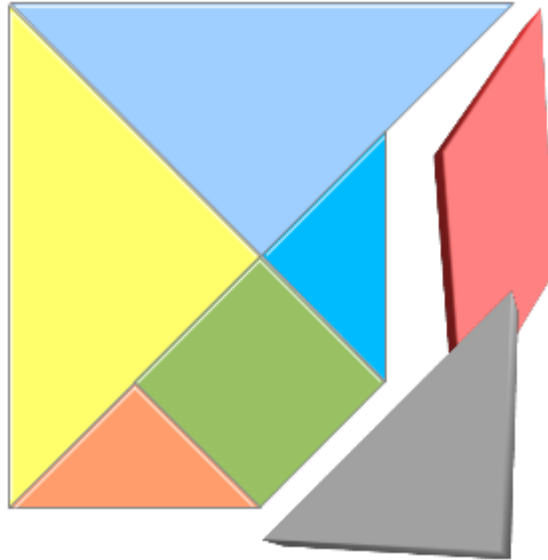


IBE Software



Schachtelstrategien

Betrachtungen zum Schachteln in IBE-Programmen



IBE Software GmbH; Friedrich-Paffrath-Straße 41; 26389 Wilhelmshaven
Fon: 04421-994357; Fax: 04421-994371; www.ibe-software.de; Info@ibe-software.de



Vorwort

NC-Maschinen bieten heute durch moderne Steuerungen eine Genauigkeit in der Verarbeitung von Materialien, die ein verlustarmes Schneiden von Werkstücken aus den unterschiedlichsten Werkstoffen ermöglicht. Diese Möglichkeiten werden jedoch nur genutzt, wenn auch die CNC-Programme die Werkstücke effektiv auf den Platten anordnen und die beste Materialausnutzung vornehmen. Die Lösung heißt hier 'Schachteln'. Hierunter versteht man einen Prozess, bei dem durch besondere Rechenalgorithmen in festgelegten Verfahren die Werkstücke (Teile) auf einer Platte ausgelegt werden.

Einleitung

Diese Anleitung gibt eine allgemeine Betrachtung über das Schachteln wieder, unabhängig von den CNC-Programmen. Es sollen Überlegungen aufgezeigt werden, die die einzelnen Schachtelmöglichkeiten in ihrer Effektivität steigern helfen. Die Betrachtungen beziehen sich auf die Programme von IBE Software und zeigen im Speziellen die vielen Möglichkeiten der Einflussnahme durch den Anwender.

Allgemeine Betrachtung

Zuerst jedoch ein paar Überlegungen allgemeiner Art zum Schachteln und zu den Grenzen des Schachtelns.

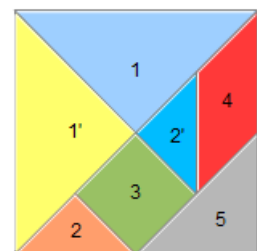
Es gibt schnelle, geradlinige Schachtelarten, die ohne besonderen Aufwand Teile auf einfache Weise auf die Platte bringen wie zum Beispiel das Rechteckschachteln. Die Königsdisziplin im Schachteln ist jedoch das Konturschachteln, ein Verfahren, bei dem Werkstücke unterschiedlichster Formen ineinander verschachtelt werden. Je aufwendiger die Schachtelart, desto länger ist die erforderliche Rechenzeit um alle Möglichkeiten der Legart zu erfassen und zu prüfen.

Ein gutes Beispiel für eine effektive Schachtelung zeigt das chinesische Legespiele 'Tangram', bei dem 7 Teile zu einem Quadrat geformt werden können. Um es vorweg zu nehmen; es ist problemlos möglich, ein Programm zu schreiben, das die Lösung für das Tangram-Spiel findet, aber als Lösung für eine allgemein brauchbare Schachtellösung nicht sinnvoll ist! Tangram ist aber ein gutes Beispiel, den Aufwand und die Grenzen aufzuzeigen.

Mathematisch Betrachtung

Das Spiel Tangram besteht aus 7 Bausteinen (Teilen), die in der Anzahl der Permutationen – also der möglichen Kombinationen von Auslegungen – noch übersichtlich erscheinen.

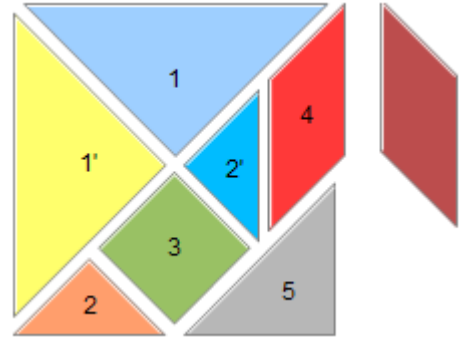
Die mathematische Anzahl von Permutationen für eine n -elementige Menge ist [\$n!\$](#)





Am Beispiel wäre dies die 7! also 5040 Permutationen. Bedenkt man, dass die Teile auch auf dem 'Kopf' liegen können, müssten Sie für die Prüfung auch noch umgedreht, also gespiegelt werden.

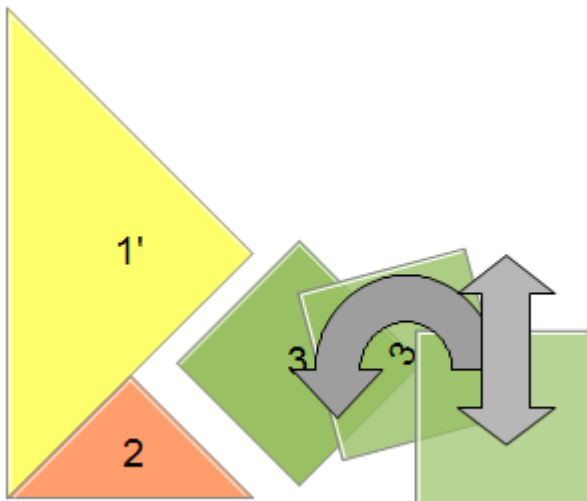
In unserem Falle wäre dies nur für das Teil Nr. 4 erforderlich, woraus sich eine Anzahl von 8! also 40320 Permutationen ergibt. Müssten nur ungleiche Teile gespiegelt werden, käme man auf eine Anzahl von $12! = 479001600$ und wenn alle Teile gespiegelt werden müssten, wäre das erforderliche Aufkommen $14!$ also 87178291200 Möglichkeiten. Letztere Betrachtungen sind in diesem Beispiel rein theoretischer Natur, zeigen aber deutlich den sprunghaften Anstieg der Möglichkeiten und damit auch der erforderlichen Rechenleistung für eine Programm.



Verfahren beim Schachteln

Die prozeduralen Verfahren beim Schachteln sind einfach, in ihrer Wirkung auf die Rechenleistung aber bedeutend.

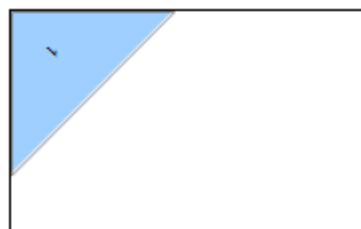
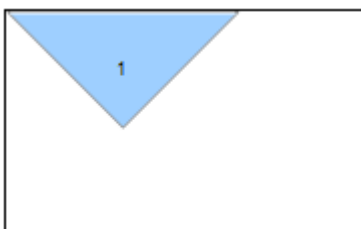
Grundsätzlich gibt es nur 3 Prozeduren:
Drehen, schieben und spiegeln.



Am Beispiel Teil 3 sind die Abläufe gut ersichtlich. Das Teil muss an der Legekante (hier die Teile 1' und 2) verschoben werden sowohl in die X- als auch in die Y-Richtung, um es an die bestehende Auslage heranzuführen. Zudem ist das Teil in allen Positionen zu drehen, um die entsprechende Einpassung an der Legekante zu finden.

Bei diesen Abläufen ist die Auflösung der Schritte für das Schieben und Drehen von Bedeutung. Beim Drehen wird eine große

Auflösung (kleine Schrittwinkel) zu einer bedeutend höheren Anzahl der Rechenschritte führen. Wie im Beispiel zu sehen, ist die Größe der Schrittwinkel aber bedeutend, denn für das Beispiel ist lediglich ein Winkel von 45° relevant. Durch eine ausgewählte Vorgabe der Schrittwinkel lassen sich die Rechenzeiten also drastisch reduzieren. Mehr hierzu in der konkreten Betrachtung zu den Schritt winkeln.



Selbst das erste Teil unterliegt diesen Erfordernissen, um die günstigste Lage auf einer Platte zu finden. Die günstigste Lage aus Sicht der Plattennutzung ist nämlich die rechte Variante.



Platten als Grundlage

Als Basis für das Schachteln von Teilen wird eine Grundfläche vorausgesetzt, auf der die Teile geschachtelt werden. In der Praxis wird hier die entsprechende Platte aus einem erforderlichen Werkstoff dienen. In den nachfolgenden Betrachtungen wird immer Bezug auf eine Platte genommen. Die Plattengröße und die Dimensionen einer Platte sind jedoch entscheidend für das Schachteln. Nicht zu vergessen ist der verbleibende Rest einer Platte nach dem Schachteln. Eine optimale Plattenausnutzung muss nicht immer das beste Ergebnis in Bezug auf den Plattenrest sein. Besteht das Erfordernis, aus dem Rest noch geradlinige Restplatten zu schneiden, kann eine vermeintlich ungünstigere Auslegung zu einem besseren Gesamtergebnis führen.

Fazit als Grundlage für das konkrete Schachteln

Wie am Beispiel Tangram gezeigt, steht der Wunsch nach einem besten Schachtelergebnis immer in Bezug zu dem zu leistenden Rechenaufkommen und damit der Zeit, die für das Schachteln benötigt wird. Auf der anderen Seite stehen die Kosten für Personal, Material und Verschnitt. Eine brauchbare Lösung wird es nur durch die Vorgabe von Schachtelparametern geben, in der alle Seiten Berücksichtigung finden.

Das Schachteln

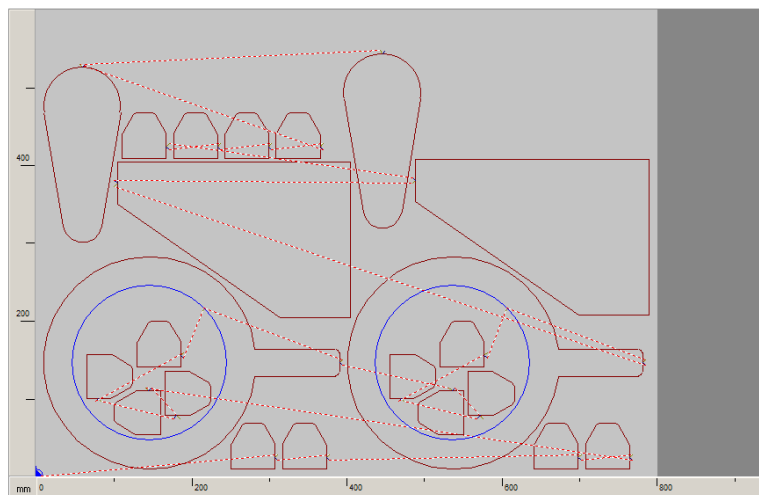
Beim Schachteln bieten Ihnen Programme von IBE Software viele Möglichkeiten, die Teile auf den Platten zu organisieren. Vom vollautomatischen Schachteln mit den Möglichkeiten, individuell die Schachtelparameter zu manipulieren, bis hin zum manuellen Handschachteln, bei dem die einzelnen Teile mit und ohne Programmhilfe auf den Platten positioniert werden können.

Ziel der automatischen Programme ist es, schnell zu brauchbaren Ergebnissen zu gelangen. Diese sind nicht immer das beste Ergebnis, durch die schnelle Bearbeitungszeit ist eine Änderung der Parameter aber immer direkt kontrollierbar.

Schachtelparameter

Durch eine ausgewählte Vorgabe von Schachtelparametern nehmen Sie bedeutenden Einfluss auf die Schachtelergebnisse und die Zeit, die für das Schachteln erforderlich ist. Nachfolgend werden die Einstellmöglichkeiten mit strategischen Gesichtspunkten für die Anwendung aufgezeigt.

Der Plan rechts zeigt 4 verschiedene Teile in einer Normalauslage im Schwerpunkt mit 90° Schrittwinkel ohne Paarbildung und gleicher Priorität für alle Teile.

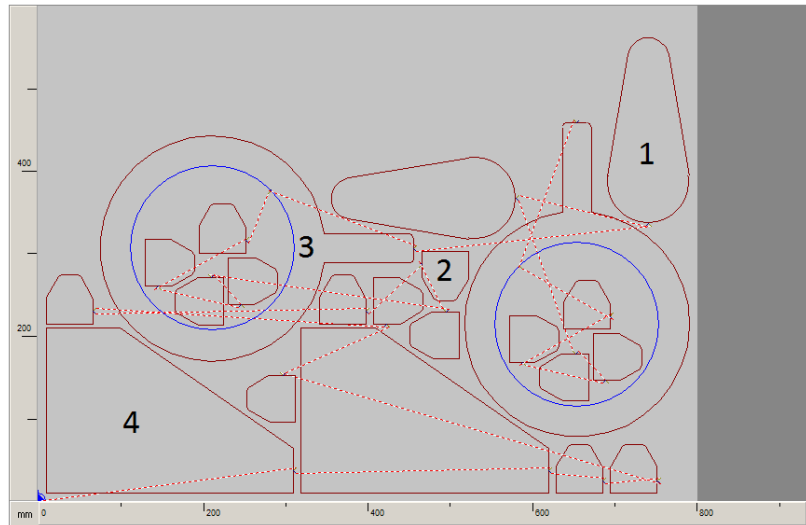




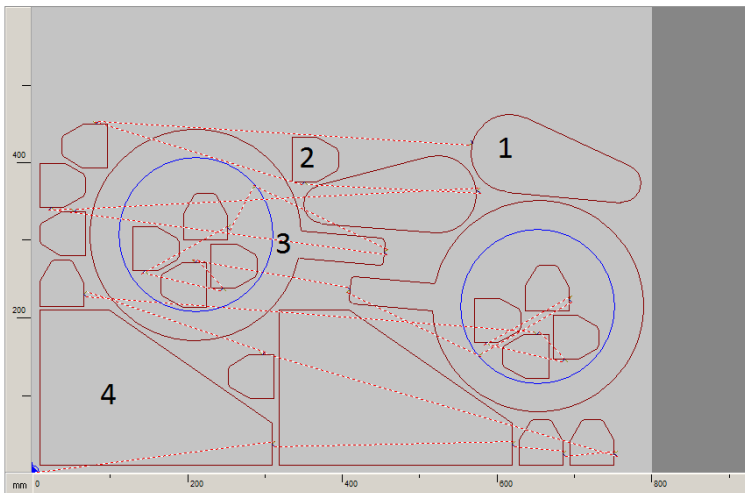
Priorität

Die Priorität bestimmt die Reihenfolge, in der die Teile auf der Platte angeordnet werden. Teile mit höherer Priorität werden zuerst verschachtelt. Bei der Vergabe der Priorität kann es von Vorteil sein, große Teile zuerst zu schachteln und kleine Teile zum Schluss. Damit können kleine Teile als Füller für entstandene Lücken genutzt werden.

Der Plan zeigt eine höhere Priorität für das Teil Nr. 4.



Schrittwinkel



Der Schrittwinkel bestimmt den Winkel, um den die Teile beim Einpassen gedreht werden. Die Eingabe eines kleinen Wertes erhöht die Berechnungszeit beim Schachteln stark, da mehr "Einpassschritte" durchlaufen werden, die Ausnutzung der Platte ist jedoch effektiver.

Kleine Werte erzielen aber nicht immer das beste Ergebnis. Es ist möglich, bessere Gesamtergebnisse zu erzielen durch grobe Einstellungen für

einzelne Teile. Für Teile, die in ihrer Form ausfüllend rechteckig sind, kann es von bedeutendem Vorteil sein, diese nur in 90°-Schritten zu drehen. Im Plan wurde den Teilen 1 und 3 ein Schrittwinkel von 5° zugewiesen. Das Schachtelergebnis hat sich hierdurch bedeutend verbessert. Denkt man sich eine 'Kopflinie' über den Teilen, kann man hier deutlich sehen, dass gegenüber den Plänen zuvor eine größere, glattere Restplatte abtrennbar wäre.

Einpass-Typ

Der Einpasstyp bestimmt die Lage des ersten Teiles auf der Platte. Bei 'normal' wird das Teil in erstbestener Lage gesetzt, bei 'Schwerpunkt' wird versucht, die bestmögliche Lage zu finden. Bei der Angabe 'Gitter' wird das Teil oder das Teilepaar in ein imaginäres Rechteck eingepasst. Alle folgenden Teile richten sich dann nach dem ersten Teil.

Paarbildung

Die Paarbildung bestimmt die Lage von zwei Teilen zueinander, die dann als 'Teilepaare' bevorzugt geschachtelt werden.

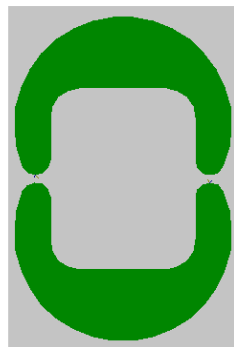
In der Regel gibt es fünf Möglichkeiten der Paarbildung. Ein Paar definiert zwei Teile, die in einer bestimmten Ausrichtung zueinander stehen. Die Paarbildung hat das Ziel, immer eine möglichst kleine, umschließende Box zu finden. Dieses Ziel wird normalerweise immer mit der Option 'beste' erreicht. Sollten Sie eine andere Anordnung wünschen, haben Sie hier die Möglichkeit unter vier weiteren Varianten zu wählen:



Keine Ausrichtung der Teile.



Vertikale Ausrichtung der Teile - die Teile werden in vertikaler Lage verschachtelt.



Die Teile werden horizontal ausgerichtet und verschachtelt.



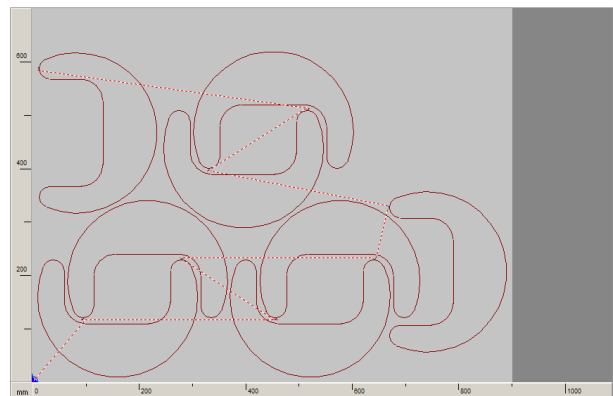
Überlappende Paarbildung.



Die Schachtelprogramme suchen bei der Option 'beste' immer das optimale Ergebnis heraus. In diesem Fall wäre die vertikale Ausrichtung die beste und würde bei Wahl der Option 'beste' angewandt werden.

Die beste Paarbildung muss aber nicht zwangsläufig zum besten Gesamtergebnis führen. Im Plan rechts erzielt die überlappende Paarbildung die beste Plattenausnutzung.

Prüfen Sie beim Schachteln immer die Anzahl der erforderlichen Platten und optimieren Sie die Parameter so, dass die kleinste, erforderliche Plattenzahl herauskommt.

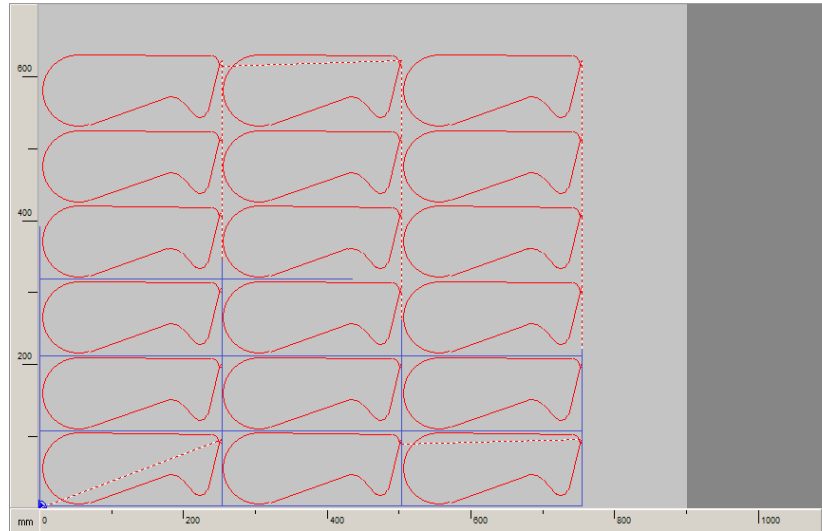




Schachtelarten

Gitterschachteln

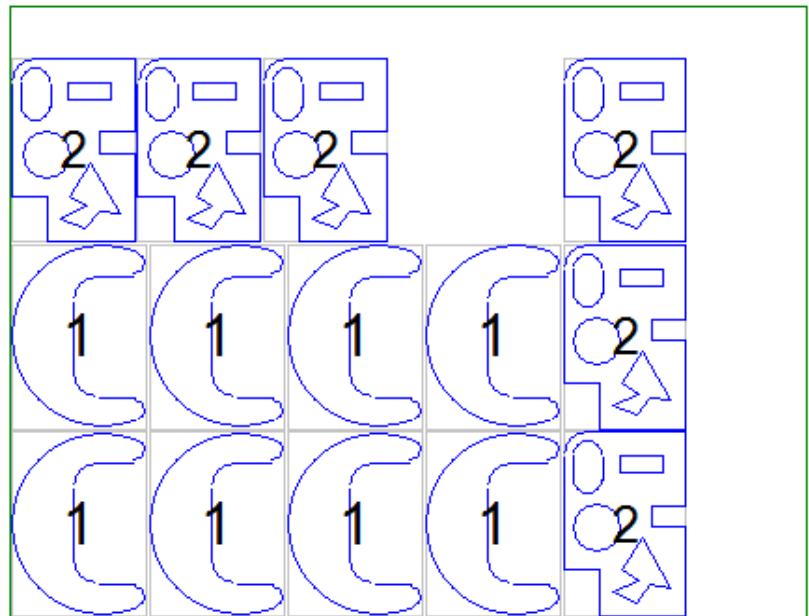
Beim Gitterschachteln werden um die Teile rechteckige, imaginäre Boxen (im Bild rechts blau angedeutet) gelegt, die mit den eingestellten Parametern geschachtelt werden. Beim Gitterschachteln kann nur ein Teil geschachtelt werden.



Rechteckschachteln

Beim Rechteckschachteln werden ebenfalls um die Teile rechteckige, imaginäre Boxen gelegt, die jedoch mit den eingestellten Parametern ineinander geschachtelt werden. Hierbei lassen sich auch mehrere, verschiedene Teile schachteln.

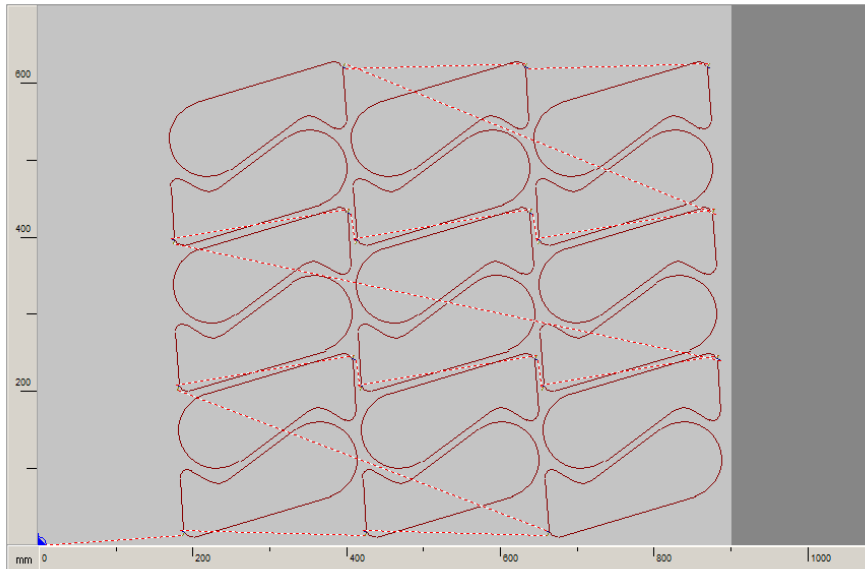
Eine besondere Art des Rechteckschachtelns ist das 'Guillotine'-Schachteln, bei dem die Rechtecke so angeordnet werden, dass einzelne Schnitte entstehen, die auch mit einer Schlagschere vollzogen werden können.





Parkettschachteln

Wollen Sie ein Teil effizient schachteln, können Sie dies in einem Parkett anlegen. Die Teile werden dann ineinander geschachtelt und in verschiedenen Parketten mit den

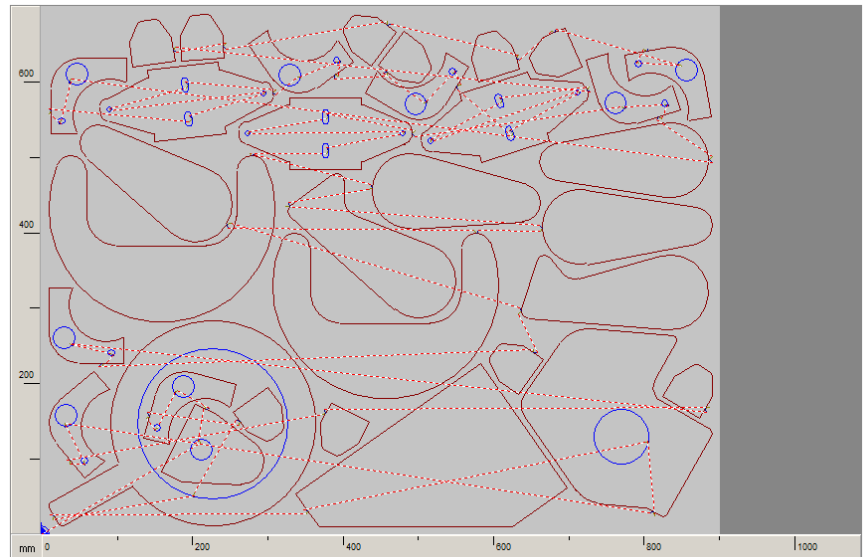


Plattenausnutzungen zur Auswahl angeboten. Im Parkett kann nur ein Teil eines Typs geschachtelt werden. Beim Parkettschachteln entstehen immer diagonale Anordnungen, um die Teile in den Parketten zu verzahnen.

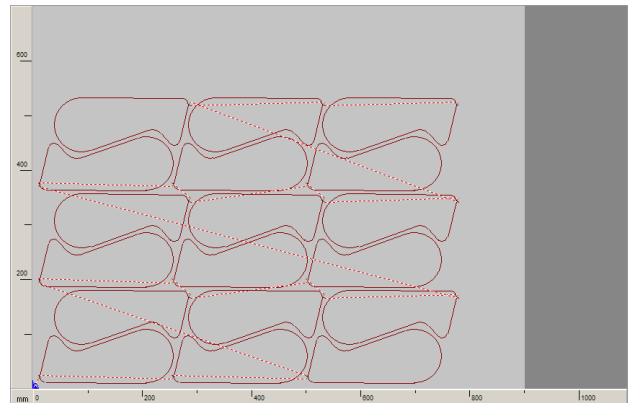
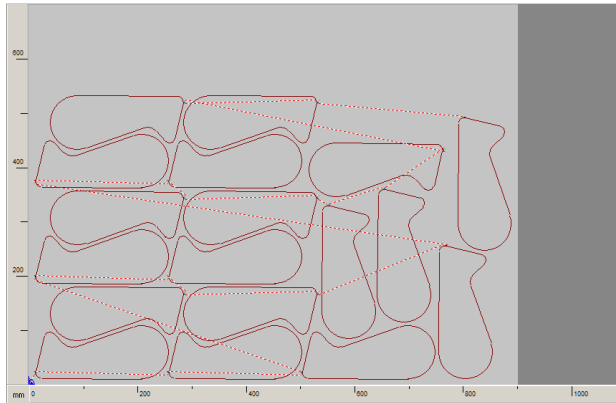
Wollen Sie Teile unterschiedlicher Formgebung verarbeiten, wählen Sie das Konturschachteln.

Konturschachteln

Teile unterschiedlicher Formgebung können Sie mit dem Konturschachteln ineinander einpassen und automatisch verschachteln. Über verschiedene Parameter können Sie Vorgaben für das Schachteln machen (Paarbildung, Prioritäten usw.) und somit das Schachtelergebnis beeinflussen. Die Auslegung rechts wurde mit einem Schrittwinkel von 1° geschachtelt.



Beachten Sie beim Konturschachteln immer, dass die Wahl eines kleinen Schrittinkels für das Einpassen der Teile die Rechenzeit für die Auslegung erheblich verlängern kann. Für große, annähernd rechteckige Teile ist es meistens von Vorteil, den Schrittwinkel auf 90° einzustellen, um ein flächenmäßig verlustfreies Schachteln zu bestimmen. Wie im Beispiel zu sehen ist, wird aber auch das Rechteck (mit Abschnitt) in der Mitte unten mit dem kleinen Schrittwinkel sehr gut in den Schachtelplan integriert.



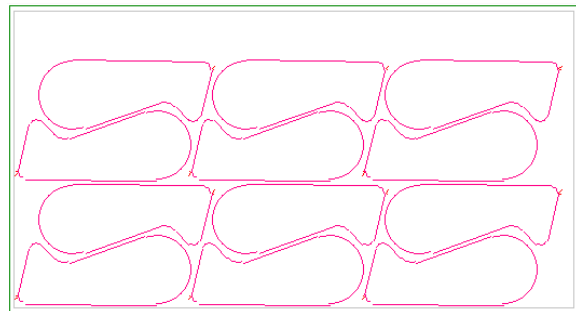
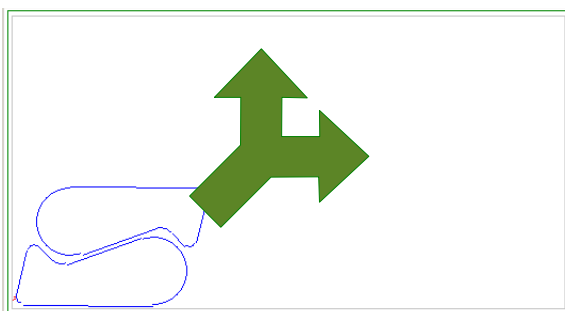
Natürlich kann das Konturschachteln auch mit einem Teil durchgeführt werden, wenn mehrere seiner Art geschachtelt werden sollen. In der Auslegung links ist ein Teil automatisch, ohne Parametervorgabe geschachtelt und in der Auslegung rechts mit überlappender Paarbildung als Parametervorgabe.

Handsachteln

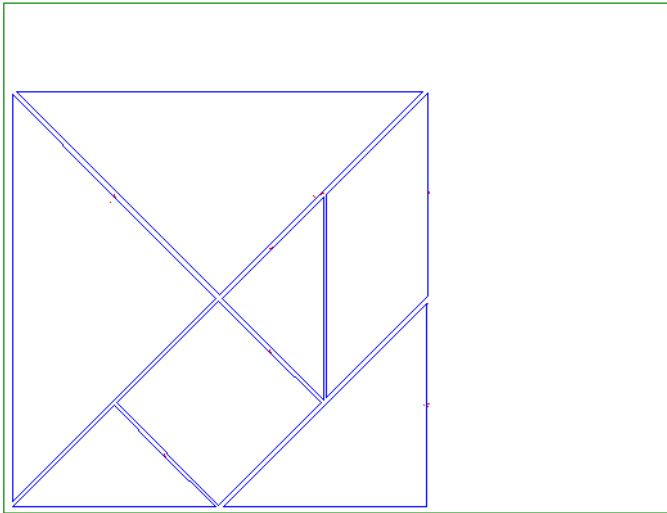
Beim Handsachteln können Sie unterschiedliche Teile beliebig auf einer Platte positionieren. Die Prozeduren für das Drehen und Schieben der Teile lassen sich mit Wertevorgaben von Hand beliebig ausführen. Mit Hilfe des Programms können Sie aber auch die optimalen Abstände der Teile untereinander finden; das Programm hilft Ihnen bei der Annäherung der Teile durch einen automatischen Fangmodus und berücksichtigt dabei die geforderten Abstände der Teile untereinander. Mehrere Teile lassen sich zu einer Gruppe zusammenfassen. Die Gruppe wird dann bei Aktionen immer als Gesamtes betrachtet.

Beim Handsachteln lassen sich Auslegungen von Teilen oder Gruppen von Teilen elegant auf einfache Weise mit der Maus 'aufziehen'. Das Teil oder die Teilegruppe wird dann in dem aufgezogenen Bereich ineinander verschachtelt. Hierbei ist die Lage und Form des Teils oder der Teilegruppe bedeutend, denn durch eine geschickte Lage des Ausgangsteiles kann eine Verzahnung bei der Auslegung erfolgen.

Drehen Sie eine Gruppe in verschiedene Positionen, um Verzahnungen zu ermöglichen. Eine gute Ausgangsposition bilden reduzierte Paare aus dem Parkettschachteln.



Links eine Teilegruppe in der Ausgangslage. Im rechten Bild die 'aufgezogene' Auslegung sowohl in Y- als auch in X-Richtung. Durch die günstige Teilelage kann die Auslegung ideal ineinander verzahnt werden.



Das Handschachteln ermöglicht Ihnen jede beliebige Verschachtelung der Teile, selbst für das am Anfang der Beschreibung genutzte Beispiel des Tangrams.

Coilschachteln

Als Coils bezeichnet man Rollen von Walzstählen, die in Form von Metallbändern als Rohmaterial in vielen Bereichen der industriellen Fertigung genutzt werden. Coils sind in der Regel sehr schwer und können als Ganzes nur mit Schwertransportern bewegt werden. Auf Maß bestellt, werden Coils zerschnitten und konfektioniert als Spaltbänder oder Ringe in handhabbaren Größen in den Handel gebracht.

Das Coilschachteln ist eine besondere Art des Schachtelns mit dem Ziel, durch eine besondere Schachtelart die optimale Breite für einen Ring zu ermitteln. Bei diesem Verfahren werden Teile in einer mathematisch erforderlichen Länge auf eine virtuelle Platte gebracht. Aus der Schachtelung wird die Breite des Bandes mit der Ausnutzung über die Breite bestimmt. Für die Kalkulation des erforderlichen Materials wird errechnet, wie viele Teile auf ein Band einer vorgegebenen Länge passen.

Coilschachteln setzt als Basisschachteln das Parkettschachteln oder das Handschachteln voraus. Durch diese Basisschachtelarten lassen sich Paare bilden, die dann in Streifen angeordnet, optimal für das Coilschachteln genutzt werden können.

Parkettschachteln liefert immer mehrere Möglichkeiten von Paaren, die durch das Schachtelverfahren aber immer in einer diagonalen Anordnung liegen. Als Basis sind solche Paare aber gut geeignet, um sie im Handschachteln an besondere Erfordernisse für die Fertigung als endlose Anordnung in eine geeignete Lage zu bringen.

Paare aus dem Parkettschachteln lassen sich im Handschachteln leicht separieren, manuell nacharbeiten und dann für die Bandfertigung im Coil neu schachteln.

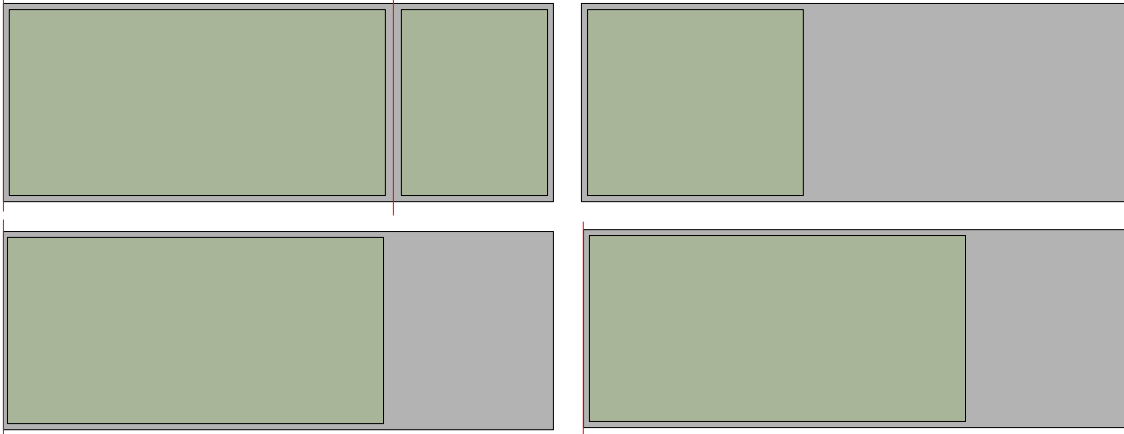
Bachten Sie die Funktion 'Aufziehen', sie bietet gerade beim Coilschachteln eine gute Hilfe, ein Teil oder eine Teilegruppe als Band zu legen und eine 'gerade' Gruppenlinie in der Vertikalen anzulegen.

Bei der Schachtelung gibt es die Möglichkeit der Nutzung eines Parallelogrammes. Hierbei entstehen eventuell bessere Schachtelerggebnisse. Schachteln Sie unter beiden Bedingungen und prüfen Sie die Ergebnisse in der Ausnutzung.



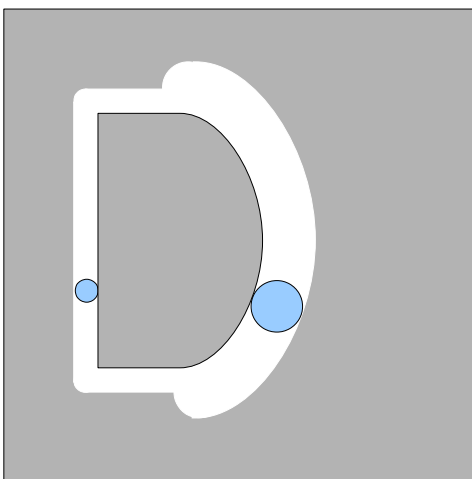
Kommissionsschachteln

Werden komplette Baugruppen als Kommissionen verwaltet, können diese in sich zusammenhängend geschachtelt werden. Dabei werden die Teile einer Kommission durch



die Voreinstellung der Priorität komplett verschachtelt, bevor die nächste Kommission bearbeitet wird. Beim Kommissionsschachteln kann durch Parametervorgabe die (imaginäre) Startlinie für eine Kommission bestimmt werden. Diese kann immer auf einer neuen Platte (untere Reihe) beginnen oder aber fortlaufend an eine gefertigte Kommission anschließen (obere Reihe). Um die Materialausnutzung zu steigern, können durch Parametervorgabe Teile einer Kommission auch in bestehende Lücken der vorhergehenden Kommission geschachtelt werden.

Freiraumschachteln



Bei besonderen materialverarbeitenden Maschinen wie Stanzen oder Fräsen, besteht das Erfordernis, durch unterschiedliche Werkzeuggrößen einen entsprechenden Freiraum um das Werkstück zu halten, um den Einsatz der verschiedenen Werkzeuge bei der Erstellung zu gewährleisten. Diese Freiräume können sich auch überlappen, dürfen die Teilekonturen jedoch nicht verletzen. Beim Freiraumschachteln werden diese Erfordernisse berücksichtigt, so dass Stanzstempel oder Fräser unterschiedlicher Größen für die Zerspanung eines Werkstoffes genutzt werden können.



Mehrfachbrenner

Bei Schneidmaschinen mit Mehrfachbrennern müssen die besonderen Bedingungen für deren Einsatz beachtet werden. Die Teile müssen in der entsprechenden Anzahl von 'Bahnen' auf die Platte geschachtelt werden. Die Verschachtelungen auf den einzelnen Bahnen müssen identisch sein, was voraussetzt, dass die Anzahl der Teile sich entsprechend durch die Brenneranzahl teilen lässt. Somit gilt: Anzahl der Teile modulo Anzahl der Brenner muss 0 sein. Eine Ausnahme ist hier nur möglich, wenn die Brenner einzeln angesteuert und ein- bzw. abgeschaltet werden können.

Fazit

Das Schachteln von Teilen verschiedenster Formgebung ist eine hohe Anforderung an ein Schachtelprogramm. Die Güte der Schachtelpläne und die benötigte Rechenzeit ist geprägt durch die Auflösung bei den Einfügeprozeduren. Durch die geschickte Vorgabe von Parametern lässt sich die Rechenzeit erheblich reduzieren wie z.B. durch die Einschränkung, Spiegeln zu erlauben oder auszuschließen.

Ein besonderer Gesichtspunkt ist die Schnelligkeit, mit der die Ergebnisse präsentiert werden. Nur durch eine schnelle Rückmeldung ist es möglich, interaktiv durch Parameteränderungen die Ergebnisse zu verbessern.

Die Programme von IBE Software bieten hier besonders gute Lösungen und aus diesem Grunde sind die einzelnen Schachtelmöglichkeiten nicht grundsätzlich alle Bestandteil der Programme. Sie sind zum Teil Optionen, die auch wegen ihrer Güte durch einen Dongle geschützt sind und für die Nutzung erworben und freigeschaltet werden müssen.

Erweiterung

Um Schachtelergebnisse zu verbessern, ist es in einigen Programmen möglich, verschiedene Schachtelmethoden mit unterschiedlichen Parametern in einem Batch aufzulisten und den Batch durchzuschachteln. Dabei wird das jeweils beste Schachtelergebnis ermittelt. Bei einer solchen Optimierung eines Schachtelergebnisses durch einen Batchlauf ist es wichtig, dass die erforderliche Zeit zur Verfügung gestellt wird, denn ein solcher Optimierungslauf kann sehr viel Zeit in Anspruch nehmen.



Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	2
Einleitung.....	2
Allgemeine Betrachtung.....	2
Mathematisch Betrachtung.....	2
Verfahren beim Schachteln.....	3
Platten als Grundlage.....	4
Fazit als Grundlage für das konkrete Schachteln.....	4
Das Schachteln.....	4
Schachtelparameter.....	4
Priorität.....	5
Schrittwinkel.....	5
Einpass-Typ.....	5
Paarbildung.....	6
Schachtelarten.....	7
Gitterschachteln.....	7
Rechteckschachteln.....	7
Parkettschachteln.....	8
Konturschachteln.....	8
Handschachteln.....	9
Coilschachteln.....	10
Kommisionsschachteln.....	11
Freiraumschachteln.....	11
Mehrfachbrenner.....	12
Fazit.....	12
Erweiterung.....	12