



This project has received funding from the Eurostars-2 joint programme with co-funding from the European Union Horizon 2020 research and innovation programme



Kurzbericht zum Vorhaben

„Grundkörperentwicklung und Stamblatt-Design für Wechselelemente und Innenkanäle“

im Rahmen des Eurostars Projekts

E! 114633 MASTODON „Entwicklung langlebiger Kreissägeblätter großer Durchmesser mit austauschbarem Zahn-Wechselsystem und innerer Kühlschmierstoffzufuhr“

Kohle GmbH Hartmetall-Werkzeug-Fabrik

Michael Kohle

Aiblinger Str. 36

83059 Kolbermoor

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin / beim Autor.

Förderkennzeichen: 01QE2108B

Projektlaufzeit: 01.06.2021 – 31.10.2023



This project has received funding from the Eurostars-2 joint programme with co-funding from the European Union Horizon 2020 research and innovation programme



1. Aufgabenstellung und technische Stand

Im vorliegenden Projekt war die Aufgabenstellung ein neuartiges, effizientes und langlebiges High-End-Sägeblatt mit großem Durchmesser (über 1000 mm) zu entwickeln. Dieses Sägeblatt sollte über austauschbare Sägezähne und Zahnsitze verfügen. Mit dem Gebrauch verschleißten nicht nur die Zähne, sondern auch Zahnbrüche können auftreten, wodurch auch der Zahnsitz beschädigt werden kann. Kann beides getauscht werden, kann der Werkzeuggrundkörper erhalten bleiben. Dank der austauschbaren Sägezähne können abgenutzte oder beschädigte Zähne direkt vor Ort beim Kunden ersetzt werden, was besonders für abgelegene Industriebetriebe von Vorteil ist. In diesen entlegenen Regionen sind die Versorgungsbedingungen oft schwierig und die Kosten für Transport, Lagerhaltung und Entsorgung von großen Kreissägewerkzeugen hoch. Der Projektansatz war nun statt das gesamte Werkzeug auszutauschen, den großen Grundkörper beizubehalten und nur die kleineren, leichter zu transportierenden Sägezähne auszutauschen. Das spart nicht nur Kosten, sondern kann auch vom Anwender selbst durchgeführt werden. Ein weiteres Ziel war zudem eine interne Kühlschmierstoffzuführung für die Metall- und Holzbearbeitung zu entwickeln.

Vor Projektbeginn war der technische Stand, dass die Hartmetall-Schneiden unlösbar mit dem Grundkörper verbunden sind. Insbesondere bei Sägeblättern mit großem Durchmesser stellt der Grundkörper einen hohen Wert dar. Kommt es zur Abnutzung der Zähne oder brechen einzelne Zähne aus, müssen nicht nur die Zähne aufwendig ersetzt werden, sondern auch der Grundkörper kann für eine Weiternutzung unbrauchbar sein. Hohe Kosten für die Reparatur, den Transport vom Kunden zur Instandsetzung und zurück oder die Ersatzbeschaffung entstehen. In abgelegenen und schwererreichbaren Regionen verstärkt sich dieser Effekt durch lange Transportwege und Infrastrukturnachteile.

2. Ablauf des Vorhabens

Im Projekt wurden zunächst bestehende Werkzeuge mit großem Durchmesser analysiert und zu Vergleichszwecken untersucht. In einer Konzeptphase wurden dann austauschbare Schneidensysteme entwickelt. Hier lag der Fokus für die Kohnle GmbH in der Entwicklung einer Verschraubung, die den geringen Platzverhältnissen in einem Sägeblatt gerecht wird. Zudem wurden Modelle des Schneidensystems entwickelt und gefertigt, um dessen Belastbarkeit vor einer Umsetzung als vollständiges Sägeblatt zu überprüfen. Bei der nachfolgenden Umsetzung der Schnittstelle war der Entwicklungsschwerpunkt in der Erarbeitung einer passenden Fertigungsstrategie. Für die sehr engen Toleranzen und die dreidimensionale Form reichte die etablierte Fertigung nicht aus und musste neu geschaffen werden.

Nach erfolgreicher Einführung wurde die Geometrie für das neue Schneidensystem hergestellt, die Zähne montiert, geschliffen und damit letztlich ein Kreissägeblatt hergestellt. Außerdem wurden Untersuchungen durchgeführt, um herauszufinden, wie man Kühlkanäle in das Sägeblatt einbauen kann. Nach der Fertigung unterschiedlicher Sägeblätter wurden diese unter Realbedingungen getestet



This project has received funding from the Eurostars-2 joint programme with co-funding from the European Union Horizon 2020 research and innovation programme



und in Versuchen mit Messtechnik analysiert. Begleitet wurde die Entwicklung durch Managementaufgaben zur Projektsteuerung, Überwachung der Aktivitäten und Kommunikation mit den Partnern und Projektstellen.

3. Wesentliche Ergebnisse

Das wesentliche Ergebnis des Projekts war ein erfolgreich entwickeltes Sägeblatt, bei dem die Zähne und Zahnsitze getauscht werden können. Es wurde eine Verbindungstechnik entwickelt, welche es ermöglicht, dass der Kunde am in der Maschine eingespannten Sägeblatt mithilfe eines Schraubenschlüssels alte, verschlissene Zähne löst und neuwertige einbaut. Optional können beim neuartigen Sägeblatt die Schneiden auch über zusätzliche Wechselsegmente montiert werden. Dies hat den Vorteil, dass auch der Zahnsitz ausgetauscht werden kann, falls dieser beschädigt wurde. Die zur Befestigung des Zahnes erforderliche Verbindung ist eine Kombination aus einem formschlüssigen Ineinandergreifen zweier hakenförmiger Formen in der Schneide und im Wechselsegment und aus einer Schrauben-Mutter-Verbindung. Schraubenkopf und Mutter haben eine Kegelform und können dadurch beim Anziehen Querkräfte ausüben. Diese drücken dann den Zahnhaken in den Haken des Wechselsegmentes, so dass die Bauteile fest miteinander verbunden sind. Durch die spezifischen Anforderungen können die Schrauben und Muttern nicht aus verfügbaren Normteilen bezogen werden, sondern mussten eigens für die Anwendung in Sägeblättern entwickelt werden. Eine zusätzliche Besonderheit der Entwicklung ist die Möglichkeit, die Schraubverbindung einhändig anziehen zu können. Normalerweise müssen Muttern gegengehalten werden, aber durch einen seitlichen Bolzen an der Mutter und einer Aussparung in den Fügepartner ist die Mutter gegen Verdrehen gesichert.

Ein weiteres Ergebnis war eine Anpassung der Fertigungsstrategie, mit der die innovativen Kreissägewerkzeuge erfolgreich hergestellt werden konnten. Für konventionelle Sägeblätter genügt in der Regel eine Zweiachsbearbeitung bei der Herstellung des Grundkörpers. Für die Herstellung der komplexen Mastodon-Geometrie war die Bearbeitung in einer dritten Achsrichtung erforderlich, was für die Blattfertigung neuartig ist und im Projekt entwickelt werden musste. Nach der Herstellung wurden die Sägeblätter auf einer Kreissägemaschine eingespannt und getestet. Mit den Versuchen konnte nachgewiesen werden, dass die Neuentwicklung gelungen ist und mit den Mastodon-Sägeblättern unterschiedliche Materialien abgesägt werden können. Zur Erlangung der Serienreife sind allerdings noch Langzeitversuche zum Nachweis der Leistungsfähigkeit unter dauerhaftem Einsatz erforderlich, die im vorliegenden Projekt nicht mehr angegangen werden konnten. Hierfür wären weitere Optimierungen und Untersuchungen in einem Nachfolgeprojekt erforderlich.



This project has received funding from the Eurostars-2 joint programme with co-funding from the European Union Horizon 2020 research and innovation programme



Inhaltsverzeichnis

1. Durchgeführte Arbeiten	3
1.1 Ursprüngliche Vorhabenbeschreibung	3
1.2 Arbeitsinhalte des Teilprojekts	3
2. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	20
3. Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten	20
4. Der voraussichtliche Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses	21
5. Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt	22
6. Veröffentlichungen des Ergebnisses	22



This project has received funding from the Eurostars-2 joint programme with co-funding from the European Union Horizon 2020 research and innovation programme



1. Durchgeführte Arbeiten

1.1 Ursprüngliche Vorhabenbeschreibung

Im Projekt sollte ein neuartiges, effizientes und langlebiges High-End-Sägeblatt mit großem Durchmesser (> 1000 mm), austauschbaren Sägezähnen und optional mit werkzeuginterner Kühlschmierstoffzuführung für die Metall- und Holzbearbeitung entwickelt werden. Durch die Austauschbarkeit der Sägezähne können verschlissene oder beschädigte Zähne direkt beim Anwender repariert werden, was insbesondere für weit abgelegene Industriebetriebe Vorteile bietet. Aufgrund der Abgeschiedenheit sind die Versorgungsbedingungen schlecht, die Kosten für Transport, Lagerhaltung und Entsorgung von Kreissägewerkzeugen mit großen Durchmessern hoch. Anstatt die kompletten Werkzeuge zu ersetzen, sollte ein System zum Einsatz kommen, bei dem der große Grundkörper weiterverwendet wird und nur die vergleichsweise kleinen und dadurch bei Transport und Lagerhaltung günstigeren Sägezähne ausgetauscht werden müssen. Zudem wird durch die Austauschbarkeit der Zähne deren Oberflächenbehandlung erleichtert. Diese beiden Umstände führen zu einer Erhöhung der Lebensdauer des gesamten Sägewerkzeuges.

1.2 Arbeitsinhalte des Teilprojekts

Am Projektanfang wurden zunächst Wettbewerber-Produkte mit austauschbaren Schneiden ermittelt und analysiert, um sich mit der eigenen Entwicklung davon abzugrenzen und ein leistungsfähigeres Werkzeug zu entwickeln.

Sägeblätter, bei denen der Grundkörper nicht einteilig ist, sondern über ringförmig angeordnete Segmente verfügen, sind bei den Marktbegleitern Kampmann GmbH und Lennartz GmbH zu finden. Bei Lennartz wird im Segment eine Nut erzeugt und die Segmente über das Sägeblatt geschoben. Damit das Sägewerkzeug über eine konstante Dicke verfügt, ist dafür der innere Grundkörper im Bereich der Verbindung zu den Segmenten dünner. Die Befestigung erfolgt über Niete, die in dafür vorgesehene Bohrungen eingepresst werden. Die Fügepartner sind dadurch starr miteinander verbunden. Zwar lassen sich mit einigem fertigungstechnischen Aufwand auch bei diesem System die Segmente lösen, allerdings müssen hierfür die Niete ausgebohrt und neu gesetzt werden. Zudem sind die Zähne mit den Wechselfragmenten verlötet. Ein einfacher Austausch oder eine Reparatur durch den typischen Sägeanwender selbst ist dadurch nicht möglich. Trotzdem können sich auch Vorteile bei fest eingeketteten Segmenten ergeben. So können die Werkzeuge aus unterschiedlichen Werkstoffen wie Werkzeugstahl und Schnellarbeitsstahl aufgebaut werden. Auch bessere Dämpfungswerte sind bei mehrteiligen Sägewerkzeugen möglich. Abbildung 1 zeigt ein Segmentkreissägewerkzeug des Sägeblattherstellers Gebr. Lennartz GmbH & Co.KG aus Remscheid.



This project has received funding from the Eurostars-2 joint programme with co-funding from the European Union Horizon 2020 research and innovation programme



Abbildung 1: Detailaufnahme eines Segmentkreissägeblattes von Lennartz

Sägeblätter ohne Segment dafür mit lösbaren Schraubverbindungen befestigte Hartmetall-Zähne bieten die Firmen Linsinger, Boehlerit und Framag. Die Mehrheit der verfügbaren Schraubsysteme verwendet keine austauschbaren Zahnsitzsegmente. Stattdessen wird die Hartmetallschneide direkt am Stammblatt befestigt. Der Vorteil dieser Methode liegt, genauso wie im Mastodon-Design, darin, dass stumpfe oder beschädigte Zähne problemlos ausgetauscht werden können. Allerdings zeigt die Praxis häufig, dass während des Sägevorgangs nicht nur die Schneiden sondern auch die Zahnsitze beschädigt werden. In solchen Fällen ist ein einfacher Austausch nicht mehr möglich – der Zahnsitz muss aufwendig repariert oder das gesamte Sägeblatt ersetzt werden. Dadurch unterscheiden sich diese Marktlösungen deutlich vom Mastodon-Design, bei welchem auch der Zahnsitz durch einen Segmentwechsel getauscht werden kann. Ein weiterer Vorteil und wesentliches Unterscheidungsmerkmal der Mastodon-Geometrie ist die Positionierung der Schraube. Bei den Wettbewerberlösungen sind die Schrauben entweder auf der Spanfläche oder Freifläche der Schneide positioniert, wodurch beim Zahnverschleiß auch der Schraubenkopf in Mitleidenschaft gezogen werden kann. Dieser kann abgerieben werden, wodurch ein Schraubenschlüssel nicht mehr ansetzbar ist und die Schraube und damit auch der Zahn unlösbar mit dem Grundkörper verbunden bleibt. Beim Mastodon-Design hingegen sitzt der Schraubenkopf auf der geschützten Seitenfläche des Sägewerkzeuges.

In Abbildung 2 ist beispielhaft ein Vertreter der Gruppe der Sägeblätter mit austauschbaren Zähnen dargestellt. Es handelt sich um das sogenannte x:blade-Sägeblatt der österreichischen framag Industrieanlagenbau GmbH. Hier werden die Schneiden mit einer Torx-Schraube durch die Spanfläche am Grundkörper verschraubt.



Abbildung 2: Kreissägeblatt mit wechselbaren Schneidezähnen
[Framag Industrieanlagenbau GmbH]

Im Vordergrund der Entwicklung stand die einfache Austauschbarkeit der Schneiden durch eine möglichst anwenderfreundliche Montage. Ohne Spezialwerkzeug, Montagehilfen oder besondere Kenntnisse können verschlissene Zähne mithilfe eines Innensechskantschlüssels ausgebaut und neue in das Sägeblatt eingebaut werden.

Um den Zahn sicher zu befestigen, wird eine spezielle Verbindung verwendet. Diese Verbindung besteht aus zwei Teilen, die wie Haken geformt sind und ineinander greifen, sowie einer Schraube mit Mutter. Der Kopf der Schraube und die Mutter sind kegelförmig gestaltet, wodurch beim Anziehen seitliche Kräfte ausgeübt werden. Diese Kräfte pressen die beiden Hakenformen fest zusammen, sodass alles stabil sitzt. Normierte Standardschrauben und -mutter sind hier nicht geeignet, daher wurden spezielle Schrauben und Mutter für die Sägeblätter entwickelt. Ein besonders praktisches Detail ist, dass man die Schraube einhändig anziehen kann. Normalerweise müsste man die Mutter gegenhalten, aber durch einen seitlichen Bolzen und eine Aussparung bleibt die Mutter automatisch

an ihrem Platz und dreht sich nicht mit. Die hier entwickelte Schnittstelle wird unter den Partnern während dem Projekt als „Mastodon-Design“ bezeichnet. Statt die Zähne über die Mastdon-Schnittstelle direkt am Grundkörper zu befestigen, können sie alternativ auch über zusätzliche Wechselsegmente am Sägeblatt befestigt sein. Wird der Schneidensitz beschädigt, kann dieser ebenfalls gewechselt werden. In Abbildung 3 ist das Mastodon-Design zusammen mit den Wechselsegmenten, welche am Stammblatt verschraubt sind, skizziert.

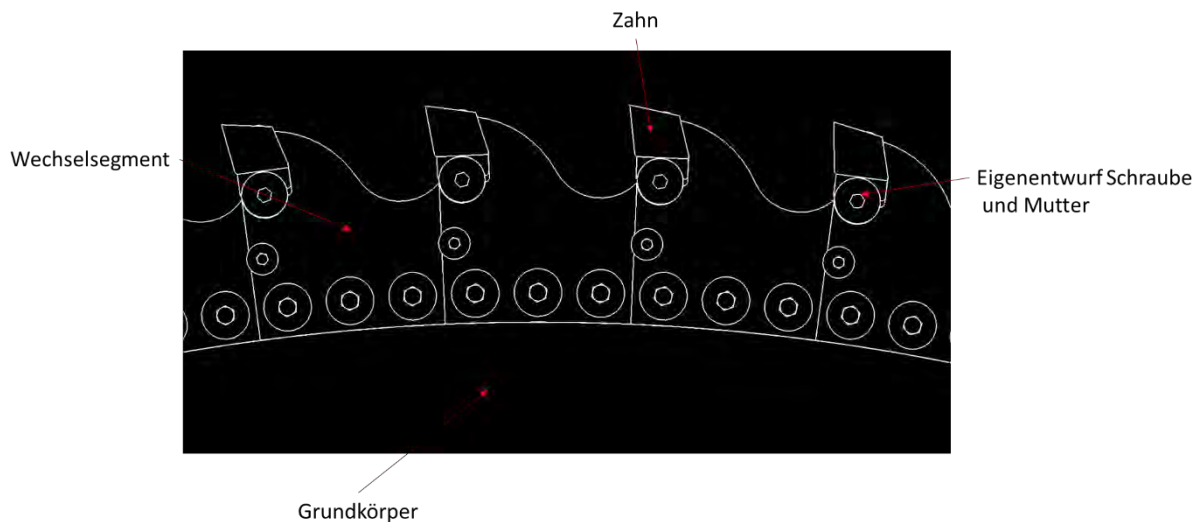


Abbildung 3: Skizze des Mastodon-Designs

Im Fokus der Kohnle GmbH stand bei der Entwicklung insbesondere die Schraubverbindung aus Schraube und Mutter inklusive Verdrehsicherung, wie sie in Abbildung 4 dargestellt ist.



Abbildung 4: Schraublösung zur Fixierung der Schneiden am Wechselsegment

Die entwickelte Schraube geht von einer rotationssymmetrischen, zylinderförmigen Grundgeometrie aus und ist einteilig aufgebaut. Die Schraubenlänge ist dabei derart gestaltet, dass sie kürzer als als das Sägeblatt im Grundkörperbereich dick ist. Ein metrisches Gewinde mit nur wenigen Windungen geht über einen Freistich in die kegelförmige Kopfform über. Eine sechseckförmige Aussparung im



This project has received funding from the Eurostars-2 joint programme with co-funding from the European Union Horizon 2020 research and innovation programme



Kopf ermöglicht den Antrieb der Schraube über einen Innensechskantschlüssel. Die Festigkeit der Schraube musste so ausgelegt werden, dass sie sich elastisch längt, um die notwendigen Klemmkräfte aufzubringen, ohne sich dabei bleibend zu verformen. Dadurch muss die Schraube beim Zahnwechsel nicht ebenfalls getauscht werden, sondern kann weiterverwendet werden. Eine Fertigungszeichnung der Schraube zeigt Abbildung 5. Aus Gründen der Geheimhaltung wurden die Bemaßungen aus der Zeichnung entfernt.

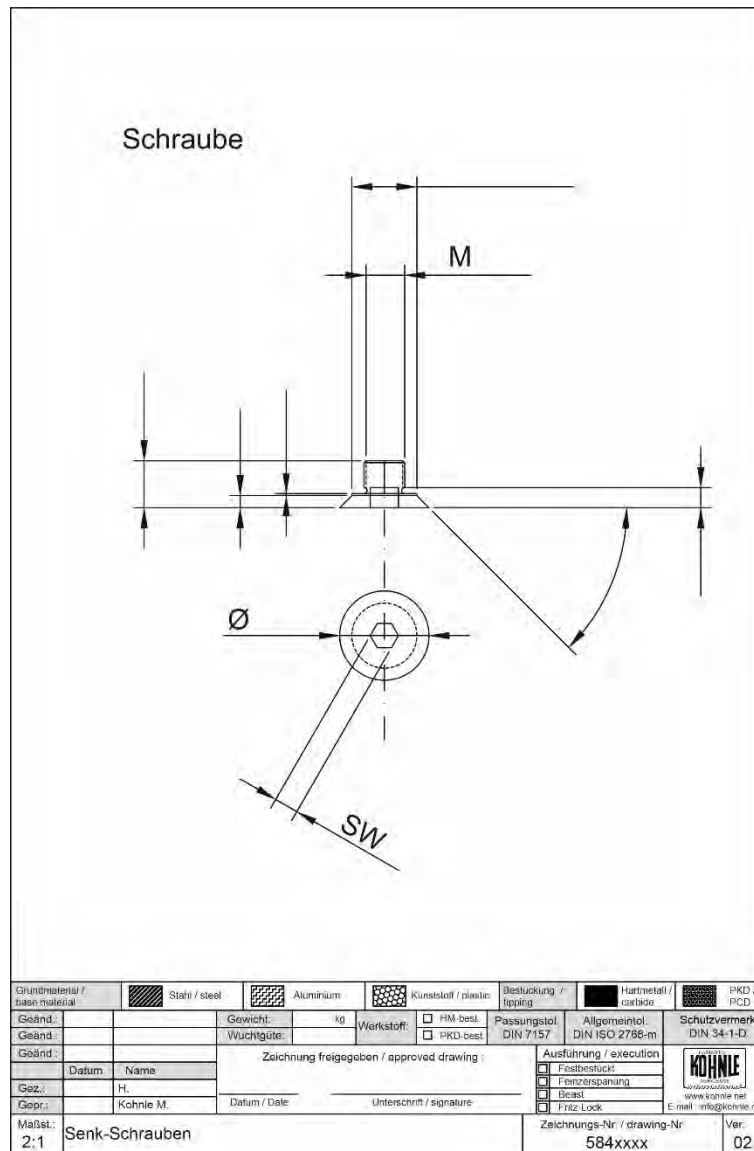


Abbildung 5: Zeichnung der Schraube aus der Mastodon-Schraubverbindung

In Optimierungsschleifen wurden zudem Schwachstellen der Verschraubung ermittelt. So wurde durch Untersuchungen ermittelt, dass unter bestimmten Einsatzbedingungen eine angepasste Schraube geeigneter ist. Diese verfügt über ein Feingewinde, bei welchem durch kleinere Steigungen die Belastung auf mehr Gewindegänge verteilt wird, was zu einer höheren Festigkeit führt. Außerdem lassen sich Feingewinde exakter anziehen und bieten durch die bessere Selbsthemmung mehr Halt.

Eine weitere Änderung betraf den Übergang von Gewinde zu Kopf. Durch den Freistich findet an dieser Stelle eine Schwächung statt, weshalb bei der Modifikation auf diesen verzichtet wurde. Da zudem die Schlüsselaufnahme im Schraubenkopf in Tiefenrichtung ebenfalls bis zur kritischen Stelle reichen kann, wurde der Antrieb der Schraube von einem Innensechskant zum Torx-System umkonstruiert und weniger tief gestaltet. Zudem wurden Werkstoffvarianten der Schraube untersucht. Die Modifikation der Schraube ist in Abbildung 6 abgebildet.

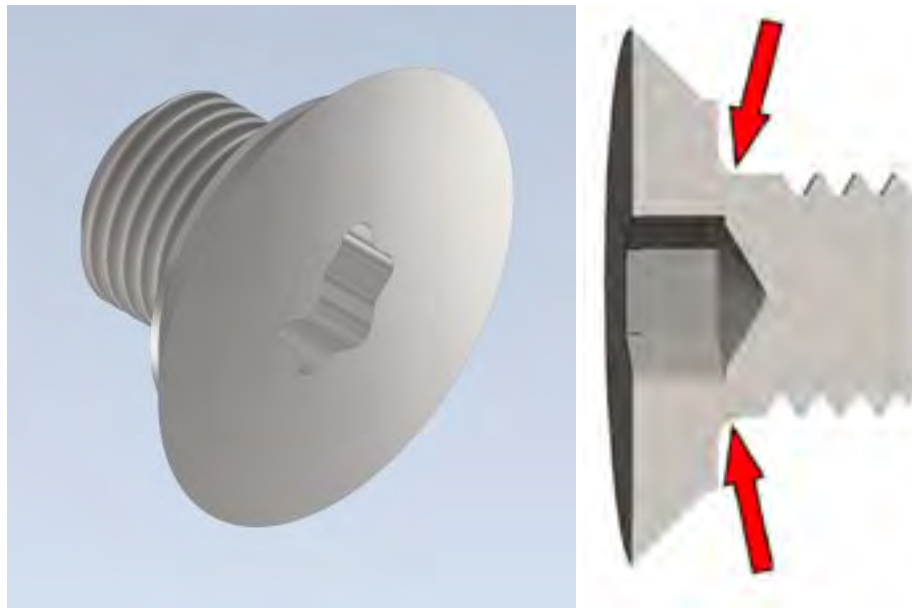


Abbildung 6: Modifikation der Halteschraube

Als Gegenstück dient eine zweiteilige Mutter. Diese verfügt über eine zentrale Hohlbohrung, in welcher das entsprechend zu Schraube passende Innengewinde eingearbeitet ist. Zudem verfügt die Schraube über einen zylindrischen Bund, welche als Einführ- und Fixierungshilfe bei der Montage dient. An den Bund schließt sich direkt ein kegelförmiger Abschluss an, der entsprechend dem Schraubenkopf gestaltet ist. Demzufolge kann die Schrauben-Mutter-Verbindung ohne Vorzugsrichtung von beiden Sägeblattseiten montiert werden. Der zweite Teil der Mutter besteht aus einem runden Bolzen, welcher über eine seitliche Bohrung in der Mutter fixiert ist. Hierbei handelt es sich um die beschriebene Verdrehsicherung, die ein einhändiges Anziehen der Schraubverbindung ermöglicht, so dass mit der zweiten Hand der zu tauschende Zahn bis zur Fixierung gehalten werden kann. Zudem genügt es, wenn das Sägeblatt zum Zahntausch nur von einer Seite zugänglich ist. Ein enormer Vorteil, wodurch das Sägewerkzeug in der Sägemaschine verbaut bleiben und viel Montagezeit eingespart werden kann. Dadurch ist auch das Projektziel erfüllt, einen schnellen und einfachen Schneidentausch zu ermöglichen und ein aufwendiges Nachschleifen des Sägeblattes mit entsprechend hohem Aufwand für Transport und Rüsten einzusparen.

Begleitet wurde die Entwicklung durch FEM-Berechnungen und Vorabuntersuchungen beim Projektpartner, um schon frühzeitig Schwachstellen zu identifizieren und Entwicklungszyklen



This project has received funding from the Eurostars-2 joint programme with co-funding from the European Union Horizon 2020 research and innovation programme



einzusparen. Auftretende Spannungen wurden berechnet und Spannungsspitzen lokalisiert. Über ein Belasten der Zähne durch eine Kraft von außen an einem Druckprüfstand wurde zudem das Verhalten einzelner geschraubter Zahnverbindungen untersucht und die Haltbarkeit überprüft. Vorteil hierbei war, dass zunächst nicht ein komplettes Sägeblatt für Versuche erforderlich war, sondern ein einzelner Zahn mit einem Grundkörperausschnitt mit Mastodon-Schnittstelle ausreicht hat. Mit den gewonnenen Erkenntnissen konnte dann das eigentliche Sägwerkzeug entwickelt werden.

Für die optimale Kühlung beim Sägen werden Kanäle im Inneren der Werkzeuge genutzt. Es wurden erste Ideen entwickelt, wie diese Kanäle im Werkzeug und in der Maschine funktionieren können. Der Kühlschmierstoff wird dabei unter Druck von einer Versorgungseinheit zum Drehpunkt des Sägwerkzeugs geleitet. Mithilfe einer speziellen Verbindung wird er dann von dem festen Teil der Maschine zum drehenden Teil gebracht. Danach verteilt sich der Kühlschmierstoff sternförmig im Sägwerkzeug und gelangt in die Kanäle des Sägeblatts. Über eine Ansteuerung kann jede Schneide des Sägeblatts genau dann mit Kühlstoff versorgt werden, wenn sie schneidet, und nicht, wenn sie nicht schneidet.

Es wurden Ideen entwickelt, wie man Kreissägwerkzeuge bauen kann, die den Kühlstoff innenliegend transportieren, und welche Technik dafür nötig ist. Verschiedene Herstellungsverfahren wurden untersucht, um die Kanäle wirtschaftlich in die Sägeblätter zu integrieren. Eine Idee war, mittels Tieflochbohren Kanäle in das Hauptblatt zu bohren. Im kleineren, austauschbaren Segment verzweigen sich die Kanäle und leiten den Kühlstoff gezielt zur Schneidstelle. Diese Methode ist machbar, weil im austauschbaren Segment nur kurze Bohrungen nötig sind. Wenn man die Kanäle im Hauptblatt verzweigen oder für jeden Zahn einzeln leiten würde, wären die langen und komplexen Bohrungen zu teuer und schwierig. Abbildung 7 zeigt, wie eine Scheibe mit austauschbaren Segmenten und internen Kühlkanälen aussehen könnte.

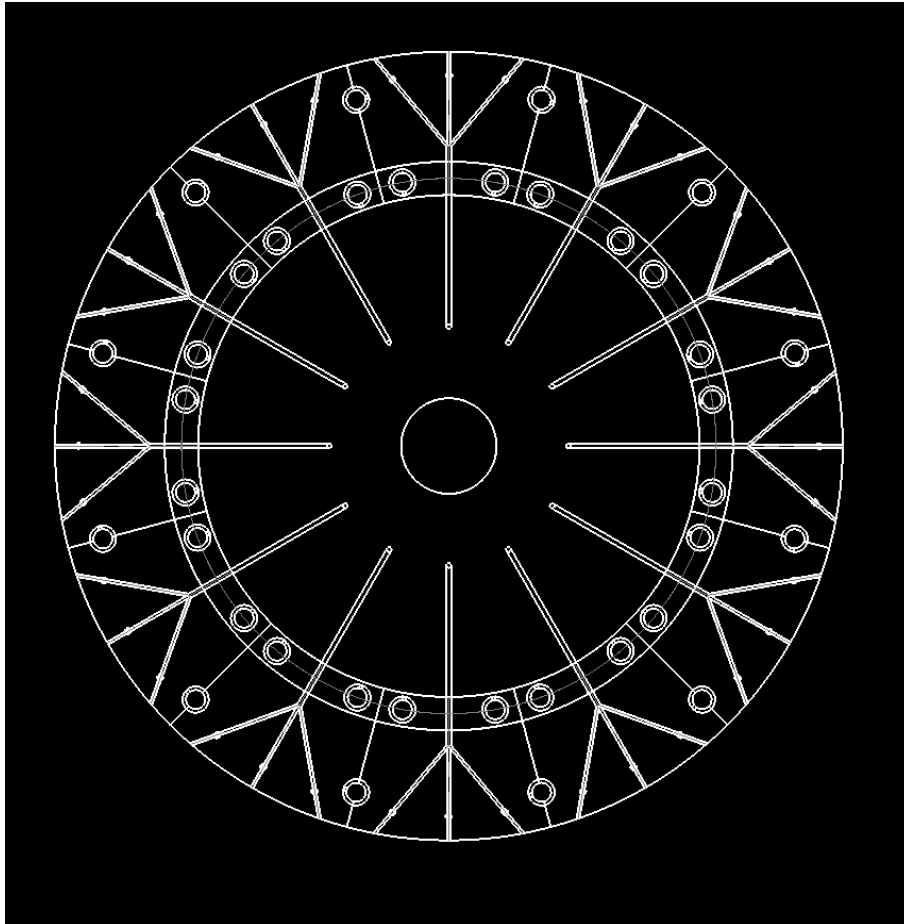


Abbildung 7: Ronde mit Kanälen zur Innenkühlung

Eine andere Idee war, das Werkzeug in Sandwichbauweise zu bauen. Das bedeutet, dass das Werkzeug in zwei dünnere Schichten unterteilt wird. In jede dieser Schichten werden dann Kanäle gefräst, die zusammen geschlossene Kanäle bilden, wenn die Schichten zusammengeklebt oder genietet werden. Der Vorteil dieser Methode ist, dass das Fräsen der Kanäle einfacher und weniger fehleranfällig ist als das Tieflochbohren der Kanäle. Allerdings muss man die beiden Hälften des Werkzeugs auch verbinden, was zusätzlichen Aufwand bedeutet. Wenn man diese Sandwich-Methode mit dem „Mastodon-Design“ kombiniert, wird das Werkzeug noch komplizierter und die Montage aufwendiger.

Wie schon in früheren Berichten erklärt, war die Entwicklung des „Mastodon-Designs“ viel aufwändiger als erwartet. Es war herausfordernd, eine optimale Lösung für das Zusammenspiel zwischen den austauschbaren Segmenten, dem Grundkörper und den Schneidern zu finden. Oft mussten Änderungen gemacht werden, weil erste Tests nicht das gewünschte Ergebnis brachten. Dies ging einher mit einem deutlich erhöhten Zeit- und Personalbedarf, wodurch weniger Kapazität für die Entwicklung der inneren Kühlkanäle vorhanden war.



This project has received funding from the Eurostars-2 joint programme with co-funding from the European Union Horizon 2020 research and innovation programme



Zudem hat sich während der Projektlaufzeit durch Marktbeobachtungen und Kundengespräche herauskristallisiert, dass sich der Markt für Werkzeuge mit innerer Kühlschmierstoffzufuhr mittlerweile stark verändert hat und die Nachfrage nicht mehr so hoch ist wie ursprünglich angenommen. Deshalb wurde die Idee der inneren Kühlung nicht weiterverfolgt und der Schwerpunkt des Projekts auf die Austauschbarkeit der Zähne und Zahnsitze im „Mastodon-Design“ gelegt.

Eine zentrale Herausforderung bei der Entwicklung war die Toleranzverkettung des mehrteiligen Sägeblattes. Normalerweise werden Sägeblätter aus einer Blechtafel oder Ronde ausgeschnitten und Hartmetallzähne an den Schneidensitzen verlötet. In einem nachfolgenden Arbeitsgang werden die Zähne dann auf ihre Form geschliffen. Dieser Schleifprozess ist hochpräzise, da Kreissägewerkzeuge hohe Anforderungen an den Rundlauf stellen. Insbesondere die Flugkreisabweichung von einem zum direkt benachbarten Zahn sollte nicht größer sein als wenige Hundertstel Millimeter. Sonst kann es schnell passieren, dass übliche Zahnvorschübe, die auch in dieser Größenordnung liegen, unzulässig groß werden und die Belastungsgrenze der Zähne überschritten wird. Sitzt ein Zahn zu weit über seinem Vorgänger, muss er einen wesentlich dickeren Materialabtrag vornehmen als für den er ausgelegt ist. Kommt es zur Beschädigung des Zahnes entfällt der Materialabtrag durch diesen Zahn und der Nachfolgezahn wird ebenfalls mit einem zu großen Materialabtrag belastet, wodurch auch er zerstört wird. Dies kann zu einer Kettenreaktion führen, in deren Folge innerhalb einer Werkzeugumdrehung das komplette Sägeblatt zerstört wird. Durch Schleifen der Zähne wird sichergestellt, dass es zu keinen Überständen der Zähne kommt und alle auf dem gleichen Flugkreis laufen.

Sind die Zähne jedoch nicht mehr unlösbar mit dem Grundkörper verbunden, können Fertigungstoleranzen auch nicht mehr durch einen finalen Schleifprozess ausgeglichen werden, da der Projektidee folgend, die Zähne nicht an einer festen Stelle am Sägeblatt fixiert sondern austauschbar sind. Damit jeder Zahn an jedem Zahnsitz montiert werden kann, ohne dass die Rundlaufgenauigkeit darunter leidet, müssen die Fügepartner über sehr genaue Fertigungstoleranzen verfügen. Diese sind aber mindestens eine Größenordnung feiner als bisher bei der Sägeblattfertigung üblich. Um diesem Umstand zu begegnen, wurden zwei Ansätze verfolgt. Zum einen wurden Fertigungsstrategien überarbeitet und entwickelt, die eine höhere Maßhaltigkeit ermöglicht, und zum anderen wurde eine konstruktive Lösung erarbeitet, bei der Fertigungsungenauigkeiten durch einen Einstellmechanismus korrigiert werden können.

In Abbildung 8 ist ein Wechselelement dargestellt, bei welchem in radialer Richtung die Position des Zahnes verstellt werden kann.

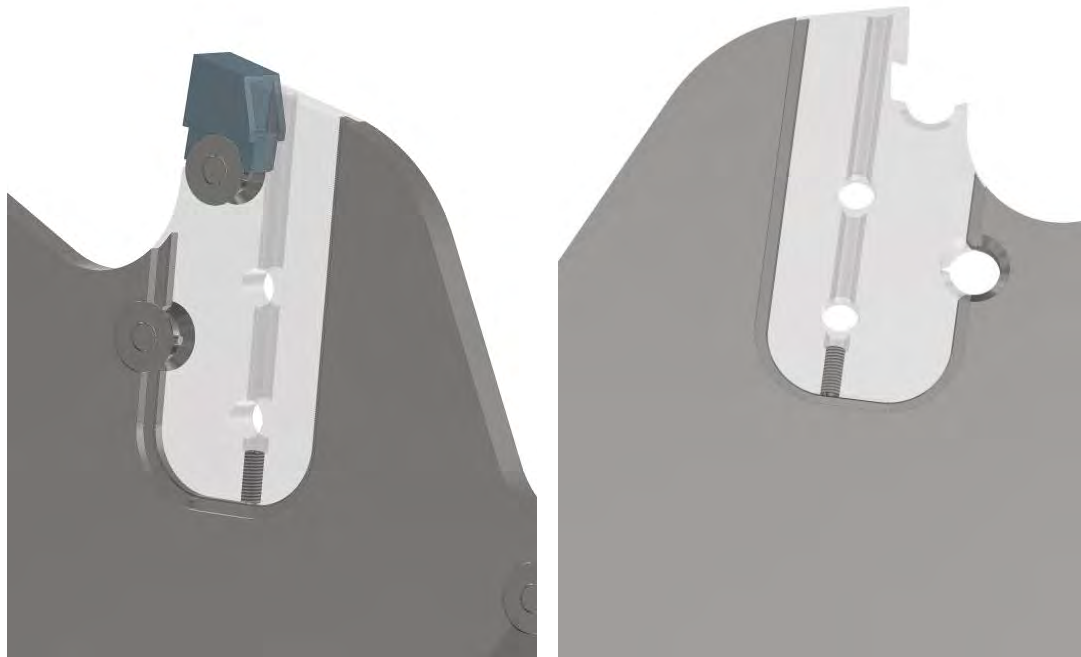


Abbildung 8: Konzepte zur Rundlaufverstellung des Zahnes am Sägeblatt

Der Zahn sitzt dabei fest verschraubt über die Mastodon-Schnittstelle am Wechselfragment, welches wiederum in einer Aussparung im Kreissägeblattgrundkörper eingelassen ist. Über eine Nut-Feder-Gleitführung ist das Wechselfragment in allen Freiheitsgraden blockiert mit Ausnahme der radialen Richtung. Hier wird über die zweite kegelförmige Schraubenverbindung das Segment in den Grundkörper gedrückt und fixiert. Über eine Stiftschraube im Grund des Wechselfragments kann durch Drehen eingestellt werden, auf welcher Höhenposition das Wechselfragment und damit der Sägezahn fixiert wird. Die einstellbare Höhe liegt dabei im Hundertstel Millimeterbereich und kompensiert die vorhandenen Fertigungstoleranzen.

Wie oben erwähnt, war auch eine Anpassung der Fertigungsstrategie erforderlich. Mit der im Hause etablierten Fertigungstechnik konnten die erforderlichen Fertigungsmaße und -toleranzen nicht erreicht werden, ohne das Sägeblatt in einem der letzten Prozessschritte zu schleifen. Zudem ist auch die herzustellende Geometrie bei den Mastodon-Blättern komplexer als bei herkömmlichen Sägeblättern. Im Regelfall werden die Sägewerkzeuge beispielsweise auf dem Tisch einer Lasermaschine aus einem Blech ausgeschnitten. Die 2-Achsmaschine verfährt dabei nur in x-y-Richtung. Die Aufnahme für Mitnehmerstifte und die Sägewelle werden mittels Bohrens hergestellt. Sich in die z-Richtung ändernde Geometrien, wie sie z.B. am Kegelsitz des Mastodon-Blattes vorkommen, können mit diesen Verfahren nicht hergestellt werden. Aus diesem Grund musste die Fertigung angepasst und neue Strategien zur Herstellung gefunden werden.



This project has received funding from the Eurostars-2 joint programme with co-funding from the European Union Horizon 2020 research and innovation programme



Probleme mit der Laserbearbeitung, die die erforderliche Toleranz für einen optimalen Rundlauf zunächst nicht erreichte, mussten genauso gelöst werden wie die Vermeidung von Verbrennungen oder Aufschmelzungen. Eine neue Vorgehensweise und Einsatztaktik des Bearbeitungslasers in Kombination mit spanabhebenden Verfahren waren notwendig.

Hierbei ist insbesondere von Bedeutung, mit welcher Fertigungsstrategie welche Geometrie und Kontur hergestellt werden. Auch die Reihenfolge der unterschiedlichen Fertigungsschritte hat einen Einfluss auf das Endergebnis. Ein in der Werkstatt untersuchter Ansatz war, die Mastodon-Geometrie erst mit dem Laser und dann spanend herzustellen. Hierfür wurde der Grundkörper, in dem Fall ohne Wechselement, mit der Laserschneidemaschine aus dem Blechhalbzeug ausgeschnitten und anschließend mit einer Ständerbohrmaschine und einem Senkwerkzeug die kegelförmige Bohrung hergestellt. Normalerweise werden mit einem Senker vollständige Senkungen mit einem 360°-Winkel hergestellt. Im vorliegenden Fall war jedoch die Herstellung einer kegelförmigen Halbbohrung erforderlich. Hierdurch befand sich der Senker im Halbeingriff, wodurch es zu ungünstigen einseitigen Belastungen kam und der Senker verlief. Eine gleichmäßige Kegelform konnte hierdurch ebenso wenig erzeugt werden wie die engen Toleranzvorgaben eingehalten werden konnten.

Aus diesem Grund wurden beim nächsten Ansatz zunächst mit dem Laser die Bohrungen für die Mastodon-Schnittstelle aus dem Blechhalbzeug ausgeschnitten. Anschließend wurde wiederum spanend mit dem Senker die Senkung fabriziert. Durch den Volleingriff des Senkers und eine vollumfängliche Bohrung kam es dabei nicht zum Verlaufen des Senkwerkzeuges. Anschließend wurde dann erst die Außenkontur des Grundkörpers ausgeschnitten. Vorteil hierbei ist, dass die Senkung sauber ausgeführt ist. Der Nachteil dabei liegt aber in der Genauigkeit der Laserachsen und der erforderlichen Umspannung des Werkstückes, wodurch die Positionierung nicht ausreichend exakt möglich ist und die Passung der Bohrungen verloren geht. Zudem kann es im Bereich der Senkungen zu Aufschmelzungen kommen, wodurch die zuvor erzeugte Bohrung beschädigt wird.

Ein weiterer Fertigungsversuch war das Außenschneiden der Außenkontur und Bohrungslöcher mit dem Laser und dabei Stege stehen zu lassen. Damit bleibt die Gesamtronde noch erhalten, da durch die Stege Gut- und Schlechteil noch miteinander verbunden sind. Eine Fotografie während der Fertigung zeigt Abbildung 9. Deutlich erkennbar ist die Außenkontur des Sägeblattes und die Mastodon-Schnittstelle. Auch die Stege als Verbindung zwischen Gut- und Schlechteil sind zu sehen. Noch nicht eingebracht sind die Senkungen.

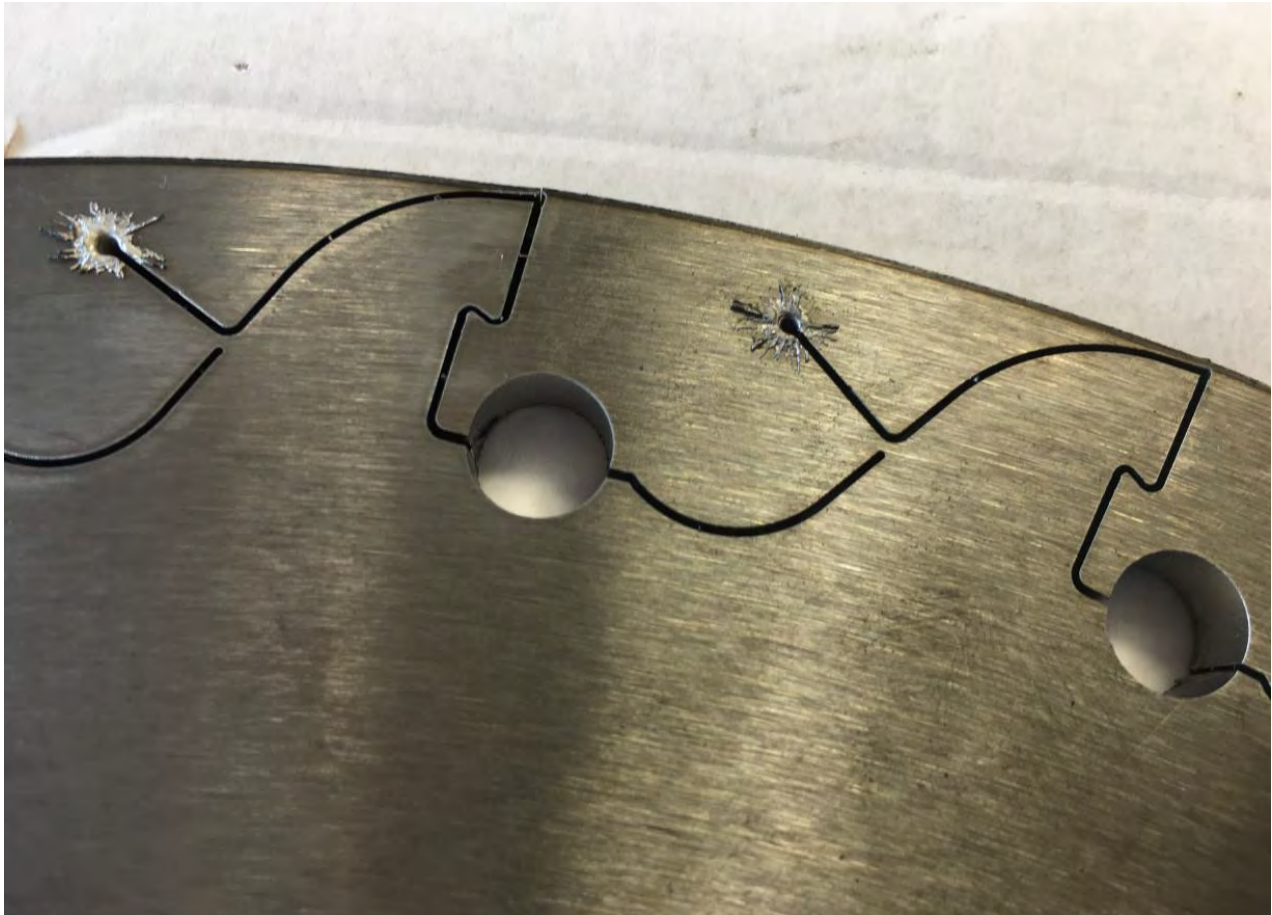


Abbildung 9: Ronde mit Laserspalt während der Fertigung des Sägeblattes

Auch mit diesem Verfahren bleibt ein vollumfängliches Loch bestehen, wodurch beim anschließenden Senken das Werkzeug rundum geführt wird und nicht mehr verlaufen kann. Wegen Aufhärtungen aus dem Laserprozess wird das Senkwerkzeug stark beansprucht und verschleißt schnell. Zudem kann der Prozess instabil werden, da die vollumfängliche Bohrung trotzdem an zwei Stellen durch den beim Lasern entstandenen Schnittpalt unterbrochen ist. Die Schneiden des Senkers machen dadurch einen unterbrochenen Schnitt und werden stärker beansprucht.

Die finale Lösung war dann, das Sägwerkzeug fertig auszulasern und anschließend die Senkungen auf einer CNC-Maschine herzustellen. Die ist zwar mit einem gewissen technischen Aufwand verbunden, aber das Bearbeitungsergebnis erfüllte die Anforderungen.



Abbildung 10: Herstellung der Mastodon-Geometrie durch Laserstrahlschneiden und CNC-Bearbeitung

Mit ausschließlicher CNC-Bearbeitung lässt sich die Mastodon-Geometrie zwar ebenfalls herstellen, auch mit sehr hoher Präzision, jedoch ist dieser Prozess im Vergleich zum Laserschneiden wesentlich teurer und langsamer. Da die Mastodon-Geometrie für jeden Zahn einzeln gefertigt werden muss, summieren sich Kosten und Zeitaufwand und werden erheblich kostspieliger als gelaserte Lösungen. Aus diesem Grund sind mittels CNC hergestellte Werkzeuge trotz der Vorteile im Vergleich zu herkömmlichen Werkzeugen nicht wettbewerbsfähig.

Die Rohlinge der Zähne aus Hartmetall wurden beim Projektpartner durch ein Spritzgussverfahren hergestellt, da der Zahn nur an den Bearbeitungsflächen geschliffen werden soll, die Mastodon-Schnittstelle aber bereits in der Endkontur aus dem Formwerkzeug kommt. Bis die finale Geometrie gefunden wurde, mussten mehrere Schleifen gedreht und Spritzgusswerkzeuge neu konstruiert werden, um die angestrebte Form, Haltbarkeit und Maßgenauigkeit zu bekommen. Eine erste Serie wurde hergestellt und getestet. Die Erkenntnisse dieser Tests dienten als Vorgabe für die Entwicklung der zweiten Serien. In Abbildung 11 sind Rohlinge der Mastodon-Zähne vor der Schleifbearbeitung dargestellt.



This project has received funding from the Eurostars-2 joint programme with co-funding from the European Union Horizon 2020 research and innovation programme



Abbildung 11: Rohlinge der Mastodon-Hartmetallzähne

Die Zähne wurden von den Angüssen befreit und am Mastodon-Grundkörper mit der Verschraubung montiert. Anschließend wurde das noch stumpfe Sägeblatt auf einer Schleifmaschine eingespannt und scharf gemacht. Dabei wurden die Frei- und Spanfläche sowie die Flanken bearbeitet und dabei Keil-, Frei- und Spanwinkel eingestellt. Ein Mastodon-Blatt auf der Schleifmaschine ist in Abbildung 12 dargestellt. Als Grundlage für die Einstellwerte beim Schleifen ist der zu bearbeitende Werkstoff des geplanten Sägeverfahrens maßgeblich. Es wurden mehrere prototypische Sägewerkzeuge hergestellt und für Versuche zum Sägen von Stahl- und Aluminium-Vollmaterial vorbereitet, siehe Abbildung 13.

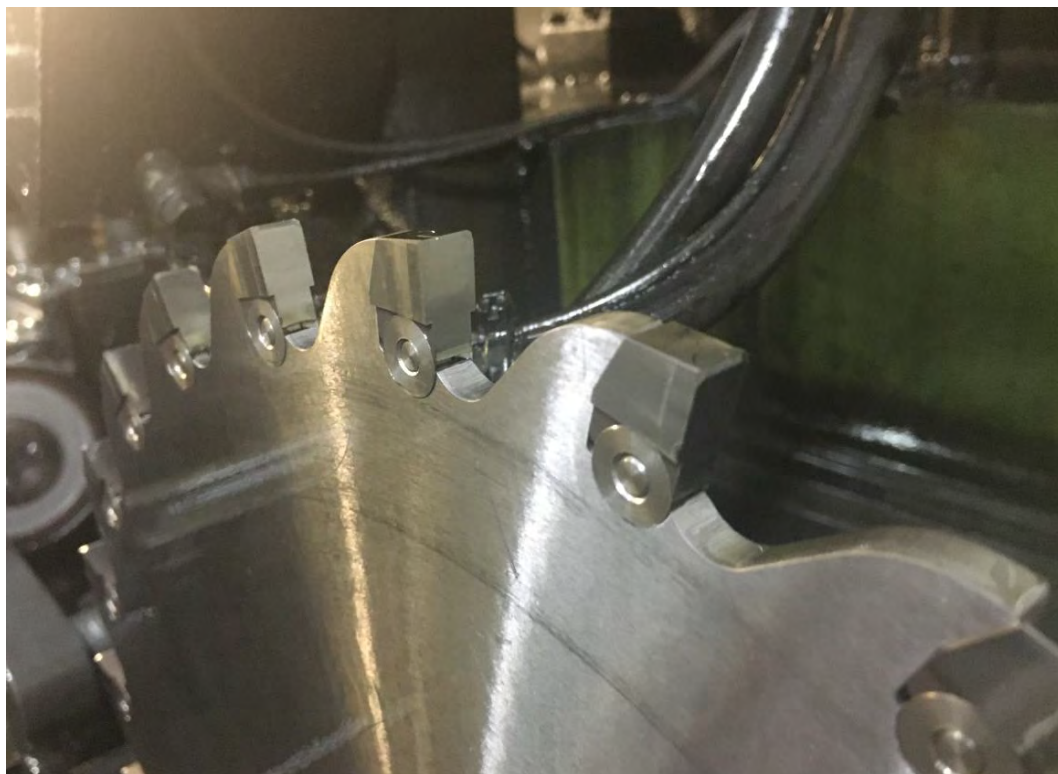


Abbildung 12: Mastodon-Sägeblatt beim Zahnschleifen



Abbildung 13: Für Sägeversuche fertig hergestelltes Mastodon-Sägeblatt

Die fertiggestellten Mastodon-Sägeblätter wurden Schnittversuchen unter realen Bedingungen unterzogen. Neben der grundsätzlichen Fähigkeit ein Werkstück zu sägen, wurden auch unterschiedliche Prozessparameter gemessen und aufgezeichnet. Durchgeführt wurden die Versuche unter Beisein der Projektpartner im Versuchsfeld des Fraunhofer IPA. Mit der dortigen Kreissägemaschine konnten die neuartigen Sägewerkzeuge ausgiebig getestet werden, ohne Produktionsabläufe bei Kunden durch eingeschobene Tests zu stören. Das Einwechseln von Versuchssägeblättern hätte dort zu zusätzlichen Stillstandszeiten und Produktionsausfällen geführt. Zudem ist in den seltensten Fällen eine umfassende Maschinenzugänglichkeit gegeben, die eine Einrichtung entsprechender Messsensorik und -technik ermöglicht. Beim Fraunhofer dagegen konnten die Untersuchungen so gestalten werden, dass das Verfolgen und Erfassen des Sägeprozesses und nicht die Ausbringung an gesägten Stückzahlen im Fokus stand. Zudem bestand für die Projektpartner der Vorteil, dass die Maschine uneingeschränkt zugänglich war und Sägeversuche so organisiert wurden, dass die beiden Blatthersteller Jaufasa und Kohnle sowie Tigra als Schneidhersteller dabei sein konnten. Die Erfahrung beim spanischen Partner Jaufasa hat gezeigt, dass durch den eingeschränkten Zugriff auf Kundenmaschinen in der Serienfertigung Sägeversuche



This project has received funding from the Eurostars-2 joint programme with co-funding from the European Union Horizon 2020 research and innovation programme



scheitern können. Durch eine Verwechslung beim Sägekunden wurde ein Mastodon-Sägeblatt bei der falschen Anwendung und mit falschen Prozessparametern eingesetzt, wodurch ein aufwendig hergestellter Prototyp ohne den Gewinn von Erkenntnissen und Messergebnissen zerstört wurde.

Zwar konnten Sägeblätter von mehr als einem Meter Durchmesser nicht auf der Versuchsmaschine des Fraunhofer IPA getestet werden, jedoch konnte hierfür eine Lösung durch die Verwendung repräsentativer Modelle des Sägeblattes gefunden werden. Die Original-Mastodon-Geometrie mit den zugehörigen Schneiden wurde für Sägeblätter mit gleicher Dicke aber kleinerem Durchmesser eingesetzt. Da außer dem Durchmesser alle anderen Größen identisch sind, können die erlangten Versuchsergebnisse auch auf große Werkzeugdurchmesser übertragen werden. Ein zusätzlicher positiver Nebeneffekt war, dass durch den kleineren Durchmesser die Prototypen schneller und kostengünstiger hergestellt werden konnten, was die Fertigung zusätzlicher Varianten ermöglichte.

Als Versuchsmaschine kam eine Kreissäge mit steuerbarer Schnitt- und Vorschubgeschwindigkeit zum Einsatz. Der Prozess wurde mit MMS (Minimalmengenschmierung) geschmiert. Untersucht wurde Vollmaterial in Stangenform mit der Abmessung 70x70 mm. Das gesägte Material bei den Versuchen war ein Baustahl S235, Aluminium 6060 und Messing CW614N. Diese Materialien wurden von den Projektpartnern gemeinsam aufgrund ihrer Verbreitung als typische Vertreter der jeweiligen Werkstoffgruppen ausgewählt. Untersuchte Schnittgeschwindigkeiten lagen im Bereich von 100 m/min (Stahl) - 900 m/min (Alu). Die Vorschubgeschwindigkeit wurde abhängig von der Schnittgeschwindigkeit und damit Drehzahl so gewählt, dass der Vorschub pro Zahn zwischen 0,025 und 0,09 mm lag. Abbildung 14 zeigt den Sägeprozess mit einem Mastodon-Kreissägeblatt beim Sägen von Stahl.

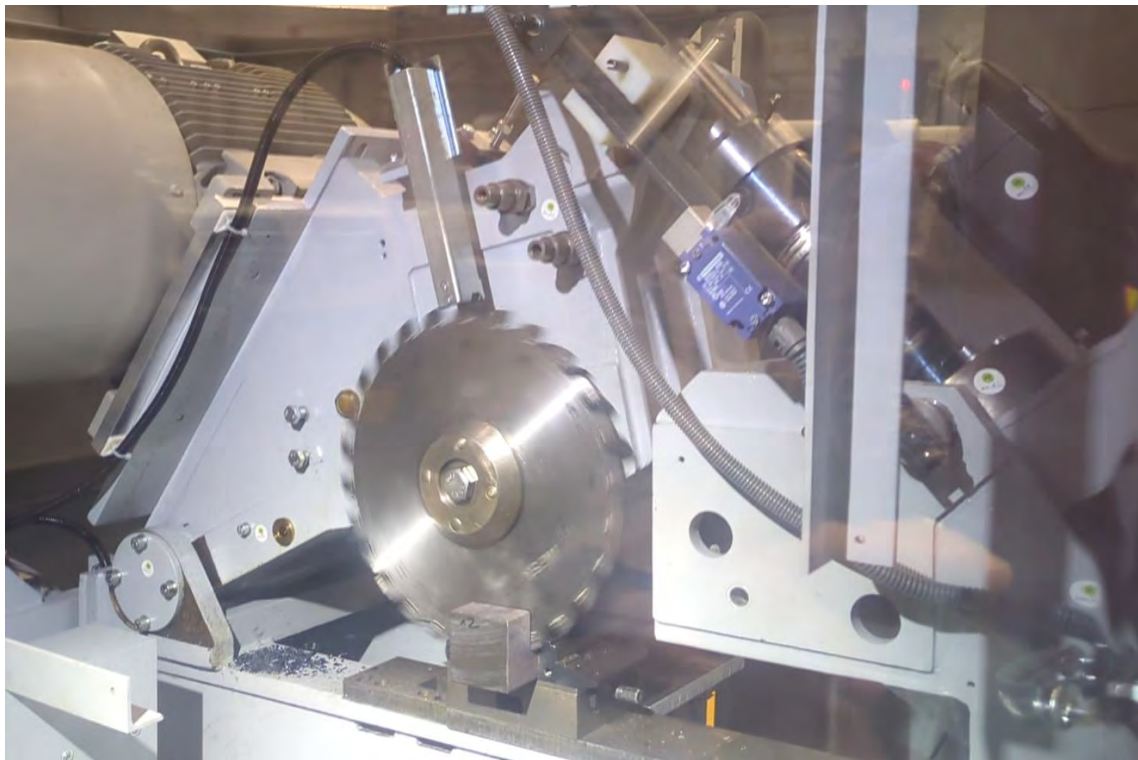


Abbildung 14: Mastodon-Kreissägeblatt beim Sägen von Vollmaterial während der durchgeführten Versuchsreihen

Mit den Tests sollte gezeigt werden, dass die Mastodon-Blätter für unterschiedliche Bearbeitungsparameter, wie sie auch beim Kunden Anwendung finden, funktionieren. Trotzdem zeigte sich beim Test des ersten Prototyps, dass die neu entwickelten Sägeblätter nicht auf Antrieb funktionierten. Durch Vibrationen und weitere Einflüsse löste sich die Verschraubung. In der Folge waren die Zähne nicht mehr fixiert, wodurch sie keine Schnittbewegung mehr ausführen konnten, sich unzulässig bewegten und überlastet wurden. Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde die Verschraubung überarbeitet und die Mastodon-Geometrie im Detailbereichen optimiert. Mit den optimierten Mastodon-Werkzeugen konnten dann die Sägeversuche erfolgreich durchgeführt werden und der Nachweis erbracht werden, dass die neuartigen Sägeblätter mit der Mastodon-Schnittstelle grundsätzlich funktionieren. In Abbildung 15 ist exemplarisch ein mit dem Mastodon-Sägeblatt erstellter Abschnitt mit den beiden entstandenen Oberflächen dargestellt.



Abbildung 15: Mit Mastodon-Sägeblatt gesägte Abschnitte

Mit dem Erreichen der Sägefähigkeit für ein neu entwickeltes Sägeblatt mit austauschbaren Sägezähnen ist ein wesentliches Ziel des Projekts erfolgreich umgesetzt worden. Was noch zu untersuchen ist, ist das Langzeitverhalten und die Standzeit. Dafür müssen aber sehr viele Sägeschnitte mit einem hohen Bedarf an Versuchsmaterial durchgeführt werden, was aber im Projekt nicht mehr vorgesehen war und Inhalt von Nachfolgeprojekten sein könnte.

2. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die im Projekt entstandenen Kosten betragen 218.853,38 € und unterteilen sich in 190.684,20 € Personalkosten, 22.916,23 € Materialkosten und 5.252,95 € für Reisen.

Wie schon beschrieben waren einzelne Arbeitspakete aufwendiger als im Vorfeld angenommen, wodurch die Personalkosten höher ausfielen. Durch geringere Materialkosten konnten die Mehrausgaben beim Personal ein Stück weit kompensiert werden. Bei den Reisekosten konnte der veranschlagte Betrag nahezu eingehalten werden. Zwar konnten zahlreiche Besprechungen virtuell durchgeführt werden, aber einige Reisen mit Projektbezug waren dennoch erforderlich für den Projekterfolg.

3. Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Zur Erfüllung der Projektziele eines Sägeblattes mit austauschbaren Schneiden waren die geleisteten Projektarbeiten notwendig und angemessen. Die erforderlichen Arbeiten begannen mit der Analyse bestehender Sägeblätter und Sägeblattsystemen als Vergleichsbasis. Anschließend war die Entwicklung eines Wechselsystems für Schneiden und der zugehörigen Verschraubung notwendig.



This project has received funding from the Eurostars-2 joint programme with co-funding from the European Union Horizon 2020 research and innovation programme



Bei der darauf aufbauenden Realisierung der Schnittstelle lag der Fokus auf der Erarbeitung einer passenden Fertigungsstrategie. Wegen der kleinen Toleranzen und der in z-Richtung nicht konstanten Form war die herkömmliche, im Haus vorhandene Fertigung nicht ausreichend und musste neu geschaffen werden. Danach konnten erst die Geometrie für das neue Schneidensystem hergestellt, die Zähne montiert und geschliffen und damit ein Kreissägeblatt hergestellt werden. Zudem waren Untersuchungen notwendig, um herauszufinden, wie man Kühlkanäle in das Sägeblatt einbauen kann. Nach der Fertigung mehrerer Sägeblattprototypen wurden diese in Versuchen getestet und vermessen, um die Neuentwicklung bewerten und die Eignung für den Praxiseinsatz nachweisen zu können. Ohne diese Vorgehensweise aus Entwicklung und Versuch mit Auswertung wäre die Umsetzung des neuen Mastodon-Sägewerkzeuges mit austauschbaren Sägezähnen nicht machbar gewesen.

Die Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit wurde sichergestellt, in dem die Arbeiten in einem Arbeitsplan dem Träger vorgestellt, nach Plan bearbeitet und davon abweichende Arbeiten abgestimmt wurden. Die Projektarbeiten wurden regelmäßig in engen Abschnitten in Fortschrittsberichten und Zwischenberichten dargelegt und wesentliche Änderungen erklärt bzw. mit dem Projektträger kommuniziert.

4. Der voraussichtliche Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses

Die Kohnle GmbH hat durch das aktuelle Projekt ihre Position als Hersteller von Kreissägewerkzeugen weiter gestärkt. Besonders hervorzuheben ist der signifikante Fortschritt im Bereich der Grundkörperherstellung, der durch das Projekt ermöglicht wurde. Durch die intensive Zusammenarbeit und den Wissensaustausch mit den spanischen Kollegen konnten nicht nur die technischen Fähigkeiten verbessert, sondern auch tiefgreifende Einblicke in den europäischen Markt gewonnen werden.

Die aus dem Projekt resultierenden Erkenntnisse und Verbesserungen der Produktionsverfahren erlauben es der Kohnle GmbH, hochqualitative und spezialisierte Werkzeuge effizienter zu produzieren. Diese Effizienzsteigerung ist besonders relevant für die Kostenstruktur und die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens auf internationalen Märkten.

Zusätzlich hat das Networking mit anderen europäischen Firmen zur Identifizierung neuer Geschäfts- und Kooperationsmöglichkeiten geführt, die ohne die spezifischen Projektergebnisse nicht erkennbar gewesen wären. Die Kohnle GmbH sieht sich nun in der Lage, ihre Produkte gezielter und mit klaren Alleinstellungsmerkmalen im europäischen Markt zu positionieren, was eine Erweiterung des Kundenstamms und die Erschließung neuer Absatzkanäle verspricht.

Schließlich bildet die verstärkte Einbindung in internationale Netzwerke eine hervorragende Plattform für zukünftige Forschungs- und Entwicklungsprojekte. Die Kohnle GmbH plant, die gewonnenen Erkenntnisse zur weiteren Optimierung ihrer Produkte zu nutzen und in neue, innovative Projekte zu



This project has received funding from the Eurostars-2 joint programme with co-funding from the European Union Horizon 2020 research and innovation programme



investieren, die sowohl die Produktleistung als auch die Umweltverträglichkeit ihrer Sägewerkzeuge verbessern sollen.

Insgesamt wird erwartet, dass die durch das Projekt erzielten Ergebnisse und Entwicklungen langfristig zur Steigerung der Marktanteile und zur Festigung der führenden Position der Kohnle GmbH im Bereich der Sägetechnologien beitragen werden, auch wenn das entwickelte Produkt noch nicht serienreif ist.

5. Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt

Der Kohnle GmbH und den Partner sind trotz Recherchen während der Projektlaufzeit keine neuen Produkte oder Entwicklungen bekannt geworden, die den eigenen Projektentwicklungen eines Sägewerkzeuges mit austauschbaren Schneiden im Wege stehen.

6. Veröffentlichungen des Ergebnisses

Eine Veröffentlichung im Rahmen des Projekts fand bei der 58. Ausgabe des SECV-Nationalkongresses der spanischen Gesellschaft für Keramik und Glas im Mai 2022 in Madrid statt. Thema waren im Wesentlichen von Tigra und Flubetech durchgeführte Untersuchungen zur Haftung von Magneton-Sputter- und HiPIMS-PVD-Schichten auf Hartmetallsorten für die spanende Bearbeitung von Aluminium- und Stahllegierungen. Weitere Veröffentlichungen sind auf der nächsten Stuttgarter Sägetagung im Dezember geplant. Die Tagung wird von Vertretern und Experten aus der Sägebranche besucht und die neusten Entwicklungen aus dem Bereich werden vorgestellt und diskutiert.