

K-PROFI



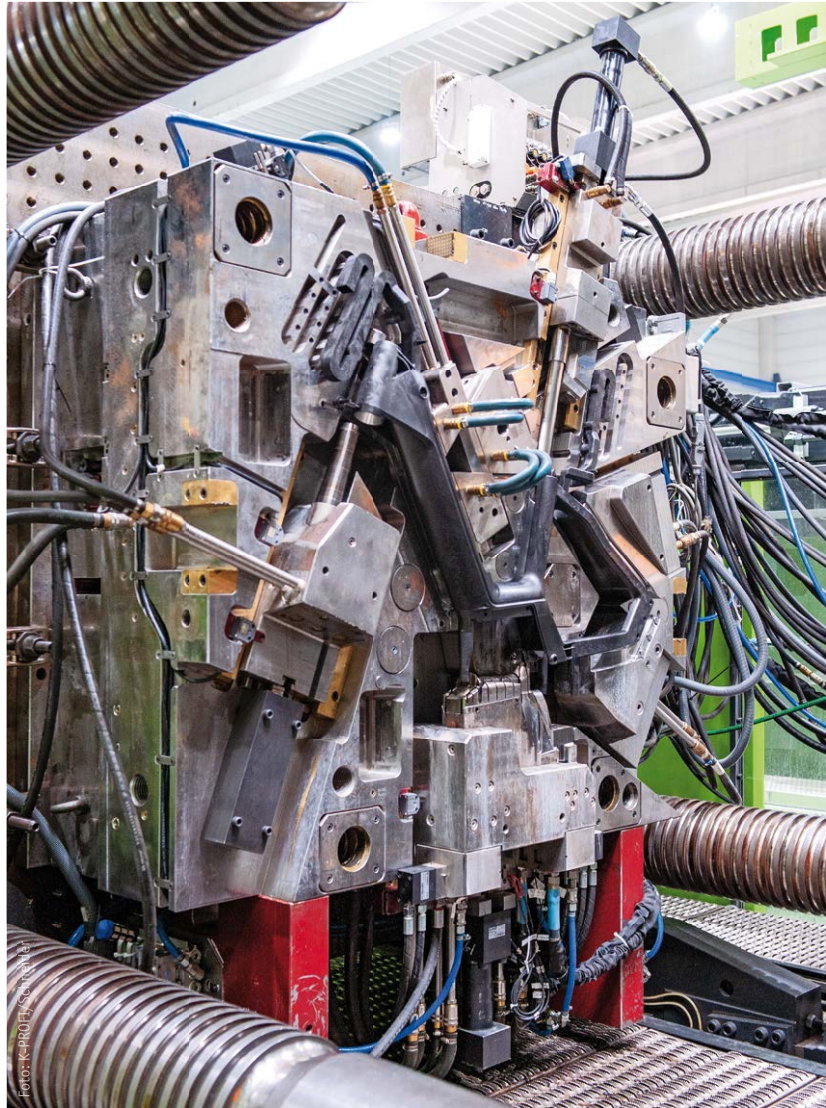
Was sich V Frames vom ersten
rezyklierbaren E-Bike-Rahmen verspricht

**Drei Mal FIT
mit PA-CF40**

Sonderdruck

Drei Mal FIT mit PA-CF40

Was sich V Frames vom ersten rezyklierbaren E-Bike-Rahmen verspricht



Blick ins offene Fluidinjektions-Werkzeug mit zahlreichen Schiebern und der Einlegemöglichkeit für die Lenkerachsenhülse auf einer 17.000-kN-Maschine Engel duo.

Vollkunststoff-Fahrradrahmen haben schon einige Tüftler auf den Plan gerufen. Die vielfältigen Herausforderungen eines Tiefeinsteiger-E-Bikes hat ein österreichisch-deutsches Team angenommen. Bis Mitte 2020 unter der Marke Velosione unterwegs, haben die Pioniere von V Frames im thüringischen Saalfeld die Machbarkeit ihres selbst entwickelten „Wave-Rahmens“ aus teilaramatischem PA-CF40 bewiesen und ihn mit Fluidinjektionstechnik zur Serienreife gebracht – mit Recycling-Potenzial und CO₂-Vorteil gegenüber Aluminium. Trotz der langen Lebensdauer eines E-Bikes denken die Macher für den Kunststoff des Rahmens bereits an multiple Produktlebenszyklen.

Text: Dipl.-Ing. Markus Lüling, Chefredakteur K-PROFI

V Frames hat ein Tiefeinsteiger-Fahrrad ohne Oberrohr, einen sogenannten „Wave-Rahmen“ konzipiert. „Ein E-Bike-Rahmen und dazu der eines Tiefeinsteigers ist aufgrund des fehlenden Oberrohrs von den Fahreigenschaften her einer der anspruchsvollsten Fahrradrahmen, den man auslegen kann“, stellt Dr. Umut Cakmak fest, weshalb es eine Grundsatzentscheidung gewesen sei, den Rahmen mit der Fluidinjektionstechnik (FIT) herzustellen. „Es haben schon einige versucht, Fahrradrahmen im Spritzguss zu fertigen, jedoch haben Rippenkonstruktionen nicht die erforderliche Steifigkeit gebracht. Um die primär erforderliche Torsionssteifigkeit zu erreichen, wird eine geschlossene Rohrgeometrie benötigt. Unser entwickelter Tiefeinsteiger-Rahmen erzielt in allen Lastfällen mindestens die Werte eines vergleichbaren Wave-Rahmens aus Aluminium“, erklärt der Mitgründer und Gesellschafter von V Frames, CEO vom Ingenieurbüro Plastic Innovation, Ottensheim/Österreich, und PostDoc am Institut of Polymer Product Engineering der Johannes Kepler Universität in Linz.

Die nach ISO gängigen Prüfstandards für Fahrräder sind auf Ermüdung angelegt und nicht auf Steifigkeit oder – für den Entwicklungsprozess noch wichtiger – auf Fahreigenschaften. „Mit experimentellen Untersuchungen ermittelten wir die Verbindungen von mechanischen Kennwerten zu Eigenschaften der Fahrdynamik“, erklärt Dr. Umut Cakmak. „Die Werte aus den definierten Lastfällen dienten uns als Benchmark, denn wir mussten auch die lateralen Steifigkeitswerte erreichen, die in den Normen und Standards nicht festgelegt sind, um auch die Verbindungen von Konstruktion und Herstellung zur Fahrdynamik zu schaffen. Dafür haben wir uns eigene Standards und Lastfälle erarbeitet, die uns bei zukünftigen Projekten bezüglich der Bauteilauslegung erheblich helfen.“

Intensive Simulation und Strukturanalyse

„Die Erreichung unseres Ziels, einen Tiefeinsteigerrahmen im Spritzguss umzusetzen, war alles andere als ein Selbstläufer“, so Christian Wolfsberger, Mitgesellschafter des Ingenieurbüros für Produktentwicklung Plastic Innovation und Business Development Manager Lightweight Composites beim Spritzgießmaschinenhersteller Engel: „Die Idee haben wir bei Plastic Innovation bis ins letzte Detail ausgearbeitet. Wir gingen gleich auf ein Tiefeinsteigermodell, denn es war uns klar, wenn wir es schaffen, dieses Rahmenmodell erfolgreich umzusetzen, dann können wir auch jedes andere Modell realisieren. Angefangen hat es damit, dass wir uns ein verfahrenstechnisches Konzept zur Herstellung erarbeitet haben. Wir mussten in der Konzeptphase sicherstellen, dass

das Produkt mit mehreren Fluidvolumenströmen so auch verfahrenstechnisch realisierbar ist. Anschließend haben wir uns Schritt für Schritt bzgl. den Anforderungen zu den Struktureigenschaften herangearbeitet, reale Alurahmen am Prüfstand aufgespannt und die Verformungswerte bei Krafteinwirkung gemessen. Somit hatten wir einen Benchmark. In intensiver Zusammenarbeit mit Coleo Design, Köln, wurden einige Skizzen und anschließend ein CAD-Modell erstellt. Auf die technische Machbarkeit bzw. bezogen auf die spätere verfahrenstechnische Umsetzung wurde in der Designphase besonderes Augenmerk gelegt, auch weil uns zum damaligen Zeitpunkt kein anderes Bauteil bekannt war, bei dem gleich drei Fluidvolumenströme die plastische Seele aus dem Bauteil drücken. Die Volumenströme müssen separat regelbar sein und dürfen sich auch nicht untereinander beeinflussen. Wir sprechen hier schon von großen Volumina, die aus dem Bauteil hinausgedrückt werden. Um sicherzustellen, dass die Rahmen auch die gewünschte Qualität aufweisen und wir nicht blind in ein Werkzeug gehen, haben wir über intensive Füll- und Struktursimulationen das Bauteil lastgerecht ausgelegt und optimiert.“

Bei den Füllsimulationen setzen die Ingenieure auf Moldex-3D. „Es ist ganz wesentlich, dass in der Füllsimulation auch die Fluidinjektion mit der zu erzielenden Restwanddicke und Faserausrichtung realitätsnah abgebildet werden kann. Sowohl die Hohlraumausbildung als auch die Faserausrichtung sind für die anschließende Struktursimulation von entscheidender Bedeutung“, so Dr. Umut Cakmak. Die Analysen der Füllsimulation beinhalten den Einspritzprozess, die Nachdruck- und Kühlungsphasen. Dabei können kritische Bindenähte, Luft einschüsse und Fehler

in der Fluidinjektionsphase ermittelt werden. Diese Fehler werden durch die Optimierung der Rahmenkonstruktion behoben, anschließend nochmals simuliert und analysiert, bis der Fahrradrahmen verfahrenstechnisch optimiert ist. „Wir arbeiten bei der Gestaltung ganz früh mit den Designern zusammen und denken schon beim Design an die kunststoffgerechte Auslegung und die damit verbundene Werkzeugtechnik. Wir mussten werkstoff- und verfahrensrecht konstruieren, um das volle Potenzial des Materials auszunutzen. Die mechanische Auslegung umfasst die Lastfälle der Normen sowie axiale und laterale statische Belastungen, die Rückschlüsse über die fahrdynamische Performance ergeben. Die Lasten dieser Anforderungsprofile wurden in mehreren Strukturanalyselooops abgebildet und optimiert. Validierungsexperimente wurden begleitend durchgeführt, um die Materialmodelle der Simulationen zu verbessern. Ab dem Design-Freeze müssen wir gegenüber dem Kunden sicherstellen, dass das Produkt genau die Eigenschaften hat, die den Anforderungen entsprechen.“



Das E-Bike mit dem Wave-Rahmen von V Frames im Einsatz.

Foto: Engel Austria



Foto: K-PROFI/Schneider

Dr. Umut Cakmak, CEO bei Plastic Innovation sowie PostDoc an der Johannes Kepler Universität Linz, sieht den Wave-Rahmen ohne Oberrohr als schwierigste mögliche Geometrie für Fahrradrahmen.

Hochleistungswerkstoff mit rezyklierten Kohlefasern

In der Entwicklungsphase hat das Team mehrere Matrixmaterialien getestet – jeweils mit verschiedenen Verstärkungsfasern in unterschiedlichen Füllgraden. Als optimal ermittelten die Experten gemeinsam mit dem Compoundeur Akro-Plastic ein teilaromatisches Polyamid mit 40 Gew.-% Kohlefaserverstärkung (CF). Michael Rieck, Business Development Manager bei Akro-Plastic: „Im Vergleich zu einer hohen Verstärkung mit 60 Gew.-% Glasfaser im Polyamid sparen Kohlefasern 20 % in der Dichte und bringen 70 % mehr Steifigkeit.“

Bereits zur Herstellung des Grundmaterials setzt Akro-Plastic auf eine wiedergewonnene Carbonfaser in der hier verwendeten Produktreihe Akroloy ICF. „Wir bereiten ein Endlosfaserprodukt auf, das bisher nicht mit Harz oder Thermoplast in Verbindung gekommen ist, und gewinnen so die Kohlenstofffaser für unser Compound“, erklärt Michael Rieck. „Obwohl CF-verstärktes Material anspruchsvoller zu verarbeiten ist, ist es für die Fluidinjektionstechnik gut geeignet“, berichtet er, „wir haben uns sehr intensiv mit der FIT beschäftigt. Eine unserer Technikumsanlagen in Niederzissen kann diese Applikationen abbilden. Damit waren einerseits kontinuierliche Materialanpassungen möglich, andererseits gezielte Optimierungen für den FIT-Prozess.“

Industrielle Umsetzung beim Spritzgießverarbeiter Isoco

Die technische Realisation erfolgt bei Isoco Plastics Technology in Saalfeld-Schmiedefeld, die Gesellschafterin des Fahrradrahmenherstellers V Frames ist. Geschäftsführer Michael Müller hat Isoco 2013 aus einer Insolvenz übernommen. Heute stellt das Unternehmen in zwei Werken am selben Standort einerseits Kleinladungsträger, Mehrwegbehälter und Paletten aus rezyklierten Polyolefinen, andererseits weitere Spritzgussteile und Formteile aus verstärkten Kunststoffen her. Der Spritzgießmaschinenpark umfasst Schließkräfte zwischen 400 und 23.000 kN.

„Hochgefüllte faserverstärkte thermoplastische Kunststoffe sind bei uns etwas Neues, aber auch wieder nicht. Hier am Standort haben früher 700 Mitarbeiter Handlamine für Wohnwagen hergestellt“, blickt Michael Müller auf die Historie seit 1960 zurück. „Wir kommen aus dem Spritzguss und treten an, um im Spritzguss keinen alten Standard zu machen, sondern immer wieder neue Projekte zu verfolgen. Wir sind mit den Boxen angefangen. Diese Produkte mit hohen Rezyklatanteilen waren eine echte Herausforderung, aber damit sind wir sehr erfolgreich gestartet. Heute verarbeiten wir 10.000 Tonnen Polyolefinrezyklat pro Jahr zu Boxen und Paletten.“

Für die Produktion der Fahrradrahmen hat Isoco in eine Großspritzgießmaschine Engel duo mit 17.000 kN Schließkraft mit hochwertiger Plastifizierschnecke für die Verarbeitung hochverstärkter Werkstoffe investiert. Dazu kommt für kleinere Fahrradrahmen ein Wechselzylinder, um auf geringere Schussgewichte umstellen zu können. Anbauteile für die Rahmen wie etwa die Batteriefachabdeckung werden in einem weiteren Werk in Erfurt hergestellt.



Foto: K-PROFI/Schneider

Michael Müller ist Geschäftsführer von Isoco und V Frames.

Dreifache FIT-Anwendung am PA-CF40

Insgesamt sind drei Kanäle als bleibende Hohlräume im geschlossenen Rahmen platziert – zum einen unter dem Batteriefach im Unterrohr, zum anderen in den beiden Bügeln, die im Hinterbau Sitz- und Kettenstreben bilden. Dazu wird nach dem Füllen der Form und einer ersten Abkühlung der Randschicht über Injektoren an drei Stellen Fluid ins Innere des Formteils gedrückt, während Kernzüge am Fluidkanalende sogenannte Nebenkavitäten zur Aufnahme der noch plastischen Seele öffnen. Die Fluidvolumenströme werden separat voneinander geregelt. Am Ende des Fluidprozesses wird der Fluidruck im Bauteilinneren kurz aufrecht gehalten, quasi als Nachdruck im gesamten Hohlrauminneren. Der Prozess ist daher sehr schwindungs- und verzugsarm, und die Bauteile weisen keinerlei Einfallstellen auf.

Der fertige Kunststoff-Fahrradrahmen wiegt 3,2 kg. Von den knapp 4,5 kg Schussgewicht verdrängen die drei Fluidvolumenströme 1,2 kg in die Nebenkavität. Als Alternative zum angewendeten sog. Ausblasverfahren in eine Nebenkavität wird für zukünftige Projekte auch das sogenannte

Masserückdruckverfahren geprüft. Bei dieser Verfahrensvariante wird die plastische Seele anstatt in eine Nebenkavität wieder zurück durch den Heißkanal in den Schneckenraum der Spritzeinheit gedrückt. Das hinausgedrückte Material könnte dann gleich beim nächsten Schuss wieder eingespritzt werden. In den Augen der Verantwortlichen ist für das gute Ergebnis ein umfangreiches Know-how in der gesamten Prozesskette aus Füll- und Struktursimulation, Konstruktion, Werkzeugbau, Verfahrenstechnik und Materialverhalten ausschlaggebend.

QS durch enge Toleranzbandüberwachung

Besonders wichtig ist die Reproduzierbarkeit des Prozesses mit identischen Eigenschaften von Formteil zu Formteil. Dazu stecken die Verantwortlichen das Prozessfenster aktuell enger ab. „Weil wir den Prozess und daher viele Parameter optimiert haben, können wir den Rahmen in 100 Sekunden Zykluszeit mit konstanter Qualität herstellen.“

Eine 100-%-Prüfung aller entstehenden Formteile hat sich als nicht erforderlich herausgestellt. Dr. Umut Cakmak: „Wir haben



Christian Wolfsberger hat den Wave-Rahmen für E-Bikes mitentwickelt und ist Business Development Manager Lightweight Composites bei Engel.



Auch dieser Carbon-Rahmen X1 für die norwegische Marke Buddy Electric soll in rund 100 Sekunden Zykluszeit hergestellt werden.



Foto: K-PROFI/Schneider

Frisch entformte Rahmen, noch mit den durch die Fluidinjektionstechnik gefüllten Nebenkavitäten.

„Wir gehen jetzt in die Serie und richten uns ein kleines Prüflabor ein“, berichtet Michael Müller, „alles in allem werden wir ermitteln, welche mechanischen Tests an jedem wievielten Teil vorzusehen sind. Aktuell stellen wir zwei Monate lang je 500 Rahmen her, danach 3.000 pro Monat. Die theoretische Kapazität beläuft sich an unserer Maschine auf 1 Mio. Stück pro Jahr.“

Kräftiger Support vom Maschinenhersteller

Als Spritzgießmaschinenhersteller hat Engel das Projekt über Jahre begleitet und unterstützt. Christopher Vitz, President Europe Central bei Engel: „V Frames ist ein Projekt, bei dem ein innovativer Gedanke gepaart mit der Umsetzungsfähigkeit des Teams und der Wirtschaftlichkeit des Konzepts zu einem total innovativen Produkt geführt hat.“ Christopher Vitz, auch Beiratsmitglied der Open Hybrid Lab Factory in Wolfsburg, ist voll Respekt vor der Leistung: „Wer sich einer Idee konsequent

mit allen relevanten Parametern eine DoE (Design of Experiment), eine statistische Versuchsplanung, aufgesetzt und Korrelationen von Maschinenparametern zu Bauteileigenschaften ermittelt.“ Christian Wolfsberger: „Damit reicht es aus, die Prozessparameter in der Maschinensteuerung

auf Toleranzbandüberschreitungen überwachen zu lassen. In der Abmusterung ermitteln wir, wie eng wir die Qualitätsparameter einstellen, um sicher sein zu können.“ Selbstverständlich setzt V Frames auf lückenlose Rückverfolgbarkeit durch eine parameterbasierte Dokumentation.



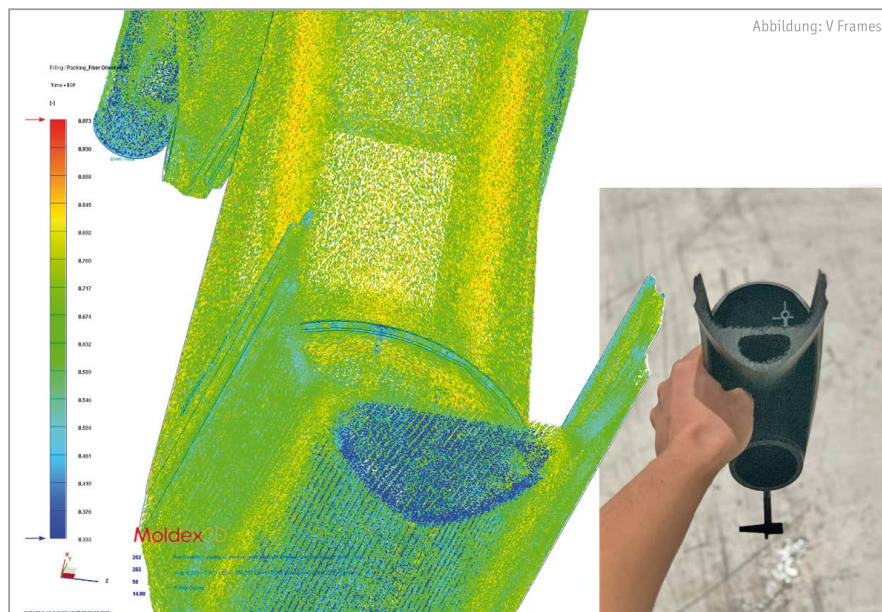
Foto: K-PROFI/Schneider

Die großen Spritzgießmaschinen bei Isoco stellen vor allem Ladungsträger, Klappboxen und Kunststoffpaletten her. Ein 17.000-kN-Modell produziert auch Fahrradrahmen.

verschreibt und ein innovatives Fertigungsverfahren angeht, muss ein ganz breites Feld beackern. Die Leute bei V Frames haben Hochschul-Know-how hereingeholt, Berechnungskompetenz engagiert und alles hervorragend umgesetzt. Trotzdem stehen wir erst am Anfang eines großen potenziellen Geschäftsbereichs, der in einer Anwenderbranche richtig etwas umstoßen kann. Ein gutes Produkt mit guter Ökobilanz, mit Recyclingpotenzial und mit dem Potenzial, etwas gesellschaftlich Positives zu leisten. Da werden wir in den nächsten Jahren viel von hören“, gibt er sich überzeugt – und setzt für seinen Arbeitgeber ein Statement: „Wenn wir als Engel die Chance haben, in solche Projekte hereinzukommen, nutzen wir das gerne.“

Kunststoff-Rahmen für Just-in-time-Montage

Die Endmontage hochwertiger E-Bikes findet im Wesentlichen in Deutschland und in den Niederlanden statt, weshalb in Saalfeld durchaus eine Just-in-time-Produktion möglich sei, erklärt Michael Müller. „Aus Asien haben wir immer den Seeweg dazwischen.“ Als große Markteintrittsbarriere bezeichnet Michael



Müller die Investitionskosten für Werkzeuge. „Eine Amortisation erreichen wir nur über die Produktion von Rahmen. Unser Konzept ist interessant für Kunden mit Interesse an großen Stückzahlen ab etwa 6.000 Stück. Ein einziges Werkzeug schafft rund 300.000 Rahmen pro Jahr. Solche Stückzahlen braucht aber

kaum ein einzelner Fahrradhersteller. Trotzdem könnten wir schon jetzt über diese eine Maschine einen sehr großen Markt bedienen.“

Die Füllsimulationen mit Moldex-3D bildeten bei der Fluidinjektion die erzielbaren Restwanddicken und Faserausrichtungen realitätsnah ab.

Christopher Vitz, President Europe Central bei Engel, lobt die Teamleistung bei V Frames.



Die Restwanddicke und die Faserorientierung sind wesentliche Qualitätsparameter und Kriterien für die Einhaltung der in der Strukturanalyse ermittelten Lastspezifikationen.



Michael Rieck, Business Development Manager bei Akro-Plastic, ist vom Potenzial von CF-Compounds für die Fahrradindustrie überzeugt.



Foto: K-PROFI/Schneider

Matthias Hölscher betreut als Area Sales Manager bei Engel die thüringischen Kunden, u.a. auch Isoco und V Frames.



Foto: K-PROFI/Schneider

Als Servicetechniker von Engel begleitet Florian Rammer aktuelle Versuche von V Frames mit Rezyklaten in der Fluidinjektionstechnik.



Foto: K-PROFI/Schneider

Mehrere Projekte und Geometrien in der Pipeline

Die Sparte Isoco Bikes wird im Herbst mit dem Vertrieb des ersten kommerziell erhältlichen Serienrads mit Wave-Rahmen beginnen. V Frames hat unterdessen weitere Fahrradrahmen für verschiedene OEMs in der Entwicklung. „Konkrete Projekte sind ein Kinderfahrrad und mehrere andere Modelle. Aktuell sind sieben Werkzeuge in der Konstruktion“, berichtete Michael Müller. So gehört die norwegische Buddy Electric zu den ersten, die mit dem Vertrieb von E-Bikes mit Carbon-Composite-Spritzgussrahmen beginnen. Das geschützte Design des Rahmens „Made in Germany“ stammt von Eker Design und Buddy Electric.

„Buddy Electric ist nicht unser erster Kunde, wir haben weitere Aufträge und Formen in der Entwicklung und Produktion, aber diese unterliegen noch verschiedenen NDAs. In den nächsten Monaten werden wir weitere OEM-Rahmen ankündigen“, sagt Michael Müller. Buddy Electric aus Norwegen verfügt über mehr als 20 Jahre Erfahrung mit Elektrofahrzeugen und hatte bereits 1993 ein erstes E-Bike entwickelt. Erst 2017 nahm Buddy das Produkt erfolgreich wieder auf und avancierte seither zu einem der größten E-Bike-Hersteller in Norwegen. Der Buddy sX1 soll im ersten Quartal 2022 erhältlich sein.

Früher oder später will Michael Müller das Schließkraftspektrum bei Isoco auf 35.000 kN ausbauen – nicht nur für das wachsende Geschäft mit Großbehältern und Großpaletten, sondern auch, um Kunststoffrahmen beispielsweise für Cargo-Bikes spritzgießen zu können.

Multiple Produktlebenszyklen im Visier

Zurück zum aktuellen Modell: Wie will V Frames bei einem länger genutzten Konsumgut einen geordneten und mengenmäßig zufriedenstellenden Rücklauf der Rahmen organisieren? Michael Müller: „Wir gehen davon aus, dass sich der Käufer eines E-Bikes beim Hersteller registriert, um seine Garantieansprüche zu dokumentieren. Damit bleibt eine Beziehung vom Hersteller zum Nutzer.“ Am Ende des Lebenszyklus soll der Rahmen des E-Bikes zum Rahmen eines CityBikes werden, der Rahmen des CityBikes ein paar Jahre später zum Rahmen eines Kinder-Bikes und der Rahmen des Kinder-Bikes dann zum Rahmen eines Laufrads. „So können wir über sehr lange Zeit multiple Produktlebenszyklen schaffen.“

Gleich am Tag nach dem sommerlichen Besuch von K-PROFI startet V Frames eine neuerliche Runde Versuche, Produktionsrezyklat aus der Rahmenproduktion zu neuen Rahmen zu verarbeiten – und das nicht nur mit Beimischungen, sondern mit 100 % Rezyklat. 

www.v-frames.com
www.plasticinnovation.at
www.iscobikes.com
www.akro-plastic.com
www.engelglobal.com