

Entwässerung des Tribünenenddaches im Westfalenstadion

Pumpeninduzierter Saugheber als Problemlöser

Bemerkenswert ist das Dortmunder Westfalenstadion in mehrfacher Hinsicht. Die größte und meistbesuchte Fußballarena in Deutschland ist nicht nur in punkto Atmosphäre ein Unikat. Nach Umbau der Arena ist auch das Entwässerungssystem für das Hallendach beispiellos. Denn mit dem Verschwinden der innenliegenden Dachsäulen musste ein neuer Weg zur Regenwasserableitung der Stadionsdächer gefunden werden und das anfallende Wasser dabei erst einmal sechs Höhenmeter überwinden.

Ursprünglich wurde das Westfalenstadion für die Weltmeisterschaft 1974 gebaut. Das Stadion blieb bis Anfang der 90er Jahre baulich nahezu unverändert. 1992 wurden auf der Nordtribüne befindliche Steh- in Sitzplätze umgerüstet, wodurch sich das Fassungsvermögen auf 42 800 verringerte. Zwischen 1995 und 1999 wurden nacheinander die Tribünen aufgestockt. 2004 wurden die Stadionecken ausgebaut und dadurch eine Zuschauerkapazität von fast 80 000 Personen erreicht.

Der Ausbau der Stadionecken führte zu erheblichen Problemen bei der Entwässerung der Dächer. Die ursprünglichen Dachkonstruktionen ruhten auf sogenannten Dreierpylonen, die sich jeweils am Ende der Tribünenendächer befanden. Ursprünglich erfolgte die Entwässerung der vier eigenständigen Stadionsdächer über jeweils drei innenliegende Rinnen mit untergebauten Druckentwässerungssystemen, die das Regenwasser zu den jeweiligen Giebelseiten führten. An den dort vorhandenen Stützkonstruktionen, den „Dreierpylonen“, wurden auch die Regenwasser-Falleitungen in das Grundleitungssystem geführt. Durch Ausbau und Überdachung der Stadionecken wurden die innenliegenden Pylonen (Pfeil in Bild 1) durch eine



Bild 1 Die alte Dachkonstruktion ruhte auf Säulen, die sich am Ende der Tribünenendächer befanden. Die Entwässerung der Stadionsdächer erfolgte über innenliegende Rinnen. An den Stützkonstruktionen der Giebelseiten wurden die Regenwasser-Falleitungen in das Grundleitungssystem geführt. Durch den Ausbau der Stadionecken wurden die innenliegenden Pylonen durch eine außenliegende Stahlkonstruktion ersetzt. Die Regenwasserabführung musste neu geregelt werden.

außenliegende Stahlkonstruktion ersetzt. Diese acht 62 Meter hohen gelben Tragwerkelemente (Bild 2) prägen heute die Stadion-Außenansicht.

Freie Sicht war oberstes Gebot

Der Umbau der Tragkonstruktionen für die Tribünenendächer war Voraussetzung für eine uneingeschränkte Sicht von allen Sitzplätzen auf das Spielfeld. Durch den Wegfall der innenliegenden Pylonen entfiel aber auch die Möglichkeit die Falleitungen der Druckentwässerungsanlagen im vorderen Bereich des Tribünenendaches zu führen. Erschwerend kam hinzu, dass – im Gegensatz zu den meisten anderen Stadionsdächern – das Hallendach des Westfalenstadions zum Spielfeld hin abfällt. Mit dem Verschwinden der innenliegenden Dreierpylonen musste unter Beibehaltung der bereits vorhandenen Rinnensysteme auch ein neuer Weg zur Entwässerung der Stadionsdächer gefunden werden.



Bild 2 Die acht 62 Meter hohen gelben Tragwerkelemente ersetzen die innenliegenden Pylonen und prägen heute das Westfalenstadion



Bild 3 Die Entwässerung der Stadionsdächer erfolgt über innenliegende Rinnen mit untergebauten Druckentwässerungssystemen

Fließrichtung: Sechs Höhenmeter bergauf

Da das auf dem Dach anfallende Regenwasser am Tiefpunkt der Dachkonstruktion aus den vorgenannten Gründen nun nicht mehr sofort in die Senkrechte abgeleitet werden konnte, musste es unterhalb der Dachkonstruktion über entsprechende Leitungssysteme – und unter Überwindung einer Höhendifferenz

von ca. 6 m – wieder nach oben geführt werden. Nur außerhalb des Sichtbereiches der Zuschauer, an den Außenwänden der Tribünen, konnte das Regenwasser über Fallleitungen in die Grundleitungen abgeleitet werden. In ersten Planungen war vorgesehen, das gesamte anfallende Regenwasser aus dem Berechnungsregen nach DIN 1986-100 für den Standort Dortmund (5-Minuten-Regenereignis, das einmal in zwei Jahren erwartet werden muss) über große Pumpstati-

onen im Dachbereich, über die Höhendifferenz von 6 m, zu fördern. Diese Lösung wäre nicht nur für den Bau der Entwässerungsanlage, sondern auch im laufenden Betrieb mit erheblichen Kosten verbunden gewesen. Auf Veranlassung des Generalunternehmers für den Stadionumbau, der Hochtief Construction AG, wurde in der Fachhochschule Münster im Labor für Haus- und Energietechnik ein Entwässerungskonzept für die vorhandene bauliche Situation entwickelt, dass mit weniger als 20 % der ursprünglich veranschlagten Pumpenleistung – bei ansonsten gleichem Abflussvermögen – auskommt.

Funktionsprinzip mit pumpeninduziertem Saugheber

Das entwickelte Entwässerungsprinzip beruht darauf, dass eine „Pilotpumpe“ gerade soviel Regenwasser zur Falleitung fördern soll, dass sie vollgefüllt betrieben werden kann. Ist die Falleitung vollgefüllt, kann – wie in konventionellen Druckentwässerungssystemen – durch die Gewichtskraft des Wassers Unterdruck in der Leitungsanlage erzeugt werden. Dadurch kann in einem Leitungssystem Wasser nur unter Einfluss der Schwerkraft in begrenztem Maße auch aufwärts fließen. Die physikalische Grenze für den minimalen Unterdruck wird durch den Dampfdruck definiert. Die zulässige Grenze in technischen Berechnungen wird in der VDI Richtlinie 3806 „Dachentwässerung mit Druckströmung“

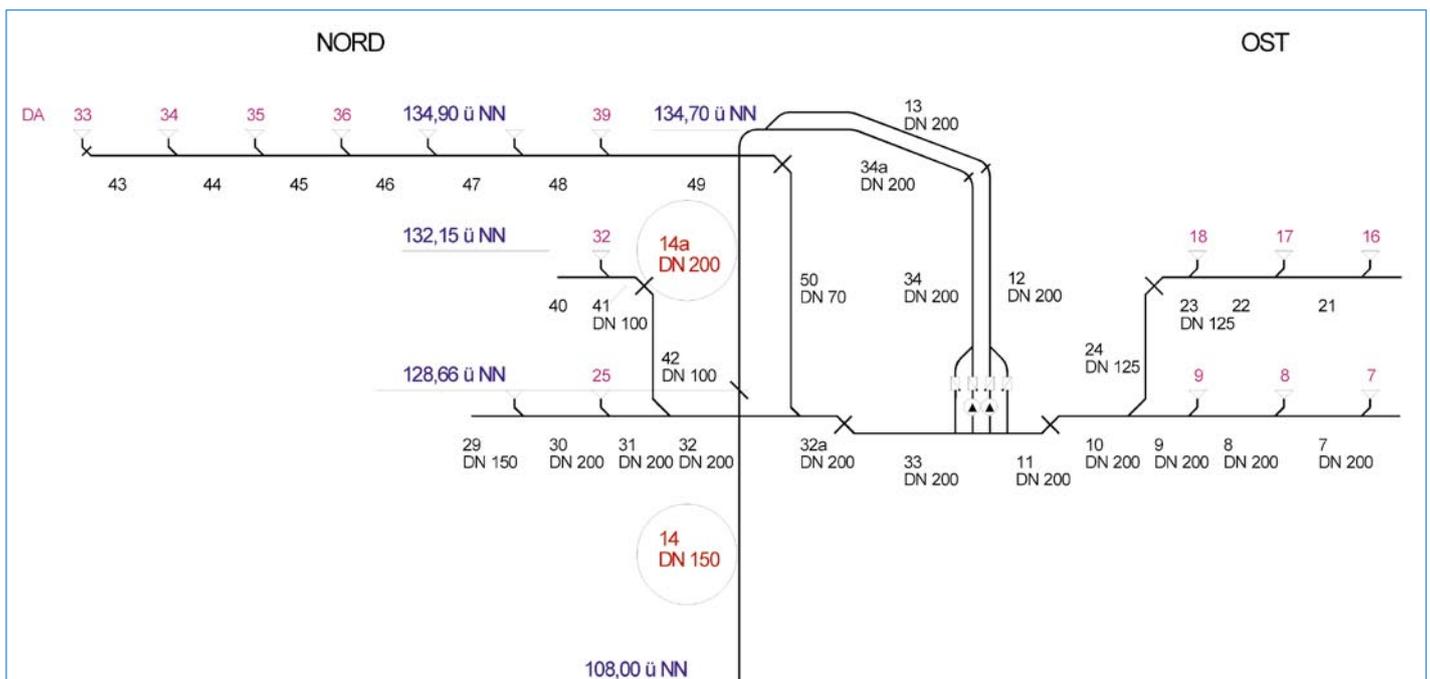


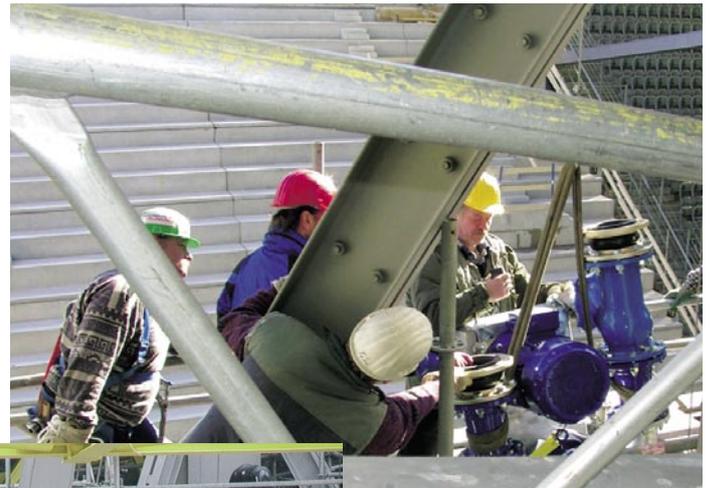
Bild 4 Pumpeninduzierte Saugheber in Verbindung mit Druckentwässerungssystemen ermöglichen die Überwindung von erheblichen Höhendifferenzen

mit -900 mbar festgelegt. Der geringste Druck im Leitungssystem muss in der Umlenkung von der Sammel- in die Fallleitung erwartet werden.

Regenereignisse, die im geplanten Entwässerungssystem einen Abfluss ergeben, der geringer ist als der Anlaufvolumenstrom, werden zu 100 % gepumpt. Bei größeren Regenereignissen öffnet sich mit dem Anlaufen der Druckströmung über eine Rückschlagklappe eine großdimensionierte Bypassleitung. Über diesen Bypass fließen die Volumenströme aus Starkregenereignissen, nur unter Ausnutzung der Schwerkraft, an der relativ kleinen Pilotpumpe vorbei. Als Pilotpumpen kamen robuste Drehkolbenpumpen zum Einsatz (Bild 5).

Das dem Entwässerungskonzept für das Westfalenstadion zugrundeliegende Prinzip des „Saughebers“ ist seit langem bekannt und wird alltäglich genutzt um z. B. Aquarien oder andere kleinere Flüssigkeitsreservoirs zu entleeren. Bei den landläufigen Anwendungen wird der Saugheberschlauch in der Regel durch Ansaugen mit dem Mund und nicht wie im vorliegenden Fall durch eine Pilotpumpe gefüllt. Hochleistungsfähige „pumpeninduzierte Saugheber“ in Verbindung mit Druckentwässerungssystemen zur Überwindung von erheblichen Höhendifferenzen bei der

Bild 5 Pilotpumpe, Bypass und Saugheberleitung in der Stadionecke Nord-West. Die Montage erwies sich schon allein wegen der hohen Produktgewichte als sehr anspruchsvoll und erforderte absolute Präzisionsarbeit



Entwässerung von großen Hallendächern wurden im Dortmunder Westfalenstadion weltweit erstmalig realisiert.

Leistungsfähigkeit rechnerisch nachgewiesen

Der rechnerische Nachweis der Leistungsfähigkeit wurde mit einer Simulationsrechnung auf Grundlage der Berechnungsmethodik

TS	Länge m	Q l/s	d_i mm	R mbar/m	V m/s	$l \cdot R$ mbar	$\Sigma \zeta$	Z mbar	$l \cdot R + Z$ mbar	$\Sigma(l \cdot R + Z)$ mbar	Δh mbar	p_{dyn} mbar	p_x mbar
DA 1	1,2	1,5	69,8	0,3	0,38	0,4	2,9	2,1	2,5	2,5	100	0,7	96,8
1	7,0	1,5	69,8	0,3	0,38	2,1	0,3	0,2	2,3	4,8	100	0,7	94,5
2	7,0	3,5	85,4	0,6	0,61	3,9	0,3	0,6	4,5	9,2	100	1,9	88,9
3	7,0	6,4	98,0	0,9	0,85	6,0	0,3	1,1	7,0	16,3	100	3,6	80,1
4	7,0	10,2	98,0	2,1	1,35	14,5	0,3	2,7	17,2	33,5	100	9,1	57,4
5	7,0	15,7	98,0	4,7	2,08	33,0	0,3	6,5	39,5	73,0	100	21,5	5,5
6	7,0	19,7	98,0	7,3	2,61	51,3	0,3	10,2	61,5	134,4	100	34,0	-68,4
7	7,0	25,1	200,0	0,3	0,80	2,2	0,3	1,0	3,2	137,6	100	3,2	-40,8
8	7,0	30,6	200,0	0,5	0,97	3,2	0,3	1,4	4,6	142,2	100	4,7	-47,0
9	21,0	36,2	200,0	0,6	1,15	13,3	0,3	2,0	15,3	157,5	100	6,6	-64,2
10	1,0	70,7	200,0	2,3	2,25	2,3	0,3	7,6	9,9	167,4	100	25,3	-92,7
11	1,0	70,7	200,0	2,3	2,25	2,3	0,3	7,6	9,9	177,3	216	25,3	13,4
12	4,0	70,7	200,0	2,3	2,25	9,1	0,3	7,6	16,7	194,0	-274	25,3	-493,4
13	35,0	70,7	200,0	2,3	2,25	80,0	0,3	7,6	87,6	281,6	-604	25,3	-911,0
14 a	6,0	149,2	200,0	9,8	4,75	58,8	1,3	146,5	205,3	487,0	0	112,7	-599,7
14	20,7	149,2	150,0	43,4	8,44	897,6	1,8	641,3	1538,9	2025,9	2026	356,3	0,0
								$\Delta h_{\text{verf}} =$	2025,9				

Tabelle 1 Berechnungsergebnis aus einer Abflusssimulation für den ungünstigsten Fließweg

der VDI-Richtlinie 3806 erbracht. Erkenntnisse aus messtechnischen Untersuchungen im Labor und in ausgeführten Anlagen haben gezeigt, dass eine Abflusssimulation die tatsächlichen Gegenheiten bereits relativ genau beschreiben kann, wenn neben den hydraulischen Standardkennzahlen der VDI 3806 mindestens der Einzelwiderstandsbeiwert des Dachablaufes aus einer Prüfung nach DIN EN 1253-1 bzw. -2¹ in der Berechnung² verwendet wird. Über die Abflusssimulation konnte nachgewiesen werden, dass bei einer für die Überwindung von Strömungsverlusten verfügbaren Höhendifferenz von ca. 20 m der erforderliche Abfluss bei einem Berechnungsregen von $r = 273 \text{ l/(s*ha)}$ von ca. 130 l/s mit Reserven sichergestellt werden kann. Der Unterdruck bleibt in den zugelassenen Grenzen (Tabelle 1).

Auslegung der Pilotpumpe

Da sich der rechnerische Nachweis für das angestrebte Funktionsprinzip im Grenzbereich der physikalischen Möglichkeiten bewegt – schließlich sollten 6 m Höhendifferenz überwunden und dabei erhebliche Volumenströme transportiert werden – waren experimentelle Untersuchungen zur Funktion sowohl im Labor als auch im Stadion erforderlich³. Zur Bemessung der Pilotpumpe musste insbesondere die Frage geklärt werden, bei welchem Volumenstrom eine Falleitung DN 150 verlässlich anläuft. Die VDI-Richtlinie 3806 gibt zwar so genannte Anlaufvolumenströme für Falleitungsdurchmesser bis DN 200 an. Diese Volumenströme wurden aber nur bis zur Nennweite DN 125 experimentell ermittelt⁴. Die Angaben für die größeren Nennweiten basieren hier nur auf Extrapolationen. Zur Absicherung wichtiger Auslegungsdaten wurde aus diesem Grunde das Anlaufverhalten größerer Falleitungsdurchmesser im Laborversuch zusätzlich ermittelt. Werden alle Ergebnisse in einem halb-logarithmischen Diagramm dargestellt, liegen die Messpunkte auf einer Geraden. Die neuen Messungen bestätigen die in VDI 3806 vorgenommenen Extrapolationen (Bild 6).

Nach umfangreichen Testläufen im Labor und nach der Praxisbewährung einer im Sommer 2003 vor Ort installierten Pilotanlage wurde die konzipierte Entwässerungstechnik im ge-

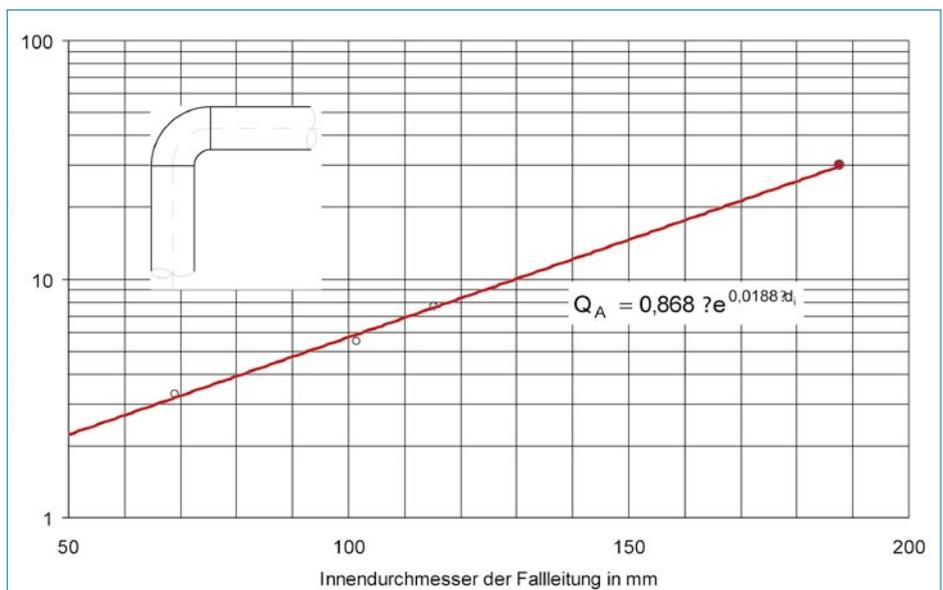


Bild 6 Anlaufvolumenstrom einer Falleitung in einer Druckentwässerungsanlage in Abhängigkeit vom Durchmesser

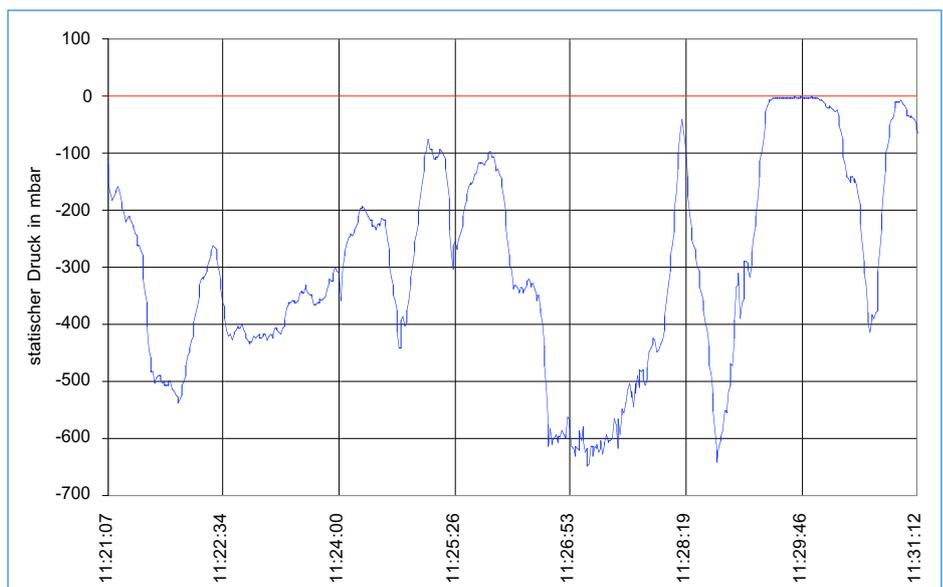


Bild 7 Druckverlauf in einem der installierten pumpeninduzierten Saugheber bei einem Starkregenereignis am 12. Juni 2004

samen Stadion realisiert. Aus einem der vier Saughebersysteme liefert seitdem ein installierter Drucksensor über eine automatische Messdatenerfassung kontinuierlich Werte für den Innendruck. Die in Bild 7 zu erkennenden Messergebnisse liefern den Nachweis, dass das entwickelte Entwässerungssystem mit pumpeninduziertem Saugheber in Verbindung mit einer Druckentwässerungsanlage wie geplant funktioniert und über das prognostizierte Abflussvermögen verfügt.



Unser Autor Prof. **Bernd Rickmann** leitet den Fachbereich Energie Gebäude Umwelt der Fachhochschule Münster, 48565 Steinfurt, E-Mail: rickmann@fh-muenster.de

¹ DIN EN 1253: Juni 1999 „Abläufe für Gebäude“

² F.-J. Heinrichs, B. Rickmann, K.-D. Sondergeld, K.-H. Störlein – „Gebäude- und Grundstücksentwässerung – Kommentare zu DIN EN 12056, DIN 1986 und DIN EN 1610“

³ Schramm, Simon – „Entwicklung eines neuartigen Entwässerungskonzepts für das Hallendach des Dortmunder Westfalenstadions“, Diplomarbeit FH Münster

⁴ Meineke, Meyer – „Messtechnische Untersuchungen über das Anlaufverhalten einer Druckrohrentwässerungsanlage“, Diplomarbeit FH Münster 1997