

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Gabrys, Ulrike

Schleifflächen aus Kunststoff - Materialkennwerte und Konstruktionsempfehlungen

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/105546>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

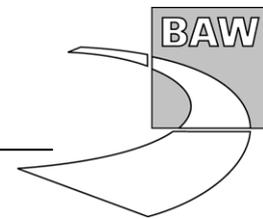
Gabrys, Ulrike (2009): Schleifflächen aus Kunststoff - Materialkennwerte und Konstruktionsempfehlungen. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Stahl(wasser)bau - Wohin geht der Weg? Entwicklungstendenzen im Stahlbau und Korrosionsschutz. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 43-51.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.





Dipl.-Ing. U. Gabrys, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe

Schleifflächen aus Kunststoff - Materialkennwerte und Konstruktionsempfehlungen

In der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) gibt es zahlreiche Stahlwasserbauten die der Unterstützung des Schiffverkehrs, der Wasserstands- und der Wasserabflussregulierung dienen. Überwiegend sind diese Bauten aus unlegiertem Stahl (Baustahl) hergestellt, jedoch kommen aus Gründen des Verschleißes und des Korrosionsschutzes auch nichtrostende Stähle zum Einsatz. Durch den kombinierten Einsatz von nichtrostendem Stahl und Baustahl kam es häufig zu Schäden. Diese Schäden entstanden in erster Linie infolge Kontaktkorrosion.

Veranlassung

Bei der Kontaktkorrosion ist u. a. das Korrosionspotential ein wesentlicher Einflussfaktor.

Bild 1 zeigt den Wirkmechanismus der Kontaktkorrosion und Bild 2 die freien Korrosionspotentiale im Süßwasser.

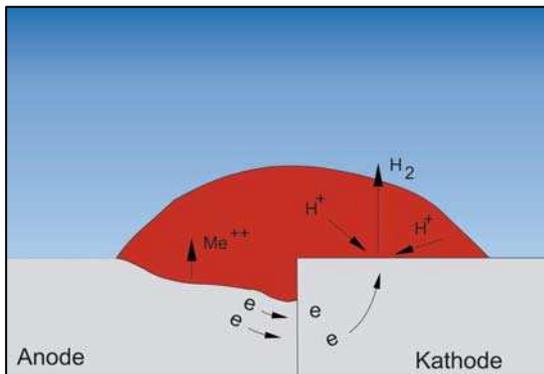


Bild 1: Kontaktkorrosion /1/

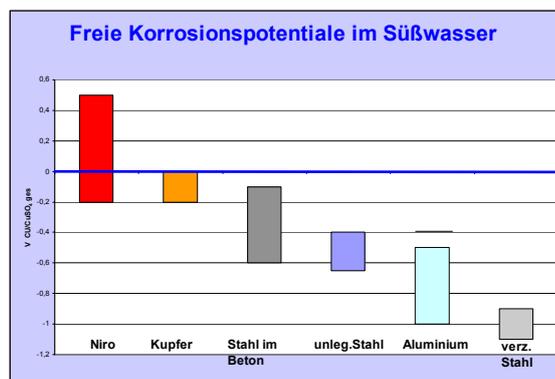


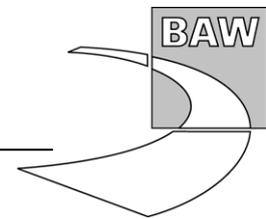
Bild 2: Korrosionspotentiale im Süßwasser /1/

Weitere Einflüsse auf die Bildung von Kontaktkorrosion sind die Einwirkzeit des Elektrolyten, (z. B. dauernde Flüssigkeitseinwirkung) und die „Flächenregel“. Diese Regel besagt, dass das unedlere Metall (Baustahl) umso stärker geschädigt wird, je kleiner dessen Oberfläche im Vergleich zur Oberfläche des edleren Metalls (CrNi-Stahl) ist.

Metall	Potential in mV			
	Süßwasser (pH = 6)	Meerwasser (pH = 7,5)		
Gold	+ 306	+ 243	zunehmende Beständigkeit Standardwasser- stoffelektrode	
Silber	+ 195	+ 149		
Kupfer	+ 140	+10		
Nickel	+ 118	+46		
Wasserstoff	0	0		
CrNi-Stahl	- 84	-45	←	
Al Cu Mg	+21	- 339		
Al Mg Si	- 124	- 785		
Rein-Aluminium	- 169	- 667		
Zinn	- 175	- 809		
Blei	- 283	- 259		
Stahl	- 350	- 335		
Cadmium	- 574	- 519		
Zink	- 823	- 284		abnehmende Beständigkeit
Magnesium	- 1460	-1355		

Tabelle 1 zeigt Spannungsreihen für Metalle im Süß- bzw. Meerwasser. Je weiter die Metalle in der Spannungsreihe voneinander entfernt sind, umso stärker arbeitet das elektrochemische Element und die Korrosionsgefahr steigt.

Tabelle 1: Elektrochemische Spannungsreihe der Metalle für Süßwasser und Meerwasser (Elektrolyt belüftet, Temperatur 25° C) /1/



Um die Kontaktkorrosion zu minimieren, muss der nichtrostende Stahl durch geeignete Materialien ersetzt werden. Für Verschlüsse im Stahlwasserbau ist geplant, zukünftig Dichtungsschleifflächen, Dichtungsanschlüge und ggf. auch weitere Gleitflächen aus geeigneten Kunststoffmaterialien herzustellen, um damit auf den bisher bei solchen Konstruktionen üblichen Einsatz von Edelstahl weitestgehend verzichten zu können.

Eingesetzt werden solche speziellen Konstruktionen an Betriebsverschlüssen (z. B. bei Längs-/Umlaufkanalverschlüssen, Sparbeckenverschlüssen, und bei Schleusen- und Wehrverschlüssen) von Stauanlagen, die entweder neu gebaut werden oder bei denen für die Verschlüsse Ersatzinvestitionen vorgenommen werden müssen.

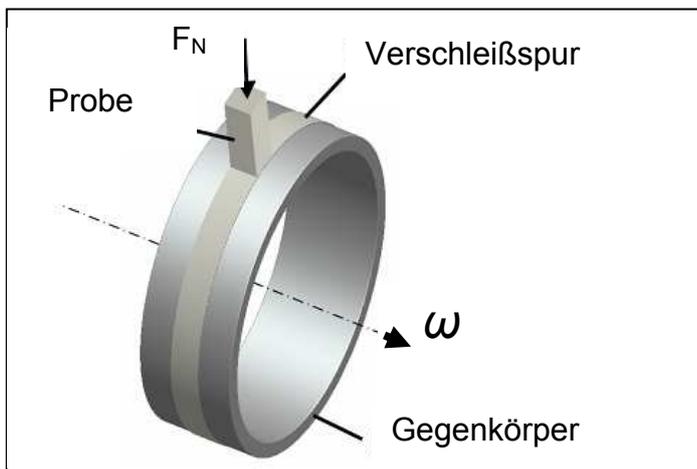
Versuche zur Ermittlung des Reibbeiwerts

Daher initiierte die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) ein Forschungsthema über Kunststoffe und deren Verhalten hinsichtlich Verschleiß und Reibung. Auf vorhandene Materialkennwerte (Alterungsbeständigkeit, Festigkeit, Quellverhalten usw.) für Kunststoffe kann zurückgegriffen werden. Bei den Reibbeiwerten zeigte sich, dass zwar entsprechende Werte durch z. B. Materialhersteller angegeben werden, diese jedoch auf den geplanten Anwendungsfall nicht übertragbar sind. Um jedoch einen sicheren Betrieb der Stahlwasserbauverschlüsse zu garantieren, ist es erforderlich, dass die jeweiligen Reibbeiwerte unter realistischen Bedingungen bestimmt werden und Erkenntnisse zum Verschleißverhalten der Gleitpaarungen vorliegen. Auch zur Berechnung der Antriebsleistung ist der exakte Reibbeiwert zwingend erforderlich.

Über die Gleitbewegung eines Konstruktionselementes (Dichtung) auf einer Kunststofffläche (Fixteil) soll Folgendes untersucht werden:

- Verschleißverhalten der Kunststoffe (Abriebfestigkeit)
- Reibbeiwerte (Gleitreibungszahl μ) für die Ermittlung der Dichtungsreibung bzw. Gleitreibung nach DIN 19704 "Stahlwasserbauten, Teil 1: Berechnungsgrundlagen", Mai 1998

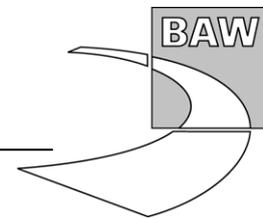
Alle Versuche sollen unter Wasser ausgeführt werden bzw. es sollen Bedingungen gegeben sein, die dem Zustand „wasserbenetzt“ (vgl. DIN 19704-1, 05/1998, Tab. 3) entsprechen. Bild 3 zeigt einen schematischen Versuchsaufbau zur Bestimmung des Reibbeiwertes.



Durch das Institut für Verbundwerkstoffe in Kaiserslautern wurden in 10 Kurzzeit- und 3 Langzeitversuchen die unterschiedlichsten Kunststoffe beprobt.

Die Herstellung der Probe erfolgte aus einer originalen Notenprofilichtung, die auf dem Kunststoffring bewegt wurde.

Bild 3: Block-auf Ring Tribometer /2/



Durch das Institut für Verbundwerkstoffe, Kaiserslautern wurde eine Vorauswahl der zu beprobenden Kunststoffe getroffen. Bild 4 zeigt die im Kurzzeitversuch beprobten Kunststoffe.

Materialauswahl (TP1):

Institut für
Verbundwerkstoffe

NR.	Material (benutzte Bezeichnung)	Modifizierung	Farbe	Lieferantenbezeichnung	Lieferant
1	PA 6	ohne	opak/weiß	TECAMID 6	Uni/Ensinger
2	PA 6 mod1	Molybdänsulfid	schwarz		UNI
3	PA 6 mod2	Wachs/Öl	grün	TECAGLIDE grün	Ensinger
4	PA 6 G	ohne	opak/gelblich	TECAST L	Ensinger
5	PA 6 G mod1	Molybdänsulfid	grau/schwarz	TECAST TM	Ensinger
6	POM	ohne	weiß		UNI
7	POM C	UV- Farbstoff	schwarz	TECAFORM AH	Ensinger
8	PE-UHMD	UV- Farbstoff	schwarz	POLYSTONE M-schwarz	Röchling (Ticona)
9	PVC	ohne	grau		UNI
10	PEEK	CF, PTFE, Graphit	grau/schwarz	TECAPEEK PVX	Ensinger
11	EPOXIDHARZ	ohne	transparent	DER 331	IVW
12	Edelstahl	1.457			UNI

nicht modifizierte Kunststoffe
 modifizierte Kunststoffe

Der Anpressdruck der Probe (Notenprofil) war 1MPa und die Geschwindigkeit mit der der Kunststoffring gedreht wurde entsprach $v=0,03$ m/s. Alle Kunststoffe wurden im Kurzzeitversuch 20 h lang beprobt.

Bild 4: Kunststoffe für den Block-auf Ring Versuch /2/

Aus Bild 5 kann der Reibbeiwert der unterschiedlichen Kunststoffe nach 20 h Versuchsdauer abgelesen werden.

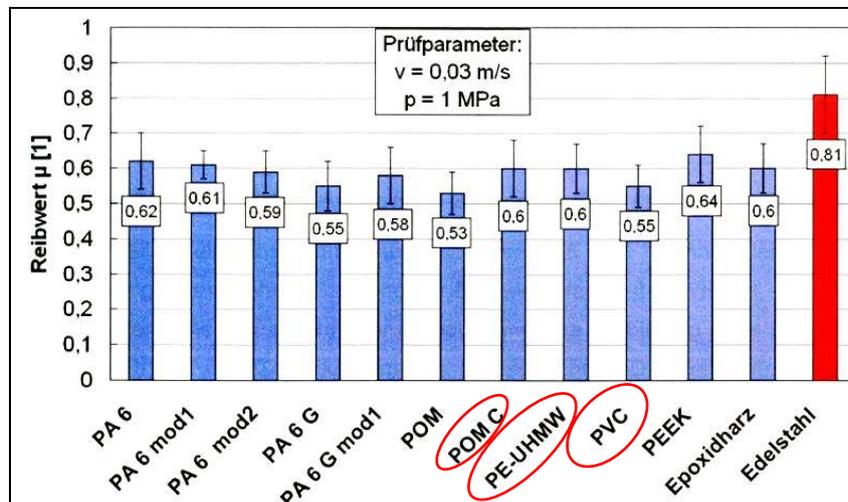
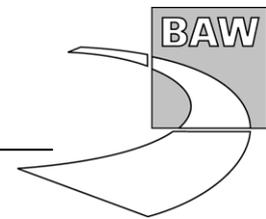


Bild 5: Reibbeiwert aller Kunststoffe im Vergleich zum nichtrostenden Stahl /2/

Die Auswertung der Reibbeiwertergebnisse zeigte, dass alle Kunststoffe einen geringeren Reibbeiwert als der nichtrostende Stahl haben. Anhand der vorliegenden Ergebnisse und einer Zusammenstellung der technischen Daten aus den Datenblättern der untersuchten Kunststoffe wurden drei Kunststoffe (siehe Kunststoffe mit roter Umrandung) ausgewählt, die in einem Langzeitversuch weiter untersucht wurden. Die Langzeitversuche liefen jeweils 96 h. In diesem Zeitraum war die aus dem Notenprofil hergestellte Probe abgenutzt. Eine Auswechslung der Probe war nicht vorgesehen, da dies die Ergebnisse maßgeblich beeinflusst hätte. Eine Prüfzeit von 96 h entspricht einem Realbetrieb von ca. zwei Monaten. Die Ergebnisse der Versuche zeigten unter anderem, dass die Verschleißrate des Dichtungsmaterials bei den



untersuchten Kunststoffen zwischen 25% und 70% geringer ist als die Verschleißrate des Dichtungsmaterials auf dem nichtrostenden Stahl. Bild 6 zeigt den Reibbeiwert der drei untersuchten Kunststoffe im Vergleich zum nichtrostenden Stahl.

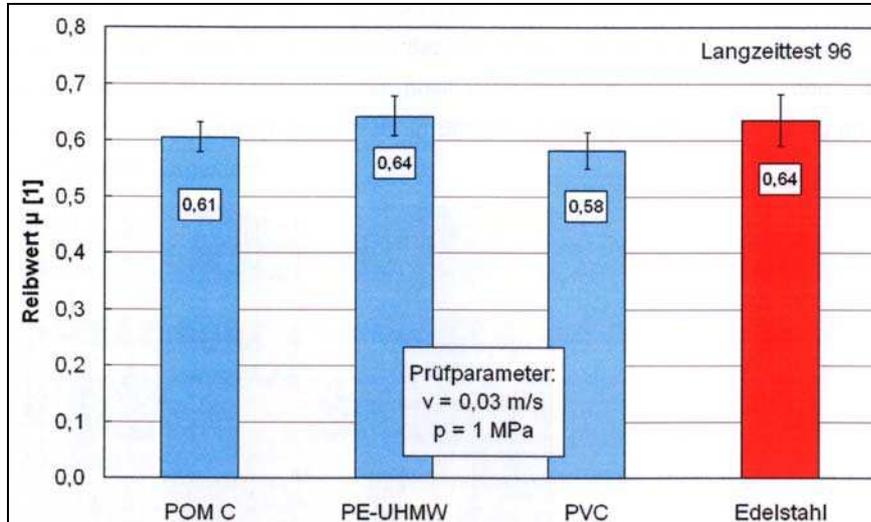


Bild 6: Reibbeiwert von drei Kunststoffen im Vergleich zum nichtrostenden Stahl /2/

Durch eine zusätzliche, nachträglich vereinbarte Versuchsreihe sollten Erkenntnisse hinsichtlich des Verschleißverhaltens des Dichtungsmaterials auf den nicht mit einem Abriebfilm behafteten Oberflächen der drei Kunststoffe und des nichtrostenden Stahls gewonnen werden. Dieser Abriebfilm stellte sich sowohl bei den 20 h–Versuchen als auch bei den 96 h–Versuchen ein. Bei einer maximalen Prüfzeit von 4,5 h erfolgte jeweils nach 1,5 h ein Spurwechsel auf den Kunststoffringen. Durch einen zusätzlichen Schwamm konnten lose Partikel des Dichtungsgummis entfernt werden. Der Abriebfilm stellte sich jedoch auch bei dieser kurzen Versuchsdauer ein. Bild 7 zeigt die Ergebnisse (Reibbeiwert) der zuvor beschriebenen Versuche. Nach Beendigung der Versuche wurde auch die Verschleißrate des Dichtungsmaterials aus dem originalen Notenprofil bestimmt.

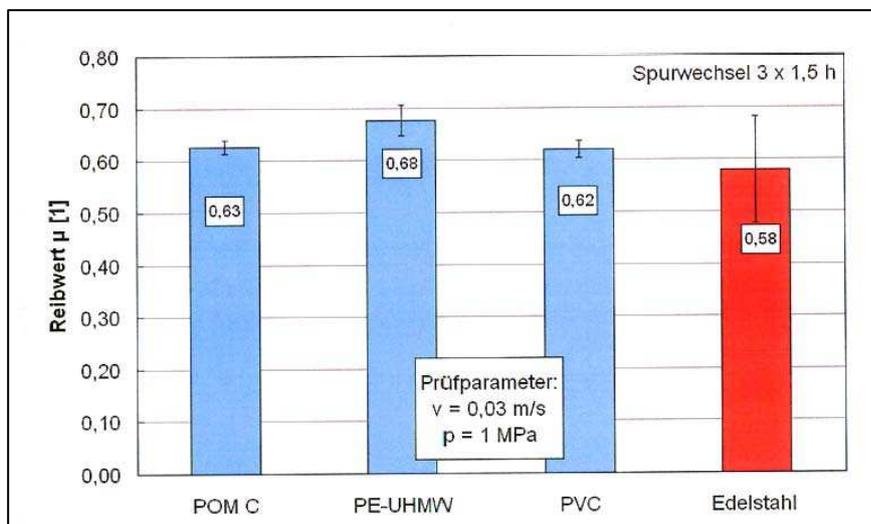
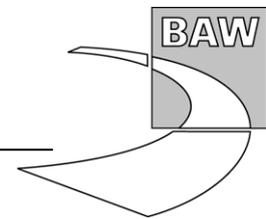


Bild 7: Reibbeiwert von drei Kunststoffen im Vergleich zum nichtrostenden Stahl bei 3x1,5 h Versuchsdauer /2/



Die durchgeführten Versuche zeigten, dass die untersuchten Kunststoffe durchaus geeignet sind den bisher für Dichtungsschleifflächen eingesetzten nichtrostenden Stahl zu ersetzen. Zum zukünftigen erfolgreichen Einsatz solcher Kunststoffe sind noch Berechnungsansätze zur Bemessung zu entwickeln. Bei diesen Berechnungsansätzen ist sowohl auf der Einwirkungsseite als auch auf der Widerstandsseite (Material) ein Teilsicherheitsfaktor zu berücksichtigen.

Nachfolgend sind tabellarisch Einsatzgebiete von Dichtungsschleifflächen und die auf die Flächen wirkenden Lasten (Einwirkungen) aufgeführt (Tabelle 2).

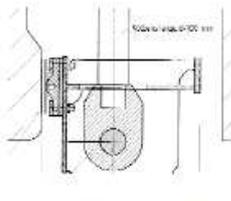
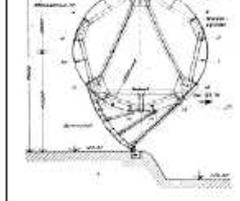
Dichtungsart	Seitendichtungen	Kopfdichtungen	Fußdichtungen	Drempeldichtungen
Verschlusstyp	Klappe Schütz Walze Segment Sektor Stemmtor	Schütz Doppelschütz Überstautes Stemmtor Segmenteschütz in Verschlüssen	Schütz Segment Walze Zylinderschütz	Stemmtor
Skizze				
Beispielbild				
Einwirkungen	Dichtungsvorspannung Hydrostatischer Druck	Dichtungsvorspannung Hydrostatischer Druck	Eigengewicht des Verschlusskörpers Ggfs. Auftrieb	Dichtungsvorspannung Hydrostatischer Druck

Tabelle 2: Dichtungsarten und Einwirkungen zur Berechnung der Dichtungsanschlagfläche

Berechnungen und Konstruktionsempfehlungen

Anhand zweier Beispiele (Seitendichtung und Kopfdichtung) soll aufgezeigt werden, wie die Dichtungsanschlagfläche aus Kunststoff nachgewiesen werden könnten.

Seitendichtung

Für die Seitendichtungsanschlagfläche ist auf der Einwirkungsseite (Last) die Dichtungsvorspannung zu berücksichtigen und aus dem anstehenden Wasser ein zusätzlicher Dichtungsdruck. Für die Dichtungsvorspannung werden 4 N/mm Dichtlinie (DL) (Teilsicherheitsfaktor $\gamma_Q=1,5$) in Anlehnung an real ausgeführte Bauwerke angenommen. Bild 8 zeigt die anzusetzenden hydrostatischen Einwirkungen auf ein Notenprofil.

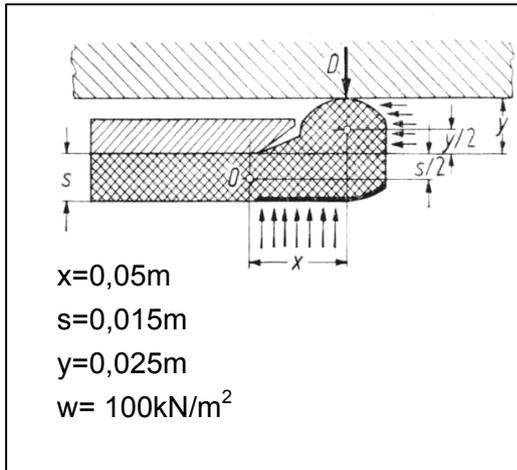


Bild 9: Ansatz der hydrostatischen Last auf eine Notendichtung nach /3/

Der anzusetzende Wasserdruck (D) (Annahme $\Delta h = 10\text{ m}$) berechnet sich in diesem Fall zu:

$$D/m\ DL = w(x^2 + y^2 + ys) / 2x = 3,5\ \text{N/mm DL} \quad (\text{Teilsicherheitsfaktor } \gamma_Q = 1,35)$$

Aus diesen beiden Einwirkungen, multipliziert mit den entsprechenden Teilsicherheitsfaktoren, ergibt sich dann die gesamte Einwirkung. Anhand einer Tabelle (siehe dazu Tabelle 3) aus der Diplomarbeit von Christian Schleicher: „Verschleißuntersuchungen an Wulstdichtungen im Stahlwasserbau in Wasser mit Feststoffen“ von 1998 kann die Abplattung des Notendichtungsprofils bestimmt werden.

Zylinder		Kontaktfläche				Vorspannung	
Druck (bar) gemessen	Kraft (N) gemessen	Breite (1) (mm) gemessen	Länge (2) (mm) gemessen	Fäche (1*2) (mm²) berechnet	Breite (mm) berechnet	Maß x (mm) gemessen	Kraft pro mmDL (N/mmDL) berechnet
8,00	784	8,29	160	1326	10,59	0,45	4,90
11,90	1623	13,26	191	2533	13,95	1,20	8,50
14,94	2278	15,38	206	3168	15,92	1,65	11,06
17,82	2878	17,19	207	3558	17,85	2,00	13,90
20,12	3364	18,00	208	3744	19,52	2,20	16,17
24,96	4371	20,62	210	4330	21,84	2,70	20,81
29,96	5350	22,71	211	4792	24,10	3,30	25,36
35,20	6367	24,95	212	5289	26,23	3,80	30,03
40,52	7451	26,14	213	5568	28,31	4,40	34,98
48,02	8976	27,76	214	5941	31,00	5,05	41,94
52,00	9681	28,52	214	6103	32,00	5,35	45,24

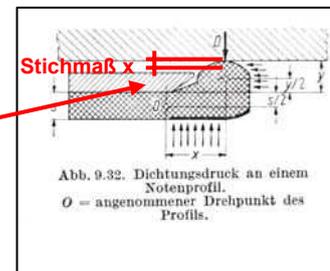
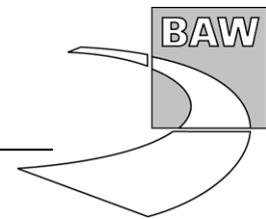


Tabelle 3: Ermittelte Werte der Verformungen der Wulstdichtungen

Unter Berücksichtigung der Abplattung und der ermittelten Einwirkungen kann man dann die Druckspannung in der Dichtungsanschlagleiste aus Kunststoff berechnen.

$$\text{Druckspannung} = \frac{10,73\text{N/mm}}{15,38\text{ mm}} = 0,7\text{N/mm}^2\ \text{DL}$$



Die Dichtungsanschlagleiste aus Kunststoff für Seitendichtungen sollte zur besseren Austauschbarkeit auf ein unlegiertes, in den Massivbau eingebautes Stahlblech aufgeschraubt werden. In Bild 9 ist ein prinzipieller Aufbau dargestellt.

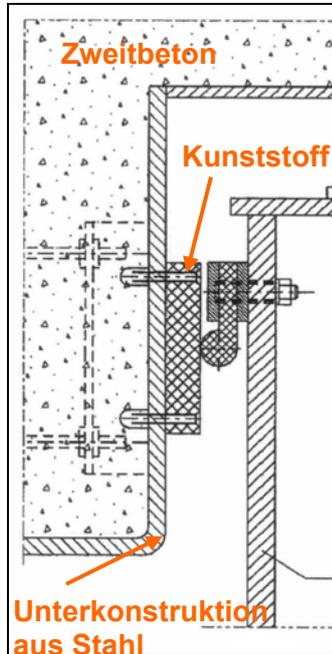


Bild 9: Mögliche Ausbildung einer Dichtungsanschlagleiste (Skizze: Neubauamt Hannover)

Alle im Beton eingebauten Bauteile sollten möglichst aus S235JR hergestellt werden. Die Dichtungsanschlagleiste aus Kunststoff ist auf die Tragkonstruktion aufzuschrauben (Gewindehülsen). Dazu sind außerhalb der eigentlichen Dichtlinie Senkschrauben zu verwenden. Die Tragkonstruktion aus Stahl ist durch stellbare Anker mit dem Erstbeton zu verbinden, ggfs. ist eine Führung für eine Dichtungsheizung einzuplanen. Alle frei liegenden Stahlflächen sind zu konservieren.

Kopfdichtung

Zur Bemessung einer Dichtungsanschlagleiste aus Kunststoff für eine Kopfdichtung ist ebenfalls eine Dichtungsvorspannung von 4 N/mm DL (Teilsicherheitsfaktor $\gamma_Q=1,5$) anzusetzen. Als hydrostatische Einwirkung auf die Kopfdichtung wird eine Wasserdruckdifferenz zwischen Oberwasser und Unterwasser von 8 m angenommen. Bild 10 zeigt die anzusetzende hydrostatische Einwirkung.

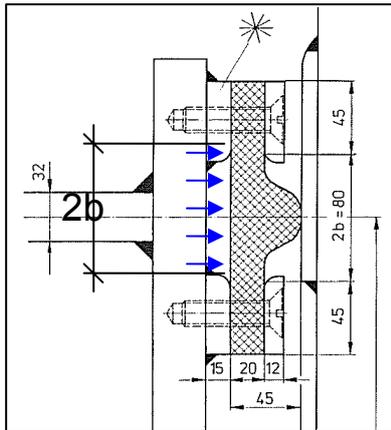


Bild 10: Hydrostatische Einwirkung auf eine Kopfdichtung

Die Dichtungskraft (D) pro Meter Dichtungslinie (DL) infolge Wasserdruck errechnet sich aus:

$$D/m \text{ DL} = w \times 2b = 80 \text{ N/mm} \times 80 \text{ mm} = 6400 \text{ N je m DL} = 6,4 \text{ N/mm DL}$$

Laut der Diplomarbeit von Schleicher ergibt sich daraus ein Stichmaß „x“ von ~ 1,8 mm und eine Profilabplattung mit einer Breite von ca. 17,0 mm.

$$\text{Druckspannung} = \frac{12,4 \text{ N/mm}^2}{17,0 \text{ mm}} = 0,73 \text{ N/mm}^2 \text{ DL}$$

Auch auf der Widerstandsseite ist ein Teilsicherheitsbeiwert (γ_M) anzusetzen, der sich aus zwei Sicherheitsfaktoren zusammensetzt. Ein Faktor repräsentiert die Modellunsicherheit bei den Bauwerkswiderständen (γ_{Rd}) und ein weiterer Faktor die Unsicherheit der Baustoffeigenschaften (γ_m). Es wird empfohlen, sowohl γ_{Rd} als auch γ_m mit 1,1 anzusetzen, so dass $\gamma_M = \gamma_{Rd} \times \gamma_m = 1,2$ wird. Die Streckspannung ($f_{y,k}$) des eingesetzten Kunststoffs ist dann noch durch 1,2 zu dividieren.

Nachweis für die Dichtungsanschlagleiste

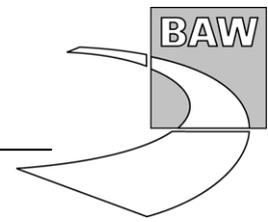
$$S_d \leq R_d$$

$$R_d = f_{y,k} / \gamma_M$$

$$\gamma_M = 1,2$$

Die Berechnungen zeigen, dass Kunststoffe (POM, PVC, PE-UHMW) durchaus als Anschlagleisten für die Dichtungen einsetzbar sind. Die durch die Einwirkungen entstehenden Druckspannungen können ohne weiteres durch die im Langzeitversuch untersuchten Kunststoffe aufgenommen werden. Alle drei untersuchten Kunststoffe sind UV beständig und weisen ein geringes Quellverhalten auf.

Um Langzeiterfahrungen über solche Dichtungsanschlagleisten zu gewinnen, sollten diese im realen Betrieb an einem Umlaufverschluss eingesetzt werden. Daher wäre es wünschenswert,



wenn im Amtsbereich der WSV der BAW die Möglichkeit gegeben würde, Kunststoffe als Dichtungsanschlagleisten im Realbetrieb zu testen.

Literatur

- /1/ U. Gabrys, M. Baumann, Dr. G. Binder: CrNi- und Baustahl im Stahlwasserbau- Schadensbilder-Problemanalysen-Lösungsansätze; Tagungsband Bautechnik; 2002
- /2/ H.-P. Feldner: Abschlussbericht „Ermittlung tribologischer Kennwerte von Kunststoffen für den Einsatz als Alternativwerkstoffe im Stahlwasserbau, Institut für Verbundwerkstoffe, Kaiserslautern, 2009
- /3/ G. Wickert, G. Schmaußer: Stahlwasserbau; Springer-Verlag Berlin, 1971

