

5. Gestaltung von Wetterkanälen

5.1 Grundsätzliche Überlegungen zur Gestaltung von Wetterkanälen

Mit zunehmender Beaufschlagung ausziehender Tagesschächte, bei denen Abwettervolumenströme bis zu $500 \text{ m}^3/\text{s}$ zu bewältigen sind, kommt bei der Beachtung der erforderlichen Anlage- und Energiekosten für Hauptgrubenventilatoranlagen auch der Gestaltung der Wetterkanäle aus strömungstechnischer Sicht eine große Bedeutung zu. Die auf diesem Gebiet gewonnenen Erkenntnisse, die insbesondere auf Untersuchungen von K. Renner basieren [108] [109], werden bereits seit vielen Jahren bei der Errichtung neuer, ausziehender Tagesschächte genutzt, finden jedoch auch weitgehend beim Umbau von Hauptgrubenventilatoranlagen und deren Wetterkanälen Berücksichtigung.

Die Aufstellung der Ventilatoranlage, die Lage des Wetterkanals und sein Anschluss am Schacht sind in den weit überwiegenden Fällen durch äußere Gegebenheiten vorbestimmt. Dies gilt auch für neu zu errichtende Schächte, trifft jedoch in weit stärkerem Maße für den Umbau oder die Erweiterung bereits vorhandener Ventilatoranlagen zu. Aus bautechnischer Sicht ist beispielsweise anzustreben, einen Wetterkanal oberhalb des Grundwasserspiegels anzuordnen. Die Ventilatoranlage selbst wird in den meisten Fällen in einiger Entfernung vom Schacht installiert, weil der unmittelbare Schachtbereich mit fördertechnischen Einrichtungen sowie mit der Schachthalle beaufschlagt ist. Größe und Form des Wetterkanals sind abhängig von der Größe, der Bauart oder der Betriebsweise (Einzel- oder Parallelbetrieb) der Ventilatoranlage. In diesem Zusammenhang ist auch die Art der Aufstellung der Ventilatoranlage (horizontal oder vertikal) für die Gestaltung des Wetterkanals von Bedeutung.

Bei der Anordnung des Wetterkanalanschlusses am Schacht kommt es darauf an, dass die in den Wetterkanal einströmenden Wetter möglichst wenig durch die im Schacht befindlichen Fördereinrichtungen behindert werden.

Aus Gründen der Energieeinsparung ist es notwendig, den Druckverbrauch des Wetterstromes vom Schacht zum Ventilator zu minimieren und eine möglichst gleichmäßige Zuströmung zum Ventilator zu erreichen. Da sich für jeden Einzelfall eine spezielle Problemstellung ergibt, ist es anzuraten, in Anbetracht der betrieblichen, technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkte jeweils eine optimale Lösung zu finden. Dies kann am besten durch Modelluntersuchungen erreicht werden. Die Kosten für Modelluntersuchungen derartiger Anlagen machen sich im Allgemeinen bereits nach kürzester Zeit des Betriebseinsatzes aufgrund der eingesparten Energiekosten bezahlt.

Um eine Ähnlichkeit der Strömungsverhältnisse im Modell mit denen in der Originalausführung zu erhalten, wählt man in der Strömungstechnik eine dimensionslose Kenngröße, die als Reynoldszahl Re bezeichnet wird (siehe 3.10).

$$Re = (w \cdot d) / \nu \quad (70)$$

Darin ist w die mittlere Wettergeschwindigkeit, d der Strömungsdurchmesser und ν die kinematische Zähigkeit; für Luft beträgt $\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Damit die gleiche Reynoldszahl erreicht wird, muss man zum Beispiel bei einem Modellmaßstab 1:10, bei dem der Strömungsdurchmesser ein Zehntel der Originalabmessung beträgt, die zehnfache Wettergeschwindigkeit gegenüber den Originalverhältnissen einstellen, wenn in beiden Fällen das Medium Luft mit der gleichen kinematischen Zähigkeit strömen soll.

5.2 Druckverlust eines Wetterkanals

Der Druckverlust eines Wetterkanals Δp_{WK} ist gleich der Differenz der mittleren Gesamtdrücke am Anfang und am Ende des Wetterkanals. Zum Vergleich ähnlicher Wetterkanäle und insbesondere zum Vergleich zwischen einem Modell und der Originalausführung verwendet man zweckmäßigerweise die Druckverlustzahl eines Wetterkanals ζ_{WK} , die durch das

Verhältnis von Druckverlust des Wetterkanals Δp_{WK} zum Staudruck einer mittleren Bezugsgeschwindigkeit $(\rho / 2) \cdot w_s^2$ dimensionslos ist. Als Bezugsgeschwindigkeit wählt man allgemein die Anströmgeschwindigkeit. Das entspricht beim Wetterkanal der Wettergeschwindigkeit w_s im Schacht. Der Druckverlust eines Wetterkanals wird bestimmt durch

$$\Delta p_{WK} = p_s - p_{VE} \quad (119)$$

wobei p_s für den Gesamtdruck im Schacht vor dem Wetterkanalanschluss und p_{VE} für den Gesamtdruck am Ventilatoreinlauf stehen. Die Druckverlustzahl eines Wetterkanals errechnet man somit aus

$$\zeta_{WK} = \frac{\Delta p_{WK}}{(\rho / 2) \cdot w_s^2} \quad (120)$$

Die Druckverlustzahl eines Wetterkanals hängt hauptsächlich von folgenden drei Einflussbedingungen ab:

- von der Form des Wetterkanals,
- von der Reynoldszahl der Strömung Re_s , wobei der Index S auf die mittlere Bezugswettergeschwindigkeit im Schacht hinweist, sowie
- von der Strömung, die sich aufgrund der Umlenkung vom Schacht in den Wetterkanal ergibt.

Ähnlich, wie es bei Rohrverzweigungen in der Strömungstechnik üblich ist, werden bei verzweigten Wetterkanälen, zum Beispiel für Haupt- und Reserveventilatorbetrieb, für jeden Zweig eine Druckverlustzahl bestimmt. Bei Parallelbetrieb gibt man bei der Druckverlustzahl eines Zweiges das Volumenstromverhältnis der einzelnen Zweige mit an. Wie aus Untersuchungen hervorgeht, gibt es Wetterkanalformen, deren Druckverlustzahlen mit zunehmenden Reynoldszahlen steigen, solche, bei denen die Druckverlustzahlen annähernd konstant bleiben, und solche, deren Druckverlustzahlen mit zunehmenden Reynoldszahlen geringer werden.

Grundsätzlich setzt sich der Druckverlust Δp_{WK} bzw. die Druckverlustzahl ζ_{WK} eines Wetterkanals näherungsweise aus einzelnen Teil-Druckverlusten zusammen. Dazu gehören der Umlenkungsverlust Δp_U , der Wandreibungsverlust Δp_R und bei einer Querschnittserweiterung eines Wetterkanals der dadurch entstehende Umsetzungsverlust (Diffusorverlust) $\Delta p_{1,2}$

$$\Delta p_{WK} \approx \Delta p_U + \Delta p_R + \Delta p_{1,2} \quad (121)$$

wobei diese Einzelverluste aufgrund geschätzter oder aus Modelluntersuchungen hervorgegangener Kennzahlen bestimmt werden.

$$\Delta p_U = \zeta_U \cdot (\rho / 2) \cdot w_s^2 \quad (122)$$

$$\Delta p_R = \int_{l=0}^{l=L} \frac{\lambda \cdot \rho \cdot \dot{V}^2}{d_{hydr} \cdot 2 \cdot A_{WK}} dl \quad (123)$$

Hierbei ist:

L die Länge des Wetterkanals in m,

λ die örtliche Widerstandszahl,

d_{hydr} der örtliche hydraulische Durchmesser des Wetterkanals in m,

\dot{V} der Wetterstrom in m^3/s ,

A_{WK} der örtliche Wetterkanalquerschnitt in m^2 .

$$\Delta p_{1,2} = \zeta_{1,2} \cdot (\rho / 2) \cdot (w_1^2 - w_2^2) \quad (124)$$

wobei w_1 und w_2 die größten bzw. kleinsten Wettergeschwindigkeiten bei einer Querschnittserweiterung des Wetterkanals bezeichnen.

Nachfolgend werden einige Hinweise gegeben, die für die einzelnen Elemente eines Wetterkanals von Bedeutung sind und in denen für die Planung und den Entwurf eines Wetterkanals die wichtigsten Merkmale zusammengefasst sind.

5.2.1 Umlenkung vom Schacht in den Wetterkanal

Bei der Umlenkung der Strömung vom Schacht in den Wetterkanal ist – ähnlich wie bei Rohrkrümmern – eine strömungstechnische Eigenart zu berücksichtigen, wenn eine möglichst gleichmäßige Zuströmung zum Ventilator erreicht werden soll: dies ist eine Ausgleichsbewegung der Strömung in der Ebene senkrecht zur eigentlichen Strömungsrichtung, die sich infolge der von der Umlenkung verursachten Druckunterschiede und infolge der Trägheitskräfte sowie der Wandreibung ergibt (siehe 3.15). Dadurch wird die Strömung nach außen hin – von der Krümmungssachse weg – verlagert was zur Ablösung der Strömung auf der Krümmer-Innenseite führen kann. Diese Ausgleichsströmung bezeichnet man in der Strömungstechnik als Sekundärströmung erster Art (Bild 113).

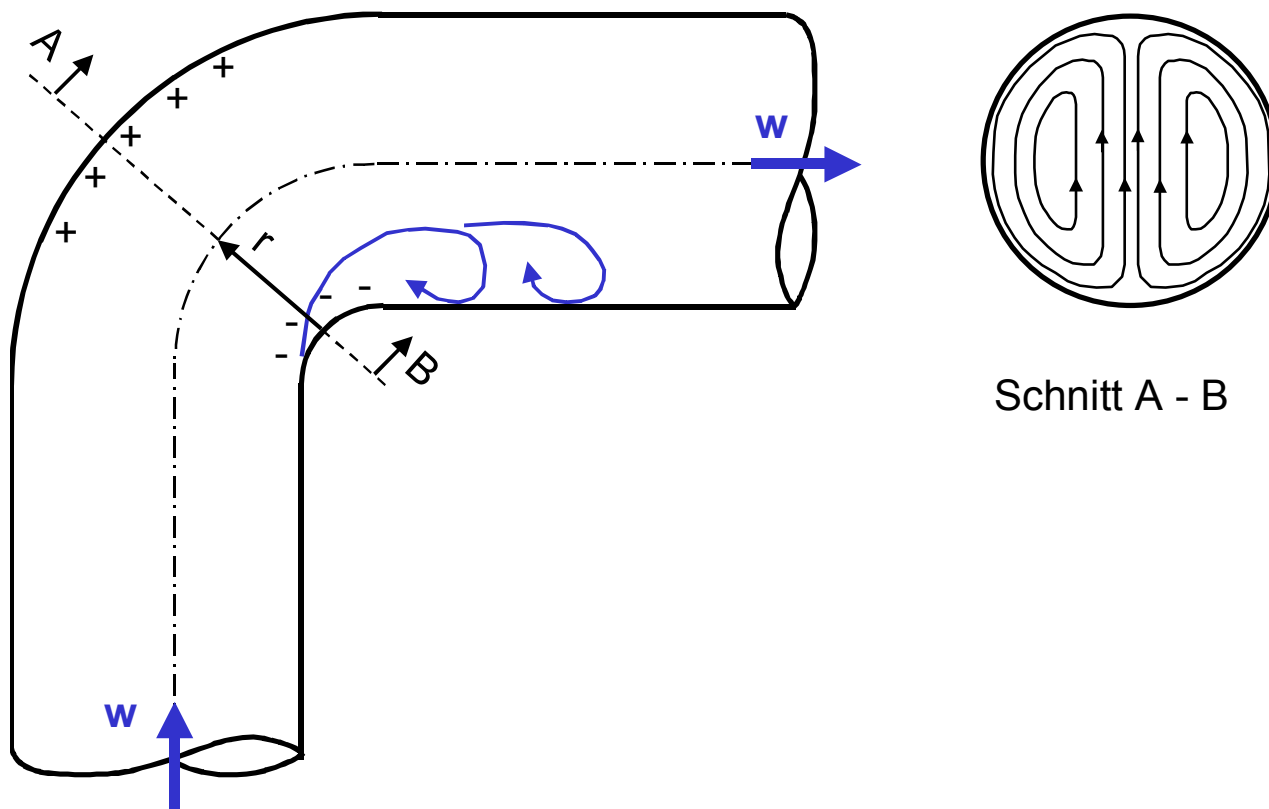


Bild 113: Ablösung der Strömung im Rohrkrümmer mit Sekundärströmung erster Art

In hohem Maße unangenehm ist die Wirkung der Sekundärströmung hinter einem Doppelkrümmer, wenn beide Krümmungsebenen senkrecht zueinander stehen. Die Überlagerung zweier senkrecht zueinander stehender Wirbelsysteme lässt hinter den Krümmern eine Drallströmung entstehen, die sich weit in den nachgeschalteten Wetterkanal hineinzieht und die Zuströmbedingungen zum Ventilator verschlechtert. Doppelkrümmer dieser Art sind auf jeden Fall zu vermeiden. Lösungsmöglichkeiten hierzu gibt es auch für solche Fälle, in denen die Ventilatorachse zur Schachtachse versetzt angeordnet ist.

Die Stärke der entstehenden Sekundärströmung ist proportional dem Druckgefälle quer zur Strömungsrichtung

$$\frac{dp}{dr} = \frac{\rho \cdot w^2}{r} \quad (125)$$

Die Sekundärströmung steigt somit proportional mit dem Quadrat der Wettergeschwindigkeit der Hauptströmung und verhält sich umgekehrt proportional zum Krümmungsradius r . Die Intensität der Sekundärströmung lässt sich also mindern, indem man die Wettergeschwindigkeiten in der Umlenkung klein hält oder den Krümmungsradius groß wählt, wobei zu berücksichtigen ist, dass der Druckverlust aufgrund der Wandreibung bei zu großem Krümmungsradius infolge der vergrößerten Länge des Strömungsweges wieder erhöht wird. Hierbei kommt es auf ein optimales Verhältnis von Krümmungsradius zu Leitungsdurchmesser r/d an. Eine dritte Möglichkeit zur Beeinflussung der Sekundärströmung besteht darin, den bei der Umlenkung im Krümmer entstehenden Druckkräften durch gezielt eingesetzte Trägheitskräfte entgegenzuwirken. Dies kann zum Beispiel durch eine Beschleunigung im Krümmer mit anschließendem diffusorähnlichem Übergang zum eigentlichen Wetterkanal erreicht werden.

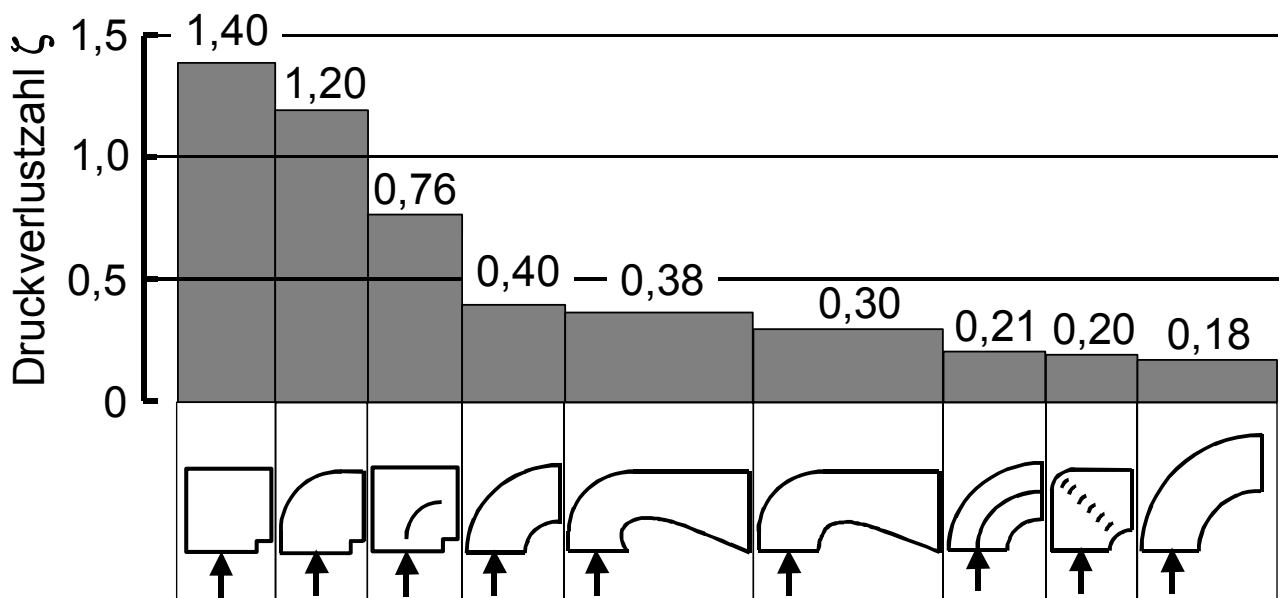


Bild 114: Druckverlustzahlen von 90-Grad-Umlenkungen mit verschiedenen Formen und Einbauten bei $Re \approx 3 \cdot 10^5$

Der Literatur [71] sind Hinweise über das strömungstechnische Verhalten von 90-Grad-Krümmern zu entnehmen. Daraus geht hervor, dass bei 90-Grad-Krümmern mit rauen Rohrwandungen und konstanten Rohrquerschnitten die Druckverlustzahlen ζ nahezu unabhängig von der Reynoldszahl Re sind. Das günstigste Krümmungsradienverhältnis, bei dem die Druckverlustzahl ein Minimum erreicht, beträgt $r/d = 5$.

Vergleicht man aus der Literatur [107] die Druckverlustzahlen anders gestalteter 90°-Umlenkungen mit zum Teil veränderlichem, rechteckigen Querschnittsverlauf bei $Re \approx 3 \cdot 10^5$, so fallen dabei diejenigen Umlenkungen mit Leitflächen oder Schaufelgittern als besonders günstig auf (Bild 114). Für die Umlenkung vom Schacht in den Wetterkanal können derartige Einbauten jedoch fast nie in Betracht kommen, solange eine Förderanlage im Schacht betrieben wird. Für eventuell erforderliche Umlenkungen im Wetterkanal selbst, lassen sich jedoch durch die Anordnung von Leitblechen oder Schaufelgittern sehr günstige Druckverluste erzielen.

Unter den Umlenkungen ohne Einbauten haben dagegen solche mit Beschleunigung und anschließender Verzögerung der Strömung verhältnismäßig geringe Druckverlustzahlen. Das sind die Umlenkungen, bei denen durch gezielt eingeprägte Trägheitskräfte der Sekundärströmung entgegengewirkt wird. Dies führte dazu, dass sich Einlaufformen in Wetterkanälen bewährt haben, deren Krümmungsradien in den jeweiligen Schachtquerschnitt hineinragen (Bild 115).

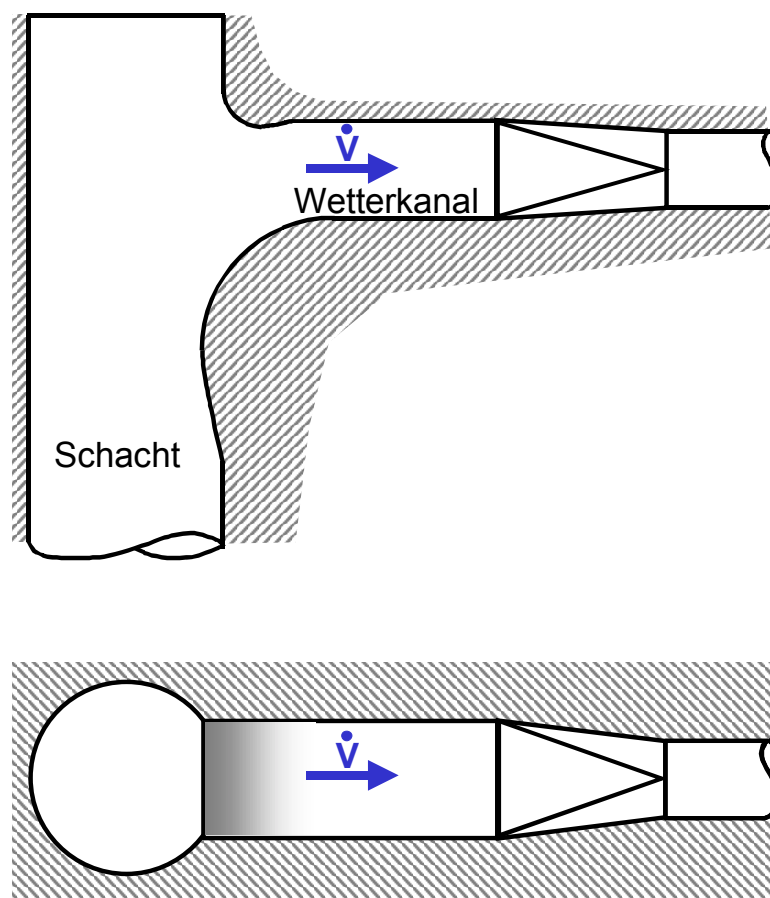


Bild 115: Umlenkung vom Schacht in den Wetterkanal, dessen Krümmungsradius in den Schachtquerschnitt hineinragt

5.2.2 Form des Wetterkanals

Eine weitere Verzögerung der Strömung hinter der Einlauföffnung im Wetterkanal würde zwar die Druckverluste zusätzlich geringfügig herabsetzen, es besteht jedoch dadurch die Gefahr, dass es zu einer ungleichförmigen Anströmung des Ventilators kommt, was auf jeden Fall zu vermeiden ist. Um eine gleichmäßige Anströmung des Ventilators zu erzielen, werden die Wetter vom Schacht zum Ventilator im allgemeinen sogar noch in geringem Maße beschleunigt.

Aus bautechnischen Gründen werden Wetterkanäle meistens mit rechteckigen Querschnitten erstellt. Für die Umlenkung vom Schacht in den Wetterkanal ist die Rechteckform strömungstechnisch günstig. Im Wetterkanal selber wäre ein Kreisquerschnitt wegen seiner geringeren Innenfläche und der damit zusammenhängenden geringeren Reibungsverluste vorteilhafter. Da in rechteckigen Wetterkanälen die Strömung in den Ecken unvollkommen ist, wäre dabei eine Abrundung der Ecken strömungstechnisch von Vorteil.

Bei den in Wetterkanälen üblichen Reynoldszahlen der Wetterkanalströmung werden die Druckverluste nur in sehr beschränktem Maße durch die üblichen Wandrauigkeiten beeinträchtigt. Einen großen Einfluss auf den Druckverlust haben jedoch Schmutz- und Schlammablagerungen auf der Sohle eines Wetterkanals. Aufgrund der hohen Wettergeschwindigkeiten bildet sich dabei eine wellenförmige Oberfläche, die man als Dünung bezeichnet, so dass der Druckverlust der Wetterkanalströmung erheblich ansteigt. Darüber hinaus können derartige Ablagerungen auf der Sohle den Querschnitt des Wetterkanals vermindern, was zusätzlich zu Druckverlusten führt. In diesem Zusammenhang wird daher dringend auf die Notwendigkeit einer regelmäßigen Reinigung eines Wetterkanals hingewiesen.

5.2.3 Wetterkanalverzweigungen

Viele Hauptgrubenventilatoranlagen sind so gestaltet, dass für den Betrieb von Haupt- und Reserveventilator oder für den Parallelbetrieb jeweils Anschlüsse mehrerer Ventilatoren am Wetterkanal vorhanden sind und somit Verzweigungen des Wetterkanals benötigt werden können. Wenn einer der Zweige nicht beaufschlagt wird, kommt es im Allgemeinen vor der Wetterkanalverzweigung zu einer Verzögerung der Strömung aufgrund der dort vorhandenen Querschnittserweiterung. Vor dem nicht beaufschlagten Wetterkanalzweig ist meistens ein sogenanntes Totwassergebiet anzutreffen, in dem lediglich eine Rotationsströmung vorherrscht. Neben dem damit einhergehenden Energieverlust besteht dadurch die Gefahr, dass der in Betrieb befindliche Ventilator ungleichförmig angeströmt wird (Bild 116). Dies lässt sich

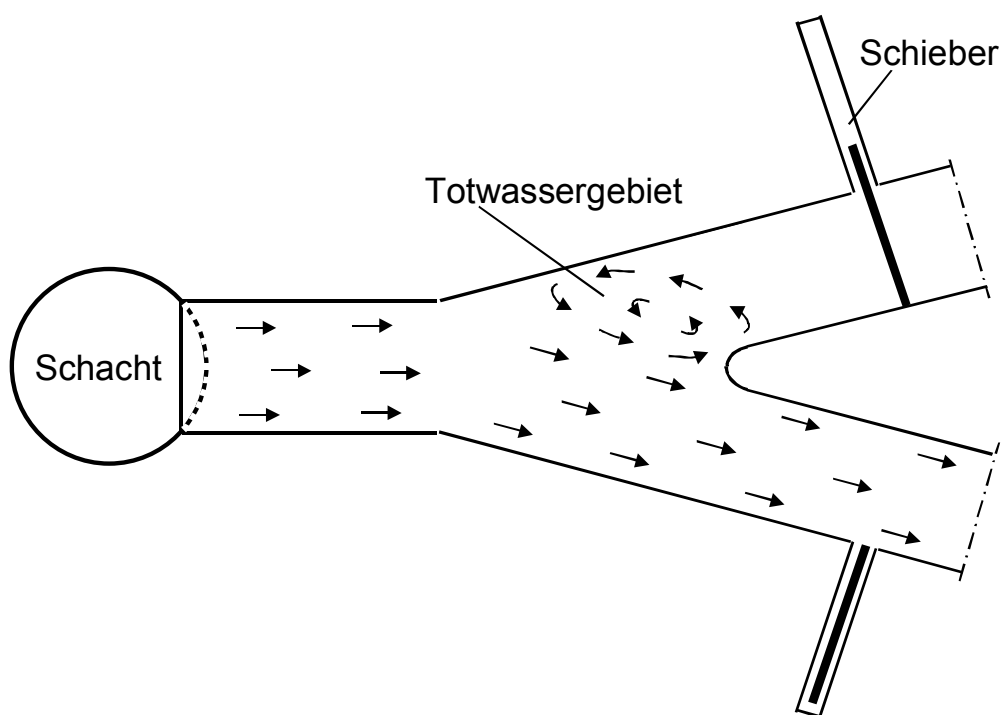


Bild 116: Wetterkanalverzweigung mit Totwassergebiet vor dem unbeaufschlagten Wetterkanalzweig

weitgehend vermeiden, wenn

- die Vorderkante der Trennwand zwischen den Wetterkanalzweigen gut abgerundet ist, wenn
- zur Vergleichmäßigung der Anströmung zum Ventilator die Länge des Wetterkanalzweigs bis zum Ventilatoranschluss wenigstens das Zwei- bis Dreifache des Ventilatordurchmessers beträgt und wenn
- der Wetterkanalzweig bis zum Ventilatoranschluss eine mäßige, jedoch stetige Querschnittsverminderung aufweist, so dass die Zuströmung zum Ventilator eine leichte Beschleunigung erfährt.

5.2.4 Ventilatoranschluß

Beim Übergang vom Wetterkanal zum Ventilatoranschluss kommt es in den meisten Fällen darauf an, den Wetterkanal von einer rechteckigen Querschnittsform zu einer kreisrunden Querschnittsform überzuführen.

Bei einem horizontal angeordneten (liegenden) Axialventilator ist daher zunächst von der üblichen rechteckigen Wetterkanalform ein stetiger Übergang auf einen quadratischen Querschnitt zu schaffen. Die Kantenlänge der quadratischen Querschnittsform sollte etwa dem Ventilatordurchmesser entsprechen. Im Anschluss daran sollte ein Übergang von einer quadratischen zu einer kreisrunden Querschnittsform angeordnet sein. Dieses Übergangsstück hat zweckmäßigerweise eine Länge von etwa einem Ventilatordurchmesser.

Bei einem vertikal angeordneten (stehenden) Axialventilator wird zur günstigen Umlenkung der Strömung aus der horizontalen in die vertikale Richtung ein quadratischer Strömungsquerschnitt mit Umlenkungsgitterschaufeln verwendet. Der bereits zuvor beschriebene Übergang vom quadratischen zum kreisrunden Querschnitt befindet sich im Anschluss an diese Umlenkung vor dem Ventilatoreinlauf.

5.2.5 Wetterstrommessung

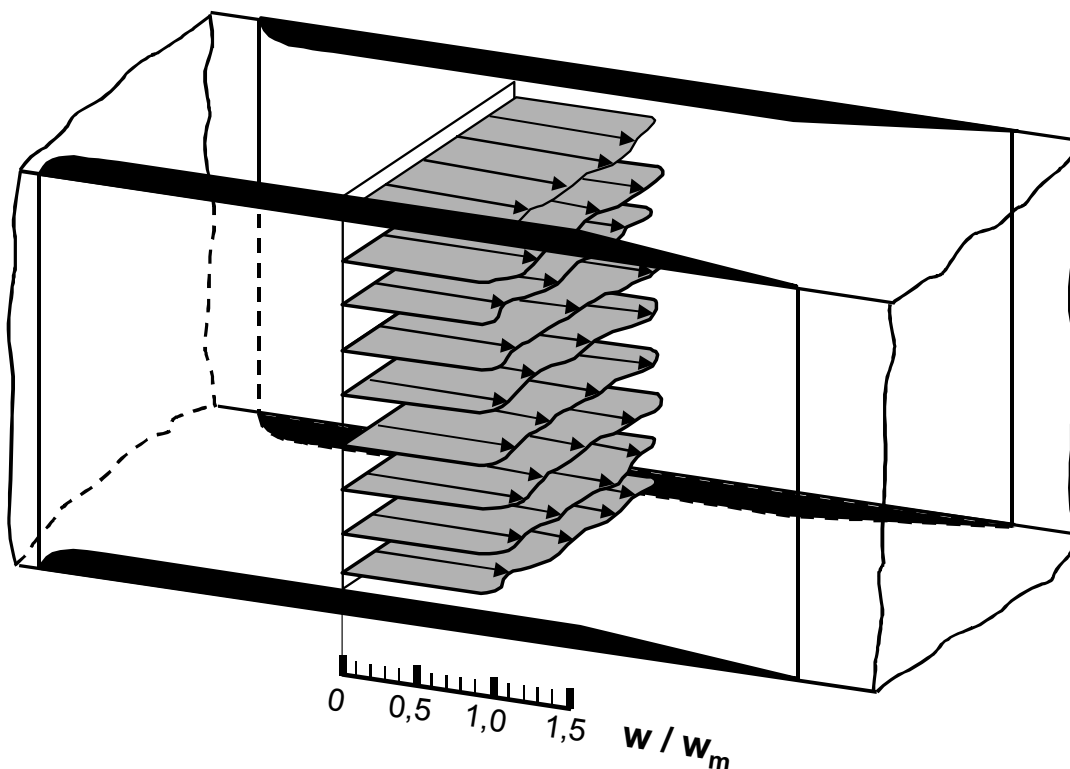


Bild 117: Weitgehend gleichmäßige Geschwindigkeitsverteilung im Kalibrierungsquerschnitt einer Germerdüse in einem Wetterkanal

In vielen Fällen besteht aus Gründen der Betriebssicherheit oder behördlicherseits die Forderung, den Betrieb von Hauptgrubenventilatoren ständig zu überwachen. Das bedeutet, dass bei der Planung von Wetterkanälen die Möglichkeit für eine geeignete Wettervolumenstrommessung vorhanden sein muss. Dazu wird eine Messstelle mit möglichst gleichbleibender Wettergeschwindigkeitsverteilung benötigt, wie es beispielsweise durch eine Germerdüse erreicht wird (Bild 117).

5.2.6 Anströmung eines Ventilators

Grundsätzlich gilt, dass der Betrieb eines Ventilators bei gleichmäßiger Anströmung des Ventilatorlaufrades günstiger ist als der Betrieb bei ungleichförmiger Anströmung. Im Arbeitsbereich des Ventilatorkegelfeldes ist durch eine ungleichförmige Anströmung bei gleichem geförderten Wettervolumenstrom die Totaldruckerzeugung und der Ventilatorwirkungsgrad geringer. Darüber hinaus ist die Abreißgrenze des Ventilators bereits bei geringerer Gesamtdruckerzeugung erreicht. Durch die ungleichförmige Beaufschlagung eines Ventilatorlaufrades treten zusätzliche mechanische Beanspruchungen auf, die zu einer Beschädigung der Beschaukelung und der Lager des Ventilators führen können.

Bei ungleichförmiger Zuströmung unterscheidet man die beiden wesentlichen Fälle, dass

- die radiale Wettergeschwindigkeitsverteilung am Ventilatorlaufrad ungleichförmig, jedoch zylindersymmetrisch zur Laufradachse ist (Bild 118), sowie den Fall, dass
- die Wettergeschwindigkeitsverteilung am Eintritt des Ventilatorlaufrades nicht zylindersymmetrisch zur Laufradachse ist (Bild 119).

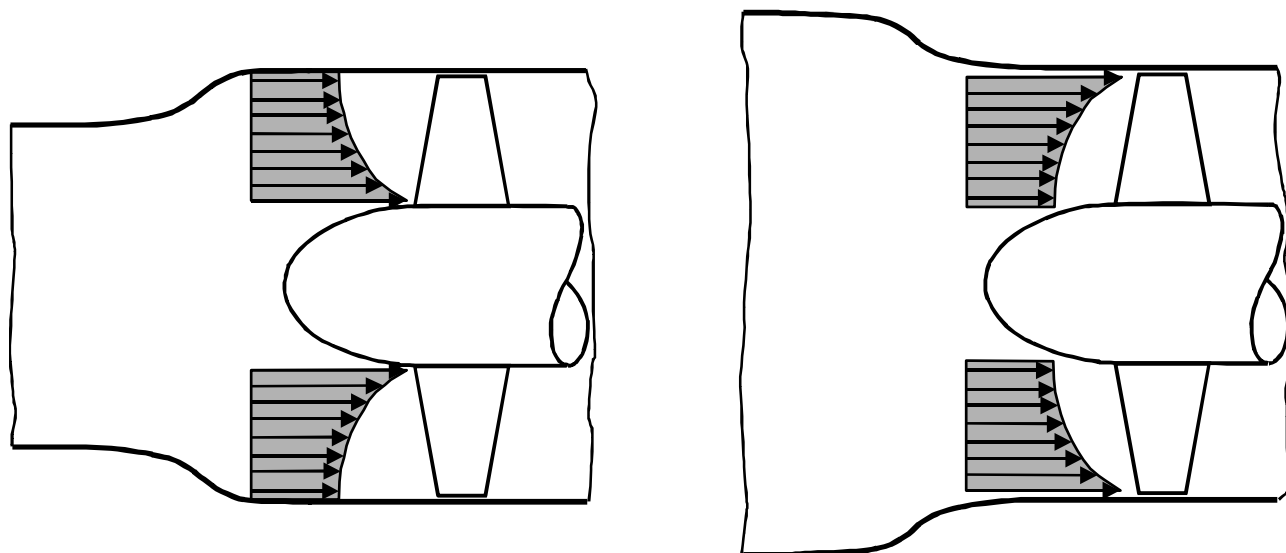


Bild 118: Beispiele ungleichmäßiger Zuströmung zu Axialventilatoren: Übergeschwindigkeit an der Nabe (links) und Übergeschwindigkeit außen (rechts)

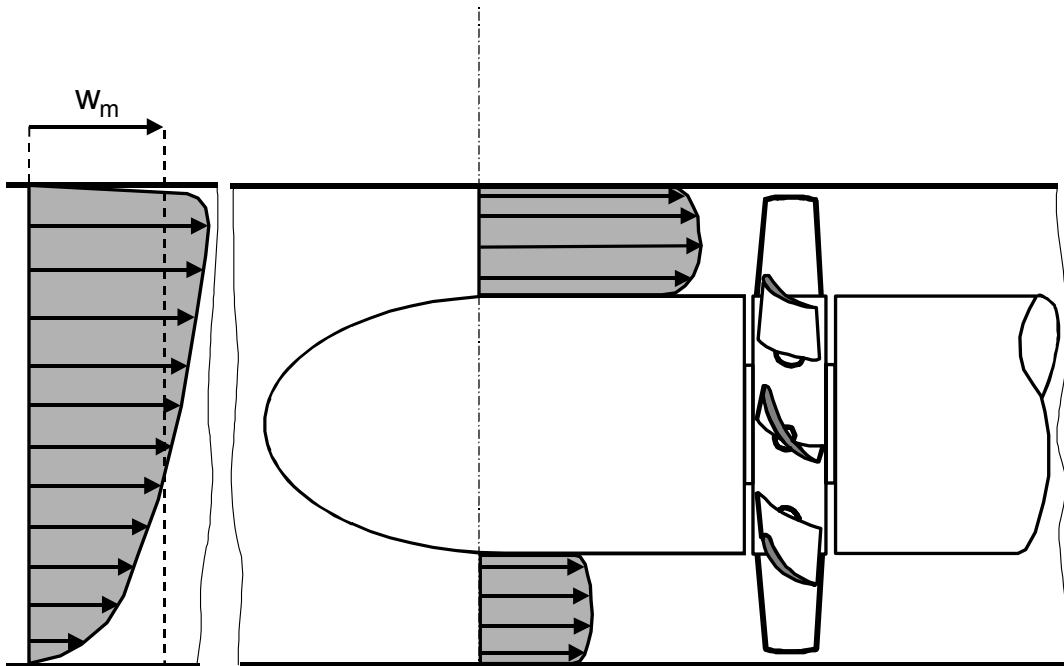


Bild 119: Beispiel ungleichmäßiger Zuströmung zu einem Axialventilator
 Geschwindigkeitsverteilung im Wetterkanal (links) und Geschwindigkeitsverteilung vor dem Eintritt in das Laufrad (rechts)

Eine ungleichförmige radiale Geschwindigkeitsverteilung lässt sich im Allgemeinen durch die Gestaltung der Übergänge im Wetterkanal vor dem Ventilatoranschluss sowie durch die Form der Anströmhaube weitgehend vermeiden. Letztlich ließe sich ein Axialventilator durch eine entsprechende Laufradbeschaufelung an eine derart ungleichförmige Zuströmung anpassen, was jedoch nur als äußerste Maßnahme in Frage käme.

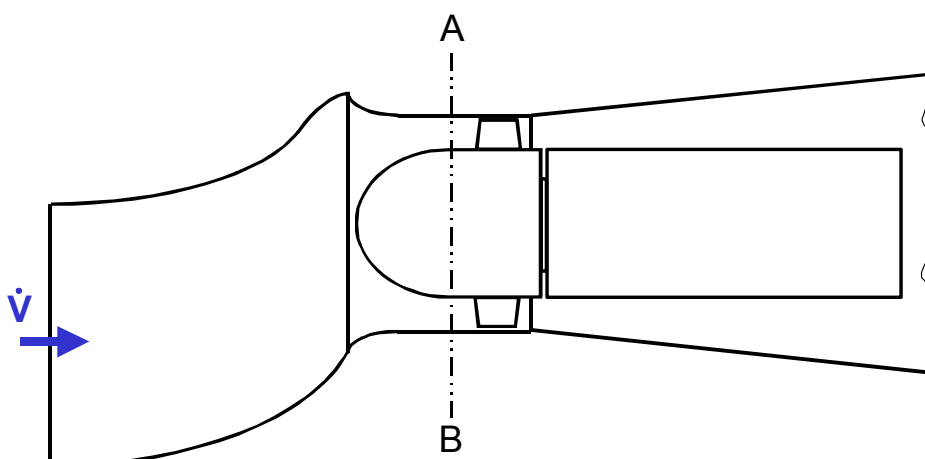


Bild 120: Liegender Axialventilator mit einem S-förmigen Wetterkanalanschluss

Eine unsymmetrische Geschwindigkeitsverteilung, wie sie durch eine ungünstige Gestaltung des Wetterkanals entstehen kann, verursacht zusätzliche Druckverluste des Wetterstroms. Dies gilt um so mehr, je größer die Unterschiede der Wettergeschwindigkeitsverteilungen in den verschiedenen Radialschnitten des Ventilatoreintritts sind.

In der Literatur [110] ist hierfür ein Beispiel mit einem liegenden Axialventilator und einem S-förmigen Wetterkanalanschluss angegeben (Bild 120).

Die höchste gemessene örtliche Wettergeschwindigkeit ist dabei in einem der Radialschnitte um mehr als 40% höher als die mittlere Wettergeschwindigkeit w_m (Bild 121).

Entscheidend ist die Veränderung des Kennlinienverlaufs für diesen Ventilator. Bei gleichem gefördertem Wetterstrom im Arbeitsbereich des Ventilators ist die Totaldruckerzeugung Δp_t bei ungleichförmiger Wettergeschwindigkeitsverteilung um etwa 15% niedriger als bei gleichförmiger Anströmung. Gleichzeitig ergibt sich für diesen Ventilator eine Minderung des Wirkungsgrades im Arbeitsbereich von etwa 0,67 auf 0,60 (Bild 122).

Durch die Gestaltung dieses Wetterkanals mit Mehrfachumlenkungen ist aufgrund vorliegender Erfahrungen zu vermuten, dass außer der ungleichförmigen Wettergeschwindigkeitsverteilung zusätzlich eine Drallströmung das Betriebsverhalten des Ventilators beeinträchtigt hat.

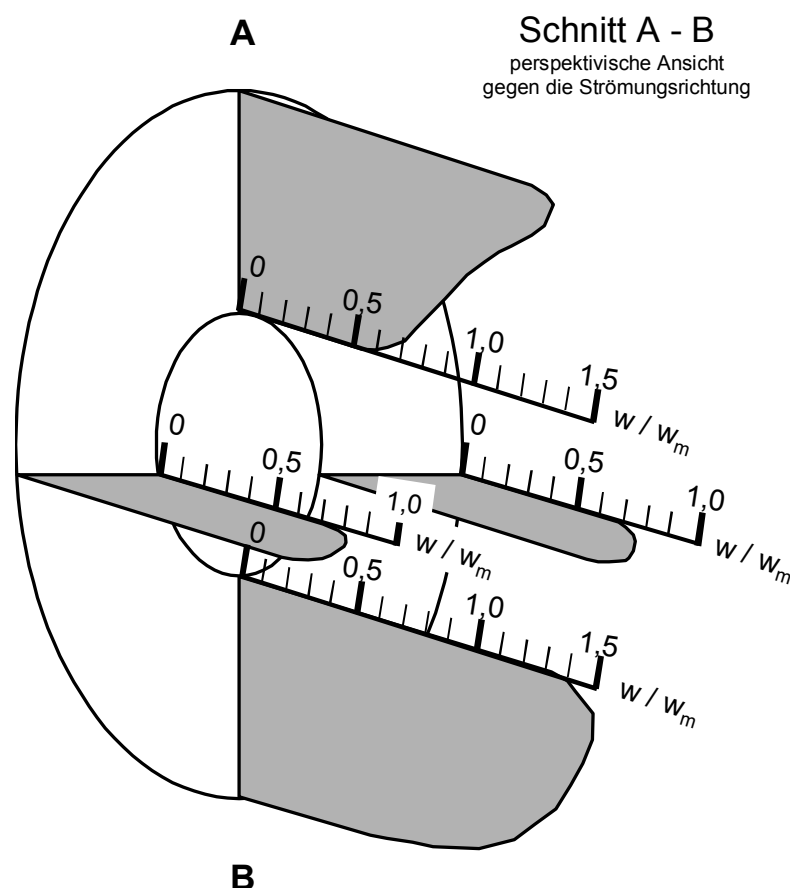


Bild 121: Geschwindigkeitsverteilung vor dem Ventilatorlaufrad bei S-förmigem Wetterkanalanschluss entsprechend Bild 120

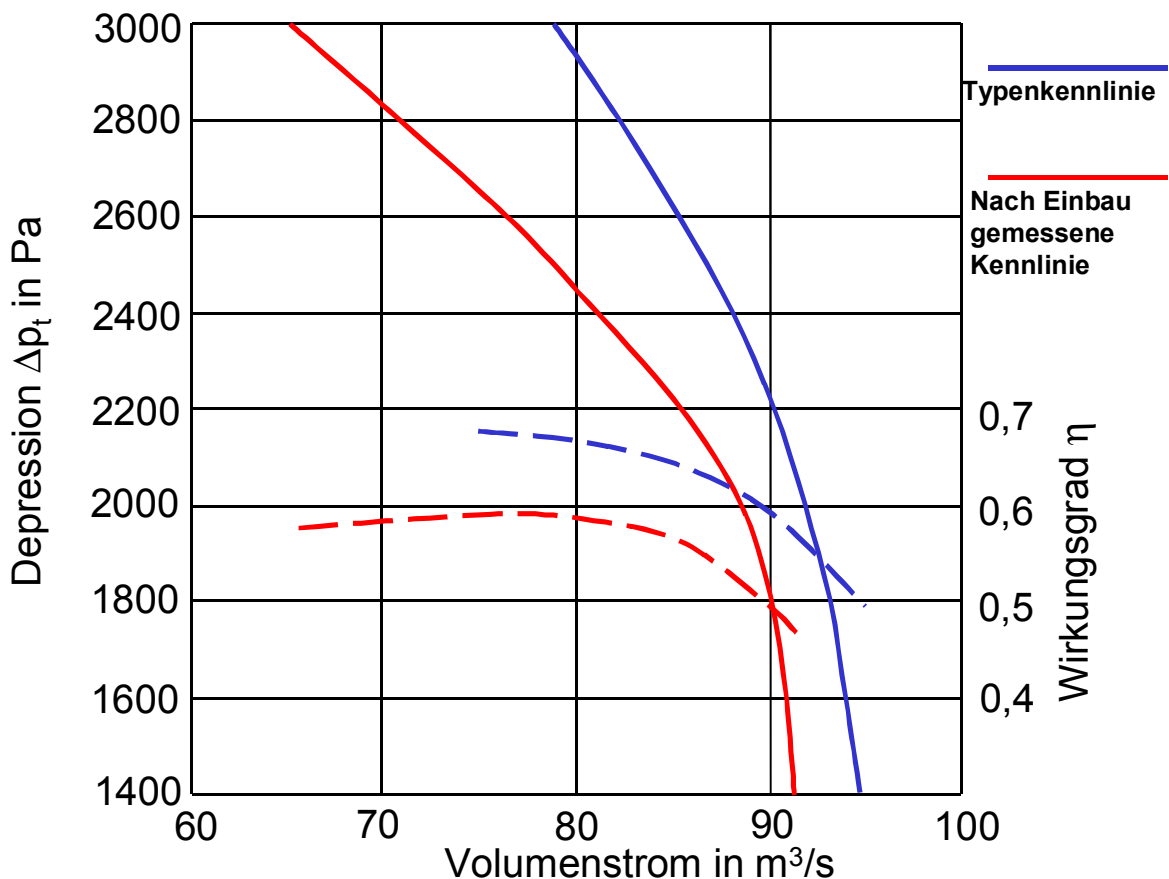


Bild 122: Kennlinienänderung aufgrund ungleichförmiger Zuströmung bei S-förmigem Wetterkanalanschluss entsprechend Bild 120

5.3 Zusammenfassung

Bei der Gestaltung von Wetterkanälen kommt es darauf an, die auftretenden Druckverluste der Strömung durch Beachtung strömungstechnischer Gesichtspunkte auf ein Minimum zu reduzieren. Da die einzelnen Teilabschnitte eines Wetterkanals jedoch eine gegenseitige Beeinflussung ausüben, kann eine Vorausberechnung der auftretenden Druckverluste durch eine Analyse der Einzelverluste nur eine grobe Abschätzung des sich tatsächlich einstellenden Strömungsverhaltens ergeben. Genaue Erkenntnisse können nur durch Modelluntersuchungen erhalten werden. Ein wesentliches Ziel bei der Gestaltung von Wetterkanälen ist darüber hinaus, die Zuströmung zum Hauptgrubenventilator möglichst gleichförmig und drallfrei zu erhalten. Sollte dies aus baulichen Gründen nicht möglich sein, so ist wenigstens der Auswahl der Ventilatorbauart Beachtung zu schenken. Nach vorliegenden Erfahrungen werden zweistufige Axialventilatoren bei einer ungleichförmigen Beaufschlagung weniger beeinträchtigt als einstufige Axialventilatoren gleicher Auslegung. Außerdem sind im Allgemeinen Radialventilatoren weniger empfindlich gegen ungleichförmige Anströmungen als Axialventilatoren.

5.4 Literaturverzeichnis

- [107] Eck, Bruno: *Technische Strömungslehre*. Berlin, Heidelberg, New-York, Springer-Verlag, 1966.
- [108] Renner, Kurt: *Einige Hinweise zur Beurteilung der Zuströmbedingungen bei Grubenlüfteranlagen*. Vortrag, Essen, Arbeitskreis Wettermaschinen des Steinkohlenbergbauvereins, 1. Sitzung, 27.11.1964.

- [109] Renner, Kurt: *Einige Strömungstechnische Hinweise zur Planung von Wetterkanälen*. Vortrag, Herne, 6. Zusammenkunft der Wetteringenieure, 28.03.1961.
- [110] Nosyrev, B. A., M. P. Zub: *Die wirklichen Kennlinien von Hauptlüftern*. Übersetzung, *Isvestija VUZ, Gronyj zurnal*, 7 (1964), Nr. 5, S. 120 – 124.
- [111] Schmidt, Wilhelm: *Die Ausführung von Wetterkanälen*. Glückauf 89 (1953), Nr. 33/34, S. 822-829.
- [112] Wesely, Reinhard: *Gestaltung von Wetterkanälen*. Glückauf-Forschungshefte 48 (1987), Nr. 2, S. 67-71.