



UNIVERSELL EINSETZBARE TURBINE FÜR WASSERVERSORGUNGEN

Jahresbericht 2008

Autor und Koautor	Bruno Schindelholz, Markus Fritschi
Beauftragte Institution	<i>stiftung revita</i> , Ökozentrum Langenbruck
Adresse	Schwengiweg 12, 4438 Langenbruck
Telefon, E-mail, Internetadresse	062 387 31 34, bruno.schindelholz@revita.ch , www.revita.ch
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	102033/152529
BFE-Projektleiter	Klaus Jorde
Dauer des Projekts (von – bis)	1.3.2007 – 31.1.2009
Datum	28.11.2008

ZUSAMMENFASSUNG

Dank der Unterstützung durch das Bundesamt für Energie und dem Verein FESUM konnte die Entwicklung der Universalturbine weiterverfolgt werden. Dabei wurden im Jahr 2008 folgende Schwerpunkte behandelt.

Wellendichtung

Nach den erfolgreichen Labortests mit der Wellendichtung im Jahr 2007, wurde die Versuchsturbine für einen Dauertest mit einer elektronischen Steuerung ausgerüstet. Ab Juli 2008 ist die Versuchsturbine mit der Wellendichtung in Crémines (BE) bei einem Gegendruck von 0.5 bar in Betrieb. Probleme mit der Wellendichtung sind bis jetzt nicht aufgetreten, sie funktioniert zuverlässig.

Druckregelung

Im Jahr 2008 wurde die Entwicklung der Gegendruckregelung nicht weiter verfolgt. Es zeigt sich aber, aufgrund mehrerer Anfragen, dass eine Gegendruckregelung in speziellen Anwendungsfällen benötigt wird. Es ist vorgesehen, zuerst in Crémines (BE) an der Versuchsturbine und später in Münster (VS) bei der ersten Pilotanlage eine elektronische Gegendruckregelung einzubauen und zu testen.

Luftetrug und Regelung

Die Versuchsturbine in Crémines ist mit je einer Strahlpumpe pro Düse ausgerüstet. Der Luftetrug funktioniert zuverlässig. Mit dem Zu- und Abschalten der Düse wird auch die Strahlpumpe zu- und abgeschaltet. Eine grobe Luftetrugsregelung wird damit erreicht. Die Variante mit einem Entlüftungsventil soll in Münster geprüft werden.

Industriepartner

Mit der Firma Küffer AG und neu der Firma zobo hydropower gmbh konnten kompetente Industriepartner gefunden werden. Mit ihnen wurde eine Zusammenarbeitsvereinbarung ausgearbeitet. Beide Firmen beteiligen sich aktiv an der Entwicklung und Markteinführung der Universalturbine.

Entwicklung neue Turbinenreihe (Typisierung)

Die mit der Versuchsturbine gemachten Erfahrungen wurden bei der Entwicklung der Pilotanlage berücksichtigt. Die Typisierungsgrundlagen für eine einheitliche Baugrösse und universelle Anwendung wurden bereits 2007 erarbeitet. Im Jahr 2008 erfolgte die konstruktive Umsetzung. Marketing und Herstellunterlagen für die Universalturbine sind erarbeitet.

Projektziele

Die Projektziele wurden aus dem Zwischenbericht 2007 übernommen. Sie haben sich nicht verändert. Aus weiteren Anfragen und Markabklärungen zeigen sich weitere Forschungsprioritäten bei der Gegendruckturbinierung. Diese sind unter Bewertung 2009 und Ausblick 2010 aufgeführt.

Bedeutung des Projekts

Das Ziel ist die Entwicklung einer universell einsetzbaren Turbine für Wasserversorgungen, die im Normalen- und vor allem auch **im Gegendruckbereich** z.B. anstelle von Druckreduzierventilen eingesetzt werden kann. Sie wandelt Druckreduzierenergie in elektrische Energie um. Die Turbine weist einen hohen Wirkungsgrad auf, dämpft Druckstösse im Leitungsnetz und ermöglicht eine Durchfluss- und Druckregelung. Dank einer, nach Berechnung optimalen Baugrösse und einem modularen Aufbau kann sie in Serien hergestellt werden. Mit wenig Aufwand lässt sie sich den standortspezifischen Anforderungen anpassen. Dadurch lassen sich die Projektierungs- und Herstellkosten wesentlich senken. Das Ziel ist ein wirtschaftlicher Einsatz ab 5 kW. Vor allem in Berggebieten sind Potenziale im Gegendruckbereich vorhanden, für deren Nutzung eine geeignete Turbine bisher nicht erhältlich war.

Potenzialstudien über die nutzbare Druckreduzierenergie in geschlossenen Wasserversorgungssystemen sind unseres Wissens nicht vorhanden. In der DIANE Studie von 1994 wurde für offene Systeme an 325 Standorten in der ganzen Schweiz ein Ausbaupotenzial von 122 GWh/a errechnet. Reservoirüberläufe **und geschlossene Systeme** sind darin nicht enthalten. Aufgrund der bisher gemachten Erfahrungen schätzen wir das Ausbaupotenzial in geschlossenen Systemen noch einmal in dieser Grössenordnung.

Systembeschreibung

Ein Pelton- Laufrad in einem Druckluftpolster innerhalb des Turbinengehäuses ermöglicht den Einsatz von Pelton- Turbinen in ganz verschiedenen Gegendruckbereichen.

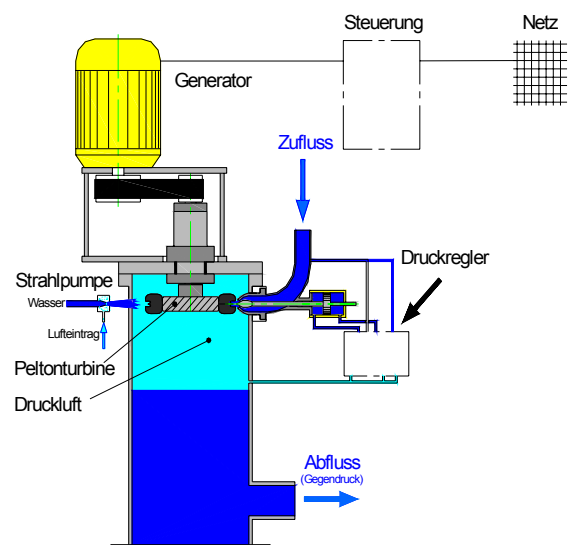
Druckstösse im Leitungsnetz werden dadurch gedämpft und können den Turbinenbetrieb nicht stören. Gleichzeitig wird Flüssigkeitsreibung am Laufrad verhindert und damit der Turbinenbetrieb im Gegendruckbereich überhaupt erst ermöglicht.

Das Druckluftpolster verursacht aber auch Probleme. Einerseits muss die Wellendurchführung luftdicht ausgeführt werden, andererseits wird Luft mit dem abfliessenden Wasser ausgetragen. Die Luftmenge im Druckluftpolster muss dabei erhalten bleiben.

Das Aufrechterhalten des Druckluftpolsters innerhalb des Turbinengehäuses und die Gegendruckregelung sind die zentralen Elemente des vorliegenden Projektvorhabens. (siehe Bild 1)

Bild 1

Darstellung der Universalturbine schematisch



Daraus ergeben sich folgende wesentlichen Zielsetzungen:

- Die Wellendichtung muss luftdicht und verschleissfrei ausgeführt werden
- Für einen konstanten Versorgungsdruck muss der Durchfluss nach dem Gegendruck geregelt werden
- Ein einfaches Konzept für den Lufteintrag und dessen Regelung ist erforderlich
- Mit einer einheitlichen Baugrösse sollen die Kosten gesenkt und die Energiepotenziale effizient genutzt werden können

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Wellendichtung

Wie im Zwischenbericht 2007 beschrieben, wurden mit der verstellbaren hydrodynamischen Wellendichtung Laborversuche durchgeführt. Dabei wurde das Reibverhalten in Abhängigkeit des Dichtungsspalt und die Luftdichtheit untersucht. Die Luftdichtheit wird mit diesem Dichtungssystem erreicht und das Reibungsverhalten entspricht den hydrodynamischen Schmiereigenschaften. Aufgrund der positiven Erfahrungen wurde und wird immer noch die gleiche Dichtung ohne Änderung einem Dauertest unterzogen. In der Wasserversorgung von Crémines (BE) ist die Versuchsturbine seit Juli 2008 in Betrieb. Der Gegendruck wird über Abflussdrosselung gehalten und beträgt im Normalbetrieb 0.5 bar. Das Dichtungsspiel wurde auf ca. 0.01 mm eingestellt und blieb bisher unverändert. Störungen, Änderungen im Betriebsverhalten oder Änderungen bei der Leckwassermenge wurde bisher nicht festgestellt. Für die Konstruktion der erste Pilotanlage für Münster (VS) wurden die Erfahrungswerte so übernommen.

Bild 2

Versuchsturbine, Dauertest in Crémines



Gegendruckregelung

Bei Anwendungsfällen ohne Druckausgleich (Reservoir) muss der Gegendruck über den Durchfluss geregelt werden. Der Durchfluss durch die Turbine muss in diesem Fall genau dem Verbrauch im Ortsnetz entsprechen. Die an den beiden Fachhochschulen FHNW und BFH getesteten und im Zwischenbericht 2007 beschriebenen hydropneumatische und elektronische Regler funktioniert noch nicht zufriedenstellend. Es zeigte sich aber, dass mit dem elektronischen Regler an der FHNW die Anforderungen am besten erfüllt werden können. Alleine durch Gegendruckmessung und proportionale Verstellung der Düsennadel, müssten zufriedenstellende Reglereigenschaften erreichbar sein. Die Diplom- und Semesterarbeiten sind bei der *stiftung revita* einsehbar.

Im Jahr 2008 konnte die Entwicklung aus diversen Gründen nicht weiter verfolgt werden. Anfragen und Marktrecherchen zeigen aber, dass eine solche Regeleinrichtung benötigt wird. Aus diesem Grund soll im Jahr 2009 eine elektronische Ausführung noch in Crémines (BE) in die Steuerung eingebaut und getestet werden.

Lufteintrag und Regelung

Die Versuchsturbine in Crémines (BE) ist mit je einer Strahlpumpe pro Düse ausgerüstet. Der Lufteintrag funktioniert zuverlässig. Für die erste Pilotanlage ist pro Düse eine Strahlpumpe vorgesehen. Mit dem Zu- und Abschalten der Düse soll auch die Strahlpumpe zu- und abgeschaltet werden. Eine grobe Lufteintragsregelung wird damit erreicht. Für die meisten Anwendungsfälle, bei denen die Luft nach der Turbine ausgasen kann, wird dies ausreichend sein. Für Anwendungsfälle mit direkter Einspeisung ins Wassernetz kann die gelöste Luft im Wasser insofern problematisch sein, dass sie bei sinkendem Druck zum Teil ausgasen wird und dadurch Luftblasen im Leitungsnetz entstehen. In der Turbine selber kann der Luftaustrag ins Leitungsnetz mit einer geregelten Strahlpumpe oder einem Entlüftungsventil, nur soweit verhindert werden, dass keine Luftblasen vom abfließenden Wasser ausgetragen werden. Die im Wasser gelöste Luft wird ausgetragen. Ihr Anteil liegt knapp unter der Sättigungsgrenze bei den entsprechenden Druck- und Temperaturverhältnissen. Sinkt der Druck im Leitungsnetz durch die Höhenunterschiede, werden Luftblasen im Leitungsnetz entstehen.

In der Praxis wurden diese Laborfeststellungen von uns noch nicht untersucht. Eine erste Anlage dieser Art könnte in Bondo (GR) gebaut werden. Wie weit die Gemeinde bereit ist einen solchen Versuch zu wagen, ist noch nicht klar.

Die Variante mit einem Entlüftungsventil soll in Münster (VS) geprüft werden. Gelingt es damit den Austrag von Luftblasen zu verhindern, könnte ein Versuch in Bondo (GR) überlegt werden.

Industriepartner

Mit der Firma Küffer AG und neu der Firma zobo hydropower gmbh konnten kompetente Industriepartner für die Herstellung und Vermarktung der Universalturbine gefunden werden. Mit den beiden Firmen wurde eine Zusammenarbeitsvereinbarung ausgearbeitet. Beide Firmen beteiligen sich aktiv an der Entwicklung und Markteinführung der Universalturbine. Firma Küffer AG übernimmt Logistik und Montage von Turbine und Steuerung. Die Fa. zobo hydropower gmbh liefert Turbinenlaufrad und Leitvorrichtung. Sie beteiligt sich aktiv an der Vermarktung.

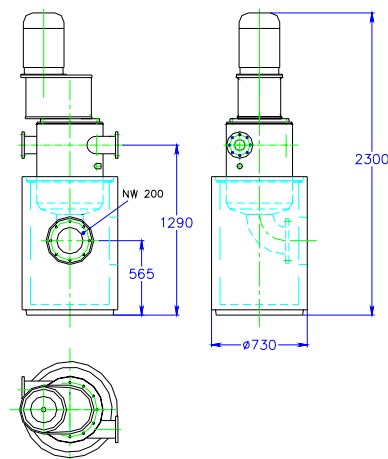
Die *stiftung revita* ist zuständig für Forschung, Entwicklung und Engineering.

Entwicklung neue Turbinenreihe (Typisierung)

Der Grundgedanke mit der Universalturbine 5 bis 50 kW sollen möglichst viele der vorhandenen Energiepotenziale in Wasserversorgungen mit einer einheitlichen Turbinengrösse genutzt werden können, wurde umgesetzt. Die Anpassung der Turbine auf standortspezifische Anforderungen wie Wasserdargebot, Druckgefälle und neu Gegendruck (Versorgungsdruck), soll möglichst einfach realisierbar sein. Umfangreichere Berechnungen und Abklärungen gemäss Ergebnissen in Anhang 1 und 2 haben ergeben, dass mit einer einheitlichen Baugrösse die meisten Energiepotenziale mit gutem Wirkungsgrad nutzbar sind. Durch Anpassen der Düsenzahl kann die Turbine auf den Abfluss eingestellt werden. Mit einer Riemenübersetzung ist die Feinabstimmung der Laufraddrehzahl auf die nächstliegende Netzdrehzahl möglich. Laufrad und Turbinengehäuse können in einer Baugrösse ausgeführt werden. Bei der Düsengrösse sind zwei verschiedene Dimensionen notwendig.

Bild 3

Masszeichnung Grundaufbau der Universalturbine



Im Jahr 2008 erfolgte die konstruktive Umsetzung aus den gewonnenen Erkenntnissen. Die Herstellungsunterlagen und ein Flyer für die Universalturbine sind erarbeitet.

Nationale Zusammenarbeit

Die nationale Zusammenarbeit mit den beiden Fachhochschulen FHNW und BFH und den beiden Industriepartnern der Küffer AG und der zobo hydropower gmbh war sehr interessant und lehrreich. Dank Unterstützung durch die beiden Fachhochschulen konnten die Grundlagen der Gegendruckturbinierung weiter untersucht und werden.

Speziell in diesem Projekt wurden durch die Fachhochschule BFH die Strahlpumpe für den Lufteintrag und die Gegendruckregelung genauer untersucht. Bei der Strahlpumpe konnte der Wirkungsgrad durch einen Dralleinsatz wesentlich gesteigert werden und ein Berechnungstool für die Dimensionierung ist erarbeitet. Die Diplom- und Semesterarbeit ist bei der *stiftung revita* einsehbar.

An der FHNW wurden die Gegendruckregelung genauer untersucht. Die diversen Semester- und Diplomarbeiten sind bei der *stiftung revita* einsehbar.

Die beiden Industriepartner bringen die nötige Kompetenz und Kapazität für die Markteinführung der Turbine.

Die *stiftung revita* koordiniert die Arbeiten.

Nachteilig in der gesamten Entwicklungszeit zeigt sich die Problematik der Mittelbeschaffung. Dafür muss sehr viel Zeit aufgewendet werden. Dies verzögert die Entwicklung, reduziert die Entwicklungskapazität und damit die Erfolgschancen des Produkts erheblich.

Internationale Zusammenarbeit

Eine internationale Zusammenarbeit hat im Rahmen dieses Projekts nicht stattgefunden und kann somit nicht beurteilt werden.

Bewertung 2009 und Ausblick 2010

Wellendichtung

Die Wellendichtung hat sich bisher bei den Laborversuchen und im Dauertest sehr bewährt. Wir sind zuversichtlich, dass die Dichtung auch in der Pilotanlage zufrieden stellend funktioniert. Die Pilotanlage für Münster (VS) wird mit diesem Dichtungssystem ausgerüstet.

Es besteht die Idee, Dichtung und Lager in einem Element zu kombinieren. Das untere Wälzlager und die Dichtung würde durch ein wassergeschmiertes, hydrodynamisches Lager ersetzt. Die Dichtungsfunktion liesse sich da vermutlich integrieren. Diese Idee hat nicht Priorität, soll aber gelegentlich weiterverfolgt werden.

Gegendruckregelung

Die Gegendruckregelung wird bei der Substitution von Druckreduzierventilen durch die Universalturbine benötigt. Die an den Fachhochschulen durchgeführten Versuche mit verschiedenen Reglervarianten zeigen teilweise positive Ergebnisse, für den Praxiseinsatz reicht die Zuverlässigkeit noch nicht. Da bereits Projekte vorliegen, bei denen die Gegendruckregelung benötigt wird, soll dieser Entwicklung mit hoher Priorität weiter verfolgt werden.

Industriepartner

Die Zusammenarbeit mit den Industriepartnern kann von unserer Seite her als sehr zufriedenstellend bezeichnet werden. Wir sind sehr zuversichtlich die Universalturbine zusammen mit den Industriepartnern nutzbringend im Markt einführen zu können.

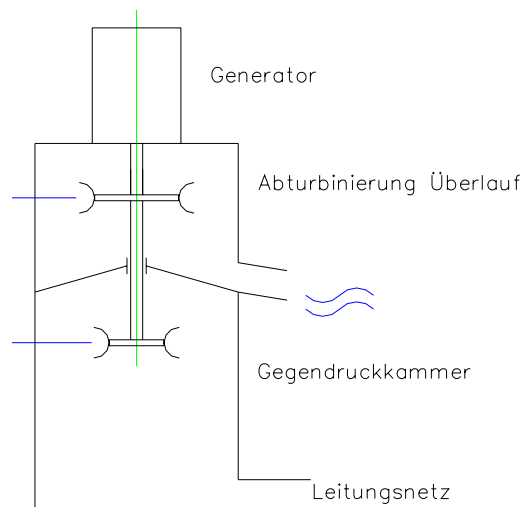
Entwicklung neue Turbinenreihe (Typisierung)

Umfangreichere Abklärungen und Berechnungen haben gezeigt, dass die meisten der vorhandenen Energiepotenziale in Wasserversorgungen mit der Universal turbine genutzt werden können. Die Typisierung ist dazu weit weniger umfangreich wie ursprünglich befürchtet. Eine Laufrad- und Gehäusegrösse, zwei Düsengrössen und Generatoren in den Normgrössen genügen, um die meisten Potenziale mit gutem Wirkungsgrad nutzen zu können. Die Typisierung ist soweit abgeschlossen.

Marktabklärungen und Potenzialanalysen haben gezeigt, dass viele Anwendungsfälle vorhanden sind, bei denen nur ein Teil der Quellschüttung für die Versorgung mit Gegendruck benötigt wird. Der Rest (Überlauf) steht ebenfalls für die Turbinierung zur Verfügung und könnte gegen Umgebungsdruck abturbiniert werden. Dazu sind entweder zwei Universal turbinen notwendig oder eine Turbine mit zwei Turbinenkammern.

Bild 4

Zweikammerturbine schematisch



Weitere Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte

Im Anschluss an das abgeschlossene Forschungsprojekt "Universell einsetzbare Turbine für Wasserversorgungen" und aufgrund von Marktabklärungen und Analysen bisheriger Anfragen, schlagen wir vor, die Weiterentwicklung der Gegendruckturbिनierung auf folgende Schwerpunkte zu konzentrieren.

- 1) Zweikammerturbine
Bei vielen Anwendungen ist die Quellwassermenge grösser, wie die Wassermenge, die für die Versorgung der Zone benötigt wird. Energetisch gesehen macht es Sinn das Überschusswasser auf Umgebungsdruck ab zu turbinieren. Dazu ist eine zusätzliche Kammer notwendig. (Bild 4)
- 2) Gegendruckregelung
Die Gegendruckregelung wurde bereits erwähnt. Das Problem ist technisch noch nicht gelöst, wird aber für die Anwendung dringend gebraucht.
- 3) Lufteintragsmöglichkeit für hohen Gegendruck (6 bis 16 bar)
Für Beschneidungssysteme wurden in letzter Zeit enorme Infrastrukturen aufgebaut. Viele dieser Anlagen können zusätzlich für die Turbinierung genutzt werden. Der erforderliche Gegendruck nach der Turbine beträgt dabei ca. 16 bar.
- 4) Kombination Wellendichtung und Lager
Die Kombination von Dichtung und Lager in einem Bauelement würde kleinere Baumasse ermöglichen und Kosten senken.
- 5) Universal turbine für 1 bis 5 kW Leistung
Um den unteren Leistungsbereich wirtschaftlich abdecken zu können, müssten die Herstellkosten wesentlich gesenkt werden. Dies ist vor allem mit einem kostengünstigeren Laufrad aus Kunststoff und mit kostengünstigeren Leitvorrichtungen realisierbar.

ANHANG 1

Anwendungsgebiet der Universalturbine 5 - 50 kW

Beaufschlagungskreis BAK **300** mm
 Laufzahl **0.47** -
 Geschwindigkeitsbeiwert **0.97** -
 Kontraktionszahl **0.90** -
 Turbinenwirkungsgrad **0.80** -

Universalturbine Strahldurchmesser 18 - 25.5 mm
 Universalturbine Strahldurchmesser grösser 25.5 mm
 Universalturbine Strahldurchmesser kleiner 18 mm
 Leistung kleiner 5 kW oder grösser 50 kW
 Radformkennzahl ungünstig

Hn	Δp	n	Bezeichnung	Durchfluss (l/s)																
m	bar	U/Min.		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	
20	2.0	584	Anz. Düsen	1	2	2	3	4	4	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
			nq	4.4	4.4	5.3	5.0	4.9	5.3	5.2	5.0	5.3	5.6	5.9	6.2	6.4	6.7	6.9	7.1	
			Leistung kW	0.8	1.6	2.4	3.1	3.9	4.7	5.5	6.3	7.1	7.8	8.6	9.4	10.2	11.0	11.8	12.6	
			ø Strahl mm	20.2	20.2	24.8	23.4	22.6	24.8	23.9	23.4	24.8	26.1	27.4	28.6	29.8	30.9	32.0	33.0	
40	3.9	826	Anz. Düsen	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	5	6	6	6	6	6	6
			nq	3.7	5.2	4.5	5.2	4.7	5.2	4.9	5.2	4.9	5.2	5.4	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	
			Leistung kW	1.6	3.1	4.7	6.3	7.8	9.4	11.0	12.6	14.1	15.7	17.3	18.8	20.4	22.0	23.5	25.1	
			ø Strahl mm	17.0	24.1	20.8	24.1	22.0	24.1	22.5	24.1	22.8	24.1	25.2	24.1	25.0	26.0	26.9	27.8	
60	5.9	1011	Anz. Düsen	1	1	2	2	3	3	3	4	4	4	5	6	6	6	6	6	6
			nq	3.3	4.7	4.1	4.7	5.2	4.7	5.1	5.4	5.0	5.2	5.5	5.1	4.9	5.1	5.2	5.4	
			Leistung kW	2.4	4.7	7.1	9.4	11.8	14.1	16.5	18.8	21.2	23.5	25.9	28.3	30.6	33.0	35.3	37.7	
			ø Strahl mm	15.4	21.7	18.8	21.7	24.3	21.7	23.5	25.1	23.1	24.3	25.5	23.8	22.6	23.5	24.3	25.1	
80	7.8	1168	Anz. Düsen	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	6	6
			nq	3.1	4.4	5.3	4.4	4.9	5.3	4.7	5.0	5.3	4.9	5.1	5.3	5.0	5.2	5.3	5.0	
			Leistung kW	3.1	6.3	9.4	12.6	15.7	18.8	22.0	25.1	28.3	31.4	34.5	37.7	40.8	43.9	47.1	50.2	
			ø Strahl mm	14.3	20.2	24.8	20.2	22.6	24.8	21.8	23.4	24.8	22.6	23.7	24.8	23.1	23.9	24.8	23.4	
100	9.8	1305	Anz. Düsen	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	5	5	5	5
			nq	2.9	4.1	5.1	4.1	4.6	5.1	5.5	4.8	5.1	5.3	4.8	5.1	5.3	5.5	5.1	5.2	
			Leistung kW	3.9	7.8	11.8	15.7	19.6	23.5	27.5	31.4	35.3	39.2	43.2	47.1	51.0	54.9	58.9	62.8	
			ø Strahl mm	13.5	19.1	23.4	19.1	21.4	23.4	25.3	22.1	23.4	24.7	22.4	23.4	24.4	25.3	23.4	24.2	
120	11.8	1430	Anz. Düsen	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5
			nq	2.8	3.9	4.8	3.9	4.4	4.8	5.2	4.6	4.8	5.1	5.3	4.8	5.0	5.2	5.4	5.0	
			Leistung kW	4.7	9.4	14.1	18.8	23.5	28.3	33.0	37.7	42.4	47.1	51.8	56.5	61.2	65.9	70.6	75.3	
			ø Strahl mm	12.9	18.3	22.4	18.3	20.4	22.4	24.2	21.1	22.4	23.6	24.7	22.4	23.3	24.2	25.0	23.1	
140	13.7	1544	Anz. Düsen	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
			nq	2.7	3.8	4.6	5.4	4.2	4.6	5.0	5.4	4.6	4.9	5.1	5.4	4.8	5.0	5.2	5.4	
			Leistung kW	5.5	11.0	16.5	22.0	27.5	33.0	38.5	43.9	49.4	54.9	60.4	65.9	71.4	76.9	82.4	87.9	
			ø Strahl mm	12.4	17.6	21.5	24.9	19.7	21.5	23.3	24.9	21.5	22.7	23.8	24.9	22.4	23.3	24.1	24.9	
160	15.7	1651	Anz. Düsen	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4
			nq	2.6	3.7	4.5	5.2	4.1	4.5	4.9	5.2	4.5	4.7	5.0	5.2	5.4	4.9	5.0	5.2	
			Leistung kW	6.3	12.6	18.8	25.1	31.4	37.7	43.9	50.2	56.5	62.8	69.1	75.3	81.6	87.9	94.2	100	
			ø Strahl mm	12.0	17.0	20.8	24.1	19.0	20.8	22.5	24.1	20.8	22.0	23.0	24.1	25.0	22.5	23.3	24.1	
180	17.7	1751	Anz. Düsen	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4
			nq	2.5	3.6	4.4	5.0	4.0	4.4	4.7	5.0	5.3	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	4.9	5.0	
			Leistung kW	7.1	14.1	21.2	28.3	35.3	42.4	49.4	56.5	63.6	70.6	77.7	84.8	91.8	98.9	106	113	
			ø Düse mm	11.7	16.5	20.2	23.4	18.5	20.2	21.8	23.4	24.8	21.3	22.4	23.4	24.3	25.2	22.6	23.4	
200	19.6	1846	Anz. Düsen	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4
			nq	2.5	3.5	4.3	4.9	5.5	4.3	4.6	4.9	5.2	5.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5	4.9	
			Leistung kW	7.8	15.7	23.5	31.4	39.2	47.1	54.9	62.8	70.6	78.5	86.3	94.2	102	110	118	126	
			ø Strahl mm	11.4	16.1	19.7	22.7	25.4	19.7	21.3	22.7	24.1	25.4	21.8	22.7	23.7	24.6	25.4	22.7	
220	21.6	1936	Anz. Düsen	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4
			nq	2.4	3.4	4.2	4.8	5.4	4.2	4.5	4.8	5.1	5.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	4.8	
			Leistung kW	8.6	17.3	25.9	34.5	43.2	51.8	60.4	69.1	77.7	86.3	95.0	104	112	121	129	138	
			ø Strahl mm	11.1	15.7	19.2	22.2	24.8	19.2	20.8	22.2	23.6	24.8	21.3	22.2	23.1	24.0	24.8	22.2	
240	23.5	2022	Anz. Düsen	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3
			nq	2.3	3.3	4.1	4.7	5.2	4.1	4.4	4.7	5.0	5.2	5.5	4.7	4.9	5.1	5.2	5.4	
			Leistung kW	9.4	18.8	28.3	37.7	47.1	56.5	65.9	75.3	84.8	94.2	104	113	122	132	141	151	
			ø Strahl mm	10.9	15.4	18.8	21.7	24.3	18.8	20.3	21.7	23.1	24.3	25.5	21.7	22.6	23.5	24.3	25.1	
260	25.5	2105	Anz. Düsen	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3
			nq	2.3	3.3	4.0	4.6	5.1	4.0	4.3	4.6	4.9	5.1	5.4	4.6	4.8	5.0	5.1	5.3	
			Leistung kW	10.2	20.4	30.6	40.8	51.0	61.2	71.4	81.6	91.8	102	112	122	133	143	153	163	
			ø Düse mm	10.7	15.1	18.4	21.3	23.8	18.4	19.9	21.3	22.6	23.8	25.0	21.3	22.2	23.0	23.8	24.6	
280	27.5	2184	Anz. Düsen	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3
			nq	2.3	3.2	3.9	4.5	5.0	3.9	4.2	4.5	4.8	5.0	5.3	4.5	4.7	4.9	5.0	5.2	
			Leistung kW	11.0	22.0	33.0	43.9	54.9	65.9	76.9	87.9	98.9	110	121	132	143	154	165	176	
			ø Strahl mm	10.5	14.8	18.1	20.9	23.4	18.1	19.6	20.9	22.2	23.4	24.5	20.9	21.8	22.6	23.4	24.1	
300	29.4	2261	Anz. Düsen	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3
			nq	2.2	3.1	3.8	4.4	5.0	5.4	4.1	4.4	4.7	5.0	5.2	5.4	4.6	4.8	5.0	5.1	
			Leistung kW	11.8	23.5	35.3	47.1	58.9	70.6	82.4	94.2	106	118	129	141	153	165	177	188	
			ø Strahl mm	10.3	14.5	17.8	20.6	23.0	25.2	19.2	20.6	21.8	23.0	24.1	25.2	21.4	22.2	23.0	23.7	
320	31.4	2335	Anz. Düsen	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3
			nq	2.2	3.1	3.8	4.4	4.9	5.3	4.1	4.4	4.6	4.9	5.1	5.3	4.5	4.7	4.9	5.0	
			Leistung kW	12.6	25.1	37.7	50.2	62.8	75.3	87.9	100	113	126	138	151	163	176	188	201	
			ø Strahl mm	10.1	14.3	17.5	20.2	22.6	24.8	18.9	20.2	21.5	22.6	23.7	24.8	21.1	21.8	22.6	23.4	
340	33.4	2407	Anz. Düsen	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3
			nq	2.1	3.0	3.7	4.3	4.8	5.3	4.0	4.3	4.6	4.8	5.0	5.3	5.5	4.6	4.8	5.0	
			Leistung kW	13.3	26.7	40.0	53.4	66.7	80.0	93.4	107	120	133	147	160	173	187	200	213	
			ø Strahl mm	10.0	14.1	17.3	19.9	22.3	24.4	18.6	19.9	21.1	22.3	23.4	24.4	25.4	21.5	22.3	23.0	
360	35.3	2477	Anz. Düsen	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3
			nq	2.1	3.0	3.7	4.2	4.7	5.2	4.0	4.2	4.5	4.7	5.0	5.2	5.4	4.6	4.7	4.9	
			Leistung kW	14.1	28.3	42.4	56.5	70.6	84.8	98.9	113	127	141	155	170	184	198	212	226	
			ø Strahl mm	9.8	13.9	17.0	19.6	22.0	24.1	18.4	19.6	20.8	22.0	23.0	24.1	25.0	21.2	22.0	22.6	

ANHANG 2

