

Sockelgelagerte Rohrleitungen "ETERNIT"

Autor(en): **Kuster, Franz-Xaver**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **95 (1977)**

Heft 17

PDF erstellt am: **22.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-73362>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

- [5] H. Bruns (1971): Prüfung eines PVC-Dräns mit und ohne Kokosfilter im Dränkasten. Wasser und Boden, 23, 350–353.
- [6] DIN 1185 (1973): Dränung.
- [7] Eidg. Amt für Strassen- und Flussbau (1973): Lebendverbauung an fließenden Gewässern. Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale, 3000 Bern.
- [8] Eidg. Departement des Innern (1966): Richtlinien über die Beschaffenheit abzuleitender Abwässer vom 1. September 1966.
- [9] H. Hanert (1974): In situ-Untersuchungen zur Analyse und Intensität der Eisen(III)-Fällung in Dränen. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung, 15, S. 80–90.
- [10] K. Hartge und C. Heinemann (1970): Zur Verockerung von Dränrohren aus Kunststoff – eine Hypothese. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung, 11, S. 162–165.
- [11] V. Janik und E. Klaghofner (1975): Auswirkung der Mineraldüngung auf Oberflächen- und Dränwasser. Landw. chemische Versuchsanstalt Linz, Band 10, S. 147–180.
- [12] R. Karlen (1974): Drainagemaschinen mit Sohlensteuerung. Zeitschrift für Vermessung – Photogeometrie – Kulturtechnik, 62, S. 64 bis 68 und 88 bis 92.
- [13] R. Karlen (1975): Die Durchführung des Dränunterhaltes – Ein Arbeitsblatt für die Praxis. Vermessung – Mensuration, 47, S. 185 bis 190.
- [14] R. Karlen (1976): Die Dränspülung. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung, 17, S. 95–105.
- [15] R. Kowald (1970): Die Strömungsverhältnisse an Tondränrohren und ihre Beeinflussung durch Rohrart, Stossfugenweite und Filter. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung, 11, S. 151 bis 161.
- [16] H. Kuntze (1967): Zur Kalkung verockerungsgefährdeter Böden. Wasser und Boden, 19, S. 146–150.
- [17] H. Kuntze (1968): Schutzmassnahmen gegen Verockerung: Sauger unter Wasser? Wasser und Boden, 20, S. 280–283.
- [18] H. Kuntze (1968): Die Haftung von Eisenocker. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung, 9, S. 165–174.
- [19] H. Kuntze (1972): Die Möglichkeit der Beeinflussung materialspezifischer Verockerung. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung, 13, S. 321–327.
- [20] H. Kuntze (1975): Meliorationen – Gewässer ent- oder belastend? Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung, 16, S. 212–220.
- [21] H. Kuntze und R. Eggelsmann (1973): Vergleich von Ockeradhäsion und Schleppspannung des Wassers im Dränrohr. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung, 14, S. 285–292.
- [22] H. Kuntze und H. Neuhaus (1974): Einfluss von Rohrtyp und Filterung auf die Verockerung. Wasser und Boden, 26, S. 105–109.
- [23] H. Kuntze und B. Scheffer (1974/75): Organische Dränfilter gegen Verockerung. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung, 15/16, S. 70–79 und 97–109.
- [24] Kuratorium für Kulturbauwesen (1968–1973): Gewässerunterhalt, Teile I–V. Verlag Paul Parey, Berlin.
- [25] B. Meyer und H. Hippe (1966): Gärfuttermieten als Ursache saprophytgener Verstopfungen und Verockerungen von Dränen. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung, 7, S. 300–303.
- [26] H. Neuhaus (1974): Der Einfluss von Kupferschlackengranulat auf die Ockerausflockung in Moormarschen. Mitteilung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 18, S. 135–141.
- [27] K. Peyer (1976): Belastbarkeit des Bodens für Flüssigdüngerteilungen für die Schweizerische Landwirtschaft, 24, S. 105–120.
- [28] H. Radermacher (1975): Chemische oder mechanische Gewässerunterhaltung? Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung, 16, S. 268–278.
- [29] B. Scheffer (1974): Der Einfluss organischer Dränfilter auf Verlagerung und Ausfällung von Eisen im Boden und Drän. Mitteilung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 18, 126–134.
- [30] G. Schmid (1974): Persönliche Mitteilung. Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau.
- [31] H. Schulte-Karring (1970): Die meliorative Bodenbewirtschaftung. Landes-Lehr- und Versuchsanstalt Ahrweiler.
- [32] Schweiz. Bundesversammlung (1971): Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer gegen Verunreinigung (Gewässerschutzgesetz), Stand am 1. Juli 1973. 814.20.
- [33] Schweiz. Bundesrat (1972): Verordnung zum Schutze der Gewässer gegen Verunreinigung durch wassergefährdende Flüssigkeiten, Stand 1. Januar 1974. 814.226.21.
- [34] B. Szekrényi (1969): Die Bodenwasserhaushaltsregulierung durch Tiefenbearbeitung in West-Ungarn. Symposium über Tiefenbearbeitung des Bodens, Giessen 1969.
- [35] B. Szekrényi (1975): Persönliche Mitteilung. Forschungsanstalt für Wasserwirtschaft, Budapest.
- [36] P. Widmoser (1968): Der Einfluss von Zonen geänderter Durchlässigkeit im Bereich von Drain- und Brunnenfilterrohren. Schweiz. Bauzeitung, 86, S. 135–144.
- [37] K. Zanker (1972): Rohrleitungen als Vorfluter – Ein Wirtschaftlichkeitsvergleich. Beton Verlag, Düsseldorf, ISBN 3-7640-0086-4.

Adresse des Verfassers: R. Karlen, Bauleiter im Ingenieurbüro U. Henauer, Rosengasse 35, 3250 Lyss.

Sockelgelagerte Rohrleitungen «ETERNIT»

Von Franz-Xaver Kuster, Uznach

Im Rahmen der *Abwassersanierung des Kantons Glarus* haben sich die glarnerischen Gemeinden von *Bilten bis Ennenda* zum *Abwasserverband Glarner Mittel- und Unterland* zusammengeschlossen. Die zentrale Abwasserreinigungsanlage befindet sich westlich von Bilten. Mit einem 17 km langen Verbandskanal werden die Abwässer in natürlichem Gefälle ohne Zwischenpumpwerk der ARA zugeführt. Jede Gemeinde wird an 1–3 Einleitungsstellen unter Zwischenschaltung von Regenklärbecken und Mengenmessenrichtung an den Transportkanal angeschlossen. Der erforderliche Rohrdurchmesser beträgt im unteren Abschnitt 160 cm bei 1,4 ‰ Sohlengefälle.

Baugrund und Foundation

Als Folge des kleinen Längsgefälles ist eine genaue Abklärung der Untergrundverhältnisse eine unbedingte Notwendigkeit. Es wurden eingehende Untersuchungen bestehend aus *Rammsondierungen*, *Baggerschlitzten*, *Kernbohrungen* und *Probepfahlbelastungen* ausgeführt. Die bodenmechanischen Untersuchungen der Autobahn N3 konnten mitberücksichtigt werden.

Grob generalisierend können wir in der *Deckschicht* zwei Zonen unterscheiden, nämlich die *feinkörnigen Überschwemmungssedimente* und die *grobkörnigen Ablagerungen*. Die Überschwemmungssedimente bestehen im Untersuchungsgebiet vor allem aus einer bis zu 8 m starken, sehr setzungsempfindlichen *Torfschicht*. Die Notwendigkeit einer *Pfahlfoundation* steht in dieser Zone ausser Diskussion. Die grobkörnigen Ablagerungen von bis zu rund 10 m Mächtigkeit sind die *Ablagerungen der mäandrierenden Linth*, bzw. ihrer Nebenflüsse. In diesen Zonen kann je nach Kiesschichtstärke eine *Flachbettung* verantwortet werden. Unter dieser Deckschicht finden wir feinkörnige Schichten, Wechsellagen von Sand/Silt, Seebodenlehm und Seeton. Lokal sind kleinere Kiesnester anzutreffen, ebenfalls sind teilweise bis rd. 2 m starke Torfzonen vorhanden.

Ausschreibung

Für die Abschnitte mit *Pfahlfoundation* wurden aus wirtschaftlichen Gründen *Holzpfähle* gewählt, wobei sich die Pfahllänge aus einem Pfahlversuch an drei Pfählen verschiedener Länge ergab. Je nach Rohrtyp bzw. Leitungseigengewicht



Bild 8. Feldversuch, Dauerbelastung 3 Tage

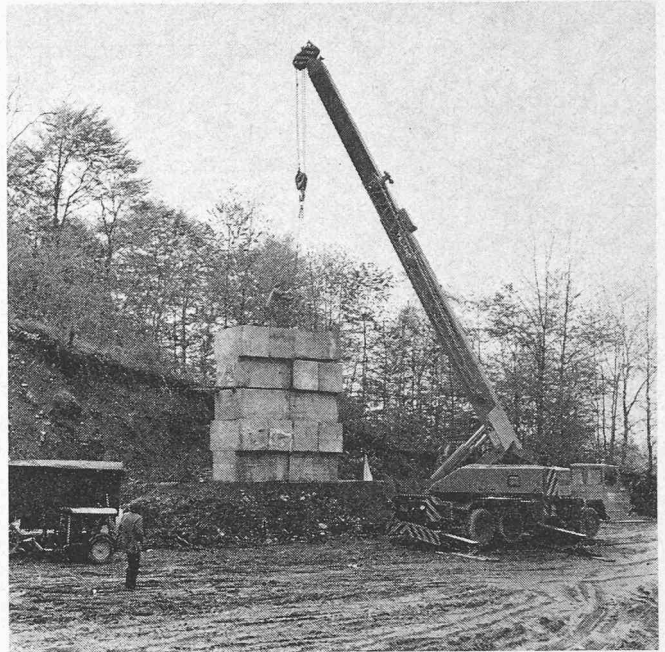


Bild 10. Uebersicht über die Versuchseinrichtung Feldversuch mit maximaler Belastung

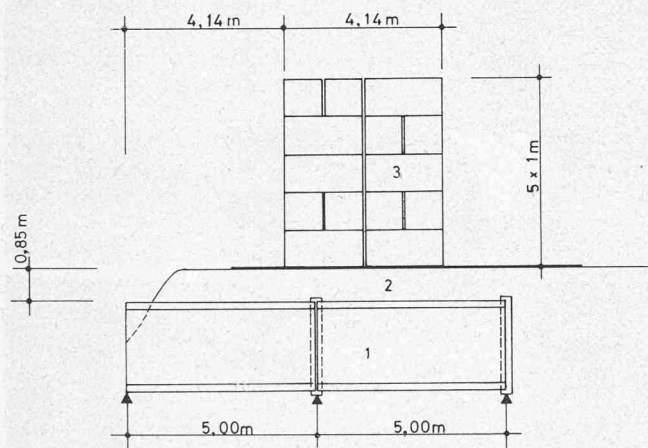


Bild 9. Maximale Belastung des Mittelauflegers

kann mit der zulässigen Pfahlbelastung ein Jochabstand zwischen 4 und 6 m ausgeführt werden. Ein eingehender Vergleich der ausgeschriebenen Varianten Ortsbeton, Betonfertigteile, Betonrohre und Rohre «Eternit» ergab, dass die letzten im vorliegenden Fall die gestellten Anforderungen am besten erfüllten.

Projektbeschreibung

Bei den Rohren des Durchmessers 160 cm mit 55 mm Wandstärke und 140 cm mit 52 mm Wandstärke wurden Baulängen von 5 m gewählt. Bei kleineren Durchmessern wird mit der Baulänge von 4 m gearbeitet. Die Auflagerung erfolgt mittels pfahlgestützten Betonsockeln auf die, z.B. beim Rohrdurchmesser 160 cm, 34 cm breiten Kupplungen, d. h. als statisches System wurde der einfache Balken gewählt (Bild 1). Wichtig erscheint uns die statisch bestimmte Lagerung im Kupplungsbereich. Bei kleinen Pfahlsetzungen, wie sie bei reinen Reihungspfählen in den vorliegenden setzungs-

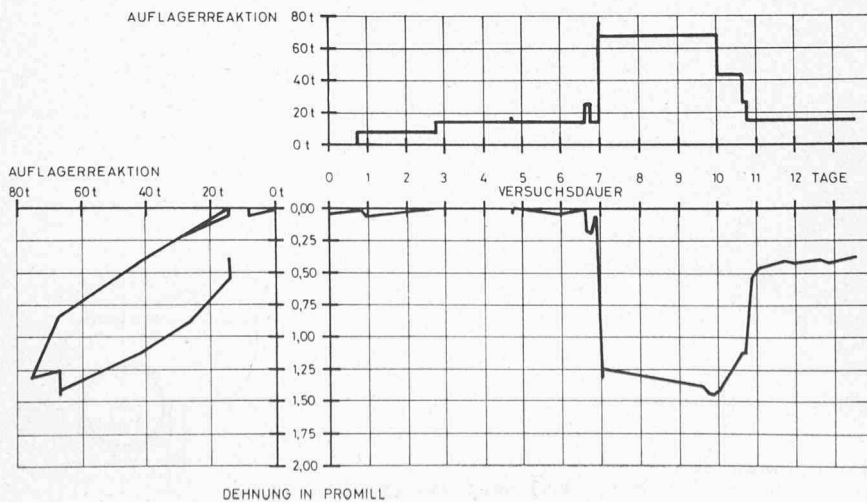


Bild 11. Feldversuch Mittelaufleger: Dehnungsmessung im Kämpfer des rechten Rohres

empfindlichen Böden nicht zu vermeiden sind, ergeben sich bei der gewählten Lagerung keine Zwängungen und Abscherungen, sondern lediglich *Verdrehungen* in den Kupplungen, was bei Eternitrohren zulässig ist. Im Bereich zwischen den Kupplungen ist die Baugrubensohle nicht bearbeitet. Es kann auf Kiesunterlage, Betonsohle und Stützbeton verzichtet werden. An die Qualität des Einfüllens müssen ebenfalls keine besonderen Anforderungen gestellt werden, es sei denn die Einschränkung, dass einseitiges Auffüllen mit horizontaler Pfahlbelastung verbunden ist und nur in beschränkter Masse zulässig ist. Von den bis heute ausgeführten 6 km Verbandskanal wurden total 4 km in dieser Ausführungsart gebaut. Die restlichen 2 km setzen sich aus Pressstrecken und aus Strecken mit kontinuierlicher Bettung im Kies zusammen. Die Flachbettung erfolgte unter Verwendung des anfallenden kiesigen Aushubmaterials mit einem Bettungswinkel von $2\alpha = 120^\circ$. Auf eine Betonbettung konnte in der ausgeführten Strecke verzichtet werden.

Statische Kontrolle

Die für diese Durchmesser und Baulängen von 5 m doch neuartige Ausführung bedingte eine eingehende Kontrolle der Tragfähigkeit. Die statischen Kontrollen wurden unter Mithilfe der Eternit AG, Niederurnen, durchgeführt.

Versuch zur Kontrolle des Auflagebereiches

Nach diversen Vorabklärungen wurde dieser Grossversuch im Auflagerbereich eines Rohres NW 160 cm und 5,5 cm Wandstärke vorbereitet. Die Belastungseinrichtung erlaubte eine maximale Auflagerreaktion von 18,6 t. Das Auflager bestand aus einem Betonsockel von 22,5 cm Breite mit einem Bettungswinkel von $2\alpha = 120^\circ$ (Bilder 2, 3). Die *Dehnungsmessungen* erfolgten an 24 Punkten mittels Straingauges. Zusätzliche Informationen ergaben drei *Deformationsmessungen* des Rohrscheitels mittels Messuhren. Als Auszug aus den Messresultaten sind in Bild 4 die gemessenen Dehnungen

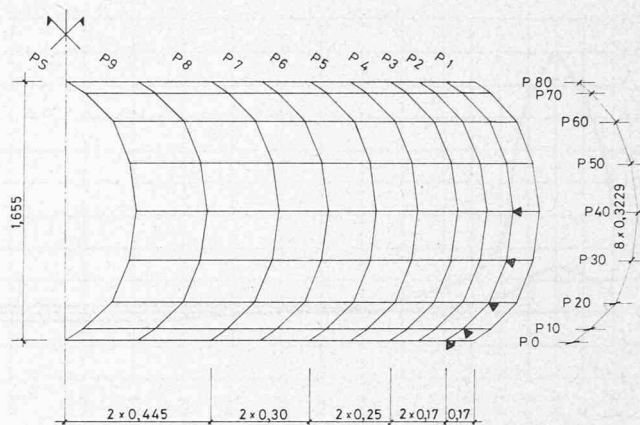


Bild 12. Statisches System Computerrechnung

15 cm oberhalb des Kämpfers dargestellt. Es zeigt sich in allen Messpunkten, dass das Kriechen unter Vollast durch ein Rückkriechen nach Entlastung ausgeglichen wird. Bild 5 zeigt die maximalen gemessenen Dehnungen in einem Vertikalschnitt durch die Axe des Auflagers. Die grösste Beanspruchung ergibt sich für diesen Belastungsfall im Kämpferbereich. Unter Berücksichtigung des an einem Rohrabschnitt gemessenen Elastizitätsmoduls von $265\,100\text{ kg/cm}^2$ errechnet sich bei einer angenommenen zulässigen Biegezugfestigkeit von 250 kg/cm^2 eine maximale Auflagerreaktion von 19,5 t. Die Versuchseinrichtung entspricht jedoch nicht den effektiv vorkommenden Belastungen, so dass den vorliegenden Werten keine Bemessungsgrundlagen entnommen werden können.

Feldversuch

Nachdem der erste Versuch positive Resultate gezeigt hat, konnte unter baustellengerechten Verhältnissen ein Feldversuch an zwei Rohren NW 160 cm ausgeführt werden. Die

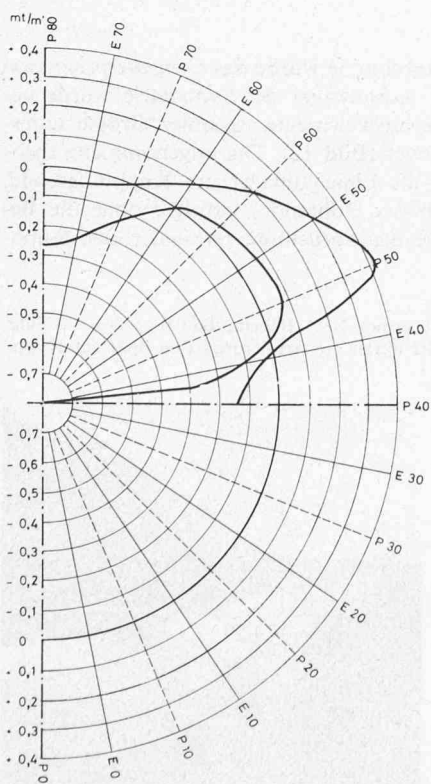


Bild 13. Grenzwertlinie $m\alpha$, Schnitt P 2

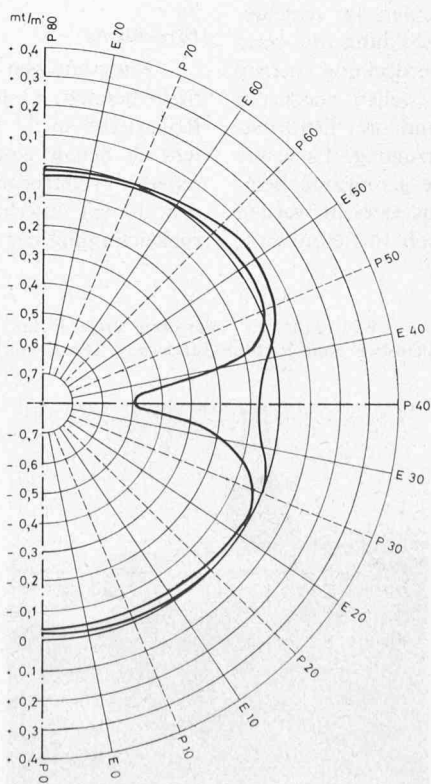


Bild 14. Grenzwertlinie $m\beta$, Schnitt P 2

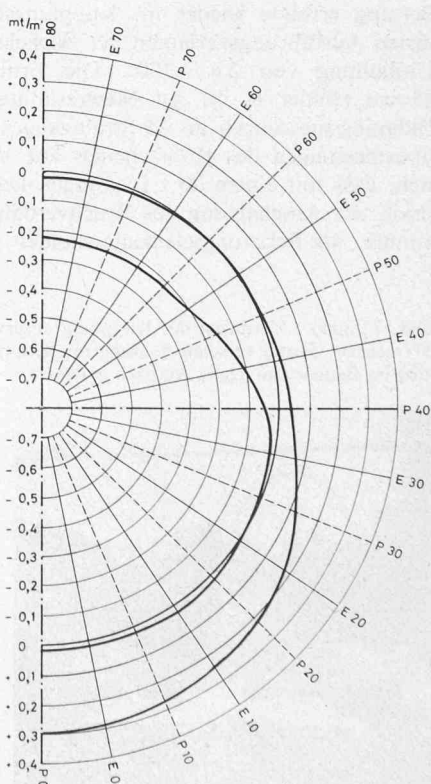


Bild 16. Grenzwertlinie $n\alpha$, Schnitt P S

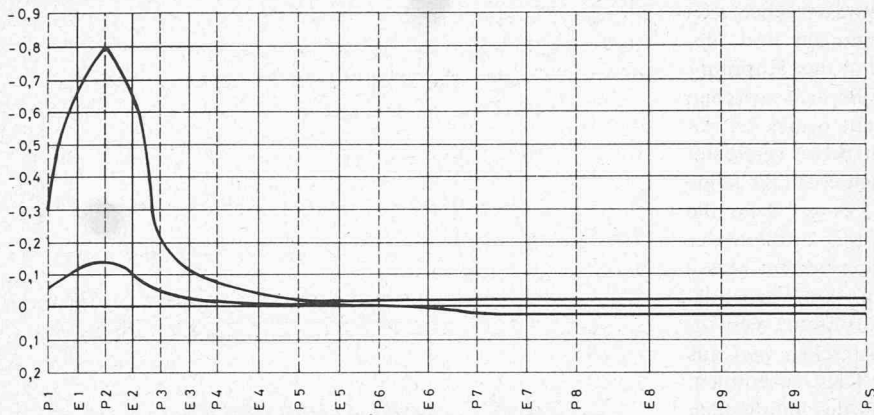


Bild 15. Grenzwertlinie $m\beta$, Schnitt P 40

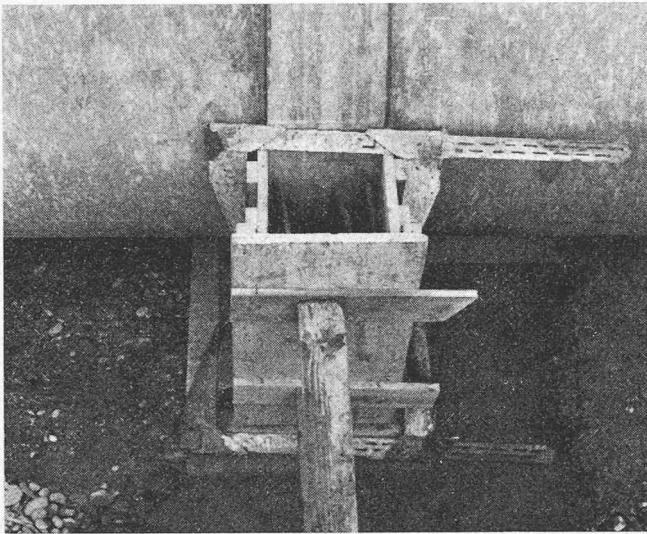


Bild 18. Sockeldetail vor Betonieren

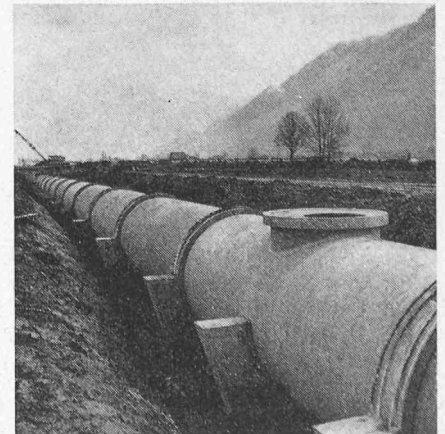
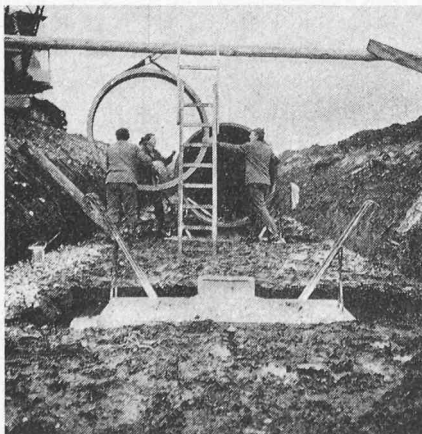
von total 85 t Eigengewicht zur Verfügung (Bild 8). Die Belastung mit diesen Elementen konnte systematisch bis auf 14 t/m^2 bei einer Verteilbreite von $4 \times 1,5 \text{ m}$ gesteigert werden (Bilder 9, 10). Die maximale Auflagerkraft aus beiden Rohren über dem Mittelaufleger betrug inkl. Erdauflast ca. 76 t. Es trat kein Rohrbruch auf, doch musste eine weitere Belastungssteigerung wegen Instabilität des nun doch 5 m hohen Betonurms eingestellt werden. Die maximal gemessene Dehnung von 1,45‰ ergab ca. 385 kg/cm^2 Biegezugspannung bei einer Scheitelsenkung von 9 mm. Die Dauerbelastung von 67 t ergab ein eindeutiges Kriechen, wobei die bleibenden Dehnungen bis zu 0,4‰ betragen. Bild 11 zeigt die gemessenen maximalen Dehnungen im Kämpferbereich über dem Mittelaufleger. Mit diesem wirklichkeitsnahen Versuch sind wir bei 76 t Auflagerkraft sicher gegen die Grenze der Bruchlast gekommen, haben dieselbe jedoch nicht erreicht. Vor allem ausführungspraktische Überlegungen führten die Projektverfasser dazu, den Bettungswinkel von 120° auf 180° zu erhöhen, den Betonriegel also bis zum Kämpfer hinauf zu führen. Damit ergibt sich neben den bautechnischen Vorteilen eine Erhöhung der zulässigen Belastung von ca. 15 Prozent.

Bettung erfolgte wieder im Kupplungsbereich in verschiedenen Ausführungsvarianten der Sockelausbildung mit einer Umhüllung von $2\alpha = 120^\circ$. Die Erdüberdeckung betrug 85 cm (Bilder 6, 7). An Messresultaten stehen wiederum Dehnungsmessungen an 24 Straingauges und drei Deformationsmessungen des Rohrscheitels zur Verfügung. Es zeigte sich, dass mit einem 20 t Lastwagen keine genügende Belastung zur Abschätzung des Bruchverhaltens erreicht werden konnte. Als Belastungselemente standen noch 14 Betonklötze

Berechnung

Zur statischen Berechnung wurde das *Computerprogramm Strip* benützt. Unter Ausnützung der Symmetrie wurde ein Rohrviertel in 72 Rechteckelemente variabler Größe unterteilt als Schale gerechnet (Bild 12). Die angenommene theoretische Auflagerung als Linienauflager am Kupplungsende, d.h. 17 cm innerhalb des Rohrendes, erfolgte ohne die Berücksichtigung der die Beanspruchung vermindernenden Kupp-

Bild 17 (links). Versetzen der Kupplung «Eternit». — Bild 19 (Mitte). Versetzen eines Rohres «Eternit» NW, 160 cm, Baulänge 5 m. — Bild 20 (rechts). Fertig versetzte Leitung mit Kontrolleinstieg ohne Richtungsänderung. Die Leitung ist durch die Armierungseisen über der Kuppelung im Bauzustand gegen Auftrieb gesichert



lung mit Gummiring. Die Berechnung erfolgte für die Lastfälle Eigengewicht, Wasserfüllung, 85 cm Erdüberdeckung, verteilte Nutzlast 500 kg/m², Einzelradlast in Rohrmitte bzw. über der Kupplung. Mit diesen sechs Lastfällen wurden die Grenzwertlinien in den 90 Elementschnittpunkten und den 72 Elementmitten berechnet. Die maximale Beanspruchung liegt mit ausgeprägter Spitze am Ende des Linienauflagers (Bilder 13, 14, 15, 16).

Die maximale *Hauptspannung* aus den Lastkombinationen beträgt 212 kg/cm², was einer Sicherheit von 2,6 gegenüber der garantierten Ringbiegefestigkeit von 550 kg/cm² entspricht. Die dazugehörige Auflagerkraft eines Rohres beträgt 22 t je Auflagersockel. Die gleichzeitig durchgeführte Berechnung mit 4 m Erdüberlagerung ergab für diesen Lastfall allein eine Spannungsspitze von 389 kg/cm². Mittels Interpolation ergibt sich, je nach angenommener Grabenbedingung, Nutz- bzw. Radlast, eine *maximal zulässige Erdüberdeckung* von rd. 2,2 m ($\sigma_{\max} = 250 \text{ kg/cm}^2$), was einer *Sohlen-tiefe* von 3,85 m entspricht. Die maximale Beanspruchung in Rohrmitte beträgt mit dem vorliegenden Verhältnis $L/H = 2,9$ nur 39 kg/cm². Zum Vergleich kann dieselbe Spannung am einfachen Balken unter Vernachlässigung der lokalen Biegemomente zu 27 kg/cm² berechnet werden.

Bauausführung

Dank der beim Grossversuch gewonnenen Erfahrungen ergaben sich keine nennenswerten Probleme während der Bauausführung (Bilder 17, 18).

Die *gute Masshaltigkeit* der Rohrlängen erlaubte es, 3 km Rohrleitung vom gewachsenen Boden aus vorzupfählen, wobei vor allem darauf zu achten ist, dass die Pfähle während des Schlagens unter Terrain nicht ausweichen können. Der Grabenaushub mit Dragline erfolgte bis OK Pfahlkopf. Die Sockelvertiefungen wurden von Hand ausgehoben. Besondere Aufmerksamkeit erforderte das genaue Einhalten des Längenprofils, wobei auch die Deformation des Gummiringes in der Kupplung nicht vernachlässigt werden kann.

Für die Gewährleistung der Auftriebssicherheit vor dem Einfüllen mussten in den Sockeln verankerte Armierungseisen um die Kupplung gezogen werden.

Bewährt hat sich auch das relativ handliche Rohrgewicht von 3,5 t, das die *Versetzarbeiten mit dem Aushubbagger* auszuführen ermöglichte (Bild 19).

Alle 80 m wurden *Kontrolleinstiege* eingebaut. Sofern keine Richtungsänderungen vorhanden sind, ist in ein Normalrohr werkseitig eine Öffnung $\varnothing 100 \text{ cm}$ eingefräst und ein Aufsatzring aufgeklebt worden. Diese Art von Kontrollschächten hat den Vorteil, dass keine Rinnen, Bankette und Rohranschlüsse zu erstellen sind (Bild 20). Bei Bogenschächten kamen die traditionellen Betonschächte zur Anwendung. Die Gesamtkosten lagen für die Ausführung mit Pfahlfundation bei 2,5 m mittlerer Sohlentiefe bei 1400 Fr./m' (Preisbasis 1973).

Zusammenfassung

Für den Bau einer Kanalisation $\varnothing 140$ bzw. 160 cm wurden Rohre «ETERNIT» gewählt. In den Zonen mit schlechten Baugrundverhältnissen wurden diese 5 m langen Rohre mit 52 bzw. 55 mm Wandstärke, statisch bestimmt, nur unter den Kupplungen auf pfahlfundierte kupplungsbreite Betonsockel gelagert. Neben der Computerberechnung wurde eine Belastungsprobe mit Druckpressen sowie eine Belastungsprobe mit Betonelementen an zwei erdverlegten Rohren ausgeführt.

Es zeigte sich, dass die Rohre die vorkommenden Belastungen aus Eigengewicht, Wasserfüllung, Erdüberdeckung 85 cm, verteilte Nutzlast und Einzelraddruck in Rohrmitte bzw. über der Kupplung mit genügender Sicherheit übertragen können. Es sind auch noch grössere Sohlentiefen möglich. In jedem Falle ist jedoch eine detaillierte statische Berechnung mit den effektiven Bedingungen absolut notwendig.

Adresse des Verfassers: F. X. Kuster, dipl. Bauing. ETH, Ingenieurbüro Kuster + Hager, Tönierstrasse 4, 8730 Uznach.

Ultraviolett-Laser – ein neues Werkzeug der Chemie

Der erste Laser in der *Bundesrepublik Deutschland*, der durch *Elektronenstrahlen* angeregt («gepumpt») wird, funktioniert. Er arbeitet mit dem *Edelgas Xenon* und liefert ultraviolettes Laserlicht. «Damit haben wir nicht nur den Einstieg in eine Familie neuer Lasersysteme geschafft», erklärte *Detlev Proch* von der *Projektgruppe für Laserforschung* der *Max Planck-Gesellschaft*. «Mit diesem Ultraviolett-Laser steht uns jetzt auch ein neues, wirkungsvolles Werkzeug für die Laserchemie zur Verfügung.»

Die Sonne ist das Vorbild: Mit ihrem Licht bauen Pflanzen aus Wasser und der Kohlensäure der Luft jedes Jahr ungefähr 100 Milliarden Tonnen organisches Material auf. Als «Abfallprodukt» dieser wohl wichtigsten *photochemischen Reaktion* entsteht ausserdem der für alles Leben auf der Erde notwendige Sauerstoff.

Licht kann aber nicht nur chemische Reaktionen auslösen. Es ist auch ein wichtiges Hilfsmittel bei der Bestimmung von Struktur und Konzentration von Molekülen. Das «natürliche» Licht der Sonne hat allerdings ebenso wie das Licht von künstlichen Leuchtkörpern grundsätzliche Schwächen: Es besteht aus einem Gemisch elektromagnetischer Strahlung verschiedener Wellenlängen. Die Lichtwellen schwingen ungeordnet durcheinander. Aus dieser – mikroskopisch gesehen – wirren Lichtflut können an photochemischen Prozessen

beteiligte Moleküle jeweils nur ganz bestimmte Wellenlängen aufnehmen – wie jeder Sonnenbrand zeigt: Es ist allein der kurzwellige und deshalb besonders energieintensive ultraviolette Teil des Sonnenlichtes, der die Haut rötet.

Erst die Erfindung des Lasers machte es möglich, Licht einer nur einzigen Wellenlänge, dessen Portionen (Quanten) im gleichen Takt schwingen, herzustellen – mit weitaus grösserer Energie in der betreffenden Wellenlänge, als das die Sonne vermag. Mit Lasern lassen sich also gezielt genau die Lichtwellenlängen – und zwar ausschliesslich diese – erzeugen, die an photochemischen Prozessen beteiligte Moleküle brauchen, um zu reagieren. Bei solchen photochemischen Untersuchungen waren die Wissenschaftler bisher vor allem auf den *Kohlendioxid-Laser* angewiesen. Wegen seines grossen Wirkungsgrads von bis zu 10 Prozent setzt er unter den Lichtverstärkern die meiste Energie in Laserlicht um: Seine für das menschliche Auge unsichtbare Laserstrahlung (Wellenlänge: 10,6 μm) im *Infrarot-Bereich* an der Grenze des sichtbaren Lichts zu grösseren Wellenlängen ist den Chemikern aber für viele Anwendungen zu weich. «Damit bekommen wir nicht genug Energie in ein Molekül hinein», betont Detlev Proch.

Bei der Entwicklung neuer Laser für die Photochemie konzentrierten sich die Forscher deshalb auf «härtere», kurzwelligere Strahlung, den *ultravioletten* Bereich also, der das