



# Kriterien bei der Auswahl des Rohrwerkstoffs in der Wasserverteilung

Dipl.-Ing. Christian Broich  
H. Berg & associés S.P.R.L. – ingénieurs conseils



**Ingenieurbüro  
H. Berg & Partner GmbH**

**Hauptsitz:**

Gewerbepark Brand 48  
52078 Aachen

Telefon: +49 241 94623-0  
Telefax: +49 241 94623-30  
E-Mail: [info@bueroberg.de](mailto:info@bueroberg.de)  
[www.bueroberg.de](http://www.bueroberg.de)

**Außenstelle:**

In der Gauch 12  
54649 Waxweiler  
Telefon: +49 6554 900170

**Berg & associés  
ingénieurs conseils**

**Belgien**

H. Berg & associés S.P.R.L.  
ingénieurs conseils  
Hochstraße 160  
B - 4700 Eupen  
Telefon: +32 87 560915  
Telefax: +32 87 560916  
[www.bureauberg.be](http://www.bureauberg.be)

**Luxemburg**

Berg & associés S.A.R.L.  
ingénieurs conseils  
7, rue Goethals  
L - 9236 Diekirch  
Telefon: +352 26804566  
Telefax: +352 809904  
[www.bureauberg.lu](http://www.bureauberg.lu)





# Arbeitsgebiete H. Berg & associés S.P.R.L.





# Leistungsspektrum TRINKWASSER

- Trinkwasserstudien und -konzepte
- Wassergewinnung (Quellfassungen, Brunnen)
- Wasseraufbereitung (Neubau und Ertüchtigung von Wasserwerken)
  - Unterirdische Enteisenung und Entmanganung
- Wasserförderung (Pumpwerke und Druckleitungen)
- Wasserspeicherung (Hoch- und Tiefbehälter)
- Wasserverteilung (Transportleitungen, Wassernetze)
- Wasserkraftgewinnung in Trinkwasserleitungen



## Theoretische Gliederung

- Überblick über die verschiedenen Rohrwerkstoffe
- Vergleich der mechanischen Eigenschaften
- Vergleich der chemischen Eigenschaften
- Vergleich der hydraulischen Eigenschaften
- Vergleich der Lebensdauern
- Kostenvergleich
- Gegenüberstellung der Vorteile und Nachteile



## Praktische Gliederung

→ Vorstellung zweier konkreter Projekte,  
jeweils in Planung und Bauausführung:

1. „Hauptverbindungsleitungen Weywertz – Elsenborn“  
(Bearbeitungszeitraum von 2009-2012)
2. „Anschluss Netz Bütgenbach an das WW Elsenborn“  
(Bearbeitungszeitraum von 2015-heute, läuft noch)

→ Auftraggeber und Bauherr: Gemeinde Bütgenbach









# Hauptverbindungsleitungen Weywertz – Elsenborn

1. Pumpendruckleitung vom PW Weywertz bis zum WW Elsenborn
2. Freigefälledruckleitung vom WW Elsenborn bis zum Ort Weywertz

## Gemeinsame Kenndaten:

- Verlegung zumeist unterhalb unbefestigter Flächen
- Mehrere Hoch- und Tiefpunkte
- Trassenführung parallel (zumindest größtenteils)
- Gleiches Rohrmaterial



# Hauptverbindungsleitungen Weywertz – Elsenborn

Besondere geometrische Kenndaten der Druckleitung:

- Fördermenge: 120 m<sup>3</sup>/h
  - Leitungslänge 4.910 m
  - Geodätischer Höhenunterschied: 93 m
- Vorabdimensionierung auf  $v \approx 1$  m/s zur Minimierung der Reibungsverluste

Durchmesser mm	Geschwindigkeit m/s	Reibungsverluste m	Förderhöhe m
DN 150	1,89	123	216
DN 200	1,06	34	127
DN 250	0,68	16	109

mit materialunabhängigem  $k_i$ -Wert laut DVGW GW 303-1 und EN 805.

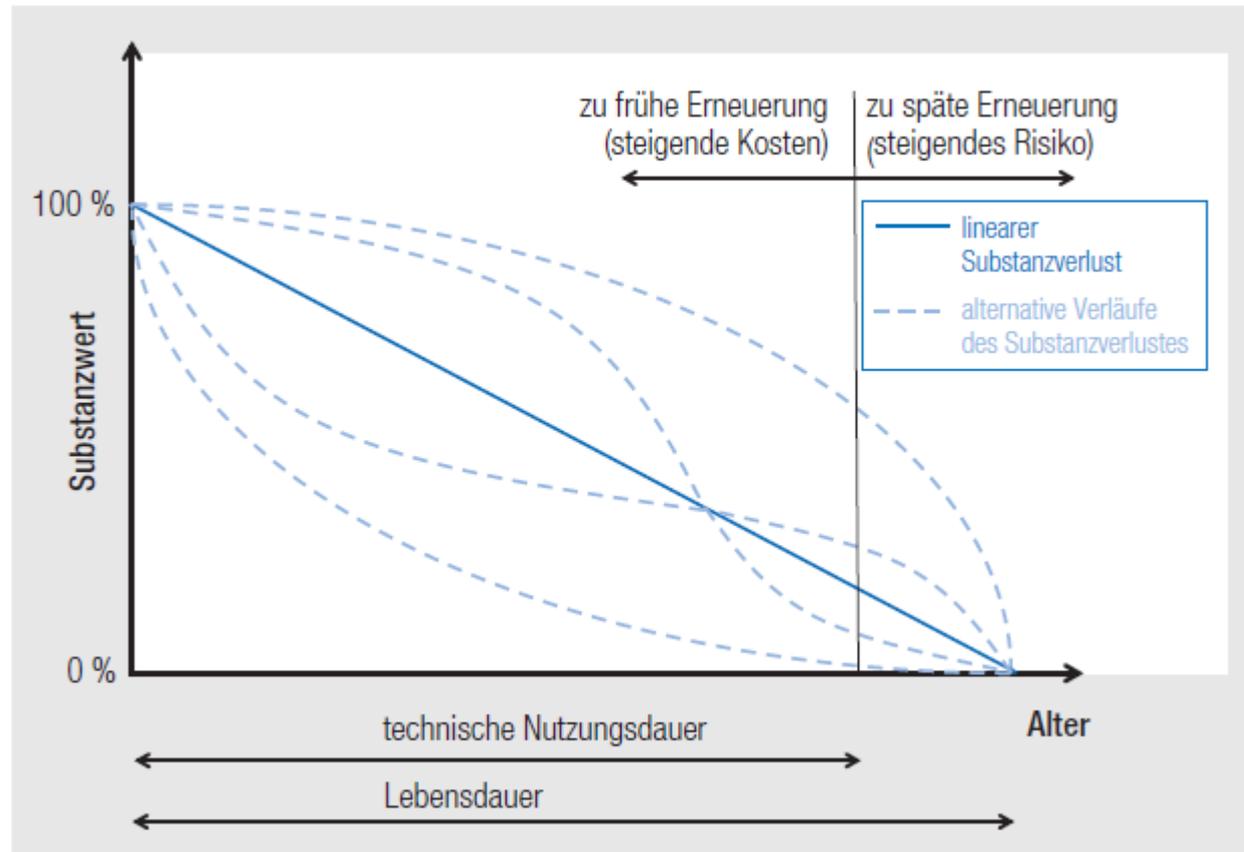
für Zubringerleitungen:  
 $k_i = 0,1$  mm

- Rohrrinnendurchmesser  $\approx 200$  mm
- Druckstufe  $\approx$  PN 16



# Hauptverbindungsleitungen Weywertz – Eisenborn

Betrachtung der  
Nutzungsdauer



Quelle: RZVN



# Hauptverbindungsleitungen Weywertz – Elsenborn

Betrachtung der  
Nutzungsdauer

**Tabelle 1: Übersicht der laut Fachliteratur und Regelwerk beschriebenen technischen Nutzungsdauern**

Werkstoff	Technische Nutzungsdauer		
	Wasser		Gas
	DVGW W 403 (M)	Roscher [2]	GasNEV
DG1	55	30-90	45-55
DG2	80	70-150	
GE1	105		45-55
GE2	80	60-120	
PE	70	40-80	45-55
PVC	50	-	30-40
			PE ummantelt 45-55
ST	70	50-100	kathodisch geschützt 55-65
			bituminiert 45-55

Quelle: Zusammenstellung durch RZM



# Hauptverbindungsleitungen Weywertz – Eisenborn

## Betrachtung der Nutzungsdauer

Tabelle 3: Ermittelte werkstoffspezifische technische Nutzungsdauern laut vorgestellter Methodik

Werkstoff- gruppe	Verlegungs- zeitraum ca.		Nennweitenstufe klein: ≤ DN 300, groß: > DN 300	Weibullparameter der Ausfallfkt.		Grenz- schadensrate [S/km*a]	berechnete technische Nutzungsdauer
	von	bis		T	b		
GGL 1. Gen.	1890	1945	klein	410	3,0	0,3	83
			groß	1.500	2,1	0,1	136
GGL 2. Gen.	1946	1965	klein	570	2,2	0,3	68
			groß	1.370	2,1	0,1	115
GGG 1. Gen.	1966	1979	klein	520	2,4	0,3	74
			groß	1.350	2,1	0,1	111
GGG 2. Gen.	1980	heute	klein	1.000	2,1	0,3	160*
			groß	-	-	0,1	-**
ST 1. Gen.	1900	1940	klein	450	2,8	0,3	83
			groß	1.150	2,3	0,1	115
ST 2. Gen.	1941	1979	klein	530	2,3	0,3	68
			groß	1.050	2,3	0,1	98
ST 3. Gen.	1980	heute	klein	900	2,1	0,3	139*
			groß	-	-	0,1	-**
PE	1973	heute	gesamt	800	2,4	0,3	154

\* bisher nur vorläufiges Ausfallverhalten ableitbar infolge begrenzter Einsatzzeit

\*\*bisher kein altersbedingtes Ausfallverhalten ableitbar infolge begrenzter Einsatzzeit



# Hauptverbindungsleitungen Weywertz – Elsenborn

## Betrachtung des Transportmediums und des Bodens

- Fördermedium: nicht aufbereitetes Rohwasser
  - Wesentliche Eigenschaft: „saures“ Wasser , pH < 6,5;  
Calcitlösekapazität bis zu 20 mg/l
  - Bodenwasser ebenfalls „kalkaggressiv“ durch freie überschüssige Kohlensäure
- Für Stahl und Guss existieren Zementmörtelauskleidungen für den Innenkorrosionsschutz und Zink-, Bitumen oder Kunststoffumhüllungen für den Außenkorrosionsschutz
- Kunststoffrohre benötigen hier keinen besonderen Korrosionsschutz



# Hauptverbindungsleitungen Weywertz – Elsenborn

## Betrachtung weiterer Aspekte

- Einbau in Sandbettung gewünscht (2009)
  - Längskraftschlüssige Verbindungen gewünscht
  - Trinkwasserverträglichkeit (für die Zubringerleitung)
  - ...
  - **KOSTEN !!!**
- Kostenvergleich zwischen DN 200 GGG und PE100 250 x 22,7
- Preisvorteil für PE100 von ca. 17 €/m, d.h. bei insgesamt 11,6 km:  
gerundet 200.000 € (Investitionskosten netto)



# Hauptverbindungsleitungen Weywertz – Eisenborn

Betrachtung Druckstoß

Abschätzung, keine Berechnung!!!

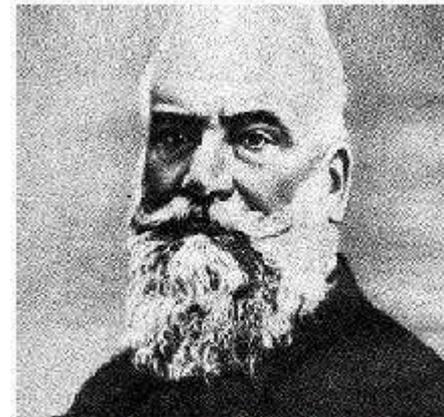
Lastfall: Pumpenstillstand

$$\Delta p_{\text{Jou}} = \rho \cdot a \cdot \Delta v \quad (4.1)$$

$\Delta v$ : Geschwindigkeitsänderung  
m/s  
 $\rho$ : Dichte der Flüssigkeit kg/m<sup>3</sup>  
 $a$ : Wellenfortpflanzungsgeschw.  
im flüssigkeitsgefülltem  
Rohr m/s  
 $\Delta p_{\text{Jou}}$ : Druckänderung N/m<sup>2</sup>

$$\Delta h_{\text{Jou}} = \frac{a}{g} \cdot \Delta v \approx 100 \cdot \Delta v \quad (4.2)$$

$g$ : Erdbeschleunigung 9,81 m/s<sup>2</sup>  
 $\Delta p_{\text{Jou}}$ : Druckhöhenänderung m



Nikolai Egorovich Joukowski

$$\begin{aligned} \text{MDP}_a &= 93 + 100 = 193 \text{ m} \\ &= 19,3 \text{ bar} > 16 \text{ bar} !!! \end{aligned}$$



# Hauptverbindungsleitungen Weywertz – Elsenborn

Betrachtung Druckstoß

Materialabhängig:

$$a = \sqrt{\frac{1}{\frac{\rho}{E_F} + \frac{\rho \cdot d_i \cdot (1 - \mu^2)}{E_R \cdot s}}} \text{ m/s} \quad (4.1)$$

- $r$  - Dichte der Flüssigkeit  $\text{kg/m}^3$
- $E_F$  - Modul der Flüssigkeit  $\text{N/m}^2$
- $E_R$  - Modul der Rohrwand  $\text{N/m}^2$
- $d_i$  - Innendurchmesser des Rohres mm
- $s$  - Rohrwanddicke mm
- $\mu$  - Querkontraktionszahl



$$\begin{aligned} \text{MDP}_a &= 93 \text{ m} + 39,1 \text{ m} \\ &= 132,1 \text{ m} \\ &= 13,2 \text{ bar} < 16 \text{ bar} \end{aligned}$$

Druckstufe PN 16 ausreichend!

PE 100 SDR 11 ist zudem  
vakuumsicher bis zu 1,6 bar  $p_{a,\ddot{u}}$



# Hauptverbindungsleitungen Weywertz – Elsenborn

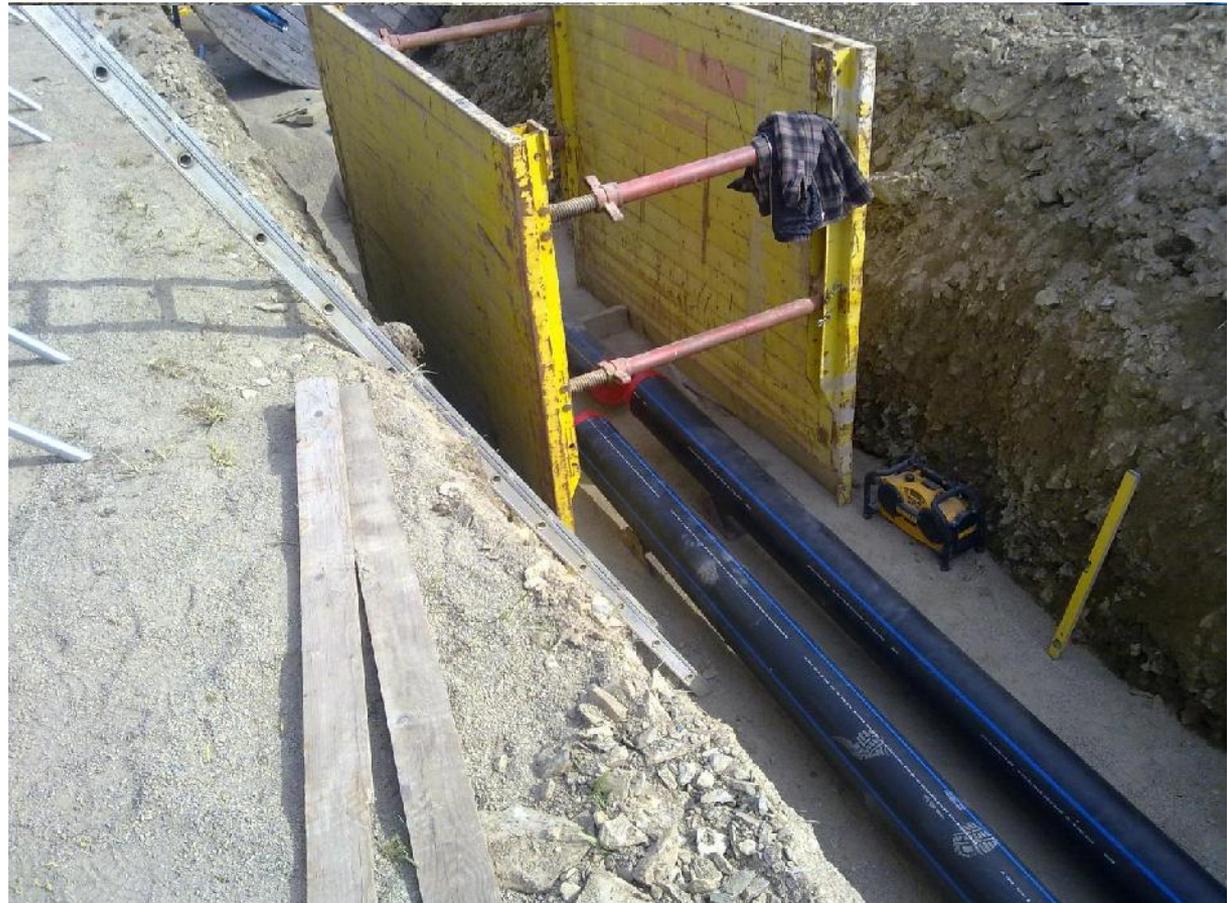
## Baustellenfotos





# Hauptverbindungsleitungen Weywertz – Eisenborn

## Baustellenfotos





# Hauptverbindungsleitungen Weywertz – Elsenborn

## Baustellenfotos





# Hauptverbindungsleitungen Weywertz – Eisenborn

## Optimierungspotenzial

- Risiko Einschluss von Steinen





# Hauptverbindungsleitungen Weywertz – Eisenborn

## Optimierungspotenzial

- Risiko Einschluss von Steinen
- Einsparung Ummantelung





# Anschluss Netz Bütgenbach an das WW Elsenborn

## Projektspezifische Überlegungen zur Wahl des Rohrmaterials

- Weiterentwicklung und Marktverbreitung von Rohren PE100-RC
- Ressourcenschonung (Sand)
- Allgemeiner Kostendruck
- Bedenken des Auftraggebers bezüglich PE 100-RC:
  - Ausführungsqualität und Respekt der technischen Vorschriften
  - Auffindbarkeit der Leitung bzw. Hinweis bei Erdarbeiten von Dritten
  - Technische Nutzungsdauer
- Entscheidungskriterium: Kosteneinsparung bei technischer Gleichwertigkeit
  - ➔ **Voraussetzung: fachgerechte Planung, Ausführung und Bauüberwachung**

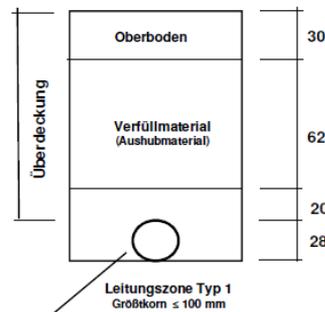


# Anschluss Netz Bütgenbach an das WW Elsenborn

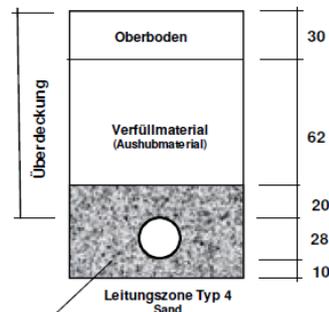
## Kosten

Massen- und Kostenermittlung für die Verlegung von Trinkwasserleitungen								
Art der Leitung:	Hauptverbindungsleitung							
Rohrmaterial:	PE100-RC SDR11				PE100 SDR11			
Rohrdurchmesser:	da	280 mm		da	280 mm			
	di	229 mm		di	229 mm			
Rohrlänge:	20 m				20 m			
Rohrverbindung:	Elektroschweißmuffen				Elektroschweißmuffen			
Verlegetiefe:	1,40 m				1,40 m			
Grabenbreite nach Qualiroutes:	0,80 m				0,80 m			
	Unterhalb unbefestigter Flächen				Unterhalb unbefestigter Flächen			
Position	Masse	Einheitspreis	bez. Einh.	Einheitspreis	Masse	Einheitspreis	bez. Einh.	Einheitspreis
		€/Einh.		€/m		€/Einh.		€/m
Erdarbeiten Leitungsgraben	1,00	65,00	€/m	65,00	1,00	70,00	€/m	70,00
Rohrauflager und -ummantelung mit Sand	1,00	0,00	€/m	0,00	1,00	15,00	€/m	15,00
Rohr liefern, inklusive Muffen	1,00	62,00	€/m	62,00	1,00	54,00	€/m	54,00
Rohr verlegen und verbinden	1,00	20,00	€/m	20,00	1,00	20,00	€/m	20,00
Enstorgung von überschüssigem Aushub	1,00	2,00	€/m	2,00	1,00	10,00	€/m	10,00
<b>EINHEITSPREIS PRO M</b>				<b>149,00</b>				<b>169,00</b>

Grabenquerschnitt  
gemäß Qualiroutes



Grabenquerschnitt  
gemäß Qualiroutes





# Transportleitungen

## Weitere Vorteile von PE-Rohren

Flexibel, relativ großer  
zulässiger Biegeradius –  
Vermeidung von Bögen





# Transportleitungen

## Weitere Vorteile von PE-Rohren

Einfach abzulängen –  
die vorgegebene Trasse  
wird eingehalten

NB: diese Leitung wird noch  
gedämmt und mechanisch  
geschützt





# Transportleitungen

## Weitere Vorteile von PE-Rohren

Relativ leicht –  
große Längen können in  
einem Stück gedämmt  
und bewegt werden.





## Versorgungsleitungen → PVC

### Kriterien zur Materialwahl in der Ortslage:

- Vergleichsweise kleine Leitungslängen zwischen Armaturen oder Formstücken  
→ große Rohrlängen bringen keinen Vorteil
- Bereits vorhandene Sandummantelung anderer Versorgungsleitungen  
→ auch die Wasserleitung wird mit Sand ummantelt
- Verbindung durch Steckmuffen  
→ zahlreiche Schweißverbindungen mindern die Verlegeleistung  
→ gibt es auch längskraftschlüssig, Betonwiderlager sind nicht erforderlich
- Kosten





## Stellungnahmen zu Wasserleitungen aus Gußeisen

1. Firma Benckiser aus Pforzheim, von der die Stadt Ulm ihre Röhren bezog

"Wir entnahmen aus dem Schwäb[ichen] Merkur und Württ[em]b[er]g[ischem] Staatsanzeiger die Angriffe auf die Solidität und Zweckmäßigkeit gußeiserner Wasserleitungen, welche theilweise direct gegen die Stadt Ulm respective die daselbst getroffene Wahl in der Ausführung ihrer Wasserwerksanlagen gerichtet waren.

In den Augen der Sachverständigen sind solche Angriffe lächerlich indem eine mehr als 50jährige Praxis des Gußeisens als einzig taugliches Material für Wasserleitungen, die einem starkem Druck ausgesetzt sind (bey Ihnen einer Wasserstärke von 80 bis 100 Fuß), bezeichnet und die Frage, ob auch ein anderes Material zur Verwendung geeignet seyn könne, überhaupt gar nicht mehr aufgeworfen wird. Demohngeachtet aber dürfte Ihnen vielleicht das beiliegende Zeugnis einer öffentlichen Behörde aus der Nachbarschaft willkommen seyn und dessen Mittheilung an den Wohlloblichen Gemeinde Rath Ihrer Stadt dem Letzeren über seine getroffene zweckmäßige Wahl vermehrt beruhigen.

Wir bitten Sie, hoch verehrter Herr, unsere ergebensten Empfehlungen zu genehmigen und Kenntniss von unserem mithfolgenden Circulair nehmen zu wollen.

Gebrüder Benckiser, Pforzheim d[en] 28. Februar 1853"