layout Nassschleiflinie

Die Bearbeitung des Kernbetons erfolgt auf der Kalibriermaschine. Die Betonwaren werden auf einen Fördergurt gelegt, der die Produkte durch die Maschine transportiert. Mit bis zu zwei Schleifstationen werden die Platten auf die gewünschte Produkthöhe geschliffen. Dieser Grobschliff wird ausschließlich mit metallgebundenen Diamanten durchgeführt. Die folgende Abbildung zeigt eine Kalibriermaschine mit zwei Schleifstationen. Jede Station hat eine Antriebsleistung von 55 KW.

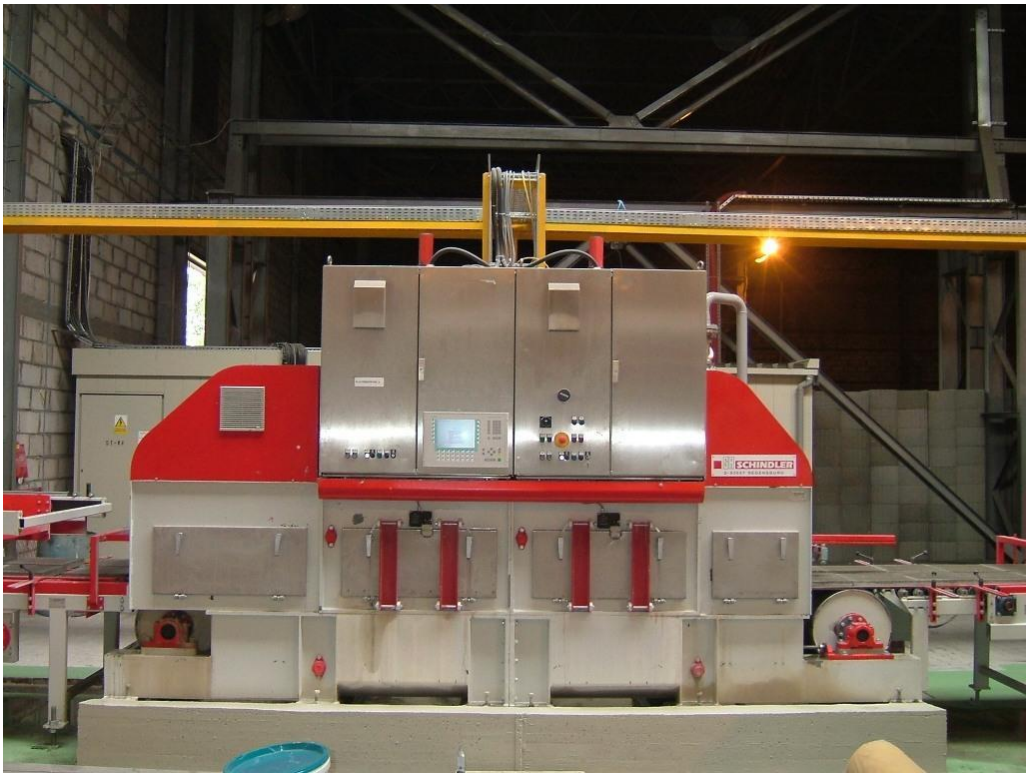


Abbildung 2–7: Kalibriermaschinen

Nach dem Wenden der Produkte folgt die Bearbeitung des Vorsatzbetons. Dazu steht eine ähnliche Schleifmaschine mit den entsprechen Schleifwerkzeugen zur Verfügung. Sie erzielen den Feinschliff der Oberfläche und somit auch die Sichtfläche der Betonplatte.

Je nach Bearbeitungsvorgang enthält eine gesamte Nassschleifstation zwischen 2-8 Schleifmaschinen, die jeweils eine Leistung zwischen 37 KW und 55 KW benötigen.

Im Anschluss an den Schleifprozess werden die Betonwaren in der Regel weiter bearbeitet. Mögliche Verfahren sind die Bearbeitung der Kanten, Strahlen und Bürsten der Oberfläche. Alle Bearbeitungen werden trocken durchgeführt. Daher ist es notwendig, dass die Produkte nach dem Schleifen abtrocknen. Dies wird über Gebläse realisiert, die auf der Trockenstrecke zwischen Schleifmaschine und darauf folgender Bearbeitung mit einer Leistung von 20 KW installiert sind.

Das an Kalibrier- und Schleifmaschine verwendete Wasser wird kanalisiert und fließt zu einer zentralen Aufbereitungsstation.

2.2.2 Funktion des Wasser

An dieser Stelle werden die Funktionen des Wassers beim Schleifen von Betonwaren näher beleuchtet.
Bei einer spanenden Bearbeitung wird mechanische Energie an der Zerspanstelle in Wärme umgewandelt. Dabei verteilt sich die thermische Energie auf das Werkzeug, das Werkstück und das abgespante Material.[9] Die Aufgabe des Wassers besteht darin, einen Teil der Wärme aufzunehmen und aus dem Bearbeitungsraum abzuführen. Dazu werden große Mengen Wasser direkt zur Zerspanstelle geführt. Einer Aufheizung des Werkzeugs und des Werkstücks wird so entgegen gesteuert.[10]
Die zweite Aufgabe des Wassers ist der Transport des abgespanten Materials aus dem Bearbeitungsraum. Dadurch wird ein weiterer Wärmeträger eliminiert. Daneben ist der Abtransport des Materials notwendig, damit die Oberfläche des Werkstücks nicht zerstört wird. Bleibt der Span zwischen Werkstück und Werkstückschneide liegen, kann er Kratzer verursachen oder die Standzeit der Werkzeuge verringern.[11]
Die Korngröße des abgespanten Materials ist kleiner als 2 mm. Der feine Feststoff verteilt sich im Wasser. In einer Wasseraufbereitung müssen Flüssigkeit und Festbestandteile wieder voneinander getrennt werden.

[9] Vgl. Ertingshausen, W.: 1985, (S. 13)

[10] Vgl. Voll, M.: 2001, (S. 11)

[11] Vgl. Toussaint, D. et al.: 1998, (S. 12)

2.2.3 Komponenten der Wasseraufbereitung

Das Verfahren der Wasseraufbereitung gliedert sich in mehrere Schritte. Dazu sind unterschiedliche Anlagen notwendig, die in bestimmter Reihenfolge die Bearbeitung vornehmen. In Abbildung 2–8 ist die Aufbereitung dargestellt.

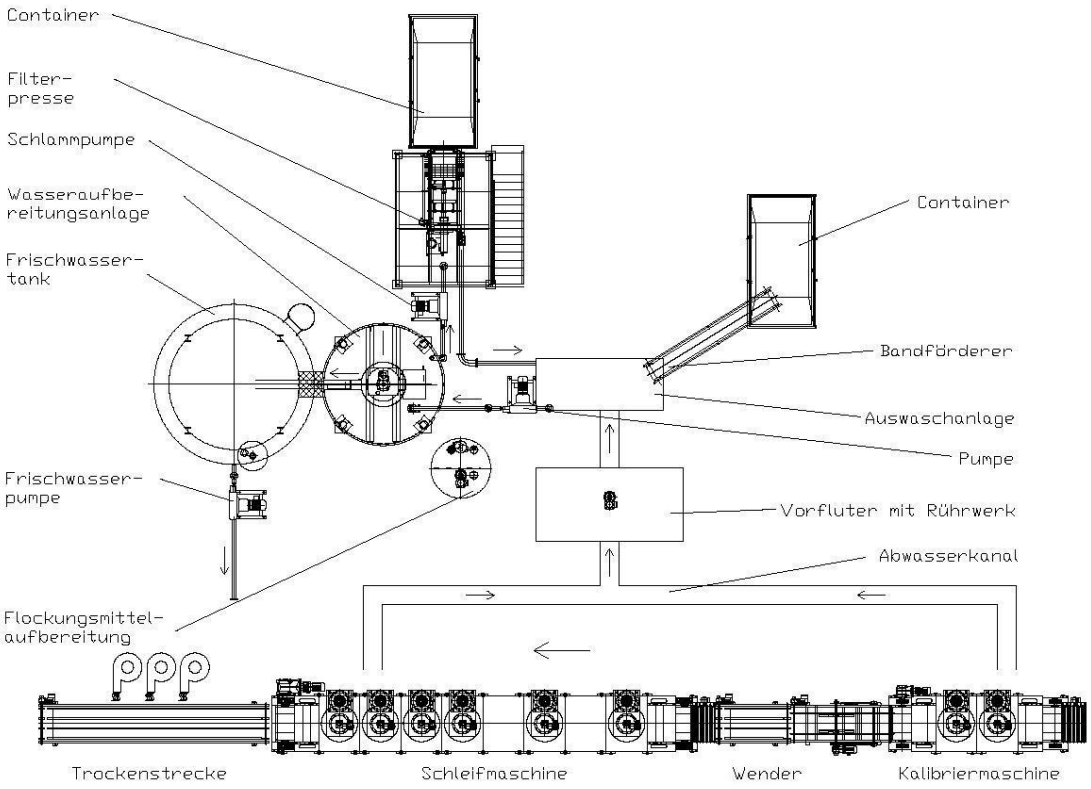


Abbildung 2–8: Wasseraufbereitung

Die Suspension aus fester Substanz und Wasser wird von der Kalibrier- und Schleifmaschine in einem Abwasserkanal gesammelt und fließt in den Vorfluter. Dort wird das Abwasser zunächst bevorratet. Ein Rührwerk verhindert ein Ablagern der Festanteile. Über ein Rinnensystem wird das Abwasser der Auswaschanlage zugeführt. Die Anlage trennt mit Hilfe einer Spirale und mehreren Kunststoffschaufeln Festanteile ab einem Durchmesser von 0,2 mm von kleineren Anteilen und Zementpartikeln. Dazu besteht die Auswaschanlage aus einem Trog, aus dem die rotierenden Schaufeln das Material ausschöpfen. Während dieses Vorgangs wird sauberes Wasser über die Schaufeln gespült, damit die Feinteile und Zementpartikel abgewaschen werden. Die Auswaschanlage ist in Abbildung 2–9 dargestellt.

Abbildung 2–9: Auswaschanlage

Das gesammelte Material wird über einen Bandförderer in einen Container transportiert. Die zurück bleibende Suspension aus Wasser, Feinteilen und Zementpartikeln wird in die Wasseraufbereitungsanlage gepumpt. Die Anlage besteht aus einem Behälter, in dem ein Rohr mit geringem Durchmesser installiert ist. Im unteren Bereich ist der Behälter konusförmig aufgebaut.

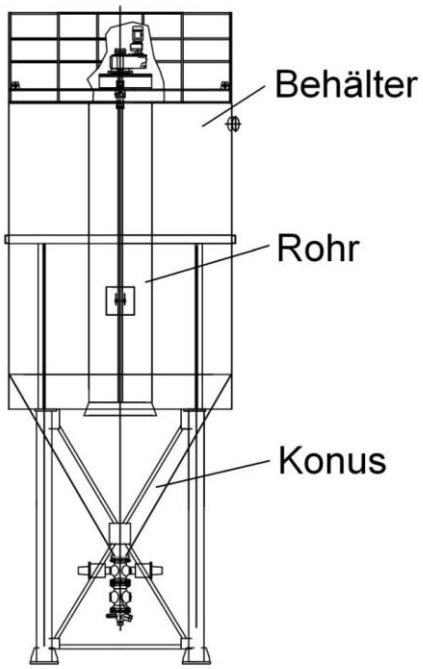


Abbildung 2–10: Wasseraufbereitungsanlage

Das Abwasser tritt von oben durch das Rohr in die Aufbereitungsanlage ein. Am Ausgang des Rohres sinken die im Abwasser schwebenden Schmutzpartikel in den Konus ab. Das Wasser steigt dagegen außerhalb des Rohrs im Behälter auf. Im oberen Bereich gelangt es durch eine Rohrverbindung in den Frischwassertank. Der Tank ist der Vorratsbehälter für die Versorgung der Kalibrier- und Schleifmaschine. Die Frischwasserpumpe stellt den notwendigen Druck für die Produktion zur Verfügung.[12]

Der Vorgang wird durch die Zugabe von Flockungsmittel z.B. Acrylamid oder Natriumacrylet-Copolymer beschleunigt. Das Mittel bindet die Schmutzpartikel und fördert so die effektive Trennung zwischen festen und flüssigen Stoffen. Flockungsmittel wird in der Regel als Feststoff angeliefert, mit Wasser aufgerührt und dann zugegeben. Man rechnet mit 2 g Flockungsmittelgranulat je Liter Flockungsmittellösung. Pro Kubikmeter Schmutzwasser werden ca. 0,5 Liter Flockungsmittellösung eindosiert.[13]

Im Konus sammelt sich Schlamm, ein Gemisch aus fein verteiltem Feststoff und nicht trennbarem Wasser. Die Feststoffteilchen sind nicht mehr in der Schwebe, sondern liegen komprimiert zusammen. Ein dünner Flüssigkeitsfilm trennt die Teilchen voneinander. Eine Schlammpumpe transportiert das Material zur Filterpresse. Auf der Presse sind mehrere Filterkammern hintereinander angeordnet. Sie sind mit Textil-

[12] Vgl. Geko: 2005, (Umwelt – Betonwerke)

[13] Vgl. Degussa: 2005, (Wasser-, Abwasser- und Schlammbehandlung)

oder Kunststoffgewebe überzogen. In Abbildung 2–11 ist eine Filterpresse mit 6 Filterkammern abgebildet.

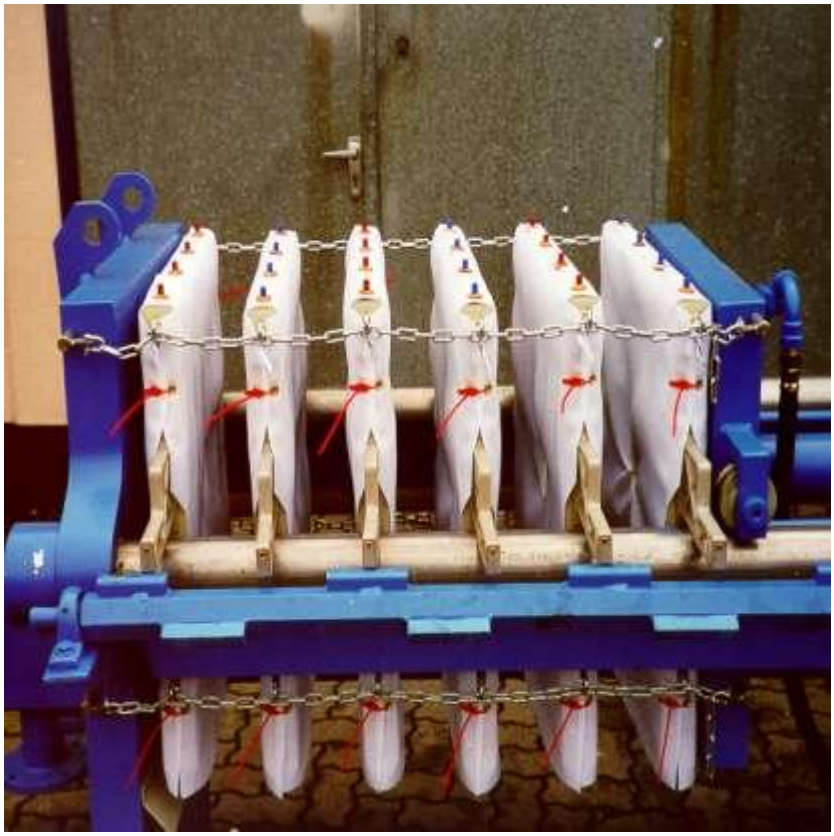


Abbildung 2–11: Filterpresse

Ein Hydraulikzylinder fährt die Filterkammern zusammen. In der Position wird der Schlamm gleichmäßig zwischen die Kammern gepumpt. Anschließend presst sie der Zylinder mit einem Druck von bis zu 250 bar zusammen. Da das Gewebe der Filterkammern für Wasser durchlässig ist, gelangt es über einen Ablauf zurück in die Auswaschanlage. Die Festbestandteile dagegen bleiben zwischen den Kammern. Ist der Vorgang beendet, wird die Presse durch die Hydraulik geöffnet. Der feste Filterkuchen fällt aus den Kammern und wird im Container gesammelt. Durch eine so genannte Abschlageinrichtung, die die Filterkammern periodisch anhebt, wird der Vorgang begünstigt.[14]

Tabelle 2-2 fasst die notwendigen Anlagen der Wasseraufbereitung zusammen. Die Leistungsdaten sind für eine Schleiflinie mit einer Arbeitsbreite von 850 mm ausgelegt, bei der 4 mm Material abgetragen wird.

[14] Vgl. Geko: 2005, (Umwelt – Betonwerke)

	Leistung / KW	Preis / €
Vorfluter mit Rührwerk	5,5	11.520
Auswaschanlage	2,2	19.396
Bandförderer	2,2	5.680
Container		4.065
Pumpe	15	9.180
Wasseraufbereitungsanlage mit Rührwerk	3	67.150
Flockungsmittelaufbereitung	1,5	7.825
Frischwassertank		21.330
Frischwasserpumpe	15	5.610
Schlammpumpe	7,5	15.560
Filterpresse	4,37	55.650
Container		4.065
Steuerung		16.625
Summe	56,27	243.656

Tabelle 2-2: Leistung und Preis der Wasseraufbereitung

Für die Wasseraufbereitung ist eine Leistung von 56,27 KW notwendig. Das Investitionsvolumen beträgt ca. 245.000 €. Daneben fallen weitere Kosten für die Wartung und Instandhaltung der Anlage an. Im folgenden Abschnitt werden die Endprodukte der Wasseraufbereitung näher betrachtet.

2.2.4 Abfallprodukte

Beim Nassschleifen fallen zwei Abfallprodukte an. Auf der einen Seite das ausgewaschene Material aus der Auswaschanlage, auf der anderen Seite der Filterkuchen aus der Filterpresse.
Das ausgewaschene Material hat einen Anteil von ungefähr 5%. Darin ist ca. 4-5% Restfeuchtigkeit enthalten. Da die Feinteile nicht mehr enthalten sind, neigt es nicht zum Verkleben oder zur Klumpenbildung. Daher kann es dem Produktionsprozess, z.B. als Zuschlag für den Kernbeton, wieder zugeführt werden. Den Hauptanteil am Abfallprodukt bildet mit 95% der Filterkuchen. Das Material besteht aus 30-40% Wasser. Es nimmt in der Filterpresse die Form der Kammern an, zerfällt jedoch beim Herausfallen in kleine Teile. Abbildung 2–12 zeigt den Filterkuchen, wie er im Container gesammelt wird.

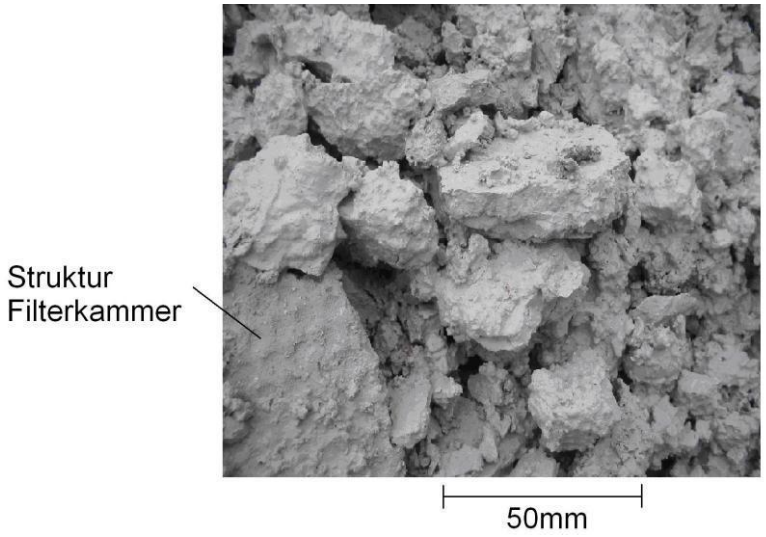


Abbildung 2–12: Filterkuchen

Das Material kann jedoch nicht der Produktion des Vorsatz- oder Kernbeton zurückgeführt werden. Im Filterkuchen sind die Feinteile im kompakten Verbund und binden die Feuchtigkeit. Im Betonmischer lässt sich das Material nicht vollständig zerkleinern und mit dem Zement vermischen. Dadurch wäre es als großer, weicher Klumpen im Beton enthalten. Das beeinträchtigt nicht nur die Optik, sondern vor allem die Festigkeit des Betons. Trocknet der Klumpen aus, reduziert sich seine Größe und die benachbarten Bindungen brechen.

Er gibt dann schnell mechanischen Beanspruchungen nach, wodurch Löcher im Produkt entstehen. Aus dem Grund sind die Betreiber der Anlagen gezwungen, den Filterkuchen auf Deponien zu entsorgen. Hier entstehen Kosten in Höhe von bis zu 150 € pro Tonne.

Kennzahlen	
Abtrag in mm	4
max. Produktbreite in mm	1200
max. Durchlaufgeschwindigkeit in m/min	5
Dichte Beton in kg/dm³	2,2
Anteil Filterkuchen in %	95
durchschn. Wasseranteil Filterkuchen in %	35
Anteil ausgewaschenes Material in %	5
durchschn. Wasseranteil ausgewaschenes Material in %	4,5
Berechnung Spanabnahme	
Spanabnahme in cm³/min	24000
Spanabnahme in dm³/min	24
Spanabnahme in dm³/h	1440
Spanabnahme in kg/h	3168
Berechnung ausgewaschenes Material	
Spananteil in dm³/h	72
Spananteil in kg/h	143
enthaltenes Wasser in dm³/h	3
enthaltenes Wasser in kg/h	3
ausgewaschenes Material in dm³/h	69
ausgewaschenes Material in kg/h	135
Berechnung Filterkuchen	
Spananteil in dm³/h	1368
Spananteil in kg/h	3010
enthaltenes Wasser in dm³/h	479
enthaltenes Wasser in kg/h	479
enthaltenes Wasser in m³/a	1532
Filterkuchen in dm³/h	889
Filterkuchen in kg/h	1956
Filterkuchen in to/a	6260

Tabelle 2-3: Mengenberechnung

In Tabelle 2-3 ist eine Mengenberechnung für die anfallenden Abfallprodukte dargestellt. Sie bezieht sich auf die Bearbeitung einer Produktbreite von 1200 mm bei einer Durchlaufgeschwindigkeit von 5 m/min und einem Materialabtrag von 4 mm. In einer Stunde fallen 135 kg ausgewaschenes Material und 1.956 kg Filterkuchen an. Da der Filterkuchen nicht wieder in den Produktionskreislauf zurückgeführt werden kann, beträgt der Wasserverbrauch der gesamten Anlage 482 dm³/h. Überträgt man die Werte auf ein Jahr, gerechnet bei 16 Arbeitsstunden pro Tag und 200 Arbeitstagen, beläuft sich der anfallende Filterkuchen auf über 6.260 to und das verbrauchte Wasser auf über 1.500 m³.

2.3 Trockenschleifverfahren

Das folgende Kapitel beschreibt den Einsatz eines einzigartig neuen Trockenschleifprozess in der Betonwarenindustrie. Das erfolgt in mehreren Schritten.

Zunächst werden die Gründe dargestellt, von einer Nassbearbeitung Abstand zu nehmen.
Anschließend werden Parallelen zu anderen Bereichen gezogen, um dortige Entwicklungen einzubeziehen. Im dritten Schritt werden verschiedene Maßnahmen beschrieben, die für eine Trockenbearbeitung notwendig sind. Das betrifft vor allem Änderungen an der Maschine und den Werkzeugen.

2.3.1 Motivation

In Kapitel 2.2 (Nassschleifverfahren) wird bereits deutlich, dass das Schleifen durch den Einsatz von Wasser mit verschiedenen Nachteilen verbunden ist. Es ergeben sich ökologische und ökonomische Belastungen.

Das anfallende Abfallprodukt, der hohe Wasserverbrauch und die Leistungsaufnahme der Wasseraufbereitung zählen zu den ökologischen Nachteilen. Im Jahr fallen über 6.260 to Filterkuchen an, der in der Regel auf Deponien entsorgt werden muss. Das darin enthaltene, verbrauchte Wasser beträgt 1.500 m³. Die Wasseraufbereitung hat eine Stromaufnahme von 56 KW.

Zu den ökonomischen Nachteilen zählen alle Kosten, die durch die Verwendung des Wassers entstehen. Zunächst muss der Betreiber die notwendigen Flächen für eine Wasseraufbereitung zur Verfügung stellen. Die Investition in die Anlagen beträgt ca. 250.000 €. Zusätzlich sind Installationsarbeiten für Wasserzuleitungen und Abwasserrinnen notwendig. Neben den Kosten für Strom, Wasser und die Entsorgung des Filterkuchens treten weitere Wartungs- und Instandhaltungskosten auf. In Rohrleitungen, Rinnen und Pumpen kann sich Schmutz festsetzen und zu Verstopfungen führen. Die müssen durch das Wartungspersonal wieder beseitigt werden.

Durch die ständige Anwesenheit des Wassers sind die Anlagen der Schleiflinie und der Wasseraufbereitung einer erhöhten Korrosion ausgesetzt. Das verkürzt die Lebensdauer der Anlagen. Zusätzlich beschleunigt das Wasser das Verschmutzen der Maschinen, da sich Schmutzpartikel leicht ablagern können.

Durch den Gefrierpunkt von Wasser müssen die Anlagen in geheizten Räumen installiert sein, um eine Produktion auch bei geringen Temperaturen zu gewährleisten. Häufig sind jedoch gerade die Komponenten der Wasseraufbereitung im Außenbereich installiert. Bei Temperaturen unter 0°C müssen Behälter und Pumpen entleert werden, da sie sonst durch den Druck des expandierenden Wassers zerstört werden. Eine Produktion ist nicht mehr möglich.

Damit ergeben sich durch die Verwendung von Wasser neben ökologischen und ökonomischen Nachteilen auch praktische Beeinträchtigungen. Die Trockenbearbeitung ist nach den bisherigen Ergebnissen eine zukunftsweisende Optimierung vor allem hinsichtlich des Ressourcenschutzes.

2.3.2 Prozessablauf

In diesem Kapitel soll das Potential der Trockenbearbeitung beim Schleifen von Betonwaren aufgezeigt werden. Bei den Betonwaren handelt es sich insbesondere um Terrassenplatten und Pflastersteine, die entweder an der Unter- oder Oberseite geschliffen werden. Durch das Schleifen wird die im Beton verwendete Natursteinkörnung sichtbar gemacht und die Dickentolerenz der Platten auf ein Minimum reduziert. Es war die Zielstellung, Produkte herzustellen, die eine im Vergleich zum Nassschleifverfahren identische Werkstückqualität besitzen.
An einer Trockenschleifmaschine werden unterschiedliche Schleifprogramme durchgeführt. Dabei wurde das Verhalten der Schleifwerkzeuge bei verschiedenen Maschineneinstellungen betrachtet.

Es kommt eine Trockenschleifmaschine mit zwei Stationen zum Einsatz. Sie werden jeweils von einem frequenzgeregelten Motor mit 55 KW angetrieben. Die Zustellung erfolgt elektromotorisch über eine Keilwelle mit Muffe. Der entstehende Staub wird von jeder Station abgesaugt. Die Anlage wird von einem Gebläse mit einer Antriebsleistung von 9 KW angetrieben. Serviceklappen und Staubabsaugung sind mit einem Polyurethanschlauch mit einem Durchmesser von 250 mm verbunden.

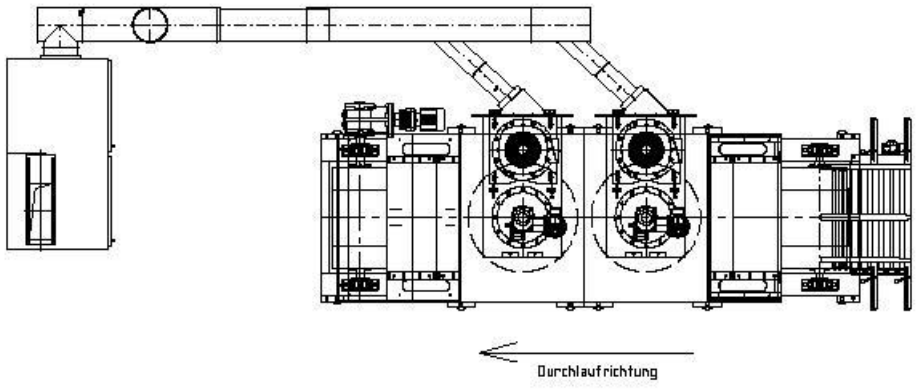


Abbildung 2–13: Layout des neuen Trockenschleifprozess

Abbildung 2–14: Bild des neuen Trockenschleifprozess

In Abbildung 2–15 sind die verschiedenen Einstellmöglichkeiten der Maschine dargestellt. Die Höhe des Schleiftellers kann mit einer Genauigkeit von 0,01 mm eingestellt werden. Die Stromaufnahme gibt an, wie groß der Widerstand der Zerspanung ist. Die Umlaufgeschwindigkeit des Schleiftellers wird in m/s angegeben und kann durch den Frequenzumformer frei gewählt werden.

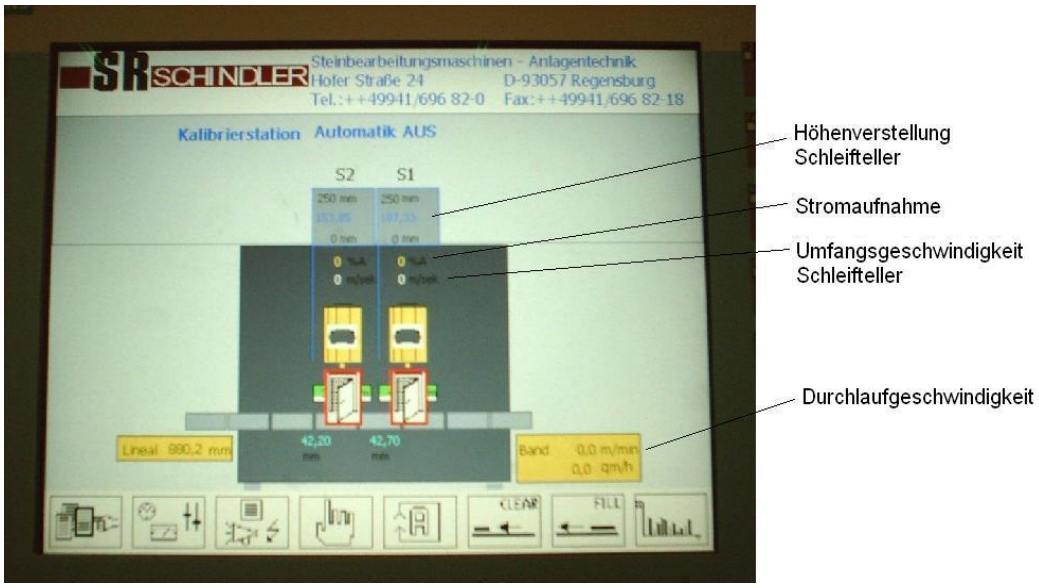


Abbildung 2–15: Maschineneinstellung

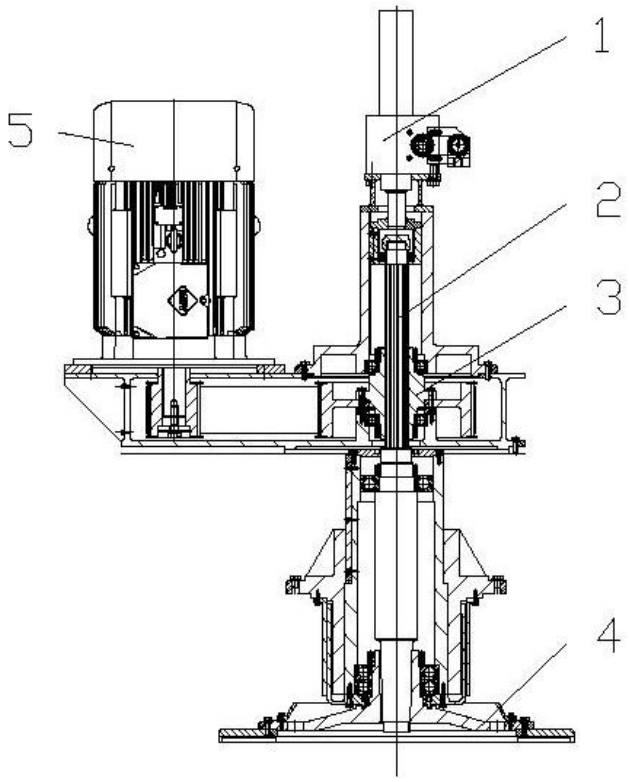


Abbildung 2–16: Trockenschleifstation im Schnitt

Der Antrieb für die Zustellung (1) ist direkt mit einer Keilwelle (2) verbunden. An die ist der Schleifteller (4) befestigt. Der Antriebsmotor (5), für die Drehbewegung des Tellers, ist mit einer Keilwellen-Muffe (3) verbunden. Die Muffe lässt sich auf der Keilwelle verschieben. Dadurch bleibt der Antriebsmotor starr, während die Keilwelle mit dem Schleifteller in der Höhe verstellt werden kann. Das System hat den Vorteil, dass mit der Zustellung nur der Schleifteller mit der Keilwelle bewegt werden muss. Das Gewicht beträgt ca. 200 kg. Die Spindel für die Höhenverstellung kann mit einer größeren Steigung versehen werden, wodurch ein schnelles Verfahren erzielt werden kann. Durch die Möglichkeit, den Motor auf eine langsame Geschwindigkeit umzuschalten, ist auch eine genaue Zustellung möglich. Durch das geringe Gewicht kann so sehr exakt positioniert werden.

Für die Trockenmaschine wird das System mit Keilwelle und Keilwellen-Muffe favorisiert. Durch das geringe Gewicht kann eine möglichst genaue und schnelle Zustellung realisiert werden. Das ist notwendig, da die Werkzeuge ohne Kühlmedium in einem kleineren Toleranzbereich arbeiten.

Für eine bessere Abfuhr der Wärme vom Werkzeug wird versucht Luft direkt an die Bearbeitungsstelle zu leiten. Dazu werden auf den Schleiftellern Leitbleche installiert.

Abbildung 2–17: Leitbleche

Die Abbildung zeigt zwei Schleifteller mit darauf montierten Blechen. In den Tellern sind Nuten eingefräst, die die Strömung direkt an die Bearbeitungsstelle leiten. Durch die Rotation wird die Luft von den Leitblechen in die Nuten geführt. Dadurch wird die Wärme von der Bearbeitungsstelle verdrängt und durch kühle Luft ersetzt. Gleichzeitig wird durch die Bleche der Abtransport der Späne gefördert.

Durch den Verzicht des Wassers ist die Installation einer Staubabsaugung notwendig. Dadurch wird das Material von der Bearbeitungsstelle entfernt. Um den Staub seitlich abzusaugen, müssen die Serviceöffnungen der Maschine mit einem Absaugstutzen ausgerüstet werden (Abbildung 2–18). Dort werden die Schläuche der Staubabsaugung angeschlossen.

Abbildung 2–18: Serviceklappe mit Absaugstutzen

Die Effektivität einer Absaugung ist vom erzeugten Unterdruck abhängig. Je schlechter der abzusaugende Bereich abgedichtet ist, desto mehr Luft kann von außen eindringen. Dadurch sinkt der Unterdruck. Für die Trockenbearbeitung ist es daher sinnvoll, die Öffnungen für den Einlauf und Auslauf der Werkstücke möglichst klein zu halten.

2.3.3 Trockenschleifprozess

Für das Trockenschleifen wird Rohware verwendet, die für den Nassschleifbetrieb benutzt wird. Änderungen an der Rezeptur der Waren werden nicht vorgenommen, da durch das Trockenschleifverfahren mit dem Nassverfahren vergleichbare Produkte hergestellt werden sollen.
Es werden zunächst zwei Sorten Terrassenplatten bearbeitet. Die Platte Granit Hell beinhaltet weiche Materialien, während die Sorte Anthrazit vor allem harte Bestandteile hat. In Tabelle 2-4 sind die Materialstücklisten der beiden Terrassenplatten aufgeführt.

Position	Granit Hell	Druckfestigkeit	Anthrazit	Druckfestigkeit
		N/mm²		N/mm²
1	Zement		Zement	
2	Weißzement		Weißzement	
3	Mauersand		Mauersand	
4	Saxocarb		Saxocarb	
5	Saxogran		Saxogran	
6	Quarzsand		Quarzsand	
7	Fließmittel		Fließmittel	
8	Dolomitstein	80-180	Tholeiitbasalt	250-400
9	Kalkstein	80-180	Roter Meissner Granit	160-240
10	Marmorstein	80-180	Gneis	160-280
11	Farbe weiß		Farbe schwarz	

Tabelle 2-4: Materialstückliste der Terrassenplatten

Bis Position 7 gleichen sich die Stücklisten. Die Materialien bestehen aus Bindemitteln und Füllstoffen. Die anderen Materialien sind vor allem im Vorsatzbeton zu finden und bestimmen die Optik der Platten. Basalt, Granit und Gneis sind Zuschlagstoffe mit hohen Werten für die Druckfestigkeit. Dolomitstein und Marmorstein besitzen wie Kalkstein eine geringe Druckfestigkeit und dadurch eine hohe Schleifabnutzung.
Beim Nassschleifen wird die Aussage bestätigt. Die Sorte Granit Hell kann dort mit höherer Bandgeschwindigkeit bei geringem Werkzeugverschleiß geschliffen werden. Aus den Erfahrungen der Praxis lassen sich die Sorten als Extreme für weiche und harte Platten identifizieren.
In der folgenden Abbildung sind Produkte beider Sorten dargestellt. Sie stammen aus einer Nassschleiflinie. Eine vergleichbare Qualität soll durch den Trockenschleifprozess erzielt werden.

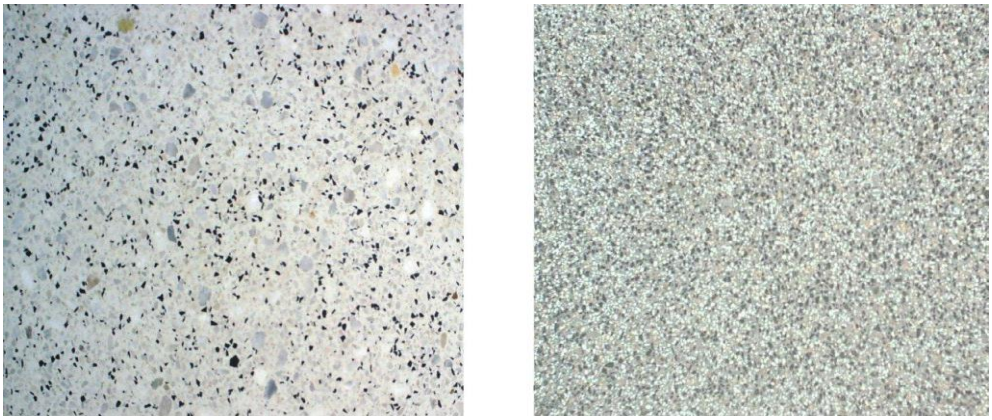


Abbildung 2–19: Terrassenplatten Granit Hell und Anthrazit

Um den neuen Trockenschleifprozess mit der herkömmlichen Nassschleiftechnik direkt vergleichen zu können, werden Rohplatten mit den gleichen Betonrezepturen geschliffen.

Das Trockenschleifen der Platten erfolgt in einer stationären Schleifmaschine im Durchlaufverfahren. Die Maschine besteht aus 2 Schleifstationen. Jede Station wird mit einer Leistung von 55 KW angetrieben. Sie besteht aus einem Schleifteller mit einem Durchmesser von 1400 mm. Die Werkstücke werden über einen Fördergurt mit einer Geschwindigkeit von bis zu 5 m/min durch die Maschine transportiert.

Die Terrassenplatten haben eine Länge und Breite von 400 mm und eine Höhe von 40 mm. Der Zerspanprozess erfolgt ohne die Verwendung von Kühlmedien. Das Abfallprodukt wird über eine Staubabsaugung abgeführt.

Die geschliffene Plattenoberfläche ist dabei qualitativ gleichwertig der Oberfläche von Produkten im Nassschleifverfahren.

2.3.4 Abfallprodukte

Beim Trockenschleifen fällt ein Abfallprodukt (Staub) an, welches durch das Abschleifen der zu bearbeitenden Steinoberfläche entsteht.

Dieser Staub wird über spezielle Absauganlagen entnommen und über ein Spezialfiltersystem von der abgesaugten Luft getrennt. Die gereinigte Luft, das so genannte Reingas, wird in das Halleninnere abgeleitet.

Bezüglich des Reststaubgehalts, welcher im Reingas enthalten sein darf, gibt es eindeutige Vorschriften.

Hierzu wird auf die Stellungnahme der Firma HERDING Filtertechnik verwiesen (siehe folgende Seiten). Die Firma HERDING-Filtertechnik ist Lieferant der Absaug- und Reinigungsanlage für das Trockenschleifverfahren.

Projekt GODELMANN, Högling

20.11.2009, rab

Anwendung:

Absaugen von Steinbearbeitungsmaschinen (Phasen, Bürsten, Curling, Antiken, Strahlen, Trockenschleifen)

Zusammensetzung der Betonsteine:
- ca. 13% Zement
- ca. 87% Zuschlagstoffe

Es wird ein Quarzgehalt von ca. 10% angenommen.

Gemäß der GESTIS-Datenbank des BGIA, Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz

„…Für silikogenen Staub (Quarz) existierte bis zum 31. 12. 2004 ein Grenzwert von 0,15 mg/m³. Bis zur Festlegung eines Arbeitsplatzgrenzwertes für Quarz sollte dieser Wert für die Beurteilung der Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen herangezogen werden …“

„… Die Einstufung von Quarz wird zurzeit intensiv diskutiert. Vor Abschluss der Diskussion können hier keine Angaben zur Einstufung gemacht werden. Die meisten Hersteller stufen Quarz als nicht kennzeichnungspflichtig ein. Dem steht die neue K1-Einstufung der MAK-Kommission entgegen.

Krebserzeugend : Kategorie 1 - Stoffe die beim Menschen Krebs erzeugen und bei denen davon auszugehen ist, dass sie einen nennenswerten Beitrag zum Krebsrisiko leisten. …“

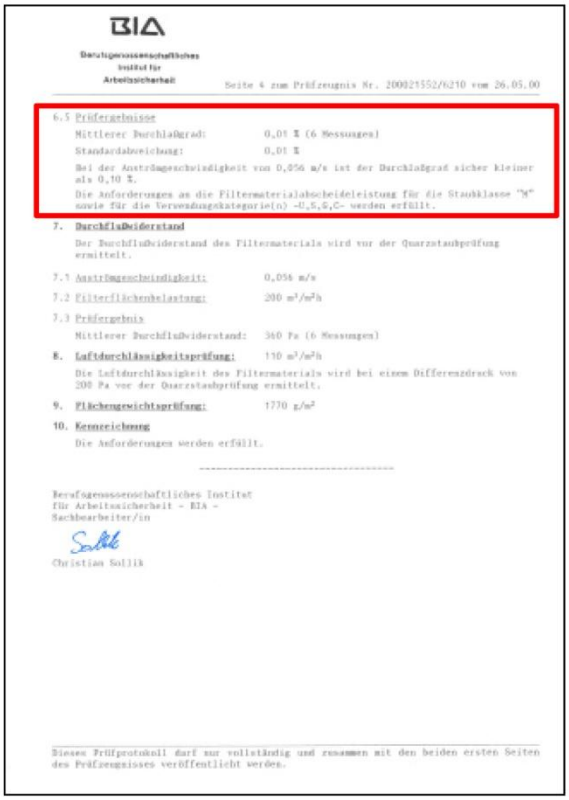
Bestandteil an Siliziumdioxid:

Siliziumdioxid SiO_2 mit 10% und einem Arbeitsplatzgrenzwert AGW von 0,015 mg/m³

Abscheideleistung (Filtrationsqualität HERDING Filtertechnik):

BIA-Zeugnis:
Prüfung gemäß EN600335 „Anforderungen an Filter zum Einsatz in staubbeseitigenden „Maschinen

Staubklasse DIN EN 60335-2-69	BIA-Verwendungs-kategorie	Verwendungszweck	max. zul. Durchlass-grad
	U	Abscheiden von Staub mit MAK-Werten > 1 mg/m³	5,0 %
L		Abscheiden von Staub mit MAK-Werten > 1 mg/m³	1,0 %
	S	Abscheiden von Staub mit MAK-Werten > 1 mg/m³	1,0 %
	G	Abscheiden von Staub mit MAK-Werten	0,5 %
M		Abscheiden von Staub mit MAK-Werten ≥ 1 mg/m³	0,10 %
	C	Abscheiden von Staub mit MAK-Werten und von krebserzeugenden Gefahrstoffen (GefStoffV, §35), ausgenommen besonders gefährliche krebserzeugende Gefahrstoffe (GefStoffV, §15a)	0,10 %
	K1/K2	Abscheiden von Staub mit MAK-Werten, von besonders krebserzeugenden Gefahrstoffen (GefStoffV, §15a) und von krebserzeugenden Gefahrstoffen (GefStoffV, §35) sowie von Staub mit Krankheitserregern	0,05 %
H		Abscheiden von Staub mit MAK-Werten, von krebserzeugenden Gefahrstoffen (GefStoffV, §15a, §35) sowie von Staub mit Krankheitserregern	0,005 %



BIA

Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit

Seite 4 zum Prüfzeugnis Nr. 200021552/6210 vom 26.05.00

6.5 Prüfergebnisse

Mittlerer Durchlaßgrad: 0,01 % (6 Messungen)

Standardabweichung: 0,01 %

Bei der Anströmgeschwindigkeit von 0,056 m/s ist der Durchlaßgrad sicher kleiner als 0,10 %.

Die Anforderungen an die Filtermaterialabscheideleistung für die Staubklasse "M" sowie für die Verwendungskategorie(n) -U,S,G,C- werden erfüllt.

7. Durchflußwiderstand

Der Durchflußwiderstand des Filtermaterials wird vor der Quarzstaubprüfung ermittelt.

7.1 Anströmgeschwindigkeit: 0,056 m/s

7.2 Filterflächenbelastung: 200 m³/m²h

7.3 Prüfergebnis

Mittlerer Durchflußwiderstand: 360 Pa (6 Messungen)

8. Luftdurchlässigkeitsprüfung: 110 m³/m²h

Die Luftdurchlässigkeit des Filtermaterials wird bei einem Differenzdruck von 200 Pa vor der Quarzstaubprüfung ermittelt.

9. Flächengewichtsprüfung: 1770 g/m²

10. Kennzeichnung

Die Anforderungen werden erfüllt.

Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit – BIA –
Sachbearbeiter/in

Christian Sollik

Dieses Prüfprotokoll darf nur vollständig und zusammen mit den beiden ersten Seiten des Prüfzeugnisses veröffentlicht werden.

Prüfergebnis gemäß Prüfung EN600335 (BIA Prüfzeugnis):

„…

Mittlerer Durchlassgrad: 0,01 %
(6 Messungen)
Standardabweichung: 0,01 %

Bei der Anströmgeschwindigkeit von 0,056 m/s ist der Durchlassgrad sicher kleiner als 0,10 %.

Die Anforderungen an die Filtermaterial-abscheideleistung für die Staubklasse „M“ sowie für die Verwendungskategorie(-n) –U, S, G, C- werden erfüllt.

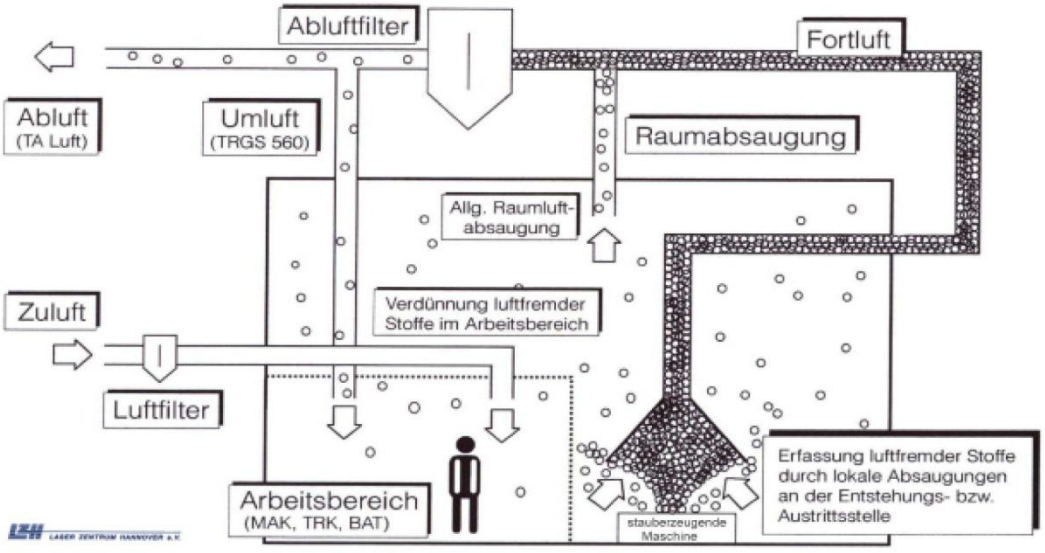
…“

Durchlassgrad bedeutet:

von 100% des ankommenden Staubes auf der Rohgasseite werden 99,99% am Filtermedium abgeschieden, bzw. gehen 0,01% durch das Filtermedium hindurch

Einschränkung:

nicht 100% des entstandenen Staubes werden erfasst. Somit ist es nicht richtig, die AGW-Werte (Grenzkonzentrationen, die ausschließlich für den Arbeitsplatz gelten) mit der Reingaskonzentration gleichzusetzen



Projekt GODELMANN, Högling

20.11.2009, rab

Rechenbeispiel für Luftmenge 14.000 m³/h:

Rohgasbeladung: 30 kg pro 8 h = 3,75 kg/h
Absaugluftmenge: 14.000 m³/h

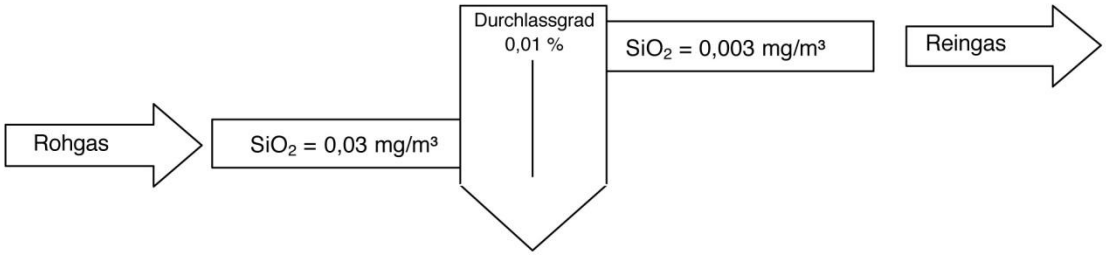
Rohgaskonzentration: 3.750/14.000 = 0,27 g/m³

Verwendung von Siliziumdioxid mit 10%

Rohgaskonzentration (SiO_2) = (10/100) * 0,27 g/m³ = 0,03 g/m³

Durchlassgrad = 0,01 %

Reingaskonzentration (SiO_2) = (0,01/100) * 0,03 g/m³ = 0,003 mg/m³



Rechenbeispiel für Luftmenge 3.000 m³/h:

Rohgasbeladung: 30 kg pro 8 h = 3,75 kg/h
Absaugluftmenge: 3.000 m³/h

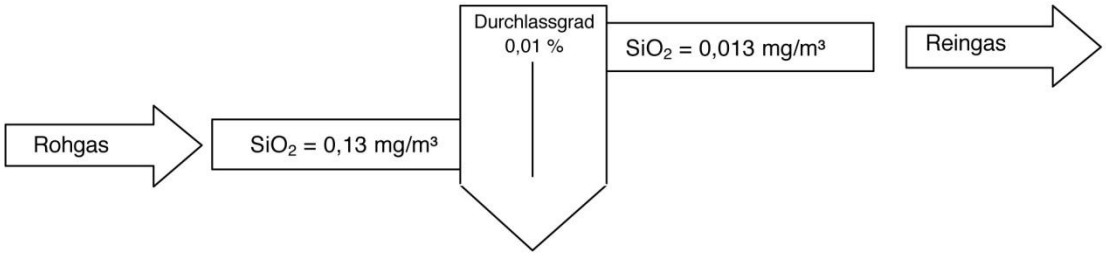
Rohgaskonzentration: 3.750/3.000 = 1,25 g/m³

Verwendung von Siliziumdioxid mit 10%

Rohgaskonzentration (SiO_2) = (10/100) * 1,25 g/m³ = 0,13 g/m³

Durchlassgrad = 0,01 %

Reingaskonzentration (SiO_2) = (0,01/100) * 0,13 g/m³ = 0,013 mg/m³



3/4

Maximale Arbeitsplatzkonzentration:

Arbeitsplatzgrenzwert AGW (SiO_2) = 0,015 mg/m³

Reinluftrückführung:

max. Konzentration in der Rückluft bei SiO_2 = Arbeitsplatzgrenzwert AGW (SiO_2) = 0,015 mg/m³

Ergebnis:

Bei der angenommenen Rohgasbeladung (Feinstaub), den Luftmengen und dem Abscheidegrad des Filtergeräts wird die Konzentration für die Reinluftrückführung unterschritten!

Literatur:

- BIA - Sicherheitstechnisches Informations- und Arbeitsblatt 130 222 'Reinluftrückführung beim Umgang mit Gefahrstoffen'
- VDMA Allgemeine Lufttechnik 'Luftrückführung'

Dipl.-Ing. Klaus Rabenstein
TAD - Dokumentation, Schulung, Sicherheitstechnik
HERDING GmbH Filtertechnik
August-Borsig-Straße 3
92224 Amberg
Tel. +49 (0) 9621 / 630-137
Fax. +49 (0) 9621 / 630-120
mobil. +49 (0) 160 / 5825 962
eMail. klaus.rabenstein@herding.de
http://www.herding.de

2.3.5 Diskussion der Ergebnisse

An dieser Stelle werden die Ergebnisse des neuen Trockenschleifverfahrens ausgewertet.
Die Trockenschleifanlage zeigt, dass das Schleifen von Betonwaren ohne die Verwendung von Wasser gut möglich ist. Die Realisierung der Trockenbearbeitung kann jedoch nur durch die Kombination verschiedener Maßnahmen realisiert werden. Sie basieren auf der richtigen Wahl der Werkzeuge und Änderungen an der Maschine hinsichtlich des Trockenschleifprozess.

Besonders für die Verarbeitung weicher Produkte konnte erreicht werden, dass mit dem Trockenschleifprozess qualitativ gleichwertige Produkte wie zum Nassschleifverfahren praktikabel sind.
Je nach Bearbeitung der weichen Betonprodukte ist die Wahl der richtigen Prozessparameter entscheidend, dass bedeutet die Kombination zwischen der Betonware und dem Schleifwerkzeug ist geeignet zu adaptieren.
Somit sollte der neue umweltschonendere Trockenschleifprozess sukzessiv auf andere Bereiche der spanenden Bearbeitung im Betonwarenbereich ausgeweitet werden. Welche ökologische als auch ökonomische Vorteile sich zur den neuen Trockenschleifprozess ergeben, wird in den nachfolgenden Kapitel detailliert erläutert.

2.4 Ökologische Bewertung

Der Abschnitt stellt den ökologischen Nutzen des neuen Verfahrens im Gegensatz zur Nassbearbeitung dar. Dazu werden In- und Output der einzelnen Verfahren betrachtet. In Abbildung 2–20 sind die Anschlusswerte für Strom und Wasser, der Flockungsmittelverbrauch und das entstehenden Abfallprodukt beim Nassschleifen aufgeführt. Insgesamt hat der Prozess eine Leistungsaufnahme von 595 KW, einen Wasserverbrauch von 339 l/h und einen Flockungsmittelverbrauch von 80 g/h. Als Abfallprodukt entsteht 2.471 kg Filterkuchen pro Stunde.

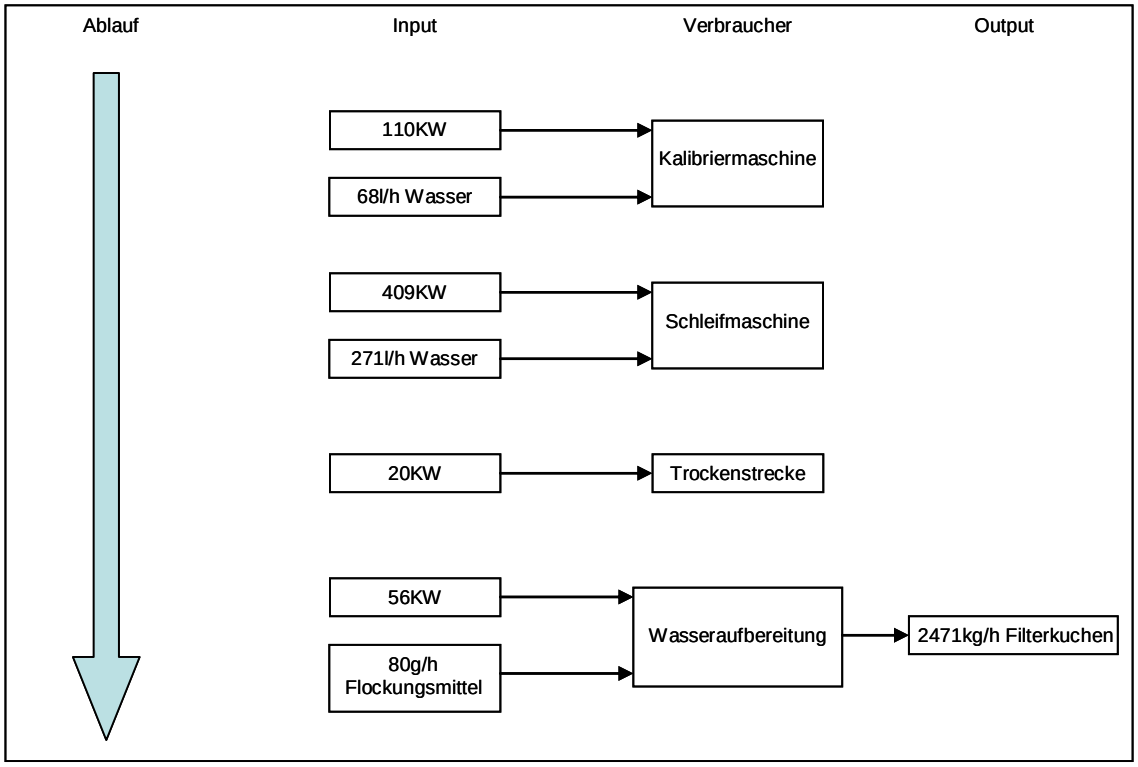


Abbildung 2–20: In- und Output Nassschleifprozess

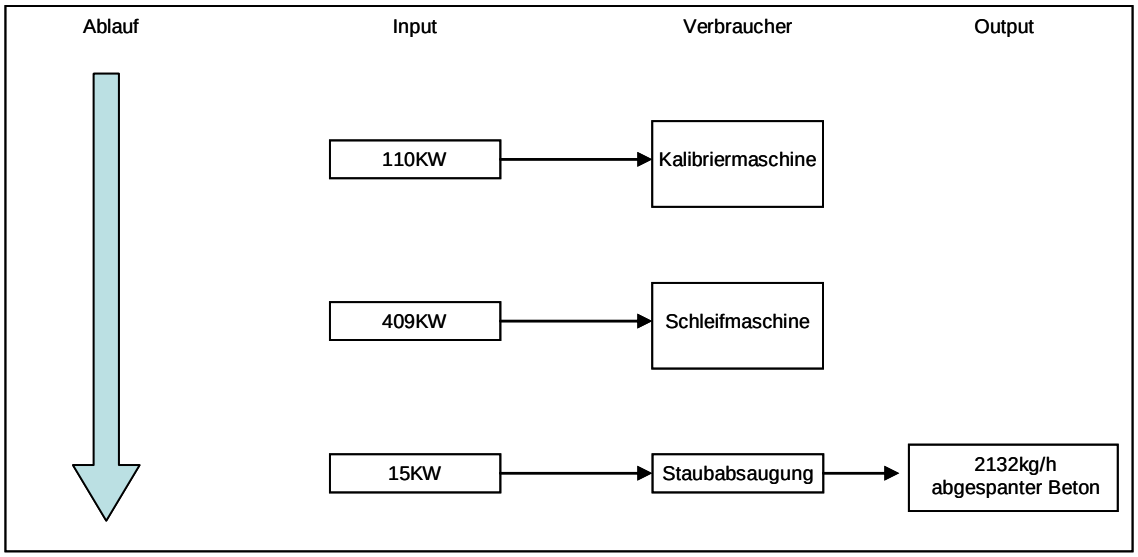


Abbildung 2–21: In- und Output Trockenschleifprozess

Bei der Trockenbearbeitung wird mit der gleichen Anzahl an Schleifstationen gearbeitet, um bei gleicher Leistung eine vergleichbare Werkstückqualität herzustellen. Daher sind die Leistungsaufnahmen der Maschinen identisch.

Das Trockenschleifverfahren ist in Abbildung 2–21 dargestellt. Es hat eine Leistungsaufnahme von 534 KW. Als Output entsteht 2.132 kg abgespanter Beton pro Stunde. Er hat eine maximale Korngröße von 0,5 mm. Bei einer Partikelgröße von 0 bis 0,2 mm wird das Material als Gesteinsstaub bezeichnet. Der Anteil ist vom bearbeiteten Produkt abhängig.

Beim Herstellen von Betonwaren kann das Material wieder verwendet werden. Als Zuschlagstoff für den Kernbeton wird es dem Produktionsprozess zurückgeführt. Die Herstellung ist unabhängig von der Farbe und Zusammensetzung des Materials. Durch die Rückführung in die Produktion können Zuschläge wie Sand und Splitt eingespart werden.

In folgender Tabelle werden die beiden Verfahren direkt miteinander verglichen.

	Nass-schleifen	Trocken-schleifen	Einsparung	Zielerreich. 0-100 %
Leistungsaufnahme KW	595	534	61	2o%
Wasserverbrauch l/h	339	0	339	100%
Flockungsmittelverbrauch g/h	80	0	80	100%
Schleifschlamm kg/h	2471	0	2471	100%
Abwasserbelastung	ca. 20 % d.Schleif-schlamms	keine Belastung	ca. 20 % des Schleifschlamms	100%
Platzbedarf Anlagentechnik	ca. 1000 m²	ca. 25 m²	975 m²	fast 100%
Schleifstaub	0	320 t	320 t werden dem Produktions-prozess wieder zugeführt	100%

Tabelle 2-5: Vergleich Nass- und Trockenbearbeitung

Der größte ökologische Nutzen entsteht durch den Wegfall des Abfallproduktes. Durch die problematische Konsistenz des Filterkuchens bleibt in der Regel nur die Entsorgung auf Deponien. Dort stellt es eine Belastung für nachfolgende Generationen dar. Beim Trockenschleifen kann das anfallende Material direkt wieder in den Produktionsfluss zurückgeführt werden.

Für die Trockenbearbeitung ist eine um 61 KW geringere Leistungsaufnahme notwendig. Wasser und Flockungsmittel werden nicht mehr benötigt. Demnach ist eine deutliche Energieeinsparung möglich und konnte eine Zielerreichung von 90 % realisiert werden. Wasser- und Flockungsmittel werden nicht mehr benötigt. Hier ist eine Einsparung beim Wasser von ca. 339 l/h und eine Einsparung beim Flockungsmittel von ca. 80 g/h möglich. Dies hat eine Zielerreichung von 100 % zur Folge. Das Abfallprodukt Schleifschlamm wird beim Trockenschleifen auch vollkommen vermieden. Daher lässt sich hier eine Reduzierung von 2.471 kg/h realisieren, was einer Zielerreichung von 100 % entspricht. Da im Schleifschlamm ca. 20 % Restfeuchtigkeit (Wasser) enthalten ist und dies beim Trockenschleifen nicht anfällt, ist also auch hier eine Reduzierung der Abwasserbelastung in Höhe von ca. 20% des Schleifschlamms möglich. Auch hier wurde das Ziel zu 100 % erreicht. Der Platzbedarf beim Nassschleifen beträgt ca. 1000 m², während beim Trockenschleifen lediglich die Absauganlage mit einem Flächenbedarf von ca. 25 m² zu Buche schlägt. Dies entspricht einer Einsparung von 975 m² - auch hier wurde das Ziel zu 100 % erreicht. Schleifstaub, der beim Nassschleifen nicht entsteht, jedoch beim

Trockenschleifen mit ca. 2.132 kg/h anfällt, kann zu 100 % wieder bei der Betonherstellung verwendet werden. Auch hier wurde das Ziel zu 100 % erreicht.

2.5 Ökonomische Bewertung

Bei der ökonomischen Betrachtung werden die fixen und variablen Kosten der Bearbeitungsverfahren gegenübergestellt.

	Nassschleifen	Trockenschleifen	Einsparung
Kalibriermaschine	97.800 €	96.700 €	1.100 €
Schleifmaschine	374.700 €	369.900 €	4.800 €
Trockenstrecke	39.000 €	0 €	39.000 €
Wasseraufbereitung	243.656 €	0 €	243.656 €
Staubabsaugung	0 €	28.987 €	-28.987 €
Summe			259.569 €

Tabelle 2-6: Vergleich der Fixkosten

In Tabelle 2-6 sind die Anschaffungspreise der einzelnen Anlagenkomponenten aufgeführt. Die Schleifstationen an Nass- und Trockenmaschine werden in ähnlicher Ausführung gefertigt. Bei beiden Verfahren sind sie mit einem Frequenzumformer ausgestattet. Ein polumschaltbarer Motor ohne freie Drehzahlregelung wäre für die Nassmaschine ausreichend, jedoch mit den gleichen Kosten eines frequenzgeregelten Antriebs verbunden.

Bei der Nassbearbeitung muss die Maschine mit Wasserleitungen ausgerüstet werden. Jede Station hat einen Anschluss, von dem das Wasser an das Werkzeug geleitet wird. Das Untergestell der Maschine hat Aussparungen, durch die das Wasser die Maschine wieder verlassen kann.

Die Trockenmaschine muss abgedichtet werden, damit der Staub die Maschine nicht verlassen kann. Absaugstutzen an den Serviceöffnungen ermöglichen den Anschluss einer Staubabsaugung.

Damit bleibt der Preisvorteil der Trockenmaschine gegenüber der Nassbearbeitung gering. Insgesamt beträgt er jedoch durch den Wegfall der Trockenstrecke und der Wasseraufbereitung ca. 260.000 €.

Die variablen Kosten berechnen sich vor allem aus Werkzeug-, Entsorgungs- und Reinigungskosten. Bei der Betrachtung der Werkzeugkosten muss die Standzeit der verschiedenen Schleifmittel festgelegt werden.

Beim Nassschleifen haben die metallgebundenen Diamanten auf einem Schleifteller eine Haltbarkeit von ca. 25.000 m². Auf einem Teller sind 99 Segmente angeordnet. Ein Segment hat einen Preis von 18 €. An Kalibrier- und Schleifmaschine sind 6 Stationen mit den Werkzeugen ausgestattet.

Die Schleifkörper aus magnesitgebundenem Korund haben einen Preis von 13 €. Pro Teller werden 11 Segmente eingesteckt. Die Bestückung eines Schleiftellers hat eine Standzeit von ca. 500 m². Insgesamt sind 5 Stationen mit magnesitgebundenem Korund ausgerüstet.

Kosten pro 1000 Quadratmeter	Nassschleifen	Trockenschleifen	Einsparung
Werkzeuge für Grobbearbeitung			
Stationen	6	6	
Segemente pro Station	99	99	
Preis €/Stck	18	18	
Standzeit /m²	25000	25000	
Bezugswert /m²	1000	1000	
Standzeit %	100	60	
Kosten /€	**428**	**713**	**-285**
Werkzeuge für Feinbearbeitung			
Stationen	5	5	
Segemente pro Station	11	99	
Preis €/Stck	13	18	
Standzeit /m²	500	25000	
Bezugswert /m²	1000	1000	
Standzeit %		60	
Kosten /€	**1430**	**594**	**836**
Entsorgung Filterkuchen			
Filterkuchen kg/1000m²	9690		
Gebühr €/1000kg	50		
Kosten /€	**485**	**0**	**485**
Reinigung			
Stundenlohn €/h	20	20	
Dauer /h	3	1	
Kosten /€	**60**	**20**	**40**
Summe	**2.402 €**	**1.327 €**	**1.075 €**

Tabelle 2-7: Vergleich der Variablen Kosten

Die Kosten beziehen sich auf die Bearbeitung von 1.000 m². Dabei können über 1.000€ durch die Trockenbearbeitung eingespart werden. Vor allem durch den Verzicht auf magnesitgebundene Schleifkörper und die Verwendung metallgebundener Diamanten lässt sich eine Einsparung von 836 € erreichen. Daneben können durch die längere Standzeit der Werkzeuge, Ausfallzeiten durch einen Werkzeugswechsel verringert werden.

Die Entsorgung des Filterkuchens kostet 50 € pro Tonne. Die Maschine verschmutzt im Nassbetrieb wesentlich stärker. Bei 1.000 m² ist eine Reinigung von ungefähr 3 Stunden notwendig. Im Trockenbetrieb ist dagegen eine Reinigung von maximal 1 Stunde zu erwarten, um nicht abgesaugtes Material zu beseitigen.

Die Trockenbearbeitung zeigt somit neben ökologischen auch ökonomische Vorteile. Sowohl bei der Investition als auch während des laufenden Betriebes können Kosten eingespart werden. So kann allein durch unternehmerisches Denken, Umweltschutz praktiziert werden.

3 Umsetzung

Der vorliegende Abschlussbericht zeigt eine Anlage zum umweltverträglichen Schleifen von Betonwaren.

Bisher erfolgt der Schleifprozess mit dem Kühlmedium Wasser. Dazu ist eine Wasseraufbereitung mit einem hohen Energiebedarf notwendig. Das anfallende Abfallprodukt muss auf Deponien entsorgt werden.
Bei einer Trockenbearbeitung (Trockenschleifen) können die Abfallprodukte direkt der Produktion zurückgeführt werden. Es entsteht ein geschlossener Kreislauf, durch den sich neben ökologischen auch ökonomische Vorteile im Sinne des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes realisieren lassen.

Eine Trockenschleifanlage wurde umgesetzt und läuft bei verschiedensten Betonwaren störungsfrei im Dauerbetrieb.

Ökologische und ökonomische Vorteile gegenüber dem herkömmlichen Schleifprozess mit Wasser sind eindeutig vorhanden.

Unser Unternehmen hat im Jahr 2010 ca. 62.000 m² Betonplatten und –pflastersteine für die Freiraumgestaltung hergestellt – davon ca. 29.000 m² im Trockenschleifprozess. Dies entspricht einer Quote von rund 47 %.

Durch die Herstellung im Trockenschleifprozess fielen daher ca. 29.000 m² x 0,004 m (Abtrag 4 mm) = ca. 120 m³ Staub an. Diese 120 m³ Staub entsprechen ca. 320 to Staub, der in die Produktion zurückgeführt wurde. Dadurch ließen sich auch ca. 320 to (ca. 15 LKW-Ladungen) Sand und Splitt aus der Natursteinindustrie einsparen.

A Anhang

Anlagenverzeichnis

A.1 Erste Anlage 51

A.2 Zweite Anlage 51

A.1 Erste Anlage

A.2 Zweite Anlage

Quellenverzeichnis

Literaturverzeichnis

Degussa:

Wasser-, Abwasser und Schlammbehandlung, Degussa Krefeld, http://www.stockhausen.de, 15.06.2005

Ebeling, K./Knopp, W./Pickhardt, R.:

Beton – Herstellung nach Norm: die neue Normengeneration, Verlag Bau + Technik GmbH, Düsseldorf, 2002

Ertingshausen, W.:

Zerspanung von Granit mit Diamant – Trennschleifscheiben, Fakultät für Maschinenwesen der Universität Hannover, Hannover, 1985

Feldmann, H./ Bilgeri, P./Gerhards, R./Gerne, L./Kaymer F.,K./Moritz, H./Pickel, U./Pörschmann, M./Tegelaar, R.,A./Widmann, H.

Handbuch – Betonfertigteile, Betonwerkstein, Terrazzo, Verlag Bau + Technik GmbH, Düsseldorf, 1999

Geco:

Umwelt – Betonwerke: Recycling von farbigem Frischbeton – Filterkuchen anstelle Schlamm, Geco – Geräte-Konstruktionen GmbH, http://www.geco.biz, 15.06.2005

König, W./Meis, F.,U./Neder, L./Sartori, P./Holtus, G./Johannsen, H.:

Schadstoffe beim Schleifvorgang, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Dortmund, 1985

Schulze, R.:

Bohren und Sägen von Beton mit Diamantwerkzeugen – Anwendung in der Bauindustrie, Dr. Schulze GmbH, http://www.dr-schulze.de, 04.06.2005

Toussaint, D./Michler, T./Doerfel, O.:

Umstellung eines Fertigungsbereichs auf Trockenbearbeitung (Phase 1), ABAG – Abfallberatungsagentur, Fellbach, 1998

Verein Deutscher Zementwerke e.V.:

Zement-Taschenbuch 2000, Verlag Bau + Technik GmbH, Düsseldorf, 2000

Voll, M.:

Modelle zur thermischen Optimierung von Trockenschleifprozessen, Verlag wissenschaftliche Scripten, Zwickau, 2001

Zitt, U.-R.:

Modellierung und Simulation von Hochleistungsschleifprozessen, Lehrstuhl für Fertigungstechnik und Betriebsorganisation Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, 1999