

Altrohr-Zustand III und Grundwasser: Nachweiskonzept für Liner in nicht dauerhaft standsicheren Kanälen

Für die Sanierung von nicht mehr dauerhaft standsicheren Abwasserkanälen und -leitungen (Altrohr-Zustand III) mit Lining- und Montageverfahren reicht die Aufstellung einer einzelnen statischen Berechnung in der Regel nicht aus. Insbesondere bei wechselnden Überdeckungshöhen und/oder einem schwankenden Grundwasserspiegel ist ohne genauere Berechnungen nicht vorab abschätzbar, welche Einwirkungskombinationen zu den größten Beanspruchungen des Liners und des Altrohres führen. Darüber hinaus kann ein eventuell vorhandener Ringspalt zwischen Liner und Altrohr entweder günstig oder aber auch ungünstig wirken. Aus diesem Grunde wird in diesem Fachbericht ein systematisches Nachweiskonzept für den Altrohr-Zustand III vorgestellt, das in dem neuen Rechenmodul M127-2 der Software IngSoft EasyPipe bereits integriert ist.

BERECHNUNGSGRUNDLAGEN

Die statische Berechnung und Bemessung von Linern in Kanälen erfolgt auf Grundlage des ATV-Merkblatts M 127-2 „Statische Berechnung zur Sanierung von Abwasserkanälen und -leitungen mit Lining- und Montageverfahren“ in der Ausgabe vom Januar 2000. Diese Berechnungsvorschrift wird derzeit von der Arbeitsgruppe ES 8.16 der DWA überarbeitet. Die Neufassung soll als DWA-Arbeitsblatt A 143-2 erscheinen, dessen Gelbdruck bereits seit November 2012 vorliegt.

Die entscheidende Grundlage für die statische Berechnung von Linern ist der Zustand des Altrohres. Dazu werden entsprechend dem gültigen ATV-M 127 drei „Altrohrzustände unterschieden:

- a) **Altrohrzustand I:** Das Altrohr ist allein tragfähig. In diesem Fall hat der Liner lediglich die Dichtheit des Kanals herzustellen. Da das Altrohr alle von außen wirkenden Lasten alleine abtragen kann, wird der Liner in der Regel neben seinem Eigengewicht lediglich durch das Grundwasser belastet, das durch Risse oder undichte Fugen hindurchfließt und einen Außendruck aufbaut.
- b) **Altrohrzustand II:** Das Altrohr ist nicht allein tragfähig und an vier Stellen im Umfang (Scheitel, Kämpfer und Sohle) längs gerissen. Die dabei entstandenen Viertelschalen haben sich gegeneinander verdreht, wobei der Querschnitt „ovalisiert“. Der Boden stützt den Kanal, und es entsteht ein Tragsystem, bestehend aus dem gerissenen Altrohr und dem stützenden Boden, das so genannte Altrohr-Bodensystem. Ist dieses Altrohr-Bodensystem standsicher, befindet sich das Altrohr im Altrohrzustand II. Die Einwirkungen sind mit dem Altrohrzustand I identisch, aber es muss mit einem „oval“ vorgeformten Liner gerechnet werden.
- c) **Altrohrzustand III:** Dieser Altrohrzustand entspricht dem Altrohrzustand II mit dem entscheidenden Unterschied, dass die Standsicherheit des Altrohr-

Bodensystems nicht mehr nachweisbar ist. In diesem Fall hat der Liner nicht nur Grundwasserlasten zu tragen, sondern muss sich zumindest teilweise an der Aufnahme aller Einwirkungen wie Erdlasten, Verkehrslasten, Auflasten beteiligen. Im Vergleich zu den Altrohrzuständen I und II sind die Einwirkungen auf den Liner im Altrohrzustand III in der Regel um ein Vielfaches größer.

In Abhängigkeit vom Altrohrzustand sind für den Liner Imperfektionen anzusetzen, d. h. es ist bei der Berechnung davon auszugehen, dass die Querschnittsform des Liners nicht der Soll- oder Ausgangsinnenkontur des Altkanals entspricht, sondern in einer bestimmten Form und in einem bestimmten Ausmaß davon abweicht.

Im derzeit gültigen Regelwerk sind die folgenden drei Arten von Imperfektionen zu berücksichtigen:

- » Die **örtliche Imperfektion** w_v ist eine kurzweilige Beule und hat in statischer Hinsicht mehrere Aufgaben zu erfüllen. Erstens entsteht sie tatsächlich bei (insbesondere im Einbauzustand weichen) Schläuchen durch Buckel in der Wandung des Altkanals. Zweitens soll sie Schwankungen der Werkstoffeigenschaften im Liner abdecken und drittens ist sie eine rein rechnerische Hilfe, um das Beulen des Liners bei der Berechnung nach Theorie II. Ordnung tatsächlich auszulösen.
- » Die **Gelenkringverformung** $w_{GR,V}$ entsteht in einem gerissenen Altkanal, wenn sich seine Kämpfer nach außen sowie Scheitel und Sohle nach innen verschoben haben und der Liner in den „ovalisierten“ Kanal eingebaut wird.
- » Die **Spaltbildung** w_s entsteht durch Schwinden und/oder Schrumpfen des Liners oder des Hinterfüllbaustoffes nach dem Einbau, so dass kein direkter Kontakt zwischen dem Altrohr und dem Liner mehr besteht.

Jeder Liner wird neben seinem Eigengewicht durch Einwirkungen aus Grundwasserdruck und gegebenenfalls aus Erddruck und Verkehr belastet, die in der Statik durch Teilsicherheitsfaktoren beaufschlagt werden. Grundsätzlich sind zwei Versagensarten zu unterscheiden, die durch entsprechende Nachweise rechnerisch auszuschließen sind:

- » Versagen durch Bruch
- » Versagen durch Instabilität (Beulen)

Bruchversagen tritt auf, wenn die Zug- bzw. Druck-Spannungen im Liner größer sind als die Biegezug- bzw. Druckfestigkeit des Werkstoffes. In der Statik erfolgt die Absicherung gegen dieses Versagen durch Spannungs- oder Verzerrungsnachweise mit entsprechenden Teilsicherheitsfaktoren für die Festigkeiten des Werkstoffes.

Stabilitätsversagen zeigt sich bei Linern meist durch eine gegebenenfalls schlagartig auftretende, große Verformung (Beule). In der Statik erfolgt die Absicherung gegen dieses Versagen durch Stabilitätsnachweise.

EINWIRKUNGSKOMBINATION

Alle erforderlichen Nachweise für Liner können bei den Altrohrzuständen I und II mit einem einzigen Rechenlauf nach Theorie II. Ordnung mit den charakteristischen Lasten (Spannungs- und Verformungsnachweis) und den γ -fachen Lasten (Stabilitäts- und Spannungsnachweis) erbracht werden. Liegt der Altrohrzustand III vor, ist das Problem wesentlich komplexer, so dass zumeist ohne genauere Berechnung nicht vorhersagbar ist, welche Einwirkungskombination zu den größten Beanspruchungen führt oder das Stabilitätsversagen zuerst auslöst. So bewirkt beispielsweise ein sinkender Grundwasserstand einerseits eine Verringerung des Außenwasserdrucks auf den Liner und somit eine Beanspruchungsminderung, andererseits aber auch eine Erhöhung der Erdlast auf das Altrohr, wodurch der Liner indirekt höher beansprucht wird. Welcher Einfluss größer ist, lässt sich in der Regel nicht voraussagen, so dass beide Fälle überprüft werden müssen. Ein analoges Problem besteht bei der Wahl der ungünstigsten Erdüberdeckung, da mit abnehmender Tiefe zwar die Erdlast abnimmt, die Verkehrslast aber zunimmt.

Aus diesen Gründen ist der Rechenaufwand beim Vorliegen des Altrohrzustandes III insbesondere dann wesentlich größer, wenn der Kanal im Grundwasser liegt und die Über-

deckungshöhe nicht konstant ist. In diesem Fall müssen die folgenden Einwirkungssituationen erfasst werden:

- » Höchster und niedrigster Grundwasserstand
- » Größte und kleinste Überdeckung
- » Erd- und Verkehrslasten auf dem Altrohr

Wie **Tabelle 1** und **Tabelle 2** zeigen, müssen im Standardfall vier Berechnungen des Altrohrzustandes III und drei Berechnungen des Altrohrzustandes II durchgeführt werden, deren Ergebnisse zu insgesamt sieben Lastfallkombinationen überlagert werden müssen. Dabei ist sogar bereits vereinfachend vorausgesetzt, dass der niedrigste Grundwasserstand stets unterhalb der Rohrsohle liegt. Diese Annahme liegt auf der sicheren Seite und ist in der Regel sinnvoll, da damit auch eine eventuelle Grundwasserabsenkung für eine benachbarte Baumaßnahme im Laufe der Betriebsdauer abgedeckt wird. Obwohl somit eigentlich nur die Beanspruchungen aus dem höchsten Grundwasserstand zu ermitteln sind, müssen drei verschiedene Berechnungen für reinen Grundwasserdruck (II1 bis II3) durchgeführt werden. Eine dieser Einzelberechnungen muss unter Beachtung des Mindestgrundwasserstandes nach Regelwerk (mindestens 10 cm über Scheitel und mindestens 1,5 m über Sohle)

| Lastfall | Überdeckung | Grundwasserstand | | Imperfektionen | | |
|----------|-------------|-------------------|------------------------------|----------------|-------------|-----------------|
| | | für Bodenauftrieb | als Linerbelastung | örtlich | Gelenk-ring | Spalt |
| III1 | maximal | unter Rohrsohle | – | – | + | – |
| III2 | maximal | maximal | – | – | + | – |
| III3 | minimal | unter Rohrsohle | – | – | + | – |
| III4 | minimal | maximal | – | – | + | – |
| II1 | – | – | Bemessungswert ¹⁾ | + | + | + |
| II2 | – | – | maximal | + | + | + ²⁾ |
| II3 | – | – | maximal | + | + | + ³⁾ |

1) Gemäß ATV-M 127-2, Abschnitt 6.3.1.2
 2) Unter Berücksichtigung der Gelenkringaufweitung infolge der Verformung des Altrohres aus Lastfall III2
 3) Unter Berücksichtigung der Gelenkringaufweitung infolge der Verformung des Altrohres aus Lastfall III4

Tabelle 1: Erforderliche Einzelberechnungen beim Altrohrzustand III

| Nr. | Lastfall-kombination | Nachweise Liner | | Nachweise Altrohr | Nachweise Gesamtsystem | |
|-----|----------------------|-----------------|------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------------|
| | | Biegespannung | Stabilität | Biegespannung in den Viertelschalen | Stabilität Rohr-Boden-System | Bettungsreaktionsdruck |
| K1 | III1 | + | + | + | + | + |
| K2 | III2 + II2 | + | + | + | + | + |
| K3 | III3 | + | + | + | + | + |
| K4 | III4 + II3 | + | + | + | + | + |
| K5 | II1 | + | + | – | – | – |
| K6 | II2 | + | + | – | – | – |
| K7 | II3 | + | + | – | – | – |

Tabelle 2: Erforderliche Lastfallkombinationen und zugehörige Nachweise beim Altrohrzustand III

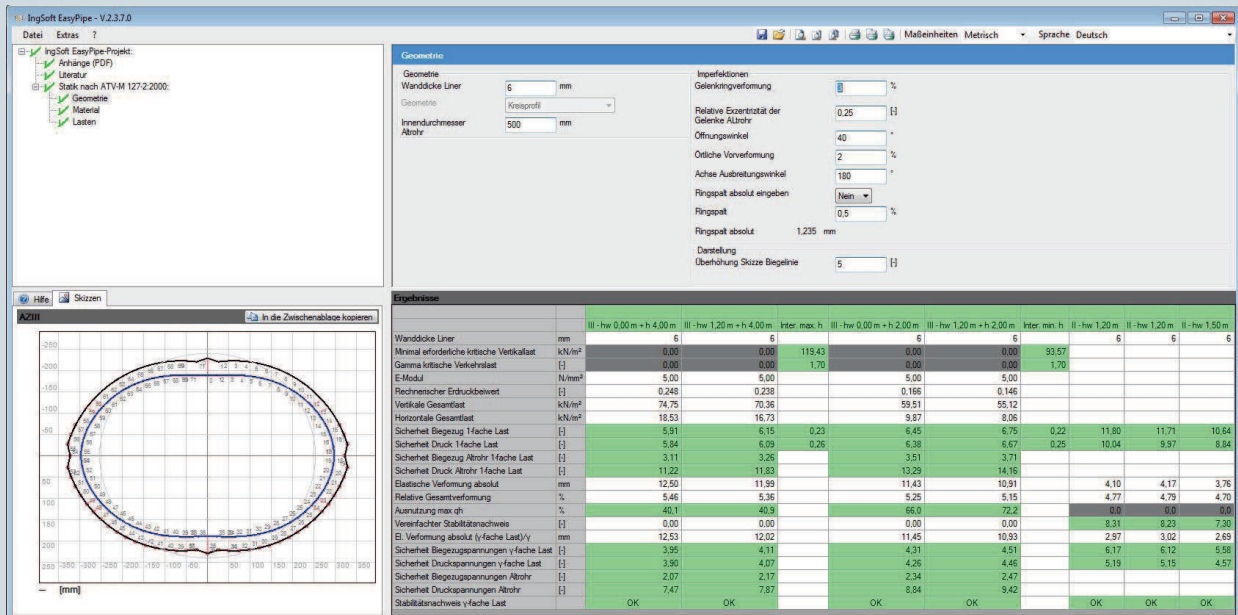


Bild 1: Ergebnisdarstellung einer vollständigen Linerstatik für den Alrohrzustand III (© EasyPipe)

vorgenommen werden. Darüber hinaus ist sowohl für die höchste als auch für die niedrigste Erdüberdeckung eine eigene Berechnung für höchsten tatsächlichen Grundwasserstand durchzuführen, da die jeweilige Vergrößerung des Ringspaltes infolge der lastabhängigen Gelenkringaufweitung das Ergebnis beeinflusst.

NACHWEISKONZEPT

In allen sieben Überlagerungsfällen müssen für den Liner die Nachweise für die Bruchsicherheit (Biegespannung) und die Beulsicherheit (Stabilität) geführt werden. Aber auch für das Alrohr muss nachgewiesen werden, dass die Viertelschalen zwischen den Rissen nicht unzulässig beansprucht werden.

Insbesondere bei einer weichen Bettung des Alrohres im Boden ist ein Stabilitätsversagen des Gesamtsystems (ein gegebenenfalls schlagartiger Einsturz des Kanals) trotz Liner möglich, so dass auch das Rohr-Bodensystem in dieser Hinsicht nachzuweisen ist. Darüber hinaus begrenzt das M 127 den Bettungsreaktionsdruck, um insbesondere bei geringen Überdeckungen sicherzustellen, dass der Bettungsreaktionsdruck den aktivierbaren passiven Erddruck nicht überschreitet.

Das neue Linermodul des Statikprogramms IngSoft EasyPipe führt die beschriebenen Berechnungen und Kombinationen innerhalb eines umfangreichen Rechenlaufs selbständig aus. Bild 1 zeigt beispielhaft eine stark

komprimierte Ergebnisdarstellung einer Linerberechnung für den Alrohrzustand III mit allen erforderlichen Nachweisen.

Mit einem entsprechend leistungsfähigen und praxisnahen Berechnungsprogramm lässt sich auch die komplexe Linerstatik beim Alrohrzustand III komfortabel durchführen.

AUTOREN



Dr.-Ing. **DIETMAR BECKMANN**
S&P Consult GmbH, Bochum
Tel.+ 49 234 5167-181
E-Mail: dietmar.beckmann@stein.de



JACQUES KOHLER
IngSoft GmbH, Nürnberg
Tel. +49 911 430879-16
E-Mail: jacques.kohler@ingsoft.de