

Petrov, Dm. V. (Ingenieur)

Wasserturm aus Eisen der städtischen Wasserversorgung von Nikolaev mit einem Behälter von 50 Tausend Eimer Fassungsvermögen

Deutsche Vollübersetzung aus:

Petrov, Dm. V.: *Železnye vodonapornye bašni. Ich naznačenie, konstrukcii i rasčety.*
Nikolaev: L. i I. Belolipskie, 1911, S. 85 – 111.

Russ.: Железная водонапорная башня Николаевского городского водопровода с резервуаром полезной емкости на 50 тыс. вед. воды
Železnaja vodonapornaja bašnja Nikolaevskogo городского водопровода s rezervuarom poleznoj emkosti na 50 tys. ved. vody

Die städtische Wasserversorgung von Nikolaev¹, die über Schächte mit Wassersammelstellen und verrohrten 4-Zoll-Bohrlöchern Grundwasser bezieht, gehört der Stadtverwaltung von Nikolaev und verfügt über ein Behältersystem zur Wasserzufuhr. Die Wasserversorgung ging noch während ihres Aufbaus am 1. April 1906 in Betrieb.

Gegenwärtig, insbesondere im Berichtsjahr 1909, erreichte die Wasserzufuhr aus den Schächten 2, 3 3b und dem alten Stadtschacht² fast 60 Millionen Eimer³ jährlich, bei höchster Tagesentnahme von 250 Tausend und geringster von 64 Tausend Eimer, bedient die 100 Tausend Bürger der Stadt über ein 70 Werst⁴ langes Wassernetz aus Gußeisenrohren mit 3 bis 12 Zoll Durchmesser.

¹ Die ukrainische Kreisstadt – heute: Mykolajiv – liegt am Zusammenfluß von Ingun und Južnyj Bug im Küstengebiet des Schwarzen Meers, etwa 100 km östlich von Odessa – Anm.d.Übers.

² Schacht 1 im Hof der Gogol'-Schule, aufgrund seiner geringen täglichen Ergiebigkeit nicht an die allgemeine Druckwasserleitung der städt. Wasserversorgung angeschlossen, eingesetzt für die Schule und zur Wasserentnahme für die ärmsten Anwohner des Viertels.

Schacht 5 wurde im April 1910 in Betrieb genommen und ist an die allgemeine 8-Zoll-Wasserleitung des benachbarten Schachts 2 angeschlossen.

³ Altes russ. Hohlmaß: 1 Eimer ≈ 12,3 l, Fassungsvermögen in diesem Fall somit ~ 41.000 l – Anm.d.Übers.

⁴ Eine „versta“, altes russ. Längenmaß, entsprach 1066,78 m – Anm.d.Übers.

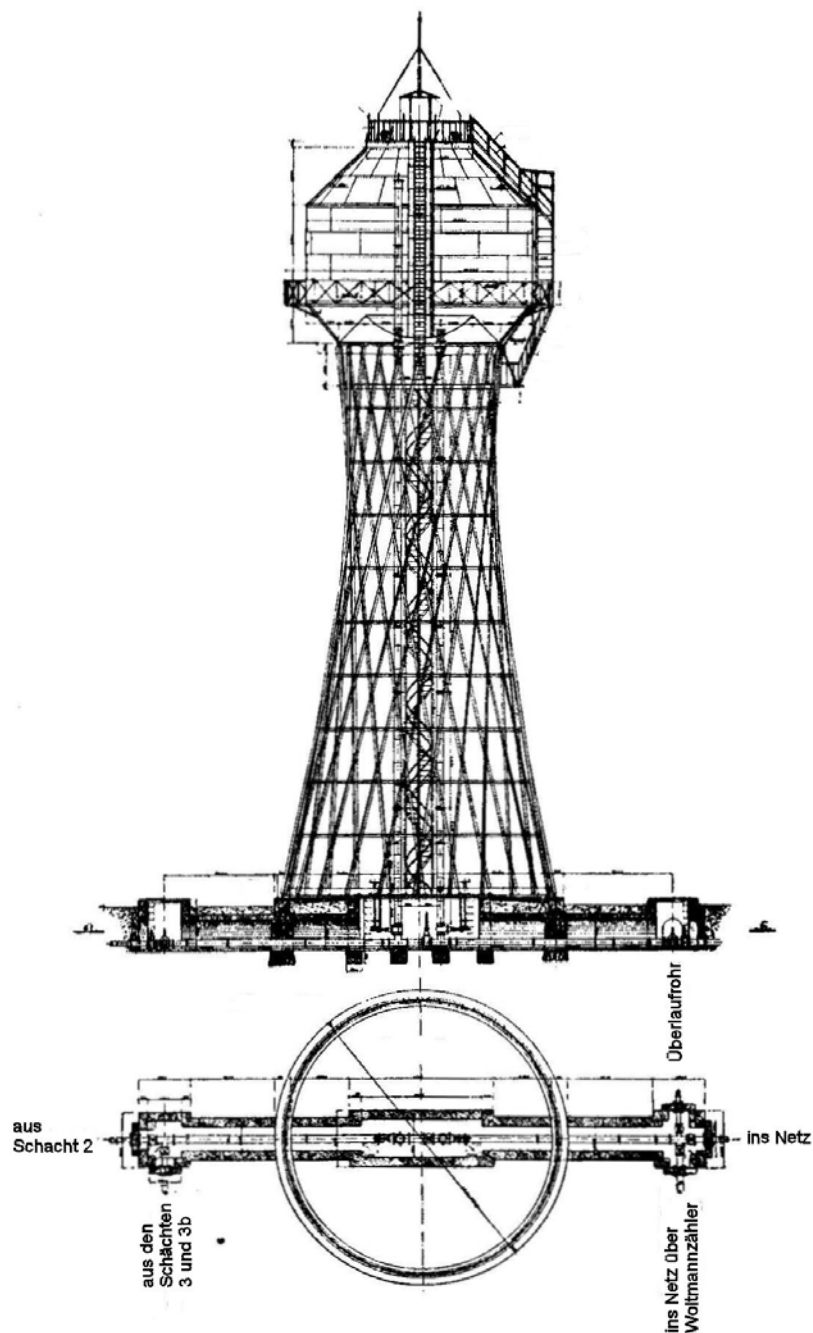


Abb. 1
(1/400 der natürl. Größe)

Wasserturm aus Eisen der städtischen Wasserversorgung von Nikolaev mit hyperbolischem Gerüst nach V. G. Šuchov und einem Behälter von 50 Tausend Eimer Fassungsvermögen nach dem Intze-Prinzip
(Nach dem Plan des Ingenieurs V. G. Šuchov)

Das Wasser aus den Schächten wird zu einem geringen Teil durch vertikale „Duplex-Compound“-Dampfmaschinen, hauptsächlich aber durch elektrische Fünfkammer-Zentrifugalhochdruckpumpen über zwei getrennte Wasserleitungen direkt in den Be-

hälter des Wasserturms aus Eisen gepumpt, mit einem maximalen Widerstand von 325 Fuß Wassersäule. Aus dem Turmbehälter wird das Wasser über ein 12 Zoll-Verteilungsrohr und zwei seiner Verzweigungen mit jeweils 10 Zoll in die ringförmige 10 Zoll-Hauptleitung der Stadt eingespeist.

Der Wasserturm aus Eisen für die Wasserversorgung von Nikolaev wurde nach einem Plan des Ingenieurs V. G. Šuchov von der Moskauer Fabrik A. V. Bari gebaut. Die Bauleitung für die Wasserleitung hatte N. V. Čumakov (Abb. 1 – 8)¹.

Das filigrane Turmgerüst stellt ein Rotationshyperboloid dar, dessen Netzfläche aus 48 Stützen aus Winkeleisen besteht, Profil 5 x 5 x 0,5 Zoll unten und 4,5 x 4,5 x 0,5 Zoll oben, schräg zusammengestellt, sich gegenseitig kreuzend. Wegen größerer Festigkeit werden alle Stützen mit 9 waagrechten Ringen, ebenfalls aus Winkeleisen, zusammengehalten. An den Kreuzungsstellen sind alle 48 Winkeleisen und die Transversalringe miteinander vernietet. Somit stellt die vernietete Netzfläche des hyperbolischen Turmgerüsts ein starres Gesamtsystem dar, das den Kräften sowohl aufgrund eines maximalen Winddrucks als auch der Volllast eines gefüllten Wasserbehälters sicher entgegenwirkt.

Das Turmgerüst geht unten in den Fundamentring mit 42 Fuß² Durchmesser über, oben in einen Ring mit 23 Fuß Durchmesser zur Aufnahme des Behälters. Das Ganze ruht auf einem festen ringförmigen Steinfundament. Die Höhe des Turmgerüsts von der Fundamentlinie bis zum tiefsten Behälterpunkt beträgt 84 Fuß.

Im Zentrum des Turmgerüsts befindet sich eine eiserne Wendeltreppe, unten an der Decke des Grundlaufs befestigt, oben am Eisenpodest unter dem gewölbten Boden des Intzebehälters.

Von der Ebene des ersten Eisenpodests unter dem Behälter gelangt man zur Turmspitze über zwei Steigleitern, von denen die eine am genieteten 42 Zoll-Hauptrohr (Trichterrohr) des Behälters befestigt ist, die andere verläuft parallel zur Behälteraußenwand (Abb. 1).

Der von einem Eisenbalkon umrundete Behälter liegt auf dem oberen Eisenring des Turmgerüsts und besteht aus drei Hauptteilen:

- 1) unterer stumpfer Kegel mit gewölbtem Intze-Boden, 5 Fuß 9 Zoll hoch, 23 und 34,5 Fuß Durchmesser,
- 2) Zylinder mit 34,5 Fuß Durchmesser und 15 Fuß 9 Zoll Höhe,
- 3) oberer stumpfer Kegel, 9 Fuß hoch sowie 34,5 und 16,5 Fuß Durchmesser und
- 4) einem Hohlzylinder mit 16,5 Fuß Durchmesser und 1 Fuß Höhe.

¹ Da die hyperboloiden Türme Šuchovs, ebenso die Hilfsgerüste und Arbeitsbühnen, immer gleich zusammengebaut werden, bringen wir nachstehend diese Photographien des Schritt-für-Schritt-Aufbaus des Turmes von Nikolaev, der zu den kompliziertesten der sonst gleichen Anlagen zählt.

² 1 russ. Fuß = 30,48 cm – Anm.d.Übers.

Bei diesen Abmessungen beträgt das gesamte Fassungsvermögen der Behälterteile:

1. $V_1 = 3052,46$ Kub.Fuß
 2. $V_2 = 14571,45$ Kub.Fuß
 3. $V_3 = 4700,72$ Kub.Fuß
 4. $V_4 = 204,21$ Kub.Fuß
- $$\Sigma V = 22529,84 \text{ Kub.Fuß}^1$$

Da sich die Öffnung des Signalrohres 1 Fuß unter der Behälterspitze befindet, beträgt das mit Wasser befüllbare Volumen:

$$22529,84 \text{ Kub.Fuß} - 204,21 = 22325,63 \text{ Kub.Fuß} = 51349 \text{ Eimer.}$$

Bei zulässiger Werkstoffspannung von 325 Pud^2 auf einen Qu.Zoll des Querschnitts und einem Schwächungswert der Fugen von 0,75 der Blechdicke wurde angenommen:

- | | |
|--|----------------------|
| a) oberer Behälterkegel | $\delta = 3/16$ Zoll |
| b) erster und zweiter Gurt des zylindrischen Teils | $\delta = 3/16$ Zoll |
| c) dritter Gurt | $\delta = 7/32$ Zoll |
| d) vierter Gurt | $\delta = 9/32$ Zoll |
| e) unterer Behälterkegel | $\delta = 3/8$ Zoll |
| f) Wölboden des Behälters | $\delta = 1/4$ Zoll |

Im Wölboden sind die Fugen einfach und damit der Schwächungswert der Bleche durch die Nietlöcher 0,6, folglich muß die tatsächliche Spannung unter

$$0,6 \cdot 325 = 195 \text{ Pud/Qu.Zoll}$$

liegen.

In Wirklichkeit ist diese Spannung

$$R = \frac{R_0}{2} \cdot \frac{H \cdot \gamma}{12 \cdot \delta} = \frac{5,75 \cdot 30,5 \cdot 1,728}{12 \cdot \frac{1}{4}} = 101 \text{ Pud/Qu.Zoll.}$$

Der Eisenturm der Wasserversorgung von Nikolaev ist vom Fassungsvermögen her der größte bekannte Behälter und verdient als Hyperboloid besondere Beachtung, weshalb wir ihn nachfolgend detailliert – sowohl technisch als auch im praktischen Einsatz – untersuchen.

1. Berechnung des Turms

Die Berechnung des Turms auf seine Stabilität und Festigkeit erfolgte im Hinblick auf die Einzelteile getrennt:

- 1) Berechnung des Winddruckeinflusses auf den Behälter und
- 2) Berechnung des Winddruckes auf das Turmgerüst.

¹ Das Fassungsvermögen des zentralen Ablaufrohrs wurde bei der Berechnung des gesamten Fassungsvermögens des Behälters nicht berücksichtigt.

² Altes russ. Gewichtsmaß: 1 Pud = 16,38 kg – Anm.d.Übers.

Wie wir sehen werden, ist bei einem Winddruck von 1 Pud auf den Qu.Fuß der gesamten Oberfläche des Bauwerks die größte Werkstoffspannung für das Baugerüst nicht größer als 875 kg pro Qu.cm oder 350 Pud pro Qu.Zoll.

Der Gesamtwinddruck auf den Behälter wird dargestellt als Produkt des Drucks auf die Flächeneinheit mit der Projektionsfläche der Seitenfläche (Ebene senkrecht zur Windrichtung). Somit ist:

Die Projektionsfläche der Seitenfläche der vier einzelnen Behälterabschnitte:

$$\omega = 165,31 + 543,38 + 229,5 + 16,5 = 954,69 \text{ Qu.Fuß.}$$

Der Gesamtwinddruck:

$$P = 116,88 + 543,38 + 162,25 + 16,5 = 839,01 \text{ Pud.}$$

Da dieser Druck normal ist zur zylindrischen Behälterfläche, setzen wir den Wert 0,667 ein, d.h.

$$P_1 = \alpha \cdot P = 0,667 \cdot 839,01 = 560 \text{ Pud.}$$

Aus der Gleichung der Flächenmomente bezüglich der durch den tiefsten Behälterpunkt verlaufenden waagrechten Achse ermitteln wir h , den Abstand des Angriffszentrums der Windlast P_1 von dieser Achse:

$$h = 15 \text{ Fuß.}$$

Der Winddruck auf 1 Fuß Höhe der Oberfläche der 48 Winkeleisen des Turmgerüsts, ausgehend vom Behälter bis zum 5. waagrechten Ring, wobei in diesem Stützenbereich 4,5 x 4,5 x 0,5 Zoll-Winkeleisen benutzt werden, ist:

$$p = 1 \cdot \frac{4,5}{12} \cdot 48 = 18 \text{ Pud ,}$$

und vom 5. Ring bis zum Fundament mit 5 x 5 x 0,5 Zoll-Winkeleisen:

$$p_1 = 1 \cdot \frac{5}{12} \cdot 48 = 20 \text{ Pud .}$$

Wir unterteilen das Gerüst in zehn Abschnitte der neun waagrechten Ringe und ermitteln die Größen der entsprechenden Bruchmomente eines jeden Abschnitts nach der Formel:

$$M_{\max} = P_1 \cdot (h + x) + \frac{p \cdot x^2}{2}.$$

Für den Querschnitt, der vom Behälterboden im Abstand

$x = 9,3 \text{ Fuß}$	ist	$M = 560 \cdot (15 + 9,3) + \frac{18,9 \cdot 9,3}{2} = 14387 \text{ Pud/Fuß}$
$x = 9,3 + 7,9 = 17,2 \text{ Fuß}$		$M = 560 \cdot (24,3 + 7,9) + 9 \cdot 17,2 \cdot 17,2 = 20695 \text{ Pud/Fuß}$
$x = 17,2 + 8,2 = 25,4 \text{ Fuß}$		$M = 560 \cdot 40,4 + 9 \cdot 25,4 \cdot 25,4 = 28430 \text{ Pud/Fuß}$
$x = 25,4 + 8,2 = 33,6 \text{ Fuß}$		$M = 560 \cdot 48,6 + 9 \cdot 33,6 \cdot 33,6 = 37377 \text{ Pud/Fuß}$
$x = 33,6 + 8,2 = 41,8 \text{ Fuß}$		$M = 560 \cdot 56,8 + 9 \cdot 41,8 \cdot 41,8 = 47533 \text{ Pud/Fuß}$

$x = 41,8 + 8,2 = 50 \text{ Fuß}$	$M = 560 \cdot 65 + 18 \cdot 41,8 \cdot \left(\frac{41,8}{2} + 8,2 \right) +$ $+ 20 \cdot \frac{8,2 \cdot 8,2}{2} = 58967 \text{ Pud/Fuß}$
$x = 50 + 8,2 = 58,2 \text{ Fuß}$	$M = 560 \cdot 73,2 + 752,4 \cdot (20,9 + 16,4) +$ $+ 10 \cdot 16,4 \cdot 16,4 = 71746 \text{ Pud/Fuß}$
$x = 58,2 + 8,2 = 66,4 \text{ Fuß}$	$M = 560 \cdot 81,4 + 752,4 \cdot 45,5 +$ $+ 10 \cdot 24,6 \cdot 24,6 = 85870 \text{ Pud/Fuß}$
$x = 66,4 + 8,2 = 74,6 \text{ Fuß}$	$M = 560 \cdot 89,6 + 752,4 \cdot 53,7 +$ $+ 10 \cdot 32,8 \cdot 32,8 = 101338 \text{ Pud/Fuß}$
$x = 74,6 + 9,4 = 84 \text{ Fuß}$	$M = 560 \cdot 99 + 752,4 \cdot 63,1 +$ $+ 10 \cdot 42,2 \cdot 42,2 = 120725 \text{ Pud/Fuß.}$

Die Kraft aus der Einwirkung des jeweiligen, oben ermittelten Bruchmoments ergibt aus der Biegefestigkeitsbedingung

$$t = \omega \cdot R = \frac{M}{n \cdot r} :$$

Für den Querschnitt im Abstand: $x = 9,3 \text{ Fuß}$ $t = \omega \cdot R = \frac{14387}{24 \cdot 11,5} = 53 \text{ Pud};$

wobei r der Kreisradius, über den die Winkeleisen verteilt angeordnet sind, mit 11,5 Fuß.

Für den Querschnitt im Abstand: $x = 17,2 \text{ Fuß}$ $t = \omega \cdot R = \frac{20695}{24 \cdot 11} = 80 \text{ Pud};$

wobei r der Kreisradius, über den die Winkeleisen verteilt angeordnet sind, mit 11 Fuß.

Für den Querschnitt im Abstand: $x = 25,4 \text{ Fuß}$ $t = \omega \cdot R = \frac{28430}{24 \cdot 11,25} = 105 \text{ Pud};$

wobei r der Kreisradius, über den die Winkeleisen verteilt angeordnet sind, mit 11,25 Fuß.

Für den Querschnitt im Abstand: $x = 33,6 \text{ Fuß}$ $t = \omega \cdot R = \frac{37377}{24 \cdot 11,9} = 130 \text{ Pud};$

wobei r der Kreisradius, über den die Winkeleisen verteilt angeordnet sind, mit 11,9 Fuß.

Für den Querschnitt im Abstand: $x = 41,8 \text{ Fuß}$ $t = \omega \cdot R = \frac{47533}{24 \cdot 12,8} = 155 \text{ Pud};$

wobei r der Kreisradius, über den die Winkeleisen verteilt angeordnet sind, mit 12,8 Fuß.

Für den Querschnitt im Abstand: $x = 50 \text{ Fuß}$ $t = \omega \cdot R = \frac{58967}{24 \cdot 14,1} = 175 \text{ Pud};$

wobei r der Kreisradius, über den die Winkeleisen verteilt angeordnet sind, mit 14,1 Fuß.

Für den Querschnitt im Abstand: $x = 58,2 \text{ Fuß}$ $t = \omega \cdot R = \frac{71746}{24 \cdot 15,6} = 197 \text{ Pud};$

wobei r der Kreisradius, über den die Winkeleisen verteilt angeordnet sind, mit 15,6 Fuß.

Für den Querschnitt im Abstand: $x = 66,4$ Fuß $t = \omega \cdot R = \frac{85870}{24 \cdot 16,85} = 212$ Pud;

wobei r der Kreisradius, über den die Winkeleisen verteilt angeordnet sind, mit $16,85$ Fuß.

Für den Querschnitt im Abstand: $x = 74,6$ Fuß $t = \omega \cdot R = \frac{101338}{24 \cdot 19} = 223$ Pud;

wobei r der Kreisradius, über den die Winkeleisen verteilt angeordnet sind, mit 19 Fuß.

Für den Querschnitt im Abstand: $x = 84$ Fuß $t = \omega \cdot R = \frac{120725}{24 \cdot 21} = 240$ Pud;

wobei r der Kreisradius, über den die Winkeleisen verteilt angeordnet sind, mit 21 Fuß.

Die Bedingung für ein einziges Winkeleisen der Gerüststützen vom Wassergewicht im Behälter und der Eigenmasse des letzteren ist:

$$q = \frac{0,750 \cdot 51349 + 2500^1}{48} = \infty 855 \text{ Pud.}$$

Die Eigenmasse des Turmgerüsts ist 3225 Pud, folglich muß für den Druck auf jedes Winkeleisen des Gerüsts aus 1 Fuß Turmhöhe angenommen werden:

$$q_1 = \frac{3225}{48 \cdot 84} = 0,8 \text{ Pud.}$$

Somit ist die maximale Gesamtdruckkraft eines Winkeleisens des Gerüsts für jeden untersuchten Turmquerschnitt:

$x = 9,3$ Fuß	$Q = 53 + 855 + 0,8 \cdot 9,3$	$= 915,44$ Pud
$x = 17,2$ Fuß	$Q = 80 + 855 + 0,8 \cdot 17,2$	$= 948,76$ Pud
$x = 25,4$ Fuß	$Q = 105 + 855 + 0,8 \cdot 25,4$	$= 980,32$ Pud
$x = 33,6$ Fuß	$Q = 130 + 855 + 0,8 \cdot 33,6$	$= 1011,88$ Pud
$x = 41,8$ Fuß	$Q = 155 + 855 + 0,8 \cdot 41,8$	$= 1043,88$ Pud
$x = 50$ Fuß	$Q = 175 + 855 + 0,8 \cdot 50$	$= 1070$ Pud
$x = 58,2$ Fuß	$Q = 197 + 855 + 0,8 \cdot 58,2$	$= 1098,56$ Pud
$x = 66,4$ Fuß	$Q = 212 + 855 + 0,8 \cdot 66,4$	$= 1120,12$ Pud
$x = 74,6$ Fuß	$Q = 223 + 855 + 0,8 \cdot 74,6$	$= 1137,68$ Pud
$x = 84$ Fuß	$Q = 240 + 855 + 0,8 \cdot 84$	$= 1162,2$ Pud

Wir untersuchen die Winkeleisen des Gerüsts als einzeln stehende Stützen auf Ausknicken bei beliebiger Länge, die in jedem Fall gleich dem senkrechten Abstand x zwischen den waagrechten Ringen ist, und setzen den Wert für die Verringerung der Hauptspannung nach der Rankine-Schwarz-Formel ein:

$$\varphi = \frac{1}{1 + \mu \cdot l_2 \cdot \frac{\omega}{I}}$$

¹ Die Eigenmasse des Behälters mit Leitern und Rohren beträgt 2500 Pud.

Diese Formel ist von großer Rechengenauigkeit, da der Wert φ mit $\frac{Q}{\omega \cdot R}$ beim Druck einer Stütze mit nicht befestigten Enden bestimmt wird; im untersuchten Fall kann man – bei ganzen Winkeleisen und daß sie an den Schnittstellen mit den waagrechten Ringen befestigt sind – die einzelne Länge eines Winkeleisens des Gerüsts als eine Stütze mit befestigten Enden betrachten. Die tatsächliche Spannung des Winkeleisenquerschnitts fällt dann wesentlich geringer aus als berechnet.

In der nachstehenden Tabelle sind für jeden Querschnitt des Turmgerüsts sowohl die Kennwerte φ als auch die zulässigen und tatsächlichen Spannungen angegeben.

**Tabelle der zulässigen und tatsächlichen Spannungen
in den Winkeleisen des Turmgerüsts**

Nr des Querschnitts	Wert μ	l in Zoll	Querschnittsfläche des Winkeleisens: ω in Qu.Zoll	Trägheitsmoment des Querschnitts I	Wert φ	Zulässige Spannung in Pud/Qu.Zoll $R \cdot \varphi$	Tatsächliche Spannung in Pud/Qu.Zoll $Q : \omega$	Spannungsreserve in den Stützen in Pud/Qu.Zoll.
1	0,00008	9,3·12=111,6	4,27	7,95	0,65	350,0·0,65=227	915,44:4,27=215	12
2	0,00008	94,8	4,27	7,95	0,72	252	222	30
3	0,00008	98,4	4,27	7,95	0,71	248	230	18
4	0,00008	98,4	4,27	7,95	0,71	248	237	11
5	0,00008	98,4	4,27	7,95	0,71	248	244	4
6	0,00008	98,4	4,77	11,10	0,75	262	224	38
7	0,00008	98,4	4,77	11,10	0,75	262	230	32
8	0,00008	98,4	4,77	11,10	0,75	262	234	28
9	0,00008	98,4	4,77	11,10	0,75	262	239	23
10	0,00008	112,8	4,77	11,10	0,70	245	243	2

Aus der Tabelle ersieht man, daß die tatsächlichen Spannungen aufgrund der allgemeinen maximalen Druckkräfte der Winkeleisen in jedem Querschnitt des Turmgerüsts bedeutend kleiner sind als die zulässigen, und deshalb darf man hyperboloide Turmgerüste als ausreichend fest und sicher ansehen.

Das Gerüst des Wasserturms ist an einem vernietetem Stützring aus Eisen (Abb. 2) befestigt, der wieder am Fundament mit 24 Nieten (Durchmesser $1 \frac{1}{8}$ Zoll) befestigt ist.

Das Gewicht des Stützrings ist 300 Pud, folglich ist das Gewicht der Gesamtanlage mit nicht gefülltem Behälter:

$$3225 + 2500 + 300 = 6025 \text{ Pud.}$$

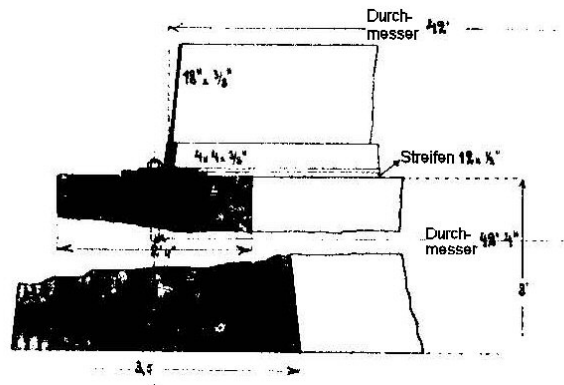


Abb. 2

Das Moment des Turmgewichts (Abb. 2) ist

$$M = \frac{6025 \cdot 42 \frac{1}{3}}{2} = 127529 \text{ Pud/Fuß},$$

d.h. größer als das größte Winddruckmoment (= 120725 Pud/Fuß).

Der Stabilitätswert des Turmes ist 1,056.

Bei zulässiger Spannung von 600 kg auf den Qu.cm oder 236 Pud auf den Qu.Zoll muß eine Fundamentniete eine Kraft von

$$K = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot 236 = \frac{3,14 \cdot 1 \frac{1}{8} \cdot 1 \frac{1}{8} \cdot 236}{4} = 234,5 \text{ Pud}$$

aushalten.

Wie aus Abb. 2 ersichtlich, ist der mittlere Durchmesser des Stützringes gleich 42 Fuß und folglich die Kreislinienlänge

$$a = \pi \cdot D = 3,14 \cdot 42 = 131,88 \text{ Fuß}.$$

Der Druck auf einen laufenden Fuß der Kreislinienlänge des 1 Fuß breiten Stützgurtes ist gleich der größten Gesamtdruckkraft der 48 Winkeleisen des Turmgerüsts, verteilt auf die Fläche des Stützgurtes des Fundamentrings, d.h.

$$\frac{48 \cdot Q}{1 \cdot a} = \frac{48 \cdot 1162,20}{1 \cdot 131,88} = 423 \text{ Pud}$$

bzw. auf einen einen Qu.Zoll der Fundamentmauerung:

$$423 : 144 = 2,91 \text{ Pud}.$$

Das Volumen eines laufenden Fußes der Fundamentlänge ist gleich (Abb. 2):

$$\frac{1}{2} \cdot (2 \frac{1}{3} + 3 \frac{1}{2}) \cdot 8 \cdot 1 = 23,3 \text{ Kub.Fuß},$$

und das Gewicht

$$3 \times 23,3 = \infty 70 \text{ Pud}.$$

Der größtmögliche Druck auf 1 Qu.Zoll Boden ist

$$T = \frac{423+70}{3,5 \cdot 12 \cdot 12} = 0,978 \text{ Pud.}$$

2. Turmausstattung

Der Wasserturm der städtischen Wasserversorgung Nikolaev ist ausgestattet mit einem Blitzableiter, Ventilatoren, einem 5 Zoll-Überlaufrohr aus Eisen, das über die gesamte Turmhöhe reicht, um überflüssiges Wasser hinter der Einfriedungsmauer abzuleiten, sowie mit Wasserstandsanzeigern im Behälter. Die letztgenannten umfassen:

1) einem Eichenholzschwimmer aus drei geharzten Scheiben, der sich über Übertragungsrollen und einem Ausgleichsgewicht für den Schwimmer je nach Veränderung des Wasserstandes im Behälter auf einer senkrecht angebrachten Meßskala auf und ab bewegt.

2) Einem pneumatischen Hydrometer, bestehend aus einem unten offenen Gefäß (Glocke), angebracht am Boden des Turmbehälters und verbunden über ein weiches Kupferrohr mit dem unten am Turmgerüst angebrachten Manometer. Das Wasser im Behälter drückt die Luft unter der Glocke zusammen, und da dieser Druck mit steigendem oder fallendem Wasserstand variiert, so ruft jede kleinste Schwankung eine Veränderung des Luftdruckes unter der Glocke hervor, was durch das Manometer aufgezeigt wird. Dessen Skala ist entsprechend geeicht worden, und somit kann man ablesen, wie hoch der Wasserstand im Turmbehälter ist.¹

3) Ein Kontrollmanometer im Wachhaus des Turmes.

4) Ein elektrischer Signalgeber über die Veränderung des Wasserstands im Behälter nach dem Patent der Firma „L. M. Erikson und Cie.“ mit automatischem Diagrammschreiber, untergebracht in 2 Werst Entfernung vom Turm im Maschinensaal der städtischen Stromversorgung, von der die Motoren der elektrischen Zentrifugalpumpen der Wasserversorgungsschächte mit Strom versorgt werden.

Für die Rohre des Turmes wurde anfangs ein 12 Zoll-Eisenrohr geplant, das sowohl als Einpreßrohr aus den Wasserschächten als auch als Ableitungsrohr ins Wassernetz der Stadt dienen sollte.

Bei einer solchen Förderung, wo der Wasserüberschuß gegenüber dem Wasserverbrauch ins Netz wieder in den hoch gelegenen Behälter gepumpt werden müßte, würde das Druckgefälle in den Druckrohren der angeschlossenen Pumpen schwanken und zwar recht stark, was für die in den Schächten untergebrachten *elektrischen Zentrifugal-Hochdruckpumpen* sehr ungünstig wäre. Diese arbeiten recht wirtschaft-

¹ Das Hydro-Manometer mit Zeiger kann auch durch ein Quecksilbermaß ersetzt werden. Für eine richtige und exakte Funktionsweise des Hydrometers ist es nämlich unerlässlich, daß das Verbindungsrohr völlig luftundurchlässig ist.

lich, d.h. mit normaler Nennleistung nur bei konstantem Druckgefälle und konstanter Rotationsgeschwindigkeit ihrer Turbinen.

Angesichts dieser Überlegungen sowie aufgrund dessen, daß der Wasserturm relativ weit weg von den Wassersammelschächten und bereits zu Beginn eines auf starke Entwicklung ausgelegten städtischen Wassernetzes aufgestellt wurde, als mit einem großen Wasserverbrauch zu rechnen war, wurde entschieden, ein zweites 12 Zoll-Eisenrohr anzubringen, das ausschließlich zur Wassereinspeisung dienen sollte, d.h. der Wasserturm sollte gezielt als Druckturm und nicht als Wasserausgleichsturm fungieren.

Beim Eintritt in den Boden¹ des Wasserbehälters wurden beide 12 Zoll-Rohre mit Ausgleichsstopfbuchsen versehen, deren Anbringung durch die starke Verformung des Turmes aufgrund Temperaturschwankungen im Werkstoff und veränderter Belastungen bedingt wurde, was man durch nachfolgende Berechnung bestätigen kann.

Das senkrechte 12 Zoll-Rohr des Turmes, innen mit Wasser gefüllt, ist über eine Länge von 12,25 Sashen² bzw. 26,10 m mit einer Isolationsschicht aus Filz und Korkmasse überzogen und mit Fichtenbrettern verkleidet, weshalb die Temperatur des Rohrwerkstoffs winters und sommers stark schwankt. Das Eisengerüst des Turmes selbst kann sich im Sommer – unter Sonneneinstrahlung wesentlich stärker erwärmen als seine Umgebung.

Nimmt man eine maximale Werkstofftemperatur im Sommer von 45° C an und im Winter von -20° C, dann beträgt die Temperaturschwankung zu verschiedenen Zeiten 65° C. Bei 26,10 m Länge eines jeden Rohres und einem mittleren linearen Ausdehnungswert des Eisens von 0,000012 verändert sich die Länge eines jeden Rohres unabhängig von der Turmbelastung um

$$26,10 \cdot 0,000012 \cdot 65 = 0,0204 \text{ m} = 20,4 \text{ mm.}$$

Wir berücksichtigen die Turmlast – bei ganz gefülltem Wasserbehälter – von 38512 Pud und können mit ziemlicher Sicherheit auf der Grundlage der Angaben zum Werkstoffwiderstand berechnen, daß die Dehnung der direktwirkend-proportionalen Last

$$\lambda : l = k : E$$

ist, wobei k die feste Werkstoffspannung mit 875 kg/Qu.cm,
 E der Elastizitätsmodul von Eisen mit 2.000.000 kg/Qu.cm und
 l die Länge einer Stütze des Turmgerüsts mit 25,6 m. Folglich ist der Druck:

$$\lambda = \frac{l \cdot k}{E} = \frac{25,6 \cdot 875}{2.000.000} = 0,0112 \text{ m} = 11,2 \text{ mm.}$$

¹ Das Anbringen von Kompensatoren unten ist unwirtschaftlich, da in diesem Fall der gewölbte Behälterboden durch das Gewicht der Rohre belastet wird.

² Altes russ. Längenmaß: 1 sažen = 7 Fuß = 2,1336 m (Anm.d.Übers.).

Da die durchschnittliche Wassertemperatur $+11^{\circ}\text{C}$ beträgt und für die Temperatur des Turmgerüsts sommers $+45^{\circ}\text{C}$ angenommen werden, beträgt die Temperaturdifferenz von Rohren und Gerüst $+34^{\circ}\text{C}$ und die lineare Dehnung der Gerüststützen

$$25,6 \cdot 0,000012 \cdot 34 = 0,0104 \text{ m} = 10,4 \text{ mm.}$$

Die Gesamtverformung des Turmes im Sommer aufgrund Erwärmung und Belastung ist folglich:

$$11,2 + 10,4 = 21,6 \text{ mm.}$$

Nimmt man eine Gerüsttemperatur im Winter von -20°C an, dann beträgt die Temperaturdifferenz Rohre – Gerüst:

$$+11^{\circ} - (-20^{\circ}) = 31^{\circ}\text{C},$$

und die lineare Dehnung der Turmstützen

$$25,6 \cdot 0,000012 \cdot 31 = 0,0095 \text{ m} = 9,5 \text{ mm.}$$

Die Gesamtverformung des Turmes winters aufgrund Abkühlung und Belastung ist somit:

$$11,2 + 9,5 = 20,7 \text{ mm.}$$

Aus diesen Berechnungen ergibt sich, daß das größte Stopfbuchsenpiel fast 22 mm erreicht. Ohne Ausgleichstopfbuchsen würde sich dieses Spiel stark auf die Fugen der senkrechten Rohre auswirken und bewirken, daß Wasser austritt.

3. Elektrischer Wasserstandsanzeiger im Turmbehälter.

Die Hauptausrüstung der Wassersammelschächte der städtischen Wasserversorgung Nikolaev sind die elektrischen Zentrifugal-Hochdruckpumpen, die ihre Energie aus den Anlagen des zentralen städtischen Beleuchtungswerks beziehen. Ein solches Versorgungssystem bedarf einer ständigen Beobachtung der Wasserstandsveränderung im Wasserturm durch das Werk, um die jeweiligen Anlagen anzupassen, was dadurch ermöglicht wurde, daß ein automatisches Signalsystem eingerichtet wurde, das den Turm mit der Leitstelle des Werks verbindet.

Der Wasserstandsanzeiger im Turm der Wasserversorgung Nikolaev ist von der Firma „L. M. Erikson und Cie.“.

Er besteht aus zwei Hauptbestandteilen: dem Doppelinduktor (Signalgeber), angebracht direkt auf der Oberfläche des Wasserbehälters, und dem Füllstandsanzeiger, in einer Entfernung von zwei Werst vom montiert im städtischen Elektrizitätswerk.

Dieser Anzeiger ist mit dem Induktor des Behälters mit zwei Leitungen und der Erde verbunden.

Der Doppelinduktor ist ausgestattet mit einem Rad, auf das die Gallsche Kette mit Schwimmer und Gegengewicht aufgewickelt wird.

Jede Wasserstandsveränderung im Behälter erzeugt eine Bewegung des Schwimmers und der Gallschen Getriebekette und einem Anheben der Spezialnocken des Induktors bis zu einer bestimmten Grenze, hinter der die Induktornocken, von der Spezialverzahnung gelöst, auf ein Lederpolster fallen und bei ihrem Fall eine Drehung des Induktorankers erzeugen, der Strom auf den automatischen Anzeiger des Elektrizitätswerks gibt.

Der Füllstandsanzeiger sieht aus wie ein flaches Kistchen (8 x 8 x 5 Werschok¹) mit einer unterteilten Skalenscheibe. Einer der Zeiger der Skala gibt den Wasserstand im Behälter an, mit zwei anderen Zeigern werden die zulässigen Geringst- und Höchststände markiert; kommt der bewegliche Wasserstandszeiger auf einen der beiden unbeweglichen, wird ein Signal ausgelöst.

Der Wasserstandsanzeiger ist mit einem Aufzeichnungsgerät verbunden, der über 24 Stunden auf einem Papierkreis graphisch den Wasserstand im Gesamtverlauf registriert.²

4. Wasserundurchlässiger Fundamentumlauf des Turmes.

Bei der Festlegung des Systems, wie die 8 Zoll-Druckrohre aus den Schächten 2 und 5 sowie die 10 Zoll-Rohre aus den Schächten 3 und 3b an das gemeinsame 12 Zoll-Druckrohr des Turmes im Abstand von 10,15 m von seinem Zentrum angeschlossen werden sollten, brauchte es für das dabei zustandekommende Rohrbündel mit seinen Schiebern eines großen Kontroll-Trockenschachts. Im gleichen Abstand von der Verbrauchsleitung mußte auch für den Knoten im Norden ein identischer Trockenschacht angelegt werden, wo sich das 12 Zoll-Verteilungsrohr in zwei 10 Zoll-Rohre für die verschiedenen Abnehmer an der 10 Zoll-Hauptleitung des Versorgungsringes und ein 5 Zoll-Überlaufrohr verzweigt.

Fünf Monate nach der Inbetriebnahme des Turmes wurde offensichtlich, daß das gesamte Rohrleitungssystem unter dem Behälter zwischen dem besagten Nord- und Südknoten zu den wichtigsten Punkten des Wasserleitungsnetzes gehört, und so wurde anstelle der einzelnen Trockenschächte aus lokalem Kalkstein (6 x 6 x 12 Werschok) ein gemeinsamer wasserundurchlässiger Fundamentumlauf angelegt, der zwischen den Eisenträgern eine Betondecke erhielt.

¹ Altes russ. Längenmaß: 1 veršok = 4,445 cm (Anm.d.Übers.).

² Ähnliche Signalsysteme werden in den Wasserversorgungen von Moskau, Riga und Poltava benutzt. Der Induktor kostet mit Kette und Schwimmer 225 Rubel (Fabrikpreis), der Wasserstandsanzeiger mit Aufzeichnungsgerät 275 Rubel.

Die Gesamtkosten dieser Einrichtungen, einschließlich 2-Werst-Freileitung und Holzmasten an den Gleisanlagen, betragen für Nikolaev etwa 1.200 Rubel.

Ohne Montage und Holzmasten für die 350 Sashen lange Freileitung, aber einschließlich Aluminiumdrähte, Isolatoren und allen Verbindungssteilen kostete ein vergleichbares Signalsystem für Poltava 690 Rubel.

Abmessungen des Fundamentumlaufs sowie Lage der Rohre und der Schieber sind der Abb. 3 zu entnehmen.

Umlauf und Turmbehälter sind elektrisch beleuchtet.

Dieser wasserundurchlässige Umlauf hatte – wie die Praxis es zeigte – für die Stabilität des Turmes große Bedeutung.

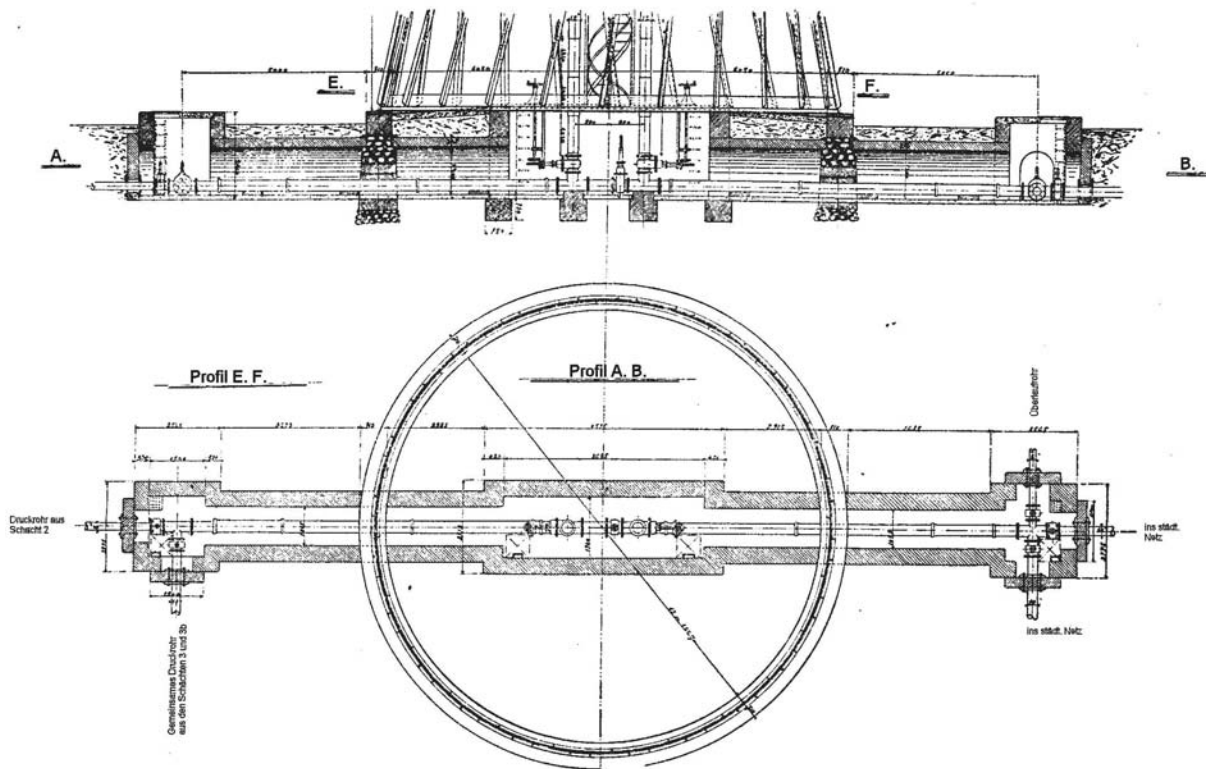


Abb. 3
Wasserundurchlässiger Fundamentumlauf
des Wasserturm der städtischen Wasserversorgung Nikolaev.

Bereits im ersten Jahr nach dem Bau des Turmes beobachtete man eine natürliche Setzung mit einem starken Einfluß auf die unter ihm verlaufenden Rohre: ihre Stoßfugen lösten sich und es kam zu starken Lecks. Wäre kein wasserundurchlässiger Umlauf vorhanden gewesen, wäre eine solche Leckage in die Sohle des Turmfundaments nicht völlig aufgedeckt worden. Eine Unterspülung der Sohle des ringförmigen Turmfundaments mit teilweise beträchtlichen Folgen wäre unvermeidlich gewesen.

In der Zeichnung erkennen wir die Druck- und Verteilungsrohre, die so angelegt sind, daß der Wasserturm im Falle einer Reparatur oder zum Reinigen des Behälters völlig aus der städtischen Wasserversorgung herausgenommen werden kann oder um Wasser aus allen Schachtpumpen direkt unter den Turm zu geben und es *nicht erst in den Behälter pumpen zu müssen*.

Außerdem können oben am Umlauf zwei waagrechte Hauptschieber am Druckrohr und an der Verbrauchsleitung geöffnet und geschlossen werden, was für den Fall eingerichtet wurde, daß es zu einer plötzlichen Leckage der Rohre kommt und Wasser den gesamten Innenraum des wasserundurchlässigen Umlaufs überschwemmen könnte.

Diese Schieber oben am Umlauf werden über eine spezielle Zahnradübertragung geöffnet und geschlossen: an den waagrechten Schieberspindeln sind konische Zahnräder angebracht, die mit den Rädern auf den senkrechten Wellen dauerhaft verbunden sind; diese Wellen gehen durch die Betondecke des Umlaufs ans Tageslicht und sie sind mit abnehmbaren Schwungrädern ausgestattet. Dreht man die Schwungräder in der einen oder anderen Richtung, werden über die Zahnräder die Schieber geschlossen bzw. geöffnet.

Als sich einige Zeit nach Inbetriebnahme der Wasserversorgung zeigte, daß der Wasserverbrauch im städtischen Wassernetz genauer und kontinuierlich festgehalten werden sollte, wurde Ende 1908 unter dem Turm ein Woltmannzähler mit einem Meinecke-Zählrohr (200 mm Kaliber) angebracht.

Der Wasserzähler wurde folgendermaßen an eine Abzweigung¹ der 10 Zoll-Verbrauchsleitung über Rohrzwischenstücke angeschlossen:

10 Zoll-Rohr + 10 x 8 Zoll-Rohrstück + Wasserzähler +
+ 8 x 10 Zoll-Rohrstück + 10 Zoll-Rohr.

Das gesamte System befindet sich in einem Trockenschacht
(0,8 x 0,8 x 1 Sashen)

in der Nähe des wasserundurchlässigen Umlaufs (in Abb. 3 nicht dargestellt) und bildet sozusagen eine seitliche Verlängerung nach Osten.

Durch eine solche Anbringung des Wasserzählers kann man ihn jederzeit prüfen, da jede Höheneinheit des Behältervolumens bekannt ist:

1 Fuß Höhe des zylindrischen Behälterabschnitts entspricht 2129,74 Eimer
bzw. 1 mm ergibt 7 Eimer².

Mit dem Wasserzähler des Turmes (zur Aufzeichnung des Wasserverbrauchs) kann man andererseits zusammen mit den Verbrauchszählern der elektrischen Schachtpumpen jederzeit ihren Wirkungsgrad und damit ihre Leistung bestimmen.

Da die Wasserzähler nicht automatisch aufzeichnen, werden die Zähler jede Stunde regelmäßig abgelesen und die Angaben in den Tagesreport geschrieben.

¹ Der Woltmannzähler ist an der Abzweigung der Verbrauchsleitung angebracht, die gegenüber dem 5 Zoll-Abflußrohr liegt (Abb. 3); eine andere Abzweigung, im rechten Winkel zum Abflußrohr, ist über den vorhandenen Schieber noch nicht ans städtische Wassernetz angeschlossen.

² Größerer Sicherheit wegen sollte die Abnahme des Wasserstandes während der Prüfung des Wasserzählers – bei einer solchen Anbringung – direkt im Behälter mit einer exakt senkrechten Meßlatte gemessen werden, da die Schwimmer der Meßgeräte bei schwacher Abnahme des Wasserstandes nicht gleichmäßig und gleichzeitig sinken.

5. Steinmauer des Turmes und Wachhaus.

Zum besseren Schutz der Wasserturmanlage an recht exponierter Stelle, wo durch Schließen der Schieber der Verbrauchsleitung die Wasserversorgung der ganzen Stadt zeitweilig unterbrochen werden kann, oder daß zufällig bzw. vielleicht sogar absichtlich unbefugte Personen auf den Turm steigen, sollte der gesamte Platz um den Turm (450 Qu.Sashen Fläche) mit einer Steinmauer, Eisengittern und Eisentor eingefriedet werden,

Die Fläche um den Turm ist bewachsen und elektrisch beleuchtet.

Ohne vorgeschrieben zu sein, sollte aus allgemeinen hygienischen Erwägungen – zur Vermeidung von Infektionen – bei Behältern zur Versorgung mit Trinkwasser ein bewohntes Wachhaus vorgesehen sein, allerdings völlig getrennt vom Turm.

6. Bau des Turmes

Ende Juli 1906 faßte der Stadtrat von Nikolaev den Beschluß zum Bau eines Wasserturms aus Eisen nach dem System V. G. Šuchovs mit der Moskauer Firma A. V. Bari. Der Vertrag wurde am 1. August 1906 geschlossen. A. V. Baris Firma verpflichtete sich, innerhalb von fünf Monaten unter technischer Aufsicht der städtischen Ingenieure auf eigene Kosten und Risiko, aus eigenen Mitteln und mit eigenen Mitarbeitern den Turm zu bauen.



Abb. 4
Abstecken des Fundamentrings des Wasserturms
der städtischen Wasserversorgung von Nikolaev. 1906

Nach der Fertigstellung und Abnahme des Turms war der Firmeninhaber desweiteren verpflichtet, auf die Dauer von zwei Jahren die Stabilität der Anlage zu garantieren und alle, während dieser Zeit festgestellten Mängel hinsichtlich Material und Bauausführung, einschließlich Fundament, in einer von der Stadtverwaltung gesetzten Frist zu beseitigen. Anderenfalls könne die Stadt auf Kosten der Firma Reparaturen ausführen lassen. Eine entsprechende Geldsumme wurde von der Firma bei der Stadtverwaltung als Sicherheitsleistung hinterlegt.

An der Stelle, wo das Steinfundament des Turmes errichtet werden sollte, wurden von der Stadt durch Sondierungsbohrungen Bodenuntersuchten vorgenommen. Diese ergaben: Trockensand mit bis 5 Sashen Schichtdicke und 5 bis 7,23 Sashen dicke Lehm-Sand-Schicht, d.h. der Grund war für jedes schwerere Bauwerk geeignet.

Im Oktober 1906 wurde von der Firma das Steinfundament unter dem Hauptstützring des Turmgerüsts vermessen und gebaut (Abb. 4). Gleichzeitig ließ sie die Eisenteile des Turms nach Nikolaev liefern.

Nach dem Bau des Fundaments unter dem Eisenring des Turmes wurde das Turmgerüst mit den entsprechenden waagrechten Ringen Schritt für Schritt *verschraubt* (Abb. 5 und 6).

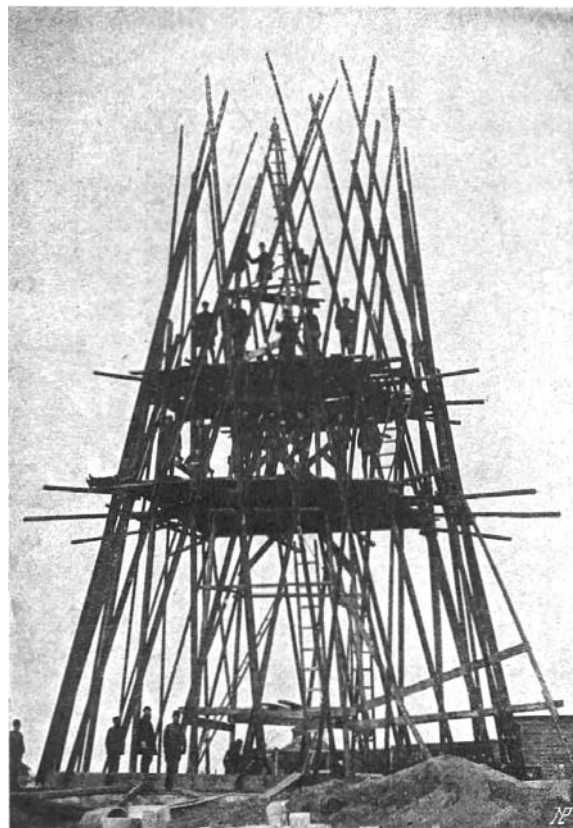


Abb. 5
Provisorisches Verschrauben des Gerüsts des Wasserturms
der städtischen Wasserversorgung von Nikolaev. 1906

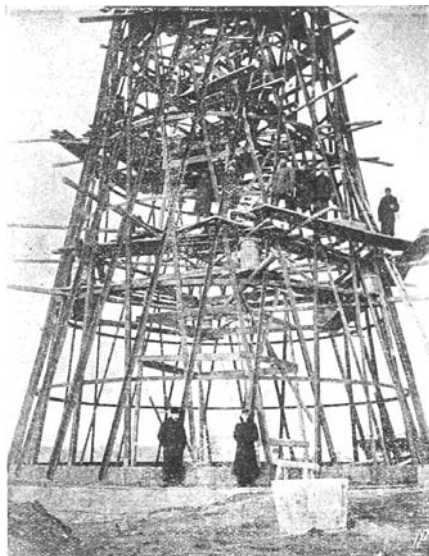


Abb. 6

Montage des unteren Gerüstabschnitts und der waagrechten Ringe des Wasserturms der städtischen Wasserversorgung von Nikolaev. 1906

Der Aufbau der Hilfsgerüste und Montagebühnen und auch das Heben der Turmteile war äußerst einfach. Nach dem provisorischen Verschrauben der Kreuzungsstellen der Stützen wurden von Stockwerk zu Stockwerk – je nach Bedarf – an den Kreuzungspunkten der Turmstützen Holzbalken aufgelegt, auf denen eine Arbeitsfläche eingerichtet wurde, die sich wiederum über Holzstützen in der Turmmitte abstützte (siehe Abb. 5). Auf der Arbeitsfläche wurde ein einfacher Rammklotz mit Block und kleiner Winde aufgestellt, mit Hilfe dessen die Winkeleisen des Gerüsts hochgezogen wurden. Der Rammklotz wurde manuell auf der Arbeitsfläche herumgeschoben, bis die Stützen auf einer Ebene vernietet waren. In Abb. 5 kann man die am Rammklotz schräggestellte Leiter auf der zweiten Arbeitsfläche erkennen, in den Abb. 6 – 8 die stufenweise Montage des Turmes.

Bis zum Aufbau des Behälters wurde der gesamte Turm mit Schrauben zusammengehalten, und erst nach der Fertigstellung des Gerüsts wurden die Schrauben von unten nach oben schrittweise durch dauerhafte Niete ersetzt.

Wegen der durch die Firma sehr genau gemessenen Nietlöcher ging die Montage des Turmes so schnell vonstatten, daß – trotz Kälte und starker Winde - bereits im Januar 1907 das Turmgerüst vollständig vernietet war und mit der Montage des Behälters begonnen wurde. Am 15. März 1907 war der Turm mit Behälter und allen notwendigen Rohren vollständig fertig gebaut – lediglich der Anstrich¹ fehlte und die Isolation des 12 Zoll-Rohres – und wurde nach Überprüfung der Behälterfugen auf Dichte von der Stadtverwaltung abgenommen und an das Versorgungsnetz der städtischen Wasserleitung angeschlossen.

¹ Turmgerüst und Behälter wurden mit grauer Farbe gestrichen (gris de perle), die Innenfläche des Behälters mit Eisenmennige.

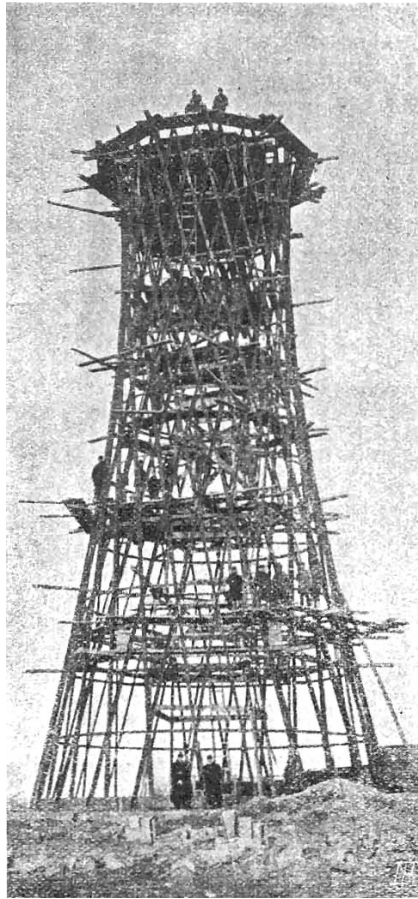


Abb. 7
Abschluß der Gerüstmontage des Wasserturms
der städtischen Wasserversorgung von Nikolaev. 1907

Der wasserundurchlässige Turmumlauf, das elektrische Signalsystem mit Drahtverbindung zwischen Turm und Elektrizitätswerk, die Steinmauer, das Wachhaus und andere kleinere Turmanlagen wurden von der Stadtverwaltung je nach Finanzlage über Einzelverträge in den Jahren 1907 und 1908 gebaut.

7. Hauptvorzüge des Turmes.

Nach dieser Gesamtbetrachtung des großen Wasserturms der städtischen Wasserversorgung von Nikolaev kann man folgende Vorzüge kurz hervorheben:

- 1) Im Vergleich mit den existierenden Wasserspeichern anderer Wasserleitungssysteme ist der Turm nach dem System des Ing. V. G. Šuchov mit dem vom Fassungsvermögen her größten eisernen Intze-Behälter ausgestattet,
- 2) Aus hygienischer und sanitärer Sicht ist er völlig unabhängig von anderen Gebäuden und Kontrollstellen für den Behälter¹ und dgl.

¹ Zum Nachteil elementarer Grundsätze der Hygiene bauen einige Städte über dem Behälter eine Feuerwache. Solche Anlagen dürften bei Behälter für gesundes Trinkwasser nicht zugelassen werden.

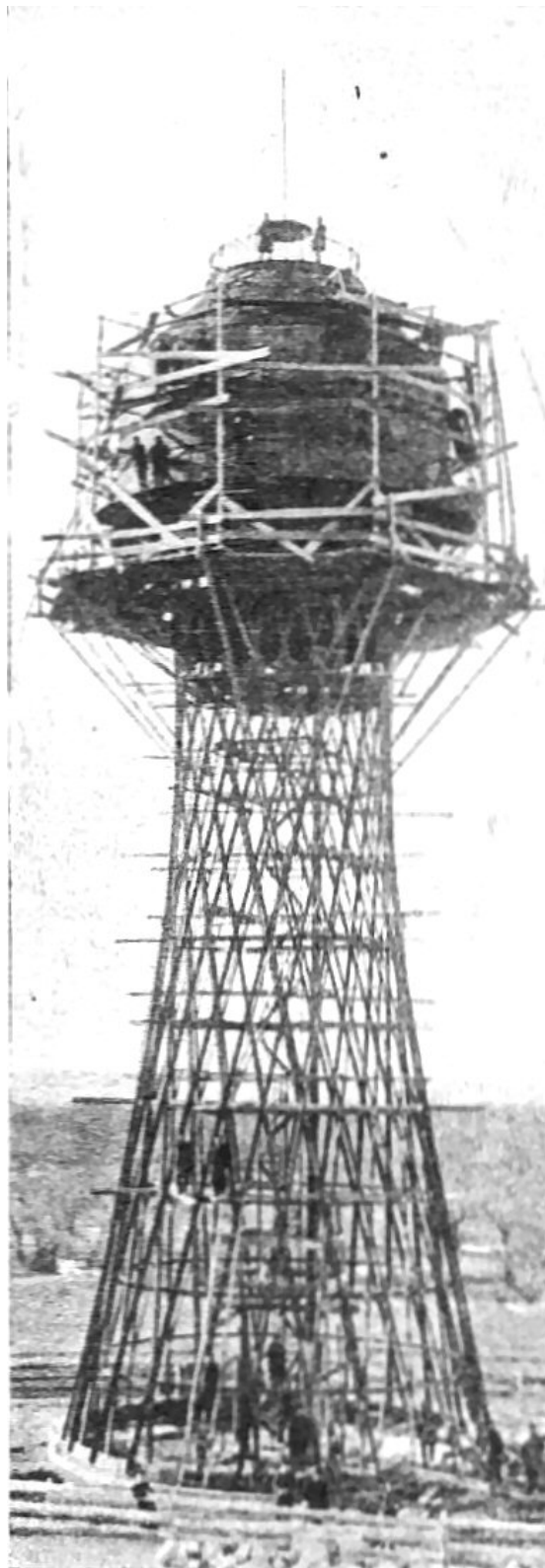


Abb. 8
Abschluß der Wasserturm-Montage und Aufbau des Intze-Behälters
mit einem Fassungsvermögen von 50 Tausend Eimer auf dem Turm
der städtischen Wasserversorgung von Nikolaev. 1907

3) Er muß winters nicht beheizt, nicht einmal wärme geschützt werden mit Hilfe irgendeiner Verkleidung, da aufgrund der natürlichen Zirkulation die kälteren Wasserschichten zuerst in die Verteilungsleitung abfließen. Aufgrund des 13° C warmen Wassers aus dem Boden stellt der Behälter einen so starken Wärmespeicher dar, daß das Wasser im Winter auf höchstens 1,5 – 2° C abkühlt.

4) Wegen des großen Behälters und der guten Durchlüftung unterstützt der Turm die Klärung, Belüftung und Mischung von Wasser verschiedener chemischer Zusammensetzung und Härte aus unterschiedlichen Schächten über das 12 Zoll-Druckrohr.

5) Automatische Aufschriebe der Wasserstandsänderungen im Behälter – im Maschinensaal des zentralen Elektrizitätswerkes – in zwei Werst Entfernung vom Turm und damit Eröffnung der Möglichkeit zur Kontrolle und Steuerung der Pumpen.

6) In 4 ½ Jahren Dauerbetrieb kam es trotz starker Lastschwankungen zu keinen Reparaturkosten, ausgenommen die regelmäßigen Reinigungs- und Streicharbeiten am Behälter.

Die konstruktiven Besonderheiten des Turmes sind von verschiedenen Seiten in Gesamtbetrachtungen der hyperboloiden Türme nach dem System des Ing. V. G. Šuchov genügend beleuchtet worden.

Es ist noch darauf hinzuweisen, daß das Fassungsvermögen des Behälters mit 50 Tausend Eimer aus heutiger Sicht sehr vernünftig und wünschenswert ist und den Zwecken einer nach heutigen Bedürfnissen funktionierenden Wasserversorgung von Nikolaev entspricht.

1909 betrug der durchschnittliche tägliche Wasserverbrauch in Nikolaev 158984 Eimer bzw. 1,58 Eimer pro Einwohner, d.h. 0,11 Eimer mehr als noch 1908.¹

Angenommen, der Verbrauch steigt 1910 nicht um 0,11 Eimer/Einwohner, sondern um nur 0,07 – gerechnet auf einhunderttausend Einwohner –, dann nimmt der durchschnittliche Tagesverbrauch um 165 Tausend Eimer zu.

Somit läßt sich der stündliche Jahresverbrauch an Wasser im Leitungsnetz von Nikolaev bei einem Tagesgesamtverbrauch von 165 Tausend Eimer mit ausreichender Sicherheit folgendermaßen darstellen:

$a_1 = 1500$ Eimer = 0,90 % von 12 h nachts bis 1 h nachts

$a_2 = 1000$ Eimer = 0,60 % von 1 h nachts bis 2 h nachts

$a_3 = 1000$ Eimer = 0,60 % von 2 h nachts bis 3 h nachts

$a_4 = 1200$ Eimer = 0,72 % von 3 h nachts bis 4 h morgens

$a_5 = 3200$ Eimer = 1,93 % von 4 h morgens bis 5 h morgens

$a_6 = 5700$ Eimer = 3,44 % von 5 h morgens bis 6 h morgens

$a_{20} = 6300$ Eimer = 3,81 % von 7 h abends bis 8 h abends

$a_{21} = 5700$ Eimer = 3,44 % von 8 h abends bis 9 h abends

¹ Siehe Bericht über den Betrieb der Städt. Wasserversorgung Nikolaev in den Jahren 1908 – 1909 (Ausgabe 1910, S. 85).

$$\begin{aligned}
a_{22} &= 3700 \text{ Eimer} = 2,23 \% \text{ von } 9 \text{ h abends bis } 10 \text{ h abends} \\
a_{23} &= 2800 \text{ Eimer} = 1,70 \% \text{ von } 10 \text{ h abends bis } 11 \text{ h abends} \\
a_{24} &= 1600 \text{ Eimer} = 0,97 \% \text{ von } 11 \text{ h abends bis } 12 \text{ h nachts}
\end{aligned}$$

Der stündliche Wasserverbrauch $a_7, a_8 \dots a_{18}, a_{19}$, d.h. von 6 h morgens bis 7 h abends, ist größer als der durchschnittliche stündliche Verbrauch a_m . Dieser ist

$$a_m = \frac{Q}{24} = \frac{165000}{24} = 6875 \text{ Eimer bzw. } 4,16 \% \text{ Stundenverbrauch.}$$

In Abhängigkeit vom stündlichen Wasserbedarf sieht die Normalformel zur Berechnung eines Wasserturm-Behälters so aus:

$$V \leq [11 \cdot a_m - (a_1 + a_2 + \dots + a_5 + a_6 + a_{20} + a_{21} + \dots + a_{24})] \cdot \frac{Q}{100} + m \cdot b \cdot q.$$

Hier bezeichnen m die Anzahl der offenen Feuerlöschhydranten,
 b Stundenzahl der ständig geöffneten Hydranten und
 q die durchschnittliche Wassermenge, die in der Stunde durch jeden Feuerlöschhydranten laufen kann.

Für die Anzahl der offenen Feuerlöschhydranten wird normalerweise sechs angenommen, bei nicht ständiger Öffnung eine bis zwei Stunden. In der Stadt Nikolaev, die fast rundum von Wasser umgeben ist durch die Flüsse Buga und Ingula und in der wegen ihrer verstreuten Anlage auf der Halbinsel Brände nur klein und sehr selten sind, kann man die Zahl der gleichzeitig offenen Hydranten auf höchstens vier ansetzen, was wir auch in unserer Berechnung annehmen.

Die durchschnittliche Wassermenge aus jedem 3 Zoll-Hydranten in der Stunde kann man mit 1290 Eimer pro Stunde ansetzen¹.

Wir setzen diese Werte in die Grundformel ein und ermitteln, daß der Nutzinhalt des Turmbehälters gegenwärtig mindestens

$$\begin{aligned}
V &= [11 \cdot 4,16 - (0,90 + 0,60 + 0,60 + 0,72 + 1,93 + 3,44 + 3,81 + 3,44 + 2,23 + 1,70 + 0,97)] \cdot \\
&\quad \cdot \frac{165000}{100} + 4 \cdot 2 \cdot 1290 = 41943 + 10320 = 52263 \text{ Eimer}
\end{aligned}$$

betragen muß.

Aus dieser Berechnung ist ersichtlich, daß heute – im vierten Betriebsjahr – der Wasserturm als Wasservorratsspeicher seinen Zweck vollständig erfüllt.

Mit der Inbetriebnahme der Kanalisation wenigstens in einem Teil der Stadt² wird der Wasserverbrauch im ersten Jahr beträchtlich steigen, und die Stadtverwaltung muß dann Vorsorge getroffen haben für eine konstante Wassereinspeisung von beiden

¹ Die Wasserversorgung von Nikolaev mit ihrer 3 Zoll-Hauptleitung ist im strengen Sinne keine Feuerlöschleitung, dennoch kann man die besagte stündliche Wassermenge aus jedem Hydranten unter den gegebenen Bedingungen als annähernd zutreffend bezeichnen.

² Die Kanalisation von Nikolaev wird frühestens 1915/1916 in zwei Stadtteilen in Betrieb genommen werden.

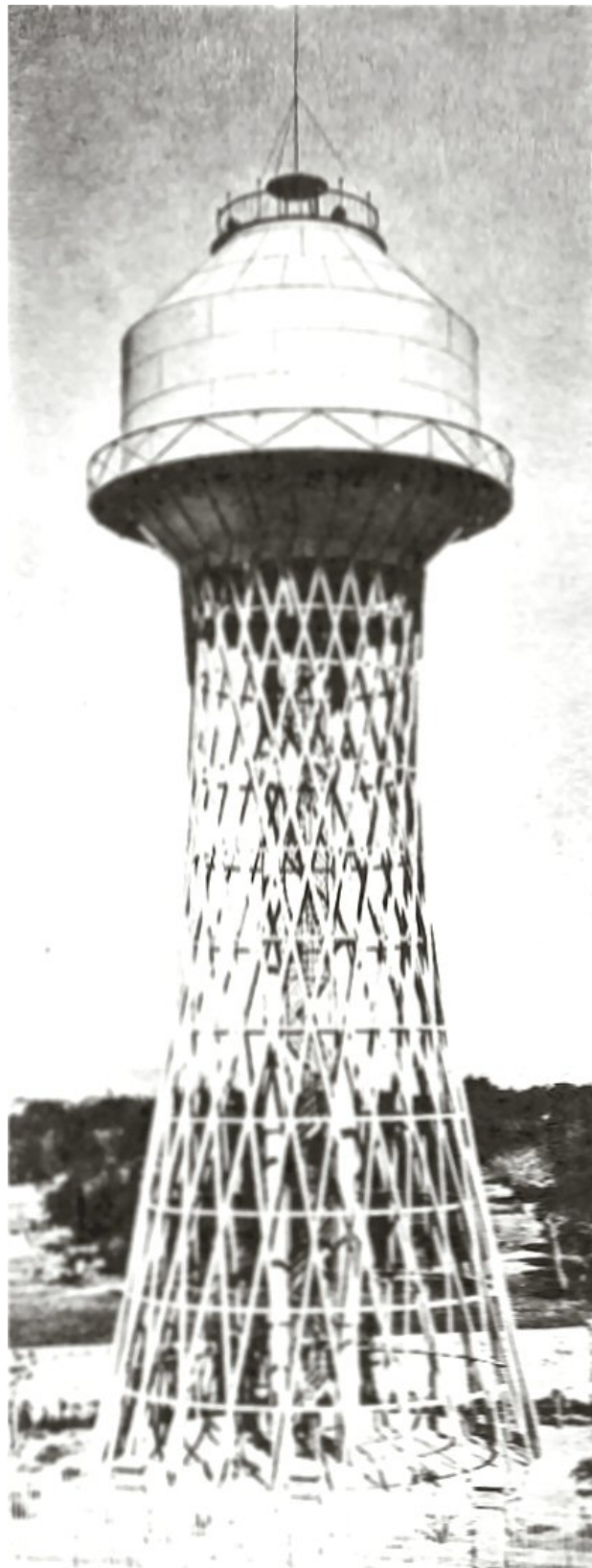


Abb. 9
Wasserturm aus Eisen der städtischen Wasserversorgung von Nikolaev
mit hyperboloidem Gerüst nach dem System des Ing. V. G. Šuchov
und einem Intze-Behälter mit einem Fassungsvermögen von 50 Tausend Eimer. 1907

Seiten, etwa über einen Wasserausgleichsturm auf der Gegenseite mit einem 35 Tausend Eimer fassenden Behälter und einem etwas niedrigeren Wasserstand als in unserem Wasserturm.

Berücksichtigt man, daß der Überdruck in den Hauptleitungen in den höher gelegenen und den weiter vom Turm entfernten Stadtbereichen gegenwärtig bei einer durchschnittlichen stündlichen Wassereinspeisung ins Netz von 8 – 10 Tausend Eimer auf 1,5 Atmosphären absinkt, dann erscheint bereits heute die Aufstellung eines Gegenturmes angemessen. Der Bedarf wird noch verstärkt, wenn die fast 400 Feuerschutzhydranten an das Wassernetz angeschlossen werden. Deshalb ist die Aufstellung eines zweiten Turmes für die Stadt Nikolaev wirtschaftlich geradezu sinnvoll, da der Behälter des Gegenturmes, der während der Stunden geringen Wasserbedarfs gefüllt wird, zu Zeiten stärkeren Wasserverbrauchs zu einem Wasserspeicher wird, das von der gegenüberliegenden Seite des Wasserdruckhauptbehälters ins Netz einspeist. Dann kann die Durchlassfähigkeit des bestehenden Netzes erhöht und die Leistung der elektrischen Zentrifugalpumpen geregelt werden entsprechend den Aggregaten im Elektrizitätswerk, das den benötigten Strom liefert, und je nach den Zeiten der stärksten Wasserentnahme aus dem Wasserleitungsnetz.

Das tatsächliche Fassungsvermögen des Gegenbehälters und um wieviel der Wasserstand im Wasserdruckbehälter größer sein muß als der Höchstwasserstand im Wasserausgleichsbehälter, kann man mit hinreichender Sicherheit berechnen, wenn man die unumstößliche ökonomische Forderung miteinbezieht, daß die Tagesbilanzen von Wassereinspeisung und -verbrauch im Gegenbehälter gleich sein sollten. Eine zu geringe Einspeisung würde im Wesen den Sinn des Systems verletzen, zu starke Wassereinspeisung wäre unwirtschaftlich.

Stuttgart, den 23. März 2011

Übersetzt von
Ottmar Pertschi
(Dipl.-Übersetzer)