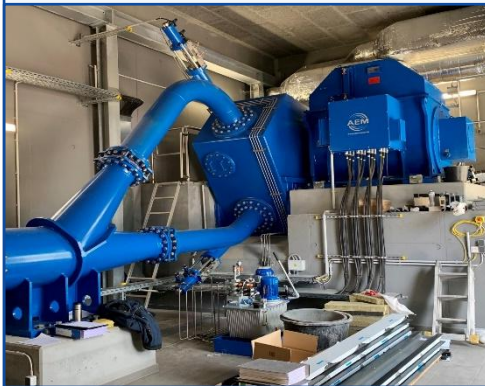


Entwicklung eines Baukastensystems für Mikro- Peltonturbinen

9. Praktikerkonferenz - Wasserkraft | Turbinen | Systeme
16. - 17. September 2025 | Technische Universität Graz

Pelton- turbine

- Horizontalturbine
- Vertikalturbine



bis 5.000 kW

Francis- turbine

- Spiralturbine
- Schachtturbine
- Horizontal oder Vertikal



bis 5.000 kW

Durchström- turbine

- Ein- oder Zweizellig



bis 1.000 kW

Kaplan- turbine

- Vertikalturbine
- S-Turbine
- Siphonturbine



bis 2.000 kW

Sasbach

Turbinenleistung	3,4 kW
Fallhöhe	70 m
Durchfluss	6,5 l/s



2000

Tilivi

Turbinenleistung	96 kW
Fallhöhe	114 m
Durchfluss	100 l/s



2006

Kochel am See

Turbinenleistung	9,5 kW
Fallhöhe	65 m
Durchfluss	18 l/s



2012

Bühl

Turbinenleistung	24 kW
Fallhöhe	145 m
Durchfluss	19,5 l/s



2013

Ziel

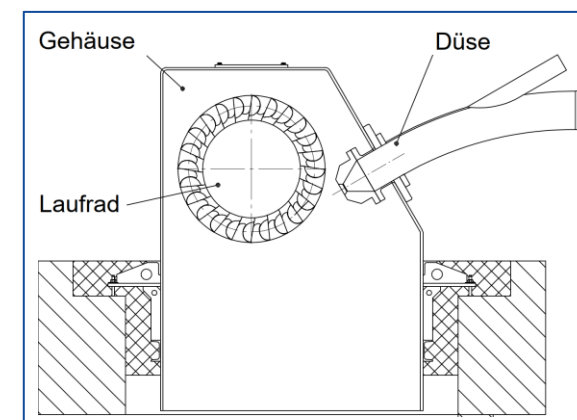
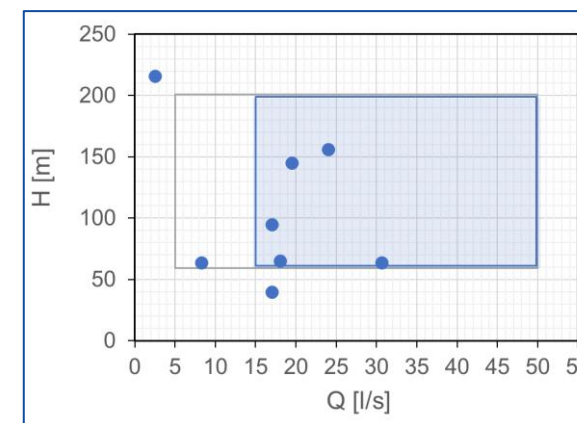
- Auslegungstool mit Durchfluss und Fallhöhe
- Standardisierte Konstruktion
- Kundenmehrwert

Einsatzbereich

- Durchfluss: 15 – 50 l/s
- Fallhöhe: 60 – 200 m
- Turbinenleistung: 10 – 90 kW

Varianten

- Drehzahl: 1000 U/min und 1500 U/min
- Düsenanzahl: 1 (2 optional)
- Bechervarianten: 3 - 5
- Gehäusevarianten: 3
- Laufrad-Ø: 300 bis 500 mm



Idee

- Standardisierung
- 5 verschiedene Bechervarianten mit konstantem b/D_1 , d.h. zu jedem n_q gehört eine Bechergeometrie, die geometrisch auf fest definierte Durchmesser skaliert wird

Varianten

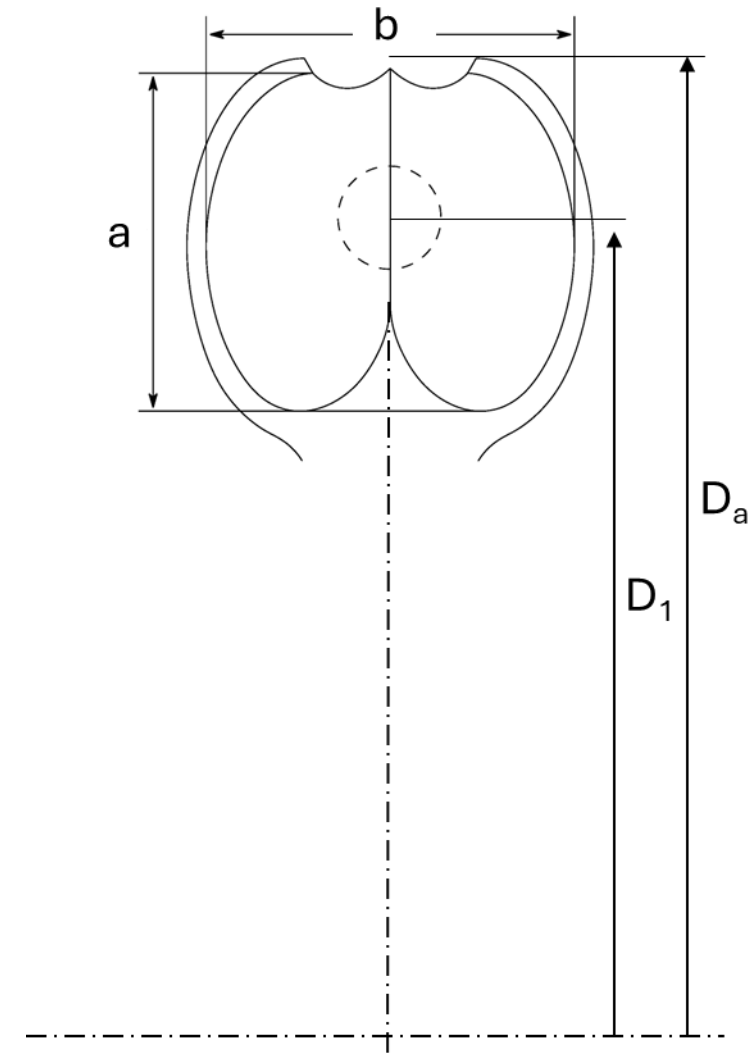
- Drehzahl: 1000 U/min und 1500 U/min
- Düsenanzahl: 1 (2 optional)
- Bechervarianten: 3 - 5 \rightarrow $3,5 < n_{qD} < 7,5$; $n_{qD} = n \cdot \frac{\sqrt{Q_D}}{H^{3/4}}$
- Laufrad-Ø: 300 bis 500 mm

Eingabe für das Programm:

- die Fallhöhe H
- der Durchfluss Q
- die Drehzahl n
- die Anzahl der Düsen z_D
- die relative maximale Volumenstrom $q = Q_{\max}/Q_{\text{opt}}$

Das Programm liefert folgende Daten:

- Strahlkreisdurchmesser D_1
- Becherbreite b
- Becherhöhe a
- Becheranzahl z_B
- Optimaler Wirkungsgrad η_{opt}
- Leistung P_t
- Strahlgeschwindigkeit c_{Str}
- Optimaler Strahldurchmesser $d_{Str,opt}$
- Maximaler Strahldurchmesser $d_{Str,max}$
- Düsendurchmesser d_d
- Rohrdurchmesser $d_{R,Qopt}$
- Durchgangsdrehzahl n_D
- Strahlkraft pro Düse F_{Str}



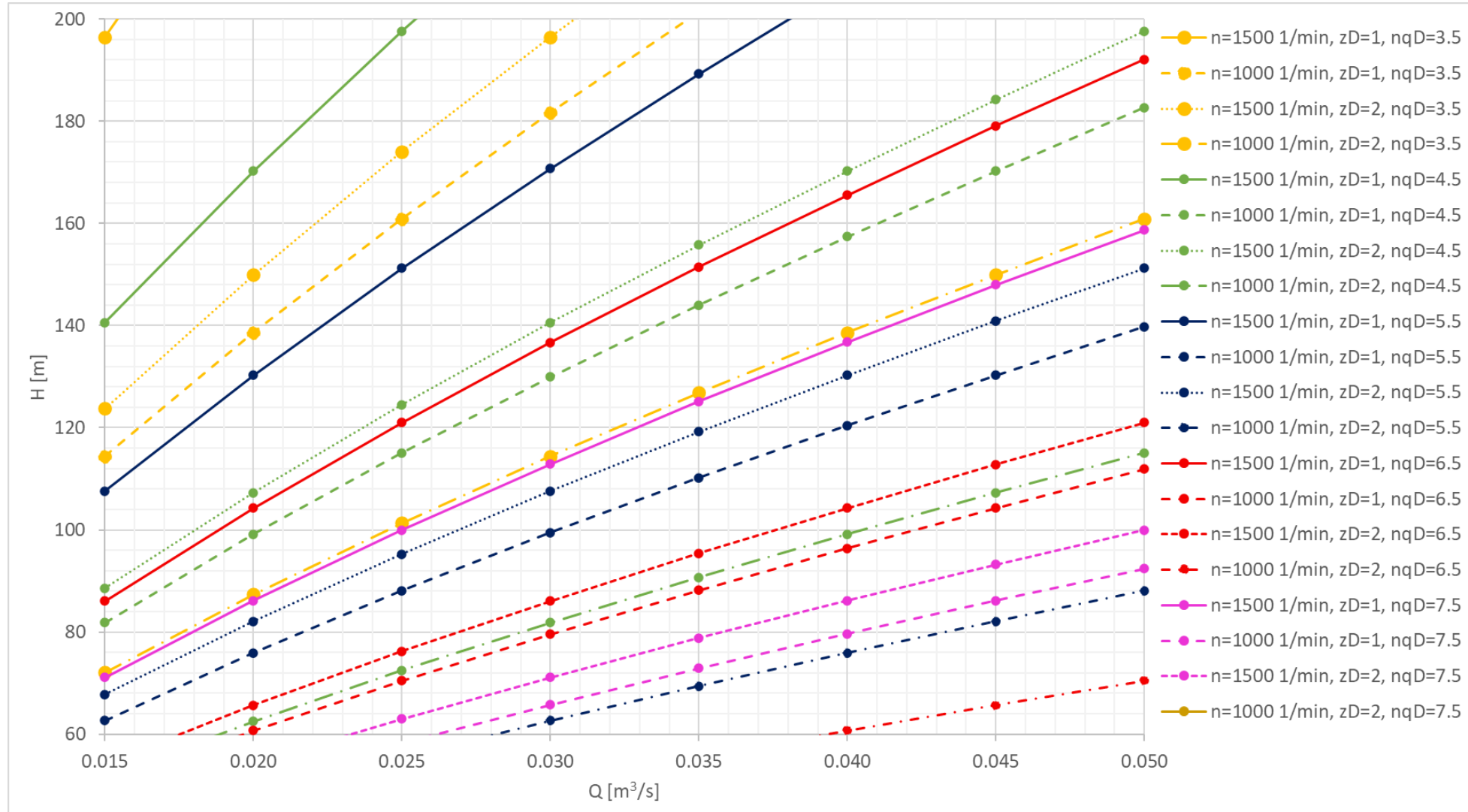
Berechnung der Parameter:

- $Q_D = Q/z_D$
- $n_{qD} = n \frac{1}{\sqrt{z_D}} \cdot \frac{\sqrt{Q}}{H^{3/4}}$
- $D_1 = \frac{K_u \cdot 60 \cdot \sqrt{2g}}{\pi} \cdot \frac{\sqrt{H}}{n} = 41.452 \cdot \frac{\sqrt{H}}{n}$
- $\frac{b}{D_1} = \frac{K_{b,theo}}{K_u} \cdot \sqrt{\frac{q}{K_D}} \cdot n_{qD} = 0.047135 \cdot n_{qD} \leq 0.35$
 $\rightarrow n_{qD} \leq 7.8 \quad \rightarrow Q_D = \frac{60.8}{n^2} \cdot H^{3/2}$
- $b = \frac{b}{D_1} \cdot D_1$
- $z_B = 25.8 - 1.03 \cdot n_{qD}$

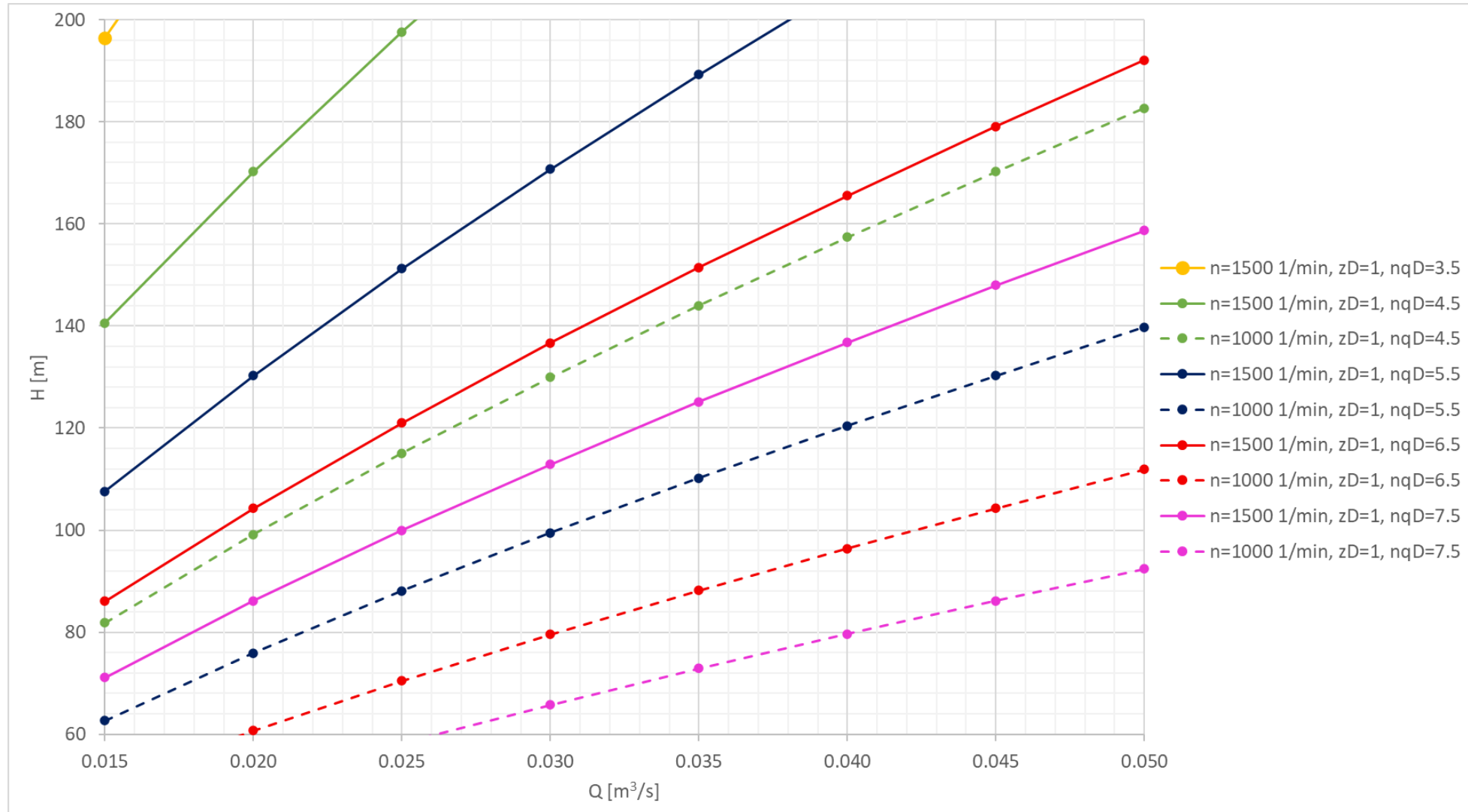
Konstanten:

$$K_u = 0.49$$

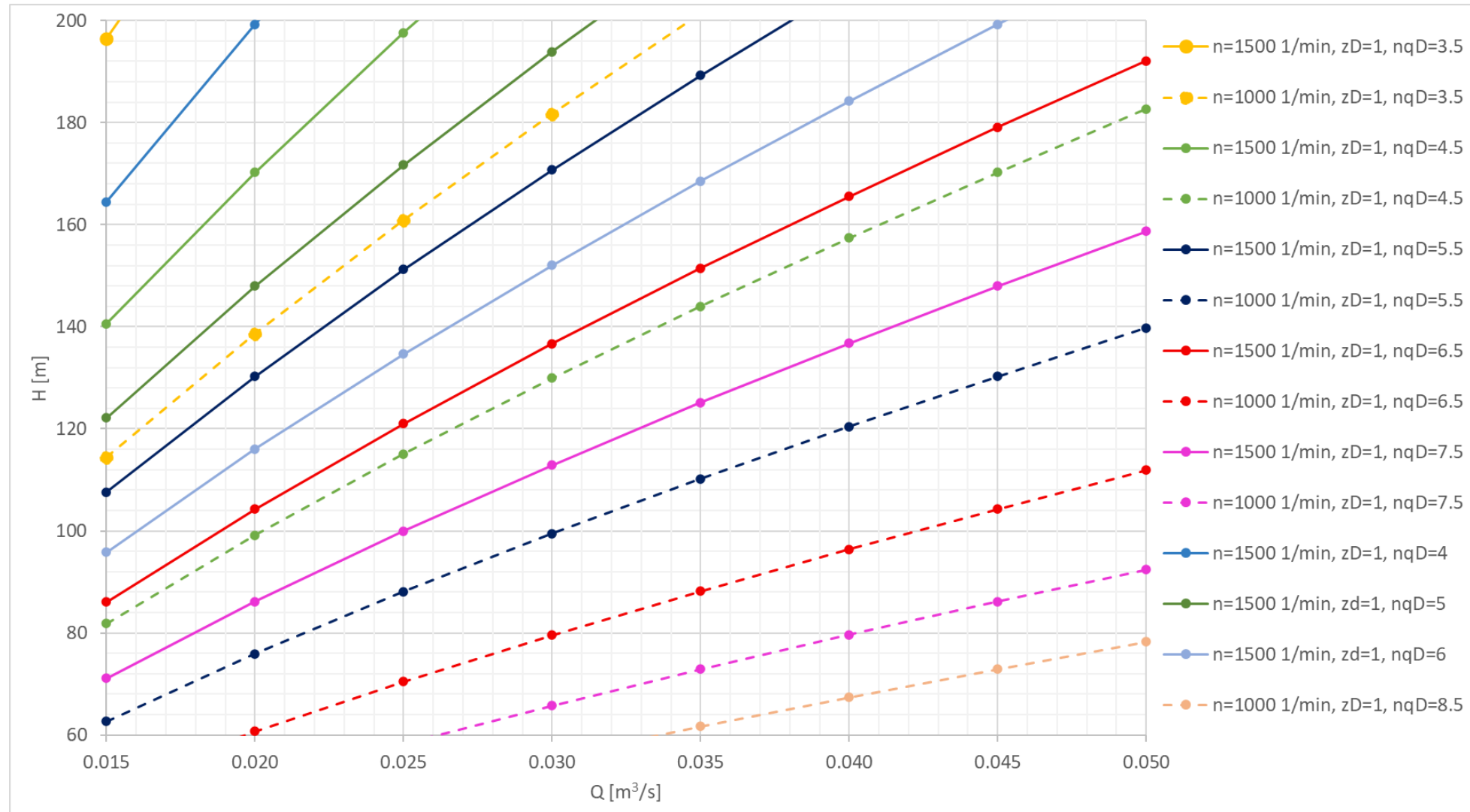
$$K_{b,theo} = 0.0218$$



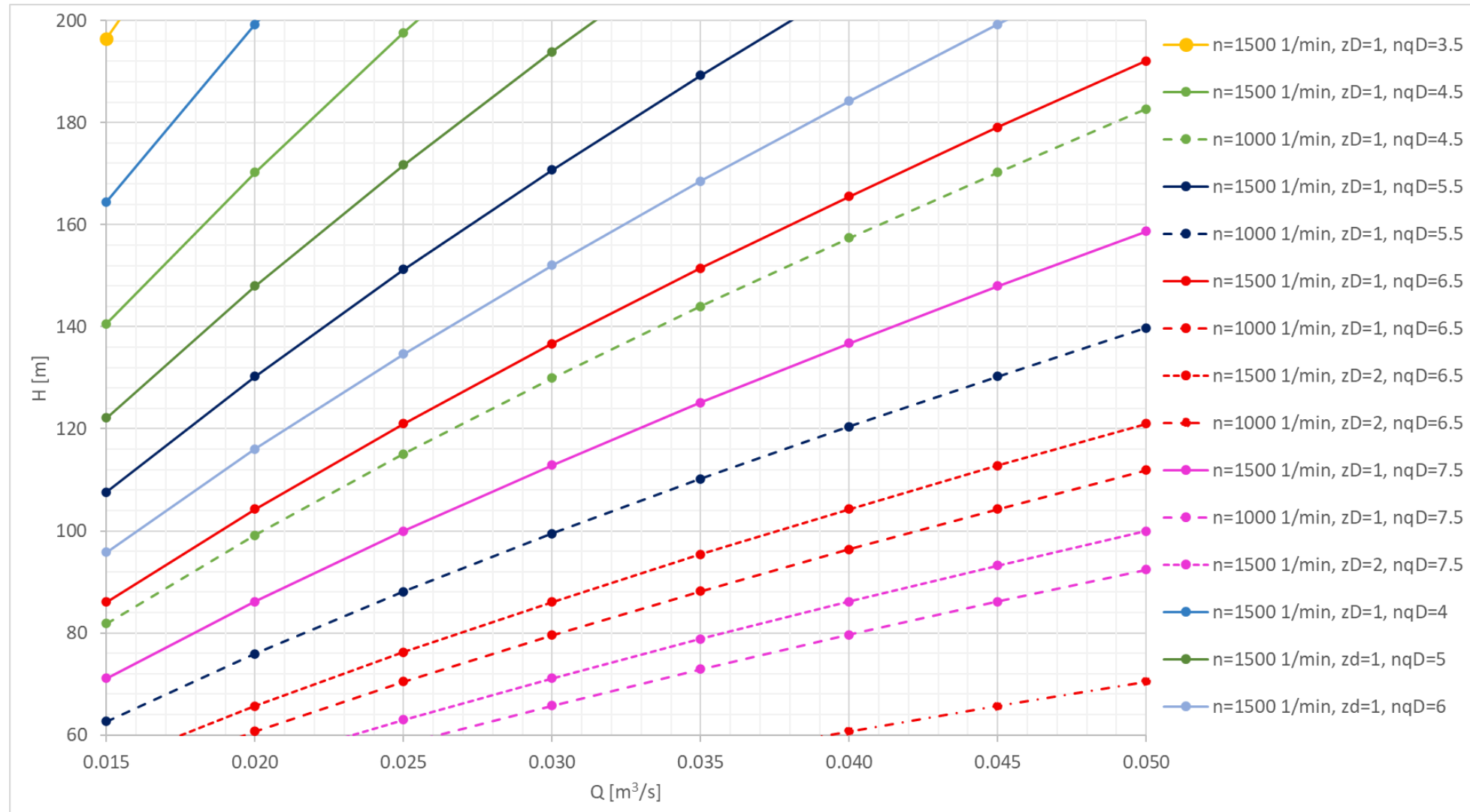
- Zu viele Varianten – teilweise mit Überlagerung
- einzelne Bereiche nicht gut abgedeckt



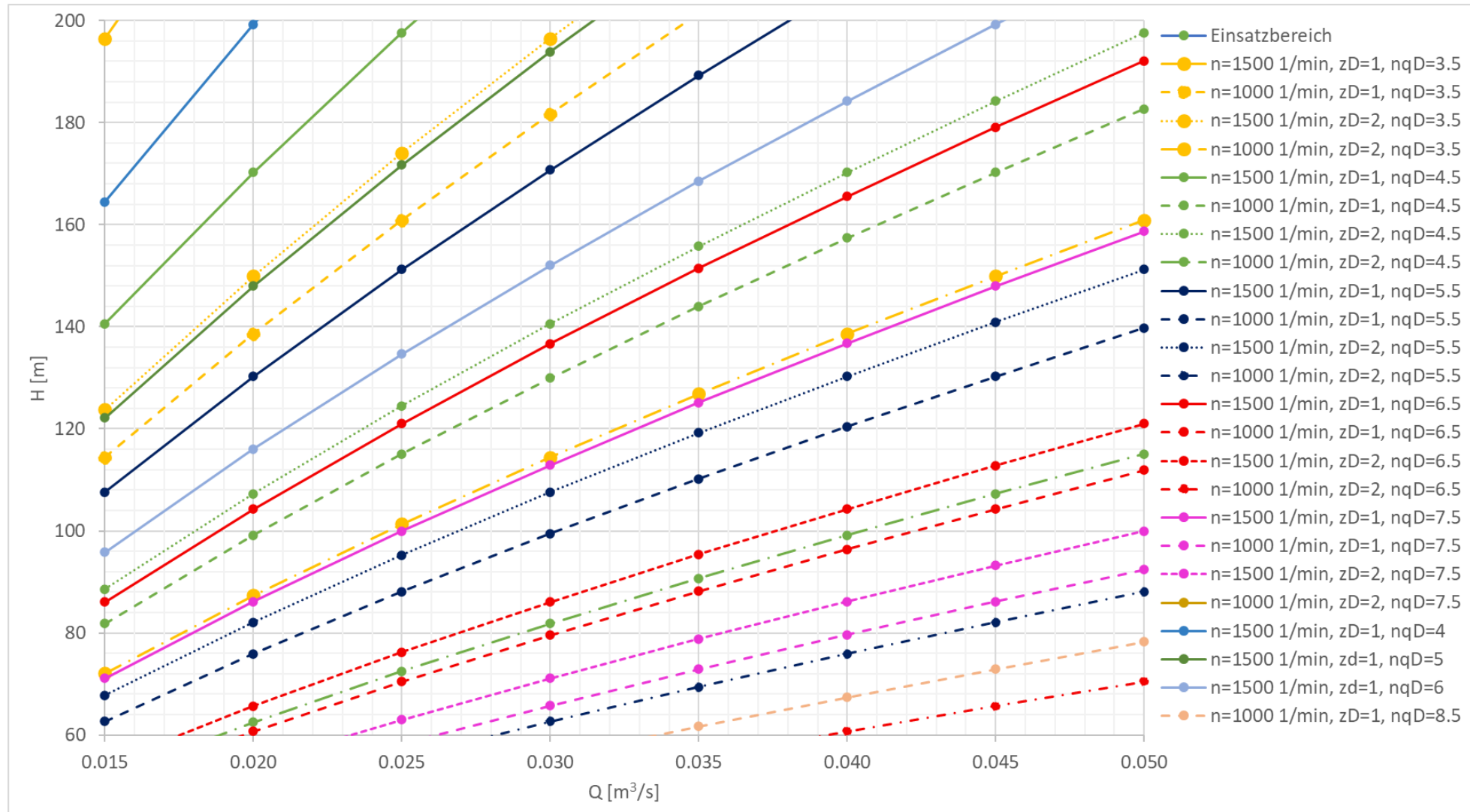
- Nur 1-düsige Varianten, nicht alle Bereiche gut abgedeckt



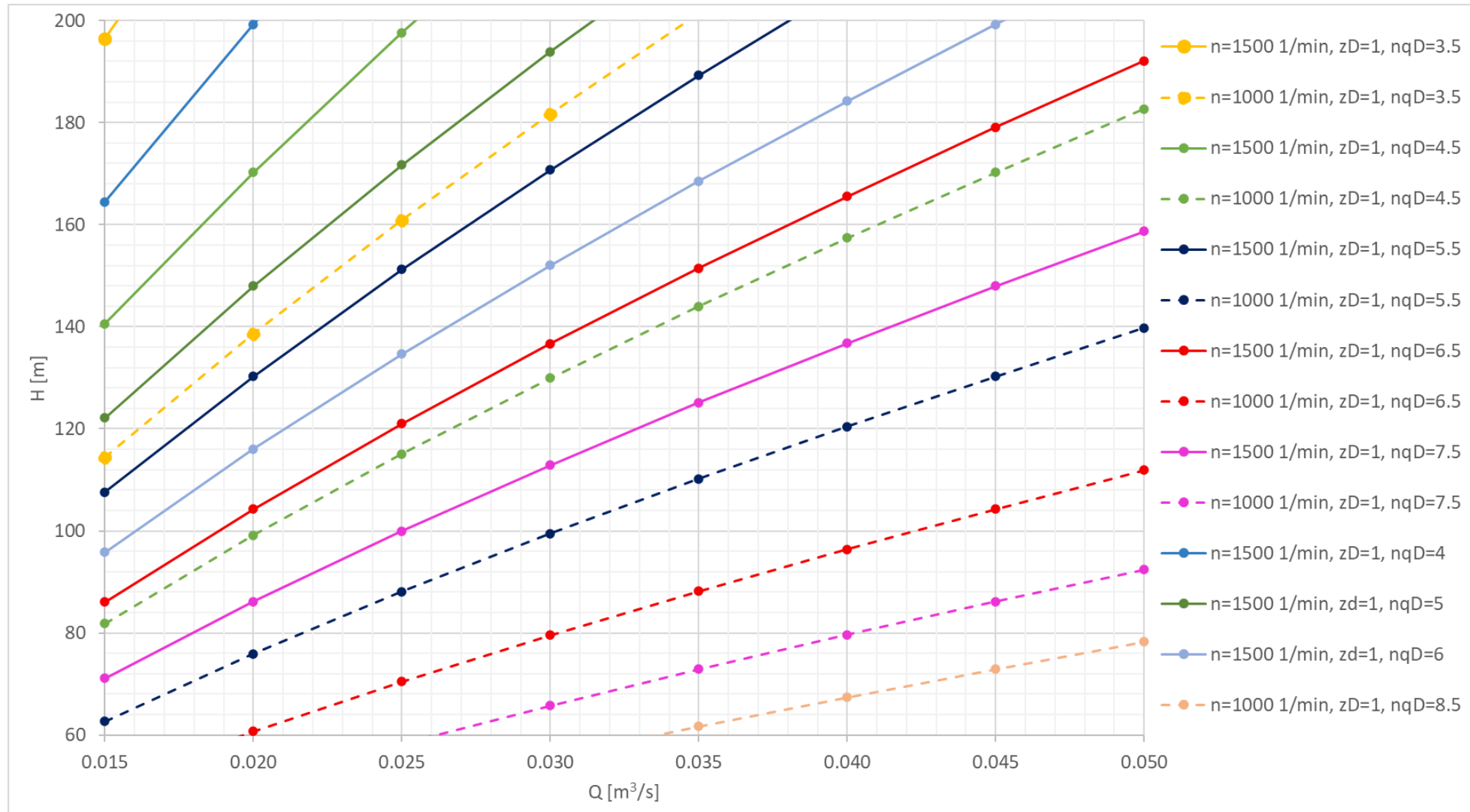
- Zwischengrößen definieren, 1-düsig und nq_D -Bereich erweitern auf $3.5 \text{ rpm} < n_{qD} < 8.5 \text{ rpm}$



- Teilweise 2-düsig, und nq Bereich belassen $3.5 \text{ rpm} < n_{qD} < 7.5 \text{ rpm}$



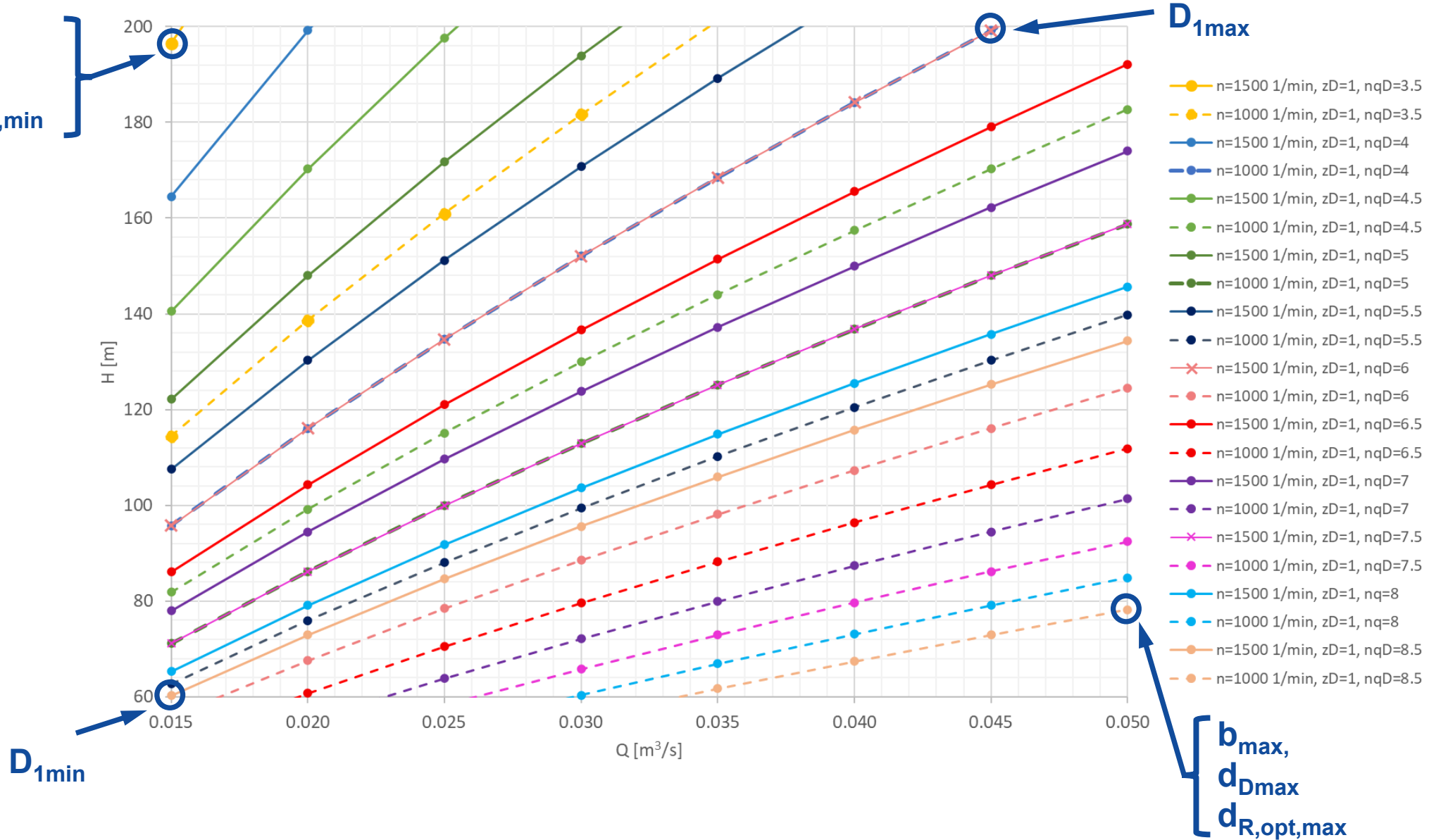
■ Alle Varianten



- 11 verschiedene n_q -Varianten, d.h. Becher, n_q -Bereich erweitern $3.5 \text{ rpm} < n_{qD} < 8.5 \text{ rpm}$
- 1-düsig

b_{\min}
 $d_{D\min}$
 $d_{R,opt,\min}$

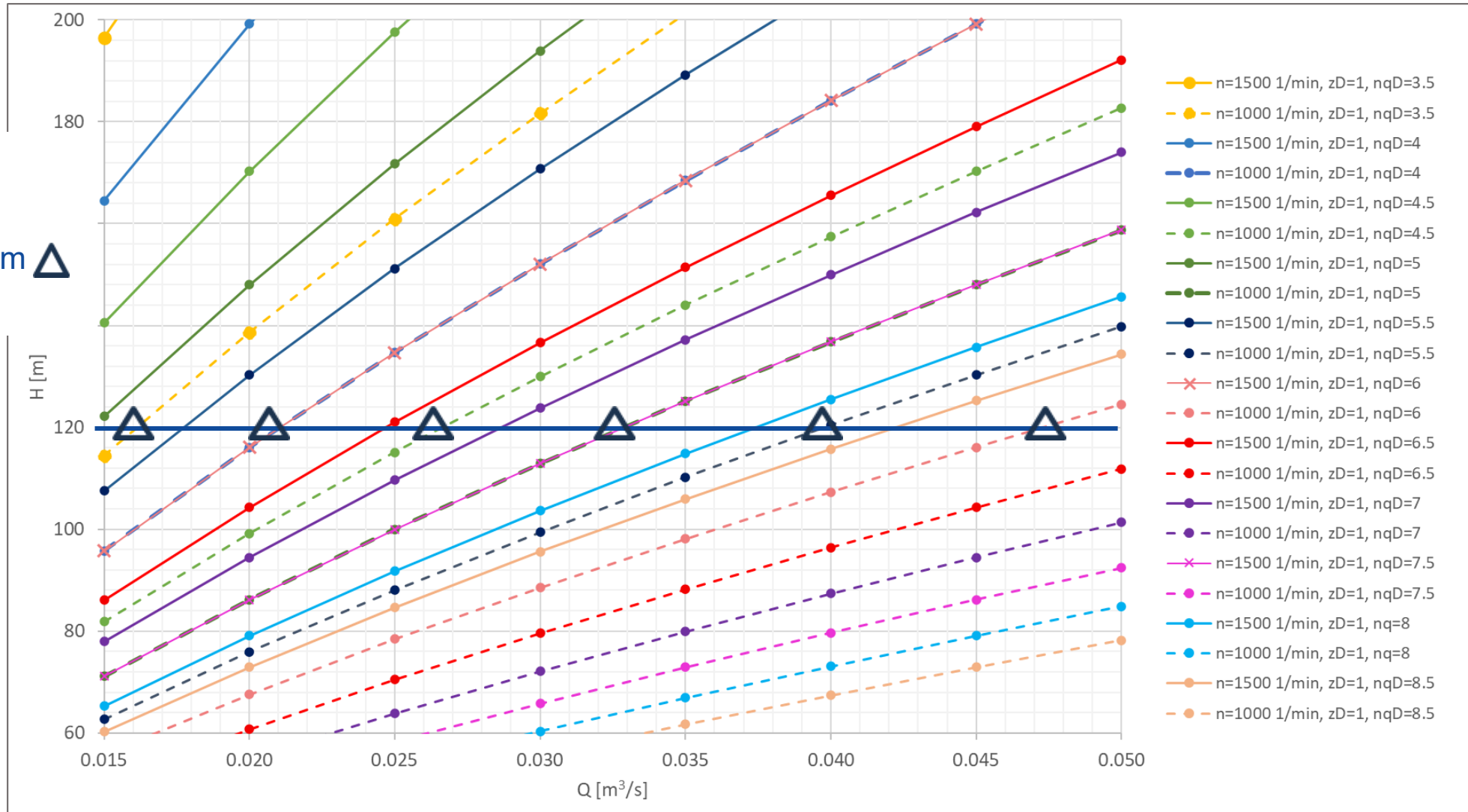
$D_{1\max}$



b_{\max}
 $d_{D\max}$
 $d_{R,opt,\max}$

$H=120\text{ m}$,
 $n=1000\text{ rpm}$

$\rightarrow D_1=0.454\text{ m}$ Δ



Jede horizontale Linie hat bei konstanter Drehzahl, einen konstanten Durchmesser D_1
d.h. jedem H sind zwei Durchmesser zugeordnet

Abweichungen von der Zielvorgabe

	Zielvorgabe	Ergebnis
Bechervarianten	3 - 5	11
Düsenanzahl	1 - 2	1
Strahlkreisdurchmesser	300 – 500 mm	210 – 590 mm
Spez. Drehzahl	$3.5 < n_{qD} < 7.5$	$3.5 < n_{qD} < 8.5$

Auslegung von Pelton - Laufrädern

Projekt: Testprojekt Datum: 07.11.2023

Angepasst auf n_q -Linie (gegenenefalls bitte n anpassen)

Eingabe:

H_{opt}	120 m	q	1.100
Q_{opt}	0.030 m ³ /s	$Q_{D,opt}$	0.030 m ³ /s
n	1500 rpm	$n_{qD,opt}$	7.166 rpm
z_D	1	g	9.81 m/s ²
D_1	0.303	v	1.00E-06
		ρ	998.00
		σ	0.07

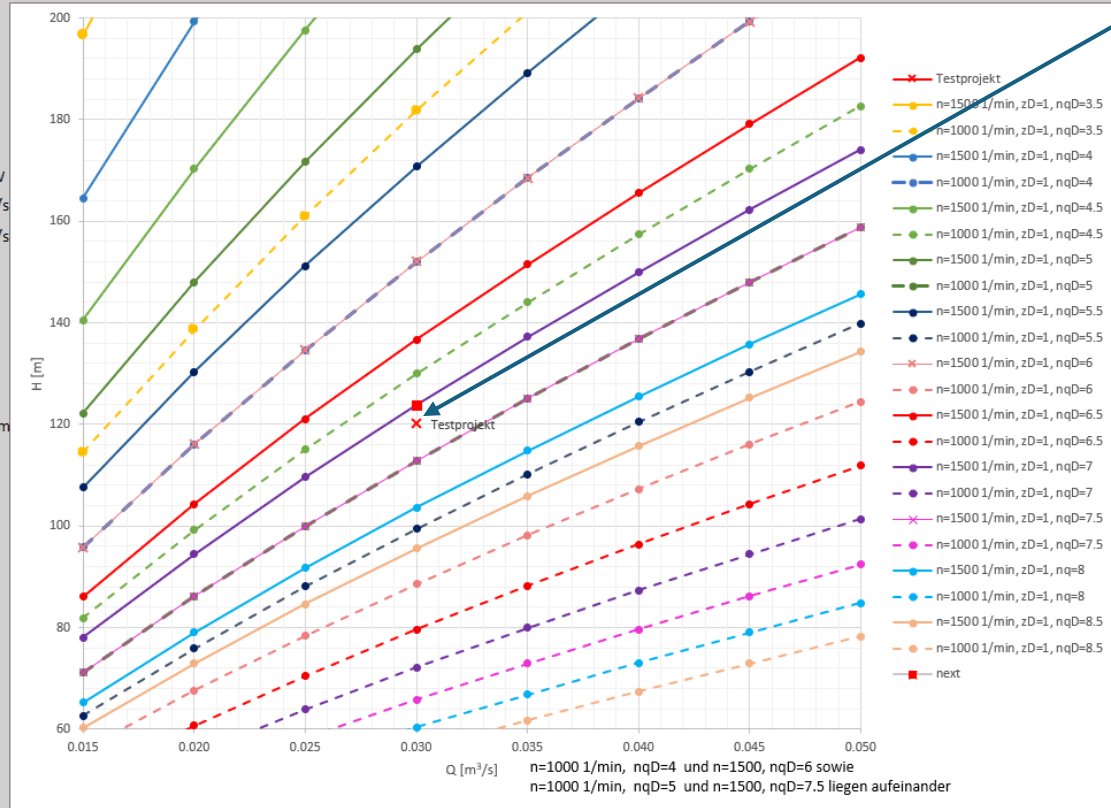
Konstanter

H_{ref}		$K_{R,D1}$	0.3125
K_D	0.9800	$K_{R,Str}$	3.2250
$K_{b,theor}$	0.0218	K_u	0.4900
$K_{b,emp}$	0.0419	K_{ao}	
K_{ao}	3.4328	Φ_b	0.07
		Re	5.03E+06
		Fr	49.25
		We	1.84E+03
		C_{Re}	1.15
		C_{Fr}	1.36
		C_{We}	1.22

Eingabe der Optimalwerte (H_{opt} , Q_{opt})
Auswahl der Drehzahl entsprechend des Diagramms

Die entsprechenden Geometrieparameter werden ausgegeben D_1 im 0.01 m-Abstand)

Fallhöhe	H_R	123.8 m
Durchfluss	Q_{DR}	0.030 m ³ /s
Drehzahl	n	1500 rpm
Düsenanzahl	z_D	1
Durchmesser	D_1	0.307 m
Durchmesser	D_1	0.310 m
Becherbreite	b	0.102 m
Becherhöhe	a	0.093 m
Außendurchmesser	D_a	0.400 m
Becheranzahl	z_B	19
Optimaler Wirkungsgrad	η_{opt}	88.84 %
Leistung	P_t	32.31 kW
	c_{id}	49.29 m/s
Strahlgeschwindigkeit	c_{Str}	48.30 m/s
Strahldurchmesser Opt	$d_{Str,opt}$	0.028 m
Strahldurchmesser Max	$d_{Str,max}$	0.029 m
	μ_0	0.745
Düsendurchmesser	d_d	0.034 m
Rohrdurchmesser	$d_{R,Qopt}$	0.095 m
Durchgangsdrehzahl	n_D	2775.0 rpm
Strahlkraft pro Düse	F_{Str}	1446.1 N
laufender Betrieb	b/D_1	0.329
	D_1/b	3.037
	$d_{Str,opt}/b$	0.275
	$d_{Str,max}/b$	0.289
	Φ_b	0.076



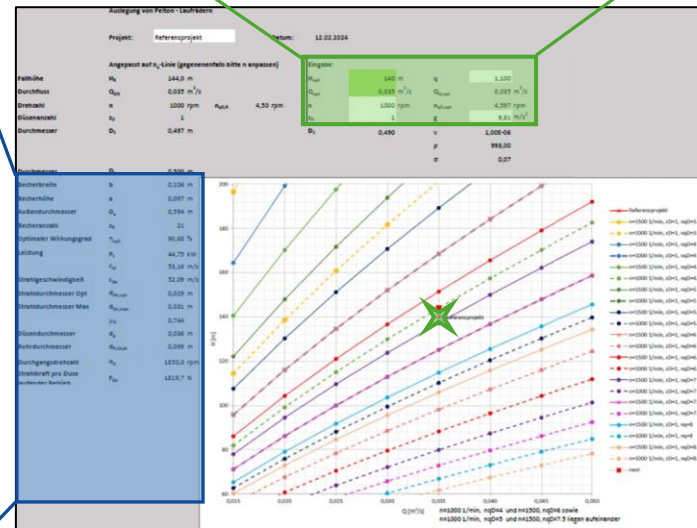
Das Programm springt automatisch auf die entsprechende nq -Kurve bei Q_{opt} indem es H anpasst.

Eingabe:

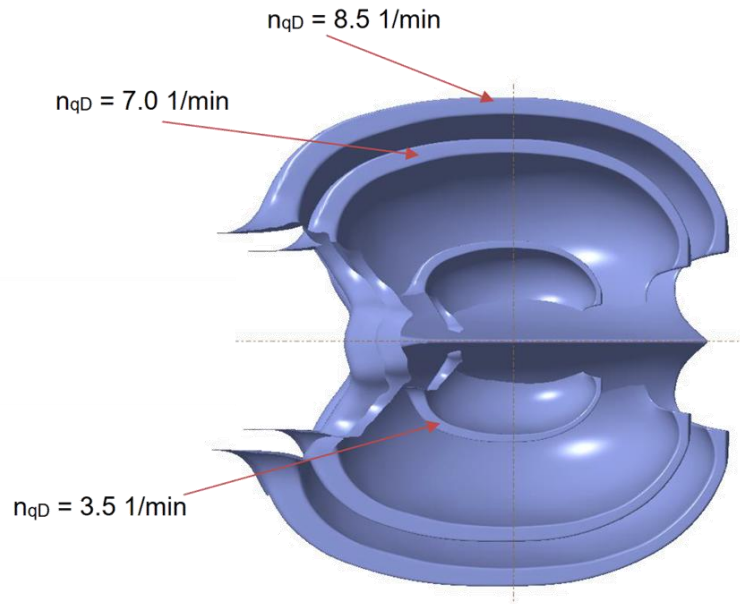
- Fallhöhe H
- Durchfluss Q
- Drehzahl n
- Anzahl Düsen z_D

Ausgabe:

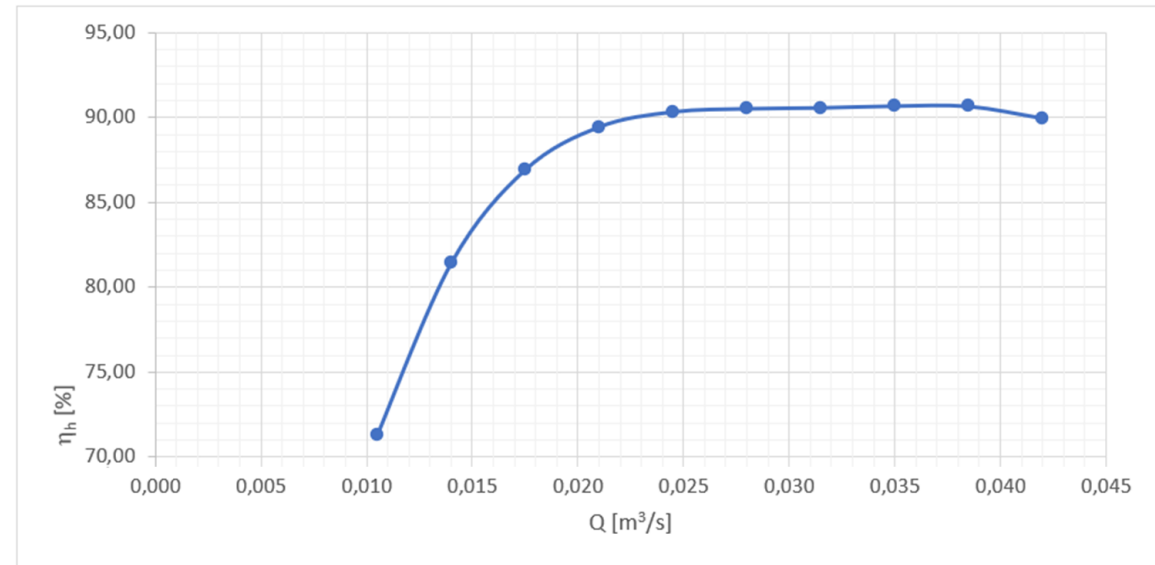
- Strahlkreisdurchmesser D_1
- Becherbreite b
- Becherhöhe a
- Spezifische Drehzahl n_{QD}
- Wirkungsgrad η
- Leistung P_t
- Düsendurchmesser d_d
- Rohrdurchmesser D_R
- Strahlkraft F_{Str}



Bechergeometrie

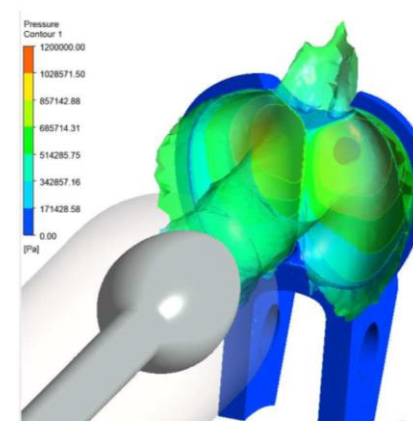
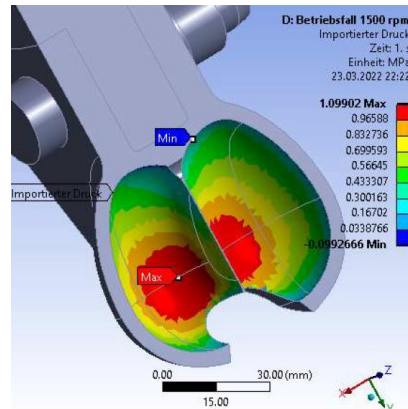


Wirkungsgrad



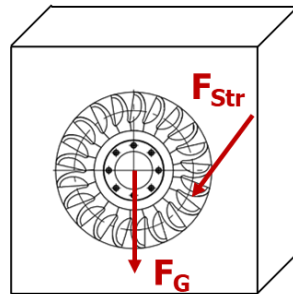
Untersuchung:

- Werkstoff
- Strahlkraft

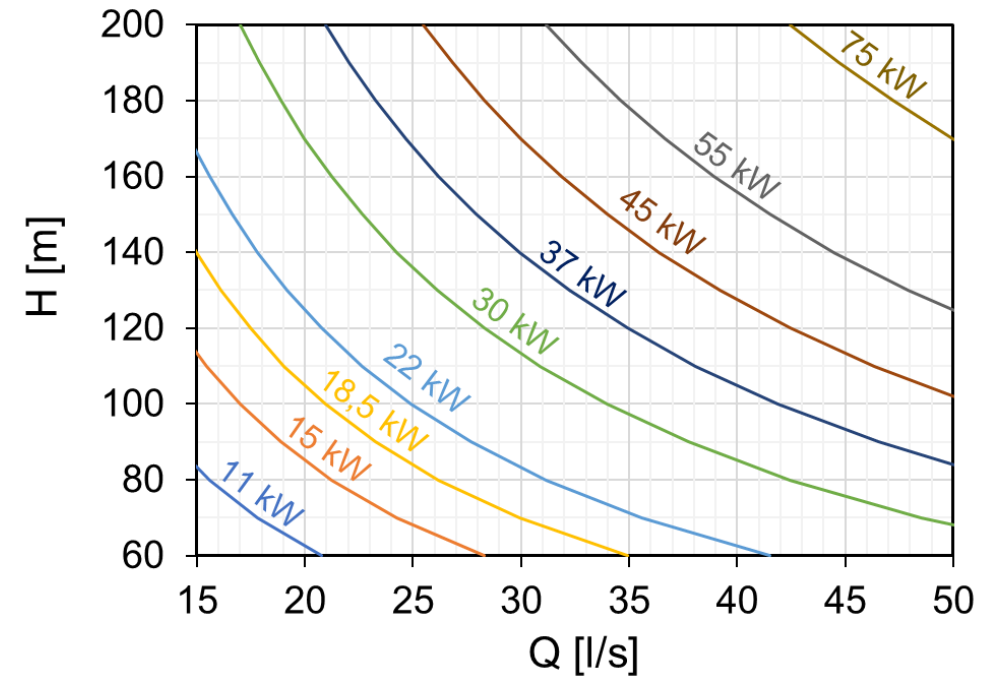


Asynchrongenerator

- Bauform: B3
- Anforderungen:
 - Verlängertes Wellenende
 - Sensorik
 - Nachschmiermöglichkeit
 - Lagerung > 100.000 h
 - Resultierende Lasten

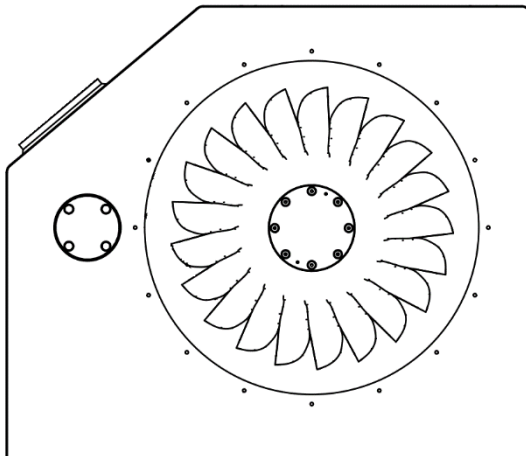


Abdeckung mittels Standardbaukasten

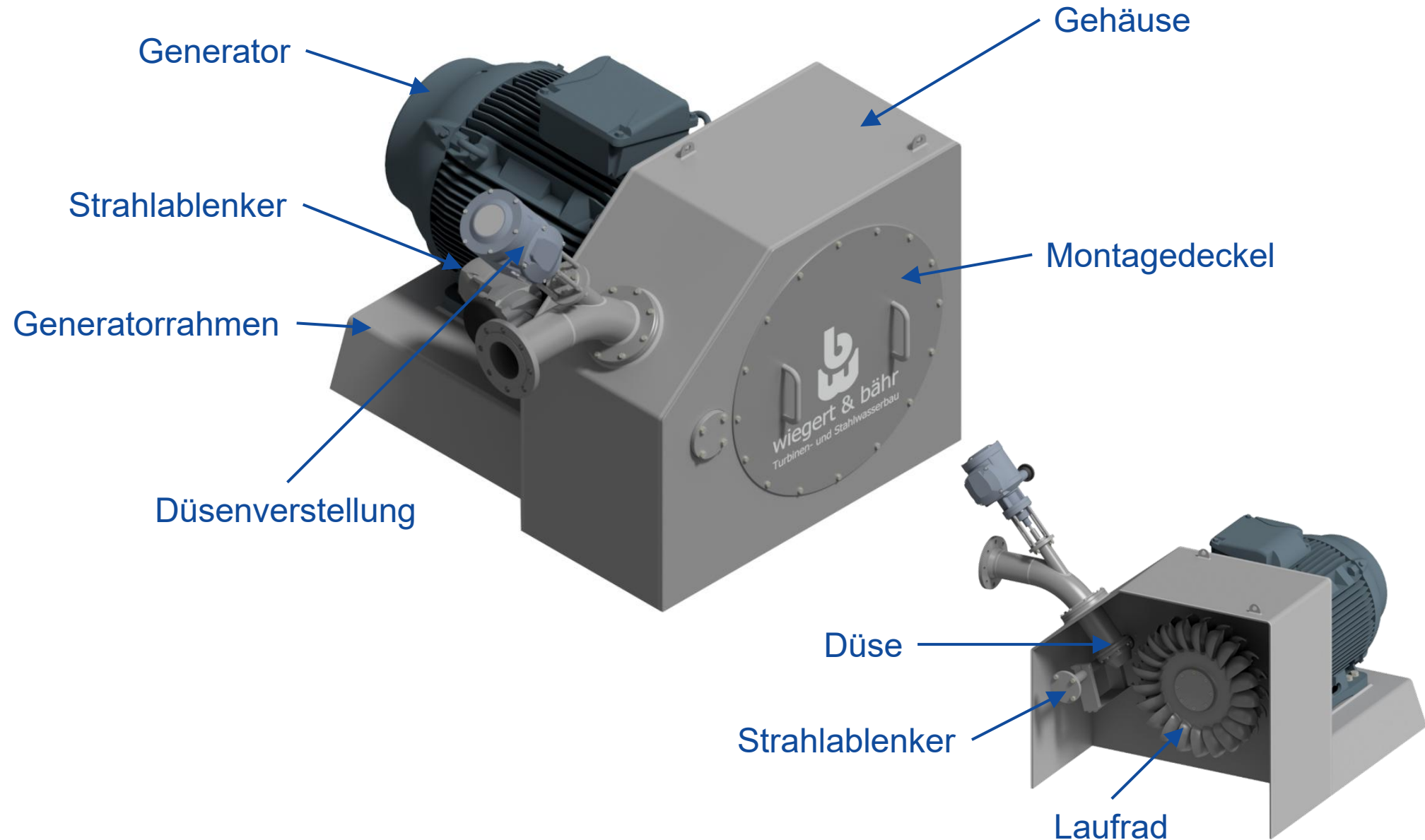


Standardisierung des Baukastens

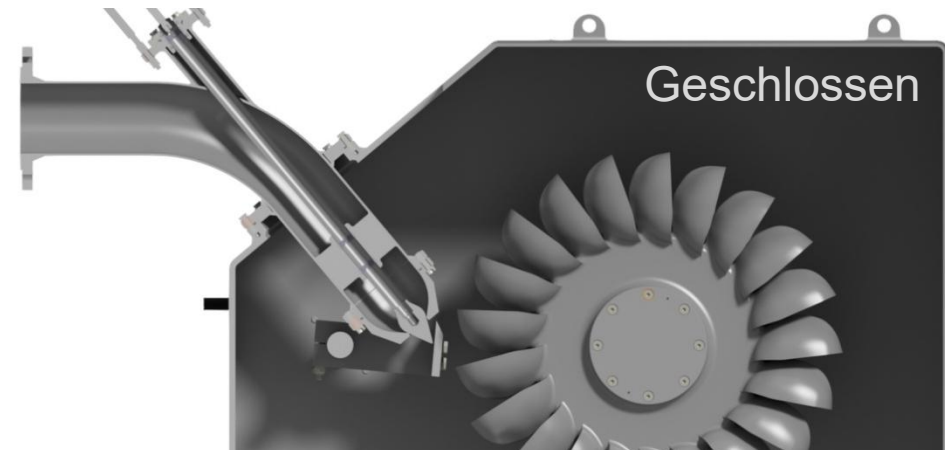
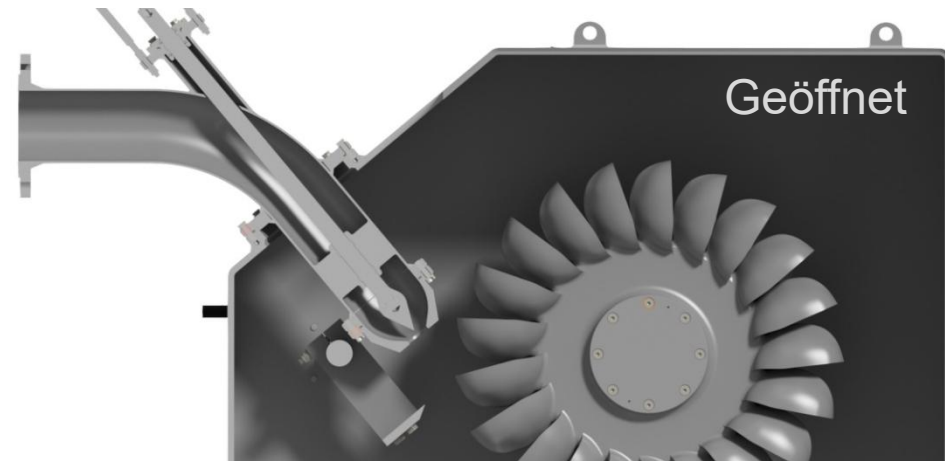
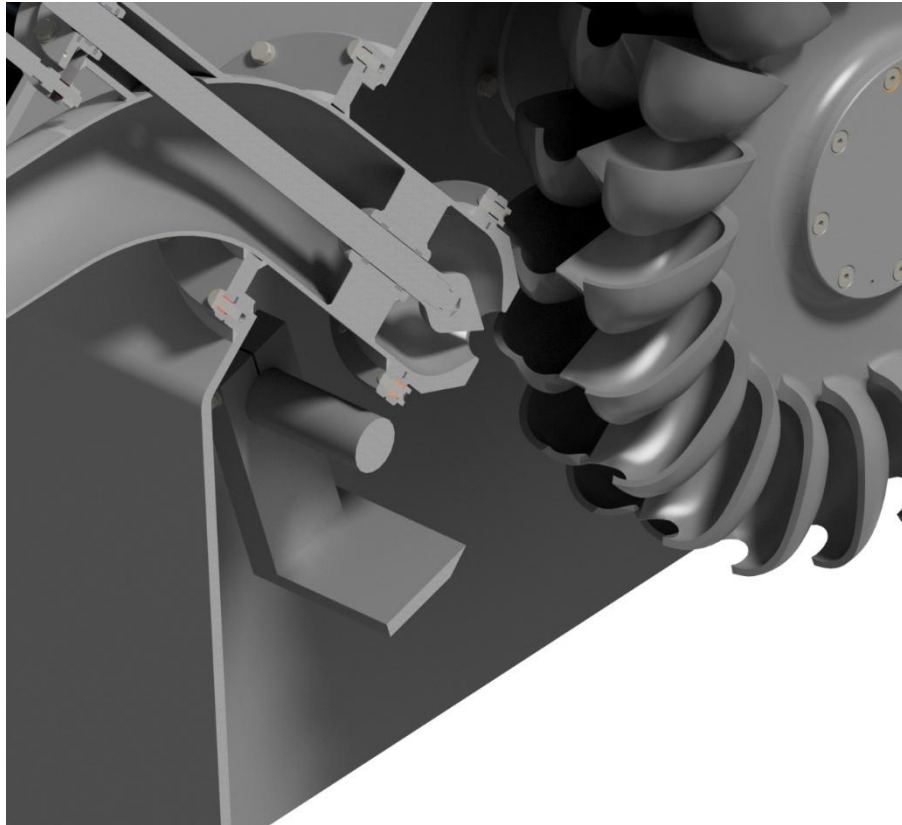
- Laufraddurchmesser
- Rohrdurchmesser
- Düsenform
- Gehäusegrößen
- Konstruktionsdesign

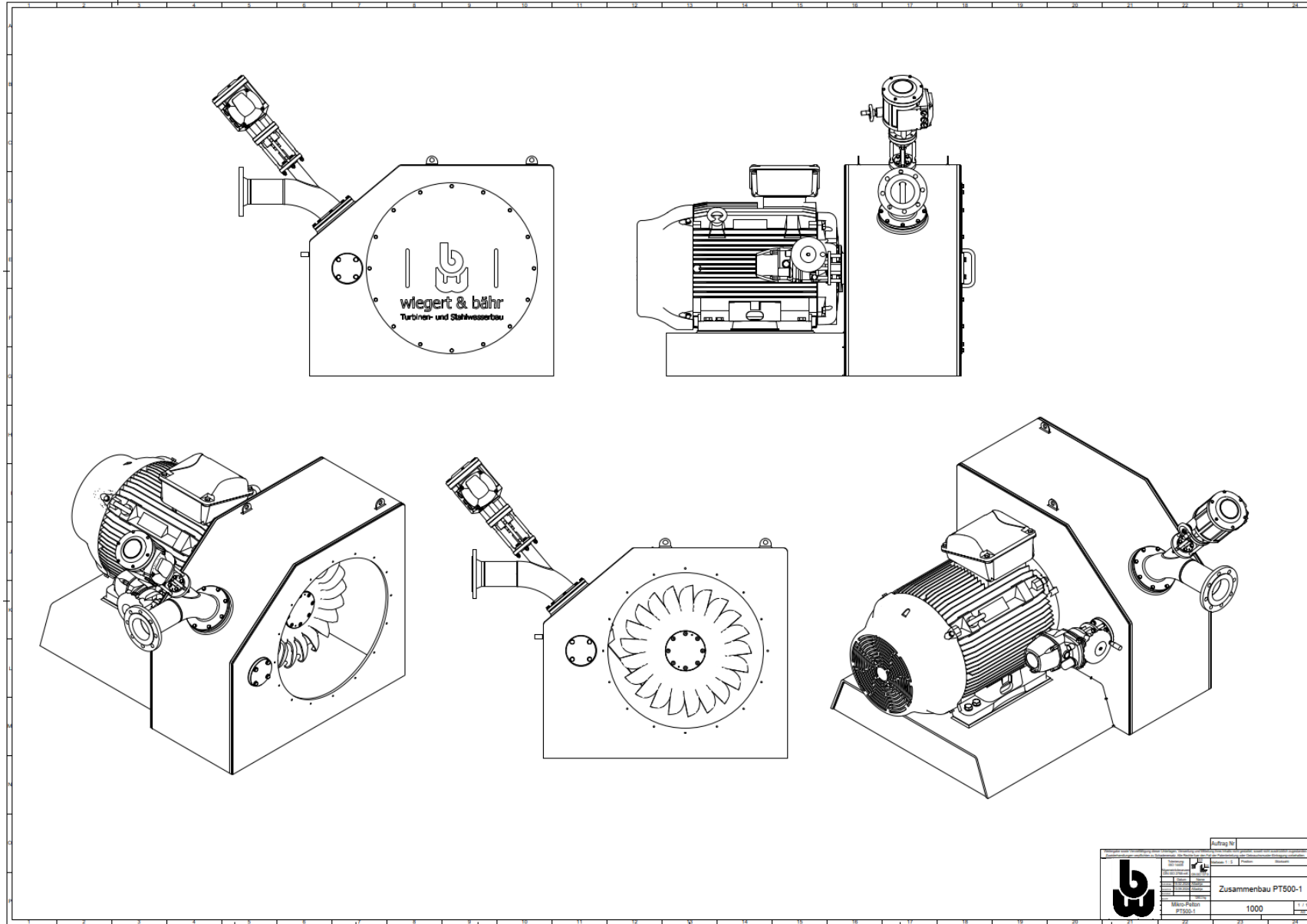


Wellenlänge L_w	Laufraddurchmesser D_1	
	200 – 400 mm	410 – 600 mm
250 mm	<p>750</p>	<p>1000</p>
300 mm	<p>750</p>	<p>1000</p>
350 mm	<p>750</p>	<p>1000</p>



Düsenverstellung und Strahlableiter

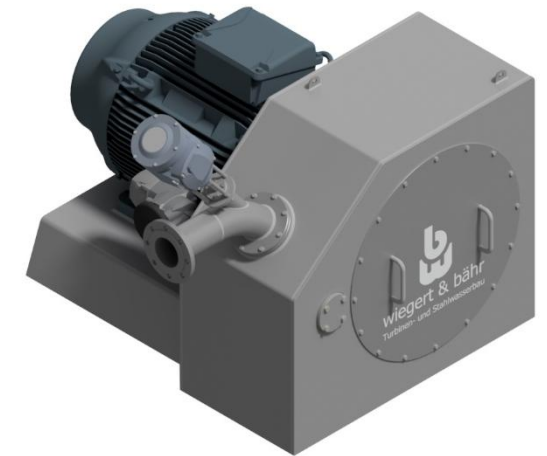




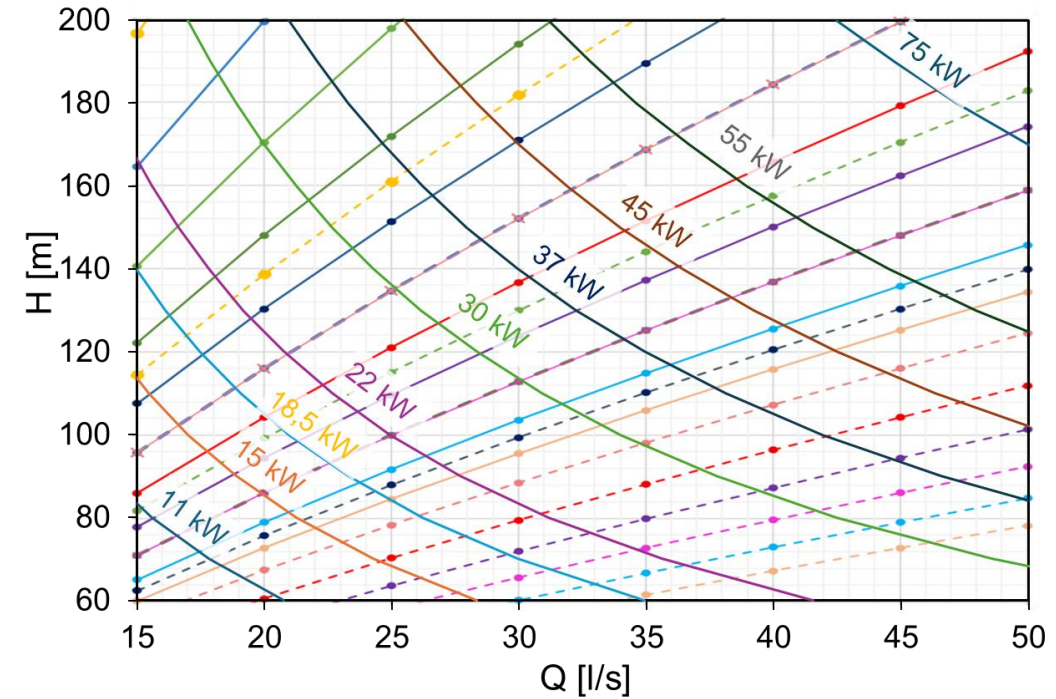
Kalkulation Kunde/Projekt:		Referenzprojekt				Seite:	1
Turbine: Mikro-Pelton						Name	Datum
						Anfrage von:	
Parameter:	Fallhöhe	H =	140 m	Düsendurchmesser	$d_d =$	40 mm	erstellt: C. Bohnert 08.09.2025
	Wassermenge	Q =	0,035 m ³ /s	Gehäusehöhe	$D_G =$	1000 mm	Änderung 1:
	Turbinendrehzahl	$n_t =$	1000 U/min	Gehäusebreite	$B_G =$	500 mm	Änderung 2:
	Turbinenleistung	$P_t =$	43,7 kW				Änderung 3:
	Strahlkreis	$D_1 =$	500 mm				
	Außendurchmesser	$D_a =$	594 mm				
	Becherbreite	b =	106 mm				
Pos	Menge	Benennung					
10		Gehäuse					
20		Düse mit Strahlableiter					
30		Laufrad					
40		Generator					
50		Steuerung					
60		Konstruktion und Projektleitung					
70		Optionen					



- Standardisierter Baukasten für Netzparallelbetrieb
- Sonderlösungen und Varianten möglich
 - Inselbetrieb
 - Einbindung in vorhandene Steuerungen
- Energierückgewinnung
 - Druckminderer bei Trinkwasserversorgungsanlagen
 - Druckminderer bei Meerwasserentsalzungsanlagen



- Sehr gute Abdeckung des Parameterbereiches
- Tool für schnelle und standardisierte Auslegungen mit $\eta > 90\%$
- Baukastensystem für Mikro-Peltonturbinen



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

Zusammenarbeit mit:

Dr.-Ing. Susanne Thum
HYDRO CONSULTING & ENGINEERING

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Wiegert & Bähr

Turbinen- und Stahlwasserbau GmbH
Im Muhrhag 3
77871 Renchen

Tel: +49 7843 – 9468 0
Mail: info@wb-hydro.de
Web: www.wb-hydro.de



LinkedIn



Hydro Consulting & Engineering

Am Weiher 12
82237 Wörthsee

Tel: +49 8153 – 88698 0
Mail: thum@hydro-consulting.de
Web: www.hydro-consulting.de



LinkedIn