



Diplomarbeit Master`s Thesis

ANSTRÖMUNG VON NIEDERDRUCKANLAGEN UNTER VERSCHIEDENEN BETRIEBSFÜH- RUNGSVERHÄLTNISSEN

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplomingenieur

untere der Leitung von

Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Reinhard Prenner

und

Univ. Ass. Dipl.-Ing. Michael PUCHER

Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie – Abteilung Wasserbau

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Dilyan TODOROV

Matrikelnummer 0427374

Bulgarien, 3400 Montana

Tundja str. 14

**Dilyan
Todorov**
Digitally
signed by
Dilyan Todorov
DN: cn=Dilyan
Todorov
.....

Wien, im Mai 2010

Vorwort

Ich möchte mich bei den folgenden Personen bedanken ohne die diese Diplomarbeit nicht möglich geworden wäre.

Besonders bedanke ich mich bei Herrn Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Reinhard Prenner für seine Unterstützung während der Erstellung der Diplomarbeit.

Herzlich bedanke ich mich bei Herrn Univ. Ass. Dipl. – Ing. Michael Pucher für seine Betreuung und Anregungen. Er war bei allfälligen Problemen und Unklarheiten immer bereit mir mit Rat und Tat beizustehen.

Weiters bedanke ich mich bei den Mitarbeitern der Wasserbaulabors, die mich immer unterstützt haben – beim Bau und alltäglichen Probleme mit dem hydraulischen Modell.

Auch bin ich den Universitäten UACG – Sofia und der TU-Wien sehr verbunden, die durch die Kooperation zwischen der Fakultät für Bauingenieurwesen der Technische Universität Wien und der Fakultät für Hydrotechnik der Universität für Architektur, Bauwesen und Geodäsie Sofia mein Studium Wasserbau in Deutsch an der UACG – Sofia ermöglicht haben.

Nicht zuletzt gilt mein Dank an meinen Eltern, die mir durch ihre Unterstützung geholfen haben.

Auch möchte ich meinen größten Dank an meine Freundin Selina aussprechen, die mich durch diese Monate, die ich in Wien war, gedanklich unterstützt hat.

Danke!

Kurzfassung

In Rahmen vorliegender Diplomarbeit werden die Anströmungsverhältnisse eines Niederdruckblockkraftwerkes bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen untersucht. Beim Neu- oder Umbau einer solchen Anlage ist man immer bestrebt einen hohen Turbinenwirkungsgrad für das Kraftwerk zu erreichen.

Diese Untersuchungen wurden als Teil eines größeren Forschungsvorhabens im Wasserbaulabor der TU-Wien durchgeführt.

In der gegenständlichen Arbeit sind verschiedene Betriebsführungszustände an verschiedenen Kraftwerkseinlaufgeometrien wie Vorboden und Trennpfeilerkopfausbildung untersucht und deren Auswirkung auf die Anströmungsverhältnisse anhand der Geschwindigkeitsverteilungen analysiert worden.

Als Datenbasis dienten Geschwindigkeitsmessungen mit einer ADV Sonde im Oberwasserbereich, in der Rechenebene und der Turbinenebene die anhand verschiedener Kriterien hinsichtlich der Beurteilung der Geschwindigkeitsverteilung ausgewertet wurden.

Zum Vergleich der Anströmungsverhältnisse der untersuchten Varianten dienten auch die aus den Messungen gewonnenen Geschwindigkeitsverteilungen im Oberwasserbereich und Strömungsbilder.

Abstract

Within the frame of this Master`s Thesis the approaching flow conditions to a block-type low head plant was investigated. By the new construction of such a facility, and the reconstruction as well, a high turbine efficiency of the power plant should be achieved.

The research work was carried out as a part of a larger research project at the Hydraulic Laboratory of the Institute of Hydraulic Engineering and Water Resources of the Vienna University of Technology.

In the presented thesis paper various plant operating conditions and various powerhouse intake geometries such as bottom slopes and separation pier shapes were investigated and their effect on the approaching flow conditions by means of velocity distributions analyzed.

The data was based on velocity measurements with an ADV probe in the upstream domain, in front of the trash rack and in front of the turbine. The measurements were evaluated by means of different criteria regarding the velocity distribution.

Based on the data obtained, velocity and flow patterns were generated, which facilitated a comparison of the inflow condition between the tested variants.

Inhaltsangabe:

1. Einleitung und Problemstellung	1
2. Typen von Niederdruckanlagen	2
2.1 Flusskraftwerke	2
2.2 Ausleitungskraftwerke	4
3. Anströmung von Blockkraftwerken	6
4. Hydraulisches Modell	8
4.1 Versuchsaufbau	8
4.1.1 Trennpfeiler	8
4.1.2 Vorboden	9
4.1.3 Zusammenstellung der untersuchten Varianten	10
4.2 Messtechnik	14
4.2.1 Wasserspiegel	14
4.2.2 Durchfluss	14
4.2.3 Geschwindigkeit	15
4.2.3.1 Messflügel	15
4.2.3.2 ADV Sonde	16
4.2.3.3 Vergleich von Messflügel und ADV – Sonde	17
4.2.3.4 Probleme bei der Geschwindigkeitsmessung	17
5. Versuchsdurchführung	18
5.1 Versuchsprogramm	18
5.2 Messbereiche	18
5.2.1 Oberwasserbereich	19
5.2.2 Rechenebene	19
5.2.3 Turbinenebene	20
5.3 Beurteilungskriterien für die Turbinenanströmung	20
5.3.1 Geschwindigkeitshöhenausgleichswert (α - Wert)	21
5.3.2 Kriterium nach Fisher und Franke	22
6. Ergebnisse der Geschwindigkeitsmessung	23
6.1 Variante A1	23
6.2 Variante A2	26
6.3 Variante A5	29
6.4 Variante A7	32
6.5 Variante A10	35

6.6	Variante A11	38
6.7	Variante A19	41
6.8	Variante A21	44
6.9	Variante A23	47
6.10	Variante A25	50
6.11	Variante A27	53
6.12	Variante A29	56
6.13	Variante A31	59
6.14	Variante A32	62
6.15	Variante A35	65
6.16	Variante A40	68
6.17	Variante A42	71
6.18	Variante A44	74
7.	Diskussion der Ergebnisse.....	77
7.1	Einfluss der Trennpfeilerform	78
7.2	Einfluss der Vorbodenausbildung	79
7.3	Einfluss des Oberwasserstandes.....	80
7.4	Einfluss des Wehrbetriebes	81
8.	Zusammenfassung	84
9.	Literaturverzeichnis.....	86
10.	Abbildungsverzeichnis	87
11.	Tabellenverzeichnis	91
Anhang 1	92
	Sondenjustierung im Messraster.....	92
	Geschwindigkeitsmessung und Kalibrierung der Messsonde.....	93
Anhang 2:	Strömungsbilder.....	97

1. Einleitung und Problemstellung

Die Erzeugung von billiger und umweltfreundlicher elektrischer Energie zur Erhöhung des Lebensstandards der Menschheit ist ein Gebot der Stunde und sollte den Zielen des Klimaschutzes genügen. Der von Wasserkraftwerken erzeugte Strom trägt auch bestens zur Nachhaltigkeit bei.

In Österreich, einem besonders wasserreichem Land, lag im Jahre 2007 der prozentuelle Anteil der Energieerzeugung aus Wasserkraftwerken bei 60% (STATISTIK AUSTRIA, 2009). In Bulgarien lag dieser Wert im Jahre 2007 bei ungefähr 10%.

Zurzeit befinden sich in beiden Ländern viele Projekte für Flusskraftwerke in Planung, im Bau bzw. sind knapp vor der Fertigstellung.

Zur Gewährleistung eines effizienten Turbinenbetriebes ist schon in der Planungsphase ein entsprechendes Augenmerk auf die Gestaltung des Krafthauszulaufbereiches zu legen. Zur Reduktion der Einlaufverluste sollte eine möglichst gleichmäßige Geschwindigkeitsverteilung in der Turbinenkammer herrschen.

Diese Arbeit beschäftigt sich speziell mit dieser Geschwindigkeitsverteilung im Oberwasserbereich, vor der Rechenebene und vor den Turbinen. Diese sollen bei verschiedenen Betriebszuständen, wie reinem Turbinenbetrieb (2 – Maschinenbetrieb) und auch kombiniert mit kleineren Hochwasserabflüssen, anhand eines hydraulischen Vollmodells untersucht werden. Diese Analyse beinhaltet unterschiedliche geometrische Formgebungen des Einlaufbereiches, wie Vorbodenneigung und Trennpfeilergestaltung bei verschiedenen Betriebsführungszuständen. Anhand dieser unterschiedlichen Geometrien sollen die Veränderungen des Geschwindigkeitsprofils im unmittelbaren Einlaufbereich und in der Turbinenkammer verglichen werden. Zur visuellen Beurteilung der Qualität der Anströmungsverhältnisse im Oberwasserbereich sollen aus den Versuchen entsprechende Geschwindigkeitsfelder und Strömungsbilder gewonnen werden. Die Quantifizierung der Versuchsergebnisse soll anhand von Beurteilungskriterien für die Geschwindigkeitsverteilung unmittelbar in der Ebene vor dem Einlaufrechen und der maßgebenden wehrseitigen Turbine erfolgen.

2. Typen von Niederdruckanlagen

Die Fallhöhe von Niederdruck – Kraftwerken bewegt sich im Bereich ca. bis zu 30 m (ev. nach anderen Angaben auch bis zu 50 m). Die als Laufkraftwerke konzipierten Anlagen besitzen keine nennenswerten Speichermöglichkeiten. Als typische Maschinen kommen Kaplan- bzw. Rohrturbinen, seltener Francisturbinen zum Einsatz. Bei kleineren Anlagen findet man auch Propeller, Straflo- und Durchströmmaschinen. Man unterscheidet grundsätzlich zwischen Flusskraftwerken und Ausleitungskraftwerken (DROBIR, 2006)

2.1 Flusskraftwerke

Flusskraftwerke baut man direkt im Flusslauf. Für den Bau von Flusskraftwerken sind wasserreiche Flüsse oder Bächen mit einem Sohlgefälle von < 1 bis $2 ‰$ besonders geeignet. Eine Stauanlage besteht aus der Wehranlage und dem daneben angrenzenden Krafthaus. Im Fall, dass der Fluss schiffbar ist, kommt auch eine Schiffschleuse dazu. Das Krafthaus dient zur Energieerzeugung, das Wehr zur Stauhaltung und zur sicheren Hochwasserabfuhr (Abb. 2.1). In Abb. 2.2 sind die wichtigsten Elemente eines Krafthauses abgebildet. Für die prinzipielle Konstruktion von Wehr und Krafthaus wird auf einschlägige Literatur (BLIND, 1987), (PRESS, 1967) verwiesen.

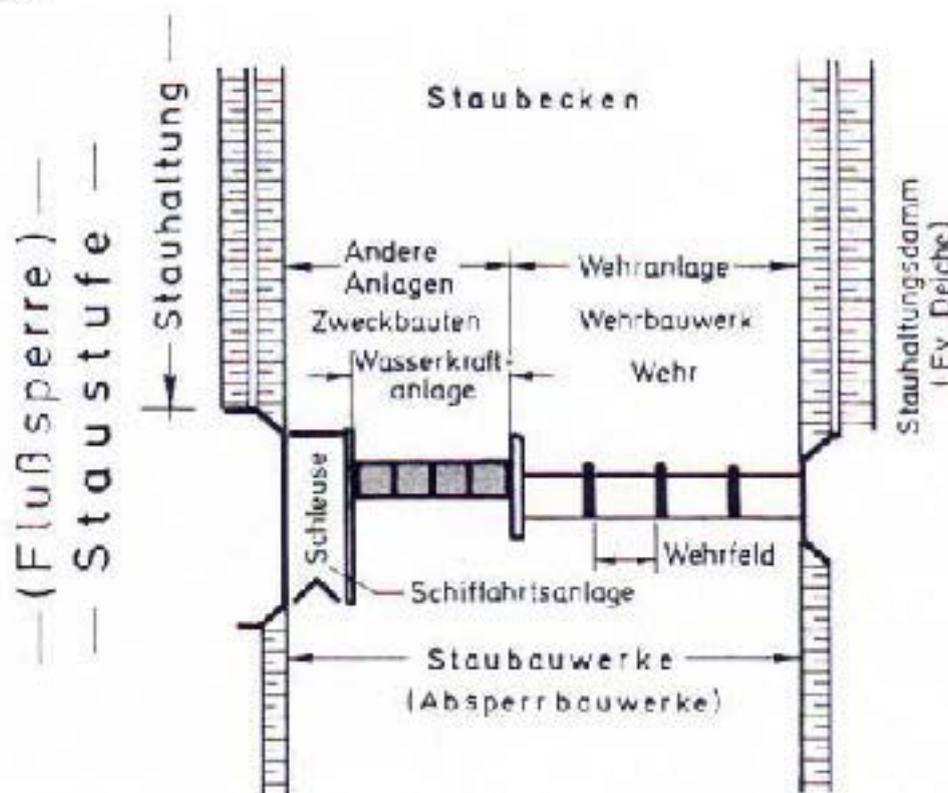
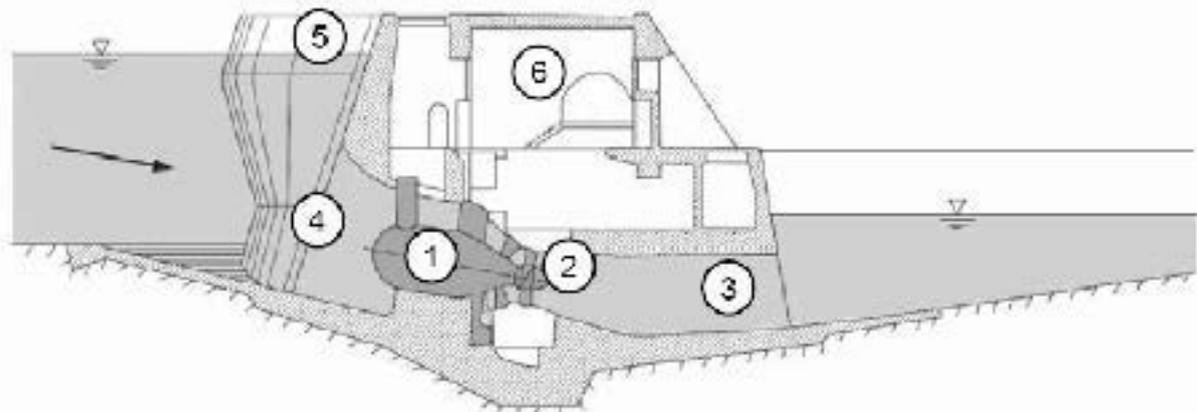


Abb. 2.1 Schematische Darstellung eines Flusskraftwerkes (BLIND, 1987)



- | | | | |
|---|----------------|---|---------------|
| 1 | Generatorbirne | 2 | Turbine |
| 3 | Saugrohr | 4 | Einlaufrechen |
| 5 | Trennpfeiler | 6 | Wehrgang |

Abb. 2.2 Längsschnitt durch ein Niederdruckkrafthaus (STROBL & ZUNIG, 2006)

Die Flusskraftwerke können je nach der Anordnung des Kraftwerks und der Wehfelder entsprechend der Abb. 2.3 klassifiziert werden.

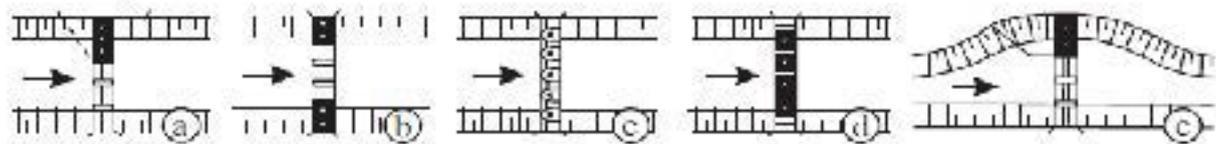


Abb. 2.3 Anordnung von Flusskraftwerken: a) Blockbauweise; b) Zwillingsbauweise; c) Pfeilerkraftwerk; d) überstrombares Kraftwerk; e) Buchtenkraftwerke (GIESECKE & MOSONYI, 2009)

In einem Flusslauf erzielt man eine hohe Energieausbeute, wenn die verfügbare Fallhöhe dieser Strecke aus baulichen und ökologischen Gründen in mehrere Ausbaustufen unterteilt werden. Bei einer solchen Aneinanderreihung von Kraftwerksstufen – Kraftwerkskette – geht je nach dazwischenliegender freien Fließstrecke nur ein geringer Teil der Fallhöhe verloren (Abb. 2.4).

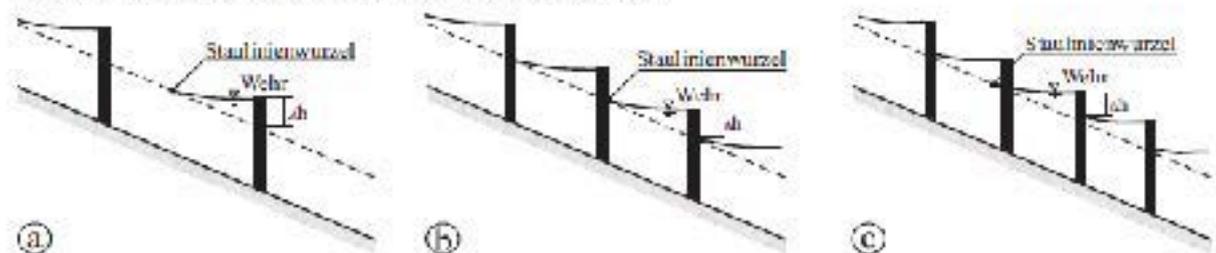


Abb. 2.4 Bauarten von Kraftwerksketten: a) lückenhaft; b) geschlossen; c) übergreifend (GIESECKE & MOSONYI, 2009)

Da die Stauwurzel im Oberwasser kein Fixpunkt ist, und nur von der Wasserspiegellage des ungestauten Flusses und damit vom Abfluss in der Flussstrecke abhängt, ist der Abstand der Stauwurzel bei Niederwasser von der Wehranlage am größten, während die Stauwurzel im Hochwasserfall immer näher an die Stauanlage heranrückt (Abb. 2.5).

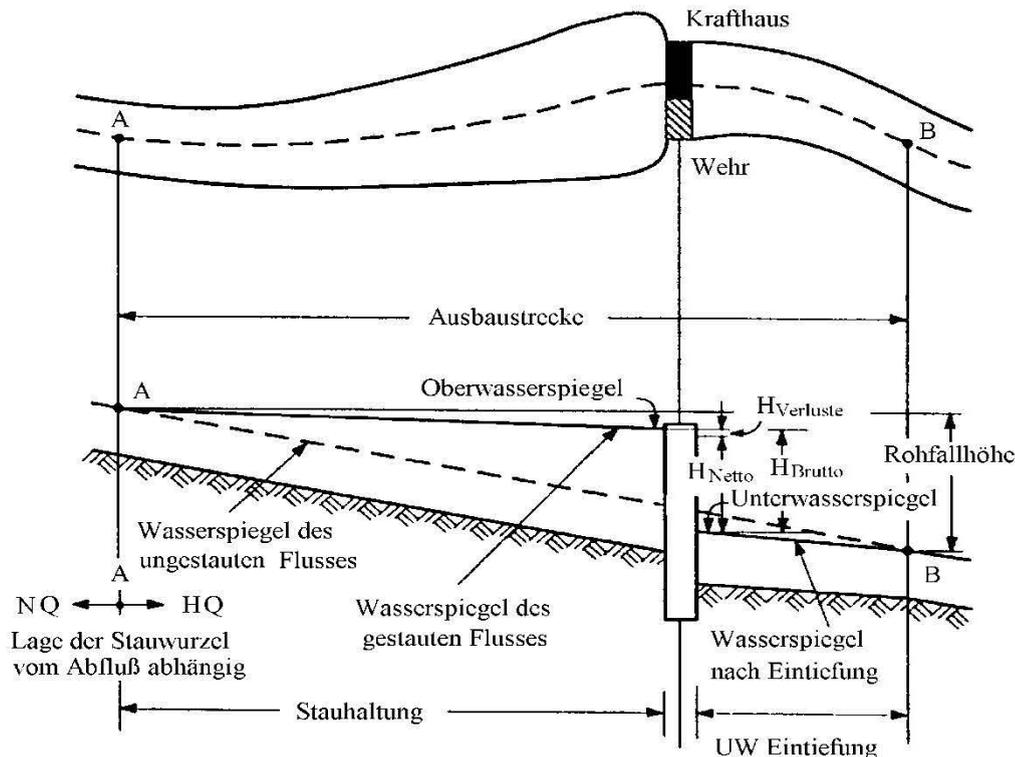


Abb. 2.5 Schema eines Flusskraftwerkes: A – Stauwurzel (Beginn der Beeinflussung der Flussstrecke); B – Ende der Beeinflussung (DROBIR, 2006)

2.2 Ausleitungskraftwerke

Eine Sonderform des Flusskraftwerkes ist das Ausleitungskraftwerk. Eine oder mehrere Flusskrümmungen bzw. Mäanderschlingen werden mit Hilfe einer Triebwasserleitung, wie Kanal oder Stollen, abgeschnitten. Die Laufverkürzung ergibt den Fallhöhengewinn (Abb. 2.6).

Der Fallhöhengewinn infolge Laufverkürzung kann oft ein Vielfaches der Wehrstauhöhe ausmachen. Mittels einer Ausleitung können sogar Fallhöhen im Mitteldruckbereich erreicht werden.

In der abgeschnittenen Flusskrümmung oder Mäanderschlinge verbleibt nur eine Restwassermenge. Im Hochwasserfall herrschen in dieser Restwasserstrecke weitgehendst natürliche Abflussverhältnisse, da der nicht ausleitbare Hochwasserzufluss über das Wehr abgegeben wird.

Die in der Restwasserstrecke verbleibende Restwassermenge darf weiters eine Mindestwasserführung nicht unterschreiten, um die nähere Flusslandschaft nicht zu beeinträchtigen. Nicht nur die Restwasserstrecke, sondern auch der Triebwasserweg hat ökologischen und landschaftsgestalterischen Anforderungen gerecht zu werden.

Ein Vorteil dieses Kraftwerktyps ist, dass dieser meistens in einer trockenen Baugrundericht werden kann (GIESECKE & MOSONYI, 2009).

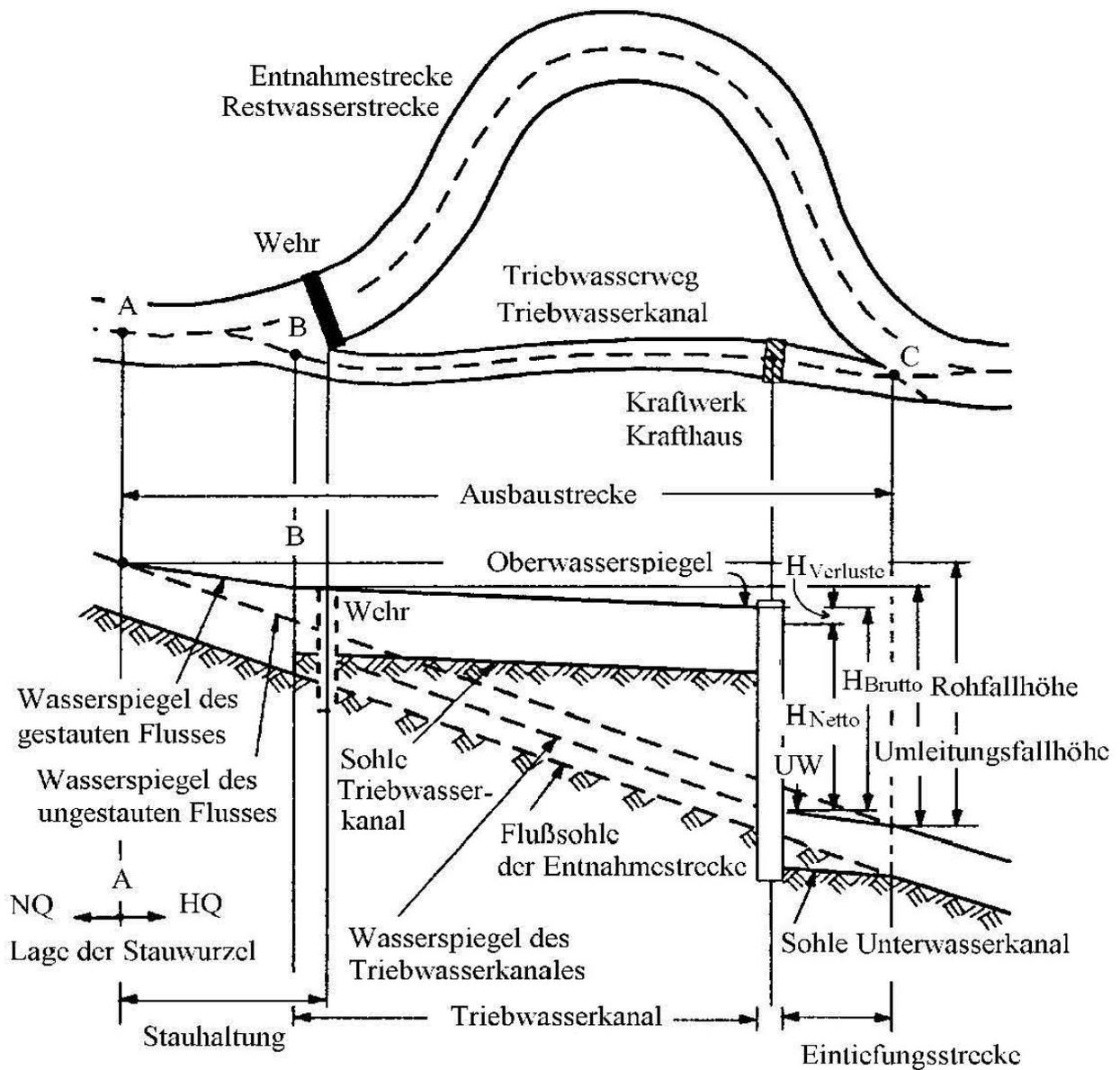


Abb. 2.6 Schema eines Ausleitungskraftwerkes (DROBIR, 2006)

3. Anströmung von Blockkraftwerken

Die Anströmung von Niederdruckkraftwerke ist eine besondere Herausforderung mit der sich der Wasserbauingenieur bei jeder Kraftwerkerrichtung eigens auseinandersetzen hat.

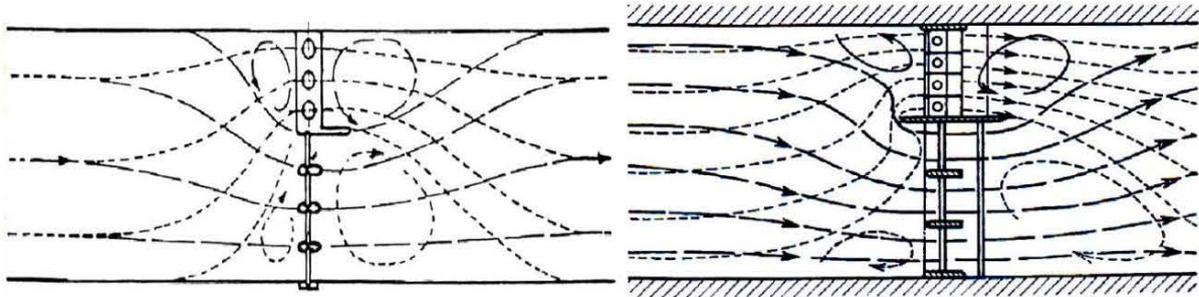


Abb. 3.1 Anströmungsbild bei Block – Kraftwerk (PRESS, 1967)

Ein für den wirtschaftlichen Erfolg einer Niederdruckanlage verantwortliches Problem ist die Anströmung des Krafthauses (Abb. 3.1). Hydraulisch schlecht beaufschlagte Turbinen können beträchtliche Energieverluste nach sich ziehen.

Ein wesentlicher Schwachpunkt im Einlaufbereich des Kraftwerks ist der Trennpfeiler zwischen Krafthaus und Wehr, da er die unmittelbare Anströmung der wehrseitigen Turbine stark beeinflusst. Durch diese ungleichmäßige Turbinenanströmung können sehr hohe Verluste erzeugt werden (Abb. 3.2). Dieses Problem tritt vor allem beim reinen Krafthausbetrieb ohne (Hoch)Wasserabfuhr über die Wehranlage auf.

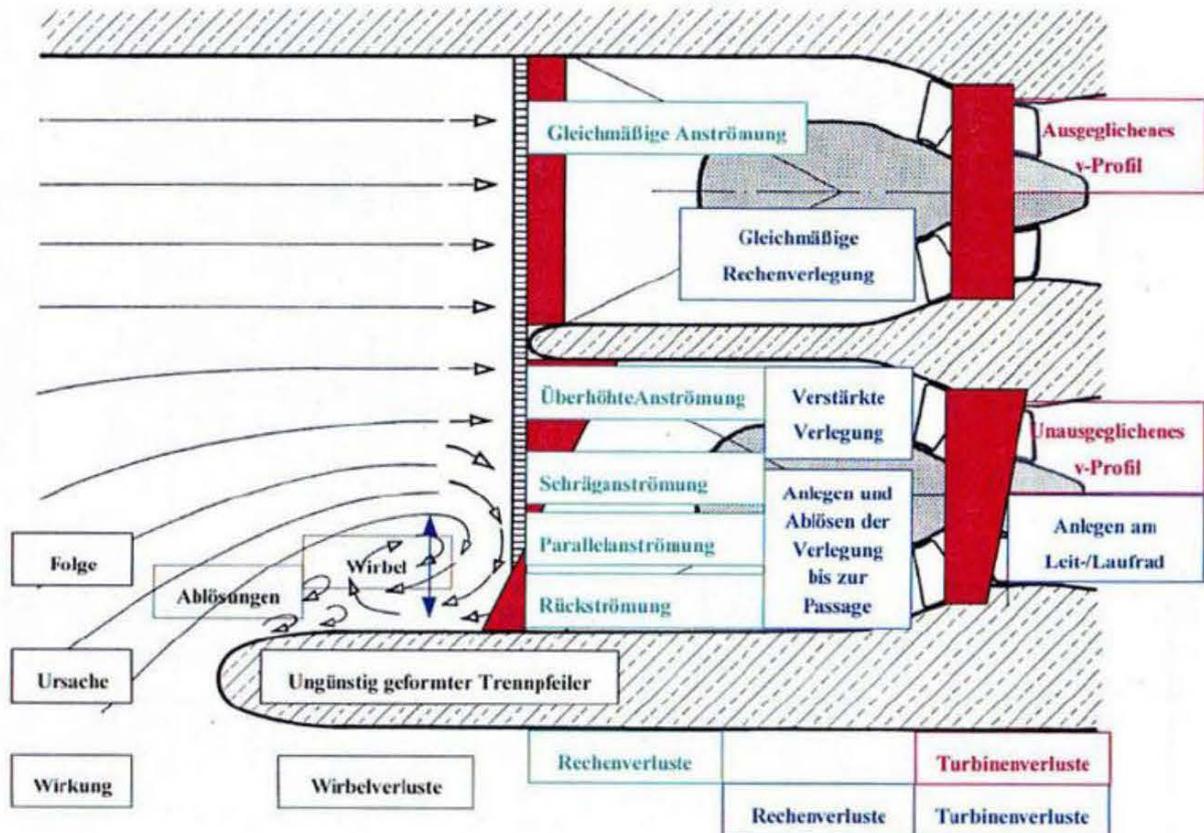


Abb. 3.2 KH-Anströmung ohne Wehrbetrieb (LANG, 1999)

Eine Verminderung der Turbinenverluste, kann durch eine entsprechende Gestaltung des Krafthaustrennpfeilers (Abb. 3.3) erzielt werden.

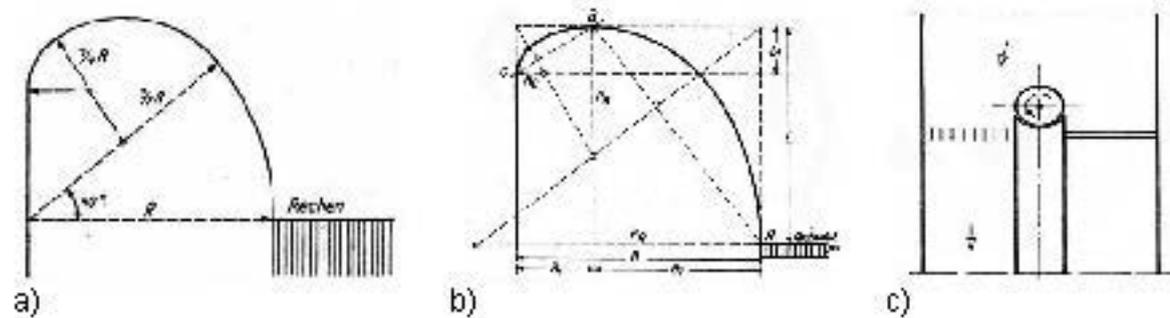


Abb. 3.3 Trennpfeilertypen – a) Nach (WITTMANN & GABRECHT, 1954)h; b) Nach (ROUVÉ, 1958); c) Spezielle gebaute Form nach; (GODDE, 1934)

Aber auch eine Verbesserung der Turbinenanströmverhältnisse kann bei gleichzeitigem Wehrbetrieb erfolgen, wie auch die im Rahmen dieser durchgeführten Untersuchungen belegen. Abb. 3.4 zeigt eine relativ flusslaufparallele Anströmung zum Krafthaus. Durch die fehlende Querströmung aus dem Wehrbereich sind die Ablösungen und Wirbelbildungen am Trennpfeilerkopf gering.

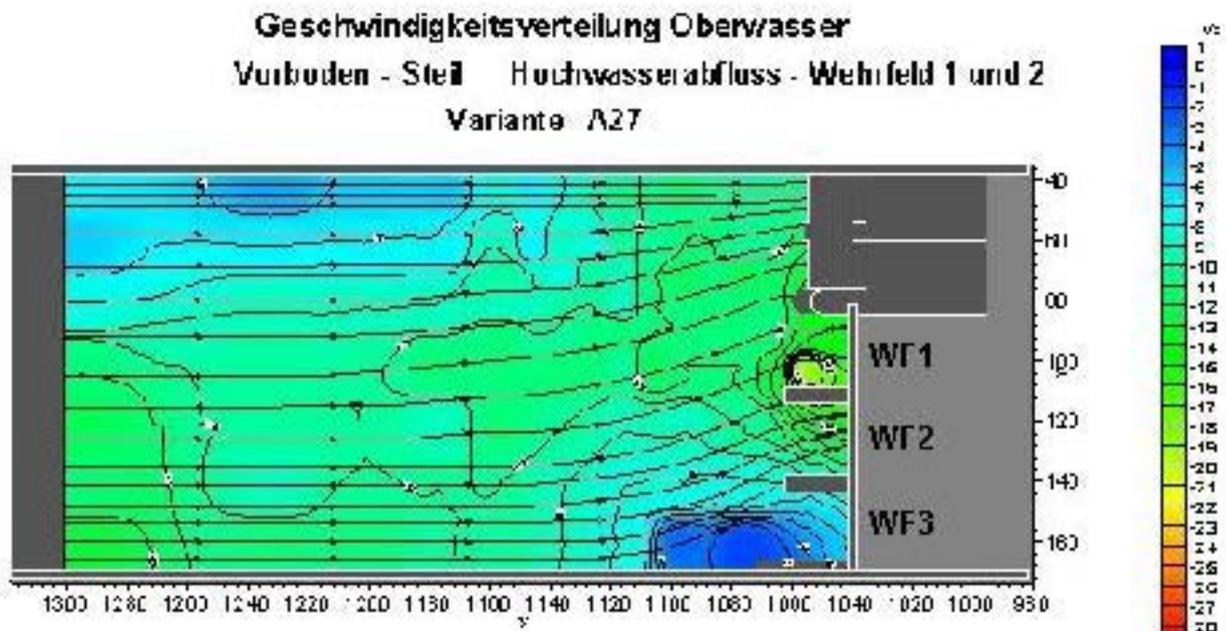


Abb. 3.4 KH-Anströmung bei gleichzeitigem Wehrbetrieb

4. Hydraulisches Modell

Im Rahmen des Forschungsprojekts sollten anhand eines repräsentativen mittleren Flusskraftwerks die Anströmungsverhältnisse zum Krafthaus unter verschiedenen Betriebsführungsverhältnissen analysiert werden. Zu diesem Zweck wurden an einem vereinfachten Kraftwerksmodell verschiedene Geometrieänderungen am Vorboden und Kraftwerkstrennpfeiler vorgenommen. Die Stauanlage weist im vorliegenden Fall dieselbe Gesamtbreite wie der Flusslauf auf. Die Modellgröße kann etwa in einem Maßstab von ca. 1:50 in die Natur übertragen werden. Die Anlage besteht aus einem Kraftwerk mit zwei Turbinen und einer Wehranlage mit drei Wehrfeldern (Abb. 4.1).

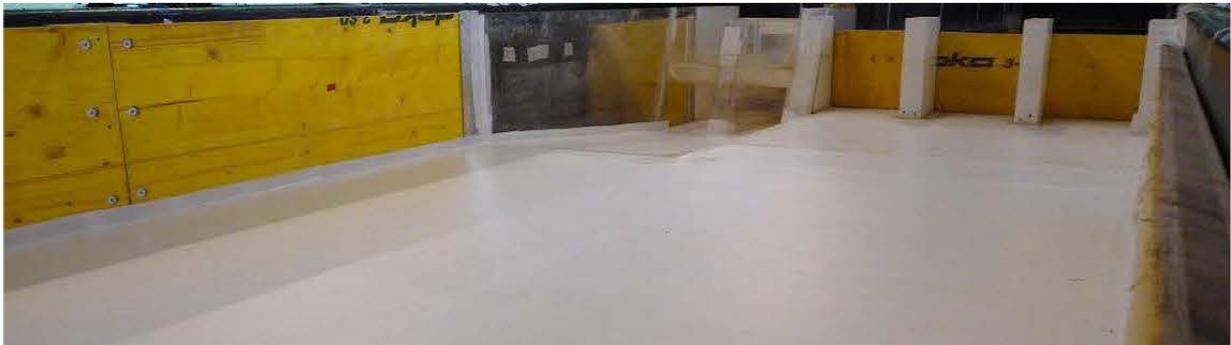


Abb. 4.1 Kraftwerksmodell von OW

4.1 Versuchsaufbau

Der Schwerpunkt dieser Diplomarbeit bestand in der experimentelle Untersuchung der Kraftwerksanströmung. Dazu wurden der Krafthhaustrennpfeiler und der Vorboden zum Krafthauseinlauf unterschiedlich gestaltet.

4.1.1 Trennpfeiler

Es wurden zwei unterschiedliche Querschnitte von Trennpfeilerkopfausbildungen, welche relativ gute Anströmungszuständen ergeben sollen, gewählt. Dies ist einerseits eine Halbkreisform (Abb. 4.2) und die Ausbildung des Pfeilerkopfes nach Rouvé (Abb. 4.3).

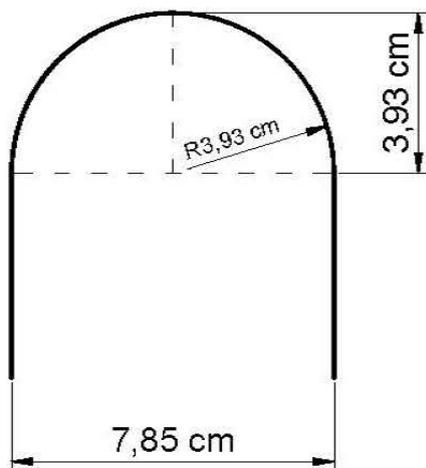


Abb. 4.2 Halbkreisform

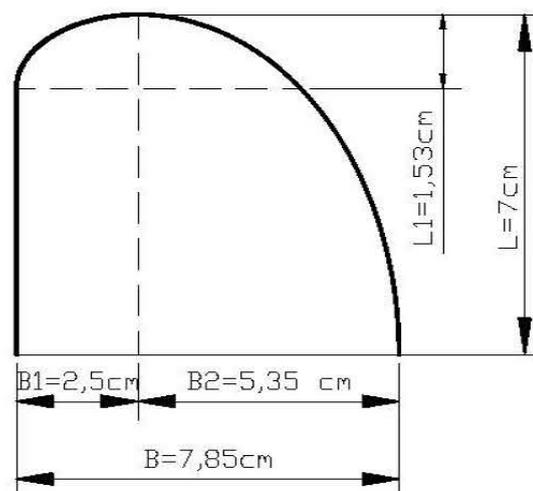


Abb. 4.3 Pfeilerkopf nach Rouvé (1958)

4.1.2 Vorboden

Es wurden folgende drei Vorbodengeometrien festgelegt:

- a) Flacher Vorboden mit Längsneigung von 10:1 und mit seitlich vertikalem (90°) Absturz (Abb. 4,4)

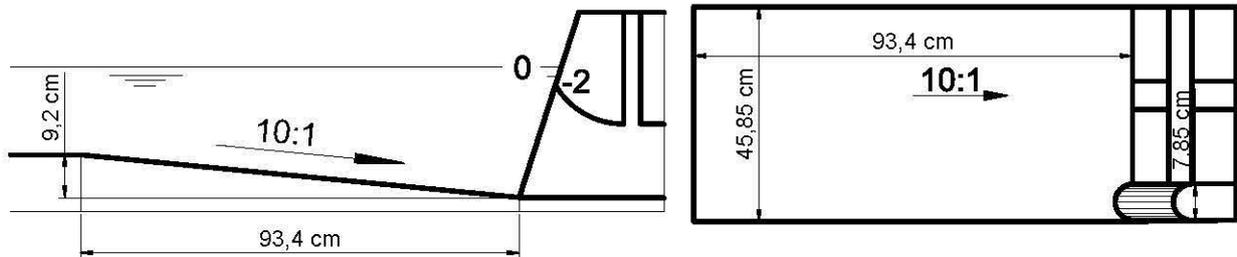


Abb. 4.4 Flacher Vorboden mit seitlich vertikalem Übergang

- b) Flacher Vorboden mit Längsneigung von 10:1 und mit seitlich 1:1,2 geneigtem Absturz (Abb. 4,5)

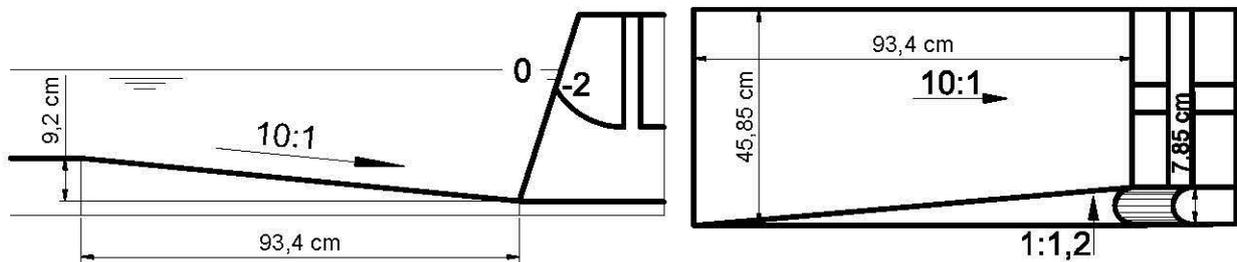


Abb. 4.5 Flacher Vorboden mit seitlich geneigtem Übergang

- c) Steiler kurzer Vorboden mit Längsneigung von 4:1 und mit seitlich 1:1,2 geneigtem Absturz (Abb. 4,6)

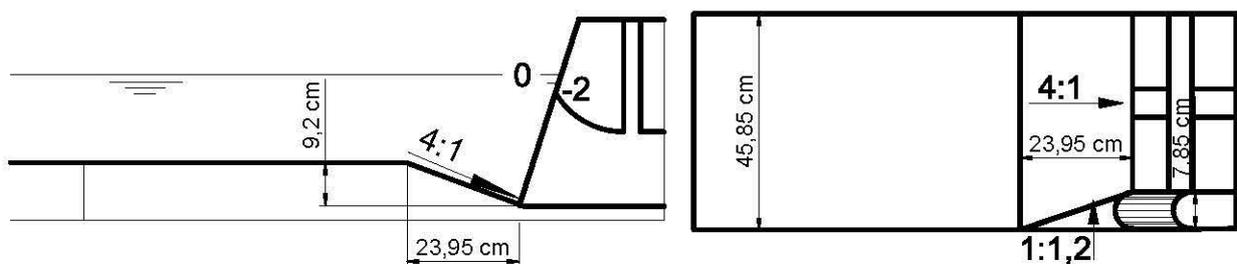
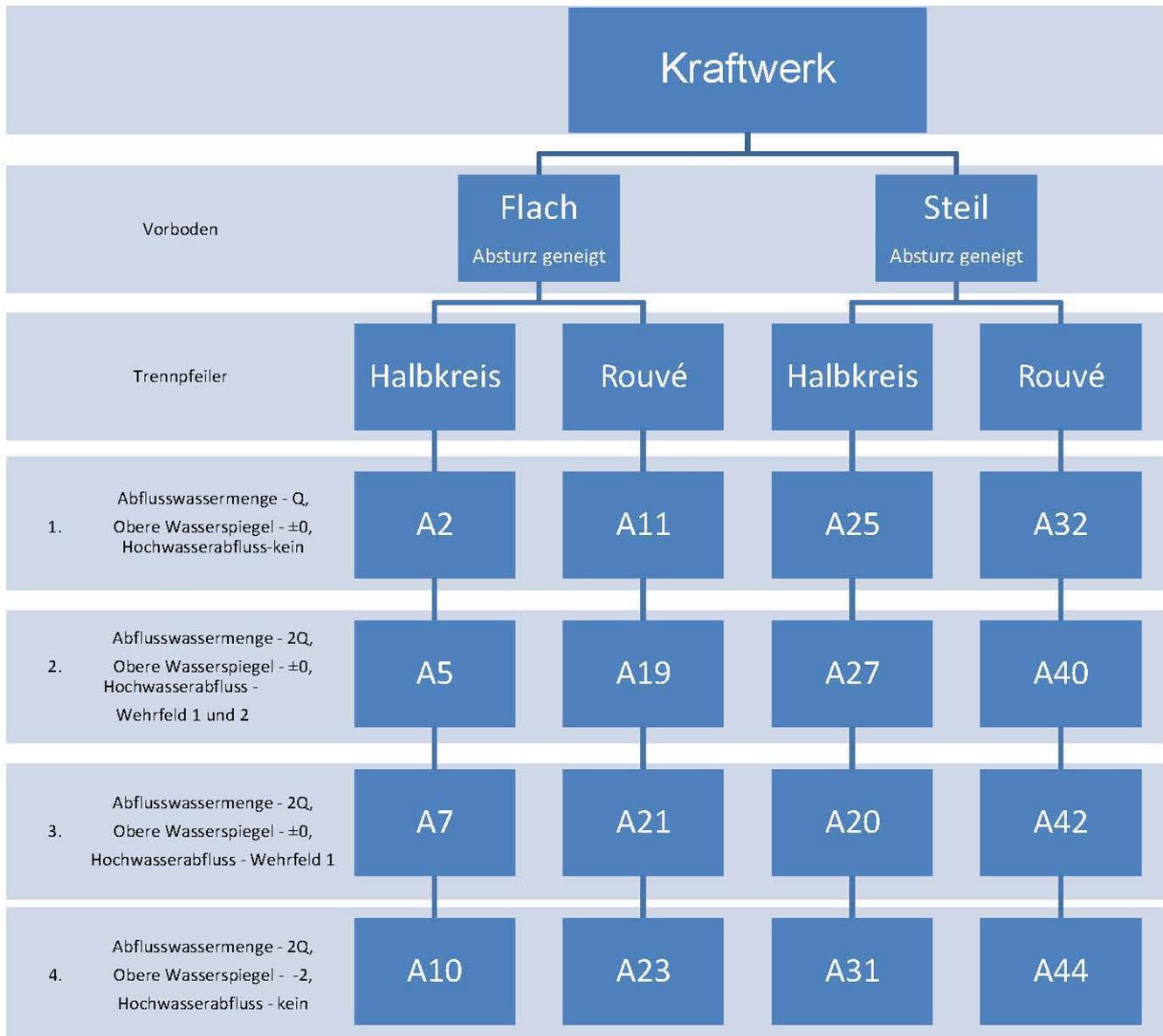


Abb. 4.6 Steiler Vorboden mit seitlich geneigtem Übergang

4.1.3 Zusammenstellung der untersuchten Varianten

Die Kombination der unterschiedlichen Geometrien und Betriebsführungszustände ergaben 18 Untersuchungsfällen. Sie teilen sich in zwei großen Gruppen entsprechend der Vorbodenneigung. Diese werden durch die zwei verschiedenen Trennpfeilerausbildungen und je nach Betriebsführung (Durchflussverhältnisse an der Wehranlage) weiter unterteilt. Jede der beiden Hauptgruppen hat 9 Varianten wobei jede mit „Axx“ bezeichnet wird (Tab. 4.1).



Tab. 4.1 Aufstellung der untersuchten Varianten

In Tabelle 4.1 sind nur diejenigen Varianten mit geneigtem Übergang des Vorbodens aufgelistet. Eine weitere Variante A35 ist gleich der Variante A32 mit dem Unterschied, dass sie mit dem halben Abfluss (0,5Q) betrieben wurde. Eine weitere Variante A1 entspricht der Variante A2, jedoch mit vertikalem Übergang des Vorbodens.

Grundsätzlich weisen die Varianten folgende fünf typische Formen auf:

Variante A1: Flach geneigter Vorboden, vertikaler (90°) seitlicher Übergang zum Vorboden und halbkreisförmiger Trennpfeilerkopf (Abb. 4.7).

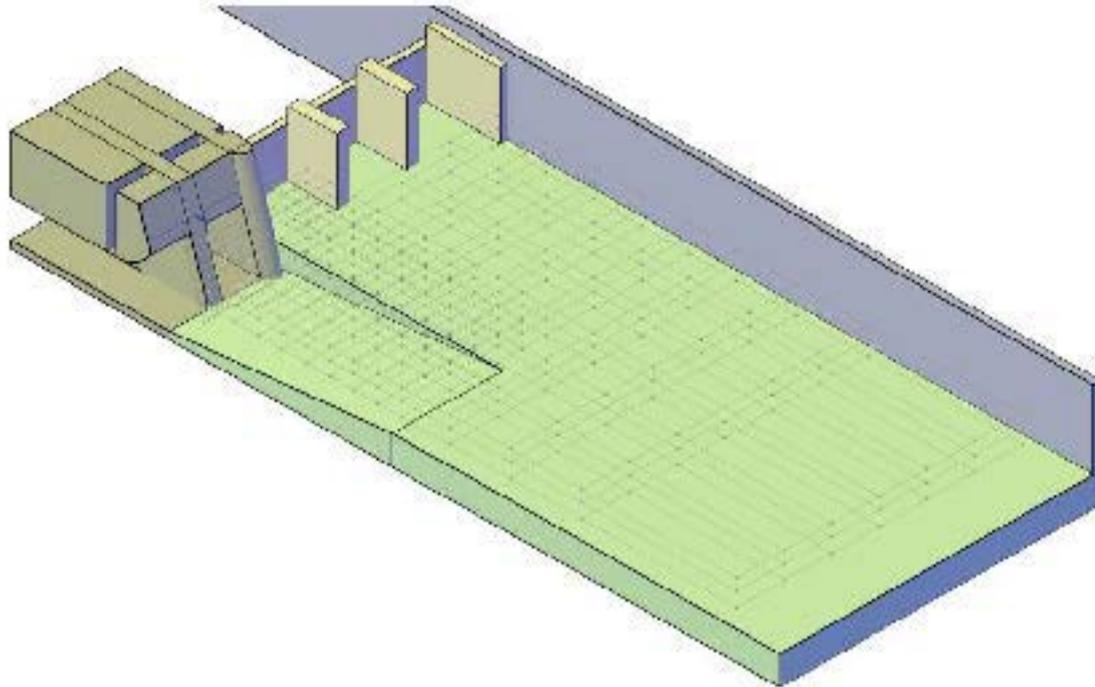


Abb. 4.7 Variante A1: Schrägansicht des Modells

Variante A2: Diese ist wie Variante A1 gestaltet, jedoch der seitliche Übergang ist geneigt (Abb. 4.8).

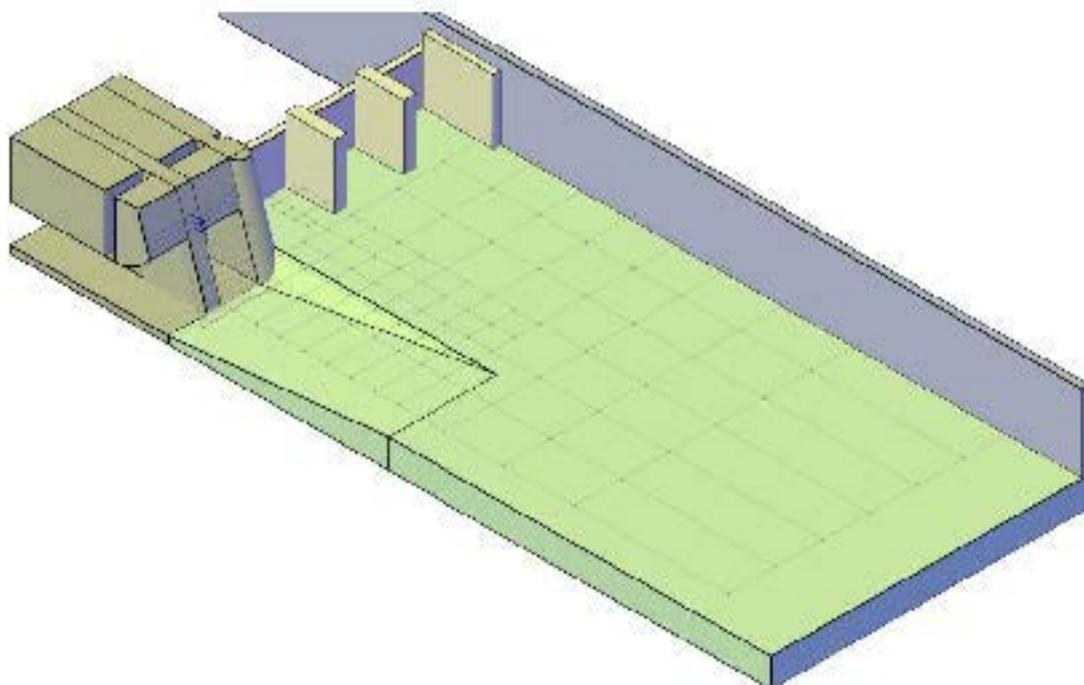


Abb. 4.8 Variante A2: Schrägansicht des Modells

Variante A11: Diese entspricht der Variante A2, jedoch der Trennpfeilerkopf ist nach Rouvé gestaltet (Abb. 4.9).

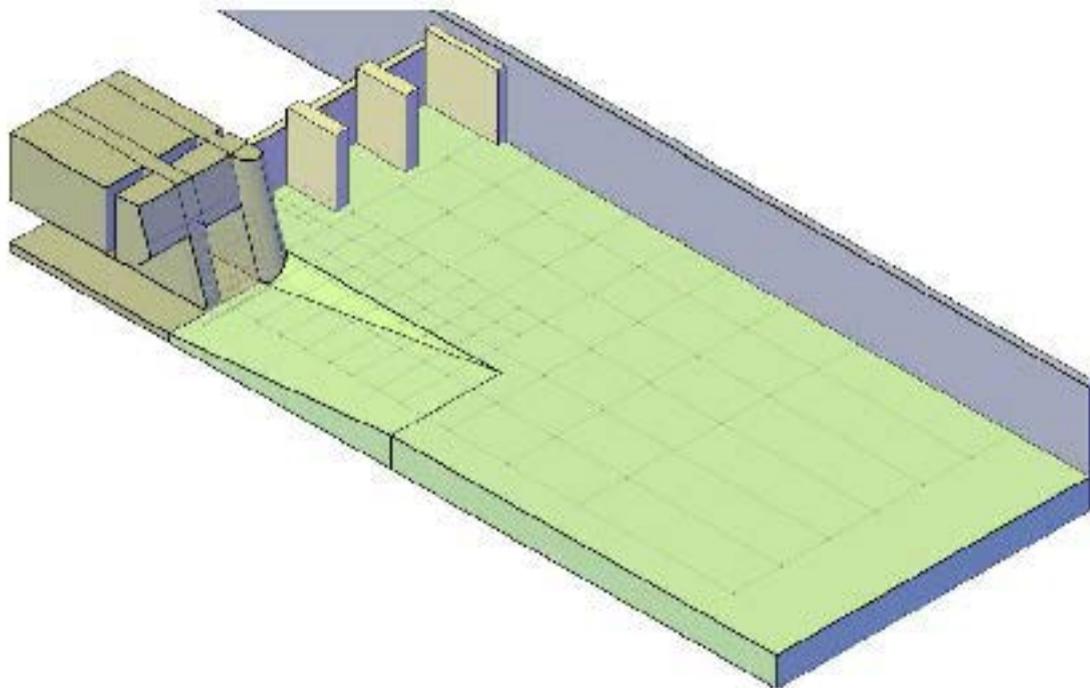


Abb. 4.9 Variante A11: Schrägansicht des Modells

Variant A25: Steil geneigter Vorboden, geneigter seitlicher Übergang zum Vorboden und halbkreisförmiger Trennpfeilerkopf (Abb. 4.10).

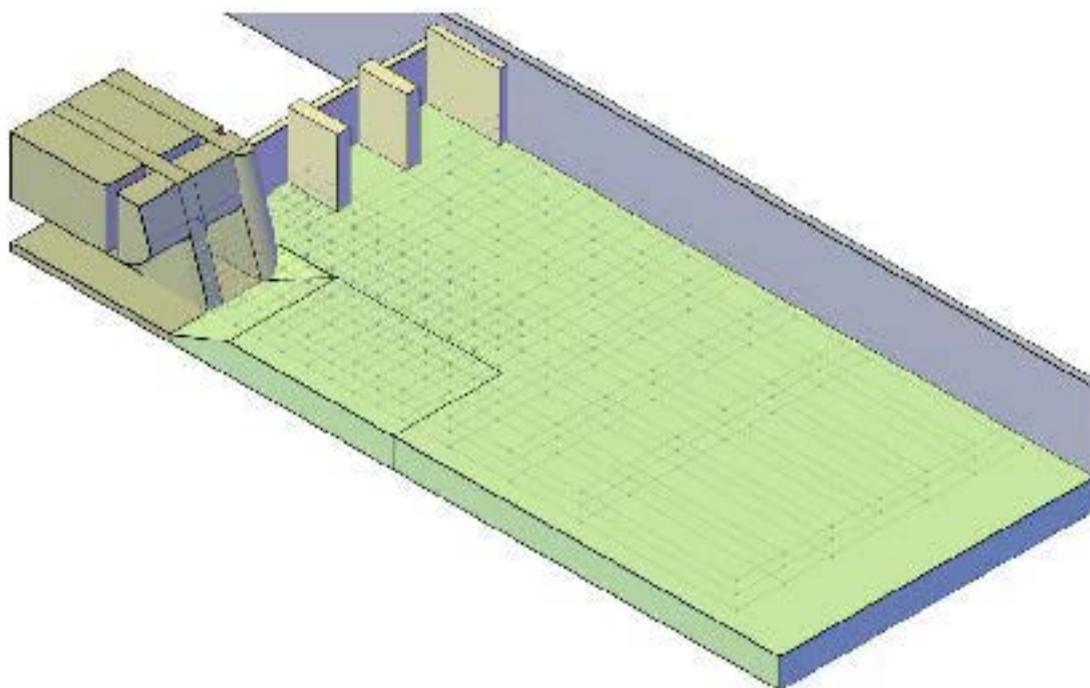


Abb. 4.10 Variante A25: Schrägansicht des Modells

Variante A32: Entspricht der Variante A25 jedoch mit dem Unterschied, dass diese mit dem Rouvé Pfeilerkopf ausgebildet ist (Abb. 4.11).

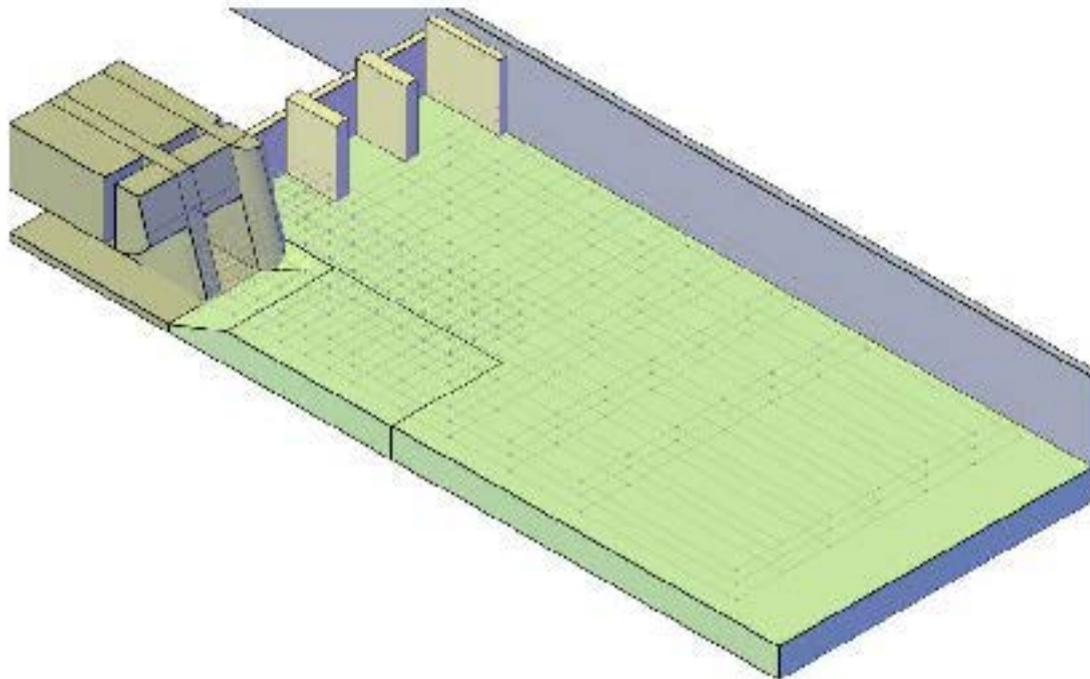


Abb. 4.11 Variante A32: Schrägansicht des Modells

Diese 5 baulichen Grundvarianten werden durch 2 Oberwasserspiegellagen (niederes und normales Stauziel) und teilweise mit 3 Abflüssen ($0,5Q_A$; Q_A ; $2Q_A$) betrieben.

4.2 Messtechnik

Während der Versuchsdurchführung wurde der Wasserspiegel, der Durchfluss und die Strömungsgeschwindigkeit registriert.

4.2.1 Wasserspiegel

Es wurden 2 repräsentative Oberwasserspiegellagen festgelegt. Die höhere entspricht einem durchschnittlichen Stauziel, während die tiefere (wahrscheinlich maßgebend) ein abgesenktes Stauziel darstellt. Die beiden Wasserspiegelniveaus wurden am Krafthauseinlauf neben dem Trennpfeiler markiert.

Die Einstellung des Oberwasserspiegels erfolgte visuell mittels in den Turbinenkanälen eingebauten Reglerschiebern. Diese wurden in Form von Lochblenden (Abb. 4.12) realisiert, womit der Turbinendurchfluss bzw. der Stauspiegel erhöht bzw. vermindert werden konnte.



Abb. 4.12 Schieberplatte und Lochblende für Turbinendurchflussregulierung

4.2.2 Durchfluss

Die Wasserversorgung erfolgte mittels einer Pumpenanlage, welche das Wasser aus dem 1000 m³ großen Tank des Labors zum Modellstand fördert. Die erforderliche Durchflussmenge wird mittels einer Regelklappe im Zulaufsystem eingestellt. In dieser Rohrzuleitung befindet sich auch ein induktiv magnetischer Durchflussmesser (IDM), welcher die Information der gemessenen Durchflussmenge zu einem Schaltschrank (Abb. 4.13) überträgt. Anhand dieser Daten wird die Regelklappe automatisch auf den gewünschten Durchfluss nachgestellt.

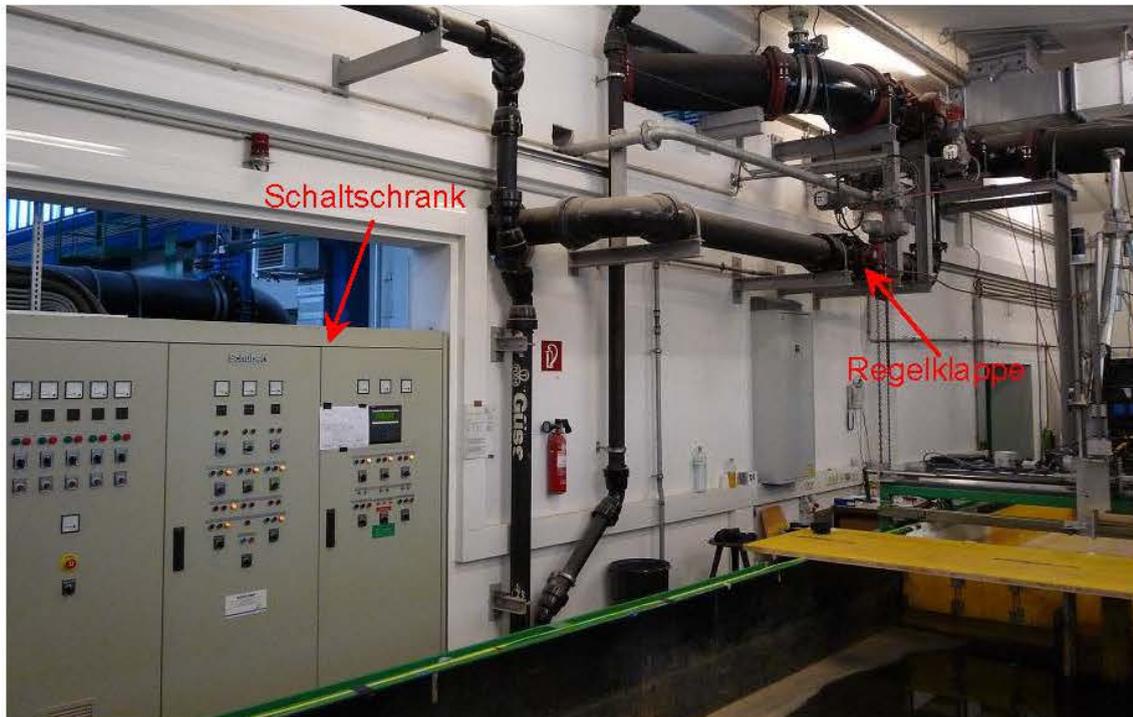


Abb. 4.13 Schaltschrank und Wasserzuführungssystem

4.2.3 Geschwindigkeit

Die Messung der Strömungsgeschwindigkeiten erfolgte generell mit einer ADV Sonde über eine Zeitdauer von 20 sec pro Messpunkt. Jedoch am Anfang der Messungen wurde diese auch mit einem Messflügel verglichen.

4.2.3.1 Messflügel

Mit dem benutzten Messflügel der Firma Omni Instruments können die Geschwindigkeiten (Mittel, Max und Min Werte) nur in einer Richtung aufgenommen werden. Für die Vergleichsmessungen wurde ein Micro Probekopf mit $\varnothing 11 \times 15$ mm (Abb. 4.14) verwendet.



Abb. 4.14 Geschwindigkeitsmessflügel (OMNI INSTRUMENTS, 2009)

4.2.3.2 ADV Sonde

Für eine genauere Messung des letztendlich 3-dimensionalen Geschwindigkeitsvektors wurde ein 3-D Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) der Firma Nortek (Abb.4.15) verwendet. Damit konnten die Geschwindigkeitskomponenten in x-, y-, und z- Richtung erfasst werden (NORTEK AS, 2000). Die während einer Messung in einem Messpunkt registrierten analogen Daten wurden über ein Datenerfassungsgerät (Abb. 4.16) zu einem A/D-Wandler (Abb. 4.17) übertragen und von dort zur Weiterverarbeitung einem PC Programm zugeführt.



Abb. 4.15 ADV – Sondenkopf



Abb. 4.16 ADV Datenerfassungsgerät der ADV – Sonde



Abb. 4.17 Analog – Digital Signalwandler, Spider (HBM, 2009)

4.2.3.3 Vergleich von Messflügel und ADV – Sonde

Der Vergleich wurde auf Grund von mittleren Geschwindigkeitsmessungen in der Turbinenebene gemacht.

Diese betragen mit dem Messflügel gemessen durchschnittlich 24 cm/s und mit der ADV- Sonde 23 cm/s. In Prozenten umgerechnet ergibt dies einen Unterschied weniger als 5%. Offensichtlich gibt es in Bezug auf die Messgenauigkeit eine gute Übereinstimmung.

Trotz dieses geringen Unterschieds zwischen den Geräten wurde die ADV Sonde gewählt, um auch die Geschwindigkeit in allen drei Komponenten zur Verfügung zu haben und beurteilen zu können.

4.2.3.4 Probleme bei der Geschwindigkeitsmessung

Die Geschwindigkeitsmessung mittels der ADV – Sonde bereitete einigen Aufwand.

Einerseits war vor Beginn der Messung der jeweilige Messbereich für die zu erwartende Geschwindigkeit lt. Gerätsmanual (NORTEK AS, 2000) zu wählen, wobei man auch die Versuchswassertemperatur zu berücksichtigen hat. Die Stromversorgung des Messwagens führte zu Messproblemen, welche durch entsprechende Erdungsmaßnahmen gelöst werden konnte.

Die Durchführung der Messungen war sehr zeitintensiv, da der Messwagen und die ADV – Sonde aufgrund einer fehlenden Steuerung in jedem Messpunkt von Hand aus positioniert werden musste.

Bei höheren Abflüssen mit $2.Q_A$ war eine oberflächennahe Messung aufgrund der Wellenbildung schwierig, da der obere Messempfänger der Sonde fallweise mit der Luft in Berührung kam.

5. Versuchsdurchführung

Die Versuche wurden in der Flussbaurinne des Wasserbaulabors mit einer Länge von 17 m, einer Breite von 1,7 m und Tiefe von 0,5m durchgeführt. Auf Grund dieser beschränkten Breite und Höhen wurde ein Maßstab von ca. 1:50 festgelegt, damit das Modell auch eingebaut werden konnte.

Die Versuche erfolgten im Zeitraum September bis November 2009.

5.1 Versuchsprogramm

Zur Beantwortung der in der Einleitung angeführten Fragestellungen wurde folgendes Untersuchungsprogramm festgelegt.

In den Versuchen wurde generell die Messung der Strömungsgeschwindigkeiten

- im Oberwasserbereich (s. 5.2.1)
- unmittelbar vor der Rechenebene im Bereich der Turbine 2 (Wehrturbine) und teilweise vor der landseitigen Turbine 1 (s. 5.2.2)
- und vor der Turbine 2 (s. 5.2.3)

für alle in Kapitel 4.1 erwähnten Varianten durchgeführt. Desweiteren erfolgten die Versuchseinstellungen bei zwei unterschiedlichen Oberwasserspiegellagen unter verschiedenen Betriebszuständen.

Die beiden Wasserspiegelkote wurden so festgelegt, dass die höhere eine Überdeckung von 4 cm (Kote ± 0) aufweist und die abgesenkte Stauspiegelkote (Kote -2 cm) nur eine geringe Überdeckung von 2 cm hat. Es sollte außerdem bei der tieferen Stauspiegelkote keine Luftaufnahme auftreten.

Bei den gewählten Oberwasserspiegelverhältnissen wurden verschiedene Betriebszustände untersucht wie:

- Wehrfelder vollkommen geschlossen (Stauspiegel Kote ± 0 und Kote -2 cm)
- Wehrfeld 1 (WF 1) neben Krafthaus, Schütz 1 ist um 8,5 cm von Kote ± 0 abgesenkt, überströmt (Stauspiegel Kote ± 0)
- WF 1 und WF 2, Schütz 1 und 2 sind um 5 cm von Kote ± 0 abgesenkt, überströmt (Stauspiegel Kote ± 0)

Diese Betriebszustände wurden nur für den 2 – Maschinenbetrieb untersucht. Dieser stellt erfahrungsgemäß den maßgebenden Lastfall für die Anströmungsverhältnisse dar.

5.2 Messbereiche

Die Geschwindigkeitsmessungen erfolgten in den drei oben erwähnten Messbereichen – Oberwasser, Rechenebene und Turbinenebene – in einem unterschiedlichen Messraster, dessen Messpunkte so gewählt sind, dass sie die Anströmungsverhältnisse möglichst gut beschreiben sollen. Bei einigen Varianten sind die Messpunkte Oberwasserbereich auch in drei unterschiedlichen Tiefen gemessen worden um ein besseres Strömungsbild zu erhalten.

5.2.1 Oberwasserbereich

Der Oberwasserbereich gliederte sich in einen Messraster mit zwei Zonen. Eine feinmaschige Zone im Vorbodenbereich, und ein gröberes Netz im Fernbereich (Abb. 5.1). In meisten Varianten wurde diese Rasterschema in einer Höhe von $z = 19,5$ cm über Turbinenboden gelegt und die Geschwindigkeit gemessen. In einigen Varianten (A1, A25, A32) erfolgte die Messung im Raster auf drei unterschiedlichen Höhen $z = 13,5$ cm, $19,5$ cm und $24,5$ cm über dem Turbinenboden.

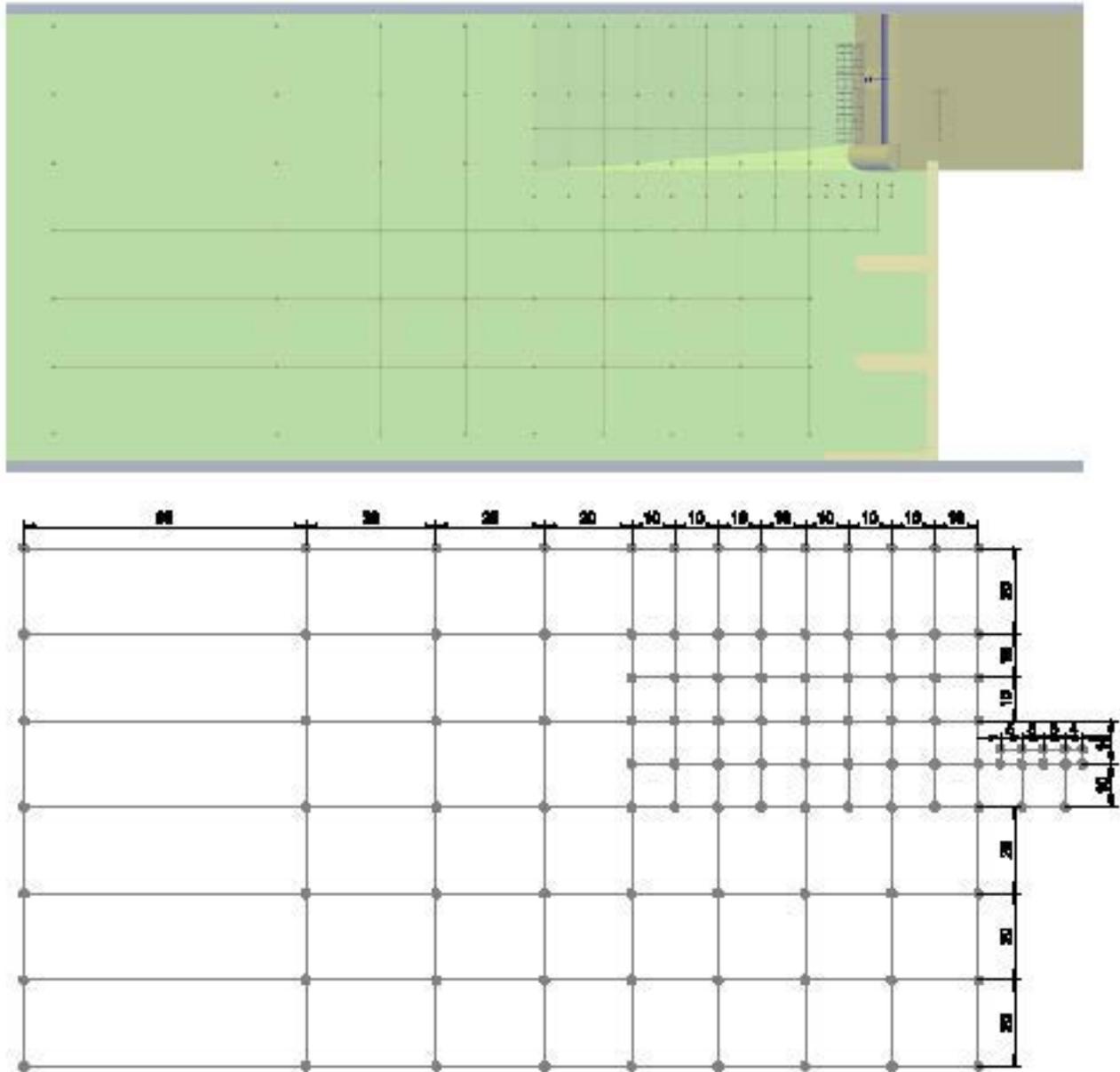


Abb. 5.1 Messraster Oberwasser

5.2.2 Rechenebene

Vor Rechenebene wurde der Raster mit 2 cm so gewählt, dass die Y Koordinaten eines Punktes in dieser und in der Turbinenebene ident sind (Abb. 5.2). Der Messausschnitt überdeckt den gesamten Einlaufbereich von Turbine 2 aber auch ungefähr den halben angrenzenden Einlauf von Turbine 1.

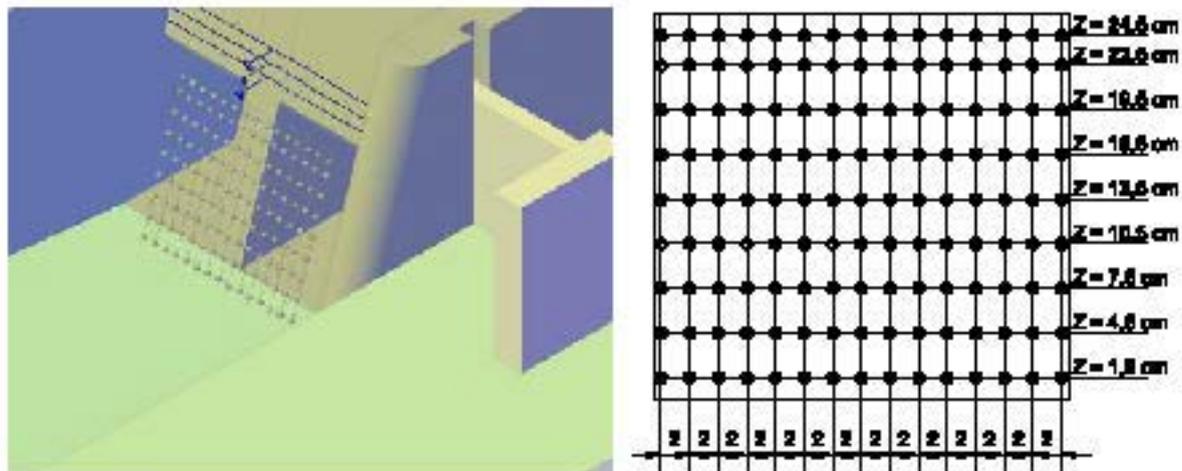


Abb. 5.2 Messraster Rechenebene

5.2.3 Turbinenebene

In der Turbinenmessebene erfolgte die Geschwindigkeitsmessung nach einem Messraster laut IEC (IEC-Code 41, 1991) und ISO (ISO 3354, 2008) (Abb. 5.3) ebenfalls mit 2 cm Rasterabstand. Der Messausschnitt überdeckt den gesamten Einlaufbereich von Turbine 2 die auch durch die Zuströmung am stärksten beeinflusst wird.

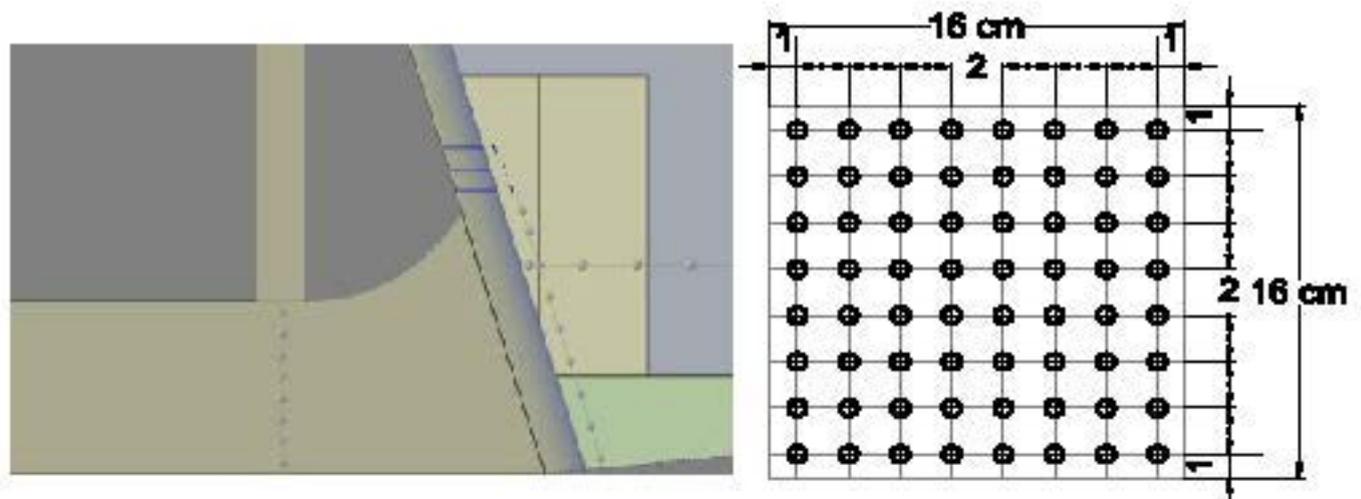


Abb. 5.3 Messraster Turbinenebene

Weitere Details zur Versuchsdurchführung finden sich im Anhang 1.

5.3 Beurteilungskriterien für die Turbinenanströmung

Zur Beurteilung der Güte der Turbinenanströmung werden von den Turbinenherstellern (z.B. Voith – Siemens, Andritz – VA Tech Hydro etc.) verschiedene Kriterien verwendet. Zwei einfache Kriterien wurden auch zur Beurteilung der vorliegenden Untersuchungsergebnisse verwendet, welche auch nachfolgend näher beschrieben sind. Prinzipieller Nachteil aller Kriterien ist, dass die Turbulenz der Strömung im Bezug auf die Geschwindigkeits- und Richtungsschwankung nicht berücksichtigt wird. Es besteht in diesem Bereich noch Entwicklungsbedarf für ein adäquates Beurteilungskriterium, welches auch auf die Dynamik der Anströmung Rücksicht nimmt.

5.3.1 Geschwindigkeitshöhenausgleichswert (α - Wert)

Für den Fall einer verlustfreien Potentialströmung berechnet sich die Energiehöhe H_E nach Bernoulli zu:

$$H_E = \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z \quad \text{wobei} \quad v = \frac{Q}{A} \quad (\text{mittlere Geschwindigkeit})$$

Bei realen Strömungen muss H_E mit den Energieausgleichswerten α (Geschwindigkeitshöhenausgleichswert) und β (Druckhöhenausgleichswert) korrigiert werden. Bei der Turbinenanströmung spielt der β - Korrekturwert in der Regel keine Rolle und kann mit 1 angenommen werden.

Wird die Geschwindigkeit über dem gesamten Querschnitt gleichmäßig verteilt angenommen, so ergibt sich die kinetische Energie zu:

$$E_{kin,theor} = \frac{\rho \cdot dt}{2} \cdot v^3 \cdot A$$

Unter Beachtung der ungleichmäßig verteilten Geschwindigkeiten über den Querschnitt (Abb. 4.8) ergibt sich die tatsächliche kinetische Energie zu:

$$E_{kin,real} = \frac{\rho \cdot dt}{2} \cdot \int_A v_{(A)}^3 \cdot dA$$

Um die wahre Energiehöhe zu erhalten muss die Geschwindigkeitshöhe in der Formel von Bernoulli mit dem α - Wert korrigiert werden:

$$\frac{E_{kin,real}}{E_{kin,theor}} = \alpha = \frac{1}{v^3 \cdot A} \cdot \int_A v_{(A)}^3 \cdot dA$$

Mit $v_{(A)} = v + \Delta v$ und $\int_A \Delta v \cdot dA = 0$ ergibt sich der α - Wert zu:

$$\alpha = \frac{1}{v^3 \cdot A} \cdot \int (v + \Delta v)^3 \cdot dA = 1 + \frac{3}{v^2 \cdot A} \cdot \int (\Delta v)^2 \cdot dA + \frac{1}{v^3 \cdot A} \cdot \int (\Delta v)^3 \cdot dA$$

Der letzte Term in der Formel für α kann vernachlässigt werden.

Der Geschwindigkeitshöhenausgleichswert ist immer größer als 1 und erreicht im Fall der laminaren Rohrströmung den Wert 2. Bei turbulenten Strömungen liegt α zwischen 1,01 und 1,10 (BOLLRICH, 2007).

Da von Seiten der Turbinenhersteller ein möglichst homogenes Geschwindigkeitsfeld erwünscht wird (niedriger α - Wert), ist dieser auch Parameter sehr gut geeignet, um Geschwindigkeitsfelder miteinander vergleichen zu können (GODDE, 1994)(MAYR, 2008).

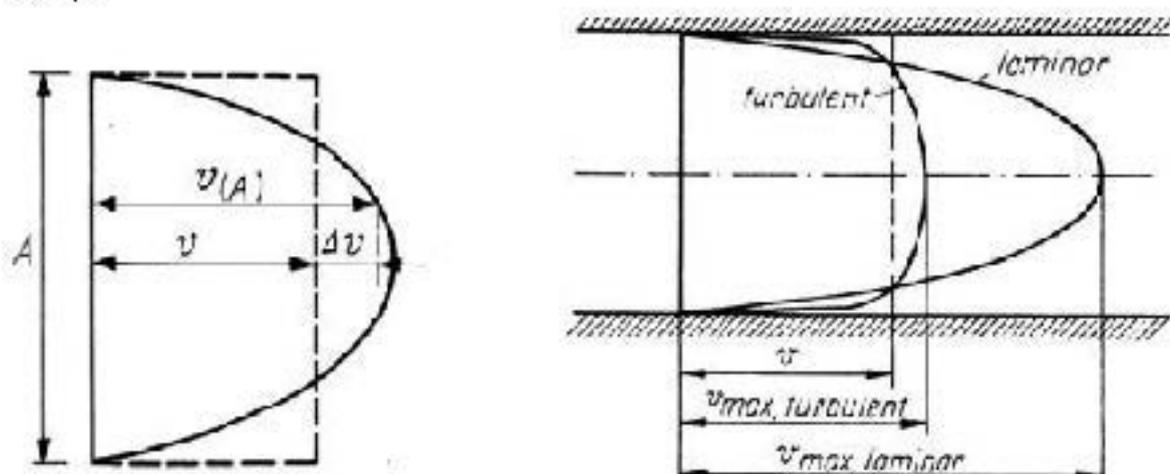


Abb. 5.4 Lokale und mittlere Strömungsgeschwindigkeit im Fließquerschnitt, Geschwindigkeitsverteilung bei turbulenten und laminaren Rohrströmung (BOLLRICH, 2007)

5.3.2 Kriterium nach Fisher und Franke

Fisher und Franke haben 1987 an einem internationalen Kongress ihre Kriterien dargestellt. Sie wurden anhand von Geschwindigkeitsverteilungen ermittelt, die auf zahlreichen Modellversuchen an verschiedenen Turbinentypen mit unterschiedlichen Einlaufgeometrien basieren. Auf Grund dieser Untersuchungen wurden die Beurteilungsmerkmale „*vermutlich leistungsmindernd*“ und „*vermutlich nichtleistungsmindernd*“ diagrammatisch definiert. Das Diagramm setzt die lokale Geschwindigkeitsabweichung vom Mittelwert in Relation zur davon betroffenen anteiligen Querschnittsfläche. Es werden dabei die Geschwindigkeiten für die Geschwindigkeitsabweichung unterhalb vom Mittelwert vom kleinsten Wert in Reihe aufsteigend zum Maximalwert geordnet und für die Geschwindigkeitsabweichung oberhalb vom Mittelwert erfolgte die umgekehrte Reihung. Geringere Abweichungen können demnach eine größere Fläche betreffen. Größere Abweichungen sollten sich auf einen kleineren Flächenbereich begrenzen (Godde, 1994). Liegen die Werte innerhalb des dargestellten Grenzbereiches (Abb. 5.5), dann ist nach Fisher und Franke mit keiner Leistungsverminderung zu rechnen.

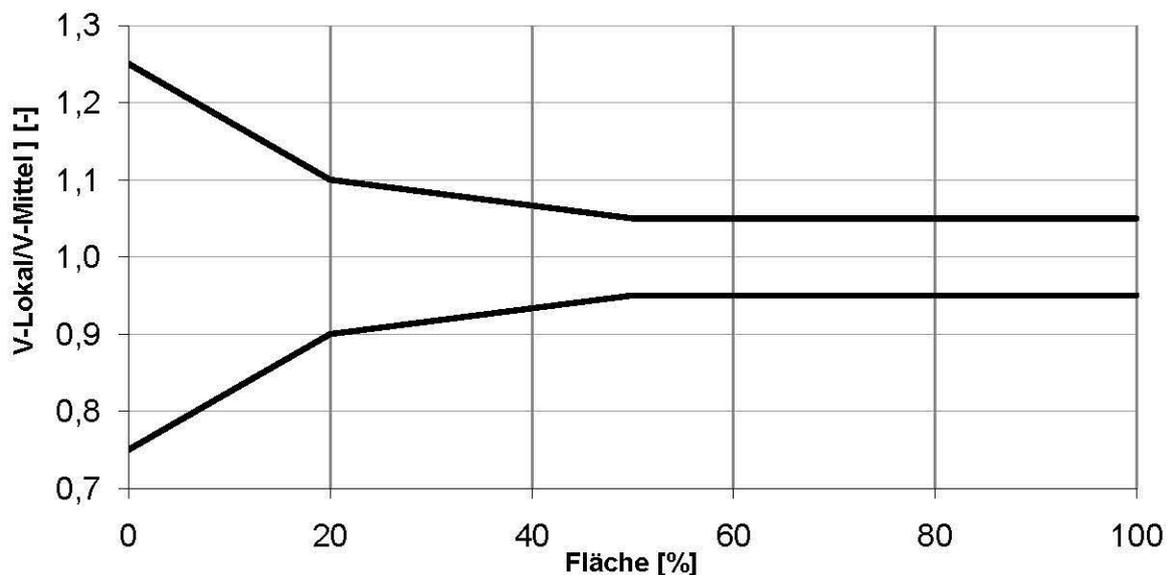


Abb. 5.5 Anforderungsdiagramm nach Fisher und Franke

Das Fisher und Franke Kriterium wurde im Rahmen des Forschungsprojekts weiter entwickelt. Diese modifizierte Methode berücksichtigt die Lage der gemessenen Geschwindigkeitswerte zueinander, d.h. die im ursprünglichen Verfahren nach der Größe geordneten Geschwindigkeitswerte werden hier realitätsbezogener besser in kompakten Zonen (flächenbezogen in z.B. 1x2, 2x2, 2x3, 3x3, 2x4, 3x4, 4x4, 5x5, 6x6, 7x7 und 8x8 Matrizen) berücksichtigt. Dabei werden die jeweiligen minimalen bzw. maximalen Verhältniswerte der entsprechenden flächenbezogenen Mittelwerte zum gesamten Mittelwert in das Fisher Franke Diagramm eingetragen.

6. Ergebnisse der Geschwindigkeitsmessung

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Geschwindigkeitsmessungen für die 18 untersuchten Varianten (s. Kap. 4.1.3) dargestellt. Prinzipiell werden zuerst die Versuchsbedingungen tabellarisch angeführt und danach erfolgt die Beurteilung der Strömung im Oberwasser und Krafthausbereich.

6.1 Variante A1

Oberwassermessung	Nein	seitlicher Vorboden geneigt	Nein
Oberwassermessung detailliert	Ja	Trennpfeiler	Halbkreis
Rechenebene Messung	Ja	Abflusswassermenge	Q
Turbine Ebene Messung (T2)	Ja	Obere Wasserspiegel	± 0
Vorbodentyp	Flach	Hochwasserabfluss	Nein

Tab. 6.1 Basisdaten der Variante A1

Die Stromlinien bei dieser Variante zeigen ein typisches Anströmungsbild (Abb. 6.1) eines Block – Kraftwerks. Durch die starke Querkomponente vor dem Einlauf der Turbine 2 wird die Geschwindigkeitsverteilung in der Rechenebene (Abb. 6.2) davor und auch in der Turbinenebene (Abb. 6.3) beeinflusst. Zusätzlich zu dieser Strömungsumlenkung reißt die Strömung durch den seitlichen Höhenversatz des Vorbodens ab, was ebenfalls die Anströmverhältnisse zur Turbine verschlechtert.

In Tabelle 6.2 sieht man deutlich wie ungleichmäßig die Geschwindigkeit in der Turbine 2 verteilt ist, und auch den Unterschied zwischen minimaler und maximaler Geschwindigkeit.

Die Kriterien von Fisher und Franke werden nach dem ursprünglichen Verfahren im Bereich von 20% bis 60% der anteiligen Fläche knapp nicht erfüllt. Dagegen liegen die Werte der modifizierten Methode innerhalb der definierten Grenzen (Abb. 6.4). Die Anströmung kann daher insgesamt als mittelmäßig beurteilt werden.

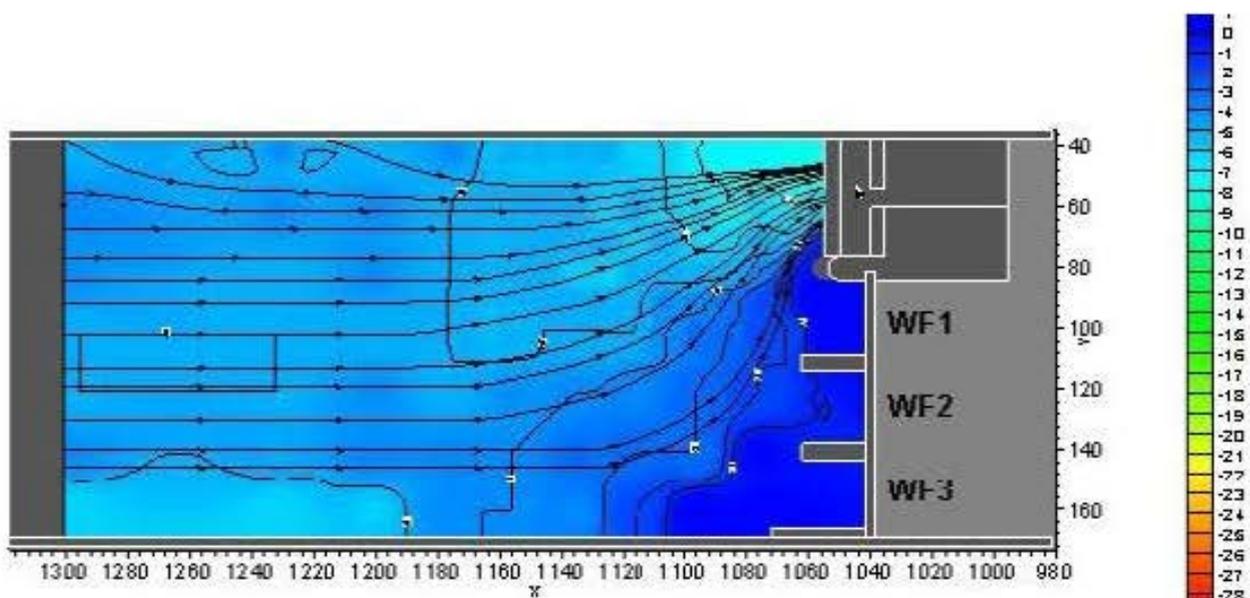


Abb. 6.1 Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A1)

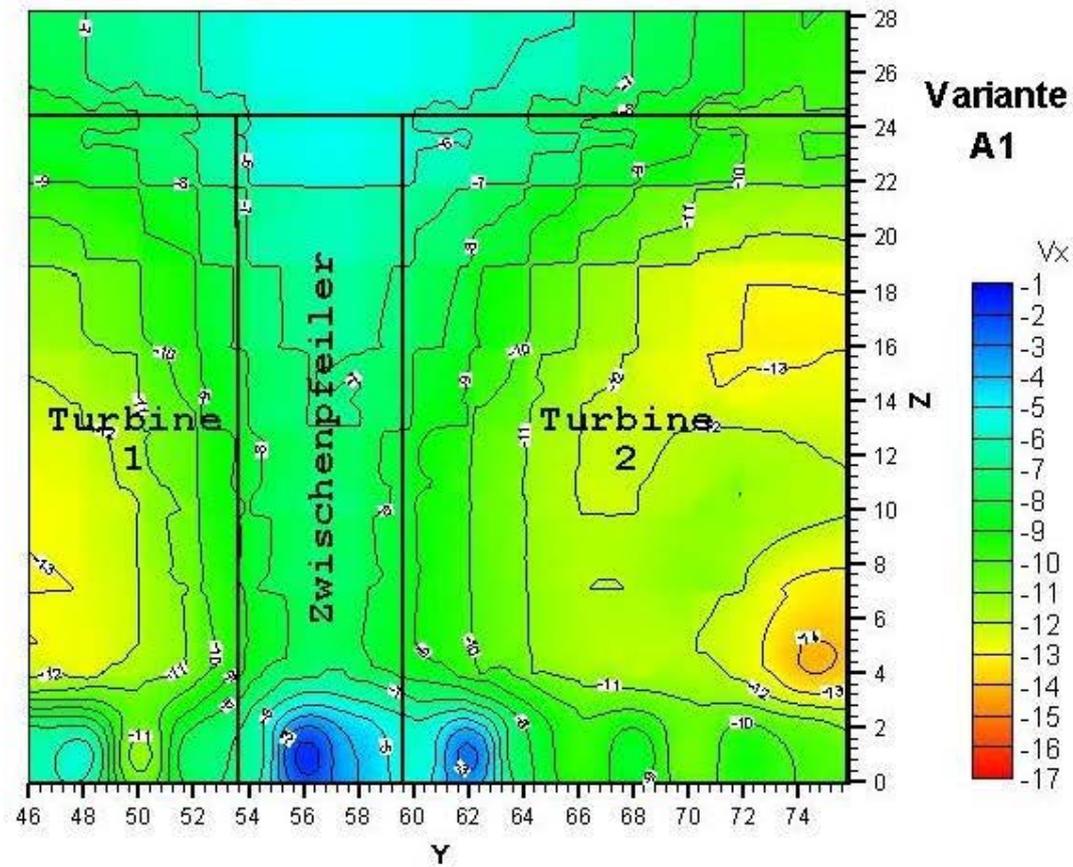


Abb. 6.2 Geschwindigkeitsverteilung Rechebene (Variante A1)

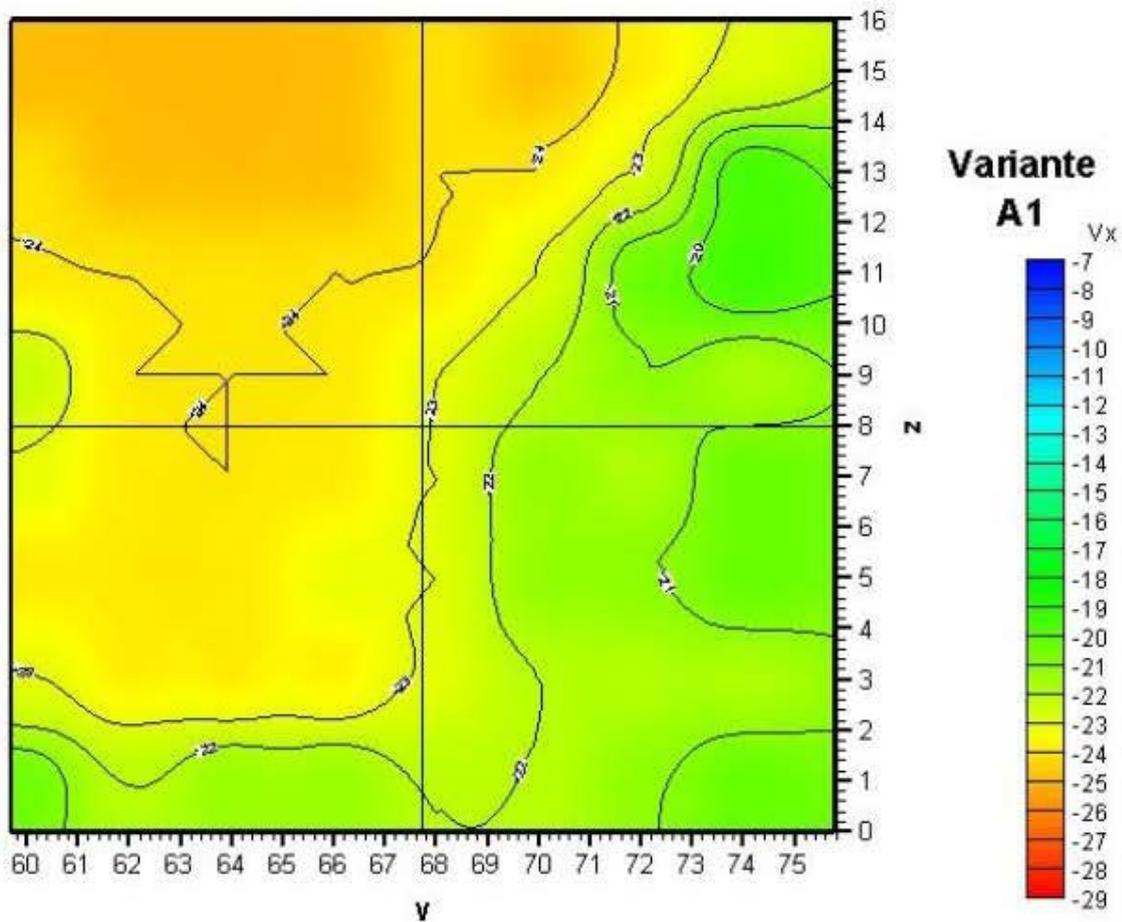


Abb. 6.3 Geschwindigkeitsverteilung Turbine 2 (Variante A1)

Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2

Variante A1

Gemessene Modellwerte

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-0,259	-0,259	-0,253	-0,256	-0,250	-0,251	-0,249	-0,232
2	-0,249	-0,252	-0,252	-0,256	-0,247	-0,247	-0,232	-0,194
3	-0,247	-0,247	-0,247	-0,250	-0,244	-0,238	-0,202	-0,192
4	-0,228	-0,243	-0,244	-0,244	-0,238	-0,220	-0,218	-0,223
5	-0,231	-0,242	-0,242	-0,241	-0,230	-0,212	-0,222	-0,207
6	-0,241	-0,241	-0,240	-0,239	-0,234	-0,220	-0,213	-0,203
7	-0,239	-0,241	-0,244	-0,242	-0,235	-0,223	-0,224	-0,222
8	-0,204	-0,220	-0,219	-0,218	-0,229	-0,226	-0,219	-0,206

Quadrant 1 V1mittel -0,249	Mittelwert Min. Wert Max. Wert	Quadrant 2 V2mittel -0,230
Quadrant 3 V3mittel -0,234	$\alpha=1,0149$	Quadrant 4 V4mittel -0,220
Vgesamt, mittel -0,233		Vmin(10%) -0,210 Vmax(10%) -0,257

Tab. 6.2 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A1)

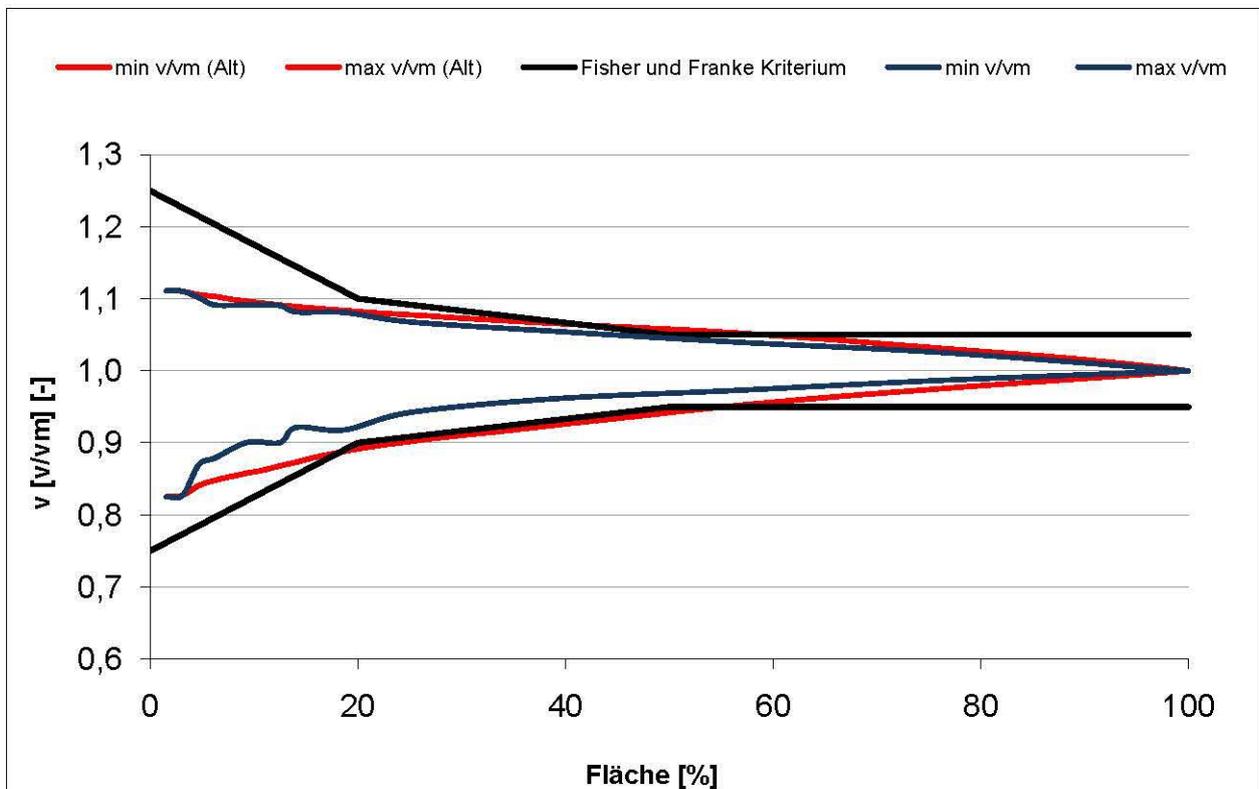


Abb. 6.4 Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A1)

6.2 Variante A2

Oberwassermessung	Ja	seitlicher Vorboden geneigt	Ja
Oberwassermessung detailliert	Nein	Trennpfeiler	Halbkreis
Rechenebene Messung	Ja	Abflusswassermenge	Q
Turbine Ebene Messung (T2)	Ja	Obere Wasserspiegel	± 0
Vorbodentyp	Flach	Hochwasserabfluss	Nein

Tab. 6.3 Basisdaten der Variante A2

Das Anströmungsbild ist im Oberwasserbereich ähnlich wie bei Variante A1 mit entsprechender umgelenkter Zuströmung aus dem Wehrfeldbereich (Abb. 6.5), welche die Geschwindigkeitsverteilung in der Rechenebene (Abb. 6.6) und in der Turbinenebene (Abb. 6.7) negativ beeinflusst. Weiters wird durch diese umgelenkte Strömung ein Horizontalwirbel durch den seitlich angerampten Höhenversatz des Vorbodens induziert, was zusätzlich die Anströmverhältnisse zur Turbine verschlechtert.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 6.4 ausgewertet und man sieht auch die großen Geschwindigkeitsabweichungen in dieser Zone. Die Grenzbedingungen von Fisher und Franke werden nach der modifizierten Auswertungsmethode bis zu einem Flächenanteil von 35% und nach der konservativen Methode bis fast zu 70% der Fläche nicht erreicht (Abb. 6.8). Die Anströmung kann daher als sehr schlecht beurteilt werden.

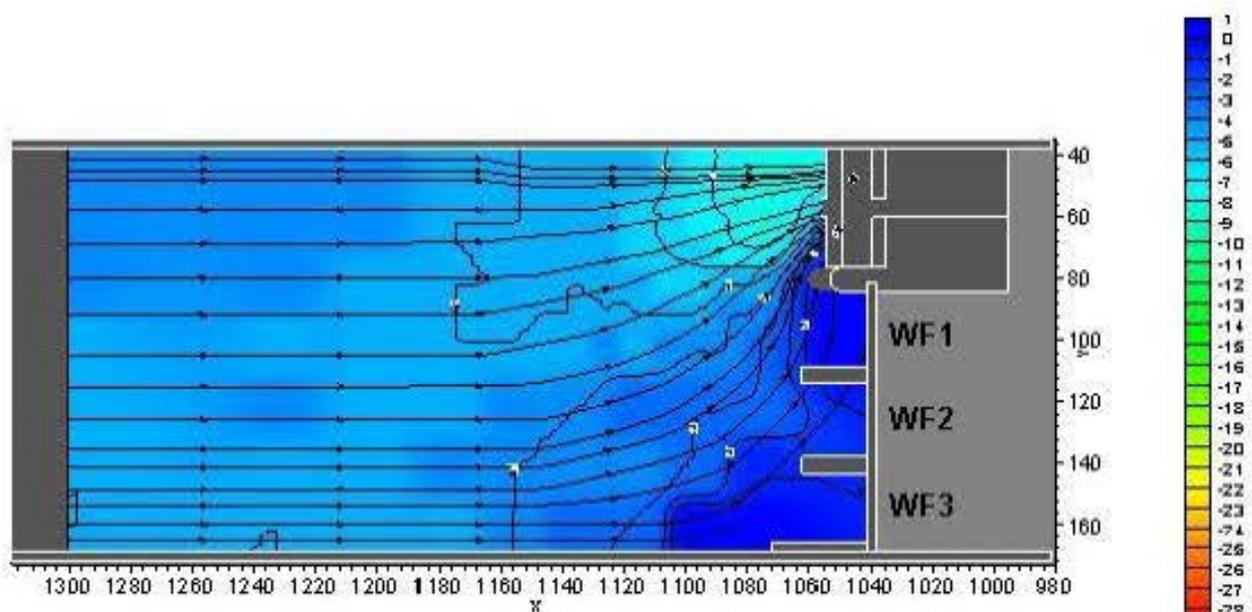


Abb. 6.5 Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A2)

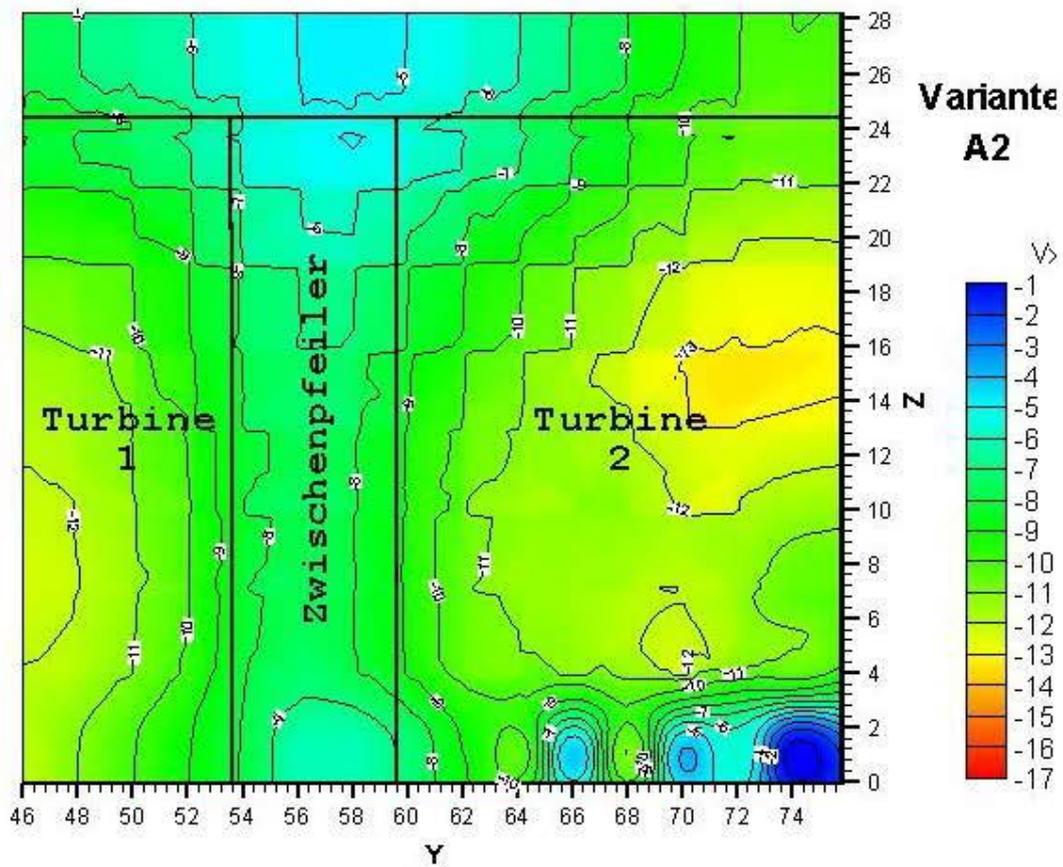


Abb. 6.6 Geschwindigkeitsverteilung Rechebene (Variante A2)

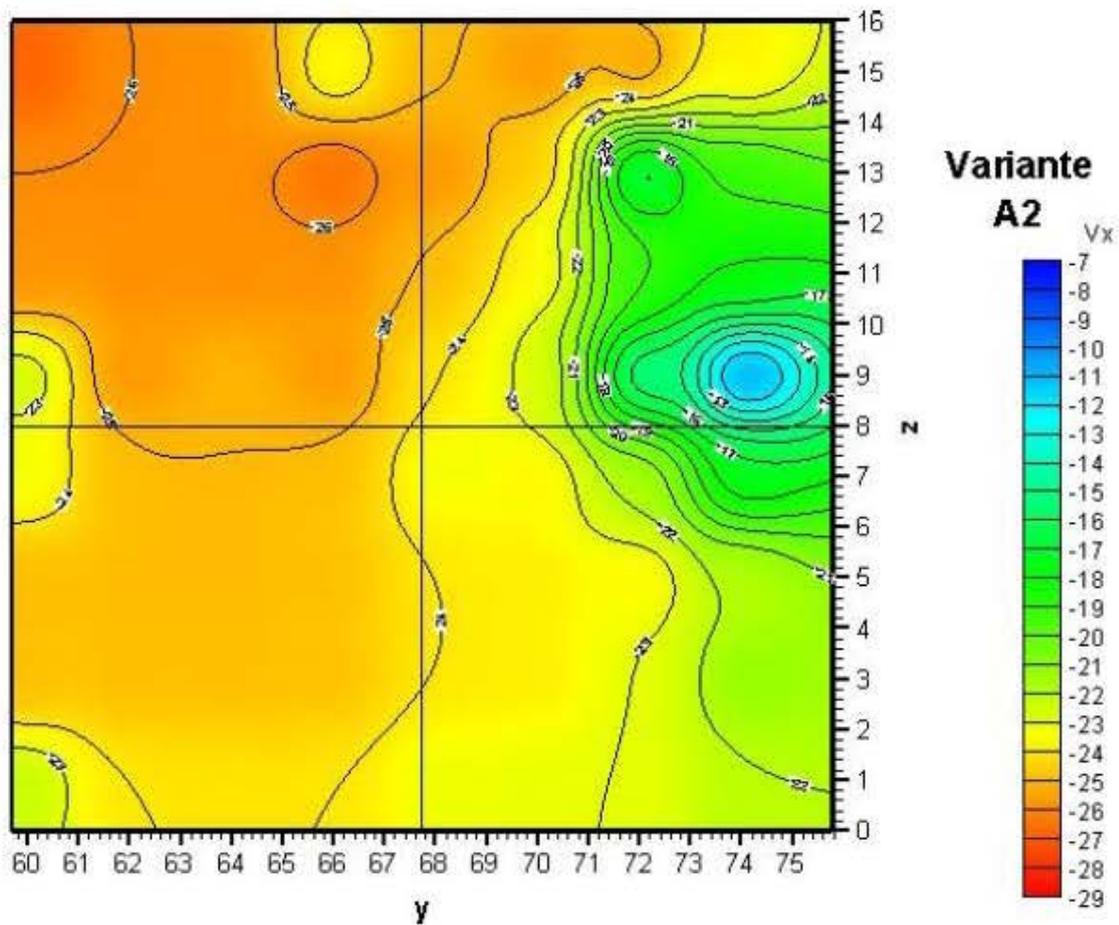


Abb. 6.7 Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A2)

Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2

Variante A2

Gemessene Modellwerte

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-0,271	-0,265	-0,264	-0,236	-0,257	-0,269	-0,260	-0,240
I	-0,246	-0,290	-0,223	-0,286	-0,236	-0,284	-0,210	-0,256
	-0,278	-0,202	-0,286	-0,251	-0,281	-0,237	-0,266	-0,197
2	-0,264	-0,267	-0,267	-0,273	-0,263	-0,258	-0,159	-0,195
II	-0,250	-0,279	-0,240	-0,291	-0,253	-0,279	-0,258	-0,286
	-0,285	-0,232	-0,279	-0,229	-0,322	0,189	-0,239	-0,027
3	-0,262	-0,265	-0,266	-0,266	-0,258	-0,246	-0,198	-0,187
III	-0,239	-0,277	-0,244	-0,283	-0,253	-0,279	-0,252	-0,279
	-0,271	-0,205	-0,254	0,048	-0,257	-0,016		
4	-0,230	-0,265	-0,259	-0,262	-0,248	-0,239	-0,148	-0,098
IV	-0,201	-0,253	-0,247	-0,279	-0,251	-0,271	-0,245	-0,272
	-0,269	-0,222	-0,269	-0,183	-0,252	0,154	-0,310	0,189
5	-0,230	-0,255	-0,257	-0,259	-0,234	-0,241	-0,229	-0,175
I	-0,199	-0,257	-0,235	-0,275	-0,242	-0,271	-0,244	-0,271
	-0,262	-0,199	-0,264	-0,194	-0,276	-0,177	-0,250	0,149
6	-0,255	-0,255	-0,255	-0,255	-0,248	-0,242	-0,242	-0,224
II	-0,242	-0,266	-0,240	-0,272	-0,244	-0,264	-0,244	-0,266
	-0,274	-0,204	-0,270	-0,202	-0,270	-0,216	-0,258	-0,188
7	-0,255	-0,256	-0,256	-0,259	-0,248	-0,242	-0,239	-0,219
III	-0,242	-0,267	-0,238	-0,276	-0,242	-0,266	-0,249	-0,272
	-0,275	-0,223	-0,272	-0,197	-0,287	-0,177	-0,258	-0,059
8	-0,229	-0,240	-0,245	-0,242	-0,239	-0,230	-0,230	-0,220
IV	-0,205	-0,247	-0,169	-0,272	-0,226	-0,261	-0,222	-0,256
	-0,253	-0,219	-0,245	-0,206	-0,252	-0,205	-0,239	-0,196

<p>Quadrant 1 V1mittel -0,261</p>	<p>Mittelwert</p> <p>Min. Wert Max. Wert</p>	<p>Quadrant 2 V2mittel -0,220</p>
<p>Quadrant 3 V3mittel -0,250</p>	<p>$\alpha=1,050913$</p>	<p>Quadrant 4 V4mittel -0,231</p>
<p>Vgesamt, mittel -0,241</p>		<p>Vmin(10%) -0,217</p> <p>Vmax(10%) -0,265</p>

Tab. 6.4 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A2)

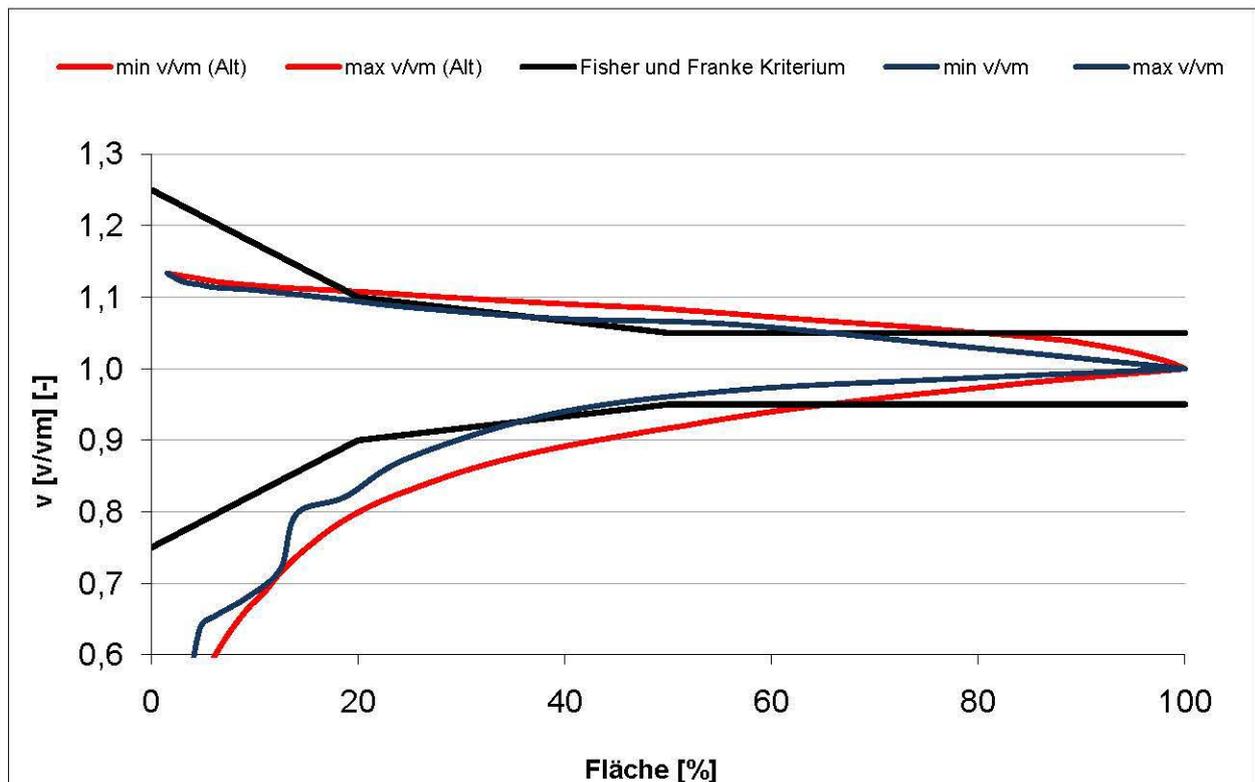


Abb. 6.8 Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A2)

6.3 Variante A5

Oberwassermessung	Ja	seitlicher Vorboden geneigt	Ja
Oberwassermessung detailliert	Nein	Trennpfeiler	Halbkreis
Rechenebene Messung	Ja	Abflusswassermenge	2Q
Turbine Ebene Messung (T2)	Ja	Obere Wasserspiegel	± 0
Vorbodentyp	Flach	Hochwasserabfluss	WF 1 & 2

Tab. 6.5 Basisdaten der Variante A5

Das Anströmungsbild im Oberwasser wird durch die gleichzeitige Hochwasserabfuhr über beide Wehrfelder vergleichmäßig (Abb. 6.9). Die Rechen – und Turbinenanstromung erfolgt im Wesentlichen vom Oberwasser und wird nicht durch die seitliche Zuströmung aus dem Wehrfeldbereich beeinflusst.

Durch den seitlich angerampten Höhenversatz des Vorbodens, sind die Anströmverhältnisse im unteren Einlaufbodenbereich des Rechenquerschnitts leicht verschlechtert (Abb. 6.10). Die Strömungsverhältnisse verbessern sich aber im Verlauf zur Turbinenebene (Abb. 6.11).

In Tabelle 6.6 sieht man die Verteilung der Geschwindigkeiten in dieser Zone. Die Grenzbedingungen von Fisher und Franke werden nach beiden Methoden eingehalten (Abb. 6.12). Die Krafthausanstromung kann daher als sehr gut beurteilt werden.

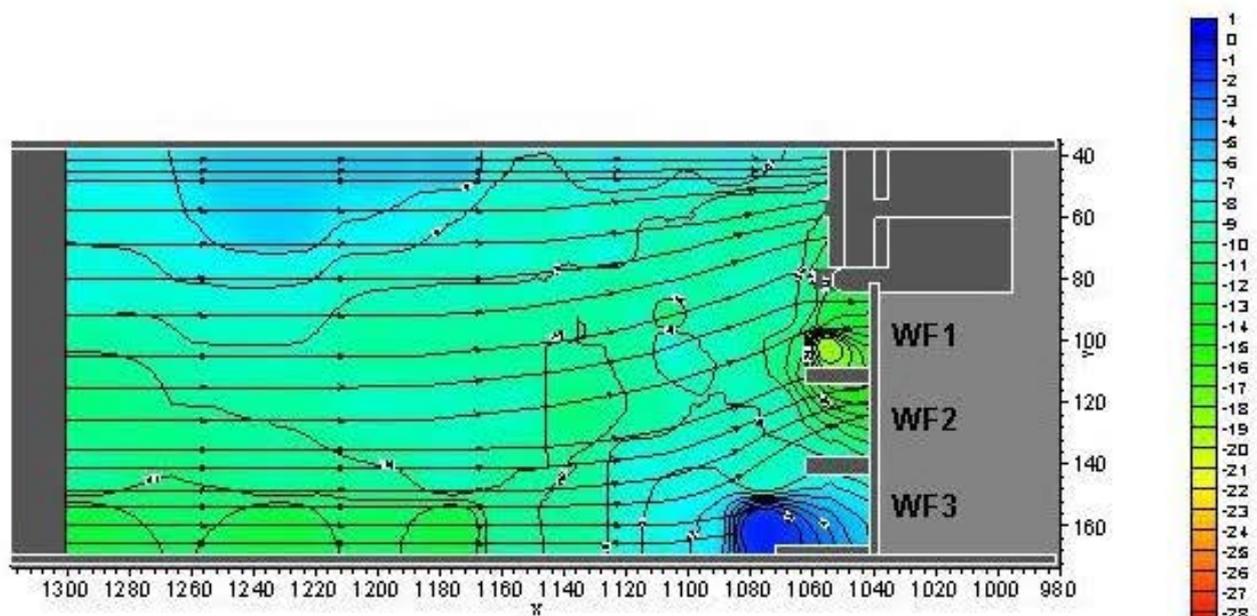


Abb. 6.9 Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A5)

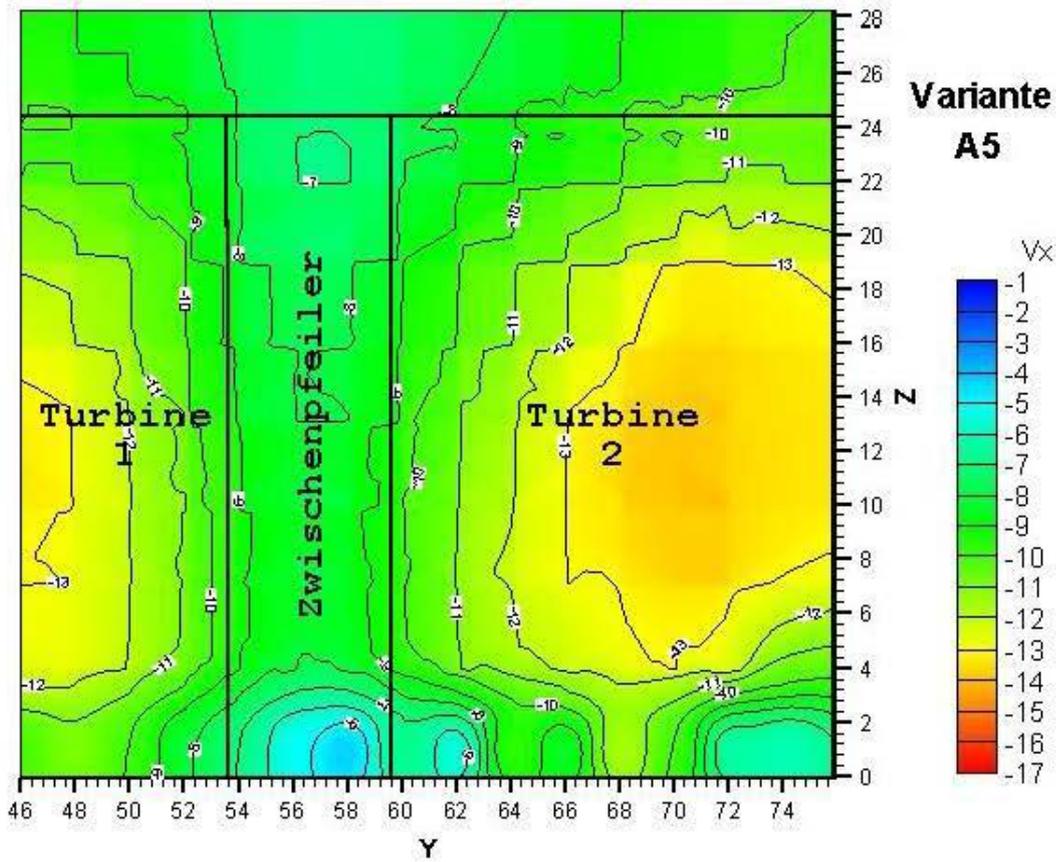


Abb. 6.10 Geschwindigkeitsverteilung Rechenebene (Variante A5)

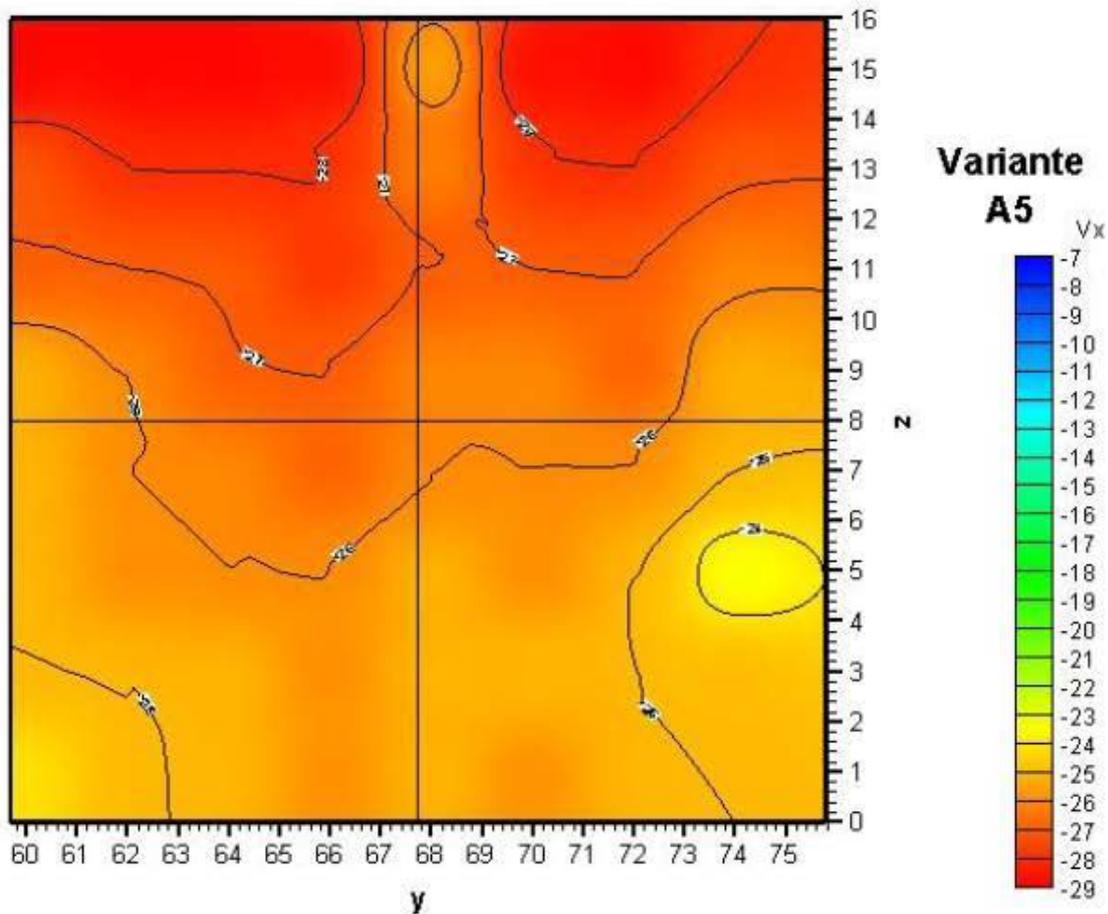


Abb. 6.11 Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A5)

Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2

Variante A5

Gemessene Modellwerte

	1	2	3	4	5	6	7	8	
I	1	-0,292	-0,294	-0,291	-0,293	-0,260	-0,290	-0,290	-0,288
		-0,276 -0,301	-0,285 -0,300	-0,276 -0,300	-0,282 -0,300	-0,292 -0,203	-0,297 -0,271	-0,297 -0,280	-0,297 -0,269
II	2	-0,280	-0,289	-0,283	-0,288	-0,266	-0,285	-0,284	-0,273
		-0,270 -0,294	-0,280 -0,297	-0,273 -0,293	-0,278 -0,297	-0,294 -0,194	-0,295 -0,279	-0,292 -0,274	-0,291 -0,253
III	3	-0,276	-0,278	-0,273	-0,281	-0,274	-0,274	-0,278	-0,268
		-0,262 -0,287	-0,267 -0,289	-0,262 -0,287	-0,271 -0,287	-0,288 -0,252	-0,283 -0,268	-0,289 -0,267	-0,288 -0,254
IV	4	-0,251	-0,266	-0,271	-0,274	-0,263	-0,269	-0,272	-0,255
		-0,225 -0,269	-0,256 -0,275	-0,259 -0,280	-0,261 -0,283	-0,288 -0,199	-0,277 -0,257	-0,283 -0,257	-0,277 -0,221
	5	-0,253	-0,265	-0,266	-0,270	-0,263	-0,266	-0,269	-0,257
		-0,223 -0,263	-0,256 -0,272	-0,256 -0,278	-0,260 -0,283	-0,280 -0,229	-0,280 -0,252	-0,284 -0,254	-0,281 -0,207
	6	-0,258	-0,262	-0,261	-0,267	-0,256	-0,262	-0,256	-0,234
		-0,244 -0,270	-0,249 -0,271	-0,255 -0,269	-0,256 -0,282	-0,276 -0,213	-0,271 -0,245	-0,272 -0,233	-0,276 -0,162
	7	-0,260	-0,259	-0,257	-0,266	-0,255	-0,260	-0,253	-0,250
		-0,249 -0,270	-0,247 -0,272	-0,249 -0,267	-0,254 -0,274	-0,278 -0,207	-0,275 -0,250	-0,272 -0,233	-0,275 -0,225
	8	-0,249	-0,251	-0,253	-0,264	-0,256	-0,263	-0,257	-0,251
		-0,221 -0,266	-0,233 -0,266	-0,240 -0,268	-0,249 -0,277	-0,275 -0,205	-0,278 -0,252	-0,273 -0,237	-0,265 -0,239

Quadrant 1 V1mittel	-0,280	Mittelwert Min. Wert Max. Wert	Quadrant 2 V2mittel	-0,274
Quadrant 3 V3mittel	-0,260		Quadrant 4 V4mittel	-0,257
Vgesamt, mittel			Vmin(10%) -0,241	
			Vmax(10%) -0,295	

$\alpha=1,00735$

Tab. 6.6 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A5)

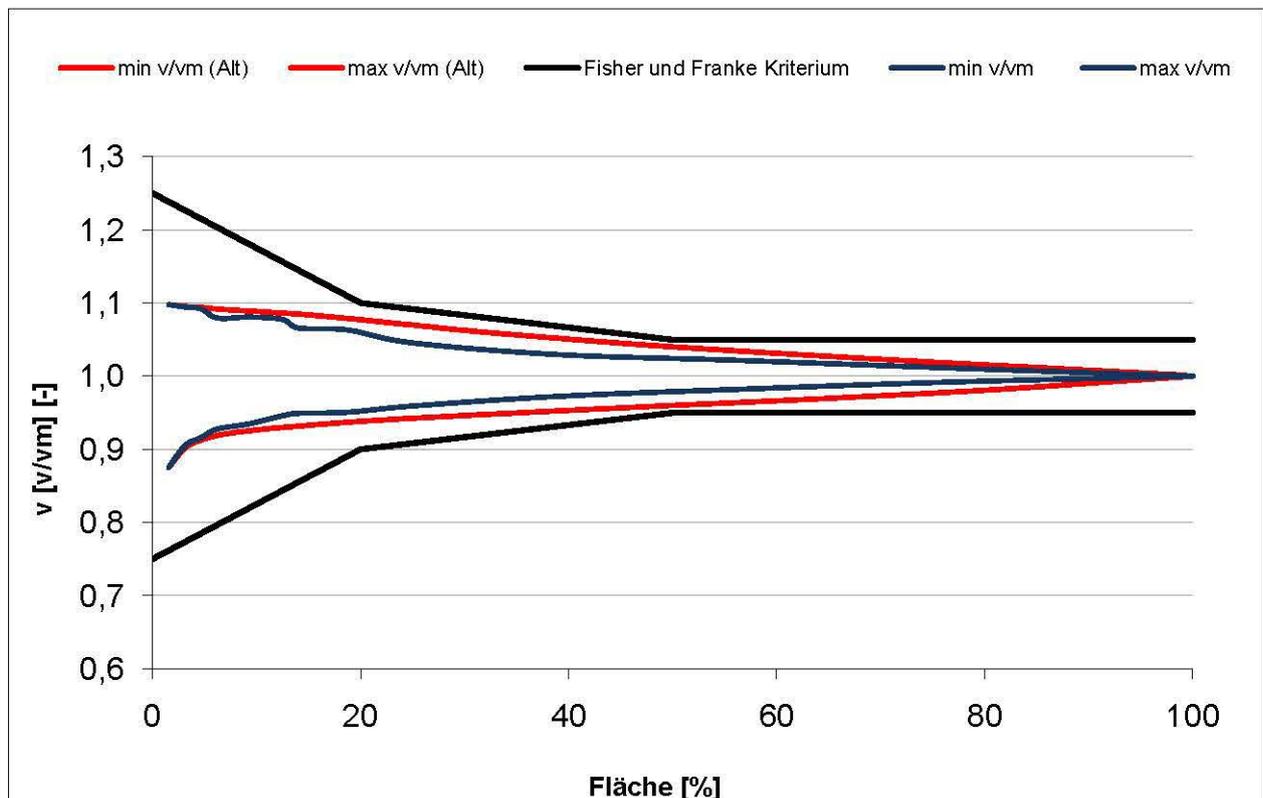


Abb. 6.12 Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A5)

6.4 Variante A7

Oberwassermessung	Ja	seitlicher Vorboden geneigt	Ja
Oberwassermessung detailliert	Nein	Trennpfeiler	Halbkreis
Rechenebene Messung	Ja	Abflusswassermenge	2Q
Turbine Ebene Messung (T2)	Ja	Obere Wasserspiegel	± 0
Vorbodentyp	Flach	Hochwasserabfluss	WF 1

Tab. 6.7 Basisdaten der Variante A7

Das Anströmungsbild im Oberwasser wird durch die gleichzeitige Hochwasserabfuhr über das Wehrfeld 1 ebenfalls wie bei Variante A5 vergleichmäßig (Abb. 6.13), wobei im Bereich vor dem Wehrfeld 1 die größten Geschwindigkeiten auftreten. Die Rechen – und Turbinenanströmung wird durch die fehlende seitliche Zuströmung aus dem Wehrfeldbereich nicht wesentlich beeinträchtigt.

Durch den seitlich angerampten Höherversatz des Vorbodens ist die Anströmung im unteren Rechenbereich beeinflusst (Abb. 6.14). Die Strömungsverhältnisse verbessern sich aber in Richtung Turbine (Abb. 6.15). Die Turbinenebene ist gut angeströmt und hat nur geringe Abweichungen von der mittleren Geschwindigkeit.

In Tabelle 6.8 ist die Verteilung der Geschwindigkeiten in dieser Zone dargestellt. Die Grenzbedingungen von Fisher und Franke werden nach beiden Methoden erfüllt (Abb. 6.16). Die Krafthausanströmung kann daher auch hier noch als sehr gut beurteilt werden.

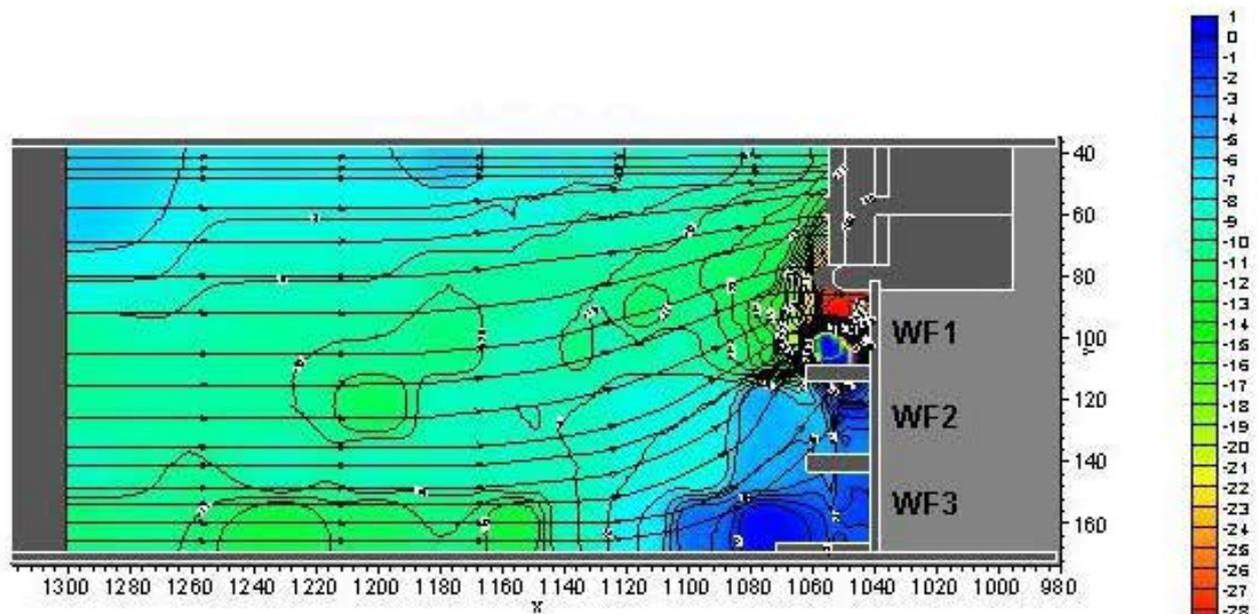


Abb. 6.13 Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A7)

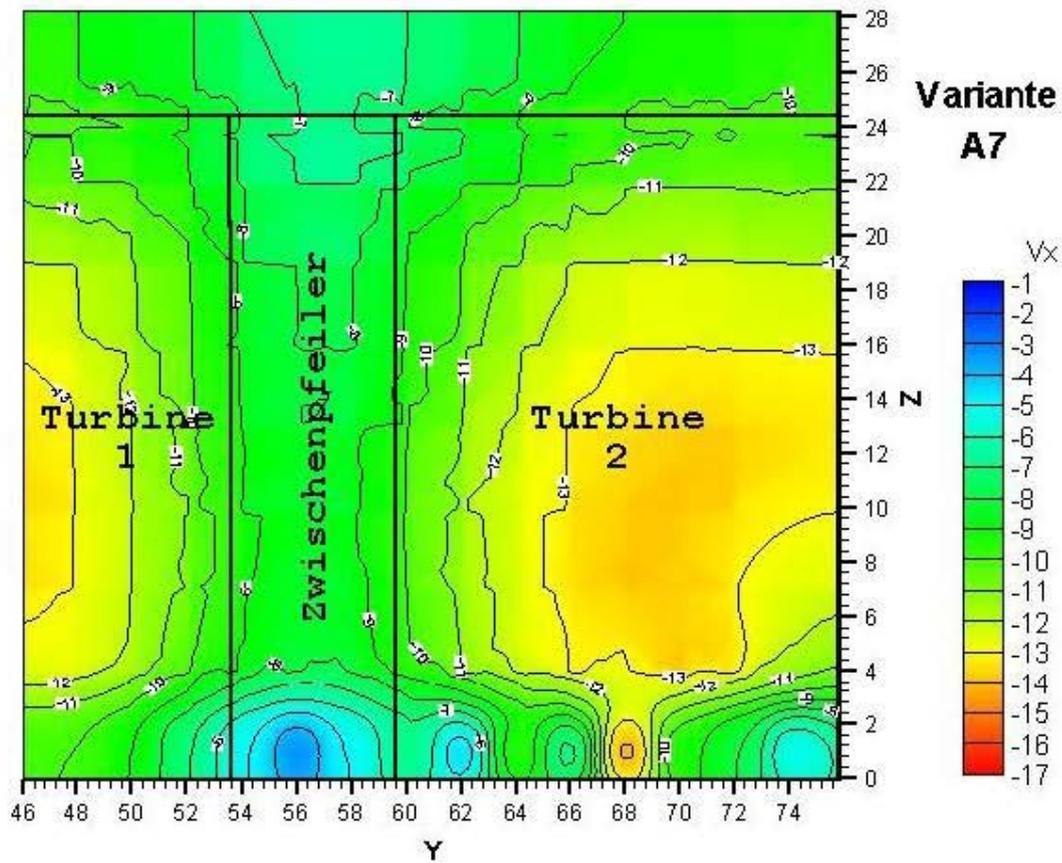


Abb. 6.14 Geschwindigkeitsverteilung Rechenebene (Variante A7)

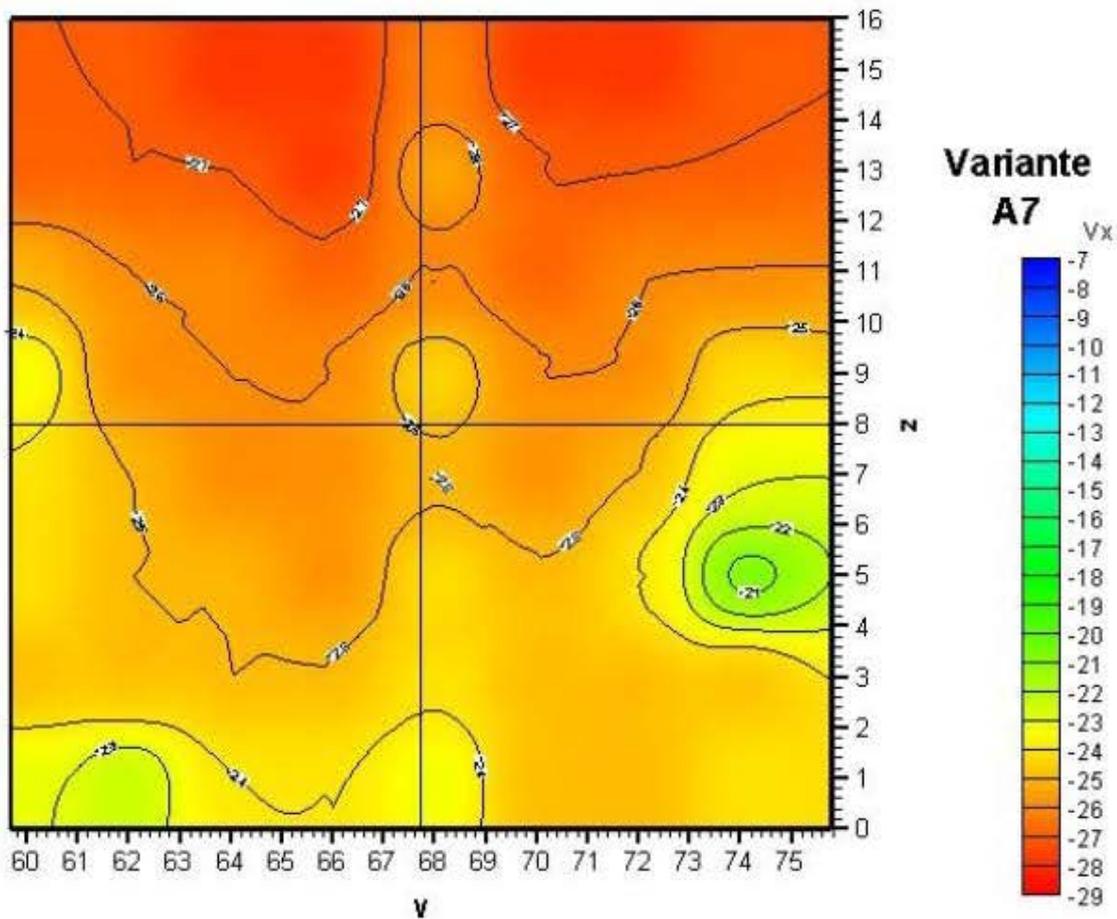


Abb. 6.15 Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A7)

Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2

Variante A7

Gemessene Modellwerte

	1	2	3	4	5	6	7	8	
I	1	-0,279	-0,278	-0,283	-0,286	-0,268	-0,284	-0,283	-0,277
	2	-0,254 -0,293	-0,257 -0,291	-0,263 -0,295	-0,256 -0,300	-0,293 -0,197	-0,296 -0,275	-0,295 -0,268	-0,289 -0,252
II	3	-0,276	-0,275	-0,279	-0,282	-0,251	-0,277	-0,276	-0,276
	4	-0,266 -0,291	-0,268 -0,281	-0,271 -0,290	-0,272 -0,290	-0,282 -0,162	-0,287 -0,269	-0,284 -0,268	-0,288 -0,261
III	5	-0,255	-0,270	-0,269	-0,273	-0,262	-0,272	-0,268	-0,264
	6	-0,211 -0,275	-0,259 -0,282	-0,259 -0,280	-0,264 -0,285	-0,284 -0,217	-0,281 -0,264	-0,276 -0,258	-0,277 -0,246
IV	7	-0,237	-0,263	-0,266	-0,269	-0,243	-0,267	-0,264	-0,248
	8	-0,204 -0,262	-0,245 -0,275	-0,258 -0,277	-0,257 -0,279	-0,283 -0,150	-0,279 -0,260	-0,275 -0,252	-0,270 -0,218
III	5	-0,247	-0,260	-0,261	-0,264	-0,252	-0,261	-0,255	-0,237
	6	-0,211 -0,262	-0,238 -0,271	-0,252 -0,269	-0,252 -0,273	-0,273 -0,209	-0,272 -0,256	-0,271 -0,222	-0,275 -0,173
IV	7	-0,244	-0,254	-0,258	-0,264	-0,246	-0,255	-0,242	-0,202
	8	-0,206 -0,259	-0,244 -0,265	-0,250 -0,264	-0,245 -0,275	-0,274 -0,189	-0,264 -0,241	-0,266 -0,218	-0,273 -0,084
III	7	-0,253	-0,252	-0,256	-0,259	-0,248	-0,255	-0,254	-0,257
	8	-0,232 -0,263	-0,241 -0,260	-0,248 -0,268	-0,251 -0,267	-0,280 -0,209	-0,267 -0,240	-0,265 -0,237	-0,278 -0,234
III	8	-0,239	-0,229	-0,245	-0,249	-0,235	-0,255	-0,250	-0,247
	8	-0,215 -0,252	-0,201 -0,250	-0,231 -0,257	-0,224 -0,269	-0,267 -0,133	-0,272 -0,240	-0,266 -0,229	-0,265 -0,225

Quadrant 1 V1mittel -0,271	Mittelwert Min. Wert Max. Wert	Quadrant 2 V2mittel -0,267
Quadrant 3 V3mittel -0,252	$\alpha = 1,010604$	Quadrant 4 V4mittel -0,247
Vgesamt, mittel -0,259		Vmin(10%) -0,234 Vmax(10%) -0,285

Tab. 6.8 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A7)

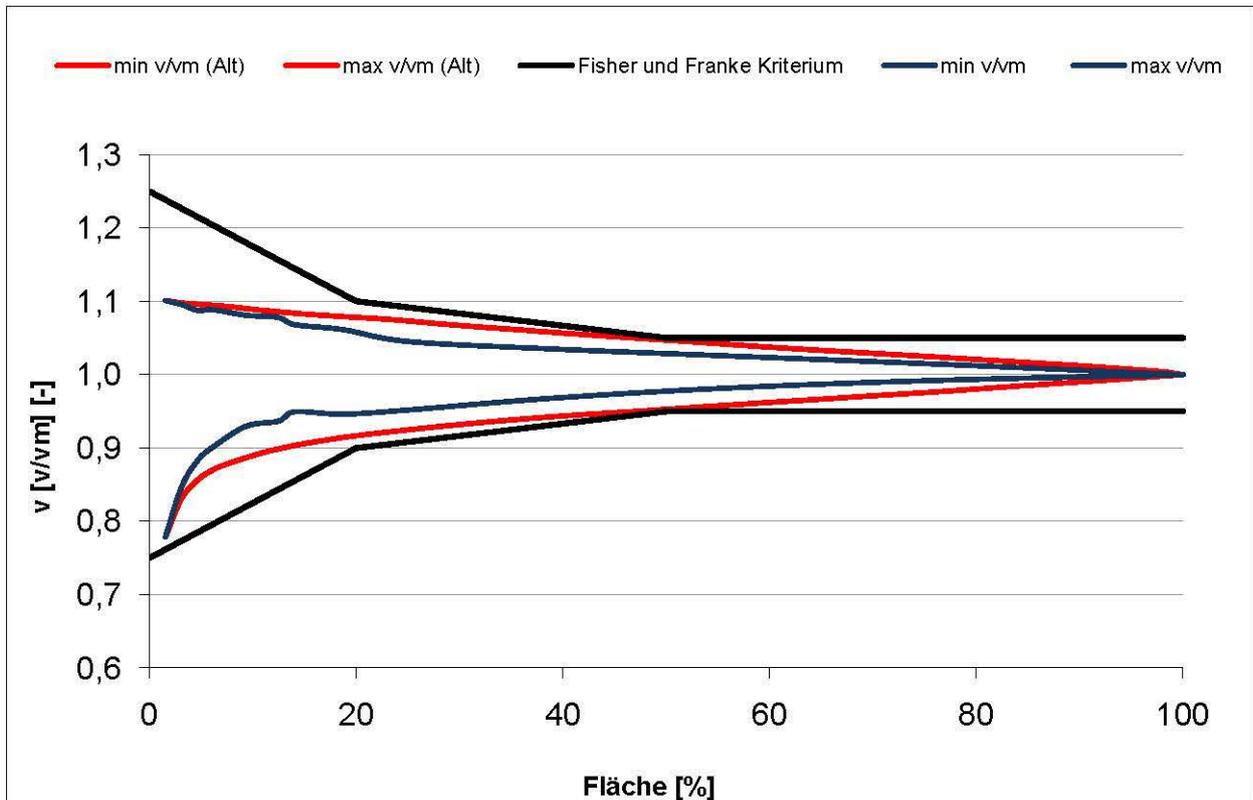


Abb. 6.16 Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A7)

6.5 Variante A10

Oberwassermessung	Ja	seitlicher Vorboden geneigt	Ja
Oberwassermessung detailliert	Nein	Trennpfeiler	Halbkreis
Rechenebene Messung	Ja	Abflusswassermenge	Q
Turbine Ebene Messung (T2)	Ja	Obere Wasserspiegel	- 2
Vorbodentyp	Flach	Hochwasserabfluss	Nein

Tab. 6.9 Basisdaten der Variante A10

Das Anströmungsbild ist im Oberwasserbereich ähnlich wie bei Variante A2 mit entsprechender umgelenkter Zuströmung aus dem Wehrfeldbereich (Abb. 6.17), welche die Geschwindigkeitsverteilung in der Rechenebene (Abb. 6.18) und in der Turbinenebene (Abb. 6.19) negativ beeinflusst. Weiters wird durch die umgelenkte Strömung ein Horizontalwirbel durch den seitlich angerampten Höhenversatz des Vorbodens induziert, was ebenfalls die Anströmverhältnisse im Boden- und Trennpfeilerbereich verschlechtert.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 6.10 dargestellt und man sieht auch die großen Geschwindigkeitsabweichungen in diesen Zonen. Die Grenzbedingungen von Fisher und Franke werden nach der modifizierten Auswertungsmethode bis zu einem Flächenanteil von 75% und nach der konservativen Methode bis fast zu 60% der anteiligen Fläche nicht erreicht (Abb. 6.20). Die Anströmung kann daher noch als sehr schlecht beurteilt werden.

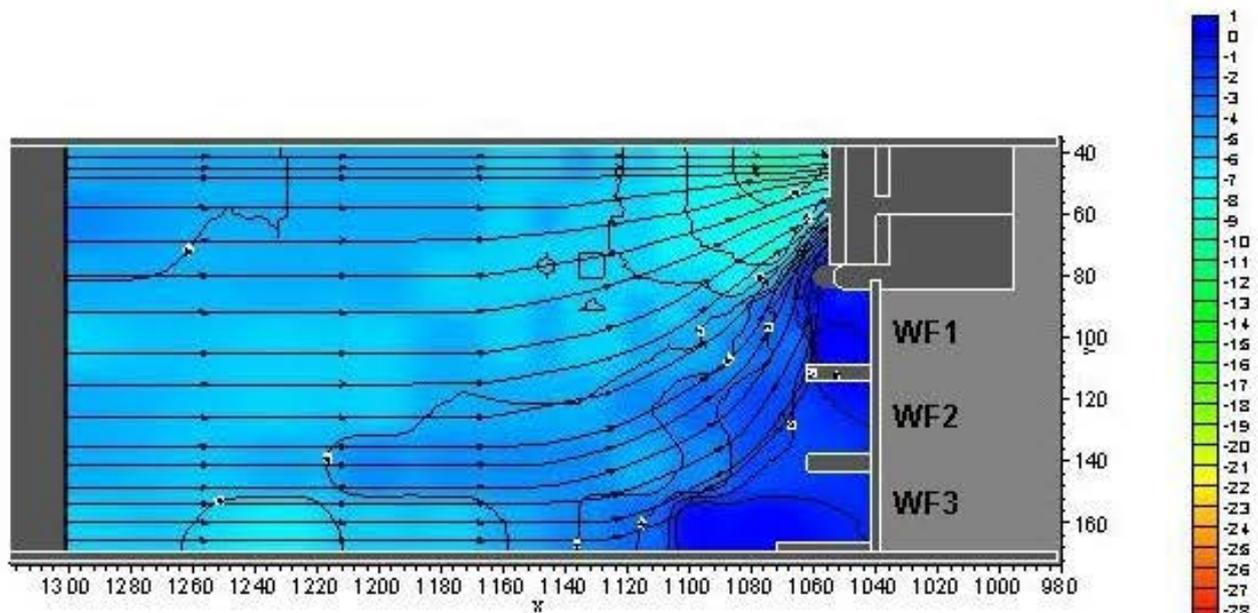


Abb. 6.17 Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A10)

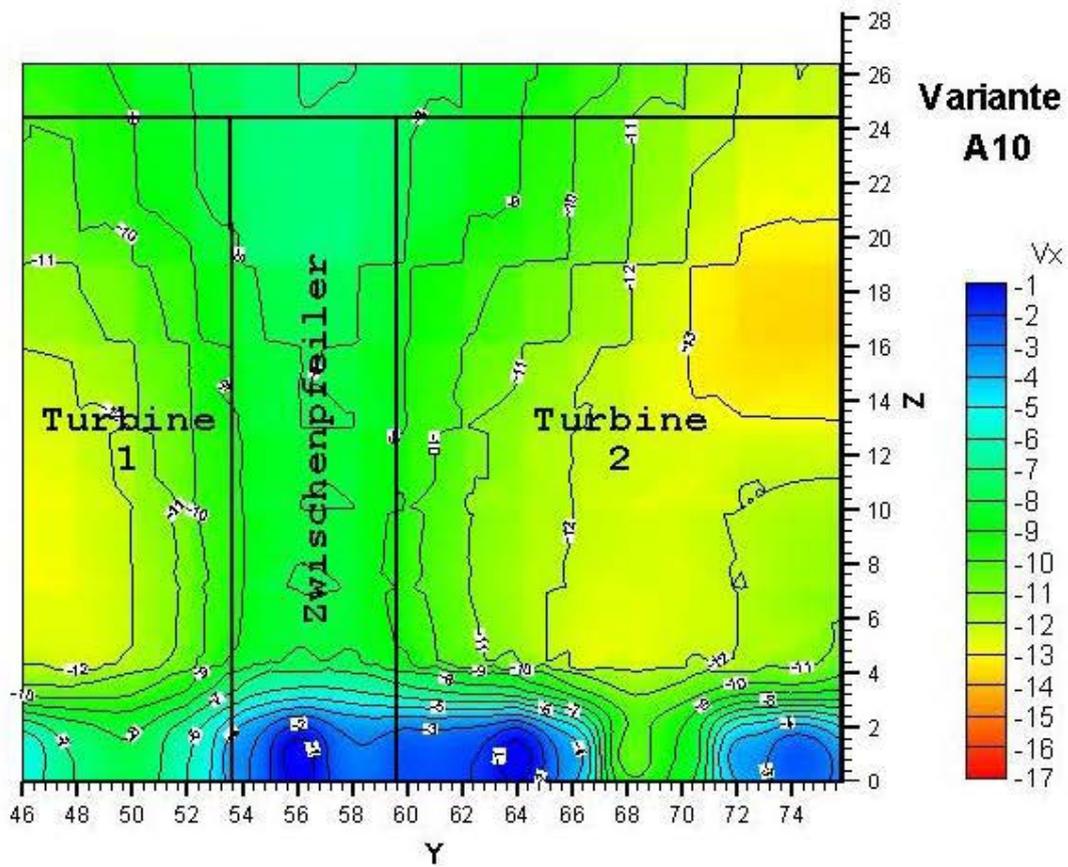


Abb. 6.18 Geschwindigkeitsverteilung Rechenebene (Variante A10)

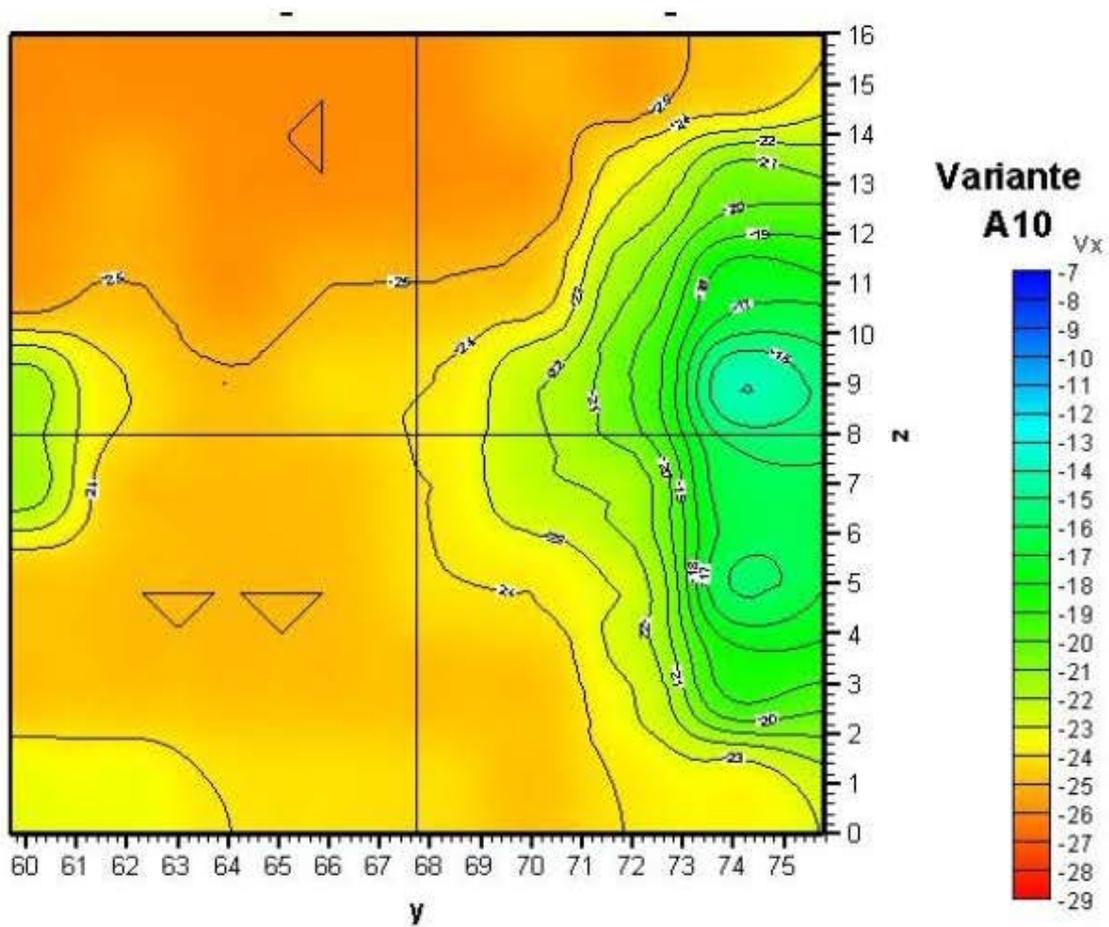


Abb. 6.19 Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A10)

Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2

Variante A10

Gemessene Modellwerte

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-0,266	-0,263	-0,266	-0,262	-0,267	-0,259	-0,268	-0,258
I	-0,201	-0,286	-0,197	-0,284	-0,242	-0,286	-0,250	-0,279
	-0,281	-0,250	-0,288	-0,187	-0,282	-0,251	-0,274	-0,235
2	-0,261	-0,259	-0,264	-0,267	-0,268	-0,261	-0,237	-0,208
II	-0,239	-0,274	-0,240	-0,273	-0,244	-0,275	-0,251	-0,278
	-0,278	-0,257	-0,279	-0,136	-0,279	-0,155	-0,255	-0,055
3	-0,260	-0,259	-0,263	-0,258	-0,255	-0,252	-0,218	-0,170
III	-0,248	-0,271	-0,238	-0,268	-0,253	-0,273	-0,238	-0,277
	-0,280	-0,219	-0,279	-0,219	-0,279	-0,219	-0,272	-0,159
4	-0,219	-0,243	-0,253	-0,250	-0,245	-0,224	-0,210	-0,139
IV	-0,147	-0,262	-0,211	-0,278	-0,240	-0,268	-0,227	-0,267
	-0,271	-0,211	-0,272	-0,162	-0,264	-0,141	-0,255	0,133
5	-0,215	-0,254	-0,254	-0,254	-0,247	-0,226	-0,222	-0,163
I	-0,159	-0,264	-0,244	-0,261	-0,246	-0,262	-0,241	-0,266
	-0,274	-0,215	-0,258	-0,175	-0,265	-0,154	-0,244	0,099
6	-0,252	-0,256	-0,254	-0,254	-0,240	-0,243	-0,236	-0,151
II	-0,244	-0,262	-0,250	-0,262	-0,246	-0,264	-0,243	-0,261
	-0,263	-0,209	-0,266	-0,210	-0,251	0,250	-0,248	0,046
7	-0,253	-0,254	-0,250	-0,254	-0,253	-0,251	-0,238	-0,181
III	-0,245	-0,261	-0,245	-0,260	-0,233	-0,268	-0,235	-0,272
	-0,263	-0,246	-0,266	-0,239	-0,289	-0,188	-0,247	0,193
8	-0,235	-0,231	-0,242	-0,247	-0,247	-0,252	-0,247	-0,246
IV	-0,212	-0,248	-0,214	-0,252	-0,225	-0,261	-0,219	-0,268
	-0,261	-0,234	-0,264	-0,243	-0,257	-0,236	-0,257	-0,236

Quadrant 1 V1mittel -0,257	Mittelwert Min. Wert Max. Wert	Quadrant 2 V2mittel -0,234
Quadrant 3 V3mittel -0,248	$\alpha = 1,039742$	Quadrant 4 V4mittel -0,228
Vgesamt, mittel -0,242		Vmin(10%) -0,217 Vmax(10%) -0,266

Tab. 6.10 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A10)

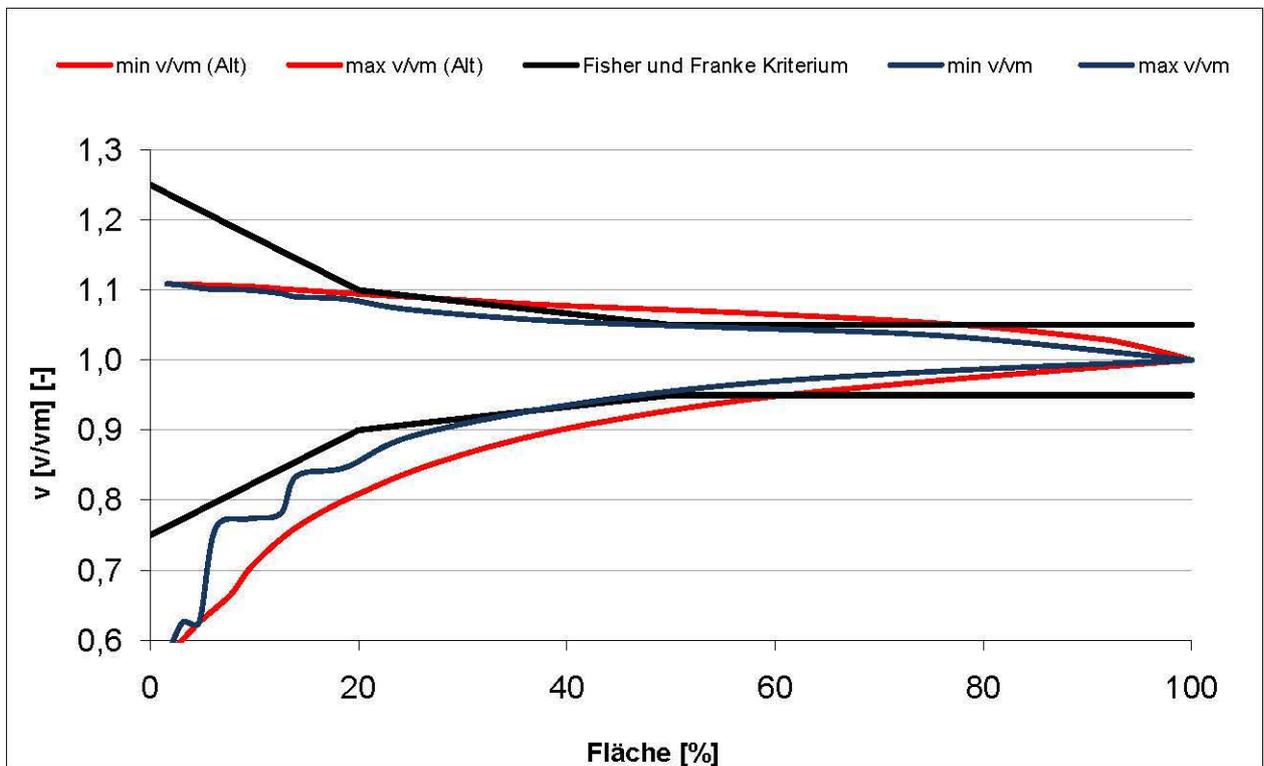


Abb. 6.20 Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A10)

6.6 Variante A11

Oberwassermessung	Ja	seitlicher Vorboden geneigt	Ja
Oberwassermessung detailliert	Nein	Trennpfeiler	Rouvé
Rechenebene Messung	Ja	Abflusswassermenge	Q
Turbine Ebene Messung (T2)	Ja	Obere Wasserspiegel	± 0
Vorbodentyp	Flach	Hochwasserabfluss	Nein

Tab. 6.11 Basisdaten der Variante A11

Die Anströmung ist im Oberwasserbereich ähnlich wie bei Variante A2 mit entsprechender umgelenkter Zuströmung aus dem Wehrfeldbereich (Abb. 6.21), welche die Geschwindigkeitsverhältnisse in der Rechenebene (Abb. 6.22) und in der Turbinenebene (Abb. 6.23) negativ beeinflusst. Der durch den seitlich angerampten Höhenversatz des Vorbodens induzierte Horizontalwirbel, verschlechtert zusätzlich die Anströmverhältnisse zur Turbine im Boden- und Trennpfeilerbereich.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 6.12 ausgewertet und man sieht auch die großen Geschwindigkeitsabweichungen in dieser Zone. Die Grenzbedingungen von Fisher und Franke können nach der modifizierten Auswertungsmethode eingehalten werden. Sie werden aber nach der konservativen Methode im Bereich von 15% bis 50% des Flächenanteils nicht erfüllt (Abb. 6.24). Die Anströmung kann daher als mittelmäßig beurteilt werden.

Bilder zur generellen Anströmung sind im Anhang 2 bei Variante A11 zu sehen.

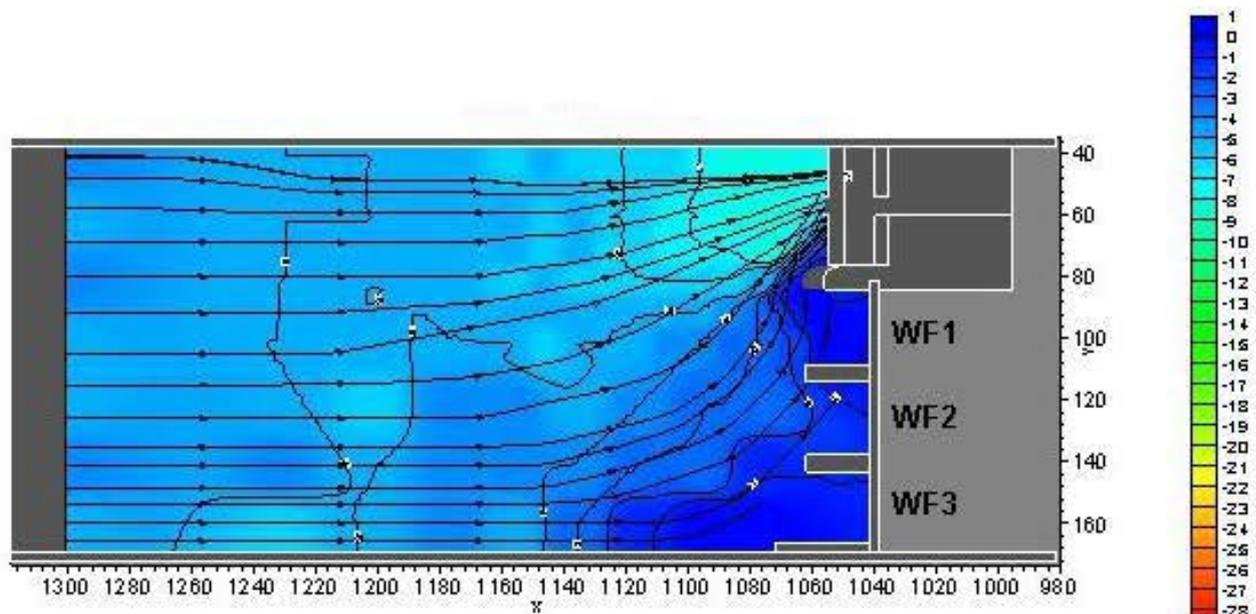


Abb. 6.21 Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A11)

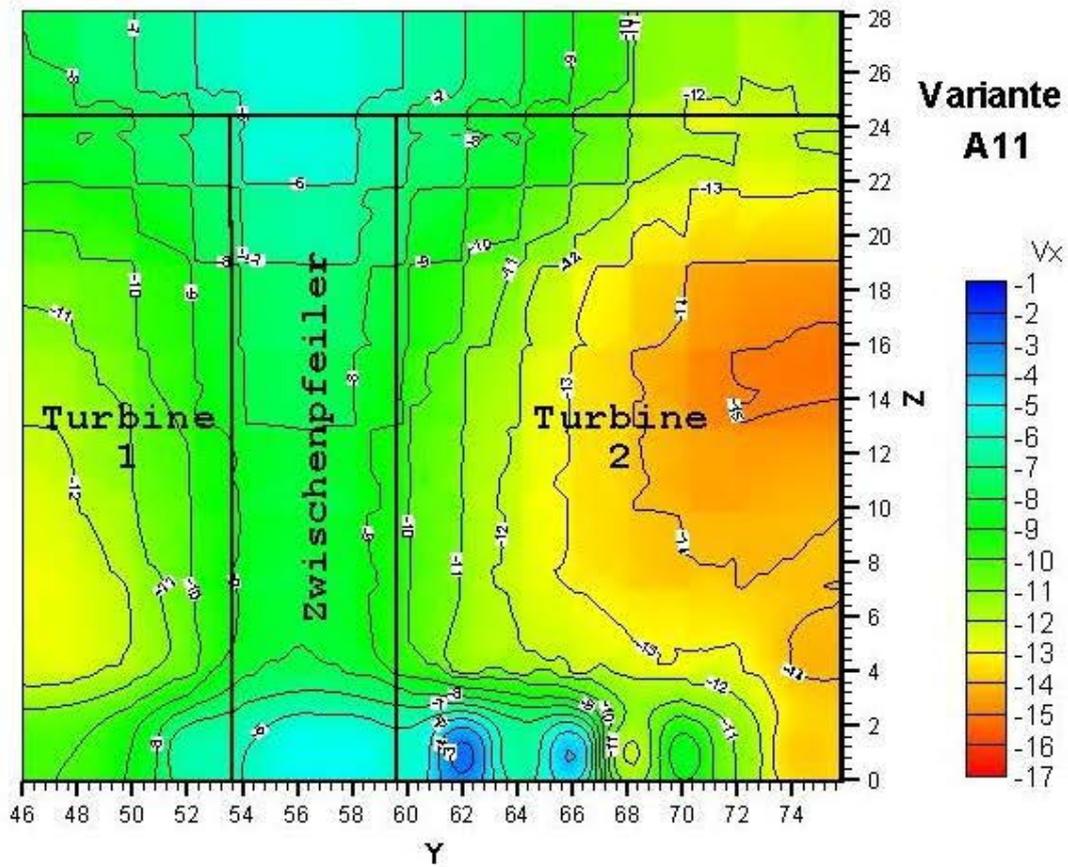


Abb. 6.22 Geschwindigkeitsverteilung Rechenebene (Variante A11)

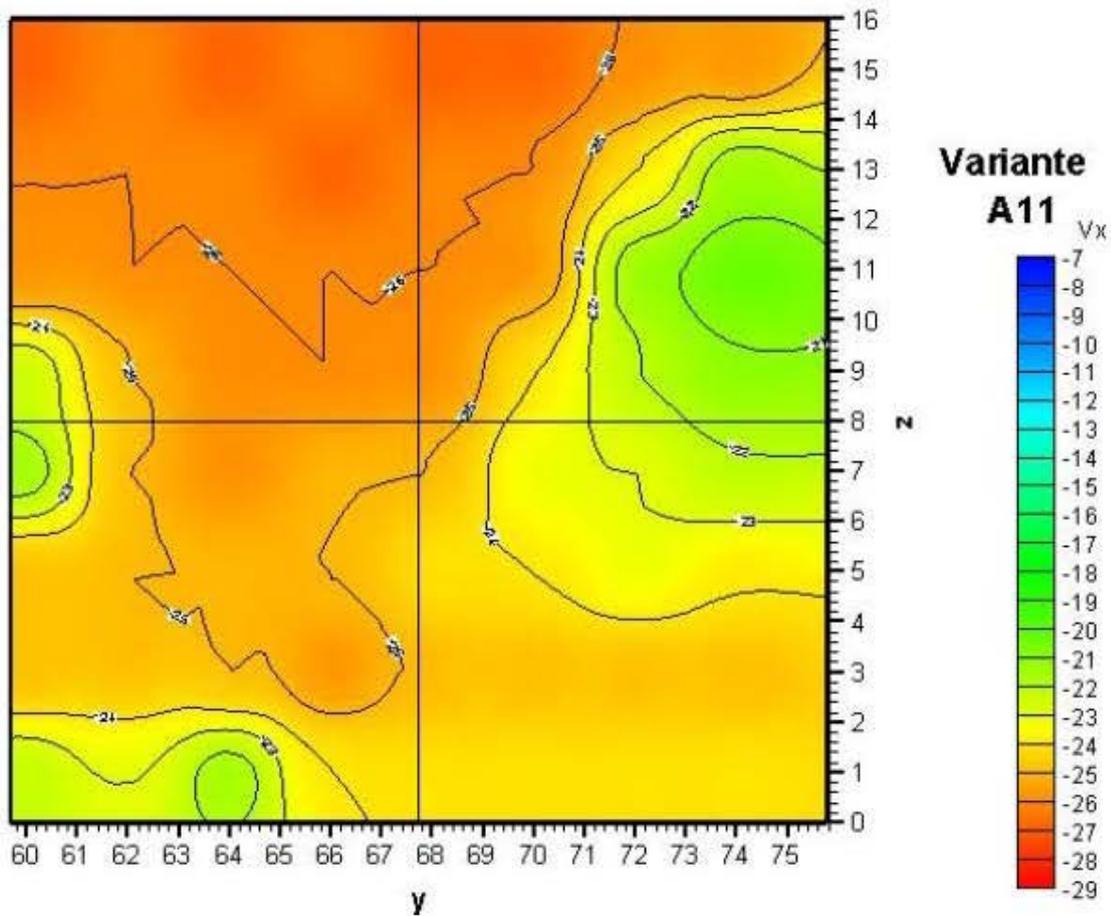


Abb. 6.23 Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A11)

Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2

Variante A11

Gemessene Modellwerte

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-0,272	-0,268	-0,274	-0,270	-0,271	-0,271	-0,265	-0,262
I	-0,249	-0,287	-0,244	-0,287	-0,257	-0,288	-0,251	-0,282
	-0,245	-0,283	-0,251	-0,284	-0,254	-0,283	-0,256	-0,286
2	-0,262	-0,267	-0,269	-0,271	-0,269	-0,268	-0,248	-0,212
II	-0,244	-0,275	-0,243	-0,287	-0,245	-0,279	-0,254	-0,283
	-0,244	-0,275	-0,243	-0,287	-0,245	-0,279	-0,254	-0,283
3	-0,263	-0,262	-0,266	-0,269	-0,266	-0,262	-0,219	-0,201
III	-0,226	-0,260	-0,261	-0,264	-0,262	-0,245	-0,221	-0,210
	-0,189	-0,258	-0,233	-0,282	-0,248	-0,275	-0,253	-0,273
4	-0,226	-0,260	-0,261	-0,264	-0,262	-0,245	-0,221	-0,210
IV	-0,193	-0,258	-0,233	-0,282	-0,248	-0,275	-0,253	-0,273
	-0,193	-0,258	-0,233	-0,282	-0,248	-0,275	-0,253	-0,273
5	-0,219	-0,256	-0,261	-0,259	-0,254	-0,236	-0,232	-0,224
III	-0,193	-0,258	-0,233	-0,282	-0,248	-0,275	-0,253	-0,273
	-0,193	-0,258	-0,233	-0,282	-0,248	-0,275	-0,253	-0,273
6	-0,252	-0,259	-0,257	-0,256	-0,247	-0,248	-0,237	-0,242
III	-0,233	-0,274	-0,238	-0,278	-0,241	-0,272	-0,230	-0,273
	-0,233	-0,274	-0,238	-0,278	-0,241	-0,272	-0,230	-0,273
7	-0,257	-0,257	-0,258	-0,260	-0,257	-0,254	-0,258	-0,255
III	-0,240	-0,270	-0,235	-0,273	-0,240	-0,271	-0,243	-0,277
	-0,240	-0,270	-0,235	-0,273	-0,240	-0,271	-0,243	-0,277
8	-0,227	-0,231	-0,218	-0,218	-0,243	-0,248	-0,246	-0,250
III	-0,208	-0,247	-0,205	-0,258	-0,196	-0,238	-0,221	-0,270
	-0,208	-0,247	-0,205	-0,258	-0,196	-0,238	-0,221	-0,270

<p>Quadrant 1 V1mittel -0,264</p>	<p>Mittelwert Min. Wert Max. Wert</p>	<p>Quadrant 2 V2mittel -0,247</p>
<p>Quadrant 3 V3mittel -0,248</p>	<p>$\alpha=1,014779$</p>	<p>Quadrant 4 V4mittel -0,246</p>
<p>Vgesamt, mittel -0,251</p>		<p>Vmin(10%) -0,226</p> <p>Vmax(10%) -0,276</p>

Tab. 6.12 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A11)

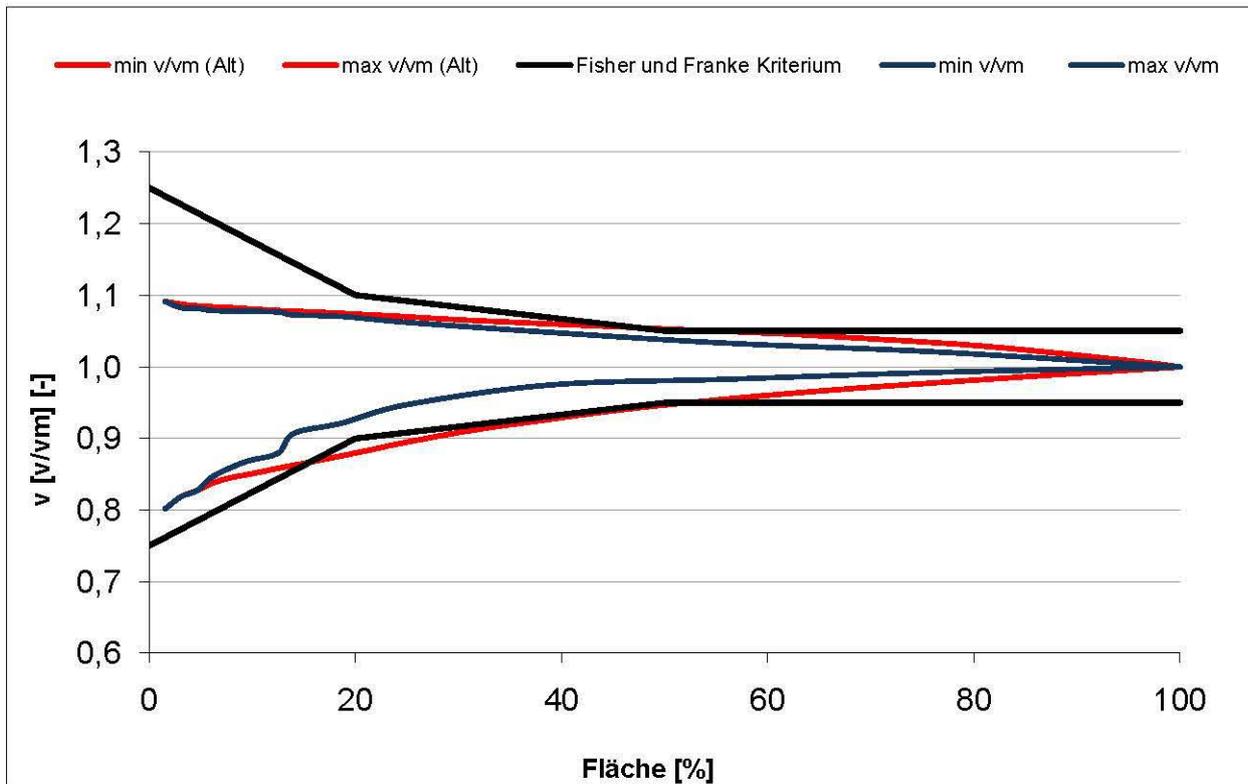


Abb. 6.24 Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A11)

6.7 Variante A19

Oberwassermessung	Ja	seitlicher Vorboden geneigt	Ja
Oberwassermessung detailliert	Nein	Trennpfeiler	Rouvé
Rechenebene Messung	Ja	Abflusswassermenge	2Q
Turbine Ebene Messung (T2)	Ja	Obere Wasserspiegel	± 0
Vorbodentyp	Flach	Hochwasserabfluss	WF 1 & 2

Tab. 6.13 Basisdaten der Variante A19

Das Anströmungsbild im Oberwasser wird auch hier durch die gleichzeitige Hochwasserabfuhr über beide Wehrfelder vergleichmäßig (Abb. 6.25). Die Rechen – und Turbinenanströmung erfolgt im Wesentlichen aus dem Vorbodenbereich.

Durch den seitlich angerampten Höhenversatz des Vorbodens, sind die Anströmverhältnisse im unteren Einlaufbodenbereich des Rechens verschlechtert (Abb. 6.26). Die Strömungsverhältnisse verbessern sich aber im Verlauf zur Turbine (Abb. 6.27), d.h. aufgrund des parallelen Stromlinienverlaufs, ist die Turbinenebene gut angeströmt. Tabelle 6.14 zeigt die dazugehörige Geschwindigkeitsverteilung. Die Grenzbedingungen von Fisher und Franke werden nach beiden Methoden erfüllt (Abb. 6.28). Die Krafthausanströmung kann daher noch als sehr gut beurteilt werden.

Bilder zur generellen Anströmung sind im Anhang 2 bei Variante A19 zu sehen.

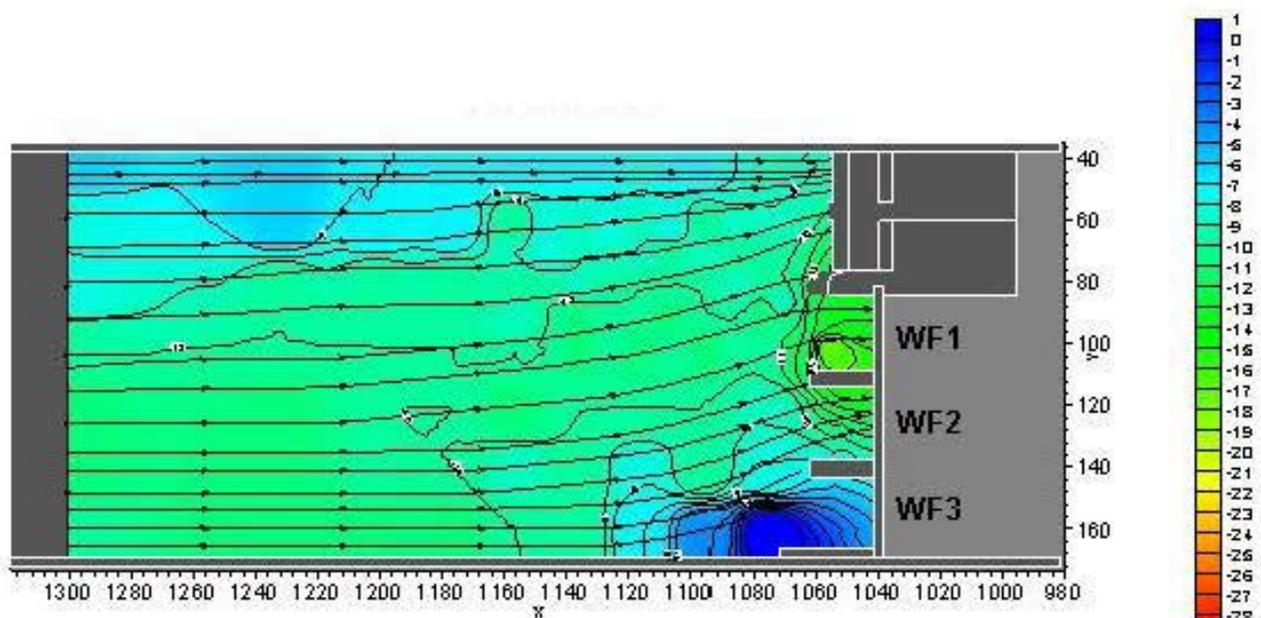


Abb. 6.25 Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A19)

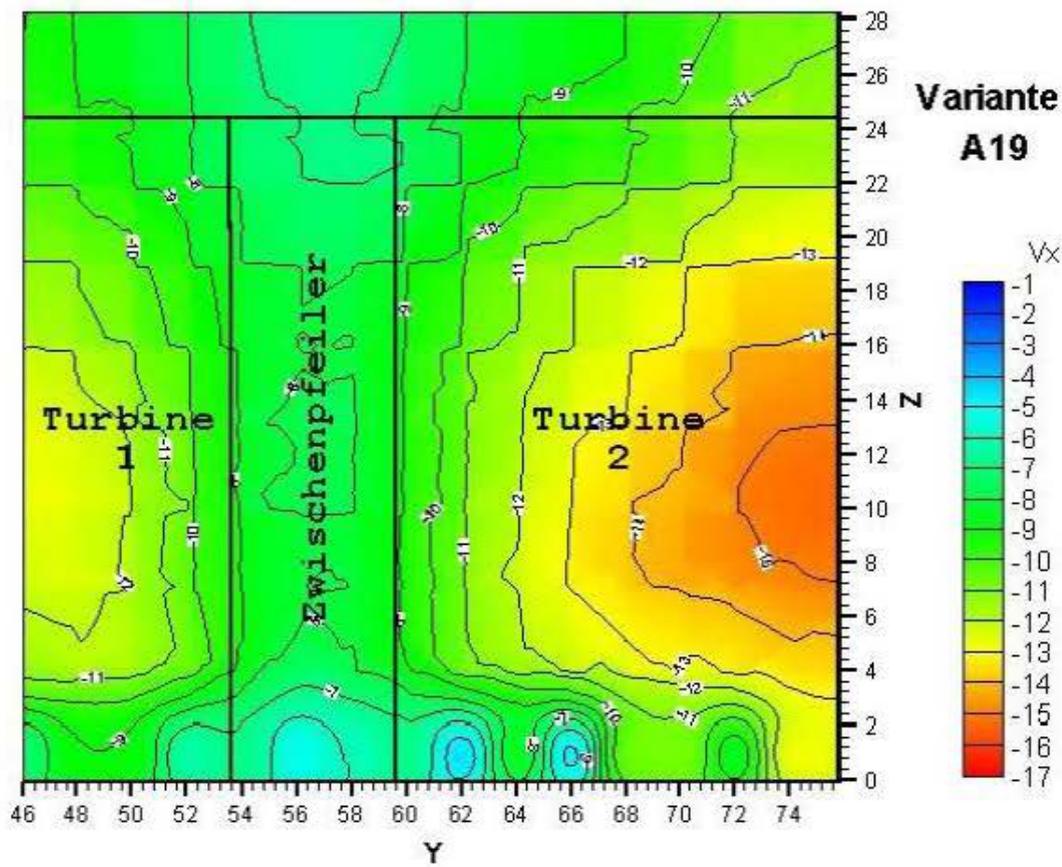


Abb. 6.26 Geschwindigkeitsverteilung Rechenebene (Variante A19)

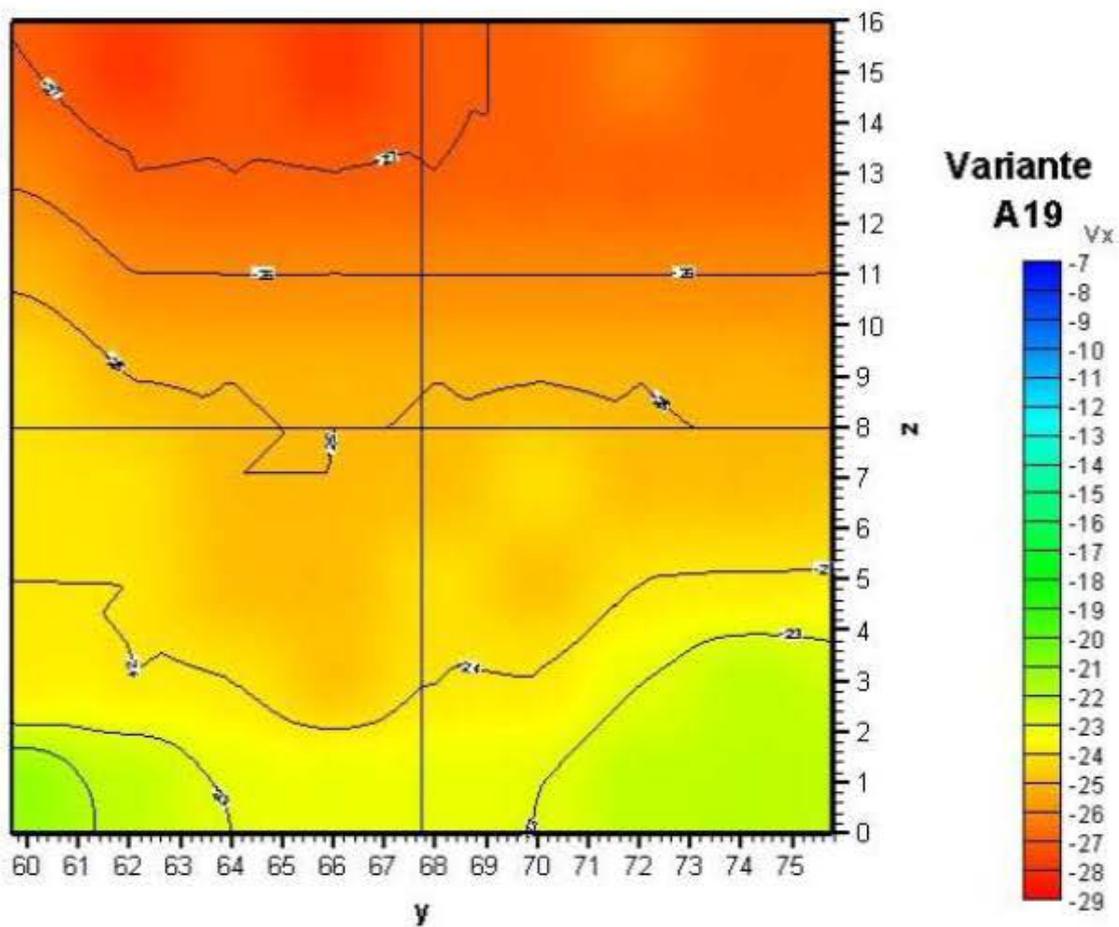


Abb. 6.27 Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A19)

Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2

Variante A19

Gemessene Modellwerte

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-0,270	-0,283	-0,279	-0,281	-0,276	-0,278	-0,269	-0,274
I	-0,257	-0,282	-0,267	-0,295	-0,249	-0,292	-0,255	-0,297
	-0,290	-0,240	-0,294	-0,255	-0,288	-0,241	-0,294	-0,234
2	-0,270	-0,275	-0,271	-0,274	-0,274	-0,274	-0,270	-0,275
II	-0,259	-0,280	-0,264	-0,289	-0,258	-0,281	-0,264	-0,281
	-0,284	-0,263	-0,288	-0,260	-0,280	-0,256	-0,290	-0,258
3	-0,258	-0,260	-0,264	-0,266	-0,261	-0,262	-0,264	-0,263
III	-0,238	-0,272	-0,247	-0,273	-0,248	-0,272	-0,247	-0,280
	-0,270	-0,254	-0,276	-0,245	-0,254	-0,277	-0,250	-0,241
4	-0,241	-0,256	-0,254	-0,259	-0,256	-0,254	-0,257	-0,256
IV	-0,205	-0,276	-0,244	-0,269	-0,245	-0,262	-0,251	-0,270
	-0,274	-0,239	-0,271	-0,237	-0,270	-0,243	-0,274	-0,229
5	-0,242	-0,250	-0,252	-0,256	-0,251	-0,249	-0,252	-0,253
V	-0,195	-0,260	-0,230	-0,265	-0,241	-0,263	-0,227	-0,268
	-0,266	-0,240	-0,267	-0,228	-0,276	-0,232	-0,275	-0,213
6	-0,243	-0,248	-0,252	-0,256	-0,249	-0,252	-0,247	-0,241
VI	-0,224	-0,257	-0,233	-0,259	-0,237	-0,272	-0,243	-0,268
	-0,261	-0,236	-0,272	-0,228	-0,263	-0,223	-0,266	-0,188
7	-0,246	-0,245	-0,247	-0,252	-0,247	-0,246	-0,239	-0,229
VII	-0,225	-0,261	-0,227	-0,259	-0,235	-0,260	-0,229	-0,266
	-0,257	-0,237	-0,263	-0,231	-0,256	-0,221	-0,269	-0,155
8	-0,217	-0,229	-0,232	-0,232	-0,232	-0,233	-0,229	-0,224
VIII	-0,189	-0,237	-0,206	-0,248	-0,215	-0,248	-0,158	-0,263
	-0,247	-0,213	-0,253	-0,207	-0,251	-0,208	-0,256	-0,142

<p>Quadrant 1 V1mittel -0,266</p>	<p>Mittelwert Min. Wert Max. Wert</p>	<p>Quadrant 2 V2mittel -0,267</p>
<p>Quadrant 3 V3mittel -0,244</p>	<p>$\alpha=1,010752$</p>	<p>Quadrant 4 V4mittel -0,242</p>
<p>Vgesamt, mittel -0,255</p>		<p>Vmin(10%) -0,229 Vmax(10%) -0,28</p>

Tab. 6.14 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A19)

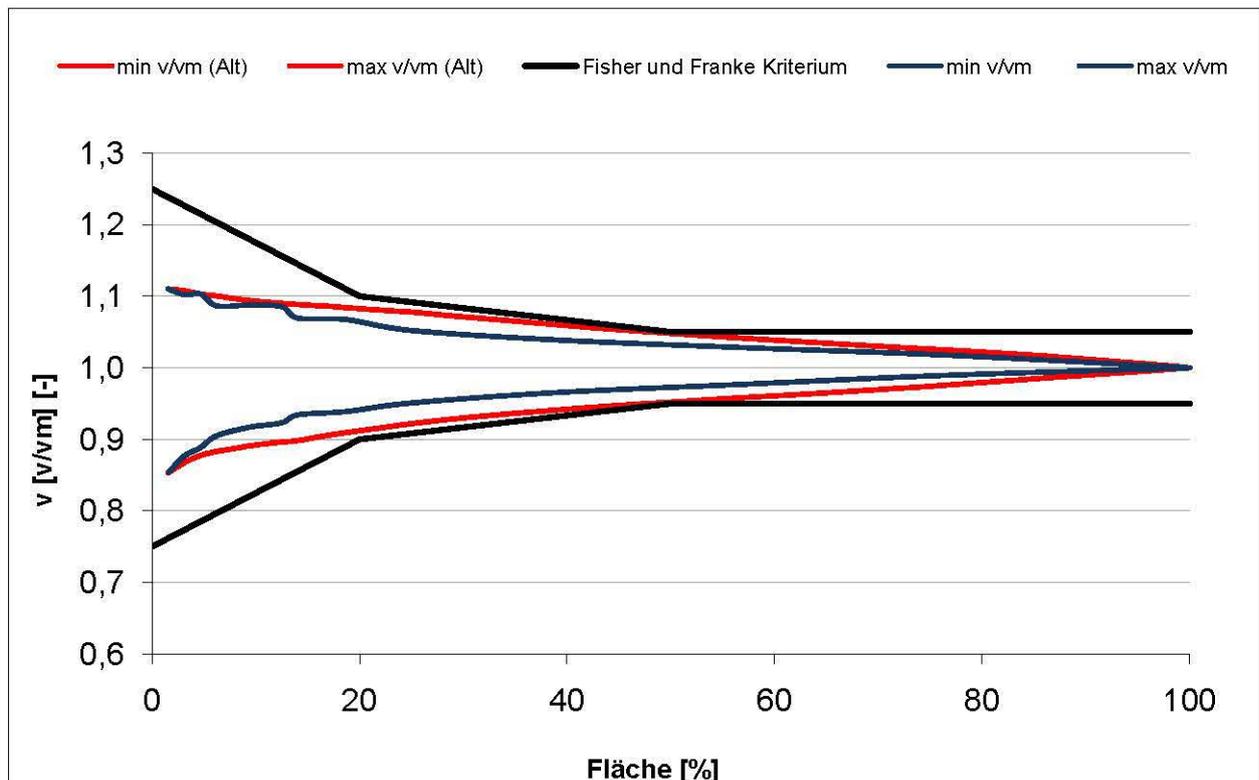


Abb. 6.28 Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A19)

6.8 Variante A21

Oberwassermessung	Ja	seitlicher Vorboden geneigt	Ja
Oberwassermessung detailliert	Nein	Trennpfeiler	Rouvé
Rechenebene Messung	Ja	Abflusswassermenge	2Q
Turbine Ebene Messung (T2)	Ja	Obere Wasserspiegel	± 0
Vorbodentyp	Flach	Hochwasserabfluss	WF 1

Tab. 6.15 Basisdaten der Variante A21

Das Anströmungsbild im Oberwasser wird durch die gleichzeitige Hochwasserabfuhr über das Wehrfeld 1 ebenfalls wie bei Variante A19 vergleichmäßig (Abb. 6.29). Im Bereich vor dem Wehrfeld 1 treten die größten Geschwindigkeiten auf. Die Rechen – und Turbinenanströmung wird durch die fehlende seitliche Zuströmung aus dem Wehrfeldbereich gering beeinträchtigt.

Durch den seitlich angerampten Höhenversatz des Vorbodens wird offensichtlich die Anströmung im unteren Rechenbereich stärker beeinflusst (Abb. 6.30). Die Strömungsverhältnisse verbessern sich aber in Richtung Turbine (Abb. 6.31). Die Turbine 2 ist gut angeströmt und weist nur geringe Abweichungen von der mittleren Geschwindigkeit auf.

In Tabelle 6.16 ist die Verteilung der Geschwindigkeiten in dieser Zone dargestellt. Die Grenzbedingungen von Fisher und Franke können nach beiden Beurteilungsmethoden eingehalten werden (Abb. 6.32). Die Krafthausanströmung kann daher als gut beurteilt werden.

Bilder zur generellen Anströmung sind im Anhang 2 bei Variante A21 zu sehen.

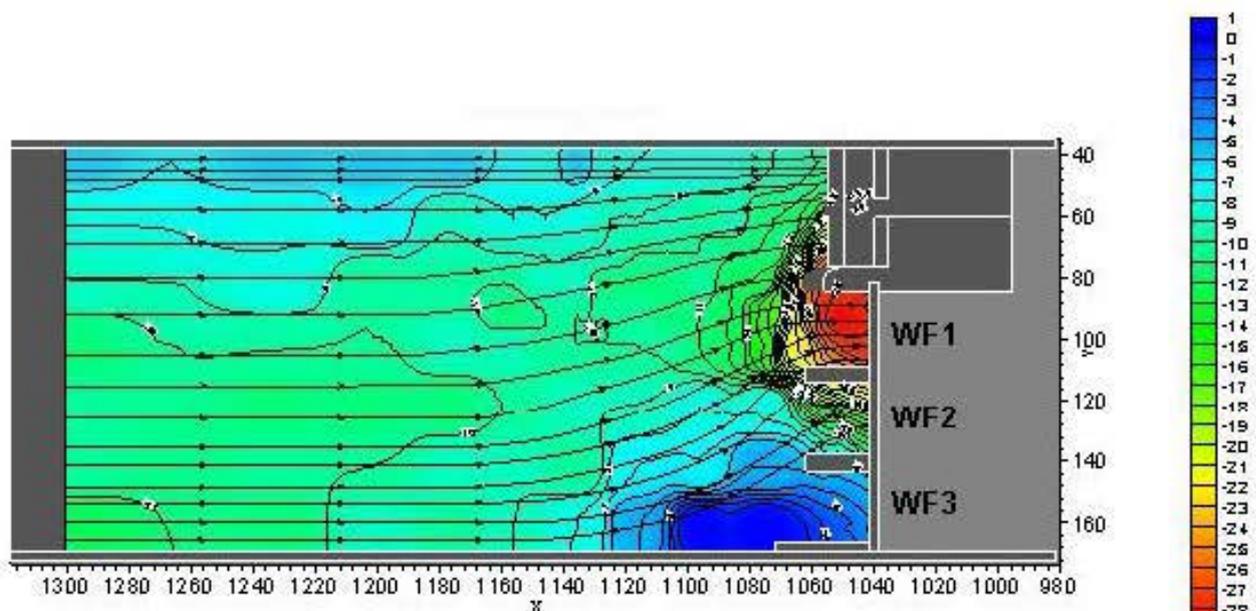


Abb. 6.29 Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A21)

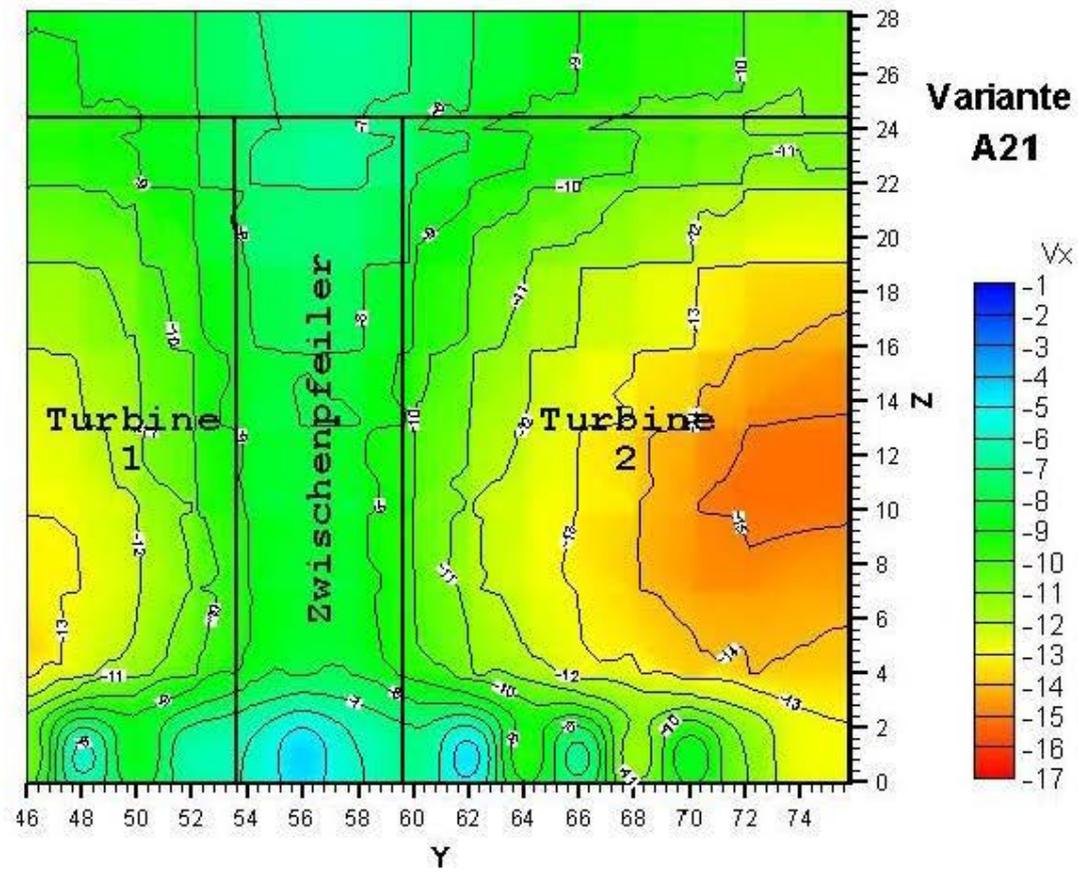


Abb. 6.30 Geschwindigkeitsverteilung Rechenebene (Variante A21)

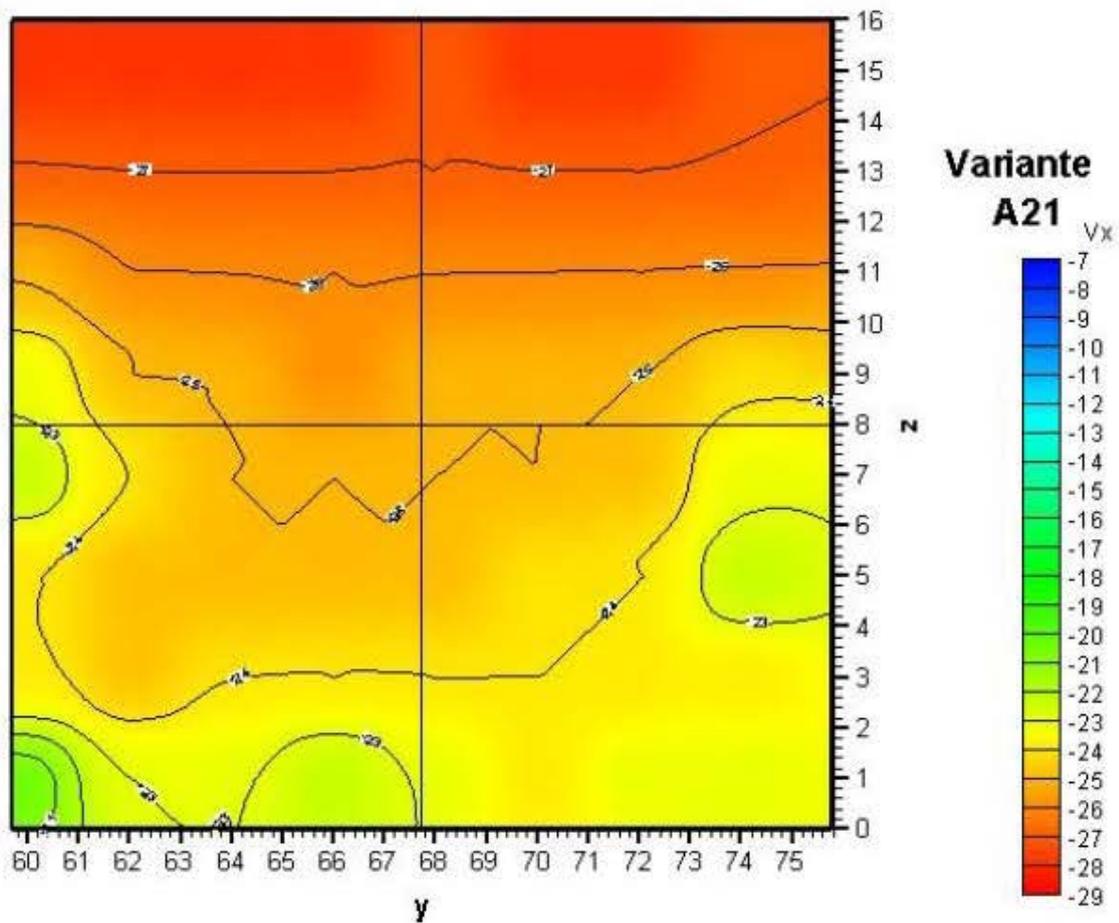


Abb. 6.31 Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A21)

Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2

Variante A21

Gemessene Modellwerte

	1	2	3	4	5	6	7	8	
I	1	-0,281	-0,280	-0,283	-0,283	-0,279	-0,281	-0,281	-0,278
		-0,262 -0,295	-0,262 -0,291	-0,266 -0,294	-0,264 -0,298	-0,294 -0,265	-0,291 -0,271	-0,289 -0,268	-0,291 -0,246
II	2	-0,270	-0,273	-0,273	-0,274	-0,273	-0,273	-0,274	-0,274
		-0,258 -0,279	-0,262 -0,283	-0,264 -0,280	-0,247 -0,286	-0,284 -0,261	-0,285 -0,254	-0,288 -0,260	-0,288 -0,259
III	3	-0,254	-0,263	-0,264	-0,268	-0,265	-0,264	-0,264	-0,266
		-0,236 -0,268	-0,252 -0,272	-0,256 -0,271	-0,259 -0,279	-0,275 -0,255	-0,273 -0,250	-0,272 -0,253	-0,285 -0,246
IV	4	-0,236	-0,257	-0,259	-0,261	-0,258	-0,259	-0,258	-0,247
		-0,191 -0,265	-0,245 -0,267	-0,251 -0,269	-0,240 -0,274	-0,266 -0,245	-0,272 -0,242	-0,268 -0,244	-0,275 -0,166
	5	-0,228	-0,249	-0,255	-0,258	-0,254	-0,253	-0,252	-0,238
		-0,181 -0,259	-0,235 -0,262	-0,247 -0,269	-0,239 -0,272	-0,264 -0,242	-0,269 -0,230	-0,268 -0,237	-0,283 -0,164
	6	-0,249	-0,250	-0,252	-0,254	-0,253	-0,249	-0,243	-0,226
		-0,207 -0,267	-0,232 -0,264	-0,241 -0,263	-0,230 -0,269	-0,266 -0,238	-0,262 -0,234	-0,259 -0,219	-0,257 -0,187
	7	-0,247	-0,252	-0,249	-0,249	-0,249	-0,247	-0,244	-0,242
		-0,223 -0,260	-0,240 -0,261	-0,228 -0,262	-0,218 -0,261	-0,261 -0,227	-0,262 -0,227	-0,257 -0,229	-0,260 -0,217
	8	-0,201	-0,233	-0,230	-0,228	-0,235	-0,241	-0,238	-0,232
		-0,130 -0,230	-0,199 -0,249	-0,195 -0,257	-0,147 -0,262	-0,251 -0,207	-0,255 -0,221	-0,254 -0,221	-0,257 -0,204

<p>Quadrant 1 V1mittel -0,267</p>	<p>Mittelwert</p> <p>Min. Wert Max. Wert</p>	<p>Quadrant 2 V2mittel -0,268</p>
<p>Quadrant 3 V3mittel -0,243</p>	<p>$\alpha=1,012945$</p>	<p>Quadrant 4 V4mittel -0,243</p>
<p>Vgesamt, mittel -0,256</p>		<p>Vmin(10%) -0,230</p> <p>Vmax(10%) -0,281</p>

Tab. 6.16 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A21)

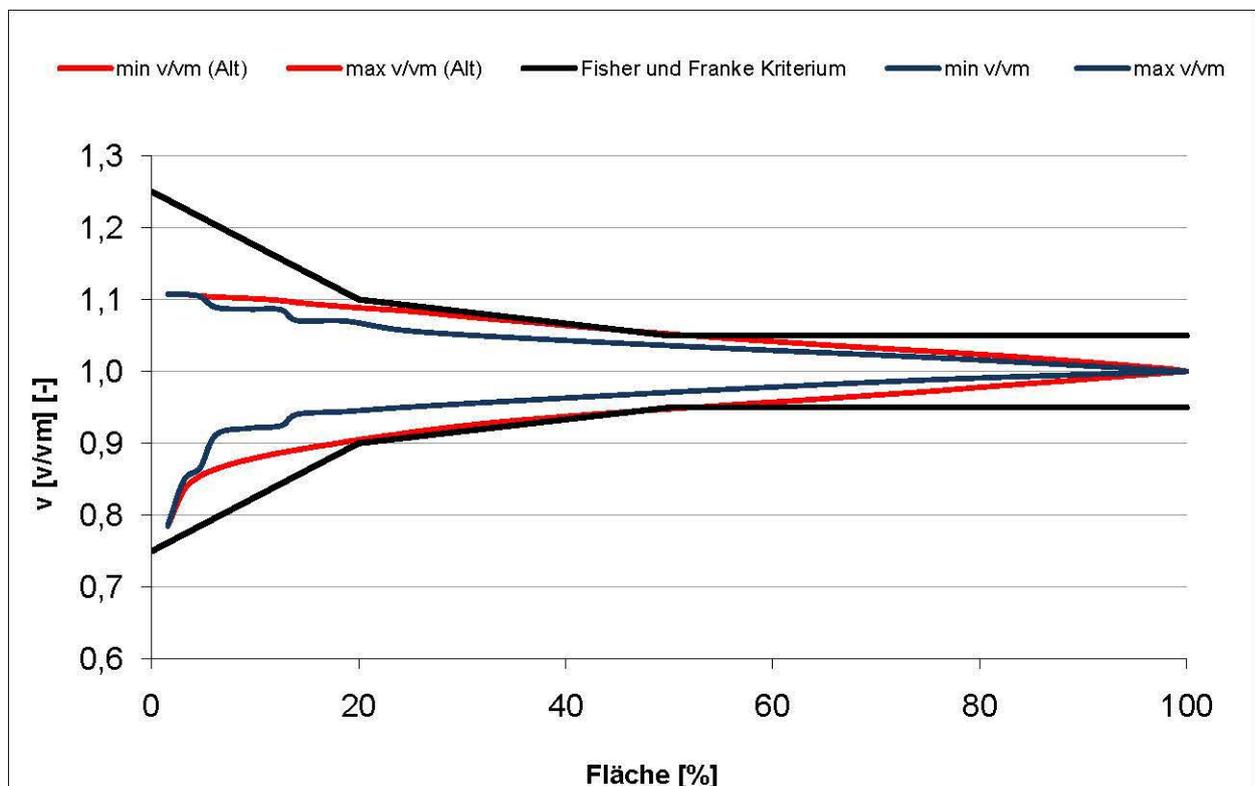


Abb. 6.32 Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A21)

6.9 Variante A23

Oberwassermessung	Ja	seitlicher Vorboden geneigt	Ja
Oberwassermessung detailliert	Nein	Trennpfeiler	Rouvé
Rechenebene Messung	Ja	Abflusswassermenge	Q
Turbine Ebene Messung (T2)	Ja	Obere Wasserspiegel	- 2
Vorbodentyp	Flach	Hochwasserabfluss	Nein

Tab. 6.17 Basisdaten der Variante A23

Das Anströmungsbild ist im Oberwasserbereich ähnlich wie bei Variante A1 mit entsprechender umgelenkter Zuströmung aus dem Wehrfeldbereich (Abb. 6.33), welche auf die Geschwindigkeitsverteilung in der Rechenebene (Abb. 6.34) und in der Turbinenebene (Abb. 6.35) einen negativen Einfluss hat. Durch die umgelenkte Strömung aus dem Wehrbereich wird durch den seitlich angerampten Höhenversatz des Vorbodens ein Horizontalwirbel induziert, der die Anströmverhältnisse im Boden- und Trennpfeilerbereich zusätzlich verschlechtert.

Die Ergebnisse der Geschwindigkeitsmessung sind in Tabelle 6.18 dargestellt, wo auch der große Schwankungsbereich der Geschwindigkeiten deutlich erkennbar ist. Die Grenzbedingungen von Fisher und Franke werden nach der modifizierten Auswertungsmethode bis zu einem Flächenanteil von 5% und nach der konservativen Methode bis fast zu 55% der Fläche nicht erreicht (Abb. 6.36). Die Anströmung kann daher als schlecht beurteilt werden.

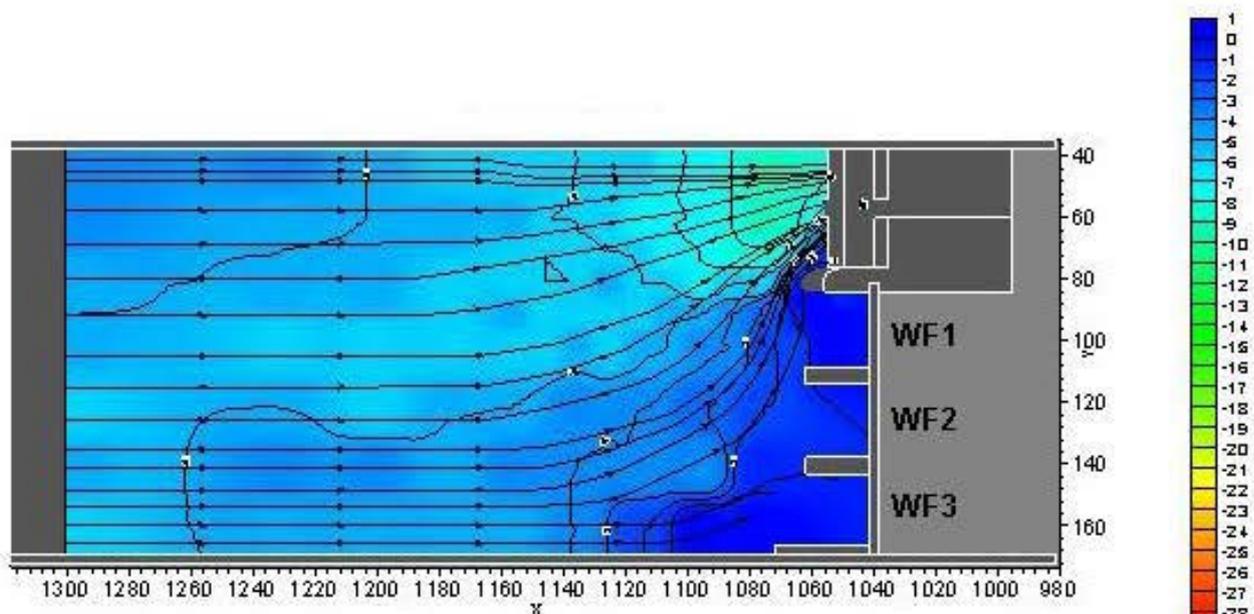


Abb. 6.33 Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A23)

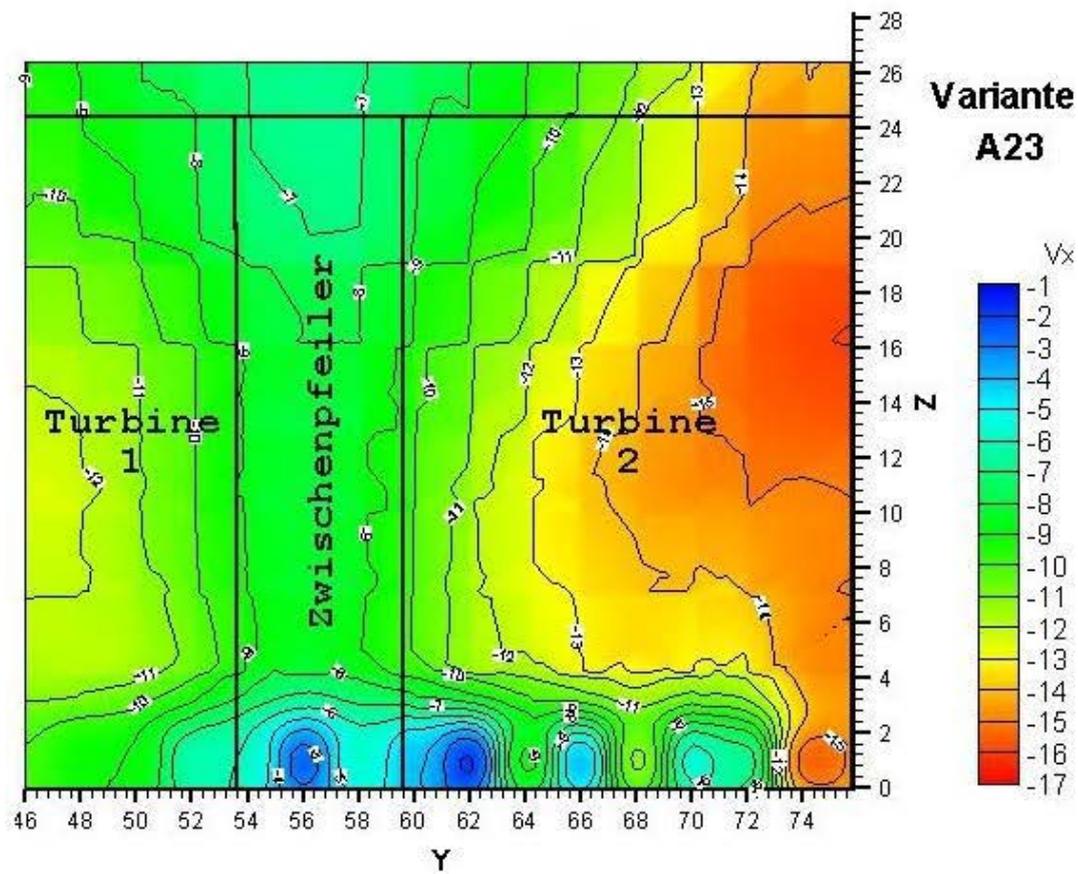


Abb. 6.34 Geschwindigkeitsverteilung Rechenebene (Variante A23)

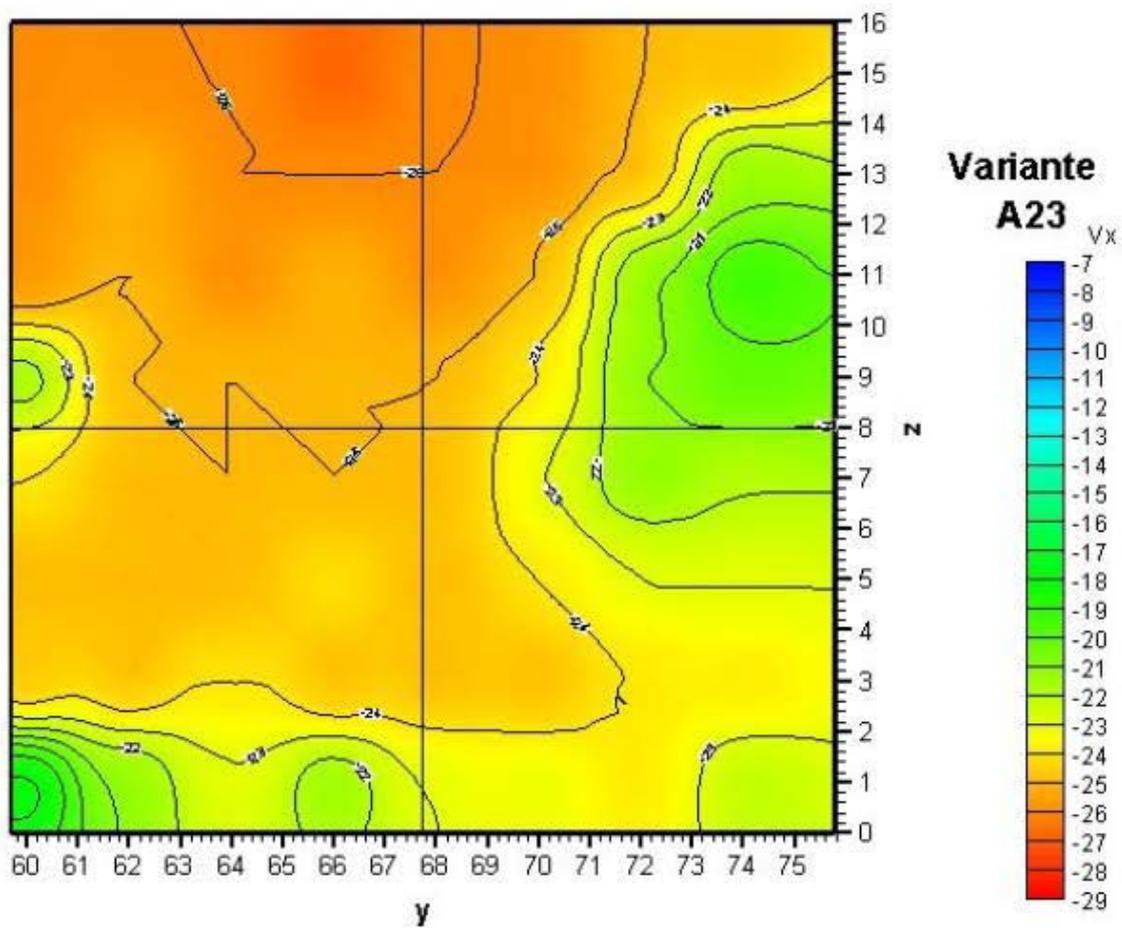


Abb. 6.35 Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A23)

Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2

Variante A23

Gemessene Modellwerte

	1	2	3	4	5	6	7	8	
I	1	-0,268	-0,265	-0,262	-0,272	-0,269	-0,264	-0,257	-0,257
		-0,231 -0,291	-0,226 -0,287	-0,232 -0,287	-0,259 -0,295	-0,289 -0,237	-0,286 -0,224	-0,288 -0,225	-0,280 -0,216
II	2	-0,264	-0,260	-0,267	-0,267	-0,266	-0,265	-0,250	-0,215
		-0,237 -0,283	-0,234 -0,280	-0,244 -0,282	-0,239 -0,286	-0,283 -0,247	-0,290 -0,226	-0,286 -0,210	-0,271 -0,036
III	3	-0,261	-0,260	-0,261	-0,259	-0,261	-0,254	-0,219	-0,191
		-0,234 -0,279	-0,239 -0,277	-0,231 -0,275	-0,228 -0,284	-0,274 -0,248	-0,283 -0,208	-0,259 -0,178	-0,243 -0,125
IV	4	-0,217	-0,252	-0,258	-0,259	-0,259	-0,240	-0,216	-0,207
		-0,141 -0,251	-0,232 -0,275	-0,241 -0,270	-0,232 -0,279	-0,280 -0,237	-0,273 -0,204	-0,260 -0,176	-0,271 -0,136
	5	-0,243	-0,251	-0,255	-0,253	-0,254	-0,235	-0,218	-0,223
		-0,203 -0,265	-0,203 -0,270	-0,231 -0,279	-0,219 -0,281	-0,270 -0,233	-0,269 -0,206	-0,265 -0,155	-0,269 -0,173
	6	-0,251	-0,254	-0,254	-0,248	-0,251	-0,245	-0,235	-0,233
		-0,228 -0,273	-0,218 -0,270	-0,215 -0,270	-0,207 -0,273	-0,266 -0,235	-0,263 -0,210	-0,263 -0,137	-0,255 -0,205
	7	-0,251	-0,252	-0,250	-0,253	-0,253	-0,251	-0,245	-0,250
		-0,205 -0,273	-0,222 -0,275	-0,224 -0,270	-0,204 -0,285	-0,268 -0,228	-0,269 -0,174	-0,270 -0,204	-0,263 -0,232
	8	-0,177	-0,210	-0,230	-0,217	-0,235	-0,239	-0,245	-0,229
		-0,150 -0,213	-0,156 -0,240	-0,196 -0,252	-0,127 -0,287	-0,264 -0,201	-0,267 -0,184	-0,267 -0,210	-0,255 -0,183

<p>Quadrant 1 V1mittel -0,259</p>	<p>Mittelwert</p> <p>Min. Wert Max. Wert</p>	<p>Quadrant 2 V2mittel -0,243</p>
<p>Quadrant 3 V3mittel -0,241</p>	<p>$\alpha=1,019107$</p>	<p>Quadrant 4 V4mittel -0,240</p>
<p>Vgesamt, mittel -0,246</p>		<p>Vmin(10%) -0,221</p> <p>Vmax(10%) -0,27</p>

Tab. 6.18 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A23)

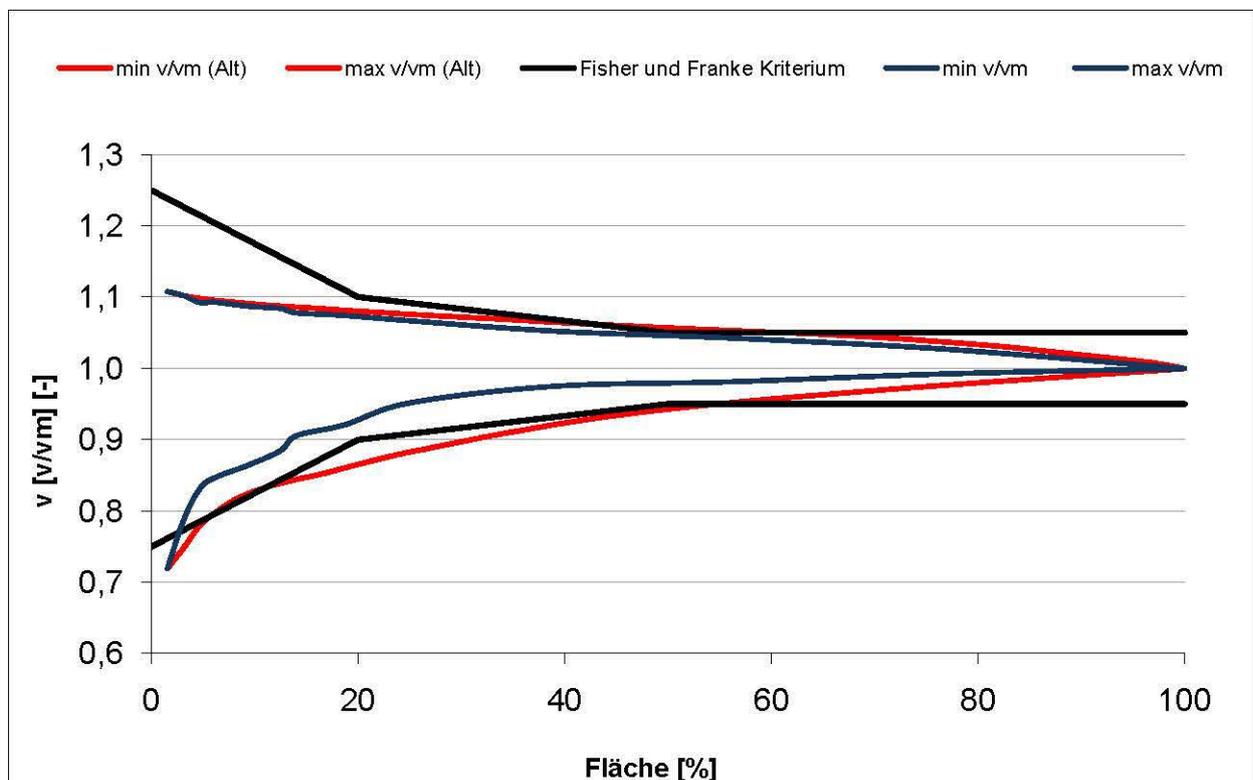


Abb. 6.36 Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A23)

6.10 Variante A25

Oberwassermessung	Nein	seitlicher Vorboden geneigt	Ja
Oberwassermessung detailliert	Ja	Trennpfeiler	Halbkreis
Rechenebene Messung	Ja	Abflusswassermenge	Q
Turbine Ebene Messung (T2)	Ja	Obere Wasserspiegel	± 0
Vorbodentyp	Steil	Hochwasserabfluss	Nein

Tab. 6.19 Basisdaten der Variante A25

Die Anströmung ist im Oberwasserbereich ähnlich wie bei Variante A2 mit entsprechender Zuströmung aus dem Wehrfeldbereich (Abb. 6.37), welche die Geschwindigkeitsverteilung in der Rechenebene (Abb. 6.38) und in der Turbinenebene (Abb. 6.39) beeinflusst. Der durch den seitlich angerampten Höhenversatz des Vorbodens induzierte Horizontalwirbel, verschlechtert hier nur geringfügig die Turbinenanströmung im Bodenbereich, dagegen neben dem Trennpfeiler ist diese stärker beeinträchtigt. In der Turbinenebene ist die Geschwindigkeit schon relativ gleichmäßig verteilt (Abb. 6.39).

Die Ergebnisse sind in Tabelle 6.20 ausgewertet. Die Grenzbedingungen von Fisher und Franke können nach der modifizierten Auswertungsmethode eingehalten werden. Sie werden aber nach der konservativen Methode im Bereich von 18% bis 25% des Flächenanteils nicht erfüllt (Abb. 6.40). Die Anströmung kann daher als gut beurteilt werden, jedoch in Bezug auf den reinen Turbinenbetrieb (maßgebend 2 Turbinen) zeigt diese Variante A25 die besten Anströmungsverhältnisse vor der Turbine 2.

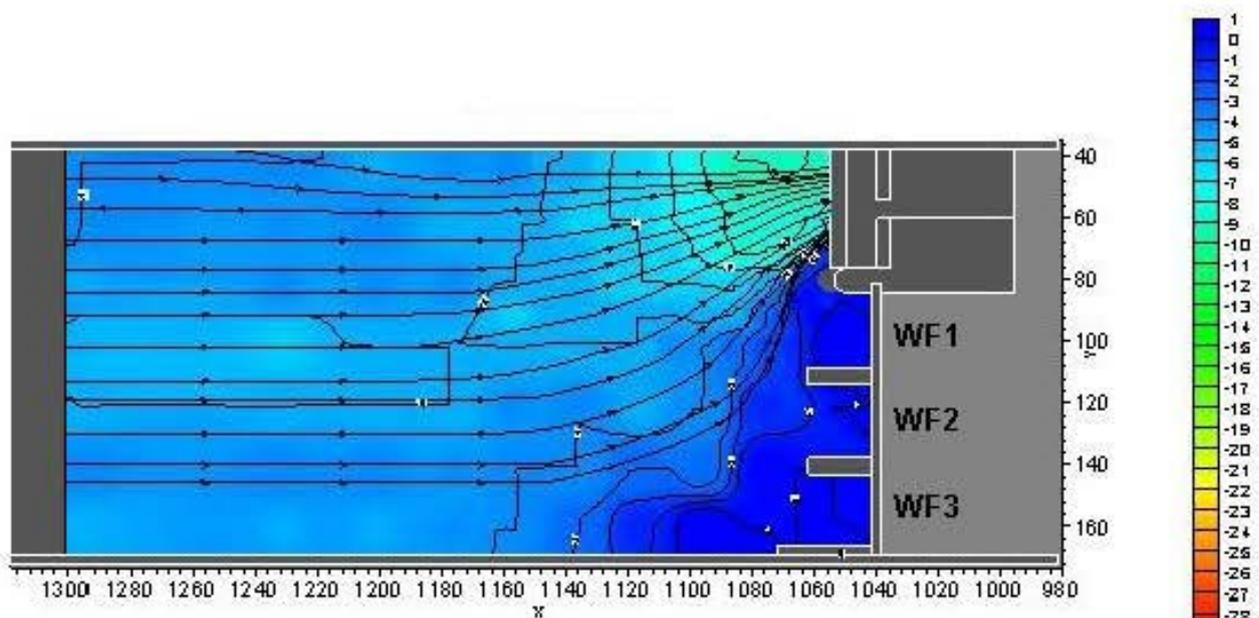


Abb. 6.37 Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A25)

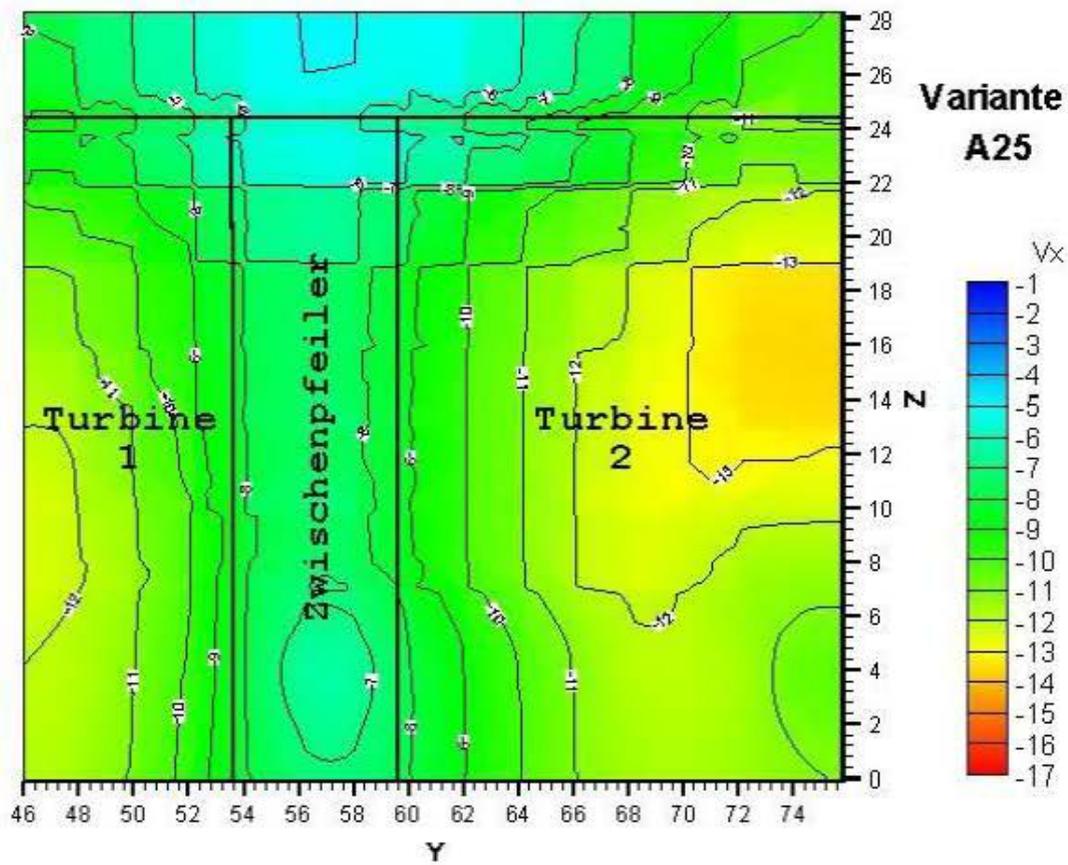


Abb. 6.38 Geschwindigkeitsverteilung Rechebene (Variante A25)

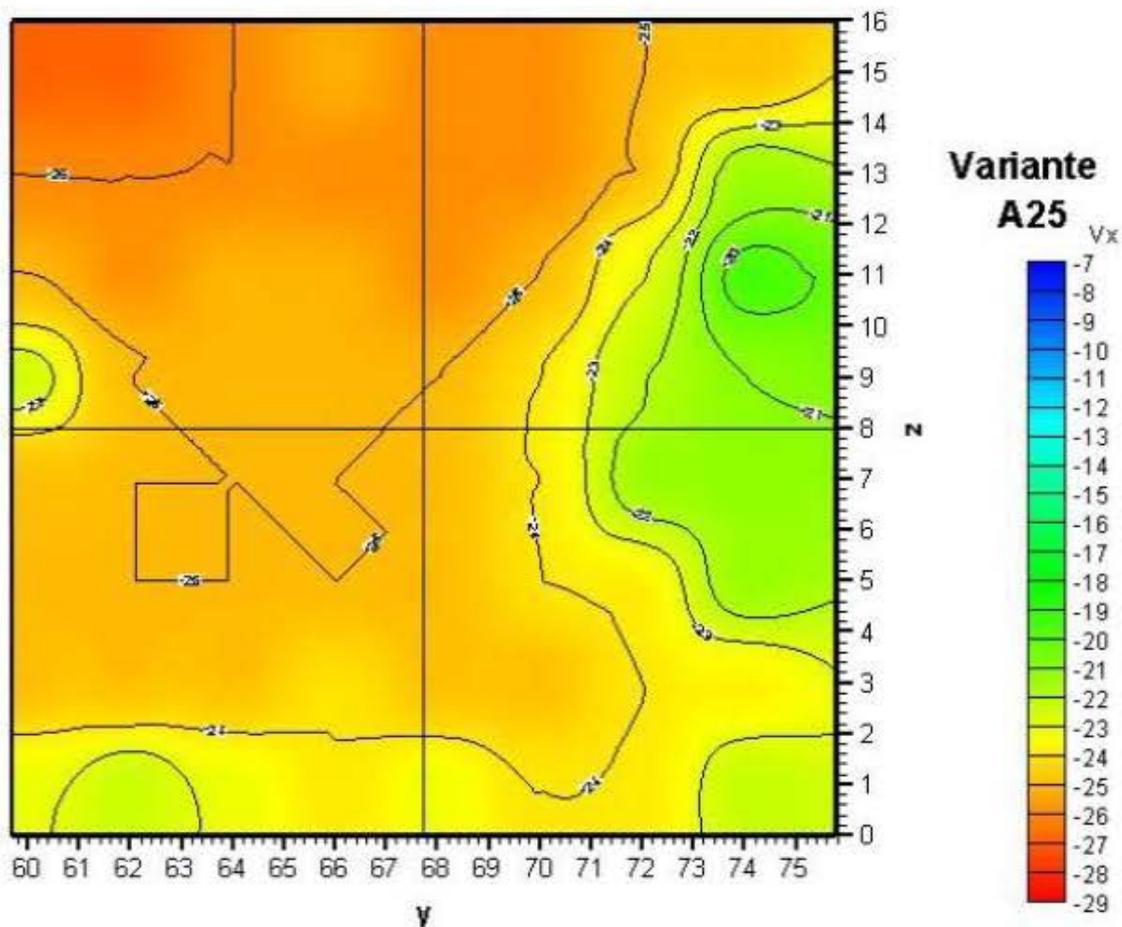


Abb. 6.39 Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A25)

Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2

Variante A25

Gemessene Modellwerte

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-0,273	-0,270	-0,261	-0,258	-0,267	-0,270	-0,256	-0,254
I	-0,253	-0,290	-0,240	-0,292	-0,221	-0,280	-0,221	-0,284
	-0,287	-0,242	-0,284	-0,258	-0,286	-0,213	-0,273	-0,213
2	-0,265	-0,266	-0,265	-0,264	-0,265	-0,265	-0,258	-0,217
II	-0,252	-0,279	-0,246	-0,279	-0,248	-0,281	-0,217	-0,281
	-0,280	-0,251	-0,279	-0,250	-0,283	-0,221	-0,264	-0,166
3	-0,256	-0,262	-0,260	-0,256	-0,260	-0,258	-0,239	-0,196
III	-0,226	-0,279	-0,241	-0,274	-0,249	-0,275	-0,211	-0,280
	-0,276	-0,241	-0,277	-0,238	-0,273	-0,183	-0,244	-0,150
4	-0,225	-0,256	-0,258	-0,256	-0,255	-0,249	-0,224	-0,215
IV	-0,199	-0,256	-0,242	-0,266	-0,243	-0,270	-0,210	-0,282
	-0,268	-0,234	-0,268	-0,221	-0,258	-0,193	-0,252	-0,187
5	-0,250	-0,251	-0,256	-0,252	-0,257	-0,247	-0,219	-0,213
V	-0,230	-0,261	-0,216	-0,267	-0,241	-0,269	-0,214	-0,273
	-0,267	-0,245	-0,263	-0,188	-0,256	-0,178	-0,262	-0,162
6	-0,254	-0,254	-0,255	-0,251	-0,252	-0,249	-0,244	-0,210
VI	-0,235	-0,269	-0,244	-0,265	-0,246	-0,267	-0,205	-0,277
	-0,262	-0,235	-0,265	-0,218	-0,264	-0,221	-0,243	-0,175
7	-0,256	-0,255	-0,253	-0,246	-0,254	-0,251	-0,241	-0,242
VII	-0,238	-0,268	-0,241	-0,268	-0,233	-0,274	-0,183	-0,284
	-0,269	-0,242	-0,269	-0,231	-0,259	-0,218	-0,263	-0,224
8	-0,232	-0,224	-0,235	-0,244	-0,234	-0,245	-0,244	-0,228
VIII	-0,207	-0,256	-0,202	-0,245	-0,206	-0,266	-0,208	-0,266
	-0,259	-0,206	-0,271	-0,224	-0,266	-0,222	-0,253	-0,207

Quadrant 1 V1mittel -0,259	Mittelwert Min. Wert Max. Wert	Quadrant 2 V2mittel -0,247
Quadrant 3 V3mittel -0,248	$\alpha = 1,012761$	Quadrant 4 V4mittel -0,239
Vgesamt, mittel -0,248		Vmin(10%) -0,224 Vmax(10%) -0,273

Tab. 6.20 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A25)

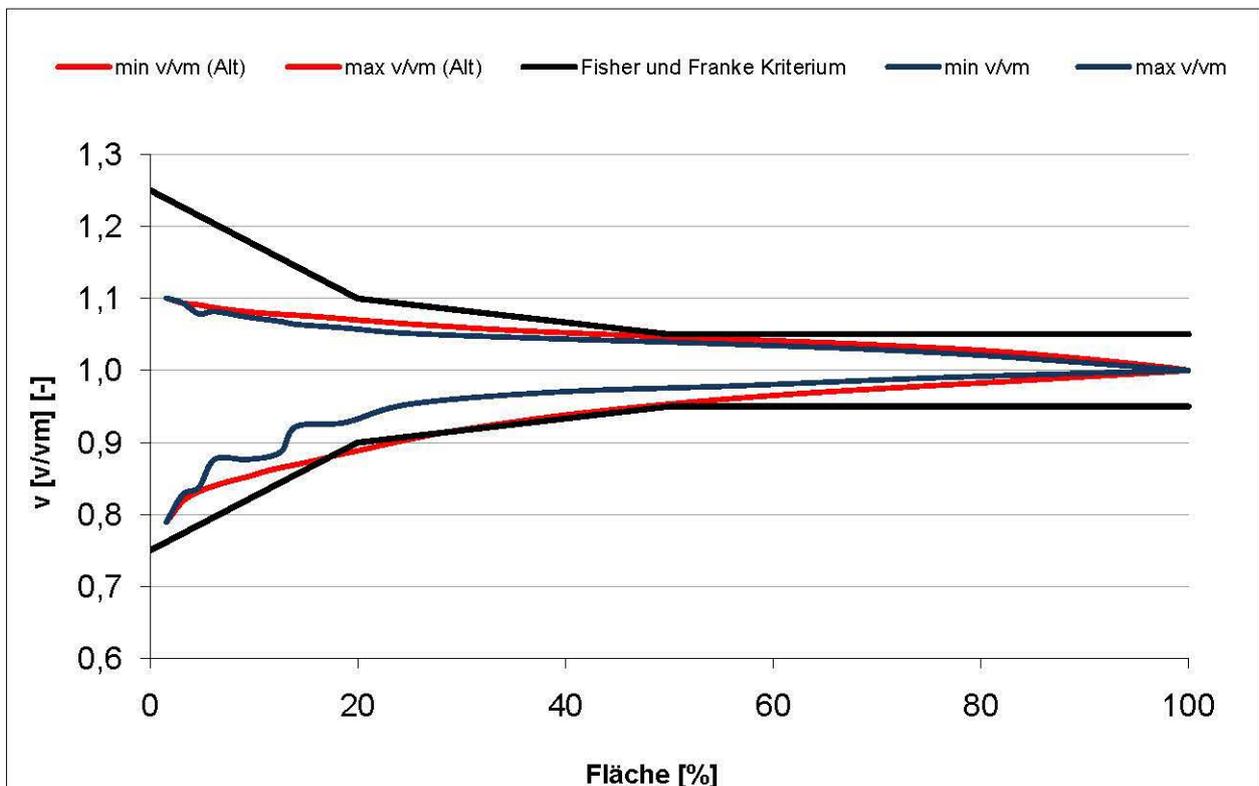


Abb. 6.40 Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A25)

6.11 Variante A27

Oberwassermessung	Ja	seitlicher Vorboden geneigt	Ja
Oberwassermessung detailliert	Nein	Trennpfeiler	Halbkreis
Rechenebene Messung	Ja	Abflusswassermenge	2Q
Turbine Ebene Messung (T2)	Ja	Obere Wasserspiegel	± 0
Vorbodentyp	Steil	Hochwasserabfluss	WF 1 & 2

Tab. 6.21 Basisdaten der Variante A27

Das Anströmungsbild im Oberwasser wird auch hier durch die gleichzeitige Hochwasserabfuhr über beide Wehrfelder vergleichmäßig (Abb. 6.41). Die Rechen – und Turbinenanströmung erfolgt im Wesentlichen aus dem oberwasserseitigen Vorbodenbereich. Durch den seitlichen Höhenabfall zum Vorboden, ist die Anströmung im unteren Einlaufbodenbereich des Rechens gering beeinflusst (Abb. 6.42). Die Strömungsverhältnisse vergleichmäßig sich aber vor der Turbine 2 (Abb. 6.43). Tabelle 6.22 zeigt die dazugehörige Geschwindigkeitsverteilung. Die Grenzbedingungen von Fisher und Franke werden nach beiden Methoden sehr gut eingehalten (Abb. 6.44). Die Kraftthausanströmung kann daher auch für diese Variante A27 als sehr gut beurteilt werden.

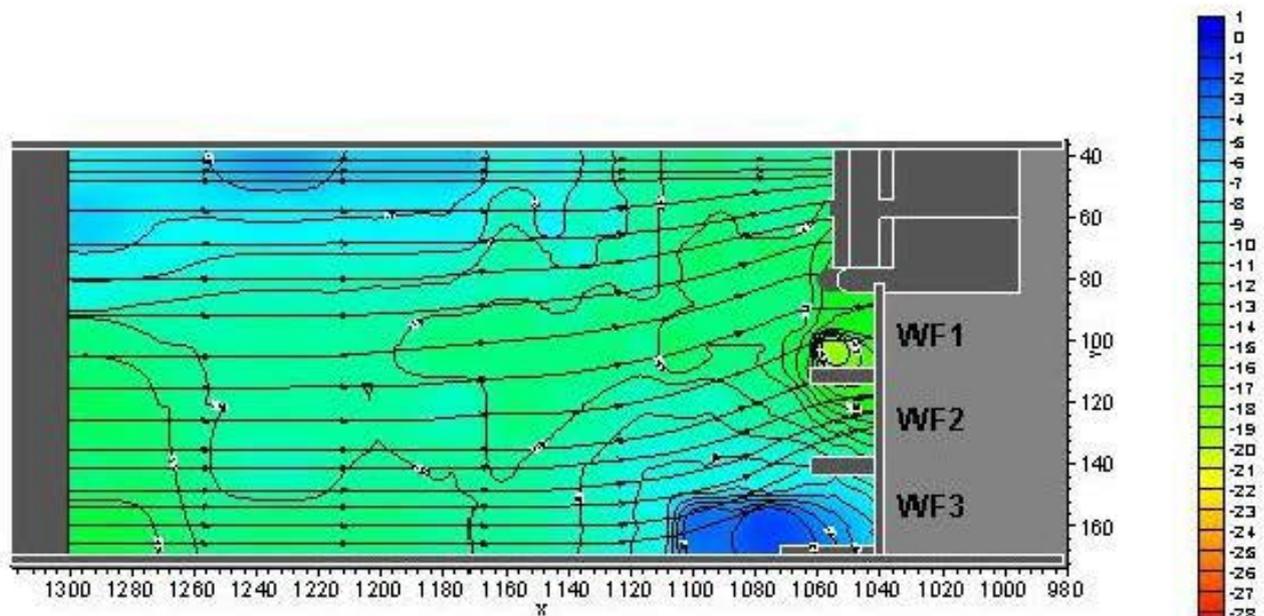


Abb. 6.41 Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A27)

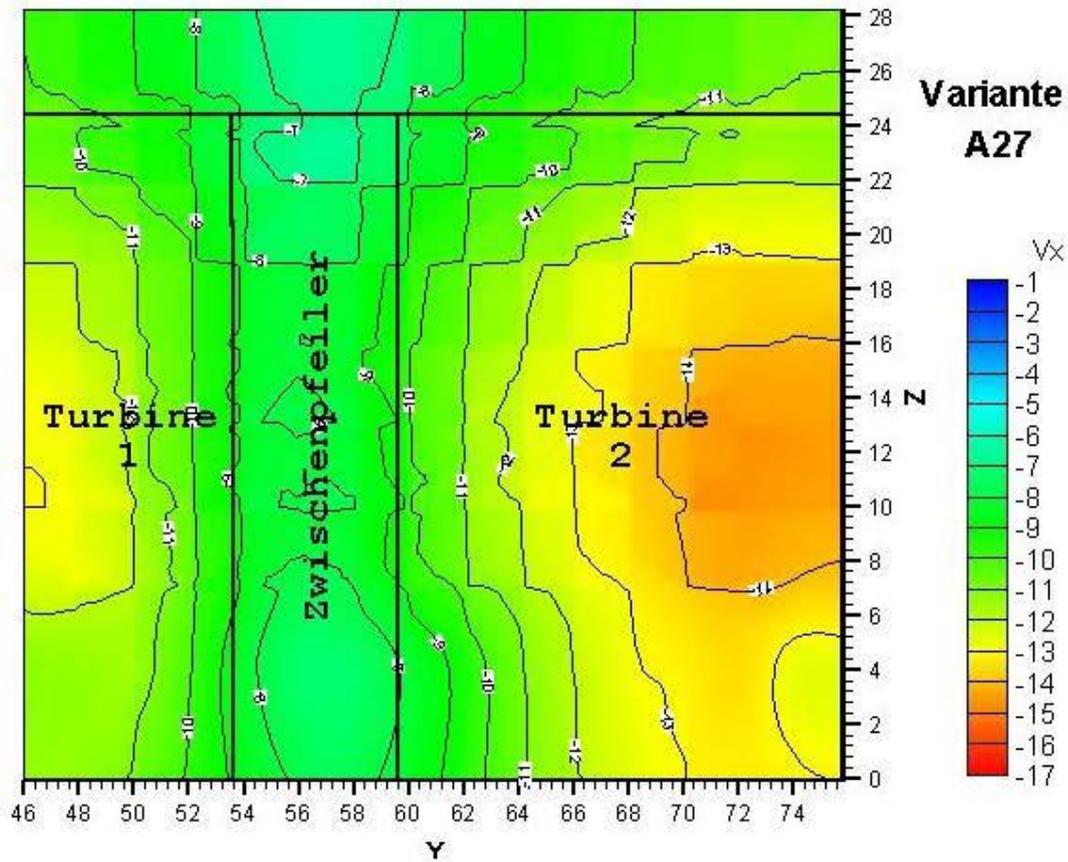


Abb. 6.42 Geschwindigkeitsverteilung Rechebene (Variante A27)

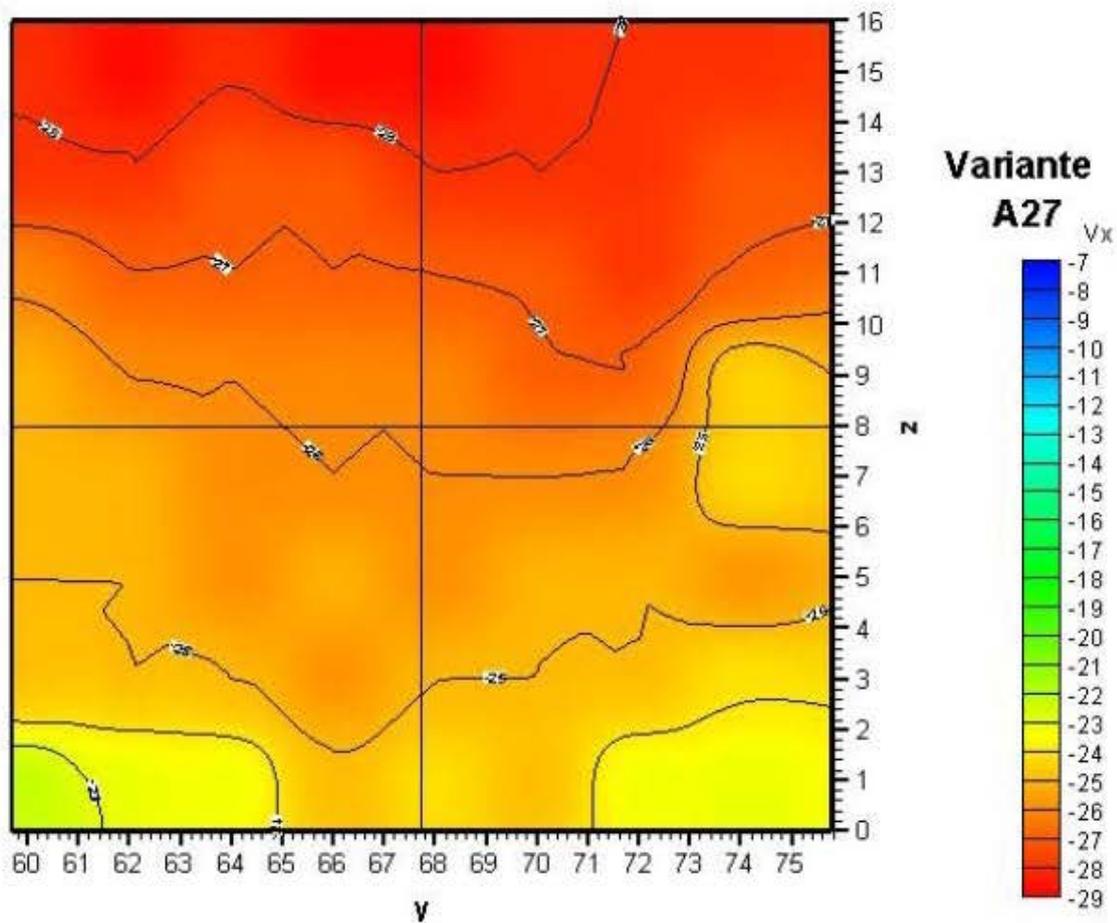


Abb. 6.43 Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A27)

Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2

Variante A27

Gemessene Modellwerte

	1	2	3	4	5	6	7	8	
I	1	-0,286	-0,290	-0,290	-0,290	-0,290	-0,289	-0,288	-0,284
		-0,267 -0,297	-0,276 -0,298	-0,271 -0,300	-0,273 -0,300	-0,297 -0,276	-0,297 -0,272	-0,297 -0,271	-0,294 -0,262
II	2	-0,280	-0,284	-0,279	-0,278	-0,281	-0,280	-0,281	-0,277
		-0,265 -0,292	-0,273 -0,295	-0,266 -0,291	-0,251 -0,288	-0,291 -0,271	-0,289 -0,268	-0,290 -0,272	-0,293 -0,256
III	3	-0,262	-0,271	-0,277	-0,272	-0,278	-0,277	-0,280	-0,278
		-0,229 -0,279	-0,262 -0,285	-0,266 -0,284	-0,262 -0,282	-0,287 -0,261	-0,291 -0,262	-0,291 -0,270	-0,290 -0,260
IV	4	-0,252	-0,263	-0,263	-0,264	-0,270	-0,271	-0,271	-0,248
		-0,222 -0,274	-0,252 -0,273	-0,252 -0,275	-0,250 -0,275	-0,282 -0,258	-0,281 -0,261	-0,282 -0,255	-0,276 -0,205
	5	-0,252	-0,255	-0,266	-0,267	-0,265	-0,261	-0,265	-0,249
		-0,239 -0,266	-0,240 -0,268	-0,246 -0,274	-0,255 -0,274	-0,272 -0,256	-0,275 -0,246	-0,282 -0,256	-0,273 -0,210
	6	-0,257	-0,259	-0,262	-0,257	-0,265	-0,257	-0,258	-0,261
		-0,240 -0,274	-0,251 -0,269	-0,248 -0,274	-0,244 -0,272	-0,275 -0,251	-0,272 -0,245	-0,271 -0,247	-0,277 -0,239
	7	-0,250	-0,252	-0,253	-0,260	-0,259	-0,257	-0,251	-0,247
		-0,233 -0,264	-0,237 -0,265	-0,241 -0,264	-0,248 -0,275	-0,270 -0,246	-0,270 -0,231	-0,264 -0,238	-0,268 -0,216
	8	-0,226	-0,238	-0,234	-0,251	-0,248	-0,253	-0,235	-0,235
		-0,192 -0,243	-0,208 -0,258	-0,207 -0,254	-0,232 -0,271	-0,261 -0,231	-0,265 -0,238	-0,257 -0,212	-0,260 -0,213

Quadrant 1 V1mittel -0,275	Mittelwert Min. Wert Max. Wert	Quadrant 2 V2mittel -0,278
Quadrant 3 V3mittel -0,252	$\alpha=1,01038$	Quadrant 4 V4mittel -0,254
Vgesamt, mittel -0,265		Vmin(10%) -0,238 Vmax(10%) -0,291

Tab. 6.22 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A27)

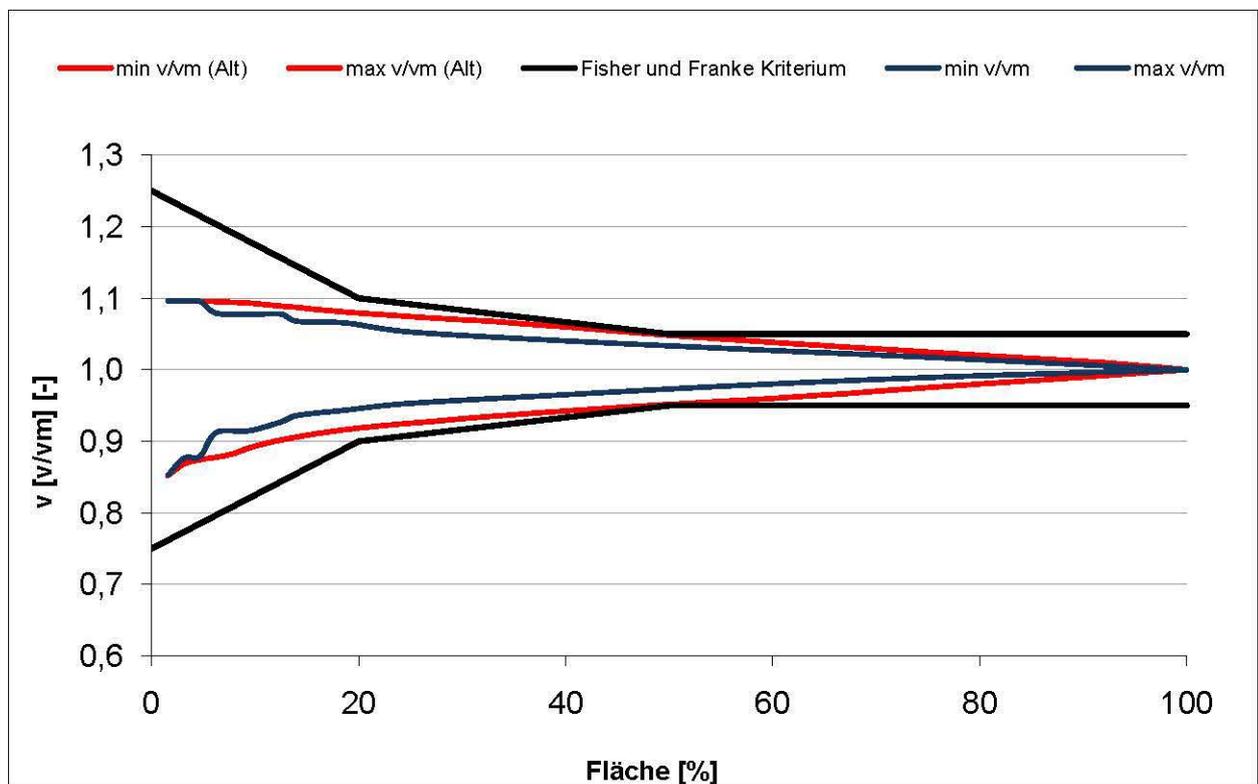


Abb. 6.44 Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A27)

6.12 Variante A29

Oberwassermessung	Ja	seitlicher Vorboden geneigt	Ja
Oberwassermessung detailliert	Nein	Trennpfeiler	Halbkreis
Rechenebene Messung	Ja	Abflusswassermenge	2Q
Turbine Ebene Messung (T2)	Ja	Obere Wasserspiegel	± 0
Vorbodentyp	Steil	Hochwasserabfluss	WF 1

Tab. 6.23 Basisdaten der Variante A29

Das Anströmungsbild im Oberwasser wird durch die gleichzeitige Hochwasserabfuhr über das Wehrfeld 1 ebenfalls wie bei Variante A27 vergleichmäßig (Abb. 6.45). Im Wehrfeldbereich treten die größten Geschwindigkeiten auf. Die Rechen – und Turbinenanströmung wird durch die fehlende seitliche Zuströmung aus dem Wehrfeldbereich ebenfalls nur gering beeinträchtigt.

Durch den seitlich angerampten Höhenversatz des Vorbodens wird die Anströmung im unteren Rechenbereich mittelmäßig beeinflusst (Abb. 6.46). Die Strömungsverhältnisse vergleichmäßig sich aber in Richtung Turbine 2 (Abb. 6.47). Diese weist nur geringe Abweichungen von der mittleren Geschwindigkeit auf.

In Tabelle 6.24 ist die Verteilung der Geschwindigkeiten in dieser Zone dargestellt. Die Grenzbedingungen von Fisher und Franke werden nach beiden Beurteilungsmethoden eingehalten (Abb. 6.48). Die Krafthausanströmung kann daher als gut beurteilt werden.

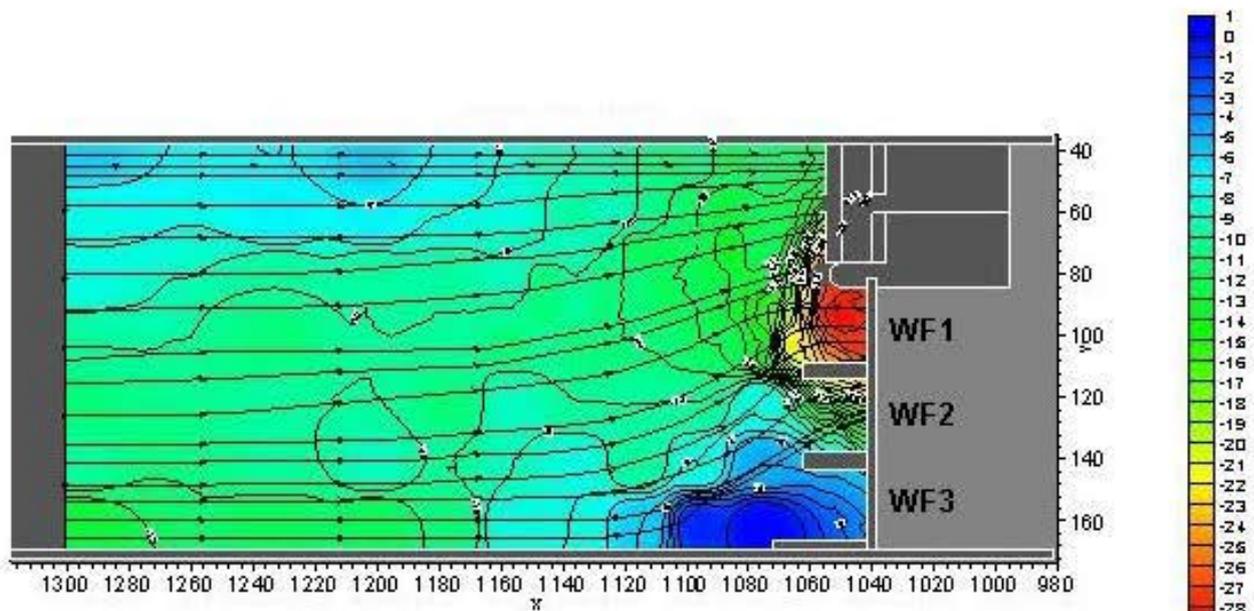


Abb. 6.45 Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A29)

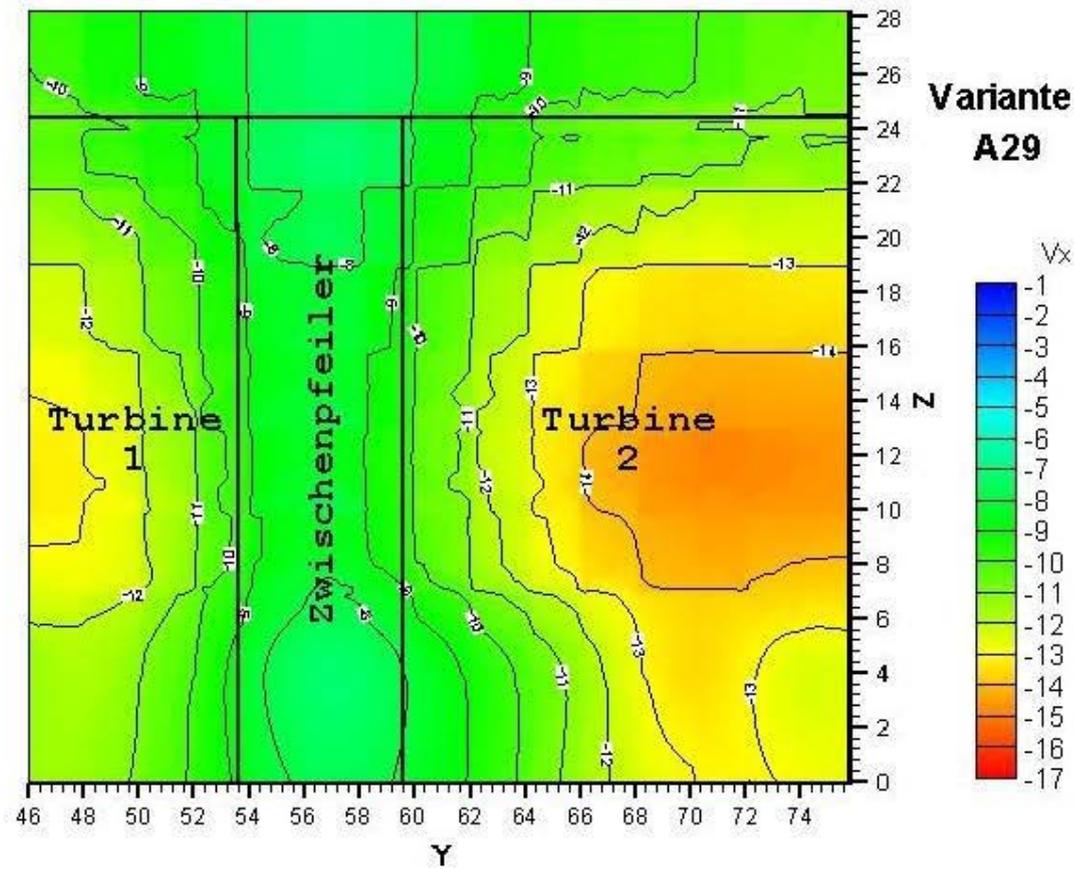


Abb. 6.46 Geschwindigkeitsverteilung Rechenebene (Variante A29)

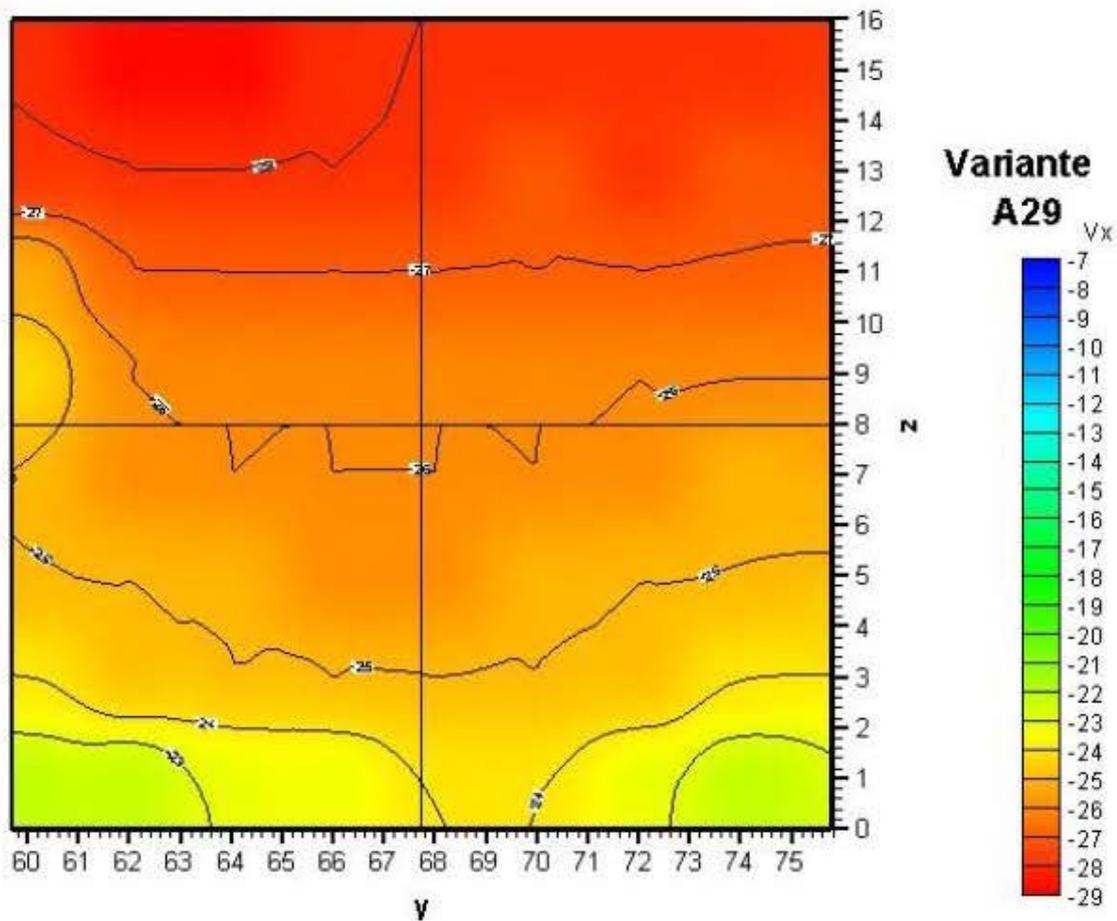


Abb. 6.47 Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A29)

Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2

Variante A29

Gemessene Modellwerte

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-0,282	-0,290	-0,291	-0,287	-0,287	-0,287	-0,286	-0,283
2	-0,284	-0,282	-0,286	-0,285	-0,281	-0,279	-0,280	-0,278
3	-0,259	-0,274	-0,273	-0,279	-0,274	-0,273	-0,271	-0,271
4	-0,249	-0,263	-0,266	-0,269	-0,263	-0,270	-0,267	-0,266
5	-0,257	-0,260	-0,266	-0,267	-0,263	-0,264	-0,261	-0,257
6	-0,259	-0,257	-0,258	-0,260	-0,260	-0,259	-0,259	-0,257
7	-0,249	-0,251	-0,256	-0,254	-0,256	-0,252	-0,254	-0,241
8	-0,223	-0,226	-0,234	-0,240	-0,242	-0,241	-0,236	-0,227

<p>Quadrant 1 V1mittel -0,276</p>	<p style="text-align: center;">Mittelwert</p> <p style="text-align: center;">Min. Wert Max. Wert</p>	<p>Quadrant 2 V2mittel -0,276</p>
<p>Quadrant 3 V3mittel -0,251</p>	<p>$\alpha=1,011739$</p>	<p>Quadrant 4 V4mittel -0,252</p>
<p>Vgesamt, mittel -0,264</p>		<p>Vmin(10%) -0,237</p> <p>Vmax(10%) -0,29</p>

Tab. 6.24 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A29)

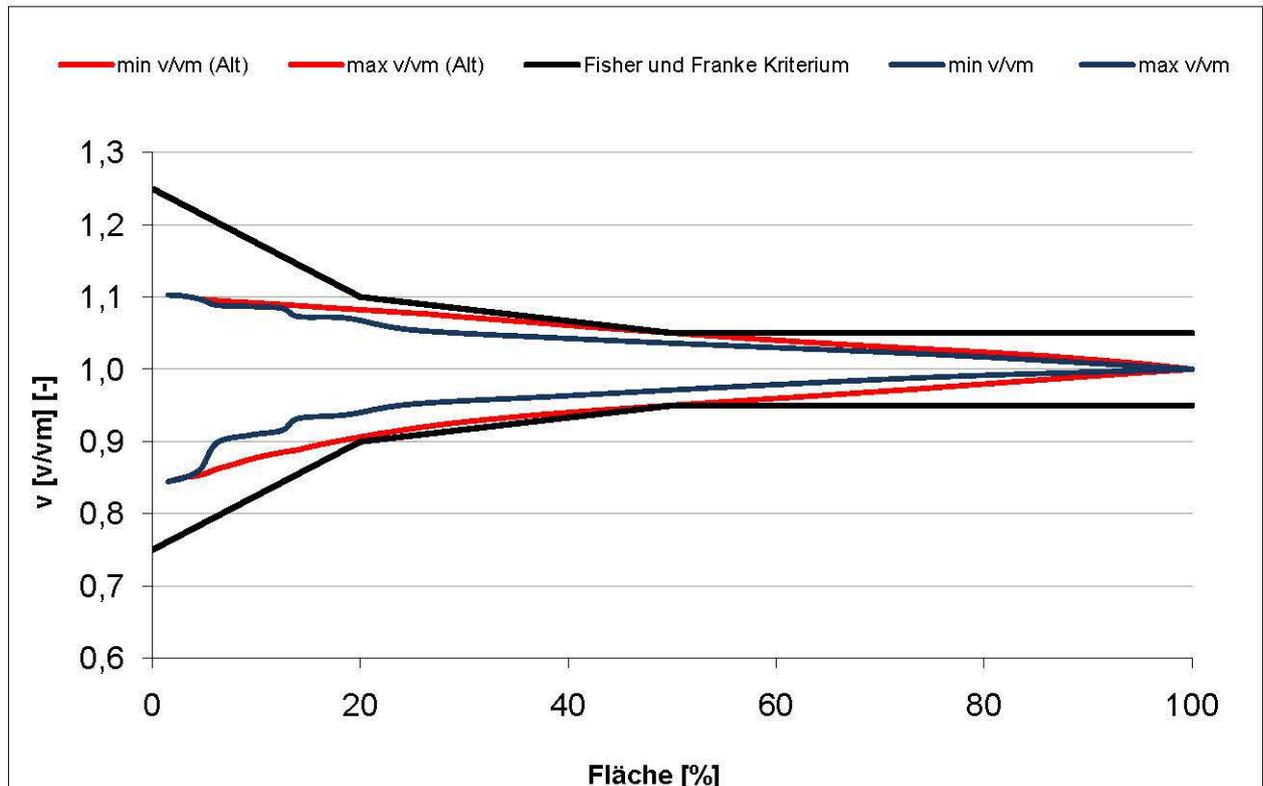


Abb. 6.48 Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A29)

6.13 Variante A31

Oberwassermessung	Ja	seitlicher Vorboden geneigt	Ja
Oberwassermessung detailliert	Nein	Trennpfeiler	Halbkreis
Rechenebene Messung	Ja	Abflusswassermenge	Q
Turbine Ebene Messung (T2)	Ja	Obere Wasserspiegel	- 2
Vorbodentyp	Steil	Hochwasserabfluss	Nein

Tab. 6.25 Basisdaten der Variante A31

Das Anströmungsbild ist im Oberwasserbereich ähnlich wie bei Variante A25 mit entsprechender Zuströmung aus dem Wehrfeldbereich (Abb. 6.49), welche durch den niedrigeren OW-Spiegel auf die Geschwindigkeitsverteilung in der Rechenebene (Abb. 6.50) und in der Turbinenebene (Abb. 6.51) einen stärkeren negativen Einfluss hat. Durch die umgelenkte Strömung aus dem Wehrbereich wird durch den seitlichen Höhenversatz zum Vorboden ein Horizontalwirbel ausgelöst, der die Anströmverhältnisse im Boden- und Trennpfeilerbereich zusätzlich verschlechtert. Die Anströmung in der Turbinenebene verbessert sich nicht wesentlich neben dem Trennpfeiler und im Bodenbereich.

Die Ergebnisse der Geschwindigkeitsmessung sind in Tabelle 6.26 dargestellt, wo auch der große Schwankungsbereich der Geschwindigkeiten deutlich erkennbar ist. Die Grenzbedingungen von Fisher und Franke werden nach der modifizierten Auswertungsmethode bis zu einem Flächenanteil von 20% und nach der konservativen Methode bis fast zu 60% der Fläche nicht erreicht (Abb. 6.52). Die Anströmung muss daher auch als schlecht eingestuft werden.

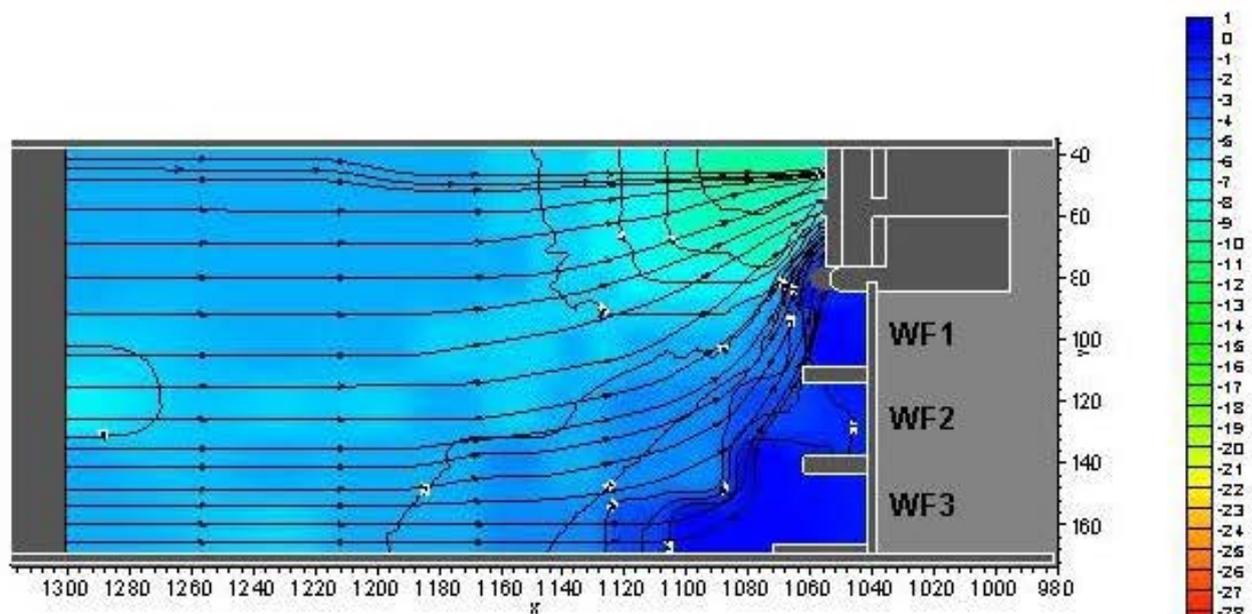


Abb. 6.49 Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A31)

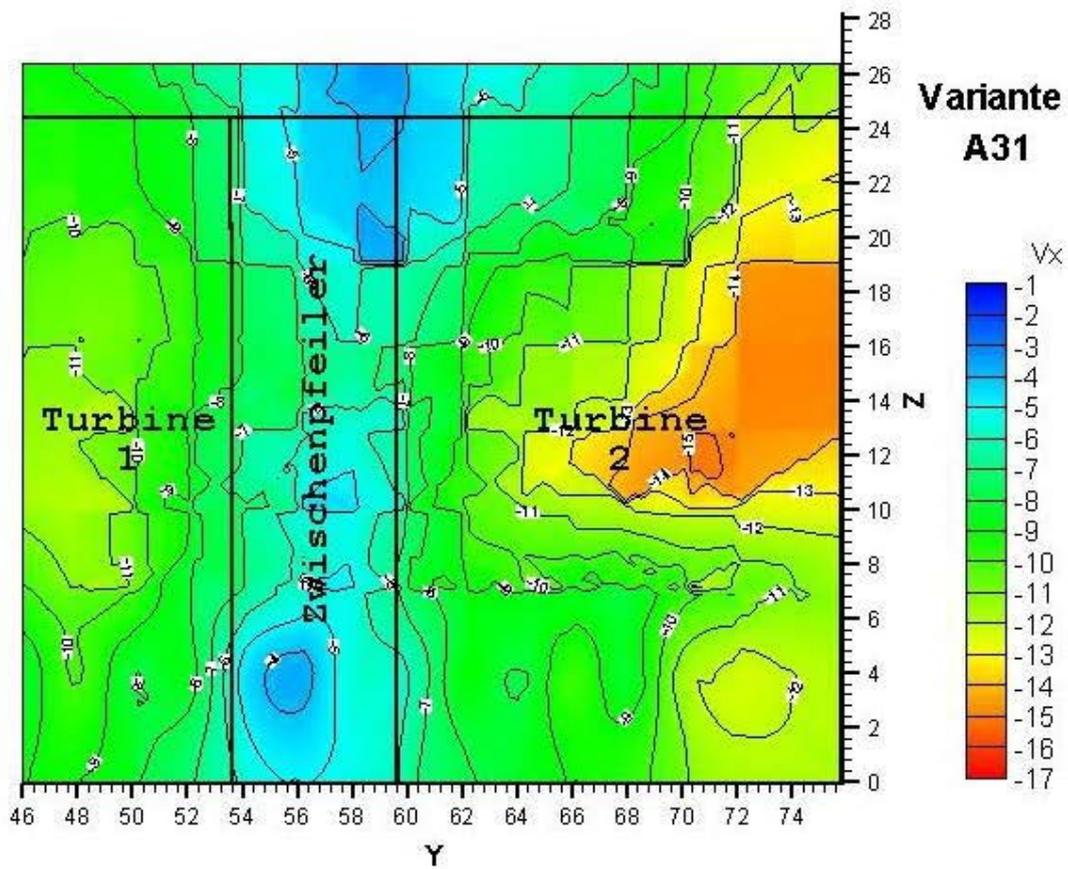


Abb. 6.50 Geschwindigkeitsverteilung Rechebene (Variante A31)

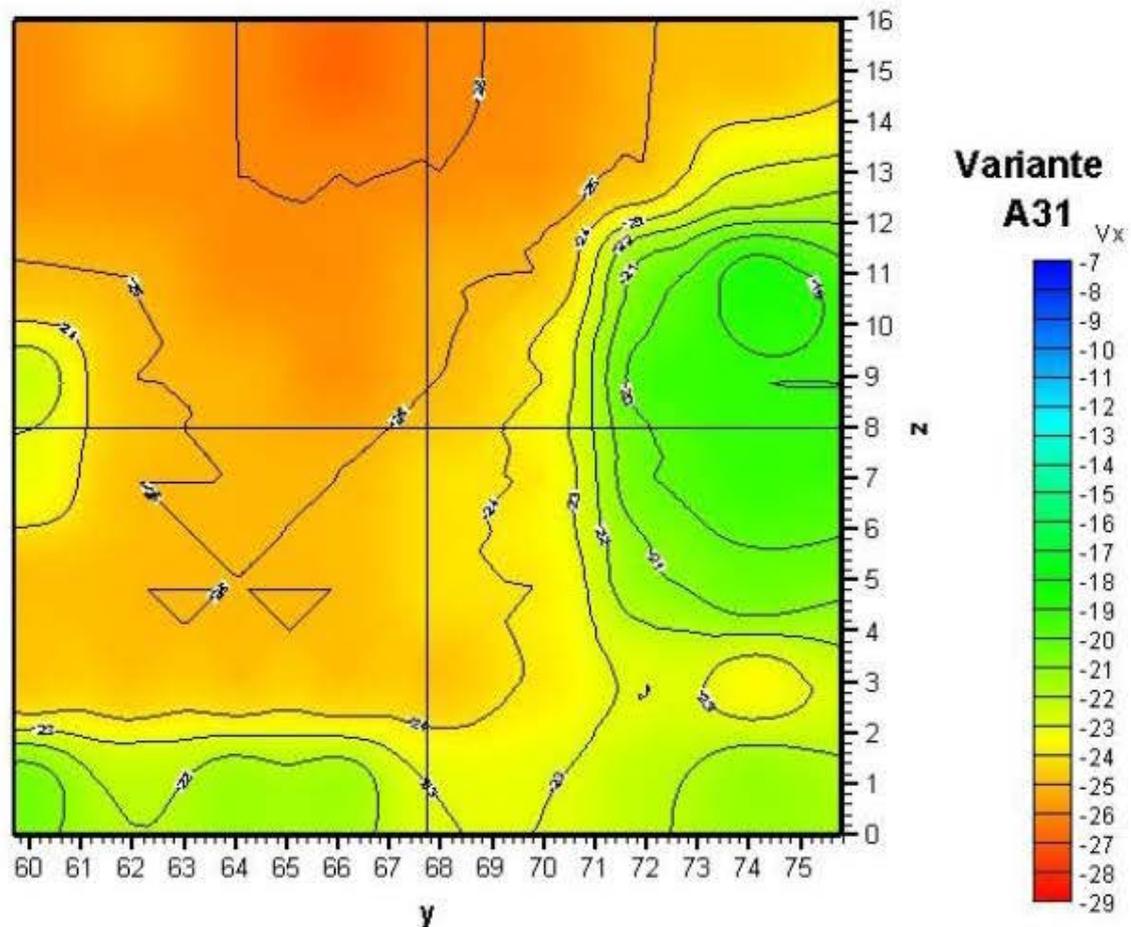


Abb. 6.51 Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A31)

Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2

Variante A31

Gemessene Modellwerte

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-0,266	-0,259	-0,263	-0,271	-0,264	-0,266	-0,258	-0,251
2	-0,264	-0,262	-0,264	-0,267	-0,265	-0,263	-0,257	-0,231
3	-0,258	-0,256	-0,261	-0,265	-0,260	-0,260	-0,208	-0,186
4	-0,229	-0,256	-0,258	-0,260	-0,257	-0,246	-0,198	-0,194
5	-0,236	-0,250	-0,256	-0,260	-0,249	-0,244	-0,202	-0,199
6	-0,252	-0,257	-0,252	-0,257	-0,249	-0,241	-0,218	-0,203
7	-0,251	-0,251	-0,255	-0,256	-0,250	-0,245	-0,237	-0,242
8	-0,207	-0,223	-0,218	-0,219	-0,230	-0,235	-0,226	-0,215

<p>Quadrant 1 V1mittel -0,260</p>	<p>Mittelwert Min. Wert Max. Wert</p>	<p>Quadrant 2 V2mittel -0,241</p>
<p>Quadrant 3 V3mittel -0,244</p>	<p>$\alpha=1,02337$</p>	<p>Quadrant 4 V4mittel -0,230</p>
<p>Vgesamt, mittel -0,244</p>		<p>Vmin(10%) -0,220 Vmax(10%) -0,268</p>

Tab. 6.26 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A31)

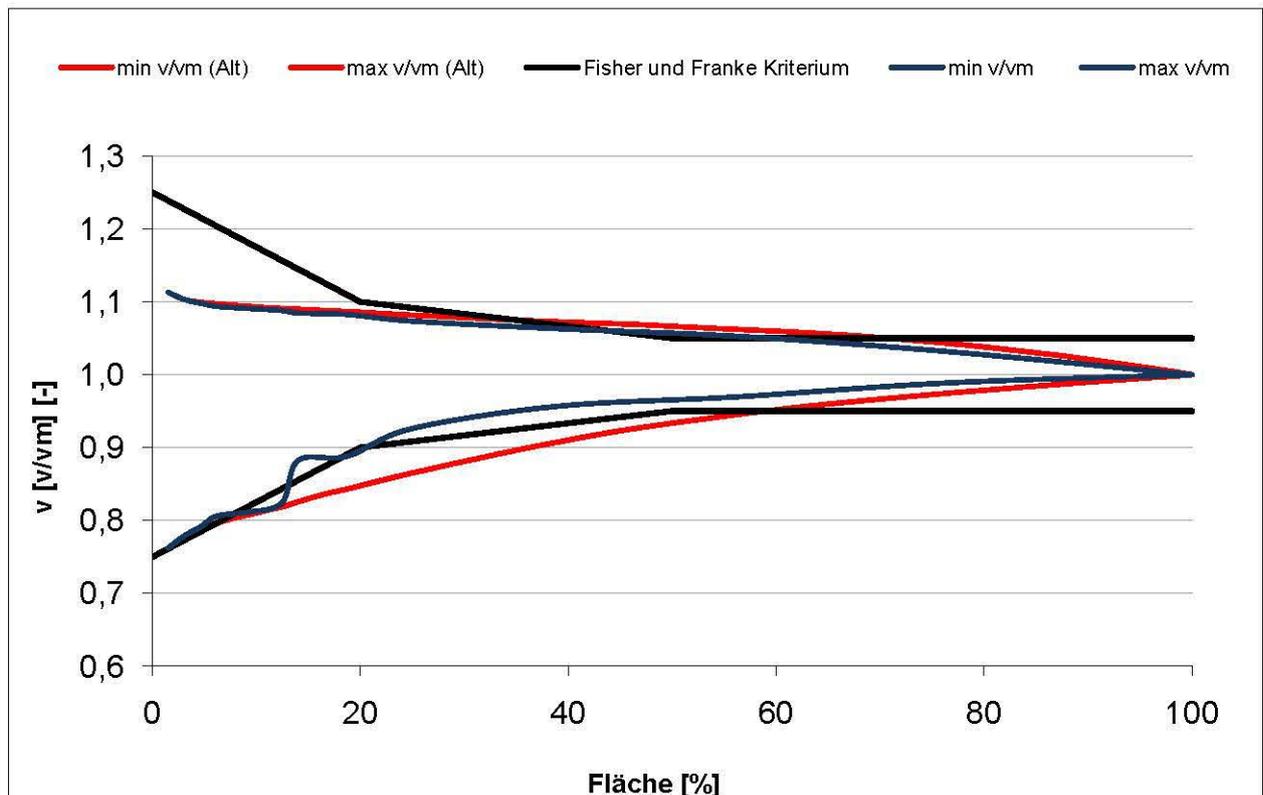


Abb. 6.52 Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A31)

6.14 Variante A32

Oberwassermessung	Nein	seitlicher Vorboden geneigt	Ja
Oberwassermessung detailliert	Ja	Trennpfeiler	Rouvé
Rechenebene Messung	Ja	Abflusswassermenge	Q
Turbine Ebene Messung (T2)	Ja	Obere Wasserspiegel	± 0
Vorbodentyp	Steil	Hochwasserabfluss	Nein

Tab. 6.27 Basisdaten der Variante A32

Die Anströmung ist im Oberwasserbereich ähnlich wie bei Variante A11 mit entsprechender umgelenkter Zuströmung aus dem Wehrfeldbereich (Abb. 6.53), welche die Geschwindigkeitsverhältnisse in der Rechenebene (Abb. 6.54) und in der Turbinenebene (Abb. 6.55) negativ beeinflusst. Der durch den seitlich angerampten Höhenversatz des Vorbodens induzierte Horizontalwirbel, verschlechtert zusätzlich die Anströmverhältnisse zur Turbine im Trennpfeilerbereich.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 6.28 ausgewertet und man sieht auch die großen Geschwindigkeitsabweichungen in dieser Zone. Die Grenzbedingungen von Fisher und Franke sind nach der modifizierten Auswertungsmethode bis zu einer anteiligen Fläche von 20% und nach der konservativen Methode bis 55% der Fläche nicht erfüllt (Abb. 6.56). Die Anströmung wird daher auch als schlecht beurteilt.

Bilder zur generellen Anströmung sind im Anhang 2 bei Variante A32 zu sehen.

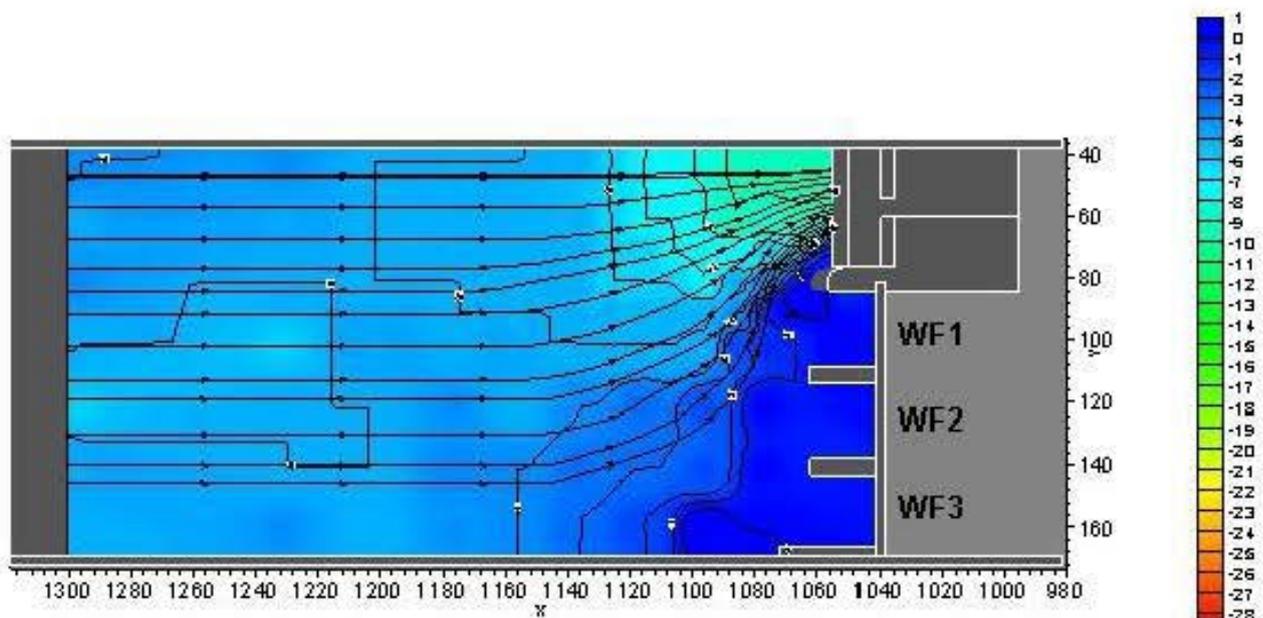


Abb. 6.53 Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A32)

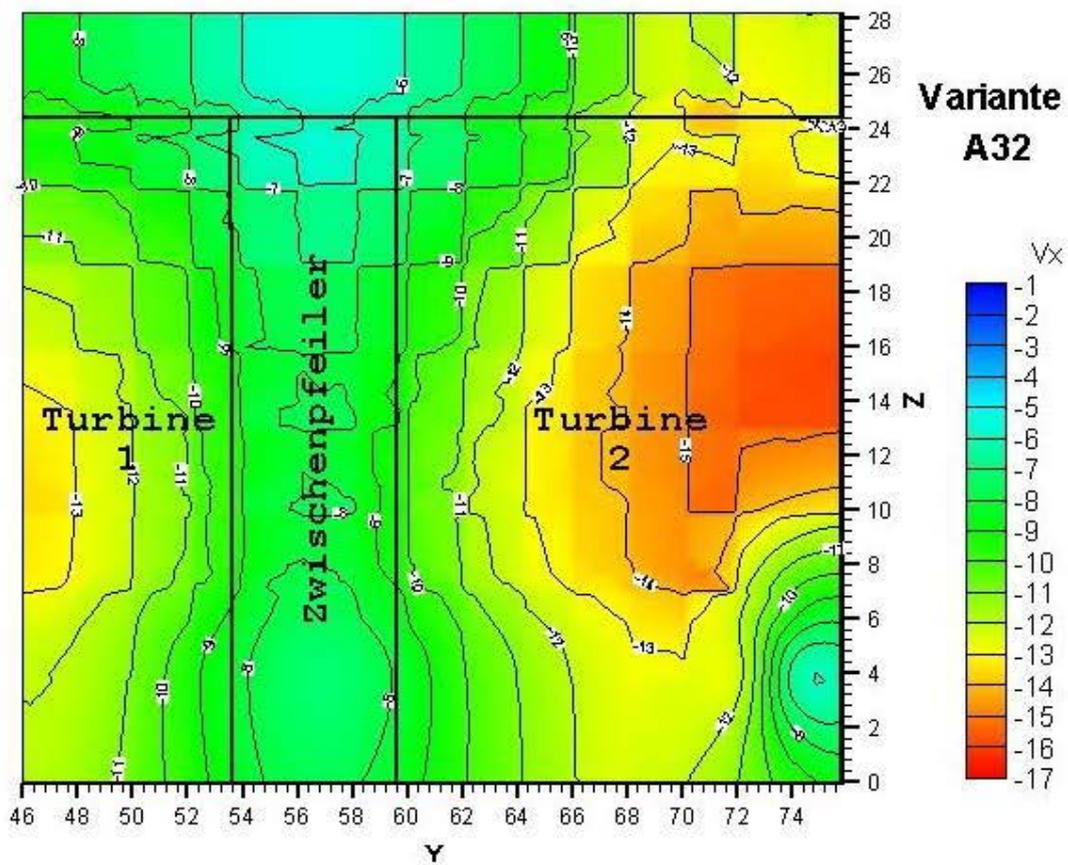


Abb. 6.54 Geschwindigkeitsverteilung Rechebene (Variante A32)

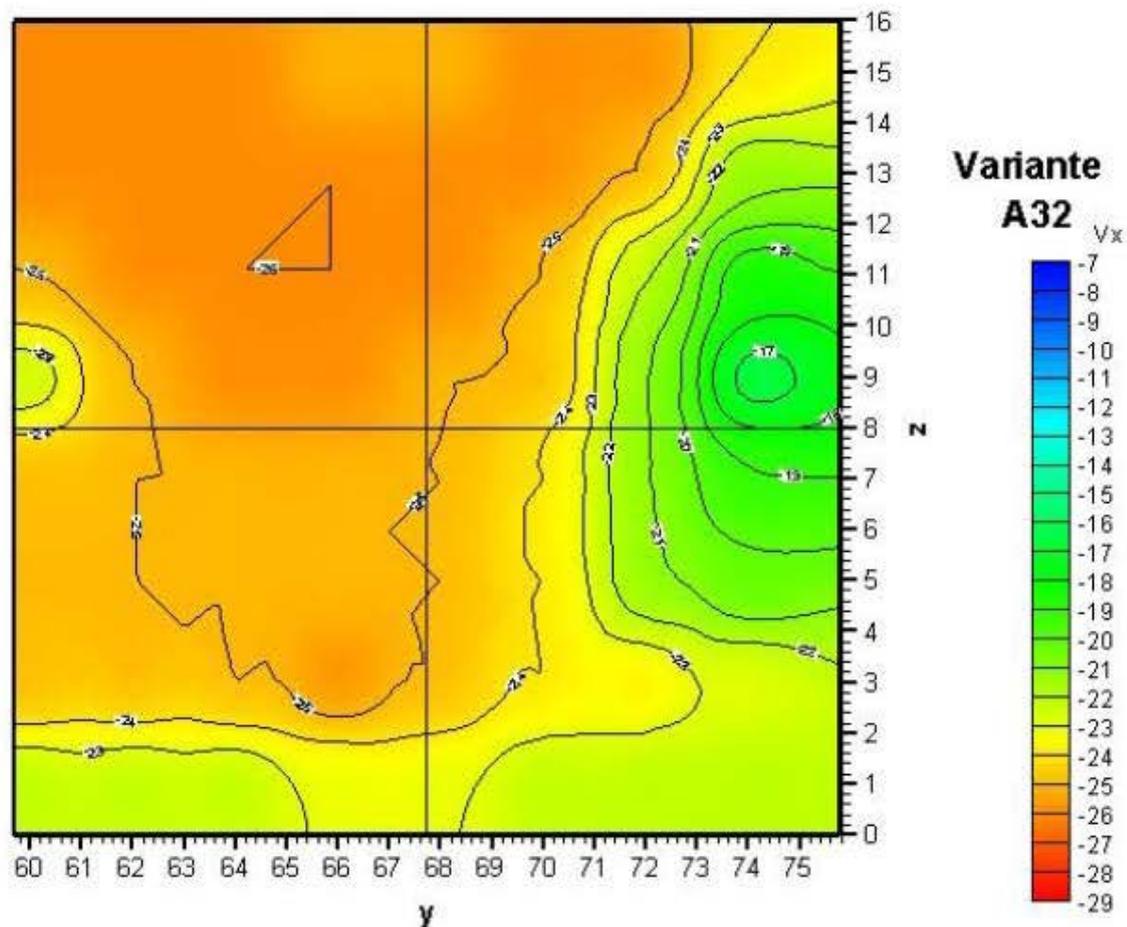


Abb. 6.55 Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A32)

Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2

Varante A32

Gemessene Modellwerte

	1	2	3	4	5	6	7	8	
I	1	-0,267	-0,266	-0,261	-0,258	-0,255	-0,262	-0,261	-0,242
		-0,245 -0,287	-0,244 -0,287	-0,219 -0,288	-0,214 -0,281	-0,279 -0,225	-0,286 -0,237	-0,282 -0,240	-0,272 -0,204
II	2	-0,263	-0,261	-0,264	-0,264	-0,268	-0,264	-0,255	-0,215
		-0,232 -0,284	-0,220 -0,287	-0,248 -0,286	-0,222 -0,282	-0,282 -0,248	-0,281 -0,236	-0,278 -0,212	-0,259 -0,167
III	3	-0,254	-0,264	-0,264	-0,262	-0,261	-0,257	-0,222	-0,181
		-0,213 -0,271	-0,249 -0,275	-0,237 -0,276	-0,244 -0,280	-0,279 -0,249	-0,282 -0,218	-0,270 -0,147	-0,225 -0,110
IV	4	-0,226	-0,256	-0,261	-0,261	-0,258	-0,251	-0,212	-0,165
		-0,201 -0,250	-0,217 -0,270	-0,252 -0,270	-0,240 -0,275	-0,270 -0,247	-0,268 -0,194	-0,251 -0,139	-0,209 -0,128
	5	-0,251	-0,254	-0,257	-0,254	-0,253	-0,245	-0,218	-0,190
		-0,235 -0,269	-0,241 -0,267	-0,247 -0,272	-0,225 -0,276	-0,265 -0,239	-0,267 -0,205	-0,269 -0,169	-0,233 -0,122
	6	-0,255	-0,254	-0,257	-0,256	-0,253	-0,247	-0,214	-0,206
		-0,240 -0,268	-0,239 -0,266	-0,249 -0,267	-0,212 -0,274	-0,264 -0,239	-0,264 -0,211	-0,249 -0,164	-0,239 -0,175
	7	-0,255	-0,256	-0,253	-0,260	-0,256	-0,250	-0,243	-0,236
		-0,234 -0,274	-0,244 -0,272	-0,237 -0,269	-0,247 -0,272	-0,274 -0,243	-0,268 -0,227	-0,260 -0,211	-0,259 -0,191
	8	-0,228	-0,223	-0,230	-0,235	-0,232	-0,230	-0,230	-0,224
		-0,195 -0,256	-0,188 -0,249	-0,191 -0,250	-0,207 -0,252	-0,264 -0,198	-0,255 -0,192	-0,258 -0,211	-0,241 -0,199

<p>Quadrant 1 V1mittel -0,260</p>	<p>Mittelwert</p> <p>Min. Wert Max. Wert</p>	<p>Quadrant 2 V2mittel -0,239</p>
<p>Quadrant 3 V3mittel -0,249</p>	<p>$\alpha=1,0235$</p>	<p>Quadrant 4 V4mittel -0,233</p>
<p>Vgesamt, mittel -0,245</p>		<p>Vmin(10%) -0,221</p> <p>Vmax(10%) -0,27</p>

Tab. 6.28 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A32)

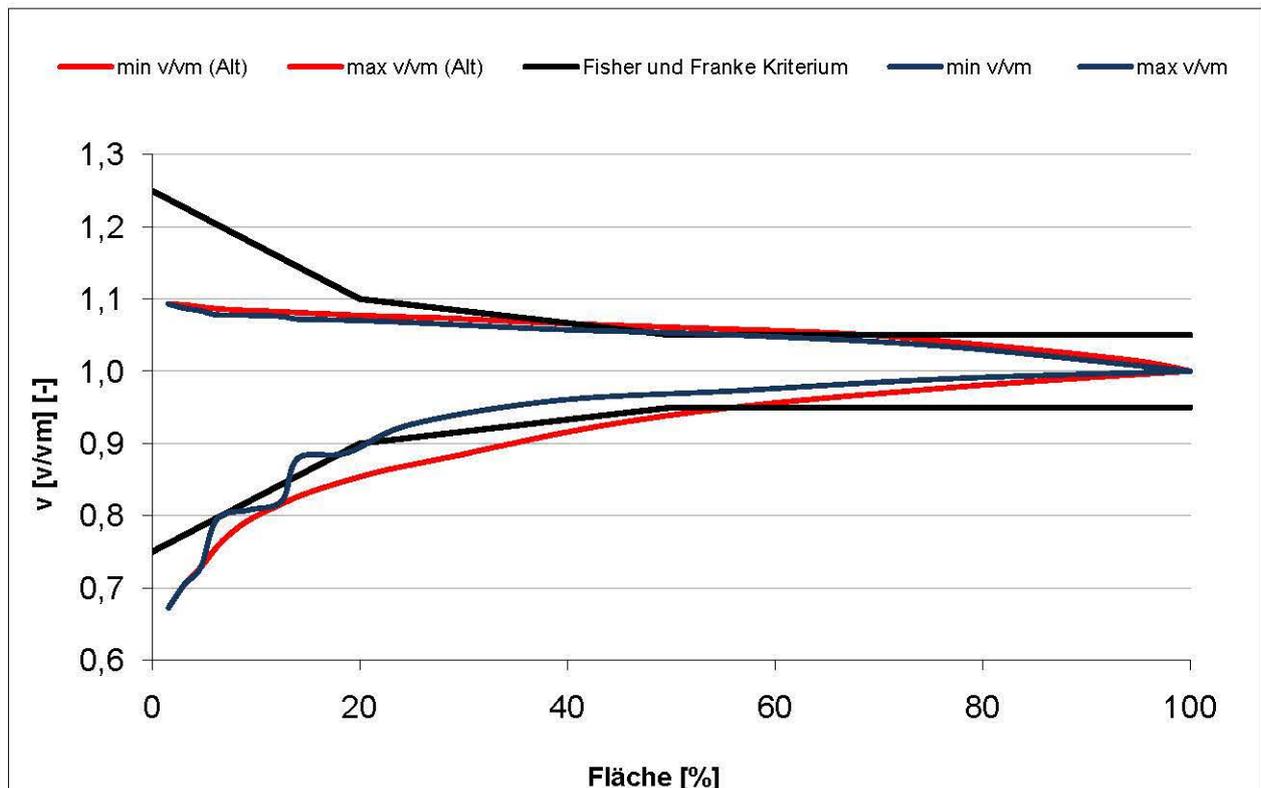


Abb. 6.56 Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A32)

6.15 Variante A35

Oberwassermessung	Ja	seitlicher Vorboden geneigt	Ja
Oberwassermessung detailliert	Nein	Trennpfeiler	Rouvé
Rechenebene Messung	Ja	Abflusswassermenge	0,5 Q
Turbine Ebene Messung (T2)	Ja	Obere Wasserspiegel	± 0
Vorbodentyp	Steil	Hochwasserabfluss	Nein

Tab. 6.29 Basisdaten der Variante A35

Die Anströmung ist im Oberwasserbereich ähnlich wie bei Variante A32 mit entsprechender umgelenkter Zuströmung aus dem Wehrfeldbereich (Abb. 6.57), welche die Geschwindigkeitsverhältnisse in der Rechenebene (Abb. 6.58) und in der Turbinenebene (Abb. 6.59) durch den geringeren Durchfluss entsprechend schwächer beeinflusst. Aber auch hier wird durch den seitlich angerampften Höhenversatz des Vorboden ein Horizontalwirbel induziert, der ebenfalls die Anströmverhältnisse zur Turbine im Boden- und Trennpfeilerbereich beeinträchtigt.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 6.30 ausgewertet und die Geschwindigkeitsabweichungen sind trotz halben Durchfluss ähnlich groß wie beim vollen Durchfluss. Die Grenzbedingungen von Fisher und Franke sind nach der modifizierten Auswertungsmethode bis zu einer anteiligen Fläche von 25% und nach der konservativen Methode bis 65% der Fläche nicht erfüllt (Abb. 6.60). Die Anströmung kann daher als sehr schlecht beurteilt werden.

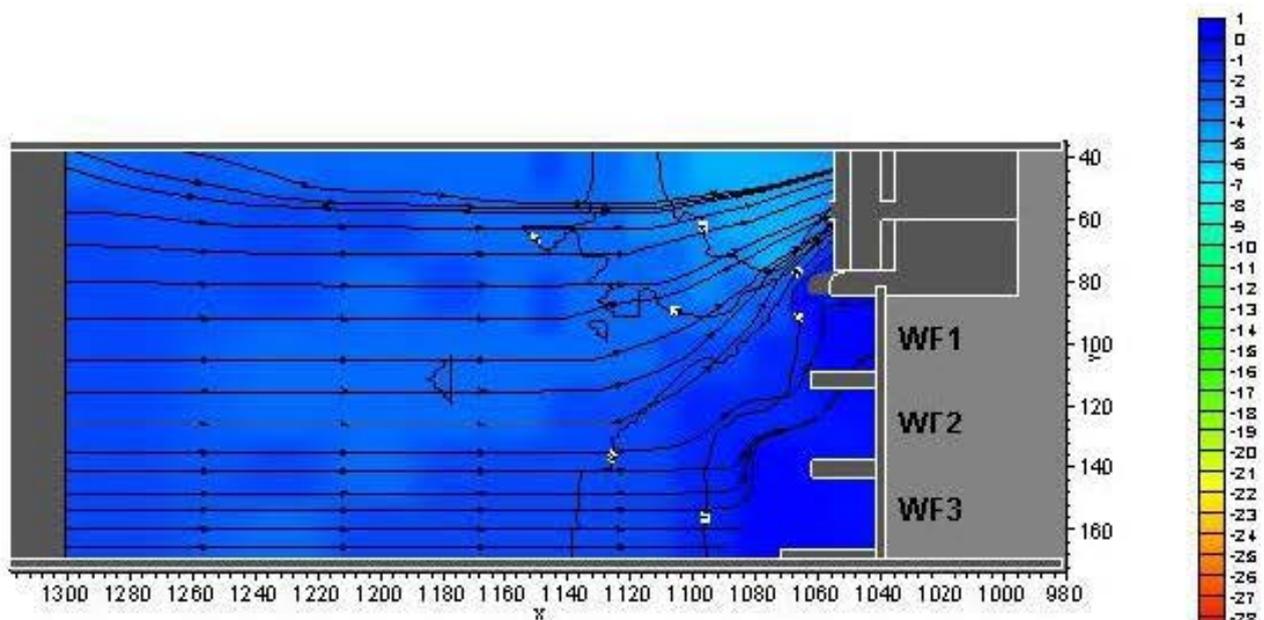


Abb. 6.57 Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A35)

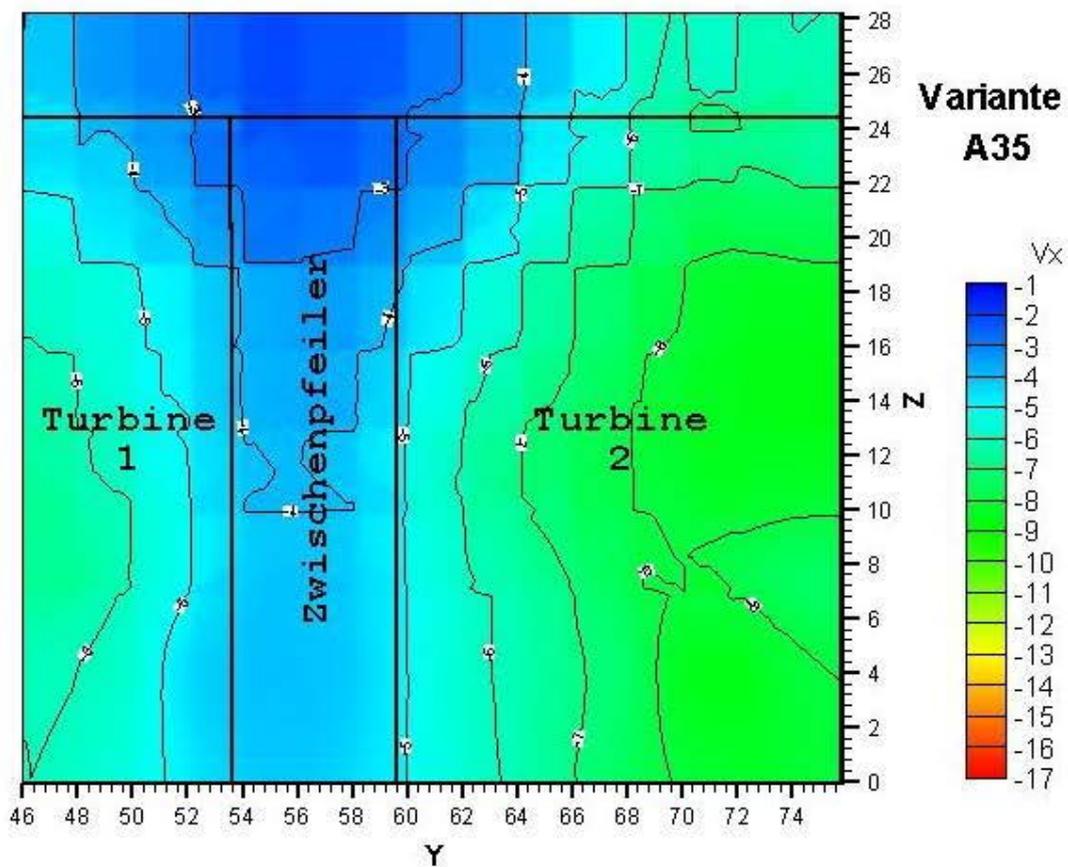


Abb. 6.58 Geschwindigkeitsverteilung Rechebene (Variante A35)

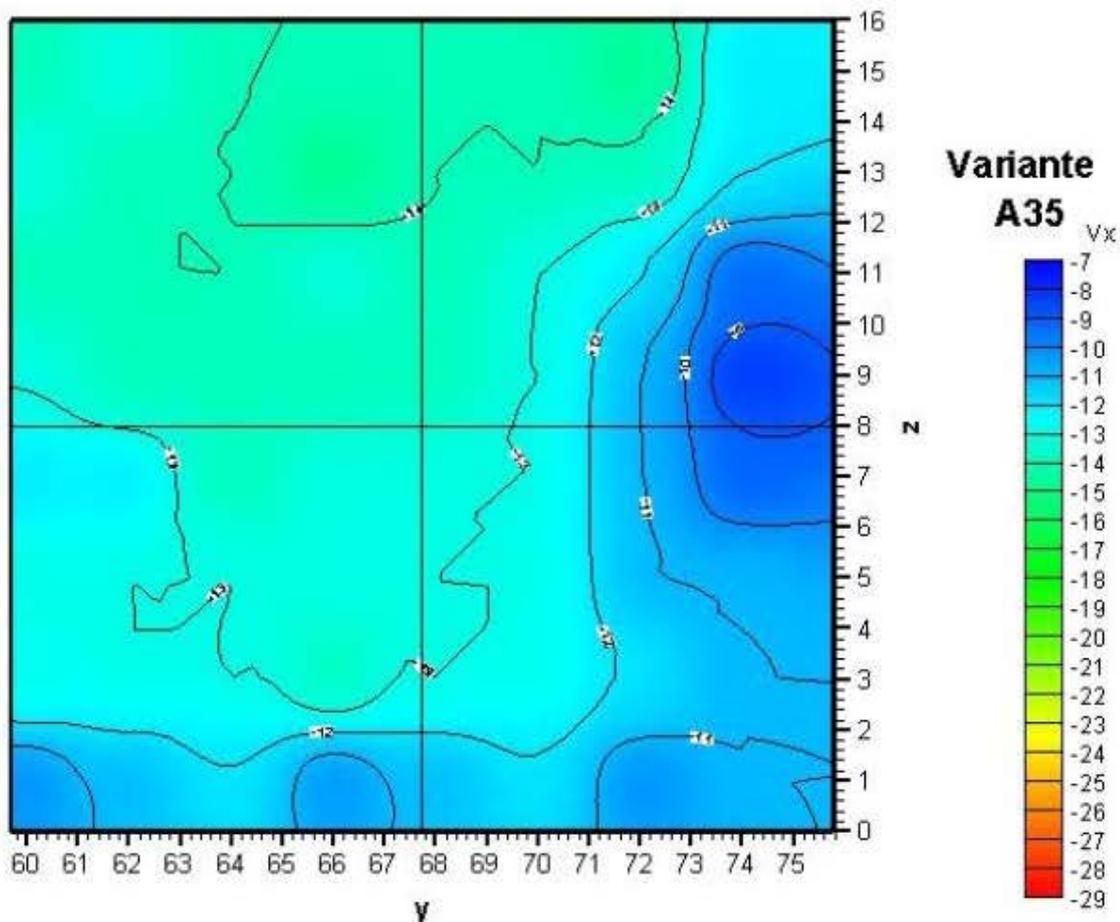


Abb. 6.59 Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A35)

Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2

Variante A35

Gemessene Modellwerte

	1	2	3	4	5	6	7	8	
I	1	-0,143	-0,137	-0,142	-0,149	-0,142	-0,149	-0,151	-0,128
		-0,116 -0,168	-0,109 -0,170	-0,111 -0,164	-0,119 -0,178	-0,165 -0,102	-0,172 -0,128	-0,181 -0,115	-0,180 -0,070
II	2	-0,139	-0,146	-0,149	-0,154	-0,143	-0,142	-0,145	-0,127
		-0,121 -0,176	-0,111 -0,179	-0,121 -0,171	-0,133 -0,189	-0,170 -0,116	-0,175 -0,107	-0,187 -0,115	-0,173 -0,079
III	3	-0,141	-0,149	-0,141	-0,139	-0,143	-0,139	-0,121	-0,093
		-0,112 -0,163	-0,116 -0,186	-0,098 -0,184	-0,061 -0,200	-0,177 -0,115	-0,178 -0,102	-0,165 -0,074	-0,141 -0,031
IV	4	-0,136	-0,141	-0,143	-0,140	-0,143	-0,140	-0,112	-0,080
		-0,088 -0,181	-0,065 -0,189	-0,108 -0,195	-0,098 -0,189	-0,157 -0,125	-0,158 -0,114	-0,169 -0,060	-0,112 -0,041
	5	-0,122	-0,125	-0,149	-0,139	-0,138	-0,134	-0,111	-0,098
		-0,076 -0,189	-0,071 -0,162	-0,119 -0,185	-0,072 -0,173	-0,161 -0,125	-0,156 -0,105	-0,155 -0,042	-0,134 -0,039
	6	-0,139	-0,138	-0,140	-0,140	-0,135	-0,132	-0,110	-0,116
		-0,089 -0,194	-0,101 -0,162	-0,073 -0,177	-0,080 -0,180	-0,153 -0,122	-0,153 -0,104	-0,141 -0,079	-0,146 -0,089
	7	-0,138	-0,137	-0,138	-0,140	-0,135	-0,139	-0,127	-0,119
		-0,086 -0,188	-0,088 -0,179	-0,095 -0,168	-0,108 -0,169	-0,165 -0,088	-0,173 -0,100	-0,160 -0,092	-0,141 -0,099
	8	-0,108	-0,111	-0,120	-0,103	-0,112	-0,120	-0,107	-0,120
		-0,087 -0,131	-0,067 -0,139	-0,072 -0,153	-0,079 -0,126	-0,139 -0,072	-0,171 -0,085	-0,143 -0,073	-0,175 -0,047

<p>Quadrant 1 V1mittel -0,143</p>	<p>Mittelwert</p> <p>Min. Wert Max. Wert</p>	<p>Quadrant 2 V2mittel -0,131</p>
<p>Quadrant 3 V3mittel -0,130</p>	<p>$\alpha=1,041762$</p>	<p>Quadrant 4 V4mittel -0,122</p>
<p>Vgesamt, mittel -0,132</p>		<p>Vmin(10%) -0,119</p> <p>Vmax(10%) -0,145</p>

Tab. 6.30 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A35)

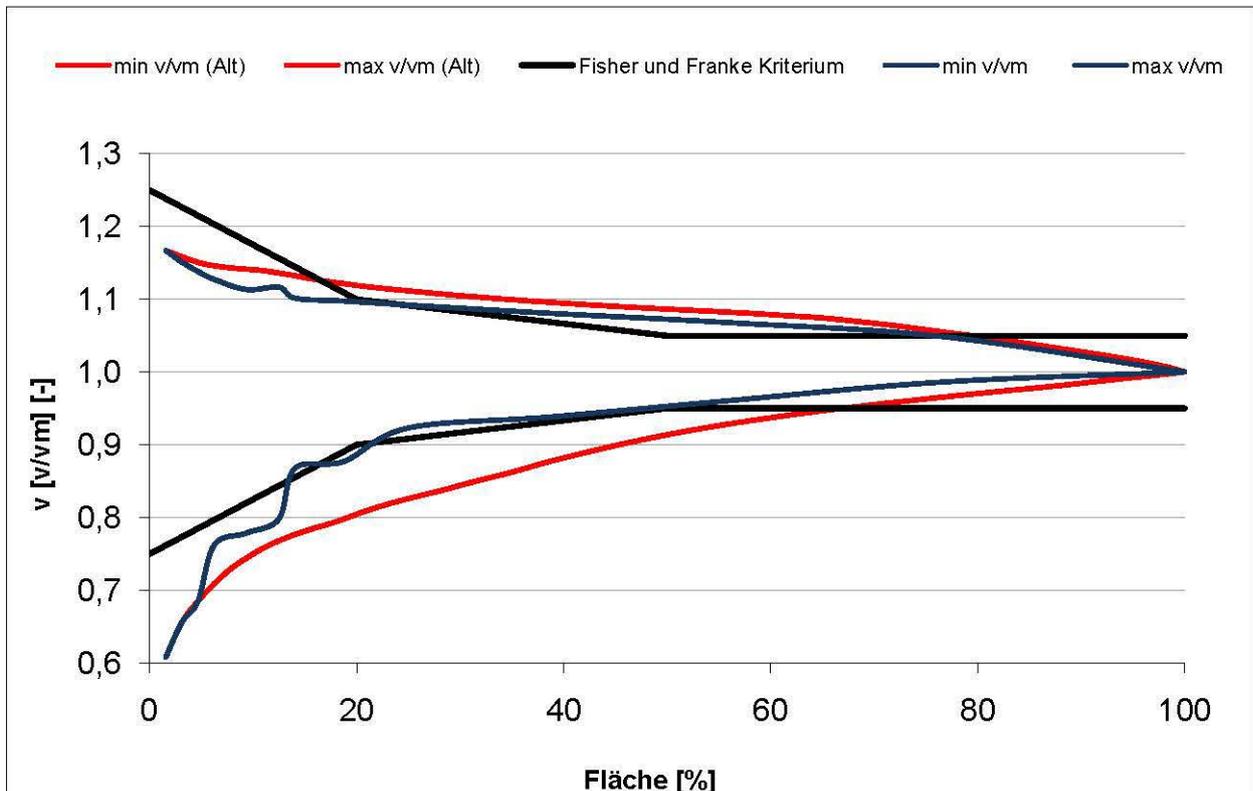


Abb. 6.60 Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A35)

6.16 Variante A40

Oberwassermessung	Ja	seitlicher Vorboden geneigt	Ja
Oberwassermessung detailliert	Nein	Trennpfeiler	Rouvé
Rechenebene Messung	Ja	Abflusswassermenge	2 Q
Turbine Ebene Messung (T2)	Ja	Obere Wasserspiegel	± 0
Vorbodentyp	Steil	Hochwasserabfluss	WF 1 & 2

Tab. 6.31 Basisdaten der Variante A40

Die Anströmung im Oberwasser erfolgt auch hier durch die gleichzeitige Hochwasserabfuhr über beide Wehrfelder sehr gleichmäßig (Abb. 6.61). Die Rechen – und Turbinenanströmung erfolgt im Wesentlichen aus der Richtung des Vorbodens.

Die Anströmverhältnisse sind im Trennpfeilerbereich zum WF 1 des Rechens beeinträchtigt (Abb. 6.62). Die Strömung verändert sich aber im weiteren Verlauf (Abb. 6.63) und weist in Bodenbereich der Turbinenebene eine verringerte Geschwindigkeit auf. Tabelle 6.32 zeigt die dazugehörige Geschwindigkeitsverteilung. Die Grenzbedingungen von Fisher und Franke werden nach beiden Methoden erfüllt (Abb. 6.64). Die Krafthausanströmung kann als mittelmäßig beurteilt werden.

Bilder zur generellen Anströmung sind im Anhang 2 bei Variante A40 zu sehen.

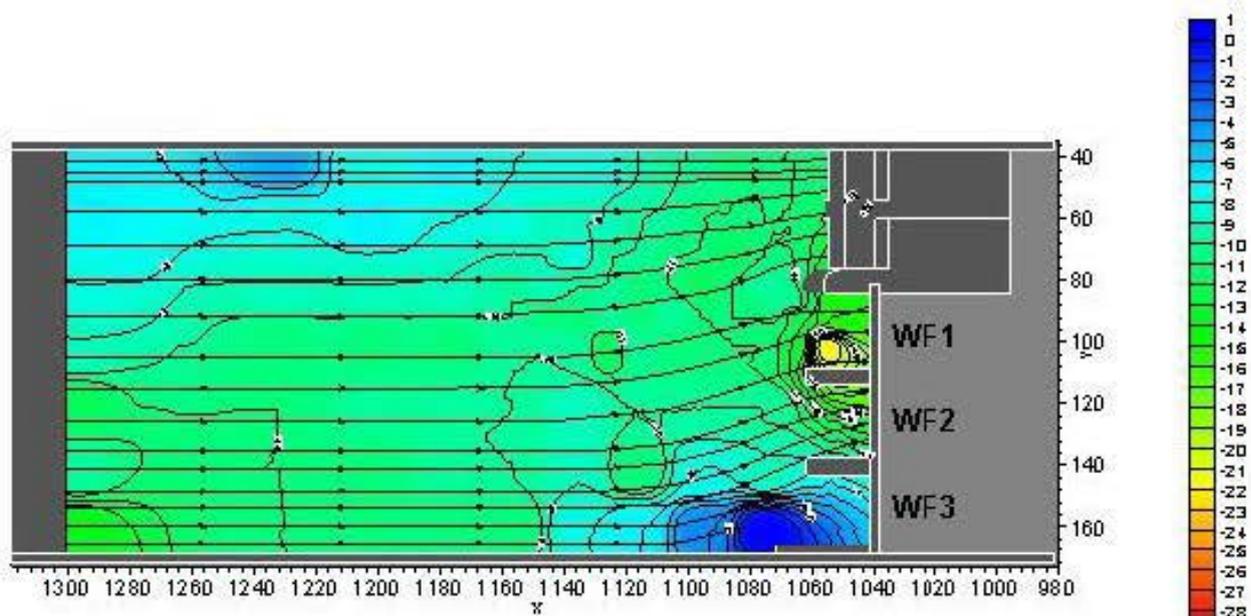


Abb. 6.61 Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A40)

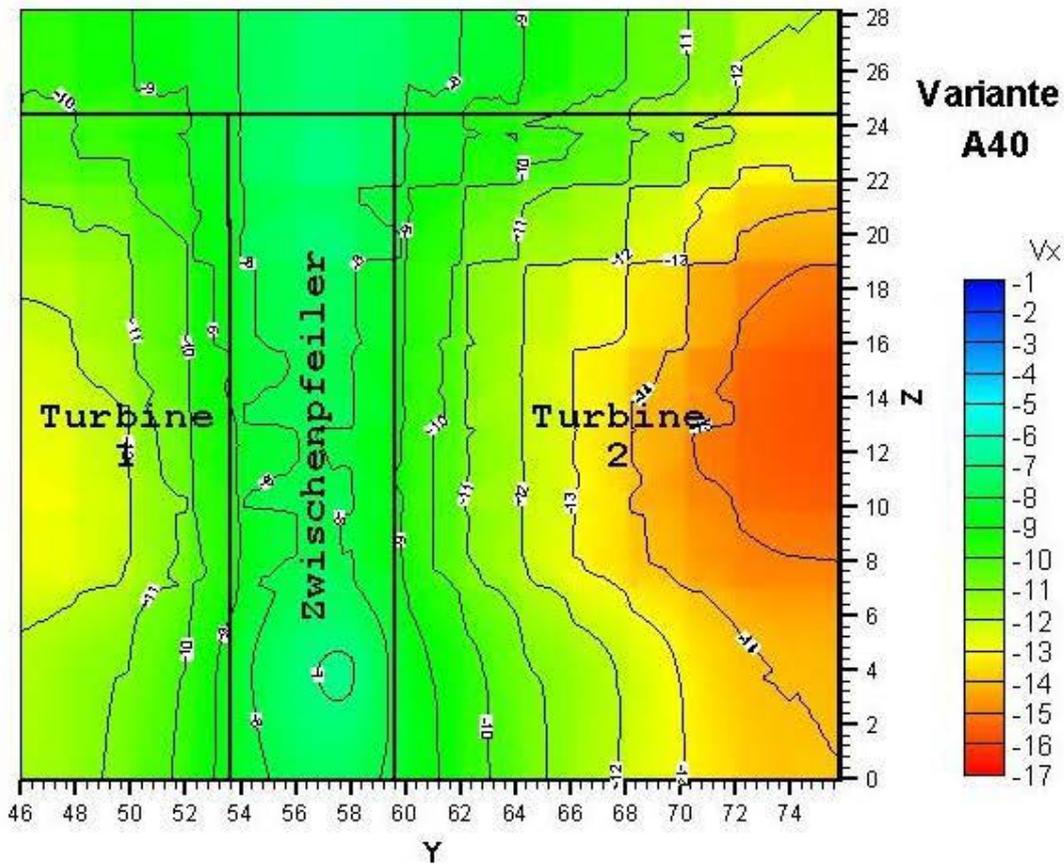


Abb. 6.62 Geschwindigkeitsverteilung Rechenebene (Variante A40)

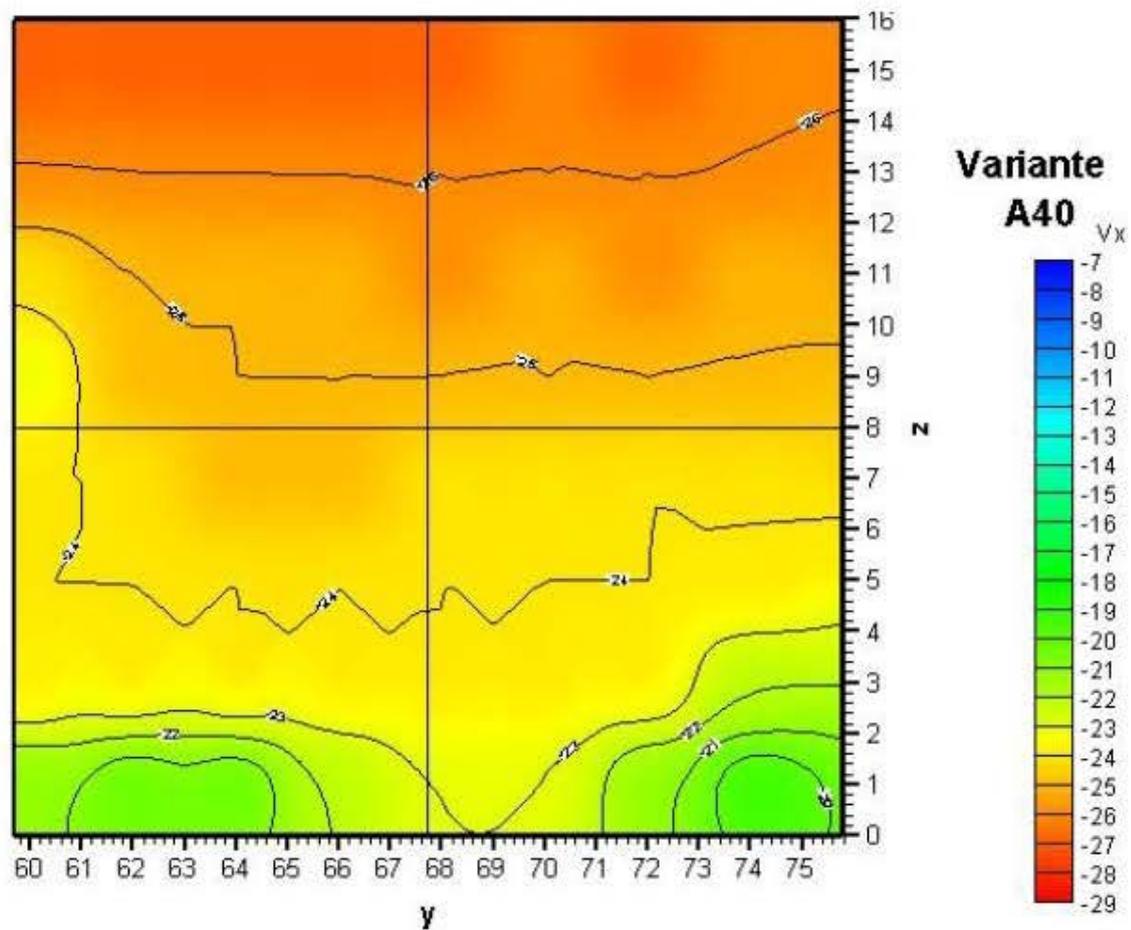


Abb. 6.63 Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A40)

Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2

Variante A40

Gemessene Modellwerte

	1	2	3	4	5	6	7	8	
I	1	-0,271	-0,277	-0,271	-0,274	-0,271	-0,269	-0,271	-0,260
	2	-0,248 -0,286	-0,257 -0,295	-0,247 -0,290	-0,248 -0,296	-0,283 -0,252	-0,284 -0,235	-0,288 -0,222	-0,280 -0,225
II	3	-0,267	-0,269	-0,267	-0,265	-0,262	-0,269	-0,268	-0,264
	4	-0,257 -0,280	-0,259 -0,278	-0,256 -0,277	-0,226 -0,280	-0,278 -0,231	-0,281 -0,247	-0,277 -0,259	-0,278 -0,227
III	5	-0,246	-0,259	-0,255	-0,259	-0,261	-0,258	-0,262	-0,254
	6	-0,220 -0,264	-0,248 -0,269	-0,247 -0,267	-0,244 -0,274	-0,270 -0,253	-0,274 -0,240	-0,273 -0,248	-0,274 -0,219
IV	7	-0,234	-0,253	-0,256	-0,256	-0,253	-0,251	-0,253	-0,255
	8	-0,206 -0,254	-0,239 -0,269	-0,245 -0,270	-0,219 -0,269	-0,266 -0,239	-0,267 -0,237	-0,264 -0,243	-0,269 -0,238
III	9	-0,244	-0,248	-0,251	-0,252	-0,247	-0,246	-0,248	-0,249
	10	-0,224 -0,268	-0,233 -0,258	-0,240 -0,262	-0,227 -0,269	-0,260 -0,236	-0,261 -0,224	-0,262 -0,233	-0,268 -0,230
III	11	-0,243	-0,248	-0,245	-0,249	-0,244	-0,244	-0,249	-0,248
	12	-0,211 -0,258	-0,235 -0,258	-0,233 -0,253	-0,237 -0,264	-0,253 -0,227	-0,258 -0,225	-0,262 -0,229	-0,261 -0,236
III	13	-0,241	-0,243	-0,244	-0,246	-0,243	-0,240	-0,241	-0,227
	14	-0,219 -0,257	-0,223 -0,254	-0,233 -0,259	-0,204 -0,263	-0,257 -0,227	-0,251 -0,220	-0,250 -0,227	-0,251 -0,195
III	15	-0,217	-0,207	-0,208	-0,220	-0,235	-0,233	-0,218	-0,195
	16	-0,189 -0,237	-0,177 -0,234	-0,176 -0,235	-0,192 -0,241	-0,255 -0,217	-0,252 -0,216	-0,249 -0,202	-0,222 -0,168

<p>Quadrant 1 V1mittel -0,261</p>	<p>Mittelwert</p> <p>Min. Wert Max. Wert</p>	<p>Quadrant 2 V2mittel -0,261</p>
<p>Quadrant 3 V3mittel -0,238</p>	<p>$\alpha=1,013486$</p>	<p>Quadrant 4 V4mittel -0,238</p>
<p>Vgesamt, mittel -0,250</p>		<p>Vmin(10%) -0,225</p> <p>Vmax(10%) -0,275</p>

Tab. 6.32 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A40)

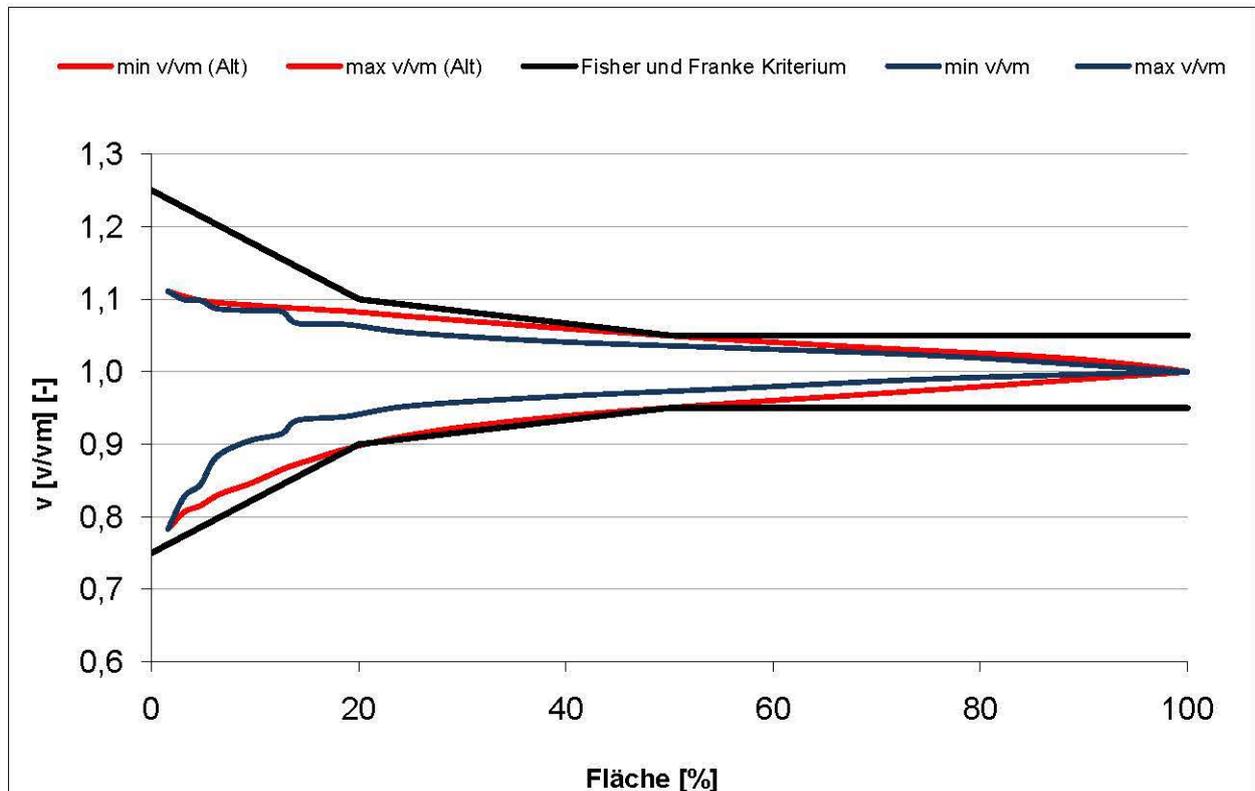


Abb. 6.64 Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A40)

6.17 Variante A42

Oberwassermessung	Ja	seitlicher Vorboden geneigt	Ja
Oberwassermessung detailliert	Nein	Trennpfeiler	Rouvé
Rechenebene Messung	Ja	Abflusswassermenge	2 Q
Turbine Ebene Messung (T2)	Ja	Obere Wasserspiegel	± 0
Vorbodentyp	Steil	Hochwasserabfluss	WF 1

Tab. 6.33 Basisdaten der Variante A42

Das Anströmungsbild im Oberwasser wird durch die gleichzeitige Hochwasserabfuhr über das Wehrfeld 1 ebenfalls wie bei Variante A40 vergleichmäßig (Abb. 6.65). Im Bereich vor dem Wehrfeld 1 treten die größten Geschwindigkeiten auf. Die Rechen – und Turbinenanströmung wird durch die fehlende seitliche Zuströmung aus dem Wehrfeldbereich nur schwach beeinträchtigt.

Durch den seitlich angerampten Höhenversatz des Vorbodens wird offensichtlich die Anströmung im Trennpfeilerbereich des Rechenquerschnittes stärker beeinflusst (Abb. 6.66). Die Strömungsverhältnisse verbessern sich aber in Richtung Turbine (Abb. 6.67). Die Turbine 2 ist gut angeströmt und weist nur geringe Geschwindigkeiten im Bodenbereich wie Variante A40 auf.

In Tabelle 6.34 ist die Verteilung der Geschwindigkeiten in dieser Zone dargestellt. Die Grenzbedingungen von Fisher und Franke können ebenfalls nach beiden Beurteilungsmethoden erfüllt werden (Abb. 6.68). Die Krafthausanströmung kann als gut beurteilt werden.

Bilder zur generellen Anströmung sind im Anhang 2 bei Variante A42 zu sehen.

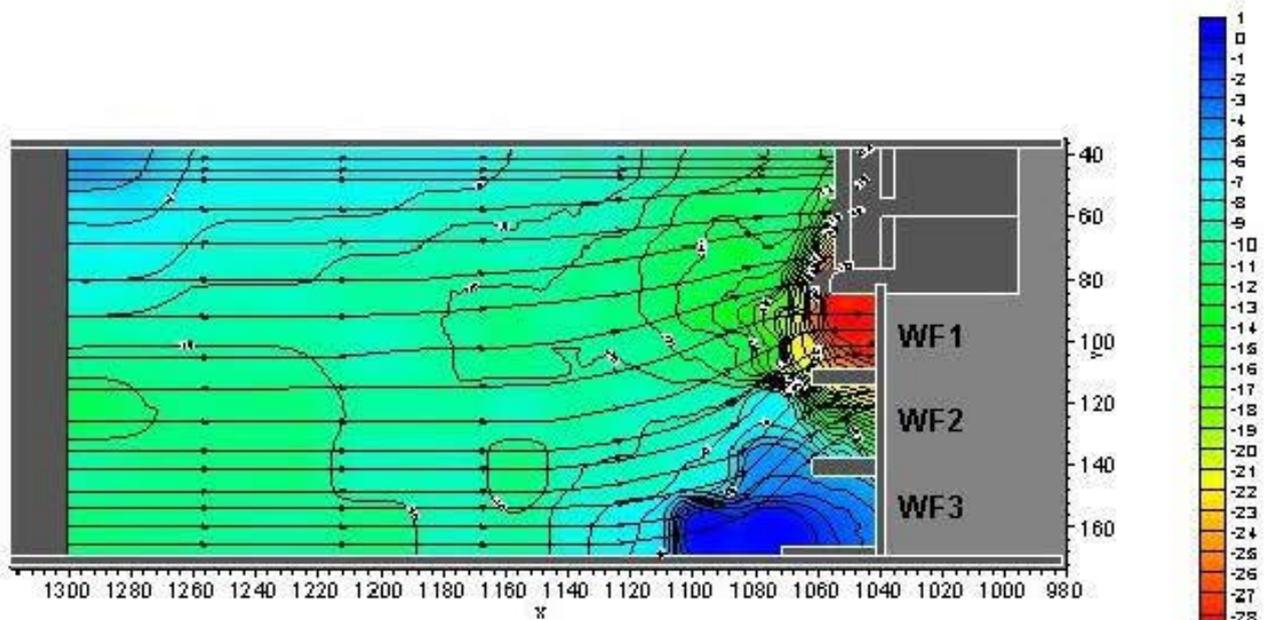


Abb. 6.65 Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A42)

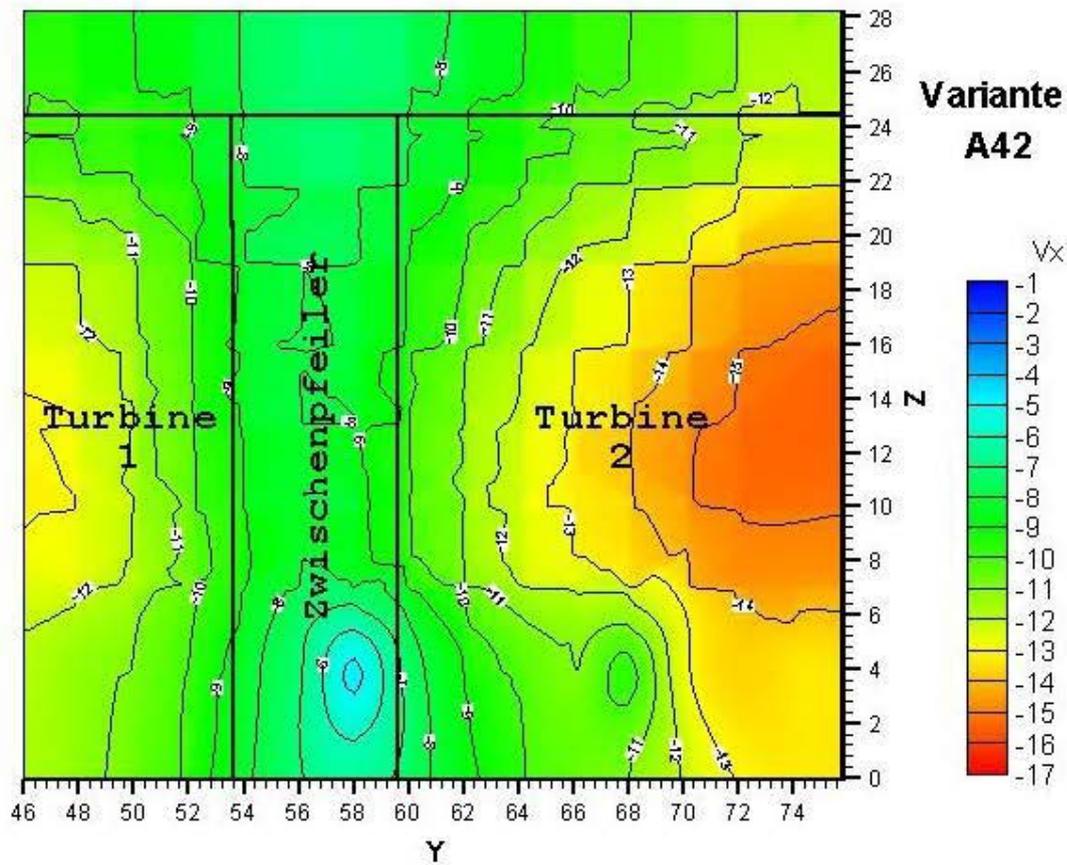


Abb. 6.66 Geschwindigkeitsverteilung Rechebene (Variante A42)

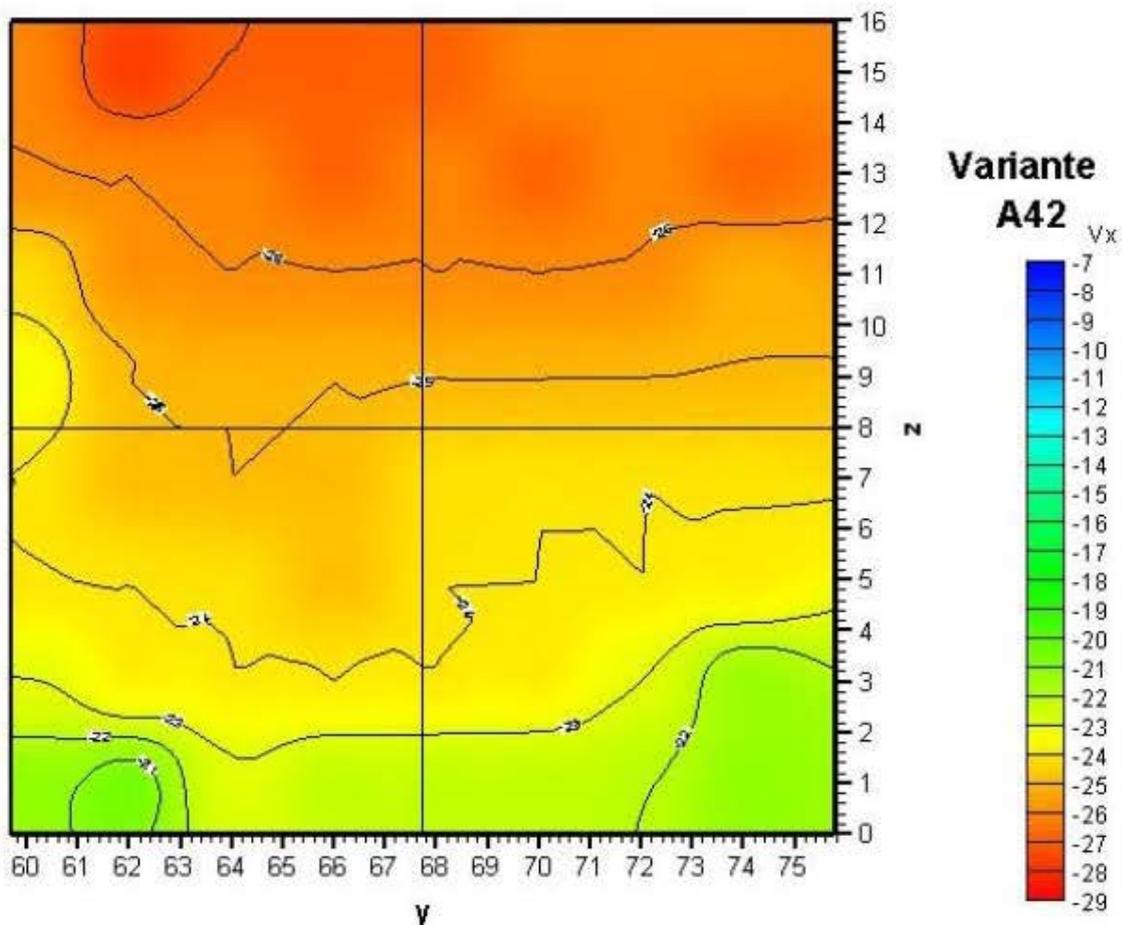


Abb. 6.67 Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A42)

Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2

Variante A42

Gemessene Modellwerte

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-0,267 -0,245 -0,284	-0,280 -0,259 -0,293	-0,275 -0,260 -0,291	-0,273 -0,181 -0,290	-0,273 -0,290 -0,231	-0,270 -0,287 -0,240	-0,270 -0,290 -0,249	-0,262 -0,281 -0,232
2	-0,265 -0,245 -0,279	-0,267 -0,247 -0,284	-0,269 -0,248 -0,280	-0,272 -0,262 -0,285	-0,269 -0,280 -0,252	-0,271 -0,282 -0,262	-0,269 -0,283 -0,259	-0,271 -0,286 -0,251
3	-0,247 -0,216 -0,265	-0,260 -0,247 -0,276	-0,263 -0,255 -0,273	-0,264 -0,251 -0,277	-0,263 -0,273 -0,251	-0,262 -0,278 -0,248	-0,263 -0,275 -0,247	-0,256 -0,267 -0,243
4	-0,235 -0,205 -0,255	-0,254 -0,217 -0,270	-0,255 -0,244 -0,265	-0,259 -0,246 -0,269	-0,254 -0,262 -0,243	-0,254 -0,267 -0,235	-0,256 -0,268 -0,241	-0,258 -0,270 -0,244
5	-0,244 -0,217 -0,256	-0,251 -0,238 -0,261	-0,251 -0,239 -0,261	-0,254 -0,238 -0,264	-0,249 -0,261 -0,239	-0,249 -0,267 -0,226	-0,248 -0,257 -0,235	-0,248 -0,262 -0,229
6	-0,245 -0,228 -0,257	-0,246 -0,232 -0,256	-0,249 -0,234 -0,263	-0,254 -0,239 -0,262	-0,250 -0,260 -0,240	-0,248 -0,262 -0,238	-0,244 -0,257 -0,227	-0,244 -0,257 -0,223
7	-0,240 -0,224 -0,255	-0,242 -0,225 -0,254	-0,243 -0,231 -0,259	-0,247 -0,233 -0,257	-0,247 -0,259 -0,219	-0,241 -0,254 -0,226	-0,239 -0,252 -0,207	-0,218 -0,248 -0,181
8	-0,212 -0,186 -0,237	-0,208 -0,180 -0,238	-0,234 -0,211 -0,251	-0,230 -0,203 -0,261	-0,226 -0,245 -0,187	-0,224 -0,249 -0,198	-0,221 -0,246 -0,198	-0,210 -0,233 -0,185

Quadrant 1 V1mittel -0,263	Mittelwert Min. Wert Max. Wert	Quadrant 2 V2mittel -0,264
Quadrant 3 V3mittel -0,241	$\alpha=1,01277$	Quadrant 4 V4mittel -0,238
Vgesamt, mittel -0,251		Vmin(10%) -0,226 Vmax(10%) -0,276

Tab. 6.34 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A42)

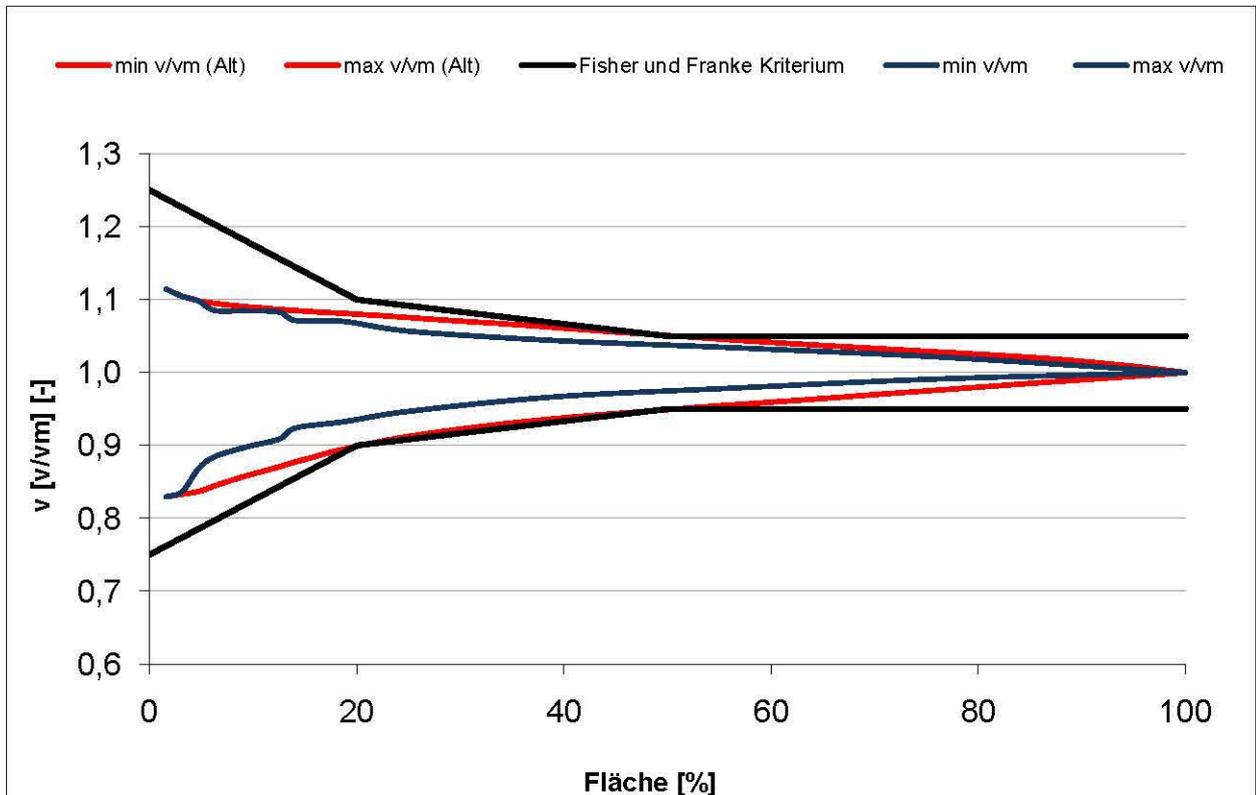


Abb. 6.68 Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A42)

6.18 Variante A44

Oberwassermessung	Ja	seitlicher Vorboden geneigt	Ja
Oberwassermessung detailliert	Nein	Trennpfeiler	Rouvé
Rechenebene Messung	Ja	Abflusswassermenge	Q
Turbine Ebene Messung (T2)	Ja	Obere Wasserspiegel	- 2
Vorbodentyp	Steil	Hochwasserabfluss	Nein

Tab. 6.35 Basisdaten der Variante A44

Das Strömungsbild im Oberwasserbereich entspricht der Variante A32 aber mit reduziertem Stauspiegel (Abb. 6.69). Der Einfluss in der Rechenebene (Abb. 6.70) und in der Turbinenebene (Abb. 6.71) ist aber geringer. Der durch den seitlichen Höhenversatz zum Vorboden induzierte Horizontalwirbel verschlechtert die Anströmverhältnisse im Trennpfeilerbereich der Rechenebene. Die Anströmung in der Turbinenebene verbessert sich zwar etwas neben dem Trennpfeiler, wird aber im Bodenbereich schlechter.

Die Ergebnisse der Geschwindigkeitsmessung sind in Tabelle 6.36 dargestellt, wo auch der große Schwankungsbereich der Geschwindigkeiten deutlich erkennbar ist. Die Grenzbedingungen von Fisher und Franke werden nach der modifizierten Auswertungsmethode bis zu einem Flächenanteil von 15% und nach der konservativen Methode bis fast zu 65% der Fläche nicht erreicht (Abb. 6.72). Die Anströmung muss schon als schlecht eingestuft werden.

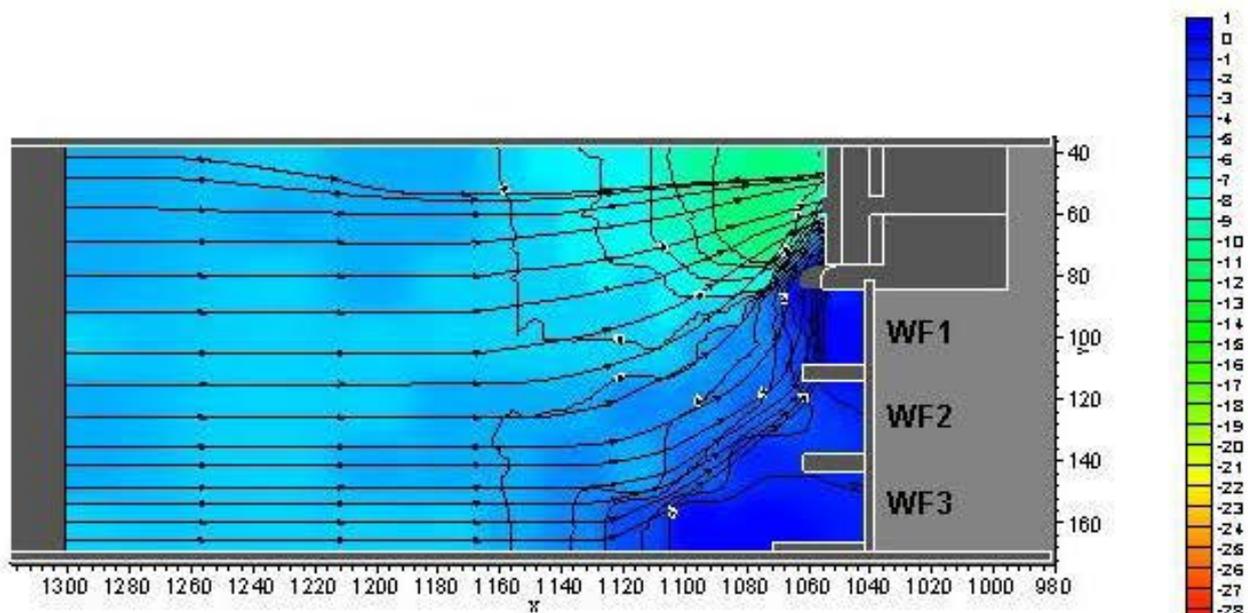


Abb. 6.69 Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A44)

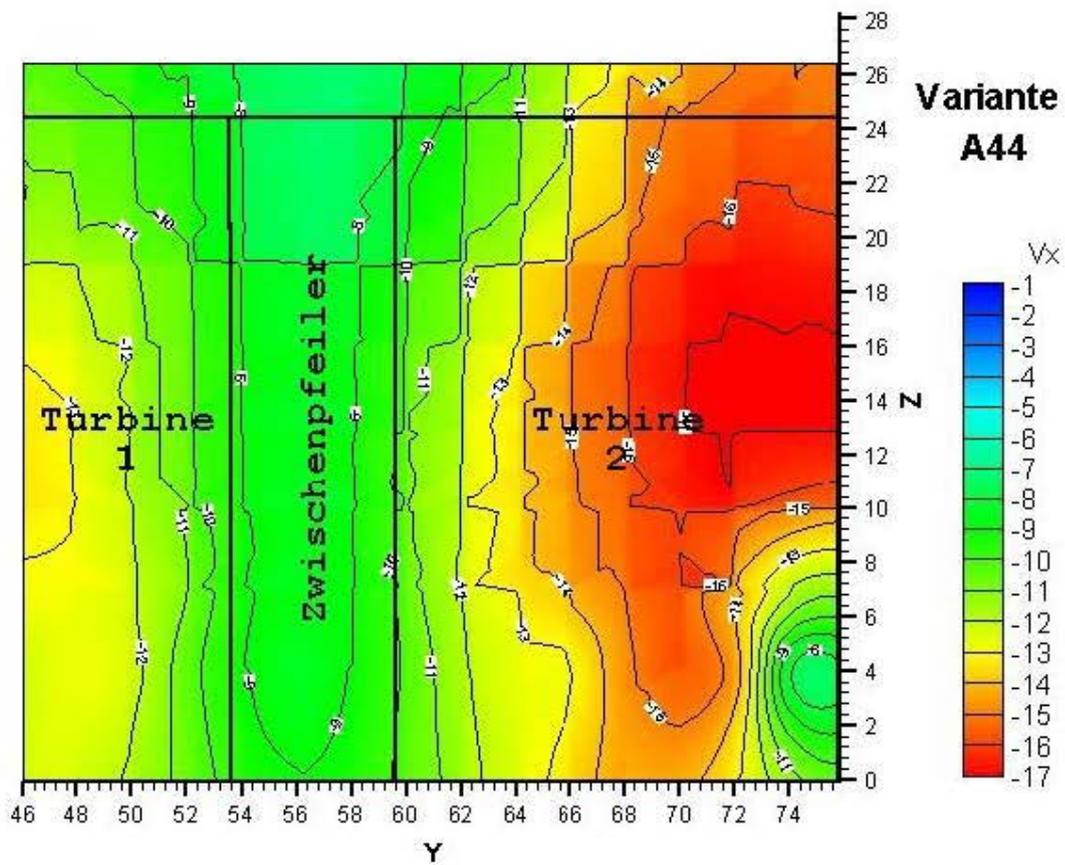


Abb. 6.70 Geschwindigkeitsverteilung Rechenebene (Variante A44)

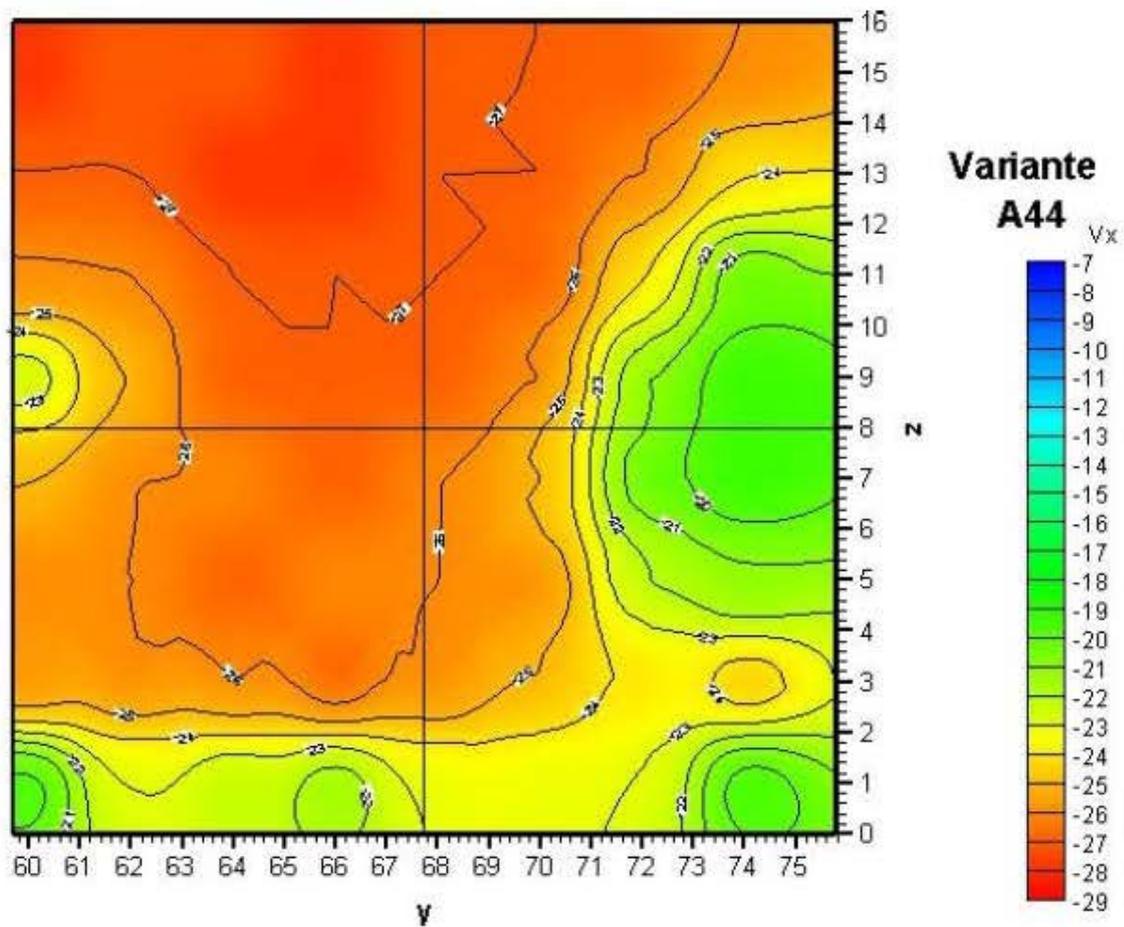


Abb. 6.71 Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A44)

Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2

Variante A44

Gemessene Modellwerte

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-0,285	-0,278	-0,275	-0,282	-0,273	-0,275	-0,274	-0,266
I	-0,255	-0,296	-0,252	-0,295	-0,240	-0,292	-0,263	-0,298
	-0,293	-0,239	-0,295	-0,235	-0,294	-0,231	-0,292	-0,219
2	-0,276	-0,271	-0,281	-0,283	-0,279	-0,277	-0,266	-0,242
II	-0,257	-0,290	-0,228	-0,290	-0,260	-0,293	-0,259	-0,297
	-0,294	-0,252	-0,295	-0,251	-0,290	-0,171	-0,266	-0,215
3	-0,260	-0,268	-0,275	-0,278	-0,279	-0,276	-0,247	-0,203
III	-0,228	-0,284	-0,198	-0,294	-0,236	-0,291	-0,255	-0,292
	-0,290	-0,258	-0,179	-0,230	-0,167	-0,229	-0,261	-0,149
4	-0,229	-0,260	-0,275	-0,275	-0,274	-0,268	-0,211	-0,199
IV	-0,192	-0,261	-0,205	-0,287	-0,242	-0,289	-0,248	-0,287
	-0,285	-0,262	-0,286	-0,241	-0,258	-0,149	-0,258	-0,129
5	-0,259	-0,264	-0,265	-0,271	-0,266	-0,256	-0,209	-0,194
I	-0,232	-0,286	-0,201	-0,291	-0,235	-0,284	-0,254	-0,283
	-0,283	-0,250	-0,277	-0,229	-0,261	-0,149	-0,237	-0,132
6	-0,263	-0,267	-0,273	-0,270	-0,264	-0,262	-0,223	-0,216
II	-0,224	-0,289	-0,223	-0,289	-0,254	-0,288	-0,251	-0,285
	-0,280	-0,248	-0,282	-0,221	-0,263	-0,178	-0,243	-0,159
7	-0,264	-0,267	-0,261	-0,270	-0,267	-0,256	-0,244	-0,251
III	-0,198	-0,289	-0,229	-0,291	-0,200	-0,286	-0,233	-0,294
	-0,288	-0,241	-0,280	-0,205	-0,281	-0,170	-0,282	-0,215
8	-0,194	-0,230	-0,227	-0,227	-0,215	-0,234	-0,240	-0,196
IV	-0,158	-0,231	-0,192	-0,259	-0,181	-0,269	-0,161	-0,254
	-0,264	-0,202	-0,267	-0,206	-0,274	-0,153	-0,240	-0,143

Quadrant 1 V1mittel -0,272	Mittelwert Min. Wert Max. Wert	Quadrant 2 V2mittel -0,257
Quadrant 3 V3mittel -0,254	$\alpha=1,029609$	Quadrant 4 V4mittel -0,238
Vgesamt, mittel -0,255		Vmin(10%) -0,230 Vmax(10%) -0,281

Tab. 6.36 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A44)

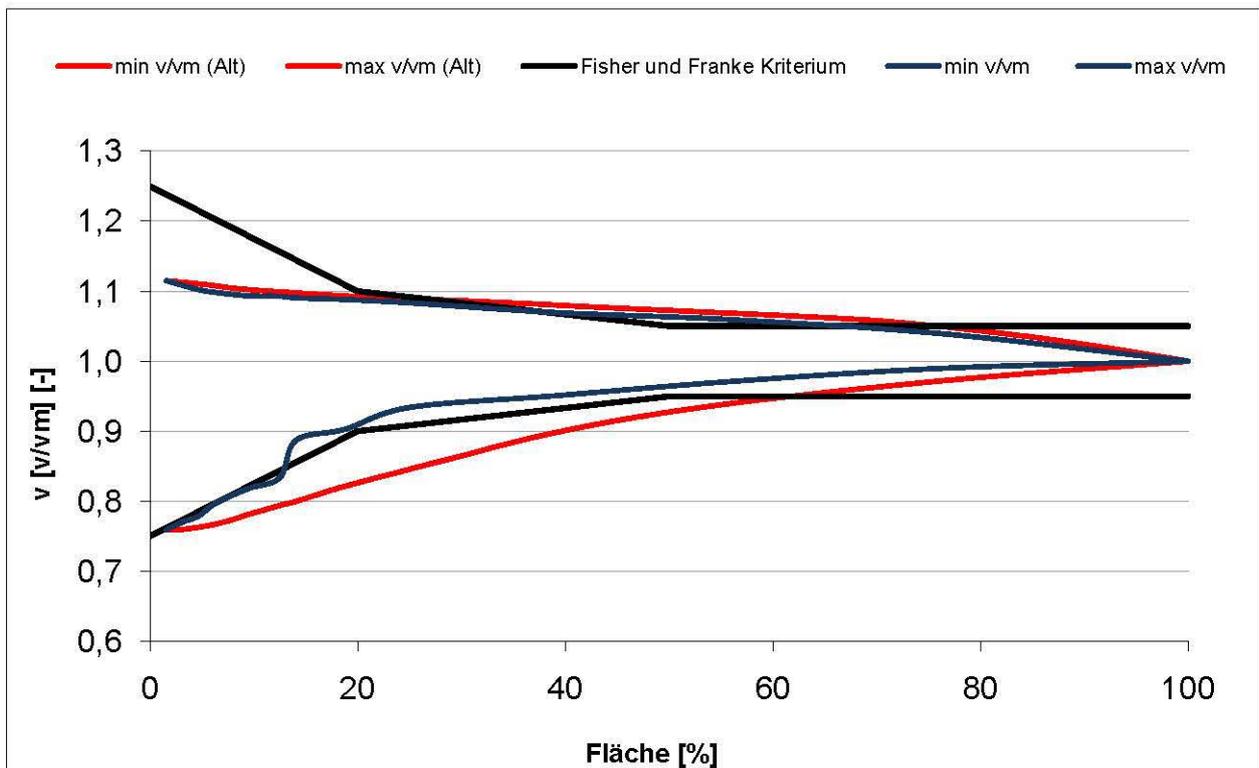


Abb. 6.72 Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A44)

7. Diskussion der Ergebnisse

Als Indikatoren für die Beurteilung der Qualität der Anströmung wurden der α – Wert der Geschwindigkeitsverteilung und die Abweichung vom Kriterium nach Fisher und Franke angewandt. Für die untersuchten Varianten lag der α – Wert im Bereich von 1,007 bei der Besten und bei 1,051 bei der Schlechtesten. In Tabelle 7.1 sind die Ergebnisse nach dem α – Wert aufsteigend geordnet gegenübergestellt.

Nr.	Variante	Vorboden Trennpfeiler Seitenneigung	Q	Hochwasser abfluss	Oberwasser stand	α – Wert	Fisher & Franke		Beurteilung
							Abw.o	Abw.u	
							alt		
							neu		
V 1	A5	Flach Halbkreis Ja	2Q	WF 1 & 2	± 0	1,0073	3,784 4,987	4,026 5,385	Sehr Gut
V 2	A27	Steil Halbkreis Ja	2Q	WF 1 & 2	± 0	1,0104	3,250 4,452	2,896 4,701	
V 3	A7	Flach Halbkreis Ja	2Q	WF 1	± 0	1,0106	3,346 4,738	2,657 4,766	
V 4	A19	Flach Rouvé Ja	2Q	WF 1 & 2	± 0	1,0108	3,110 4,347	2,794 4,615	
V 5	A29	Steil Halbkreis Ja	2Q	WF 1	± 0	1,0117	3,069 4,155	2,432 4,398	Gut
V 6	A25	Steil Halbkreis Ja	Q	kein	± 0	1,0128	3,441 4,228	1,917 4,084	
V 7	A42	Steil Rouvé Ja	2Q	WF 1	± 0	1,0128	3,013 4,033	2,068 4,332	
V 8	A21	Flach Rouvé Ja	2Q	WF 1	± 0	1,0129	2,753 4,136	2,143 4,390	
V 9	A40	Steil Rouvé Ja	2Q	WF 1 & 2	± 0	1,0135	3,020 4,178	1,809 4,262	Mittelmäßig
V 10	A11	Flach Rouvé Ja	Q	kein	± 0	1,0148	3,121 4,101	1,488 4,054	
V 11	A1	Flach Halbkreis Nein	Q	kein	± 0	1,0149	2,629 3,403	1,609 3,863	
V 12	A44	Steil Rouvé Ja	Q	kein	-2	1,0189	1,415 2,256	-1,190 2,469	Schlecht
V 13	A23	Flach Rouvé Ja	Q	kein	-2	1,0191	2,582 3,464	0,426 3,827	
V 14	A31	Steil Halbkreis Ja	Q	kein	-2	1,0234	2,031 2,832	-0,210 2,341	
V 15	A32	Steil Rouvé Ja	Q	kein	± 0	1,0235	2,513 3,284	-0,462 1,980	
V 16	A10	Flach Halbkreis Nein	Q	kein	-2	1,0397	1,306 2,931	-2,961 -0,183	
V 17	A35	Steil Rouvé Ja	0,5 Q	kein	± 0	1,0418	-0,268 1,114	-3,230 0,710	Sehr Schlecht
V 18	A2	Flach Halbkreis Ja	Q	kein	± 0	1,0509	0,380 1,993	-4,540 -1,676	

Tab. 7.1 Beurteilung der untersuchten Varianten

Um klarere Aussagen des Einflusses der verschiedenen Bauteile und betrieblichen Randbedingungen treffen zu können werden die Varianten in Bezug auf diese miteinander verglichen und bewertet.

7.1 Einfluss der Trennpfeilerform

In die Tabelle 4.1 sind die Varianten mit verschiedenem Trennpfeilerkopf aufgelistet. Die beiden untersuchten Trennpfeilerausbildungen zeigen deutliche Unterschiede in der Geschwindigkeitsverteilung in der Rechen- und Turbinenebene. Beim flachen Vorboden zeigt der Rouvé Pfeiler in einem größeren Bereich eine bessere Geschwindigkeitsverteilung in der Turbinenebene als der halbrunde Pfeiler (Abb. 7.1).

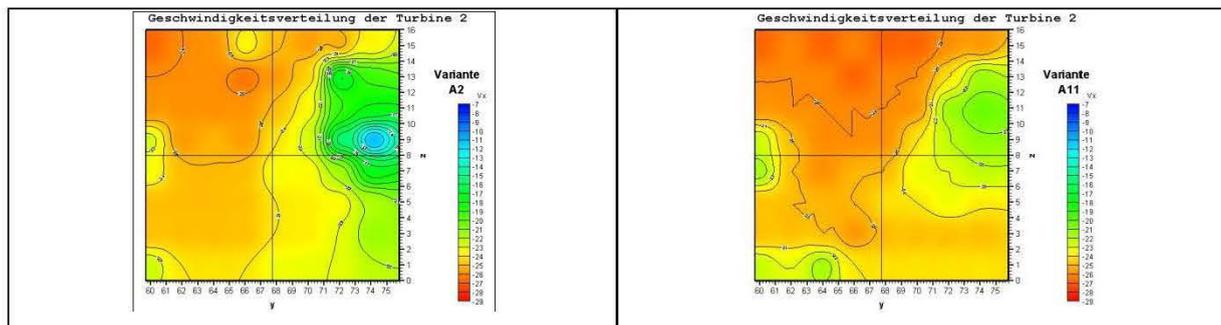


Abb. 7.1 Geschwindigkeitsverteilung beim halbrunden (links) und Rouvé Trennpfeiler (rechts) vor der Turbine 2, flacher Vorboden, reiner Turbinendurchfluss, Staukote ± 0

Beim steilem Vorboden dagegen hat der halbrunden Pfeiler eine geringfügig gleichmäßigere Geschwindigkeitsverteilung als der ist der Rouvé Pfeiler (Abb. 7.2).

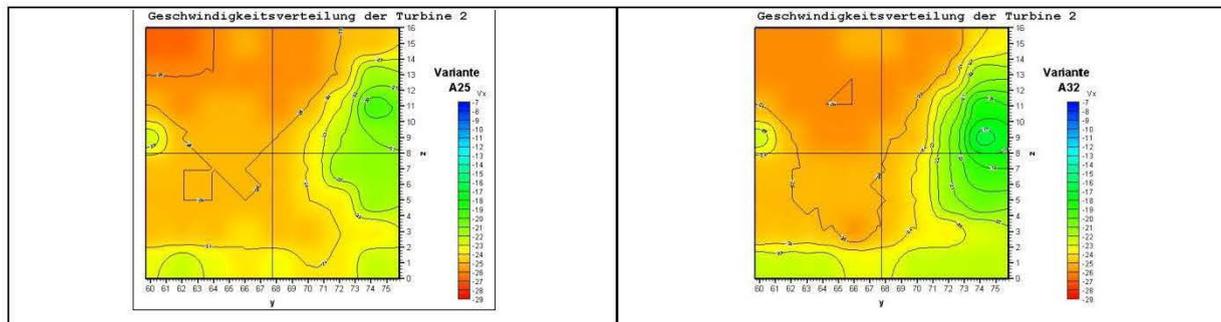


Abb. 7.2 Geschwindigkeitsverteilung beim halbrunden (links) und Rouvé Trennpfeiler (rechts) vor der Turbine 2, steiler Vorboden, reiner Turbinendurchfluss, Staukote ± 0

Beim flachem Vorboden und Hochwasserabfuhr über zwei Wehrfelder hat ebenfalls der halbrunde Pfeiler eine günstigere Geschwindigkeitsverteilung als der Rouvé Pfeiler (Abb. 7.3). Beim steilen Vorboden sind die Ergebnisse ähnlich.

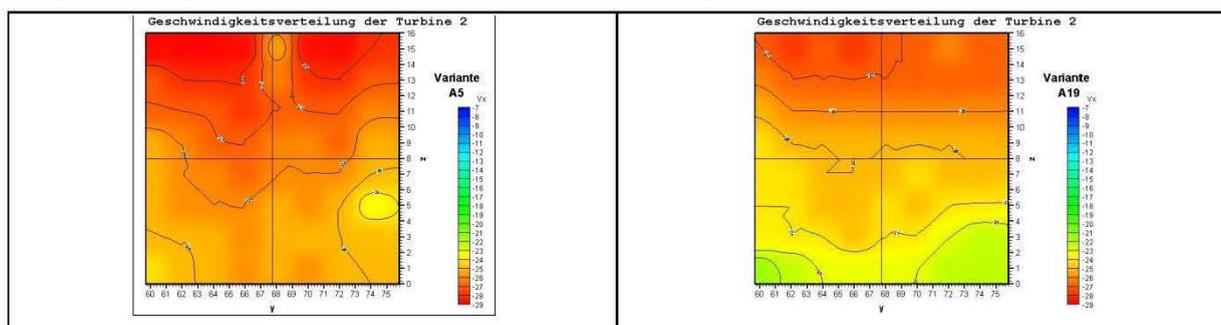


Abb. 7.3 Geschwindigkeitsverteilung beim halbrunden (links) und Rouvé Trennpfeiler (rechts) vor der Turbine 2, flacher Vorboden, Turbinendurchfluss und Hochwasserabfuhr, Staukote ± 0

7.2 Einfluss der Vorbodenausbildung

Die beiden untersuchten Vorböden zeigen einen stärkeren Einfluss auf die Geschwindigkeitsverteilung in der Rechenebene, diese verbessert sich aber während der Zuströmung zur Turbine 2. Beim flachen Vorboden und halbrundem Pfeiler sinkt die Geschwindigkeit neben dem Trennpfeiler deutlich ab, beim steilen Vorboden ist die Turbinenanströmung gleichmäßiger (Abb. 7.4).

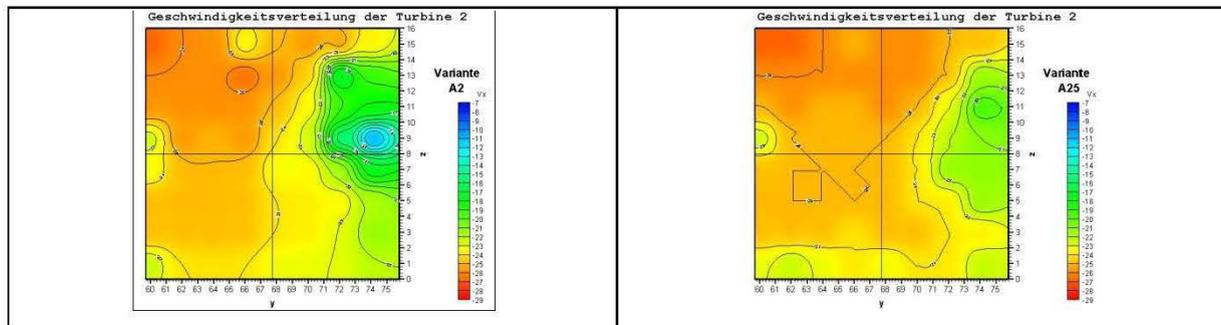


Abb. 7.4 Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2 beim flachen (links) und steilen (rechts) Vorboden, halbrunder Pfeiler, reiner Turbinendurchfluss, Staukote ± 0

Beim Rouvé Pfeiler mit flachem Vorboden ist dieser Geschwindigkeitsabfall neben dem Trennpfeiler nicht so ausgeprägt und sogar besser als mit steilem Vorboden (Abb. 7.5).

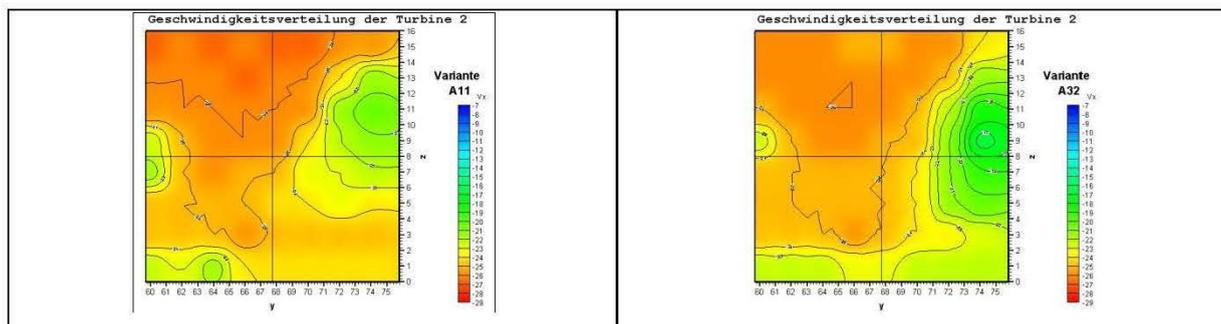


Abb. 7.5 Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2 beim flachen (links) und steilen (rechts) Vorboden, Rouvé Pfeiler, reiner Turbinendurchfluss, Staukote ± 0

Beim flachem Vorboden und Hochwasserabfuhr über zwei Wehrfelder hat der halbrunde Pfeiler beim flachen Vorboden eine gleichmäßigere Geschwindigkeitsverteilung als beim steilen Vorboden (Abb. 7.6).

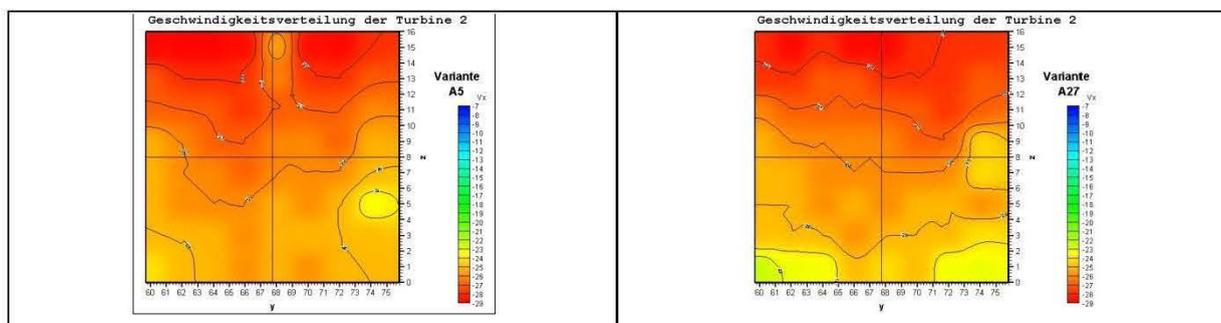


Abb. 7.6 Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2 beim flachen (links) und steilen (rechts) Vorboden, halbrunder Pfeiler, Turbinendurchfluss und Hochwasserabfuhr, Staukote ± 0

Beim flachem Vorboden und Hochwasserabfuhr über zwei Wehrfelder zeigt der Rouvé Pfeiler beim flachen als auch steilen Vorboden eine ähnliche Geschwindigkeitsverteilung (Abb. 7.7).

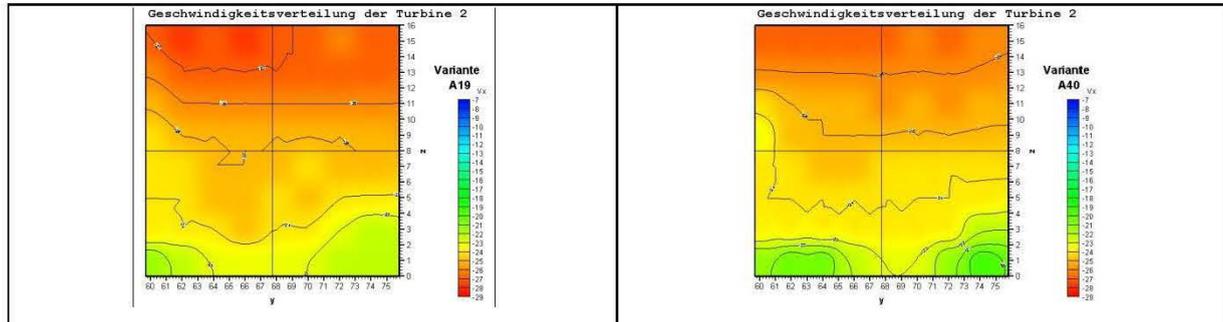


Abb. 7.7 Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2 beim flachen (links) und steilen (rechts) Vorboden, halbrunder Pfeiler, Turbinendurchfluss und Hochwasserabfuhr, Staukote ± 0

7.3 Einfluss des Oberwasserstandes

Durch den Anstieg der Zulaufgeschwindigkeiten wurde bei allen untersuchten Varianten beobachtet, dass sich bei der tieferen Staukote -2 die Geschwindigkeitsverteilung in der Turbinenebene in Abhängigkeit der baulichen und betrieblichen Randbedingungen mehr oder weniger verschlechtert (Abb. 7.8, Abb. 7.9, Abb. 7.10 und Abb. 7.11).

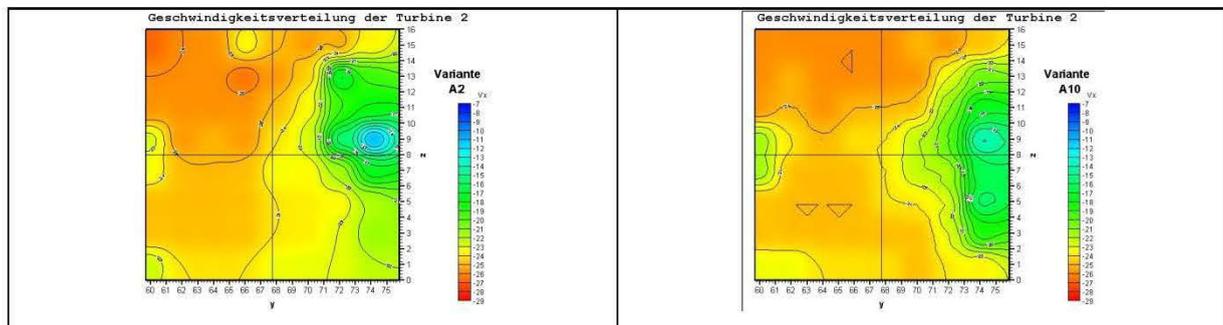


Abb. 7.8 Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2 bei Staukote ± 0 (links) und Staukote -2 (rechts), flacher Vorboden, halbrunder Pfeiler, reiner Turbinendurchfluss

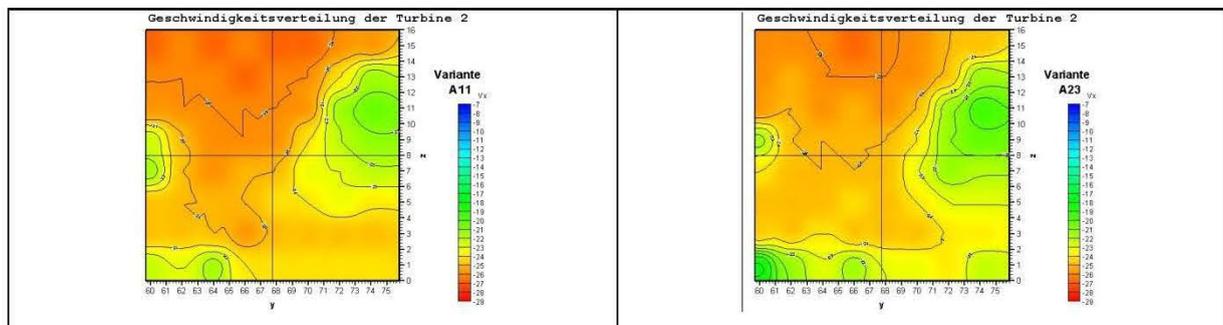


Abb. 7.9 Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2 bei Staukote ± 0 (links) und Staukote -2 (rechts), flacher Vorboden, Rouvé Pfeiler, reiner Turbinendurchfluss

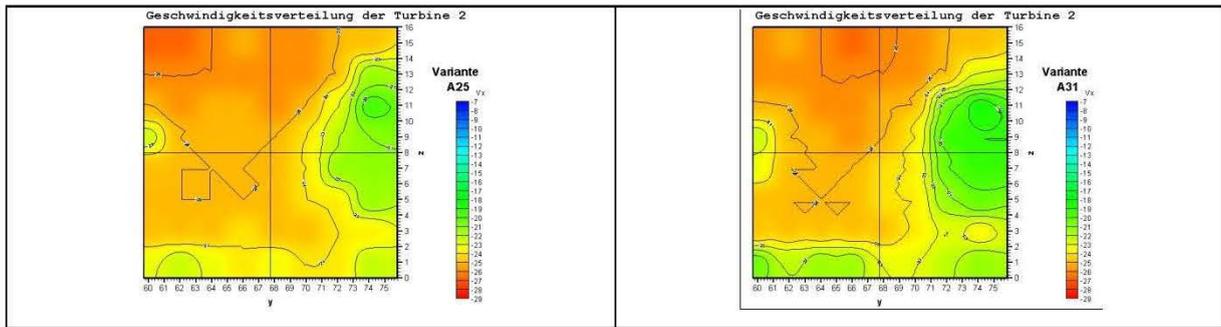


Abb. 7.10 Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2 bei Staukote ± 0 (links) und Staukote -2 (rechts), steiler Vorboden, halbrunder Pfeiler, reiner Turbinendurchfluss

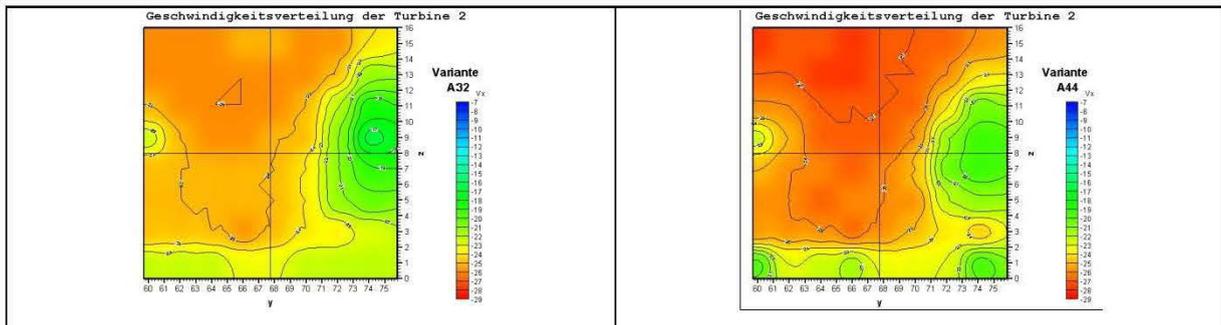


Abb. 7.11 Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2 bei Staukote ± 0 (links) und Staukote -2 (rechts), steiler Vorboden, Rouvé Pfeiler, reiner Turbinendurchfluss

Die Hochwasserabfuhr erfolgte generell auf Staukote ± 0 .

7.4 Einfluss des Wehrbetriebes

Die Turbinenanströmung wird durch die generellen Zuströmverhältnisse im Oberwasser – ob reiner Turbinenbetrieb oder kombiniert mit einer Hochwasserabfuhr über die Wehranlage (Klappen) – wesentlich beeinflusst. Bei der Zuströmung ohne Hochwasserabfuhr erfolgt die Beaufschlagung der Turbine 2 im Wesentlichen aus dem angrenzenden WF 1, während bei Hochwasserabfuhr diese Strömungsumlenkung nicht erfolgt und das Krafthaus gleichmäßiger angeströmt wird (Abb. 7.12).

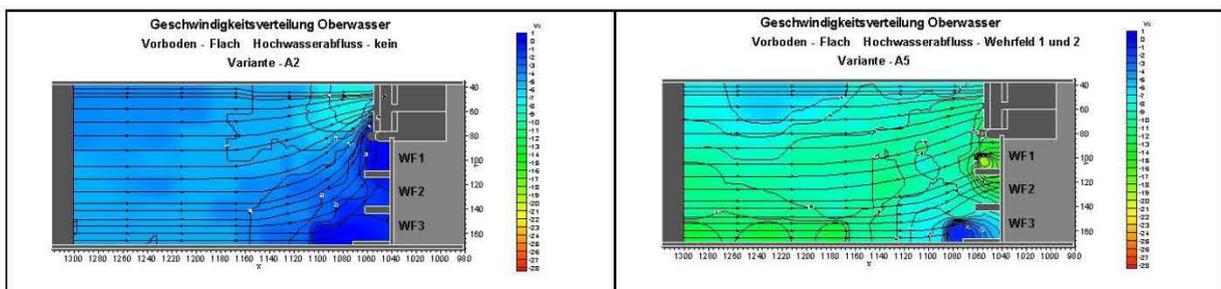


Abb. 7.12 Krafthauszuströmung bei reinen Turbinenbetrieb (links) und Turbinenbetrieb mit Hochwasserabfuhr (rechts), flacher Vorboden, halbrunder Pfeiler, Staukote ± 0

Im reinen Turbinenbetrieb wird durch den starken Wassereinzug aus dem Wehrfeldbereich auch entsprechende vertikale und horizontale Wirbelbildungen induziert, die

die Geschwindigkeitsverteilungen im Turbineneinlauf in Abhängigkeit von den baulichen Randbedingungen mehr oder weniger stark beeinträchtigen. Prinzipiell zeigte sich bei allen untersuchten Varianten, dass beim vollen Turbinenbetrieb mit Hochwasserabfuhr auch vor der Turbine 2 gleichmäßigere Geschwindigkeitsverteilungen herrschen als ohne Hochwasserabfuhr (Abb. 7.13, Abb. 7.14, Abb. 7.15 und Abb. 7.16).

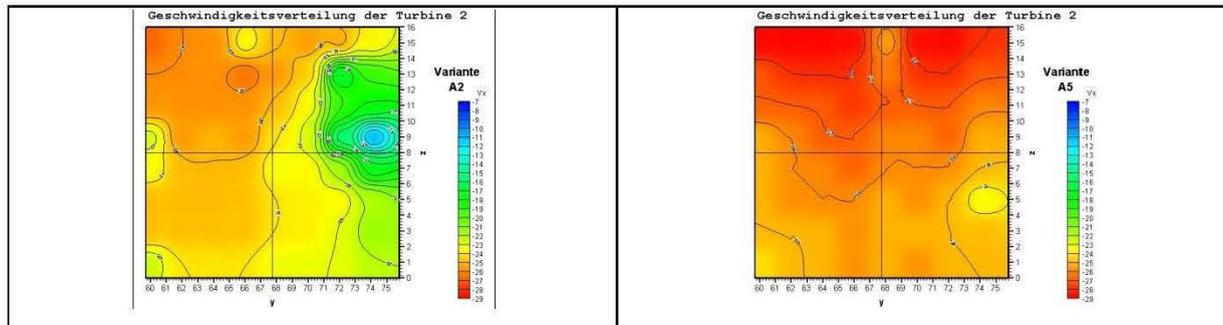


Abb. 7.13 Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2 bei reinem Turbinenbetrieb (links) und Turbinenbetrieb mit Hochwasserabfuhr über WF 1 und WF 2 (rechts), flacher Vorboden, halbrunder Pfeiler, Staukote ± 0

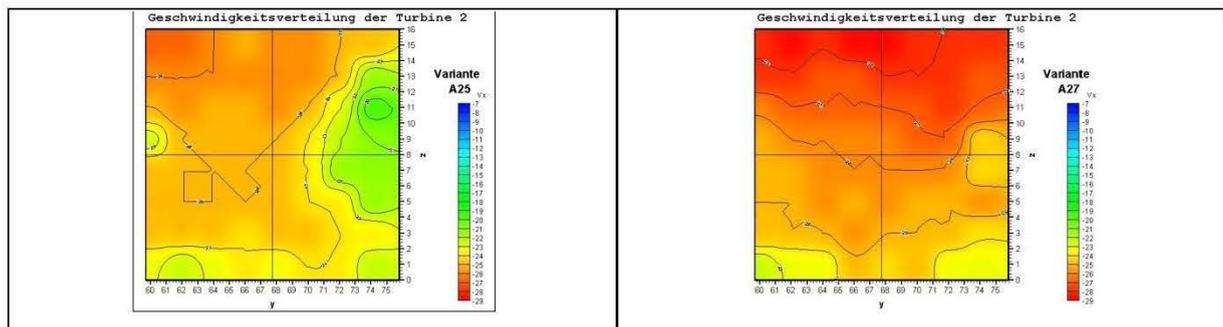


Abb. 7.14 Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2 bei reinem Turbinenbetrieb (links) und Turbinenbetrieb mit Hochwasserabfuhr über WF 1 und WF 2 (rechts), steiler Vorboden, halbrunder Pfeiler, Staukote ± 0

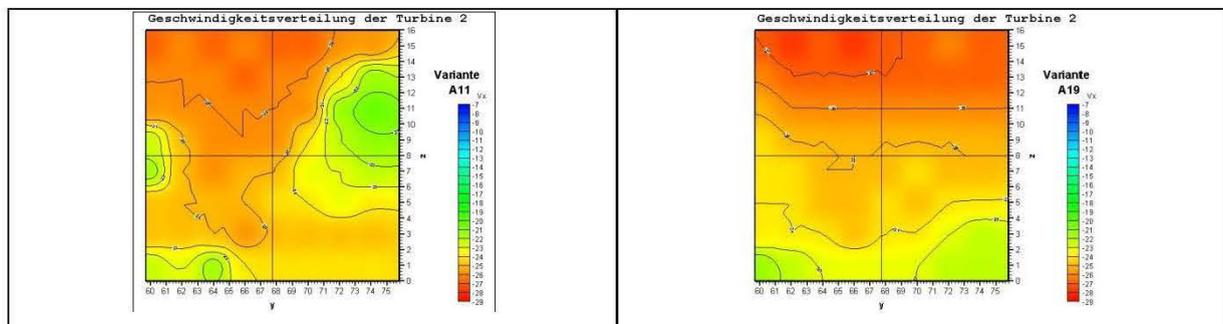


Abb. 7.15 Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2 bei reinem Turbinenbetrieb (links) und Turbinenbetrieb mit Hochwasserabfuhr über WF 1 und WF 2 (rechts), flacher Vorboden, Rouvé Pfeiler, Staukote ± 0

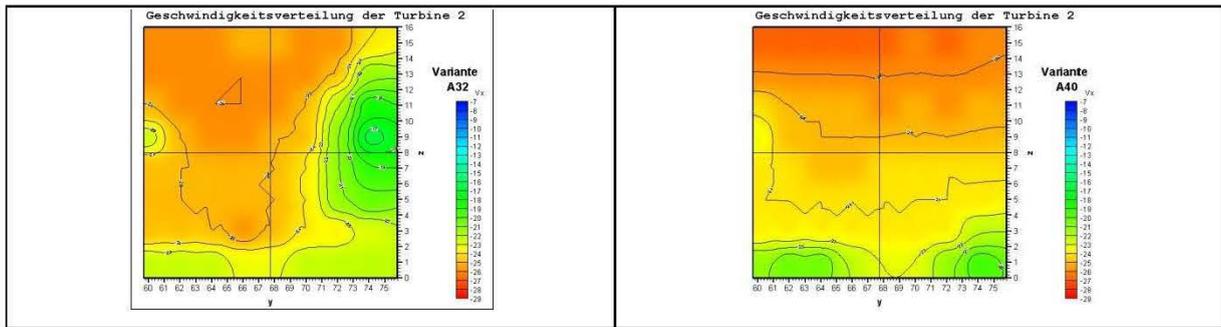


Abb. 7.16 Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2 bei reinem Turbinenbetrieb (links) und Turbinenbetrieb mit Hochwasserabfuhr über WF 1 und WF 2 (rechts), steiler Vorboden, Rouvé Pfeiler, Staukote ± 0

Bei der Hochwasserabfuhr nur über das WF 1 ist die Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2 nur ganz gering schlechter als die Hochwasserabfuhr über zwei Wehrfelder (Abb. 7.17 und Abb. 7.18).

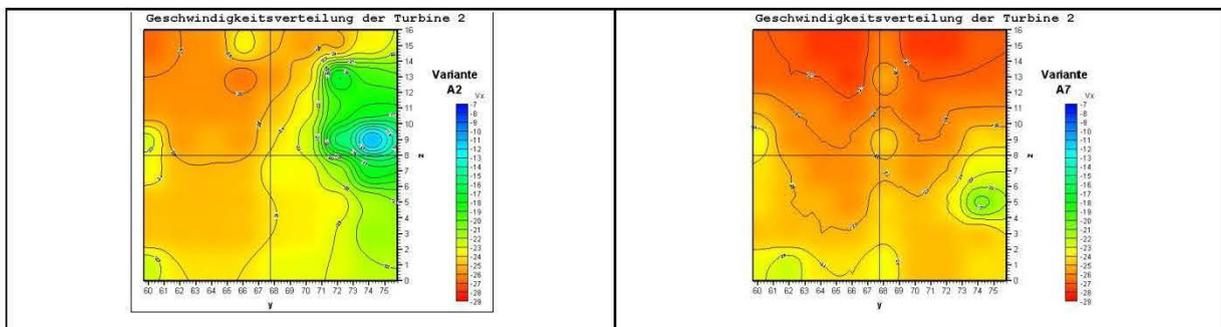


Abb. 7.17 Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2 bei reinem Turbinenbetrieb (links) und Turbinenbetrieb mit Hochwasserabfuhr über WF 1 (rechts), flacher Vorboden, halbrunder Pfeiler, Staukote ± 0

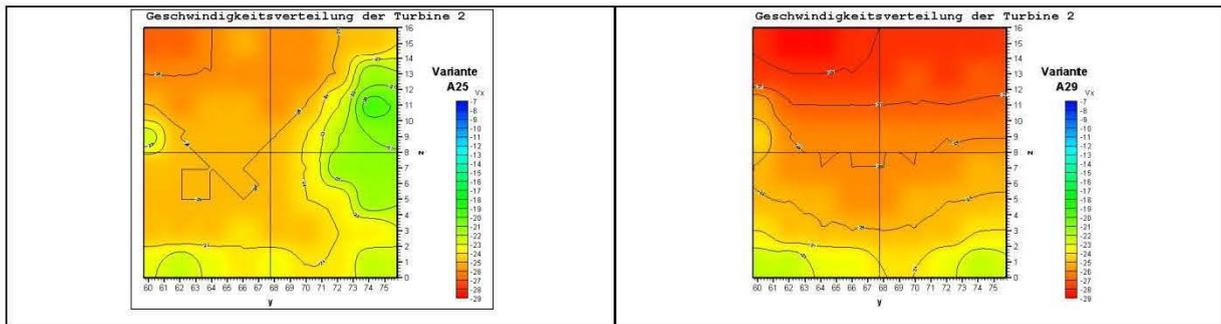


Abb. 7.18 Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2 bei reinem Turbinenbetrieb (links) und Turbinenbetrieb mit Hochwasserabfuhr über WF 1 (rechts), steiler Vorboden, halbrunder Pfeiler, Staukote ± 0

8. Zusammenfassung

In dieser Diplomarbeit wurden die Anströmungsverhältnissen eines Flusskraftwerkes in typischem Block – Bauweise mit verschiedenen Vorbodenneigungen und Trennpfeilerformen unter verschiedenen Betriebszuständen untersucht.

Dazu wurde ein Vollmodell (Maßstab 1:50) in der Flussbaurinne des Wasserbauabors der TU Wien errichtet. Die Messung der Geschwindigkeit wurde hauptsächlich mit Hilfe einer ADV – Sonde in den festgelegten Messpunkten durchgeführt. Die Messbereiche umfassten den Oberwasserbereich vor dem Kraft Hauseinlauf, die Rechenebene und die Turbinenebene. Anhand von 18 Varianten des Kraft Hauseinlaufbereichs wurden die Geschwindigkeitsverteilungen unter verschiedenen Betriebsbedingungen für die wehrseitige Turbine 2 analysiert. Die quantitative Beurteilung der Zuströmverhältnisse erfolgte nach den Kriterien von Fisher und Franke und mit dem Geschwindigkeitshöhenausgleichswert (α - Wert).

Nach diesen Beurteilungskriterien kann die Variante A25 (flacher Vorboden, halbrunder Pfeiler) beim reinen Turbinenbetrieb als Beste gewertet werden. Die weitere detaillierte Reihung findet sich in Tab. 7.1. Im Wesentlichen wird die Zuströmung zur Turbine 2 durch die Wirbelbildungen aufgrund des Trennpfeilers und des Höhenversatzes des Vorbodens beeinflusst. Bei alle Varianten, die im reinen Turbinenbetrieb mit dieser Wirbelbildung liefen kam es zu einer deutlichen Geschwindigkeitsreduktion an der Einlaufsohle und an der Trennpfeilerwand in der Höhe des Flussbetts. Generell kann aber gesagt werden, dass sich die Geschwindigkeitsverteilung mit steigender Zulauflänge zur Turbine verbessert.

Beim Turbinenbetrieb mit gleichzeitiger Hochwasserabfuhr über die Wehranlage verbessern sich die Anströmungsverhältnisse massiv. Es erfolgt in diesem Fall keine Zuströmung aus dem Wehrfeldbereich dadurch bleibt die Zuströmung zum Kraft Hauseinlauf relativ geradlinig ohne Wirbelbildung. Für diesen Fall hat sich die Variante A5 (flacher Vorboden, halbrunder Pfeiler) als Beste herausgestellt. Aber auch die Varianten A27, A7 und A19 können für den Hochwasserfall als sehr gut bewertet werden.

Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Varianten wird in Kap. 6 präsentiert, der Einfluss aufgrund der Einlaufgeometrie und der Betriebsbedingungen erfolgt in Kap. 7.

Nach Tab. 7.1 kann folgende generelle Schlussfolgerung für die Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2 getroffen werden:

- Bei reinem Turbinenbetrieb ist der steile Vorboden besser als der Fläche.
- Der Rouvé Pfeiler ist ebenfalls im reinen Turbinenbetrieb meistens besser als der halbrunde Pfeiler, dagegen ist dieser bei gleichzeitigem Wehrbetrieb besser als der Rouvé Pfeiler.
- Der Turbinenbetrieb kombiniert mit dem Hochwasserabfluss ist ebenfalls besser als der alleinige Turbinendurchfluss.
- Mit steigenden Oberwasserspiegel verbessern sich auch die Geschwindigkeitsverteilungen

Für eine noch detailliertere Untersuchung wäre eine zusätzliche Verfeinerung der Untersuchungsparameter wie z.B. weitere Einlaufgeometrien, Durchflussmengen,

Maschinenschaltfällen, etc. wünschenswert. Weiters wäre auch ein größerer Modellmaßstab und ein engerer Messraster im Oberwasserbereich und neben den Trennpfeiler vorteilhaft. Um die weitere Laborarbeit zu erleichtern, sollte die Geschwindigkeitsmessung eventuell auch mit einem neue und präzisen Messgerät automatisiert werden

9. Literaturverzeichnis

Blind, H. (1987). *Wasserbauten aus Beton*. Berlin: Ernst, Verl. für Architektur und techn. Wiss., ISBN 3-433-01009-9.

Bollrich, G. (2007). *Technische Hydromechanik. Bd. 1: Grundlagen* (Bde. Verl. für Bauwesen, 6., durchgesehene u. korr. edition). Berlin: ISBN 978-3-345-00912-9.

Drobir, H. (2006). Skriptum zur Vorlesung Hydrotechnische Anlagen. In D. Helmut, *Teil 2*.

Giesecke, J., & Mosonyi, E. (2009). *Wasserkraftanlagen; Planung, Bau und Betrieb*. Stuttgart: Springer Heidelberg Dordrecht London New York; ISBN 978-3-540-88988-5.

Godde, D. (1994). *Experimentelle Untersuchungen zur Anströmung von Rohrtutbinen*. München: Dissertationsß und Fotodruck Frank GmbH; ISSN 0947-7187.

Grossschaedl, G., & Hengl, D.-I. D. (2003). *Kalibrierung von Fließgeschwindigkeits-Messgeräten und ein Blick über den Rand des Kalibriertanks*.

HBM. (2009). <http://www.hbm.com/>. Von <http://www.hbm.com/en/menu/products/measurement-electronics-software/universal-data-acquisition-systems/standalone-daq-devices/single/categorie/daq-single/product/spider8-1/backPID/standalone-daq-devices/>. abgerufen

IEC-Code 41. (1991).

ISO 3354. (2008). *Measurement of clean water flow in closed conduits -- Velocity-area method using current-meters in full conduits and under regular flow conditions*.

Lang, T. (1999). *Geometrische Kriterien zur Gestaltung von Kraftwerkseinläufen. Experimentelle Untersuchungen an Rohr-S-Turbine und Durchströmturbine*. München.

Mayr, T. (2008). *Bauliche und konstruktive Gestaltung von Buchtenkraftwerken, Diplomarbeit*. Wien: TU - Wien.

Nortek AS. *CollectV Software Manual* (Version 3.2 Ausg.).

Nortek AS. (2000). *Nortek 10 MHz Velocimeter Operations Manual*.

Omni Instruments. (2009). <http://www.omniinstruments.co.uk>. Von http://www.omniinstruments.co.uk/airweath/ma2_e.htm. abgerufen

Press, H. (1967). *Wasserkraftwerke. III. Teil. Wehre*, Berlin: Verl. Ernst & Sohn, 2., erw. edition.

Rouvé, G. (1958). *Der Krafthautrennpfeiler; Strömungsverhältnisse an gekrümmten Wänden, Karlsruhe: Eigenverlag, (Arbeit aus dem Theodor- Rehbock-Flussbaulaboratorium)*.

Statistik Austria. (2009). www.statistik.at. Von http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_und_umwelt/energie/energiebilanz/en/040805.html. abgerufen

Strobl, T., & Zunic, F. (2006). *Wasserbau; Aktuelle Grundlagen - Neue Entwicklungen*. Berlin: Springer, ISBN-10 3-540-22300-2.

Wittmann, H., & Gabrecht, G. (1954). *Untersuchung für Laufwasserkraftstufen, in: Die*. ISSN 0043-0978.

10. Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1 Schematische Darstellung eines Flusskraftwerkes (Blind, 1987).....	2
Abb. 2.2 Längsschnitt durch ein Niederdruckkrafthaus (Strobl & Zunic, 2006)	3
Abb. 2.3 Anordnung von Flusskraftwerken: a) Blockbauweise; b) Zwillingsbauweise; c) Pfeilerkraftwerk; d) überstrombares Kraftwerk; e) Buchtenkraftwerke (Giesecke & Mosonyi, 2009)	3
Abb. 2.4 Bauarten von Kraftwerksketten: a) lückenhaft; b) geschlossen; c) übergreifend (Giesecke & Mosonyi, 2009)	3
Abb. 2.5 Schema eines Flusskraftwerkes: A – Stauwurzel (Beginn der Beeinflussung der Flussstrecke); B – Ende der Beeinflussung(Drobir, 2006)	4
Abb. 2.6 Schema eines Ausleitungskraftwerkes(Drobir, 2006).....	5
Abb. 3.1 Anströmungsbild bei Block – Kraftwerk(Press, 1967).....	6
Abb. 3.2 KH-Anströmung ohne Wehrbetrieb (Lang, 1999).....	6
Abb. 3.3 Trennpfeilertypen – a) Nach (Wittmann & Gabrecht, 1954) h; b) Nach(Rouvé, 1958); c) Spezielle gebaute Form nach; (Godde, 1994).....	7
Abb. 3.4 KH-Anströmung bei gleichzeitigem Wehrbetrieb.....	7
Abb. 4.1 Kraftwerksmodell von OW.....	8
Abb. 4.2 Halbkreisform.....	8
Abb. 4.3 Pfeilerkopf nach Rouvé (1958).....	8
Abb. 4.4 Flacher Vorboden mit seitlich vertikalem Übergang.....	9
Abb. 4.5 Flacher Vorboden mit seitlich geneigtem Übergang.....	9
Abb. 4.6 Steiler Vorboden mit seitlich geneigtem Übergang.....	9
Abb. 4.7 Variante A1: Schrägansicht des Modells	11
Abb. 4.8 Variante A2: Schrägansicht des Modells	11
Abb. 4.9 Variante A11: Schrägansicht des Modells.....	12
Abb. 4.10 Variante A25: Schrägansicht des Modells.....	12
Abb. 4.11 Variante A32: Schrägansicht des Modells.....	13
Abb. 4.12 Schieberplatte und Lochblende für Turbinendurchflussregulierung	14
Abb. 4.13 Schaltschrank und Wasserzuführungssystem	15
Abb. 4.14 Geschwindigkeitsmessflügel (Omni Instruments, 2009).....	15
Abb. 4.15 ADV – Sondenkopf	16
Abb. 4.16 NDV Datenerfassungsgerät der ADV – Sonde	16
Abb. 4.17 Analog – Digital Signalwandler, Spider (HBM, 2009).....	16
Abb. 5.1 Messraster Oberwasser.....	19
Abb. 5.2 Messraster Rechenebene.....	20
Abb. 5.3 Messraster Turbinenebene.....	20
Abb. 5.4 Lokale und mittlere Strömungsgeschwindigkeit im Fließquerschnitt, Geschwindigkeitsverteilung bei turbulenten und laminaren Rohrströmung (Bollrich, 2007).....	21

Abb. 5.5 Anforderungsdiagramm nach Fisher und Franke	22
Abb. 6.1 Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A1)	23
Abb. 6.2 Geschwindigkeitsverteilung Rechenebene (Variante A1)	24
Abb. 6.3 Geschwindigkeitsverteilung Turbine 2 (Variante A1)	24
Abb. 6.4 Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A1)	25
Abb. 6.5 Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A2)	26
Abb. 6.6 Geschwindigkeitsverteilung Rechenebene (Variante A2)	27
Abb. 6.7 Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A2)	27
Abb. 6.8 Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A2)	28
Abb. 6.9 Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A5)	29
Abb. 6.10 Geschwindigkeitsverteilung Rechenebene (Variante A5)	30
Abb. 6.11 Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A5)	30
Abb. 6.12 Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A5)	31
Abb. 6.13 Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A7)	32
Abb. 6.14 Geschwindigkeitsverteilung Rechenebene (Variante A7)	33
Abb. 6.15 Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A7)	33
Abb. 6.16 Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A7)	34
Abb. 6.17 Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A10)	35
Abb. 6.18 Geschwindigkeitsverteilung Rechenebene (Variante A10)	36
Abb. 6.19 Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A10)	36
Abb. 6.20 Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A10)	37
Abb. 6.21 Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A11)	38
Abb. 6.22 Geschwindigkeitsverteilung Rechenebene (Variante A11)	39
Abb. 6.23 Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A11)	39
Abb. 6.24 Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A11)	40
Abb. 6.25 Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A19)	41
Abb. 6.26 Geschwindigkeitsverteilung Rechenebene (Variante A19)	42
Abb. 6.27 Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A19)	42
Abb. 6.28 Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A19)	43
Abb. 6.29 Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A21)	44
Abb. 6.30 Geschwindigkeitsverteilung Rechenebene (Variante A21)	45
Abb. 6.31 Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A21)	45
Abb. 6.32 Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A21)	46
Abb. 6.33 Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A23)	47
Abb. 6.34 Geschwindigkeitsverteilung Rechenebene (Variante A23)	48
Abb. 6.35 Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A23)	48
Abb. 6.36 Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A23)	49
Abb. 6.37 Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A25)	50

Abb. 6.38	Geschwindigkeitsverteilung Rechenebene (Variante A25)	51
Abb. 6.39	Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A25)	51
Abb. 6.40	Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A25)	52
Abb. 6.41	Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A27)	53
Abb. 6.42	Geschwindigkeitsverteilung Rechenebene (Variante A27)	54
Abb. 6.43	Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A27)	54
Abb. 6.44	Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A27)	55
Abb. 6.45	Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A29)	56
Abb. 6.46	Geschwindigkeitsverteilung Rechenebene (Variante A29)	57
Abb. 6.47	Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A29)	57
Abb. 6.48	Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A29)	58
Abb. 6.49	Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A31)	59
Abb. 6.50	Geschwindigkeitsverteilung Rechenebene (Variante A31)	60
Abb. 6.51	Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A31)	60
Abb. 6.52	Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A31)	61
Abb. 6.53	Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A32)	62
Abb. 6.54	Geschwindigkeitsverteilung Rechenebene (Variante A32)	63
Abb. 6.55	Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A32)	63
Abb. 6.56	Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A32)	64
Abb. 6.57	Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A35)	65
Abb. 6.58	Geschwindigkeitsverteilung Rechenebene (Variante A35)	66
Abb. 6.59	Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A35)	66
Abb. 6.60	Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A35)	67
Abb. 6.61	Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A40)	68
Abb. 6.62	Geschwindigkeitsverteilung Rechenebene (Variante A40)	69
Abb. 6.63	Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A40)	69
Abb. 6.64	Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A40)	70
Abb. 6.65	Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A42)	71
Abb. 6.66	Geschwindigkeitsverteilung Rechenebene (Variante A42)	72
Abb. 6.67	Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A42)	72
Abb. 6.68	Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A42)	73
Abb. 6.69	Geschwindigkeitsverteilung Oberwasser (Variante A44)	74
Abb. 6.70	Geschwindigkeitsverteilung Rechenebene (Variante A44)	75
Abb. 6.71	Geschwindigkeitsverteilung Turbinenebene (Variante A44)	75
Abb. 6.72	Fisher und Franke Kriterium für die Turbinenebene (Variante A44)	76
Abb. 7.1	Geschwindigkeitsverteilung beim halbrunden (links) und Rouvé Trennpfeiler (rechts) vor der Turbine 2, flacher Vorboden, reiner Turbinendurchfluss, Staukote ± 0	78
Abb. 7.2	Geschwindigkeitsverteilung beim halbrunden (links) und Rouvé Trennpfeiler (rechts) vor der Turbine 2, steiler Vorboden, reiner Turbinendurchfluss, Staukote ± 0	78

- Abb. 7.3 Geschwindigkeitsverteilung beim halbrunden (links) und Rouvé Trennpfeiler (rechts) vor der Turbine 2, flacher Vorboden, Turbinendurchfluss und Hochwasserabfuhr, Staukote ± 078**
- Abb. 7.4 Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2 beim flachen (links) und steilen (rechts) Vorboden, halbrunder Pfeiler, reiner Turbinendurchfluss, Staukote ± 079**
- Abb. 7.5 Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2 beim flachen (links) und steilen (rechts) Vorboden, Rouvé Pfeiler, reiner Turbinendurchfluss, Staukote ± 079**
- Abb. 7.6 Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2 beim flachen (links) und steilen (rechts) Vorboden, halbrunder Pfeiler, Turbinendurchfluss und Hochwasserabfuhr, Staukote ± 0 79**
- Abb. 7.7 Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2 beim flachen (links) und steilen (rechts) Vorboden, halbrunder Pfeiler, Turbinendurchfluss und Hochwasserabfuhr, Staukote ± 0 80**
- Abb. 7.8 Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2 bei Staukote ± 0 (links) und Staukote -2 (rechts), flacher Vorboden, halbrunder Pfeiler, reiner Turbinendurchfluss 80**
- Abb. 7.9 Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2 bei Staukote ± 0 (links) und Staukote -2 (rechts), flacher Vorboden, Rouvé Pfeiler, reiner Turbinendurchfluss80**
- Abb. 7.10 Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2 bei Staukote ± 0 (links) und Staukote -2 (rechts), steiler Vorboden, halbrunder Pfeiler, reiner Turbinendurchfluss ..81**
- Abb. 7.11 Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2 bei Staukote ± 0 (links) und Staukote -2 (rechts), steiler Vorboden, Rouvé Pfeiler, reiner Turbinendurchfluss81**
- Abb. 7.12 Krafthauszuströmung bei reinen Turbinenbetrieb (links) und Turbinenbetrieb mit Hochwasserabfuhr (rechts), flacher Vorboden, halbrunder Pfeiler, Staukote ± 0 81**
- Abb. 7.13 Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2 bei reinem Turbinenbetrieb (links) und Turbinenbetrieb mit Hochwasserabfuhr über WF 1 und WF 2 (rechts), flacher Vorboden, halbrunder Pfeiler, Staukote ± 082**
- Abb. 7.14 Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2 bei reinem Turbinenbetrieb (links) und Turbinenbetrieb mit Hochwasserabfuhr über WF 1 und WF 2 (rechts), steiler Vorboden, halbrunder Pfeiler, Staukote ± 082**
- Abb. 7.15 Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2 bei reinem Turbinenbetrieb (links) und Turbinenbetrieb mit Hochwasserabfuhr über WF 1 und WF 2 (rechts), flacher Vorboden, Rouvé Pfeiler, Staukote ± 082**
- Abb. 7.16 Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2 bei reinem Turbinenbetrieb (links) und Turbinenbetrieb mit Hochwasserabfuhr über WF 1 und WF 2 (rechts), steiler Vorboden, Rouvé Pfeiler, Staukote ± 083**
- Abb. 7.17 Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2 bei reinem Turbinenbetrieb (links) und Turbinenbetrieb mit Hochwasserabfuhr über WF 1 (rechts), flacher Vorboden, halbrunder Pfeiler, Staukote ± 0 83**
- Abb. 7.18 Geschwindigkeitsverteilung vor der Turbine 2 bei reinem Turbinenbetrieb (links) und Turbinenbetrieb mit Hochwasserabfuhr über WF 1 (rechts), steiler Vorboden, halbrunder Pfeiler, Staukote ± 0 83**

11. Tabellenverzeichnis

Tab. 4.1 Aufstellung der untersuchten Varianten.....	10
Tab. 6.1 Basisdaten der Variante A1.....	23
Tab. 6.2 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A1)	25
Tab. 6.3 Basisdaten der Variante A2.....	26
Tab. 6.4 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A2)	28
Tab. 6.5 Basisdaten der Variante A5.....	29
Tab. 6.6 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A5)	31
Tab. 6.7 Basisdaten der Variante A7.....	32
Tab. 6.8 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A7)	34
Tab. 6.9 Basisdaten der Variante A10.....	35
Tab. 6.10 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A10)	37
Tab. 6.11 Basisdaten der Variante A11.....	38
Tab. 6.12 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A11)	40
Tab. 6.13 Basisdaten der Variante A19.....	41
Tab. 6.14 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A19)	43
Tab. 6.15 Basisdaten der Variante A21.....	44
Tab. 6.16 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A21)	46
Tab. 6.17 Basisdaten der Variante A23.....	47
Tab. 6.18 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A23)	49
Tab. 6.19 Basisdaten der Variante A25.....	50
Tab. 6.20 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A25)	52
Tab. 6.21 Basisdaten der Variante A27.....	53
Tab. 6.22 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A27)	55
Tab. 6.23 Basisdaten der Variante A29.....	56
Tab. 6.24 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A29)	58
Tab. 6.25 Basisdaten der Variante A31.....	59
Tab. 6.26 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A31)	61
Tab. 6.27 Basisdaten der Variante A32.....	62
Tab. 6.28 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A32)	64
Tab. 6.29 Basisdaten der Variante A35.....	65
Tab. 6.30 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A35)	67
Tab. 6.31 Basisdaten der Variante A40.....	68
Tab. 6.32 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A40)	70
Tab. 6.33 Basisdaten der Variante A42.....	71
Tab. 6.34 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A42)	73
Tab. 6.35 Basisdaten der Variante A44.....	74
Tab. 6.36 Geschwindigkeitsverteilung der Turbine 2 (Variante A44)	76
Tab. 7.1 Beurteilung der untersuchten Varianten	77

Anhang 1

Sondenjustierung im Messraster

Der Messpunkt des Gerätes liegt lt. Herstellerhandbuch (Nortek AS, 2000) 5 cm vor dem Empfänger und 7,5 cm vor der Halterungsachse des Gerät (Bild 1), dies muss für die Einhaltung des Messrasters (Bild 2) berücksichtigt werden.

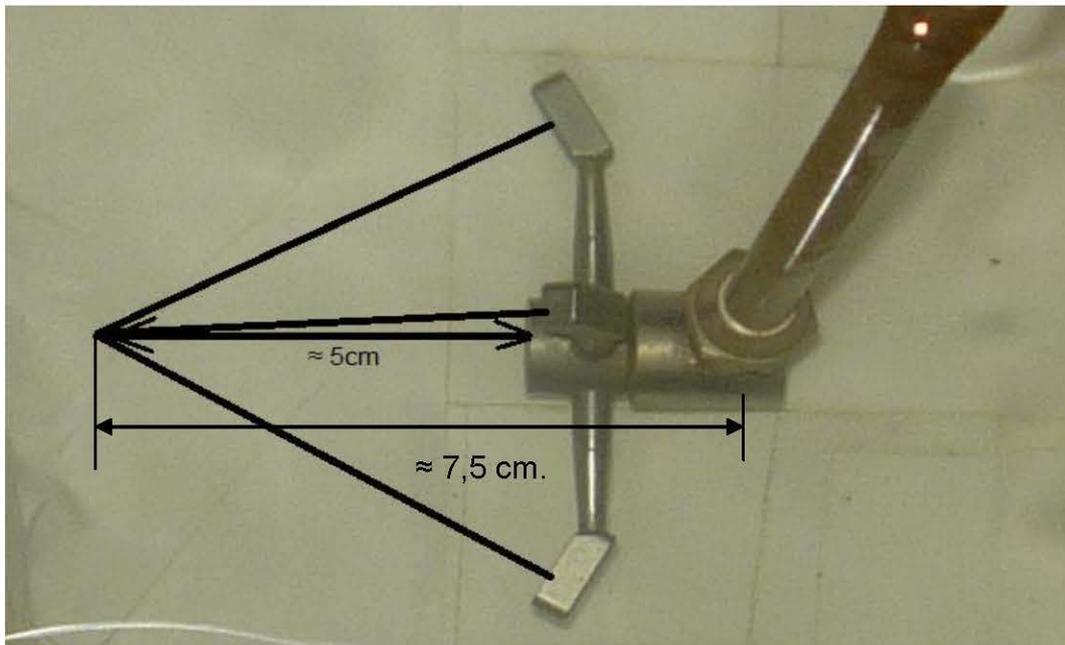


Bild 1 ADV 5cm Probetrip

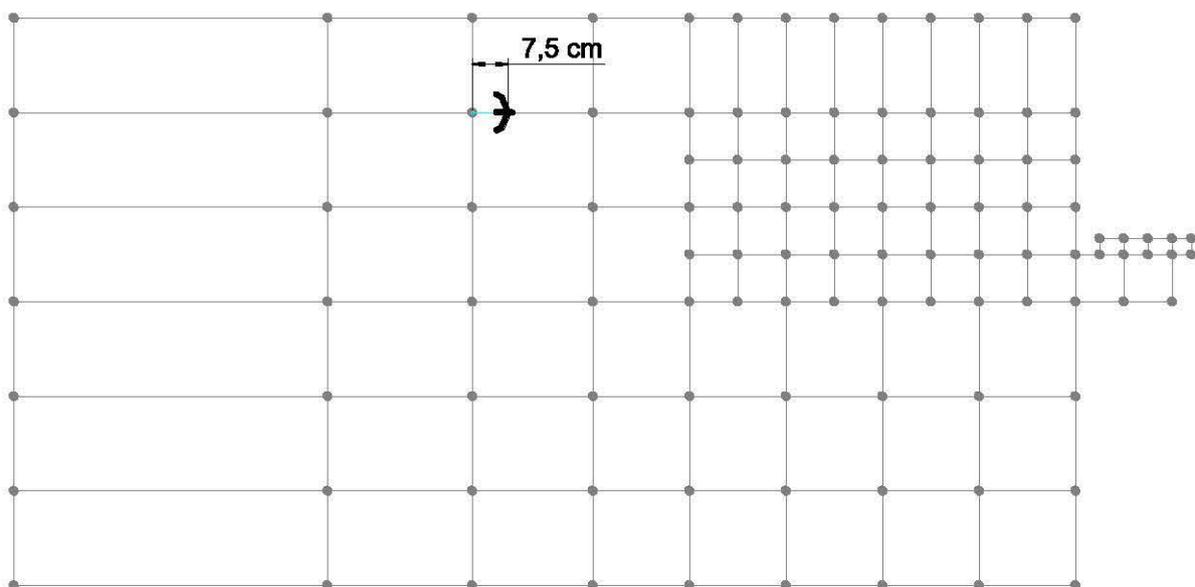


Bild 2 Sondenposition im Messraster des Oberwassers

Im Oberwasserbereich lag der Messpunkt immer oberwasserseitig vor der Messsonde, in der Rechenebene lag dieser immer seitlich auf der orographisch rechten Seite der Fließrichtung, in der Turbinenebene wurde sowohl seitlich links als auch rechts gemessen. In den wandnahen Messpunkten der Turbinenebene konnte die Mess-

sonde nur mit Hilfe des Programms „Collect V“ (NORTEK AS) justiert werden, da der Messpunkt in dieser Position durch den Wandeneinfluss eine Verschiebung erfährt. Dieses Programm identifizierte damit die erforderliche Geräteposition (NORTEK AS, 2000) zur Einhaltung des Messpunkts (Bild 3).

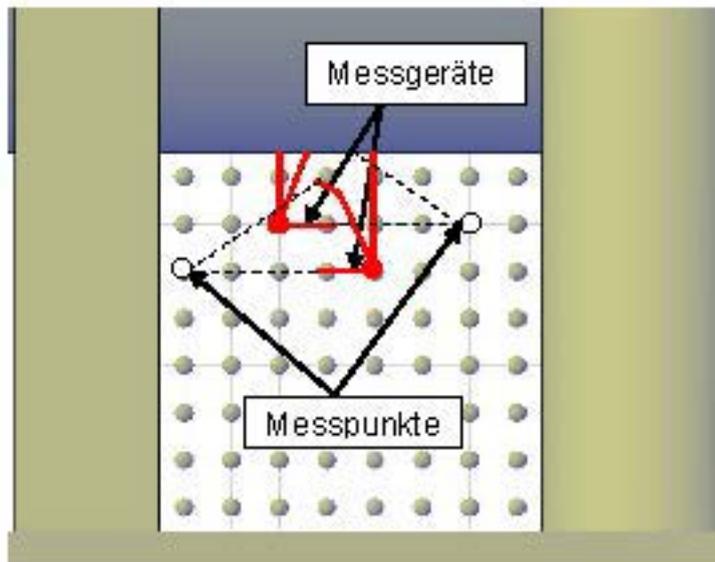


Bild 3 Richtungen in Turbinenebene

Geschwindigkeitsmessung und Kalibrierung der Messsonde

Die ADV - Sonde zur Geschwindigkeitsmessung ist auf dem Messwagen der Versuchsrinne auf einer eigenen Halterung befestigt, die in alle Richtungen bewegt werden kann (Bild 4 und 5).

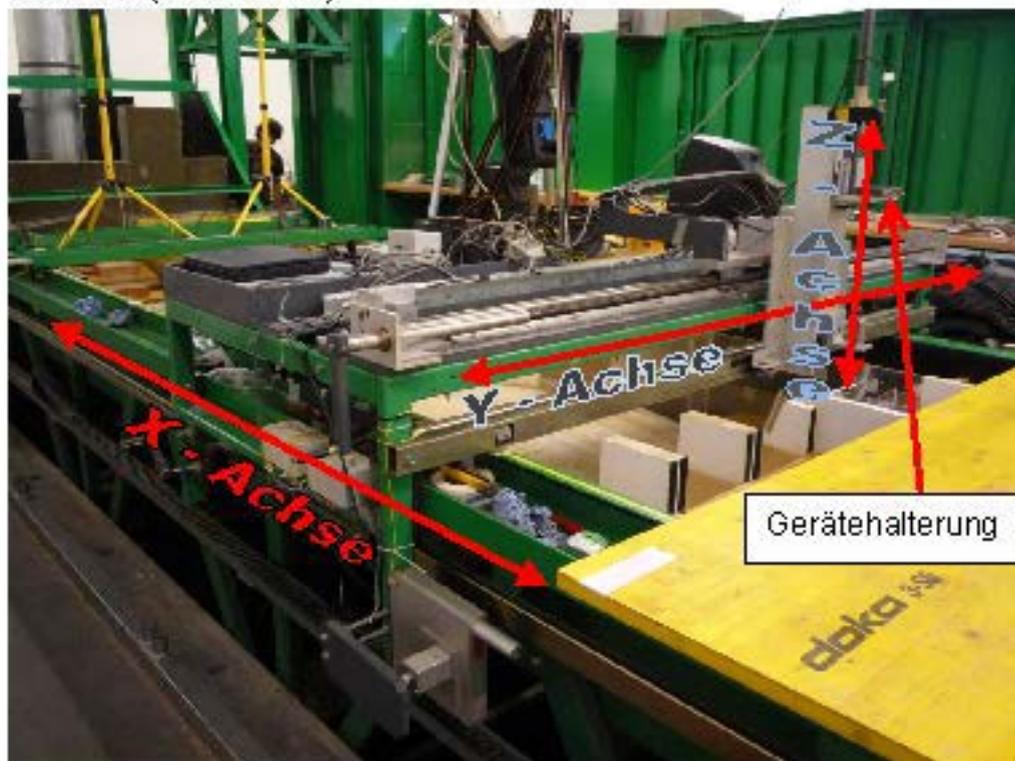


Bild 4 Messwagen



Bild 5 ADV – Sonde

Durch die Drehung des Gerätes bei der seitlichen Messung drehen sich auch die Koordinaten für die Geräteposition. Das heißt, die Gerätepositionierung und die Datenauswertung ist durch eine Koordinatentransformation entsprechend anzupassen.

Zur Sicherstellung einer genauen Messung ist eine Kalibrierung der Sonde nach gewissen Zeitabständen notwendig. Eine solche wurde auch im Zuge der Versuche im Laboratorium des Bundesamtes für Wasserwirtschaft durchgeführt. Die Kalibrierung erfolgte auf der gesetzlichen Grundlage der §§ 58 und 59 des Maß- und Eichgesetzes BGBl.Nr. 152/1950 in der derzeit gültigen Fassung (2009). Dabei wurde das Gerät auf einem Schleppwagen montiert und durch einen Wassertank mit stehendem Wasser gezogen (Bild 6 und 7).

Daten der Kalibrieranlage:

Wassertank (Kanal): 40.65 m lang, 2.25 m breit, Wassertiefe ca. 2.00 m,

Wassertemperatur: 16.35 °C

Schleppwagen mit Fremdantrieb, thyristorgesteuert,

Referenzgeschwindigkeit (Schleppgeschwindigkeit) ist stufenlos vorwählbar im Geschwindigkeitsbereich: $2 \text{ cm/s} \leq 3.4 \text{ m/s}$.

Diese Referenzgeschwindigkeit des Schleppwagens dient als Bezugsnormal für die zu kalibrierenden Fließgeschwindigkeitsmessgeräte und dient zur Rückverfolgbarkeit ihrer Messgrößen auf die Basis-Einheiten des SI-Einheitensystems. (Grossschaedl & Hengl, 2003)

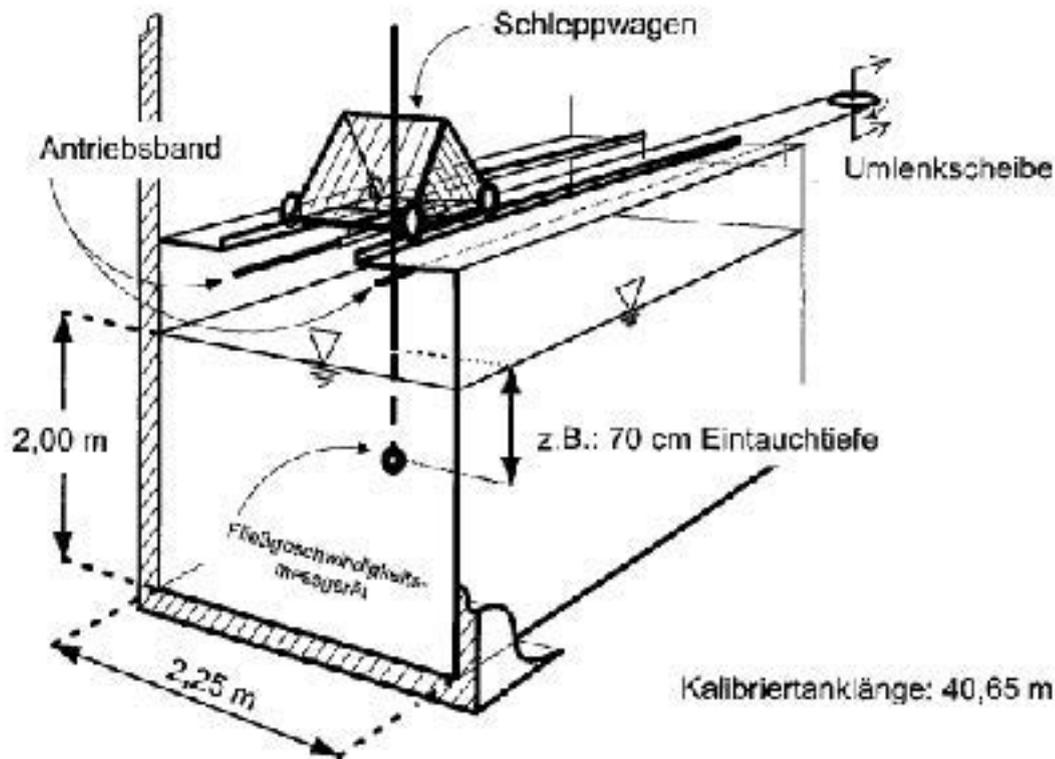


Bild 6 Abschnitt des Kalibriertankes mit dem Schleppwagen (GROSSCHAEDL & HENGL, 2003)

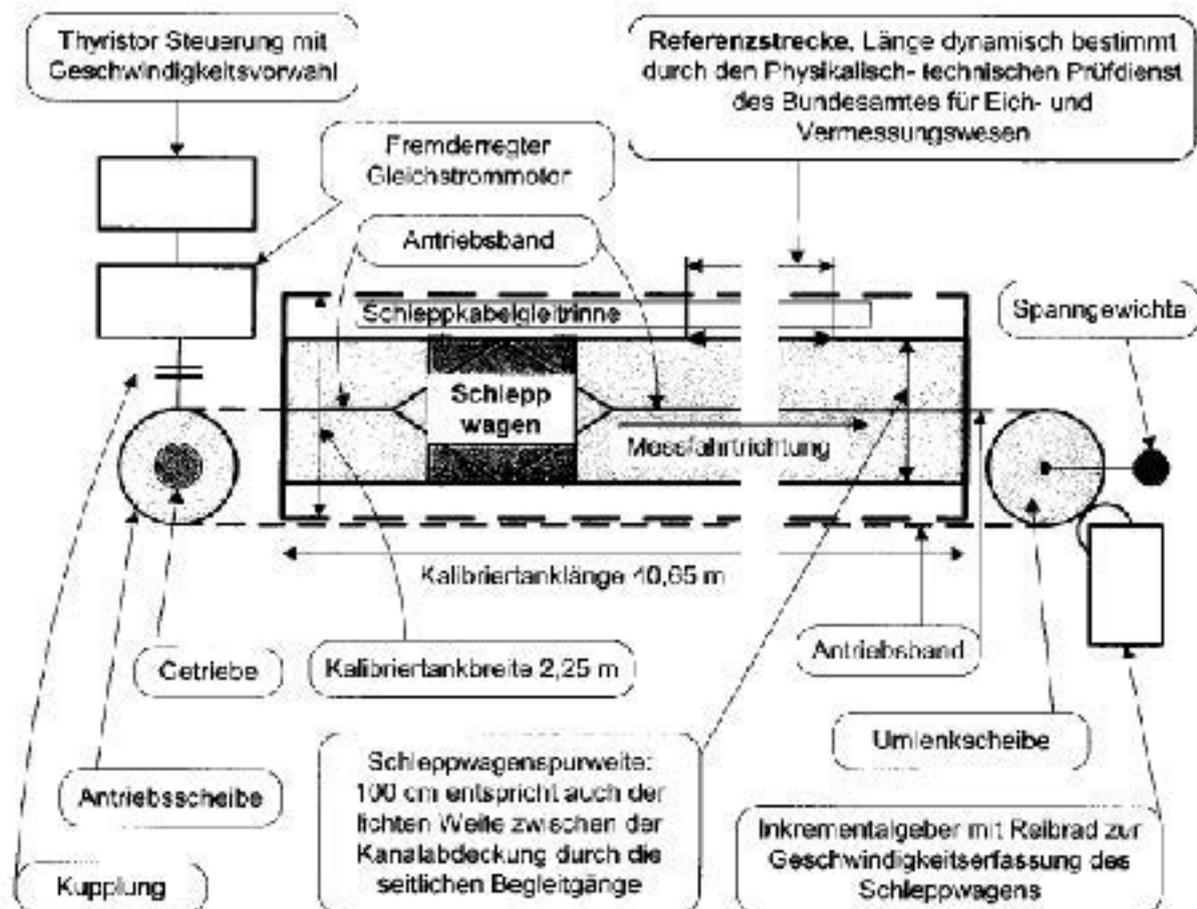


Bild 7 Skizze der Kalibrieranlage (Grundriss) (GROSSCHAEDL & HENGL, 2003)

Kalibrierverfahren:

Experimentelle Bestimmung des Zusammenhanges zwischen der Geräteanzeige des zu kalibrierenden Fließgeschwindigkeitsmessgerätes und der Referenzgeschwindigkeit des Schleppwagens.

Voraussetzung: nur die Relativgeschwindigkeit zwischen dem zu messenden Medium (Wasser) und dem Fließgeschwindigkeitsmessgerät ist maßgebend.

Durchführung: Schleppfahrten durch das stehende Wasser des Kalibriertankes mit dem zu kalibrierenden Fließgeschwindigkeitsmessgerät, das so am Schleppwagen befestigt wird, wie es möglichst der Messpraxis in der Natur entspricht (z.B.: an gleichem Stangendurchmesser). Der Physikalisch-technische Prüfdienst (PTP) des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (BEV) kalibriert regelmäßig die Weg und Zeitmessung der Hydrometrischen Prüfung. Der jeweils aktuelle Kalibrierschein bezüglich der Kalibrieranlage liegt im Institut für Wasserbau und hydrometrische Prüfung zur Einsichtnahme für die Kunden auf.

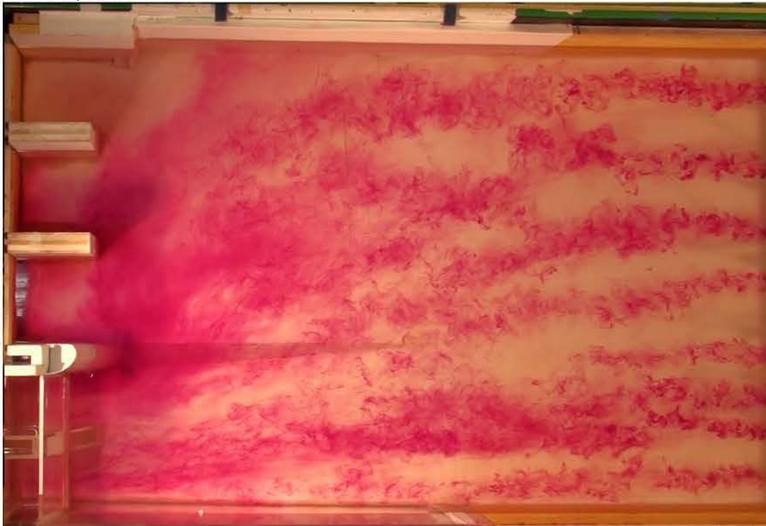
ISO 3455 („Messflügelkalibriernorm“), die Standardverfahrensanweisung und die Standardarbeitsanweisungen der hydrometrischen Prüfung werden in den jeweils gültigen Fassungen berücksichtigt. (Grossschaedl & Hengl, 2003)

Anhang 2: Strömungsbilder

Variante A11
Z – Wasserspiegel



Z – 19,5cm



Z – Boden



Variante A19
Z – Wasserspiegel



Z – 19,5cm



Z – Boden



Variante A21
Z – Wasserspiegel



Z – 19,5cm



Z – Boden



Variante A32
Z – Wasserspiegel



Z – 19,5cm



Z – Boden



Variante A40
Z – Wasserspiegel



Z – 19,5cm



Z – Boden



Variante A42
Z – Wasserspiegel



Z – 19,5cm



Z – Boden

