

## Der Reflow-Prozess wird grün

An das Reflowlötten werden heute höhere Anforderungen gestellt als je zuvor. Die höhere thermische Komplexität der Leiterplatten in Verbindung mit gestiegenen Anforderungen an Produktivität und Qualität machen das Reflowlötten zu einem komplexen Prozessschritt in der Leiterplattenmontage.

Erschwerend kommt hinzu, dass sich durch den Übergang zum bleifreien Lötten das zur Verfügung stehende Prozessfenster verkleinert.

Die gebräuchlichsten bleifreien Legierungen SnAgCu erfordern bei einem Schmelzbereich von 216- 217°C für eine sichere Ausbildung intermetallischer Schichten im Peakbereich Temperaturen von ca. 235°C - 240°C.

Bis zu der für empfindliche Bauteile gefährlichen Temperatur von 240°C und der von IPC J-Std-020C definierten max. Reflowtemperatur für feuchteempfindliche Packageabmessungen auf 245°C besteht somit lediglich ein Sicherheitsfenster von wenigen °C.

Das Einhalten dieses geringen  $\Delta T$  bei sehr komplexen Boards mit hohem Bauteilemix und sehr unterschiedlichen Wärmemassen ist die große Herausforderung beim Reflowlötten.

Da die Konvektionsgeschwindigkeiten aufgrund der Verblasungsgefahr der Bauteile nach oben begrenzt sind und steigende Gastemperaturen aufgrund des Beschädigungsrisikos der Bauteile unerwünscht sind, müssen oft bei vorhandenen Ausrüstungen niedrigere Durchlaufgeschwindigkeiten in Kauf genommen werden, um prozesssicher auf die erforderlichen minimalen Löttemperaturen zu gelangen. Die geringere Bandgeschwindigkeit senkt die Produktivität und führt zu einer geringeren Fertigungskapazität.

Auch größere Öfen sind keine Alternative. Sie belasten das Budget und beanspruchen zusätzlich wertvolle Fertigungsflächen.

Um weder die langfristige Zuverlässigkeit der Lötverbindung noch die Produktionseffizienz zu gefährden, kann dies die Auswahl neuer Prozesse und Ausrüstung notwendig machen.

Heller Industries, der weltweit größte Hersteller von Reflowlötmaschinen, hat in Zusammenarbeit mit Sony diese Aspekte untersucht und neue Wege für effektive Energieübertragung entwickelt.

Mit der Konstruktion der neuen Maschinengeneration leistet Heller auch seinen Beitrag zu Umweltmanagement nach ISO 14000.

Modularer Maschinenaufbau mit sparsamem Materialeinsatz schont Rohstoffressourcen, verstärkte Isolation der Prozesskammer und hocheffiziente Energieübertragung mit neuen Heizmodulen optimieren die Energiebilanz beim Betrieb der Maschinen. Durch ein neuartiges, sehr effizientes Fluxmanagement werden Emissionen vermieden.

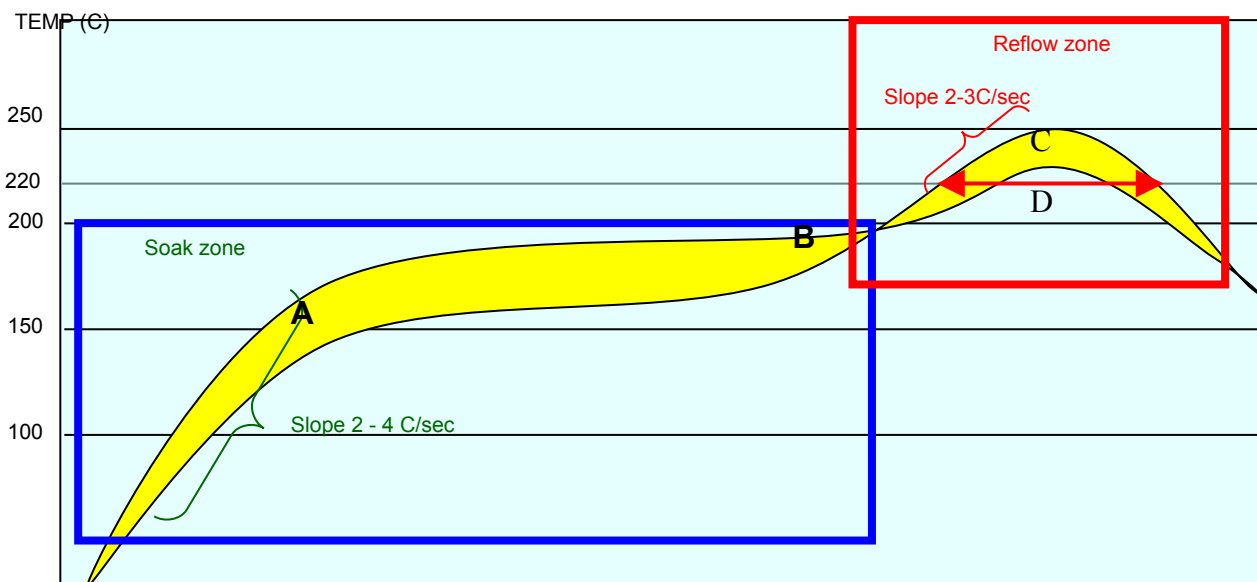
Heller produziert in USA, China und Südkorea eine Typenpalette, die für jede Produktionsgrößenordnung ein passendes Modell bereit hält. Neben der eigenen Organisation mit Werksvertretungen für Verkauf, Installation und Service in den

wichtigsten Industrieregionen – in Deutschland repräsentiert durch MULTI-COMPONENTS GmbH - beliefert Heller auch OEM Kunden. So bietet unter dem Produktnamen MaxiPower auch ein traditioneller deutscher Lötmaschinenhersteller eine speziell für ihn gefertigte Heller-Type an.

Vor der Auswahl einer geeigneten Lötmaschine muss man sich zunächst über das Aussehen des optimalen Temperatur-/Zeitprofils im Klaren sein.

Fast alle führenden Lotpastenhersteller sind sich einig über das Aussehen eines sogenannten „idealen Bleifrei-Profiles“. Dieses Sattelprofil besteht im Wesentlichen aus 4 Temperaturbereichen.

Bild Lotpastenprofil SENJU M31GRN360



#### Zone 1:

Die Vorheizphase beschreibt den Temperaturgang von Raumtemperatur bis zum Beginn der Aktivierungsphase bei einer Temperatur von ca. 150°C. Dabei ist mit Rücksicht auf die Bauteile ein maximaler Temperaturanstieg von 2-3°C/ Sekunde empfehlenswert.

Während sich Substrat und Bauteile langsam erwärmen, verflüchtigen sich die in den Lotpasten enthaltenen Lösungsmittel.

#### Zone 2:

Die Aktivierungsphase ist ganz ursächlich entscheidend für eine gute Lötqualität. Es handelt sich dabei um den Bereich des Lötprofils, wo bei Temperaturen von ca. 150°C bis 190°C die verschiedenen Bestandteile des Flussmittels aktiv werden, um sowohl Padflächen wie Bauteileanschlüsse für eine ausreichende Benetzung vorzubereiten.

Bei bleifreien Lotpasten enthält dieses Flussmittel meist mehrere Aktivatoren die unterschiedliche Siedepunkte haben und somit Ihre chemische Reinigungsarbeit bei

unterschiedlichen Temperaturen leisten. Das bedeutet, dass für eine optimale Wirkung des Flussmittels, genügend Zeit in den einzelnen Temperaturbereichen zwischen 150 bis ca. 190°C zur Verfügung stehen muss. Empfehlenswert ist eine Zeit von mindestens 90 - 120 Sekunden mit einer Rampe von ca. 0,3°C/Sek.

Die Aktivierungszone erfüllt einen weiteren wichtigen Zweck.

Auf Grund unterschiedlicher Wärmemassen erwärmen sich Bauteile unterschiedlich schnell. Dieses  $\Delta T$  wird üblicherweise bei einem linearem Temperaturanstieg von Raumtemperatur bis in den Reflowbereich mitgeschleppt.

Diese Temperaturunterschiede sind besonders beim Übergang in den Schmelzbereich des Lotes kritisch.

Als Folge schmelzen unterschiedlich warme Lötstellen zeitlich verzögert auf. Dies führt zu Tombstoning und mangelnder Benetzung.

Sind zusätzlich nicht alle Bestandteile des Flussmittels verflüchtigt oder chemisch verbraucht sind vermehrte Lunkerbildung und Lotspritzer die Folge.

Der ausgeprägte Sattel im Profil dient also auch einer Angleichung der Temperaturen und Reduzierung des  $\Delta T$  bei Bauteilen unterschiedlicher Wärmemassen vor dem Eintritt in die Peakzone.

Die Bedeutung des Sattelprofils ist enorm wichtig bei der Auswahl der Zonenanzahl einer Lötmaschine. In der Praxis wird man mit nur einer Heizzone zwischen Vorheizung and Reflowzone ein solches optimales Sattelprofil nicht realisieren können..

### Zone 3

In der Reflowzone muss ein relativ großer Temperatursprung von ca. 190°C bis zur Peaktemperatur von 230- 235°C realisiert werden.

Die Zeit über dem Schmelzbereich von 217-220°C (bei SnAgCu) ist wichtig für die Ausbildung der sogenannten intermetallischen Schicht. Das flüssige Lot reagiert mit den Basismetallen der Pads und der Bauelementeanschlüsse und stellt somit die eigentliche elektrische und mechanisch haltbare Verbindung sicher.

Eine Zeit von 40 - 80 Sekunden mit 15 - 20°C über der Schmelztemperatur sollte für die Ausbildung einer ausreichend dicken intermetallischen Schicht (üblicherweise ca. 5-10µm) reichen. Zu lange Zeit oder zu hohe Temperaturen lassen diese zu stark anwachsen, was zu einer Versprödung und damit schlechterer Temperaturwechsellastfestigkeit der Lötverbindung führt.

In der Reflowzone kommt es besonders darauf an, dass der Temperaturunterschied von Gas am Austritt der Heizzone und auf der Leiterplatte möglichst gering ist. Nur dann ist die Gefahr einer Überhitzung von Bauteilen vernachlässigbar. Bei Heller-Maschinen beträgt der Temperaturunterschied max. 20°C.

### Zone 4

Der Kühlzone kommt beim bleifrei Löten besondere Bedeutung zu. Zum Einen kommen die Substrate mit wesentlich höherer Temperatur aus der Reflowzone und können somit nicht unmittelbar weiter bearbeitet werden. Zum Anderen spielt die Abkühlrate eine wesentliche Rolle für die Zuverlässigkeit der Verbindung. Für die Abkühlung bleifreier Materialien wird ein aggressives Kühlgefälle empfohlen, um die

beste Diffusion des Materials und feine, eutektische Körnungsstrukturen zu erzielen. Die Empfehlungen der Materialhersteller differieren zwischen 2 - 4°C/Sek.. Einige Materialhersteller empfehlen gar aggressive Abkühlraten bis zu 6°C/Sek. Bei der Anwendung des Kühlgefälles sollten jedoch die Angaben des Bauteilherstellers zu maximalen Kühl- und Wärmegefällen herangezogen werden, damit die Bauteile nicht geschädigt werden.

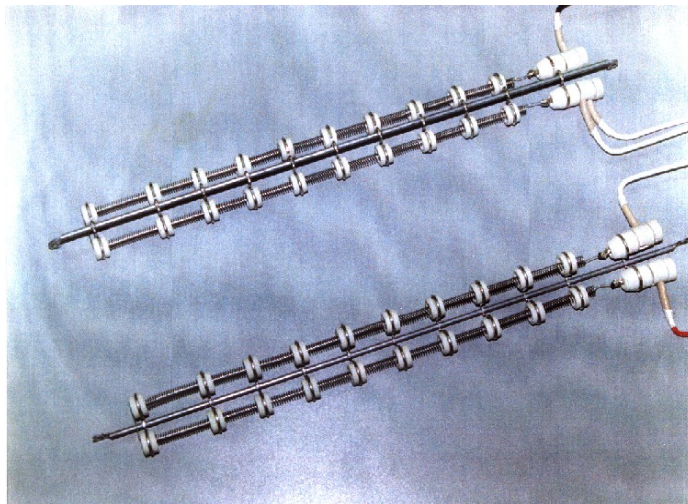
In der Praxis ist es daher hilfreich, wenn die Abkühlrampen gezielt beeinflusst werden können.

Um zu verstehen wie Heller seine Maschinen für die genannten Profilanforderungen optimiert hat, muss man das Herzstück der Reflowanlage, ihr Wärmeübertragungskonzept, anschauen.

Die Heizmodule sind als sogenannte „Low Thermal Mass“ Module konstruiert. Wolframheizwendeln liegen direkt im Konvektionsluftstrom. Dadurch ist ein spontanes Ansprechverhalten und eine nahezu trägheitslose Regelung der Heizenergie möglich.

Die Heizungen werden im praktischen Betrieb mit nur ca. 20% ihrer Nennleistung betrieben, was sich trotz der exponierten Lage im direkten Luftstrom sehr günstig auf die Lebensdauer auswirkt. Der Hersteller gewährt für die Heizmodule lebenslange Garantie.

Bild „Low Mass“ Heizwendel



Zusätzlich wurde die Gaszirkulation im Heizmodul optimiert und die Konvektionsgeschwindigkeit des Prozessgases durch größeren Lüfterdurchmesser moderat erhöht.

Eine Mischkammer bewirkt, dass das Prozessgas eine einheitliche Temperatur aufweist bevor es über Verteilerplatten in die Prozesskammer gelangt. Durch spezielle Konfiguration und Größe der Austrittsöffnungen ist sichergestellt, dass über den gesamten Bereich einer Heizzone die Temperatur um max. 1°K differiert. Das Resultat sind höhere Temperaturen auf den Leiterplatten bei niedrigeren Austrittstemperaturen an den einzelnen Heizmodulen.

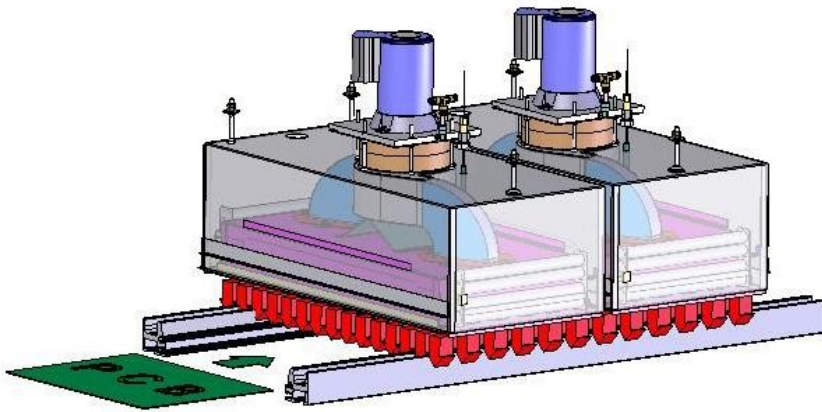
Die Gastemperaturen sind ca. 20 - 30°C niedriger als bei vergleichbaren Maschinen. Dadurch wird das Risiko einer Bauteilschädigung während des bleifreien Lötprozesses vermieden. Gleichzeitig wird der Energieverbrauch drastisch reduziert. Mit höherer Wärmeübertragungseffizienz können sich die  $\Delta T$ 's bei unverändert hohen Liniengeschwindigkeiten und niedrigerem Energieverbrauch erheblich verringern.

Die ausgeklügelte Führung des Konvektionsluftstromes ermöglicht zudem eine gute Entkopplung benachbarter Heizzonen.

Es können im Extremfall bis zu 80°C Temperaturunterschied zwischen benachbarten Heizzonen realisiert werden. Bei sehr komplexen Leiterplatten gibt es zusätzlich die Möglichkeit, die Lüfterdrehzahl pro Zone individuell zu regeln.

Mit einer Breite von 300mm sind die Heizmodule zudem sehr kompakt gebaut. Somit können bei gleicher Baulänge einer Maschine mehr Heizzonen untergebracht werden. Bereits die kleinste Heller-Maschinen hat je 7 Konvektionsheizzonen unten und oben, also 14 geregelte Zonen.

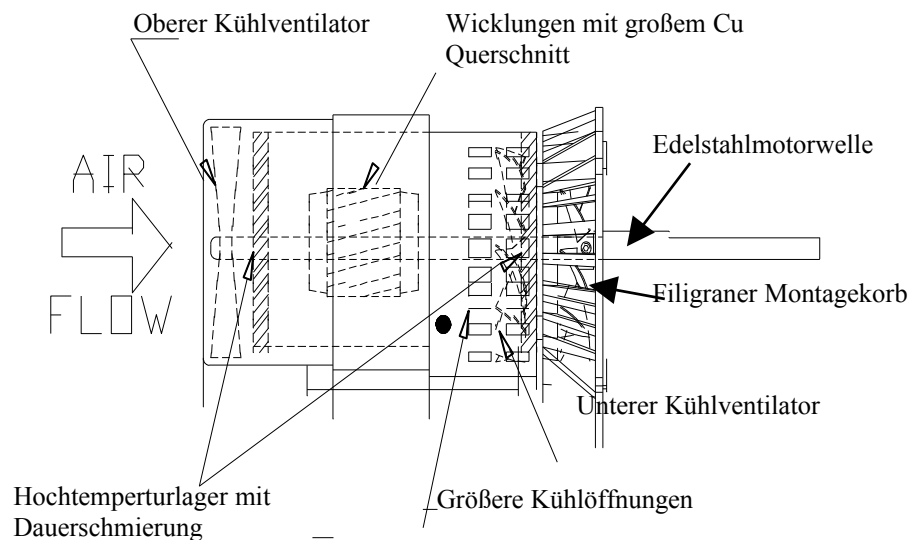
Bild Schnitt durch Heizmodul I



Die Anzahl der Heizzonen und die geringe gegenseitige Beeinflussung benachbarter Zonen sind entscheidend für das Erstellen eines optimalen Bleifrei-Temperaturprofils.

Die hohen Temperaturen beim bleifreien Löten stellen auch besondere Anforderungen an die Zuverlässigkeit der Lüftermotoren. Insbesondere die Motoren der oberen Heizzonen sind enormem Temperaturstress ausgesetzt. Heller entwickelte eine völlig neue Motorengeneration.

Bild Hochtemperatur Lüftermotor



Eine Motorwelle aus Edelstahl reduziert die Wärmeleitung von der Heizkammer in den Motor. Edelstahl hat einen relativ schlechten Wärmeleitfaktor. Der Montageflansch zur Fixierung des Motors über der Mischkammer ist filigran ausgebildet, um die Wärmeleitung zu reduzieren. An beiden Enden des Motors befinden sich Lüfter, die eine optimale Wärmeableitung gewährleisten. Und schließlich sind alle Motorwicklungen mit großem Kupferquerschnitt ausgelegt, um den elektrischen Widerstand und damit die Erwärmung im Motor selbst möglichst niedrig zu halten.

Damit wurde eine Lebensdauer von min. 60.000 Stunden erreicht, was Heller mit lebenslanger Garantie für die Lüftermotore dokumentiert.

Innovatives Denken unter Berücksichtigung von ISO 14000 führte auch zur Entwicklung eines völlig neuen Fluxkondensationssystems.

Es sollen möglichst keine Schadstoffe von der Lötmaschine nach außen gelangen. Auf Grund der eingangs erwähnten hohen Rezirkulation des Prozessgases wird jedoch eine Anreicherung der Ofenatmosphäre mit Flussmitteldämpfen unvermeidbar.

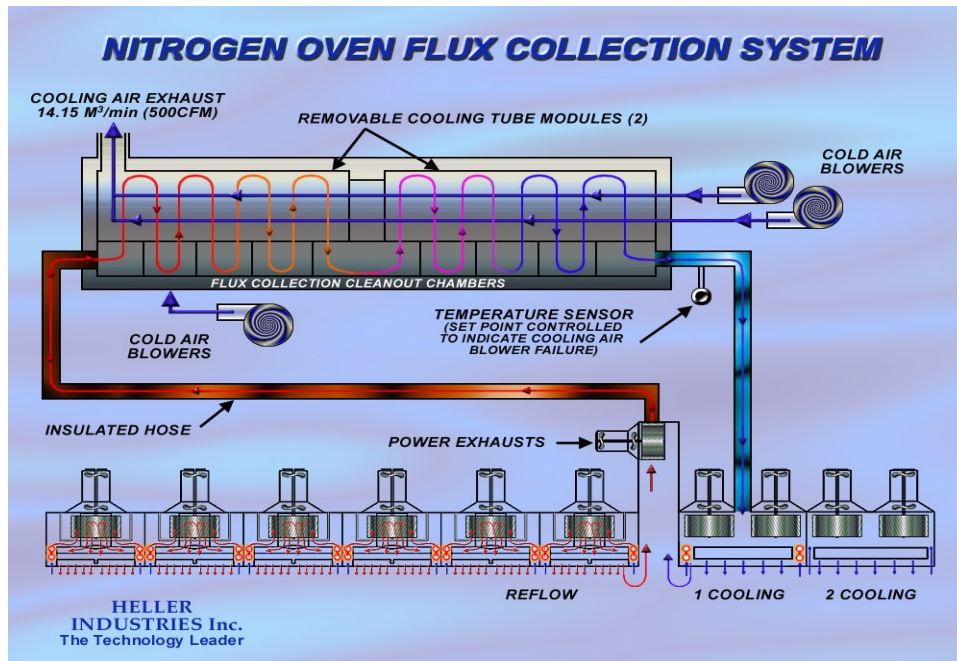
Wenn diese nicht einfach abgesaugt und in die Umgebung geblasen werden sollen, kondensieren sie an kühleren Stellen in der Maschine oder zumindest am Übergang von Reflowzone zu Kühlzone.

Dies resultiert in enormem Zeitaufwand zur Reinigung und damit reduzierter Produktivität.

Die verschiedenen Hersteller bieten mehr oder weniger aufwändige oder effektive Lösungen.

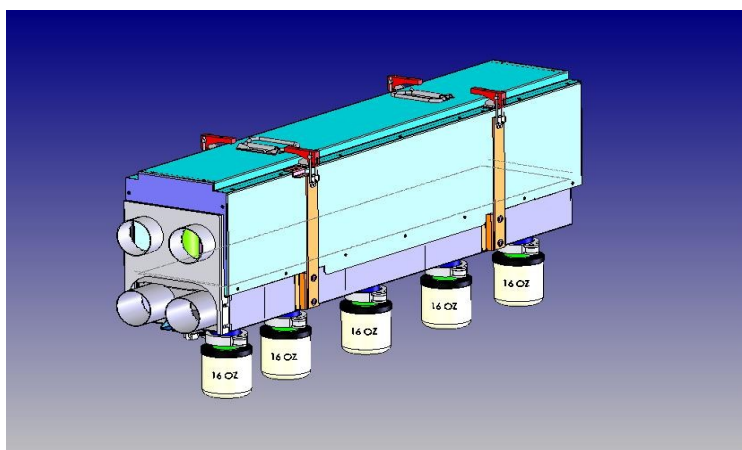
Das Heller Fluxkondensationssystem ist praktisch wartungsfrei und arbeitet ohne aufwändige Kühlaggregate oder Filtersysteme, die wiederum gereinigt oder entsorgt werden müssten.

Bild Fluxmanagementsystem



Je nach Maschinentype wird an verschiedenen Stellen der Prozesszone Ofenatmosphäre abgesaugt und durch ein mäanderförmiges Röhrensystem geführt. Dieses Röhrensystem wird über Lüfter mit Umgebungsluft gekühlt, so dass die Flussmitteldämpfe an den Röhreninnenwänden kondensieren. In bestimmten Zeitabständen erfolgt, entweder computergesteuert oder vom Bediener aktiviert, ein sogenannter „Burn Off“- Zyklus. Dabei wird die Kühlung abgeschaltet. Die heiße Ofenatmosphäre verflüssigt das Kondensat, das schließlich in Auffanggefäße abtropft. Je nach Verbrauch an Lotpaste erfolgt eine solcher Burn Off lediglich einige wenige Male im Jahr und erfordert minimale Stillstandszeiten und Bedieneringriff. Die Auffangbehältnisse haben eine Kapazität von ca. einem Jahr bei einem Pastenverbrauch von etwa 2 Kilo pro Tag.

Bild Fluxmanagementmodul mit Auffangbehältern



Die Abkühlphase.

Es wurde bereits auf die Notwendig hingewiesen, der Abkühlung des Substrates nach dem Austritt aus der Reflowzone besondere Aufmerksamkeit zu widmen. In Anbetracht einer feinen Kornstruktur und unter Berücksichtigung des Bauelementestresses dürfte eine Kühlrate von ca. 3 -4°C/Sek. optimal sein. Die Einhaltung eines solchen gezielten Temperaturgefälles erfordert die Möglichkeit geregelter Kühlzonen. Dies umfasst neben hoher Kühlleistung auch die Möglichkeit, eventuell durch Heizung ein kontrolliertes Abkühlen zu erreichen.

Die hohe Kühlleistung wird durch eine kombinierte Luft-/Flüssigkeitskühlung erreicht. Die Kühlluft wird von der Kühlzone abgesaugt und über ein Labyrinth von Wärmetauscherplatten geführt, die wiederum von einem geschlossenen Kühlflüssigkeitskreislauf gekühlt werden. Das Kühlaggregat ist in der Maschine fest installiert.

Das System dient gleichzeitig als Flussmittelkondensationssystem. In der Kühlluft enthaltene Flussmitteldämpfe kondensieren an den Kühlplatten. Diese können mittels Schnellverschlüssen mit wenigen Handgriffen zum Reinigen entnommen werden.

Bild Kühlplatten mit Flussmittelkondensat

