

Schneidspannungen – Einflussgrößen und Bestimmung

Lehmann, H.; Hoppe, M.; Wirtz, D.; Wirtz, J. (1)

Ständig steigende Anforderungen an Bauteile aus Kupferbändern erfordern immer engere Toleranzen hinsichtlich der technologischen Eigenschaften und der Geometrie von Kupferhalbzeugen. In diesem Zusammenhang kommt auch den durch die verschiedensten Verarbeitungsprozesse in das Band eingebrachten Spannungen eine immer größere Bedeutung zu. Besonders die durch das Schneiden der Bänder induzierte Materialspannung nimmt eine Sonderstellung ein, da das Schneiden in der Regel der finale Prozessschritt in einer Bandfertigung ist. So ist es im Gegensatz zu vorangegangenen Produktionsschritten nur schwer und mit hohen Kosten möglich, diese Spannungen nachträglich zu minimieren.

Schneidspannungen haben unter Umständen aber einen sehr großen Einfluss auf die Verarbeitbarkeit durch Prozesse wie z.B. Stanzen. Aus Gründen einer hohen Wirtschaftlichkeit sind die heutzutage verarbeiteten Bänder kaum breiter als die Stanzteile. Damit sind die Randstreifen sehr schmal und der Einflussbereich der Schneidspannungen kann somit bis in die Stanzteile reichen. Die Stanzstreifen können sich

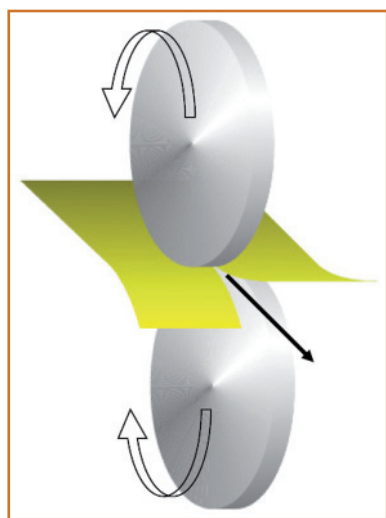


Bild 1: Prinzip des Schneidens von Bändern

unter dem Einfluss der beim Schneiden eingebrachten Spannungen verdrehen und aus dem Stanzwerkzeug herauswinden und es kann zu geometrischen Veränderungen der Stanzteile kommen.

Vor diesem Hintergrund ist es von höchster Bedeutung, die beim Schneiden eingebrachten Spannungen auf ein möglichst niedriges Niveau zu beschränken bzw. einen negativen Einfluss dieser Spannungen auf folgende Verarbeitungsprozesse zu unterbinden. Um dies zu erreichen, ist eine vertiefte Kenntnis der Entstehung, der Einflussfaktoren und der technischen Grenzen zur Minimierung erforderlich. Nur so ist es den Maschinenführern möglich, die Bänder mit optimalen Einstellungen zu schneiden.

Das Schneiden

Das Prinzip des Schneidens von Bändern ist in Bild 1 dargestellt. Die Schneidwirkung beruht auf dem Eindringen der stationären, rotierenden Kreismesser in das zugeführte Material und der daraus resultierenden Materialtrennung. Dabei schneiden die gegenüberliegenden Messer anfänglich in das Band, bis die Scherwirkung so groß wird, dass die Festigkeit des ungeschnittenen Bandes überschritten wird. Zu diesem Zeitpunkt bricht der noch zusammenhängende Querschnittsanteil. Diesen Vorgang verdeutlicht Bild 2.

Die Ausprägung der resultierenden Schnittkante mit Einzug, Schnitt- und Bruchanteil, ist in Bild 3 dargestellt.

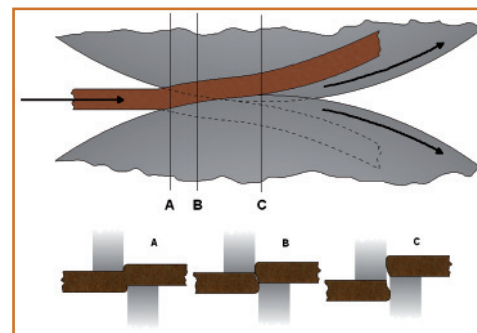


Bild 2: Der Schneidvorgang mit den Stufen A: Einzug und Einschneiden und B: Bruch (nach [1])

Besonders dem Schnittanteil kommt hinsichtlich der auftretenden Schneidspannungen eine besondere Bedeutung zu, da die auftretenden Formänderungen sehr hoch und darüber hinaus inhomogen verteilt sind. Die Ausprägung der Schnittkante ist dabei von verschiedenen Faktoren abhängig. Dazu gehören auf der verfahrenstechnischen Seite in erster Linie der Durchmesser und der Zustand der Messer, die Eintauchtiefe, d.h. die vertikale Überlappung der Kreismesser (die bei dickeren Bändern auch negativ sein kann), und der Schneidspalt, der den Abstand der beiden Messer zu einander beschreibt. Auf der Materialseite sind die technologischen Eigenschaften des Werkstoffes und die zu schneidende Banddicke von entscheidender Bedeutung.

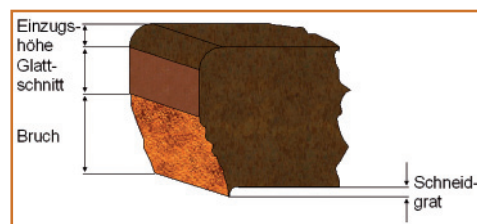


Bild 3: Ausprägung der Schnittkante

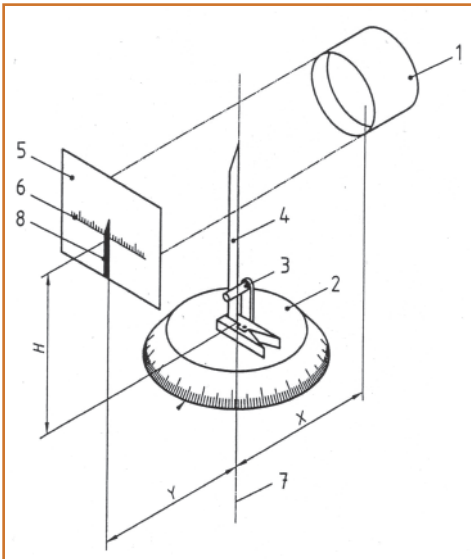


Bild 4: Messvorrichtung zur Bestimmung der Verdrehung in Folge von Schneidspannungen (nach EN 13147 [2])

Beim Schneiden kommt es zu einer plastischen Verformung und somit zu einer mehr oder minder stark ausgeprägten, örtlich begrenzten Verfestigung der entstehenden Schnittkanten. Daraus ergeben sich über die Breite des fertig geschnittenen Bandes Festigkeitsunterschiede, die in den so genannten Schneidspannungen resultieren. Beim Freiwerden dieser Spannungen in Folge des Stanzprozesses können diese in einer Seitwärtsbiegung (Säbelförmigkeit),

in einer Längsbiegung (Ausbiegung) und einer Verdrehung (Drall) des Randstreifens bzw. in einer Kombination dieser Deformationen resultieren. Dies kann, wie eingangs beschrieben, zu Problemen in der Weiterverarbeitung führen.

Eine Überwachung dieser Spannungen ist daher beim Schneidprozess von großer Bedeutung. Die Messung der Schneidspannungen ist in der europäischen Norm EN 13147 [2] spezifiziert. Darin ist festgelegt, dass vom geschnittenen Band im Schnittkantenbereich Proben in Walzrichtung genommen werden. Diese können gesägt, gestanzt, geätzt oder drahterodiert werden. Daher muss eine Kante der Probe Teil der Bandschnittkante sein. Durch das Herauslösen dieser, vorzugsweise 4,5 mm breiten und 150 mm langen Proben, werden die Schneidspannungen frei, was unter anderem in einer Verdrehung der Probe resultiert, die in Art und Stärke direkt von den Spannungen abhängt. Somit kann durch Messung der Verdrehung auf die Höhe der Schneidspannungen geschlossen werden.

Zur Bestimmung der Verdrehung werden die Proben in einen Drehteller eingespannt, der in Bild 4 dargestellt ist.

Anschließend wird der Drehteller soweit gedreht, bis der auf dem Bildschirm projizierte Probenschatten so

klein wie möglich ist und der Drehwinkel direkt an der Skala des Drehtellers abgelesen werden kann.

Dieses Verfahren ist sehr nützlich, um den Einfluss unterschiedlicher Prozess- und Werkstoffparameter zu beurteilen. Durch eine konsequente Anwendung dieses Verfahrens über viele Jahre lässt sich leicht ein großer Erfahrungsschatz aufbauen, welcher ein spannungsminimiertes Schneiden ermöglicht.

Versuchsdurchführung

Um die Abhängigkeit der Spannungen von den bereits erwähnten Faktoren qualitativ und quantitativ zu erfassen, wurden bei der Firma Prymetall mehrere Versuchsreihen durchgeführt. Dabei wurden Bänder unterschiedlicher Werkstoffe, Banddicken und Festigkeiten bei unterschiedlichen Prozessparametern untersucht. Betrachtet wurde ausschließlich die Verdrehung, da sie die wichtigste Deformation in Folge der Schneidspannungen ist.

Als Ausgangsmaterial dienten Bänder mit einer Breite von 400 – 600 mm und einer Dicke von 0,2 – 1,0 mm. Diese wurden in 30 mm breite Streifen geschnitten.

Die Versuche wurden auf einer Hochpräzisionschere mit konstanten Messerdurchmessern durchgeführt, um genaue und reproduzierbare Ergebnisse zu erzielen. Die Schere zeichnet sich durch eine hydraulisch spannbare Welle aus, die einen sehr guten Rundlauf und damit konstante Schneidbedingungen über den Umfang der Messer gewährleistet. Die Messerwellen und die Art der Konfiguration sind in Bild 5 zu sehen.

Aus den Versuchsbändern wurden abhängig von der Breite zwischen 12 und 20 Streifen geschnitten und beidseitig jeweils eine Probe ausgestanzt. Da die gewählten Prozessparameter über die gesamte Bandbreite gleich waren, wurden die Verdrehungen der einzelnen Proben vermessen und aus ihnen ein Mittelwert gebildet. Zum besseren Verständnis ist im folgenden Bild 6 ein geschnittener Streifen mit den beiden noch nicht vollständig getrennten Proben dargestellt.

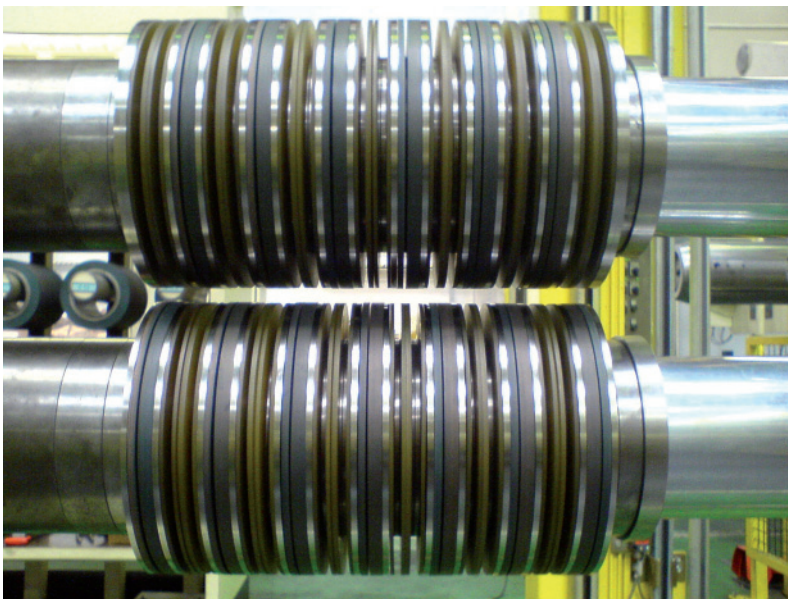


Bild 5: Konfiguration der Messerwelle

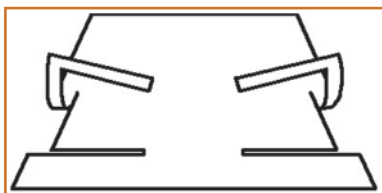


Bild 6: Ausprägung der Verdrehung der Proben in Folge der freiwerdenden Schneidspannungen

Die Verdrehung der Proben folgt immer dem gleichen Muster. Ist an der Schnittkante der rechten Probe aus Abb. 6 der Schneidgrat unten, dreht die Probe wie abgebildet gegen den Uhrzeigersinn. Bei der gegenüberliegenden Probe, die den Schneidgrat ebenfalls unten hat, ist die Verdrehung spiegelbildlich. Die beim Schnitt rechts und links liegenden Streifen haben natürlicherweise die Schneidgrate oben und die Proben drehen nach dem gleichen Prinzip. Nur ist ihre Auslenkung dann nach unten.

Zur Herstellung der Proben wurde der Einfachheit halber das Stanzen verwendet. Um die in Folge des Stanzvorganges zusätzlich eingebrachten Spannungen zu beurteilen, wurden von einigen Bändern auch drahterodierte Proben gefertigt. Dabei wurde ermittelt, dass es nur einen geringen aber konstanten Beitrag des Stanzens gibt, dieser sich aber je nach Lage der Probe zum Schneidgrat mal addiert und mal subtrahiert. Daher heben sich diese zusätzlich eingebrachten Spannungen in einer Mittelwertbetrachtung unter dem Strich auf.

Die im Rahmen dieser Untersuchungen verwendeten Proben hatten eine Breite von 3 mm. Durch die etwas geringere Probenbreite gegenüber der Norm können auch bei kleineren Schneidspannungen Spannungsunterschiede besser differenziert werden, da bei dieser Probenbreite die Verdrehung größer wird.

Unterschiedliche Kombination von Schneidspalt und Eintauchtiefe

In der ersten Versuchsreihe wurde ermittelt, wie sich unterschiedliche Kombinationen aus Eintauchtiefe und Schneidspalt auf die Schneidspannungen auswirken. Dafür wurden

CuSn6-Bänder in den Festigkeiten „halbhart“ (R_m ca. 445 MPa) und „federhart“ (R_m ca. 620 MPa) in der Materialdicke 0,4 mm untersucht. Die Werte für die Eintauchtiefe betragen dabei zwischen 12 und 37 % der Materialdicke und für den Schneidspalt zwischen 7 und 15 %. Die Ergebnisse sind in Bild 7 und 8 dargestellt. Im untersuchten Einstellungsbereich nehmen die Schneidspannungen tendenziell sowohl mit steigender Eintauchtiefe als auch mit steigendem Schneidspalt zu. Jedoch ist der Einfluss der Eintauchtiefe um ein Vielfaches höher.

Dies ist darin begründet, dass ausgehend von einer konstanten Banddicke bei gleich bleibendem Messerdurchmesser der Winkel, unter welchem das Band im Berührungspunkt vom Messer eingeschnitten wird, steiler wird. Damit wird der Glattschnittanteil erhöht, was sich in einer erhöhten Verdrehung bemerkbar macht.

Bänder unterschiedlicher Festigkeit bei gleicher Banddicke

Beim Vergleich der Ergebnisse aus dem vorangegangenen Versuch fällt bereits auf, dass die Festigkeit einen maßgeblichen Einfluss auf die auftretenden Schneidspannungen hat. Um den Einfluss der Festigkeit auf die Schneidspannungen genauer zu ermitteln, wurden folgende Bänder untersucht:

- CuSn6 Dicke 0,4 mm Festigkeitsbereich 460 – 620 MPa
- CuFe2P Dicke 0,4 mm Festigkeitsbereich 330 – 510 MPa
- CuZn36 Dicke 0,8 mm Festigkeitsbereich 440 – 610 MPa.

Der Schneidspalt wurde dabei so eingestellt, dass er jeweils 10 % der Banddicke betrug. Die minimal erforderliche Eintauchtiefe wurde für jede Probe separat ermittelt. Die Ergebnisse sind im Bild 9 dargestellt.

Wie deutlich zu sehen ist, nimmt die Schneidspannung bei allen Dicken mit steigender Materialfestigkeit ab. Dies ist darin begründet, dass höherfestes Material in Folge des Schneidens nicht mehr so stark verfestigen kann, da das Formänderungsvermögen im oberen Festigkeitsbereich der untersuchten

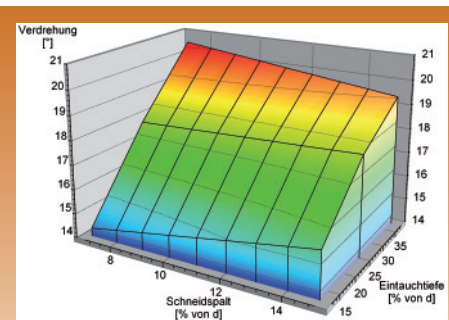


Bild 7: Abhängigkeit der Schneidspannungen von Eintauchtiefe und Schneidspalt für halbhartes CuSn6 (Banddicke 0,4 mm)

Werkstoffe viel schneller erschöpft ist als in den weicheren Zuständen. Die Folge ist, dass höherfeste Materialien viel früher zum Einreißen und somit zum Bruch neigen. Dies zeigt sich auch in einem geringeren Glattschnittanteil und damit in einer geringeren Verdrehung der Probe.

Weiterhin ist zu erkennen, dass die gemessenen Schneidspannungen der Messingproben bei vergleichbaren Festigkeiten ungefähr doppelt so hoch sind, wie die Bronze- und CuFe2P-Proben. Da diese auch die doppelte Banddicke besitzen, ist hier ein Banddickeneinfluss zu vermuten. Um dies zu überprüfen, wurde zusätzlich eine Messingprobe mit einer Festigkeit $R_m = 420$ MPa in der Banddicke 0,4 mm untersucht. Es wurde gefunden, dass bei dieser Banddicke die Schneidspannung auf dem Niveau der anderen Werkstoffe in 0,4 mm Banddicke liegt.

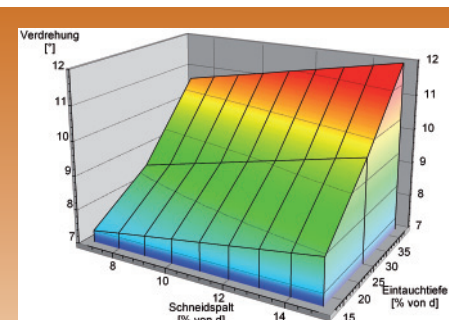


Bild 8: Abhängigkeit der Schneidspannungen von Eintauchtiefe und Schneidspalt für federhartes CuSn6 (Banddicke 0,4 mm)

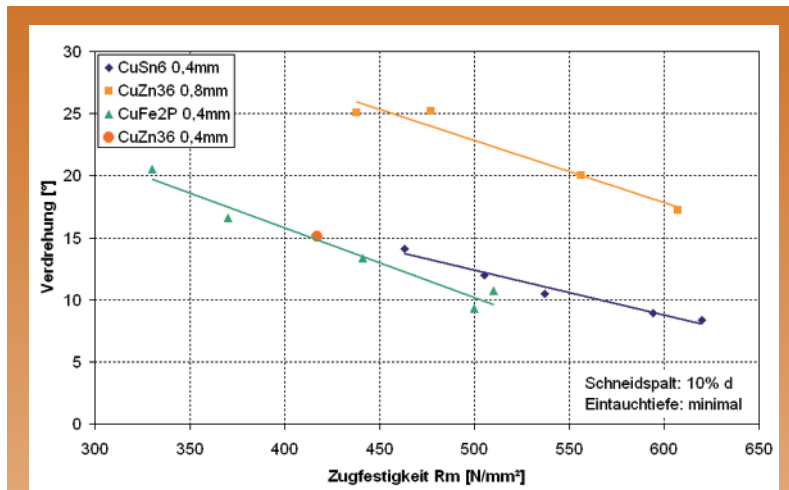


Bild 9: Abhängigkeit der Schneidspannungen von der Materialfestigkeit

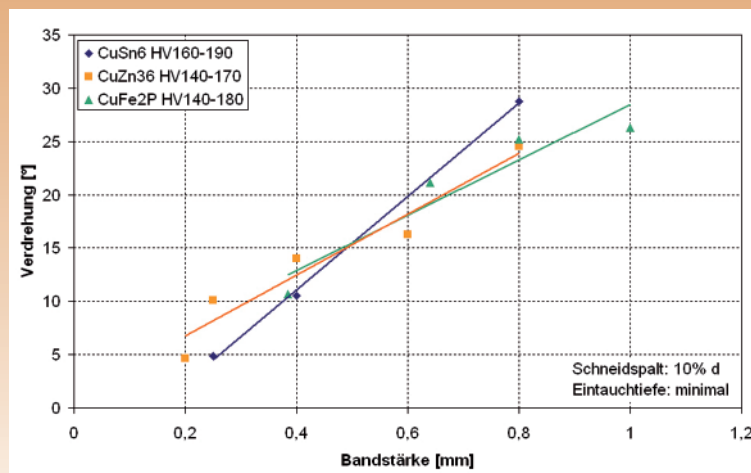


Bild 10: Abhängigkeit der Schneidspannungen von der Materialdicke

Bänder unterschiedlicher Banddicke bei gleicher Festigkeit

Wie im vorangegangenen Versuch bereits bestätigt wurde, hat auch die Banddicke einen entscheidenden Einfluss auf die auftretenden Schneidspannungen. Zur genaueren Betrachtung der Zusammenhänge wurden in dieser Versuchsreihe CuSn6-, CuZn36- und CuFe2P-Bänder im Dickenbereich von 0,2 – 1,0 mm untersucht. Der Schneidspalt betrug wieder 10 % der Materialdicke und die minimale Eintauchtiefe wurde für jedes Band experimentell bestimmt. Wie in Bild 10 dargestellt, nehmen die auftretenden Spannungen mit größer werdender Materialdicke bei konstanten Messerdurchmessern zu. Hier kommt der gleiche Effekt zum

Tragen wie bei einer Erhöhung der Eintauchtiefe. Das Schneiden dickerer Bänder sorgt dafür, dass das Band vom Messer unter einem steileren Winkel eingeschnitten wird und damit der Glattschnittanteil mit steigender Banddicke zunimmt. Dieses resultiert in höheren Verdrehungen als Maß für höhere Schneidspannungen.

Zusammenfassung

Heutige Stanzprozesse erfordern in hohem Maße Bänder mit möglichst geringen Schneidspannungen. Zur Ermittlung des Einflusses wichtiger Prozessparameter auf die Schneidspannungen wurden Schneidversuche mit Bändern unterschiedlicher Werkstoffe, Dicke und Festigkeit durchgeführt. Es konnte gezeigt werden, dass

sowohl über die Variation der Verfahrensparameter als auch der Materialkennwerte die Ausprägung der entstehenden Schneidspannungen maßgeblich beeinflusst werden können. Bei der Einstellung der Schere kommt vor allem der verwendeten Eintauchtiefe eine große Rolle zu. Hierfür sollten möglichst geringe Werte eingestellt werden.

Werkstoff- bzw. materialseitig konnte nachgewiesen werden, dass sowohl die Festigkeit als auch die Banddicke (bei konstantem Messerdurchmesser) die Ausprägung der Schneidspannungen stark beeinflussen. Es wurde festgestellt, dass sich bei den untersuchten Werkstoffen die gemessenen Verdrehungen um durchschnittlich 5° je 100 MPa Festigkeitszuwachs erniedrigen. Bei den Untersuchungen zur Dickenabhängigkeit wurde für die untersuchten Bänder ermittelt, dass die Verdrehung durchschnittlich um 3,5° je 1/10 mm Banddickenerhöhung wächst.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass ein spannungsfreies Schneiden mit Rollschermessern nicht möglich ist. Auf Grund der mit dem Schneidprozess einhergehenden plastischen Verformung der Schnittkante kommt es dort immer zu einer Verfestigung. Es ist daher die Aufgabe der Halbzeughersteller, die für jedes Produkt optimalen Einstellungen zu finden, um einen möglichst spannungsarmen Schnitt durchzuführen. Auf Seite der Abnehmer muss immer mit einer gewissen Schneidspannung in Abhängigkeit von der gewünschten Banddicke und Festigkeit gerechnet werden.

Literatur

- [1] Fr.-Fr. Schulz, Betrachtungen zur Kantenverfestigung beim Längsteilen mit Kreismessern von Bandmaterial in Streifen, Hirsch, Jürgen: Walzen von Flachprodukten, 1. Edition – März 2001, Wiley-VCH, Weinheim, S. 76 – 86
- [2] DIN EN 13147:2001-07, Bestimmung von Restspannungen im Schnittkantenbereich von Bändern, DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin

(1) *Lehmann, Helge; Dr.-Ing. Hoppe, Michael; Wirtz, Dirk; Wirtz, Jesko, Product Technology and Quality, Prymetall GmbH & Co. KG, Norddeutsche Affinerie AG*