

Erfahrungen mit Edelstahlbehältern als Trinkwasserspeicher

Manfred Brugger

Anfang des Jahres 2000 wurde in Donaueschingen der erste Trinkwasserspeicher mit Edelstahlbehältern nach dem System Hydro-Elektrik in Betrieb genommen. Damals ahnte noch kaum jemand, dass diesem Speichersystem eine äußerst erfolgreiche Entwicklung bevorstand. Zwischenzeitlich wurden allein vom Entwickler bundesweit mehr als 100 Anlagen in verschiedensten Ausführungen und Größen mit 180 Behältern und einem Gesamtvolumen von mehr als 62.000 m³ realisiert. Im Bericht werden die verschiedenen Ausführungsvarianten beschrieben, die damit zusammenhängenden Fragestellungen erläutert sowie die Erfahrungen der Betreiber dargestellt.

Trinkwasserspeicheranlagen, Hochbehälter und auch Wassertürme wurden in der Vergangenheit in der Regel als Betonbehälter errichtet. Ein besonders leidiges Thema für die Anlagenbetreiber sind die nicht zu vermeidenden und regelmäßig wiederkehrenden Sanierungen der Betonbehälter. Die hierdurch entstehenden Kosten können im Laufe der Nutzungszeit beträchtliche Ausmaße annehmen. Je nach Schadensfall und Größe des zu sanierenden Objektes können die Kosten zwischen rund 100 €/m³ bis zu 1400 €/m³ Nutzvolumen pro Sanierung betragen [1]. Dazu kommt die Unsicherheit, dass die Ausmaße der Schäden oft erst nach Beginn der Maßnahmen ersichtlich werden und dadurch die tatsächlichen Kosten oft weit über den veranschlagten Kostenansätzen liegen.

Diese Ausgangsbasis führte im Jahre 1999 zur Entwicklung des Edelstahlspeichersystems. Begünstigt durch die Tatsache, dass viele Betonbehälter damals bereits mit Edelstahlblechen ausgekleidet wurden, entwickelte sich der Gedanke, anstelle der nachträglichen Auskleidung direkt Edelstahlbehälter zu nutzen und diese in vergleichsweise einfachen, kostengünstigen und langlebigen Gebäudekonstruktionen unterzubringen.

Ein Lösungsansatz, der zwischenzeitlich nicht nur beim Neubau, sondern zunehmend auch bei Sanierungen berücksichtigt wird, da viele Behälteranlagen zwischenzeit-

lich aufgrund zunehmenden Verbrauchs erweitert oder bei stagnierendem Verbrauch verkleinert werden müssen.

Hervorragendes Kosten/Nutzenverhältnis

Bei Investitionsentscheidungen wird oft ungeprüft angenommen, dass Konstruktionen auf Basis Werkstoff „Edelstahl Rostfrei“ teuer sind. Fakt ist, dass selbst bei höheren Investitionskosten die Verwendung von „Edelstahl Rostfrei“ in der Regel deutlich wirtschaftlicher ist, da kaum Folgekosten entstehen. Im Bereich der Trinkwasserversorgung sind die tatsächliche Nutzungszeit einer Investition (z.B. Bauwerk) sowie die mit der Investition verbundenen Folgekosten entscheidungsrelevant. Für Hochbehälter wird z.B. eine durchschnittliche Nutzungszeit von 50 Jahren angesetzt [2]. Aus der Praxis ist aber bekannt, dass diese Nutzungszeit bei kon-



Bild 1. Hochbehälter Kap-pel mit einem Edelstahlbehälter 400 m³.

ventionellen Behältern nur durch regelmäßige Sanierungen (Sanierungsintervalle zwischen 15 und 30 Jahren) mit entsprechenden Kosten (summa summarum höher als die Investitionskosten) erreicht werden kann. So ergibt sich bei einer dynamischen Kostenvergleichsrechnung über den angestrebten Nutzungszeitraum einer neuen Anlage meist ein deutlicher Vorteil (Projektkos-

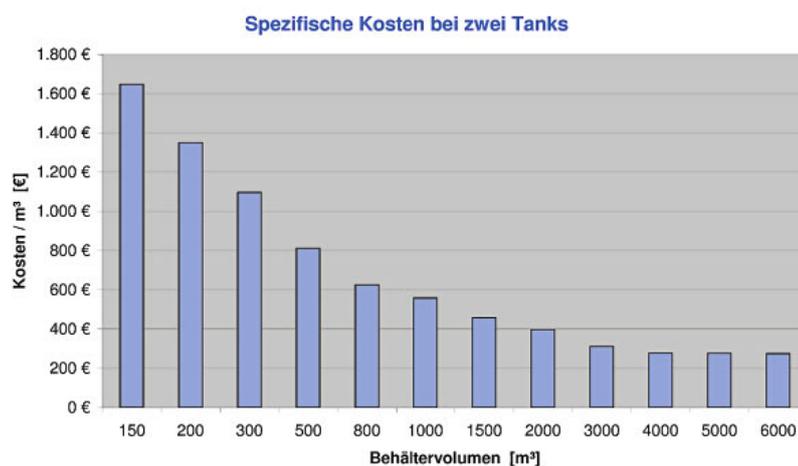


Bild 2. Spezifische Kosten einer schlüsselfertig erstellten Speicheranlage mit zwei Tanks auf Basis Duplex-Stahl und Standard-Holzgebäude.

EN	ASTM	Typische Zusammensetzung in %						MPa bei 20 °C*	
		C	N	Cr	Ni	Mo	sonstige	R _{p0,2}	R _m
1.4301	304	0,04	0,04	18,1	8,3	-	-	210	520
1.4541	321	0,04	0,01	17,3	9,1	-	Ti	200	500
1.4404	316L	0,02	0,04	17,2	10,2	2,1	-	220	520
1.4571	316Ti	0,04	0,01	16,8	10,9	2,1	Ti	220	520
1.4162	S32101	0,03	0,22	21,5	1,5	0,3	5 Mn	450	650
1.4462	S32205	0,02	0,17	22,0	5,7	3,1	-	460	640

* Mindestwerte nach EN: MPa - MegaPascal (1 Pa = 1 N/mm²), R_{p0,2} - 0,2% Dehngrenze, R_m - Zugfestigkeit

Bild 3. Zusammensetzung und Festigkeit wichtiger Edelstähle.

tenbarwert) für das Edelstahlspeichersystem im Gegensatz zum konventionellen Betonbehältersystem. Die spezifischen Kosten sind sogar so interessant, dass in vielen Fällen ein Neubau oder ein Umbau mit Edelstahlbehältern einer Sanierung vorgezogen wird. Die spezifischen Kosten einer schlüsselfertig erstellten Speicheranlage liegen je nach Größe im Bereich zwischen 280 €/m³ (große Behälter) bis zu ca. 1600 €/m³ bei kleinen Behältern (siehe **Bild 2**).

Hohe hygienische Sicherheit

Neben den finanziellen Vorteilen bietet die Edelstahlbehälterlösung aus Sicht der Anwender weitere nützliche Vorteile. Edelstahl bietet Keimen keinen Nährboden (keimabweisende Eigenschaften) und ist damit hygienisch stabil. Im Kontakt mit Trinkwasser ist Edelstahl neutral, d.h. es kommt zu keiner nennenswerten Migration von Metallen. Die glatte Oberfläche beugt Ablagerungen vor und lässt sich leicht mit dem Hochdruckwasser des integrierten Reinigungssystems reinigen. „Edelstahl Rostfrei“ ist aufgrund der hohen Korrosionsbeständigkeit nicht nur langlebig, sondern auch nahezu wartungsfrei. Daneben ist Edelstahl mechanisch hoch belastbar und flexibel, womit auch spätere Änderungen ohne großen Aufwand möglich sind.

Ein besonders erwähnenswerter Vorteil ist die hohe Anlagensicherheit durch die hermetische Kapselung sowie die vollständige Kontrolle der rundum zugänglichen Speicherbehälter.

Qual der Wahl – welcher Stahl

Rostfreie Stähle sind Legierungsstähle mit einem Chromgehalt von mindestens 10%. In Verbindung mit Sauerstoff bildet sich auf der Werkstückoberfläche eine dichte und chemisch widerstandsfähige Chrom-Oxidschicht aus. Diese nur wenige Atomlagen starke Schicht (als Passivschicht bezeichnet) ist gegenüber vielen aggressiven Medien beständig und erfordert keinen weiteren Oberflächenschutz für den Edelstahl. Das Medium Wasser wird also gewissermaßen durch eine Trennschicht von den Legierungselementen des Edelstahls isoliert.

Im Bereich der Trinkwasserversorgung werden vorwiegend austenitische Stähle eingesetzt wie z.B. die auch als V2A-Stähle bezeichneten Qualitäten 1.4301 bzw. 1.4541 und die V4A-Stähle 1.4404 bzw. 1.4571. Diese Stähle sind mit einem Chromgehalt von rund 18% legiert (siehe **Bild 3**). Die V4A-Stähle unterscheiden sich von den V2A-Stählen im Wesentlichen durch den zusätzlichen Gehalt von 2,1% Molybdän. Die physikalischen Eigenschaften der vier Stahlsorten sind weitgehend identisch. In der Wasserwirtschaft bis vor einigen Jahren noch relativ unbekannt waren die sogenannten Duplex-Stähle. Diese Stähle weisen ferritisches und austenitisches Gefüge auf – daher der Name Duplex – sie besitzen eine wesentlich höhere Festigkeit. Aufgrund des deutlich höheren Chromgehaltes von rund 22% verfügen diese Stähle auch über eine ausge-

zeichnete Korrosionsbeständigkeit. Der Beständigkeit gegenüber Lochfraß und Spaltkorrosion kommt bei Edelstählen eine zentrale Bedeutung zu. Diese Beständigkeit wird im Wesentlichen durch den Chromgehalt bestimmt und mit der sogenannten PRE-Zahl (**PRE = Pitting Resistance Equivalent**) ausgedrückt. Die PRE-Zahl wird nach folgender Formel berechnet [3]:

$$PRE = \%Cr + 3,3*\%Mo + 16*\%N$$

Je höher diese Zahl ist, desto höher ist die Beständigkeit (**Bild 4**). Wie die Grafik zeigt, ist die Beständigkeit von Duplex-Stahl 1.4162 bei intakter Passivierungsschicht gleich bzw. höher als die des erheblich teureren V4A-Stahls. Diese theoretische Betrachtung wird durch Erfahrungen aus der Praxis vollständig bestätigt. Erfahrungsgemäß steigt die Wahrscheinlichkeit für Lochkorrosion bei molybdänfreien Stählen (V2A-Qualitäten), wenn die Chloridgehalte bei kaltem Wasser 200 mg/l übersteigen. (Grenzwert für Chlorid in der TVO: 250 mg/L) [4, 5]. Die Chloridgehalte im Trinkwasser liegen meist nur bei 10% dieses Grenzwertes bzw. deutlich unter 100 mg/L, sodass in den allermeisten Fällen die V2A-Qualitäten ausreichend sind bzw. Duplex-Stahl eingesetzt werden kann.

Bei den bisher realisierten Objekten kam aus diesem Grunde in rund 70% aller Fälle 1.4301, bei ca. 10% 1.4571 und bei ebenfalls 20% Duplex-Stahl 1.4162 zur Verwendung. Bei Duplex-Stahl ist zu beachten, dass dieser erst seit rund 1 bis 2 Jahren verstärkt verarbeitet wird und der Anteil im letzten Jahr stark zugenommen hat. Es ist abzusehen, dass den Duplex-Stählen aufgrund des preislichen Vorteils (geringer Nickelgehalt) und der hervorragenden physikalischen Eigenschaften eine starke Verbreitung bevorsteht. Nachteilig bei Duplex-Stählen ist aber deren schwierigere Verarbeitbarkeit.

Holz-, Metall- oder Massivbau

Die Vielzahl möglicher Varianten im Bereich der Hochbehälterstandorte macht es unmöglich, eine standardisierte Gebäudehülle für alle Einsatzzwecke zu empfehlen. Das variable System erlaubt planerische Kreativität und eine optimale Anpassung an die jeweilige Situation vor Ort. Grundsätzlich bestehen die Bauwerke aus einem betonierten Unterteil (ebene Platte oder Wanne) und einer darauf erstellten Halle (**Bild 5**). Die Halle kann in Holzständerbauweise mit Holzverkleidung, als Industriehalle mit gedämmten Metallpaneelen, aus Betonfertigteilen oder aus Ortbeton-/Mauerwerk errichtet werden. Bei den realisierten Systemen liegt der Holzbau mit rund 70% weit vor der Industriehalle mit 20% und dem Massivbau mit 10%.

Dem Holzbau kommt zugute, dass hier mit einem hohen Vorfertigungsgrad gearbeitet werden kann und so die Bauzeiten minimiert werden können. Kostenmäßig liegt der Holzbau in etwa mit dem Industriehallenbau gleichauf, während der Massivbau in der Regel deutlich teurer ist. Allerdings kann diese Lösung in Ortsrandlagen mit Wohnbebauung aus optischen Gründen bevorzugt werden. Beim Bau auf felsigem Untergrund sind beim Holzbau der geringe Geländeeingriff sowie der geringere Flächenbedarf von Vorteil. In vielen Fällen ist auch der Gewinn an Druckhöhe infolge des Hochbaus vorteilhaft. In einigen wenigen Fällen wurde das System aus Gründen des Landschaftsschutzes abgelehnt und dem Betonbehälter der Vorzug gegeben. Es handelte sich bei diesen Einzelfällen um extrem exponierte Lagen ohne sonstige Bebauung, in denen ein Hochbau nicht in Frage kam oder um Erweiterungen bestehender Anlagen.

Die hermetisch gekapselten Wasserbehälter werden über Filterelemente direkt ins Freie belüftet. Im Gebäude sind damit keine zusätzlichen Fenster oder sonstige

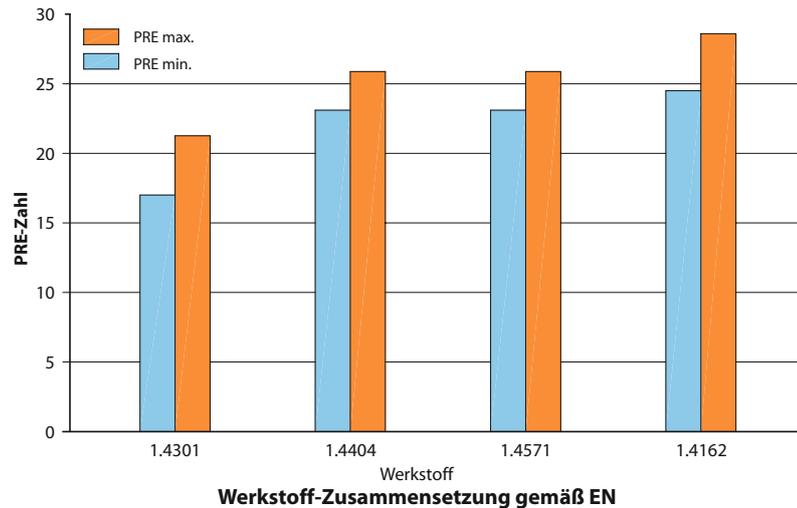


Bild 4. PRE-Zahl als Index für die Beständigkeit gegen Lochfraß.

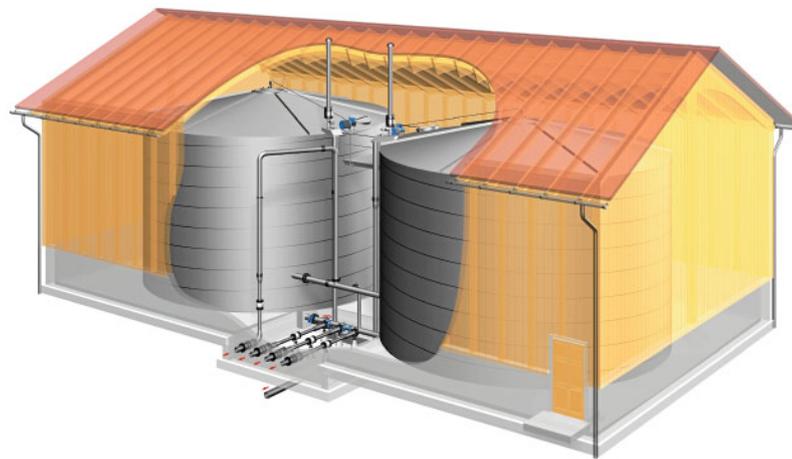


Bild 5. Prinzipieller Aufbau der Edelstahl-speicheranlage.

Lüftungsöffnungen erforderlich. Die Gebäude müssen fachgerecht isoliert, winddicht und absolut insektensicher ausgeführt werden. Je nach Ausführung sollte der Wärmedurchgangskoeffizient (u-Wert) für die Wände bzw. Dächer im Bereich zwischen 0,26 (bei kleineren Bauwerken) bis zu max. 0,5 liegen. Je nach Jahreszeit wirken die großflächigen Edelstahlbehälter als überdimensionierte Kühlkörper (Sommer) oder als Heizkörper (Winter). Dadurch ergibt sich ein absolut konstantes Raumklima mit einer Temperatur, die in etwa der Wassertemperatur entspricht. Nachdem Kondenswasser nur dort entstehen kann, wo warme, feuchte Luft auf kalte Flächen trifft, ist Kondenswasserbildung – auch bei hoher Luftfeuchtigkeit – bei diesem System ausgeschlossen, was auch in der Praxis bestätigt wird.



Bild 6. Fertigung der HydroSystemTanks vor Ort.

Bild 7. Pumpenvorlagebehälter 2 x 700 m³ in der Schweiz (St. Gallen).



Bild 8. Transport und Aufstellung werkstoffgefertigter HydroSystem-Tanks.



Schlüsselfertige Erstellung

Die rund 100 bisher errichteten Anlagen wurden zum Teil schlüsselfertig und zum Teil in einzelnen Gewerken ausgeschrieben. Die schlüsselfertige Erstellung einer kompletten Behälteranlage zeigt klare Vorteile – sowohl für den Auftraggeber als auch für den Auftragnehmer. Während für den Auftraggeber Sicherheit bei der Planung, den Kosten und beim Zeitplan besteht, reduzieren sich für den Auftragnehmer die Schnittstellenprobleme. Nachdem ein großer Teil der baulichen Leistungen in der Regel vom Generalunternehmer an örtliche Unternehmen vergeben wird, obliegt dem beauftragten Generalunternehmen die gesamte

Projektverantwortung. Das heißt auch, dass Planungsleistungen deutlich reduziert werden können. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Projektleiter des Generalunternehmers über umfangreiche Erfahrungen mit vergleichbaren Anlagen verfügen und damit entstehende Probleme bereits frühzeitig erkennen und eliminieren können. Die Auftraggeber können damit auch sicher sein, dass sie eine hochwertige Leistung erhalten für deren Gewährleistung nur der Generalunternehmer in Erscheinung tritt.

Sicherheit

Immer noch herrscht die Meinung vor, dass Massiv- oder Betonbauten besser vor Einbruch schützen als

beispielsweise Holzgebäude. Diese Meinung lässt die Tatsache außer acht, dass die meisten Einbrecher durch Türen oder Fenster kommen und nie durch die Wand. Dies begründet sich damit, dass normale Türen oder Fenster einem Einbruch nur wenig Widerstand entgegenstellen und somit ein Einbruch nahezu lautlos vonstatten gehen kann. Die Schwachstellen sind dabei meist die Beschläge. Bauwerke der Wasserversorgung sollten deshalb immer mit einbruchhemmenden Sicherheitstüren ausgerüstet werden, auf Fenster sollte wo möglich ganz verzichtet werden. Zusätzlich sollten alle Anlagen zwingend elektronisch überwacht und der Alarm bei der Polizei oder einem Sicherheitsdienst aufgeschaltet werden. Die Systeme leisten zudem einen guten Personenschutz im laufenden Betrieb, da bei einer Begehung der Anlage das System in regelmäßigen Abständen quitiert werden muss (sogenannte Totmannschaltung).

In vielen Wasserversorgungen wird dem passiven und aktiven Objektschutz eine große Bedeutung beigemessen. Gleichzeitig wird aber nicht selten durch Schilder der Zweck der Anlage erläutert oder durch Umzäunung der Eindruck erweckt: Hier ist etwas Interessantes versteckt. Eine Umzäunung kann vielleicht vor Wild schützen, hält aber keinen Einbrecher fern! Äußerst fraglich ist es, wenn Wasserversorgungen einerseits einen hohen Sicherheitsanspruch haben, andererseits aber alle Informationen über Anlagen und das Verteilungsnetz im Internet detailliert darstellen – ein Widerspruch, der nicht sein muss.

Positive Erfahrungen bei Bau und Betrieb

Bei guter Planung und Organisation sind bei kleinen Anlagen Realisierungszeiträume von etwa 3 Monaten und bei großen Objekten von rund 6 Monaten gut einzuhalten – Zeitspannen, die beim Bau von

Betonbehältern nie erreicht werden können. Realisierungszeitraum meint in diesem Sinne die Zeitspanne von Baubeginn bis zur Inbetriebsetzung. Neben den vergleichsweise niedrigen Baukosten und den kurzen Bauzeiten ist es insbesondere im Betrieb von Vorteil, dass sowohl die Innenseite als auch die Außenseite eines Behälters immer kontrollierbar ist. Eine gestartete Umfrage zu den Erfahrungen mit diesem System zeigte weitgehend übertroffene Erwartungen. Die Umfrage betrifft das Bauwerk, die Behälteranlage, die Reinigungsanlage, das Belüftungssystem, die Installation sowie allgemeine Fragen.

Nach 9 Jahren kann nun als Fazit festgestellt werden, dass dieses System eine große Zukunft vor sich hat. Neben Deutschland mit den meisten Anlagen sind bisher in Österreich, Norditalien, der Schweiz und in Luxemburg Behälteranlagen nach dem Hydro-Elektrik-System errichtet worden. Hervorzuheben ist, dass Behälter bis knapp 4,5 m im Durchmesser im Werk gefertigt werden und zur Baustelle transportiert werden – sofern die Zufahrtssituation einen Transport zulässt. Ansonsten muss die Fertigung im Spezialverfahren vor Ort erfolgen wie dies bei größeren Behälterdurchmessern grundsätzlich der Fall ist (**Bild 7** und **Bild 8**).

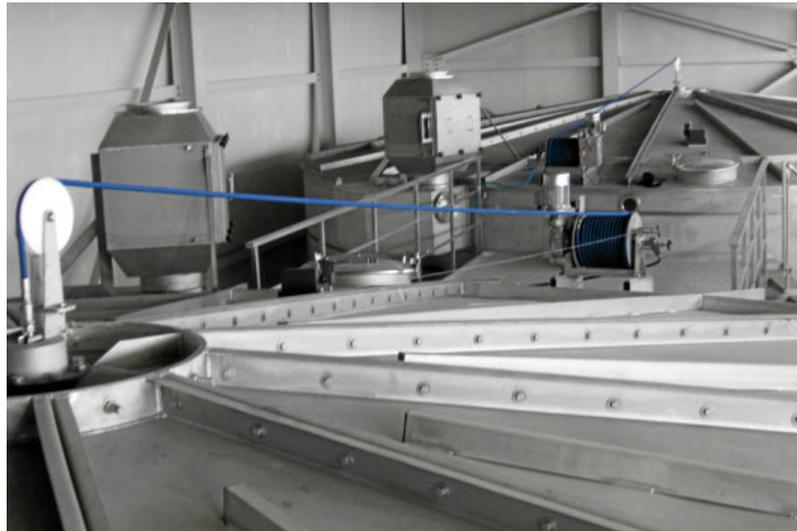


Bild 9. Dachansicht mit Reinigungssystem und Luftfilteranlage
(© Hydro-Elektrik GmbH)

Quellen:

- [1] Internetrecherche:
 - http://www.quast.de/fileadmin/bilder/Pool_Uploads/Artikel_Fachtagung.jpg
 - <http://www.twh-gmbh.de/service/04-05-2-02.pdf>
 - http://www.igbsued.de/pdf.php?page_id=230
 - <http://www.br-online.de/studio-franken/aktuelles-aus-franken/trinkwasserhochbehaelter-krottenbach-2008-kw48-ID1227603542861.xml>
 - http://www.hifu-gbr.de/skizze/Luegde_HB_Niese.pdf
 - <http://www.fritz-planung.de/hochbehaelter-fockenwinkel.html>
 - http://www.miltner-ag.de/referenzen_mi/trinkw/ZL3023_HBL.pdf
 - <http://www.pwu-md.de/reinwasserbehaelter.htm>
 - http://www.assfalg-gaspard.de/matrix_engine/pdf.php?page_id=73
 - Trinkwasser aus komplett saniertem Hochbehälter – Täglicher Anzeiger Holzminden vom 11.04.2008.
- [2] Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen – Länderarbeitsgemeinschaft Wasser.
- [3] Vergleichende Bewertung des Duplex-Stahls 1.4162 mit den Edeltählen 1.4301, 1.4404 und 1.4571 für Trinkwasserbehälter (Fraunhofer Institut 2006).
- [4] Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TrinkwV 2001).
- [5] DIN 50930-6 Korrosion der Metalle - Korrosion metallischer Werkstoffe im Innern von Rohrleitungen, Behältern und Apparaten bei Korrosionsbelastung durch Wasser - Teil 6: Beeinflussung der Trinkwasserbeschaffenheit.

Kontakt:

Hydro-Elektrik GmbH,
Dipl.-Ing. (FH) Manfred Brugger,
Angelestraße 48/50, D-88214 Ravensburg,
Tel. (0751) 6009 47, Fax (0751) 6009 33,
E-Mail: manfred.brugger@hydro-elektrik.de,
www.hydro-elektrik.de