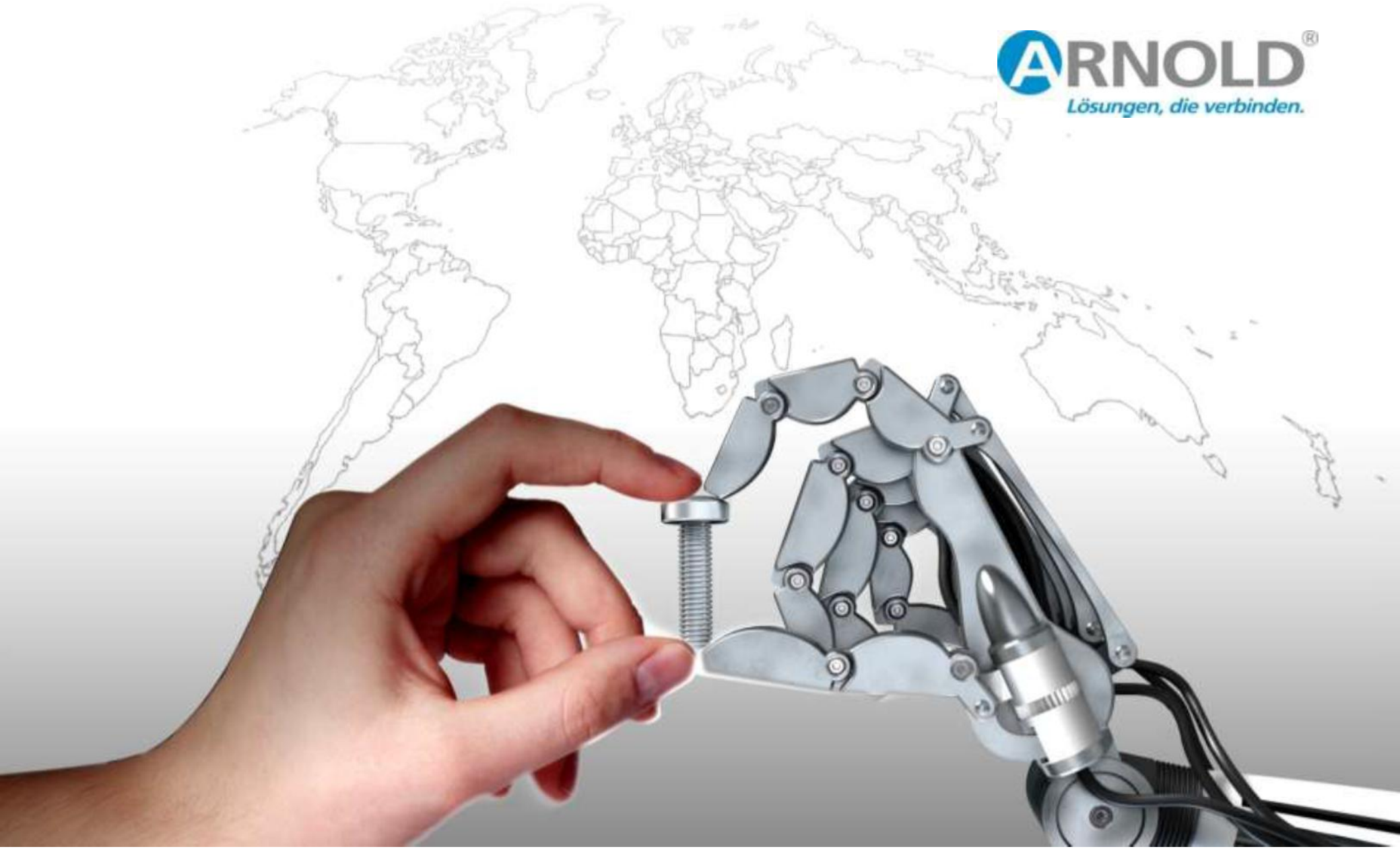


Direktverschraubung von Polymerwerkstoffen

Von der Idee zur Serie: Auslegung und Validierung der Schraubparameter

MEMBER OF THE WÜRTH GROUP

Die Arnold Gruppe – Standorte weltweit

ARNOLD®
Lösungen, die verbinden.

Wir entwickeln intelligente Lösungen und formen daraus eigene Markenprodukte.

Flowform®

Die innovative Blechverbindung ermöglicht das Fügen mehrerer Bauteile ohne Vorlochung.

REMFORM®

Diese Kunststoff-Direktverschraubung macht Inserts und Einlegeprozesse künftig überflüssig.

MAThread®

Innovative Ansatzspitze zur Vermeidung des schrägen Eindrehens der Schraube.

TAPTITE 2000®

Kein Gewindeschneiden mehr dank selbstständig und spanlos gewindefurchender Metall-Verbindungselemente.

ATP®

Schnellverbindersystem für ultrakurze Montagezeit beim Verbinden von Kunststoffen und Leichtmetallen.

Alufast®

Schrauben aus Aluminium, die weniger Kontaktkorrosion und Klemmverlust bei Verschraubungen in Leichtmetalle als Stahlschrauben aufweisen und dabei eine geringe Bauteiledimensionierung ermöglichen.

Conform®

Kostenoptimierte Multifunktionsteile mit bis zu sechs Umformstufen für Lagerbolzen und verschiedenste Teile.

LocTec®

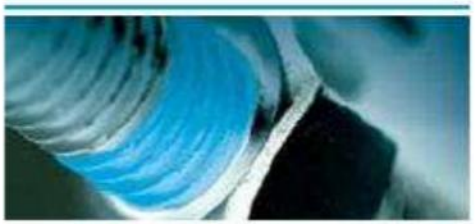
Auf herkömmlichem Weg unlösbare Sicherheitsverschraubung dank Kombination von Schraubenantrieb und Montagewerkzeug.

ARNOLD®
Lösungen, die verbinden.

Wir liefern mehr als nur Verbindungselemente!

Fastener Forum

Kompakte Seminare informieren über innovative Entwicklungen im Bereich Verbindungstechnik!



ThreadLoc®

Das Komplettprogramm für Gewindesicherungen schafft nachhaltig erfolgreiche Verbindungen.

Cleancon®

Erhöhte Betriebssicherheit dank technischer Sauberkeit bei der Herstellung von Verbindungselementen.

Fastener Express

Prototypen und Funktionsmuster – von Anfang an in der richtigen Qualität.

Arncad®

e-Engineering bei der Entwicklung von Verbindungselementen zur Direktverschraubung von Metallen und Kunststoffen.

Innovationsfabrik

Entwicklung innovativer, kostenoptimierter Verbindungslösungen anhand konkreter Marktanforderungen.

Fastener Testing Center

Full-Service Programm für die Bereiche Prüfen, Testen, Messen und Qualifizieren von metallischen Bauteilen.

Effective Programme

Ganzheitlicher Ansatz zur nachhaltigen Kostenoptimierung in der Verbindungstechnik.

ARNOLD®
Lösungen, die verbinden.

Wir begeistern unsere Kunden!

BMW
BOSCH Technik fürs Leben
Continental
MAGNA MAGNA CARTECH
HELLA
MAN
DAIMLER
WÜRTH
Audi
TRIUMPH
CRH BY JOHNSON CONTROLS
MANN+HUMMEL
Keller &Kalmbach
Miele
TRW
KSPG Automotive
B/S/H/
ebmpapst
WABCO
MAHLE

Grundlegendes zum Thema Schraube

Fügetechniken

Schrauben	X	X	X
Kleben	X	X	X
Schweißen	X	-	-
Nieten	X	-	-
Schnappen	X	-	-

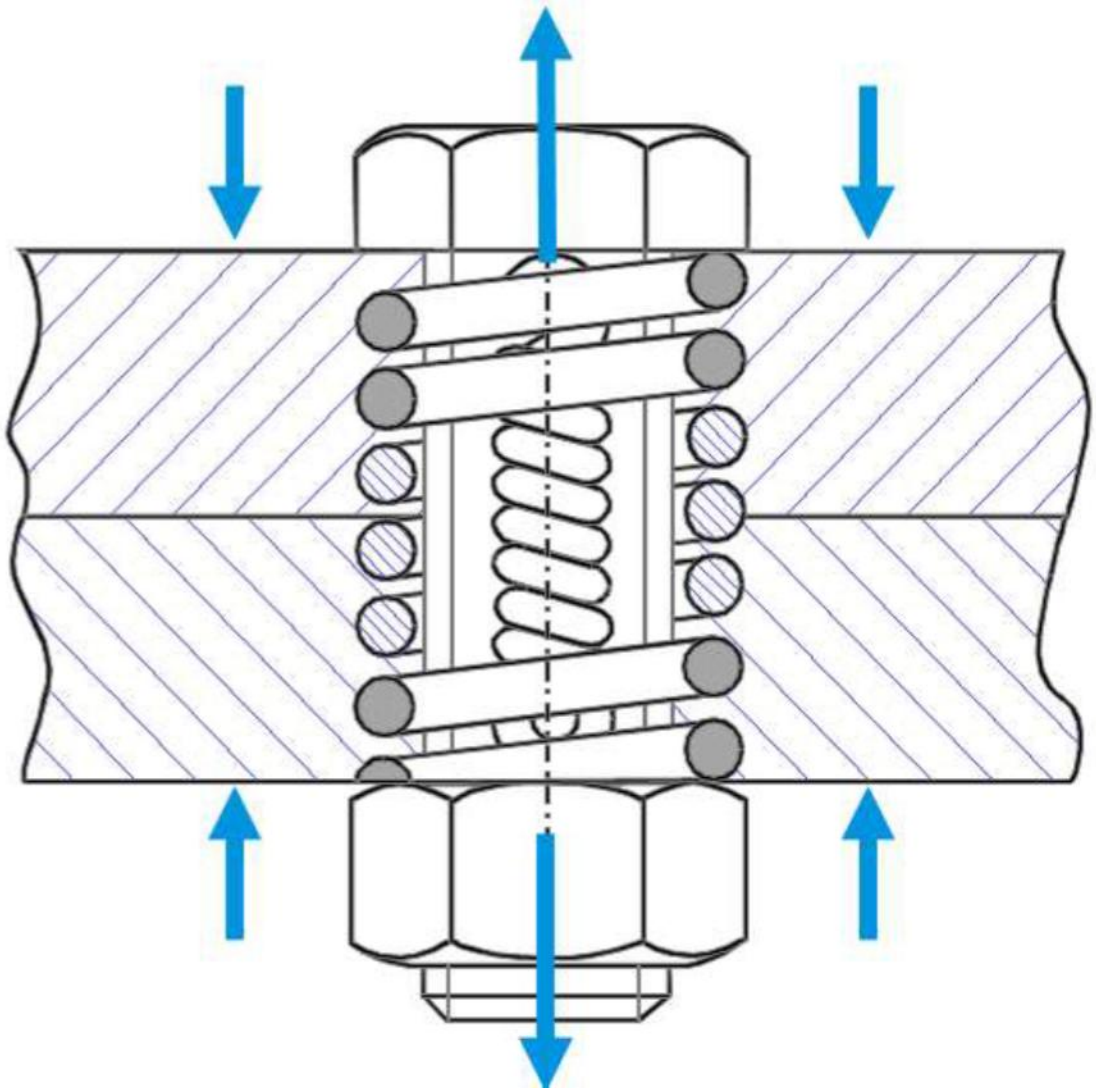
Quelle: Hellerich, Harsch, Bauer, Werkstoff-Führer Kunststoffe

Wozu Schrauben einsetzen?

- Vorspannkraft
- Lösbarkeit
- Montagefreundlichkeit
- Andere Fügetechniken nicht wirtschaftlich
- Andere Fügetechniken nicht möglich

Schraubenverbindung als Federmodell

- Verbindung zweier oder mehrerer Bauteile, so dass sie sich unter Lastangriff wie ein Bauteil verhalten.
- Kein Verschieben in der Trennfuge, kein selbstständiges Lösen.
- Klemmkraft muss exakt erzeugt werden. Der Prozess muss stabil, wiederholbar und reproduzierbar sein.
- Wirtschaftlichkeit muss/ soll gegeben sein

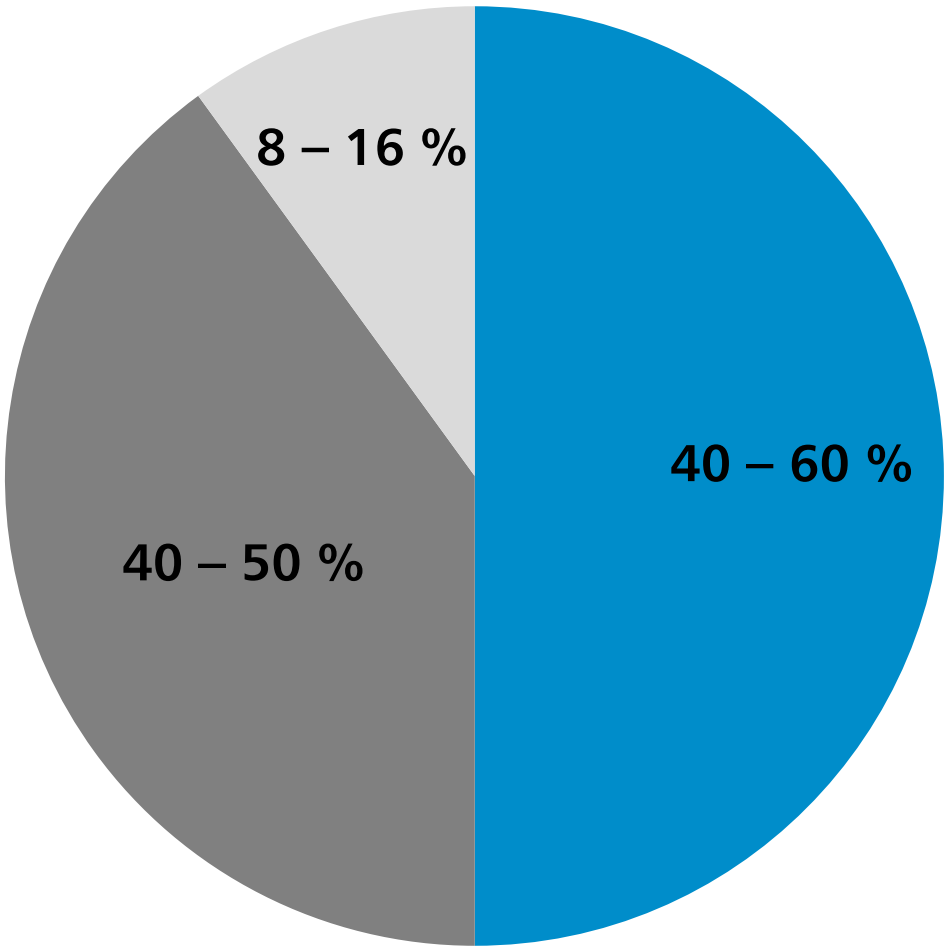


Vorspannkraft und Drehmoment – Etwas Theorie

$$M_A = F_V \left(0{,}16 * P + 0{,}58 * d_2 * \mu_G + \frac{D_{Km}}{2} * \mu_K\right)$$

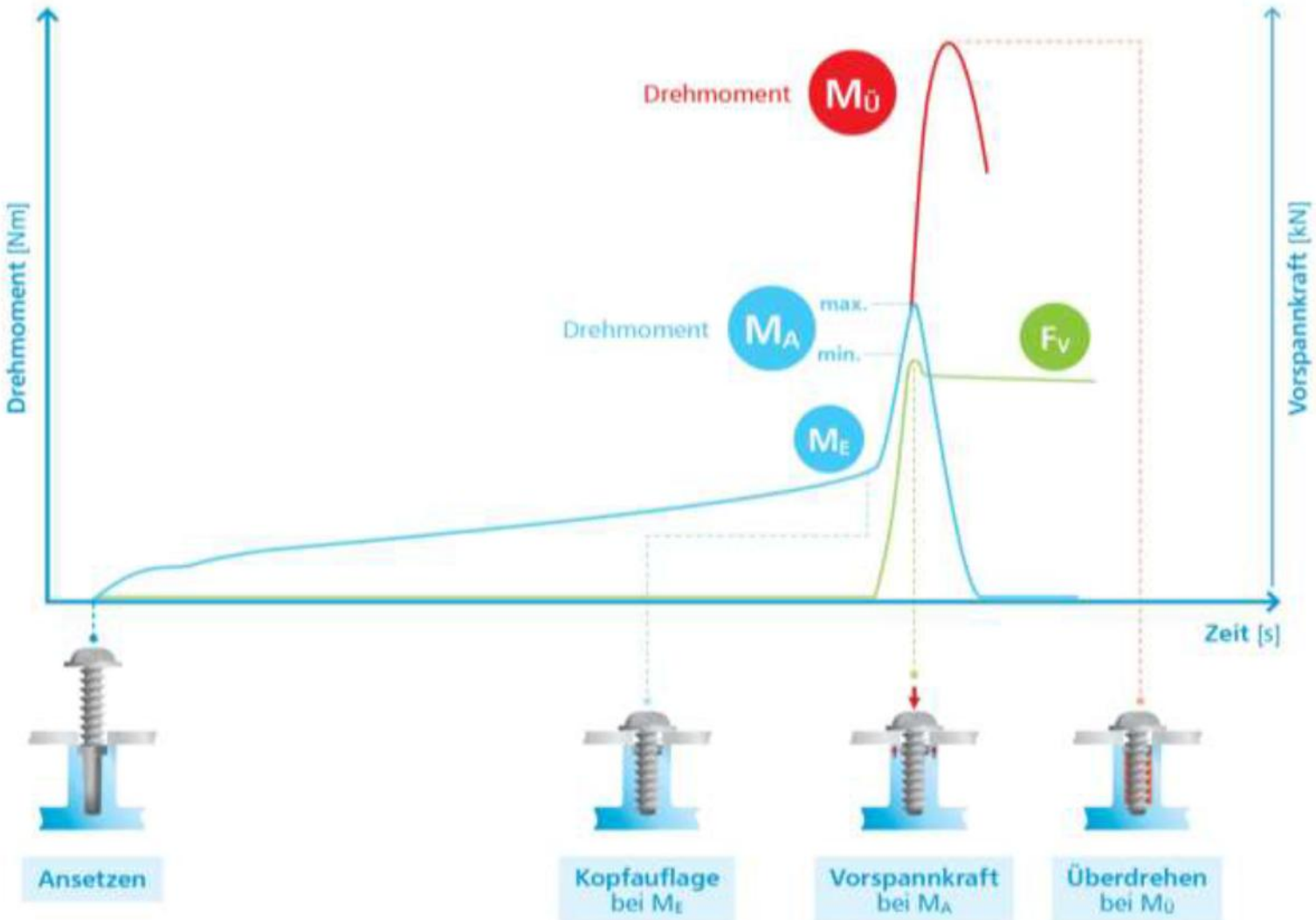
M_A	Anziehdrehmoment
F_V	Vorspannkraft
P	Gewindesteigung
d_2	Gewindeflankendurchmesser
μ_G	Gewindereibungszahl
D_{Km}	wirksamer Durchmesser für das Reibungsmoment in der Schraubenkopf- oder Mutternauflage
μ_K	Kopfreibungszahl

Grafische Aufteilung der Drehmomentbeiträge



- Kopfreibmoment
- Gewindereibmoment
- Gewindesteigungsmoment (zur Erzeugung der Vorspannkraft)

Aufbau Schraubkurve



Direktverschraubung von Kunststoffen

Vor der Auslegung

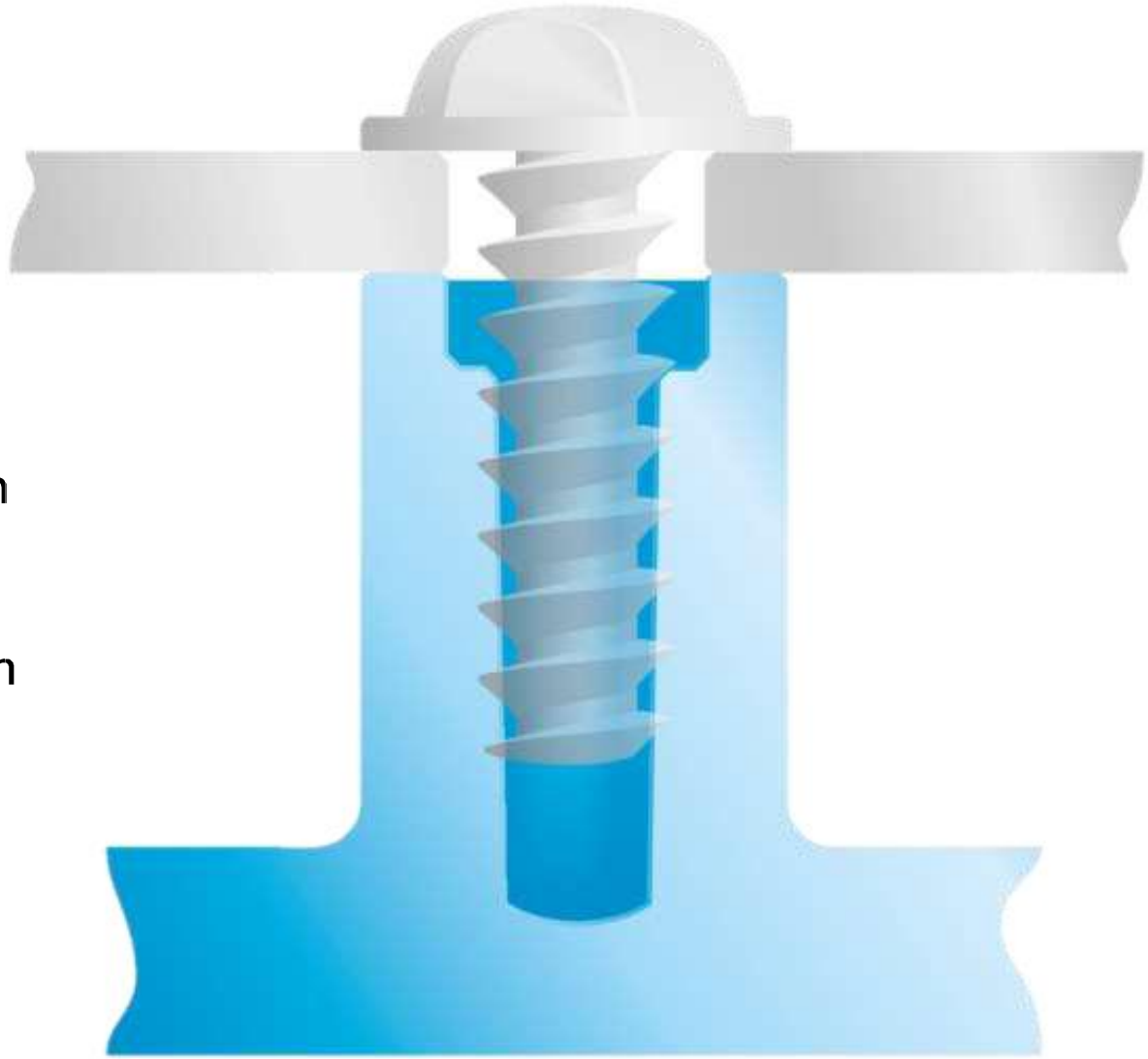
Wissenswertes VOR der Auslegung

- Wie ist die Nutzung des Bauteils über die Lebensdauer?
- Welche Betriebskräfte treten am Bauteil auf?
- Wird eine Wiederholverschraubung vorkommen ?
- Reicht die Vorspannkraft/ Klemmkraft über die Lebensdauer?
- Wie muss die Schraube Dimensioniert sein?
- Ist die Geometrie richtig für den eingesetzten Werkstoff?
- Ist die Verbindungslösung technisch und wirtschaftlich vertretbar?
- Wie hoch ist der Automatisierungsgrad der Verschraubung in der Serie?
- Ist das Bauteil automatisierungsgerecht konstruiert?
- Die Schraubenauslegung muss vor Serieneinsatz durch Erprobung auf ihre Haltbarkeit getestet werden. (Versuchsfreigabe)

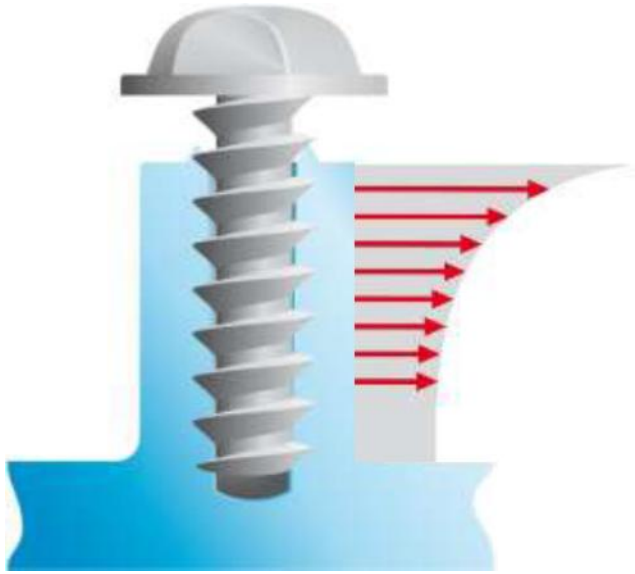
- Etc.

Vorgelagerter Prozess: Konstruktion

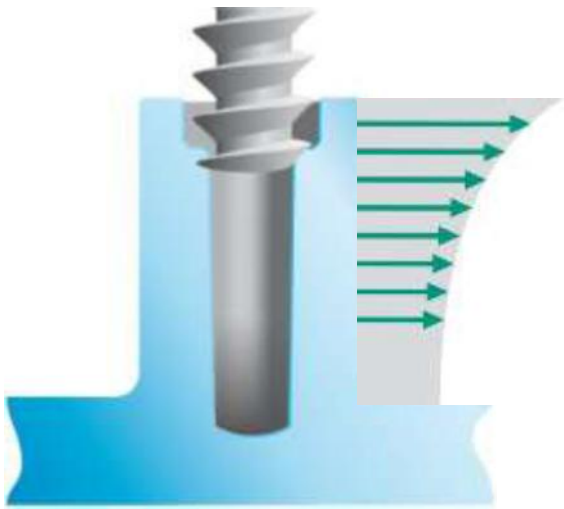
- Bindenähte vermeiden
- Faserverteilung und -orientierung
- Wanddickenverhältnisse beachten
- $Ø_A$ zu $Ø_I$ konzentrisch
- Entformungsschrägen klein halten
- Schwundmaße einhalten
- Geeignete Wahl Anspritzpunkt(e)
- Etc.



Konstruktive Auslegung: Entlastungsbohrung

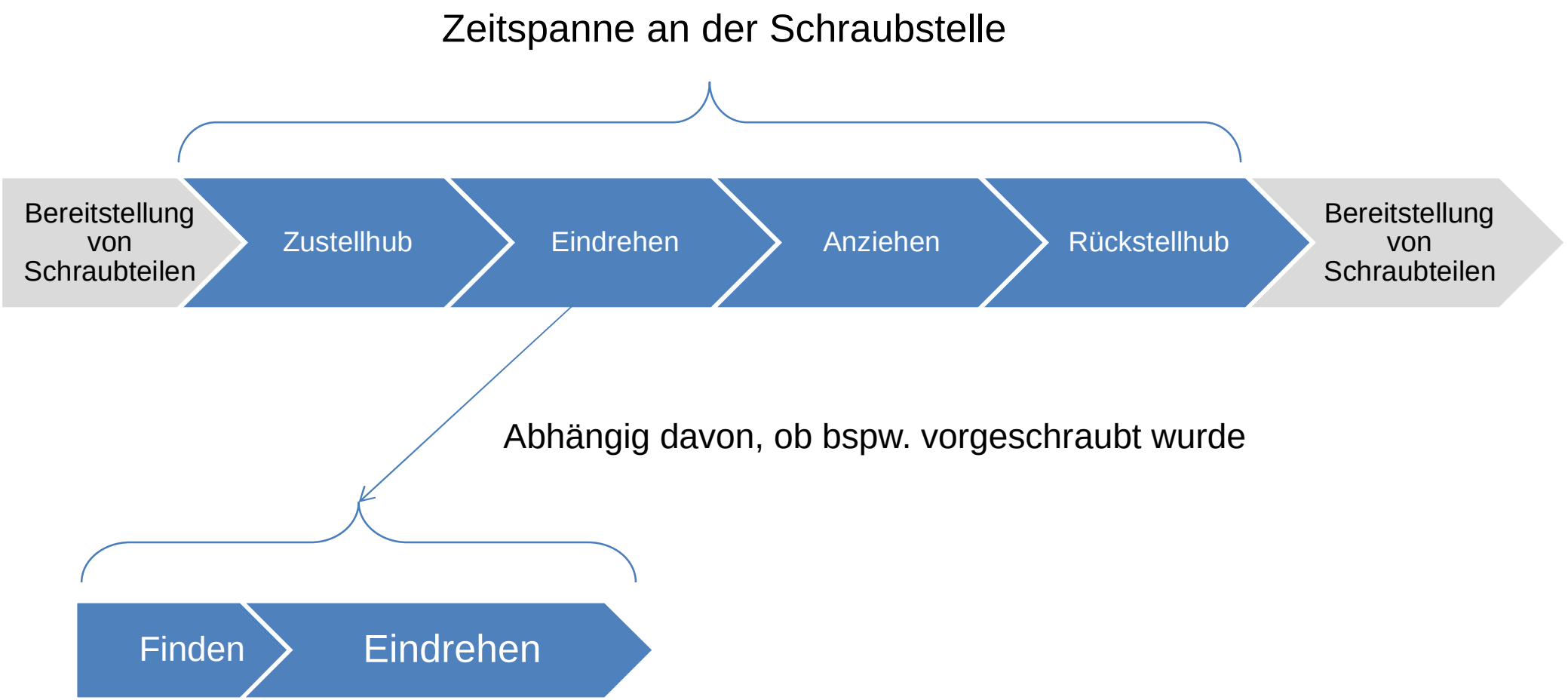


- Ungünstige Spannungsverteilung
- Materialvorschub in Trennfuge
- Schlechtes Einfädeln



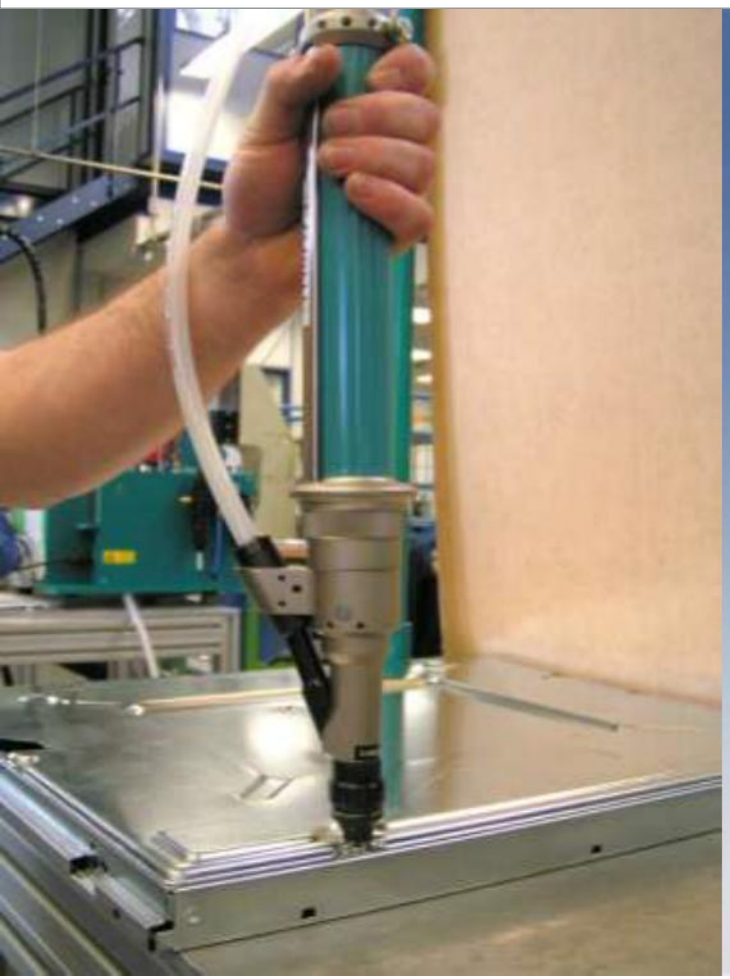
- Harmonischer Spannungsverlauf
- Material kann aufgefangen werden
- Einfädelhilfe
- Verringerung der Spannungen im Werkstoff

Schraubprozess



Quelle: ICS Handbuch, Industrielle Schraubmontage, Deutscher Schraubenverband e.V.

Maschinenkonzepte

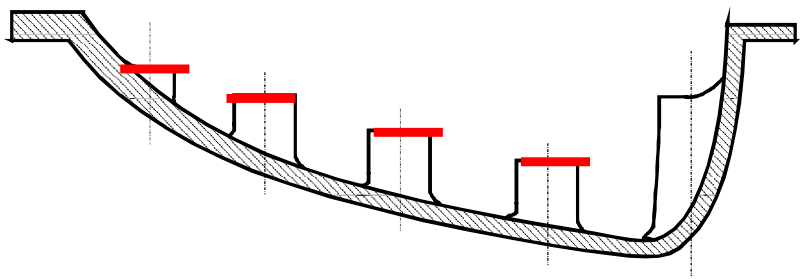


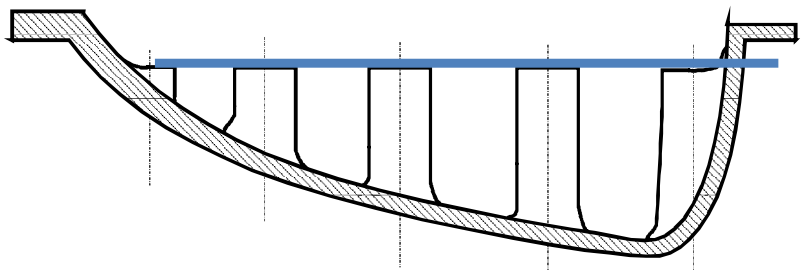
Handautomat

Mehrspindler

Roboter

Beispiel Einschraubebenen





5 verschiedene Einschraubebenen

→5 verschiedene Höhen

→aufwendige z-Achse

Nicht montagegerecht!

1 Einschraubebene

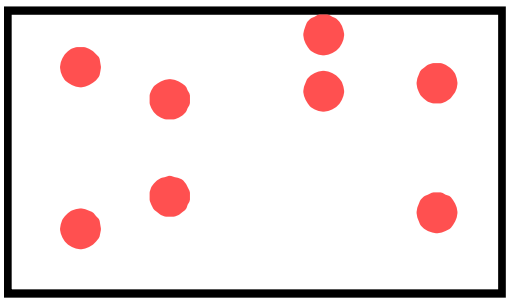
→1 Höhenposition

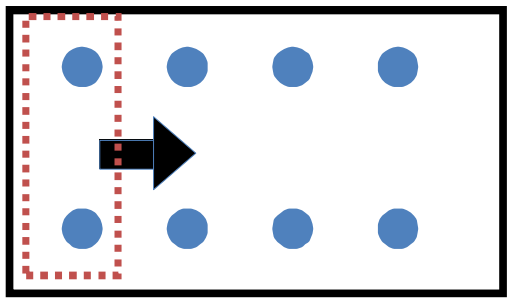
→ Einfache Positionierung

Montagegerecht!

Quelle: Weber Schraubautomaten GmbH/ DEPRAG Schulz GmbH

Beispiel Lochbild und Montagekonzept





Nicht symmetrisches Lochbild

→ 1 Spindel zu langsam (?)

→ 8 Spindeln zu teuer (?)

Automatische Montage (stationär) ist nur begrenzt sinnvoll bzw. wirtschaftlich.

Symmetrisches Lochbild

→ 1 Spindel zu langsam

→ 8 Spindeln zu teuer

→ 2 verfahrbare Spindeln (oder 4)

Automatische Montage (stationär) ist sinnvoll bzw. wirtschaftlich.

Quelle: Weber Schraubautomaten GmbH/ DEPRAG Schulz GmbH

Direktverschraubung von Kunststoffen

Auslegung der Schraubstelle

Unterstützung in jeder Entwicklungsphase: Fasteneering

Analyse

Planung

Konfiguration

Prognose

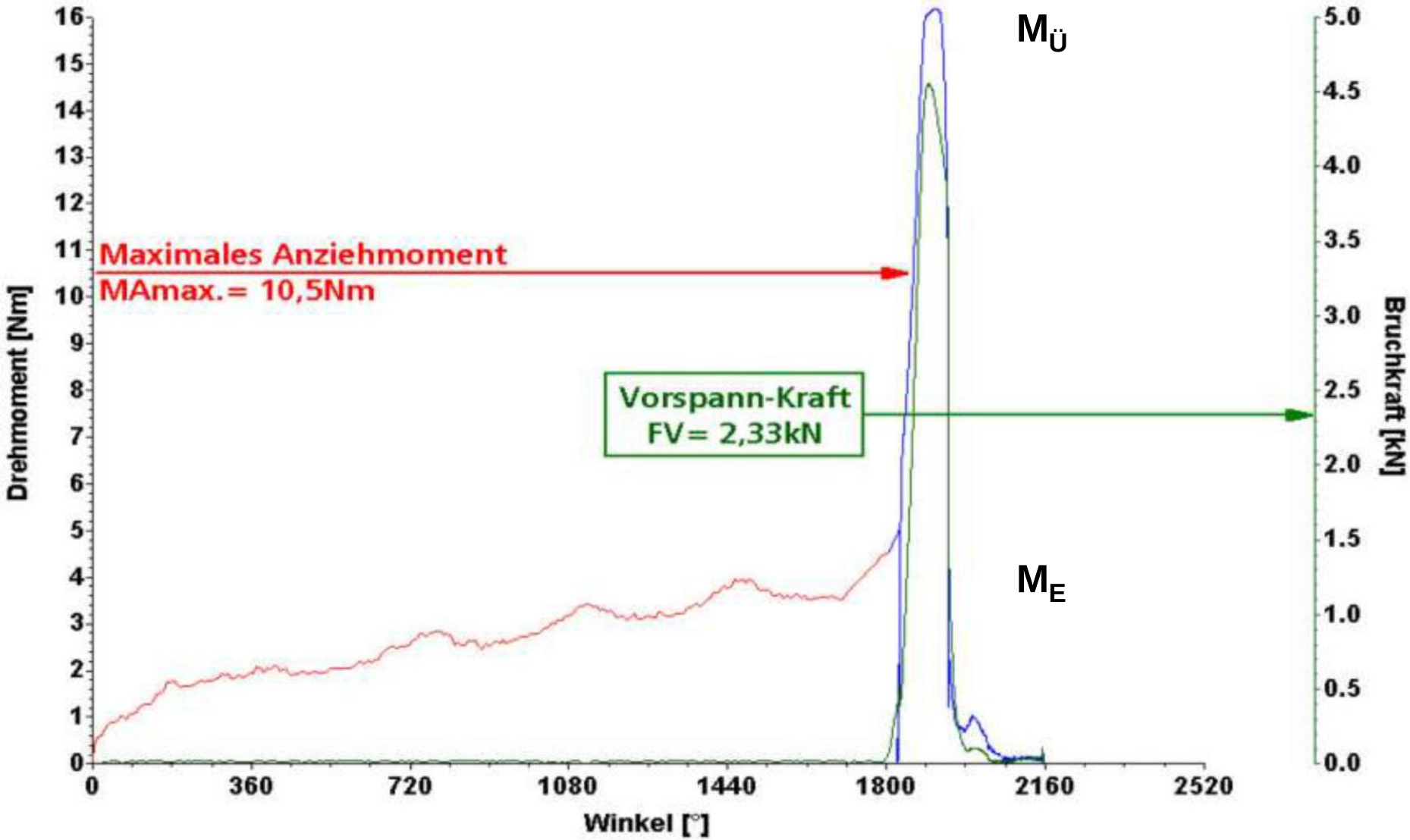
Prototyping

Testing

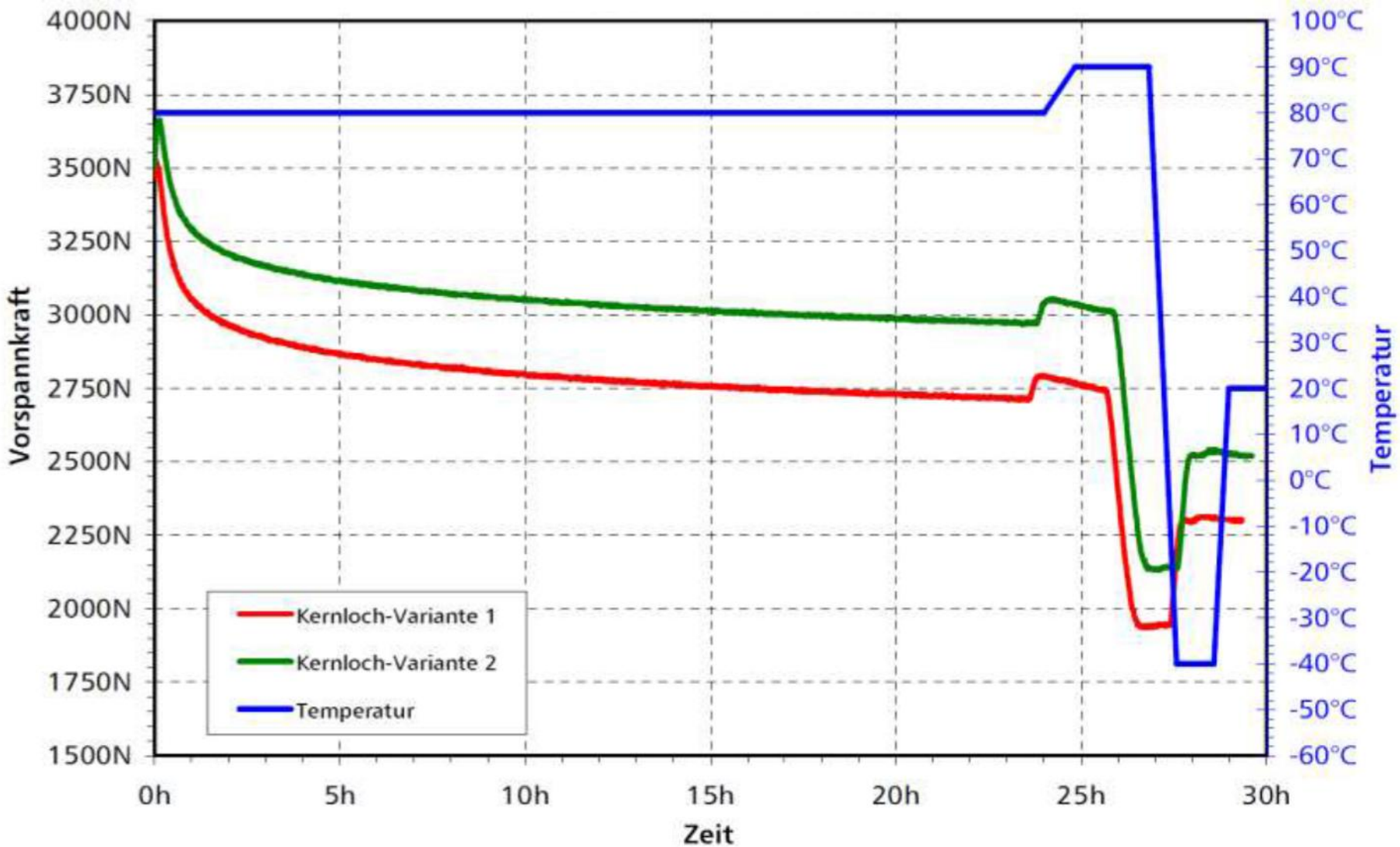
Implementierung

Pre- und After-Sales-Service

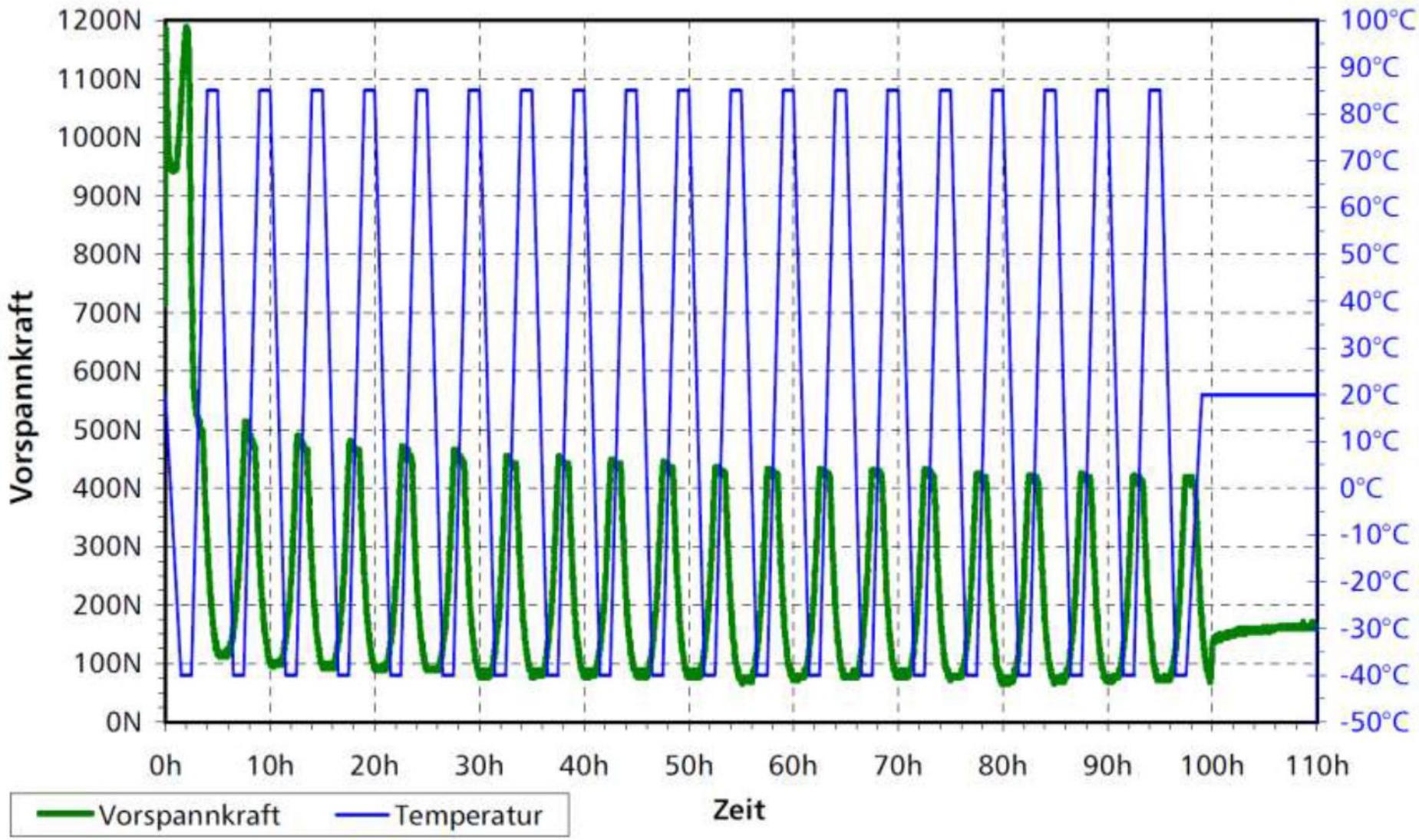
Bestimmung M_E, $M_Ü$, M_A und F_V



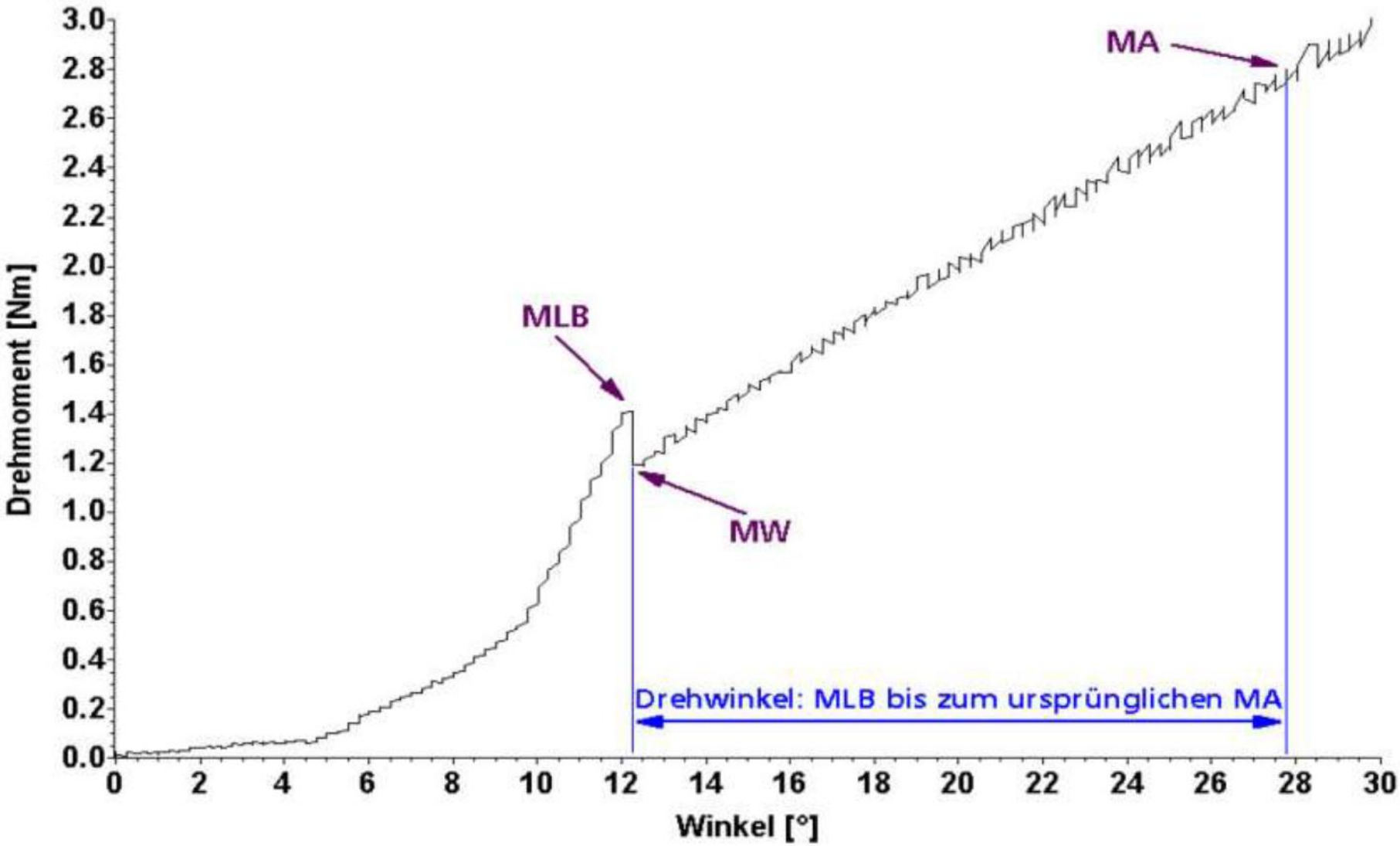
Verlust F_V durch Temperatureinfluss – konstante Belastung



Verlust F_V durch Temperatureinfluss – zyklische Belastung



Weiterdrehmoment

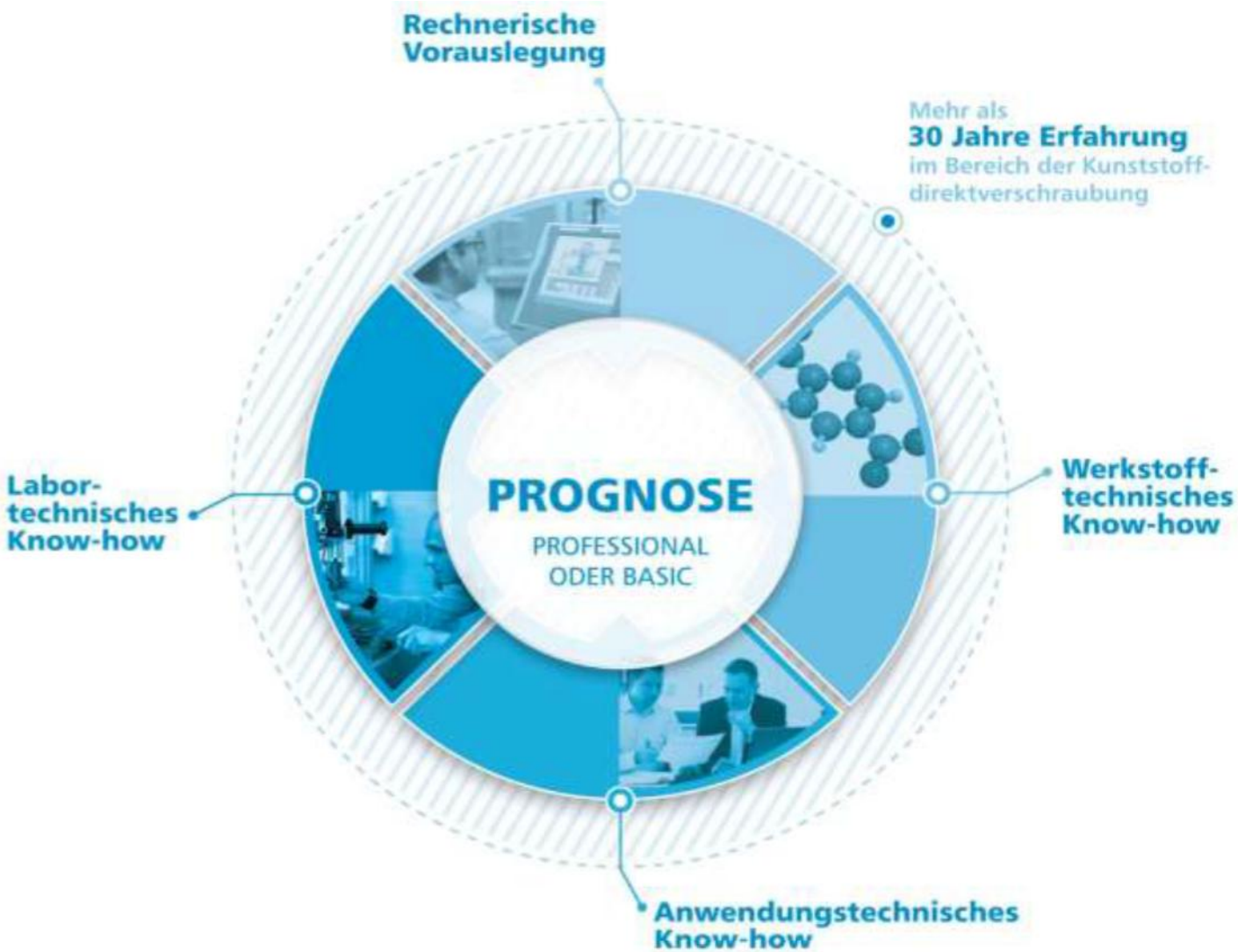


Setzkraftverlust

	Ma	Fv1	Mw	FV2
	(Nm)	(%)	(Nm)	(%)
	4,00	100	3,08	77,00
	4,00	100	3,21	80,25
	4,00	100	3,01	75,25
	4,00	100	2,95	73,75
	4,00	100	3,32	83,00
Min			2,95	73,75
Max			3,32	83,00
Mittelwert	4,00	100	3,11	77,85

Quelle: REC® Engineering

Prognose


Rechnerische Vorauslegung
Mehr als
30 Jahre Erfahrung
im Bereich der Kunststoff-direktverschraubung
Labor-technisches Know-how
PROGNOSE
PROFESSIONAL ODER BASIC
Werkstoff-technisches Know-how
Anwendungstechnisches Know-how

Fast Designer *PLASTICS*: Auszug

FAST DESINGER *PLASTICS*

Professional Prognose für Testkunde

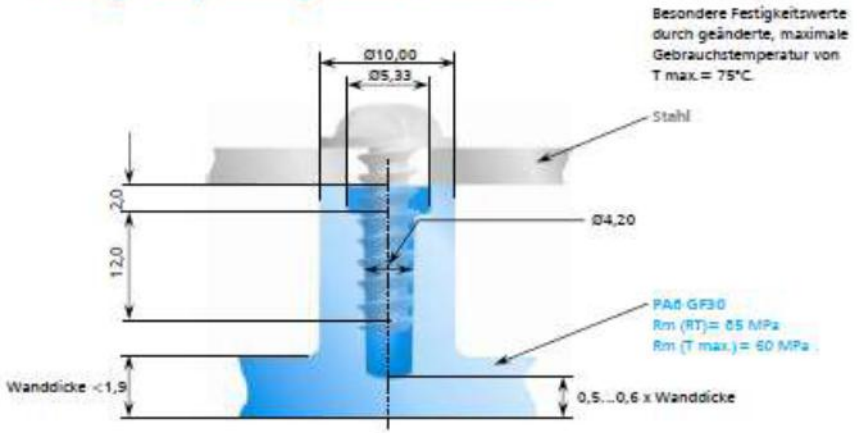
Datum	Prognose-Nummer
12.09.2013	2013-0254-0943-Testkunde

Die Prognoseergebnisse müssen durch Versuche in der Praxis an Serienbauteilen verifiziert werden. Jegliche Haftung ist

MEMBER OF THE WÜRTH GROUP

Tubusgestaltung und Montage-Parameter

» Design-Empfehlung: Einschraubtubus



REMFORM® Ø5 x 20 - Fkl.10 - (Zeichnungsteil)			
Lochdurchmesser	d KL	[mm]	4,20
Einschraubtiefe	ET	[mm]	12,00
Entlastungstiefe	H	[mm]	2,00
Durchmesser Entlastungsbohrung	D ES	[mm]	5,33
Tubus-Aussendurchmesser	B	[mm]	10,00

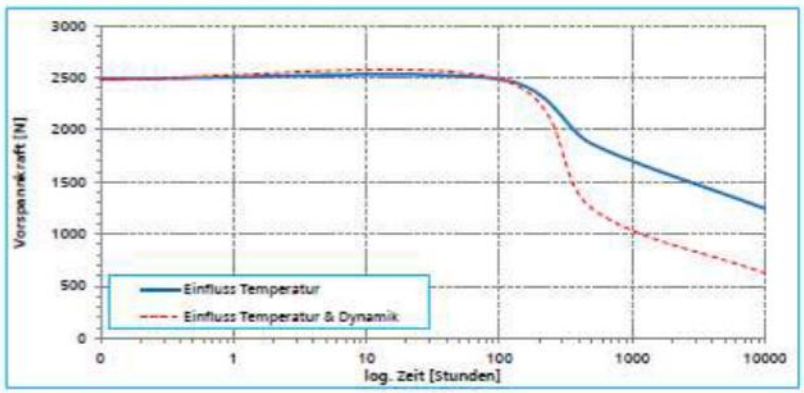
» Prognose: Montage-Parameter

Montage-Empfehlung				
Montagedrehmoment	(KD-Vorgabe)	MA	[Nm]	5,00
Einschraubmoment		ME	[Nm]	3,33
Schraubenbruchmoment		MB	[Nm]	13,89
Montagevorspannkraft		FV	[N]	2.455
Drehzahl		n	[rpm]	500

Fast Designer *PLASTICS*: Auszug

Vorspannkraft-Verlauf und Produktempfehlung

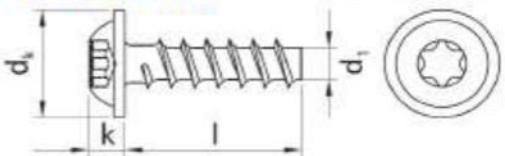
» Vorspannkraft-Verlauf



» Produktempfehlung

Flachrundkopf mit Innen-TORX®

REMFORM® **WN-156-02**



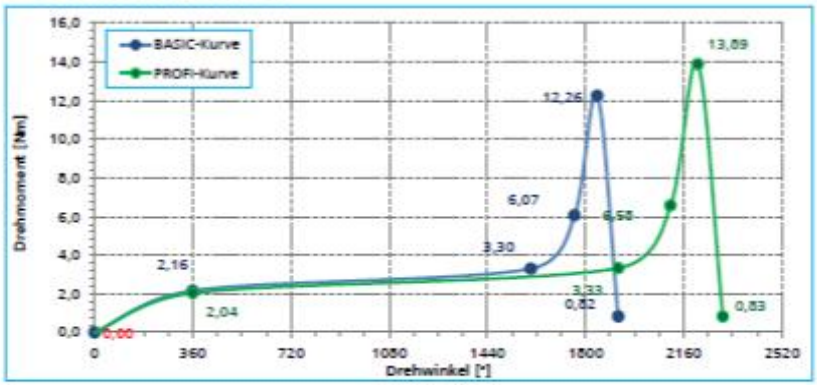
Abweichende Kopfabmessungen zu WN-156-02
dk [mm]= 12,00
k [mm]= 5,00
» Zeichnungsteil !

Muster gewünscht? Bitte sprechen Sie uns an.

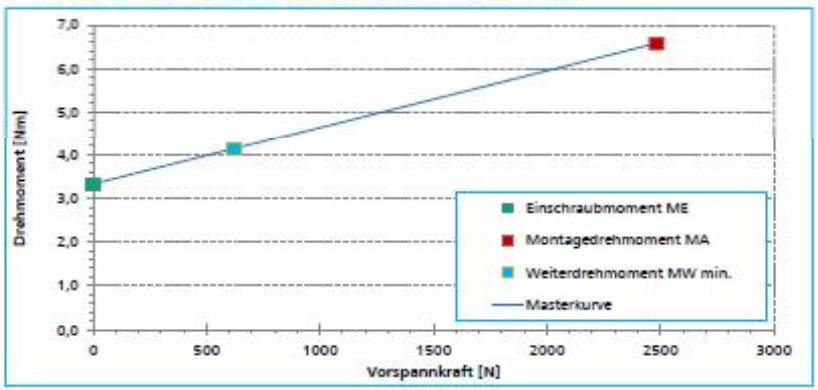
Telefon: +49 7947 821-0 oder E-Mail: info@arnold-umformtechnik.de

Drehmomentkurven und Masterkurve

» Drehmomentkurven



» Masterkurve M/FV und Weiterdrehmoment



Validierung

Wozu noch Versuche?

Berechnung

Die Angaben in diesem Programm basieren auf unseren derzeitigen technischen Kenntnissen und Erfahrungen. Sie befreien […] wegen der Fülle möglicher Einflüsse bei Verarbeitung und Anwendung [..] nicht von eigenen Prüfungen und Versuchen. Eine Garantie bestimmter Eigenschaften oder die Eignung [..] für einen konkreten Einsatzzweck kann aus unseren Angaben nicht abgeleitet werden.[1]

[1]BASF Screws, BASF AG, Ludwigshafen

Einfluss auf die Prozesssicherheit

Konstruktion

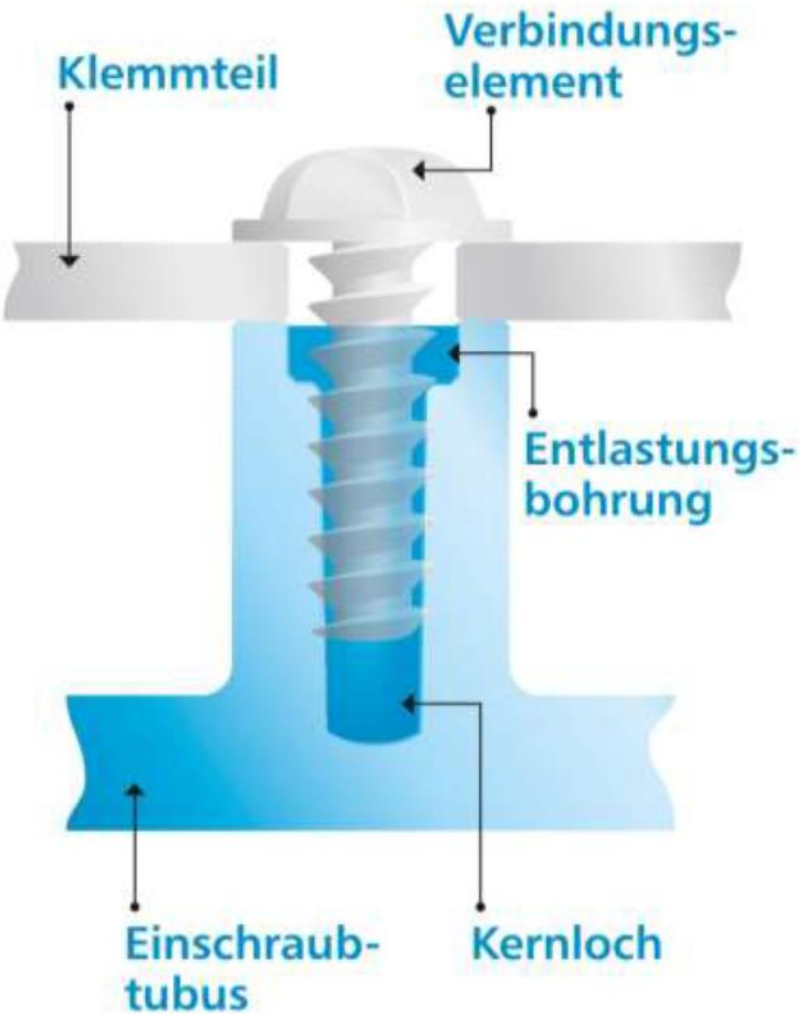
- Geometrie und Art des Verbindungselements
- Tubusgeometrie
- Anbindung ans Bauteil
- Durchmessertoleranzen

Werkstoff

- Mechanische Eigenschaften
- Konditionierung
- Verarbeitung

Montage

- Schraubsysteme
- Werkereinfluss
- Drehzahl

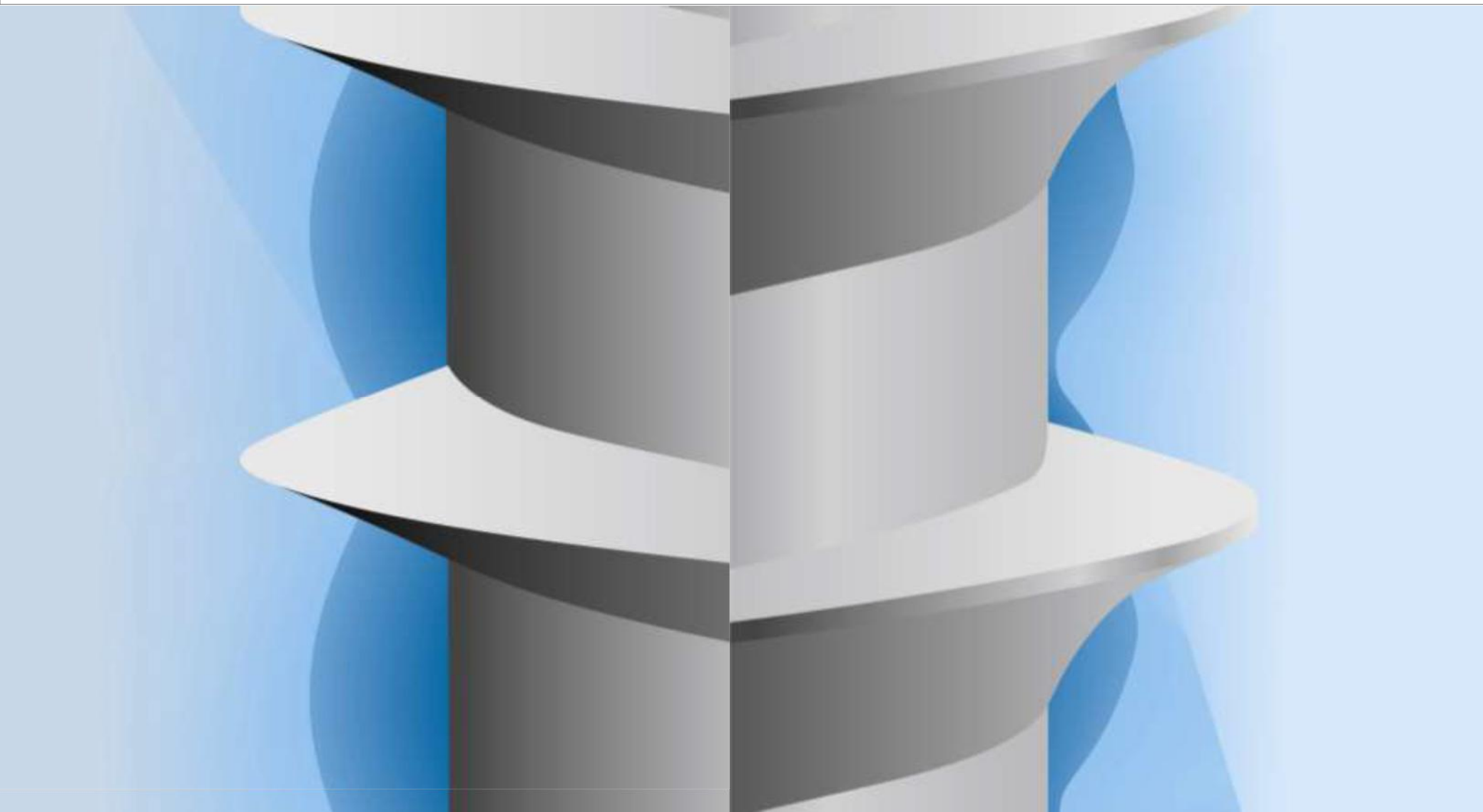


Einsatz

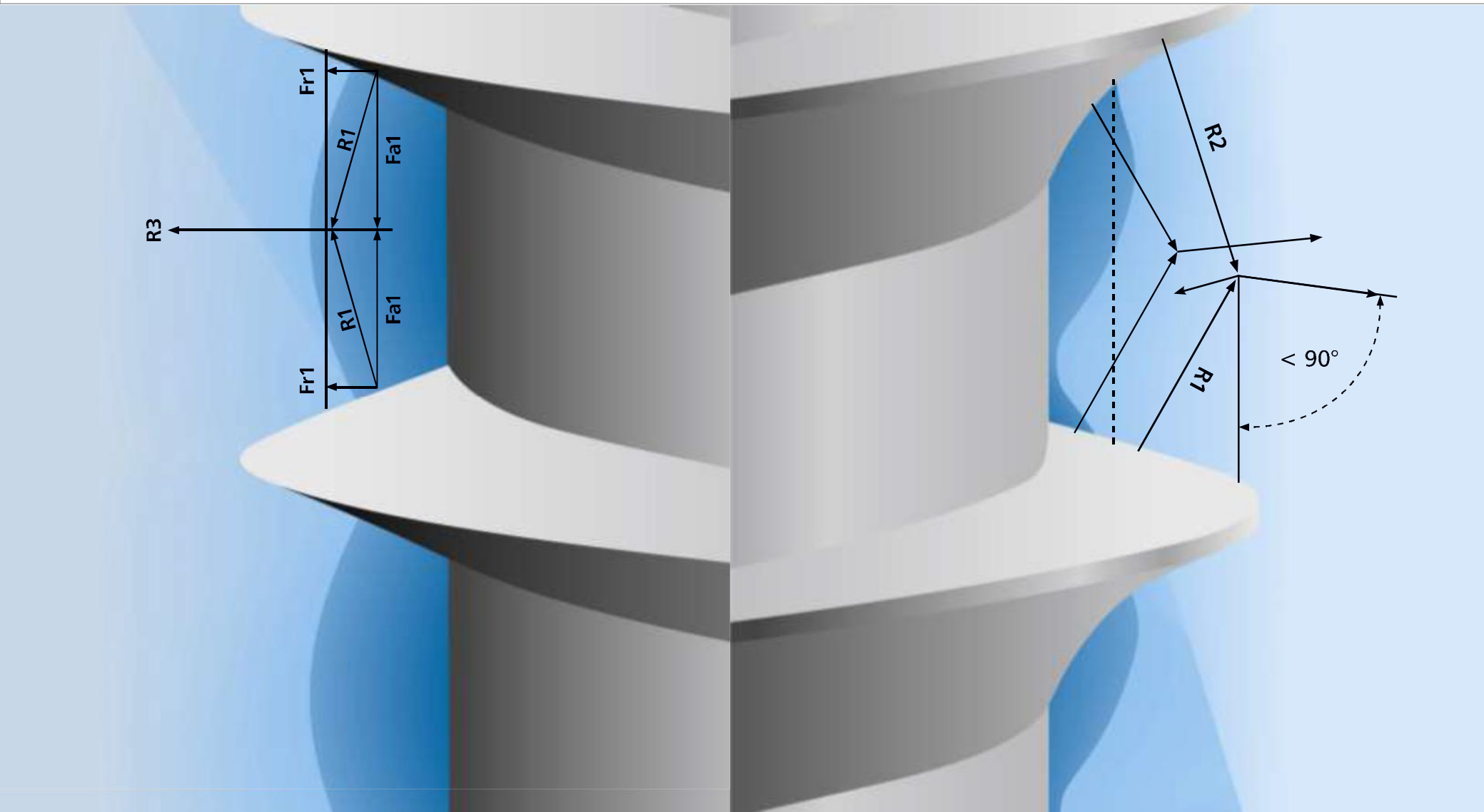
- Belastungsart
  - statisch
  - dynamisch
  - stoßartig
- Belastungshöhe
- Belastungsrichtung
- Belastungsdauer
  - kurzzeitig
  - langzeitig
- Umgebungsbedingungen
  - Einsatztemperatur
  - Medieneinfluss
  - Feuchtigkeit
  - Jahreszeit

Quelle: In Anlehnung an Onasch, Dr. Jürgen, Dissertation „Zum Verschrauben von Bauteilen aus Polymerwerkstoffen mit gewindeformenden Schrauben“, Kassel, 1982

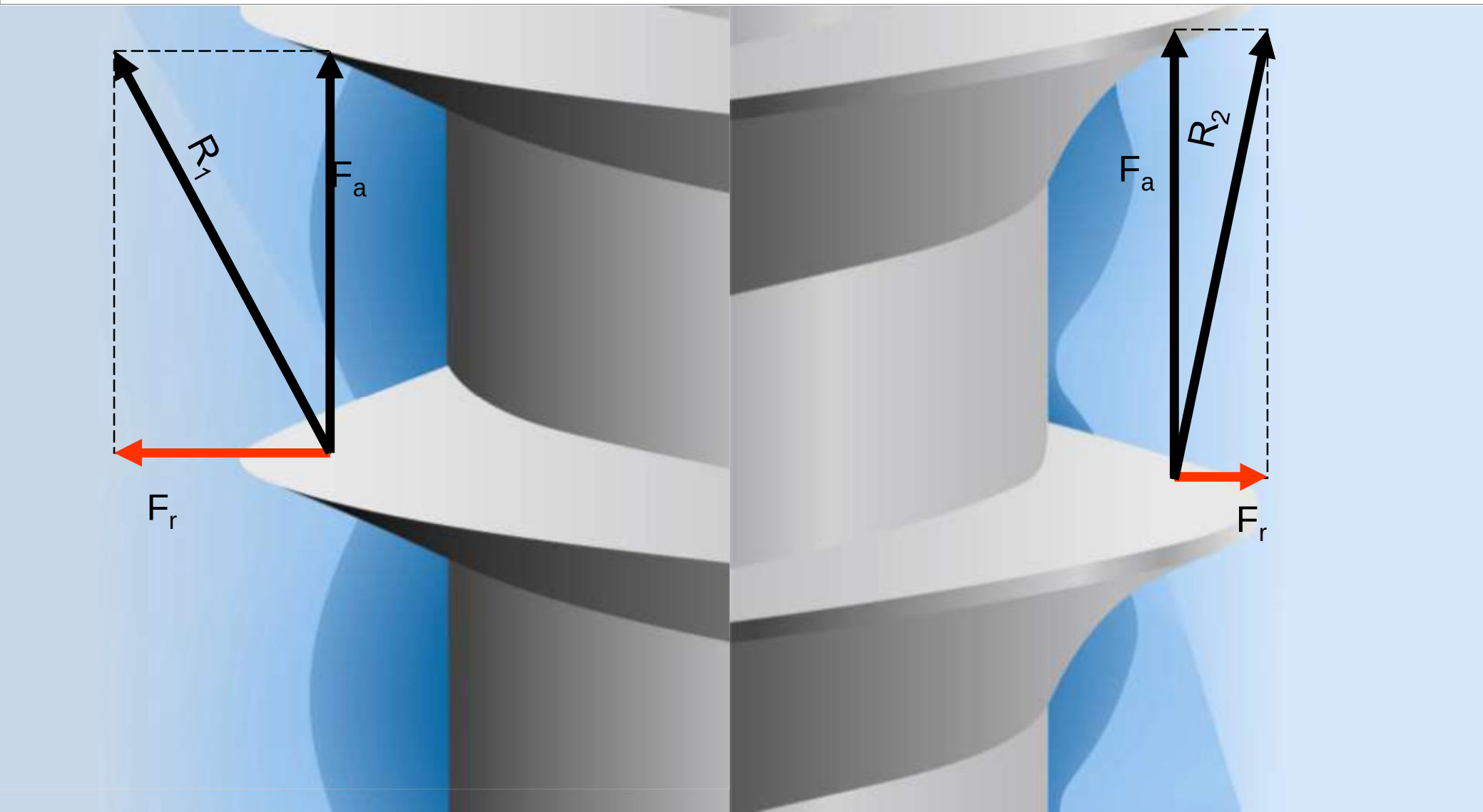
Einfluss symmetrisches vs. Asymmetrisches Gewinde



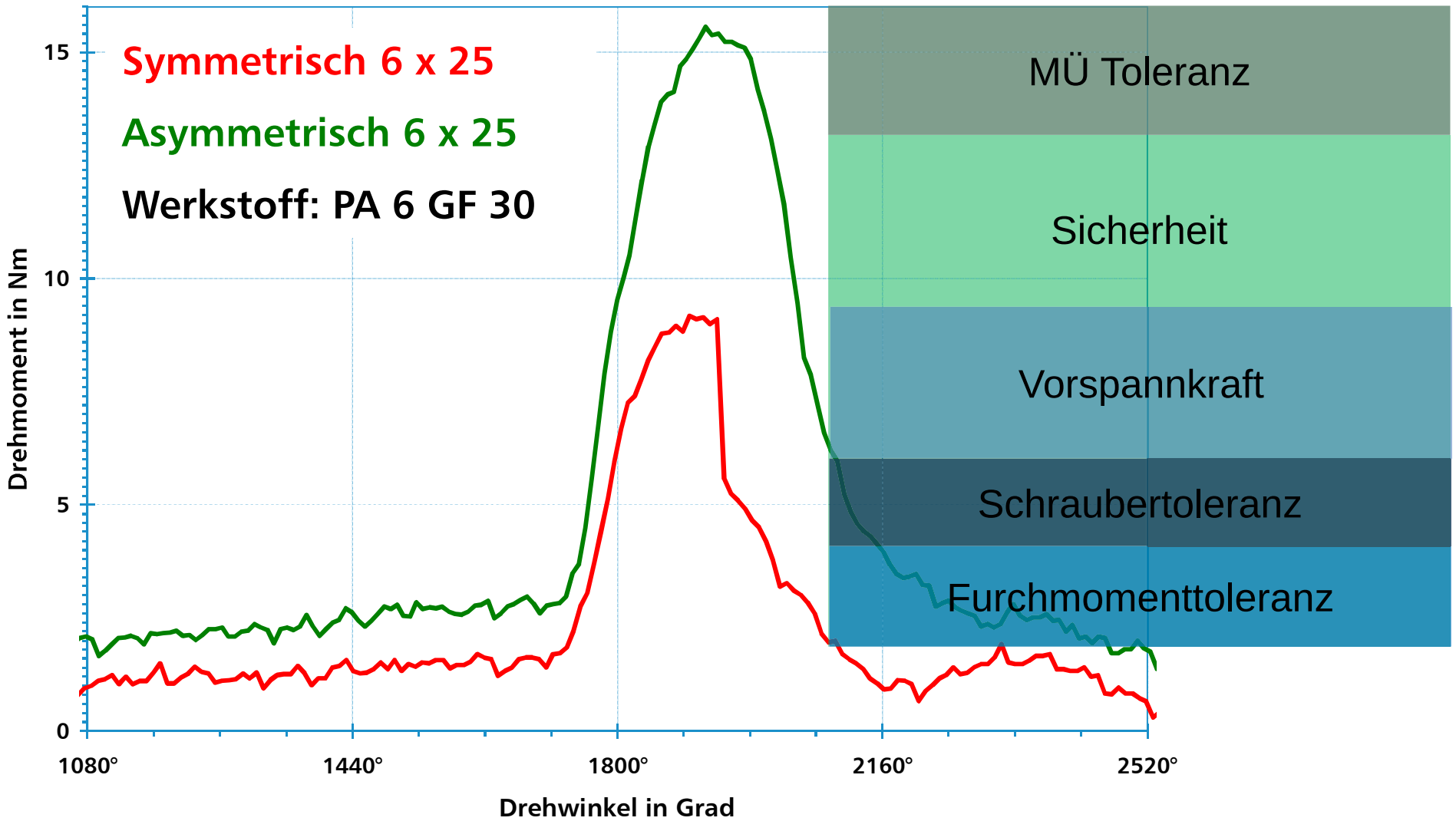
Einfluss symmetrisches vs. Asymmetrisches Gewinde



Einfluss symmetrisches vs. Asymmetrisches Gewinde



Ergebnis: Mehr Sicherheit im Prozess



Auswirkung Bindenaht

Schraube: *REMFORM Ø5 x 47 - Fkl.10*
Artikelnummer: 1.0096476.000
Teile-Nr.: Simulation 444 606 383
ARNOLD-ZN: R5-00-128
Oberfläche: Verzinkt, Dünnschicht (blau) passiviert
Versiegelung: Ohne
Gleitbeschichtung: Ohne
Charge: FEAU4004368

Einschrauben & Überdrehen mit Ausreißkraftmessung			
MW	Einschraub-Moment ME	Bruch-Moment MB	Bruch-Kraft FB
n1	3,542 Nm	9,284 Nm	5,83 kN
n2	2,666 Nm	9,185 Nm	5,83 kN
n3	2,373 Nm	8,810 Nm	5,28 kN
n4	2,464 Nm	8,728 Nm	5,57 kN
n5	2,168 Nm	9,454 Nm	5,52 kN
n6	2,209 Nm	8,405 Nm	6,67 kN
n7	2,291 Nm	9,715 Nm	5,94 kN
n8	2,227 Nm	8,511 Nm	5,78 kN
Statistik			
MIN	2,168 Nm	8,405 Nm	5,28 kN
Xq	2,493 Nm	9,012 Nm	5,80 kN
MAX	3,542 Nm	9,715 Nm	6,67 kN
S	0,454	0,468	0,411
R	1,374 Nm	1,310 Nm	1,39 kN

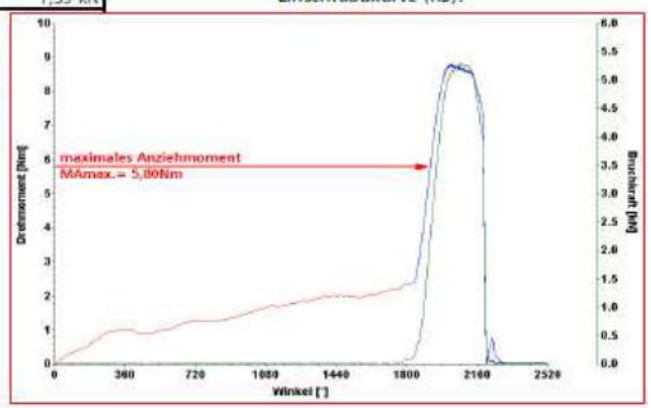
Schwellmoment für 2.Schraubstufe
M Schwell. = 4,10 Nm

maximales Anziehmoment
MAmax. = 5,80 Nm

Schraubparameter:
Einschrauben: 500 U/Min. (bis 2,5Nm)
Überdrehen: 80 U/Min. (bis Versagen)
axiale Spindelkraft: 15N

Versagensursache:
Schraubenbruch

Einschraubkurve (n3):



Schraube: *REMFORM Ø5 x 47 - Fkl.10*
Artikelnummer: 1.0096476.000
Teile-Nr.: Simulation 444 606 383
ARNOLD-ZN: R5-00-128
Oberfläche: Verzinkt, Dünnschicht (blau) passiviert
Versiegelung: Ohne
Gleitbeschichtung: Ohne
Charge: FEAU4004368

Einschrauben & Überdrehen mit Ausreißkraftmessung			
MW	Einschraub-Moment ME	Überdreh-Moment MÜ	Ausreiß Kraft F Aus
n1	1,477 Nm	6,894 Nm	4,16 kN
n2	1,395 Nm	6,976 Nm	3,84 kN
n3	1,641 Nm	8,294 Nm	4,36 kN
n4	1,356 Nm	9,800 Nm	3,71 kN
n5	1,418 Nm	7,526 Nm	4,51 kN
n6	1,752 Nm	8,476 Nm	4,47 kN
n7	1,605 Nm	8,522 Nm	4,04 kN
n8	1,852 Nm	6,967 Nm	4,37 kN
Statistik			
MIN	1,356 Nm	6,894 Nm	3,71 kN
Xq	1,562 Nm	7,932 Nm	4,18 kN
MAX	1,852 Nm	9,800 Nm	4,51 kN
S	0,180	1,025	0,297
R	0,496 Nm	2,906 Nm	0,80 kN

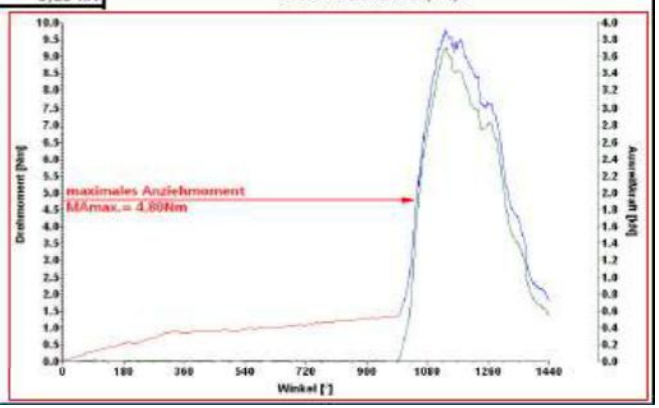
Schwellmoment für 2.Schraubstufe
M Schwell. = 2,20 Nm

maximales Anziehmoment
MAmax. = 4,80 Nm

Schraubparameter:
Einschrauben: 500 U/Min. (bis 2,5Nm)
Überdrehen: 80 U/Min. (bis Versagen)
axiale Spindelkraft: 15N

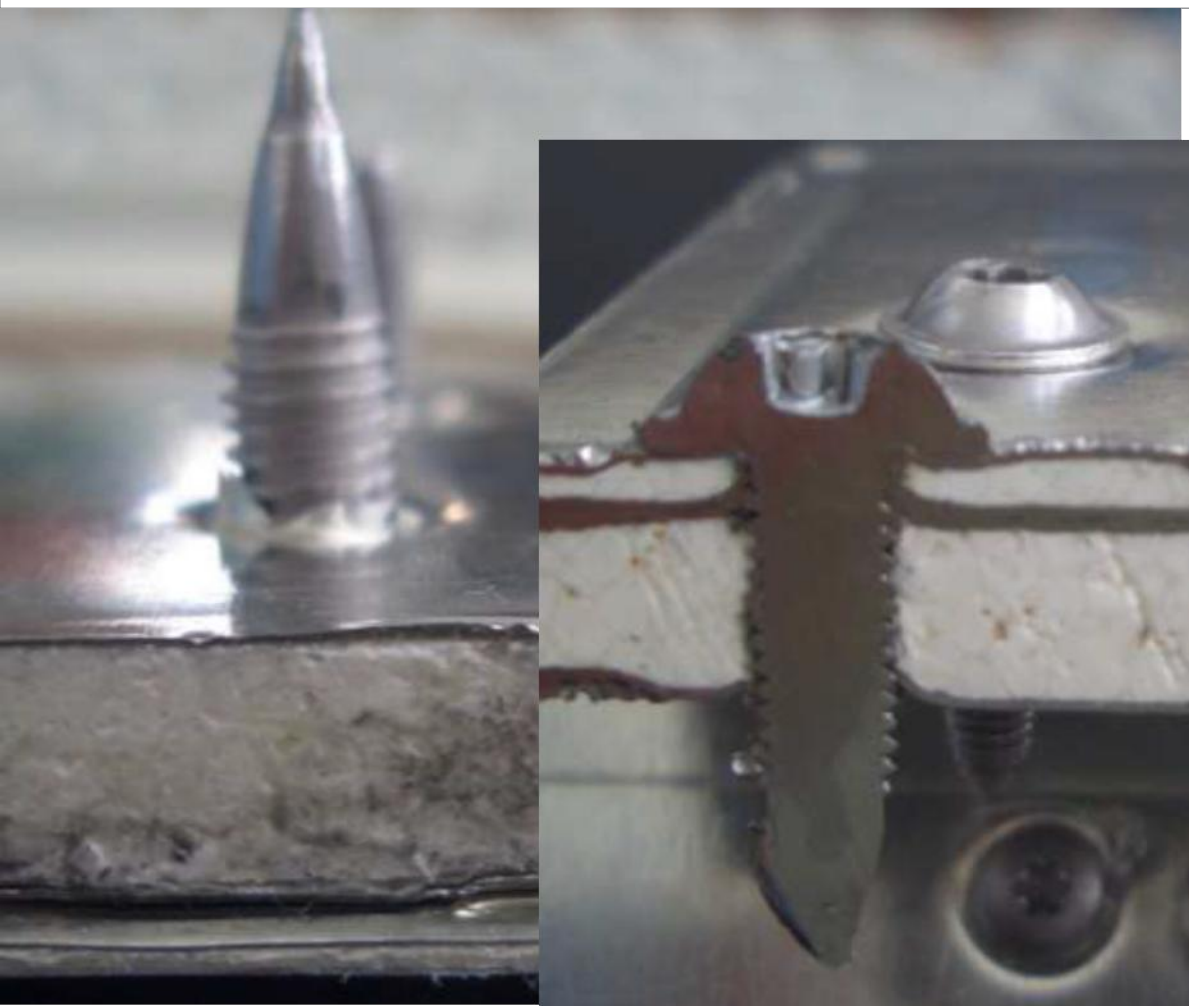
Versagensursache:
Überdrehen des geformten Mutterngewindes.

Einschraubkurve (n4):



Weshalb noch Versuche?? – Duromere Werkstoffe

Weshalb noch Versuche?? – Verbundwerkstoffe



Werkstoff: CIMERA®, Metall-Schaum Verbund, ein Produkt der 4a-manufacturing

Warum Direktverschraubung?

Wirtschaftliche Betrachtung

Befestigungsart	Montage-aufwand	Montage-kosten	Kosten Verbindungsel.
Metrische Schraube + Inserts	Hoch	Hoch	Hoch
Metallclipse + Blechschr.	Mittel	Hoch	Mittel
Metrische Schraube + Mutter + Hülse	Mittel	Hoch	Hoch
Kunststoffdirekt-verschraubung	**Gering**	**Gering**	**Gering**

Quelle: Nach VW 01128

Potentiale im Vergleich

Anwendungsbeispiel Freizeit

www.polymers-on-ice.com

Anwendungsbeispiel Freizeit

www.polymers-on-ice.com

Anwendungsbeispiel Freizeit

www.polymers-on-ice.com

Anwendungsbeispiele Motorsport

Anwendungsbeispiele Motorsport

Anwendungsbeispiele Motorsport

Ausblick

Forschungsbedarf: Studie DVS

LEHRSTUHL
FÜR KUNSTSTOFFTECHNIK
Prof. Dr.-Ing. Dietmar Drummer

DVS FORSCHUNG

Lehrstuhl für Kunststofftechnik – Universität Erlangen-Nürnberg

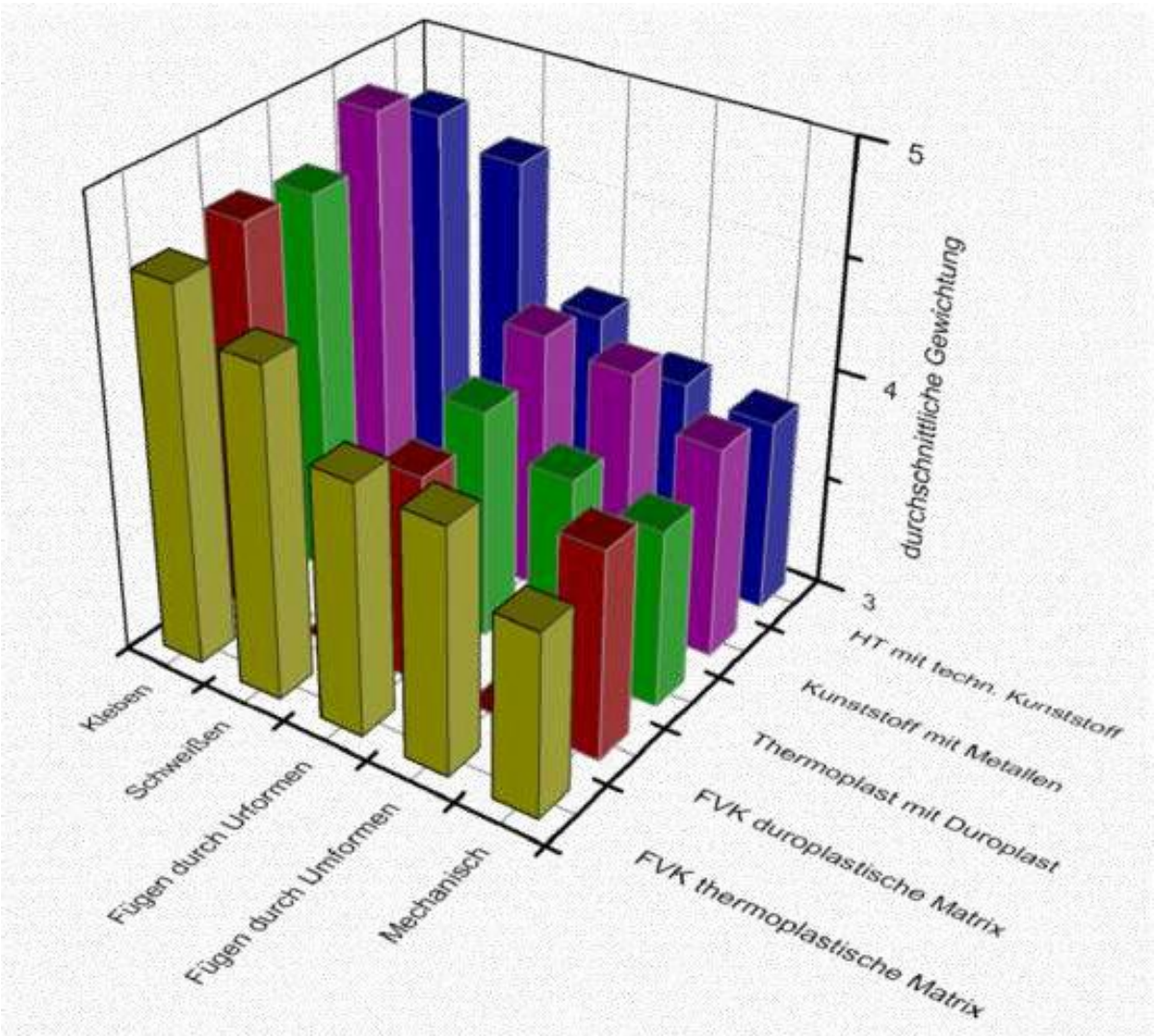
DVS-Studie: Verbindungstechnik für Leichtbau und erneuerbare Energien

DVS-Forschungsseminar, Erlangen, 06. März 2012

Prof. Dr.-Ing. Dietmar Drummer

Lehrstuhl für Kunststofftechnik
Universität Erlangen-Nürnberg
Am Weichselgarten 9
91058 Erlangen

Forschungsbedarf: Ergebnisse



Ausschuss für Technik: 149 Gremien, Ziel Richtlinienarbeit

AGW4: Fügen von Kunststoffen (19 Untergruppen)

AGW4.11: Mechanisches Fügen von Kunststoffen

→ Richtlinie DVS 2241-1 Direktverschraubung von Formteilen aus Kunststoffen (Plastomere)
→ Richtlinie DVS 2241-x Direktverschraubung duromerer Kunststoffe (In Arbeit)
→ Richtlinie DVS 2242-1 Mechanisches Fügen von Kunststoffteilen – Schnappverbindungen

AGW4.14: Fügen von Faserverstärkten Kunststoffen

Unterstützung relevanter Forschungsvorhaben über den FA 11

Konstruktion
- Geometrie und Art des Verbindungselements
- Tubusgeometrie
- Anbindung ans Bauteil
- Durchmessertoleranzen

Werkstoff
- Mechanische Eigenschaften
- Konditionierung
- Verarbeitung

Montage
- Schraubsysteme
- Werkereinfluss
- Drehzahl

Einsatz
- Belastungsart
  - statisch
  - dynamisch
  - stoßartig
- Belastungshöhe
- Belastungsrichtung
- Belastungsdauer
  - kurzzeitig
  - langzeitig
- Umgebungsbedingungen
  - Einsatztemperatur
  - Medieneinfluss
  - Feuchtigkeit
  - Jahreszeit

- AG W 4.1a Heizelementschweißen von Tafeln und Rohren
- AG W 4.1b Warmgasschweißen
- AG W 4.1c Rotationsreibschweißen
- AG W 4.1d Ultraschallschweißen
- AG W 4.1e Hochfrequenzschweißen
- AG W 4.1f Vibrationsschweißen
- AG W 4.2 Kleben von Kunststoffen
- AG W 4.3a Konstruktive Gestaltung – Rohrleitungsbau
- AG W 4.3b Konstruktive Gestaltung – Apparatebau
- AG W 4.4 Messen und Prüfen
- AG W 4.6 Schulung und Prüfung
- AG W 4.7 Kunststoff-Folien und –Bahnen
- AG W 4.8 HS-Serienschweißen
- AG W 4.10 AGFW Schweißen von PE-Mantelrohren
- AG W 4.11 Mechanisches Fügen von Kunststoffen
- AG W 4.12 Laserstrahlschweißen von Kunststoffen
- AG W 4.13 Infrarotschweißen
- AK W 4.0.2 Fluor-Kunststoffe
- AK W 4.0.5 Kurzzeichen und Abkürzungen
- AK W 4.0.6 Schweißen von Großrohren

Quelle: Dr. Marco Wacker; Expertenforum Kunststoff-Fügetechnik, Oechsler AG/ DVS, Forchtenberg 2013

Fazit

Gesamtsystem im Fokus

- Fügetechnik von vorne bis hinten durchdenken erspart Troubleshooting
- Berücksichtigung der Werkstoffeigenschaften
- Sicherheit bei der Planung und im Prozess
- Kostenoptimierung durch Direktverschraubung
- Kostenoptimierung durch Betrachtung des gesamten Prozesses
- Rechtzeitig Experten fragen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

ARNOLD UMFORMTECHNIK GmbH & Co. KG
Carl-Arnold-Straße 25
D-74670 Forchtenberg-Ernsbach
web: www.arnold-umformtechnik.de

Ihr Ansprechpartner:

Sebastian Schlegel
Produktmanager
- Kunststoff-Fügetechnik
- Technische Sauberkeit

B.Eng. Wirtschaftsingenieur

Tel.: ++49 (0)7947/821-413
mail: sebastian.schlegel@arnold-umformtechnik.de