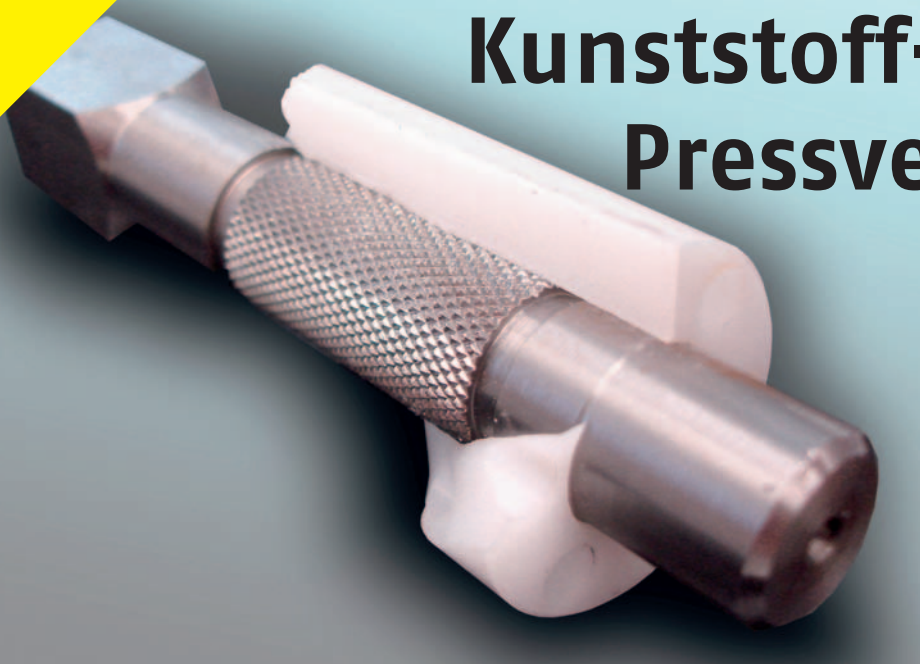


Kunststoff-Metall- Pressverbindungen



Formschlussunterstützung.

Pressverbindungen zwischen Kunststoffteilen und Metallwellen werden wesentlich wirkungsvoller, wenn dem Kraftschluss durch eine entsprechend modifizierte Metall-

oberfläche ein passender Formschluss überlagert wird. In umfangreichen Untersuchungen hat sich das 30°-Links-Rechts-Rändel (Fischhauträndel) als sehr gut geeignete Formschlussunterstützung herausgestellt.

**JOHANNES KUNZ
DEJAN LUKIC**

Pressverbindungen sind im Prinzip kraftschlüssig, fest und bedingt lösbar. Sie beruhen darauf, dass beim Fügen ein Passungs-Übermaß zwischen zwei meist zylindrischen Formflächen über eine aufgezwungene Verformung in mechanische Spannungen zwischen den Fügepartnern umgesetzt wird. Diese Normalspannungen ermöglichen zusammen mit der Reibung zwischen den Fügepartnern, dass Axialkräfte und Drehmomente übertragen werden können. Bei Pressverbindungen mit oder unter Kunststoffteilen sind die übertragbaren Kräfte und

Momente allerdings begrenzt, und zwar vor allem dadurch, dass infolge des viskoelastischen Verhaltens unmittelbar nach dem Fügen eine Spannungsrelaxation einsetzt. Geeignete konstruktiv-geometrische Modifikationen an der Metallwelle können einen gewissen Formschluss bewirken, der den Kraftschluss unterstützt. Die Wirkung dieser Maßnahme ist zweifach: Zum einen erhöht sie die übertragbare Kraft, zum anderen kann sie die Relaxation verlangsamen [1–3].

Aktive und passive Formschlussunterstützung

In einem früheren Artikel wurde dargelegt, dass aufgrund der werkstoffmechanischen Vorgänge in erster Linie zwischen aktiver und passiver Formschlussunterstützung zu unterscheiden ist [4], wobei beide Arten auch kombiniert auftreten können. Aktive Formschlussunterstützung liegt vor, wenn Kunststoffvolumen durch entsprechend gestaltete, außerhalb des Passungsdurchmessers liegende konvexe Formelemente der Welle verdrängt wird. Passive Formschlussunterstützung entsteht durch lokale Restitution, d. h. Rückkriechen nach Entlastung von verdrängtem Kunststoffvolumen in entsprechend gestaltete, innerhalb des Passungsdurchmessers liegende konvexe Formelemente der Welle (Bild 1).

Weiter ist für die vorzusehende konstruktive Maßnahme von Bedeutung, ob die Formschlussunterstützung axial oder azimutal wirken soll, also zur Verhinderung einer translatorischen oder einer rotatorischen Bewegung zwischen Welle und Nabe.

Zweifache Wirkungsweise

Eine einfache Überlegung erlaubt es, die zweifache Wirkung einer Formschlussunterstützung zahlenmäßig zu beurteilen. Als Vergleichsbasis dient dabei die rein kraftschlüssige Verbindung gleicher Nenngometrie, also mit einer zylindrischen Welle glatter Oberfläche. Wenn die Größen F_F bzw. F_L die Füge- und die Lösekraft der axial formschlussunterstützten Verbindung bezeichnen und F_{F0} bzw. F_{L0} jene der rein kraftschlüssigen Vergleichsverbindung, so lässt sich die totale Zunahme $F_L - F_{L0}$ der Lösekraft in die eigentliche Krafterhöhung ΔF_L und den Anteil $\Delta F_L'$ für die Relaxationsverlangsamung unterteilen (Bild 2).

Die eigentliche Krafterhöhung ist die Differenz ΔF_L der theoretischen Lösekraft F_L' zur Lösekraft F_{L0} der Vergleichsverbindung. Sie ergibt sich aus der Annahme, dass das Verhältnis zwischen den Fügekräften der modifizierten und der glatten Welle auch für das Lösen gilt. Dies

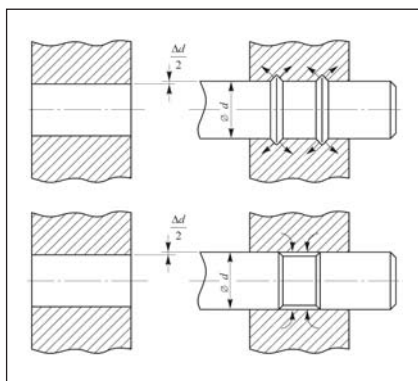


Bild 1. Aktive und passive Formschlussunterstützung: Wirkprinzip

trifft insbesondere bei einer Formschlussunterstützung zu, die aufgrund ihrer Symmetrie in Füge- und Löserichtung gleich wirkt. Für die relative Krafterhöhung folgt daraus die Beziehung

$$C_F = \frac{F'_L}{F_{L0}} = \frac{F_F}{F_{F0}} \quad (1)$$

mit F_F und F_{F0} als gemessene Fügekräfte der formschlussunterstützten und der glatten Vergleichsverbinding.

Die relative Verlangsamung der Relaxation ist das Verhältnis der effektiven Lösekraft F_L zur theoretischen Lösekraft F'_L . Es kann durch vier messbare Kraftgrößen ausgedrückt werden in der Form

$$C_R = \frac{F_L}{F'_L} = \frac{F_L \cdot F_{F0}}{F_F \cdot F_{L0}} \quad (2)$$

wenn F'_L aus (1) bestimmt und eingesetzt wird.

Gleichungen (1) und (2) jedoch keine relevanten Größen sind, werden sie sinnvollerweise durch die unmittelbar nach dem Fügen gemessenen Lösemomente M_L und M_{L0} ersetzt.

Anhand der Faktoren C_F und C_R kann nun durch Auswertung von Messungen die Wirksamkeit einer formschlussunterstützenden Maßnahme beurteilt werden. Eine wirkungsvolle Formschlussunterstützung liegt dann vor, wenn die relative Krafterhöhung C_F deutlich größer als 1 ist. Für die Relaxationsverlangsamung C_R wäre größer als 1 ebenfalls wünschenswert.

Rändel als Formschlussunterstützung

Viele Teilaspekte des Themas Formschlussunterstützung sind schon in frühe-

ren Jahren untersucht worden [5]. Im Anschluss daran sollten in der vorliegenden Arbeit unterschiedliche Links-Rechts-Rändel (DIN 82 [6]) hinsichtlich ihrer axialen und azimutalen formschlussunterstützenden Wirkung eingehender abgeklärt werden [7]. Rändel sind bekanntlich relativ einfach herzustellen. Sie wirken in der Regel kombiniert aktiv und passiv: Einerseits verdrängen die Rändelspitzen Kunststoff, gleichzeitig verformt dieser sich zeitabhängig in die dazwischen liegenden Vertiefungen zurück. Nun ging es darum, die Wirksamkeit dieser Maßnahme anhand der Beziehungen (1) und (2) zahlenmäßig zu beschreiben und, gestützt darauf, die Eignung der verschiedenen Rändel für die Praxis zu beurteilen.

Die Proben bestanden aus einer Kunststoff-Nabe aus dem Polyacetal-Copolymer Tecaform POM C natur (Lieferant: Kundert AG, Jona/Schweiz) in Form einer Buchse und einer Stahlwelle mit Rändel bzw. glatter Oberfläche und einem Nenndurchmesser von 15 mm. Als Differenz (Übermaß) zwischen dem Nenndurchmesser der Welle und dem Bohrungsdurchmesser der Nabe wurde 0,3 mm gewählt, was einer Dehnung von 2 % entspricht.

Aufgrund der bisherigen Erkenntnisse wurden für die vorliegende Untersuchung Wellen mit drei verschiedenen Formen von Links-Rechts-Rändeln definiert, nämlich zwei Kreuzrändel 0,8/45° und 1/45° sowie ein Fischhauträndel 1/30°, wobei die erste Zahl die Teilung bezeichnet und die Zahl nach dem Schrägstrich den Winkel gegenüber der Achsrichtung (Bild 3). Die Passungslänge wurde auf 30 mm festgelegt. Die Rändel wurden sehr sorgfältig gefräst. Speziell wurde darauf geachtet, dass die Erhebungen sauber ausgebildet wurden, um beim Fügen der Proben das Kunststoffteil möglichst wenig zu beschädigen. Die zum Vergleich erforderlichen glatten Wellen wurden auf die Oberflächenrauheit N5 entsprechend

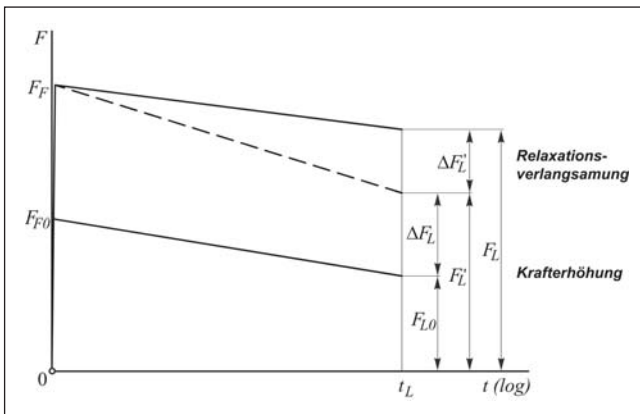


Bild 2. Zweifache Wirkung der Formschlussunterstützung: Krafterhöhung und Verlangsamung der Relaxation

Ausgehend von der Lösekraft F_{L0} der glatten Vergleichswelle kann mit (1) und (2) nun die zu erwartende Lösekraft F_L der formschlussunterstützten Verbindung mit der einfachen Gleichung

$$F_L = C_F \cdot C_R \cdot F_{L0} = C \cdot F_{L0} \quad (3)$$

bestimmt werden, und für die erforderliche Fügekraft F_F der formschlussunterstützten Verbindung gilt dementsprechend

$$F_F = C_F \cdot F_{L0} \quad (4)$$

Zur Abschätzung der effektiven Füge- und Lösekraft F_F bzw. F_L mittels (3) und (4) müssen die Größenordnungen der relativen Krafterhöhung und der relativen Verlangsamung der Relaxation aus Konstruktionsempfehlungen oder eigenen Erfahrungen bekannt sein.

Analoges gilt für den azimutalen Formschluss, wobei die Kräfte durch die entsprechenden Momente zu ersetzen sind. Da die Fügekräfte F_F und F_{F0} in den

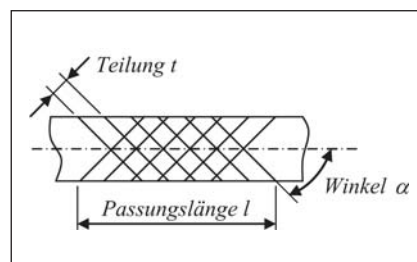


Bild 3. Links-Rechts-Rändel: Definition der Bezeichnungen

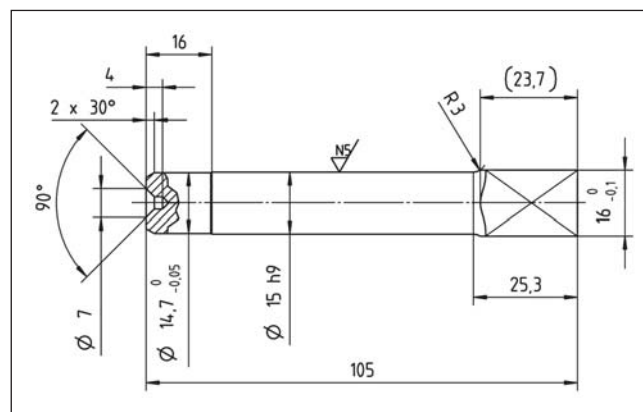


Bild 4. Stahlwelle, glatte Ausführung

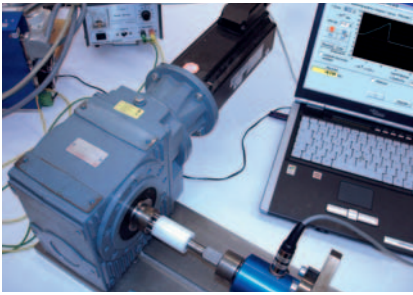


Bild 5. Prüfeinrichtung für die azimutale Formschlussunterstützung

einer Rautiefe Ra von 0,4 mm feinstgeschliffen (Bild 4).

Die axiale Formschlussunterstützung wurde auf einer Zugprüfmaschine untersucht, mit der die Proben sowohl gefügt als auch gelöst und dabei die hierfür erforderlichen Kräfte gemessen wurden. Für die Messung der azimutalen Formschlussunterstützung wurde eigens eine Prüfeinrichtung konzipiert und gebaut, um die erforderliche Reproduzierbarkeit der Messresultate gewährleisten zu können (Bild 5) [8]. Interessanterweise ergab sich bei den Proben mit gerändelten Wellen eine deutlich geringere Streuung der Messwerte als bei jenen mit glatter Welle, und zwar bereits bei den Fügekräften.

Während die Naben für die axiale Formschlussunterstützung mit einfacher Geometrie ausgeführt werden konnten (Bild 6), musste für die azimutale Formschlussunterstützung eine Variante konzipiert werden, bei der das Moment in der Prüfeinrichtung stirnseitig einleitbar ist, ohne dass die Fügezone dadurch wesentlich gestört wird. Zu diesem Zweck wurde die Nabe bei unveränderter Passungslänge und leicht erhöhtem Innendurchmesser einseitig axial verlängert und mit sechs Bohrungen versehen, in die entsprechende Antriebsbolzen der Prüfeinrichtung eingreifen konnten (Bild 7). Bei

einer Momenteinleitung über tangentielle Kräfte an der äußeren Kontur hätte die zylindrische Grundgeometrie nicht beibehalten werden können, und der Spannungszustand wäre in unbestimmt-komplexer Weise beeinflusst worden.

Bisherige Erfahrungen erlaubten es, die Untersuchung auf die zwei Prüfzeiten 10 und 1000 Stunden zu beschränken, womit insgesamt drei Zeitdekaden erfasst wurden, und damit die Probenzahl insgesamt gering zu halten. Je Parametervariation wurden drei Proben untersucht.

Erkenntnisse für die Praxis

Auch wenn ein umfassenderes Untersuchungsprogramm nicht realisierbar war, ergaben sich eine Reihe interessanter, für die Konstruktionspraxis nützlicher Erkenntnisse. Sie bestätigen insgesamt, dass sich bei Pressverbindungen mit Kunststoffnaben gerändelte Metallwellen für die Formschlussunterstützung sehr gut eignen. Als wirksamste Maßnahme stellte sich das Fischhauträndel heraus.

Bei der axialen Formschlussunterstützung erwiesen sich die beiden Rändel mit 45°-Winkel als nahezu ebenbürtig, mit ei-

nem geringfügigen Vorsprung der feineren Teilung 0,8 mm (Bild 8). Zwar wurde die Relaxation in der ersten Zeitdekade sogar noch etwas beschleunigt statt wie gewünscht verlangsamt. Das Fischhauträndel wirkte demgegenüber weniger kräfterhöhend, dafür verlangsamte sich die Relaxation sehr deutlich. Interessanterweise zeigte das Fischhauträndel mit einem Faktor $C = C_F \cdot C_R \approx 4,7$ nach 1000 Stunden auch axial die insgesamt stärkste formschlussunterstützende Wirkung.

Bei der azimutalen Formschlussunterstützung dominierte erwartungsgemäß das Fischhauträndel (Bild 9), und dies mit

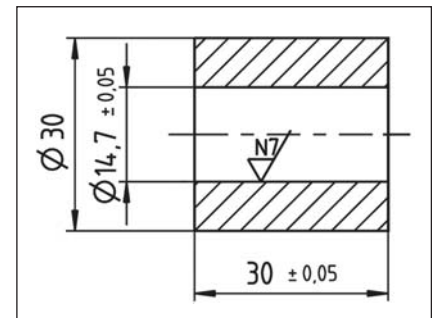


Bild 6. Nabe aus POM für die axiale Formschlussunterstützung

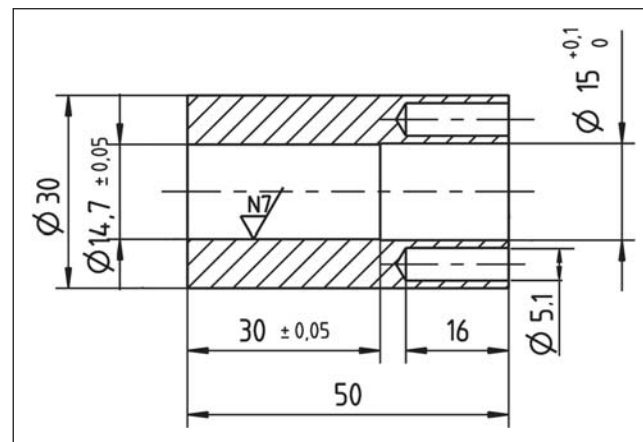


Bild 7. Nabe aus POM für die azimutale Formschlussunterstützung

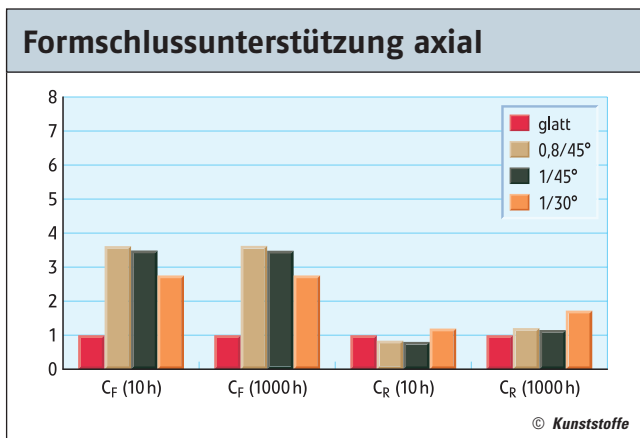


Bild 8. Axiale Formschlussunterstützung durch Rändel: Erzielte Wirkungsgroßen

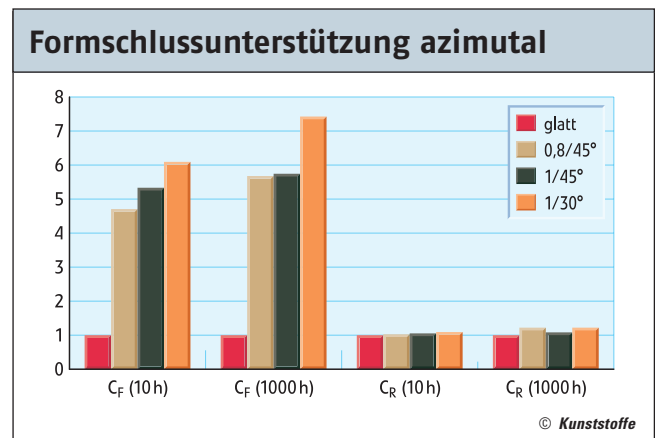


Bild 9. Azimutale Formschlussunterstützung durch Rändel: Erzielte Wirkungsgroßen

einem erstaunlichen Gesamtwert $C \approx 9$ nach 1000 Stunden. Die beiden anderen Geometrien liegen deutlich zurück, weisen aber immerhin noch einen C-Wert um 6 auf. Frühere Untersuchungen hatten gezeigt, dass ein Rändel mit achsparallelen Riefen (DIN 82 RAA) trotz Winkel 0° die Wirkung eines Links-Rechts-Rändels nicht erreicht.

Rändel mit ihrer kombiniert aktiv-passiven Wirkungsweise übertreffen die rein passive Formschlussunterstützung um ein Mehrfaches. Wie frühere Untersuchungen [5] gezeigt hatten, lässt sich mit passiver Formschlussunterstützung die Relaxation nur sehr wenig verlangsamen, und für die relative Krafterhöhung resultierten Werte um 1,2–1,4. Effekte in diesem Bereich können allenfalls für die axiale Selbstarretierung von Bolzen ausreichen, die weder durch eine Axialkraft noch durch ein Drehmoment beansprucht sind. ■

DANK

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen des Forschungsprojekts „Grundlagen für die Auslegung von Kunststoffkonstruktionen“. Für dessen Förderung danken die Verfasser der Gebert RUF Stiftung, Basel, und dem Forschungsfonds der HSR Hochschule für Technik Rapperswil.

LITERATUR

- Schmidt, H.: Pressverbindungen bei Kunststoffteilen, Teil 2: Maßnahmen zur Steigerung der Belastbarkeit. *Kunststoffe* 66 (1976) 3, S. 170–173
- Erhard, G., Strickle, E.: Pressverbindung von gerändelten Bolzen mit Kunststoffbauteilen. *Konstruktion – Elemente – Methoden* (1976) 9, S. 58–60
- N. N.: Berechnen von Pressverbindungen. Hoechst AG, Firmenschrift B. 3.4, Frankfurt/Main 1992
- Kunz, J.: Formschluss unterstützt Kunststoff-Pressverbindung. *Kunststoffe-Synthetics* 49 (2002) 6, S. 15–17
- Keller, R., Sallenbach, R., Hausmann, J., Zurkirchen, M., Schweizer, R., Schädler, B., Loher, T.: Studien- bzw. Diplomarbeiten zum Thema Formschlussunterstützung von Pressverbindungen mit Kunststoffen. HSR Hochschule für Technik Rapperswil, 1991–2001
- DIN 82: Rändel. Beuth-Verlag Berlin, 1973
- Kunz, J., Lukic, D., Furrer, F., Studer, M.: Forschungsprojekt Formschlussunterstützung von Pressverbindungen mit Kunststoffen. Diverse interne, unveröffentlichte Dokumente. HSR Hochschule für Technik Rapperswil, 2004–2006
- Arpagaus, B.: Entwicklung einer Prüfeinrichtung für die azimutale Formschlussunterstützung von Pressverbindungen mit Kunststoffen. Studienarbeit HSR Hochschule für Technik Rapperswil, 2004

DIE AUTOREN

PROF. DIPL.-ING. JOHANNES KUNZ, geb. 1940, Institut für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung (IWK) an der HSR Hochschule für Technik Rapperswil/Schweiz; jkunz@hsr.ch

DIPL.-ING. DEJAN LUKIC, geb. 1972, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am gleichen Institut

SUMMARY KUNSTSTOFFE INTERNATIONAL

Plastic-metal Press Fits

FORM-FITTING AID. *Press Fits between plastic parts and metal shafts become substantially more effective when the frictional linkage has a suitable degree of form-fitting superimposed upon it by a modified metal surface. In extensive investigations 30° left-right knurling has turned out to be extremely suitable as a form-fitting aid.*

NOTE: You can read the complete article by entering the document number **PE103765** on our website at www.kunststoffe-international.com



Institut für Werkstofftechnik
und Kunststoffverarbeitung

Institut für Werkstofftechnik
und Kunststoffverarbeitung (IWK)

HSR Hochschule
für Technik Rapperswil
Oberseestrasse 10

Postfach 1475
CH-8640 Rapperswil
T +41 (0)55 222 47 70
F +41 (0)55 222 47 69

iwk@hsr.ch
www.iwk.hsr.ch