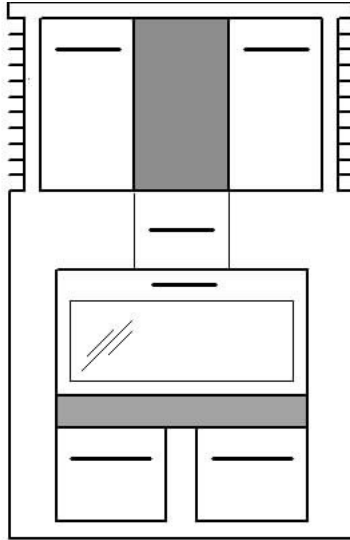


Modelliermaschine

1994



Nach einer Idee
von Hans Ulrich Stalder

Einführung

Eine Modelliermaschine kann Objekte plastisch abbilden.

Die vorliegende Abhandlung beschreibt die Funktionsweise einer computergesteuerten Modelliermaschine, die fähig ist, effektive und virtuelle Objekte real abzubilden und zu reproduzieren, d.h. räumliche Abbildungen, wie z.B. Reliefdarstellungen von Gebirgen. Die Darstellungen können in Farbe hergestellt werden. Die beschriebene Modelliermaschine ist zugleich ein Fotokopierer für die dritte Dimension.

Die Herkunft der Basisinformation der räumlichen Abbildungen ist unerheblich für diese Maschine, solange sie computerlesbar ist und eine entsprechende Software diese in eine für die Modellier-Software verständliche Form konvertieren kann. Typisch sind computerunterstützte 3-D-Zeichnungen, Stereo-Bilder oder kartographische Daten. Die maximale Grösse eines modellierten Objekts ist 30cm breit, 20cm tief und im vorliegenden Fall 15cm hoch. Abbildungen, die über diese Grösse hinausgehen, werden segmentiert produziert und nachträglich zusammengesetzt.

Das zu verwendende Modelliermaterial ist vorzugsweise eine tonähnliche Modelliermasse. Aber auch normaler Töpferton lässt sich damit verarbeiten, sofern von einem Brand des Objekts abgesehen wird.

Im weiteren basieren die folgenden Vorschläge auf einer Lösung mit einzelnen Elektromotoren. Denkbar ist aber auch ein Hydrauliksystem oder eine Kombination von beidem.

Der erste Teil dieser Dokumentation zielt darauf ab, einen Gesamtüberblick zu vermitteln. Der zweite Teil beschreibt Lösungsansätze eher technischer Problemstellungen. Dabei verzichtete der Autor in den meisten Fällen auf ein Dokumentieren mehrerer Lösungsvarianten.

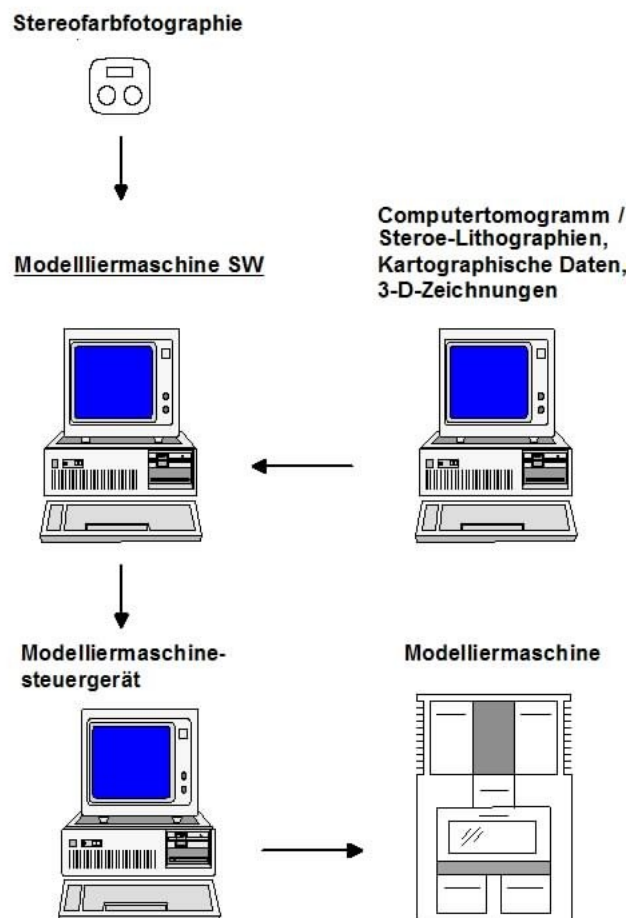
1. Die Modelliermaschine in Übersicht

Die Modelliermaschine-Software ist darauf ausgerichtet, "Fremddaten" zu übernehmen und zu bearbeiten. Sie ist die eigentliche Benutzer-Software. Mit ihr können die importierten Daten verändert und ergänzt werden. Im Datenfluss liegt sie zwischen den Geräten, die die Original-3-D-Objekte beschreiben, wie z.B. 3-D-Zeichnungs-Programme, und dem Modelliermaschine-Steuergerät. Sind die Fremddaten einmal in das Format für dies Modelliermaschine-SW konvertiert, ist die Herkunft nicht mehr ersichtlich und auch unbedeutend. Zudem ermöglicht diese SW, auch eigene, einfache 3-D-Abbildungen zu entwickeln.

Auf dem Modelliermaschine-Steuergerät ist die Maschinensteuerungs-Software installiert. Mit dieser SW wird die Modelliermaschine-Konfiguration vorgenommen, d.h. es wird festgelegt, welche Werkzeuge zur Verfügung stehen, etc. Auf Grund dieser Angaben, berechnet die Software die Vorgehensweise und die benötigten Mittel (Material, Zeit, etc.), die notwendig sind, um ein bestimmtes Objekt zu modellieren.

Die Modelliermaschine selbst beinhaltet nur Steuerungs-Software (Microcode). Dies ermöglicht es, operationale Handlungen an der Modelliermaschine vorzunehmen, ohne dabei eine Schreibmaschinentastatur bedienen zu müssen.

Die Original-3-D-SW, die Modelliermaschine-SW sowie die Modelliermaschine-Steuergerät-SW kann sich auf demselben Gerät befinden, sofern die Kapazität und die Leistungsfähigkeit ausreicht. Ist dies zudem eine tragbare Ausführung (Laptop), kann diese zur Steuerung der Modelliermaschine in eine zusätzliche Halterungseinrichtung eingeschoben werden, die auf der Modelliermaschine installiert werden kann.



2. Einsatzmöglichkeiten einer Modelliermaschine

Abgesehen davon, dass neue Möglichkeiten auch neue Bedürfnisse schaffen, ist ein Einsatz einer Modelliermaschine für folgende Bereiche denkbar:

- Blindenausbildung
- Chirurgie
- Geologie
- Modellbau
- Restaurationswerkstätten
- Reproduktionswerkstätten
- Reisebüros
- Schule
- Werbebüros
- Kunst- und Gestaltungsinstitutionen
- Hobby

..... oder wie der französische Nationalökonom Jean-Baptise Say (1767-1832) einmal bemerkte, dass das Angebot selbst eine Nachfrage erzeugt.

3. Die Funktionsweise

Wie bereits erwähnt, werden die Basisdaten, die das zu modellierende Objekt beschreiben, durch die Modelliersoftware aufbereitet und eventuell noch ergänzt. Dann gelangen diese an den Steuercomputer der Modelliermaschine. Dort werden diese in Maschinensteuerbefehle umgesetzt und an die Modelliermaschine weitergeleitet, wo dann das Objekt modelliert wird.

Die Konstruktion eines Objekts erfolgt von unten nach oben, wie dies von Hand ebenfalls erfolgen würde. Dazu bedient sich die Maschine einer Art "Würstlitechnik" (eine weitverbreitete Art zur Gestaltung von Gefässen und sonstigen Formen). Diese "Würstli" werden jedoch nicht irgendwo gerollt und dann am gewünschten Ort plaziert, sondern direkt am vorgesehenen Ort aus einer Art variablen Schablone (Formgeber) herausgepresst. In demselben Arbeitsgang werden diese "Würstli", nachfolgend als Profilstangen bezeichnet, an den Untergrund oder an die bereits produzierten Profilstangen angepresst. Der Formgeber kann Profilstangen in der maximalen Grösse von 20mm Breite und 7 mm Höhe herstellen. Das besondere an dieser Strangpresse ist, dass sie während des Auspressens der Modelliermasse alle erforderlichen Profilformen mit einem Fehler von weniger als 2 mm herstellen kann und die Profilform sogar während des Auspressens geändert werden. So wird Profilstange an Profilstange seitlich aneinander gereiht, bis eine erste Lage vollständig ist, d.h. die Grundform gelegt ist. Danach erfolgt die Grobmodulation im "nassen" Zustand der Modelliermasse. Einher mit der Erstellung des Objekts erfolgt das Trocknen mit Mikrowellen, die von einem Sender unterhalb der Objektplattform ausgestrahlt werden.

Die weiteren Lagen werden analog der ersten auf die vorherige Lage hinzugefügt. Je nach gewünschtem Modulationsfeinheitsgrad, werden weitere Modulationsschritte eingefügt. Die zweite Modulationsstufe erfolgt schon beinahe im "lederharten" Zustand der Masse. Das heisst, nach jeder Lage wird die darunter liegende nachmoduliert (falls die Modelliermasse noch zu nass sein sollte, wird zuerst noch eine weitere Lage produziert). Feinere Modulationsstufen und die Bemalung erfolgen an noch weiter unten liegenden Lagen (bis maximal 14 Lagen können dazwischen liegen), die dann schon vollständig ausgetrocknet sind.

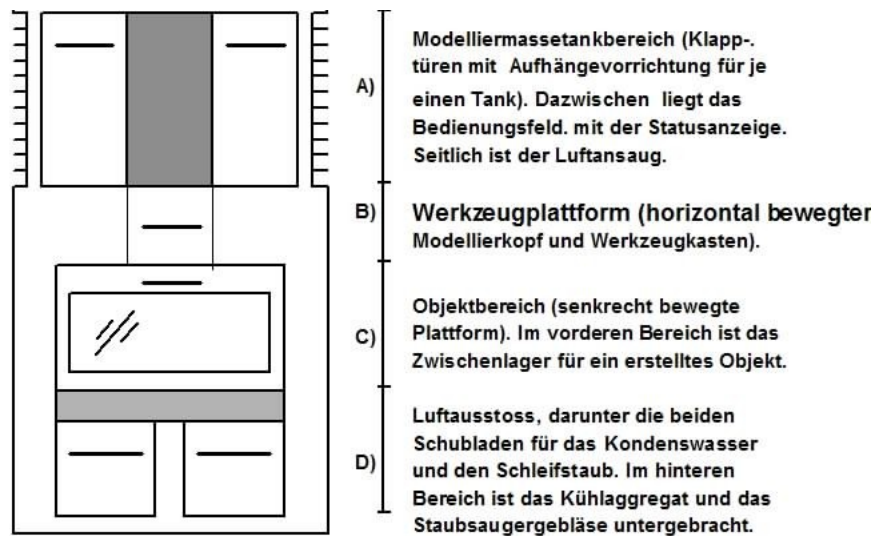
Mit der Feinmodulation anfallender Schleifstaub wird mit einem eingebauten Staubsauger abgesaugt. Falls erwünscht, kann ein Objekt auch nur bis zur Grobmodulation verarbeitet und das Austrocknen in der Maschine unterdrückt werden. Ein solches Objekt kann nachträglich manuell weiterverarbeitet werden.

Die Anordnung der wichtigsten Modelliereinrichtungen

Die Strangpresse, die Modellierwerkzeuge und einige weitere Einrichtungen befinden sich in einem frei drehenden Modellierkopf. Dieser ist auf einem Schlitten montiert, der sich ca. in mittlerer Höhe der Modelliermaschine befindet und sich nur horizontal verschieben kann. Das im Aufbau befindliche Objekt hingegen, befindet sich unterhalb des Modellierkopfs auf einer Plattform, die sich nur in der Senkrechten bewegen kann. Das heisst, nach jeder neuen Lage Modelliermasse die aufgetragen wurde, senkt sich die Objektplattform um 7 Millimeter nach unten.

Die aktiven Modellierwerkzeuge befinden sich im Modellierkopf an sechs teleskopähnlichen Armen, den Kleinrobotern. Sie bearbeiten das Objekt von oben. Die benötigten Werkzeuge werden bei Bedarf automatisch ausgewechselt.

4. Die vier horizontalen Bereiche der Modelliermaschine



Die Bereiche **A** bis **D** werden auf den nächsten Seiten noch ausführlicher beschrieben.

Die Grösse der Modelliermaschine

Die Modelliermaschine hat etwa die Grösse eines Einbaukühlschranks. Die Ausmasse von 55cm Breite und 60cm Tiefe entsprechen der Grösse von Normelementen. Die Gesamthöhe steht in Abhängigkeit der Modellier-raumhöhe. Hat dieser die Minimalhöhe von 15cm, ist die Modelliermaschine 80cm hoch.

Anschlüsse

Folgende Anschlüsse an externe Einrichtungen sind zu berücksichtigen:

- elektrische Stromzufuhr
- Verbindungskabel zum Steuercomputer (sofern extern)
- Abluftanschluss (Option)
- .Kondenswasserablauf (Option)
- externer Staubsaugeranschluss (Option)
- Laptophalterung (Option)

Falls die Maschine eingebaut wird, ist darauf zu achten, dass die Frischluftzufuhr von hinten oder von vorn gewährleistet ist (durch die seitlichen Lamellen im oberen Bereich).

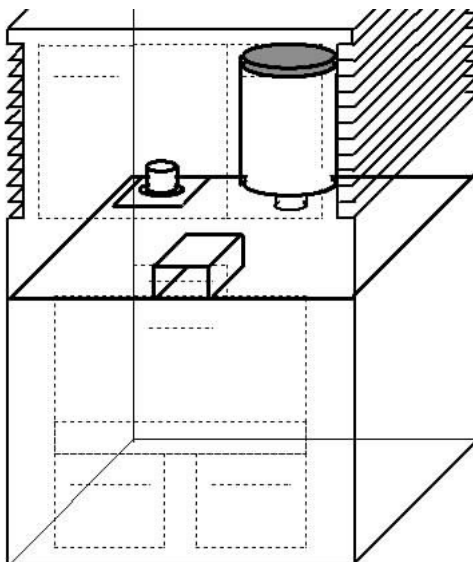
A. Der Modelliermassetankbereich

Beinahe der ganze obere Drittel der Modelliermaschine ist der Modelliermassetankbereich. Im vorderen Teil sind zwei Boxen, für je einen Tank. Vorn sind die Boxen mit einer Klapptüre versehen, nach hinten sind sie offen.

Der Modelliermassetank selbst ist ein rundes Behältnis, oben mit einem innen liegenden Deckel und unten mit einem schliessbaren Anschlussstutzen. Der Modelliermassetank hängt, wenn nicht im Einsatz, in der Box an einer Aufhängevorrichtung. Mit dem Herunterklappen des Deckels wird die ganze Aufhängevorrichtung, inklusive dem Tank, nach aussen verlagert. In dieser Position kann bereits Modelliermasse nachgefüllt werden. Zu Reinigungszwecken oder aber auch zum Nachfüllen kann ein Tank ganz aus der Aufhängevorrichtung genommen werden.

Der Tank selber ist in den unteren zwei Zentimeter leicht konisch und endet im Anschlussstutzen für die Strangpresse mit dem Formgeber. Ist der Tank nicht im Einsatz, ist der Anschlussstutzen mit einem Schieber verschlossen.

Der Deckel des Modelliermassetanks ist zugleich ein Kolben, der den notwendigen Vordruck auf die Masse im Tank ausübt. Er schraubt sich automatisch auf die Masse nieder, sobald der Tank an den Modellierkopf gekoppelt wird.



B. Die Werkzeugplattform

Die Werkzeugplattform befindet sich auf konstanter Höhe über dem zu modellierenden Objekt - d.h., sie ist zugleich die Modellierraumdecke. Sie beinhaltet einen horizontal verschiebbaren "Schlitten" mit dem Modellierkopf (im Bild hinten links) sowie das externe Werkzeugmagazin (in der Bildmitte).

Der Schlitten kann sich horizontal in jede Richtung bewegen. Rund um den Modellierkopf sind die Elektromotoren angeordnet. Zudem ist die ganze Steuerelektronik der Modellierkopfeinrichtungen auf dem Schlitten untergebracht und alles was sich mit dem Modellierkopf mitdrehen muss, ist auf dem drehbaren Teil des Schlittens montiert. Nur Elektromotoren, die für das Verschieben des Schlittens verantwortlich sind, sind am Modelliermaschinegehäuse montiert.

Während dem Auspressen der Modelliermasse steckt einer der zwei Tanks (im Bild oben rechts) mit seinem Anschlussstutzen im Modellierkopf und verschiebt sich horizontal mit diesem.

B. a) Der Modellierkopf

Der zylindrische Modellierkopf beinhaltet alle Funktionen, die zum Modellieren notwendig sind. Er kann sich ohne Limitierung rund um die eigene Achse drehen. Das heisst, es führen keine elektrischen Leitungen in den Modellierkopf hinein. Elektrische Steuersignale werden über Lichtkopplungen in den Modellierkopf übermittelt (Lichtleiter- und Optokoppler-Prinzip). Elektrische Kraft wird über Schleifleisten und Bürsten übertragen.

Im Zentrum des Modellierkopfs ist eine einige Zentimeter breite, durchgehende Öffnung, die bis in den Modellierraum reicht. In dieser steckt, je nach Anforderung, entweder die Strangpresse oder ein Staubsaugerstützen.

Ist einer der Tanks mit dem Modellierkopf verbunden, ist dieser zugleich mit der Strangpresse verbunden. Der obere Bereich der Strangpresse ist eine einschneckige Schneckenpresse. Die Schneckenpresse wiederum endet im Formgeber. Dieser bestimmt die Grösse und Form der Profilstangen (aus Ton, etc.). Der Formgeber kann von der vertikalen bis in die horizontale Lage geschwenkt werden.

Alle Bewegungsmöglichkeiten zusammen, erlauben ein kreuzweises oder vertikales anlegen der Profilstangen.

Rund um die zentrale Öffnung im Modellierkopf sind die Werkzeughalterungsvorrichtungen angebracht (dies sind kleine, eingelenkige Roboterarme mit variabler Armlänge). An der Werkzeughalterungsvorrichtung können die unterschiedlichsten Werkzeuge montiert sein (von der Strukturraschel bis zum Kleinstbohrer, etc.). Die Werkzeuge werden automatisch ausgewechselt.

Während den ersten Modulationsstufen bleibt der Massetank mit dem Modellierkopf verbunden. Erst für die Feinmodellierung wird der Massetank wieder in seiner Box deponiert.

B. b) Das Werkzeugmagazin

Das Werkzeugmagazin ist das Zusatzlager für Werkzeuge die momentan nicht zum Modellieren gebraucht werden und für die im Modellierkopf keine Werkzeughalterungsvorrichtung mehr frei ist. Bohrer, Fräsen, kurze Modellierwerkzeuge, Oberflächenstrukturkellen, Farbspraydosen, Farbspitzen, etc. fallen alle unter den Begriff "Werkzeuge". Aber auch Verschleissmaterial ist im Werkzeugkasten enthalten, wie Filterpapier und Skelettmodulationsdraht. Ebenso gehört eine spezielle Maschendrahtrolle zum Verbrauchsmaterial und befindet sich gleichermassen auf der Höhe der Werkzeugplattform. Sie wird aber durch die Fronttüre des Objektbereichs ausgewechselt.

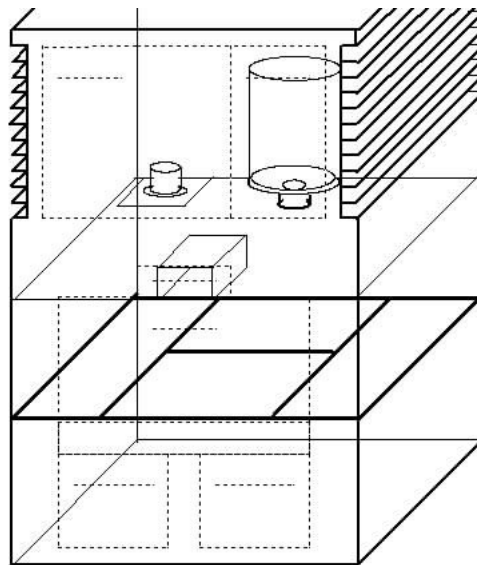
Das Werkzeugmagazin befindet sich etwas oberhalb der Werkzeugplattform. Das Auswechseln eines Werkzeugs erfolgt durch anheben des Schlittens. Danach wird er von hinten über das Magazin hinweg, bis zum entsprechenden Werkzeug, gefahren. Denkbar ist auch, das sich das Magazin etwas unterhalb der Werkzeugplattform befindet. Allerdings wird bei dieser Variante die ganze Maschine um die Werkzeugmagazinhöhe höher.

C. Der Objektbereich

Im vorderen Bereich ist der Abstellplatz für ein beendetes Objekt. Im hinteren Bereich ist der Modelliererraum. Der Boden des Modelliererraums ist die Plattform, wo das Objekt darauf erstellt wird. Diese Plattform kann sich in der Höhe verstellen und stellt automatisch den richtigen Abstand zwischen dem Objekt und dem Modellierkopf her.

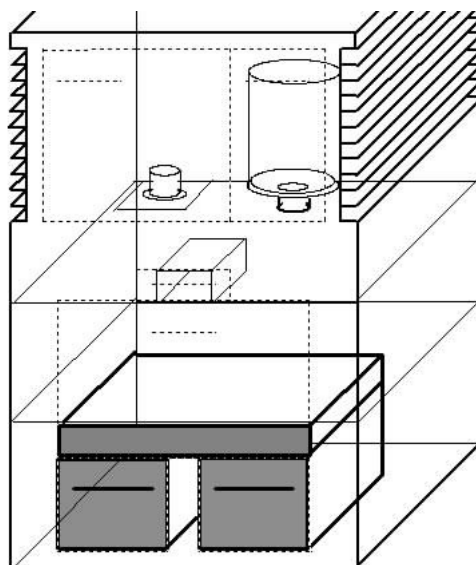
Durch die auf der Fronttüre angebrachte Glasscheibe kann das im Modellieren befindliche Objekt beobachtet werden (sofern die Sicht nicht durch ein vollendetes Objekt, das sich auf der Abstellplattform befindet, verdeckt wird).

Bei herunter geklappter Türe kann die Objektabstellfläche mit dem Objekt herausgezogen werden.



D. Abfallprodukte

Falls kein zusätzlicher Anschluss für die Abluft vorhanden ist, wird oberhalb der zwei Schubladen trockene Warmluft ausgestossen. Ebenfalls abhängig, ob ein externes Staubsaugersystem oder ein Abwasseranschluss vorhanden ist, ist je eine der Schubladen für den Staubsaugersack und das Kondenswasser vorgesehen.



5. Die einzelnen Komponente dieser Modelliermaschine

Die Modelliermasse

Als Modelliermasse eignet sich jede homogene Masse, die in der Konsistenz der des normalen Töpfertons entspricht. Gips darf nur verwendet werden, wenn es gelingt, die Aushärtungsphase auf mehrere Stunden auszudehnen. Zement mit Sand und andere körnige Substanzen sind ungeeignet und zerstören die Modelliermaschine. Das Material, das sich bei Tests am besten eignete, war Kunstton (z.B. Finplast der Firma "hobby-time" in D-7995 Neukirch/Bodensee). Der Vorteil von Kunstton gegenüber natürlichem Ton ist vielfältig. Der Schwund während des Austrocknens ist unmerklich (natürlicher Ton schwindet bis 6% bis lufttrocken). Zudem ist die Austrocknungszeit kürzer, die Rissbildung geringer, die Masse ist von gleichbleibender Qualität, es ist kein Brennvorgang notwendig und ausgehärtet kann sie wie Holz verarbeitet werden. Je nach Kunsttontyp variiert die maximale "Brenntemperatur". Sie übersteigt aber nie 150° Celsius. Kunstton ist gemäss dem erwähnten Hersteller nicht gesundheitsschädlich und beruht auf der Basis von natürlichen Materialien. Nachfolgend eine Zusammenstellung verschiedener "Tontypen", teilweise ergänzt mit Angaben des Herstellers.

Tonarten in Übersicht

Fineplast sehr fein und extrem geschmeidig, sonst wie Keramiplast

Keramiplast gute Haftbarkeit, auch an zuvor bereits ausgehärtetem Gegenstand

Keramiton gebrauchsfertige, tonähnliche Modelliermasse (verträgt 150 °C)

Papiermaché effektvolles Endprodukt (extreme Schrumpfung)

Plastiform teigähnliche Masse (pulverförmig, mit Wasser anrühren)

Töpferton im Test benutzter, natürlicher Ton (34% Tonsubstanz, 35% Quarz, 27% Feldspat, 4% Eisen)

Vom Tank bis zum Formgeber in Übersicht

Tank, Strangpresse und Formgeber bilden zusammen ein zusammenhängendes System. Im Einsatz steckt das ganze System im Modellierkopf. Zuerst ist der Modelliermassestank. An seinem unteren Ende befindet sich ein Rohrstutzen mit einem Schieber, der den Tank bei nicht Gebrauch verschlossen hält.

Am Rohrstutzen des Tanks gekoppelt ist die Strangpresse.

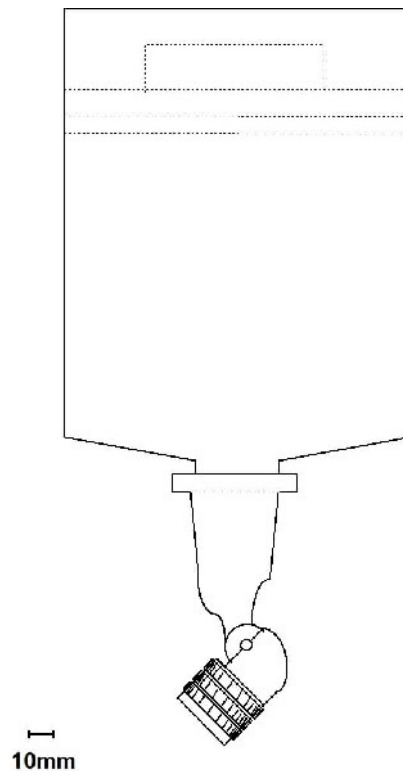
Diese wiederum, lässt sich in drei weitere Bereiche unterteilen:

- die Schneckenpresse mit der Masseentlüftungskammer
- der Schwenkvorrichtung (waagrecht/senkrecht) des Profilgebers
- der Profilgeber mit den drei Formgeberbüchsen

Wenn der Tank an die Strangpresse gekoppelt wird, wird der Schieber am Rohrstutzen des Tanks zur Seite gestossen. Zeitgleich wird ein Schieber, der die Strangpresse oben abschliesst, ebenfalls geöffnet.

Im oberen Bereich der Strangpresse befindet sich die Schneckenpresse mit der Vakuumkammer der Masseentlüftung und dem Anschluss für den Vakuumschlauch. Die Schneckenpresse sorgt nicht nur für eine Entlüftung der Masse, sie steuert auch den quantitativen Vorschub der Modelliermasse.

Der Schneckenpresse folgt die Schwenkvorrichtung mit dem Profilgeber. Der Profilgeber besteht aus drei ineinander verschachtelten Büchsen, die vorne eine unterschiedliche Öffnung haben. Durch das gegeneinander Drehen der drei Büchsen, entstehen an der Vorderseite unterschiedliche Öffnungen, die in Grösse und Form variieren. Die Modelliermasse wird durch diese Öffnung gepresst. Dadurch entstehen die bereits erwähnten, unterschiedlichen Profilformen.



Tank, Strangpresse mit Entlüftung und schwenkbarer Profilgeber (bestehend aus drei ineinander verschachtelten Büchsen).

Die Elektromotoren

Die eingesetzten Elektromotoren sind mehrheitlich Schrittmotoren. Diese erlauben, überwachte und stufenweise Drehungen vorzunehmen. Die für den Modellierkopf zuständigen Elektromotoren sind fest mit diesem verbunden, d.h., dreht sich der Modellierkopf, drehen sich die Elektromotoren mit ihm. Die Kraftübertragung in den Modellierkopf erfolgt über Zahnriemen und Zahnringe. Die Zahnringe, nachfolgend als Transmissionsringe bezeichnet, sind flächendeckend über den Modellierkopfszylinder gestülpt.

Der Transmissionsring ist auch auf seiner Innenseite verzahnt. An dieser Stelle im Modellierkopf, wo Kraft vom Transmissionsring genommen werden muss, befindet sich eine Öffnung. Von der Innenseite des Modellierkopfs wird für die Kraftabnahme ein kleines Zahnrad in den Transmissionsring geschoben, d.h., die Kraft kann an diversen Orten im Modellierkopf abgenommen werden. Dies ermöglicht, denselben Motor für unterschiedliche Aufgaben einzusetzen.

Als Variante bietet sich eine Impulsübertragung von und zu den einzelnen Elektromotoren an, gekoppelt mit einer Arretierungsvorrichtung. Damit könnte auf die teuren und wärmeintensiven Schrittmotoren verzichtet werden.

Ebenfalls denkbar ist, dass die Elektromotoren sich nicht auf dem drehbaren Teil des Schlittens befinden und sich daher nicht mit dem Modellierkopf drehen. Dies würde allerdings bedeuten, dass bei einer Drehung des Modellierkopfs alle Motoren Ausgleichsdrehungen machen müssten - ausser, man würde rund um den Modellierkopf herum ausgleichende Planetengetriebe übereinander stapeln, was wiederum technisch aufwendig ist.

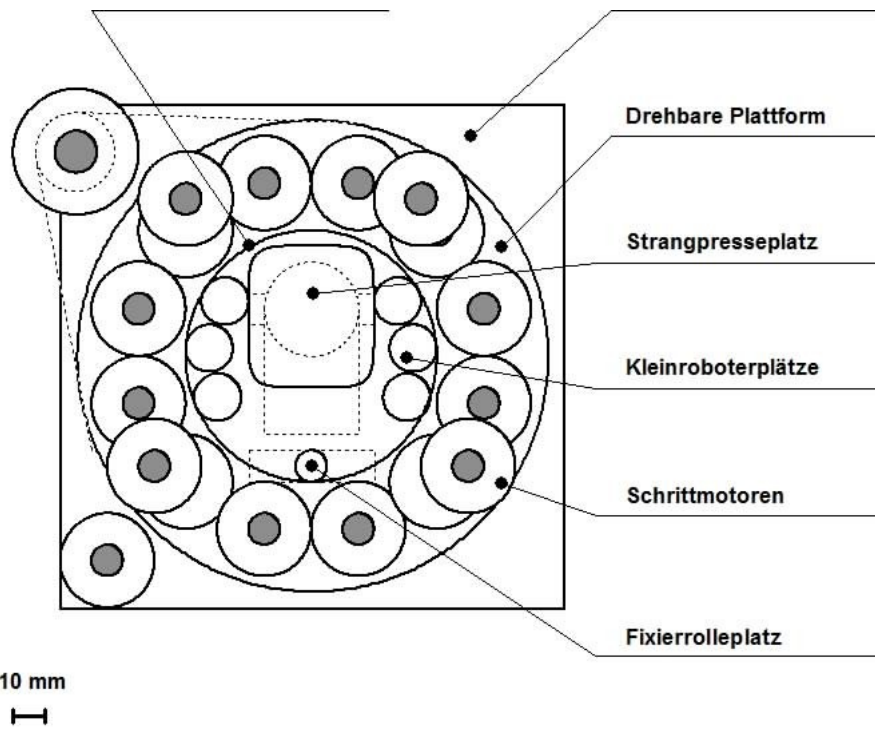
Die Motorenkühlung und das Gebläse

Die Motoren auf dem Schlitten befinden sich in einem Gehäuse mit einem seitlichen Anschlussstutzen für die Frischluftzufuhr. Vom Anschlussstutzen bis zum Gebläse am Gehäuserand führt ein Luftschlauch. Dieser lässt sich zusammenpressen und ausziehen (Handorgelschlauch). Das Gebläse befindet sich seitlich, auf der Innenseite der Lufteinlasslamellen. Bewegt sich der Schlitten in Richtung Gebläse, wird die Distanzveränderung durch den Handorgelschlauch abgefangen. Verschiebt sich der Schlitten nach hinten oder vorn, läuft der Ventilator an der Seite mit diesem mit.

Der Weg der Frischluft beginnt durch die seitlichen Lamellen und wird mittels Radialgebläse angesaugt. Danach wird sie über den Handorgelschlauch zum Schlitten gepresst, zwischen den Motoren hindurch geleitet und auf der Unterseite des Schlittens ausgeblasen. Die verdrängte Luft wird durch den Abluftkanal nach aussen geführt.

Die Anordnung der Werkzeugplätze

Alle Werkzeugplätze befinden sich innerhalb des Modellierkopfs. Dabei ist zwischen drei unterschiedlichen Werkzeugplatztypen zu unterscheiden. Die Strangpresse, die Kleinroboter und die Fixierrolle.



Draufsicht Schlitten (Gesamtübersicht)

Der Strangpresseplatz

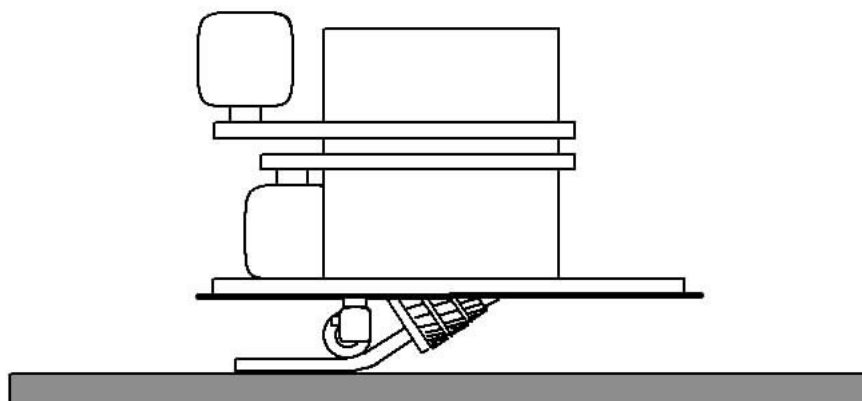
Im Zentrum des Modellierkopfs befindet sich eine von oben bis unten durchgehende Öffnung. In diese wird der Formgebermechanismus oder der Staubsaugerstutzen eingetaucht. Die Kraftübertragung zum Formgebermechanismus und der Strangpresse erfolgt über einen Koppelungsmechanismus. Zeitgleich mit dem Eintauchen in den Modellierkopf schwenkt der Koppelungsmechanismus an die Formgeberbüchsen des Profilgebers.

Die Kleinroboterplätze

Um die durchgehende Öffnung herum sind sechs Werkzeugplätze angeordnet. In jedem befindet sich ein spezieller Robotermechanismus. Dies ermöglicht, dass ein Werkzeug sich in der Senkrechten bewegen, gedreht und auch geschwenkt werden kann. Zudem ist jede Werkzeughalterung so ausgelegt, dass jedes Werkzeug an jede Halterung passt. Eine seitliche Verschiebungen eines Werkzeugs erfolgt entweder durch eine Drehung des Modellierkopfs oder durch eine Verschiebung des Schlittens oder optimiert, durch eine Kombination von beidem.

Die Fixierrolle

Ein Werkzeugplatz allerdings ist mit einem festen Werkzeug verbunden: die Fixierrolle. Diese bezweckt einerseits, die am Auspressen befindliche Profilstange zu fixieren, d.h. an die vorangegangene Stranglage anzupressen. Andererseits wird mit diesem Werkzeug die zweite Grobmodulierungsstufe erreicht, d.h. eventuelle Fehler der ersten Grobmodulierungsstufe, z. B. ungenaue Schrägen an den Seitenkanten der Profilstange werden noch im "Nasszustand" korrigiert.



Modellierkopfzylinder, Antrieb, Profilgeber und Fixierrolle

Das Zuschalten eines Werkzeugs

Die Zuschaltung eines Werkzeugs erfolgt durch ein Ankoppeln aller zu einem Werkzeug gehörenden Zahnräder an die Transmissionsringe.

Transmissionsringe werden wie folgt zugeteilt (in Klammern ist die Anzahl benötigter Transmissionsringe angegeben):

- Strangpresse und Fixierrolle (9)
- nur Fixierrolle (4)
- einzelne Kleinroboter (5)
- maximal drei Kleinroboter (15)
- Fixierrolle und zwei Kleinroboter (14)

Die Kraftübertragung in die Strangpresse

Im Modellierkopf befindet sich, wie wir bereits gesehen haben, die durchgehende Öffnung, als einen der Werkzeugplätze. Die Kraftübertragung auf die darin befindliche Strangpresse erfolgt mittels vier Schneckengetriebestangen, die an die Zahnräder an der Strangpresse gekoppelt werden. Eine wird mit dem Eintauchen in den Modellierkopf an den Schwenkmechanismus gekoppelt, die anderen drei werden an je eine Formbüchse des Formgebers gekoppelt.

Die Kleinroboter

Die Kleinroboter sind Werkzeugplätze für die unterschiedlichsten Aufgaben. Zusammen mit dem verschiebbaren Schlitten, dem rotierenden Modellierkopf und der in der Höhe variablen Objektplattform können sie jeden Punkt über verschiedene Winkel erreichen.

Die Kleinroboter können insgesamt folgende Bewegungen ausführen:

- Höhenverschiebung (bis zu 10cm)
- horizontale Ausrichtung (ohne Limitierung)
- vertikale Ausrichtung (90° Schwenkung)
- Rotation des Werkzeugs (ohne Limitierung)
- zusätzliche Zugseinrichtung (10mm) im Werkzeughalterungsnocken

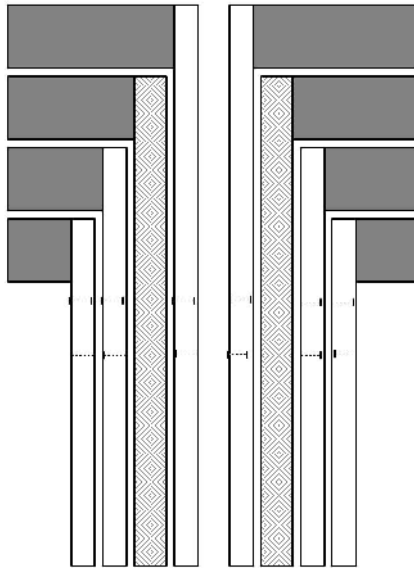
Die folgenden Skizzen bezüglich Kleinroboter sind, was die Größenverhältnisse betrifft, zu relativieren. Sicher ist aber, dass sehr kleine Teile extrem hohen Belastungen ausgesetzt sind und diese höchste Anforderungen an das eingesetzte Material stellen (z. B. Nickelchrommolybdän-Legierungen sind bei der Konstruktion in Frage kommende Materialien).

Der Kleinroboter in Übersicht (Längsschnitt)

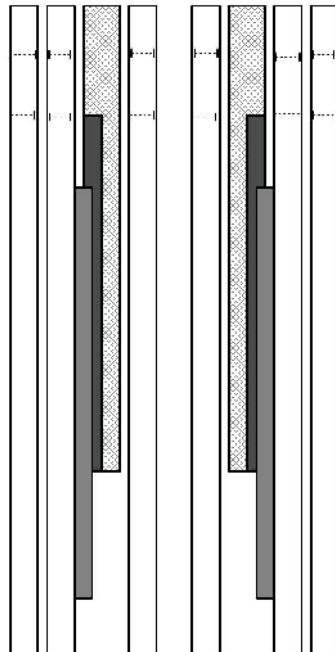
Oben: Antrieb und Steuerung über Zahnräder und ineinanderverschachtelten Rohren

Mitte: Höhenverstellung des Kleinroboterkopfs und Kraftübertragung zu diesem

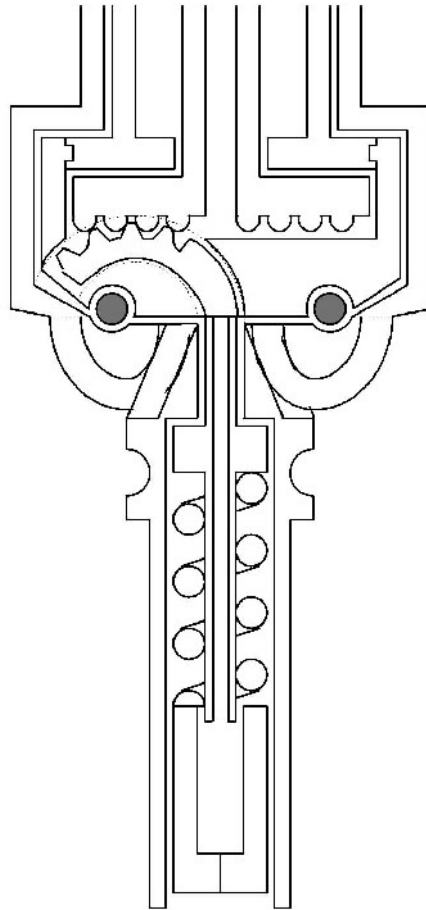
Unten: Kleinroboterkopf mit Schwenkarm und Werkzeughalterungsnocken



Antrieb und Steuerung über Zahnräder und ineinanderverschachtelten Rohren



Höhenverstellung des Kleinroboterkopfs und Kraftübertragung zu diesem



Kleinroboterkopf mit Schwenkarm und Werkzeughalterungsnocken

Antrieb und Steuerung

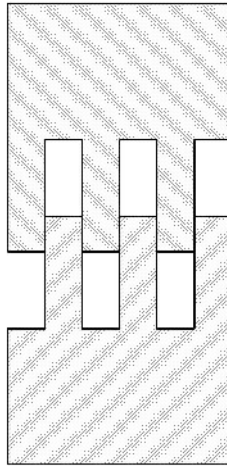
Durch Öffnungen im Modellierkopfzylinder gelangt die Kraft von den Transmissionsringen zu den Zahnräder der Kleinroboter. Jedes Zahnrad ist mit einem Rohr verbunden. Jedem Rohr ist eine bestimmte Aufgabe zugeteilt.

Von Aussen nach Innen sind dies:

- Rotation des Werkzeugs (z.B. Bohrer)
- horizontale Ausrichtung des Werkzeugkopfes
- Niveauregulierung des Kleinroboterkopfes (Höhenverstellung)
- vertikales Schwenken des Werkzeugs

Die Höhenverstellungseinrichtung

Für die Kleinroboter ist eine einheitliche Kraftübertragung vorgesehen. Nämlich mittels ineinandergeschachtelter, rotierender Wellen, die wie "Teleskoprohre" ineinander geschoben werden können. Damit die zusammengehörenden Teleskoprohre, die sich ineinanderschieben die Kraft übertragen können, sind diese längs aufgeschlitzt und ineinander verzahnt (die zusammengehörenden Rohre haben daher denselben Durchmesser).



Abgewickeltes, verzahntes Rohr

Die äusserste Welle (Rohr) ist die eigentliche Transmissionswelle zum Werkzeug.

Die zweitäusserste Welle (Rohr) ist die Basis (d.h. das Getriebegehäuse) des Roboterkopfteils. Es bestimmt die Ausrichtung des Werkzeugs in der waagerechten Ebene. Die untere Hälfte hat zudem auf seiner Innenseite ein Gewinde. Über dieses wird der Roboterkopfteil angehoben und abgesenkt.

Die zweitinnerste Welle (Rohr) besteht nur aus dem oberen Rohrstück (ohne Verzahnungsschlitz). Dafür reicht dieses über die Verzahnung der anderen Rohre hinaus. Auf seinem unteren Ende ist ein Aussengewind. Dieses ist in das zweitäusserste Rohr eingeschraubt. Es bestimmt, wie weit das Roboterkopfteil von den maximal möglichen 10cm herausgefahren wird.

Die innerste Welle (immer noch ein Rohr) bestimmt die Ausrichtung der Werkzeughalterung in der Senkrechten. Der untere Teil dieser Welle endet in einem Mechanismus, um die gebogene Führungszahnstange des Schwenkmechanismus auszuschwenken und wieder einzufahren.

Im vorliegenden Fall ist die innerste Welle rechtwinklig auf eine Scheibe geschweisst. Diese hat in der Mitte einen Durchlass für eine Stahlsaite, wie wir später noch sehen werden. Die Scheibe hat auf seiner unteren Seite eine spiralförmig angeordnete Erhöhung. Diese greift in die Zahnung der gebogenen Führungszahnstange des Schwenkmechanismus ein. Durch drehen der Scheibe wird die Führungszahnstange vor- oder rückwärts geschoben.

Möglich wäre aber auch, dass auch die innerste Welle in einem äusseren Gewinde endet und unterhalb der Höhenverstellung ebenfalls in das Gewinde der zweitäussersten Welle greift. Mittels einer senkrechten, gestreckten Zahnstange könnte die gebogene Führungszahnstange bewegt werden.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, den Vorschub der Führungszahnstange mittels eines Schneckengetriebes zu realisieren. Dazu müsste allerdings mit einem kleinen Getriebe die unterschiedliche Flucht Rohrwelle/Schneckengetriebe, ausgeglichen werden.

Innerhalb der innersten Welle (resp. Rohr) läuft eine Drahtsaite. Diese dreht sich nicht mit der Welle, sondern ist "freihängend" im Rohr gespannt und führt letztlich bis zur Spitze der Werkzeughalterung am Roboterkopf. Auf dem Weg dorthin muss sie allerdings noch durch die gebogene Führungszahnstange geführt werden, was dieser den folgenden Querschnitt aufzwingt:



Dieser Zugmechanismus ermöglicht Vor- und Rückwärtsbewegungen um einige Millimeter (im Werkzeughalterungsnocken). Dies kann z.B. zum Betätigen eines Ventils genutzt werden.

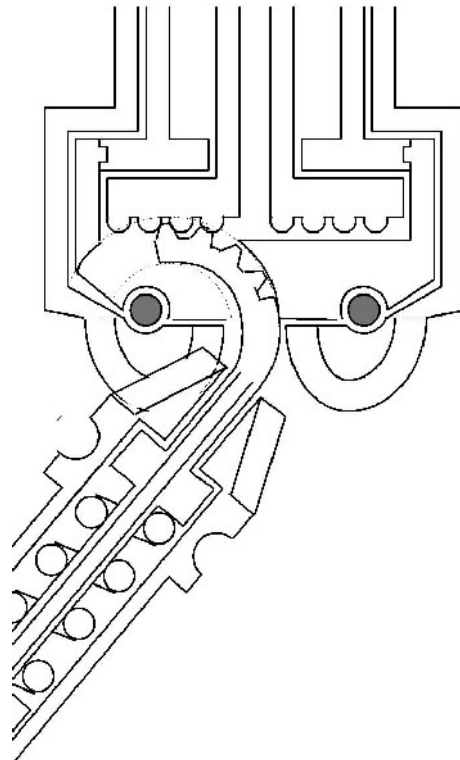
Ebenfalls denkbar ist, dass auch dieser Mechanismus über eine Welle mit einem Gewinde an seinem unteren Ende realisiert wird. In diesem Falle wäre die innerste Welle für den vertikalen Schwenkmechanismus ausgelegt und die zusätzliche Welle (darüber) für den Saitenzug (in diesem Falle könnte durch den Einsatz eines Stahlbandes verhindert werden, dass die ohnehin schon strapazierte Führungszahnstange noch gekerbt werden müsste).

Der Mechanismus für die vertikale Ausrichtung

Der Schwenkmechanismus ist ein offenes Getriebe. Die Schmierung dessen, ist eine Kombination von aufeinander abgestimmten Materialien und Graphitstaub, der durch die Teleskopstangen hindurch gepresst wird sowie eine aktive Kontrolle des elektrochemischen Potentials.

Das äusserste Rohr (die Transmissionswelle zur Werkzeughalterung), ist im unteren Teil verbreitert und auf ein Zahnrad geschweisst, das in der Mitte ein Loch hat. Die Zahnung verläuft von innen nach aussen und ist zusätzlich gewölbt. Die Wölbung beschreibt annähernd eine Parabel. Das Zahnrad der Werkzeughalterung ist konisch und steckt bei senkrechtem Einsatz vertikal in der Öffnung des Zahnrads der Transmissionswelle - nur die schmalste Seite (kleiner Radius) hat Berührungspunkte.

Mit dem Schwenken der Werkzeughalterung in die horizontale Lage gleitet das Werkzeughalterungszahnrad über die gewölbte Kante des Transmissionswellenzahnrads nach aussen. Dabei verschiebt sich die Auflagestelle des Werkzeughalterungszahnrads gegen seine breite Seite (grosser Radius). Damit wird erreicht, dass das Übersetzungsverhältnis immer gleich bleibt und die Zahngrössen übereinstimmen. Das Werkzeughalterungszahnrad wird durch die gebogene Führungszahnstange gehalten und geführt.

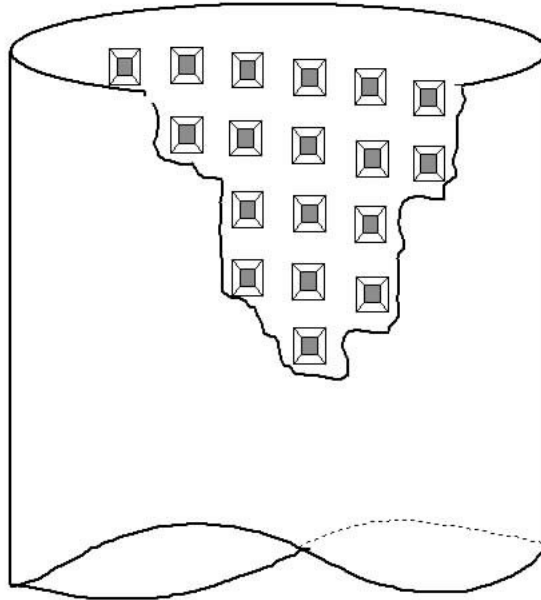


Der Zugmechanismus im Werkzeughalterungsnocken

Mit dem Zugmechanismus im Werkzeughalterungsnocken kann z.B. eine Farbspraydose aktiviert werden oder eine Farbsprayabgrenzungswand einer Reliefoberfläche angepasst werden.

Der Modelliermassetank

Der Tank hat auf seiner Innenseite 2mm hohe Pyramidenstümpfe mit kongruenter Grundfläche. Die Seitenlänge beträgt immer 4mm. Die Pyramidenstümpfe sind spiralförmig angeordnet. Der Abstand von Pyramidenstumpf zu Pyramidenstumpf ist in jeder Richtung 4mm. Die Zwischenräume betrachtet, sieht man horizontal eine Gewinderille, in der Vertikalen eine "Rille" die sich senkrecht vom oberen Rand bis zum Behälterboden hinzieht. An diesen Pyramidenstümpfen schraubt sich der Tankdeckel nach unten.



Aufgerissener Tank mit Blick auf die spiralförmig angeordneten Pyramidenstümpfe

Zum Auswechseln der Tanks fährt der Schlitten unter die Tankbox und koppelt, resp. entkoppelt den Tank mit dem Modellierkopf und der darin befindlichen Strangpresse.

Mit dem Ankoppeln an den Modellierkopf wird eine elektrische Verbindung zum Tank, mittels eingebautem Stecker/Kupplungssystem, erstellt. Die Stromleitungen führen in der Tankwand zu der im oberen Teil befindlichen Steckdose. An diese wird das Verbindungskabel zum Deckelmechanismus angeschlossen. Das Kabel ist am Deckel aufgerollt und rollt sich, mit dem Eindrehen des Deckels in den Tank, ab.

Der Deckel und die Deckelpresse

Der Deckel besteht aus drei Platten und ist im Durchmesser so dimensioniert, dass er in den Tank eingeschraubt werden kann.

Die unterste Platte, mit einer Dicke von 4 mm, hat auf seiner Randseite rechtwinklig abstehende Nocken, die 2mm vorstehen. Die vertikale Länge dieser Nocken ist 12mm und dient als Führungselement des gesamten Deckels. Die Nocken greifen in die senkrechten Rillen des Tanks ein. Sie sind einerseits für die Sicherung der waagerechten Lage des Deckels verantwortlich und andererseits bilden sie die Gegenkraft für den Deckeldrehmechanismus (wie wir noch sehen werden). Auf der oberen Seite der untersten Platte ist in der Mitte ein 30mm langer Rohrstützen, mit 40mm Durchmesser, angeschweisst.

Die mittlere Platte besteht aus einer 20mm dicken, runden Eisenplatte. Auf ihrer Aussenseite ist ein grobes Gewinde angebracht, das sich zwischen die Pyramidenstümpfe des Tanks einfügt. In der Mitte dieser Platte ist eine Durchführung für den Rohrstützen der untersten Platte gebohrt.

Die oberste Platte beinhaltet die Elektromotoren und den Mechanismus um den Gewindezylinder (mittlere Platte) zu drehen. Der Mechanismus besteht aus einer drehbaren, vierzackigen, sternförmigen Konstruktion, die frei um den Rohrstützen drehen kann. An jedem der Zacken läuft ein Zahnrad, das mit seinen weiten Zähnen in die Pyramidenstümpfe greift. Die sternförmige Konstruktion greift mittels Stahlstiften in den darunter liegenden Gewindezylinder hinein. Werden nun die Zahnräder angetrieben, dreht sich die sternförmige Konstruktion und nimmt über die Stahlstiften den Gewindezylinder mit. Da der ganze Mechanismus mit dem Rohrstützen verbunden ist, schraubt sich die ganze Deckelkonstruktion nach unten oder nach oben, je nach Laufrichtung der Zahnräder.

Die Stromversorgung und Deckelsteuerung erfolgt mittels Kabel und Steckersystem, vom Tank zum Deckelmechanismus.

Die Entlüftung der Modelliermasse

Im oberen Bereich, rund um die Schneckenpresse herum, befindet sich die Vakuumkammer. Modelliermasse, die durch den erwähnten Vordruck im Massetank in die Kammer gepresst wird, wird durch den obersten Spiralring der Schneckenpresse (einem Ausleger ähnlich), wieder gegen die Mitte zurückgeholt. Der erwähnte Ausleger ist mit seinem Ende an einem Ring befestigt. Dieser Ring ist zugleich der Antrieb für die Massevorschubspirale, d.h. er hat auf der oberen Hälfte an seiner äusseren Seite eine Verzahnung für den Antrieb der Schnecke. Auf der unteren Hälfte hat dieser Ring Luftdurchlasslöcher, die nach aussen in eine Unterdruckkammer führen. Über diese Löcher wird in der Modelliermasse eingeschlossene Luft abgesaugt.

Die Schneckenpresse

Die Schneckenpresse, resp. die Massevorschubspirale ist eine Metallspirale, die weder auf seiner inneren noch äusseren Seite eine Führung hat. Dies verschafft der Masse grossen seitlichen Reibungswiderstand. Dies ist wichtig, weil im anderen Fall die Masse mit der Spirale mitdrehen würde und somit der Vorschub gestoppt würde. Das Schneckenpressegehäuse und die Spirale ist gegen unten leicht konisch geformt. Dies steigert den inneren Druck. Bei einer Reinigung lassen sich Masserückstände zudem im ausgetrockneten Zustand besser entfernen.

Durch das Zentrum der Spirale ragt von unten ein Dorn bis leicht über das obere Spiralende. Der Dorn wird unten durch zwei gegenüberliegende Verbindungen zum Schneckenpressegehäuse gehalten. Die zwei Verbindungen liegen in der Strömung der Modelliermasse und sind so geformt, dass die durch die Schneckenpresse verursachten Wirbelstrukturen wieder zu homogenisieren vermögen. Nicht vermieden werden kann, dass im Drehbereich des Schwenkmechanismus gelegentlich Spannungen in der Masse auftreten.

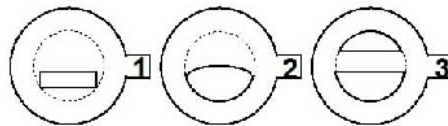
Der Profilformgeber

Der Profilformgeber ist die Schablone des Profilstrangs. Drei ineinander verschachtelte Büchsen, mit unterschiedlich geformten Öffnungen in deren Unterseite machen es möglich, dass das resultierende Profil variable Formen einnehmen kann. Dazu müssen sich die zwei inneren Büchsen, zusammen oder einzeln, drehen.

Die Funktion jeder einzelnen Formbüchse kann wie folgt charakterisiert werden (wobei natürlich jede Büchse auch andere, als die beschriebene Funktionen übernehmen kann). Die äusserste Büchse, mit der rechteckigen Öffnung stellt sicher, dass der Formstrang im Minimum auf einer Seite eine absolut flache Auflage hat. Mit der mittleren Büchse wird der Profilgeber geöffnet und geschlossen - dazwischen liegen alle Abstufungen seitlicher Abschrägungen. Mit der innersten Büchse kann die Stranghöhe reduziert oder die Breite verringert werden. Zudem wird diese bei Bedarf unter elektrische Wechselspannung gesetzt. Dies wird im Kapitel "*Die Trocknungseinrichtung*" näher beschrieben.

Schablonen zum Ausschneiden und Ausprobieren

1. Dies ist der Boden der vordersten Formbüchse (äusserste Büchse)
2. Dies ist der Boden der mittleren Formbüchse (mittlere Büchse)
3. Dies ist der Boden der hintersten Formbüchse (innerste Büchse)



Die Fixierrolle

Die Fixierrolle bezweckt den am Auspressen befindliche Profilstrang an das im Entstehen befindliche Objekt zu fixieren. Die Fixierrolle kann nicht gegen ein anderes Werkzeug ausgetauscht werden und besitzt einen eigenen Kraftübertragungsmechanismus. Die Fixierrolle kann aber, wie die austauschbaren Werkzeuge, in der Höhe verändert werden. Zudem kann sich die Fixierrolle neigen und dadurch einer Profilstrangform mit schräger Oberfläche anpassen. Mit der Fixierrolle können erste Korrekturen am soeben im Auspressen befindlichen Profilstrang vorgenommen werden. Die Breite der Fixierrolle entspricht der Länge der Diagonale des grösstmöglichen Profils. Der Durchmesser ist etwas mehr als 10mm. Mit dem Anlegen einer elektrischen Spannung zwischen der Fixierrolle und dem Formgeber, kann zudem die Massefeuchtigkeit gemessen werden, wie wir im Kapitel "*Die Trocknungseinrichtung*" noch sehen werden.

Die Fixierrolle ist in seiner äusseren Erscheinung eine Fräse. Beim Anpressen und der damit einhergehenden Oberflächenbehandlung des Profilstrangs, dreht sie sich aber rückwärts und gegen die Laufrichtung des Profilstrangs. Die gewählte Drehzahl der Fixierrolle hängt vom Feuchtigkeitsgrad des Profilstrangs ab. Je härter die Masse, desto grösser darf die Drehzahl sein - und je mehr weggefräste Masse vor sich her geschoben werden muss, ebenfalls. Eine zu geringe Drehzahl bei relativ harter Modelliermasse bewirkt ein "Aufbäumen" des Profilstrangs hinter der Fixierrolle.

Zu Beginn eines Auspressvorgangs wird die Fixierrolle in Laufrichtung, mit synchronisierter Drehzahl, gedreht. Dadurch wird auch schon der Anfang des Profilstrangs fixiert. Die Drehrichtungsumkehrung hat ruckartig zu erfolgen, damit die Modelliermasse nicht an der Fixierrolle kleben bleibt.

Um ein seitliches Anpressen und auch gerundete Profilstränge optimal fixieren zu können, kann sich die Fixierrolle gegenüber der Strangpresse um ca. 10° seitlich verschieben.

Gemeinsam mit dem Auspressvorgang kann die Fixierrolle nur in der Horizontalen eingesetzt werden. Sie kann aber auch unabhängig zum Auspressen, d.h. auch zum effektiven Fräsen benutzt werden.

Der Einführungsmechanismus der Strangpresse in den MK

Mit dem Eintauchen der Strangpresse in den Modellierkopf (MK) wird automatisch der Formgeberschwenkmechanismus und die drei Formbüchsen "angedockt". Der Schwenkmechanismus als auch die Formbüchsen sind ein Teil eines Schneckengetriebes. Mit dem "Andocken" wird eine Schneckenwelle an das Viertelzahnrad des Schwenkmechanismus gepresst. Weitere drei Schneckenwellen werden an die Zahnräder der drei Formbüchsen gepresst und deren Halterung mit der Strangpresse verbunden. Die Schneckenwellen die zu den Formbüchsen führen, sind über eine Teleskopachse und ein Kardangelen mit dem Modellierkopf verbunden. Sie sind seitlich am Modellierkopf angebracht und werden bei Nichtgebrauch nach oben geklappt, so dass das Zentrum des Modellierkopfs frei ist.

Die Trocknungseinrichtung

Unterhalb der Modellierplattform befindet sich ein Mikrowellensender. Dadurch, dass er von unten nach oben sendet, wird das Objekt zuerst unten getrocknet. Dies ermöglicht ein schnelles Austrocknen und trotzdem können neue Profilstangen immer noch an feuchte Profilstangen angesetzt werden. Sobald das Objekt im unteren Teil vollständig ausgetrocknet ist, kann dort die Feinmodellierung beginnen.

Eine weitere Trocknungstechnik erfolgt mit elektrischem Strom. Dieser wird während des Auspressens vom Formgeber zur Objektmasse geleitet. Der Stromfluss erwärmt die am Auspressen befindliche Profilstange und drückt das darin befindliche Wasser an die Profilstangeoberfläche. Dies fördert die Haftung an den bereits erfolgten Lagen (unter Beimischung geeigneter Stoffe kann möglicherweise sogar eine Art Verleimung erreicht werden). Tests ergaben, dass ein Stromfluss von über 0,5 A ohne negative Auswirkungen vertragen wird.

Mit Wechselstrom kann über die Strecke Formgeber - Fixierrolle und der positiven Halbwelle, der Wassergehalt der Masse gemessen werden. Und über die Strecke Fixierrolle - Objektboden kann festgestellt werden, ob im unteren Bereich noch Restfeuchtigkeit vorhanden ist. Mit einem Stromfluss über die Strecke Formgeber - Objektboden und der negativen Halbwelle, kann, solange noch eine Restfeuchtigkeit vorhanden ist, das Austrocknen im oberen Bereich des Objekts beschleunigt werden.

Die Kombination von Mikrowellen und Widerstandstrocknung erlauben optimale Modellierbedingungen.

Der Kondensator

Der Kondensator befindet sich oberhalb der Objektstellfläche, d.h., im vorderen Bereich der Modelliermaschine, unterhalb der beiden Tankboxen. Ein langsam laufender Axiallüfter zieht die feuchte Luft von der unteren Kammerhälfte durch den Kondensator in die obere Kammerhälfte. Entfeuchtet gelangt sie wieder in den hinteren Kammerbereich. Von dort wird sie, durch die nachströmende, entfeuchtete Luft am Schlitten vorbei, in die untere Kammerhälfte gepresst. Dort kommt sie wieder in Kontakt mit dem Objekt und kann erneut Feuchtigkeit aufnehmen.

Geräuschunterdrückungseinrichtungen

Da damit gerechnet werden muss, dass diese Maschine zusammen mit anderen Normelementen eingebaut wird, ist eine Geräuschübertragung auf die umgebenden Elemente zu verhindern. Folgende Einrichtungen vermeiden eine grössere Geräuschentwicklung:

- das grosse Gesamtgewicht
- die Isolation in den Wänden
- langsam laufende Lüfter mit grossem Radius
- elektronisch gesteuerter und schallisolierter Staubsaugermotor
- gewichtsabhängige Beschleunigung des Modellierkopfs
- der Modellierbereich ist im hinteren Maschinenbereich
- die Innenkonstruktion ist auf Gummi gelagert
- alle Lager und Reibflächen sind Geräuschfrei
- die Maschine unterdrückt automatisch jede Eigenresonanz

Der Staubsaugereinrichtung

Der interne Staubsaugerschlauch führt von der hinteren Gehäusedecke direkt zum Schlitten mit der Saugdüse. Die Saugdüse wird automatisch anstelle der Strangpresse mittels eines Bügels in den Modellierkopf eingeführt. Mit mehr oder wenigem tiefen Einführen kann die Höhe der Saugdüse variiert werden.

Da das Staubsaugen nur während einer Feinmodulation stattfindet, gibt es keinen Konflikt mit dem Einsatz der Strangpresse. Nicht im Einsatz, wird die Staubsaugerdüse auf dem Schlitten verankert und immer mitgeführt.

Bevor die Abluft die Maschine verlässt, wird diese noch durch einen Feinstaubfilter gereinigt. Dieser befindet sich hinter dem Abluftgitter, das sich über die ganze Maschinenbreite, zwischen den beiden unteren Schubladen und der Werkzeugschublade, erstreckt. Der Feinstaubfilter kann durch das Entfernen des Abluftgitters ausgetauscht werden.

Ein gerade vollendetes Objekt befindet sich noch auf der Arbeitsplattform. Bevor es in den Abholbereich, unmittelbar hinter der Objektklappe, transportiert wird, wird es noch gesaugt und anschliessend noch von Reststaub freigeblasen. Dies wird erreicht, indem die Gebläseausstossluft in den Staubsaugerstutzen geleitet wird. Dazu wird das hintere Ende des Gebläsekanals auf der ganzen Breite nach oben geklappt und so die staubige Luft über den Feinstaubfilter nach aussen geleitet.

An der Gehäusefront befindet sich eine weitere Saugdüse. Diese lässt sich herausziehen und manuell benutzen, wie ein normaler Staubsauger. Damit können ev. vorhandene Partikel entfernt werden, die beim Modellieren im oberen Bereich entstanden sind.

In der Staubsaugerschublade befindet sich ein handelsüblicher Staubsaugersack.

Statusanzeige

Abgesehen von den von weitem sichtbaren Anzeigelampen für die wichtigsten operationalen Handlungen, hat die Modelliermaschine zwischen den beiden herunterklappbaren Tankboxendeckel einen Bildschirm eingebaut (dieser ist wie die Tankboxen und die Elektronik im gekühlten Bereich der Maschine). Auf dem Bildschirm lassen sich alle Informationen abrufen, die auch auf dem Steuerungscomputer angezeigt werden können. Der Bildschirm ist durch eine vorgelagerte Scheibe vor mechanischen Beschädigungen geschützt.

6. Verfahren

Die Reinigung

Die Reinigung, der mit Modelliermasse in Berührung gekommenen Maschinenteile, erfolgt durch austrocknen lassen der Masse und abbürsten (der Einsatz von Wasser ist ungeeignet). Bei der Konstruktion von Maschineeinrichtungen, die mit Modelliermasse in Berührung kommen, ist auf eine gute Ablösung der ausgetrockneten Masse zu achten. Dabei kann man sich den Umstand zu nutze machen, dass jede Modelliermasse beim Austrocknen etwas schwindet.

Folgende Teile müssen vor einem Modelliermasse-Materialwechsel oder vor einem längeren Nichtgebrauch der Maschine gereinigt werden:

- die Tankdeckel
- die Tanks
- die Strangpresse

Die Werkzeuge werden im Werkzeugkasten, durch die Maschine selbst, gereinigt. Die anfallenden Massepartikel werden durch den Staubsauger abgesogen. Dies ist möglich, weil der Staubsaugerschlauch direkt durch den Werkzeugkasten führt. Farbdüsen werden durch ausblasen von Druckluft gereinigt (dazu wird die Dose mit dem Kopf nach oben gedreht).

Funktionen der Werkzeuge

Für die folgenden Aktivitäten sind entsprechende Werkzeuge vorhanden:

- Fräsen
- Schleifen
- Bohren
- Farbspritzen
- Malen
- Zeichnen
- Abdecken (beim Farbspritzen)
- Kluppen (von Drähten)
- Spiegeln (bei zusätzlicher Qualitätskontrollfunktion)

Die Bemalung

Anstelle der herkömmlichen Werkzeuge, wie Bohrer, etc., werden "Färbungseinrichtungen" an die Werkzeughalterungsstutzen montiert. Dabei ist zwischen drei Einfärbungstechniken zu unterscheiden:

- Spritzen
- Malen
- Zeichnen

Allen Techniken gemeinsam ist, dass die Dose mit der Düse nach unten montiert ist und dass die Düse mittels der in der Werkzeughalterung angebrachten Zugvorrichtung aktiviert werden (d.h. die Deckelkappe wird weggeklappt und bei der Sprayvorrichtung auch das Ventil betätigt).

Gespritzt wird dort, wo grössere zu bemalende Flächen anfallen sowie dort, wo weiche Farbübergänge verlangt werden. Damit nur abgegrenzte Bereiche eingefärbt werden, sind andere Werkzeugplätze mit kleinen "Wänden" bestückt. Zudem ist bei einer Einfärbphase der interne Staubsauger immer eingeschaltet um überschüssigen Farbnebel abzuziehen. Das Verkleben des Modellierkopfs und des Staubsaugersackes wird verhindert, indem an der Spitze der Staubsaugerdüse ein Feinstaubfilterpapier montiert wird. Übersteigt die Vakuumsäule im Staubsaugerschlauch eine bestimmte Höhe, was auf ein Verkleben des Filterpapiers schliessen lässt, wird die Filterpapierhalterung gelöst, dieses in den Staubsauger hineingezogen und aus der Werkzeugkiste ein neues Filterpapier automatisch montiert.

Das "Malen" geschieht mittels filzstiftähnlichen Stiften unterschiedlicher Breite. Das "Zeichnen" erfolgt ähnlich, wie bei technischen Zeichnungen.

Abhängig zur Oberflächenstruktur des Objekts wird der Färbungsvorgang erst nach der Fertigstellung initialisiert oder es wird etappenweise vorgegangen, was zeitlich natürlich länger dauert.

Als Option kann das vollständig bemalte Objekt schlussendlich noch mit einem Schutzlack überzogen werden.

Das Direktkopieren

Das Direktkopieren erlaubt eine Kopie eines bestehenden Objekts zu machen. Das heisst, die Vorlage wird in die Maschine gestellt, dort wird sie in den Modellationsbereich verschoben, ausgemessen und wieder zurückgestellt. Anschliessend wird eine oder mehrere Kopien angefertigt. Voraussetzung für das Direktkopieren ist eine Zusatzeinrichtung die sich seitlich am Modellierkopf befindet, die "Scanning"-Einrichtung. Die Abstandsmessung erfolgt mittels Infrarot und resultiert in einem internen 3-D-Abbild des Originals. Ein Original kann reproduziert werden, ohne dass via SW weitere Eingriffe gemacht werden müssen. Bei einer damit verbundenen Farbwiedergabe ist allerdings eine Nachbearbeitung am Bildschirm angebracht.

Damit die Bemalung farbgetreu erfolgen kann, befinden sich neben der Infrarotdiode für die Distanzmessung noch drei weitere Lichtemissionsdioden am Modellierkopf, nämlich in den Farben grün, rot und violett. Über die rund um den Modellierkopf angebrachten Fotodioden lässt sich die Farbe sowie die Hellstufe berechnen. Die Distanzmessung und das Feststellen der Farbpunkte geschieht alternierend bei einigen Kilohertz.

Der eigentliche "Abtastvorgang" läuft folgendermassen ab. Der Schlitten bewegt sich zickzackförmig, langsam über das Objekt hinweg. Dabei dreht sich der Modellierkopf mit etwa 100 U/min um die eigene Achse. Zugleich kippt die den Leuchtdioden vorgeschaltete Optik hin und her. Dadurch wird der gleiche Koordinatenpunkt nicht nur senkrecht ausgeleuchtet, sondern aus verschiedenen Winkeln. Dadurch können selbst leichte Einbuchtungen erkannt und ausgemessen werden. Wird festgestellt, dass einige Einbuchtungen grösser sind, als mit der beschriebenen Technik ausgemessen werden kann, wird mittels eines Spiegels aus dem Werkzeugkasten, die Einbuchtung, resp. Höhle ausgespiegelt.

Skelettmodulation und Drahtgitterverstärkung

Bei der Drahtverstärkung wird zwischen einer Einzeldrahtverstärkung und einer Drahtgitterverstärkung unterschieden werden.

Bei der Drahtgitterverstärkung wird das Gitternetz, in der Breite der Modellierfläche, von einer Gitternetzrolle abgerollt und lagenweise über das im Aufbau befindliche Objekt gelegt. Die Rolle wird seitlich der Modellierfläche in eine dafür vorgesehene Halterung eingelegt. Auf der anderen Seite befindet sich die Zugrolle, die das Gitternetz mittels seitlichen Bänder über die Modellierfläche zieht. Zwischen den beiden Zugbänder ist, abwechslungsweise in der Grösse der Modellierfläche, ein Gitter gespannt, resp. eben der Raum leer gelassen. Damit erklärt sich auch die Funktionsweise. Wird eine Lage Netz benötigt, wird es über das Objekt gezogen, gefestigt (siehe nächsten Abschnitt) und eine weitere Lage Modelliermasse wird aufgetragen. Danach werden die aus dem Objekt ragenden "Drähte" am Objektrand gekappt. Alsdann wird der Rest des Netzes auf die Zugrolle aufgerollt, was zur Folge hat, dass das Objekt wiederum zwischen zwei Zugbänder ohne Netz liegt.

Wie bereits erwähnt, kann das Netz "gefestigt" werden. Darunter ist folgendes zu verstehen. Die einzelnen "Drähte" bestehen aus einer elektrisch leitenden Litze (d.h. einzelne feine Drähte). Diese wiederum sind zusammen mit Kunststofffasern zu einem dünnen "Seil" gewoben. Die Festigung erfolgt, indem ein kurzer Moment Strom durch die Metalllitzen geführt wird. Dies bewirkt eine Erwärmung, und die Kunststofffasern kommen dadurch zum Schmelzen. Nach dem Abschalten des Stroms erkalten die Drähte wieder, und der Kunststoff erstarrt. Zusammen mit der Metalllitze ergibt dies einen stabilen, reissfesten und starren Draht. Der Strom zum Beheizen der Gitterdrähte wird über die seitlichen Bänder zugeführt.

Bei der Einzeldrahtverstärkung wird der Draht von einer Drahtrolle bezogen. Diese ist auf dem Modellierkopf plaziert. Beim Einzeldraht handelt es sich um einen stabilen Metalldraht. Dieser wird durch die Teleskopstangen des Werkzeugs direkt zum schwenkbaren Werkzeug geführt (anstelle der Zugvorrichtung im Werkzeughalterungsnocken). Dieser Draht kann somit auch vertikal angelegt werden. Dabei sind unterschiedliche Einsatztechniken denkbar. Der Draht kann zum Beispiel senkrecht in die bestehende Modelliermasse gepresst werden und wird dann auf einer bestimmten Höhe gekappt. Das Ummanteln mit Modelliermasse kann dadurch erreicht werden, in dem sich die geöffneten Formgeberbüchsen über den Draht, bis an den Ansatz der bestehenden Modelliermasse, stülpen. Danach erfolgt der Modellierstrangausstoss bei gleichzeitigem Absinken der Modellierplattform. Hat die drahtverstärkte Profilform zugleich rund zu sein, dreht sich der Profilgeber (alle drei Formbüchsen zusammen) während des Masseausstosses. Bei dieser Technik sind auch mehrere, nebeneinander eingesteckte Drähte möglich.

Die beiden an der Seite des Drahtsuspensors befindlichen Werkzeuge bestehen aus einer Zange und einer Schere, um den Draht zu halten und zu kappen. Dies ermöglicht, in Kombination mit dem Drahtgitternetz, auch Drahtmodelle zu fertigen.

Der Draht selbst hat einen relativ grossen Durchmesser. Seine Aussenseite ist quer gerippt. Dies macht ihn einerseits biegefreundlicher, solange die Zwischenräume noch nicht mit Modelliermasse verklebt sind, und andererseits ist der Drahtvorschub weniger störanfällig. Der Drahtvorschub wird durch zwei gegeneinander gepresste Zahnräder gesteuert.

Eine Reservedrahtrolle ist in der Werkzeugkiste plaziert und wird bei Bedarf durch die Maschine selbst auf den Modellierkopf plaziert und auch selbständig eingefädelt.

Objektverstärkungen

Abgesehen von der Drahtverstärkung sind folgende Massnahmen denkbar:

- kreuzweises Anlegen der Profilstangen
- schräges Auspressen der Profilstangen um damit ein seitliches Anpressen erreichen
- die Modelliermasse mit einer Art Leim durchmischen
- jede Lage vor dem Weiterfahren mit Klebstoff besprühen (z.B. mit Modellier-Haftgrund der Firma "hobby-time")

Mittelplattformmodulation

Die Mittelplattformmodulation wird eingesetzt um Objekte abzubilden, die sich rund um einen Punkt oder eine Achse abbilden, wie z.B. ein Ball oder ein Knochen. Für diese Technik wird die hintere Objektplattform entfernt und anstelle ein drehbares Gestänge seitlich eingehängt (wie bei einem Hähnchengrill). Das zwischen den beiden seitlichen Achsen liegende Gestänge besteht aus einem zweiteiligen Metallrost, der zusammengeschooben, resp. auseinander gezogen werden kann. Das heisst, er besteht auf der einen Seite aus Stäbchen und auf der anderen aus Röhrchen. Vor einem Einsatz werden über die Röhrchen kleine Kunststoffschläuche gezogen. Diese sind aussen rau und haben eine gute Massehaftung.

Beim Modellieren wird abwechslungsweise immer eine Lage auf der einen Seite und dann wieder eine Lage auf der anderen Seite des Gestänges modelliert. Dazwischen dreht sich das Gestänge jeweils um eine halbe Drehung. Nach Beendigung der Modellation wird das Gestänge seitlich ausgehängt, bis zum Anschlag zusammengeschooben und aus der Modelliermaschine genommen. Danach werden die zwei Gestängeteile auseinandergezogen und die im Objekt verbliebenen Kunststoffschläuche am Aussenrand des Objekts bündig abgeschnitten und, wenn erforderlich, die verbliebenen, kleinen Löcher mit Korrekturpaste verschlossen und ev. noch bemalt.

Die maximal erlaubte Grösse des Objekts hängt von der Grösse des Modellierraums und von der Grösse des Gestänges ab.



7. Die erforderliche Software

Wie aus der Übersicht ersichtlich, durchlaufen die ursprünglichen Daten drei Software-Stufen, bis sie als Steuerbefehle an der Modelliermaschine ankommen:

- die Konversions-SW
- die Modellier-SW
- die Modelliermaschinesteuerungs-SW

1. Die Konversions-SW

Die Konversions-SW überführt den Code von handelsüblicher 3-D-SW wie Autocad, Microcrafx Designer, etc. in eine für die Modellier-SW lesbare Form.

2. Die Modellier-SW

Die Modellier-SW wiederum ist in drei SW-Unterprogramme unterteilt:

- a) Nachbehandlung des Konversionsschrittes
- b) Bearbeitung des Objekts
- c) Anzeigen der beanspruchten Mittel (Ressourcen) für ein Objekt

a) Nachbehandlung des Konversionsschrittes

Folgende Aktivitäten sind denkbar:

- Korrigieren von Konversionsfehlern
- Fehlbildberechnungen für stereo-fotographische Bilder

b) Bearbeitung des Objekts

Folgende Möglichkeiten stehen zur Verfügung:

Auswahl von Objektkenndaten (Attributen)

- Modulationsfeinheitsgrad
- Objekt hohl oder ausgefüllt
- Darstellungsart (logarithmisch, extrapoliert, verzehrt, etc.)
- Drahtgitterunterstützung oder nicht

Parameter

- Genauigkeitsgrad
- nur Konturen oder voll ausgemalt
- Schattenbildung
- Lichtpunkte
- Kontrast
- gesamt hell/dunkel Einstellung
- Modelliermassegrundfarbe im ausgetrockneten Zustand
- Effekte und Musterung
- Schutzbesprühung
- manuelle Veränderungen am Objekt
- Verändern des Konstruktionsablaufs
- Massetank nach n-Minuten wechseln
- reduzierte Werkzeugauswahl festlegen
- Segmentierung eines Objekts
- Auswahl eines Teilobjekts
- Anzahl Kopien (Reproduktionen)

c) Anzeigen der beanspruchten Mittel (Ressourcen) für ein Objekt

Je nach der Festlegung der Objektattribute und anderen Definitionen, die Einfluss auf den Herstellungsvorgang haben, sind unterschiedlich benötigte Mittel erforderlich. Betroffen sind folgende Größen und können angezeigt werden:

- die beanspruchte Zeit, bis zum fertigen Objekt (mit und ohne Einfärbung)
- Anzahl der Teilobjekte
- die beanspruchte Zeit, bis zur Vollendung des nächsten Teilobjekts
- Modulationsmasse typ (Kunstton, Töpferton, etc.)
- Modulationsmassekennzahlen (Konsistenz, Austrocknungszeit, etc.)
- die benötigte Menge an Modulationsmasse
- ungefähre Zeit bis eine Tankfüllung aufgebraucht ist
- die benötigte Menge an Gitterdraht
- benötigte Werkzeuge
- benötigte Staubsaugerkapazität
- erwartete Kondenswasserbildung
- benötigte Farben
- benötigtes Farbnebel filterpapier

3. Die Modelliermaschinesteuerungs-SW

Nachdem die erforderlichen Daten von der Modellier-SW übernommen wurden, arbeitet die Modelliermaschinesteuerungs-SW autonom mit der Modelliermaschine zusammen. Ein weiteres Bearbeiten der Steuerbefehle ist nur für Notsituationen vorgesehen, z.B. nach einem Stromunterbruch, wenn die Modelliermasse nicht der erwarteten Festigkeit entspricht oder, wenn während der Modellierphase im Feinheitsgrad der Modulation eine Änderung vorgenommen werden will.

Für einen Wiederanlauf nach einem Stromunterbruch oder sonst einem Unterbruch, bei dem die Lage des Objekts oder der Fertigungsgrad verlorengegangen ist, steht die Option "Scanning" zur Verfügung. Mit dieser Option, kann festgestellt werden, ob das Objekt in der Modelliermaschine zu den Daten im Steuercomputer passt, die Position und Ausrichtung des Objekts kann festgestellt werden sowie wie weit die Modulation fortgeschritten ist. Die "Scanning-Function" kann ebenfalls zur automatischen Qualitätskontrolle sowie für entsprechende Korrekturmaßnahmen eingesetzt werden.

Auch die Modelliermaschinesteuerungs-SW ist parameterisiert, so kann z.B. festgelegt werden, hinter welcher Tankboxklappe der Schlitten parkiert werden soll (links oder rechts).

Sicherheitseinrichtungen

Die Tankbehälterklappen sind für die Dauer von kritischen Phasen blockiert, z.B. wenn der Tank benutzt wird. Ist der Tank nicht mit dem Modellierkopf gekoppelt, hat der Deckelmechanismus auch kein Strom.

Mit dem Öffnen der Werkzeugschublade wird der Modelliervorgang unterbrochen, sobald ein Werkzeug ausgewechselt werden muss.

Das Öffnen der Kondenswasserschublade schaltet zwar den Kondensator aus, die Kühlung der Tanks und der dazwischen liegenden Elektronik bleibt aber aufrecht erhalten. Die interne Luftumwälzung wird unterbrochen. Die feuchte Luft entweicht durch die offene Schubladenlucke.

Das Öffnen der Staubsaugerschublade unterbricht ein allfälliges Staubsaugen.

Alle Roboterarme sind mit Sensoren ausgerüstet um eine ungeplante Krafteinwirkung sofort feststellen zu können. Die Aktivität der Maschine wird nötigenfalls unterbrochen.

8. Einige Kenndaten zu vorliegendem Entwurf (Zirkaangaben)

- Gehäuseabmessungen B:55 cm , H:80 cm, T:60 cm
- Arbeitsplattformgrösse B:30 cm, H:15 cm, T:20 cm (9 l)
- Tankgrösse (zylindrisch) D:15 cm, H:25 cm (3,5 l)
- Maximale Anzahl Tanks 2
- Anzahl Objektstandflächen 2
- Maximal erlaubte Temperatur 150° Celsius
- Gesamtgewicht Modelliermaschine 70 kg
- Maximale Formstranghöhe 7 mm
- Maximale Formstrangbreite 20 mm
- Maximale Stromaufnahme 6 A (interne Überwachung/Begrenzung)

9. Beanspruchte Fremdunterstützung

Durch folgende Personen erhielt ich Unterstützung:

Fam. Ursula und Toni Barletta, Töpferlade Urdorf

Herr F. Lüthi, Berater Blinden-Bund Schweiz, Zürich

Auf Grund der Gespräche mit Herrn Lüthi, konnte ich drei Bereiche ausmachen, wo Verbesserungen bezüglich ertastungshilfen gefragt sind, nämlich

- ertastbare Ortspläne
- realtime 3-D-Oberflächenanzeigen (z.B. eine Tischoberfächendarstellung)
- statische Reliefdarstellung

Für den letzten Punkt wird mit dieser Dokumentation ein Lösungsansatz geliefert.

* * * * *