



BetonWerk International  
Deutschsprachige Ausgabe

5 | 2020

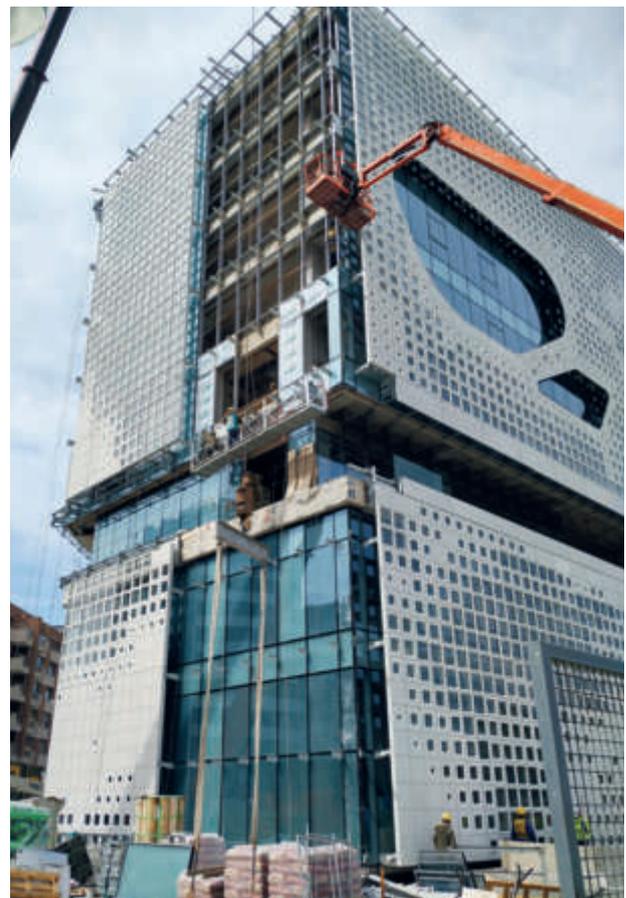
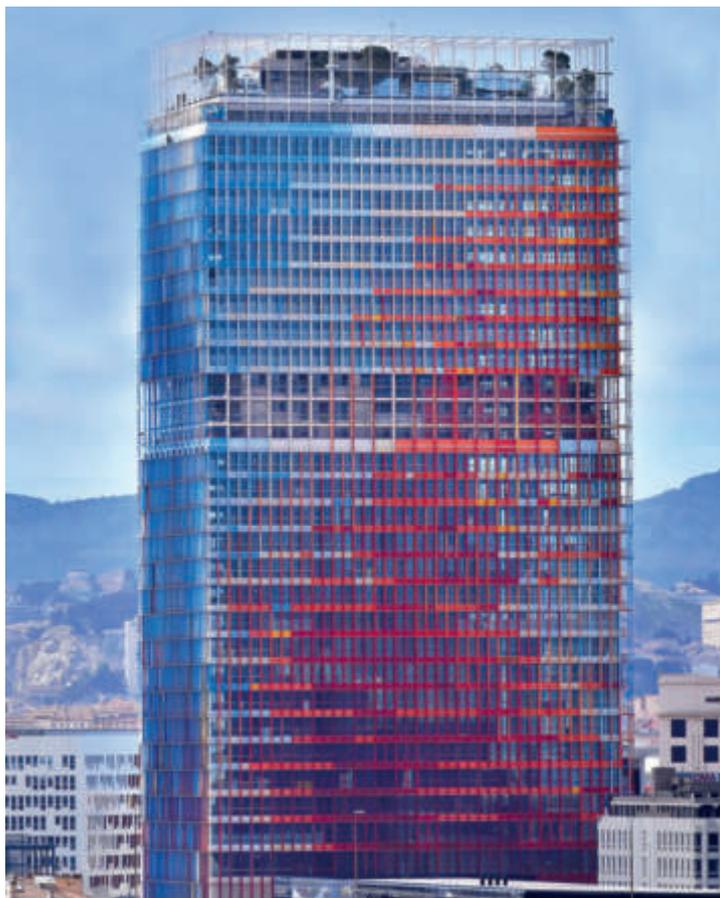
www.cpi-worldwide.com

SONDERDRUCK | BETONTECHNOLOGIE

Anwendungen und Möglichkeiten  
von Ultra-Hochleistungs-Faserbeton



SONDERDRUCK  
BWi 5/2020



- Abcic
- ABTC
- acip
- American Concrete Institute
- American Concrete Pipe Association
- ASSOBETON
- bibm
- British Precast Member
- CERES
- concrete LEARNING SOCIETY
- ICI
- IAB
- icpi
- OPCA
- NCMA
- NATIONAL PRECAST
- OPCH
- PBMA
- PCI
- PARIS CONCRETE

# Anwendungen und Möglichkeiten von Ultra-Hochleistungs-Faserbeton

■ M.Arch. Carlos Piles, Head of Ductal® EMEA & Asia, Ductal® a member of LafargeHolcim  
Dipl.-Ing. Stephan Müller, Sales Manager International, KrampeHarex GmbH & Co. KG

Der Begriff UHPC (ultra-high performance concrete: Ultra-Hochleistungsbeton) wurde erstmals 1994 verwendet, um einen zementgebundenen Baustoff mit optimierter Korngrößenverteilung zu benennen, der mit einer speziellen Auswahl an feinen und ultrafeinen Partikeln hergestellt wird, die zu niedriger Porosität, hoher Dauerhaftigkeit, sowie Selbstverdichtungsfähigkeit führen. UHPC hat eine Mindestdruckfestigkeit von 130 MPa und lässt sich für besondere Anforderungen an Dauerhaftigkeit, Duktilität und Zähigkeit optimieren. Der Mischungsentwurf enthält in der Regel Fasern, um bestimmte Anforderungen zu erfüllen (UHPRC - ultra-high performance fibre reinforced concrete: Ultra-Hochleistungs-Faserbeton). Die Betonbauweise wird mithilfe des UHPC dadurch vereinfacht, dass der Bedarf an konventioneller Stahlbewehrung eliminiert oder reduziert wird und dass die hohen Fließeigenschaften des Frischbetons die Selbstverdichtbarkeit fördern. Die Zementsteinmatrix von UHPC hat eine hohe Dichtigkeit sowie eine geringe Porosität und geringe Porenkonnektivität, was zu einer niedrigen Durchlässigkeit, einer reduzierten Eindringung unerwünschter Chemikalien und hervorragenden Dauerhaftigkeitseigenschaften führt. Die Kombination aus überlegenen Materialeigenschaften und hoher Entwurfsflexibilität unterstützt Architekten und Ingenieure bei der Planung und Konstruktion attraktiver, geschwungener Fassadenformen oder Platten mit großen Spannweiten. Insgesamt bietet dieses Material durch seine zahlreichen Vorteile optimierte Lösungen für die Bauindustrie. Zu diesen Vorteilen zählen eine hohe Konstruktionsgeschwindigkeit, verbesserte Ästhetik, hohe Dauerhaftigkeit und Wasserdichtigkeit, sowie Schutz vor Korrosion, Schlagfestigkeit und Widerstand gegen mechanischen Angriff, was zu reduzierten Wartungsanforderungen und einer längeren Lebensdauer des Bauwerkes führt.

Die in diesem Beitrag vorgestellten Fallstudien veranschaulichen die verschiedenen Anwendungen und das Gesamtpotenzial beim Entwerfen und Bauen mit UHPC. Eines der Beispiele bezieht sich auf Bauteile mit anspruchsvollen geometrischen Formen, ein anderes zeigt die Fähigkeit, sehr große Elemente zu entwerfen und dabei organische architektonische Formen beizubehalten, und ein weiteres Beispiel beschreibt ein architektonisches Fassadensystem aus UHPC. Darüber hinaus verweist dieser Beitrag auf eines der bisher größten UHPC-Brückensanierungsprojekte in Frankreich.

## Einfluss der Faser auf die Materialeigenschaften von UHPC

Die Wahl der Faser in der UHPC-Produktion hat einen großen Einfluss auf Mischungsentwurf, Verarbeitbarkeit, Festigkeit, und Duktilität des Betons. Darüber hinaus wirkt sich der Fasertyp auf den Preis des Materials und des Endproduktes aus.

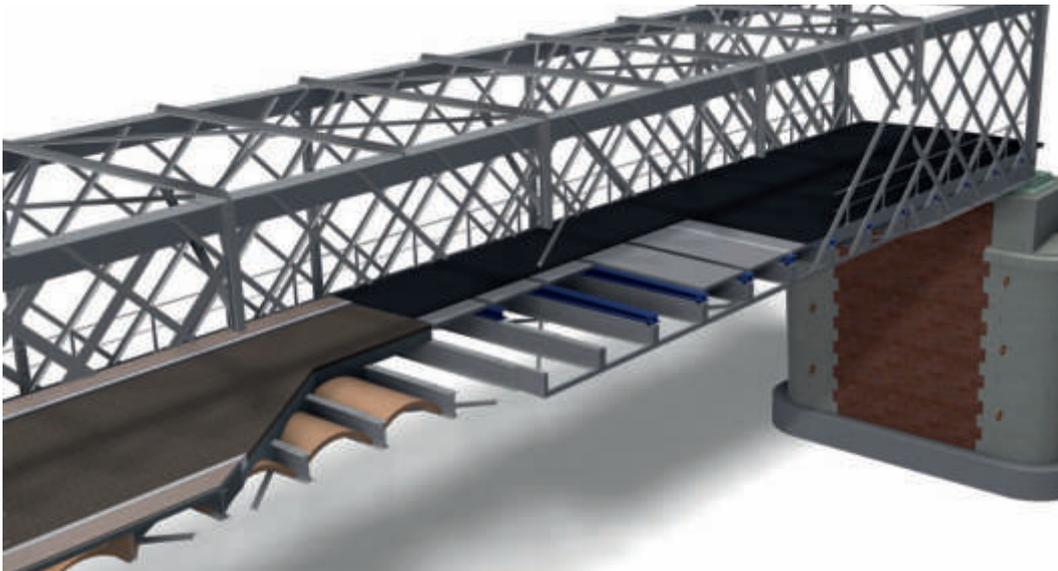
Die am häufigsten verwendeten Fasern in UHPC sind gerade und aus kaltgezogenem Stahldraht hergestellt, da sie aus Kostengründen die beste Wahl darstellen und sich darüber hinaus positiv auf die Eigenschaften des Frischbetons und der produzierten Betonbauteile auswirken. Die üblichen Stahlfaserlängen für UHPC liegen im Bereich von 6-20 mm, während die Faserdurchmesser 0,15-0,5 mm betragen.

Wenn UHPC einer korrosiven Umgebung ausgesetzt ist, kann die Verwendung von Fasern aus Kohlenstoffstahl zu einer Beeinflussung der Oberflächenästhetik führen. In diesen Fällen können Edelstahlfasern, die den Anforderungen aggressiver Expositionsklassen genügen, eingesetzt werden. Polypropylenfasern werden in der Regel für nicht tragende Anwendungen eingesetzt, um die Rissbildung durch plastisches Schwinden zu kontrollieren. Darüber hinaus können Polypropylenfasern die Feuerfestigkeit von UHPC erhöhen. Für nicht tragende Anwendungen werden auch andere Materialien wie Polyvinylalkohol (PVA), Karbon und Basalt als Fasern in UHPC verwendet.

## Fallstudien zur Anwendung von UHPC

### Mauves-sur-Loire

Die Sanierung der Mauves-sur-Loire-Brücke besteht darin, die Fahrbahnplatte (3.500 m<sup>2</sup>) mit einem Unterbau aus Ziegelsteingewölben durch eine filigrane Tragwerkskonstruktion aus UHPC-Platten zu ersetzen. Hauptziel des Projekts ist es, dieses historische Wahrzeichen durch eine Erhöhung der Tragfähigkeit aufzuwerten und die Erweiterung des Brückenquerschnittes mit auskragenden Fußgängerwegen zu ermöglichen. Die hiermit verbundenen technischen Herausforderungen werden mit dem Einsatz von ultrahochfestem Stahlfaserbeton gemeistert. Hierbei werden leichte Fertigplatten mit einer durchschnittlichen Dicke von 10 cm verwendet, die das



Die Mauves-sur-Loire-Brücke besteht aus UHPC-Fertigteilen, die im Delta Fertigteilwerk in Privas, Frankreich, mit Unterstützung von LafargeHolcom hergestellt wurden. Bei diesem Projekt wurden Stahlfasern (14 mm / 0,2 mm), vermessingt, verwendet. Die Fugen zwischen den Fertigteilen wurden mit Ultra-Hochleistungs-Faserbeton vergossen, um den Vollverbund mit dem Stahltragwerk herzustellen.

Eigengewicht der Brücke um 50 % reduzieren. Bei diesem Projekt wurden Stahlfasern (14 mm / 0,2 mm), vermessingt, verwendet.

Die Fertigteilelemente wurden im Delta Fertigteilwerk in Privas, Frankreich, hergestellt. Unterstützt vom technischen Team von LafargeHolcim hat Delta Prefabrication die verschiedenen Herausforderungen des Projekts durch strikte Einhaltung der französischen UHPFRC-Standards (NF P18-470 / NF P18-710 / NF P18-451) während der Eignungsprüfung und anschließend während der Produktionsqualitätskontrolle gemeistert. Um den Verbund zwischen der primären Stahlkonstruktion der Brücke und den Betonfertigteilen zu erreichen, wurden Kopfbolzendübel auf den horizontalen Stahlträgern und eine Anschlussbewehrung zwischen den Platten mit einem ultrahochfesten stahlfaserbewehrtem Mörtel vergossen. Bouygues TPRF/VSL, der für das Projekt verantwortliche Generalunternehmer, ist für die Installation der Platten und die konstruktive Anbindung an das Brückentragwerk verantwortlich. Das Projekt wird voraussichtlich bis November 2020, nach nur achtmonatiger Bauzeit abgeschlossen sein.

### La Tour „La Marseillaise“

La Tour „La Marseillaise“ wurde vom Architekten Jean Nouvel als „Skizze zum Himmel“ entworfen. Die komplette Fassade des 135 m hohen Hochhauses (31 Stockwerke) wurde mit insgesamt 2.100 Tonnen UHPC konstruiert. Die Fassade besteht aus vorgefertigten UHPC-Elementen, die sowohl zu der Wärmedämmung der Gebäudehülle beitragen als auch zum Schutz gegen Sonneneinstrahlung und zum Brandschutz. Zudem ermöglichen die Elemente eine effektive Gebäudeinstandhaltung.

Dank des Einsatzes von UHPC konnten sehr dünne Elemente (25-35 mm) produziert werden, wobei der Zeitaufwand für das Ein- und Ausschalen minimiert wurde. Auf diese Weise konnten Elemente mit komplexen Geometrien in geschlossenen Schalungen hergestellt werden. Die hohe Beständigkeit des ultrahochfesten Betons gegenüber aggressiven Umgebungen trägt dazu bei, die Dauerhaftigkeit des gesamten Gebäudes zu gewährleisten. Die Fassade besteht aus 3.500



Marseilles neue Hochhausfassaden bestehen aus vorgefertigten UHPC-Fertigteilelementen, die zu Wärmedämmung, Sonnenschutz, Gebäudeinstandhaltung und Brandschutz beitragen.

UHPC-Fertigteilen, die von der Méditerranée Préfabrication (Vinci Group) in einem eigens in Marignane errichteten Fertigteilwerk hergestellt wurden. Unterstützt durch Stahlfasern (14 mm / 0,2 mm), vermessingt, können die Fertigteile mit einer reduzierten Menge an konventioneller Stabstahlbewehrung, reduzierten Betonüberdeckungen und reduzierten Querschnittsabmessungen hergestellt werden.

Die UHPC-Fertigteile, die am Stahltragwerk des Gebäudes befestigt sind, sorgen für folgende Eigenschaften:

1. Abdichtung der Fassade gegen Witterungseinflüsse und Luft, mit nur 35 mm starken Elementen.
2. Wärmedämmung: 65 mm Polystyrol sind in die Schale aus UHPC eingebettet, um eine erste Schicht der notwendigen Dämmung bereit zu stellen.
3. Der Schutz gegen Sonneneinstrahlung erfolgt durch die Schatten spendenden UHPC-Elemente sowie durch die „Lamellen“, die seitlich als zusätzliche Gitter an den Elementen befestigt sind.
4. Die Gebäudeinstandhaltung wird durch die peripheren Kragträgerplatten entlang der Fassaden und durch eine am Kopf des Gebäudes aufgehängte Wartungsgondel

erleichtert. Die mit den UHPC-Elementen verbundenen Aussteifungen (100 mm x 160 mm) sind für Biege-, Druck- und Scherfestigkeit ausgelegt.

5. Der bauliche Brandschutz wird durch UHPC-Elemente gewährleistet, die sich als feuerstabil erwiesen haben und die Anforderungen an eine Feuerwiderstandsfähigkeit von 120 min erfüllen.

Das Hochhaus wurde mit der LEED Gold Zertifizierung und dem HQE Excellence Gütesiegel ausgezeichnet.

### Das chinesische Kulturzentrum in Belgrad

Die chinesischen Architekten TF 铨赋, Xiaofeng Zhang und Shan Huang haben dieses einzigartige Gebäude entworfen, das als chinesisches Kulturzentrum in Novi Beograd, Serbien, am Standort der ehemaligen chinesischen Botschaft von Jugoslawien dienen wird. Die Fassadengestaltung des Gebäudes wurde in einem Architekturwettbewerb ausgewählt, und das Design wurde von der alten chinesischen Kunstmalerei guóhuà inspiriert, eine der ältesten künstlerischen Traditionen der Welt. Das Projekt besteht aus dem chinesischen Kulturzentrum, einem Hotel sowie Wohn- und Büroflächen. Die Gebäudehöhe beträgt 36,7 m und die Gesamtgeschossfläche des Gebäudes 32.340 m<sup>2</sup>.

# KNOW WHY OUR FIBRES FOR UHPC ARE MORE EFFECTIVE.



**Stainless steel micro fibres**  
for esthetically high quality applications



**Steel micro fibres**  
for structural ultra-high performance concrete



**Polypropylene micro fibres**  
for fire resistant UHPC

#### APPLICATIONS

- + Slim and complex geometry precast elements
- + Thin-wall shell and highly loaded structures
- + Re-strengthening of concrete viaducts and steel bridge decks
- + Strong rooms, defence structures and ATMs

#### ADVANTAGES

- + Extreme density and wear resistance and better control of transverse cracking
- + Improved strength, tensile strength and shear strength properties
- + Extreme resistance against dynamic loads and blast impact
- + Outstanding resistance against all kinds of corrosion and chemical resistance
- + Reduction or substitution of conventional reinforcement





Für die äußere Hülle der Fassade entschieden sich die Architekten, die konstruktiven und gestalterischen Möglichkeiten von UHPC zu nutzen, mit Hilfe derer sich eine bildgebende Perforation der Elemente erzielen ließ. Für dieses Projekt wurde eine Lösung aus weißem UHPC mit Fasern aus Edelstahl (E304-Fasern, 14 mm / 0,2 mm) verwendet. Die Perforationen auf den UHPC-Fassadenplatten wurden mit fest verbauten, tragenden Glaselementen versehen.

Der Fertigteilhersteller Fibrobeton stand vor der großen Herausforderung, die insgesamt 6.000 m<sup>2</sup> an Fassadenbauteilen, unterteilt in 1.365 einzelne Plattenelemente, innerhalb von sechs Monaten herzustellen, wobei 1.200 der Platten unterschiedliche Kombinationen von acht verschiedenen Perforationen mit den zugehörigen Glasabmessungen hatten, was diese Elemente in Form, Größe und Geometrie einzigartig machte. Größere Plattenabmessungen reichten bis zu 5,5 m in der Länge und 1,2 m in der Breite, mit einer Dicke von 40 mm und einem 150 mm breiten Rahmen. Die Fassade wurde nach Installationspriorität und Einzigartigkeit der verschiedenen Elemente in Abschnitte unterteilt, wodurch eine hohe Effizienz bei der Installation erzielt wurde.

Für den Entwurf der Fassadenbauteile stellte die Begrenzung des Eigengewichtes der Gebäudehülle eine weitere Herausforderung dar, die inklusive der Glaselemente und der eingebauten Verankerungen bei unter 110 kg/m<sup>2</sup> liegen musste. Hierbei mussten in der Ausführungs-



*Die chinesischen Architekten TF 铨赋, Xiaofeng Zhang und Shan Huang haben dieses einzigartige Gebäude entworfen, das als chinesisches Kulturzentrum in Novi Beograd, Serbien, dienen wird. Für dieses Projekt wurde eine Lösung aus weißem UHPC mit Fasern aus Edelstahl (E304-Fasern, 14 mm / 0,2 mm) verwendet.*

planung die Elemente an ihren Rändern mit einem verstärkten Rahmen versehen werden, durch den sich die erforderliche Biegefestigkeit der filigranen Fertigteile erreichen ließ.

Das Produktionsteam bestand aus 55 Personen, die sich um den konstruktiven und architektonischen Entwurf der Elemente, um Entwurf und Herstellung der Schalungselemente, sowie um das Gießen, das Ausschalen, die Nachbehandlung, die Verpackung und den Transport der Elemente kümmerten, wobei all diese Arbeitsschritte in dem Firmenstandort in Düzce, Türkei, erledigt wurden. Die UHPC-Elemente wurden von Fibrobeton in ihrem Fertigteilwerk in Düzce produziert und mit speziellen Sattelschleppern zu der Baustelle in Serbien transportiert, wo sie von der chinesischen Baufirma Eighth Engineering Division installiert wurden.

Fibrobeton folgte einem sehr strengen Protokoll zur Qualitätssicherung für die konstruktiven und architektonischen Eigenschaften der Bauteile und konnte darüber hinaus eine gute Zusammenarbeit mit dem Bauunternehmer und dem Team von Ductal etablieren. ■

## WEITERE INFORMATIONEN



**KRAMPE HAREX®**

KNOW WHY.

KrampeHarex GmbH & Co. KG

Pferdekamp 6-8

59075 Hamm, Deutschland

T +49 2381 977 977

F +49 2381 977 955

[info@krampeharex.com](mailto:info@krampeharex.com)

[www.krampeharex.com](http://www.krampeharex.com)

### LafargeHolcim Ductal

Ductal ist die UHPC-Technologie von LafargeHolcim und wurde in den 1990er Jahren entwickelt. In den vergangenen 30 Jahren wurde Ductal für UHPC-Projekte auf der ganzen Welt verwendet - von Nordamerika über Mosambik und Brasilien bis China, was Ductal zu einem der führenden UHPC-Lieferanten der Welt macht. Ductal zeichnet sich durch seine hohe Druckfestigkeit mit Werten bis zu 200 MPa aus, kombiniert mit hoher Biegefestigkeit mit Werten bis zu 22 MPa. Der Einsatz des engagierten F&E-Zentrums in Lyon, in dem kontinuierlich neue und innovative Lösungen für Kunden erdacht und entwickelt werden, macht dies möglich. Das Portfolio von Ductal Solutions reicht vom Bereich Infrastruktur mit den Schwerpunkten Brückensanierung und Gebäudeinstandhaltung, Schutz hydraulischer Bauwerke und Verstärkung von Bestandstunneln aus Wellblech, bis hin zu Wohngebäuden und kommerziellen Gebäuden, für die Ductal Lösungen für Vorhangfassaden, Sonnenschutz und Vollfassaden anbietet. In den letzten Jahren haben Ductal-Lösungen dank der Reduzierung des Materialverbrauchs für die zu produzierenden Bauteile dazu beigetragen, die CO<sub>2</sub>-Emissionen/m<sup>2</sup> im Gebäudebau zu reduzieren. Darüber hinaus hat die Ductal-Lieferkette ihr Engagement zur Reduzierung ihrer CO<sub>2</sub>-Emissionen in Bezug auf Rohstoffverwertung und Produkteigenschaften unter Beweis gestellt und das Nachhaltigkeitszertifikat FRET 21 erhalten.

### KrampeHarex

KrampeHarex® ist einer der weltweit größten privaten Hersteller von Fasern für die Bauindustrie und hat eine Produktionskapazität von 70.000 Tonnen pro Jahr. Seit 1982 produziert das Familienunternehmen Krampe in drei Werken in Deutschland und Tschechien Stahlfasern und Polypropylenfasern. KrampeHarex kooperiert mit Kunden aus 40 Ländern, die eine Vielzahl von Industriebereichen repräsentieren, einschließlich konstruktiven Ingenieurbau, Hochbau und Tiefbau. In den vergangenen 30 Jahren hat KrampeHarex zusammen mit den führenden UHPC-Herstellern eine breite Palette von Stahl- und Edelfstahlfasern entwickelt. Dies wurde auch dadurch ermöglicht, dass KrampeHarex neben der Faserformung und dem Schneiden der Fasern auch in Eigenproduktion den dafür benötigten Draht zieht.

Seit 2015 bezieht KrampeHarex Ökostrom (CO<sub>2</sub>-frei), was den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck des Unternehmens deutlich reduziert hat. Das Energiemanagementsystem von KrampeHarex, das der DIN 50001 genügt, fördert eine nachhaltige Energienutzung, die eine optimale Ressourcennutzung und die Reduzierung von Treibhausgasemissionen umfasst.