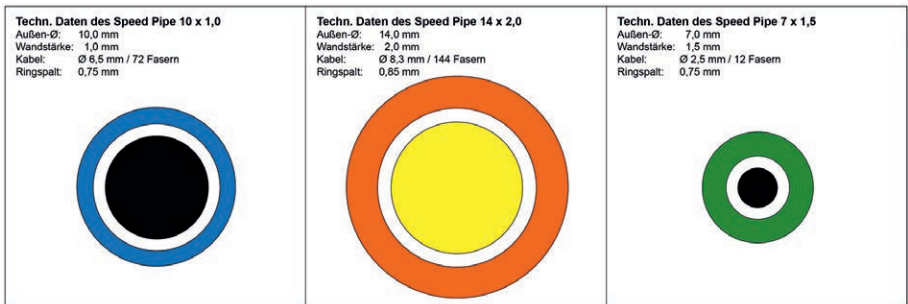


6.4 Besonderheiten des EinJettens von Mini- und Mikrokabeln in der NE 3

6.4.1 Besonderheiten des Jetting-Verfahrens in der NE 3

In den Kapiteln 3 und 4 sind bereits einige Grundinformationen zum Installationsverfahren EinJetten gegeben worden. Die qualitativ weit höheren Anforderungen in der NE 3 sind auch bereits mehrfach erwähnt worden. In diesem Kapitel sollen die neuen Anforderungen an die Einblastechnik weiter untersetzt und erklärt werden.

Typisch für diese Netzebene sind kleine Glasfaserkabel in kleinen SD-Innendurchmessern. Das ergibt einen sehr kleinen Ringspalt, der die NE 3 charakterisiert. Notwendig werden deshalb besonders hohe Genauigkeiten bei nahezu allen Gewerken der Installation von Glasfaserkabel. Aber auch die Hersteller der Kabel, SDs und natürlich der Einblastechnik werden hier stark gefordert. In den Bildern 263–265 werden Beispiele für häufige Paarungen von Mini- und Mikrokabeln mit den verwendeten SDs gezeigt.



Bilder 263–265: Ringspalte bei Mini- und Mikrokabeln der NE 3 ohne Toleranzen
Quelle: Seminar Vetter

Der Ringspalt von 0,75 mm, welcher auf das Nennmaß ohne Toleranzen bezogen ist, darf in der NE 3 keinesfalls unterschritten werden. Kabel- und SD-Hersteller berücksichtigen heutzutage dieses Maß recht gut, bei einigen Netzbetreibern ist dies leider nicht zu erkennen und die Ringspalte werden kontinuierlich unterschritten. Vor vielen Jahren habe ich bereits die folgende Tabelle (Bild 266) aufgestellt, um eine Zuordnung von Kabel-AD zu SD-ID darzustellen. Diese Tabelle ist auch im Kapitel 6.2.4.3 – Kalibrierung der NE 3 – bezüglich der Kaliberauswahl gezeigt und soll hier nochmals wiederholt wer-

den. Der wichtige Faktor Ringspalt ist bewusst mit der „Roten“ Spalte markiert worden, um zu signalisieren, dass diese Werte zwingend eingehalten werden müssen.

Rohr-Typ AD x Wand- dicke [mm]	Rohr-ID [mm]	Empfohlener Kabel-D [mm]	Ringspalt [mm]	Kaliber-D [mm]	Sonden-D [mm] / Ortungstiefe [m]
5 x 0,75	3,5	1,0 – 2,0	1,25 – 0,75	–	–
7 x 1,50	4,0	1,0 – 2,5	1,50 – 0,75	–	–
7 x 0,75	5,5	2,0 – 4,0	1,75 – 0,75	–	–
10 x 2,00	6,0	2,0 – 4,5	2,00 – 0,75	4,8	4,4 / 2,0
10 x 1,00	8,0	4,0 – 6,5	2,00 – 0,75	6,8	6,5 / 2,0
12 x 2,00	8,0	4,0 – 6,5	2,00 – 0,75	6,8	6,5 / 2,0
12 x 1,10	9,8	5,0 – 8,3	2,40 – 0,75	8,5	6,5 / 2,0
14 x 2,00	10,0	5,0 – 8,5	2,50 – 0,75	8,5	6,5 / 2,0
14 x 1,30	11,4	6,4 – 9,8	2,50 – 0,80	9,5	6,5 / 2,0
16 x 2,00	12,0	7,0 – 10,0	2,50 – 1,00	9,5	6,5 / 2,0
20 x 2,50	15,0	8,0 – 12,0	3,50 – 1,50	11,0 / 12,5*	6,5 / 2,0
20 x 2,00	16,0	9,0 – 13,0	3,50 – 1,50	12,5	6,5 / 2,0

*empfohlen

Bild 266: Zuordnung Kabel-AD zu SD-ID, Quelle: Seminar Vetter.de

Diese kleinsten Ringspalte lassen jegliches Einziehen oder Einschleiben von Mini- oder Mikrokabeln und natürlich auch der Bündelfaser in der NE 3 nicht zu – egal ob per Hand oder mittels motorischem Antrieb gearbeitet wird.

Die Beschädigungsgefahr bei diesen Techniken ist einfach viel zu groß. Weitere Informationen hierzu sind im Kapitel 6.6, Einziehen und Einschleiben von Glasfaserkabeln in der NE 3, nachzulesen.

Am Anfang des Buches, im Bild 9 des Kapitels 3.2.1, wird das Wirkprinzip des Einblasens eines Glasfaserkabels gezeigt. Im Unterschied zur NE 2 wird tendenziell das Kabel in der NE 3, bedingt durch die sehr kleinen Ringspalte, einen größeren Kontakt mit der SD-Wandung haben. Das Kabelgewicht ist jedoch geringer und bei einem starken Luftstrom (Airflow) erfolgt nahezu mühelos der „Transport“ des Kabels durch das SD. Allerdings ist das **interne Gleichgewicht zwischen Kabel und SD wesentlich instabiler, als wir das von der NE 2 kennen**. Es ist deshalb sehr wichtig, bestimmte toleranz-

bedingte Größt- und Kleinstdurchmesser für den jeweiligen SD-Innendurchmesser zu beachten. Diese sind bereits zahlenmäßig in der Tabelle im Bild 266 beschrieben und sollen noch einmal, in den Bildern 267 und 268, für das SD-ID 8,0 mm visualisiert werden. Das Verständnis dessen, was im SD passiert, ist die Grundlage für die teilweise scheinbar gegenläufigen Vorgänge, die in diesen SDs der NE 3 stattfinden und die über Erfolg oder Misserfolg des Einblasens der Glasfaserkabel entscheiden.

Lassen Sie uns zuerst den Luftstrom, auch Air-Flow genannt, betrachten. Dieser ist bekanntlich der Hauptantrieb des Jetting-Systems und wirkt nur bei einer kontinuierlich hohen Luftströmung. Im Bild 267, mit max. Kabeldurchmesser für diese SD-Größe, wird in der Ansicht sicher gut sichtbar, dass sich die Luft durch den engen Ringspalt von nur 0,75 mm (ohne Toleranzen) „mit Mühe hindurchquetschen“ muss. Die Strömungsgeschwindigkeit, der Air-Flow, ist also am „Limit“ dessen, was für ein gutes Einblasergebnis notwendig ist. Bei einer weiteren Verringerung des Ringspalt es wird die Einblasperformance drastisch reduziert.

Die Väter dieses Installationssystems haben diesen Zusammenhang natürlich vor vielen Jahren erkannt und den notwendigen Luftdruck zum Einblasen bewusst von den 12 bar der NE 2 auf 15 bar in der NE 3 angehoben. Denn der Luftdruck ist verantwortlich für die „Schubkraft“, mit der die Luft durch das Rohr und besonders durch den kleinen Ringspalt gedrückt wird. Hier wird also bereits ein weiterer wichtiger Eckpfeiler der Installation in der NE 3 erkannt: Ein **Kompressor mit max. 15 bar Luftdruck ist zwingend notwendig**, um die geforderten Leistungen zu bringen. Bei der Betrachtung des Bildes 268 wird deutlich, dass sich die Verhältnisse für den Air-Flow, infolge der Vergrößerung des Ringspalt es, drastisch verbessert haben. Mit dem hohen Luftdruck des Kompressors wird die Strömungsgeschwindigkeit der Luft hoch gehalten, was infolge der Reibung der strömenden Luft am Kabelmantel einen guten Vortrieb des Kabels ermöglicht.

Der Wermutstropfen in dieser Situation ist, dass sich die Kabel mit einem kleinen Kabeldurchmesser von nur 4 mm recht labil im Luftstrom verhalten. Mit zunehmender Verringerung des Kabeldurchmessers wird sich dieses negative Verhalten noch verschlechtern und durch zunehmende Kabelwelligkeit wird eine vergrößerte Reibung zur SD-Innenwand auftreten. Dadurch wird das Kabel auf der gesamten Einblaslänge, aber besonders von der Spitze her, gebremst. An dieser Stelle möchte ich zur exakten Einhaltung der in Tabelle Bild 266 genannten Ringspalte für beide Grenzdurchmesser auffordern. Abweichungen davon und deren Folgen werden in den folgenden Kapiteln 6.4.2 und 6.4.3 beschrieben.

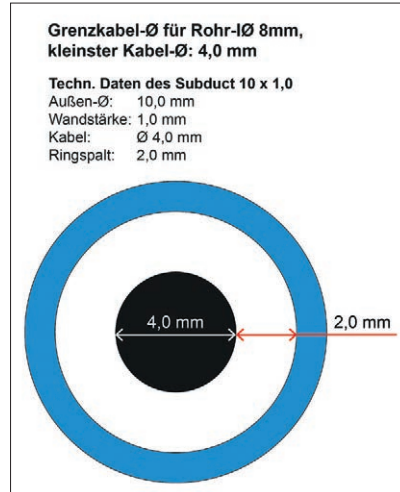
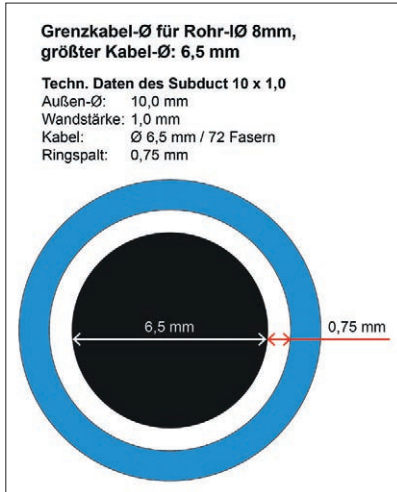


Bild 267 links: oberer Grenzkabel-Ø für SD-Innen-Ø 8,0 mm
 Bild 268 rechts: unterer Grenzkabel-Ø für SD-Innen-Ø 8,0 mm

Quelle: Seminar Vetter

Eine zweite Betrachtung führt uns zu den Grafiken der Bilder 269 und 270. In diesen wird der Seitenschlag des Glasfaserkabels mit einbezogen. Die Erklärung des Seitenschlages erfolgte bereits im Kapitel 6.3.2.1 mit Bild 251. Zu beachten ist, dass jedes Kabel, bedingt durch Kabelkonstruktion, -herstellung und das Aufspulen auf der Kabeltrommel, einen Seitenschlag besitzt – dieser ist gewissermaßen die **Toleranz des Kabels auf eine Längeneinheit bezogen**. Entscheidend für das EinJetten der Glasfaserkabel in der NE 3 ist jedoch die tatsächliche Größe dieses Seitenschlages.

Im Bild 269 sind die Durchmesserverhältnisse der Kabel-/SD-Konstellation von Bild 267 im Längsschnitt dargestellt. Der gezeichnete Seitenschlag ist genau $2 \times$ Ringspaltgröße ($2 \times 0,75$ mm) also 1,5 mm. In der Praxis bedeutet dies, dass bereits bei einem fast nicht sichtbaren Seitenschlag von nur 1,5 mm das Minikabel (bei anderen Konstellationen auch das Mikrokabel) an beiden Rohrwandungen schleift und eine Reibung generiert. Bei Vergrößerung des Seitenschlages kommt zusätzlich noch eine „Federspannung“ durch das Zusammendrücken des welligen Kabels hinzu. Diese lässt die Reibung des Kabels im SD überproportional ansteigen. Eine drastische Verschlechterung der Einblasperformance ist die Folge.

Im Bild 270 wird der untere Grenzkabeldurchmesser gemäß Bild 268 im Längsschnitt gezeigt. Der Seitenschlag ist größenmäßig bewusst gleich dem in

Bild 269 gewählt worden. Diese Grafik zeigt, dass bei Vergrößerung des Ringspalt zum einen der Air-Flow ansteigt (drei blaue Pfeile), was einen positiven Einfluss auf die Einblasfähigkeit hat. Zum anderen wird der kleine Seitenschlag von 1,5 mm toleriert, ohne dass zusätzliche Reibungskräfte auftreten.

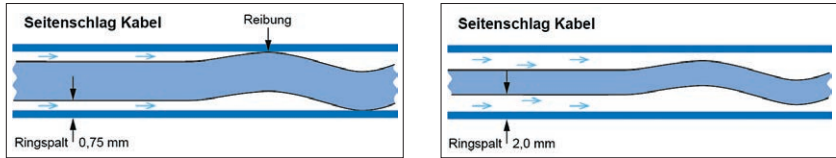


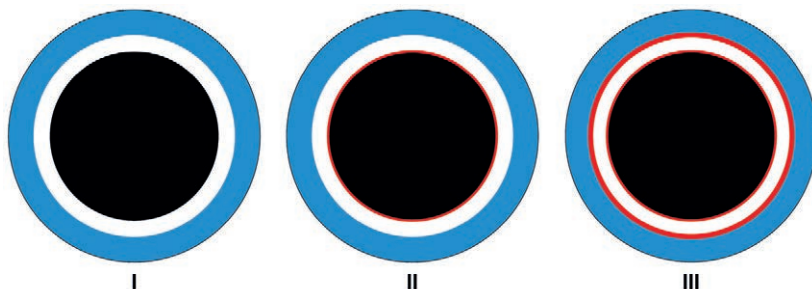
Bild 269 links: Seitenschlag des Kabels bei oberem Grenzkabel-Ø für SD-Innen-Ø 8,0 mm

Bild 270 rechts: gleicher Seitenschlag des Kabels bei unterem Grenzkabel-Ø für SD-Innen-Ø 8,0 mm

Quelle: Seminar Vetter

Eine dritte Betrachtungsweise führt uns zu den Toleranzen, die bei jedem Produkt vorhanden sind, jedoch gerne „vergessen“ werden, wenn es um die Gesamtbetrachtung der Auslegung der Glasfasernetzwerke geht. In Bild 271 nehmen wir wieder Bezug auf unser Minikabel D 6,5 mm im SD-Innendurchmesser 8 mm gemäß Bild 267. Es sei nochmals erwähnt, dass diese Installation zu den häufigsten im derzeitigen Breitbandausbau gehört. In der Grafik „I“ wird von den Nennmaßen des SD-ID 8,0 mm und des Kabel-AD 6,5 als Basis ausgegangen. In der Grafik „II“ wird der Kabeldurchmesser mit einer Toleranz von + 0,2 mm (ergibt Kabel-AD von 6,7 mm) betrachtet. Durch diese geringe Vergrößerung des Außendurchmessers des Kabels, der häufig vom Carrier noch akzeptiert wird, verringert sich bereits die für die Luft so notwendige Strömungsfläche um 12,1 %. Besitzt das SD zusätzlich noch eine Minustoleranz von 0,5 mm (siehe Grafik „III“), was zweifellos nicht mehr in der zulässigen Toleranz dieser Rohre liegt, ergibt sich nur noch ein Innendurchmesser von 7,5 mm.

Beide für die Größe des Ringspalt es ungünstig ausfallenden Toleranzen zusammen **reduzieren die wirkliche für den Luftstrom zur Verfügung stehende Querschnittsfläche um 47,8 %**. Der Air-Flow ist folglich sehr gering und damit auch die Transportfähigkeit der Luft. Sehen wir uns die Auswirkungen für den Seitenschlag an, kommen wir zu einer sehr ernüchternden Aussage: **Der Ringspalt ist nur noch 0,4 mm**, ein Seitenschlag größer 0,8 mm führt bereits zu den oben beschriebenen großflächigen Reibungen. Es ist also kein Wunder, wenn die Einblasperformance drastisch abnimmt und nur wenige 100 m installierbar sind.



	SD-ID [mm]	SD-Toleranz [mm]	Kabel-AD [mm]	K-Toleranz [mm]	Ringspalt [mm]	Reduktion Strömungsfläche [%]
I	8,0	0	6,5	0	0,75	–
II	8,0	0	6,7	+0,2	0,65	–12,1 %
III	7,5	–0,5	6,7	+0,2	0,40	–47,8 %

Bild 271: Auswirkungen von Toleranzen auf die Reduktion der Ringspaltfläche
 Quelle: Seminar Vetter

Noch einige Betrachtungen zu den Toleranzen: Beginnen wir beim Kabel. Diese sollten so toleriert werden, dass ein maximaler zulässiger Außendurchmesser festgelegt wird. Eine Toleranz von min. 0,2–0,3 mm muss in jedem Falle den Kabelherstellern eingeräumt werden. Bei unserem Kabel könnte das heißen: $\varnothing 6,2^{+0,3}$ mm (ein Maschinenbauer wird bei dieser Plus-toleranz für einen Außendurchmesser die Stirn runzeln – ich glaube jedoch, für die Kabelbranche ist diese Angabe besser).

Noch eine Anmerkung zum Seitenschlag: Ich habe bewusst bezüglich des Seitenschlags von einer „Toleranz des Kabels auf eine Längeneinheit bezogen“ gesprochen. Ein Kabel ohne Seitenschlag auf der Baustelle anzuliefern ist genauso unmöglich, wie das Kabel mit einem exakten Außendurchmesser zu fertigen. Ich halte den Seitenschlag, der nach Bild 271 (III) im ungünstigsten Fall auftreten dürfte, ohne zusätzliche Reibung zu erzeugen, von nur 0,8 mm (2x Ringspalt 0,4 mm) **für die Kabelindustrie praktisch nicht herstellbar**. Damit darf eine Situation, wie sie im Bild 271 (III) dargestellt ist, in der Praxis keinesfalls auftreten!

Bezüglich der SDs gibt es größere Toleranzen zu berücksichtigen, die derzeit leider auch noch nicht einheitlich geregelt sind. Im Dokument „Handreichung zur Qualitätssicherung im Rahmen der Mitverlegung nach § 77i Abs. 7

TKG“, Stand 2019, wird eine einheitliche Regelung zu den Toleranzen der SDs vorgestellt.^[30] Beim für das Jetting-Verfahren wichtigen SD-Innendurchmesser müssen in Abhängigkeit vom Durchmesser mindestens 0,2 bis 0,3 mm Toleranz abgezogen werden.^[30] Die in Tabelle Bild 271 gewählte Toleranz von –0,5 mm ist jedoch weit außerhalb des zulässigen Bereiches. Dennoch sind in der Praxis Fälle aufgetreten, bei denen diese Minustoleranz noch größer ausfiel. Carrier sind hier angehalten, die zulässigen Toleranzen genau im Blick zu haben und geliefertes Material diesbezüglich zu prüfen.

Vollständigerweise muss eine vierte Betrachtungsweise gefordert werden. Dies sind wellige SDs, die beim Rohr-in-Rohr-System eingejettet werden (vgl. Abschnitt 6.2.2.1, Bild 137), und erdverlegbare Rohrverbände, welche vollkommen unzureichend verlegt wurden. Siehe hierzu auch den Abschnitt 6.2.3.1, Bild 185 und 186, sowie den Abschnitt 6.2.3.3, Bild 192. Durch diese bereits ausführlich beschriebenen Material- oder Installationsfehler wird die Einblasperformance zusätzlich beeinträchtigt.

Die grundsätzliche Erkenntnis dieses bisherigen Abschnitts sollte sein: Eine Minimierung des Ringspaltes führt zur Verschlechterung der Einblasfähigkeit der Glasfaserkabel in der NE 3 und damit u.U. zu sehr hohen Folgekosten. Eine bereits in der Projektplanung durchgeführte Optimierung des Ringspaltes (Vergrößerung) benötigt etwas mehr Platz, ist etwas teurer, wird sich jedoch in den meisten Fällen in der Endsumme des Projektes positiv darstellen und viel Zeit sparen.

Bündelfasern sind bezüglich der Einblasparameter recht pflegeleicht. Folgende Eckdaten sollten berücksichtigt werden:

- Ein grundsätzliches Feingefühl für die gesamte Handhabung dieser sensiblen Konstruktionen von meist ca. 1,0–1,7 mm ist auf alle Fälle zwingend notwendig.
- Als SDs werden häufig die Größen 5x0,75 mit unterschiedlicher SD-Anzahl als erdverlegbarer Rohrverband verwendet. Die entstehenden Ringspalte bewegen sich zwischen 1,25 und 0,9 mm und sind damit geringfügig größer als bei vielen Installationen von Mini-/Mikrokabeln. Das geringe Gewicht und die hohe Flexibilität der Bündelfaser erleichtern die Installation.
- Die Einblastechnik ist natürlich auch auf diese filigranen Strukturen auszu-legen.

Genau wie in der NE 2 ist auch in der NE 3 die Verwendung von Kabelführungsköpfen an der Kabelspitze für das EinJetten wichtig, dargestellt in den Bildern 272 und 273. Diese Köpfe werden für Mini- und Mikrokabel auf den Kabelmantel aufgeschraubt und sind dadurch wiederverwendbar. Bei der Bündelfaser können diese nur aufgedrückt werden und sind damit ein „Einweg“-Artikel. Alle Führungsköpfe verhindern ein „Stoßen“ bzw. Aufspießen der Kabelspitze an Rohrmuffen oder ähnlichen Hindernissen. Das Aufschrauben der Führungsköpfe ist zweifellos eine zusätzliche Arbeit, die nicht jeder Kabeleinbläser gern macht. Die unterschiedlichsten Kabelarten fordern in manchen Fällen auch eine individuelle Anpassung des Kabels – ein „Schnitzen“, um die Befestigung zu gewährleisten. Der höhere Erfolg beim Einsatz der Führungsköpfe rechtfertigt jedoch diese Zusatzaufwendungen durch größere Reichweiten.



Bild 272 links: Minikabel mit Kabelführungskopf für NE 3

Bild 273 rechts: Bündelfaser und Mikrokabel mit Führungskopf für NE 3

Quelle: Seminar Vetter

Von der Industrie werden die Kabelführungsköpfe zum Aufschrauben für Mini- und Mikrokabel der NE 3 in einer breiten Angebotspalette von 13 Größen für Kabel-AD von 2,3 mm bis 12,2 mm angeboten.