

Ing. Dietrich Fette, Bad Salzuffen<sup>1)</sup>:

# Entwurf, Bemessung und Konstruktion freistehender Stahlschornsteine<sup>\*\*)</sup>

## 1 Einleitung

Entwurf, Bemessung und Konstruktion freistehender Stahlschornsteine aus Sicht des Praktikers, d. h. des Herstellers, und Umgang mit der neuen Norm. Der Name Schornstein kommt von der Schorre einem schräg oben im Giebel mittelalterlicher Häuser eingebauten Bauelement, vornehmlich aus Holz oder Lehm, über das der Rauch der offenen Feuerstätte ins Freie gelangte, ohne das Regen in das Haus eindringen konnte.

Später ersetzte man dies hölzerne Element durch eine Steinplatte – dem Schorrenstein (Bild 1) –, aus der dann im Laufe der Zeit der Schornstein wurde.

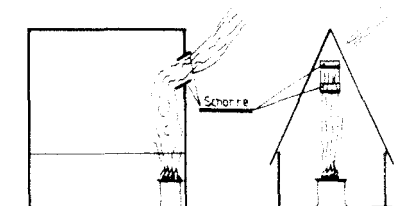


Bild 1. Schorre mit Schorrenstein

Während der Name erhalten blieb, änderten sich die Konstruktion, die verwendeten Materialien, das Einsatzgebiet und das Aussehen ständig hin zur heutigen Bedeutung.

Heute werden drei wesentliche Einsatz- und Ausführungsbereiche unterschieden:

- Schornstein in Massivbauweise, geregelt in DIN 1056
- Hausschornstein nach DIN 18 180 Teil 1
- Stahlschornstein bzw. Schornstein aus Stahl nach DIN 4133, der herausgelöst betrachtet werden soll.

Somit wurde der Terminus "Schornstein" für die Stahlkonstruktion nicht nur aus historischen Überlegungen beibehalten, sondern auch als Be-

zeichnung eines bestimmten Bauelementes, daß aus unterschiedlichen Werkstoffen hergestellt werden kann.

Während es zwischen den Regelwerken DIN 1056 und DIN 4133 mit Ausnahme der Begehung kaum zu Überschneidungs- und Abgrenzungsproblemen kam, gestaltete sich die klare Abgrenzung zu DIN 18 160 Teil 1 wesentlich schwieriger

Man fand diese Abgrenzung schließlich im weitesten Sinne neben einigen baulichen Vorgaben, wie z. B. maximale Krag- und Abstützungslängen, in der Differenzierung zwischen der Abgasableitung von Regelfeuerstätten vorwiegend im Wohnhausbereich – und den definierten Feuerstätten im industriellen Einsatz. Berücksichtigt man weiterhin, daß der Stahlschornstein so ziemlich das einzige Bauelement bzw. Bauteil ist, welches alle vier möglichen Belastungsarten gleichzeitig aufzunehmen hat

- statische Lasten aus Wind, Böen, Verkehrslast und Eigengewicht
- dynamische Lasten aus aerodynamischen Schwingungen
- thermische und
- chemische Belastungen aus den abzuleitenden Medien,

so können gegebenenfalls bei gleichen äußeren geometrischen Formen und Abmessungen je nach Einsatzzweck völlig unterschiedliche Konstruktionen entstehen

## 1.1 Anwendungsbereich

Die Norm DIN 4133 gilt für den Nachweis der Standsicherheit und für die Ausführung von im Freien stehenden, freistehenden, abgespannten oder abgestützten Schornsteinen aus Stahl, für die nachfolgenden angegebenen Abmessungsbereiche (Bild 2):

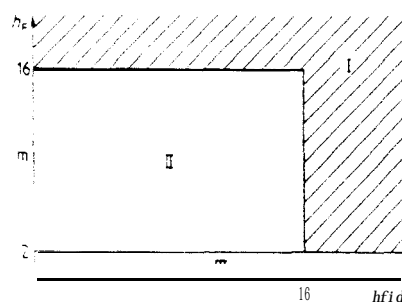


Bild 2. Abmessungsbereiche

- I - müssen alle Anforderungen dieser Norm erfüllen
  - II - müssen ebenfalls die Anforderung dieser Norm erfüllen, brauchen jedoch nicht auf Querschwingungen untersucht zu werden
- dürfen bei Ausführung nach der Tabelle 1 in den Stahlsorten St 37-1, USt 37-2, RSt 37-2 und RSt 37-3 auch von Betrieben hergestellt werden, die lediglich die Anforderungen des kleinen Eignungsnachweises erfüllen

Tabelle 1. Charakteristische Werte der Streckgrenze

| Werkstoff  | Stahlsorte/<br>Werkstoff-<br>nummer          | Streckgrenze $f_{y,k}$ in N/mm <sup>2</sup> bei Temperaturen in °C <sup>1)</sup> von |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--|--|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|  |  | 20   | 50  | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 |
| Allgemeine<br>Baustähle nach<br>DIN EN 10 025<br>DIN 17 120 und<br>DIN 17 121              | St 37-2<br>U St 37-2<br>R St 37-2<br>St 37-3 | 240  | 240 | 190 | 175 | 160 | 140 | 120 | -   | -   | -   | -   | -   |
|  | St 52-3                                      | 360  | 360 | 260 | 245 | 230 | 210 | 190 | -   | -   | -   | -   | -   |
| Wärmefeste Stähle<br>nach DIN 17 155,<br>DIN 17 175 und<br>DIN 17 177                      | H II<br>1 0425                               | 265  | 265 | 245 | 225 | 205 | 185 | 155 | 140 | 130 | 125 | -   | -   |
|  | 15 Mo 3<br>1 5415                            | 270  | 270 | 250 | 238 | 225 | 205 | 180 | 170 | 160 | 155 | -   | -   |
| Nichtrostende<br>Stähle nach<br>DIN 17 440,<br>DIN 17 441,<br>DIN 17 455 und<br>DIN 17 456 | 1.4301                                       | 195  | 177 | 157 | 142 | 127 | 118 | 110 | 104 | 98  | 95  | 92  | 90  |
|  | 1.4541                                       | 205  | 190 | 176 | 167 | 157 | 147 | 136 | 130 | 125 | 121 | 119 | 118 |
|  | 1.4571                                       | 215  | 202 | 185 | 177 | 167 | 157 | 145 | 140 | 135 | 131 | 129 | 127 |
|  | 1.4435                                       | 190  | 182 | 166 | 152 | 137 | 127 | 118 | 113 | 108 | 103 | 100 | 98  |
| Nichtrostende<br>Stähle nach<br>SEW 400  | 1.4539                                       | 220  | 190 | 175 | 165 | 155 | 145 | 135 | 130 | 125 | 120 | 110 | 105 |
|  | *  | 190  | 162 | 166 | 152 | 137 | 127 | 118 | 113 | 108 | 103 | 100 | 98  |

<sup>1)</sup> Der Verfasser ist Geschäftsführer der Fette GmbH, Bad Salzuffen

<sup>\*\*)</sup> Vortrag anlässlich der DIN-Tagung "Türme, Masten, Schornsteine aus Stahl" am 12. Mai 1992 in Fürth

<sup>1)</sup> Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

III -werden durch die Norm nicht erfaßt

reine Innenrohre angeordnet sind (Bild 4).

henlage durch Zugglieder gehalten wird (Bild 6).

## 2 Begriffe

### 2.1 Schornstein

Schornsteine sind Bauwerke oder Teile von Bauwerken, die Abgase von Feuerstätten, andere Abgase, Zu- oder Fortluft führen.

### 2.2 Tragrohr

Das Tragrohr ist ein Bauteil, das die wesentlichen statischen Funktionen übernimmt.

### 2.3 Abgasführendes Rohr

Das abgasführende Rohr ist ein Bauteil, das die Abgase von Feuerstätten über die Schornsteinmündung ins Freie fördert.

### 2.4 Innenrohr

Das Innenrohr ist ein abgasführendes Rohr, das sich innerhalb eines Tragrohres befindet und das die übrigen Schornsteinteile vor thermischer und chemischer Beanspruchung schützt.

### 2.5 Einwandiger Schornstein

Ein Schornstein ist einwandig, wenn das Tragrohr auch abgasführendes Rohr ist; es kann wärmeisoliert und/oder ausgekleidet sein (Bild 3).

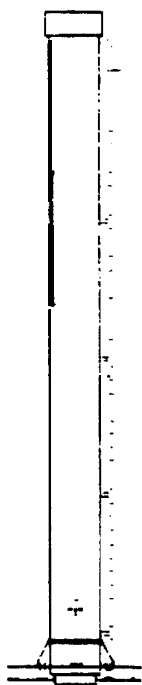


Bild 3. Einwandiger Schornstein

### 2.6 Doppelwandiger Schornstein

Ein Schornstein ist doppelwandig, wenn in einem Tragrohr ein oder meh-

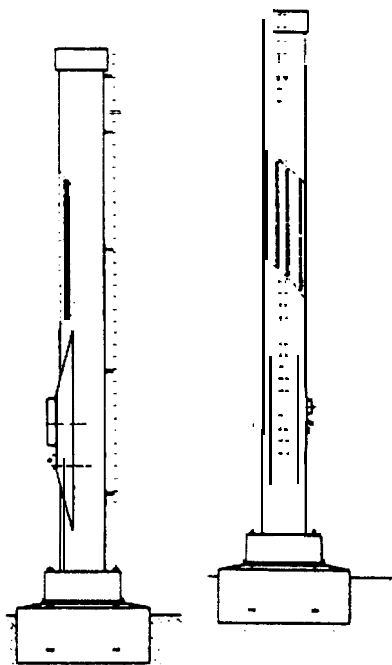


Bild 4. Doppelwandiger Schornstein

### 2.7 Freistehender Schornstein

Ein Schornstein ist freistehend, wenn sein Tragrohr nicht Bestandteil einer anderen Konstruktion ist (Bild 5).

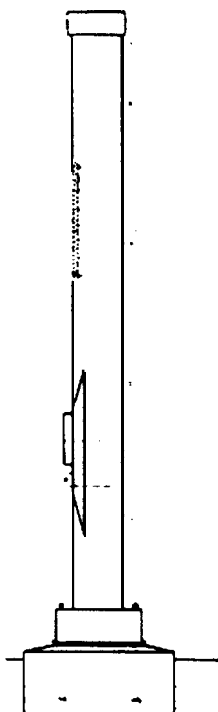


Bild 5. Freistehender Schornstein

### 2.8 Abgespannter Schornstein

Ein Schornstein ist abgespannt, wenn sein Tragrohr in mindestens einer Hö-

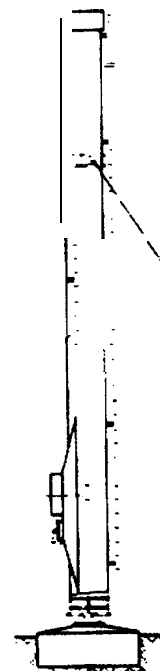


Bild 6. Abgespannter Schornstein

### 2.9 Abgestützter Schornstein

Ein Schornstein ist abgestützt, wenn sein Tragrohr an mindestens einer Stelle an einem Gebäude oder an einer anderen Tragkonstruktion abgestützt ist (Bild 7).

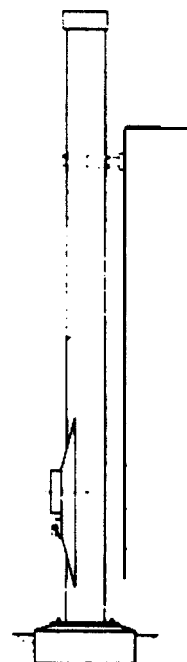


Bild 7. Abgestützter Schornstein

Bei abgestützten Schornsteinen bestanden die genannten Abgrenzungsprobleme zu DIN 18 180 Teil 1. Es wurde festgelegt:

Diese Norm gilt nicht für Schornsteine in Gebäuden, mit Ausnahme von Schornsteinen mit definierter Feuerstätte in Industriegebäuden, wenn sie nur durch einen Brandabschnitt gehen.

Diese Norm gilt auch nicht, für neben Gebäuden stehende abgestützte Schornsteine, sofern der Abstand der Abstützungen  $a < 4$  m und die Kraglänge  $l_k < 2$  m ist (Bild 8)

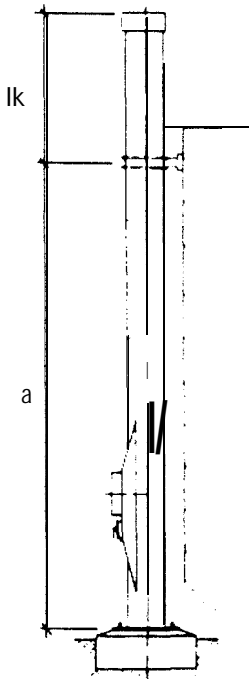


Bild 8. Neben Gebäude stehender Schornstein

Anmerkung: Bei Schornsteinen mit größeren Abständen darf die Brauchbarkeit auch durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung oder eine Zustimmung im Einzelfall nachgewiesen werden.

Für neben Gebäuden stehende Schornsteine gelten weitere Anforderungen nach DIN 18 160 Teil 1, z. B. hinsichtlich einzuhaltender Abstände und des Berührungsschutzes.

### 3 Vorgaben zur Konstruktion

Die Zuordnung eines Stahlschornsteines zu einer definierten Feuerstätte oder zu einer anderen speziellen Aufgabe setzt voraus, daß der vorgesehene Einsatzzweck festgeschrieben ist, sich nicht ändert und schließlich auch überwacht wird. Dies ist in allen Bauunterlagen (Statik, Zeichnung, Baubeschreibung) zu nennen und wird in der Regel auch Gegenstand der Bauordnungsverfügung bzw. der Betriebserlaubnis. Im einzelnen muß festgelegt werden:

- Die planmäßigen Betriebsweisen der angeschlossenen Einrichtungen, z. B. Intermittierender Betrieb oder Dauerbetrieb

berücksichtigte Betriebsstörungen

- Abgasmassen- oder Abgasvolumenströme

- die höchsten und niedrigsten Temperaturen der Abgase bei Eintritt in den Schornstein

die Zusammensetzung der Abgase

- maßgebliche Säuretaupunkte
- Temperaturen der von den Abgasen berührten Flächen
- maximale und minimale Strömungsgeschwindigkeit des Abgases
- Druckverhältnisse im Schornstein.

Darüber hinaus ist die Entwurfslebensdauer anzugeben. Dies ist jedoch nur dann von Bedeutung, wenn ein Zuschlag zur Blechdicke als Korrosionsschutzmaßnahme vorgesehen wird und somit von vornherein der Schornstein nur für eine begrenzte Zeit eingesetzt werden soll. Hier werden im allgemeinen zehn oder 20 Jahre vorgesehen, andere (kürzere) Einsatzzeiten sind denkbar

## 4 Baustoffe

### 4.1 Allgemeines

Es dürfen nur Baustoffe verwendet werden, die den technischen Baubestimmungen entsprechen. In abweichenden Fällen sind auch besondere Nachweise bzw. Zustimmungen im Einzelfall möglich. Bei der Materialwahl sind die chemischen, thermischen und mechanischen Beanspruchungen zu berücksichtigen.

### 4.2 Stähle

Es dürfen Stähle nach DIN 18 800 Teil 1 verwendet werden. Werden geschweißte oder kalt verformte tragende Konstruktionen feuerverzinkt, so ist beruhigter oder besonders beruhigter Stahl zu verwenden

Die Stähle nach DIN 17 155, DIN 17 175 und DIN 17 177, die Stahlsorten mit den Werkstoffnummern 1.4301, 1.4541, 1.4571 und 1.4435 nach DIN 17 440, DIN 17 441, DIN 17 455 und DIN 17 456 sowie mit den Werkstoffnummern 1 4539 und 1.4561 nach SEW 400. 6. Ausgabe 1991, bedürfen keiner weiteren Brauchbarkeitsnachweise Ihre Werkstoffkennwerte sind mit einer Bescheinigung DIN 50 049-3 1 B nachzuweisen.

Allgemeine Baustähle dürfen bis zu Temperaturen von 300 °C warmfeste Stähle bis 450 °C nichtrostende Stähle bis maximal 550 °C verwendet werden. Die Änderung der mechanischen Eigenschaften in Abhängigkeit von der Temperatur ist zu berücksichtigen.

Für Verbindungsmittel und stählerne Abspannseile gilt DIN 18 800 Teil 1.

## 4.3 Dämmstoffe

Dämmstoffe müssen strukturfest und nicht brennbar sein. Sie müssen unter dem Einfluß von Wärme, Kälte, Alterung und auch nach vorübergehender Durchfeuchtung genügend formbeständig und funktionsfähig bleiben. Die Dämmstoffe dürfen keine schädigenden Einflüsse auf andere Baustoffe ausüben. Sie müssen Baustoffklasse AI nach DIN 4102 Teil 1 entsprechen.

## 5 Korrosionsschutz

### 5.1 Allgemeines

Schornsteine aus Stahl müssen gegen Korrosion geschützt werden. Es wird zwischen den äußeren Korrosionsbeanspruchungen aus Umwelteinflüssen und den inneren aus den abzuführenden Abgasen unterschieden. Durch die Abgase werden beansprucht:

- die Innenflächen des abgasführenden Rohres
- die Außenflächen des Schornsteines und die Begehungseinrichtungen (Steigleitern, Bühnen Sicherheitseinrichtungen) im Bereich der Abgasfahne, etwa dem 5fachen Außendurchmesser entsprechend alle Außenflächen, die sich im Bereich der der Abgase benachbarter Schornsteine befinden.

### 5.2 Chemische Einwirkungen

Die chemischen Einwirkungen entstehen durch Kondensation von verschiedenen Abgasen zu Säure, z. B. Schwefelsäure, Salzsäure, verunreinigt durch Chloride und Fluoride, je nach Art und Dauer der Einwirkung ist die zu erwartende chemische Beanspruchung wie folgt einzustufen (Tabelle 2):

Tabelle 2. Grad der chemischen Beanspruchung

| Grad der chemischen Beanspruchung | Unterschreitung des Säuretaupunktes im Betriebszustand in Stunden/Jahr |
|-----------------------------------|--|
| geringfügig                       | unter 20   |
| mittel                            | 20 bis 100   |
| stark                             | über 100 bis 2000  |
| sehr stark                        | über 2000  |

Allgemein ist das Vermeiden der Taupunktunterschreitung die sicherste Maßnahme gegen Korrosion!

Bei Abgasen, die Chloride und Fluoride enthalten, handelt es sich um sehr starke chemische Beanspruchungen,

wenn die Temperatur in der Wandoberfläche im Betriebszustand mehr als 20 Stunden/Jahr unter dem Säuretaupunkt liegt.

6 Korrosionsschutzmaßnahmen  
6.1 Beschichtungen

Es gilt im **allgemeinen** DIN 55 928 Teil 1 bis Teil 9.

Im Schornsteinbau haben sich als Beschichtungen bei doppelwandigen Konstruktionen am Außenrohr – Beanspruchung vorwiegend durch äußere Einflüsse – besonders bewährt (Bild 9):

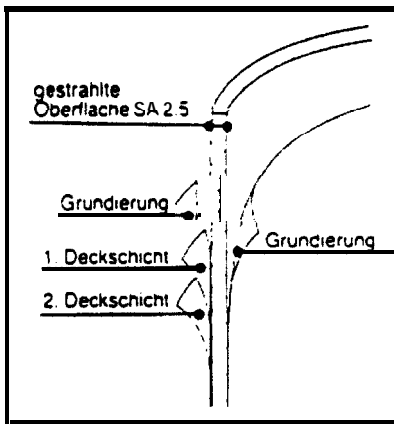


Bild 9 Beschichtungsaufbau

- Strahlen der Oberfläche innen und außen SA 2.5 – 3. Darauf Grundbeschichtung 50 bis 60  $\mu$  als zweikomponentiger Phosphatprimer, der besonders auf gute Haftung ausgelegt ist.
- Zweite Schicht 50 bis 80  $\mu$  als zweikomponentiger Epoxydharz, eingestellt als homogene, dichte Mittelschicht und
- Deckschicht (3. Schicht) als einkomponentiger Acryl, 50 bis 60  $\mu$ .

Diese Deckschicht ist zwar nicht so dicht wie ein Epoxydharz, dafür aber lichtecht und sehr widerstandsfähig. Sie verleiht dem Schornstein bei insgesamt guten Korrosionseigenschaften ein langfristig schönes und gleichmäßiges Aussehen und kreidet nicht aus. Die Innenflächen des Schornsteines erhalten den gleichen Aufbau, wahlweise ein- oder zweischichtig ohne Deckschicht.

6.2 Dämmung

Wie bereits erwähnt, ist der sicherste Korrosionsschutz die Verhinderung von Taupunktunterschreitungen und damit die Verhinderung von Kondensation.

Durch eine sicher und strukturell aufgetragene Wärmedämmung kann dies erreicht werden, denn die Dämmschicht hält das Rohr warm und verhin-

dert somit die Kondensatbildung. Hierzu muß jedoch die Dämmung absolut trocken sein (Bild 10).

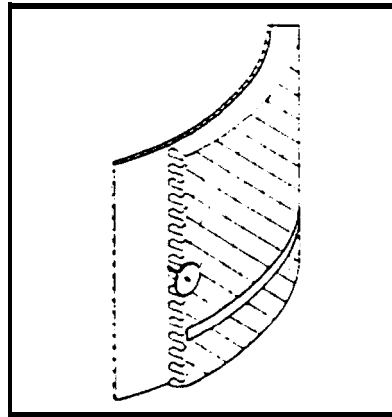


Bild 10. Dämmung

Bei Außendämmungen ist also auf die Dichtigkeit der Abdeckung und bei innenliegenden Dämmungen auf die ausreichende Hinterlüftung zu achten. Feuchte bzw. nasse Dämmungen kehren ihre Wirkung um, kühlen letztendlich das Rohr von außen und führen sicher zu Kondensationen.

6.3 Zuschlag zur Blechdicke bei Baustählen und warmfesten Stählen

Als Maßnahme gegen Korrosion für die mit den abzuführenden Stoffen in Be-

Tabelle 3. Korrosionszuschlag für „schwarze“ Stähle

| erwarteter Korrosionsangriff | Korrosionszuschlag in mm für eine Entwurfslebensdauer von |           |
|------------------------------|---|-----------|
|                              | 10 Jahren   | 20 Jahren |
| geringfügig                  | 2   | 3         |
| mittel                       | 3   | 5         |
| stark                        | 4   | 6         |

rührung kommenden Innenflächen des Rohres darf ein Korrosionszuschlag zur Blechdicke (Überdimensionierung) vorgesehen werden (Tabelle 3). Er kann dann erforderlich werden, wenn z. B. bei hoher Abgastemperatur mit häufigen Betriebunterbrechungen ein einwandfreier Korrosionsschutz durch Beschichtung und Überzüge nicht möglich und unwirtschaftlich ist.

6.4 Wahl geeigneter nichtrostender Stähle

Von den in Abschnitt 4 aufgeführten nichtrostenden Stählen dürfen bei Schornsteinen von Verbrennungsanlagen solche nach Tabelle 4 verwendet werden. Bei anderen als den dort angegebenen Schadstoffkombinationen oder höheren Grenzwerten dürfen die genannten Stähle für tragende Bauteile verwendet werden.

Der für die Auswahl dieser Werkstoffe maßgebliche Schadstoff ist das Schwefeldioxyd ( $SO_2$ ), wobei die möglichen begleitenden Anteile an Chlor- und Fluorverbindungen die angegebenen Höchstwerte nicht überschreiten dürfen.

Zur Berücksichtigung der flächenabtragenden Wirkung des Schwefels ist die statisch erforderliche Blechdicke um den Zuschlag nach Tabelle 5 zu vergrößern

Tabelle 5. Zuschlag zur Blechdicke bei "weißen" Stählen

| Entwurfslebensdauer | Dickenzuschlag |
|---------------------|----------------|
| bis 20 Jahre        | 0,5 mm         |
| über 20 Jahre       | 1,0 mm         |

Als Mindestwanddicke ist 1,5 mm – wie erwähnt – gemäß DIN 18 800 Teil 1 vorzusehen,

Tabelle 4. Nichtrostende Stähle für Schornsteine von Verbrennungsanlagen

| Brennstoffe <sup>1)</sup>                        | Erdgas  | Heizöl EL <sup>2)</sup> , Holz (natur) | Heizöl S <sup>3)</sup> , Kohle (max 1 % S) |
|--|---|--|--|
|  | mit einem Gehalt im Abgas von                               | $SO_2 < 35 \text{ mg/m}^3$             | $SO_2 < 500 \text{ mg/m}^3$                |
|  | sowie $HCl < 30 \text{ mg/m}^3$ und $HF < 5 \text{ mg/m}^3$ |  |  |
| Wandtemperatur im maßgebenden Betriebszustand °C | Verwendbare Stähle (Werkstoffnummern)                       |  |  |
| 0 bis 100  | 1.4571 1.4435 1.4539  | 1.4539                                 | 1.4539                                     |
| über 100 bis 150                                 | 1.4541 1.4571 1.4435 1.4539                                 | 1.4571 1.4435 1.4539                   | 1.4539                                     |
| über 150 bis 300                                 | 1.4541 1.4571 1.4435 1.4539                                 | 1.4571 1.4435 1.4539                   | 1.4571 1.4435 1.4539                       |
| über 300 bis 400                                 | 1.4541 1.4571 1.4435  | 1.4541 1.4571 1.4435                   | 1.4571 1.4435                              |
| über 400 bis 550                                 | 1.4561  | 1.4561                                 | 1.4561                                     |

<sup>1)</sup> Deponiegas und Stadtgas sind nach der Abgasanalyse entsprechend einzuordnen.  
<sup>2)</sup> Nach DIN 51 603 Teil 1  
<sup>3)</sup> Nach DIN 51 603 Teil 3

7 Ausführungs- und Zustandsüberwachung

7.1 Ausführungsüberwachung

Für das Herstellen tragender Bauteile aus Stahl gilt DIN 18 800 Teil 7.

Geschweißte Schornsteine aus Stahl dürfen nur von Betrieben hergestellt werden, die für die verwendeten Stähle und Werkstoffdicken den Anforderungen des großen Eignungsnachweises nach DIN 18 800 Teil 7 mit der Erweiterung nach DIN 4133 genügen. Die eingesetzten Schweißer müssen mindestens die Bedingungen der Prüfgruppe B2 nach DIN 8560 erfüllen.

Für Schornsteine des Abmessungsbereichs 1, bei denen ein Nachweis der Querschwingungen nicht erforderlich ist, und für Schornsteine des Abmessungsbereichs 2 darf auf die Erweiterung verzichtet werden.

Schornsteine des Abmessungsbereichs 2 aus den Stahlsorten St 37-2, USt 37-2, RSt 37-2 und St 37-3 dürfen auch von Betrieben hergestellt werden, die lediglich die Anforderungen des kleinen Nachweises erfüllen.

7.2 Zustandsüberwachung

Schornsteine müssen regelmäßig, mindestens im Abstand von zwei Jahren, durch einen Sachkundigen überprüft werden. Für Schwingungsdämpfer und Steigschutzeinrichtungen sind gegebenenfalls hierfür kürzere vorgeschriebene Zeitabstände für Inspektion und Wartung zu beachten.

Bei sehr starker chemischer Beanspruchung und bei Überdimensionierung als Maßnahme gegen Korrosion ist die Überprüfung in kürzeren Abständen durchzuführen. Auch der begehbare Innenraum zwischen Trag- und Innenrohr muß in die Überprüfung mit einbezogen werden. über die Inspektion ist ein Protokoll anzufertigen.

8 Bauelemente

Ein Stahlschornstein besteht im wesentlichen aus zwei Bauelementen:

- dem Tragrohr, dem korrosionsgeschützten tragenden Element, das bei einwandigen Konstruktionen gleichzeitig das abgasführende Element ist, mit seinen Konstruktionsdetails
- dem Innenrohr, dem abgasführenden Element aus Werkstoff nach Erfordernis.

8.1 Tragrohr mit Konstruktionsdetails

8.1.1 Rohr

Das Tragrohr hat bei einwandigen Konstruktionen alle eingangs erläuterten

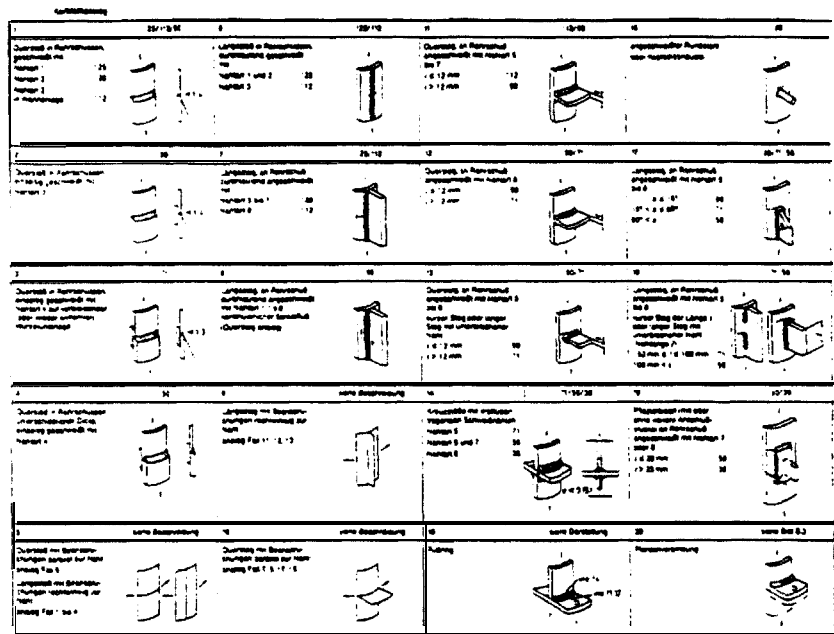


Bild 11. Kerbfallkatalog

Belastungsarten – statisch,dynamisch, thermisch und chemisch – aufzunehmen. Es ist oft sehr schwierig oder auch gar nicht möglich, einen entsprechenden Korrosionsschutz, der über die geplante Lebensdauer als sicher anzusehen ist, aufzubringen, so daß über die geplante Lebensdauer die Standsicherheit voll gewährleistet werden kann.

Aus diesem Grund können einwandig Konstruktionen nur dann verwendet werden, wenn die zu erwartenden thermischen und chemischen Belastungen die vorgesehene Korrosionsschutzmaßnahme (Beschichtungen, Gummierungen o. ä.) nicht beeinträchtigen oder die verwendeten Werkstoffe eine entsprechende Sicherheit bieten.

Werden aber Chrom-Nickel- bzw. Sonderstähle als abgasführendes Element vorgesehen, so kommt man aus wirtschaftlichen Überlegungen bei freistehenden Schornsteinen sehr schnell zu doppelwandigen Konstruktionen, also zur Trennung des statisch-dynamischen Elements von dem chemisch-thermischen.

Bei der schweißgerechten Gestaltung des Tragrohres liefert DIN 4133, neben der bereits genannten Hilfe bei der Materialwahl, mit dem neuen Kerbfallkatalog wertvolle Anregungen und Hinweise für die Gestaltung.

Da der Dickenversatz bei Abstufungen der Wanddicken in der Regel einseitig vorgenommen wird -meist bleiben bei den Außenrohren die Außendurchmesser gleich und stufen nach innen ab -, sollte darauf geachtet werden, daß der Dickensprung zum einen nicht größer ist als 20 % der dünneren Seite, zum anderen ein theoretischer Übergang im Schweißnahtbereich flacher als

25% ist. Dies ist – sofern die Nähte nicht nachbearbeitet werden sollten – von bedeutendem Einfluß auf den Kerbfall.

Das gleiche gilt auch für den auftretenden Wurzelschrumpf, der sich auch insbesondere bei dünnwandigen Chrom-Nickelstählen sehr unangenehm auswirkt und bei dem oft Durchmesser einschnürungen bei Rundnähten von ca. 5 bis 6 mm Tiefe gemessen werden können.

Sofern mit entsprechender Biegespannung gerechnet werden muß ist hier große Sorgfalt von Nöten, meist geht es ohne verbleibende oder auch zu entfernende Stütze nicht.

Als weitere, für die Bemessung von Tragrohren entscheidende Fakten können bzw. müssen die Konsole, Pratten, Pflaster und sonstige Anbauteile angesehen werden, die als Halterungselemente an Schornsteine angeschweißt werden.

Da mit solchen Anbauteilen der für die Bemessung maßgebliche Kerbfall deutlich abgesenkt wird, sollte von Fall zu Fall überlegt werden, ob nicht durch andere Befestigungsarten günstiger gebaut werden kann (Bild 11).

Es ist jedoch festzuhalten, daß in jeder Ebene – also jeder Schweißnaht bzw. Kerbe – nur auf die effektiv in dieser Ebene wirksame Spannung bezogen werden muß und somit keinesfalls automatisch der niedrigste Kerbfall für das ganze Bauwerk gilt.

Jedem Schweißdetail wird, unter Beachtung der Schweißnahtart mit Hilfe des Kerbfallkatalogs die zugehörige Kerbfallklasse zugewiesen.

Die zulässige Spannungsschwingbreite  $\Delta\sigma_R$  errechnet sich, mit Hilfe der gemäß



Vorgabe dieser Norm ermittelten Zahl der Lastwechsel, aus der zugehörigen vereinfachten Wöhlerlinie (Bild 12). Die vorhandene Spannungsschwingbreite muß unterhalb der zulässigen liegen.

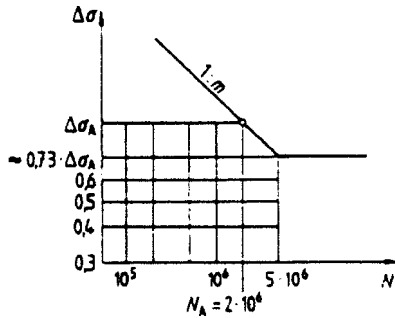


Bild 12. Vereinfachte Wöhlerlinie

Die angegebenen Festigkeiten gelten für Bauteile mit Blechdicken bis zu 25 mm. Bei größeren Blechdicken ist bei Stumpf- und Kehlnähten, die quer zur Spannungsrichtung verlaufen, und Verbindungen von Teilen gleicher Blechdicke, mit der folgenden abgeminderten Betriebsfestigkeit  $d_{UR}^*$  zu rechnen:

$$\Delta \sigma_R^* = \Delta \sigma_R \cdot \left(\frac{25}{t}\right)^{1/4}$$

Für Schrauben unter zentrischer Zugbeanspruchung gilt die Kerbfallklasse 36.

Wird statt einer Korrosionsschutzmaßnahme ein Zuschlag zur Blechdicke gewählt, gilt unabhängig von der Zuordnung zu einem Kerbfall die Kerbfallklasse 36. Sind die zu untersuchenden Bauteile ständig oder über längere Zeiträume höheren Temperaturen ausgesetzt, sind die angegebenen Betriebsfestigkeiten zu mindern.

Diese vorstehende Regelung ist besonders wichtig für den Einsatz von wetterfesten Baustählen, die hiernach nur mit der Kerbfallklasse 36 in die Berechnung eingesetzt werden dürfen. Damit ist die Verwendung von Wt-Stählen uninteressant geworden.

8.1.2 Fundamenteinbauten und Fußkonstruktionen

Fundament mit Einbauten

Das erforderliche Betonfundament wird gemäß Statik und Bewehrungsplan in der Regel bauseits erstellt. Die Ankerbolzen werden hierzu rechtzeitig vorab geliefert und mittels Einbauschablone nach ausführlicher Anleitung in die Schalung eingebaut (Bild 13).

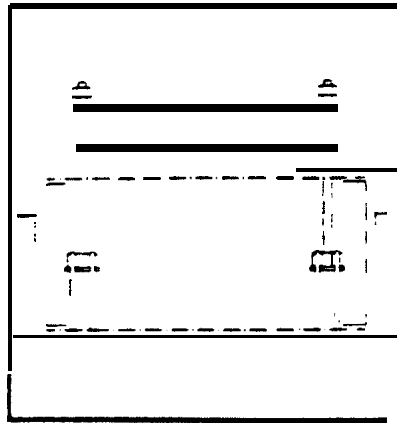


Bild 13. Fundament mit Ankerbolzen

Fußkonstruktion

Der umlaufende Ringkasten der Fußkonstruktion besteht aus einer ringförmigen unteren Fußplatte, einem oberen Aussteifungsring, dazwischenliegenden allseitig verschweißten gabelten Stegen und einem umlaufenden senkrechten Außenblech (Bild 14).

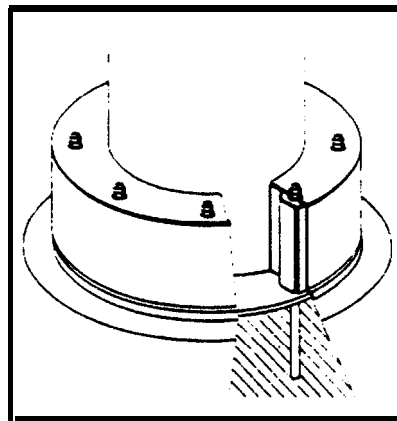


Bild 14. Fußkonstruktion

Aus den Bolzen werden die einzuleitenden Kräfte kerbfallgünstig über die senkrechten Nähte der Stege ins Tragrohr geleitet, und Materialbeanspruchung in Blechdickenrichtung wird vermieden. Die glatte Oberfläche des Ringkastens bietet wenig Korrosionsgriffpunkte.

Schornsteinmontage

Entfernung der Einbauschablone und Aufsetzen der maßgleichen Fußkonstruktion (Bild 14). Hierbei werden Ankerbolzen durch die Bolzenkammern des Ringkastens geführt, mit den unteren Muttern justiert und den oberen Doppelmuttern verschraubt und gekontert. Verfüllung der Bolzenkammer,

um Langzeitkorrosion zu vermeiden, nach der Montage. Nach dem Untergießen wird unterhalb der Fußplatte umlaufend eine etwa 1 bis 2 cm breite Fuge zwischen Platte und Beton hergestellt, die nach Abbindung des Beton dauerelastisch abzudichten ist (Bild 15).

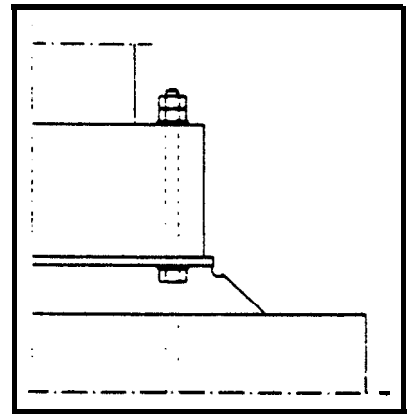


Bild 15. Verguß mit Fugenausbildung

8.1.3 Anschnittkonstruktion

Anschnitte und Öffnungen

Seitlich aufgesetzte knicksichere Stege ersetzen den ausgeschnittenen

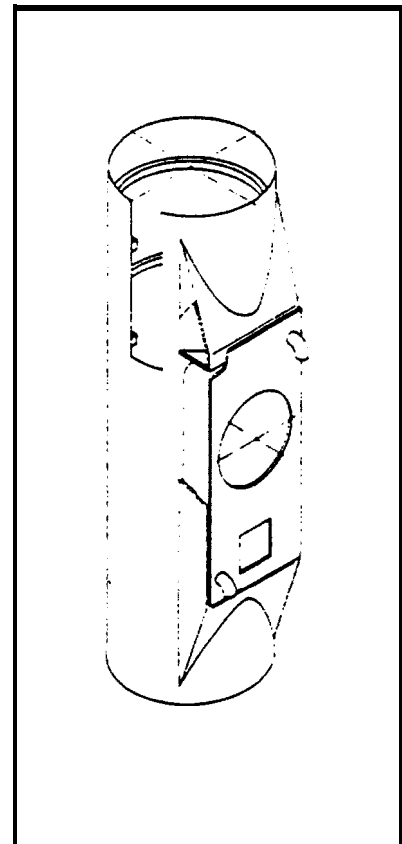


Bild 16. Anschnittverstärkung

Tragrohrbereich. Die Voranbindungen der Stege in der Länge einer Öffnungsweite leiten die Kräfte sicher in den ungestörten Rohrbereich ein, wobei zum Abbau der Spannungsspitzen Ringspannen angeordnet sind. Das aussteifende Deckblech beinhaltet neben den Öffnungen der Innenrohrdurchtritte die Krümmer zur Belüftung des Ringspaltes (Bild 16).

8.1.4 Flanschverbindungen

Flanschverbindungen

Je nach erforderlicher Funktion wird nach drei Flanschverbindungen unterschieden (Bild 17):

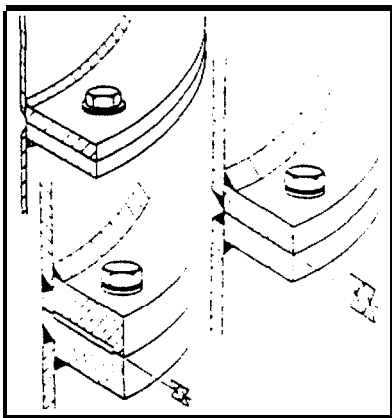


Bild 17. Flanschverbindungen

- Flachstahlringe zur Verbindung nichttragender Rohrstöße. ähnlich DIN 24 154
- HV-Flansche mit plangedrehter Kontaktfläche zur Verbindung tragender Rohrstöße mit geringer bis mittlerer Beanspruchung
- HV-Flansche mit zwei bearbeiteten Kontaktflächen und dazwischenliegendem Rücksprung zur Verbindung tragender Rohrstöße mit hoher Beanspruchung.

Zwischen den Flanschen können gegebenenfalls Dichtungen angeordnet werden.

8.1.5 Schwingungsdämpfung

Da nicht für jeden Schornstein im Vorfeld bei der Auslegung bereits eine komplette exakte statische und dynamische Berechnung vorliegt, kann sich der Praktiker im Vorfeld mit einer empirischen Kurve (die sicherlich mit Vorbehalt und größter Vorsicht anzuwenden ist) ein Bild darüber machen, ob statische oder dynamische Belastungen für die Auslegung entscheidend sein werden und bzw. ob mit schwingungsdämpfenden Maßnahmen gerechnet werden muß (Bild 18).

Unter der Vielzahl möglicher Dämpfungsmalnahmen haben sich in der Praxis zwei Möglichkeiten bewährt:

- Skrutonwendeln
- dynamische Schwingungsdämpfer.

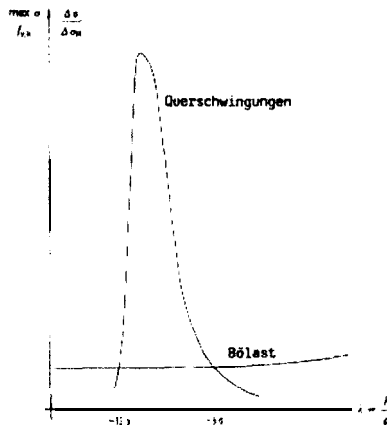


Bild 16. Maßgebende Belastung ohne Schwingungsdämpfung

8.1.5.1 Wendeln

Wendeln, dreigängig mit einer Steigung von ca. 4.5 bis 5 x *d* und einer Wendelhöhe von ca. 0.10 bis 0,12 x *d*, verringern die Anregung zur Querschwingung, erhöhen aber, durch vergrößerte Windangriffsfläche und ungünstigen *C<sub>p</sub>-Wert*, gleichzeitig die statische Last um annähernd 100%. Sie haben somit eine wesentliche Verstärkung der Fußkonstruktion, der Außenrohrwandung der Anschnittverstärkung und des Fundamentes zur Folge (Bild 19).

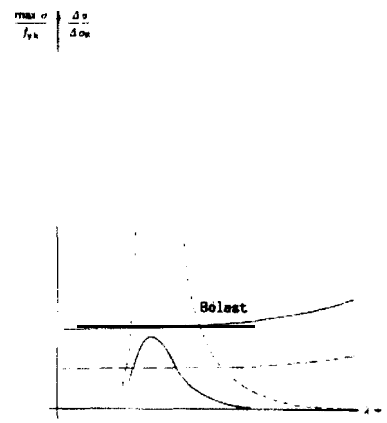


Bild 19. Maßgebende Belastung bei Wendelanordnung

Aus diesem Grund kann man eigentlich für die Praxis davon ausgehen, daß Wendeln nur für kleinere Schornsteine, bei denen die Lasterhöhung wirtschaftlich keine allzu große Rolle spielt, ratsam sind.

8.1.5.2 Dynamische Schwingungsdämpfer

Der dynamische Schwingungsdämpfer – hier werden unterschiedliche, bewährte Systeme am Markt angeboten – wirkt als Schwingungstilger (Gegenschwinger) oder als energieverzehrendes Element, bei dem die Energie in Wärme umgesetzt wird (Bild 20).

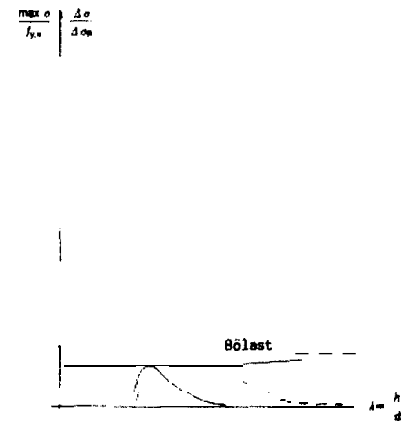


Bild 20. Maßgebende Belastung bei Dämpferanordnung

8.2 Innenrohr mit Konstruktionsdetails

8.2.1 Rohr

Bei der konstruktiven Gestaltung der Innenröhre gilt sinngemäß das gleiche wie beim Außenrohr. Zusätzlich ist jedoch sicherzustellen, daß Innenröhren gasdicht sind. Aus diesem Grund sollten eventuelle Stöße nach Möglichkeit immer nach der Montage von innen dichtgeschweißt werden.

8.2.2 Führungskonstruktion

Abgasführende Rohre müssen in ausreichenden Abständen zwangungsfrei geführt werden. Der Rollenkranz stützt Innenrohre sicher nach außen bzw. in Führungsbuchsen ab. Die Doppelingkonstruktion mit den Rollenkäfigen wird über tangential eingeschweißte Blechstege am Rohr verschraubt, so daß eine unbehinderte radiale und vertikale Dehnung des Innenrohres erfolgen kann, ohne Achsabstandsveränderungen der Führungsrollen. Zur Vermeidung von Kältebrücken liegt die komplette Konstruktion innerhalb der Wärmedämmung (Bild 21).

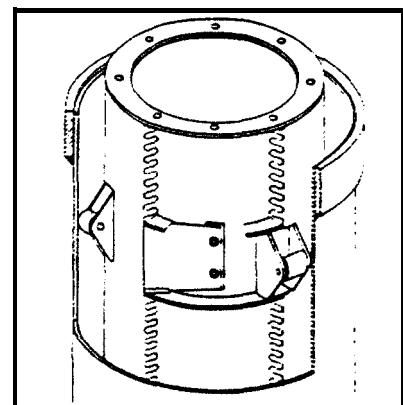


Bild 21. Führungskonstruktion

### 8.23 Anschnittstutzen

Im Gegensatz zum Anschnittstutzen am Außenrohr ist die Rauchgaseinführung ins Innenrohr nicht tragend. Daher empfiehlt sich eine etwas einfachere Konstruktion, bei der die strömungstechnischen Gesichtspunkte und die einwandfreie Dämmungsmöglichkeit im Vordergrund stehen (Bild 22).

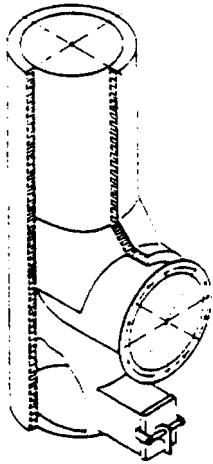


Bild 22 Innenrohranschnitt

Strömungsgünstige Anschlußformstücke und Reinigungsöffnungen werden dicht eingeschweißt, entsprechend nachbehandelt und geschwächte Öffnungsbereiche durch Verstärkleisten ausreichend verstärkt.

Der untere Schrägboden leitet das Kondensat sicher zum Ablaufstutzen, der unterhalb der Reinigungsöffnung nach außen geführt ist.

An den aus dem Tragrohr herausragenden Rohrstützen schließen sich die Verbindungsleitungen mittels Kompensator an.

### 8.24 Überkragende Mündungshaube

Die Kopfkonstruktion bildet den oberen Schornsteinabschluß und erfüllt mehrere Funktionen:

- sichere Abdichtung des Ringspaltes zwischen innen- und Tragrohr
- zwängungsfreie Dehnungskompensation
- Auslaßöffnung der durch Thermik erzeugten Belüftung des Ringspaltes
- korrosionsfeste Ausbildung des kritischen Mündungsbereiches
- untere Abrißkante der herunterziehenden Abgasfahne.

Bei annähernd gleichem Aussehen werden die Mündungsabschlüsse aller vorkommender Bauformen entsprechend ausgebildet und zusätzlich doppelt säurefest schwarz beschichtet (Bild 23).

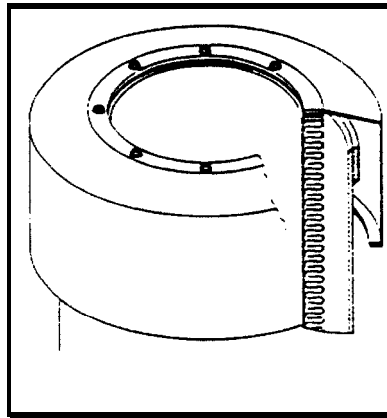


Bild 23. Mündungshaube

## 9 Beispiele

Wie schon in der Einleitung gesagt, erhält der Stahlschornstein auf Grund seiner vielfältigen Konzeptions- und definierten Einsatzmöglichkeiten oftmals bei annähernd gleichen geometrischen äußeren Abmessungen völlig unterschiedliche Konstruktionen. Drei Beispiele sollen dies verdeutlichen:

### 1. Kraftwerkschornstein

Kraftwerkschornstein für Kohleverbrennung, Abgastemperatur ca. 160 °C, Dauerbetrieb, drei bis sechs An- bzw. Abfahrtzyklen pro Jahr.

### 2. Kesselhausschornstein

Kesselhausschornstein für Heizöl EL oder Erdgasverbrennung, Abgastemperatur 130 bzw. 80 °C, intermittierender Betrieb, d. h. ständiges An- und Abfahren der Anlage je nach Wärmeabnahme bei ein- oder zweischichtigem Betrieb.

### 3. Brüdenschornstein

Brüdenschornstein für eine Zuckerfabrik, Abgastemperatur ca. 65 °C, hundertprozentig gesättigtes Abgas, CO<sub>2</sub>-haltig, Campagnebetrieb.

Alle drei Beispiele sollen gleiche äußere Abmessungen haben, Innenrohrdurchmesser 2,2 m, Außenrohrdurchmesser 2,5 m, Mündungshöhe 60 m.

Diese Dimension entspricht einer mittleren Baugröße und ist dabei deutlich im schwingungsgefährdeten Bereich, so daß davon ausgegangen werden kann, daß der Dauerfestigkeitsnachweis für die Bemessung maßgeblich wird, wie aus dem Diagramm zu entnehmen ist. Als Schwingungsdämpfungsmaßnahme wird ein dynamischer Dämpfer vorgesehen, weil auf Grund der Abmessung Wendeln unwirtschaftlich wären.

Es stehen zwei Bauformen zur Auswahl:

- der einwandige Schornstein, bei dem das statisch tragende gleichzeitig das abgasführende Element

ist, Ausführung mit oder ohne äußere Wärmedämmung.

- der doppelwandige Schornstein, bei dem das statisch tragende vom abgasführenden Element getrennt ist.

### 9.1 Kraftwerkschornstein

Bei dem im Dauerbetrieb betriebenen Kraftwerkschornstein nach Kohleverbrennung bietet sich an, das abgasführende Element aus St 37-2 herzustellen, weil bei den genannten 160 °C und Dauerbetrieb praktisch keine Gefahr der Taupunktunterschreitung gegeben ist. Die gasförmig vorliegenden relevanten Schadstoffe, wie z. B. SO<sub>2</sub> und gegebenenfalls auch HCl, werden erst unterhalb des Säuretaupunktes, der bei dieser Feuerungsart ungefähr bei 135 bis 140 °C liegen dürfte, nach entsprechender Kondensation problematisch.

Lediglich die Temperaturminderung der Spannung für 160 °C erhöht entsprechend die Wanddicke des Tragrohres.

Eine sorgfältig strukturfest und dicht aufgebrachte Wärmedämmung gewährleistet eine gleichbleibende Wandtemperatur und verhindert somit die Korrosionsgefahr.

Ausführungsvorschlag

Einwandig mit Außenisolierung gemäß (Bild 24).

### 9.2 Kesselhausschornstein

Hier ist nun nicht nur der Brennstoff variabel, sondern durch den möglicherweise einschichtigen Betrieb und die intermittierende Fahrweise mit ständiger An- und Abfahren ist mit Kondensation zu rechnen.

Kondensierendes Abgas enthält mindestens SO<sub>2</sub> und SO, und gegebenenfalls auch noch andere Schadstoffe. Als abgasführendes Element bietet sich daher ein Chrom-Nickelstahl an, der, um gegen die genannten Schadstoffe beständig zu sein, molybdänhaltig sein sollte (siehe Tabelle 6 DIN 4133 als Auswahlkriterium). Sofern die genannten Parameter eingehalten werden, bedarf der nach dieser Tabelle ausgewählte Werkstoff keiner weiteren Brauchbarkeitsnachweise.

Um nicht die äußeren Kräfte über eine einwandige Konstruktion (hier aus relativ teurem Material) aufnehmen zu müssen, trennt man das statisch tragende vom abgasführenden Element und kann somit auf jegliche Überdimensionierung als Korrosionsschutz verzichten. Eine Dämmung empfiehlt sich aber trotzdem. Das Außenrohr sollte ca. 300 mm im Durchmesser größer sein als das Innenrohr, um bei rich-



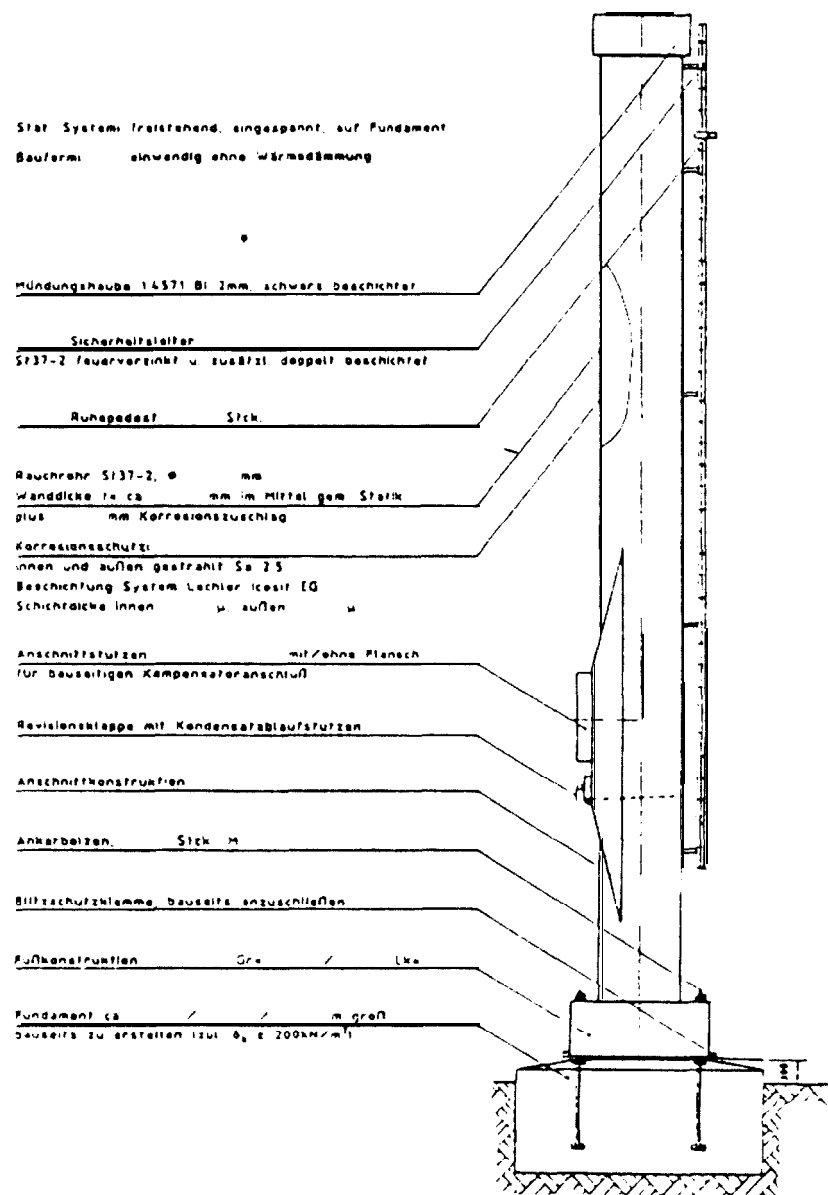


Bild 24. Ausführungsvorschlag Kraftwerkschornstein

tiger Hinterlüftung ein sicheres Austrocknen der Dämmung aus den genannten Gründen zu gewährleisten.

Das innen und außen beschichtete Tragrohr hat nunmehr nur noch die statische Funktion, darüber hinaus dient es zur Führung und zur Halterung des Innenrohres, welches in Rollenkränzen geführt wird (Bild 25).

### 9.3 Brüdenschornstein

Hier soll auf eine Problemstellung, die immer breiteren Raum einnimmt, eingegangen werden.

Doppelwandige Konstruktion, innen und außen Chrom-Nickelstahl, für die Ableitung von wasserdampfgesättigter

Abluft mit Restgehalten an SO<sub>2</sub> und HCl usw. gemäß TA Luft

Es wird davon ausgegangen, daß es sich um 65 °C 100 % gesättigtes Abgas handelt, so wie es bei REAs oft der Fall ist, und daß ohne Wiedererwärmung des Abgases ein Ausregnen der Abgasfahne verhindert werden soll.

Die Materialwahl kann auch hier wieder nach Tabelle 6 gemäß DIN 4 133 vorgenommen werden, sofern die Grenzwerte eingehalten sind.

Pro Kilo Abgas fällt bei Absenkung der Temperatur von 65 auf 64 °C (nur um 1 Grad) bei 100 % Sättigung etwa 10g Wasser pro Kilo Abgas aus. Das bedeutet bei der angenommenen Dimensionierung mehr als 1 Kubikmeter Wasser pro Stunde. Das Außenrohr würde in

etwa die gleiche Konstruktion wie bei Beispiel 2 erhalten, jedoch komplett aus Edelstahl.

Das Innenrohr erhält entweder einen tangentialen Eintrittsstutzen oder einen oberhalb des Einschnittes angebaute Sator, der die komplette Abgasmenge innerhalb des Innenrohres in eine rotierende Bewegung versetzt (Bild 26).

Gegenläufig zur Rotationsrichtung sind im Innenrohr Ausstanzungen vorgesehen, durch die ein kleiner Teil des Abgases in den Kreisring zwischen Innen- und Außenrohr gelangt, um dort – an der kalten Innenseite des Außenrohres – planmäßig zu kondensieren

Die freiwerdende Kondensationswärme hält das Innenrohr auf Gastempera-

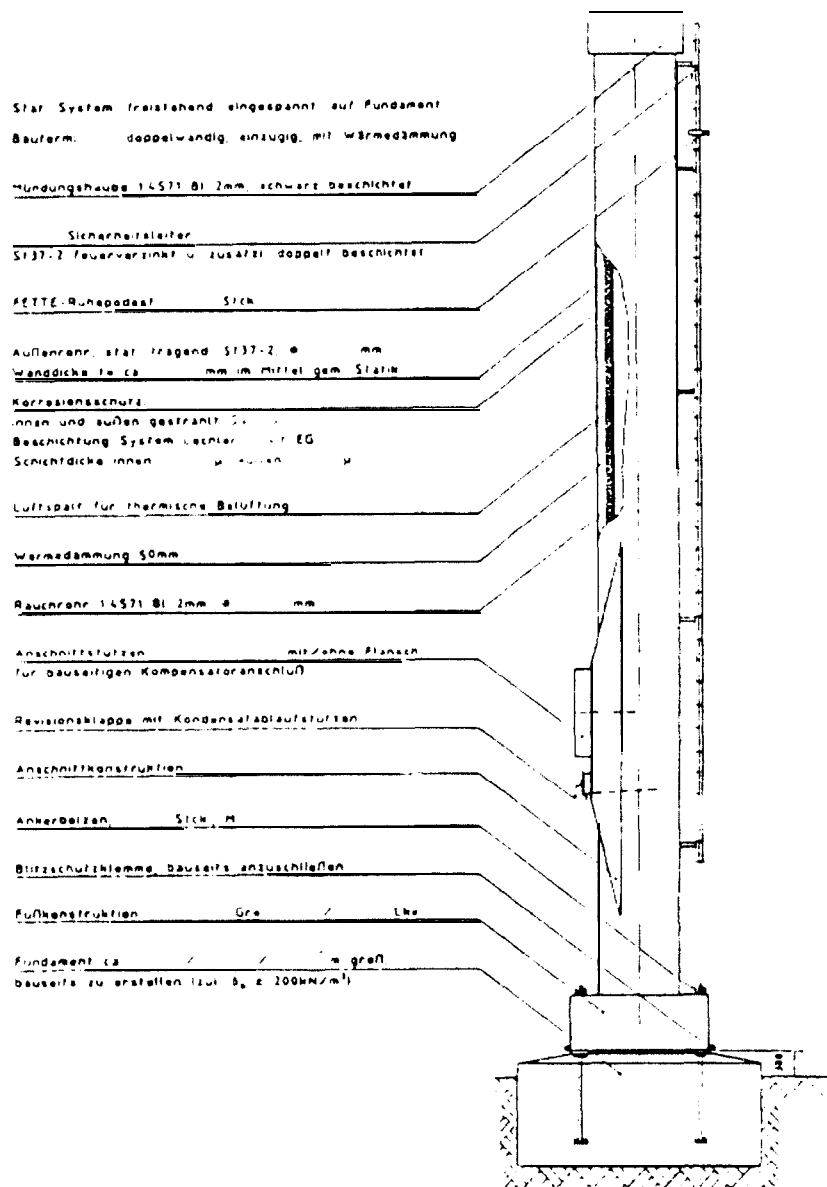


Bild 25. Ausführungsvorschlag Kesselhausschornstein

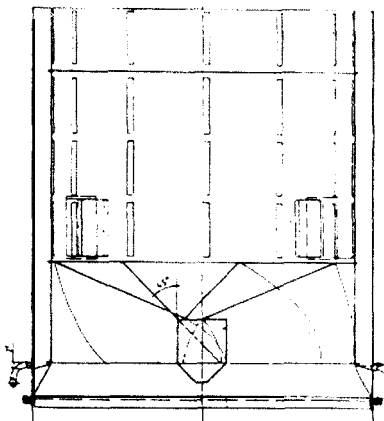


Bild 26. Ausführungsdetail Schornstein

tur und somit trocken. Gleichzeitig entsteht im Kreisring durch die Rotation der Abgassäule ein geringer Überdruck, der sich nach oben abbaut, indem es zu einem geringen Austausch des teilkondensierten mit dem nicht kondensierten Gas kommt.

Dies hat zur Folge, daß bei annähernd konstant bleibender Rauchgastemperatur eine geringe Absenkung der relativen Feuchte eintritt, in etwa der gleiche Effekt, als wenn die gesamte Abgasmenge geringfügig aufgeheizt würde. Es ist an der Schornsteinmündung zwar die weiße Abgasfahne sichtbar, aber ein Ausregnen durch Nachkondensation wird jedoch sicher verhindert.

Diese drei ausgewählten Konstruktionen bzw. Problemstellungen zeigen beispielhaft, wie exakt und zielgerichtet die spezielle Auslegung eines Stahlschornsteines möglich ist und welche Funktion ein Schornstein in der Lage ist zu übernehmen. Er wird damit vom einfachen Ableitungselement von Schadgasen zur aktiven Anlagenkomponente.

Dies sowohl unter wirtschaftlichen Aspekten als auch im Hinblick auf eine mögliche, einfache, schnelle und problemlose Demontage, denn man hat sich ja schon daran gewöhnt, daß die Ewigkeiten, für die man gewohnt ist zu bauen, teilweise sehr kurz geworden sind.