

Forschungsbericht

**Thermische und hygrische Randbedingungen
beim Betrieb feuchteunempfindlicher Haus-
schornsteine
- Heizraumbedingungen**

T 2732

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

1996, ISBN 3-8167-4905-4

Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart

Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

e-mail irb@irb.fhg.de

URL <http://www.irb.fhg.de>



Fraunhofer-Institut für Bauphysik

Institutsleiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Dr. E.h.mult. Karl Gertis
Amtlich anerkannte Prüfstelle für die Zulassung neuer Baustoffe, Bauteile und Bauarten
Forschung · Entwicklung · Prüfung · Demonstration · Beratung

IBP-Bericht WB 85/1996

Thermische und hygrische Randbedingungen beim Betrieb feuchteunempfindlicher Hausschornsteine - Heizraumbedingungen

Untersuchungen durchgeführt im Auftrag
des Deutschen Instituts für Bautechnik DIBt, Berlin
(Projekt-Nr. 103 349 "Heizraumbedingungen")
**Auszugsweise Veröffentlichung nur mit
schriftlicher Genehmigung des Fraun-
hofer-Instituts für Bauphysik gestattet.**

Der Bericht umfaßt:

21 Seiten

3 Tabellen

20 Bilder

Stuttgart, den 6. August 1996

Gruppenleiter

Dipl.-Ing. Johann Reiß

Abteilungsleiter

Dipl.-Ing. Hans Erhorn

Institutsleiter

Prof. Dr. Dr. h.c. Dr. E.h.mult. K. Gertis

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

Nobelstr. 12 · D-70569 Stuttgart · Postfach 80 04 69, D-70504 Stuttgart · Telefon (0711) 970-00 · Telefax (0711) 970-3395
Miesbacher Str. 10 · D-83626 Valley · Postfach 11 52 · D-83601 Holzkirchen · Telefon (08024) 643-0 · Telefax (08024) 643-66
Caspar-Theyß-Str. 14 A · D-14193 Berlin · Telefon (030) 89133-13 · Telefax (030) 89133-24

IBP-Bericht WB 85/1996

**Thermische und hygrische Randbedingungen
beim Betrieb feuchteunempfindlicher Hausschornsteine
- Heizraumbedingungen**

von

Johann Reiß

Hans Erhorn

Fraunhofer-Institut für Bauphysik
(Institutsleiter: Prof. Dr. Dr. h.c. Dr. E.h.mult. K. Gertis)

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Aufgabenstellung	5
2. Durchgeführte Teiluntersuchung A	6
3. Ergebnis der Teiluntersuchung A	6
4. Durchgeführte Teiluntersuchung B	9
4.1 Beschreibung der Schornsteine	9
4.2 Messungen	11
4.3 Ermittlung der Brennerlaufzeiten	12
5. Ergebnis der Teiluntersuchung B	12
6. Zusammenfassung	18
7. Literatur	21

1. Aufgabenstellung

Die heute eingesetzten Niedertemperatur- und Brennwertkessel weisen so niedrige Abgastemperaturen auf, daß Tauwasserfreiheit auf der Innenschale des Schornsteines, wie bei üblichen dreischaligen Schornsteinen nach [1] gefordert, nicht mehr gewährleistet ist. Um Versottung zu verhindern, wurden "feuchteunempfindliche Schornsteine" entwickelt. Nach [2] werden Schornsteine als feuchteunempfindlich bezeichnet, wenn "bei Dauerbetrieb mit Innenwandtemperaturen unterhalb der Wasserdampftaupunkttemperatur des Abgases die Abgasfeuchte nicht zu Gefahren oder unzumutbaren Belästigungen führt."

Bei der Herstellung solcher Schornsteine wurden zwei Wege beschritten. Einige Hersteller entwickelten Schornsteine mit dichten Innenschalen, die eine Diffusion der Feuchte verhindern, andere Firmen brachten belüftete Konstruktionen auf den Markt. Ähnlich der belüfteten Wand wird hierbei die Feuchte, die durch die Innenschale diffundiert, in dafür vorgesehenen Belüftungskanälen abgeführt. Die Funktionstüchtigkeit eines solchen Schornsteines hängt maßgeblich von der Temperatur und Feuchte der Luft ab, die am Fußpunkt des Schornsteines, in der Regel vom Heizraum aus, in den Belüftungskanal gelangt. Ferner ist auch die Strömungsgeschwindigkeit der Luft im Belüftungskanal von Bedeutung.

Für die Prüfung von feuchteunempfindlichen Schornsteinen, die derzeit nach [2] durchgeführt wird, sind solche Randbedingungen grundlegend. Ziel dieses Forschungsvorhabens war die Ermittlung der Randbedingungen und bauphysikalischen Vorgänge beim Schornsteinbetrieb in der Praxis. Dazu wurden zwei Teiluntersuchungen durchgeführt. Bei der Teiluntersuchung A wurden an 320 Schornsteinanlagen momentane Daten mittels Erhebungsbogen aufgenommen und danach ausgewertet. Die Teiluntersuchung B erfolgte durch kontinuierliche Meßdatenerfassung während einer Heizperiode an drei Schornsteinen.

2. Durchgeführte Teiluntersuchung A

Die Ermittlung der Randbedingungen, unter denen Schornsteinanlagen in der Praxis betrieben werden, erfolgte bei der Teiluntersuchung A mittels momentaner Datenerhebung. Es wurde hierzu ein Erhebungsbogen mit dem Ziel zusammengestellt, eine möglichst breite Datenbasis über die Einsatzbedingungen zu erhalten. Der verwendete Erhebungsbogen ist in Tabelle 1 dargestellt. Er enthält Fragen zum Gesamtenergieverbrauch für Heizzwecke, zum verwendeten Energieträger, zur Art der Feuerstätte, zur Nennwärmeleistung des Wärmeerzeugers sowie zur Nutzung des Aufstellungsraumes und zur Verbrennungsluftzufuhr. Weiterhin werden Messungen der Lufttemperatur und relativen Feuchte der Außenluft und der Luft im Aufstellungsraum des Wärmeerzeugers beim Besuch des Schornsteinfegers durchgeführt. Die Daten wurden im Unterauftrag vom "Verein zur Förderung der Immissionschutzmaßnahmen des Schornsteinfegerhandwerkes e.V." durch örtliche Schornsteinfeger der Landesinnungsverbände erhoben. Für die Messung der Lufttemperatur und relativen Luftfeuchte wurden hierfür kalibrierte Meßgeräte vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik zur Verfügung gestellt.

3. Ergebnis der Teiluntersuchung A

Die Erhebung erfolgte in der Zeit zwischen Januar 1992 und Februar 1994. Die insgesamt 320 erhobenen Datensätze setzen sich etwa zu gleichen Teilen aus den elf alten Bundesländern zusammen. Die Auswertung der in den Erhebungsbögen aufgeführten Daten ist in Tabelle 2 zusammengestellt. Danach haben Feuerstätten mit Ölbrenner und Gebläse mit 44 % den höchsten Verbreitungsgrad. Ölbrenner ohne Gebläse sind hingegen nur mit 1 % vertreten. Bei 17 % der Erhebungsbögen war keine Angabe über das Gebläse gemacht worden. 6 % der Feuerstätten sind mit Gasbrenner und Gebläse und 32 % ohne Gebläse ausgeführt. Insgesamt werden 62 % der Gebäude mit Öl und 38 % mit Gas beheizt. In 92 % der Fälle sind im Aufstellungsraum der Heizanlage keine weiteren Heizgeräte vorhanden. Bei den meisten Schornsteinen (94 %) grenzt mindestens eine Wange an den Aufstellungsraum. Außer als Aufstellungsort für die Feuerstätte dient dieser zu 51 % noch anderen Zwecken. Bei 16 % der erfaßten Gebäude ist darin eine Waschmaschine aufge-

stellt. Mit der gleichen Häufigkeit wird auch Wäsche getrocknet. 15 % nutzen den Aufstellungsraum als Hobbyraum. Die Feuerstätten beziehen die Verbrennungsluft zu 70% über Lüftungsöffnungen bzw. Lüftungskanäle direkt vom Freien und zu 30 % über natürliche Undichtheiten der Gebäudehülle.

Die Feuerstätten, über die Daten erhoben wurden, besitzen unterschiedliche Größen. Bild 1 vermittelt einen Überblick über die relative Häufigkeitsverteilung der installierten Nennwärmeleistungen der Wärmeerzeuger. Dem Bild ist zu entnehmen, daß ca. 50 % der erfaßten Feuerstätten Nennwärmeleistungen von über 30 kW und 5 % über 200 kW aufweisen. Die im Bild 2 dargestellte Kurve zeigt die Häufigkeitsverteilung des Brennstoffverbrauchs. Erwartungsgemäß haben die Kurven in Bild 1 und 2 einen ähnlichen Verlauf. Bei 50 % der erfaßten Gebäude liegt der Verbrauch über 3200 l Heizöl bzw. 3200 m³ Gas. Für den Betrieb eines belüfteten Schornsteines sind die Temperatur und relative Feuchte der Raumluft des Aufstellungsraumes von Bedeutung, da die Luft in diesem Zustand in den Belüftungsspalt gelangt. Bei den erfaßten Gebäuden liegt die in Bild 3 dargestellte Häufigkeitsverteilung der Raumluft vor. Das Bild zeigt, daß zu ca. 96 % die Lufttemperatur über 10 °C, zu ca. 75 % über 14 °C, zu 35 % über 18 °C und zu 5 % über 22 °C liegt. Die relativen Luftfeuchten, aufgetragen in Bild 4, schwanken etwa zwischen 20 und 60 %. Zu etwa 50 % liegen sie über 40 %. Nur wenige Werte übersteigen 60 %. Bei diesen Daten ist die Datenerhebungsart von besonderer Bedeutung. Sie entstammen Momentanmessungen zu unterschiedlichen Jahres- und Tageszeiten und sind daher nur bedingt miteinander vergleichbar.

Die Raumlufttemperatur und relative Luftfeuchte im Heizraum werden infolge des Luftwechsels von der Außenluft beeinflusst. Im Bild 5 sind die Schwankungsbreiten der bei der Datenerhebung gemessenen Lufttemperaturen und relativen Luftfeuchten in Abhängigkeit von den jeweiligen Außenlufttemperaturen aufgetragen. Die Außenlufttemperaturen bewegen sich zwischen -4 °C und 16,5 °C. Die oberste Grafik des Bildes zeigt, daß die Raumlufttemperatur im Heizraum mit zunehmender Außenlufttemperatur ansteigt. Sie liegt immer deutlich über der Außenlufttemperatur, wobei eine Annäherung von beiden zu höheren Temperaturen hin stattfindet. Das Gesamtspektrum bewegt sich zwischen 7,5 °C und 24 °C. Sowohl die relative Luftfeuchte der Außenluft als auch der Raumluft im Aufstellraum zeigt praktisch keine Abhängigkeit von der

Außenlufttemperatur. Daß die Schwankungsbreite bei einer mittleren Außenlufttemperatur von ca. 8 °C wesentlich breiter ist als bei niedrigeren oder höheren Werten, ist darauf zurückzuführen, daß hier die Zahl der Erhebungen deutlich höher war. In der untersten Grafik des Bildes sind die aus der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte berechneten absoluten Luftfeuchten der Außenluft und der Raumlufte aufgetragen. Die beiden Schwankungsbereiche überdecken sich nicht vollständig. Die absolute Feuchte im Aufstellungsraum weist etwas höhere Werte auf als die Außenluft. Dies deutet darauf hin, daß im Heizraum der Luft noch Feuchte zugeführt wurde.

Eine Feuchtequelle stellt das Wäschetrocknen dar. Um den Einfluß zu ermitteln, sind im Bild 6 die absoluten Raumlufftfeuchten der Heizräume mit Wäschetrocknung und der ohne Wäschetrocknung getrennt über der jeweils gerade vorherrschenden absoluten Außenluftfeuchte aufgetragen. Da in nur 16 % der Heizräume Wäsche getrocknet wird, ist die Anzahl der jeweils betrachteten Heizräume nicht gleich groß. Insgesamt sind jedoch 320 Gebäude erfaßt worden, so daß eine ausreichende Statistik vorliegt. Das Bild 6 zeigt, daß es einen Unterschied zwischen den beiden Gruppen gibt, der aber nicht besonders ausgeprägt ist. Im Fall ohne Wäschetrocknung sind die minimalen absoluten Feuchten etwas kleiner, die maximalen sind hingegen gleich. Die Umschließungsflächen des Heizraumes beeinflussen infolge des Sorptionsverhaltens die Raumlufftfeuchte. Es kann daher nicht erwartet werden, daß alle absoluten Raumlufftfeuchten in den Heizräumen ohne Wäschetrocknen auf der Winkelhalbierenden des Diagramms liegen. Die Verteilung der Werte läßt jedoch den Schluß zu, daß in den Heizräumen gegenüber der Außenluft im Durchschnitt eine Feuchteerhöhung von knapp 1 g/m³ stattfindet.

Die Zuführung der Verbrennungsluft erfolgt gemäß [3] bzw. [4] über eine Lüftungsöffnung oder einen Lüftungskanal direkt vom Freien oder, bei genügend großem mit Fenster oder Türen ausgestattetem Heizraum, über die Undichtheiten der Raumumschließungsflächen. Um den Unterschied hinsichtlich der Raumlufftfeuchte aufzuzeigen, sind in Bild 7 die absoluten Raumlufftfeuchten der Heizräume mit direkter Verbrennungsluftzufuhr über Kanäle bzw. Öffnungen und der mit Verbrennungsluftzufuhr über Undichtheiten in Abhängigkeit von der jeweiligen absoluten Außenluftfeuchte aufgetragen. Es ist zu erkennen, daß die minimalen Werte der absoluten Feuchten bei der direkten Luft-

zufuhr über Kanäle bzw. Öffnungen kleiner sind als die bei der Luftzuführung über Undichtheiten. Dies kann auf den größeren Luftwechsel infolge der direkten Öffnungen ins Freie zurückgeführt werden. Die maximalen absoluten Luftfeuchten sind hingegen in beiden Fällen gleich. Aus den Kurven ist ferner zu entnehmen, daß in den Heizräumen, die nur über Undichtheiten belüftet werden, im Mittel eine etwas höhere Zunahme der absoluten Luftfeuchte stattfindet. Der Unterschied ist jedoch geringer als erwartet.

4. Durchgeführte Teiluntersuchung B

Zur Ermittlung der Randbedingungen, unter denen in der Praxis feuchteunempfindliche Schornsteine betrieben werden, wurden ergänzend zur Teiluntersuchung A an drei hinterlüfteten Schornsteinen während einer Heizperiode kontinuierliche Messungen durchgeführt.

4.1 Beschreibung der Schornsteine

Im folgenden werden die Schornsteine und die zugehörigen Heizräume und Wärmeerzeuger beschrieben:

Schornstein A

Das Gebäude, in dem der untersuchte Schornstein steht, wurde 1992 in Ulm erstellt. Es handelt sich um ein eingeschossiges Wohngebäude mit zwei Wohneinheiten und einer Einliegerwohnung im Kellergeschoß. Die Gesamtwohnfläche beträgt 210 m². Die Wohnungen werden mit Radiatoren beheizt. Der Heizraum, der in Bild 8 in Grundriß und Schnitt dargestellt ist, befindet sich im Kellergeschoß. Die Verbrennungsluftzufuhr erfolgt über eine Öffnung mit der Querschnittsfläche von 25 cm x 25 cm direkt von außen. Die Öffnung befindet sich in der Fensterbrüstung 25 cm über dem Fußboden. Der Heizraum dient als Aufstellraum für den Gasbrennwertkessel (Nennwärmeleistung von 20 bis 24 kW) und den Brauchwasserspeicher. Für weitere Zwecke wird der Heizraum nicht benutzt. Der Schornstein steht, wie

Bild 8 zeigt, im daneben liegenden Kellerraum. Es handelt sich um einen feuchteunempfindlichen Schornstein mit dem lichten Durchmesser des Schamotterohres von 14 cm. Der Aufbau des Schornsteines und die Ausbildung des Schornsteinkopfes ist auf der rechten Seite des Bildes dargestellt. Im Mantelstein befinden sich vier Belüftungskanäle, in denen die Feuchte, die durch das Schamotterrohr diffundiert, abgeführt wird. Die Belüftungsluft wird den Kanälen am Fußpunkt des Schornsteines vom Heizraum aus zugeführt. Der Schornstein ist für die Entlüftung des Heizraumes mit einem Abluftschacht mit dem Querschnitt von 10 cm x 24 cm ausgestattet. Die Öffnung im Heizraum befindet sich hierfür 30 cm unterhalb der Decke. Der Gasbrennwertkessel wird mit einem Gebläsebrenner betrieben.

Schornstein B

Dieser Schornstein ist in einer in 1991 in Heidenheim erstellten Doppelhaushälfte aufgestellt. Das Gebäude enthält eine Wohneinheit mit einer Einliegerwohnung mit der Gesamtwohnfläche von 200 m². Die Wohnräume werden mit Niedertemperaturradiatoren beheizt. Der Heizraum im Untergeschoß, der in Bild 9 dargestellt ist, besitzt eine Verbrennungsluftöffnung von 225 cm², die direkt ins Freie mündet. Im Heizraum ist ein Gas-Spezialheizkessel mit Brenner ohne Gebläse (Nennwärmeleistung 18 kW) und ein Brauchwasserspeicher aufgestellt. Ferner wird in diesem Raum noch Wäsche getrocknet und gebügelt. Der Schornstein ist als feuchteunempfindliche Konstruktion ausgeführt. Der Innendurchmesser des Schamotterohres beträgt 12 cm. Die Belüftungskanäle sind in den Ecken des Mantelsteines angeordnet. Auf der rechten Seite des Bildes 9 ist der Schornstein sowie der Schornsteinkopf im Querschnitt dargestellt. Die Belüftungsluft wird den Belüftungskanälen am Fußpunkt des Schornsteines vom Heizraum aus zugeführt.

Schornstein C

Dieser Schornstein ist in einem Reihenhaus in Schopfheim eingebaut, das 1992 bezogen wurde. Es handelt sich um ein zweigeschossiges Gebäude mit ausgebautem Dachgeschoß. Die Wohneinheit hat eine Wohnfläche von

204 m². Die Beheizung der Räume erfolgt mit Radiatoren. Der Heizraum, der in Bild 10 dargestellt ist, ist mit zwei Fenstern ausgestattet. Eine unmittelbar ins Freie führende Verbrennungsluftöffnung ist nicht vorhanden. Es ist ein Verbrennungsluftverbund über eine Wandöffnung zum Nachbarraum hergestellt worden. Der im Heizraum aufgestellte Gasheizkessel hat eine Nennwärmeleistung von 11 kW. Der Brauchwasserspeicher ist mit einer Gasdirektbefeuerung versehen, die Abgase werden zusammen mit den Abgasen des Kessels in den Schornstein geleitet. Der Heizraum dient als Aufstellort für den Heizwärmeerzeuger und den direktbefeuernden Brauchwasserspeicher. Ferner wird im Heizraum Wäsche gewaschen und bei tieferen Außenlufttemperaturen auch getrocknet. Der Schornstein ist so angeordnet, daß nur eine Wange an den Heizraum grenzt. Die Rückseite des Schornsteines grenzt an den nebenan liegenden Kellerraum. Der feuchteunempfindliche Schornstein, der mit einem Abluftschacht ausgestattet ist, hat einen lichten Innendurchmesser von 16 cm. Auf der rechten Seite des Bildes 10 ist der Schornstein im Querschnitt dargestellt.

4.2 Messungen

An den unter Ziffer 4.1 beschriebenen Objekten wurden folgende Meßwerte kontinuierlich erfaßt:

- Lufttemperatur und relative Luftfeuchte der Außenluft
- Lufttemperatur und relative Luftfeuchte im Heizraum
- Lufttemperatur und relative Luftfeuchte der Belüftungsluft im Schornstein.
- Strömungsgeschwindigkeit der Belüftungsluft im Schornstein.

Die Messungen erfolgten über den Zeitraum einer Heizperiode im Rhythmus von 10 Minuten. Die Außenlufttemperaturen und relativen Luftfeuchten wurden bei den Schornsteinen A und C ca. 2 m neben dem Gebäude in einer Höhe von etwa 1,20 m über dem Erdboden gemessen. Beim Schornstein B waren die Meßgeräte 1 m über dem Dachfirst montiert worden. Die Temperaturfühler waren strahlungsgeschützt untergebracht. Die Messung der Lufttemperatur und der relative Luftfeuchte im Heizraum erfolgte 1,60 m über dem Fußboden an einer Innenwand. Die Lufttemperatur und relative Luftfeuchte der Belüftungsluft wurde im Belüftungskanal ca. 30 cm unterhalb des Luft-

ringspaltes am Ende des Schornsteinkopfes erfaßt. Beim Schornstein C konnte diese Messung nicht durchgeführt werden. Die Strömungsgeschwindigkeit wurde jeweils in einem der beiden Belüftungskanäle mit Hitzdrahtanemometern gemessen, die an der dem Heizraum zugewandten Schornsteinwange angeordnet sind. Die Messung erfolgte ca. 40 cm unterhalb der Kellerdecke. Die Daten wurden mit einer Meßwerterfassungsanlage erfaßt und auf Diskette abgespeichert.

4.3 Ermittlung der Brennerlaufzeiten

Anhand der Brennerlaufzeiten soll eingeschätzt werden, welchen Feuchtebelastungen die Schornsteine während der Heizperiode ausgesetzt sind. Die Laufzeiten der Brenner konnten nicht kontinuierlich aufgezeichnet werden, wie es bei den anderen Meßdaten der Fall war. Es wurde lediglich der Gesamtgasverbrauch während der Heizperiode erfaßt. Die Brennerlaufzeit wird rechnerisch anhand des Gasverbrauchs und der Nennwärmeleistung des Wärmeerzeugers abgeschätzt.

5. Ergebnis der Teiluntersuchung B

Ziel der Untersuchung ist die Ermittlung von thermischen und hygrischen Randbedingungen von Schornsteinen während der Heizperiode. Eine bloße Darstellung der aufgezeichneten Meßdaten als Zeitreihe würde diesem Ziel nicht dienen. Auch würden einige herausgegriffene Temperatur- und Feuchteverläufe kein repräsentatives Bild vermitteln. Es werden deshalb die Bedingungen im Heizraum und im Belüftungsspalt in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur für die drei Schornsteine dargestellt, wie es bei der Teiluntersuchung A bereits erfolgte.

Schornstein A

Für eine Winterperiode und eine Frühjahrsperiode sind im Bild 11 in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur die Lufttemperatur und relative Luft-

feuchte des Heizraumes, die Lufttemperatur und relative Luftfeuchte der Belüftungsluft sowie die Luftfeuchte der Außenluft aufgetragen. Aus den gemessenen Lufttemperaturen und relativen Luftfeuchten sind die absoluten Luftfeuchten berechnet worden. Die Außenlufttemperatur bewegt sich während der betrachteten Winterperiode zwischen -7 °C und 14 °C . Im Heizraum stellte sich eine Raumlufttemperatur von minimal 12 °C und maximal 17 °C ein. Die maximale Schwankungsbreite bei gleicher Außenlufttemperatur beträgt etwa 4 K . Am Ende des Belüftungsspalt weist die Belüftungsluft Temperaturen zwischen 4 °C und 18 °C auf. In aller Regel findet eine deutliche Abkühlung der Belüftungsluft im Schornsteinkopf auf Werte unterhalb der Heizraumtemperatur statt. Die Luft bewegt sich somit in kritischeren Feuchtebereichen. Die Belüftungsluft erreichte zeitweise Temperaturen nahe der Außenluft. Die relative Raumluftfeuchte im Heizraum steigt mit zunehmender Außenlufttemperatur an. Sie liegt bei -7 °C etwa bei 30% und bei 10 °C zwischen 50% und 60% . Die relative Feuchte der Außenluft schwankt zwischen 60% und 100% . Im dritten Diagramm von oben ist der Schwankungsbereich der absoluten Feuchte der Außenluft und der Luft des Heizraumes dargestellt. Obwohl die relativen Feuchten unterschiedliche Werte aufweisen, überdecken sich die Schwankungsbereiche der absoluten Feuchten nahezu. Bei kleineren Außenlufttemperaturen sind allerdings die absoluten Feuchten der Heizraumluft und bei größeren die der Außenluft höher. Die relative Feuchte der Belüftungsluft schwankt zwischen 40% und 100% . Die Ergebnisse deuten darauf hin, daß es im Bereich des Schornsteinkopfes aufgrund der starken Abkühlung der Belüftungsluft zur Tauwasserbildung gekommen ist. Es ist jedoch auf der Außenseite des Schornsteins keine Versottung beobachtet worden. Der Schwankungsbereich der absoluten Feuchte der Belüftungsluft weist einen ähnlichen Verlauf auf wie der der absoluten Feuchten des Heizraumes. Die Werte im Belüftungsspalt liegen allerdings deutlich höher und der Schwankungsbereich ist breiter. Dies ist darauf zurückzuführen, daß aufgrund der hohen Feuchtebelastung im Schornstein Feuchte über den Schornsteinquerschnitt in die Belüftung diffundiert und dort von der Belüftungsluft aufgenommen wird. So findet eine stetige Zunahme der Luftfeuchte im Belüftungsspalt über die Schornsteinhöhe statt. Im Mittel beträgt die gemessene Differenz der absoluten Luftfeuchten zwischen Belüftungslufteintritt und -austritt etwa 3 g/m^3 .

Während der Frühjahrsperiode bewegt sich die Außenlufttemperatur zwischen -2 °C und 18 °C . Qualitativ verhalten sich die gemessenen Heizraumtemperaturen und relativen Feuchten sowie die daraus berechneten absoluten Feuchten wie in der Winterperiode. Die Temperatur der Belüftungsluft nimmt bei höheren Temperaturen Werte bis 25 °C an. Allerdings wird sie zeitweise auch fast bis auf Außenlufttemperaturniveau abgekühlt. Die relative Luftfeuchte im Belüftungsspalt erreicht den Maximalwert von 100% nicht. Im Belüftungsspalt findet gegenüber der Winterperiode in der Frühjahrsperiode eine etwas geringere Zunahme der absoluten Feuchte statt. Die kann auf die geringeren Brennerlaufzeiten und die damit verbundene geringere Feuchtebelastung des Schornsteins in der Übergangszeit zurückgeführt werden.

Der Zusammenhang zwischen der Luftfeuchte im Heizraum und im Belüftungsspalt ist im Bild 12 dargestellt. Das obere linke Bild zeigt, daß die relative Luftfeuchte der Belüftungsluft in allen Fällen höher ist als die jeweils vorherrschende Luftfeuchte im Heizraum bzw. am Eintritt in den Belüftungsspalt. Durch die Abkühlung der Luft im Belüftungskanal im Bereich des Schornsteinkopfes steigt die relative Feuchte zwangsweise - auch ohne Zuführung von Feuchte - an. Wieviel Feuchte die Belüftungsluft tatsächlich in der Winterperiode abgeführt hat, ist dem unteren Bildteil zu entnehmen. Hätte die Luft im Belüftungskanal keine Feuchte aufgenommen, so würden alle Werte auf der Winkelhalbierenden des Diagrammes liegen. Andererseits kann aus Werten, die auf der Winkelhalbierenden liegen, nicht gefolgert werden, daß keine Feuchte in den Belüftungskanal diffundiert ist, denn die eindiffundierte Feuchte könnte im Bereich des Schornsteinkopfes als Tauwasser wieder ausgeschieden worden sein. Die von der Belüftungsluft über die Belüftung abgeführte Feuchtemenge ergibt sich aus der Differenz der absoluten Luftfeuchten im Heizraum und Belüftungsspalt. Die in den Belüftungskanal diffundierte Feuchtemenge ist jedoch größer, da infolge der hohen relativen Luftfeuchte von 100% im Belüftungskanal im Bereich des Schornsteinkopfes Feuchte durch Tauwasserbildung ausgeschieden sein muß. Die Werte unterhalb der Winkelhalbierenden verdeutlichen, daß zeitweise sogar Feuchte aus dem Heizraum im Schornstein auskondensiert sein muß. In diesem Fall ist zusätzlich alle über den Schornsteinquerschnitt in den Belüftungskanal diffundierte Feuchte im Schornsteinkopf als Tauwasser ausgefallen. Der rechten Hälfte des Bildes 12 ist zu entnehmen, daß die entsprechenden Phänomene in der

Frühjahrsperiode ähnlich liegen. Die relativen Luftfeuchten im Belüftungsspalt liegen hier jedoch alle unter 100 %. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Lufttemperatur im Belüftungsspalt bei höheren Außenlufttemperaturen deutlich über den Heizraumtemperaturen liegt. Wie das rechte untere Bild zeigt, trat jedoch in der Belüftungsluft trotzdem zeitweise Tauwasserausfall auf. Dies kann an den kalten Oberflächen des Mantelsteins im Schornsteinkopfbereich des Belüftungsspaltgeschehen.

Aus Bild 11 und 12 ist zwar zu erkennen, daß die relative Luftfeuchte in der Winterperiode im Belüftungsspalt 100 % erreicht, es ist aus der Darstellung jedoch nicht ersichtlich, wie häufig dies beispielsweise eintritt. Die Darstellung im Bild 13 zeigt die Häufigkeit der relativen Luftfeuchte im Belüftungsspalt. Es ist zu erkennen, daß während der Winterperiode eine relative Luftfeuchte von 100 % zu 4 % der Zeit erreicht wird. Eine relative Luftfeuchte von 80 % wird zu 40 % der Zeit überschritten. Während der Frühjahrsperiode findet die Überschreitung nur etwa zu 25 % der Zeit statt. Eine relative Feuchte von 100 % wird zu keiner Zeit erreicht. Dies ist jedoch kein Kriterium für Tauwasserfreiheit im Bereich des Schornsteinkopfes, wie man an den Ergebnissen des Bildes 12 entnehmen kann. Im Gegenteil, es tritt in der Praxis häufig Tauwasserausfall an den Oberflächen der Belüftungskanäle auf, obwohl die Belüftungsluft im zentralen Bereich noch nicht vollständig gesättigt ist.

Die Geschwindigkeit, mit der sich die Luft im Belüftungskanal bewegt, ist im Bild 14 über der Außenlufttemperatur aufgetragen. Die Strömungsgeschwindigkeit der Luft im Belüftungskanal liegt, wie das Bild zeigt, im Bereich zwischen ca. 0,1 und 0,45 m/s. Die Strömungsgeschwindigkeiten nehmen mit zunehmender Außenlufttemperatur ab.

Schornstein B

Die Randbedingungen, die am Schornstein B während des Heizbetriebs vorherrschen, sind im Bild 15 zusammengestellt. Die Außenlufttemperatur nimmt während der Winterperiode Werte zwischen -10 °C und 15 °C an. Die Lufttemperatur im Heizraum erhöht sich mit zunehmender Außenlufttemperatur. Die minimalen Werte liegen bei 12 °C und die maximalen bei 17 °C. Die Luft-

temperatur der Belüftungsluft schwankt zwischen 6 °C und 16 °C. Die Lufttemperatur im Belüftungsspalt im Schornsteinkopf war immer niedriger als die Heizraumtemperatur am Eintritt des Belüftungsspalt. Bei tiefen Außenlufttemperaturen steigt die relative Außenluftfeuchte über 80 % an. Mit zunehmender Lufttemperatur verbreitert sich der Schwankungsbereich. Die relative Luftfeuchte im Heizraum steigt bis 80 % an und ist damit ungewöhnlich hoch. Entsprechend hoch ist auch die absolute Luftfeuchte, dargestellt im linken dritten Bild von oben. Der Schwankungsbereich hat zwar eine ähnliche Form wie der der Außenluft, doch insgesamt liegt der Bereich ca. 3 g/m³ höher. Dies weist darauf hin, daß der Luft im Heizraum ständig Feuchte zugeführt wird. Im Heizraum wird zwar Wäsche gewaschen und getrocknet, doch dieser große Feuchteunterschied kann nicht allein darauf zurückgeführt werden. Der Grund für die hohe Feuchte liegt darin, daß alle Außen- und Innenwände sowie Decken sowohl des Heizraumes als auch des gesamten Gebäudes in Porenbeton ausgeführt sind. Porenbeton weist im Einbauzustand eine hohe Eigenfeuchte auf, die nur sehr langsam an die Außenluft abgegeben wird. Die Austrocknung kann sich über mehrere Jahre erstrecken. Auch in den Wohnräumen lag während der Meßzeit eine hohe relative Luftfeuchte vor.

Die relative Luftfeuchte der Belüftungsluft am Ausgang des Belüftungsspalt bewegt sich etwa zwischen 80 % und 100 %. Der Schwankungsbereich der absoluten Luftfeuchte der Belüftungsluft liegt um den Betrag der im Schornstein aufgenommenen Feuchte höher als der Schwankungsbereich der absoluten Luftfeuchte des Heizraumes. Es ist eine Feuchtezunahme von knapp 2 g/m³ im Belüftungsspalt gemessen worden.

Während der Frühjahrsperiode bewegt sich die Außenlufttemperatur zwischen -7 °C und 18 °C. Die aufgetragenen Lufttemperaturen sowie relativen und absoluten Feuchten weisen, wie die rechte Seite des Bildes 15 zeigt, die gleiche Tendenz auf wie die entsprechenden Werte während der Winterperiode. Die Lufttemperaturen der Belüftungsluft liegen bei höheren Außenlufttemperaturen allerdings über den Temperaturen des Heizraumes. Während dieser Zeit ist auch eine erhöhte Feuchteaufnahme der Belüftungsluft im unteren Diagramm festzustellen. Es wurden bis zu 5 g/m³ gemessen. Dies dürfte die Diffusionsfeuchtemenge der Schornsteinkonstruktion sein. Die Differenz zwischen dieser Diffusionsfeuchtemenge und der durchschnittlichen Feuchte-

zunahme zwischen Belüftungslufteintritt und -austritt am Schornsteinkopf, von 2 g/m^3 , ist die praktisch angefallene Tauwassermenge an den Oberflächen des Belüftungsspalt.

Die Feuchteverhältnisse im Belüftungsspalt in Abhängigkeit von den Feuchteverhältnissen im Heizraum sind im Bild 16 angegeben. In den oberen beiden Bildern ist die relative und in den unteren die absolute Feuchte aufgetragen. Es ist daraus zu ersehen, daß die relative Luftfeuchte im Belüftungsspalt immer höher liegt als im Heizraum. Bei der absoluten Feuchte gibt es jedoch auch viele Fälle, bei denen es umgekehrt ist. Hier fällt Feuchte vom Heizraum im Belüftungskanal aus. Die während dieser Zeiten vom Innenrohr in den Belüftungskanal diffundierende Feuchte verblieb ebenfalls als Tauwasser im Schornstein. Bei dem untersuchten Schornstein fand dies offensichtlich sehr häufig statt.

Bild 17 zeigt die relative Häufigkeit, mit der die relativen Luftfeuchten im Belüftungskanal überschritten werden. Während der Frühjahrsperiode wird beispielsweise die relative Luftfeuchte von 80 % zu 40 % der Zeit und während der Winterperiode zu 65 % der Zeit überschritten. Eine relative Luftfeuchte von 100% wird in keiner Periode erreicht. Trotzdem kam es zur Tauwasserbildung an den kalten Oberflächen der Mantelsteine im Bereich des Schornsteinkopfes. Auf der Außenseite des Schornsteines wurde keine Versottung sichtbar. Die Belüftungsgeschwindigkeit, dargestellt im Bild 18, ist mit 0,10 m/s bis 0,15 m/s relativ klein.

Schornstein C

Die Meßdaten des Schornsteins C sind im Bild 19 dargestellt. Während der betrachteten Winterperiode bewegt sich die Außenlufttemperatur zwischen -10 °C und 8 °C . Die Lufttemperaturen des Heizraumes schwanken während dieser Zeit zwischen 13 °C und 20 °C . Die Heizraumtemperatur lag immer deutlich über der Außenlufttemperatur. Bei tiefen Außenlufttemperaturen liegen die relativen Außenluftfeuchten über 80 %; bei höheren Werten verbreitert sich der Schwankungsbereich. Die relative Luftfeuchte im Heizraum bewegt sich etwa zwischen 20 % und 55 %. Die Schwankungsbereiche der abso-

luten Luftfeuchten im Heizraum und außen haben ähnliche Formen, die Maximalwerte der Heizraumlufte sind jedoch höher. Dies ist vermutlich durch Wäschetrocknen im Heizraum verursacht worden.

Die Außenlufttemperatur bewegt sich während der untersuchten Frühjahrsperiode zwischen 1 °C und 20 °C. Im Heizraum steigt die Lufttemperatur bis maximal 21 °C an. Die absolute Feuchte im Heizraum ist bei höheren Außenlufttemperaturen teilweise kleiner als die absolute Feuchte der Außenluft. Hier kommt es in geringem Maße zum Tauwasserausfall an den Kellerwänden. Nach Aussagen der Bewohner wird Wäsche nur bei tieferen Außenlufttemperaturen im Heizraum getrocknet. Die relative Feuchte und Temperatur der Luft des Belüftungsspalt konnte bei diesem Schornstein nicht erfaßt werden.

Die Strömungsgeschwindigkeit im Belüftungsspalt liegt, wie Bild 20 zeigt, während der Winterperiode knapp über 0,4 m/s und hat einen relativ konstanten Verlauf. Während der Frühjahrsperiode sind hingegen große Schwankungen zu verzeichnen.

Brennerlaufzeiten

Die Brenner der Gaskessel, die an den Schornsteinen A, B und C angeschlossen sind, weisen, wie die Zusammenstellung in Tabelle 3 zeigt, während der Heizperiode eine Laufzeit von 1540 Stunden, 750 Stunden und 1450 Stunden auf. Eine Laufzeit von 750 Stunden des Gas-Spezialheizkessels in Heidenheim ist als gering einzustufen. Dieses Phänomen ist typisch für Niedrigenergiehäuser, deren Heizlast meist deutlich kleiner ist als die Nennwärmeleistung des Wärmeerzeugers, die in diesem Fall durch den Warmwasserbedarf bestimmt wurde.

6. Zusammenfassung

Die Funktionstüchtigkeit eines feuchteunempfindlichen Schornsteins mit Belüftung hängt maßgeblich davon ab, mit welcher Temperatur und Luftfeuchte

die Luft vom Heizraum in den Belüftungskanal des Schornsteins gelangt. Ferner ist auch die Strömungsgeschwindigkeit im Belüftungskanal bedeutend und die Diffusionsfähigkeit der Konstruktion sowie der Dämmwert des Schornsteinkopfes. Für die Prüfung von feuchteunempfindlichen Schornsteinen müssen dies grundlegende Randbedingungen sein.

Ziel des Forschungsvorhabens war die Ermittlung der Randbedingungen und bauphysikalischen Vorgänge bei Schornsteinbetrieb in der Praxis. Dazu wurde eine Teiluntersuchung A durchgeführt, bei der an 320 Schornsteinen mittels Erhebungsbogen Daten aufgenommen wurden. Bei der Teiluntersuchung B erfolgten kontinuierliche Messungen während einer Heizperiode an drei Schornsteinen.

Die wichtigsten Erkenntnisse der beiden Teiluntersuchungen können wie folgt zusammengefaßt werden:

Teiluntersuchung A

- Von den 320 erfaßten Heizanlagen sind 62 % mit einem Ölkessel und 38 % mit einem Gaskessel ausgestattet. Die Ölbrenner werden meist mit und die Gasbrenner meist ohne Gebläse betrieben.
- 94 % der Schornsteine grenzen mit mindestens einer Schornsteinwange an den Heizraum.
- Etwa zur Hälfte dienen die Heizräume neben der Aufstellung des Wärmeerzeugers noch anderen Zwecken. In 16 % der Fälle wird Wäsche getrocknet. Diese Heizräume erfahren somit eine höhere Feuchtebelastung.
- Die Feuerstätten beziehen die Verbrennungsluft zu 70 % über Verbrennungsluftöffnungen oder -kanäle direkt von außen.
- Die während der Erhebung gemessenen Lufttemperaturen in den Heizräumen bewegen sich zwischen 7 °C und 24 °C und die relativen Luftfeuchten zwischen 20 % und 60 %.

- Die absoluten Luftfeuchten in den Heizräumen korrelieren etwa mit den absoluten Außenluftfeuchten, sind jedoch minimal höher als diese.
- In den Heizräumen, in denen Wäsche getrocknet wird, liegen die absoluten Luftfeuchten deutlich höher als in den Räumen ohne Wäschetrocknung.
- Heizräume mit direkter Verbrennungsluftzufuhr über Lüftungsöffnungen oder -kanäle weisen im Gegensatz zu Räumen mit natürlichen Undichtheiten kleinere absolute Feuchten auf.

Teiluntersuchung B

- Die gemessenen Lufttemperaturen in den drei untersuchten Heizräumen bewegen sich zwischen 12 °C und 21 °C.
- In den Heizräumen der Objekte A und C liegen die gemessenen relativen Luftfeuchten bei niedrigen Außenlufttemperaturen bei minimal 20 % und bei höheren Außenlufttemperaturen bei maximal 60 %. Die extrem hohen relativen Luftfeuchten von 50 % bis 80 % beim Gebäude B sind auf die Feuchteabgabe der Raumumschließungsflächen zurückzuführen.
- Die absoluten Luftfeuchten im Heizraum sind etwas höher als die absoluten Außenluftfeuchten. Bei Wäschetrocknung erhöhen sie sich im Mittel um knapp 1 g/m³. Im Fall von feuchteabgebenden Raumumschließungsflächen können die absoluten Feuchten bis zu 3 g/m³ höher liegen.
- Im Mittel lag die aus den Schornsteinen durch die Belüftungsluft über die Belüftungskanäle abgeführte Feuchtemenge während der Meßperioden etwa zwischen 1 g/m³ und 3 g/m³.
- Die Diffusionsfeuchtemenge, die über die Schornsteinkonstruktion in die Hinterlüftung eingetragen wurde, betrug bis zu 5 g/m³.

- Bei den Schornsteinen trat zeitweise Tauwasserbildung an den Oberflächen der Belüftungskanäle im Schornsteinkopf auf, obwohl die Belüftungsluft noch nicht vollständig gesättigt war. Auf der Schornsteinaußenseite wurde jedoch keine Durchfeuchtung sichtbar.
- Die gemessenen Strömungsgeschwindigkeiten in den Belüftungskanälen bewegten sich zwischen 0,1 m/s und 0,9 m/s.

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen auf, bei welchen thermischen und hygri-schen Randbedingungen Schornsteine in der Praxis betrieben werden. Es zeigte sich dabei, daß im Heizraum unter gewissen Umständen hohe relative Luftfeuchten auftreten können und daß in der Praxis Tauwasserbildung im Belüftungsspalt im Bereich des Schornsteinkopfes auftreten kann. Bei der Erstellung künftiger Richtlinien für die Prüfung feuchteunempfindlicher Schornsteine müssen die thermischen und hygri-schen Randbedingungen so festgelegt werden, daß den vorgefundenen extremen Gegebenheiten Rechnung getragen wird. Eine Prüfung mit kaltem Schornsteinkopfbereich, wie bereits in [5] gefordert, erscheint praktisch zwingend.

7. Literatur

- [1] DIN 4705. Feuerungstechnische Berechnung von Schornsteinabmessungen (Oktober 1993).
- [2] Institut für Bautechnik (Hrsg.): Richtlinien für die Prüfung und Beurteilung von feuchtigkeitsunempfindlichen Hausschornsteinen (Oktober 1989), Berlin.
- [3] Verordnung über Feuerungsanlagen, Anlagen zur Verteilung von Wärme und zur Warmwasserversorgung sowie über Brennstofflagerung. Muster-Feuerungsverordnung (FeuVO), Januar 1980.
- [4] Verordnung über Feuerungsanlagen, Anlagen zur Verteilung von Wärme und zur Warmwasserversorgung sowie über Brennstofflagerung. Muster-Feuerungsverordnung (FeuVO), Februar 1995.
- [5] Gertis, K. und Erhorn, H.: Feuchteunempfindliche Schornsteine. Wärme- und Feuchtehaushalt aus bauphysikalischer Sicht. Bauphysik 10 (1988), H.2, S. 33 - 42.

Tabelle 1

Darstellung des für die Datenerhebung verwendeten Erfassungsbogens

1	Gebäudestandort:	Schornsteinfeger:	Datum:
	_____	_____	_____
2	Gesamtenergieverbrauch des Gebäudes pro Jahr für Heizzwecke und Warmwasserbereitung (soweit bekannt)		Erdgas _____ m ³
			Stadtgas _____ m ³
			Heizöl _____ L
			Strom _____ kWh
3	Art der Feuerungsstätte		Ölbrenner <input type="checkbox"/>
			Gasbrenner <input type="checkbox"/>
			mit Gebläse <input type="checkbox"/>
			ohne Gebläse <input type="checkbox"/>
	Nennwärmeleistung gemäß Typenschild		_____ kW
	Sonstige zusätzliche Heizungen im Aufstellraum (z.B. Festbrennstoffkessel oder Gas-Brauchwasserspeicher)		_____ _____
4	Lage des Schornsteins	Mindestens eine Schornsteinwange im Aufstellraum <input type="checkbox"/>	Besondere Nutzung: keine <input type="checkbox"/>
			Waschmaschine <input type="checkbox"/>
			Wäschetrocknen <input type="checkbox"/>
			Hobby <input type="checkbox"/>
			Sonstige _____
		in einem anderen Raum als dem Aufstellraum <input type="checkbox"/>	Nutzung des Raumes: _____
5	Verbrennungs- luftzufuhr	Unmittelbar über Lüftungsöffnung/-kanal vom Freien <input type="checkbox"/>	
		Über Raumumschließungsfläche durch natürliche Undichtigkeiten der Gebäudehülle (Verbrennungsluftverbund) <input type="checkbox"/>	
6	Messung	Aufstellraum: _____ °C	_____ %
		Außenluft: _____ °C	_____ %

Tabelle 2

Zusammenstellung der Auswertung der Datenerhebungsbögen.

Fragestellung		Häufigkeit [%]	
Art der Feuerungsstätte	Ölkessel	mit Gebläse	44
		ohne Gebläse	1
		ohne Angabe	17
	Gaskessel	mit Gebläse	6
		ohne Gebläse	32
zusätzliche Heizungen im Aufstellraum	ja	8	
	nein	92	
Mindestens eine Schornsteinwange im Aufstellraum	ja	94	
	nein	6	
Besondere Nutzung des Aufstellraumes	keine	49	
	Waschmaschinenstandort	16	
	Wäschetrocknen	16	
	Hobbyraum	15	
	Sonstiges	18	
Verbrennungsluftzufuhr	über Lüftungsöffnung/-kanal vom Freien	70	
	natürliche Undichtheit der Gebäudehülle	30	

Tabelle 3

Zusammenstellung der Brennerlaufzeiten für die betrachteten Heizperioden für die Wärmeerzeuger, deren Abgase in die Schornsteine A, B und C geleitet werden.

Schornstein	Wärmeerzeuger	Nennwärmeleistung	betrachtete Heizperiode	Brennerlaufzeit
		kW	-	h
A	Gas-Brennwertkessel	20-24	93/94	1540
B	Gas-Spezialkessel	18	92/93	750
C	Gas-Heizkessel	11	92/93	1450

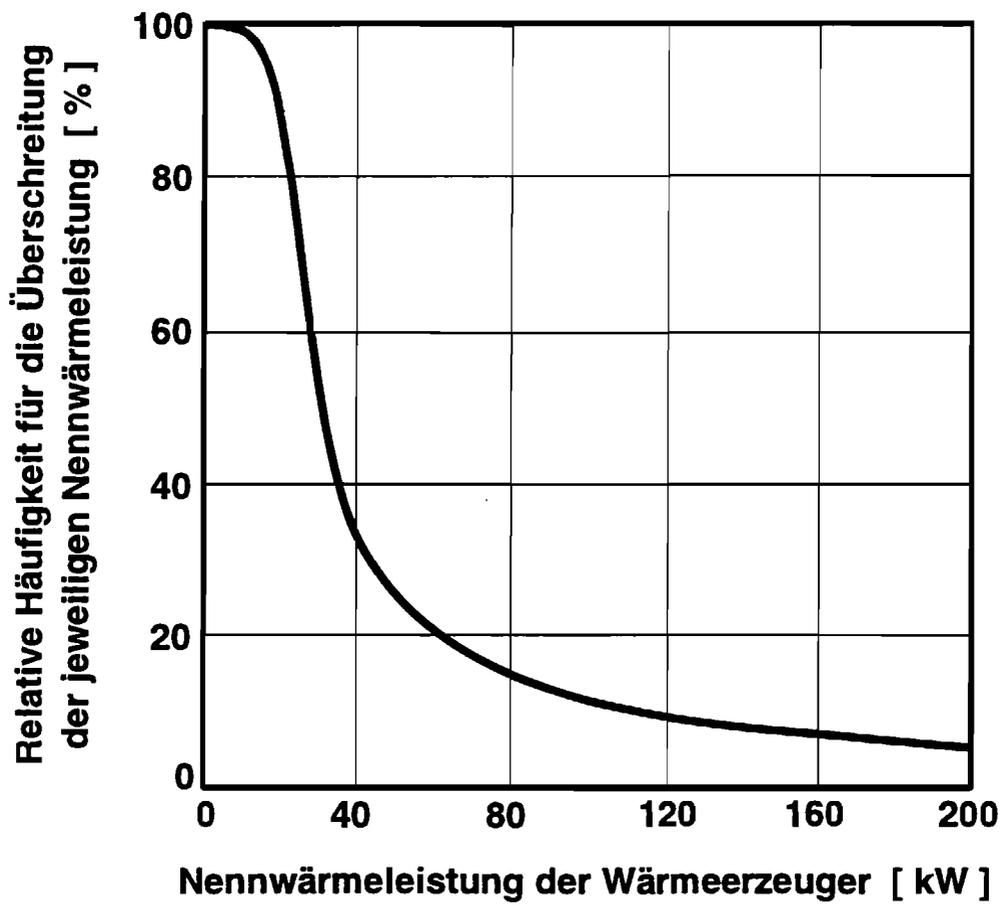


Bild 1: Darstellung der relativen Häufigkeit der Nennwärmeleistungen der untersuchten 320 Gebäude.

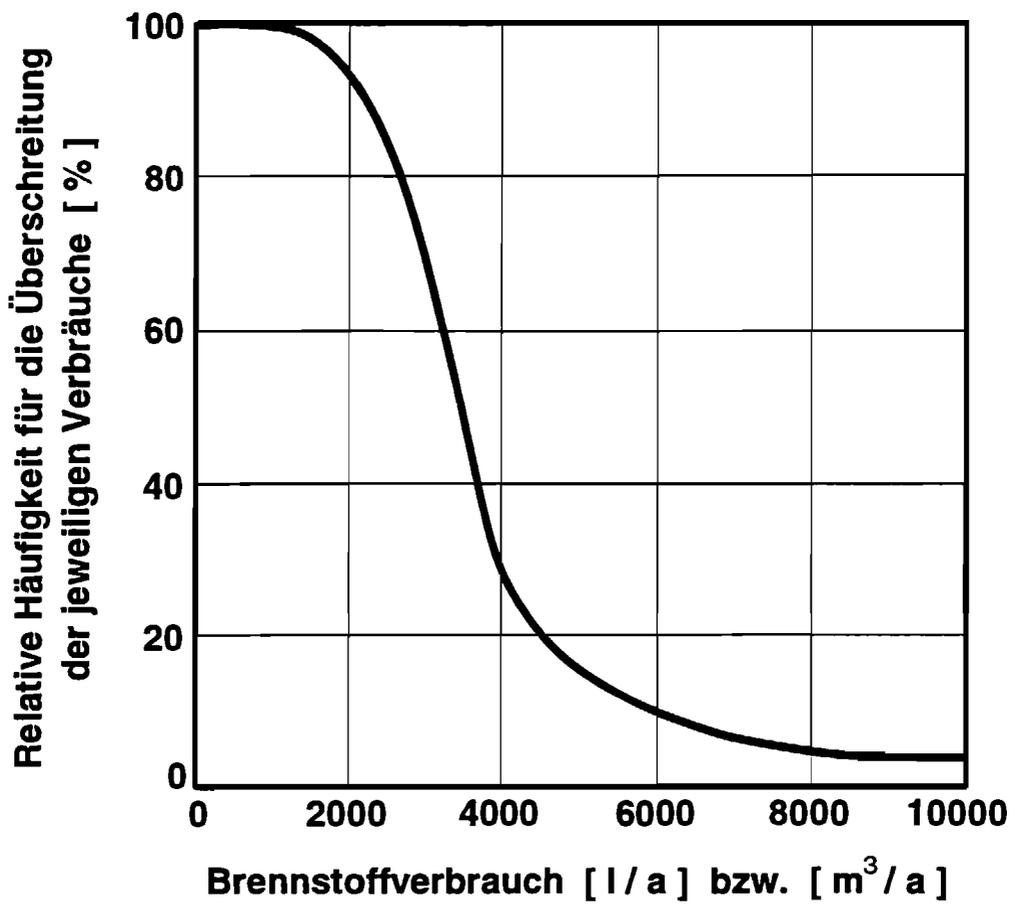


Bild 2: Darstellung der relativen Häufigkeit der jährlichen Heizöl- bzw. Gasverbräuche der untersuchten 320 Gebäude.

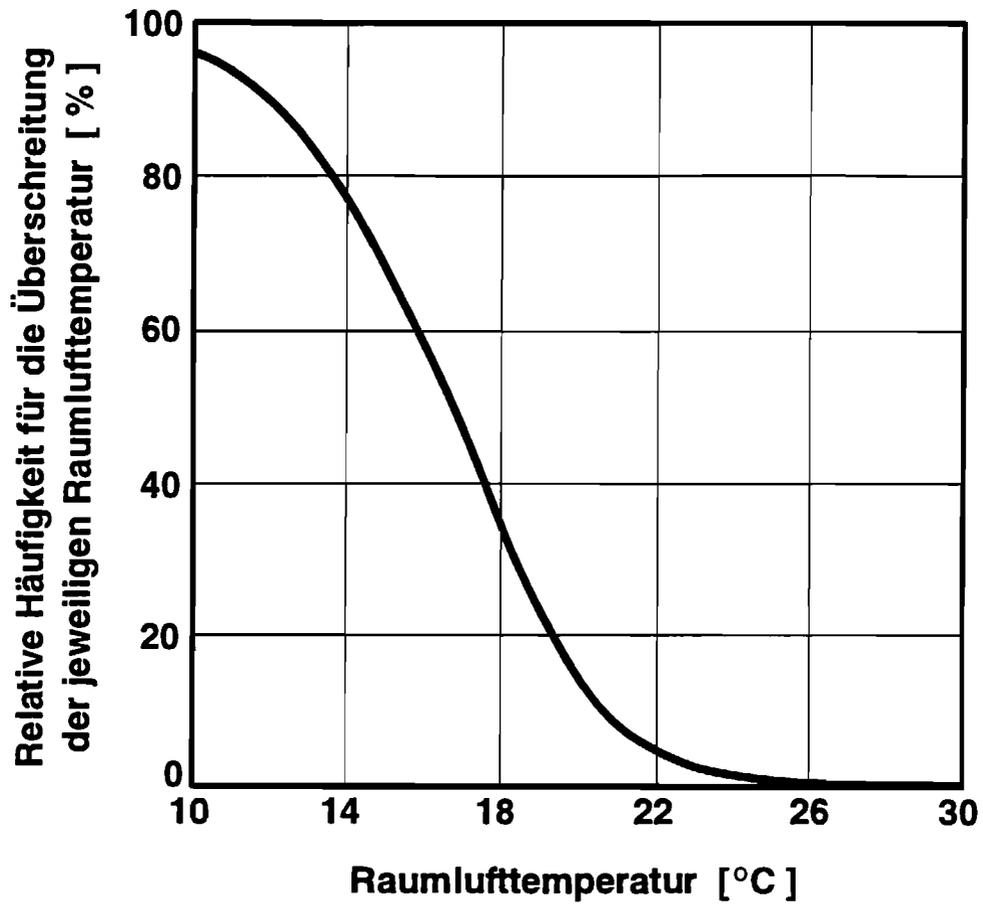


Bild 3: Darstellung der relativen Häufigkeit der Lufttemperaturen im Heizraum. Es liegen Werte zugrunde, die stichprobenartig zu unterschiedlichen Jahreszeiten in 320 Gebäuden erfaßt wurden.

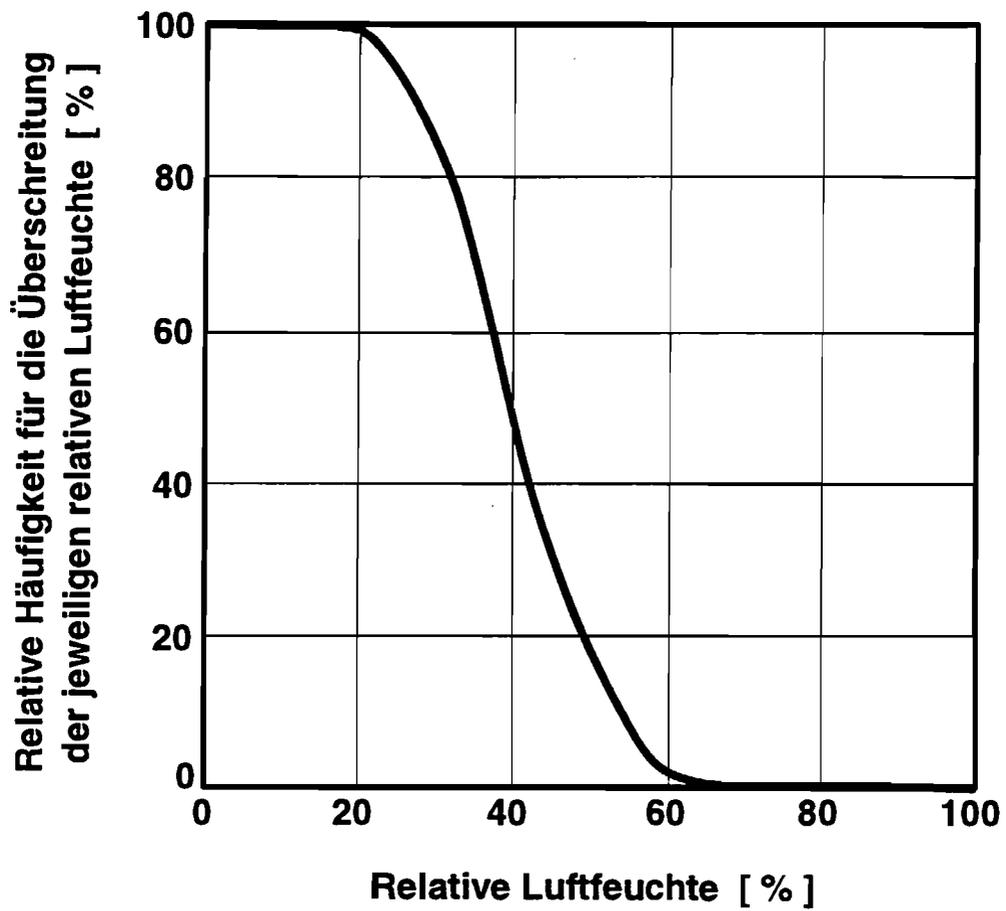


Bild 4: Darstellung der relativen Häufigkeit der relativen Luftfeuchte im Heizraum. Es liegen Werte zugrunde, die stichprobenartig zu unterschiedlichen Jahreszeiten in 320 Gebäuden erfaßt wurden.

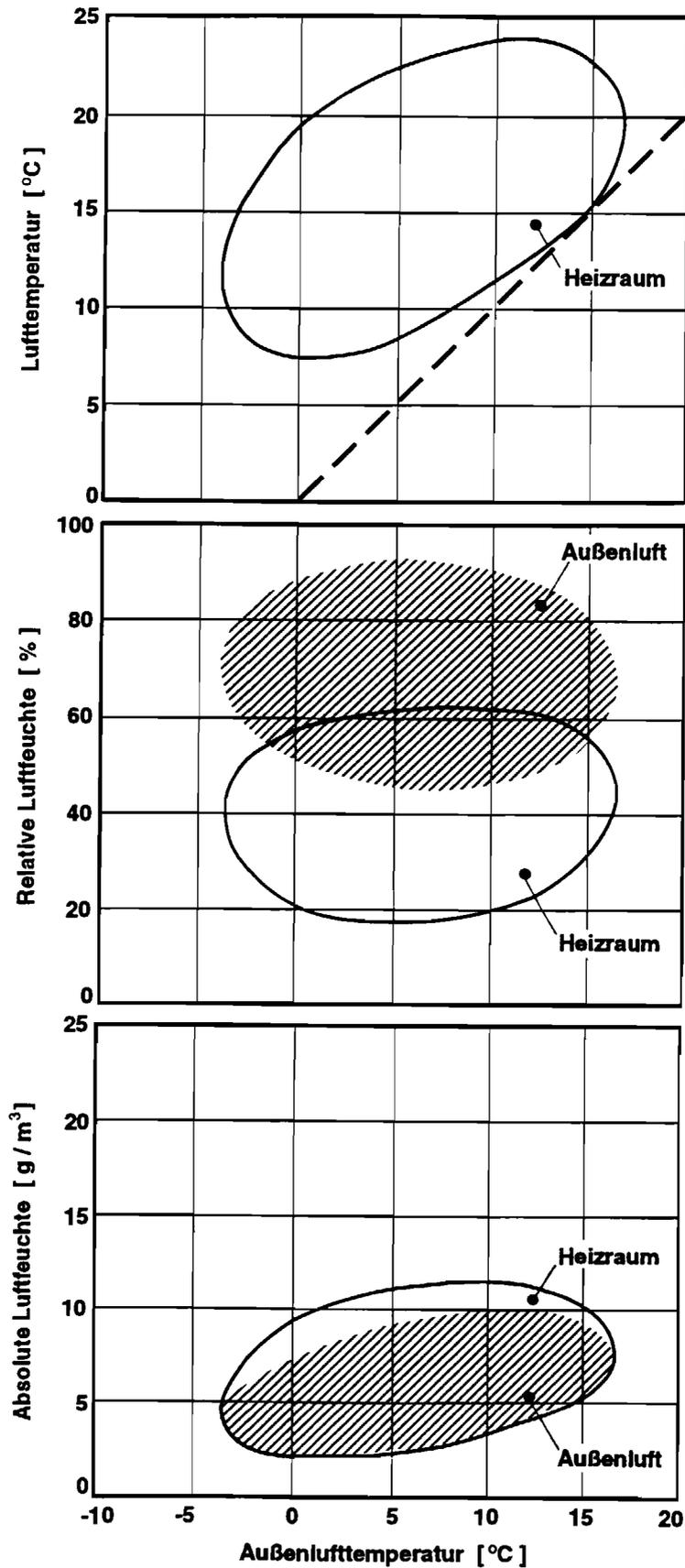


Bild 5: Darstellung der ermittelten Lufttemperatur im Heizraum sowie der relativen und absoluten Luftfeuchte der Außenluft und der Raumluft im Heizraum in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur. Es liegen Werte zugrunde, die stichprobenartig in 320 Gebäuden erfaßt wurden.

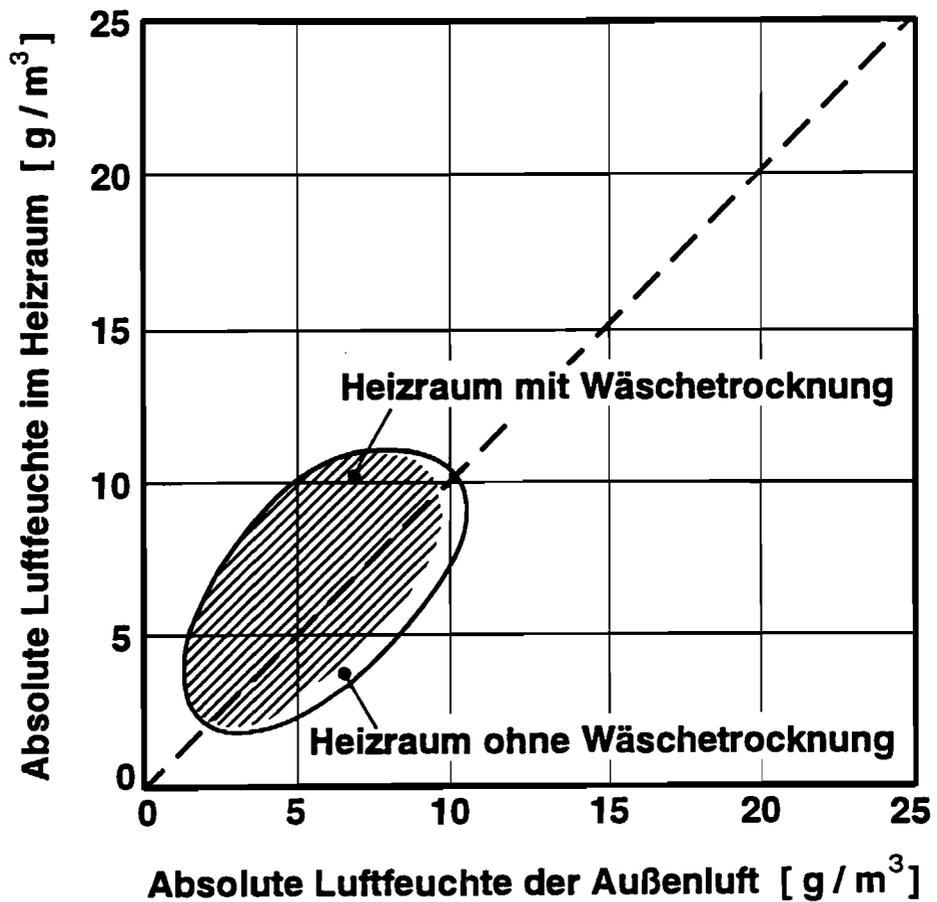


Bild 6: Darstellung der ermittelten absoluten Luftfeuchte in Heizräumen mit und ohne Wäschetrocknung in Abhängigkeit von der absoluten Luftfeuchte der Außenluft. Es liegen Werte zugrunde, die stichprobenartig in 320 Gebäuden erfaßt wurden.

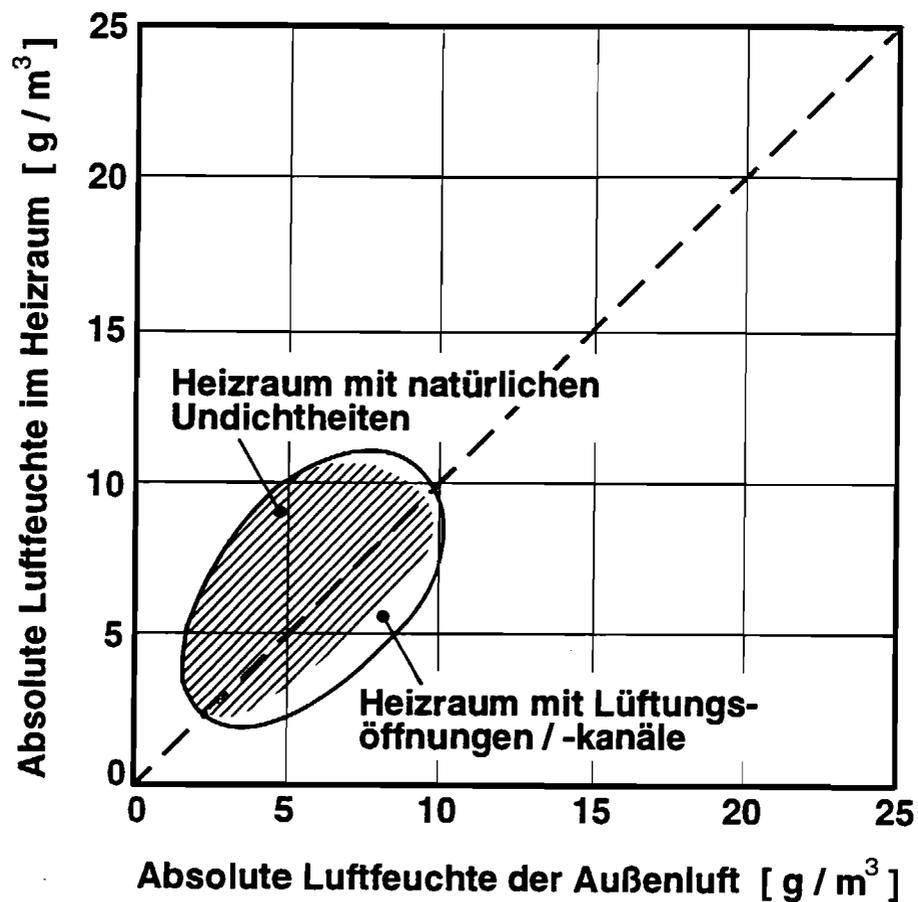


Bild 7: Darstellung der ermittelten absoluten Luftfeuchte in Heizräumen mit Heizanlagen, die die Verbrennungsluft unmittelbar über Lüftungsöffnungen bzw. Lüftungskanäle vom Freien bzw. über natürliche Undichtheiten der Raumumschließungsflächen beziehen in Abhängigkeit von der absoluten Luftfeuchte der Außenluft. Es liegen Werte zugrunde, die stichprobenartig in 320 Gebäuden erfaßt wurden.

Schornstein A

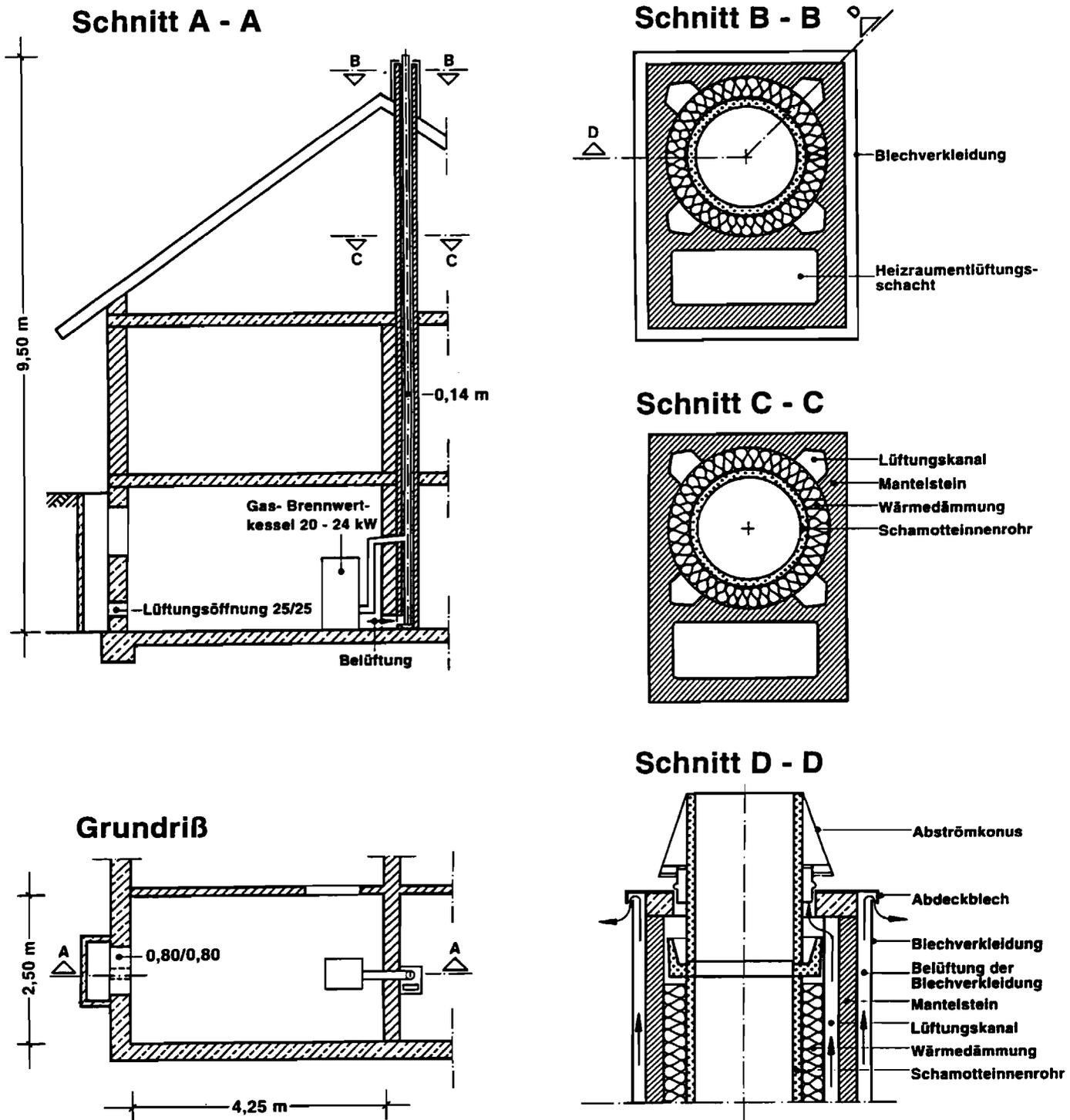


Bild 8: Darstellung des Aufstellungsorts des meßtechnisch untersuchten Schornsteins A in Grundriß und Schnitt sowie des Schornsteinquer- schnittes im beheizten Bereich und Überdach.

Schornstein B

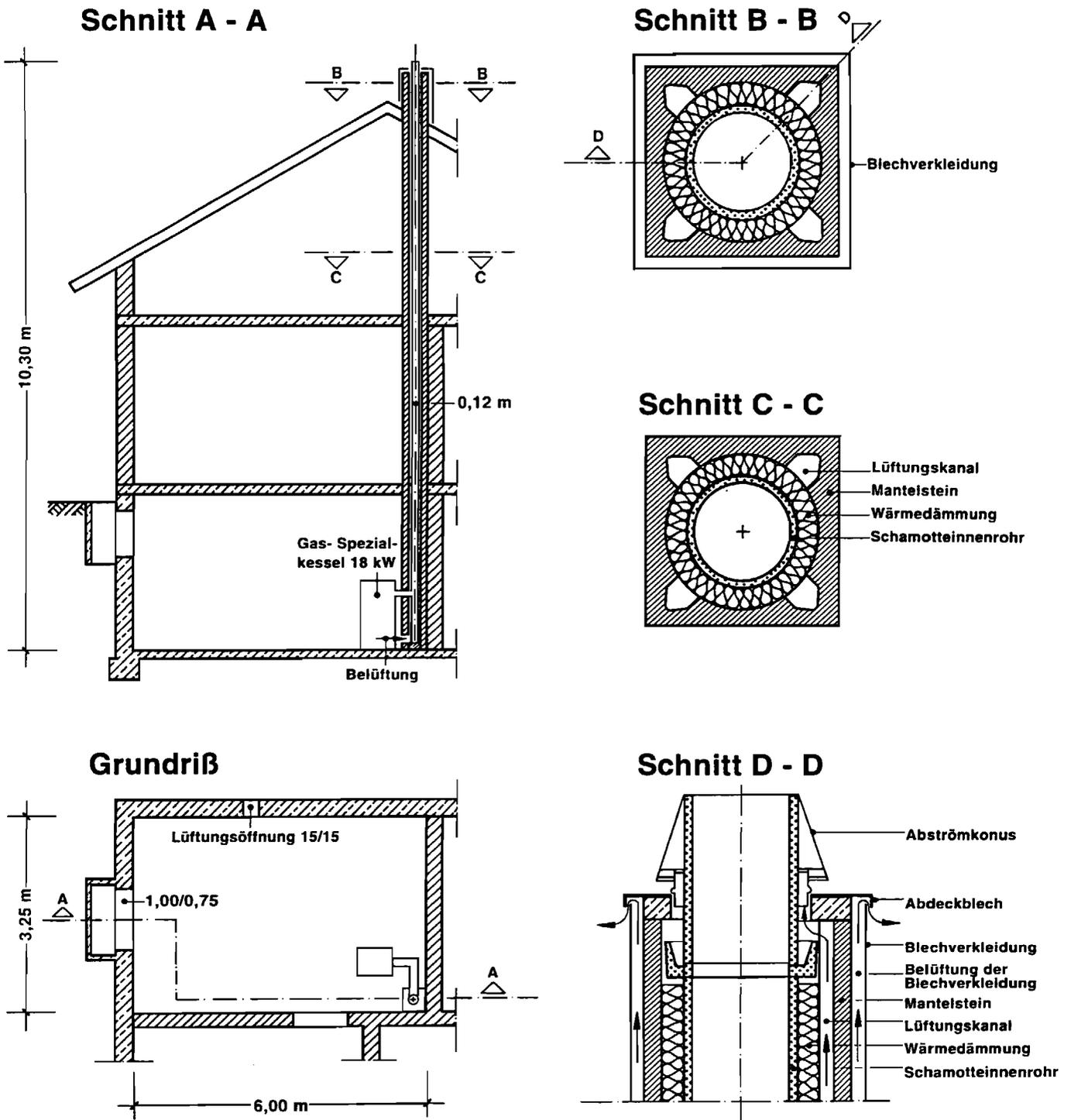


Bild 9: Darstellung des Aufstellungsorts des meßtechnisch untersuchten Schornsteins B in Grundriß und Schnitt sowie des Schornsteinquerschnittes im beheizten Bereich und Überdach.

Schornstein C

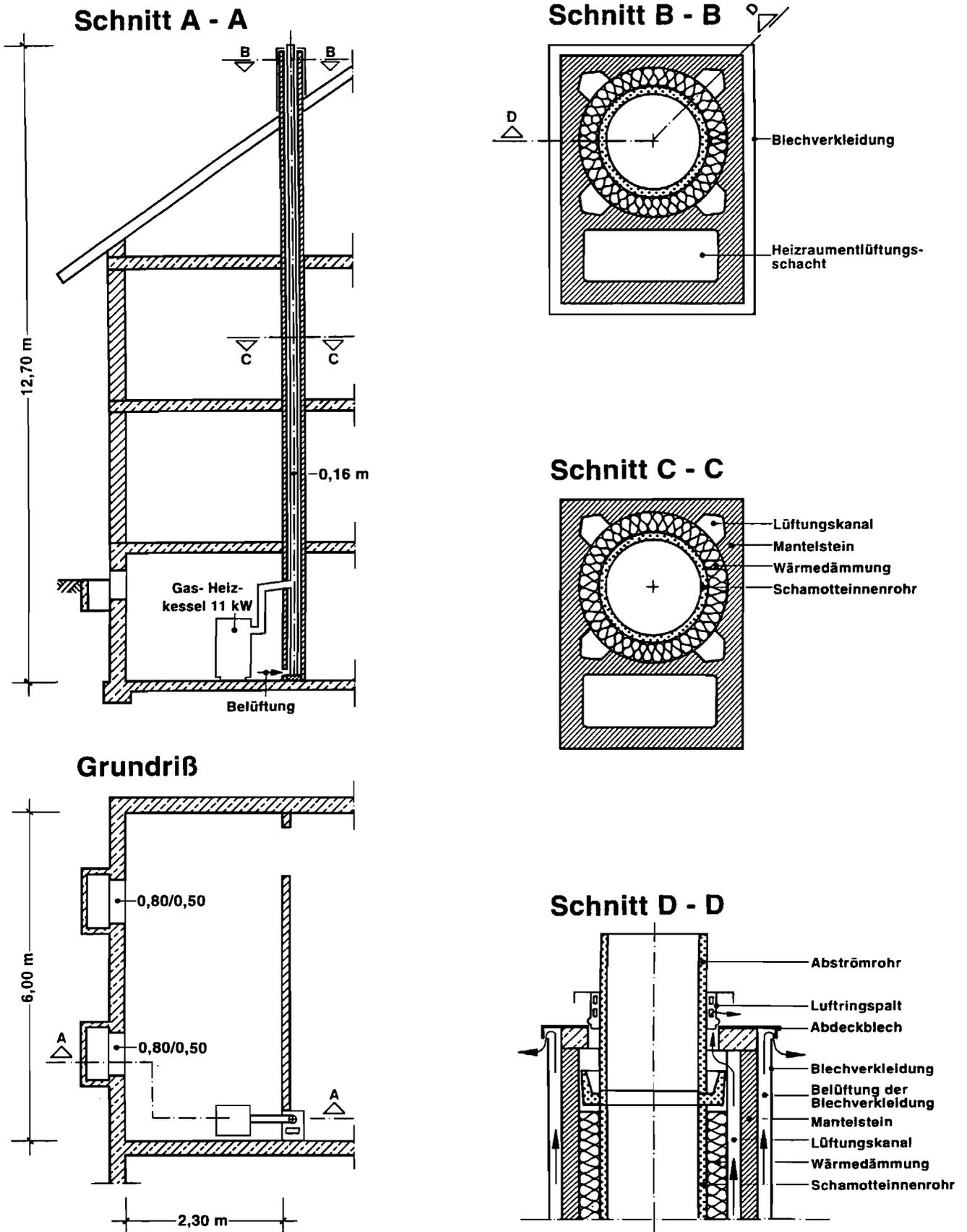


Bild 10: Darstellung des Aufstellungsorts des meßtechnisch untersuchten Schornsteins C in Grundriß und Schnitt sowie des Schornsteinquerschnittes im beheizten Bereich und Überdach.

Schornstein A

Randbedingungen

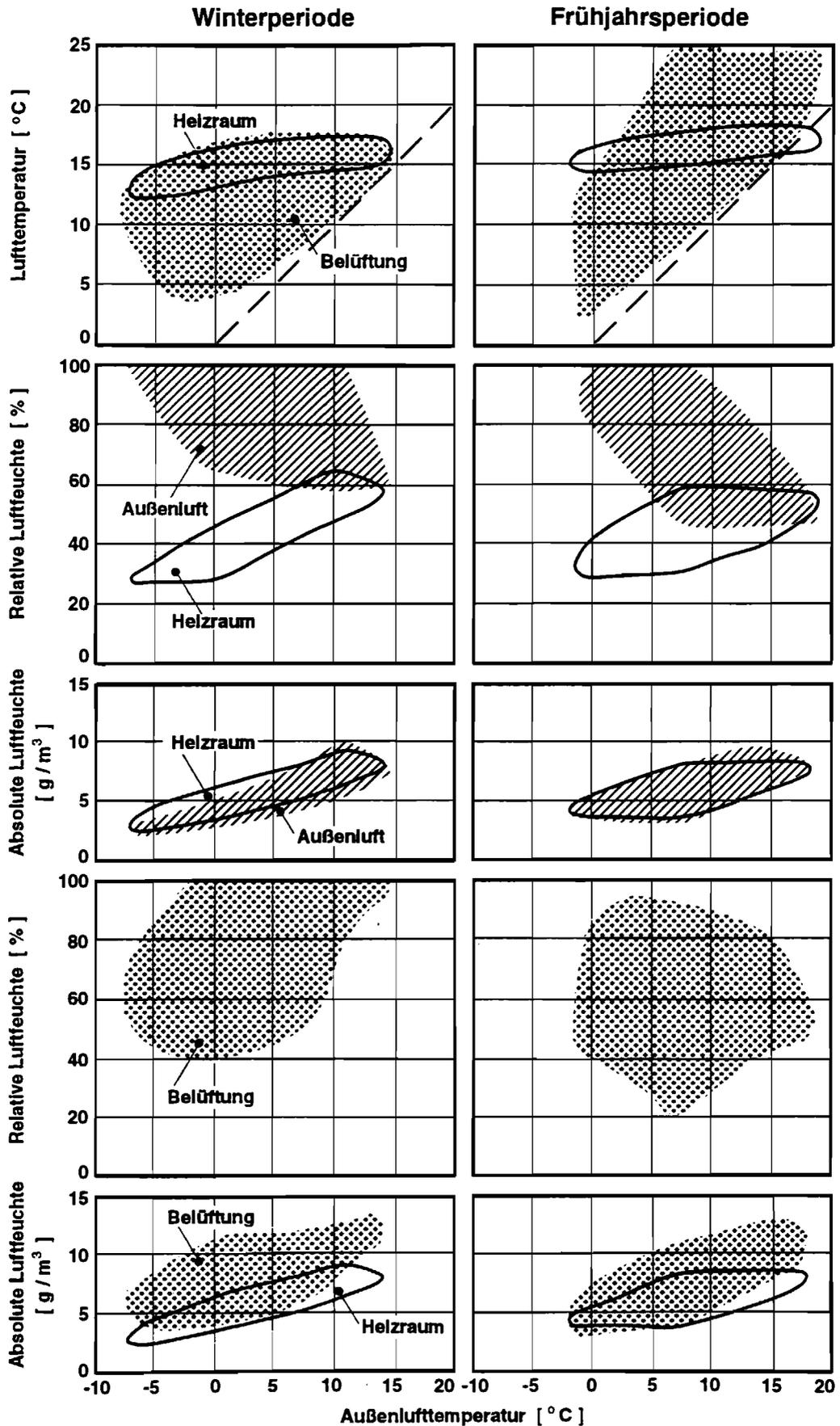


Bild 11: Darstellung der am Schornstein A gemessenen Luftfeuchte und -temperatur in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur für eine Winter- und eine Frühjahrsperiode.

Schornstein A

Belüftung

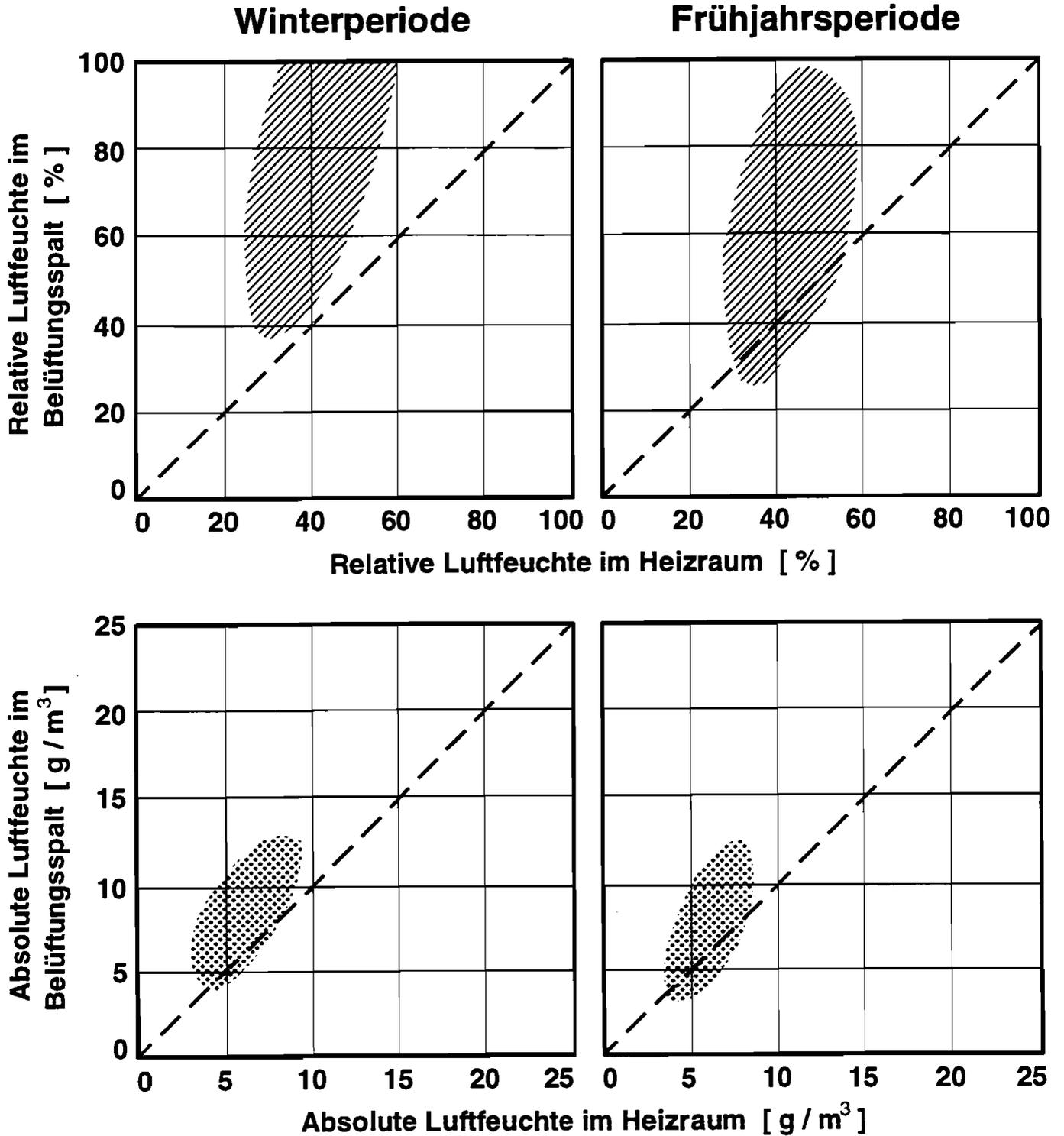


Bild 12: Darstellung der am Schornstein A gemessenen relativen und absoluten Luftfeuchte im Belüftungsspalt in Abhängigkeit von der relativen und absoluten Luftfeuchte im Heizraum für eine Winter- und eine Frühjahrsperiode.

Schornstein A

Belüftung

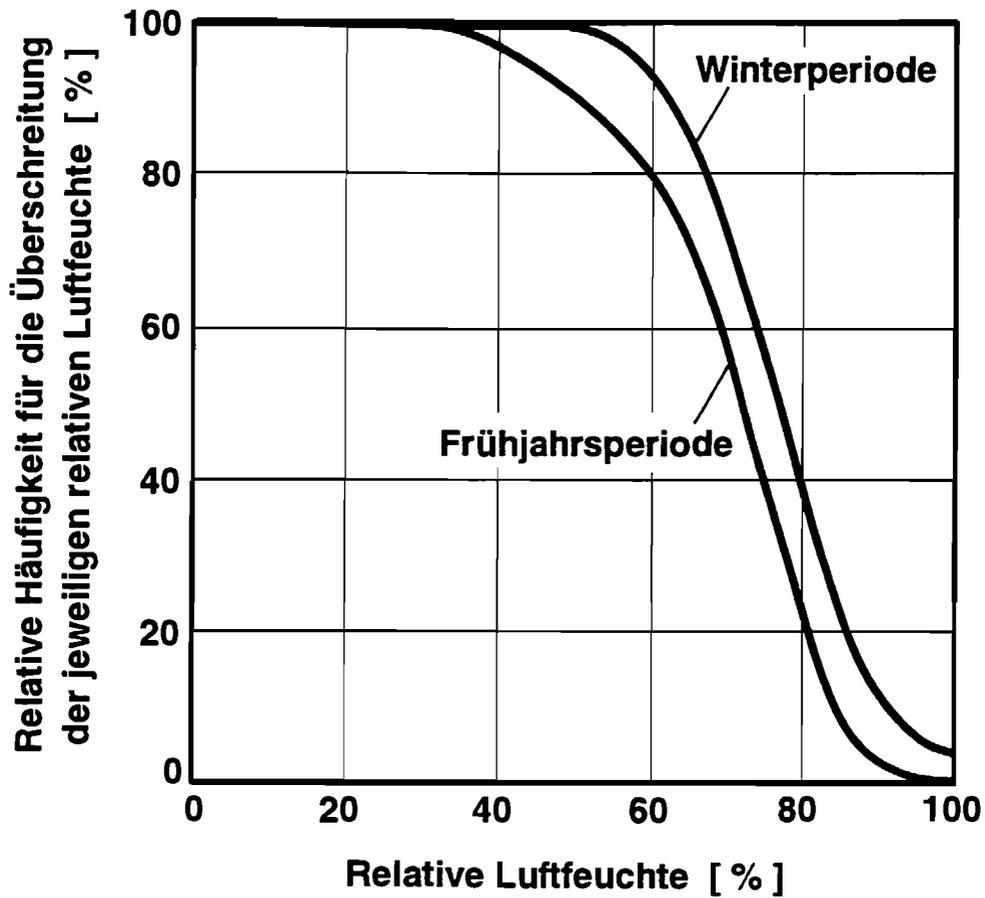


Bild 13: Darstellung der am Schornstein A gemessenen relativen Häufigkeit der relativen Luftfeuchte im Belüftungsspalt für die Monate Dezember (Winter) und März (Frühjahr).

Schornstein A

Belüftung

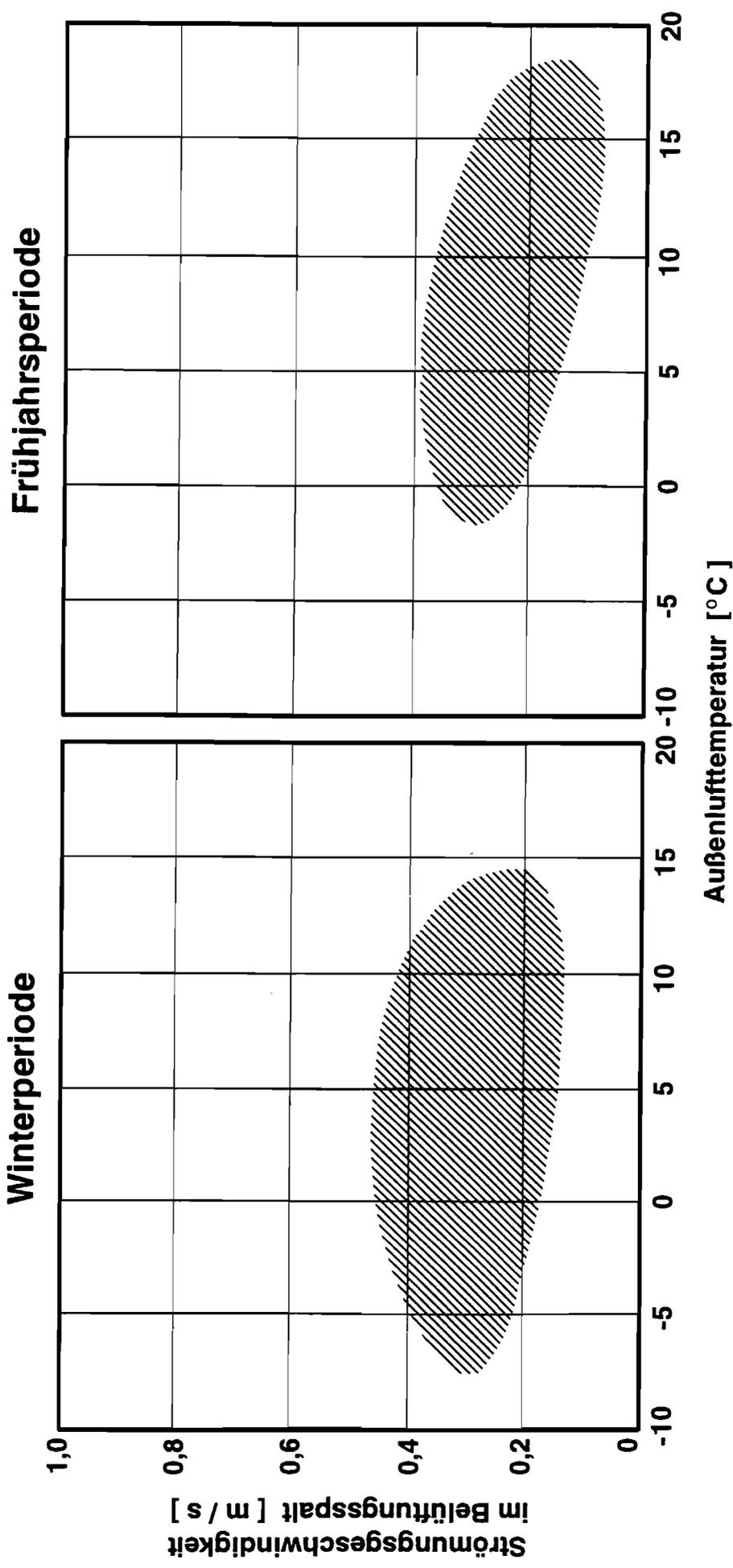


Bild 14: Darstellung der am Schornstein A gemessenen Strömungsgeschwindigkeit im Belüftungspalt in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur für eine Winter- und ein Frühjahrsperiode.

Schornstein B

Randbedingungen

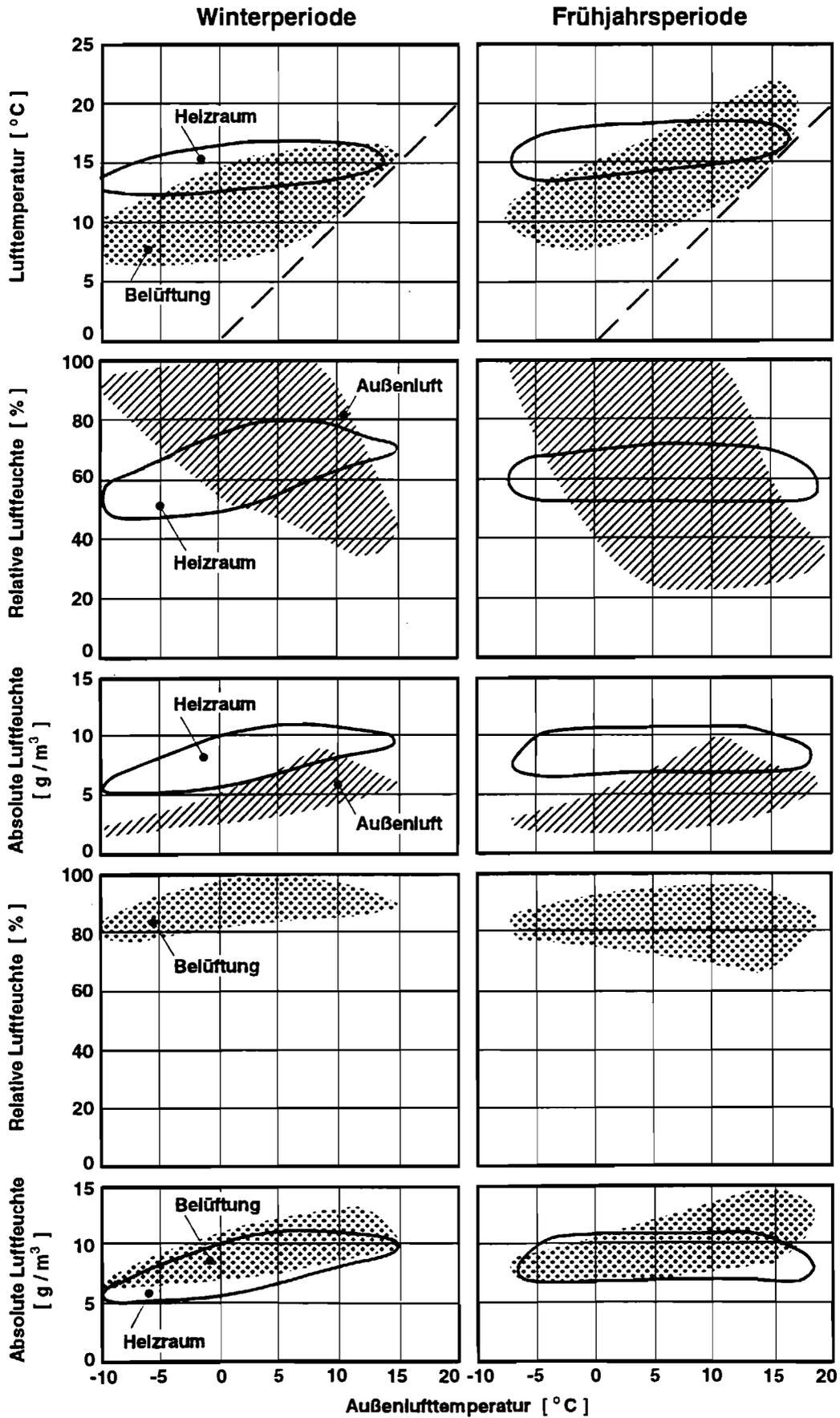


Bild 15: Darstellung der am Schornstein B gemessenen Luftfeuchte und -temperatur in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur für eine Winter- und eine Frühjahrsperiode.

Schornstein B

Belüftung

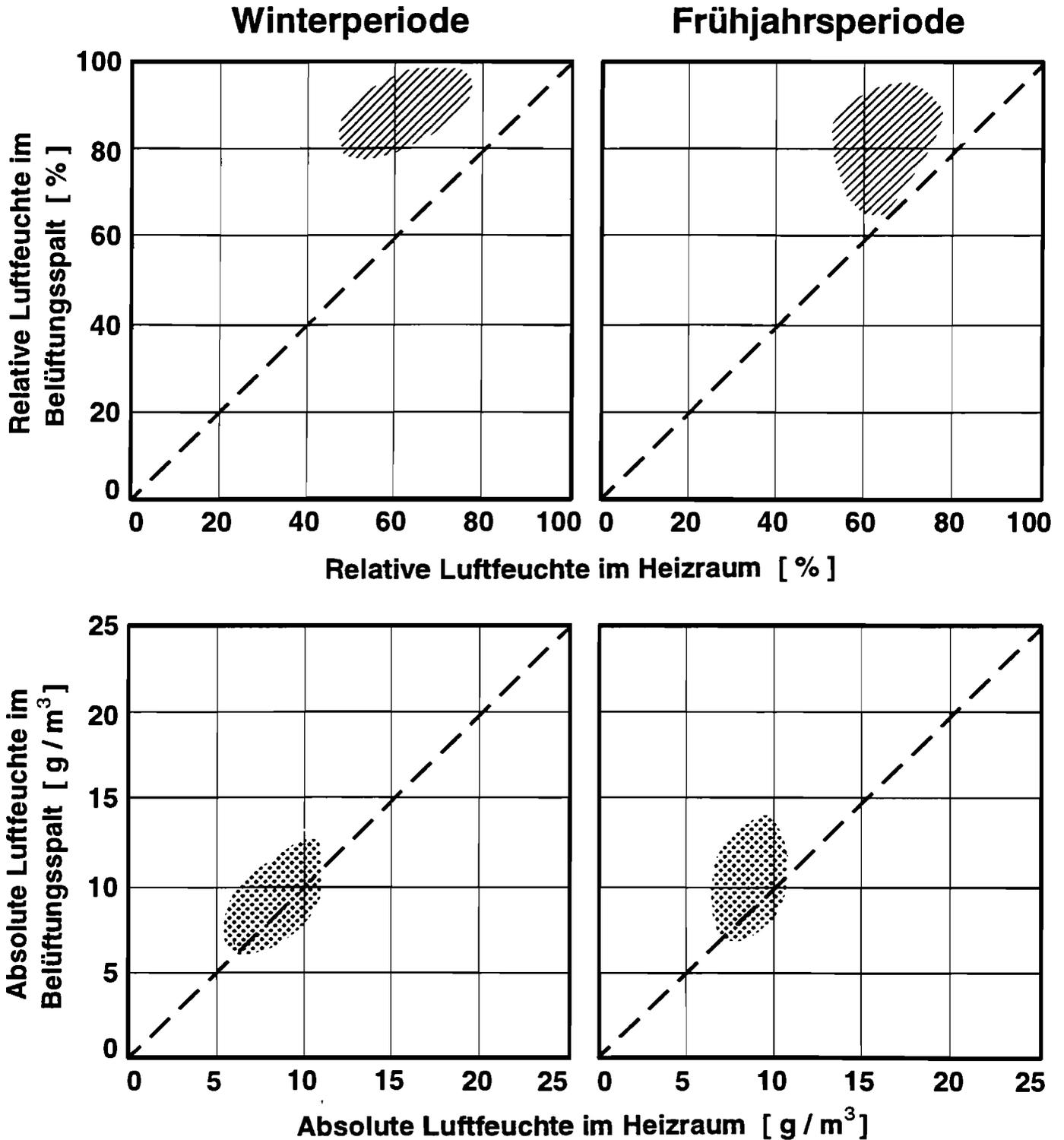


Bild 16: Darstellung der am Schornstein B gemessenen relativen und absoluten Luftfeuchte im Belüftungsspalt in Abhängigkeit von der relativen und absoluten Luftfeuchte im Heizraum für eine Winter- und eine Frühjahrsperiode.

Schornstein B

Belüftung

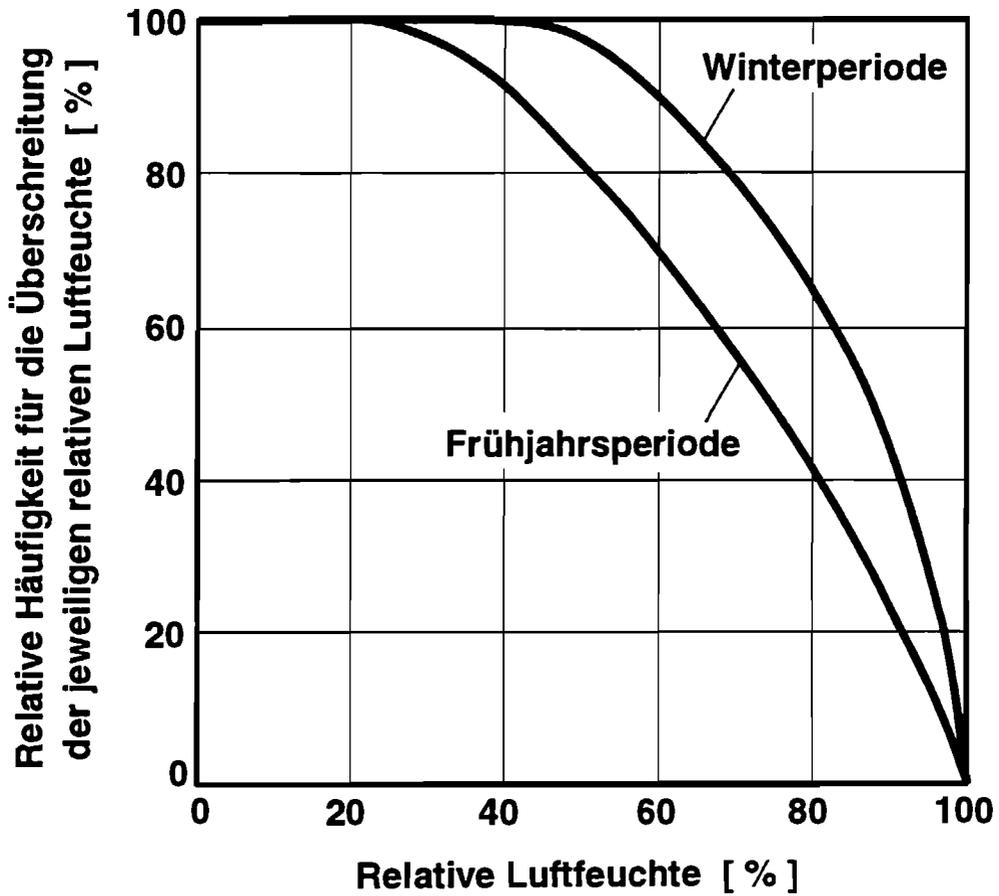


Bild 17: Darstellung der am Schornstein B gemessenen relativen Häufigkeit der relativen Luftfeuchte im Belüftungsspalt für die Monate Dezember (Winter) und März (Frühjahr).

Schornstein B

Belüftung

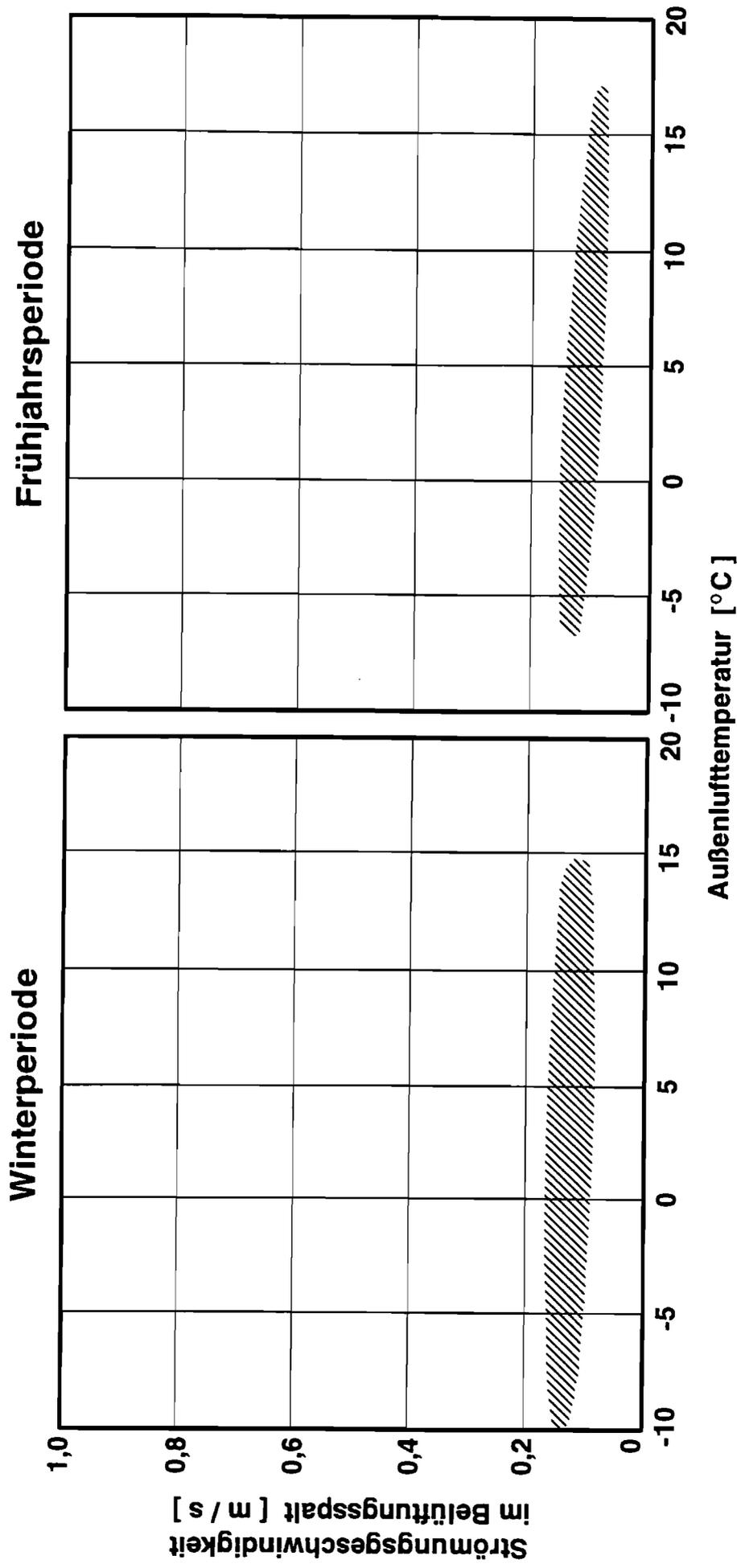


Bild 18: Darstellung der am Schornstein B gemessenen Strömungsgeschwindigkeit im Belüftungsspalt in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur für eine Winter- und ein Frühjahrsperiode.

Schornstein C

Randbedingungen

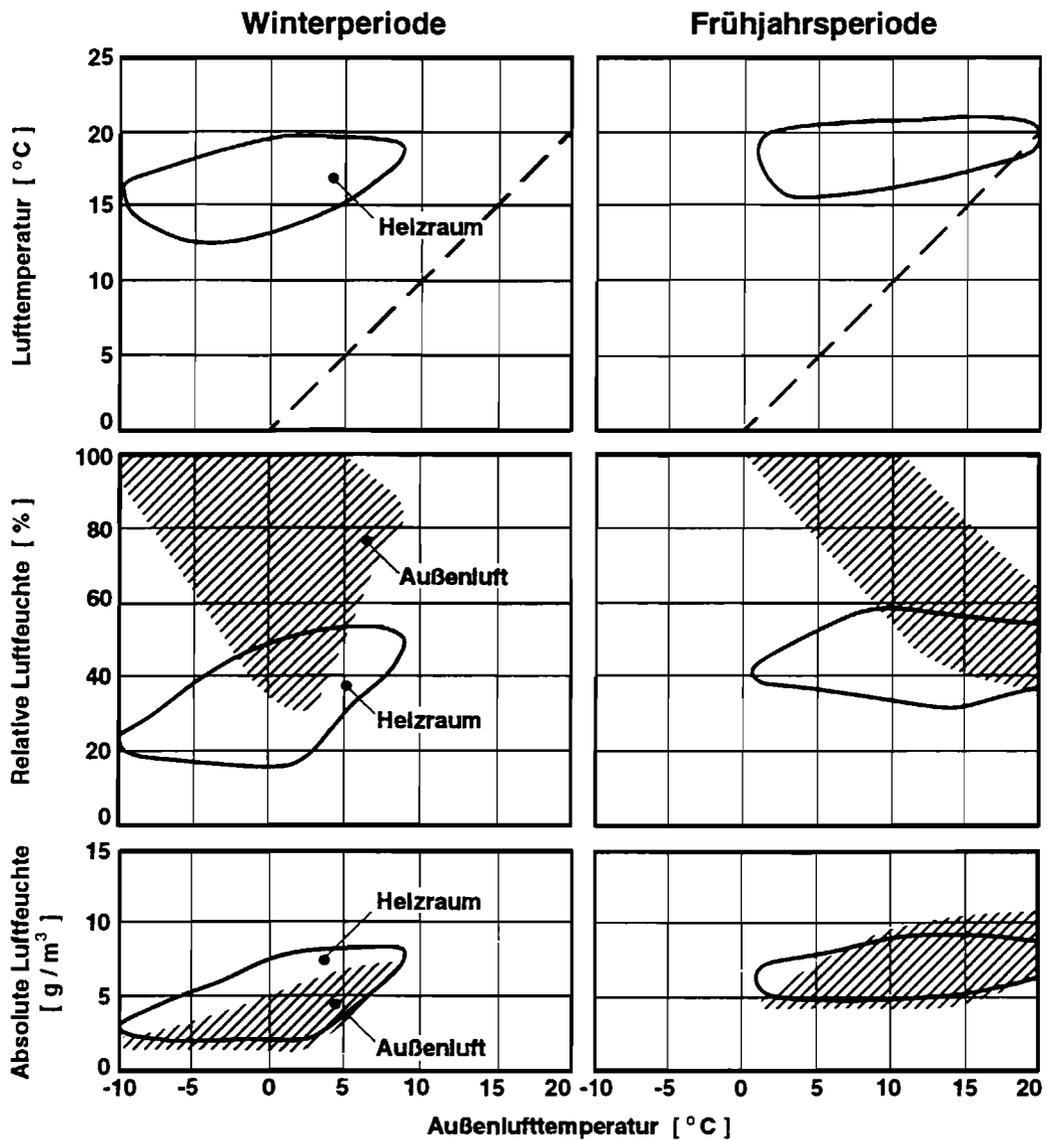


Bild 19: Darstellung der am Schornstein C gemessenen Luftfeuchte und -temperatur in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur für eine Winter- und eine Frühjahrsperiode.

Schornstein C Belüftung

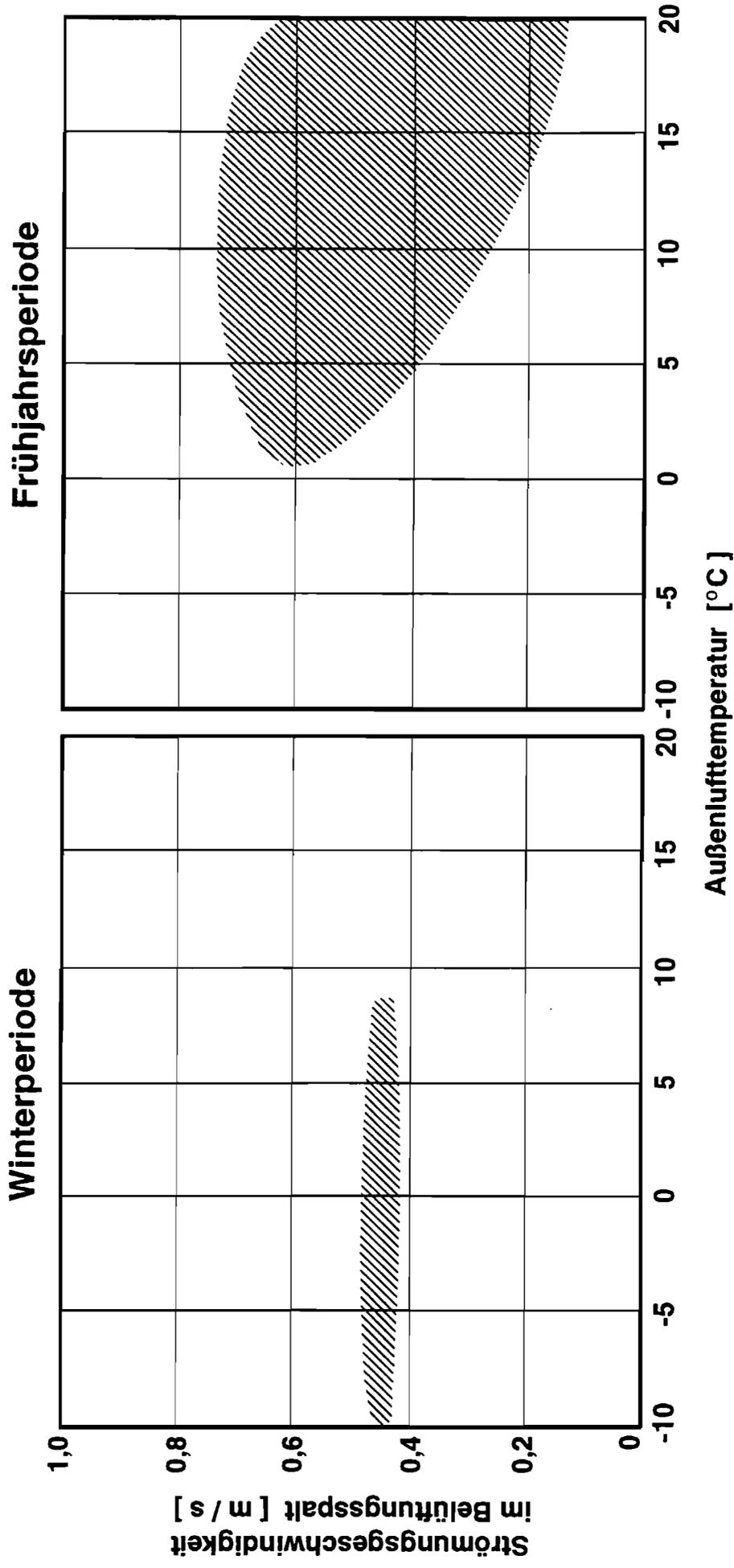


Bild 20: Darstellung der am Schornstein C gemessenen Strömungsgeschwindigkeit im Belüftungsspalt in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur für eine Winter- und ein Frühjahrsperiode.