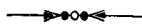


Heiztechnische und hygienische Untersuchungen an Einzelöfen u. Kleinwohnungen



Von der
Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich
zur Erlangung der Würde eines Doktors
der technischen Wissenschaften
genehmigte
Promotionsarbeit

Vorgelegt von
Otto F. Vetter, Dipl. Ing.-Chemiker
aus **Entlebuch**, Luzern

No. 321

Referent: Herr Prof. Dr. Bosshard.
Korreferent: Herr Prof. Dr. von Gonzenbach.

**Meinen lieben Eltern
in Dankbarkeit gewidmet.**

Vorliegende Arbeit wurde im Herbst 1921 begonnen und Ende Oktober 1922 zu Ende geführt. Die experimentellen Untersuchungen wurden teilweise in den städtischen Häusern an der Wibichstraße, Zürich-Wipkingen, teilweise in den Laboratorien der Eidgenössischen Prüfungsanstalt für Brennstoffe durchgeführt.

Herrn Dr. P. SCHLÄPFER

Direktor der Eidg. Prüfungsanstalt für Brennstoffe,
der die Arbeit anregte und leitete, und der mir in liebenswürdiger Weise seine Laboratorien zur Verfügung stellte, möchte ich an dieser Stelle meinen wärmsten Dank aussprechen.

Ferner möchte ich nicht unterlassen, den *Behörden der Stadt Zürich*, die es ermöglichten, die Versuche an Kleinwohnungen durchzuführen, und dem ehemaligen städt. Heizungsingenieur, Herrn *H. Lier*, der mir wertvolle Anregungen zukommen ließ, ebenfalls zu danken.

Zürich, im Oktober 1922.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
<i>Einleitung</i>	5
<i>Allgemeine Beschreibung der Wohnkolonie an der Wibichstraße</i>	6
A. Vergleichende Untersuchungen an Heizeinrichtungen	9
I. Feuerungstechnische Untersuchungen	9
1. Beschreibung der Oefen	9
2. Zweck der Versuche	12
3. Messungen und Analysen	14
a) Probenahme und Analyse der Brennstoffe	15
b) Verluste der Feuerungsrückstände	16
c) Bestimmung der Verluste an fühlbarer Wärme	16
d) Bestimmung der Luftüberschußzahl	17
e) Verluste an unverbrannten Gasen	17
f) Bestimmung der Rauchgasmenge	18
a) Analyse der Rauchgase	18
β) Messung der Rauchgastemperatur	19
γ) Messung des Zuges	20
II. Heiztechnische Untersuchungen	20
1. Messung der Oberflächentemperatur	20
2. Messung der Raumtemperatur	21
III. Protokolle über die durchgeführten Versuche	22
1. Selbst durchgeführte Versuche	22
2. Von den Bewohnern durchgeführte Versuche	42
IV. Besprechung der erhaltenen Versuchsergebnisse	46
B. Untersuchungen über den Einfluß der Wandkonstruktion auf die Wärmeökonomie der untersuchten Kleinwohnungen	50
I. Einleitung	50
II. Beschreibung der ausgeführten Versuche	55
1. Temperaturmessungen an Mauern	56
a) Temperaturmessungen auf der Maueroberfläche	56
b) Messung der Temperatur in den Mauern	57
III. Besprechung der Versuchsergebnisse	57
1. Temperaturgang in den Mauern	57
2. Vergleich mit der Wärmeleitzahl	59
3. Wärmeverluste im Versuchsraum durch die Mauern	60
4. Die Krellsche Abkühlungszahl	66
C. Hygienische Untersuchungen an Kleinwohnungen	68
1. Einleitung	68
2. Ausführung der Versuche	68
a) Bestimmung des Kohlensäuregehaltes der Raumluft	68
b) Nachprüfung der Bestimmungsmethode der Luftkohlendensäure	69
c) Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes der Raumluft	70
3. Beschreibung der ausgeführten Versuche	70
a) Kohlensäure- und Feuchtigkeitsbestimmungen	70
a) In den Schlafzimmern	70
β) In den Küchen	70
γ) In den Wohnräumen	73
4. Zusammenfassung	75
D. Zusammenfassung	79

Einleitung.

Die während des Weltkrieges eingetretene Brennstoffknappheit und die starke Preissteigerung leitete die Aufmerksamkeit zahlreicher Techniker und Volkswirtschaftler auch wieder auf die häusliche Wärmewirtschaft, da man erkannte, daß es hinsichtlich der Wärmeökonomie auf diesem Gebiete, besonders im Kleinwohnungsbau noch viel zu verbessern gäbe. Die durchgeführten Arbeiten und die gemachten Verbesserungsvorschläge beziehen sich hauptsächlich auf das Studium von wärmesparenden Bauweisen einerseits, und verschiedener Heizungseinrichtungen anderseits. In zahlreichen Abhandlungen wurden die einschlägigen Fragen teils auf Grund durchgeführter neuerer Untersuchungen, teils unter Anlehnung an die bestehende Literatur besprochen, ohne aber eine vollständige Abklärung dieses Fragenkomplexes zu bringen.

Auch das Heizamt der Stadt Zürich wendete den wärmesparenden Bauweisen und der Wärmeerzeugung in Kleinwohnungen seine Aufmerksamkeit zu. Durch eine Volksabstimmung wurde es möglich, eine Gruppe von vier kleinen Einfamilienhäusern, bei welchen verschiedene Bauweisen und auch verschiedene Öfen verwendet wurden, zu erstellen. Im Einvernehmen mit der Direktion der Eidg. Prüfungsanstalt für Brennstoffe war schon im Jahre 1919 geplant, an diesen Häusern eine Reihe von feuerungstechnischen, wärmetechnischen und hygienischen Untersuchungen vorzunehmen. Es wurden deshalb mit den Bewohnern Mietverträge abgeschlossen, die es gestatteten, derartige Versuche zur gewünschten Zeit vorzunehmen. Die Versuche konnten allerdings der Witterungseinflüsse wegen erst im Winter 1921/22 durchgeführt werden. Sie zerfallen in drei Hauptgruppen, nämlich in:

1. Feuerungs- und heiztechnische Untersuchungen an den verschiedenen aufgestellten Kachelofensystemen,
2. Studien über den Einfluss der Wandkonstruktion auf die Wärmeökonomie der Wohnräume,
3. Untersuchungen über den Kohlensäure- und Wasserdampfgehalt in kleinen Wohnräumen und Kleinküchen.

Die experimentelle Durchführung dieser Versuche wurde von Herrn *Direktor Dr. Schläpfer* mir übertragen, und ich berichte nachstehend über die dabei erhaltenen Resultate. Sie erweitern die Kenntnisse über die Wärmewirtschaft in Kleinwohnungen.

Allgemeine Beschreibung der Wohnkolonie an der Wibichstraße, Zürich 6.

Bei der nachstehenden Beschreibung folge ich im wesentlichen den Angaben im „Gemeinnützigen Wohnungsbau“, Jahrgang 1922, Heft 8.

Die an der Wibichstraße Zürich-Wipkingen gelegenen, aneinandergebauten vier Einfamilienhäuser sind mit den Straßenfassaden nach Südosten orientiert. Beiliegende



Abb. 1

Photographien Abb. 1 und 2 geben die Ansicht, die Planskizze Abb. 3 die Grundrisse der verschiedenen Stockwerke wieder.

Die vier Häuser sind in einem Block gebaut, wobei die Eckhäuser je 3, die beiden innern Häuser je 3 Zimmer und eine Mansarde enthalten. Die äußere Abmessung der einzelnen Häuser beträgt je 5,2 m in der Länge und 8,7 m in der Tiefe. Die Geschoßhöhen betragen im Lichten gemessen im Keller 2 m, im Erdgeschoß 2,4 m und im obern Stockwerk 2,3 m.

Im Erdgeschoß eines jeden Hauses befindet sich die Küche mit rund 12 qm Bodenfläche und das Wohnzimmer mit 18 qm; dieses diente als Versuchsraum. Im Obergeschoß sind die 2 Schlafzimmer mit 12, resp. 18 qm und der Abort. Darüber befindet sich eine Winde und bei den beiden mittleren Häusern je eine Mansarde. Im Kellergeschoß ist die Waschküche und der Kellerraum.

Der Haupteingang der Häuser ist an der Wibichstraße gelegen. Ueberdies besitzen die beiden mittleren Häuser noch einen Eingang von der westlichen Gartenseite direkt in die Wohnzimmer.

Die Fundamente bestehen aus Schlackenzementbeton (Mischung 1:15), die 40 cm starken Kellerumfassungsmauern aus Portlandzementbeton (Mischung 1:12). Die Brandmauern im Erdgeschoß und ersten Stockwerk sind 25 cm stark in Backstein, im Dach-

stock 15 cm stark in Kalksandstein ausgeführt. Die Zwischenwände sind im Keller teils 12 cm stark in Kalksandstein, teils 6 cm stark in Schlackensteinen erstellt worden. Als Tragwände dienen 12 cm starke Backsteinmauern. Nichttragende Zwischenwände bestehen aus 6 cm gelochten Schlackensteinen. Neben der Billigkeit haben sie den Vorteil, dass sie rasch austrocknen. Für die Umfassungsmauern wurden die in Abb. 4 dargestellten vier Bauweisen verwendet.

Haus Nr. I:

Wibichstr. 5: 25 cm starke Backsteinmauern mit wechselseitig vermauerten Hohlsteinen, außen und innen je 2 cm Putz, zusammen 35 cm dick.

Haus Nr. II:

Wibichstr. 7: Außen 12 cm Kalksandstein, innen 15 cm poröse Backsteine, die Hohlräume von 5 bis 6 cm ausgefüllt mit trockenen eingestampften Schlacken. Innen und außen je 2 cm Putz: zusammen 32 cm stark.

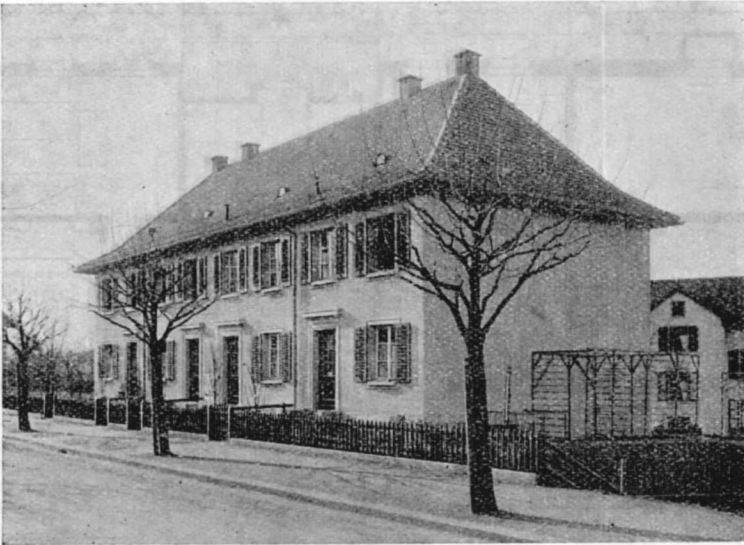


Abb. 2

Haus Nr. III:

Wibichstr. 9: Aussen 12 cm, innen 15 cm längsgelochte Schlackensteine, je nach 2 Schichten ein Binder. Innen gestampfte Schlacke. Innen und außen je 2 cm Putz; zusammen 33 cm dick.

Haus Nr. IV:

Wibichstr. 11: Außen 25 cm Backsteine, innen 6 cm längsgelochte Schlackensteine. Innen und aussen je 2 cm Putz; zusammen 32 cm stark.

Die Preise der Mauern beliefen sich im Jahr 1919 pro m³ bei den einzelnen Häusern wie folgt:

Haus Nr. I:	Fr. 107.50 pro m ³
Haus Nr. II:	„ 100.— „
Haus Nr. III:	„ 98.— „
Haus Nr. IV:	„ 105.— „

Die Bauweise bei Haus I kam also am teuersten zu stehen und erwies sich beim Bau noch als umständlich, weil die Höhe der Hohlsteine derjenigen von zwei Backsteinen mit Fuge nicht ganz entspricht. Inbezug auf die Erstellungszeiten erwiesen sich die beiden letzten Bauweisen als die günstigsten. Zu bemerken ist, daß die Ausführung aus Schlackensand, die zur Steigerung des Wärmehaltvermögens bedeutend mitwirkt, den

Nachteil hat, daß sie bei feuchtem Wetter leicht Wasser anzieht und nachträglich das Austrocknen der Mauern erschwert.

Ueber dem Keller wurden bei Haus I und II je eine T-Balkendecke mit Hourdis, bei Haus III und IV eine armierte Betondecke erstellt. Ferner wurde der Versuch gemacht, die Außenwände und Dachschrägen mit Korkstein- resp. Torfoleumplatten zu verkleiden. Beide Produkte sind in Bezug auf Wärmehaltungsvermögen ungefähr gleichwertig. Tür- und Fensterverkleidungen bestehen aus Kunststein. Als Bedachung wurde ein Doppel-dach mit naturroten Ziegeln erstellt.

Als Bodenbelag für die Wohnzimmer wurden buchene Parketriemen mit Mittel-friesen verwendet, für die Schlafzimmer tannene Langriemen II. Qualität. In Haus II war der Fußboden in Wohn- und Schlafzimmer mit Linoleum belegt. Alle Fenster haben besondere Winterfenster, die während des ganzen Winters eingehängt waren. Haus I

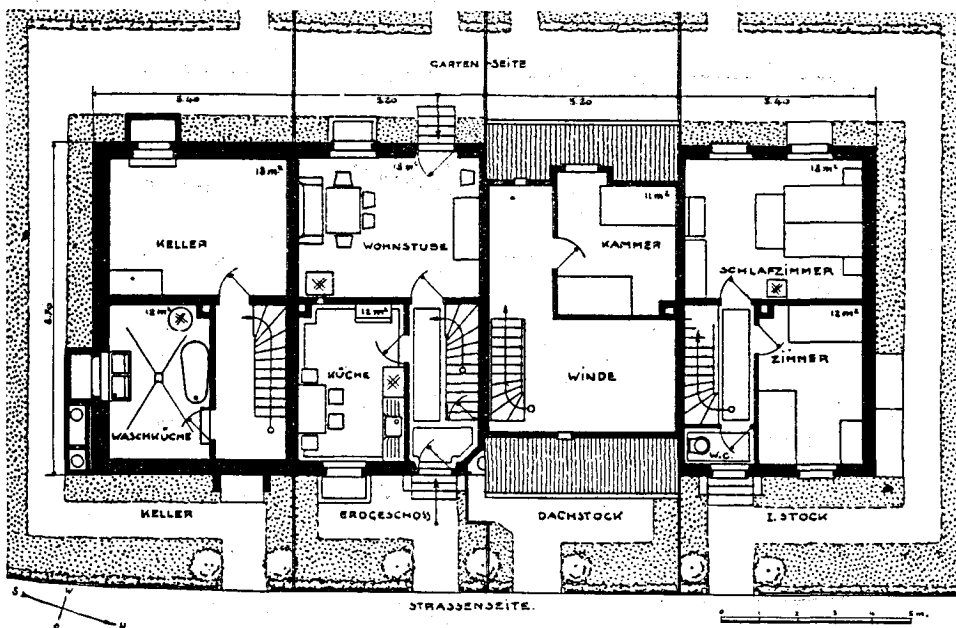


Abb. 3

und II besitzen in den Wohnzimmern 80 cm hohes Brusttäfel, Haus III und IV 120 cm hohes Leistentäfel, dessen Füllungen mit Rupfen bespannt wurde.

Die Wohnstuben besitzen je einen Kachelofen mit Einfeuerung von der Küche aus. Sie sind an der Ostwand aufgestellt, und zwar bei Haus I und IV je in der Mitte, bei Haus II und III in der Süd- resp. Nordecke der Wand. In den über den Küchen liegenden Schlafzimmern ist ferner ein kleiner Kachelofen aufgestellt, der aber während der Versuche nicht geheizt wurde und verschlossen war. Die Rauchgase werden in jedem Haus durch ein gemeinsames Kamin über Dach geführt.

Das Holzwerk innen ist teilweise mit Oelfarbe gestrichen, teilweise gebeizt. Die Wohn- und Schlafzimmer sind tapeziert, die Küchen mit Kalkfarbe, die Vorplätze mit Caseinfarbe und die Decken mit Blanc-fix gestrichen. Alle Räume besitzen elektrische Beleuchtung.

Die Baurechnung für den Häuserkomplex belief sich nach der Fertigstellung wie folgt:

Baukosten für die vier Häuser	Fr. 131,058.02
Umgebungsarbeiten	„ 3,953.15
Bauzinsen	„ 849.35
Landerwerb	„ 18,406.—
Zusammen	Fr. 154,266.52

Der umbaute Raum eines Eckhauses beträgt 384,50 m³, eines eingebauten Hauses 400,50 m³. Der Kubikmeterpreis nach Normen des S. I. A. stellt sich auf Fr. 77.60 für ein eingebautes Haus, und Fr. 82.87 für ein Eckhaus, oder durchschnittlich auf Gesamtkosten berechnet auf Fr. 98.25 pro m³. Bei 18 Wohnräumen, die Küchen inbegriffen, kommen die Erstellungskosten pro Raum auf Fr. 857.30 zu stehen.

Die Häuser machen in ihrer Einfachheit sowohl im Aeußern als auch im Innern einen bescheidenen, aber freundlichen Eindruck.

Die Versuche wurden in allen vier Fällen in den Wohnräumen der einzelnen Häuser vorgenommen.

Weitere Angaben über die Häuser siehe: „Schweiz. Bauzeitung“, Band 79 (1922), pag. 237.

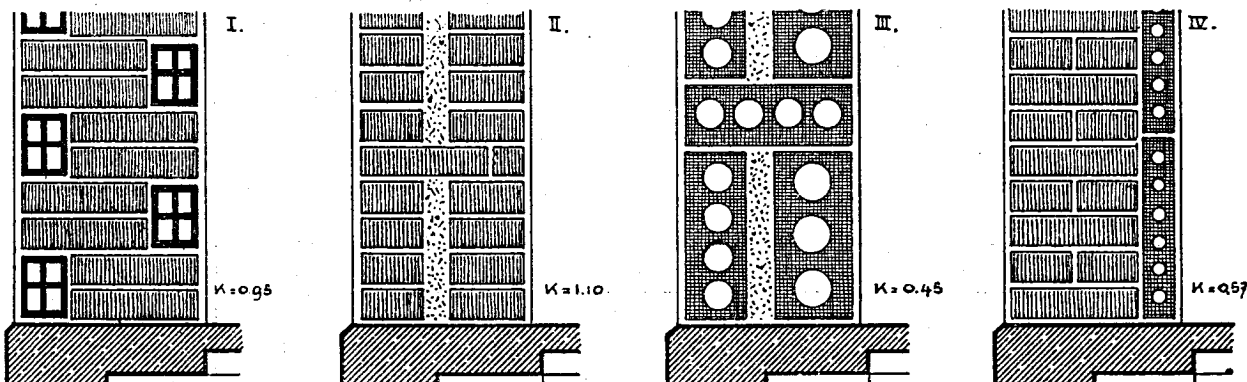


Abb. 4. Die bei den städtischen Musterhäusern an der Wibichstraße erprobten Außenmauer-Bauweisen.

- I. 25 cm Backsteinmauer mit wechselseitig vermauerten Hohlsteinen, zusammen 35 cm Stärke. (Preis 107,50 Fr./m³.)
- II. Außen 12 cm Kalksandstein, innen 15 cm poröse Backsteine, die Hohlräume von 5 bis 6 cm ausgefüllt mit trockenen, eingestampften Schlacken; zusammen 32 cm Stärke (Preis 100 Fr./m³.)
- III. Außen 12, innen 15 cm starke längsgelochte Schlackensteine. Nach je zwei Schichten ein Binder; zusammen 33 cm Stärke. (Preis 98 Fr./m³.)
- IV. Außen 25 cm Backsteine, innen 6 cm längsgelochte Schlackensteine; zusammen 32 cm Stärke. (Preis 105 Fr./m³.)

A. Vergleichende Untersuchungen an den Heizeinrichtungen.

I. Feuerungstechnische Untersuchungen.

1. Beschreibung der Ofen.

Das Heizamt der Stadt Zürich entschloß sich, in den Wohnräumen der vier Häuser Kachelöfen aufzustellen, die folgenden Bedingungen genügen mußten:

1. Für die Berechnung der Ofengröße ist pro m² Heizfläche des Ofens (wärmeabgebende Oberfläche des Ofens) eine mittlere Wärmeabgabe von 650 W. E. pro Stunde zugrunde zu legen.
2. Die vorgeschriebenen W.E./h. pro Ofen sind so zu bemessen, daß bei -18°C . Außentemperatur $+18^{\circ} \text{C}$. Innentemperatur erreicht werden können.
3. Auf eine einwandfreie und leicht durchführbare Reinigung sämtlicher Innenteile des Ofens ist ganz besonders Rücksicht zu nehmen.
4. Es ist inländisches Kachelmaterial und ebenso gusseiserne Gestelle und Garnituren, einfach und glatt konstruiert, sauber gearbeitet und geputzt zu offerieren. Es sind gute, dicht schließende Füll- und Aschenfalltüren zu verwenden. Die Ofen sind in glatter, hygienisch einwandfreier Form zu liefern.

Es wurden für die zwei Eckhäuser zwei verschiedene und für die beiden Innenhäuser ein dritter Ofentyp gewählt.

Alle drei Ofentypen sind Rahmenkachelöfen, die ein Kochrohr, das von der Küche aus, und ein Wärmerohr, das im Wohnraum bedient wird, besitzen. Die Beschickung der Öfen geschieht von der Küche aus. Die gesamte und die freie Rostfläche ist bei allen drei Typen gleich bemessen. Alle drei Öfen besitzen je eine Feuertüre zur Einfeuerung des Brennstoffes, eine Aschenfalltüre mit Luftregulierschraube und sind ferner mit gleichfarbigen grünen Kacheln verkleidet. In den Kochrohren ist je ein regulierbares Dampfabzugsloch angebracht. Die Abgase gelangen durch ein kurzes Rauchrohr in den Kamin. Die Öfen können mit Holz, Torf, Braunkohlenbrikettes, Koks und magern Steinkohlen beschickt werden. Um die Züge zu reinigen, besitzen die Öfen Russbüchsen. Hinsichtlich der äusseren Dimensionen, der Anordnung der Züge weichen die drei Systeme von einander ab.

In nachstehender Tabelle sind die Hauptabmessungen der Öfen zusammengestellt, währenddem aus den beiliegenden Zeichnungen und Ansichten Abb. 5 bis 7 die äusseren Formen und die innere Konstruktion leicht zu erkennen sind.

Tabelle 1. Ofenabmessungen.

Ofentypus	Nr.	1	2	3
Aufgestellt in Haus Wibichstraße		Nr. 5	Nr. 7 u. Nr. 9	Nr. 11
Grundfläche	in cm	60/52,2	35/45	70/55
	in cm ²	3132	1575	3850
Höhe	in cm	165	140	150
Rostfläche, gesamte	in cm	25/20	25/20	25/20
Anzahl Kacheln	Stück	37	23,5	54
Inhalt des Feuerraumes	in m ³	0,022	0,039	0,023
Anzahl der Züge		7	4	8

Aus den Abbildungen ist folgendes ersichtlich:

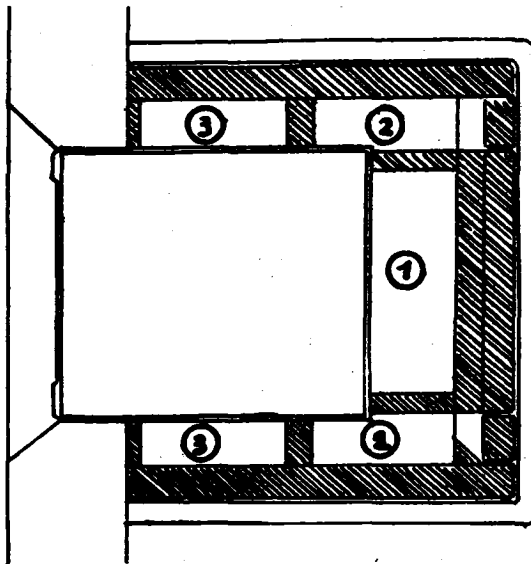
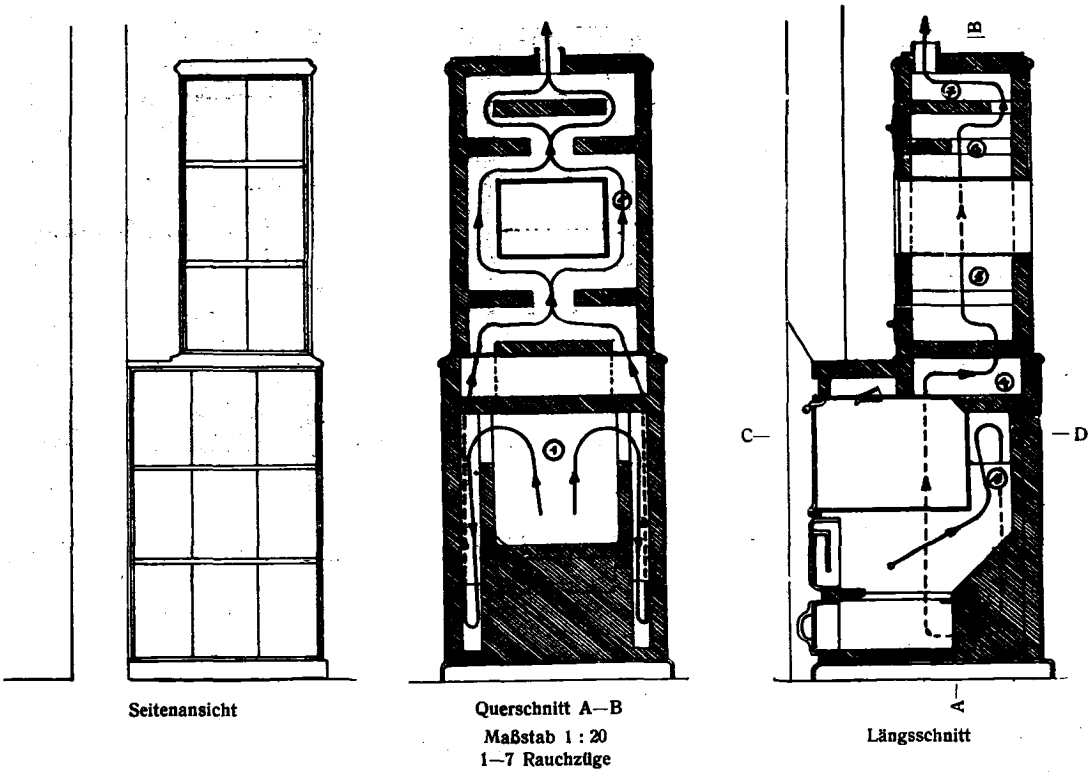
Ofentypus 1: Der Ofen besitzt eine große Grundfläche. Die Rauchgase steigen zunächst in einem ersten Zuge hinter dem Kochrohr hoch, werden in zwei seitlichen Sturzzügen (2) nach unten geführt, steigen seitlich in zwei dritten Zügen (3) in die Höhe und gelangen durch einen liegenden Zug (4) unter den Wärmeraum (5). Von hier werden sie seitlich durch einen letzten aufsteigenden Zug (6) geführt und gelangen durch einen liegenden Zug (7) in den Kamin.

Ofentypus 2: Die Grundfläche und Höhe des Ofens sind relativ klein. Die Rauchgase steigen aus dem sehr großen Feuerraum auf der Rückwand des Kochraumes in den ersten Zug (1) und von da in den liegenden Zug (2) über dem Wärmeraum. Von hier werden die Rauchgase nach hinten geführt und gelangen durch einen letzten liegenden Zug (3), an den Seitenflächen des Ofens angebracht, in den Kamin.

Ofentypus 3: Dieser Ofentypus besitzt weitaus die größte Grundfläche. Die Rauchgase steigen aus dem Feuerraum auf den Seiten des Ofens in zwei ersten Zügen hoch, werden über dem Kochrohr durch zwei seitliche Sturzzüge (2) nach unten geführt und gelangen wiederum seitlich durch zwei aufsteigende Züge (3) in den oberen Teil des Ofens. Sie werden nacheinander mittels Zungen durch einen liegenden (4), und einen stehenden (5) Zug, vorbei an den beiden Seiten des Wärmerohres geführt. Oberhalb des Wärmerohres gelangen die Gase nochmals in einen stehenden Zug (6), darauf in einen liegenden Zug (7) und gehen von da durch den letzten stehenden Zug (8) in den Kamin.

Abb. 5.

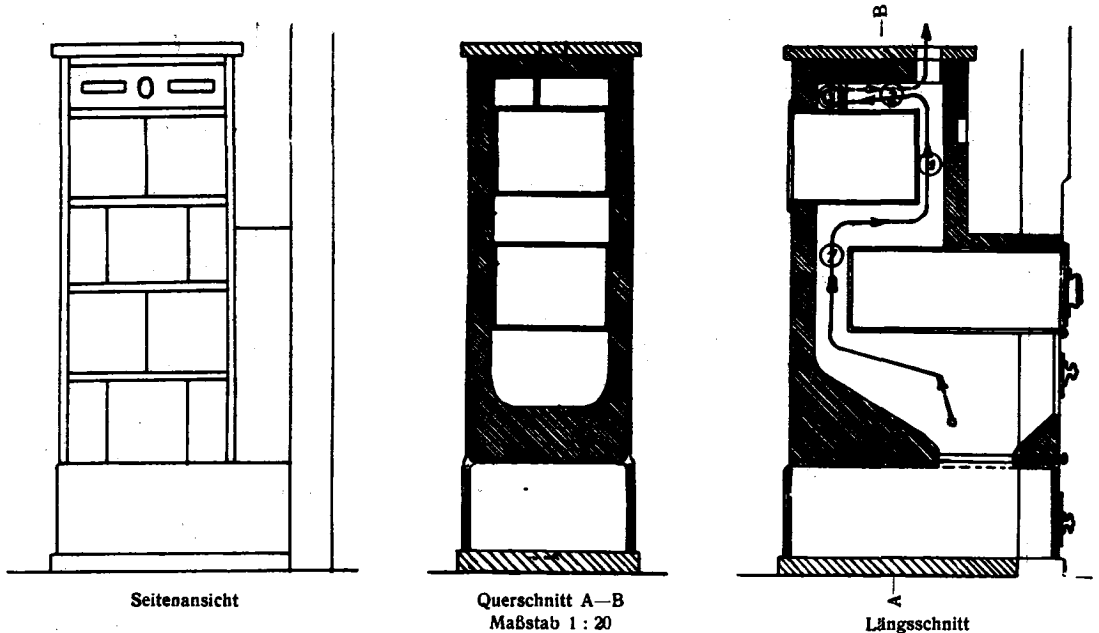
Kachel-Ofentyp 1. Haus Wibichstraße 5.



Schnitt C-D
Maßstab 1 : 10

Abb. 6.

Kachel-Ofentyp 2. Häuser Wibichstraße 7—9.



2. Zweck der Versuche.

Die an den drei verschiedenen Ofensystemen vorgenommenen Untersuchungen bezweckten, sie einer vergleichenden Prüfung in feuerungstechnischer und heiztechnischer Hinsicht zu unterziehen. Es wurde deshalb unter bestimmten gewählten Versuchsbedingungen der feuerungstechnische Nutzeffekt der Ofen bestimmt und zugleich eine Reihe von weiteren Prüfungen vorgenommen, wie Messung der Temperaturverteilung auf der Ofenoberfläche, der Temperaturzunahme und Temperaturverteilung im Versuchsraum etc., da sie für die Beurteilung der Ofen von Wichtigkeit sind.

In früheren von andern Autoren¹⁾ durchgeführten Untersuchungen wurde schon auf die Wichtigkeit solcher Messungen hingewiesen.

Die Ofen konnten allerdings nicht nach dem von Brabbé vorgeschlagenen Verfahren²⁾ geprüft werden, welches dahin geht, den sogenannten Raumwirkungsgrad von Kachelöfen in besonderen Versuchsräumen zu bestimmen, indem der Verlauf der mittleren Temperatur im Versuchsraum in Form einer Kurve dargestellt wird. Man mußte sich vielmehr darauf beschränken, den Wirkungsgrad der Ofen nach dem Grundsatz der feuerungstechnischen Untersuchungen zu bestimmen.

Die Ofen wurden zuerst in unverstrichenem Zustand, wie ich sie gerade bei Beginn der Versuche vorfand, geprüft, nachher repariert und sorgfältig verstrichen einer neuen Prüfung unterzogen. Endlich wurde vergleichsweise festgestellt, wie sich der Brennstoffverbrauch verhält bei sinngemäßer Feuerung zu demjenigen beim Heizen durch die Bewohner. Die erhaltenen Resultate zeigen, wie wichtig es ist, den Ofen richtig und sinngemäß zu heizen.

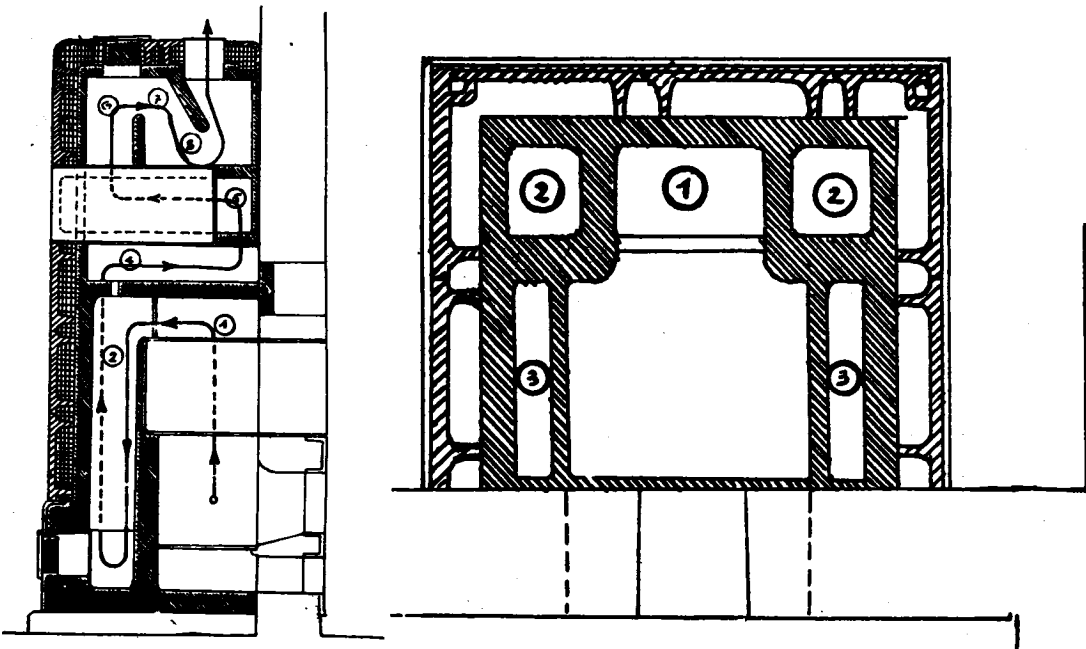
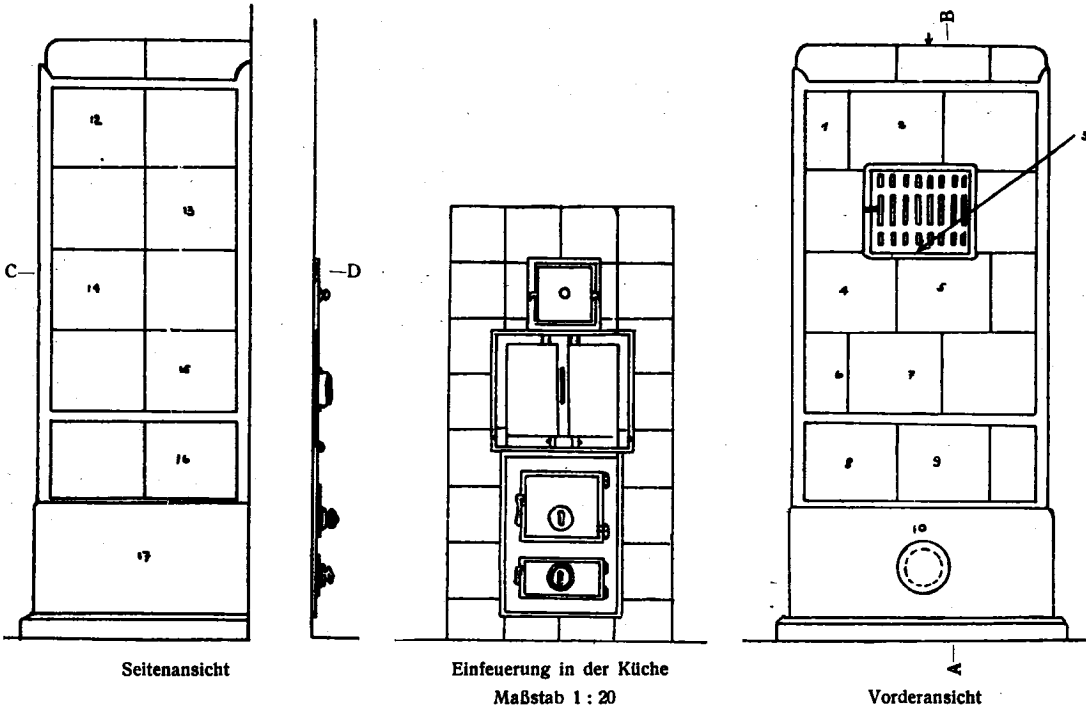
¹⁾ Brabbé: Verfahren zur Untersuchung von Kachelöfen.

Schläpfer: Ueber Untersuchungen von häuslichen Feuerungsanlagen. Ofenbau 1920.

²⁾ Brabbé lc.

Abb. 7.

Kachel-Ofentyp 3. Haus Wibichstraße 11.



Längsschnitt A-B
Maßstab 1 : 20

Schnitt C-D
Maßstab 1 : 10

1—8 Rauchzüge
1—17 Temperaturmeßstellen an der Oberfläche

3. Messungen und Analysen.

Für die feuerungstechnischen Untersuchungen wurden die Werte, die zur Aufstellung einer Wärmebilanz notwendig sind, ermittelt, nämlich:

- a) Menge, Heizwert und Zusammensetzung des verwendeten Brennstoffes oder Brennstoffgemisches;
- b) die Verluste durch unverbrannte Bestandteile in den Feuerungsrückständen;
- c) die Verluste durch fühlbare Wärme in den Rauchgasen;
- d) die Verluste durch unvollständig verbrannte Gase.

Das Restglied der Wärmebilanz setzt sich dann zusammen aus den Verlusten durch Ruß, Leitung, Strahlung und der vom Ofen aufgespeicherten und an den Raum abgegebenen Wärme. Da die Bestimmung des Rußes ziemlich ungenau ist, und infolge des geringen Zuges und der meist vollständigen Verbrennung bei der Kachelofenfeuerung die Wärmeverluste durch Ruß zugleich sehr klein sind (Fudickar gibt z. B. 0,4 % an), wurde von der Bestimmung dieses Verlustanteiles abgesehen¹⁾. Die Verluste durch Leitung und Strahlung beschränken sich auf die Verluste, welche durch Wärmeleitung des Ofenuntersatzes an den Fußboden bedingt sind. Sie kommen zudem dem zu erwärmenden Raum wenigstens teilweise wieder zugut, können aber nicht experimentell ermittelt werden und müssen daher in den Nutzeffekt des Ofens mit einbezogen werden.

Für die später angeführten Formeln und Berechnungen zur Aufstellung der Wärmebilanz etc. führe ich folgende Bezeichnungen ein:

- A = Wirkungsgrad der Anlage
- V_s = Verlust durch fühlbare Wärme
- V_u = Verlust durch unverbrannte Gase
- V_h = Verlust durch Herdrückstände
- G = Volumen der Rauchgase
- G_t = Volumen der trockenen Rauchgase
- M = Gewicht der verbrannten Kohle in kg
- R = Gewicht der Herdrückstände in kg
- H' = Heizwert der verbrannten Kohle in WE/kg
- v = Luftüberschuß
- t = Temperatur der Verbrennungsluft vor dem Rost
- T = Temperatur der Rauchgase im Abzugsrohr
- a = Gehalt der Feuerungsrückstände an brennbaren Bestandteilen
- C = Gehalt der verfeuerten Kohle an Kohlenstoff in Gew. %
- H = Gehalt der verfeuerten Kohle an Wasserstoff in Gew. %
- O = Gehalt der verfeuerten Kohle an Sauerstoff in Gew. %
- N = Gehalt der verfeuerten Kohle an Stickstoff in Gew. %
- S = Gehalt der verfeuerten Kohle an Schwefel in Gew. %
- A_q = Gehalt der verfeuerten Kohle an Wasser in Gew. %
- c₁ = Gehalt an Kohlenstoff in 1 kg verfeuerter Kohle
- h₁ = Gehalt an Wasserstoff in 1 kg verfeuerter Kohle
- w₁ = Gehalt an Wasser in 1 kg verfeuerter Kohle

Bei den Rauchgasanalysen bezeichne ich die gefundenen Volumenprocente wie folgt:

- k₁ = Gehalt an Kohlensäure
- k₂ = Gehalt an Kohlenoxyd
- h = Gehalt an Wasserstoff
- o = Gehalt an Sauerstoff
- n = Gehalt an Stickstoff
- ch₄ = Gehalt an Methan

Es bedeutet ferner:

- cp_v = Mittl. spez. Wärme der Rauchgase von 1 m³ bei T°
- cp_w = Mittl. spez. Wärme des Wasserdampfes von 1 kg bei T°

Als mittlere spez. Wärmen verwendete ich die von Neumann²⁾ berechneten Werte

¹⁾ Schläpfer: Untersuchungen an Heizeinrichtungen. Ofenbau 1920.

²⁾ Seufert: Verbrennungslehre und Feuerungstechnik, Springer 1921.

Neumann: Die spez. Wärmen der Gase für feuerungstechnische Untersuchungen, Journal für Gasbeleuchtung 62 (1919), Seite 604 u. 619.

Mit Hilfe der oben angegebenen Zahlenwerte läßt sich die Wärmebilanz des Ofens wie folgt darstellen:

Versuch an einem Kachelofen mit Braunkohlenbrikettes „Union“.

Zugeführte Wärmemenge: Heizwert des Brennstoffes	W. E. 5206	% 100,00
<i>Wärmeverluste:</i>		
1. Verluste durch fühlbare Wärme	591,1	11,3
2. Verluste durch Feuerungsrückstände	127,0	2,5
3. Verluste durch unverbrannte Gase	—	—
Vom Ofen abgegebene Wärmemenge, Wirkungsgrad	4487,9	86,2

a) Probenahme und Analyse der Brennstoffe.

Die Oefen wurden meist mit Holz, von welchem ca. $\frac{1}{4}$ zu Spänen zerkleinert war, angeheizt, und nachher mit Koks, Brikettes oder Kohle weitergeheizt. Näheres findet sich bei den Angaben über die einzelnen Versuche. Von den verwendeten vier Brennstoffsorten, Holz, Braunkohlenbrikettes Marke „Union“, Zürcher Gaskoks, Körnung 15/30 und belgischem Anthrazit, Körnung 35/50 wurden nach den Vorschriften der Eidgen. Prüfungsanstalt für Brennstoffe Proben erhoben, in Blechbüchsen verschlossen und nachher analysiert.

Ich bemerke, daß zur Aufstellung der Wärmebilanzen eine Durchschnittsprobe jedes Brennstoffes verwendet wurde, weil die Brennstoffe sehr gleichmäßig beschaffen waren und eine richtige Durchschnittsprobe sich leichter aus einer großen Menge nehmen läßt, als von 3 bis 5 kg, die bei jedem Versuche zur Anwendung kamen.

In Tabelle 2 sind die Analysen der Brennstoffe zusammengestellt.

Tabelle 2. Zusammensetzung und Heizwerte der verwendeten Brennstoffe.

Gehalt an:	Tannenholz	Briquetts „Union“	Belg. Anthrazit	Zürcher Gaskoks
	%	%	%	%
<i>Rohprobe:</i>				
Kohlenstoff	47,81	57,05	83,10	79,28
Wasserstoff	4,85	3,47	3,24	0,52
Sauerstoff und Stickstoff	37,12	21,20	2,11	1,41
Schwefel	—	0,57	0,85	0,99
Flüchtiger Kohlensäure	—	0,33	0,96	0,23
Asche	1,18	5,25	6,62	12,08
Wasser	9,04	12,13	3,12	5,49
	100,00	100,00	100,00	100,00
Heizwert W. E.	4118	4966	7531	6420
<i>Wasser- und aschenfreie Probe:</i>				
Kohlenstoff	53,25	69,33	93,06	96,45
Wasserstoff	5,40	4,22	3,62	0,64
Stickstoff und Sauerstoff	41,35	25,76	2,37	1,70
Schwefel	—	0,69	0,95	1,21
	100,00	100,00	100,00	100,00
Gehalt an flüchtigen Bestandteilen	84,33	54,82	16,40	7,30
Verbrennungswärme W. E.	4939	6350	8651	7885

Die bei jedem Versuch verwendete Brennstoffmenge wurde genau gewogen. Um die zugeführte Wärmemenge zu erhalten, multiplizierte ich den Durchschnittsheizwert mit der aufgewendeten Brennstoffmenge.

b) Verluste durch die Feuerungsrückstände.

Es wurde bei den sorgfältig aus dem Ofen ausgeräumten Herdrückständen der Wasser- und Aschengehalt und daraus die brennbaren Bestandteile bestimmt, und die Verluste nach folgender, bekannter Formel ausgerechnet ¹⁾:

$$V_h = \frac{a \cdot R \cdot 8100}{M \cdot H} \text{ in } \% \quad 1)$$

8100 ist der Heizwert der aschen- und wasserfreien Herdrückstände.

c) Bestimmung der Verluste durch fühlbare Wärme.

Für die exakte Bestimmung der Verluste durch fühlbare Wärme ist die genaue Kenntnis der mittleren Rauchgaszusammensetzung und Rauchgasmenge, der Temperatur der abziehenden Gase und der Verbrennungsluft, sowie der spez. Wärme der Rauchgase notwendig.

Der Kachelofen wird ein- oder zweimal mit einer größeren Brennstoffmenge beschickt. Nachher brennt diese ab und zwar nicht gleichmäßig, sondern am Anfang rascher und mit größerer Wärmeentwicklung. Der Kohlensäuregehalt und der Luftüberschuß wechseln also. Man sollte daher, um die Rauchgasmenge und die mittlere Zusammensetzung der Rauchgase genau zu bestimmen den Versuch in Unterabschnitte zerlegen.

Brabbé, Fudickar und Brandstätter haben diese Fragen in ihren Arbeiten eingehend diskutiert ²⁾. Diese Verfahren ließen sich in dieser Arbeit nicht anwenden. Ich habe deshalb, wie es Schläpfer getan ³⁾, auch über die ganze Versuchsperiode, die sich vom Anheizen bis zum Erlöschen der Flamme erstreckte, eine Rauchgasprobe kontinuierlich abgesogen und zudem in bestimmten Zeitintervallen die Kohlensäure der Rauchgase bestimmt. Die Analysen zeigten, daß der mittlere Kohlensäuregehalt nach den beiden Methoden ungefähr gleich gefunden wird. Ferner ergaben sich in den weitaus meisten Fällen nur Spuren unverbrannter Gase.

Die Abgastemperatur war gering, sodaß die Verluste durch fühlbare Wärme an und für sich schon klein wurden, und darum die Fehler, die bei der Bestimmung der fühlbaren Wärme durch angenäherte Methoden entstehen, auch nicht stark ins Gewicht fallen.

Die periodisch abgesogenen und analysierten Gasproben sind für die Aufstellung der Wärmebilanz nicht absolut notwendig, geben aber einen sehr guten Einblick in den Gang der Verbrennung.

Eine vergleichende Berechnung der Verluste durch fühlbare Wärme, nach einigen der zahlreichen in der Literatur angegebenen Rechnungsverfahren zeigt Tabelle 3.

¹⁾ Seufert: Verbrennungslehre und Feuerungstechnik.

²⁾ Brabbé: Verfahren zur Untersuchung von Kachelöfen.

Fudickar: Untersuchungen an Kachelöfen, Inaugural-Diss., Berlin 1917.

Brandstätter: Verfahren zur Untersuchung eiserner Dauerbrandöfen, Inauguraldissertation, Berlin 1922.

³⁾ Schläpfer: Untersuchungen an Heizeinrichtungen, Ofenbau 1920, Heft 1 bis 4.

Tabelle 3. Verluste durch fühlbare Wärme, ermittelt nach verschiedenen Berechnungsweisen.

Temp. in °C der		Mittl. Zusammensetzung der Rauchgase in Vol. Prozenten					Verluste durch fühlb. Wärme in % des Heizwertes des Brennstoffes, berechnet nach						Verluste der unverbr. in %		
Verbr.- angsstoff	Abgase	CO ₂	CO	H ₂	O ₂	N ₂	Constam ¹⁾ & Schläpfer	Siegert	Verbands- formel	Bunte ²⁾	Hansen- stein ²⁾	Seufert ²⁾	Seufert ²⁾	Constam & Schläpfer	70 k ₂ ²⁾ k ₁ +k ₂
7,4	70,9	3,7	—	—	14,9	81,4	10,9	11,2	9,7	—	11,3	—	—	—	—
9,4	120,9	5,2	0,3	0,1	14,5	79,9	12,9	13,9	12,9	13,8	13,2	13,2	3,6	3,9	3,8
12,6	88,1	3,6	—	—	16,3	80,1	12,1	13,6	7,1	7,1	—	13,7	—	—	—
13,3	77,5	5,6	0,1	—	14,4	79,8	7,5	7,5	6,1	6,0	7,3	7,9	1,1	1,1	1,2

Ich bemerke zu dieser Tabelle, daß bei vollständiger Verbrennung die in der Technik vielfach angewendete Formel von Siegert:

$$V_s = 0,65 \frac{T-t}{CO_2} \text{ in } \% \quad 2)$$

ebenfalls genügend genaue Werte ergibt.

Diese Resultate führten dazu, die Verluste durch fühlbare Wärme in Prozenten des Heizwertes der Brennstoffe wie folgt (nach Seufert) auszurechnen:

$$V_s = \left[186,6 \cdot \frac{c_1}{k_1 + k_2 + ch_4} \cdot cp_v + (8,93 \cdot h_1 + w_1) cp_w \right] (T-t) \quad 3)$$

d) Bestimmung der Luftüberschußzahl.

Für die Beurteilung eines Ofens wird auch noch die Luftüberschußzahl benützt. Beim Feuerungsbetrieb wird naturgemäß immer mehr Luft zugeführt, als zur theoretischen Verbrennung notwendig wäre. Die Luftüberschußzahl stellt das Verhältnis der zugeführten Luftmenge zur theoretisch notwendigen dar. Die Luftüberschußzahl kann mit Hilfe der Rauchgasanalysen nach verschiedenen Formeln berechnet werden. Ich verwendete die Formel:

$$v = \frac{1,866 \cdot \frac{C}{k_1} (100 - k_1) + O \text{ min}}{4,76 \cdot O \text{ min}} \quad 4)$$

$$O \text{ min} = 1,866c_1 + 5,55h_1$$

Gut brauchbare Resultate liefert auch die abgekürzte Formel:

$$v = \frac{21}{21 - O} \quad 4a)$$

e) Verluste durch unverbrannte Gase.

Bei richtigem Heizen kommen unverbrannte Gase kaum oder nur in geringer Menge vor. Methan und Aethylen wurden bei meinen Versuchen in keinem Falle gefunden.

¹⁾ Constam und Schläpfer: Mitteilungen über Forschungsarbeiten. Springer, Berlin 1911, Heft 103

²⁾ Seufert: Verbrennungslehre und Feuerungstechnik. Springer, Berlin 1921, pag. 80 ff.

Ich berechnete diesen Wert nach folgender Gleichung:

$$V_h = G_t \cdot \frac{3046 k_2 + 8673 ch_4 + 2598 h}{H'} \quad 5)$$

Einige in der Literatur und bei der Ausrechnung der Zahlenwerte in Tabelle 3 verwendete Formeln verlangen die Kenntnis der Rauchgasmenge.

f) Bestimmung der Rauchgasmenge.

Zur direkten Messung der Rauchgasmenge können verwendet werden:

1. Das Staurohr.
2. Die Widerstandsstrecke.
3. Das Anemometer.

Das Staurohr ist wegen der geringen Geschwindigkeit der Rauchgase bei Zimmerofenuntersuchungen nicht anwendbar, da bei einer Geschwindigkeit von 0,2 m/sec der zu messende Druck nur rund 0,0025 mm WS beträgt¹⁾, eine Größe, die wegen ihrer Kleinheit nicht mehr genau beobachtet werden kann.

Die Anwendung der Widerstandsstrecke beruht auf dem Gesetz der Druckabnahme in Rohrleitungen: Der Druckverlust in einer gegebenen Rohrleitung ist nur von der Geschwindigkeit abhängig. Um messbare Druckunterschiede zu bekommen, müßte deshalb die Messstrecke so stark verengt werden, daß eine Eichung erschwert, wenn nicht ganz verunmöglicht würde.

Das Anemometer, wie es Fudickar gebraucht hat, ist, wie oben schon gesagt, auch nicht anwendbar.

Brandstätter stellt seinen Ofen auf eine Wage und kann so das Gewicht der fortgehenden Rauchgase bestimmen. Die Anwendung dieser Methode war bei meinen Versuchen nicht möglich, da die Oefen fest versetzt waren.

Bei der Bestimmung der Rauchgasmenge rechnete ich deshalb nach bekannten (Seufert) Formeln:

$$G_t = 186,6 \cdot \frac{c_1}{k_1 + k_2 + ch_4} \text{ in m}^3 \quad 6)$$

dazu kommt noch der aus je 1 kg Brennstoff gebildete Wasserdampf:

$$H_2O = 11,1 \cdot h_1 \cdot \frac{w_1}{0,806} = 8,936 \cdot h_1 + w_1 \quad 7)$$

also Gesamtgasvolumen:

$$G = 186,6 \cdot \frac{c_1}{k_1 + k_2 + ch_4} + 8,93 \cdot h_1 + w_1 \text{ in m}^3 \quad 8)$$

Die für die Berechnungen notwendigen Analysen der Rauchgase und Temperaturmessungen führte ich wie folgt aus:

α) Analyse der Rauchgase.

Während der ganzen Versuchsdauer wurden mit blechernen Aspiratorflaschen mit konstanter Geschwindigkeit Rauchgasproben abgesogen, die am Ende eines jeden Versuches mit dem Orsatapparat auf Kohlensäure und Sauerstoff untersucht wurden. Als Sperrflüssigkeit verwendete ich mit Rauchgasen gesättigte Glycerinlösung. Halb- bis

¹⁾ Fudickar: l. c.

einstündlich wurden ferner Rauchgasproben abgesaugt und mit dem Orsatapparat an Ort und Stelle auf Kohlensäure und Sauerstoff analysiert, zudem wurden eineinhalb- bis zweistündlich Proben in Glaspipetten abgesogen, eingeschmolzen, und im Laboratorium mit dem Pintschapparat vollständig untersucht. Bei der Analyse der Gasproben fand ich in einigen Fällen neben Kohlenoxyd wenig Wasserstoff, den ich nicht nur durch Verbrennen über Kupferoxyd, sondern auch nach der Methode von Paal und Amberger bestimmte.¹⁾

β) Messung der Rauchgastemperatur.

Die Rauchgastemperatur wurde, da das Rauchrohr sehr kurz war, am Eingang des letztern in den Kamin gemessen. Als Meßinstrument verwendete ich ein selbst geeichtes Kupfer-Konstantan-Thermoelement. Zwei ca. 20 cm lange, 0,7 mm dicke Kupfer- resp. Konstantandrähte wurden an einem Ende gut miteinander verknüpft, in der Lötrohrflamme zusammengesmolzen und in der Reduktionsflamme abkühlen gelassen, um eine Oxydation zu verhindern. Die Drähte wurden in dünne Glasröhren eingelassen und die Lötstelle in der Mitte des Rauchrohres mittels eines Korkstopfens stabilisiert. Die Enden wurden mittels Drähten mit einem Millivoltmeter verbunden. Bei allen Versuchen, wie auch bei der Eichung war ein aus den gleichen Drähten bestehendes Thermoelement als Gegenpol, in schmelzendes Eis getaucht, in den Stromkreis eingeschaltet, um den störenden Einfluß der Außentemperatur zu kompensieren.²⁾

Die Eichung wurde folgendermaßen durchgeführt:

Das Thermoelement und das vom Eidg. Amt für Maß und Gewicht geeichte Normalquecksilberthermometer wurden durch zwei Drahtklemmen so zusammengehalten, daß die Lötstelle des Thermoelementes in die Mitte des Quecksilberkopfes des Thermometers kam. Das Ganze wurde in ein Oelbad gebracht und unter stetem Rühren die Badtemperatur langsam gesteigert. Die Millivolts wurden anfänglich von 10 zu 10° C., bei höherer Temperatur von 20 zu 20° C. abgelesen.

Bei frühern Versuchen wurden die Temperaturen auch über der Feuerbrücke gemessen. Bei meinen Versuchen unterließ ich diese Messungen. Wie die verschiedenen Literaturangaben zeigen, kann die Flammentemperatur für jeden Brennstoff und für jeden Luftüberschuß aus einschlägigen Büchern entnommen werden.

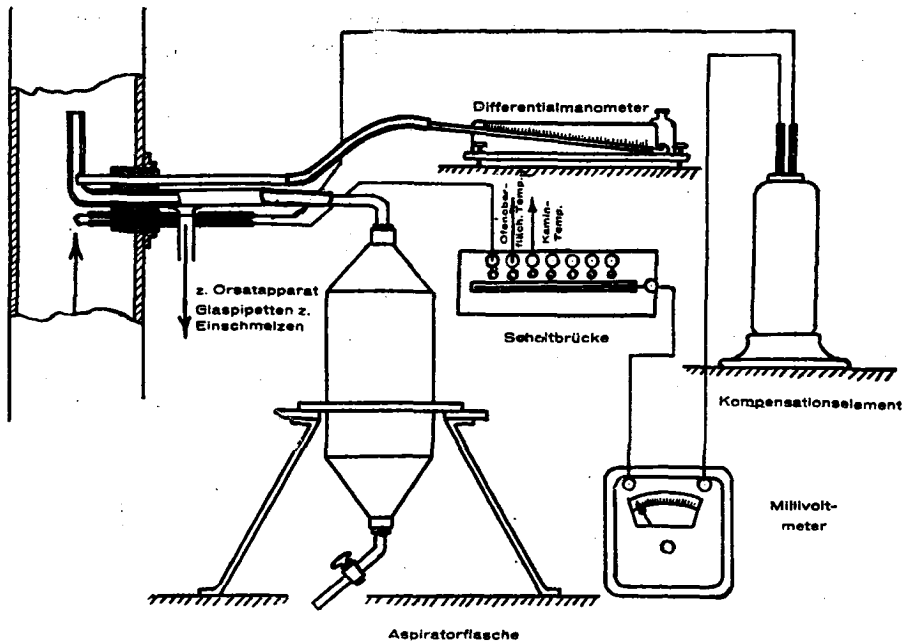


Abb. 8. Versuchsanordnung.

¹⁾ Paal und Amberger: B. 38 (1905) pag. 1388.

²⁾ Knoblauch und Hencky: Anleitung zu genauen Temperaturmessungen.

γ) Messung des Zuges.

Bei der feuerungstechnischen Untersuchung hat die Zugmessung eine große Bedeutung, da die Lebhaftigkeit des Feuers lediglich vom Zug abhängig ist. Bei der häuslichen Ofenfeuerung ist der Zug meist klein, und es sind daher genaue Zugmessinstrumente notwendig. Ich verwendete ein Differentialmanometer nach Pécelet ¹⁾. Das Instrument wurde so gestellt, daß 1 cm Ausschlag eine Zugszunahme von 1 mm WS zeigte. Es konnte so der Zug auf 1/10 mm WS genau gemessen werden. Zur Ermittlung der für die feuerungstechnischen Untersuchungen notwendigen Daten, verwendete ich vorstehende Versuchsanordnung.

II. Heiztechnische Untersuchungen.

Die heiztechnischen Untersuchungen erstreckten sich bei meinen Versuchen auf das Messen der Oberflächentemperaturen der Oefen, der Zimmer und Nebenzimmertemperaturen, sowie der Außentemperatur. Die dabei erhaltenen Zahlenwerte sind bei der Beschreibung der einzelnen Versuche wiedergegeben.

Die Messung der Oberflächentemperaturen eines Zimmerofens hat sowohl vom heiztechnischen, wie auch vom hygienischen Standpunkt aus Bedeutung. Ein Ofen wirkt am angenehmsten, wenn die Temperaturverteilung auf seiner Oberfläche eine möglichst gleichmäßige ist. Sie soll aber nicht zu hoch sein. Anfangs dieses Jahrhunderts ging man dazu, als höchste Ofentemperatur 80° C zuzulassen, da über dieser Grenze schon eine Zersetzung der Staubteilchen in der Luft eintritt, was natürlich hygienisch sehr nachteilig wirkt. Immerhin kann dieser Wert bei Kachelöfen etwas überschritten werden, da die Höchsttemperatur nur an kleinen Flächen und nur vorübergehend auftritt.

1. Messung der Oberflächentemperaturen.

Die Messung der Oberflächentemperaturen wurde in Anlehnung an die von Fudickar, Knoblauch und Hencky durchgeführten Arbeiten ausgeführt.

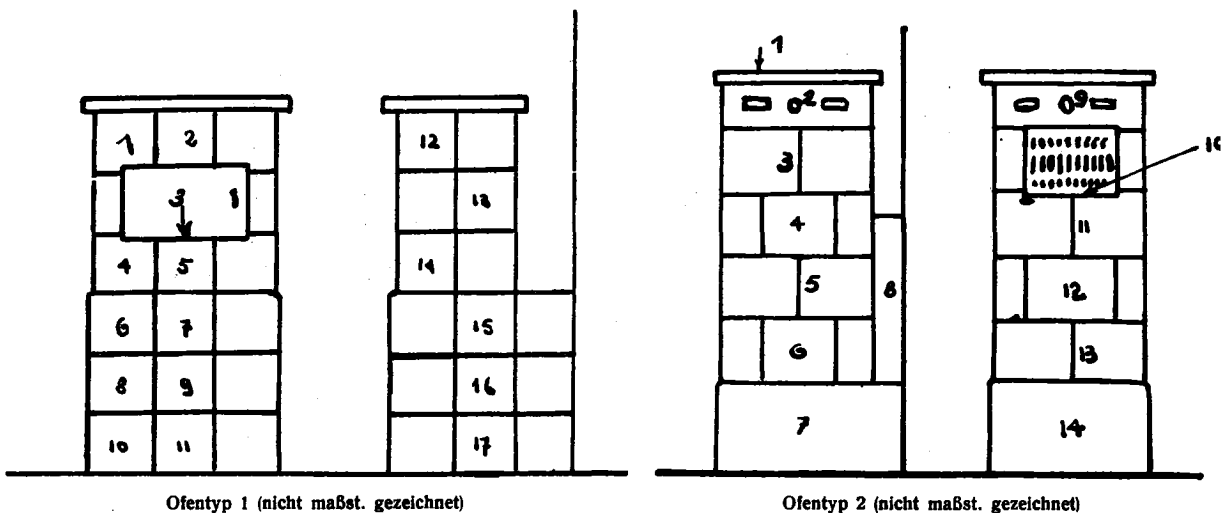


Abb. 9. Messung der Oberflächentemperatur am Ofentyp 1 und 2.

¹⁾ Lunge - Berl. Chem. techn. Untersuchungsmethoden. 1921, pag. 231.

Es wurden auch wieder Konstantan-Kupferelemente verwendet. Knoblauch gibt an, daß die Drähte wenigstens auf 10 cm Länge der zu messenden Schicht ausgesetzt werden müssen. Die Elemente wurden deshalb 10 cm lang spiralgig auf eine Filzunterlage aufgenäht, die aber im Gegensatz zu Fudickar nicht auf einem Korkstopfen befestigt war. Auch bei den hohen Temperaturen wie sie im Wärmerohr auftraten, konnten die Filzplatten gut an die Wandungen angepreßt werden. Das Thermoelement wurde stets am

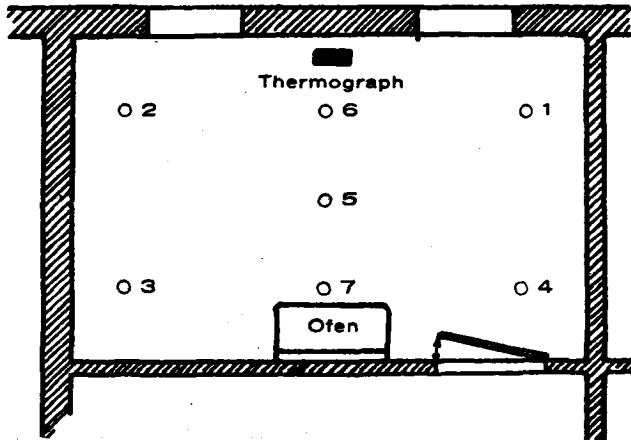


Abb. 10. Temperaturmeßstellen (Brusthöhe) im Versuchsraum Häuser Wibichstraße 5 und 11.

gleichen Ort, der durch Punkte markiert war, an die Ofenwand angepreßt, sodaß man je von der nämlichen Meßstelle Vergleichsergebnisse erhielt.

Die Ofenoberflächentemperaturen wurden an 14 bzw. an 17 Stellen gemessen. Die betreffenden Meßstellen an den Ofenoberflächen sind in den Abb. 7 und 9 mit Zahlen angegeben.

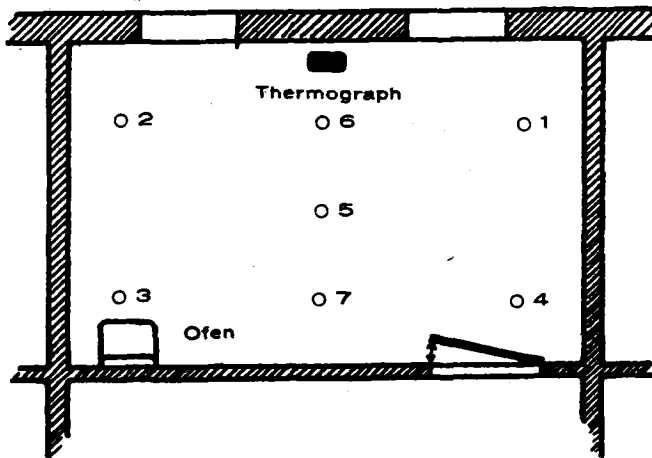


Abb. 11. Temperaturmeßstellen (Brusthöhe) im Versuchsraum Häuser Wibichstraße 7 und 9.

2. Messung der Raumtemperatur.

Um ein Bild über die Wärmezunahme im Versuchsraum zu erhalten, wurde in den Wohnzimmern anfänglich an fünf, bei spätern Versuchen an sieben Stellen mittels Weingeistthermometern die Raumtemperatur gemessen. Die Thermometer waren durch Glanz-

papierhüllen vor Wärmestrahlung geschützt. Es wurden in gleicher Weise auch die Temperaturen in den angrenzenden Zimmern, je an einer Meßstelle und die Außentemperatur mit einem empfindlichen Quecksilberthermometer gemessen. Die Meßstellen in den Versuchsräumen sind in Abb. 11 und 12 wiedergegeben. Brabbé schlägt vor, für Untersuchungen von Oefen die mittlere Raumtemperatur zu benützen. Es ist dies die in der Mitte des Raumes in Brusthöhe gemessene Temperatur. Es soll nach Brabbé diese mittlere Temperatur gleich sein dem arithmetischem Mittel aller im Zimmer gemachten Temperaturmessungen.

Wie meine Versuche zeigten, trifft diese Annahme sehr gut zu. Die Abweichungen betragen nur bis $\frac{3}{10}^{\circ}$ C.

Zur ständigen Messung und zur Kontrolle wurde während je einer Woche in den vier Häusern ein Thermograph aufgestellt, und zwar wie Abb. 11 und 12 zeigen, zwischen den zwei Fenstern 1,30 m über dem Boden und 30 cm von der Wand entfernt.

III. Protokolle über die durchgeführten Versuche.

Ich lasse nun die Protokolle über die an jedem Ofen selbst vorgenommenen Versuche folgen. Daran anschließt sich je eine Zusammenfassung der wichtigsten erhaltenen feuerungstechnischen Ergebnisse. Darauf folgt die Besprechung der von den Hausbewohnern durchgeführten Versuche. Als Schluß füge ich eine vergleichende Besprechung der an allen vier Oefen erhaltenen feuerungs- und heiztechnischen Resultate bei.

Bei allen Versuchen wurde so geheizt, daß mit einer abgewogenen und teilweise zu Spähnen zerkleinerten Menge Holz angefeuert, und sobald sich ein gutes Holzfeuer entwickelt hatte, der gewogene Brennstoff in ein bis zwei Malen zugegeben wurde. Nachher wurde die Luftzufuhr durch die Schieber einreguliert.

Die Versuche wurden teils an unverstrichenen, teils an reparierten und mit Ofenkitt sorgfältig verstrichenen Oefen durchgeführt. Beim Heizen mit Koks und Anthrazit fiel eine größere Menge Brennstoff in den Aschenfall. Die Stücke wurden ausgelesen, gewogen, und von der zugeführten Brennstoffmenge abgezogen.

Die wichtigsten Daten der Versuchsprotokolle sind in den Tabellen 6 bis 13 zusammengestellt, zudem sind von mir instruktiv erscheinende Ergebnisse graphisch dargestellt worden. Weitere Angaben finden sich in den nachfolgenden Ausführungen.

Die Tabelle 5 enthält eine schematische Zusammenstellung, wann und wie die Versuche in den einzelnen Häusern durchgeführt wurden.

Bei Methode A heizten die Bewohner nach ihrem Gutdünken, bei Methode B überwachte ich das Beheizen der Oefen.

1. Selbst durchgeführte Versuche.

a) Versuche im Haus Wibichstraße Nr. 5.

Im Kochrohr in der Küche wurden täglich ca. 10 L. Wasser von 15° C auf 75° C erwärmt. Es wurden dazu durchschnittlich 600 Cal. gebraucht, was für die Aufstellung der Wärmebilanz nicht von großer Bedeutung ist, und bei den Versuchen nicht weiter berücksichtigt wurde.

a) Versuch 1 vom 23. Januar 1922.

Zweck des Versuches: Prüfung des Ofens in *unverstrichenem Zustand* (Vorversuch).

Heizmaterial: 1,0 kg Tannenholz und 17,2 kg Braunkohlenbriketts, Marke „Union“.

8³⁰ angeheizt, Aschenfalltüre offen.

12⁰⁰ Aschenfalltüre ganz geschlossen.

13⁴⁵ 2 Briketts zugegeben, Luftzutrittsregulierung 1 Umdrehung offen.

16³⁰ fast keine Glut mehr auf dem Rost, Luftzutrittsregulierung geschlossen.

Versuchsdauer: 8 Stunden.

Die Außentemperatur schwankte zwischen $-3,8^{\circ}$ und $-2,9^{\circ}$ C, und betrug im Mittel $-3,2^{\circ}$ C. Der Himmel war stets bewölkt. Es herrschte Windstille.

Trotz sorgfältiger Regulierung und großem Brennstoffverbrauch, konnte der Kohlensäuregehalt der Rauchgase nur auf 2,5 Vol. % und die Temperatur des Versuchsraumes nur von 14,4 auf 16,9° C gebracht werden. Der Wirkungsgrad des Ofens war also ein niedriger, nämlich 60%.

Die Zahlenwerte sind in Tab. 6 und 7 zusammengestellt, und die Versuchsergebnisse in Abb. 13 graphisch aufgetragen.

β) Versuch 2 vom 24. Januar 1922.

Zweck des Versuches: Prüfung des Ofens bei unverstrichenen Fugen.

Heizmaterial: 1,70 kg Tannenholz und 17,6 kg Braunkohlenbriketts, Marke „Union“.

8⁰⁰ angeheizt, Aschenfalltüre ganz geöffnet.

9⁰⁰ Aschenfalltüre ca. 5 cm offen.

10⁰⁰ Aschenfalltüre geschlossen, Luftzutrittsregulierung 1 Umdrehung offen.

16³⁰ 3 Briketts zugegeben.

17⁰⁵ Luftzutrittsregulierung 2 Umdrehungen offen.

18¹⁰ fast keine Glut mehr auf dem Rost. Es wurde von den Bewohnern weitergeheizt.

Versuchsdauer: 9 Stunden 20 Minuten.

Die Außentemperatur schwankte zwischen -4,0 und +3,4° C, und betrug im Mittel -1,2° C. Sonnenscheindauer: 7,2 Stunden. Es herrschte Windstille.

Tabelle 5. Uebersicht über die vorgenommenen Versuche.

Versuchstage:	Versuche in Haus Wibichstraße Nr.			
	5	7	9	11
23. bis 24. I.	selbst geheizt, Ofenfugen nicht verstrichen	von den Bewohnern geheizt nach Methode A ¹⁾ (Ofenfugen nicht verstrichen)		
25. I.	selbst geheizt, Ofenfugen verstrichen			
26. bis 30. I.		von den Bewohnern geheizt nach Methode B ¹⁾ (Ofenfugen nicht verstrichen)		
1. bis 2. II.	von den Bewohnern geheizt nach Methode A, Ofenfugen verstrichen	selbst geheizt, Ofenfugen nicht verstrichen	von den Bewohnern geheizt nach Methode A, Ofenfugen nicht verstrichen	
3. bis 8. II.	von den Bewohnern geheizt nach Methode B, Ofenfugen verstrichen	selbst geheizt, Ofenfugen verstrichen	von den Bewohnern geheizt nach Methode B, Ofenfugen nicht verstrichen	
9. II.	von den Bewohnern geheizt nach Methode A, Ofenfugen verstrichen		selbst geheizt, Ofenfugen nicht verstrichen	von den Bewohnern geheizt nach Methode A, Ofenfugen nicht verstrichen
10. II.			selbst geheizt, Ofenfugen verstrichen	von den Bewohnern geheizt nach Methode A, Ofenfugen verstrichen
11. bis 16. II.				von den Bewohnern geheizt nach Methode B, Ofenfugen verstrichen
17. bis 24. II.	von den Bewohnern geheizt nach Methode B, Ofenfugen verstrichen			selbst geheizt, Ofenfugen verstrichen

¹⁾ Methode A: Die Bewohner heizten selbst nach ihrem Gutdünken.

„ B: Die Bewohner heizten selbst mit einer ihnen zugewiesenen abgewogenen Menge Brennstoff, die Heizung wurde zudem überwacht.

Trotzdem die Ofenfugen teilweise verstrichen waren, stieg der Kohlendioxidgehalt nicht merklich. Die Ofenoberfläche wurde etwas wärmer, die Rauchgastemperatur ging herunter von 106° auf 96°. Der Wirkungsgrad stellte sich auf 67%. Der Zug des Ofens war normal.

Die Zahlenwerte sind in Tab. 6 und 7 zusammengestellt, und die Versuchsergebnisse in Abb. 13 graphisch dargestellt.

γ) Versuch 3 vom 25. Januar 1922.

Zweck des Versuches: Da ich bei den beiden vorigen Versuchen einen sehr großen Luftüberschuß erhielt, wurde der Ofen genauer geprüft.

Heizmaterial: 0,9 kg Tannenholz und 7,68 kg Braunkohlenbriketts Marke „Union“.

8⁰⁰ angeheizt, Aschenfalltüre ca. 10 cm weit geöffnet.

9⁰⁵ Aschenfalltüre geschlossen, Luftzutrittsregulierung 7 Umdrehungen offen.

9⁴⁵ Luftzutrittsregulierung 1 1/2 Umdrehungen offen.

10¹⁵ Luftzutrittsregulierung 1/2 Umdrehung offen.

12⁰⁰ 3 Briketts zugegeben.

16⁰⁰ Luftzutrittsregulierung 1/4 Umdrehung offen.

16¹⁵ neue Charge.

17³⁰ fast keine Glut mehr auf dem Rost, Luftzutrittsregulierung geschlossen.

Versuchsdauer: 8 Stunden 40 Minuten.

Die Außentemperatur schwankte zwischen +1,0 und -4,5° C, und betrug im Mittel -1,9° C. Der Himmel war stets bewölkt. Es herrschte Windstille.

Während des ersten Teiles des Versuches erhielt ich relativ niedrige Kohlendioxidgehalte. Bei der nähern Prüfung ergab sich, daß durch Spalten des Kochraumes Falschluf eingesogen wurde. Nachdem diese Spalten mittels Ofenkitt verstrichen waren, stieg der Kohlendioxidgehalt sofort in die Höhe. Die Rauchgastemperatur betrug am Eintritt des Ofenrohres in den Kamin 71° C, in der Höhe der Winde 12° C. Durch das Steigen des Kohlendioxidgehaltes und das Sinken der mittlern Rauchgastemperatur ergab sich ein wesentlich höherer Wirkungsgrad, nämlich 86%.

Die Zahlenwerte sind in Tab. 6 und 7 zusammengestellt, und die Versuchsergebnisse in Abb. 13 graphisch wiedergegeben.

δ) Versuch 4 vom 26. Januar 1922.

Zweck des Versuches: Es wurde Versuch 3 noch einmal wiederholt.

Heizmaterial: 0,593 kg Tannenholz und 8,602 kg Braunkohlenbriketts, Marke „Union“.

8⁵⁵ angeheizt, Aschenfalltüre ganz geöffnet.

9¹⁵ Aschenfalltüre geschlossen, Luftzutrittsregulierung 3 Umdrehungen offen.

10⁰⁰ Luftzutrittsregulierung 2 1/2 Umdrehungen offen.

10⁵⁰ Luftzutrittsregulierung 1 1/2 Umdrehungen offen.

11¹⁰ Luftzutrittsregulierung 1/2 Umdrehung offen, 3 Briketts zugegeben.

11⁴⁰ 4 Briketts zugegeben.

15³⁰ Luftzutrittsregulierung 1/4 Umdrehung offen.

16³⁰ Nur mehr wenig Glut auf dem Rost, Luftzutrittsregulierung geschlossen.

Versuchsdauer: 7 Stunden 35 Minuten.

Die Außentemperatur schwankte von -3,0° C bis +3,2° C, und betrug im Mittel -0,2° C. Sonnenscheindauer: 0,3 Stunden. Es herrschte Windstille.

Die Versuchsergebnisse waren ähnliche wie beim vorigen Versuch. Es traten geringe Mengen unverbrannter Gase auf, wodurch der Wirkungsgrad des Ofens auf 81% herab gedrückt wurde.

Die erhaltenen Zahlenwerte sind in Tab. 6 und 7 wiedergegeben.

ε) Versuch 5 vom 27. Januar 1922.

Zweck des Versuches: Verhalten des Ofens beim Feuern mit belg. Anthrazit.

Heizmaterial: 2,0 kg Tannenholz und 5,955 belg. Anthrazit, Körnung 30/50.

8⁴⁵ angeheizt, Aschenfalltüre ganz offen.

9¹⁵ Aschenfalltüre schwach offen.

9³⁰ neue Charge.

9⁴⁵ Aschenfalltüre geschlossen, Luftzutrittsregulierung 2 1/2 Umdrehungen offen.

11⁰⁵ Luftzutrittsregulierung 1 Umdrehung offen.

12³⁰ neue Charge.

13³⁰ " " : Luftzutrittsregulierung 1 1/2 Umdrehungen offen.

14³⁰ " " " 1/2

15⁰⁰ neue Charge. Frisch angefeuert da Feuer ausgegangen, Aschenfalltüre geöffnet.

15³⁰ Aschenfalltüre geschlossen, Luftzutrittsregulierung 2 1/2 Umdrehungen offen.

17³⁰ fast keine Glut mehr auf dem Rost, Luftzutrittsregulierung geschlossen.

Versuchsdauer: 8 Stunden 35 Minuten.

Die Außentemperatur schwankte zwischen +2,5 und -2,5° C, und betrug im Mittel -0,16° C. Der Himmel war den ganzen Tag bedeckt, bis 9,15 Nebel. Es herrschte Windstille.

Das Anheizen mit Anthrazit ging gut. Der Anthrazit konnte direkt auf das Holzfeuer aufgelegt werden. Es brannte schlecht ab, und die Rückstände enthielten 58,4% unverbrannte Bestandteile. Der Wirkungsgrad des Ofens war deshalb nur 73,9%. Die Ofenoberfläche und der Versuchsraum wurden gut erwärmt.

Die erhaltenen Zahlenwerte sind in Tab. 6 und 7 niedergelegt.

c) Versuch 6 vom 30. Januar 1922.

Zweck des Versuches: Wirkung des Ofens bei hoher Außentemperatur.

Heizmaterial: 0,9 kg Tannenholz und 7,2 kg Braunkohlenbriketts Marke „Union“.

8⁴⁵ angeheizt, Aschenfalltüre ganz offen.

10⁰⁰ Aschenfalltüre geschlossen, Luftzutrittsregulierung 2 1/2 Umdrehungen offen.

10¹⁵ Luftzutrittsregulierung 1/2 Umdrehung offen.

10⁴⁵ Luftzutrittsregulierung 1/4 Umdrehung offen.

16⁰⁰ fast keine Glut mehr auf dem Rost, Luftzutrittsregulierung geschlossen.

Die Außentemperatur schwankte zwischen +9,2 und +6,0 ° C, und betrug im Mittel +8,0 ° C. Sonnenscheindauer: 8,5 Stunden. Es herrschte starker Westwind.

Die Versuchsergebnisse waren ähnlich denen von Versuch 3 und 4. Die Rauchgastemperatur war niedrig und der Kohlensäuregehalt normal, was einen Wirkungsgrad von 86 % bedingte.

Die Zahlenwerte dieses Versuches sind in Tab. 6 und 7 zusammengestellt.

Tabelle 6. Zusammenstellung der Rauchgasanalysen (Versuche 1—6).

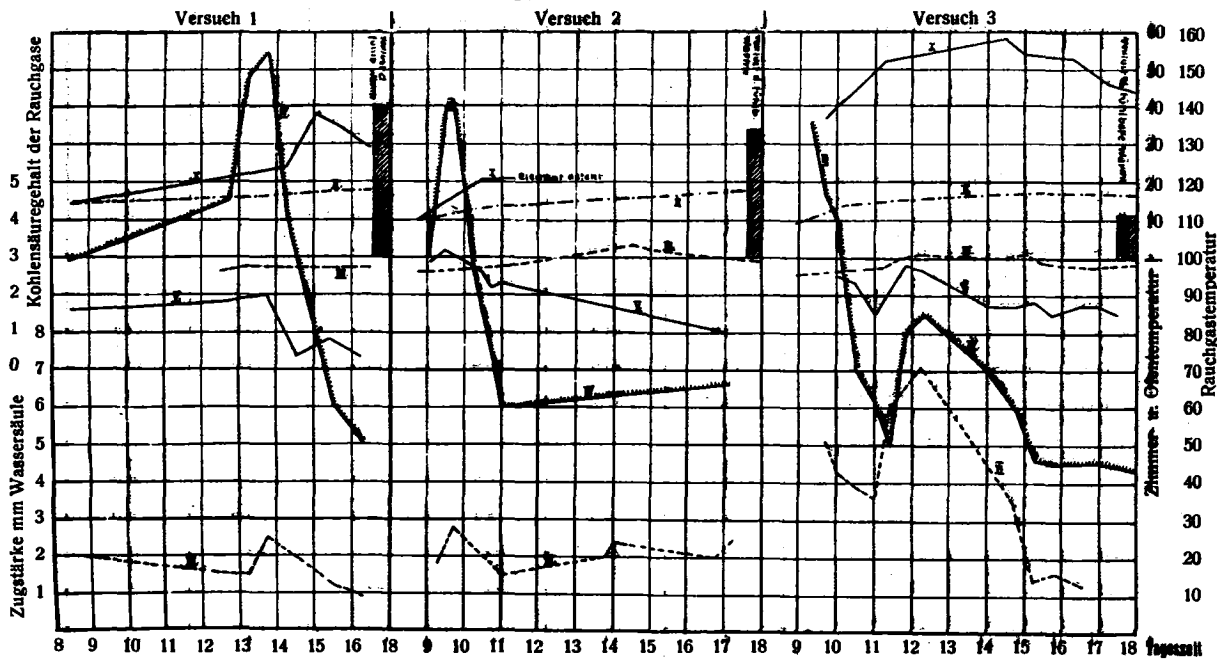
Analyse	CO ₂			O ₂		
	P	O	D	P	O	D
Versuch Nr. 1	—	1,6	1,6	—	16,3	16,9
„ „ 2	—	1,8	1,7	—	16,5	16,6
„ „ 3	3,7	3,8	3,7	14,9	15,2	14,9
„ „ 4	4,5	4,6	4,8	15,0	14,8	14,8
„ „ 5	3,8	3,5	3,7	15,3	15,4	15,3
„ „ 6	4,8	4,8	4,6	14,8	14,8	15,0

P = Mittel ausgerechnet nach den Ergebnissen der Analyse nach Pintsch.

O = Mittel aus allen abgesogenen und an Ort und Stelle nach Orsat bestimmten Einzelproben.

D = Abgesogene Durchschnittsprobe.

Abb. 12. Versuchsergebnisse Ofentyp 1, Haus Wibichstr. 5



LEGENDE :

Kurve I Oberflächentemperatur des Ofens (Mittel)
 II Zimmertemperatur
 III Außentemperatur

Kurve IV Rauchgastemperatur
 V Zugstärke
 VI Kohlensäuregehalt der Rauchgase

Tabelle 7. Zusammenstellung der Versuchsergebnisse.
Heizversuche im Haus I, Wibichstraße Nr. 5.

Versuchs - Nr.	1	2	3	4	5	6
Versuchsdatum	23. I. 22	24. I. 22	25. I. 22	26. I. 22	27. I. 22	30. I. 22
Versuchsdauer	8 Std.	9 Std. 20'	8 Std. 40'	7 Std. 35'	8 Std. 35'	7 Std. 15'
Zustand des Ofens: Ofenfugen	nicht verstrichen	nicht verstrichen	verstrichen	verstrichen	verstrichen	verstrichen
Brennstoffsorte	Briketts „Union“	Briketts „Union“	Briketts „Union“	Briketts „Union“	Anthrazit	Briketts „Union“
Brennstoffverbrauch:						
Holz	1,000	1,700	0,900	0,593	2,000	0,900
Briketts	17,200	17,600	7,690	8,602		7,200
Koks						
Anthrazit					5,955	
Durchschnittliche Zusammensetzung des Brennstoffes:						
Gehalt an Kohlenstoff Gew. %	56,54	56,24	56,08	56,45	74,23	56,02
Wasserstoff	3,55	3,59	3,61	3,56	3,64	3,62
Stickstoff+Sauerstoff	22,07	22,60	22,87	22,23	10,91	22,97
Schwefel	0,54	0,52	0,51	0,53	0,64	0,51
flücht. Kohlensäure	0,31	0,30	0,30	0,31	0,72	0,29
Asche	5,03	4,89	4,82	4,99	5,25	4,80
Wasser	11,96	11,86	11,81	11,93	4,61	11,79
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Heizwert des Brennstoffes W.E.	4919	4891	4877	4911	6673	4872
Feuerungsrückstände insgesamt kg	—	—	0,756	1,356	0,955	0,880
Unverbranntes in den Feuerungs- rückständen %	— ¹⁾	— ¹⁾	17,91	13,09	58,36	22,17
Zusammensetzung der Rauchgase:						
CO ₂ Vol. %	1,6	1,8	3,8	4,6	3,5	4,8
O ₂ „ „ %	16,3	16,5	15,2	14,8	15,4	14,8
H ₂ „ „ %	—	—	—	0,1	—	—
CO „ „ %	—	—	—	0,2	—	—
CH ₄ „ „ %	—	—	—	—	—	—
N ₂ „ „ %	82,1	81,7	81,0	80,3	81,1	80,4
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Höchster CO ₂ -Gehalt Vol. %	2,5	2,8	7,1	8,0	7,8	9,4
Mittlere Zugstärke mm Wassersäule	3,7	2,8	1,9	1,8	2,1	1,5
Höchste Zugstärke	8,0	3,9	2,8	3,0	2,8	2,3
Luftüberschubkoeffizient	11,1	9,8	4,7	3,9	4,7	3,7
Mittlere Raumtemperatur °C	16,0	13,9	15,9	15,3	17,6	18,2
Mittlere Rauchgastemperatur am Kamineingang °C	105,7	95,6	70,9	85,6	103,0	81,0
Wärmebilanz pro 1 kg Brennstoff						
Heizwert WE %	4919 100,0	4891 100,0	4877 100,0	4911 100,0	6673 100,0	4872 100,0
Verlust durch fühlbare Wärme	1995,9 40,5	1636,1 33,4	551,4 11,3	549,1 11,8	1178,1 17,6	496,2 10,2
Feuerungsrückstände	—	—	127,8 2,6	156,4 3,2	567,5 8,5	195,1 4,0
unverbrannte Gase	—	—	—	190,7 3,9	—	—
Wirkungsgrad	2923,1 59,5	3254,9 66,6	4197,8 86,1	4014,8 81,1	4927,4 73,9	4180,7 85,8
Verlust durch fühlbare Wärme am Kamineingang W. E.	1995,9	1636,1	551,4	549,1	1178,1	496,2
Brennstoffverbrauch insgesamt kg	18,2	19,3	8,58	9,195	7,955	8,10
Dem Ofen zugeführte Wärme W. E.	89533	94403	41845	45159	53083	39461
Vom Ofen abgegebene Wärme W. E.	53272	62872	36029	36624	39228	33858
Außentemperatur im Mittel °C	-3,2	-1,2	-1,9	-0,2	-0,1	+8,0
Mittlere Innentemperatur bei Versuchs- anfang °C	14,4	9,4	9,9	9,4	10,8	11,7
Maximale Innentemperatur °C	16,9	18,2	17,3	18,0	20,4	22,4
Mittlere Innentemperatur während des Versuches °C	16,0	13,9	15,9	15,3	17,6	18,2
Differenz zwischen Innen- und Außen- temperatur °C	19,2	15,1	17,8	15,5	17,7	10,2
Temperaturerhöhung im Versuchs- raum °C	2,5	8,8	7,4	8,6	9,6	10,7
Mittlere Temperatur der Nebenräume:						
Küche °C	10,7	7,7	9,2	9,2	10,3	11,2
Korridor °C	6,4	5,9	5,7	5,3	6,4	9,0
Schlafzimmer °C	1,5	2,1	1,3	1,6	1,4	7,5
Keller °C	1,6	4,3	4,1	4,3	4,6	6,0
Luftfeucht. Versuchsbeginn %	—	72	96	100	100	85
„ „ Versuchsende %	—	—	99	99	100	67
Niedrigste Luftfeuchtigkeit %	—	72	94	95	100	65
Höchste Oberflächentemperatur am Ofen (Kochringe) °C	82	95	119	119	170	119
Temperaturerhöhung pro 1 kg Brennstoff °C	—	0,45	0,86	0,93	1,21	1,32
pro 1000 zugeführte Wärme- einheiten °C	0,14	—	0,177	0,190	0,188	0,271
pro 1000 vom Ofen abgegebene Wärmeeinheiten °C	—	—	0,205	0,235	0,244	0,316

¹⁾ nicht bestimmt.

η) Zusammenfassung.

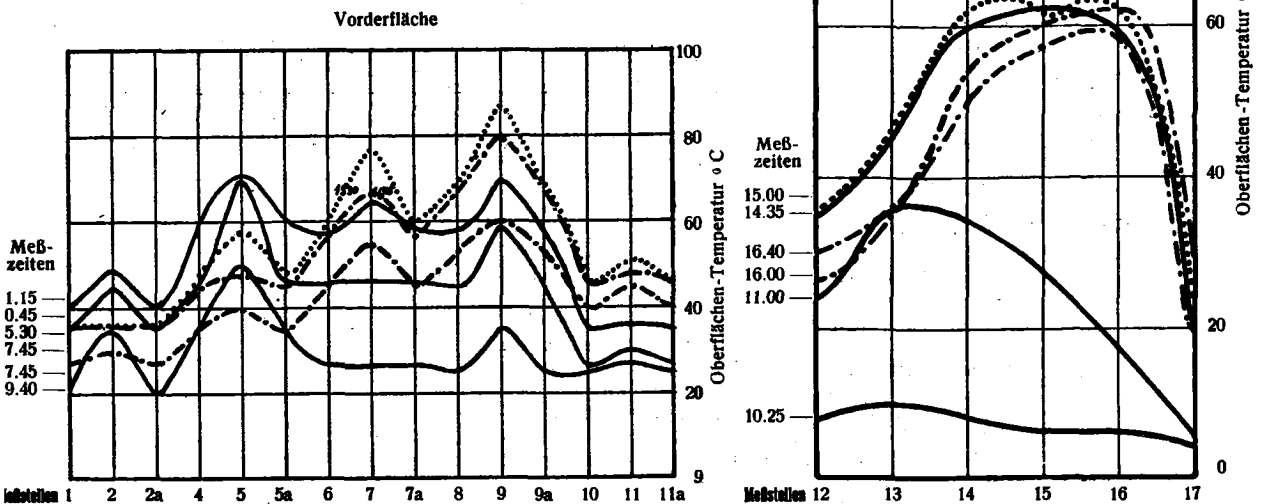
Der Ofen besitzt unverstrichen einen Wirkungsgrad von 60% bis 67%, verstrichen einen solchen von 74% bis 86%.

Die Abb. 12 enthält die Gegenüberstellung der drei ersten Versuche: Wie sie zeigt, nimmt die mittlere Ofenoberflächentemperatur von Versuch 1 bis 3 zu. Ganz erheblich nimmt die Rauchgasmenge infolge des hohen Kohlensäuregehaltes ab, weshalb die Verluste an fühlbarer Wärme von Versuch 1 zu Versuch 3 sinken. Trotz der tiefen Außentemperatur stieg die Temperatur im Versuchsraum beim Verfeuern von je 1 kg Brennstoff bei Versuch 3 höher an, als bei den beiden andern Versuchen.

Diese Versuchsgegenüberstellung zeigt, daß nicht genug betont werden kann, wie wichtig ein richtiges Ofenversetzen und ein sorgfältiger Unterhalt für die Brennstoffersparnis sind.

In Abb. 13 ist die Temperaturverteilung auf der seitlichen und vordern Ofenoberfläche zu verschiedenen Zeiten graphisch dargestellt. Die Temperaturverteilung ist eine ziemlich gleichmäßige. Temperaturen

Abb. 13. Temperaturverteilung auf der Ofenoberfläche Ofentyp 1, Wibichstr. 5



über 80° C. kommen nur an einer Stelle und nur während einer kurzen Zeitdauer vor. Aus der Temperaturverteilung kann man die Konstruktion und Wirkungsweise des Ofens gut herauslesen, sodaß die Messung dieser Werte, wie schon früher gesagt, für heiztechnische Untersuchungen wichtig ist.

Unverbrannte Gase traten nur beim Versuch 4 auf.

Der Temperaturabfall vom Eingang des Ofenrohres in den Kamin bis zur Höhe der Winde betrug durchschnittlich 80,7° C.

Da der Ofen einen kleinen Feuerraum und eine große Masse besitzt, steigt, wie es für einen Zimmerofen verlangt wird, die Oberflächentemperatur langsam an, bleibt aber nach Aussetzen der Heizung lange Zeit auf einer hohen mittlern Temperatur stehen. Der Ofen eignet sich also gut als Wohnzimmerofen. Die vertraglich verlangte Zimmertemperatur von 18 Grad konnte fast bei allen Versuchen erreicht werden.

b) *Versuche im Haus Wibichstraße Nr. 7.*

a) *Versuch 7 vom 1. Februar 1922.*

Zweck des Versuches: Prüfung des Ofens in *unverstrichenem* Zustand.

Heizmaterial: 6,0 kg Tannenholz und 11,52 kg Braunkohlenbriketts Marke „Union“.

8⁰⁰ angeheizt, Aschenfalltüre ganz offen.

9⁰⁰ Aschenfalltüre geschlossen, Luftzutrittsregulierung 2 Umdrehungen offen.

10¹⁵ Luftzutrittsregulierung 1½ Umdrehung offen.

10³⁰ Luftzutrittsregulierung ½ Umdrehung offen.

16⁰⁰ nur wenig Glut mehr auf dem Rost, Luftzutrittsregulierung geschlossen.

Versuchsdauer: 7 Stunden 10 Minuten.

Die Außentemperatur schwankte zwischen +8,0 und +3,0 Grad und betrug im Mittel +5,0 Grad. Sonnenscheindauer: 5 Stunden. Es herrschte schwacher Wind.

Auch dieser Ofen ließ sich sehr gut anheizen. Der Kohlensäuregehalt der Rauchgase stieg im Maximum auf 4,7%. Die mittlere Rauchgastemperatur war eine sehr hohe. Die Temperaturverteilung auf der Ofenoberfläche war ungleichmäßig. Während einige Kacheln sehr warm wurden, blieben andere fast dauernd kalt. Der Wirkungsgrad war kein hoher, nämlich 52%.

Die Zahlenwerte sind in Tab. 8 und 9 zusammengestellt.

β) *Versuch 8 vom 2. Februar 1922.*

Zweck des Versuches: Prüfung des Ofens bei *teilweise verstrichenen* Ofenfugen.

Heizmaterial: 6,0 kg Tannenholz und 12,24 kg Braunkohlenbriketts, Marke „Union“.

8⁰⁰ angeheizt, Aschenfalltüre ganz offen.

9⁰⁰ neue Charge an Briketts zugegeben, Aschenfalltüre geschlossen, Luftzutrittsregulierung 4 Umdrehungen offen.

9⁴⁵ Aschenfalltüre geöffnet.

10⁰⁰ Aschenfalltüre geschlossen, Luftzutrittsregulierung 1½ Umdrehung offen.

11⁵⁰ Luftzutrittsregulierung ½ Umdrehung offen.

14¹⁵ neue Charge an Briketts zugegeben.

17³⁰ fast keine Glut mehr auf dem Rost, Luftzutrittsregulierung geschlossen.

Versuchsdauer: 8 Stunden 40 Minuten.

Die Außentemperatur schwankte zwischen +6,5 und +3,7° C, und betrug im Mittel +5,5° C. Es herrschte starker Südwestwind.

Die Ofenfugen waren nur teilweise verstrichen. Es zeigte sich bei diesem Versuch, welcher großen Einfluß der Windanfall hat, bei schlecht schließenden Oefen. Die Zugstärke stieg auf 4,1 mm und der Kohlensäuregehalt der Rauchgase betrug im Mittel nur 1,8%. Der Verlust an fühlbarer Wärme war deshalb ein sehr großer. Der Wirkungsgrad sank auf 46% herunter.

Die diesbezüglichen Zahlenwerte sind in Tab. 8 und 9 zusammengestellt.

γ) *Versuch 9 vom 3. Februar 1922.*

Zweck des Versuches: Prüfung des *verstrichenen* Ofens.

Heizmaterial: 1,35 kg Tannenholz und 9,23 kg Braunkohlenbriketts Marke „Union“.

9³⁵ angeheizt, Aschenfalltüre ganz offen.

9⁵⁵ Aschenfalltüre geschlossen, Luftzutrittsregulierung 6 Umdrehungen offen.

10⁰⁰ Luftzutrittsregulierung 1 Umdrehung offen.

11⁰⁰ Luftzutrittsregulierung ¾ Umdrehung offen.

11¹⁵ Luftzutrittsregulierung ½ Umdrehung offen.

12⁰⁰ Brennstoffaufgabe; Ofenfugen verstrichen.

14⁵⁰ Brennstoffaufgabe.

17³⁰ fast keine Glut mehr auf dem Rost, Luftzutrittsregulierung geschlossen.

Versuchsdauer: 8 Stunden 5 Minuten.

Die Außentemperatur schwankte zwischen +7,9 und +6,0° C, und betrug im Mittel +6,8° C. Den ganzen Tag über regnete es. Es herrschte sehr starker Südwestwind.

Aus diesem Versuch erkennt man, daß bei verstrichenen Oefen der Windanfall einen viel kleineren Einfluß auf den Wirkungsgrad hat, als bei unverstrichenen. Der höchste Kohlensäuregehalt betrug 9,1%, auch die Rauchgastemperatur war eine wesentlich niedrigere. Der Wirkungsgrad des Ofens stieg auf 80%.

Die Zahlenwerte sind in Tab. 8 und 9 niedergelegt.

δ) *Versuch 10 vom 6. Februar 1922.*

Zweck des Versuches: Kontrolle von Versuch 9.

Heizmaterial: 1,72 kg Tannenholz und 9,62 kg Braunkohlenbrikettes, Marke „Union“.

10⁰⁰ angeheizt, Aschenfalltüre ganz offen.

10¹⁰ Aschenfalltüre geschlossen, Luftzutrittsregulierung 6 Umdrehungen offen.

10³⁵ Luftzutrittsregulierung 2 Umdrehungen offen.

11³⁰ neue Brennstoffaufgabe, Luftzutrittsregulierung ½ Umdrehung offen.

14³⁰ neue Brennstoffaufgabe.

17⁰⁰ fast keine Glut mehr auf dem Rost, Luftzutrittsregulierung geschlossen.

Versuchsdauer: 7 Stunden.

Die Außentemperatur schwankte zwischen $-8,0$ und $-11,5^{\circ}\text{C}$, und betrug im Mittel $-9,9^{\circ}\text{C}$. Am Morgen Schneefall, am Nachmittag klarer Himmel. Sonnenscheindauer: 3,6 Stunden. Es herrschte Windstille. Da die mittlere Außentemperatur gegenüber Versuch 9 vom 5. Februar eine sehr tiefe war, wurde Versuch 9 noch einmal wiederholt. Die Resultate sind analog denen von Versuch 9. Der Wirkungsgrad betrug 77 %.

Die Zahlenwerte sind in Tab. 8 und 9 niedergelegt.

e) Versuch 11 vom 7. Februar 1922.

Zweck des Versuches: Prüfen des Ofens beim Feuern mit Anthrazit.

Heizmaterial: 2,68 kg Tannenholz, 3,36 kg Braunkohlenbriketts Marke „Union“ und 5,19 kg belg. Anthrazit, Körnung 35/50.

9⁰⁰ angeheizt, Aschenfalltüre ganz offen.

9³⁰ Aschenfalltüre geschlossen, Luftzutrittsregulierung 3 Umdrehungen offen.

10⁰⁰ Luftzutrittsregulierung 1 Umdrehung offen,

12⁰⁰ Luftzutrittsregulierung $\frac{1}{4}$ Umdrehung offen.

16⁰⁰ neue Brennstoffaufgabe.

17⁰⁰ nur mehr wenig Glut auf dem Rost, Luftzutrittsregulierung geschlossen.

Versuchsdauer: 7 Stunden, 40 Minuten.

Die Außentemperatur schwankte zwischen $-5,5$ und $-19,0^{\circ}\text{C}$, und betrug im Mittel $-9,9^{\circ}\text{C}$. Sonnenscheindauer: 5,9 Stunden. Es herrschte schwacher Wind.

Auch mit Anthrazit konnte gut angefeuert werden. Die Verluste an unvollständig verbrannten Bestandteilen in den Feuerungsrückständen waren sehr groß. Der Wirkungsgrad betrug 78 %.

Die Versuchsergebnisse sind in Tab. 8 und 9 niedergelegt.

f) Versuch 12 vom 8. Februar 1922.

Zweck des Versuches: Prüfung des Ofens beim Feuern mit Koks.

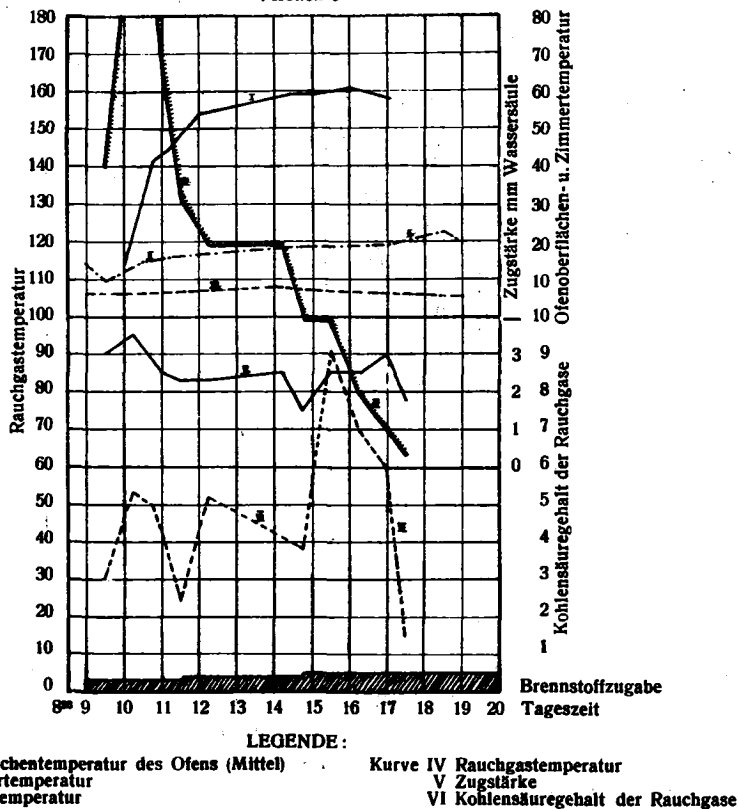
Heizmaterial: 0,303 kg Tannenholz, 3,36 kg Braunkohlenbriketts Marke „Union“ und 8,73 kg Zürcher-Kleinkoks, Körnung 15/30.

9⁰⁰ angeheizt, Aschenfalltüre ganz offen.

9³⁰ Aschenfalltüre geschlossen, Luftzutrittsregulierung 5 Umdrehungen offen.

10⁵⁵ Luftzutrittsregulierungen 4 Umdrehungen offen.

Abb. 14. Versuchsergebnisse Ofentyp 2, Wibichstr. 7
Versuch 9



11⁰⁰ Luftzutrittsregulierung 2 1/2 Umdrehungen offen.

12⁰⁰ Luftzutrittsregulierung 1/2 Umdrehung offen.

15⁰⁰ fast keine Glut mehr auf dem Rost, Luftzutrittsregulierung geschlossen.

Versuchsdauer: 6 Stunden.

Auch mit Koks ließ sich der Ofen gut anfeuern. Der Abbrand beim Heizen mit Koks war ein guter, der Gehalt an unverbrannten Bestandteilen betrug 19,13% und der dadurch verursachte Verlust 2,2%. Die Raumtemperatur stieg ziemlich rasch an. Der Wirkungsgrad beim Feuern mit Koks betrug 79%. Die Zahlenwerte sind in Tab. 8 und 9 zusammengestellt.

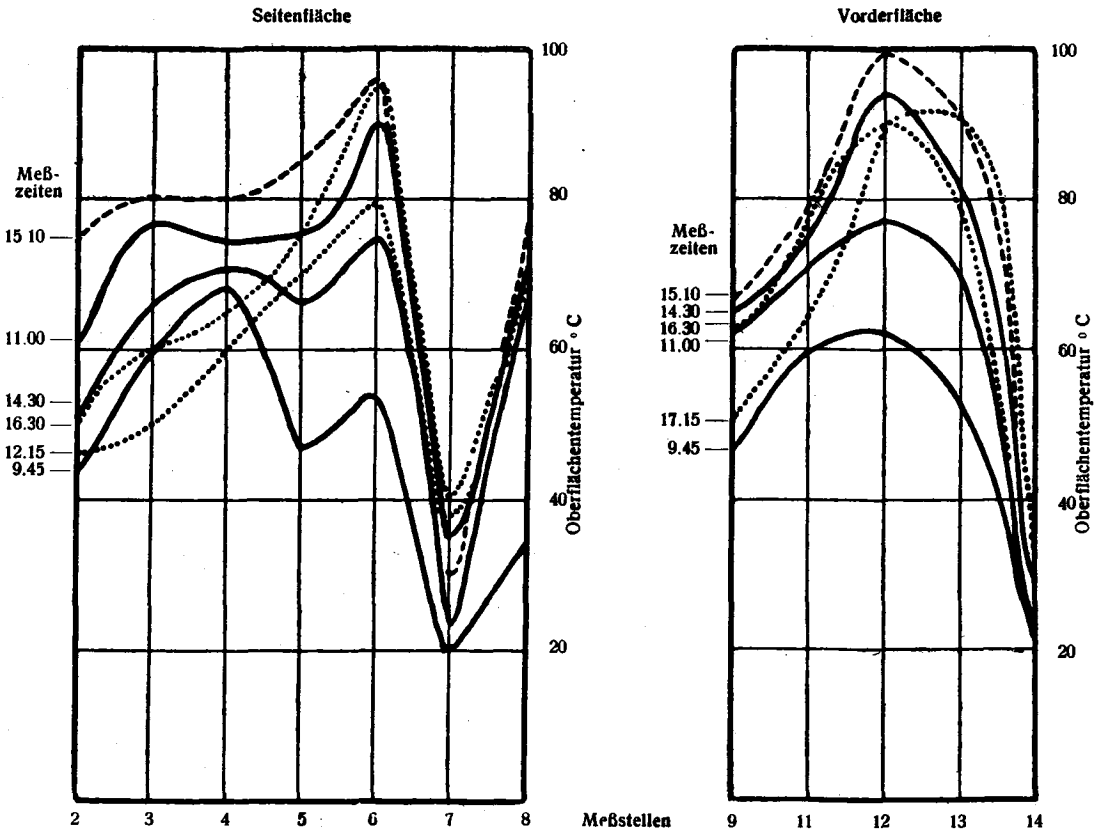
n) Zusammenfassung.

Der Ofen besitzt im unverstrichenen Zustand einen Wirkungsgrad von 46 bis 52%, im verstrichenen Zustand einen solchen von 77 bis 80%.

Die Abb. 14 zeigt den Versuch 9 graphisch dargestellt.

Die mittlere Ofenoberflächentemperatur stieg rasch an, was auf den großen Feuerraum des Ofens zurückzuführen ist, ebenso die Zimmertemperatur. Die Rauchgastemperatur stieg bis über 200°C an, sank dann aber rasch; der Kohlensäuregehalt stieg auf 9,1% an.

Abb. 15. Temperaturverteilung auf der Ofenoberfläche, Ofentyp 2, Wibichstr. 7



In Abb. 15 habe ich die gemessenen Ofenoberflächentemperaturen wiederum graphisch dargestellt. Aus den Kurven ist ersichtlich, daß die Temperaturverteilung bei diesem Ofen sehr ungleichmäßig ist. Die um den Feuerraum lagernden Kacheln werden sehr heiß, der Ofenfuß dagegen wird kaum angewärmt. Während längerer Zeit steigt die Ofentemperatur über 80°C. Aus den Temperaturkurven ist die Führung der Rauchgase deutlich zu erkennen.

Tabelle 9. Zusammenstellung der Versuchsergebnisse.
Heizversuche im Haus II, Wibichstraße Nr. 7.

Versuchs-Nr.	7	8	9	10	11	12
Versuchsdatum	1. II. 22	2. II. 22	3. II. 22	6. II. 22	7. II. 22	8. II. 22
Versuchsdauer	7 Std. 10'	8 Std. 40'	8 Std. 05'	7 Std.	7 Std. 40'	6 Std.
Zustand des Ofens: Ofenlugen	nicht verstrichen	nicht verstrichen	verstrichen	verstrichen	verstrichen	verstrichen
Brennstoffsorte	Briketts „Union“	Briketts „Union“	Briketts „Union“	Briketts „Union“	Anthrazit	Koks
Brennstoffverbrauch:						
Holz	kg 6,0	6,0	1,35	1,72	2,68	0,303
Briketts	11,52	12,24	9,23	9,62	3,36	3,36
Koks						8,73
Anthrazit					5,19	
Durchschnittliche Zusammensetzung des Brennstoffes:						
Gehalt an Kohlenstoff Gew. %	53,89	54,01	55,87	55,65	66,88	72,48
„ „ Wasserstoff „ %	3,94	3,92	3,65	3,68	3,70	1,43
„ „ Stickstoff+Sauerstoff „ %	26,65	26,44	23,23	23,62	16,18	7,65
„ „ Schwefel „ %	0,38	0,38	0,50	0,48	0,56	0,85
„ „ flücht. Kohlensäure „ %	0,22	0,22	0,29	0,28	0,54	0,25
„ „ Asche „ %	3,85	3,91	4,73	4,63	4,91	9,96
„ „ Wasser „ %	11,07	11,12	11,73	11,66	7,23	7,38
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Heizwert des Brennstoffes W. E.	4676	4687	4858	4837	5949	5970
Feuerungsrückstände insgesamt kg	0,590	0,457	0,555	0,760	1,350	1,055
Unverbranntes in den Feuerungs- rückständen %	11,17	7,36	11,53	14,60	26,26	19,13
Zusammensetzung der Rauchgase:						
CO ₂ Vol. %	2,8	1,8	4,4	5,0	3,9	6,3
O ₂ „ %	15,5	17,2	15,7	14,6	15,0	11,1
H ₂ „ %	—	—	—	—	—	—
CO „ %	—	—	0,11	—	—	—
CH ₄ „ %	—	—	—	—	—	—
N ₂ „ %	81,7	81,0	79,8	80,4	81,1	82,6
	100,0	100,0	100,00	100,0	100,0	100,0
Höchster CO ₂ -Gehalt Vol. %	4,7	3,4	9,1	7,0	8,4	8,4
Mittlere Zugstärke mm Wassersäule	2,5	2,3	2,6	3,0	2,5	2,0
Höchste Zugstärke „	3,2	4,1	4,0	4,0	3,5	3,3
Luftüberschubkoeffizient	6,2	1,6	4,0	3,5	4,7	3,2
Mittlere Raumtemperatur °C	18,0	17,8	17,7	16,5	17,3	16,1
Mittlere Rauchgastemperatur am Kamineingang °C	202,6	155,2	125,9	147,0	113,7	171,0
Wärmebilanz pro 1 kg Brennstoff Heizwert WE %	4676 100,0	4687 100,0	4858 100,0	4837 100,0	5949 100,0	5970 100,0
Verlust durch fühlbare Wärme	2219,7 47,5	2531,4 54,0	859,8 17,7	1061,3 21,9	1079,1 18,1	1131,0 18,9
„ „ Feuerungsrückstände	30,5 0,7	14,9 0,3	49,0 1,0	79,3 1,6	255,7 4,3	131,9 2,2
„ „ unverbrannte Gase	—	—	70,6 1,5	—	—	—
Wirkungsgrad	2425,8 51,8	2140,7 45,7	3878,6 79,8	3696,4 76,5	4614,2 77,6	4707,1 78,9
Verlust durch fühlbare Wärme am Kamineingang W. E.	2219,7	2531,4	859,8	1061,3	1079,1	808,9
Brennstoffverbrauch insgesamt kg	17,52	18,24	10,58	11,34	11,23	12,39
Dem Ofen zugeführte Wärme W. E.	81916	85492	51395	54856	66808	73961
Vom Ofen abgegebene Wärme W. E.	42342	39070	41013	41965	51843	58371
Außentemperatur im Mittel °C	+5,0	+5,5	+6,8	-9,9	-9,9	-10,2
Mittlere Innentemperatur bei Versuchs- anfang °C	11,8	10,0	8,1	6,8	6,5	4,4
Maximale Innentemperatur °C	20,9	21,2	20,7	21,7	18,8	20,4
Mittlere Innentemperatur während des Versuches °C	18,0	17,8	17,7	16,8	14,3	16,1
Differenz zwischen Innen- und Außen- temperatur °C	13,0	12,3	10,9	26,7	24,2	26,3
Temperaturerhöhung im Versuchs- raum °C	9,1	11,2	12,6	14,9	12,3	16,0
Mittlere Temperatur der Nebenräume:						
Küche °C	12,1	14,2	12,5	11,6	9,5	11,2
Korridor °C	7,1	8,5	9,0	2,4	-0,1	-2,0
Schlafzimmer °C	6,0	7,3	8,3	2,7	+2,4	+1,8
Keller °C	6,0	6,1	6,5	4,4	3,3	+2,9
Luftfeucht. Versuchsbeginn %	99	99	97	80	84	83
Versuchsende %	59	80	87	75	73	66
Niedrigste Luftfeuchtigkeit %	59	72	87	68	69	66
Höchste Oberflächentemperatur am Ofen (Kochringe) °C	132	100	105	115	117	117
Temperaturerhöhung pro 1 kg Brennstoff °C	0,519	0,614	1,191	1,314	1,095	1,291
pro 1000 zugeführte Wärme- einheiten °C	0,111	0,129	0,245	0,271	0,184	0,216
pro 1000 vom Ofen abgegebene Wärmeeinheiten °C	0,214	0,286	0,307	0,355	0,237	0,274

Der Ofen wirkt infolge seiner geringen Masse sehr rasch, wird aber bald kalt, nachdem der Brennstoff abgebrannt ist. Wenn man dauernde Wirkung haben will, so muß der Brennstoff, wie bei Versuch 9, Abb. 15, geschehen ist, periodisch zugegeben werden. Der Ofen eignet sich am besten zur Feuerung mit Braunkohlenbriketts.

Unverbrannte Gase kamen, wie Tab. 8 zeigt, nur bei einem Versuch vor. Der Temperaturabfall vom Eingang des Ofenrohres ins Kamin bis zur Höhe der Winde betrug im Mittel ca. 130 ° C.

Tabelle 8. Zusammenstellung der Rauchgasanalysen (Versuche 7—12).

Analyse	CO ₂			O ₂			CO
	P	O	D	P	O	D	P
Versuch Nr. 7	2,8	2,8	2,7	15,4	15,5	15,6	—
„ „ 8	1,7	1,8	1,7	17,2	17,2	17,0	—
„ „ 9	4,4	4,4	4,3	15,8	15,7	15,6	0,12
„ „ 10	5,0	5,0	5,0	14,7	14,6	14,6	—
„ „ 11	4,0	3,9	4,1	15,1	15,0	15,0	—
„ „ 12	6,3	6,3	6,1	11,0	11,1	11,0	—

P = Mittel ausgerechnet nach den Ergebnissen der Analyse nach Pintsch.

O = Mittel aus allen abgesogenen und an Ort und Stelle nach Orsat bestimmten Einzelproben.

D = Abgesogene Durchschnittsprobe.

Der Zugabfall vom Eingang des Ofenrohres in den Kamin bis zur Höhe der Winde betrug im Mittel 1,4 mm WS, der Temperaturabfall im Mittel 130 ° C.

c) Versuche im Hause Wibichstraße Nr. 9.

a) Versuch 13 vom 9. Februar 1922.

Zweck des Versuches: Prüfung des Ofens in *unverstrichenem* Zustand.

Heizmaterial: 1,2 kg Tannenholz und 8,64 kg Braunkohlenbriketts Marke „Union“.

9⁰⁰ angeheizt, Aschenfalltüre ganz offen.

9¹⁰ Aschenfalltüre geschlossen, Luftzutrittsregulierung an der Feuertüre 4 Umdrehungen offen, Luftzutrittsregulierung an der Aschenfalltüre 4 Umdrehungen offen.

9²⁰ Luftzutrittsregulierung an der Feuertüre geschlossen.

11⁴⁵ neue Brennstoffaufgabe, Luftzutrittsregulierung an der Aschenfalltüre 2 Umdrehungen offen.

14⁰⁰ Luftzutrittsregulierung an der Aschenfalltüre 1/4 Umdrehung offen.

16¹⁵ fast keine Glut mehr auf dem Rost, Luftzutrittsregulierung an der Aschenfalltüre geschlossen.

Versuchsdauer: 7 Stunden 15 Minuten.

Die Außentemperatur schwankte zwischen —4,5 und —10,7 ° C, und betrug im Mittel —8,2 ° C.

Sonnenscheindauer: 7,6 Stunden. Es herrschte Windstille.

Der Ofen ließ sich gut anheizen. Der Verlust an fühlbarer Wärme betrug 49,8 %, der Wirkungsgrad 50 %.

Die Zahlenwerte, die diesen Versuch betreffen, sind in Tab. 10 und 11 zusammengestellt.

β) Versuch 14 vom 10. Februar 1922.

Zweck des Versuches: Prüfung des Ofens bei *verstrichenen* Ofenfugen.

Heizmaterial: 1,0 kg Tannenholz und 8,64 kg Braunkohlenbriketts, Marke „Union“.

9³⁰ angeheizt, Aschenfalltüre ganz geöffnet.

9⁵⁰ Aschenfalltüre geschlossen.

10⁰⁵ Luftzutrittsregulierung 2 1/2 Umdrehungen offen: Rauchbildung.

10¹⁰ Luftzutrittsregulierung 5 Umdrehungen offen.

10²⁰ Luftzutrittsregulierung 3 1/2 Umdrehungen offen: Rauchbildung.

11⁰⁰ Luftzutrittsregulierung 4 1/2 Umdrehungen offen.

11¹⁵ Luftzutrittsregulierung 1 1/2 Umdrehungen offen.

12⁰⁰ Luftzutrittsregulierung 3/4 Umdrehungen offen.

14⁰⁰ Luftzutrittsregulierung 1/4 Umdrehung offen.

17²⁰ fast keine Glut mehr auf dem Rost, Luftzutrittsregulierung geschlossen.

Versuchsdauer: 7 Stunden, 50 Minuten.

Die Außentemperatur schwankte zwischen $-7,8$ und $-3,0^{\circ}\text{C}$, und betrug im Mittel $-5,2^{\circ}\text{C}$. Sonnenscheindauer: 7,9 Stunden. Der Himmel war schwach bewölkt. Es herrschte Windstille.

Der Kohlendioxidgehalt stieg bei diesem Versuch bis auf $9,3\%$, es bildeten sich dabei nur wenig unverbrannte Gase, und daher war der Verlust an fühlbarer Wärme geringer, sodaß der Wirkungsgrad auf 80% anstieg.

Die Zahlenwerte über diesen Versuch finden sich in Tab. 10 und 11.

γ) Versuch 15 vom 14. Februar 1922.

Zweck des Versuches: Prüfung des Ofens beim Heizen mit Koks.

Heizmaterial: 1,0 kg Tannenholz, 0,96 kg Braunkohlenbriketts Marke „Union“ und 3,345 kg Zürcher Klein-Koks, Körnung 15/30.

9^{45} angeheizt, Aschenfalltüre ca. 25 cm. geöffnet.

10^{30} Aschenfalltüre geschlossen, Luftzutrittsregulierung 2 Umdrehungen offen.

11^{40} Luftzutrittsregulierung 1 Umdrehung offen.

13^{10} Luftzutrittsregulierung $\frac{1}{2}$ Umdrehung offen.

17^{00} fast keine Glut mehr auf dem Rost, Luftzutrittsregulierung geschlossen.

Versuchsdauer: 7 Stunden, 15 Minuten.

Die Außentemperatur schwankte zwischen $+5,0$ und $-1,5^{\circ}\text{C}$, und betrug im Mittel $+2,7^{\circ}\text{C}$. Sonnenscheindauer ca. 5 Minuten. Der Himmel war stark bewölkt. Es herrschte Windstille.

Auch mit diesem Heizmaterial ließ sich der Ofen gut anfeuern. Der Abbrand war kein guter. Es blieb eine große Schlackenmenge auf dem Rost mit $31,3\%$ unverbrannten Bestandteilen. Der Verlust betrug $14,4\%$. Die Rauchgastemperatur war niedrig und der mittlere Kohlendioxidgehalt ziemlich hoch, sodaß die Verluste an fühlbarer Wärme nur $14,1\%$ betragen. Der Wirkungsgrad des Ofens war 69% .

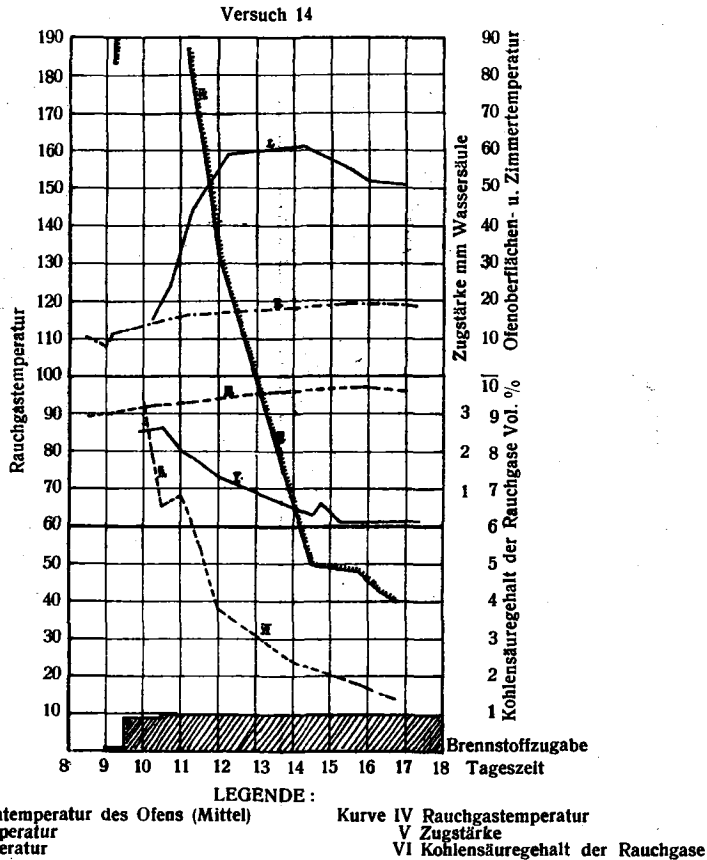
Die Zahlenwerte dieses Versuches sind in Tab. 10 und 11 zusammengestellt.

δ) Versuch 16 vom 15. Februar 1922.

Zweck des Versuches: Wiederholung von Versuch 15.

Heizmaterial: 1,0 kg Tannenholz, 0,96 kg Braunkohlenbriketts Marke „Union“ und 3,155 kg Zürcher Klein-Koks, Körnung 15/30.

Abb. 16. Versuchsergebnisse Ofentyp 2, Wibichstr. 9



- 9⁴⁰ angeheizt, Aschenfalltüre ganz offen.
- 10¹⁵ Aschenfalltüre geschlossen, Luftzutrittsregulierung 3 Umdrehungen offen.
- 14³⁰ Luftzutrittsregulierung 1/2 Umdrehung offen.
- 17⁴⁰ fast keine Glut mehr auf dem Rost, Luftzutrittsregulierung geschlossen.

Versuchsdauer: 8 Stunden.

Die Außentemperatur schwankte zwischen + 4,3 und + 3,0 ° C., und betrug im Mittel + 3,7 ° C. Sonnenscheindauer: ca. 15 Minuten. Der Himmel war stark bewölkt. Bis 9 Uhr war Schneefall, am Morgen starker Nebel. Es herrschte Windstille.

Die Heizung geschah wie bei Versuch 15. Der Abbrand zeigte weniger Schlacken, doch war der Gehalt an unverbrannten Bestandteilen groß, nämlich 56 %. Die mittlere Rauchgastemperatur war ungefähr gleich dem beim vorigen Versuch. Der Wirkungsgrad war 78 %.

Die Zahlenwerte sind in Tab. 10 und 11 zusammengestellt.

e) Versuch 17 vom 16. Februar 1922.

Zweck des Versuches: Prüfung des Ofens beim Heizen mit Anthrazit.

Heizmaterial: 1,0 kg Tannenholz, 0,96 kg Braunkohlenbriketts Marke „Union“ und 3,18 kg belg.

Anthrazit, Körnung 30/50.

10⁰⁰ angeheizt, Aschenfalltüre 30 cm geöffnet.

10²⁵ Aschenfalltüre geschlossen, Luftzutrittsregulierung 2 1/2 Umdrehungen offen.

10⁵⁵ Luftzutrittsregulierung 1 Umdrehung offen.

14⁰⁰ Luftzutrittsregulierung 1/2 Umdrehung offen.

16³⁰ fast keine Glut mehr auf dem Rost, Luftzutrittsregulierung geschlossen.

Versuchsdauer: 6 Stunden 20 Minuten.

Das Anfeuern mit Anthrazit ging gut. Der Versuch verlief analog den Versuchen 15 und 16 mit Koks. Im Kochraum kam die Grundplatte zum Glühen. Auch bei diesem Versuch zeigten sich viel unverbrannte Bestandteile in den Feuerungsrückständen und zwar 50,67 %. Die mittlere Rauchgastemperatur war sehr niedrig. Der Wirkungsgrad betrug 75 %.

Die diesen Versuch betreffenden Zahlenwerte sind in Tab. 10 und 11 zusammengestellt.

Abb. 17. Temperaturverteilung auf der Ofenoberfläche, Ofentyp 2, Wibichstr. 9

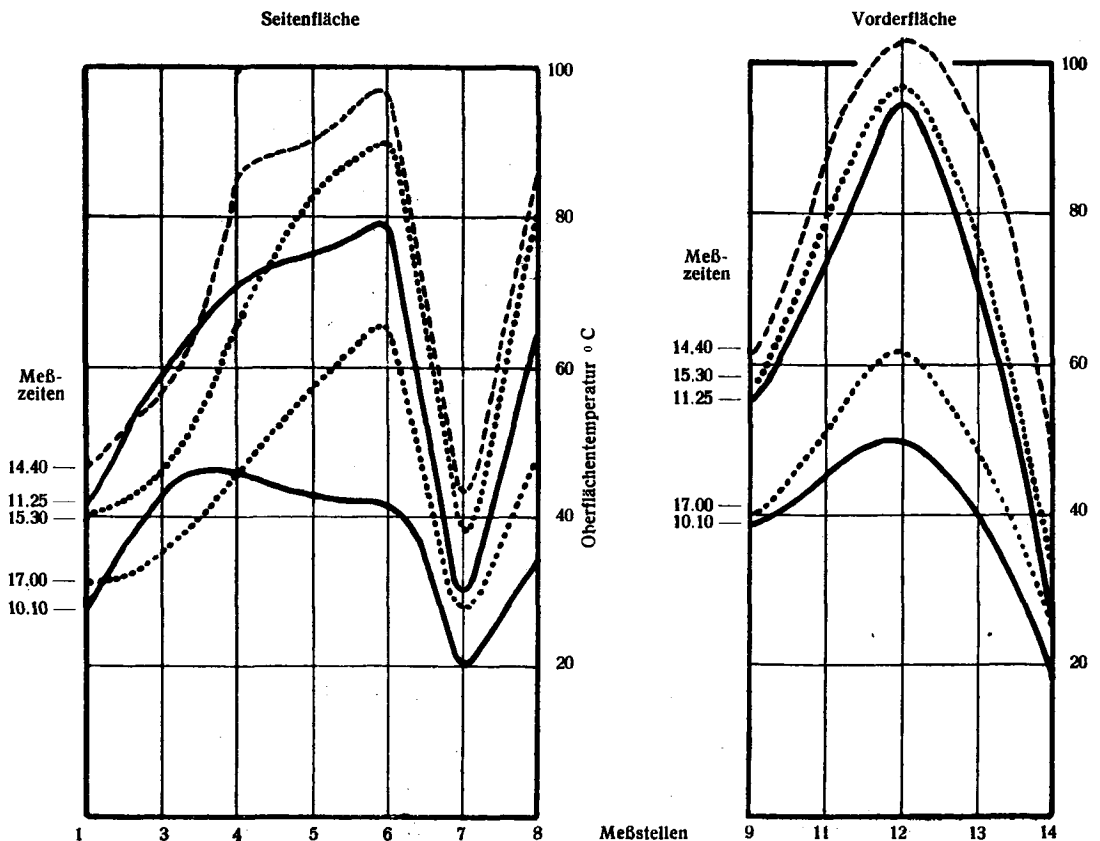


Tabelle 11. Zusammenstellung der Versuchsergebnisse.
Heizversuche im Haus III, Wibichstraße Nr. 9.

Versuchs-Nr.	13	14	15	16	17
Versuchsdatum	9. II. 22	10. II. 22	14. II. 22	15. II. 22	16. II. 22
Versuchsdauer	7 Std. 15'	7 Std. 50'	7 Std. 15'	8 Std. 00'	6 Std. 20'
Zustand des Ofens: Ofenfugen	nicht verstrichen	verstrichen	verstrichen	verstrichen	verstrichen
Brennstoffsorte	Briketts „Union“	Briketts „Union“	Koks	Koks	Anthrazit
Brennstoffverbrauch:					
Holz	kg 1,200	1,000	1,000	1,000	1,000
Briketts	8,640	8,640	0,960	0,960	0,960
Koks			3,345	3,155	
Anthrazit					3,180
Durchschnittliche Zusammensetzung des Brennstoffes:					
Gehalt an Kohlenstoff Gew. %	55,92	56,09	69,33	68,96	71,37
„ „ Wasserstoff „ %	3,64	3,61	1,87	1,92	3,60
„ „ Sauerstoff+Stickstoff „ %	23,14	22,85	11,72	12,10	12,49
„ „ Schwefel „ %	0,50	0,51	0,73	0,72	0,63
„ „ flücht. Kohlensäure „ %	0,29	0,30	0,20	0,20	0,66
„ „ Asche „ %	4,76	4,83	8,79	8,67	5,30
„ „ Wasser „ %	11,75	11,81	7,36	7,43	5,95
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Heizwert des Brennstoffes W. E.	4863	4878	5723	5697	6388
Feuerungsrückstände insgesamt kg	0,50	0,445	1,699	0,405	0,885
Unverbranntes in den Feuerungs- rückständen %	nicht bestimmt	18,84	31,29	55,69	50,67
Zusammensetzung der Rauchgase:					
CO ₂ Vol. %	2,0	5,2	4,9	5,2	3,6
O ₂ „ %	18,6	14,5	14,9	14,8	16,3
H ₂ „ %	—	0,1	0,1	0,1	—
CO „ %	—	0,3	0,1	0,2	—
CH ₄ „ %	—	—	—	—	—
N ₂ „ %	79,4	79,9	80,0	79,7	80,1
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Höchster CO ₂ -Gehalt Vol. %	4,3	9,3	7,7	8,9	7,0
Mittlere Zugstärke mm Wassersäule	1,9	1,9	1,4	1,4	1,1
Höchste Zugstärke	4,3	3,6	2,7	1,8	2,2
Luftüberschusskoeffizient	8,8	3,4	4,0	3,7	5,1
Mittlere Raumtemperatur °C	16,9	15,6	15,2	17,2	15,2
Mittlere Rauchgastemperatur am Kamineingang °C	153,5	120,9	106,2	100,7	88,1
Wärmebilanz pro 1 kg Brennstoff Heizwert	WE % 4863 100,0	WE % 4878 100,0	WE % 5723 100,0	WE % 5697 100,0	WE % 6388 100,0
Verlust durch fühlbare Wärme	2420,5 49,8	692,3 14,2	804,8 14,1	664,4 11,7	885,1 13,9
„ „ Feuerungsrückstände	— —	70,4 1,4	825,9 14,4	357,2 6,3	706,6 11,1
„ „ unverbrannte Gase	— —	211,3 4,3	146,1 2,6	207,1 3,6	— —
Wirkungsgrad	2442,5 50,2	3904,0 80,1	3946,2 68,9	4468,3 78,4	4796,3 75,0
Verlust durch fühlbare Wärme am Kamineingang W. E.	2420,5	692,3	804,8	664,4	885,1
Brennstoffverbrauch insgesamt kg	9,84	9,64	5,305	5,115	5,14
Dem Ofen zugeführte Wärme W. E.	47.848	47.024	30.360	29.140	32.834
Vom Ofen abgegebene Wärme W. E.	24.020	37.666	20.918	22.846	24.626
Außentemperatur im Mittel °C	-8,2	-5,2	+2,7	+3,7	+3,2
Mittlere Innentemperatur bei Versuchs- anfang °C	13,8	11,5	12,4	14,3	12,3
Maximale Innentemperatur °C	19,5	18,3	17,1	18,9	17,5
Mittlere Innentemperatur während des Versuches °C	16,9	15,6	15,2	17,2	15,2
Differenz zwischen Innen- und Außen- temperatur °C	25,1	20,8	12,5	13,5	12,0
Temperaturerhöhung im Versuchs- raum °C	5,7	6,8	4,7	4,6	5,2
Mittlere Temperatur der Nebenräume:					
Küche °C	8,5	10,6	9,9	14,4	16,7
Korridor °C	5,0	3,8	6,2	8,5	7,7
Schlafzimmer °C	6,8	4,4	4,1	5,2	6,8
Keller °C	3,5	2,9	4,0	4,7	5,0
Luftfeucht. Versuchsanfang %	86	76	92	99	92
„ Versuchsende %	62	64	90	95	99
Niedrigste Luftfeuchtigkeit %	62	60	65	88	84
Höchste Oberflächentemperatur am Ofen °C	103	103	90	95	75
Temperaturerhöhung pro 1 kg Brennstoff °C	0,58	0,706	0,886	0,899	1,011
pro 1000 zugeführte Wärme- einheiten °C	0,119	0,145	0,155	0,157	0,158
pro 1000 vom Ofen abgegebene Wärmeeinheiten °C	0,238	0,185	0,225	0,201	0,211

ξ) Zusammenfassung.

Der Ofen besitzt in unverstrichenem Zustand einen Wirkungsgrad von 50%, in verstrichenem einen solchen von 69% bis 80%. Der Wirkungsgrad dieses Ofens war also gleich groß wie bei Ofentypus im Haus Wibichstraße Nr. 7, was durch die Gleichheit der Konstruktion bedingt ist.

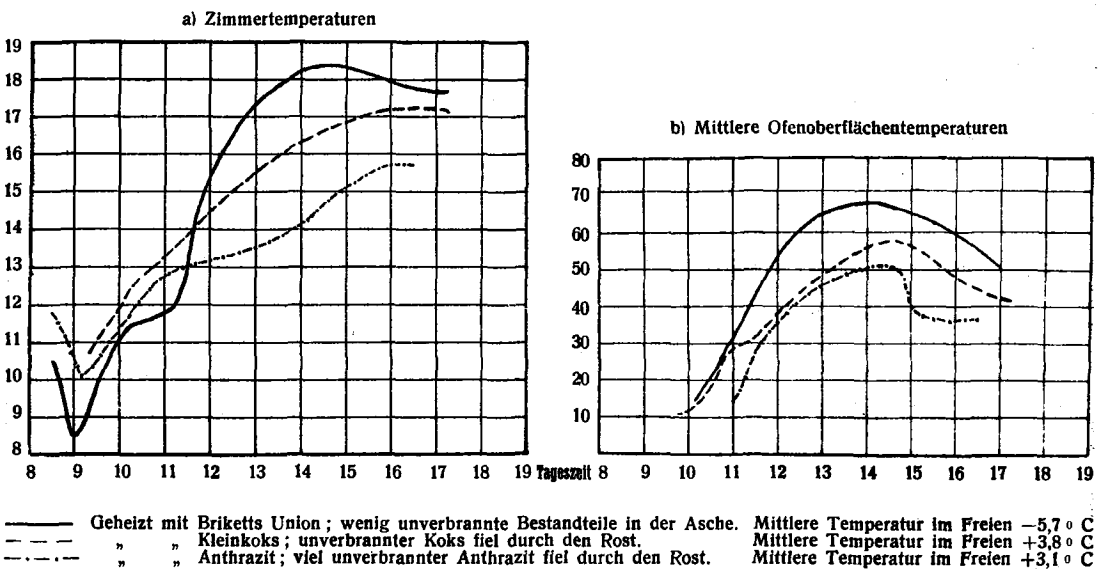
In Abb. 16 ist der Versuch 14 in gleicher Weise wie Versuch 9 graphisch dargestellt.

Die Vergleichung der beiden Abb. 14 und 16 zeigt, daß sich die beiden Oefen im Haus Wibichstraße Nr. 7 und 9 gleich verhalten. Die Rauchgastemperatur steigt über 250 Grad an, fällt dann aber rasch. Der Kohlensäuregehalt der Rauchgase fällt rasch vom Maximalwert ab. Die Zugstärke ist eine geringe. Sehr rasch steigt die mittlere Oberflächentemperatur des Ofens an, sinkt dann aber bald, was durch die kleine Masse desselben erklärlich ist. Die Zimmertemperatur zeigt das gleiche Verhalten wie beim Ofen im Haus Nr. 7. Sie steigt fast auf 19 Grad an.

In Abb. 17 ist die Oberflächentemperaturverteilung des Ofens zu verschiedenen Zeiten graphisch dargestellt. Die Kurven verlaufen gleich wie beim Ofen im Haus Wibichstraße Nr. 7.

Die Abb. 18 illustriert die verschiedene Wirkungsweise des Ofens beim Heizen mit verschiedenen Brennstoffen. Es wurden dem Ofen bis 47,000 W. E. zugeführt. Bei der Feuerung mit Koks und Anthrazit fielen immer größere Kohlenstücke durch den Rost in den Aschenfall, die ausgelesen und deren Gewicht von der ursprünglich zugeführten Brennstoffmenge abgezogen wurde. Die Kurven in Abb. 18 sind also nicht streng vergleichbar. Es schneiden dabei die Braunkohlenbriketts viel besser ab, da naturgemäß beim Heizen mit diesem Heizmaterial fast keine unverbrannten Teile durch den Rost fallen.

Abb. 18. Zimmer- und Ofenoberflächentemperaturen bei Anwendung verschiedener Brennstoffsorten Ofentyp 2, Wärmezufuhr bis 47000 W. E.



Am schlechtesten schneidet der Anthrazit ab, da beim Feuern mit diesem Material neben den durchgefallenen Kohlenstücken noch viel unverbrauchte Bestandteile in den Feuerungsrückständen sich finden, die Roste paßten nicht für Koks und Anthrazit.

Unverbrannte Gase kamen, wie Abb. 10 und 11 zeigen, nur bei 3 Versuchen vor. In Tab. 10 sind die Mittelwerte der Rauchgasanalysen zusammengestellt.

Tabelle 10. **Zusammenstellung der Rauchgasanalysen** (Versuche 13—17).

Analyse von	CO ₂			O ₂			CO	H ₂		N ₂
	P	O	D	P	O	D	P	P	Pa	*)
Versuch Nr. 13	2,1	2,0	2,0	18,5	18,6	18,7	—	—	—	79,4
" " 14	5,2	5,2	5,0	14,5	14,5	14,5	0,3	0,1	0,1	79,9
" " 15	4,9	4,9	5,0	14,9	14,9	14,8	0,1	0,1	0,1	80,0
" " 16	5,2	5,2	5,3	14,8	14,8	15,0	0,2	0,1	0,1	79,7
" " 17	3,6	3,6	3,5	16,3	16,3	16,2	—	—	—	80,1

P = Mittel ausgerechnet nach den Ergebnissen der Analyse nach Pintsch.
 Pa = Mittel aus allen abgesogenen nach Paal im Laboratorium untersuchten Einzelproben.
 O = Mittel aus allen abgesogenen und an Ort und Stelle nach Orsat bestimmten Einzelproben.
 D = Abgesogene Durchschnittsprobe.
 *) Als Differenz von 100 ausgerechnet.

Der Temperaturabfall vom Eingang des Ofenrohres in den Kamin bis zur Höhe der Winde betrug 100,1 ° C.

Die Oefen im Haus Nr. 7 und 9 verhalten sich also in feuerungstechnischer Hinsicht gleich, was zu erwarten war, da sie auch gleich konstruiert sind.

d) *Versuch im Hause Wibichstraße Nr. 11.*

a) *Versuch 18 vom 20. Februar 1922.*

Zweck des Versuches: Prüfung von Ofentypus Nr. 3.

Heizmaterial: 1,2 kg Tannenholz und 8,64 kg Braunkohlenbriketts, Marke „Union“.

9⁰⁰ angeheizt, Aschenfalltüre ganz offen.

9³⁰ Aschenfalltüre geschlossen, Luftzutrittsregulierung 4 Umdrehungen offen.

10³⁰ Luftzutrittsregulierung 1 Umdrehung offen: Rauchbildung am Kamin.

10³⁵ Luftzutrittsregulierung 3 Umdrehungen offen.

12⁰⁰ Luftzutrittsregulierung 1 Umdrehung offen.

13³⁰ Luftzutrittsregulierung 1/2 Umdrehung offen.

17¹⁵ fast keine Glut mehr auf dem Rost, Luftzutrittsregulierung geschlossen.

Versuchsdauer: 8 Stunden, 15 Minuten.

Die Außentemperatur schwankte zwischen + 6,6 und + 3,5 ° C, und betrug im Mittel + 5,1 ° C. Es schneite von morgens 7 Uhr bis 7 3/4 Uhr, dann Regen bis zum Schluß des Versuches. Es herrschte Windstille.

Dieser Ofen wurde nicht mehr in unverstrichenem Zustand geprüft, da er gleichzeitig mit dem Ofen in Haus Nr. 9 verstrichen wurde. Auch dieser Ofen ließ sich gut anheizen. Die Temperatur der Rauchgase ist sehr niedrig, und der Kohlensäuregehalt hoch, nämlich im Mittel 6,0 %. Der Verlust an fühlbarer Wärme war nur 7,6 %, also gering. Der Wirkungsgrad war 87 %.

Die Zahlenwerte sind in Tab. 12 und 13 niedergelegt.

β) *Versuch 19 vom 21. Februar 1922.*

Zweck des Versuches: Wiederholung von Versuch 18.

Heizmaterial: 1,2 kg Tannenholz und 8,64 kg Braunkohlenbriketts, Marke „Union“.

9³⁵ angeheizt, Feuer- und Aschenfalltüre schwach geöffnet.

10⁰⁵ Feuer- und Aschenfalltüre geschlossen, Luftzutrittsregulierung an der Feuertüre 2 Umdrehungen offen, Luftzutrittsregulierung an der Aschenfalltüre 4 Umdrehungen offen.

10¹⁵ Luftzutrittsregulierung an der Feuertüre geschlossen, Luftzutrittsregulierung an der Aschenfalltüre 2 Umdrehungen offen.

10⁴⁵ Luftzutrittsregulierung 1 Umdrehung offen.

12⁰⁰ Luftzutrittsregulierung 1/2 Umdrehung offen.

15³⁰ fast keine Glut mehr auf dem Rost, Luftzutrittsregulierung geschlossen.

Versuchsdauer: 5 Stunden 55 Minuten.

Die Außentemperatur schwankte zwischen + 5,0 und + 1,0 ° C, und betrug im Mittel + 3,1 ° C. Bis 10¹⁵ Uhr herrschte Nebel, am Nachmittag war Sonnenschein. Sonnenscheindauer: 2,2 Stunden. Es herrschte Windstille.

Dieser Versuch verlief analog Versuch 18, der Verlust an fühlbarer Wärme war gleichviel beim vorigen Versuch, nämlich 7,7 %. Der Wirkungsgrad des Ofens war 90 %.

Die Zahlenwerte dieses Versuches sind in Tab. 12 und 13 zusammengestellt.

γ) Versuch 20 vom 22. Februar 1922.

Zweck des Versuches: Prüfung des Ofens beim Feuern mit Koks.

Heizmaterial: 1,62 kg Tannenholz, 0,96 kg Braunkohlenbriketts, Marke „Union“, und 4,91 kg Zürcher Klein-Koks, Körnung 15/30.

9⁵⁵ angeheizt, Aschenfalltüre ganz offen.

10¹⁵ Aschenfalltüre geschlossen, Luftzutrittsregulierung an der Aschenfalltüre 5 Umdrehungen offen.

10³⁰ Luftzutrittsregulierung an der Aschenfalltüre 3 Umdrehungen offen.

11³⁰ Luftzutrittsregulierung an der Feuertüre 1/2 Umdrehung offen, Luftzutrittsregulierung an der Aschenfalltüre 1/2 Umdrehung offen.

12⁰⁰ Luftzutrittsregulierung an der Feuertüre geschlossen.

16⁰⁰ fast keine Glut mehr auf dem Rost, Luftzutrittsregulierung an der Aschenfalltüre geschlossen.

Versuchsdauer: 6 Stunden 25 Minuten.

Die Außentemperatur schwankte zwischen +6,0° und +4,0° C, und betrug im Mittel +5,2° C. Während der ganzen Versuchsdauer war Regen. Es herrschte Windstille.

Das Anfeuern mit Koks ging wie mit Braunkohlenbriketts sehr gut. Der Abbrand war nicht gut; der Verlust an unverbrannten Bestandteilen in den Feuerungsrückständen betrug 10,5%. Der mittlere Kohlendioxidgehalt der Rauchgase war hoch. Der Wirkungsgrad belief sich auf 80%.

Die Zahlenwerte dieses Versuches befinden sich in Tab. 12 und 13.

δ) Versuch 21 vom 23. Februar 1922.

Zweck des Versuches: Wiederholung von Versuch 20.

Heizmaterial: 1,22 kg Tannenholz, 0,96 kg Braunkohlenbriketts, Marke „Union“, und 4,706 kg Zürcher Klein-Koks, Körnung 15/30.

8³⁰ angeheizt, Aschenfalltüre ganz offen.

9¹⁵ Aschenfalltüre geschlossen, Luftzutrittsregulierung an der Feuertüre 2 Umdrehungen offen, Luftzutrittsregulierung an der Aschenfalltüre 4 Umdrehungen offen.

9³⁰ Luftzutrittsregulierung an der Feuertüre 1/2 Umdrehung offen, Luftzutrittsregulierung an der Aschenfalltüre 2 1/2 Umdrehungen offen.

9⁴⁵ Luftzutrittsregulierung an der Feuertüre geschlossen, Luftzutrittsregulierung an der Aschenfalltüre 1 1/2 Umdrehungen offen.

11⁴⁵ Luftzutrittsregulierung an der Aschenfalltüre 1 Umdrehung offen.

12¹⁵ Luftzutrittsregulierung an der Aschenfalltüre 1/2 Umdrehung offen.

16⁰⁰ fast keine Glut mehr auf dem Rost, Luftzutrittsregulierung geschlossen.

Versuchsdauer: 7 Stunden 30 Minuten.

Die Außentemperatur schwankte zwischen +17,0° und +2,0° C, und betrug im Mittel +5,6° C. Bis 9 Uhr herrschte Nebel, am Nachmittag war Sonnenschein. Sonnenscheindauer: 3,9 Stunden. Es herrschte Windstille.

Der Versuch war fast analog von Versuch 20 vom 22. Februar 1922. Der Wirkungsgrad betrug 85%.

Die Zahlenwerte über diesen Versuch sind in Tab. 12 und 13 zusammengestellt.

ε) Versuch 22 vom 24. Februar 1922.

Zweck des Versuches: Prüfung des Ofens beim Heizen mit Anthrazit.

Heizmaterial: 1,5 kg Tannenholz, 0,96 kg Braunkohlenbriketts, Marke „Union“, und 3,57 kg belg. Anthrazit, Körnung 30/50.

8¹⁰ angeheizt, Aschenfalltüre ganz offen, Luftzutrittsregulierung an der Feuertüre 3 Umdrehungen offen.

8⁴⁰ Aschenfalltüre geschlossen, Luftzutrittsregulierung an der Feuertüre 3 Umdrehungen offen, Luftzutrittsregulierung an der Aschenfalltüre 8 Umdrehungen offen.

9⁰⁰ Luftzutrittsregulierung an der Feuertüre 1 1/2 Umdrehungen offen, Luftzutrittsregulierung an der Aschenfalltüre 1/2 Umdrehung offen.

11³⁰ Luftzutrittsregulierung an der Feuertüre geschlossen, Luftzutrittsregulierung an der Aschenfalltüre 1/2 Umdrehung offen.

14⁰⁰ fast keine Glut mehr auf dem Rost, Luftzutrittsregulierung an der Aschenfalltüre geschlossen.

Versuchsdauer: 5 Stunden 50 Minuten.

Die Außentemperatur schwankte zwischen +5,2° und +8,7° C, und betrug im Mittel +6,9° C. Am Morgen war der Himmel schwach bewölkt. Sonnenscheindauer: 2,8 Stunden. Es herrschte Windstille.

Auch mit Anthrazit ließ sich der Ofen gut anfeuern. Der Abbrand war nicht sehr gut. Die Feuerungsrückstände hatten 25,8% unverbrannte Bestandteile, die einen Verlust von 3,9% bedingten. Es bildeten sich kleine Mengen unverbrannter Gase. Der Wirkungsgrad beim Feuern mit Anthrazit war 86%.

Die diesen Versuch betreffenden Zahlenwerte sind in Tab. 12 und 13 zusammengestellt.

Tabelle 13. Zusammenstellung der Versuchsergebnisse.
Heizversuche im Haus IV, Wibichstraße Nr. 11.

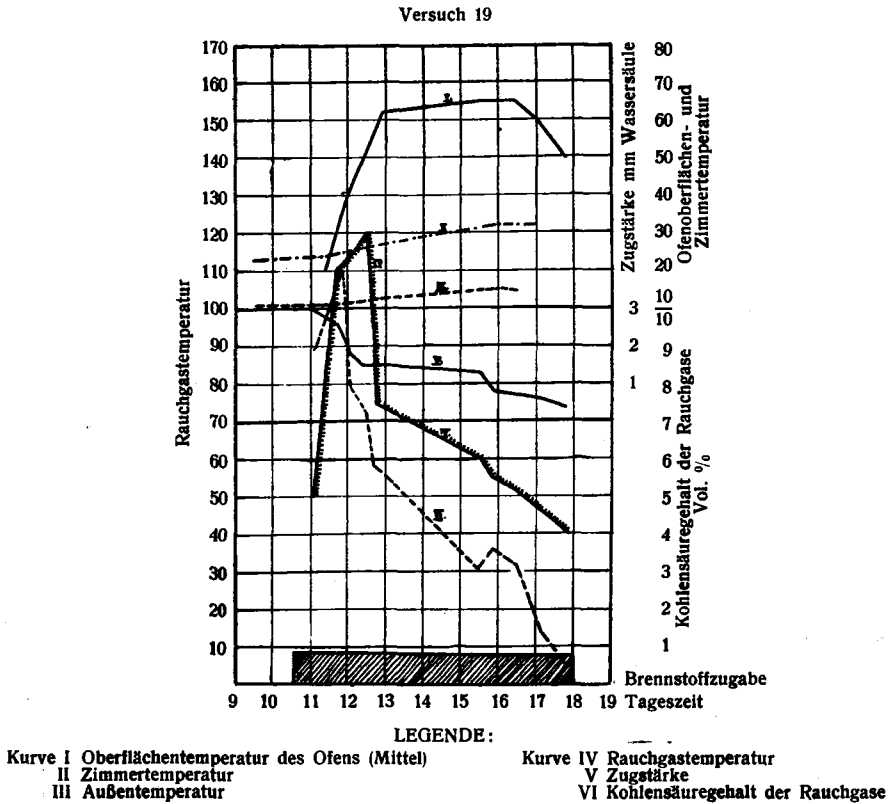
Versuchs-Nr.	18	19	20	21	22
Versuchsdatum	20. II. 22	21. II. 22	22. II. 22	23. II. 22	24. II. 22
Versuchsdauer	8 Std. 15'	5 Std. 55'	6 Std. 25'	7 Std. 30'	5 Std. 50'
Zustand des Ofens: Ofenfugen	verstrichen	verstrichen	verstrichen	verstrichen	verstrichen
Brennstoffsorte	Briketts „Union“	Briketts „Union“	Koks	Koks	Anthrazit
Brennstoffverbrauch:					
Holz	kg 1,200	1,200	1,620	1,220	1,500
Briketts	8,640	8,640	0,960	0,960	0,960
Koks	—	—	4,910	4,706	—
Anthrazit	—	—	—	—	3,570
Durchschnittliche Zusammensetzung des Brennstoffes:					
Gehalt an Kohlenstoff Gew. %	55,92	55,92	69,62	70,61	70,17
" " Wasserstoff " %	3,64	3,64	1,83	1,70	3,68
" " Stickstoff+Sauerstoff " %	23,14	23,14	11,67	10,50	13,86
" " Schwefel " %	0,50	0,50	0,72	0,76	0,59
" " flücht. Kohlensäure " %	0,29	0,29	0,20	0,20	0,62
" " Asche " %	4,75	4,75	8,85	9,19	5,05
" " Wasser " %	11,76	11,76	7,11	7,04	6,03
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Heizwert des Brennstoffes W. E.	4863	4863	5736	5809	6274
Feuerungsrückstände insgesamt kg	0,550	0,570	1,630	1,405	0,700
Unverbranntes in den Feuerungs- rückständen %	20,36	14,65	34,21	20,71	25,80
Zusammensetzung der Rauchgase:					
CO ₂ Vol. %	6,0	5,8	5,6	4,5	5,4
O ₂ " %	14,1	14,0	14,3	14,9	13,5
H ₂ " %	0,1	—	—	—	—
CO " %	0,2	0,1	0,1	—	0,1
CH ₄ " %	—	—	—	—	—
N ₂ " %	79,6	80,1	80,0	80,6	81,0
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Höchster CO ₂ -Gehalt Vol. %	11,5	11,0	6,7	6,0	9,5
Mittlere Zugstärke mm Wassersäule	0,8	1,6	1,5	1,5	1,5
Höchste Zugstärke " "	1,5	3,0	2,0	2,0	2,0
Luftüberschusskoeffizient	3,0	3,1	3,5	4,4	3,4
Mittlere Raumtemperatur °C	16,4	17,1	17,1	16,7	17,8
Mittlere Rauchgastemperatur am Kamineingang °C	78,8	77,4	77,5	71,6	78,6
Wärmebilanz pro 1 kg Brennstoff					
Heizwert WE %	4863,0 100,0	4863,0 100,0	5736,0 100,0	5809,0 100,0	6274,0 100,0
Verlust durch fühlbare Wärme	369,2 7,6	373,4 7,7	471,7 8,2	548,2 9,4	542,5 8,6
" " Feuerungsrückstände	106,9 2,2	68,7 1,4	603,0 10,5	342,2 5,9	242,6 3,9
" " unverbrannte Gase	146,3 3,0	53,8 1,1	69,4 1,2	—	72,5 1,2
Wirkungsgrad	4240,6 87,2	4367,1 89,8	4591,9 80,1	4918,6 84,7	5416,4 86,3
Verlust durch fühlbare Wärme am Kamineingang W. E.	348,4	352,9	444,5	548,2	542,5
Brennstoffverbrauch insgesamt kg	9,84	9,84	7,49	6,886	6,03
Dem Ofen zugeführte Wärme W. E.	47.848	47.848	42.960	40.004	37.830
Vom Ofen abgegebene Wärme W. E.	41.623	42.968	34.411	33.883	32.647
Außentemperatur im Mittel °C	5,1	3,1	5,2	5,6	6,9
Mittlere Innentemperatur bei Versuchs- anfang °C	11,6	13,3	14,2	13,0	13,7
Maximale Innentemperatur °C	20,4	23,0	20,6	21,4	21,4
Mittlere Innentemperatur während des Versuches °C	16,4	17,1	17,1	16,7	17,8
Differenz zwischen Innen- und Außen- temperatur °C	11,3	14,0	11,9	11,1	10,9
Temperaturerhöhung im Versuchs- raum °C	8,8	9,7	6,4	8,4	7,7
Mittlere Temperatur der Nebenräume:					
Küche °C	12,9	12,4	13,6	13,4	11,0
Korridor °C	8,0	7,9	8,8	9,3	8,8
Schlafzimmer °C	6,9	7,6	7,0	7,5	8,2
Keller °C	4,2	5,5	5,8	5,5	5,8
Luftfeucht. Versuchsbeginn %	96	100	97	100	95
" " Versuchsende %	97	92	96	66	72
Niedrigste Luftfeuchtigkeit %	95	90	87	66	71
Höchste Oberflächentemperatur am Ofen (Kochringe) °C	124	130	82	73	107
Temperaturerhöhung pro 1 kg Brennstoff °C	0,894	0,975	0,855	1,219	1,260
pro 1000 zugeführte Wärme- einheiten °C	0,184	0,202	0,149	0,209	0,204
pro 1000 vom Ofen abgegebene Wärmeeinheiten °C	0,211	0,226	0,186	0,248	0,236

5) Zusammenfassung.

Der Ofentypus 3 besitzt einen Wirkungsgrad von 80 % bis 90 %, was als sehr gut zu bezeichnen ist, besonders gut ist er beim Feuern mit Braunkohlenbriketts.

In Abb. 19 ist der Versuch 19 graphisch wiedergegeben. Die Rauchgastemperatur ist sehr niedrig. Sie steigt im Maximum nur bis auf 120 ° C an, und fällt von dort rasch ab. Sehr hoch ist der Kohlensäuregehalt der Rauchgase, der bis auf 11 % steigt. Die Zugstärke ist eine normale. Sie fällt mit dem Gang der Verbrennung ab.

Abb. 19. Versuchsergebnisse Ofentyp 3, Wibichstr. 11



Die Oberflächentemperatur des Ofens steigt rasch an und bleibt längere Zeit auf dieser Höhe, ebenso ist die Temperaturerhöhung im Versuchsraum eine rasche. Die Raumtemperatur erreichte 23,0 ° C.

In Abb. 20 ist die Temperaturverteilung auf der Ofenoberfläche zu verschiedenen Zeiten graphisch wiedergegeben. Die Kurven der Abbildung zeigen einen ganz ähnlichen Verlauf, wie die der Abb. 13 von Ofentypus 1, was auf die ähnliche Konstruktion und Wirkungsweise der beiden Ofentypen zurückzuführen ist. Hier kommen etwas größere Temperaturunterschiede vor, aber der Ofen erreicht nur an zwei Stellen und nur während kurzer Zeit eine höhere Temperatur als 80 ° C. Die schwache Erwärmung der Meßstellen 1 und 2 läßt sich dadurch erklären, daß die Rauchgase vor Verlassen des Ofens den größten Teil ihrer Wärme schon abgegeben haben. Der Fuß (Meßstelle 10 und 17) blieb fast dauernd kalt.

Die Abb. 21 illustriert die verschiedene Wirkungsweise des Ofens beim Beheizen mit verschiedenen Brennstoffen. Es wurden dem Ofen bis 48,000 W. E. zugeführt. Bei der Feuerung mit Koks und Anthrazit fielen immer größere unverbrannte Kohlenstücke

durch den Rost in den Aschenfall, die ausgelesen, und deren Gewicht von der ursprünglich zugeführten Brennstoffmenge abgezogen wurde. Streng genommen sind diese Kurven nicht zu vergleichen. Doch sieht man aus ihnen, daß in Bezug auf die Ofenoberflächentemperatur Anthrazit am raschesten wirkt, und Braunkohlenbriketts am langsamsten, was mit der Natur der Brennstoffe zusammenhängt.

Abb. 20. Temperaturverteilung auf der Ofenoberfläche
Ofentyp 3, Wibichstr. 11

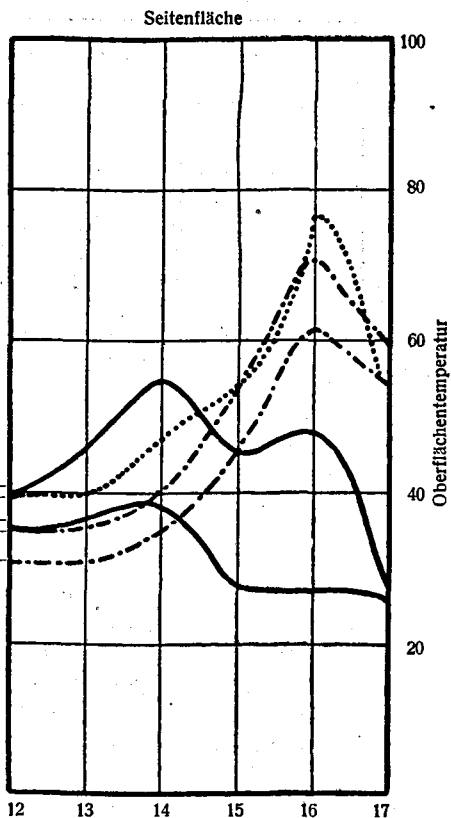
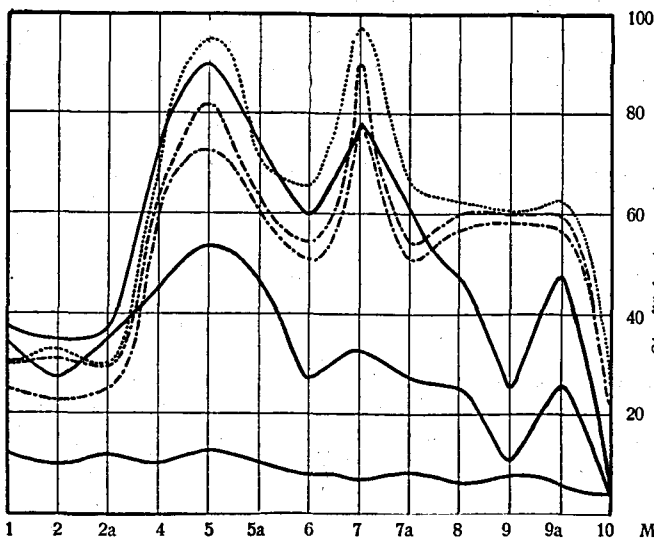
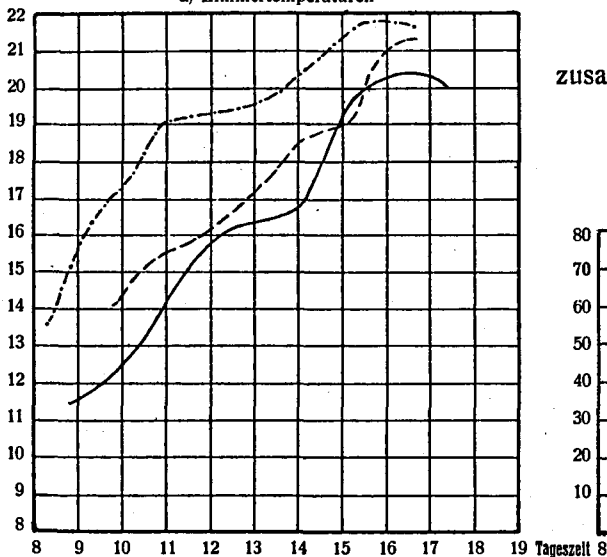


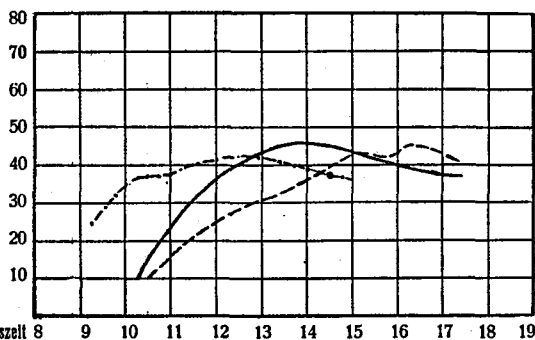
Abb. 21. Ofenoberflächentemperaturen bei Anwendung verschiedener Brennstoffsorten
Ofentyp 3, Wärmezufuhr bis 48000 WE.

a) Zimmertemperaturen



In Tab. 12 sind die Analysenresultate zusammengestellt.

b) Mittlere Ofenoberflächentemperaturen



— — — — — Geheizt mit Briketts Union. Mittlere Temperatur im Freien +3,3° C; Asche gut ausgebrannt.
 - - - - - " " Kleinkoks. Mittlere Temperatur im Freien +5,1° C; Koks zum Teil durch den Rost gefallen.
 - · - · - " " Anthrazit. Mittlere Temperatur im Freien +7,8° C; unverbrannter Anthrazit z. T. durch den Rost gefallen.

Tabelle 12. Zusammenstellung der Rauchgasanalysen (Versuche 18—22).

Analyse von	CO ₂			O ₂			CO	CH ₄	H ₂		N ₂
	P	O	D	P	O	D	P	P	P	Pa	*)
Versuch Nr. 18	6,1	6,0	6,1	14,0	14,1	14,0	0,2	—	0,1	0,1	79,6
" " 19	5,8	5,8	5,9	14,0	14,0	13,8	0,1	—	—	—	80,1
" " 20	5,6	5,6	5,7	14,4	14,3	14,2	0,1	—	—	—	80,0
" " 21	4,5	4,5	4,4	14,9	14,9	14,7	—	—	—	—	80,6
" " 22	5,4	5,4	5,3	13,0	13,5	13,6	0,1	—	—	—	81,0

P = Mittel ausgerechnet nach den Ergebnissen der Analyse nach Pintsch.

Pa = Mittel aus allen abgesogenen nach Paal im Laboratorium untersuchten Einzelproben.

O = Mittel aus allen abgesogenen und an Ort und Stelle nach Orsat bestimmten Einzelproben.

D = Abgesogene Durchschnittsprobe.

*) Als Differenz von 100 ausgerechnet.

Der Temperaturabfall vom Eingang des Ofenrohres in den Kamin bis zur Höhe der Winde betrug 68,1 ° C.

2. Von den Bewohnern durchgeführte Versuche.

Ich lasse nun in Tabelle 14 die Resultate der von den verschiedenen Hausbewohnern vorgenommenen Heizversuche folgen.

Bei den als Methode A bezeichneten Versuchen heizten die Bewohner nach ihren Gewohnheiten, währenddem unter der Methode B diejenigen Versuche angeführt sind, bei denen die Bewohner den abgewogenen Brennstoff täglich zugeteilt erhielten, und je 2stündlich die Feuerung von mir kontrolliert wurde.

Tabelle 14. Zusammenstellung der von den Bewohnern durchgeführten Heizversuche.

Versuchs Nr.	Versuchstag	Zustand des Ofens	Geheizt nach Methode	Verwendete Brennholzmenge H = Holz B = Briketts A = Anthrazit K = Koks	Zugeführte Wärmemenge WE.	Durch den Heiß gehaltenen und ausgelesene Feuerungsstände	Andere Feuerungsstände	Gehalt der letzten an unverbrennten Bestandteilen	Mittlere Zimmertemperatur		Temperaturerhöhung	Temperaturerhöhung p. 1000 zugeführte WE.	Wärmeverbrauch pro 1° C Temperaturerhöhung WE.	Außentemperatur ° C	Wetter
									bei Versuchs-Anfang ° C	bei Versuchs-Ende ° C					
a) Versuche im Haus Wibichstraße Nr. 5															
1	1. 2.	Ofenfugen verstrichen	A	1,5 kg H 8,64 „ B	49083	0,115 kg	4,94 kg	26,05 %	12,5	18,0	5,5	0,112	8924	+5,0	Schwach. Wind 5 Std. Sonne
2	2. 2.		A	1,8 „ H 8,64 „ B	50318				12,5	18,0	5,5	0,109	9148	+5,5	Starker SW-Wind
3	4. 2.		B	1,5 „ H 6,72 „ B	39549				13,5	18,0	4,5	0,114	8788	+4,7	Wind
4	8. 2.		B	0,303 „ H 3,36 „ B 8,73 „ K	73981	0,615 kg	4,510 kg	36,58 %	9,5	17,5	8,0	0,109	9248	-10,2	Sonne
5	10. 2.		A	2,1 „ H 9,6 „ B	56322				10,0	17,0	7,0	0,124	8046	-5,2	Himmel schwach bewölkt, 7,9 Std. Sonne, windstill
6	11. 2.		B	2,2 „ H 5,0 „ K	41160				11,0	16,5	5,5	0,133	7483	-6,8	Sonne
7	13. 2.		B	2,1 „ H 6,72 „ B	42020				10,0	16,0	6,0	0,141	7003	-1,9	„
8	14. 2.		B	1,0 „ H 0,96 „ B 3,345 „ K	30360				12,0	18,0	6,0	0,198	5060	+2,7	Himmel stark bewölkt, 5 Min. Sonne, windstill
9	15. 2.		B 8	1,0 „ H 0,96 „ B 3,155 „ K	29140	12,0	18,0	6,0	0,206	4857	+3,7	Himmel stark bewölkt, 15 Min. Sonne, Schneefall			
10	16. 2.		B	1,0 „ H 0,96 „ B 3,80 „ K	32834	1,269 kg	6,000 kg	21,45 %	12,0	17,5	5,5	0,167	5969	+3,2	Nebel Regen
11	17. 2.		B	1,5 „ H 3,5 „ B	23558				15,5	20,0	4,5	0,191	5235	5,1	Sonne
12	18. 2.		B	1,45 „ H 2,5 K u. A	23410				13,5	17,0	3,5	0,149	6688	5,3	—
13	21. 2.		B	1,2 „ H 8,64 „ B	47848	13,0	20,5	7,5	0,157	6379	3,1	Am Morgen Nebel nachmitt. 2 Std. Sonne, windstill			
14	22. 2.		B	1,62 „ H 0,96 „ B 4,91 „ K	42960	13,5	19,8	6,3	0,146	6819	5,2	Regen Windstille			
15	23. 2.		B	1,22 „ H 0,90 „ B 4,706 „ K	40004	13,0	20,0	7,0	0,175	5715	5,6	Am Morgen Nebel nachmitt. 3,9 Std. Sonne, windstill			
b) Versuche im Haus Wibichstraße Nr. 7															
1	25. 1.	Ofenfugen nicht verst.	A	2,1 kg H 11,04 „ B	63473	3,21 kg	14,03 %	13,0	20,0	7,0	0,110	9068	-1,9	Himmel stets be- wölkt, windstill	
2	26. 1.		B	0,593 „ H 8,609 „ B	45159			14,0	19,5	5,5	0,122	8211	-0,2	20 Min. Sonne windstill	
3	27. 1.		B	2,0 „ H 5,955 „ A	53083			12,0	20,0	8,0	0,151	6635	-0,1	Himmel stets be- deckt, windstill	
4	10. 2.		A	1,0 „ H 7,68 „ B	42277			12,0	18,0	6,0	0,142	7046	-5,2	Himmel schwach bewölkt, 7,9 Std. Sonne, windstill	

Versuchs Nr.	Versuchstag	Zustand des Ofens	Geheizt nach Methode	Verfeuerte Brennstoffmenge			Zugeführte Wärmemenge WE.	Durch den Ofen geflossene und ausgeleitete Feuerungsreste	Andere Feuerungsreste	Gehalt der letzten an unverbrannten Bestandteilen	Mittlere Zimmertemperatur		Temperaturerhöhung	Temperaturerhöhung p. 1000 zugeführte WE.	Wärmeverbrauch pro 1° C Temperaturerhöhung WE.	Außentemperatur ° C	Wetter
				H = Holz	B = Briketts	K = Koks					bei Versuchs- Anfang ° C	bei Versuchs- Ende ° C					
5	11. 2.	Ofenfugen verstrichen	B	2,2 kg	H	41160				13,9	20,0	6,1	0,148	6747	-6,8	Sonne	
6	13. 2.		B	2,1 6,72	H B	42020				11,0	17,2	6,2	0,145	6777	-1,9	Sonne	
7	14. 2.		B	1,0 0,96 3,345	H B K	30360				12,0	19,8	7,8	0,256	3892	+2,7	Himmel schwach bewölkt, 5 Min. Sonne, windstill	
8	16. 2.		B	1,0 0,96 3,18	H B K	32834				10,2	18,0	7,8	0,237	4209	+3,2	Nebel u. Regen	
9	17. 2.		B	1,5 3,5	H B	23558				12,9	16,2	3,3	0,140	7139	+5,1	Sonne	
10	18. 2.		B	1,45 2,5	H K	23410				13,5	17,5	4,0	0,170	5853	+5,1	—	
11	21. 2.		B	1,2 8,64	H B	47848				12,8	20,0	7,2	0,155	6646	+3,1	Am Morgen Nebel nachmitt. 2 Std. Sonne, windstill	
12	22. 2.		B	1,62 0,96 4,91	H B K	42960				12,8	19,0	6,2	0,144	6945	+5,2	Regen Windstille	
13	23. 2.		B	1,22 0,96 4,706	H B K	40004				14,5	20,8	6,3	0,157	6349	+5,6	Am Morgen Nebel nachmitt. 3,9 Std. Sonne, windstill	

c) Versuche im Haus Wibichstraße Nr. 9

1	24. 1.	Ofenfugen nicht verstrichen	A	1,0 kg	H	37490	4,520 kg	28,25 %	12,0	17,5	5,5	0,147	6816	—	7,2 Std. Sonne windstill
2	25. 1.		A	1,4 7,68	H B	43924			13,0	20,0	7,0	0,159	6275	-1,9	Himmel stets bewölkt, windstill
3	26. 1.		B	0,593 8,602	H B	45159			10,0	18,5	8,5	0,188	5132	-0,2	20 Min. Sonne windstill
4	27. 1.		B	2,0 5,955	H A	53083			10,0	17,5	7,5	0,141	7078	-0,1	Himmel stets bedeckt, windstill
5	28. 1.		B	1,0 4,8 3,0	H B A	50618			12,0	19,5	7,5	0,148	6749	—	—
6	29. 1.		B	1,2 4,8	H B	28779			16,0	20,0	4,0	0,139	7195	—	—
7	30. 1.		B	0,9 7,20	H B	39461			16,0	20,0	4,0	0,101	9865	—	8,5 Std. Sonne starker W-Wind
8	31. 1.		B	1,2 6,72	H B	38314			13,0	19,0	6,0	0,157	6386	—	—
9	1. 2.		A	1,0 6,72	H B	37490			12,5	18,5	6,0	0,160	6248	-5,0	Schwacher Wind 5 Std. Sonne
10	2. 2.		A	1,0 6,72	H B	37490			12,0	17,5	5,5	0,147	6817	+5,5	Starker SW-Wind
11	4. 2.		B	1,5 6,72	H B	39549			12,0	18,0	6,0	0,151	6591	+4,7	Wind

Versuchs Nr.	Versuchstag	Zustand des Ofens	Geheizt nach Methode	Verleuerte Brennstoffmenge H = Holz B = Briketts A = Anthrazit K = Koks	Zugeführte Wärmemenge WE.	Durch den Rost gefallene und ausgelesene Feuerungsrückstände	Andere Feuerungsrückstände	Mittlere Zimmertemperatur	Temperaturerhöhung	Temperaturerhöhung p. 1000 zugeführte WE.	Wärmeverbrauch pro 1° C Temperaturerhöhung WE.	Außentemperatur ° C	Wetter	
														kg
12	7. 2.	Ofen nicht verstr.	B	2,68 kg 3,36 " 5,19 "	66808	0,305 kg	2,10 kg	11,0	20,0	9,0	0,134	7423	-9,9	—
13	21. 2.	Ofenf. verstr.	B	1,2 H 8,64 B	47848	1,710 kg	—	12,5	20,0	7,5	0,157	6379	+3,1	Am Morgen Nebel nachmitt. 2 Std. Sonne, windstill
14	22. 2.		B	1,62 H 0,96 B 4,91 K	42960									
15	23. 2.	Ofenf. verstr.	B	1,22 H 0,96 B 4,706 K	40004			13,0	20,0	7,0	0,175	5715	5,6	Am Morgen Nebel nachmitt. 3,0 Std. Sonne, windstill

d) Versuche im Haus Wibichstraße Nr. 11

Versuchs Nr.	Versuchstag	Zustand des Ofens	Geheizt nach Methode	Verleuerte Brennstoffmenge H = Holz B = Briketts A = Anthrazit K = Koks	Zugeführte Wärmemenge WE.	Durch den Rost gefallene und ausgelesene Feuerungsrückstände	Andere Feuerungsrückstände	Mittlere Zimmertemperatur	Temperaturerhöhung	Temperaturerhöhung p. 1000 zugeführte WE.	Wärmeverbrauch pro 1° C Temperaturerhöhung WE.	Außentemperatur ° C	Wetter									
														kg	kg	%	bei Versuchs- Anfang ° C	bei Versuchs- Ende ° C	° C	° C	° C	
1	24. 1.	Ofenfugen nicht verstrichen	A	2,0 kg 8,16 "	48759	—	2,150 kg	12,0	18,0	6,0	0,123	8126	-1,2	7,2 Std. Sonne windstill								
2	25. 1.		A	1,5 H 7,68 B	44336										16,34 %	13,0	19,5	6,5	0,146	6821	-1,9	Himmel stets bewölkt, windstill
3	28. 1.		B	1,0 H 4,8 B 3,0 A	50618											13,0	20,5	7,5	0,148	6749	—	—
4	30. 1.		B	0,9 H 7,2 B	39461											17,0	21,5	4,5	0,114	8769	—	0,5 Std. Sonne starker W-Wind
5	31. 1.		B	1,2 H 6,72 B	38314											15,5	21,0	5,5	0,171	5831	—	—
6	1. 2.		A	2,0 H 4,80 B	32073											15,5	21,0	5,5	0,151	6626	+5,0	Schwacher Wind 5 Std. Sonne
7	2. 2.		A	2,0 H 5,68 B	36443											13,5	21,0	7,5	0,206	4859	+5,5	Starker SW-Wind
8	4. 2.		B	1,5 H 6,72 B	39549											11,5	21,0	9,5	0,240	4162	+4,7	Wind
9	7. 2.		B	2,68 H 3,36 B 5,19 A	66808											12,0	21,5	9,5	0,142	7032	-9,9	—
10	8. 2.		B	0,303 H 3,36 B 8,73 K	73981											13,0	22,0	9,0	0,122	8221	-10,2	Sonne
11	9. 2.		A	2,0 H 5,0 K	40336											13,0	21,0	8,0	0,198	5042	—	—
12	10. 2.		A	2,0 H 9,6 B	55910											10,0	19,5	9,5	0,169	5885	-5,2	Himmel schwach bewölkt, 7,0 Std. Sonne, windstill
13	11. 2.		B	2,2 H 5,0 K	41160											12,0	20,0	8,0	0,194	5145	-6,8	Sonne
14	13. 2.		B	2,1 H 6,72 K	42020											12,0	21,0	9,0	0,214	4669	-1,9	Sonne
15	16. 2.		B	1,0 H 0,96 B 3,18 K	32834											11,0	20,5	9,5	0,289	3456	+3,2	Nebel u. Regen

IV. Besprechung der erhaltenen Versuchsergebnisse.

Zum Schlusse sollen die an den 3 Ofentypen erhaltenen Versuchsergebnisse einer vergleichenden Besprechung unterzogen werden.

Bei allen 3 Ofen ließ sich das verwendete Brennmaterial gut anfeuern, dagegen fielen gerade die hochwertigen Brennstoffe, wie Anthrazit und Koks teilweise ganz unverbrannt durch den Rost, oder brannten, wohl infolge des zu schwachen Zuges, nicht ganz aus. Besonders bei Ofentypus 3, der sich sonst sehr gut verhielt, zeigte sich diese Erscheinung; es war auch dort der geringste Zug vorhanden.

In der Tab. 15 sind die wichtigsten Versuchsergebnisse noch einmal übersichtlich zusammengestellt.

Tabelle 15. Zusammenstellung der wichtigsten Versuchsergebnisse.

Haus Wibichstraße Nr.	5	7 und 9	11
Ofentypus	1	2	3
Verwendete Brennstoffe	Tannenholz, Braunkohlenbriketts Marke „Union“, belg. Anthrazit, Zürcher Kleinkoks		
Durchschnitl. Versuchsdauer Std.	7.15—9.20	6.00—8.40	5.50—8.15
Mittlere Versuchsdauer „	8.15	7.25	6.45
Höchster Kohlensäuregehalt der Rauchgase Vol%	9,4	9,3	11,5
Mittlerer Kohlensäuregehalt „	3,4	4,1	5,5
Höchste Rauchgastemperatur ° C	189	286	175
Niedrigste Rauchgastemperatur „	40	38	38
Durchschnitl. Rauchgastemperatur „	71—106	88—203	72—79
Mittlere „	90,3	134,9	76,8
Mittlere Rauchgastemperatur auf der Höhe der Winde „	9,6	18,3	8,7
Temperaturabfall „	80,7	116,6	68,1
Mittlere Zugstärke am Kamineingang m/m W. S.	2,3	2,0	1,4
Belastung des Ofens W. E.	39461—94403	29140—85492	37830—47848
Verbrauch an Brennstoff kg	7,955—19,3	5,115—18,24	6,03—9,84
Durchschnittliche stündliche Belastung während der Heizperiode W. E.	4784—11443	3938—11553	5605—7088
Temperaturerhöhung pro 1000 zugeführte W. E.	0,207*	0,170*	0,190*
Temperaturerhöhung pro 1000 abgegebene W. E.	0,250*	0,245*	0,221*
Durchschnittliche Belastung während der Heiz- periode pro m ² Ofenoberfläche W. E.	12116—28984	16189—47495	11748—14857
Durchschnittliche Belastung während der Heiz- periode pro 1 dm ² Rostfläche W. E.	7892—18881	5828—17098	7566—9569

In Tabelle 16 stelle ich die Brennstoffverbrauchsahlen bei meinen Heizversuchen und denjenigen der Bewohner zusammen. Da die Versuche unter den gleichen Verhältnissen, aber verschiedenartigen Witterungsbedingungen gemacht worden sind, sind die Ergebnisse nicht streng wissenschaftlich, wohl aber praktisch vergleichbar.

*) Diese Zahlen sind infolge der verschiedenen Abstrahlung der Mauern nicht absolut vergleichbar. Die vier Wohnräume besaßen aber je gleichen Rauminhalt, nämlich 43,2 cbm.

Tabelle 16. **Brennstoffaufwand in kg und erreichte Temperaturerhöhung pro 1000 zugeführte W. E.**

	Verbrauchter Brennstoff	Temperaturerhöhung pro 1000 zugeführte W. E.
Haus Wibichstraße Nr. 5.	kg	° C
<i>Eigene Versuche:</i>		
Ofenfugen nicht verstrichen	_____	_____
Ofenfugen verstrichen	7,955—9,195	0,177—0,271
<i>Heizen durch die Bewohner:</i>		
Nach Methode A		
Ofenfugen nicht verstrichen	_____	_____
Ofenfugen verstrichen	10,14—11,7	0,109—0,124
Nach Methode B		
Ofenfugen nicht verstrichen	_____	_____
Ofenfugen verstrichen	3,95—12,393	0,109—0,206
Haus Wibichstraße Nr. 7.		
<i>Eigene Versuche:</i>		
Ofenfugen nicht verstrichen	17,25—18,24	0,111—0,129
Ofenfugen verstrichen	10,68—12,393	0,184—0,271
<i>Heizen durch die Bewohner:</i>		
Nach Methode A		
Ofenfugen nicht verstrichen	13,14	0,110
Ofenfugen verstrichen	8,68	0,142
Nach Methode B		
Ofenfugen nicht verstrichen	7,955—9,195	0,122—0,151
Ofenfugen verstrichen	3,95—9,84	0,140—0,256
Haus Wibichstraße Nr. 9.		
<i>Eigene Versuche:</i>		
Ofenfugen nicht verstrichen	9,84	0,119
Ofenfugen verstrichen	5,115—9,64	0,145—0,158
<i>Heizen durch die Bewohner:</i>		
Nach Methode A		
Ofenfugen nicht verstrichen	7,72—9,08	0,147—0,160
Ofenfugen verstrichen	_____	_____
Nach Methode B		
Ofenfugen nicht verstrichen	6,0—11,23	0,101—0,188
Ofenfugen verstrichen	6,886—9,84	0,157—0,175
Haus Wibichstraße Nr. 11.		
<i>Eigene Versuche:</i>		
Ofenfugen nicht verstrichen	_____	_____
Ofenfugen verstrichen	6,03—9,48	0,149—0,209
<i>Heizen durch die Bewohner:</i>		
Nach Methode A		
Ofenfugen nicht verstrichen	6,8—10,16	0,123—0,206
Ofenfugen verstrichen	11,6	0,169
Nach Methode B		
Ofenfugen nicht verstrichen	7,92—12,393	0,114—0,240
Ofenfugen verstrichen	5,24—8,82	0,194—0,289

Aus den vorstehenden Ausführungen und Tabellen geht folgendes hervor:

1. Trotzdem die 3 Ofentypen verschiedenartig konstruiert sind, wiesen sie nicht sehr verschiedene Wirkungsgrade auf. Immerhin ergab sich bei Ofentyp 2, der eine ungenügende Rauchgasführung aufwies, selbst bei sorgfältiger Heizung eine Nutzeffektverschlechterung von 5—10%.

Brandstätter wies in seiner Arbeit, Verfahren zur Untersuchung eiserner Dauerbrandöfen (1c) nach, daß bei solchen Öfen, wie bei allen kontinuierlich betriebenen Feuerungen, der Wirkungsgrad ziemlich stark von der Belastung abhängig ist. Bei meinen Versuchen kam diese Abhängigkeit nicht zum Ausdruck, was teilweise darauf zurückzuführen sein wird, daß die Wärmebilanzen sich auf die ganze Brennperiode beziehen.

Der Wirkungsgrad der untersuchten Kachelöfen stand dagegen in einem gewissen Zusammenhang mit der Natur des verwendeten Brennstoffes. Die Braunkohlenbriketts ergaben die besten Wirkungsgrade, weil sie die Eigenschaft besitzen, vollständig auszubrennen, ohne durch den Rost zu fallen. Beim Koks und Anthrazit dagegen fiel ziemlich viel Unverbranntes durch den Rost, was den Nutzeffekt herabdrückte. Hätte man engere Roste verwendet, so wäre keine wesentliche Besserung erreicht worden, weil dann infolge der Zugverschlechterung das Feuer ausgelöscht wäre.

Die Versuche haben gezeigt, daß die von andern Autoren, wie Brabbé, Schläpfer, Fudickar, Münchner Kachelofenverein, u. a. m., gemachten Angaben, der Nutzeffekt von Kachelöfen sei höher, als gewöhnlich in der Literatur angegeben wird, (siehe z. B. Dr. W. Züblin: Zentralisieren von Heizungsbetrieben und Wärmelieferung für sonstigen Hausbedarf und Städten: Winterthur 1922, Meier, Die künftige Zentralheizung: Monatsbulletin des Schweiz. Vereins von Gas- und Wasserfachmännern 1922), zutreffend ist. Man darf bei wirtschaftlichen Berechnungen mit Nutzeffekten von rund 80% rechnen, *sofern die Öfen richtig unterhalten sind*. Selbst bei schlecht unterhaltenen Kachelöfen oder unzuweckmäßigem Heizen wird der Nutzeffekt selten unter 50% heruntersinken, auch wenn die Rauchgase direkt in den Kamin gelangen.

Das richtige Versetzen, der gute Unterhalt und das sinngemäße Heizen sind also für die Wärmeökonomie des Kachelofens noch ausschlaggebender, als die Kachelofenkonstruktion. Diese Tatsache wird nicht einmal von Fachmännern, geschweige denn

Tabelle 17. **Durch schlechtes Heizen bedingte Mehrauslagen.**
Brennstoffpreise 1921*).

	Täglicher Verbrauch kg	Mehrverbrauch im		Monatliche Mehrkosten *) Fr.
		Tag kg	Monat kg	
Haus Wibichstraße Nr. 5.				
<i>Bei eigenem Heizen:</i>				
Ofenfugen nicht verstrichen	17,2—17,6	8,9—10,0	270—300	24,30—27,00
Ofenfugen verstrichen	7,2—8,602			
Haus Wibichstraße Nr. 7.				
<i>Bei eigenem Heizen:</i>				
Ofenfugen nicht verstrichen	11,52—12,24	2,29—2,62	68,7—78,6	6,18—7,07
Ofenfugen verstrichen	9,23—9,62			
<i>Beim Heizen durch die Bewohner:</i>				
Nach Methode A				
Ofenfugen nicht verstrichen	11,04	3,36	100,8	9,07
Ofenfugen verstrichen	7,68			

*) Der Preis von 100 kg Briketts wurde zu Fr. 9.— angenommen.

von der Bevölkerung genügend beachtet. Sie spielt aber für unsere Volkswirtschaft eine sehr große Rolle, da die Einzelofenheizung in der Schweiz noch weit verbreitet ist. Um das Gesagte zahlenmäßig zu beleuchten, habe ich unter Zugrundelegung der besprochenen Versuche in der vorstehenden Tabelle 17 die durch oben erwähnten Fehler bedingten monatlichen Geldverluste zusammengestellt.

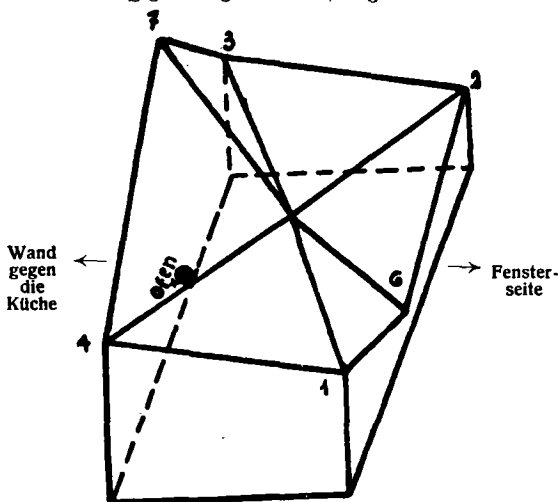
2. Der hohe Wirkungsgrad der Kachelöfen ist darauf zurückzuführen, daß die Rauchgase wenig oder gar keine unvollständig verbrannten Gase enthalten und verhältnismäßig stark abgekühlt in den Kamin gelangen. So entstehen geringe Wärmeverluste, selbst wenn mit ziemlich großem Luftüberschuß geheizt wird. Die Versuche haben gezeigt, daß sich die verschiedenen Ofentypen in dieser Beziehung nicht vollständig gleich, aber ähnlich verhalten. Bei Kachelöfen mit wenig Zügen (Typ 2) müssen die Rauchgase mit höherer Temperatur in den Kamin treten, und demzufolge wird die Wärmeausnutzung zurückgehen.

3. Die Temperaturverteilung auf der Oberfläche war am besten bei Ofentypus 1. Sie war ausgeglichen und überstieg die hygienisch unzulässige Grenze von 80°C nur an einer einzigen Stelle, und nur auf kurze Zeit. Dieses günstige Verhalten des Ofens ist vor allem auf die zweckmäßige Anordnung der Rauchgasführung zurückzuführen. Der ähnlich gebaute Ofentypus 3 verhält sich etwas ungünstiger. Der Fuß bleibt dauernd kalt, weil der untere Teil vollständig massiv gebaut, und nicht mit Rauchgaszügen durchzogen ist. Die große Mauermaße trägt viel zur Wärmespeicherung bei. Die Strahlungsverluste durch den Fußboden waren sehr gering. Auch die Kacheln unter der Ofenplatte wurden nicht sehr warm, da die Rauchgase bei den aufgetretenen Belastungen in den untern Zügen ihre Wärme bereits abgegeben hatten. Hygienisch unzulässige Temperaturen wies auch dieser Ofen, wie die Versuche zeigten, nur an einer Stelle auf. Der Ofentypus 2 verhält sich hinsichtlich der Temperaturverteilung am ungünstigsten, was auf die einfache Rauchgasführung zurückzuführen ist.

Der Ofentypus 2 besitzt die kleinste Masse, er wurde daher rasch warm, besaß aber infolge der geringen Masse keine große Wärmekapazität, und wurde nach Verlöschen der Flamme bald kalt. Die beiden Ofentypen 1 und 3 verhielten sich in dieser Hinsicht besser. Sie besaßen eine ziemlich lang andauernde Nachwirkung. Die Versuche haben also gezeigt, daß man für die Beheizung von selbst kleinen Wohnräumen eine gewisse Kleinstmauermaße bei den Kachelöfen verlangen muß, wenn sie als Wärmespeicheröfen angesprochen werden sollen. Der Ofentypus 2 ist gerade an der Grenze und besitzt schon mehr den Charakter eines Zimmerofens für intermittierende rasche Heizung.

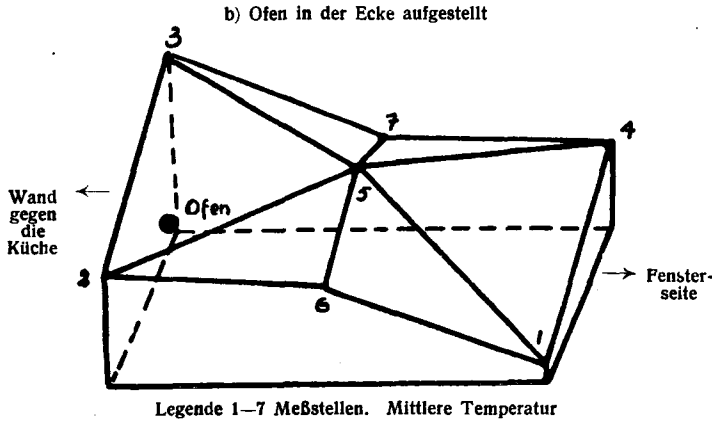
Abb. 22/23. Abhängigkeit der Temperaturverteilung im Versuchsraum von der Ofenaufstellung

a) Ofen in der Mitte der inneren Zimmerwand (gegen Gang und Küche) aufgestellt.



4. Da der Stand der Oefen in den verschiedenen Versuchsräumen wechselte, war die Temperaturverteilung während der Versuche auch nicht vollständig gleichmäßig. In den beiden Eckhäusern standen die Oefen in der Mitte der Ostwand. Es ergab sich ein Temperaturabfall gegen die Mitte der gegenüberliegenden Fensterwand. (Siehe Abb. 22), währenddem in den Mittelräumen, wo die Oefen mehr in der Ecke aufgestellt sind, sich ein diagonaler Temperaturabfall gegen die gegenüberliegende Ecke ergab (siehe Abb. 23). Beide Fälle zeigen, daß das Aufstellen der Oefen an den Innenwänden mit gewissen Nachteilen verbunden ist, wie von vielen Autoren betont worden ist.

In den Fig. 22 und 23 wurde das Gesagte unter Anwendung der bei 2 Versuchen gewonnenen Zahlen, graphisch dargestellt.



5. Schließlich sei noch erwähnt, daß sich die Beheizung der Ofen von der Küche aus bewährt hat. Die Küchen wurden, wie in Tabellen 7 bis 13 ersichtlich ist, gut geheizt, die durchschnittliche Temperatur betrug 12° C. Daneben blieben die Wohnzimmer sauber und die Bewohner wurden weder durch Ruß noch durch Staub belästigt, da auch die Reinigung der Ofen, bis auf das Rußen von außen her gesehen kann. Diese Anordnung hebt also gewisse unter 4 erwähnte Nachteile wieder auf.

B. Untersuchungen über den Einfluß der Wandkonstruktion auf die Wärmeökonomie der untersuchten Kleinwohnungen.

I. Einleitung.

Im Anschluß an die im vorigen Abschnitt beschriebenen feuerungs- und heiztechnischen Versuche stellte ich auch noch Untersuchungen über den Wärmedurchgang durch die verschiedenen Umfassungsmauern und ihr Speicherungsvermögen an, um zu prüfen, ob die bis jetzt allgemein angewendeten Verfahren zur Beurteilung der Wärmeökonomie für die vorliegenden Mauerkonstruktionen zutreffend seien.

Die Untersuchungen waren schon deshalb interessant, weil, wie ich bereits in der Einleitung dargelegt habe, die Versuchsräume verschiedene Mauerkonstruktionen aufwiesen, wie in nachfolgender Tabelle nochmals dargelegt wird.

Tabelle 18.

Haus Wibichstr. Nr.	5	7	9	11
Mauersystem	Backsteinmauern.	Kalksandstein, poröse Backsteine, Hohlräume ausgefüllt m. g. Schlacken.	Längsgelochte Schlackensteine. Innen gestampfte Schlacken.	Außen Backstein, innen längsgelochte Schlackesteine.
Dicke der Mauern: in cm	35	32	33	32
Mauer orientiert nach	S. und W.	W.	W.	N. und W.
Außenfläche der Mauern m ²	20,64	12,00	12,00	20,64

Um die üblichen Verfahren zur Berechnung des stündlichen Wärmeverlustes von Räumen nachzuprüfen, und um die Wärmespeicherung der Mauern verfolgen zu können, nahm ich gleichzeitig Temperaturmessungen an verschiedenen Stellen der Wand-Oberfläche und in verschiedenen Tiefen der Mauern, sowie an den angrenzenden Luftschichten vor, um Temperaturabfallkurven für die verschiedenen Mauerwerke zu erhalten. Diese Temperaturentnahmen sollten einen Einblick in den Wärmefluß durch die Mauern geben. Durch genaue Beobachtung der Zimmer- und Außentemperaturen während gewisser

Zeitabschnitte konnte ich die Wärmeverluste indirekt messen, um festzustellen, ob der Temperaturabfall parallel gehe mit dem sogen. Wärmedurchgangskoeffizienten (Wärmedurchgangszahl nach Dietz). War dies der Fall, so war das Rechnungsverfahren für die untersuchte Mauerkonstruktion zulässig.

Ich hatte die experimentellen Arbeiten bereits beendet, als ich zufällig auf eine von A. Korff-Petersen und W. Liese verfaßte Arbeit, betitelt „Der Einfluss von Wandkonstruktion und Heizung auf die Wärmeökonomie von Gebäuden in hygienischer und wirtschaftlicher Beziehung“ in der Zeitschrift für Hygiene und Infektionskrankheiten, Bd. 93, 2. und 3. Heft, stieß, die ziemlich vollständige Literaturangaben über diese Probleme enthält, und in welcher über ähnlich durchgeführte Versuche berichtet wird. Ich gehe deshalb eingehender auf diese Arbeit ein, und ordne die Ergebnisse meiner experimentellen Untersuchungen in gleicher Weise an, wie es die beiden Verfasser getan haben, um die von ihnen und mir gefundenen Resultate vergleichen zu können, und um nicht ein neues Bewertungsverfahren einführen zu müssen, da mir ihre Darstellung als sehr zweckmäßig erscheint.

Ich zitiere ihre Ausführungen zum Teil wörtlich und ergänze ihre Literaturangaben von mir aus.¹⁾

Das 1. Kapitel „Bisher vorliegende Untersuchungen über die Bedeutung von Wärmeleitung und Wärmekapazität für die Wärmeökonomie der Häuser“ leiten die Verfasser wie folgt ein :

„Das Wohnhaus soll seine Bewohner nicht nur gegen die Unbilden der Witterung im allgemeinen schützen, sondern es soll auch in der Lage sein, die Temperaturen der Innenräume möglichst unabhängig zu machen von plötzlichen oder periodischen Schwankungen der Außentemperatur, wie sie der Wechsel der Tages- und Jahreszeiten mit sich bringt.

Die Temperatur der Raumluft soll möglichst konstant sein und sich in ihrer Schwankung in Grenzen bewegen, die etwa zwischen 17° und 22° liegen. Die Mauern müssen daher im Sommer den Innenraum vor zu schneller und starker Erwärmung schützen und ihn im Winter vor zu starker Abkühlung sichern. Dabei sollen sie selbst nicht durch zu große Wärme- bzw. Kältestrahlung lästig fallen.

Diesen hygienischen Anforderungen konnte früher verhältnismäßig leicht entsprochen werden. Da man auf die Wirtschaftlichkeit eines Hauses in wärmeökonomischer Beziehung und auf die Billigkeit der Bauausführung nicht einen so großen Wert zu legen brauchte wie jetzt, konnte man beim Bau eines Wohnhauses unbedenklich die Stärke der Mauern so bemessen, daß neben der notwendigen Standfestigkeit ein genügender Wärmeschutz ohne weiteres gewährleistet war. Heute dagegen muß man sein Augenmerk in erster Linie darauf richten, daß eine möglichst große Baustoff- und Arbeitsersparnis erzielt wird, daß aber trotzdem der Wärmeschutz ein ausreichender bleibt.

Besondere Schwierigkeiten ergeben sich für den Kleinhausbau. Das Kleinhaus ist nur bei größter Sparsamkeit in der Ausführung existenzfähig. Andererseits sind aber die Bedingungen für den Wärmeschutz beim Kleinhaus wegen der verhältnismäßig großen Oberfläche der Außenmauern erheblich ungünstigere als beim Großhaus. Es muß daher schon beim Bau des Hauses darauf gesehen werden, zwar möglichst billige Baustoffe und vorzugsweise solche zu verwenden, bei deren Herstellung möglichst wenig Kohle verbraucht wird, dabei aber doch die Wände und die Heizanlagen so auszugestalten, daß auch bei der Beheizung der Wohnungen mit den Kohlenvorräten so sparsam wie möglich umgegangen werden kann. Andernfalls würden etwaige Ersparnisse beim Bau des Hauses später durch hohe Heizkosten sehr bald wieder verlorengehen.

Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, die Wände und Heizeinrichtungen so herzustellen, daß sich die Räume bei möglichst geringem Brennstoffbedarf rasch bis zur hygienisch notwendigen Temperatur anheizen lassen, und daß nach Aussetzen der Heizung die Raumtemperatur noch möglichst lange auf einer zuträglichen Höhe bleibt. Bei mög-

¹⁾ Korff-Petersen u. W. Liese: Zeitschrift für Hygiene und Infektionskrankheiten. Bd. 93, Seite 407—409.

lichst geringer Wärmeleitung durch die Mauern muß also ein hinreichend großer Wärmespeicher vorhanden sein.

Die beiden Faktoren: Wärmeleitung und Wärmespeicherung müßten also bei der Bewertung einer Bauweise, gleichmäßig in Rechnung gezogen werden. Dies ist aber augenscheinlich bisher nicht der Fall gewesen. In der Technik ist vielmehr das Augenmerk vorwiegend auf das Wärmeleitvermögen der Baustoffe gerichtet worden. Rietschel hat gestützt auf die Versuche von Pécelet Wärmedurchgangszahlen für die verschiedensten Baustoffe angegeben, die in den weitesten Kreisen Anerkennung gefunden haben. Neuerdings sind besonders aus dem Institut für technische Physik und dem Forschungshaus für Wärmewirtschaft in München sehr eingehende und sorgfältige Arbeiten über die für den Wärmeverlust durch Leitung in Betracht kommenden Größen hervorgegangen. Die Ergebnisse dieser Forschungen sind kürzlich von Hencky in seiner Schrift „Die Wärmeverluste durch ebene Wände“¹⁾ in klarer und übersichtlicher Weise zusammengestellt worden.

Der Einfluß der Wärmespeicherung und vor allen Dingen die Wechselwirkung zwischen Wärmeleitung und -speicherung ist demgegenüber viel weniger eingehend behandelt worden. Zwar ist auf die hygienische Bedeutung der Wärmespeicherung in den Wänden in allgemeiner Form schon wiederholt hingewiesen worden. Vor allem haben Flügge und Nußbaum die Vorteile und Nachteile dieser Eigenschaft des Baumaterials vielfach besprochen. Genauere zahlenmäßige Untersuchungen über die Größe des Einflusses liegen aber bis jetzt nicht vor.

Auch von seiten der Heizungstechniker ist die Bedeutung der Wärmespeicherung zwar häufig erörtert worden. Der Gesichtspunkt, von dem aus sie das Problem betrachten, ist aber von dem des Hygienikers einigermaßen verschieden, da die Techniker ihr Hauptaugenmerk darauf richten, wie unter gegebenen Verhältnissen eine möglichst große Brennstoffersparnis erzielt wird, während der Hygieniker das Wohlbefinden der Bewohner in den Vordergrund stellt.“

Schon lange war in der Technik das Augenmerk auf das Wärmeleitvermögen von Baustoffen gerichtet und auch die technisch-wissenschaftlichen Laboratorien beschäftigten sich sehr mit diesen Fragen. So erschienen im Institut für techn. Physik in München (Leiter Prof. Knoblauch)²⁾ und im Laboratorium von Prof. Brabbé in Berlin³⁾ eine Reihe von Arbeiten über das Gebiet des Wärmedurchgangs.

Pécelet macht in seiner „traité de la chaleur“ einige Angaben über die beim Auskühlen der Mauern verlorene Wärme bei Unterbrechung der Heizung, ohne auf Einzelheiten einzugehen. Eingehender befassen sich Dietz und Gramberg mit dieser Frage. Nach Gramberg liegen ungünstige Bedingungen vor, „wenn das Verhältnis der Masse eines Gebäudes zur Wärmetransmission groß ist“.

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit eines Baues führte Recknagel den Durchgangskoeffizienten (Wärmedurchgangszahl nach Dietz) ein. Er bezeichnet ihn mit k und definiert ihn wie folgt: Der Durchgangskoeffizient k ist die Zahl, die angibt, wie viel Wärmeeinheiten stündlich durch 1 m^2 Wandfläche hindurchgehen, wenn die Temperaturdifferenz auf beiden Seiten 1° C beträgt. Krell⁴⁾ führt die sog. Abkühlungszahl ein. Die Abkühlungszahl ist die in Stunden ausgedrückte Zeit, die vergeht bis sich die Anfangstemperaturdifferenz zwischen Innen und Außen bei gleichbleibender Aussentemperatur um die Hälfte verringert.

¹⁾ München-Berlin 1921. R. Oldenbourg Verlag.

²⁾ Hilde Mollier: Ueber Wärmeleitung der Fussböden, Ges. Ing. 1910, No. 5/26.

Hencky: Zur Geschichte der neueren Wärmedurchgangszahlen, Ges. Ing. 1920, No. 37.

Knoblauch: Wärmedurchlässigkeit neuer Bauweisen, Bayr. Ind. & Gewerbeblatt 51, No. 49/50.

Knoblauch und Hencky: Zur Berechnung des Wärmebedarfs verschiedener Bauweisen.

³⁾ Wierz: Die praktischen und wissenschaftlichen Grundlagen der Wärmeverlustberechnung in der Heizungstechnik. Dissertation. 33. Mitteilung der Versuchsanstalt für Heizungs- und Lüftungswesen an der Techn. Hochschule zu Berlin.

⁴⁾ O. Krell sen.: Abkühlen von Gebäuden, Ges. Ing. 1907, No. 4 u. 6.

Beide Zahlenwerte wurden von de Grahl einer Kritik unterzogen, der zeigte, daß sie nur angenähert richtig sind.

Die Verfasser kommen zum Schluß, daß wir noch nicht in der Lage sind, vorauszubestimmen, wie sich ein Haus bei unterbrochener Heizung, die in der Praxis doch die Regel bildet, hinsichtlich der Geschwindigkeit des Anheizens bzw. Abkühlens verhalten wird und daß es keine erschöpfende Charakteristik einer Wandkonstruktion in wärmeökonomischer Hinsicht sein kann, wenn nur die Wärmedurchgangszahl angegeben wird. Für die Gültigkeit der Wärmeleit- und Durchgangszahlen ist ein Beharrungszustand Voraussetzung, der aber in Wirklichkeit nie besteht. Pils (Ges. Ing. 1920, pag. 397) berechnet z. B. daß bei einer 0,6 m dicken Ziegelsteinwand und einer Wärmezufuhr von stündl. 34,5 W. E./m² selbst nach hundert Stunden der Beharrungszustand auch nicht annähernd erreicht ist.

Die Verfasser beschreiben hierauf in dem mit Temperaturbeobachtungen an Kleinhäusern verschiedener Bauart überschriebenen 2. Kapitel die zu diesem Zwecke durchgeführten Versuche.

Sie führten in 5 Haustypen je 3 und in 2 andern je 2 Versuchsreihen durch. Die erste Versuchsreihe wurde im März 1920 in der Weise durchgeführt, daß in den 5 Häusern eine Woche lang unter Verwendung der gleichen Brennstoffmengen (5 kg Briketts täglich) durch die eingebauten Kachelöfen geheizt wurde. Leider machen die Verfasser über diese Versuche keine genügenden Angaben, da dieselben nicht voll befriedigt hätten. Sie bemerken nur, daß in der Zeit die Außenmauern feucht waren, sodaß einwandfreie Messungen nicht möglich gewesen seien, und daß der Einfluß der Wandkonstruktion gegenüber dem der Heizung in den Hintergrund trete. Die zweite Versuchsreihe führten sie in den Sommermonaten Juni und Juli 1920 durch, bei welcher die Innen- und Außentemperaturen mit Thermographen registriert wurden. Die dritte Versuchsreihe wurde im Januar 1921 durchgeführt. Bei diesen Versuchen wurden die Versuchsräume durch elektrische Öfen von gleicher Konstruktion, deren Energieverbrauch genau gemessen wurde, geheizt. Der Temperaturverlauf wurde mit Thermographen registriert.

Die Verfasser berichten zuerst eingehender über die dritte Versuchsreihe, in welcher sie je ein Zementhaus, Steinhaus, Thermoshaus, Holzhaus mit Helmschen Hohlsteinplatten, und ein Holzhaus mit Verschalung untersuchten.¹⁾ Sie verwendeten zum Beheizen der Räume elektrische Öfen mit 4 Heizbirnen, die einen Stromverbrauch von 2000 Watt/Std. hatten. Vor jedem Heizen wurde 1/2 Std. lang gelüftet.

An Hand der aufgenommenen Thermographenkurven zeigen die Verfasser, daß das thermische Verhalten, das nur durch die Wandkonstruktion bedingt ist, ein zufriedenstellendes sei, da bei einer Zufuhr von 18,920 W. E. in 11 Std. bei einer mittlern Außentemperatur von 3° C eine Versuchsraumtemperatur von 22° C erreicht wurde. Durch Gegenüberstellung der verschiedenen, aufgenommenen Thermographenkurven konnten die Verfasser die untersuchten Häuser hinsichtlich des thermischen Verhaltens wie folgt einreihen:

Thermoshaus, Steinhaus, Holzhaus (d), Holzhaus (e), Zementhaus.

„Nach Aussetzen der Heizung wirkt das Thermoshaus am günstigsten. Allerdings sinkt bei keinem Haus die Temperatur über Nacht bis zu einer hygienisch bedenklichen Tiefe herunter.“

- 1) a. Zementhaus: Aussenwand 15 cm Zementsteine mit Hohlschicht, 2 cm Luftschicht, 2 cm Schalbretter, darauf einfaches Rohrgewebe und Putz.
- b. Steinhaus: Auserer Putz, 15 cm Deckensteine mit doppelten Hohlräumen, 2 cm Luftschicht, 2—3 cm Gipsplatten mit Kokosfasereinlage, darauf Putz.
- c. Thermoshaus: Auserer Putz, 22 cm Thermossteine mit 5 Hohlschichten, darauf Putz.
- d. Holzhaus (d): 22 m/m Bretter mit Deckleisten, eine Lage Dachpappe aufgenagelt, ohne Verkleben der Fugen, 10 cm starkes Fachwerk mit Koksaschenfüllung, 5 cm starke Helmsche Hohlsteinplatten, darauf Putz.
- e. Holzhaus (e): 22 m/m Bretter mit Deckleisten, eine Lage Dachpappe aufgenagelt ohne Verkleben der Fugen, 10 cm starkes Fachwerk mit Koksaschenfüllung, eine Lage Dachpappe aufgenagelt ohne Verkleben der Fugen, 2 cm Verschalung, darauf Rohrgewebe und Putz.

Bei den Sommerversuchen, Versuchsreihe 2, finden sie das Verhalten der Häuser im allgemeinen günstig. Das Thermoshaus stellt sich besonders gut, da bei einer Außentemperatur von 32° C die Innentemperatur nur 21° C betrug. Etwas schlechter schneidet das Steinhaus ab, dann folgen wiederum die beiden Holzhäuser, und am ungünstigsten ist auch hier das Zementhaus.

Anschließend an diese Versuche machten die Verfasser noch einige ähnliche Untersuchungen an andern Holzhaustypen¹⁾ und endlich prüften sie die Wärmeisolierung beim Verhängen der Wand und der Fenster mit Schutzdecken. Sie kommen dabei zum Schluß, daß es für die Wärmeersparnis sehr günstig ist, „das untere Drittel der Fenster, der zur Erhellung der Wohnräume wenig beiträgt, mit geeigneten Decken zu verhängen.“

Im 3. Kapitel geben die Verfasser theoretische Erörterungen über die oben beschriebenen Versuche.

Sie finden, daß das thermische Verhalten der Häuser durch die Wärmedurchgangszahl nicht ausreichend charakterisiert wird, und analysieren deshalb die Thermographenkurven. Dabei erhielten sie die Abbildungen 24 und 25.

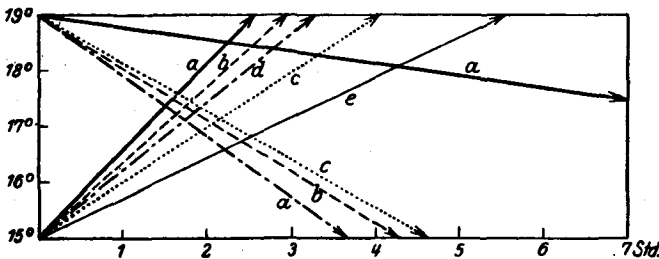


Abb. 24

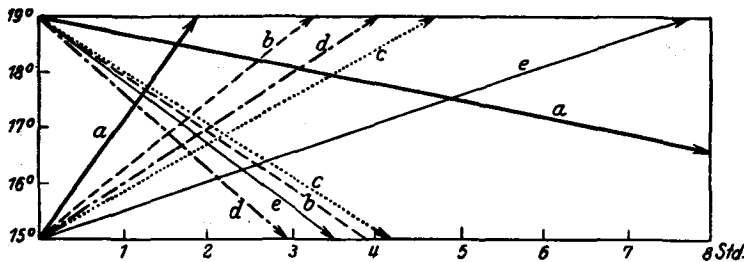


Abb. 25

a) Thermoshaus, b) Steinhaus, c) Holzhaus (e), d) Holzhaus (d), e) Zementhaus

Thermoshaus, Steinhaus, Holzhaus (d), Holzhaus (e), Zementhaus; für die Abkühlungsperiode: Thermoshaus, Holzhaus (e), Steinhaus, Zementhaus, Holzhaus (d).

Die Verfasser berechnen die Wärmedurchgangskoeffizienten der einzelnen Haustypen und finden folgende Werte:

	Wärmedurchgangskoeffizient k
1. Thermoshaus	0,3
2. Holzhaus (d) }	0,365
3. Holzhaus (e) }	
4. Steinhaus	0,892
5. Zementhaus	1,100

Es zeigte sich dabei, daß diese Reihenfolge weder mit der für die Anheiz- noch für die Abkühlungszeit bei den Versuchen erhaltenen übereinstimmt. Es muß also ein Umstand, der bei den Berechnungen mittels des Durchgangskoeffizienten nicht berücksichtigt wird

¹⁾ System Boecker und System Christoph und Unmark.

Diese Abb. kamen folgendermaßen zustande. Aus der 3. Versuchsperiode wurden die Tage 23. I. und 24. I. herausgegriffen, da für sie das in Betracht kommende Zeitintervall ziemlich konstante Außen-Temperatur zeigte. Die aufsteigenden Linien geben die Zeit an, die gebraucht wurde, um die Innentemperatur von 15° C auf 19° C zu erhöhen. Die absteigenden Linien geben die Zeitdauer an, die die Räume brauchten, um sich von 19° C auf 15° C Innentemperatur abzukühlen. Für die Anheizperiode finden die Verfasser hinsichtlich der Güte des thermischen Verhaltens nach obigen Abb. folgende Gruppierung:

von großem Einfluß sein. Es spielt hier neben dem Wärmedurchgang auch noch die Wärmespeicherung, vor allem aber die Anordnung der wärmespeichernden zu den schlecht leitenden Baumaterialschichten eine Rolle, was besonders an den beiden Holzhäusern, wo die berechneten Wärmedurchgangskoeffizienten gleich groß sind, zum Ausdruck kommt.

Sie besprechen nun die Resultate der Versuche über die Isolierung der Wände mit Decken. Es ergab sich bei der Isolierung eine ganz erhebliche Abkürzung der Anheizzeit. Die Abkühlung verläuft aber rascher, da die Isolierung fast jede Aufspeicherung von Wärme auf der Wand verhindert, sodaß nach Aussetzen der Heizung nur ein geringer Wärmespeicher vorhanden ist.

In einem 4. Kapitel werden die Versuche an einem Laboratoriumsmodell besprochen.

In einem Zimmer dessen Temperatur im Verlauf von 24 Stunden weniger als 1°C schwankte, wurde ein würfelförmiger Kasten, der einen lichten Raum von 1 cbm umschloß, aufgestellt. Die Wände bestanden an den zwei Seiten, sowie oben und unten aus 2 Lagen von 2,1 cm dicken gespundeten Brettern, die zwischen sich einen Raum von 6,4 cm frei ließen, der mit Lagen von Zeitungspapier und Watte ausgefüllt wurde. Die beiden übrigen Seiten dienten als Versuchswände. Sie konnten mit verschiedenen Baustoffen ausgefüllt, oder mit Holz-, Metallplatten etc. allein als Abschlußwände, untersucht werden. In diesen Kasten wurde ein elektrischer Ofen aufgestellt, und die Temperaturen im Kasteninnenraum, an den Oberflächen und in verschiedener Tiefe der Versuchswände und im Versuchsraum durch Thermoelemente gemessen. Die Verfasser konnten so an Kurven direkt das Wärmespeichungsvermögen bei verschiedenen Wandkombinationen bestimmen, und darauf hinweisen, daß dasselbe von der Anordnung der Schichten abhängig ist.“

Im 5. Kapitel wird die praktische Brauchbarkeit des Krellschen „Abkühlungskoeffizienten“ besprochen.

Der Abkühlungskoeffizient nach Krell zeigte gute Uebereinstimmung mit den Versuchsergebnissen, sodass die Verfasser die Frage aufwerfen, ob man nicht mehr als bisher diesen Ausdruck zur Bewertung der Gebäude in thermischer Hinsicht heranziehen sollte.

In den nachfolgenden Ausführungen behandle ich ähnliche Fragen unter Zugrundelegung der an meinen Objekten, die andere Wandkonstruktionen besaßen, vorgenommenen Versuche. Ich ordne den Stoff in ähnlicher Weise an, behandle aber auch noch Temperaturmessungen an der Maueroberfläche und im Mauerinnern.

II. Beschreibung der ausgeführten Versuche.

Da die untersuchten Mauern aus verschiedenen Schichten bestehen, war es interessant zu untersuchen, ob die Kurven des Temperaturgangs durch die Mauern geradlinig oder geknickt seien, denn stellen dieselben Knickkurven dar, so war die Möglichkeit gegeben, die Wärmespeicherung in den Schichten zu bestimmen. Es konnte zugleich noch untersucht werden, ob der so gemessene Temperaturabfall mit den berechneten k-Werten übereinstimme.

Die Temperaturen wurden mit Thermometern gemessen und zwar: An den beiden Maueroberflächen, 10 cm in der Mauer (von außen gemessen) und den angrenzenden Luftschichten. Siehe Abbildung 26.

Um vergleichbare Resultate zu erhalten, mußte in den eingebauten Kachelöfen möglichst gleichmäßig geheizt werden. Ich verwendete deshalb bei allen Versuchen Braunkohlenbriketts, Marke „Union“, da sie bei den aufgestellten Öfen am regelmäßigsten abbrannten und den gleichmäßigsten Wirkungsgrad ergaben, und kontrollierte in den Häusern alle Stunden die Heizung. Sodann wurden in allen Versuchsräumen alle 2 Stunden an, vor Strahlung geschützten Weingeistthermometern die Innentemperaturen, und die Außentemperaturen an einem empfindlichen Quecksilberthermometer abgelesen. Diese Tem-

peraturen wurden in Abbildung 30 graphisch aufgetragen, um die einzelnen Häuser miteinander vergleichen zu können. Vor dem Heizen wurde $\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$ Stunden gelüftet. Ueber Nacht wurde in den Häusern nicht geheizt, und in den Versuchsräumen befanden sich bei allen Versuchen den Tag über zwei bis drei Personen (ausgenommen in der Zeit zwischen $12\frac{1}{2}$ Uhr und $13\frac{1}{2}$ Uhr, in der Mittagszeit).

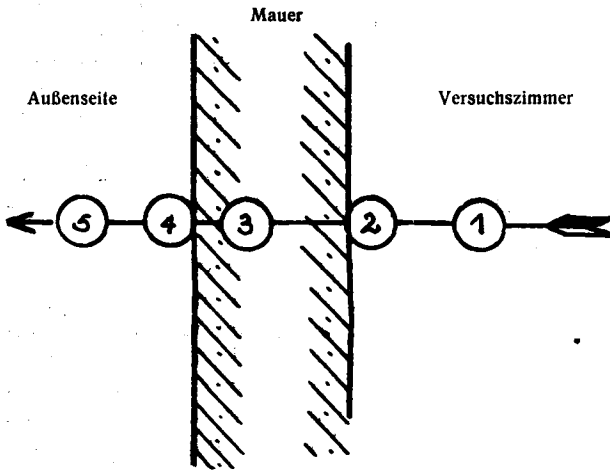


Abb. 26
Bestimmung des Temperaturabfalles in den Umfassungswänden
1—5 Meßstellen

Korff-Petersen und W. Liese machen in ihrer Arbeit darauf aufmerksam, daß beim Heizen mit Kachelöfen der Einfluss der Wandkonstruktion gegenüber dem der Öfen in den Hintergrund tritt. In der Anheizperiode ist dies wohl möglich, sodaß dort beide Faktoren zusammen wirken, in der Abkühlungsperiode, in einer gewissen Zeit nach dem Erlöschen des Feuers hört der Einfluss des Ofens fast vollständig auf, sodaß dann lediglich die Wandkonstruktion ausschlaggebend ist.

1. Temperaturmessungen an Mauern.

a) Temperaturmessungen auf der Maueroberfläche.

Um die genaue Oberflächentemperatur der Mauern zu erhalten, wurden Blechbehälter wie sie Abbildung 27/28 zeigt, mit Reisstiften an den Wänden befestigt und mit Sand gefüllt. Da die Gefäße keine Rückwand besaßen, nahmen die an die Wand angrenzenden Sandschichten die Wandtemperatur gut an. In den Sand wurde ein Quecksilberthermometer so gesteckt, daß die Quecksilberkugel die Wand berührte. Die Temperaturen wurden von Zeit zu Zeit abgelesen.

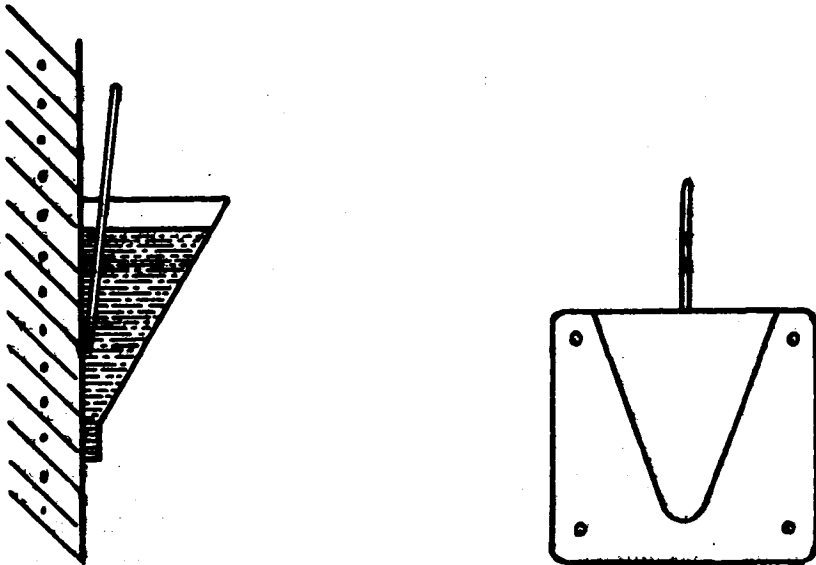


Abb. 27/28. Messung der Oberflächentemperaturen

b) Messung der Temperatur in den Mauern.

Da es sich um niedrige Temperaturen handelte, wurden sie in den Mauern mit Quecksilberthermometern gemessen. Zu diesem Zweck wurden bis zur Mauermitte von außen her Löcher von je 2 cm lichter Weite gemeißelt, mit feinem Seesand gefüllt, und ein Stockthermometer mit 10 cm langem Fuß wie Abbildung 29 zeigt, durch den Sand

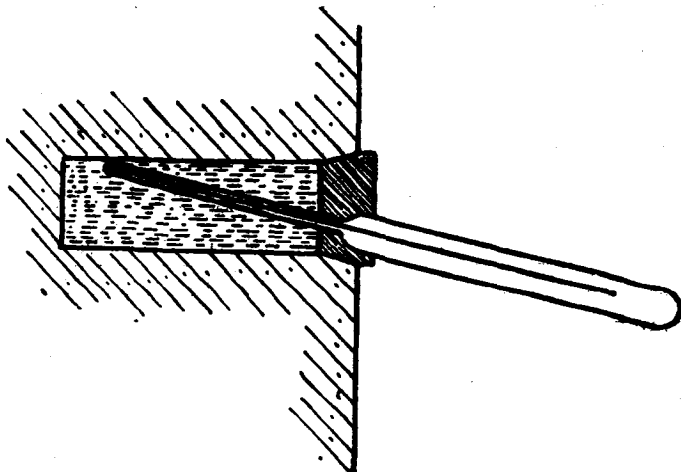


Abb. 29. Messung der Temperatur im Innern der Mauer

an die Mauer gestossen. Um eine Beeinflussung durch die Aussentemperatur zu vermeiden, wurde das Loch vorn mit einem Korkstopfen sorgfältig verschlossen. Die Temperaturen wurden zu gleicher Zeit wie die Oberflächentemperaturen abgelesen.

III. Besprechung der Versuchsergebnisse.

1. Temperaturgang in den Mauern.

Es wurden die Lufttemperaturen in den Versuchsräumen und im Freien, die der Mauerflächen und in 10 cm Tiefe in den Mauern, gewöhnlich zu 3 Tageszeiten und zwar am Morgen, Mittag und Abend gemessen, und die erhaltenen Werte graphisch aufgetragen. Es wurde in allen 4 Häusern um die gleiche Zeit angeheizt. Da ich zugleich auch die Heizungen kontrollieren musste, konnte ich die Messungen nicht zur gleichen Zeit ausführen. Bei allen 4 Häusern wurden aber die Temperaturen um 14 Uhr abgelesen, sodaß diese Ergebnisse miteinander verglichen werden können.

Beim Vergleichen der 4 Haustypen zeigt sich eine verschiedene Steilheit der um 14 Uhr registrierten Kurven. Bei Haus Nr. 5 beträgt der Temperaturunterschied zwischen innerer und äußerer Wandoberfläche 12,0 °C, bei Haus No. 7 15 °C, bei Haus Nr. 9 11 °C, und bei Haus Nr. 11 11,5 °C.

Die Häuser haben also nach der Größe des Temperaturunterschiedes geordnet folgende Reihenfolge:

1. Haus Wibichstrasse Nr. 9 11,2 °C.
2. Haus Wibichstrasse Nr. 11 11,5 °C.
3. Haus Wibichstrasse Nr. 5 12,0 °C.
4. Haus Wibichstrasse Nr. 7 15,0 °C.

Abbildung 30 a zeigt den Temperaturgang im Haus Wibichstrasse Nr. 5. Die Kurven zwischen der innern und äussern Wandoberfläche sind geradlinig. Die Wärmespeicherung kommt nicht zum Ausdruck. Am Morgen fällt die Kurve nur schwach ab,

da ein geringer Temperaturunterschied zwischen innen und außen vorhanden ist. Die äußere Wandtemperatur ist etwas tiefer als die Außentemperatur, da die Mauer sich über Nacht abkühlte und nicht der Erhöhung der Außentemperatur zu folgen vermochte. Mit höherer Innentemperatur werden die Kurven immer steiler.

Abbildung 30b zeigt den Temperaturgang durch die Mauern im Haus Wibichstrasse Nr. 7. Hier treten Knickkurven auf. Wie bei Haus Nr. 5 fällt die Morgen-Kurve nur

Bestimmung des Temperaturganges durch die Mauern zu verschiedenen Tageszeiten

Abb. 30 a

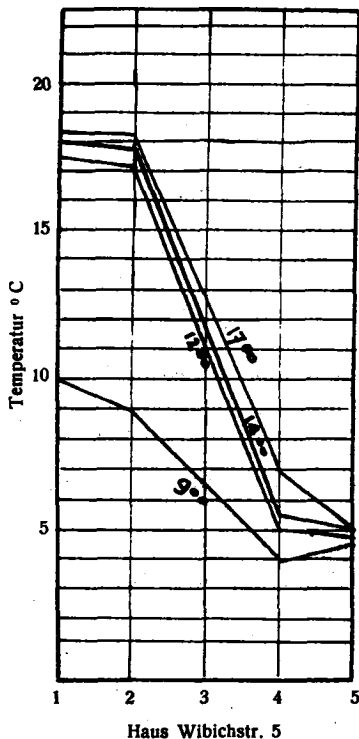
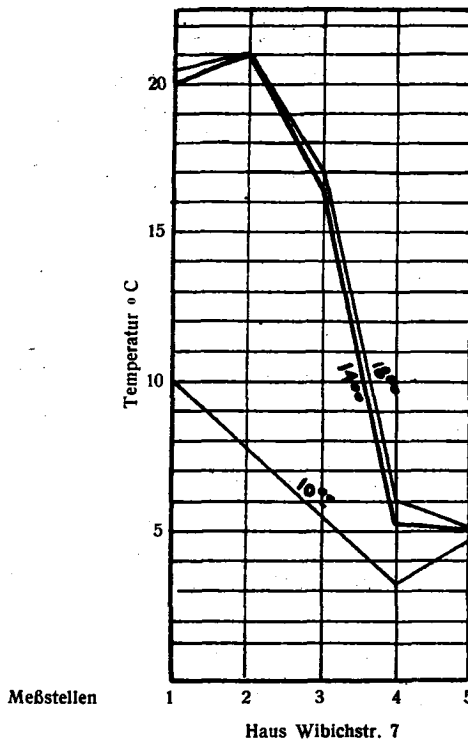


Abb. 30 b

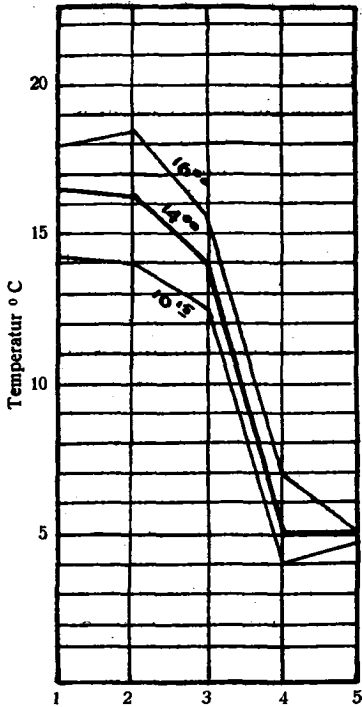


schwach ab. Auch hier war die Mauertemperatur etwas tiefer als die zur gleichen Zeit gemessene Außentemperatur. Mit dem größern Temperaturunterschied zwischen innen und außen werden die Knickkurven ausgeprägter. Nach Aussetzen der Heizung steigt die Wandtemperatur noch um ca. 1°C , was auf die Wärmespeicherung der Mauer zurückzuführen ist.

Abbildung 30c gibt den Temperaturgang in der Mauer des Hauses Wibichstrasse Nr. 9 wieder. Die Kurven sind hier sehr stark geknickt. Da die Mauer einen sehr kleinen Durchgangskoeffizienten hat, sinkt die Innentemperatur in der Nacht nur bis auf 14°C , sodass schon die Morgenkurve eine grosse Steilheit aufweist. Auch hier steigt die Wandtemperatur nach Aussetzen der Heizung um 16 Uhr etwas höher als die Innentemperatur, was ebenfalls auf die Speicherung zurückzuführen ist.

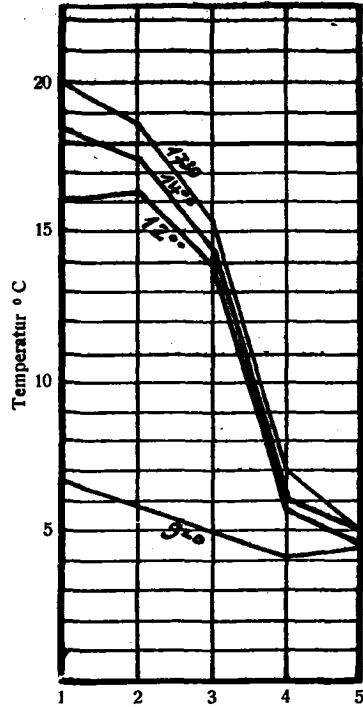
In Abbildung 30d sind die Versuchsergebnisse für das Haus Wibichstrasse Nr. 11 wieder gegeben. Der Versuchsraum hat sich über Nacht stark ausgekühlt, sodass die Morgenkurve nicht steil ist. Doch wird das Zimmer rasch warm, sodass die Kurven bald steiler werden. Bei der 12 Uhr Kurve ist die Wandtemperatur etwas höher, als die des Versuchsraumes, was wahrscheinlich auf eine kleine Wärmespeicherung zurückzuführen ist.

Abb. 30 c



Haus Wibichstr. 9

Abb. 30 d



Haus Wibichstr. 11

Meßstelle 1 Temperatur im Versuchsraum
 2 " der Maueroberfläche im Versuchsraum
 3 " in einer Mauertiefe von 10 cm

Meßstelle 4 Temperatur der Maueroberfläche im Freien
 5 " im Freien

2. Vergleich mit dem Durchgangskoeffizienten k.

Ich untersuchte nun, ob die oben gefundene Reihenfolge sich mit derjenigen der Durchgangskoeffizienten decke. Zu diesem Zweck rechneten Herr H. Lier, städt. Heizungsingenieur und ich diese Werte wie folgt aus:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a_0} + \frac{e_1}{\delta_1} + \frac{e_2}{\delta_2} + \dots + \frac{e_n}{\delta_n}$$

Hierin bedeutet:

- k = Durchgangskoeffizient
- a = Wärmeeintrittszahl in W.E./m² °C/Std.
- a₀ = Wärmeaustrittszahl " " " "
- e₁, e₂, e_n, = Dicke der Baustoff — resp. Luftschichten
- δ₁, δ₂, δ_n = Wärmeleitahlen in WE (m² Std. ° C).

Diese Werte wurden Zahlentafeln entnommen.

Die Wärmeeintrittszahl ist die Wärmemenge, die pro m² Wandoberfläche in einer Stunde eintritt, wenn der Temperaturunterschied zwischen Oberfläche und Luft 1 ° C beträgt.

Die Wärmeaustrittszahl ist diejenige Wärmemenge, die pro m² Wandoberfläche in einer Stunde austritt, wenn der Temperaturunterschied zwischen Oberfläche und Luft 1 ° C beträgt.

Die Wärmeleitzahl ist die Wärmemenge, die stündlich durch eine Schicht von 1 m Stärke und 1 m² Fläche überströmt, wenn der Unterschied zwischen Ein- und Austrittstemperatur 1 ° C beträgt. ¹⁾

Die Umfassungsmauern ergaben folgende k-Werte:

	Wärmedurchgangskoeffizient k
1. Haus Wibichstrasse Nr. 9	0,45
2. Haus Wibichstrasse Nr. 11	0,57
3. Haus Wibichstrasse Nr. 5	0,95
4. Haus Wibichstrasse Nr. 7	1,10

Es zeigte sich also die gleiche Reihenfolge, wie die beim Temperaturgang durch die Mauern erhaltene.

3. Wärmeverluste der Versuchsräume durch die Mauern.

Die Wärmeverluste eines Raumes sind direkt proportional der Geschwindigkeit der Temperaturabnahme. Dabei finden nicht nur die Abstrahlungsverluste, sondern auch diejenigen, die durch Wärmespeicherung der Wand entstehen, Berücksichtigung.

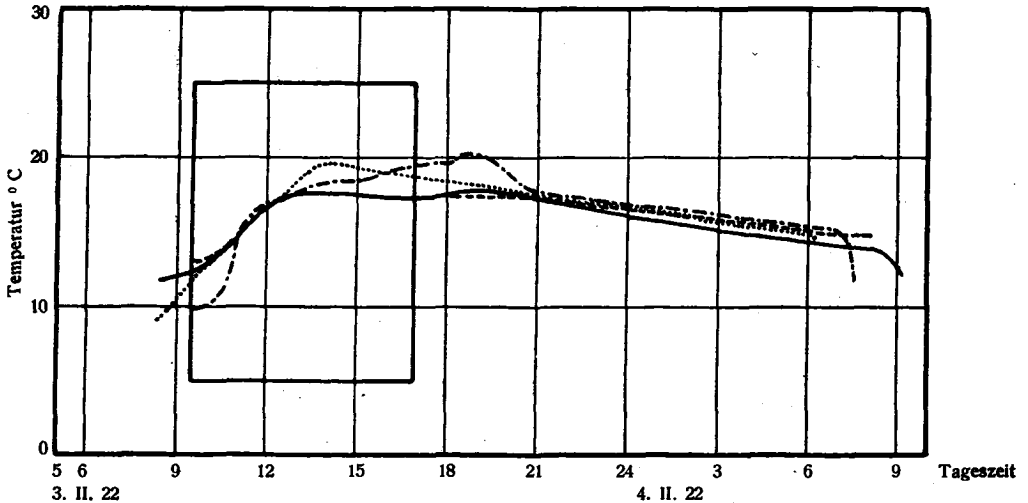
Auf diesen Ueberlegungen fußten meine nächsten Untersuchungen.

Zu diesem Zweck wurden in jedem der 4 Häuser Temperaturmessungen im Versuchsraum und im Freien ausgeführt, und der Temperaturabfall innert einer gewissen Zeit bestimmt.

Aus einer Versuchsserie greife ich 3 Einzelversuche heraus, bei denen die Außentemperatur sehr gleichmäßig war; die Beobachtungen sind in den Abb. 31 a—31 c graphisch wiedergegeben.

Abb. 31 a—31 c. Messung der Temperaturzu- und -abnahme in den 4 Versuchsräumen an 3 Versuchstagen mit gleichmäßiger Außentemperatur

Versuch I vom 3./4. II. 22 (wärmster Versuchstag). Mittlere Außentemperatur + 6,4 ° C
Abb. 31 a



a) Versuch 1 vom 3. bis 4. Februar 1922.

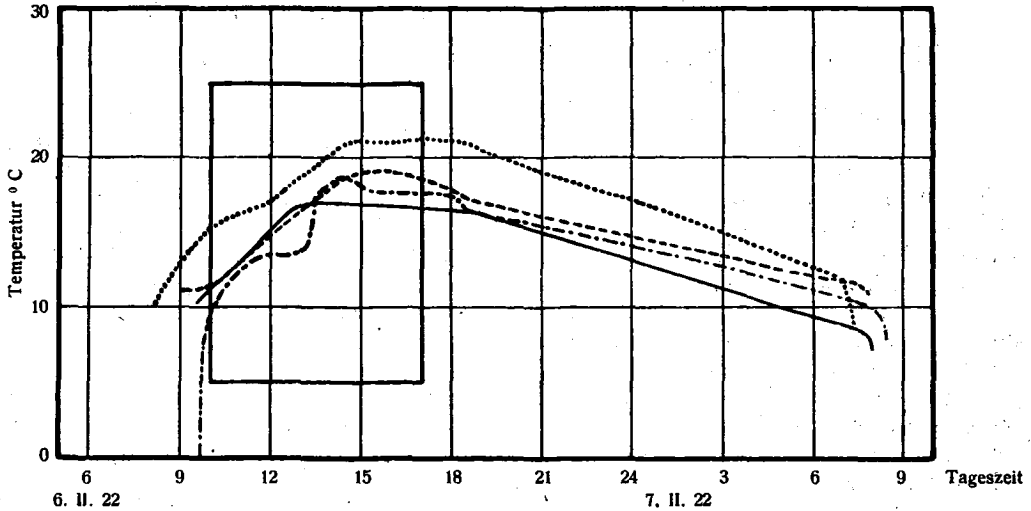
Heizmaterial: 9,23 kg Braunkohlenbriketts, Marke „Union“. 9³⁵—17³⁰ im Ofen gefeuert.

¹⁾ Rietschel und Brabbé: Heiz- und Lüftungstechnik 1922.
Hencky: Wärmeverluste durch ebene Wände.

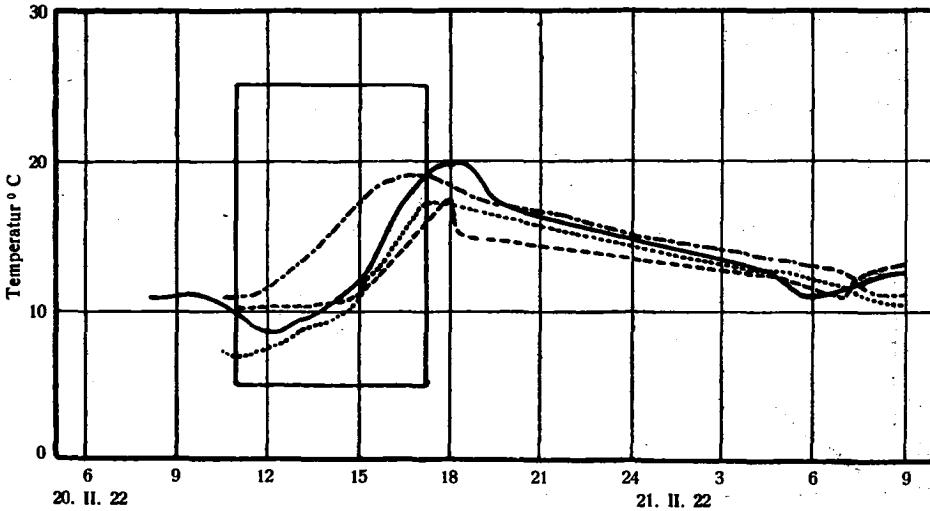
Witterung: Die Außentemperatur schwankte am Tage zwischen $7,9^{\circ}\text{C}$ und $6,0^{\circ}\text{C}$, fiel in der Nacht auf $4,6^{\circ}\text{C}$. und betrug im Mittel $6,40^{\circ}\text{C}$. Die Außentemperatur wies also keine großen Schwankungen auf und war während der ganzen Versuchsdauer erheblich über 0°C .

Nach Abbildung 31 a erlangte Haus Nr. 7, zwar erst nach längerer Zeit, die höchste Raumtemperatur, doch fiel sie nach Aussetzen der Heizung sofort sehr stark. In den andern Häusern war die Temperaturzunahme eine ziemlich gleichmäßige. In der Abkühlungsperiode zeigte sich Haus Nr. 9 am günstigsten, Haus Nr. 5 am schlechtesten.

Versuch II vom 6./7. II. 22 (kältester Versuchstag). Mittlere Außentemperatur $-12,0^{\circ}\text{C}$
Abb. 31 b



Versuch III vom 20./21. II. 22. Mittlere Außentemperatur $+3,8^{\circ}\text{C}$
Abb. 31 c



Legende: — Haus Wibichstr. 5
- - - " " 7
- · - · " " 9
· · · · " " 11

b) Versuch 2 vom 6. bis 7. Februar 1922.

Heizmaterial: 9,62 kg Braunkohlenbriketts, Marke „Union“. 10⁰⁰—17⁰⁰ im Ofen gefeuert.

Witterung: Die Außentemperatur schwankte am Tag zwischen -8,0 ° C und -12,0 ° C, war in der Nacht -15,8 ° C¹⁾ und betrug im Mittel -10,8 ° C. Es war der kälteste Tag in der Versuchsreihe.

Das Verhalten der Häuser war ähnlich wie bei Versuch 1. Sehr schön kann man die verschiedene Abkühlung verfolgen. Haus Wibichstrasse Nr. 9 kühlt wiederum am langsamsten ab, Haus Nr. 11 am raschesten. Hier macht sich in der Anheizperiode bei Haus Nr. 11 deutlich die Güte des Ofens bemerkbar, steigt die Temperatur doch bis auf 21 °.

c) Versuch 3 vom 20. nachts bis 21. Februar 1922.

Heizmaterial: 8,64 kg Braunkohlenbriketts, Marke „Union“. 9⁵⁵—15⁵⁰ im Ofen gefeuert.

Witterung: Die Außentemperatur schwankte zwischen + 1,0 ° und + 5,0 ° am Tage, fiel in der Nacht auf 1,3 °¹⁾, und betrug im Mittel 3,0 °.

Die Versuchsergebnisse sind ähnliche wie bei Versuch 1 vom 3. bis 4. Februar 1922. Sehr gut liess sich an diesem Tage Haus Nr. 5 anheizen. Die Raumtemperatur stieg gleichmässig an. In der Nacht vom 3. auf den 4. Februar zeigte die Temperatur nur kleine Schwankungen. Es wurde deshalb mit den Temperaturmessungen am 20. Februar, abends 6 Uhr, begonnen.

Die hygienisch erforderliche Temperatur von 17 ° konnte in allen 4 Häusern und allen 3 Versuchstagen erreicht werden, und nach Aussetzen der Heizung sank die Raumtemperatur bei keinem Haus zu tief.

Um die verschiedenartige Wirkungsweise der Mauern besser darstellen zu können, wurden die in den Abbildungen 31 a bis 31 c aufgezeichneten Kurven nach dem erwähnten Verfahren von A. Korff-Petersen und W. Liese weiter analysiert und in den Abbildungen 32 a bis 32 c zeichnerisch wiedergegeben.

Die aufsteigenden Linien geben die Zeit der Erwärmung, die absteigenden diejenige der Abkühlung an.

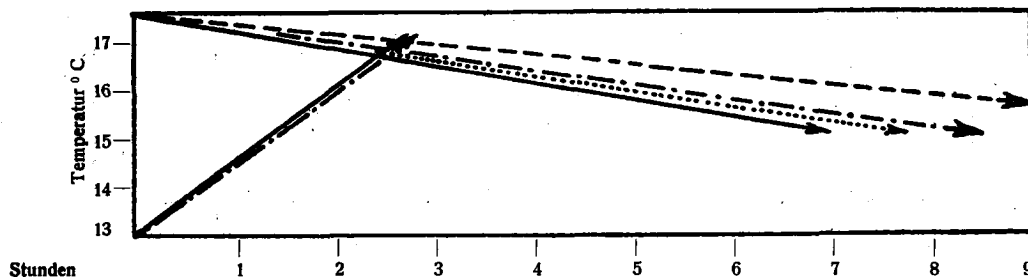
Beim Versuch 1 wurde bestimmt, welche Zeit notwendig war, um die Temperatur im Versuchsraum von 13 auf 17 ° C zu erhöhen.

Beim Versuch 2 lag das gleiche Zeitintervall zwischen den Temperaturen von 12 und 17 ° C und beim Versuch 3 zwischen 13 und 19 ° C.

In der Abkühlungsperiode bestimmte ich beim Versuch 1 die Zeit, die verstrich, bis sich die Raumtemperatur von 17,5 auf 15 ° abkühlte.

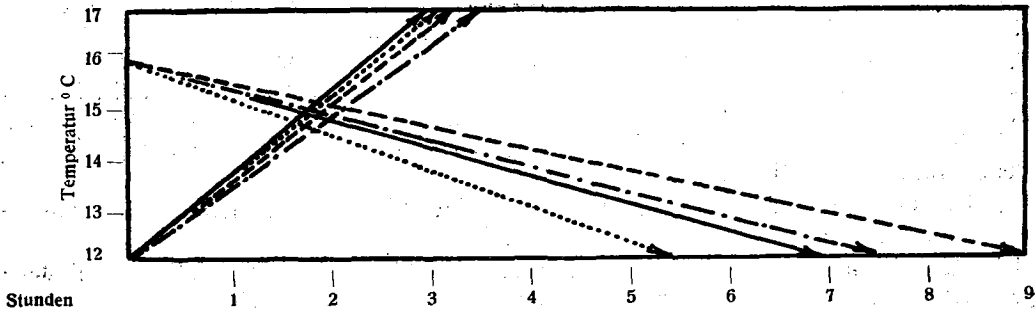
Abb. 32 a — 32 c. Graphische Auswertung der Temperaturzu- und -abnahme in den 4 Versuchsräumen an 3 Versuchstagen mit gleichmäßiger Außentemperatur (nach A. Korff-Petersen u. W. Liese)

Versuch I vom 3./4. II. 22 (wärmster Versuchstag). Mittlere Außentemperatur + 6,5 ° C
Abb. 32 a

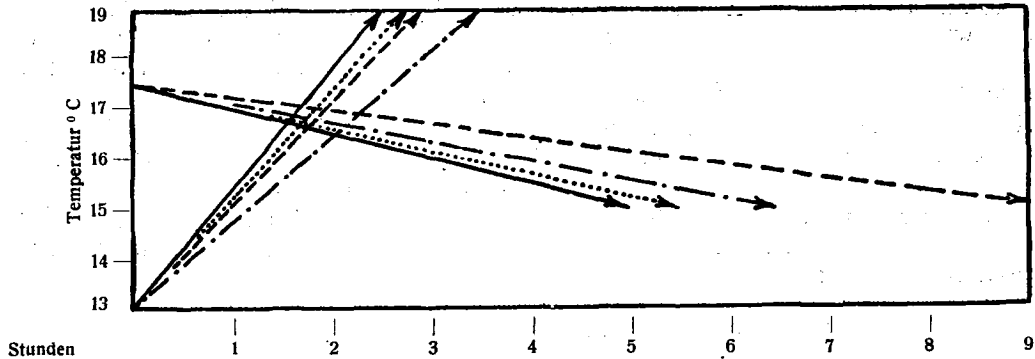


¹⁾ Die Angaben über die Nachttemperaturen stammen von der Eidg. Meteorologischen Zentralanstalt in Zürich.

Versuch II vom 6./7. II. 22 (kältester Versuchstag). Mittlere Außentemperatur $-12,0^{\circ}\text{C}$
Abb. 32 b



Versuch III vom 20./21. II. 22. Mittlere Außentemperatur $+3,8^{\circ}\text{C}$
Abb. 32 c



Legende: ——— Haus Wibichstr. 5
 - - - - - " " 7
 - · - · - " " 9
 ······ " " 11

Beim Versuch 2 fiel die Temperatur im gleichen Zeitintervall von 16 auf 12°C und beim Versuch 3 von $17,5$ auf 15°C .

Beim Versuch 2 vom 6. Februar, der bei einer sehr tiefen Aussentemperatur ausgeführt wurde, sind die Kurven in der Anheizperiode weniger steil als bei Versuch 1 und namentlich 3, hingegen fallen dieselben in der Abkühlungsperiode viel steiler ab, die Räume werden also langsam warm und rasch kalt, was auf die tiefe Außentemperatur zurückzuführen ist.

An den drei Versuchstagen ist die Reihenfolge der Häuser hinsichtlich der Güte ihres thermischen Verhaltens die gleiche. Nur bei sehr tiefer Aussentemperatur wechselt in der Abkühlungsperiode Haus Nr. 11 mit Haus Nr. 5 seinen Platz, sodass ersteres von dritter Stelle an die vierte tritt. Korff-Petersen und W. Liese erhielten auch einen ähnlichen Fall, den sie auf die Ungenauigkeit der Ablesung von Thermographenkurven zurückführten. Ich glaube vielmehr, dass diese Aenderung mit dem Wesen der Häuser zusammenhängt.

Für die Anheizperiode zeigt sich folgende Gruppierung:

1. Haus Wibichstrasse Nr. 5
2. Haus Wibichstrasse Nr. 11
3. Haus Wibichstrasse Nr. 9
4. Haus Wibichstrasse Nr. 7

Für die Abkühlungsperiode erhielt ich folgende Reihenfolge:

1. Haus Wibichstrasse Nr. 9
2. Haus Wibichstrasse Nr. 7
3. Haus Wibichstrasse Nr. 11
4. Haus Wibichstrasse Nr. 5

In der Anheizperiode macht sich der Einfluss der Heizung auf das thermische Verhalten der Häuser bemerkbar. Die beiden Häuser mit den guten Kachelöfen stehen an 2. und 3. Stelle, einzig bei den Häusern Wibichstr. Nr. 7 und 9, die den gleichen Kachelofentypus besitzen, kommt der Einfluss der Wandkonstruktion zur Geltung. Ganz anders hingegen ist der Temperaturabfall in der Abkühlungsperiode. Haus Wibichstr. Nr. 5 zeigt mit Ausnahme von Versuch 2 die kürzeste Abkühlungsperiode. Sehr günstig stellt sich Haus Wibichstrasse Nr. 9. Die Gleichheit der Reihenfolge ist sicherlich durch die verschiedene Wandkonstruktion bedingt.

Es ist interessant, dass sich obige Reihenfolge nicht mit derjenigen der ausgerechneten Wärmedurchgangskoeffizienten deckt.

Die Abweichungen können nicht auf äussere Einflüsse wie Windanfall, verschiedene Temperaturen etc. zurückgeführt werden, denn alle untersuchten Wohnräume lagen an der gleichen Front, also nach der gleichen Himmelsrichtung orientiert, sodaß verschiedene Sonnenbestrahlung der Mauern ausgeschlossen war und Windanfall keinen Einfluss hatte. Auch waren die Mauern gut ausgetrocknet, da die Häuser schon seit dem März 1920 bewohnt wurden. Endlich zeigten die Versuchsräume die gleichen Abmessungen, die gleiche Fensterzahl und Fenstergrösse. Die Versuchszimmer im Haus Nr. 5 und 11 waren allerdings Eckräume. (Siehe weiter unten).

Da diese Wärmeverluste nicht mit den Abkühlungskoeffizienten zur Deckung gebracht werden konnten, wurde untersucht, ob vielleicht Gleichheit bestehe mit den für diese Mauerkonstruktion berechneten stündlichen Wärmeverlusten.

Zur Berechnung der stündlichen Wärmeverluste benutzte ich die oben ausgerechneten Durchgangskoeffizienten. Die Wärmeverluste wurden nach der bekannten Gleichung von Fourier ermittelt:

$$W = F k (t_i - t_a) \text{ in WE/Std.}^1)$$

Hierin bedeutet:

- W = Verlust an WE pro Stunden
- F = Grösse der wärmeabgebenden resp. wärmeaufnehmenden Wand.
- k = Durchgangskoeffizient
- t_i = Innentemperatur
- t_a = Aussentemperatur

Ich erhielt dann für die Güte der Häuser folgende Reihenfolge:

	stündliche Wärmeverluste
1. Haus Wibichstrasse Nr. 9	86,9 WE
2. Haus Wibichstrasse Nr. 11	202,9 „
3. Haus Wibichstrasse Nr. 7	248,2 „
4. Haus Wibichstrasse Nr. 5	335,3 „

Da auch diese keine Uebereinstimmung mit den wirklich erhaltenen Werten ergaben, wurden die sog. Zuschläge für Himmelsrichtungen, Außenflächen, Eckräume, Anheizen und Betriebsunterbrechung zu obigen Zahlen zugezählt.

Ich verwendete die von Rietschel (1 c) angegebenen Werte und zwar für:

- a) Zuschläge für Himmelsrichtungen auf Aussenflächen:
 - N, NO, NW, O 15 %
 - W, SO, SW 10 %
- b) Zuschläge für Eckräume 10 %
- c) Zuschläge für Betriebsunterbrechung 10 %

¹⁾ Hütte: Des Ingenieurs Taschenbuch 1920, Band III, pag. 403.

Die Reihenfolge der Häuser stellte sich dann wie folgt:

	stündliche Wärmeverluste
1. Haus Wibichstraße Nr. 9	104,3 WE
2. Haus Wibichstraße Nr. 11	268,0 "
3. Haus Wibichstraße Nr. 7	297,8 "
4. Haus Wibichstraße Nr. 5	421,8 "

Auch die so erhaltene Reihenfolge stimmt nicht mit den durch direkte Messungen erhaltenen Resultaten überein. Es müssen also bei der Erwärmung und bei der Abkühlung neben dem Wärmedurchgangskoeffizienten noch andere Faktoren eine Rolle spielen. Einer dieser Faktoren ist in der Anordnung der wärmespeichernden zu den schlecht leitenden Schichten zu suchen.

Der Versuchsraum im Hause Wibichstraße No. 9 weist die kleinsten Wärmeverluste auf; sie stehen im Einklang mit den kleinsten Wärmedurchgangskoeffizienten. Anders verhält sich der Versuchsraum im Hause Wibichstr. No. 7. Er steht an dritter Stelle, weist aber den größten Wärmedurchgangskoeffizienten auf. Wie schon im Kapitel No. I dieses Abschnittes (Temperaturgang in den Mauern) gezeigt wurde, speichert das Mauerwerk in diesem Hause Wärme auf; in der Anheizperiode steht dieser Versuchsraum an letzter Stelle. Nach Aussetzen der Heizung kommt die aufgespeicherte Wärmemenge dem Raume z. T. wieder zu gut, sodaß er während der Abkühlungsperiode an die zweite Stelle tritt. Die wärmespeichernde Schicht dient gewissermaßen als Wärmereservoir.

Auch beim Hause Wibichstraße No. 9 macht sich die Speicherung während der Anheizperiode geltend. Der Raum steht beim Anheizen erst an dritter Stelle. Endlich ist die Rolle der Wärmespeicherung auch beim Versuchsraum im Hause Wibichstraße No. 5 erkennbar. Das Mauerwerk ist ziemlich homogen gebaut. Es enthält keine durchgehende, schlechtleitende Schichten und eine nennenswerte Wärmespeicherung konnte bei den Versuchen auch nicht gemessen werden. Das Haus steht darum, trotzdem es den drittgrößten Wärmedurchgangskoeffizienten besitzt, in wärmeökonomischer Hinsicht an letzter Stelle. Allerdings wurde der Raum sehr rasch warm, stand also während der Anheizperiode an vorderster Stelle. Beim Hause Wibichstraße No. 11 konnte eine geringe Wärmespeicherung festgestellt werden, sodaß der Versuchsraum während der Anheizperiode an zweiter Stelle steht.

Die Wärmespeicherung ist abhängig von der spez. Wärme des Baumaterials. Je größer die spez. Wärme, um so mehr Wärme kann gespeichert werden. Ich rechnete deshalb für die Mauern nach Angaben der „Hütte“, Taschenbuch des Ingenieurs 1921, diese Werte aus und erhielt:

	Mittl. spez. Wärme der Mauer
Haus Wibichstraße Nr. 5	0,220
Haus Wibichstraße Nr. 7	0,214
Haus Wibichstraße Nr. 9	0,200
Haus Wibichstraße Nr. 11	0,212

Es ist interessant, daß bei Haus Wibichstraße Nr. 7, das doch eine kleinere spez. Wärme wie Haus No. 5 besaß, die größte Wärmespeicherung konstatiert werden konnte. Es darf also zur Beurteilung des thermischen Verhaltens von Räumen nicht allein die spez. Wärme oder anders gesagt die Wärmespeicherung herangezogen werden. Der Wärmedurchgang durch Mauern ist so komplizierter Natur, daß so einfache Gesetze den tatsächlichen Verhältnissen nicht genügen können. Daß aber die Wärmespeicherung nicht vernachlässigt werden darf, sollen nachfolgende Berechnungen zeigen:

Am 21. Februar wurden 47,852 Wärmeeinheiten den Oefen zugeführt.

Bei Haus Wibichstraße Nr. 5 konnte keine Wärmespeicherung beobachtet werden. Bei Haus Wibichstraße No. 7 betrug die Mehraufspeicherung von Wärme, die also in der Anheizperiode dem Raum nicht zugute kam 1644 WE, bei Haus Wibichstr. Nr. 9 1188 WE, und bei Haus Wibichstraße Nr. 11 277 WE. Zieht man diese Werte von der

total an den Raum abgegebenen Wärmemenge ab, so erhält man die Wärmemenge die dem Raum effektiv zugute kam. Man erhält dann folgende Reihenfolge in der Anheizperiode:

	Dem Raum zugute kommende Wärmemenge in W. E.
1. Haus Wibichstraße Nr. 5	47,852
2. Haus Wibichstraße Nr. 11	47,575
3. Haus Wibichstraße Nr. 9	46,664
4. Haus Wibichstraße Nr. 7	46,208

Es zeigt sich also hier die gleiche Reihenfolge wie bei den Temperaturmessungen in der Anheizperiode (Abb. 32), wo auch Haus Wibichstraße Nr. 5 am besten und Haus Wibichstraße Nr. 7 am schlechtesten abschneidet.

In der Abkühlungszeit, nach Aussetzen der Heizung kommt diese aufgespeicherte Wärmemenge dem Raum wieder teilweise zugut. Ein Teil dieser fließt je nach der Größe des Durchgangskoeffizienten nach außen ab.

Ich habe nun die obigen Werte umgerechnet, wobei ich der Einfachheit halber die ähnlichen Durchgangskoeffizienten Wibichstraße Nr. 9 und Nr. 11 gleich groß setzte, und bei ihnen keinen Wärmefluß nach außen annahm, was tatsächlich nicht zutrifft. Da nun Haus Wibichstraße No. 7 einen doppelt so großen Durchgangskoeffizienten besitzt, als Haus Nr. 9 und Nr. 11, kommt demgemäß auch nur die Hälfte der aufgespeicherten Wärmemenge dem Raum zugut, die andere Hälfte fließt nach außen ab. Es würden sich demnach, nach ihrem thermischen Verhalten geordnet, die Häuser wie folgt verhalten:

	Nach Aussetzen der Heizung dem Raum zugute kommende W. E.
1. Haus Wibichstraße Nr. 9	1188
2. Haus Wibichstraße Nr. 7	822
3. Haus Wibichstraße Nr. 11	277
4. Haus Wibichstraße Nr. 5	—

Es zeigt sich auch hier in der Abkühlungsperiode die gleiche Reihenfolge, wie die bei den Abkühlungsversuchen (Abb. 32 a bis 32 c).

Diese Berechnungen zeigen, daß wirklich die Wärmespeicherung eine nicht zu vernachlässigende Rolle spielt.

4. Der Krellsche Abkühlungskoeffizient.

Zur Charakterisierung des thermischen Verhaltens von Gebäuden ist auch schon hie und da der Krellsche Abkühlungskoeffizient benützt worden.¹⁾ Korff-Petersen und W. Lise führen hierüber folgendes aus:

„Es ist auch bereits versucht worden, andere Zahlen zur Charakteristik des thermischen Verhaltens von Gebäuden heranzuziehen.

Krell sen.-Nürnberg beobachtete anlässlich von Empfindlichkeitsbestimmungen an Thermometern, daß ein Thermometer, um sich bei 0° Raumtemperatur von 20° auf 10° abzukühlen, genau dieselbe Zeit braucht, wie für seine Abkühlung von 10 auf 5°, 5 auf 2½° usw., wenn die Raumtemperatur konstant bleibt. Ganz allgemein würde also ein Thermometer, das sich bei gleichbleibender Raumtemperatur während der Zeit a um b ° abkühlt, für eine Abkühlung auf $\frac{b}{2}$, $\frac{b}{4}$, $\frac{b}{8}$ usw. die Zeit $2a$, $3a$, $4a$ usw. beanspruchen.

Die Abkühlungskurve eines Thermometers müßte also der Gleichung $y = \frac{b}{2^{\frac{a}{x}}}$ entsprechen.

¹⁾ Dietz: Lehrbuch der Lüftungstechnik, pag. 49, 287, 536.

O. Krell sen.: Empfindlichkeitsmessungen an Thermometern.

Zeitschrift für Heizung und Beleuchtung, 1906, Nr. 4 und 6.

In dieser Formel bedeutet x Zeit, y Temperatur, b die Temperatur zur Zeit $x = 0$ und a die Zeit, zu der $y = \frac{b}{2}$ ist.

Diese Gleichung ist nichts anderes als das längst bekannte Newtonsche Abkühlungsgesetz.

Die Verhältnisse bei der Abkühlung von Thermometern übertrug Krell in sinn- gemäßer Abänderung auf Gebäude und versuchte in seinem „Abkühlungskoeffizienten β “, der für jedes Gebäude eine bestimmte unveränderliche Zahl von Stunden sein sollte, ein neues Kriterium für die Abkühlungsverhältnisse von Häusern zu geben. β stellt die Zeit in Stunden dar, die vergehen muß, damit die Differenz zwischen der Temperatur der Innenluft eines Raumes und der Außenluft sich von a^0 auf $\frac{a^0}{2}$ verringert.

Durch entsprechende Umformung der Kurvengleichung läßt sich ein Ausdruck von der Form $\beta = S \cdot \frac{0,693}{\ln \frac{D}{d}}$ herleiten, in dem β der Abkühlungskoeffizient des Raumes resp.

Gebäudes in Stunden, D die Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außentemperatur zu Beginn, und d die Temperaturdifferenz nach S Stunden bedeutet¹⁾.

Neben dem Umstand, daß dieser Wert sowohl Wärmedurchgang als Wärmespeicherung berücksichtigt, würde er auch bei fertigen Gebäuden den Vorteil bieten, daß er nur Temperaturunterschiede, die leicht meßbar sind, als Ausgangspunkte der Berechnung verlangt.“

Bisher liegen einige wenige Versuche vor, mit denen Werte von β experimentell er- mittelt wurden, so von Krell und de Grahl: Bestimmung des Abkühlungskoeffizienten am Theater von Nürnberg, Egidienkirche daselbst, Olaikirche, Gewächshäuser und an einigen andern Gebäuden. Korff-Petersen und W. Liese haben an ihren Wohnungen die Ab- kühlungszahl bestimmt. Die Abkühlungszahl hat sich bis jetzt noch nicht eingebürgert, weil die Versuche bis anhin keine befriedigenden Ergebnisse zeitigten. Es mag das vielleicht daran liegen, daß die Annahmen von Krell nur innert gewissen Grenzen zu- treffen, worauf Korff-Petersen und W. Liese aufmerksam machten.

Tabelle 19. **Abkühlungszahlen der Häuser Wibichstrasse Nr. 5 bis Nr. 11.**

Haus Wibichstraße	Versuch 1 vom 3./4. II. 8,5 Std.	Versuch 2 vom 6./7. II. 11,0 Std.	Versuch 3 vom 20./21. II. 8,0 Std.	Mittel
1. Nr. 9	$\beta = 30,60$ $\frac{D}{d} = 1,21$	$30,03$ $\frac{D}{d} = 1,29$	$42,32$ $\frac{D}{d} = 1,14$	34,32
2. Nr. 7	$\beta = 29,75$ $\frac{D}{d} = 1,22$	$28,93$ $\frac{D}{d} = 1,30$	$31,60$ $\frac{D}{d} = 1,19$	30,09
3. Nr. 11	$\beta = 27,20$ $\frac{D}{d} = 1,24$	$25,52$ $\frac{D}{d} = 1,35$	$24,80$ $\frac{D}{d} = 1,25$	25,84
4. Nr. 5	$\beta = 24,65$ $\frac{D}{d} = 1,27$	$23,21$ $\frac{D}{d} = 1,39$	$24,08$ $\frac{D}{d} = 1,26$	23,98

¹⁾ Zeitschr. f. Lüftung u. Heizg. 1906/07 Nr. 4 u. 6. Ges.-Ing. Bd. 30, S. 11.

Schon für Thermometer treffen die Annahmen nur innert sehr engen Grenzen zu. Die Annahmen von Krell sind also streng wissenschaftlich nicht richtig, doch können sie zur thermischen Beurteilung von Gebäuden vielleicht herangezogen werden. In Tabelle 19 sind die für die 3 Versuche errechneten Werte zusammengestellt.

Daraus ersieht man, daß die Krell'sche Abkühlungszahl nicht konstant ist. Die Mittelwerte der Krell'schen Abkühlungszahl und die erhaltenen Ergebnisse bei den Abkühlungsversuchen gehen aber parallel, sodaß die Krell'sche Zahl wenigstens zur angenäherten Bewertung des thermischen Verhaltens von Gebäuden herangezogen werden kann.

Aus den beschriebenen Untersuchungen kann der Schluß gezogen werden, daß die Verwendung des Wärmedurchgangskoeffizienten k für die Beurteilung der Mauerkonstruktionen in wärmeökonomischer Hinsicht nicht immer ganz ausreicht. In dieser Beziehung bestätigen meine Untersuchungen die von Korff-Petersen und W. Liese veröffentlichten Resultate. Ich gehe mit diesen Forschern auch darin einig, daß die Krell'sche Abkühlungszahl zur Beurteilung von Gebäuden in thermischer Hinsicht mehr herangezogen werden sollte, als bisher.

C. Hygienische Untersuchungen an Kleinwohnungen.

1. Einleitung.

In Zürich beschäftigte sich eine aus Hygienikern, Heizungsingenieuren und Architekten bestehende Kommission*) auch unter anderem mit der Frage, welcher Rauminhalt für Wohnzimmer, Schlafzimmer und Wohnküchen in Kleinwohnungen noch zulässig sei. Da die Zulässigkeitsgrenze mit der Verunreinigung der Luft durch die Bewohner im engsten Zusammenhange steht, war es geboten, neben heiz- und wärmetechnischen Versuchen auch hygienische Untersuchungen an den Versuchsobjekten vorzunehmen, da diese sich sehr gut hierfür eigneten.

Als Faktoren für die Verunreinigung der Luft durch Menschen kommen ihr Kohlensäure- und Wasserdampfgehalt in Frage; beide Größen können zudem leicht gemessen werden. Die Hygieniker beschäftigte ferner auch die Frage, ob für Familiengasherde in Küchen besondere Abzüge für den Dampf und die Verbrennungsgase anzubringen seien, weshalb auch Kohlensäure- und Feuchtigkeitsgehaltmessungen in Gasküchen erwünscht waren. Aus den angeführten Gründen bestimmte ich den Kohlensäure- und Feuchtigkeitsgehalt der Wohnräume, Küchen und Schlafzimmer in allen 4 Häusern.

Nach Pettenkofer war 0,1% der höchst zulässige Kohlensäuregehalt. Der Hygieniker legt heute auf die Kohlensäurebestimmung kein so großes Gewicht mehr, hat aber die Bestimmung wegen ihrer leichten Ausführbarkeit beibehalten. Nach Untersuchungen von Lehmann und Mitarbeitern (Gasjournal 1914, S. 705) sind Kohlensäuregehalte von 1 bis 2,5% ohne nachteilige Wirkung. Von medizinischer Seite wird zwar die Empfindlichkeitsgrenze zu 0,4% CO_2 angenommen und ein höherer Kohlensäuregehalt auf die Dauer als gesundheitsnachteilig angesehen. Die Kohlensäurebestimmung ist ein bequemes Mittel zur Feststellung der Luftverunreinigung.

2. Ausführung der Versuche.

a) Bestimmung des Kohlensäuregehaltes der Raumluft.

Für die Bestimmung des Kohlensäuregehaltes der Raumluft wurde die Methode von Lunge und Zeckendorf¹⁾ modifiziert.

*) Kommission zum Studium für Errichtung von Normalien im Kleinwohnungsbau: Mitgl. die Herren Prof. v. Gonzenbach, Prof. Silberschmid, Ing. Lier, Stadtbaumeister Herter.

¹⁾ Lunge und Zeckendorf: Zeitschr. f. Angw. Ch. 1888, pag. 395.
Lunge-Berl., 7. Aufl., Bd. I, Seite 642.

Ich arbeitete wie Lunge mit einer N/10 mit Phenolphthalein gefärbten Sodalösung, die sehr haltbar war. Vor Gebrauch wurden 2 ccm zu 100 ccm destilliertem, frisch ausgekochtem und in einer gut verschlossenen Flasche aufbewahrttem Wasser zugesetzt. Davon wurden für jede Bestimmung 10 ccm verwendet.

Da der Kohlensäuregehalt der Raumluft ein sehr kleiner ist, ist die Methode von Lunge und Zeckendorf zeitraubend. Lunge gibt an, daß bei Raumluft mit 0,5 ‰ Kohlensäure zu einer einzigen Bestimmung 26 Minuten gebraucht würden. Ich suchte deshalb die absorbierende Fläche zu vergrößern, indem ich eine Gaswaschflasche neuesten Modells an Stelle der von Lunge verwendeten Pulverflasche benutzte. Statt des Gummiballons verwendete ich als Niveaugefäße 2 Klärflaschen, deren eine A ich, um die Tabelle von Lunge benutzen zu können, zu je 70 ccm graduierte. In Abb. 33 ist die Versuchsanordnung wiedergegeben.

In die Gaswaschflasche wurden zur Bestimmung die 10 ccm der Lösung zugegeben und rasch verschlossen. Durch Senken des Niveaugefäßes wurde bei beständigem Schütteln des Absorbionsgefäßes Luft in langsamem Strom durchgeleitet, bis die rote Farbe der Flüssigkeit in eine schwach gelbliche übergegangen war und die durchgesogene Luftmenge wurde an den Skalenteilen der graduierten Flasche abgelesen.

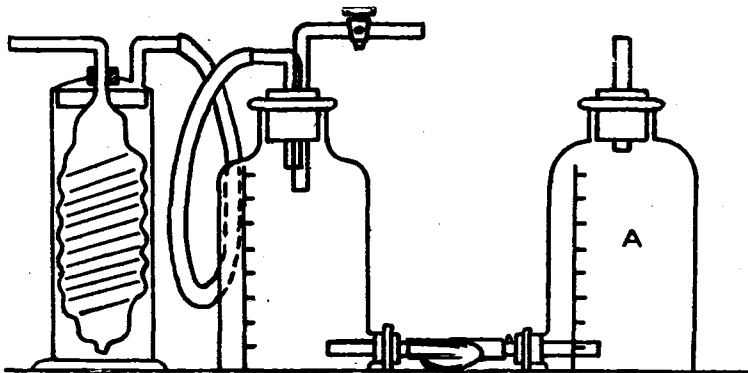


Abb. 33. Modifizierter Apparat zur Bestimmung des Kohlensäuregehaltes der Luft

Ich brauchte zur Bestimmung ca. 15 Teilstriche, was 5 bis 7 Minuten in Anspruch nahm. Die erhaltenen Resultate stimmten sehr gut miteinander überein. Es konnte immer das nämliche Füllwasser verwendet werden.

b) Nachprüfung der Methoden zur Bestimmung der Luftkohlensäure.

Die bei den Versuchen angewandte Kohlensäurebestimmungsmethode wurde im Laboratorium einer kritischen Prüfung unterworfen. Es wurden Luft-Kohlensäuregemische verschiedener Konzentration hergestellt und im Gasometer aufbewahrt und darin der Kohlensäuregehalt unmittelbar nacheinander nach Pettenkofer, nach Lunge und nach meiner Methode bestimmt. In Tabelle 20 sind die erhaltenen Werte eingetragen.

Tabelle 20. Luftkohlensäurebestimmungen nach verschiedenen Methoden.

Methode Pettenkofer	Methode Lunge	Methode Vetter
‰	‰	‰
3,47	3,9	3,50
1,84	2,50	1,99
0,96	1,15	1,05
0,413	0,42	0,418

Wie die Tabelle zeigt, nimmt meine Methode eine Mittelstellung zwischen der Annäherungsmethode von Lunge und der genauen von Pettenkofer ein.

Die Methode von Lunge ist bei größerem Kohlensäuregehalt, wo nur eine drei bis viermalige Füllung des Ballons nötig ist, nicht genau. Da man nie alle Luft aus dem Ballon herausdrücken kann, und da diese zurückbleibende Luft von Fall zu Fall verschieden ist, kann es sich hier nur um Annäherungswerte handeln. Auch kann eine halbe Ballonfüllung nicht berücksichtigt werden, was bei hohem Kohlensäuregehalt sehr viel ausmacht.

c) Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes der Raumluft.

Die Feuchtigkeit der Raumluft wurde mittels eines mehrmals mit Psychrometern verglichenen Lambrechtschen Polymeters bestimmt. Angaben über Polymeter findet man in jedem Lehrbuch für Physik. Ich verweise deshalb hier auf die einschlägigen Werke.

3. Beschreibung der ausgeführten Versuche.

a) Kohlensäure- und Feuchtigkeitsbestimmungen.

a) In den Schlafzimmern.

In den Schlafzimmern der 4 Häuser wurde am Abend um 6 Uhr die Feuchtigkeit, Temperatur und der Kohlensäuregehalt der Luft gemessen. Es wurde vorher gelüftet, nachher wurden die Fenster geschlossen behalten bis am Morgen nach der Bestimmung dieser 3 Größen.

Die Schlafzimmer besitzen die gleichen Abmessungen wie die darunter liegenden Wohnzimmer, die bei den üblichen Untersuchungen als Versuchsräume dienten. Sie besitzen auch 2 Doppelfenster nach Westen. Ueber dem Schlafzimmer befindet sich bei den Häusern Wibichstraße Nr. 5 und Nr. 11 je eine Winde, bei den Mittelhäusern Nr. 7 und Nr. 9 eine Schlafkammer. Anstoßend an die Schlafzimmer waren in allen 4 Häusern ein kleines Schlafzimmer und der Korridor (siehe Abb. 3). Es wurde in keinem Schlafzimmer geheizt. In der nachfolgenden Tabelle sind die erhaltenen Resultate wiedergegeben.

β) In den Küchen.

Die Abhängigkeit zwischen Kohlensäuregehalt der Küchenluft und Gasverbrauch wurde festgestellt. Daneben wurde der Wasserdampfgehalt der Luft bestimmt. Der H_2O -dampf der Küchen hängt in erster Linie von der Menge des verbrauchten Gases ab, dazu addiert sich der beim Kochen entwickelte Wasserdampf. Zu diesem Zwecke wurden die Feuchtigkeit, der Kohlensäuregehalt und die Temperatur vor und nach dem Kochen gemessen, und der genaue Stand der Gasuhr zu beiden Zeiten notiert. Man erhält so die Erhöhung des Kohlensäuregehaltes in Abhängigkeit vom Gasverbrauch.

Die Küchen in den 4 Häusern waren alle gleich groß, hatten als Mauern die unter Abb. 4 angegebenen und zeigten folgende Hauptabmessungen:

Länge	=	2,8 m
Breite	=	4,1 m
Höhe	=	2,4 m
Inhalt	=	27,6 m ³

Sie besitzen auf der Ostseite ein Doppelfenster. Als Kochvorrichtung dient ein dreilochiger Gasherd. Angrenzend an die Küche ist einerseits die Wohnstube, andererseits der Korridor, Darüber befindet sich ein kleines Schlafzimmer, und unterhalb die Waschküche.

Die Zahlenwerte sind in Tabelle 21 zusammengestellt.

Tabelle 21. Kohlensäure und Feuchtigkeitsmengen in Schlafzimmern.

	I	II	III	Mittel
	1. Versuchs- tag	2. Versuchs- tag	3. Versuchs- tag	
Haus Wibichstraße Nr. 5.				
Anzahl der Personen: 2 Erwachsene und 1 Kind.				
CO ₂ -Gehalt am Abend	‰	0,34		
" " Morgen	‰	0,69		
CO ₂ Zunahme	‰	0,35		
Feuchtigkeitsgehalt am Abend	‰	66		
" " Morgen	‰	65		
Feuchtigkeitszunahme	‰	—1		
Temperatur am Abend	° C	7		
" " Morgen	° C	7,7		
Temperaturzunahme	° C	0,7		
Haus Wibichstraße Nr. 7.				
Anzahl der Personen: 2 Erwachsene.				
CO ₂ -Gehalt am Abend	‰	0,38	0,49	0,58
" " Morgen	‰	0,58	0,51	0,46
CO ₂ Zunahme	‰	0,20*	0,02	0,06
Feuchtigkeitsgehalt am Abend	‰	57	46	46
" " Morgen	‰	56	65	55
Feuchtigkeitszunahme	‰	—1	19	9
Temperatur am Abend	° C	7,0	4,5	3,2
" " Morgen	° C	8,7	3,3	1,8
Temperaturzunahme	° C	1,7	—1,2	—1,4
Haus Wibichstraße Nr. 9.				
Anzahl der Personen: 2 Erwachsene.				
CO ₂ -Gehalt am Abend	‰	0,53	0,56	0,51
" " Morgen	‰	0,85	0,80	0,64
CO ₂ Zunahme	‰	0,32	0,24	0,13
Feuchtigkeitsgehalt am Abend	‰	45	46	56
" " Morgen	‰	50	51	61
Feuchtigkeitszunahme	‰	5	5	5
Temperatur am Abend	° C	4,7	5,7	7,0
" " Morgen	° C	6,8	7,1	8,2
Temperaturzunahme	° C	2,1	1,4	1,2
Haus Wibichstraße Nr. 11.				
Anzahl der Personen: 2 Erwachsene.				
CO ₂ -Gehalt am Abend	‰	0,58	0,50	0,54
" " Morgen	‰	0,80	0,64	0,72
CO ₂ Zunahme	‰	0,22	0,14	0,18
Feuchtigkeitsgehalt am Abend	‰	60	54	57
" " Morgen	‰	63	60	61,5
Feuchtigkeitszunahme	‰	3	6	4,5
Temperatur am Abend	° C	7,2	8,5	7,8
" " Morgen	° C	8,1	9,0	8,5
Temperaturzunahme	° C	0,9	0,5	0,7

* Es waren 3—4 Personen im Zimmer.

Tabelle 22. Kohlensäure und Feuchtigkeitsmengen in Gas-Küchen.

	I 1. Versuchs- tag	II 2. Versuchs- tag	III 3. Versuchs- tag	IV 4. Versuchs- tag	Mittel
Haus Wibichstraße Nr. 5.					
In diesem Hause wurden diese Messungen nicht durchgeführt.					
Haus Wibichstraße Nr. 7.					
CO ₂ -Gehalt vor dem Kochen	0,48	0,65	0,59		0,53
" nach " "	1,00	0,71	0,86		0,86
CO ₂ Zunahme	0,56	0,09	0,27		0,33
Gasverbrauch in l.	510	70	214		
CO ₂ Zunahme pro 100 l. Gas	0,12	0,13	0,17		0,14
Rel. Außenfeuchtigkeit 12 Uhr	72	87	83		
Rel. Feuchtigkeit vor dem Kochen	90	64	70		75
" " nach " "	98	93	82		91
Feuchtigkeitszunahme	8	29	15		16
Kochdauer	11 ⁴⁵ —12 ⁴⁰	10—11 ²⁵ **	10 ⁴⁵ —11 ³⁵		
Temperatur vor dem Kochen	10,0	5,0	10,0		8,3
" nach " "	14,5	10,7	16,9		13,7
Temperaturzunahme	4,5	5,7	5,9		5,4
Außentemperatur 12 Uhr	-8,0	-9,0	-11,0		
Haus Wibichstraße Nr. 9.					
CO ₂ -Gehalt vor dem Kochen	0,90	0,88	0,76		0,85
" nach " "	2,10	2,35	2,10		2,18
CO ₂ Zunahme	1,20	1,47	1,34		1,33
Gasverbrauch in l. *	1810	1910	1900		
CO ₂ Zunahme pro 100 l. Gas	0,069	0,076	0,070		0,072
Rel. Außenfeuchtigkeit 12 Uhr	74	72	99		
Rel. Feuchtigkeit vor dem Kochen	78	90	93		87
" " nach " "	92	93	93		92,7
Feuchtigkeitszunahme	14	3	0		5,7
Kochdauer	10 ¹⁰ —14	10 ³⁰ —12	10—12		
Temperatur vor dem Kochen	9,2	10,0	10,0		9,7
" nach " "	11,0	20,0	18,0		16,3
Temperaturzunahme	1,8	10,0	8,0		6,6
Außentemperatur 12 Uhr	-7,0	+3,2	+3,0		
Haus Wibichstraße Nr. 11.					
CO ₂ -Gehalt vor dem Kochen	0,86	0,88	0,79	0,87	0,85
" nach " "	1,95	1,35	1,15	2,50	1,74
CO ₂ Zunahme	1,09	0,47	0,36	1,63	0,89
Gasverbrauch in l.	620	160	195	334	
CO ₂ Zunahme pro 100 l. Gas	0,176	0,293	184	0,488	0,285
Rel. Außenfeuchtigkeit	97	100	87	87	
" Feuchtigkeit vor dem Kochen	76	70	70	71	72
" " nach " "	81	90	74	90	84
Feuchtigkeitszunahme	5	20	4	19	12
Kochdauer	10—11 ⁴⁵	11—12	10 ¹⁰ —14	10—11 ³⁵	
Temperatur vor dem Kochen	11,6	12,0	12,0	12,5	12,0
" nach " "	13,7	14,1	14,0	17,0	14,7
Temperaturzunahme	2,1	2,1	2,0	4,5	2,7
Außentemperatur 12 Uhr	+6,6	+2,8	+6,0	+5,2	

* Es kochten 2 Familien.

** Nur Kleinsteller gebraucht.

Tabelle 22 a.

	I	II	III	IV
Haus Wibichstraße Nr. 5.				
In Haus Wibichstraße 5 wurden keine Versuche gemacht.				
Haus Wibichstraße Nr. 7.				
Absolute Feuchtigkeit in den Küchen:	6. II.	7. II.	8. II.	
vor dem Kochen in gr	243,6	125,3	189,5	
nach " " " " " "	349,0	265,0	341,9	
Zunahme	105,4	139,7	152,4	
Vom Gas total gebildete Wassermenge in gr	510	70	214	
Haus Wibichstraße Nr. 9.				
Absolute Feuchtigkeit in den Küchen:	9. II.	14. II.	15. II.	
vor dem Kochen in gr	198,5	243,6	251,8	
nach " " " " " "	265,0	460,7	404,5	
Zunahme	66,5	217,1	152,7	
Vom Gas total gebildete Wassermenge in gr	1810	1910	1900	
Haus Wibichstraße Nr. 11.				
Absolute Feuchtigkeit in den Küchen:	20. II.	21. II.	22. II.	23. II.
vor dem Kochen in gr	226,9	213,7	213,7	216,8
nach " " " " " "	273,0	312,1	255,7	375,8
Zunahme	46,1	98,4	42,0	159,0
Vom Gas total gebildete Wassermenge in gr	620	160	195	334

γ) In den Wohnzimmern.

In den Wohnzimmern, die als Versuchsräume bei den vorigen Untersuchungen dienten, wurden die gleichen Messungen wie in den Schlafzimmern durchgeführt, und zwar um 9 Uhr, um 13³⁰ Uhr und 17⁰⁰ Uhr. Die erhaltenen Resultate sind in Tabelle 23 zusammengestellt.

Tabelle 23. Kohlensäure und Feuchtigkeitsmengen in Wohnzimmern.

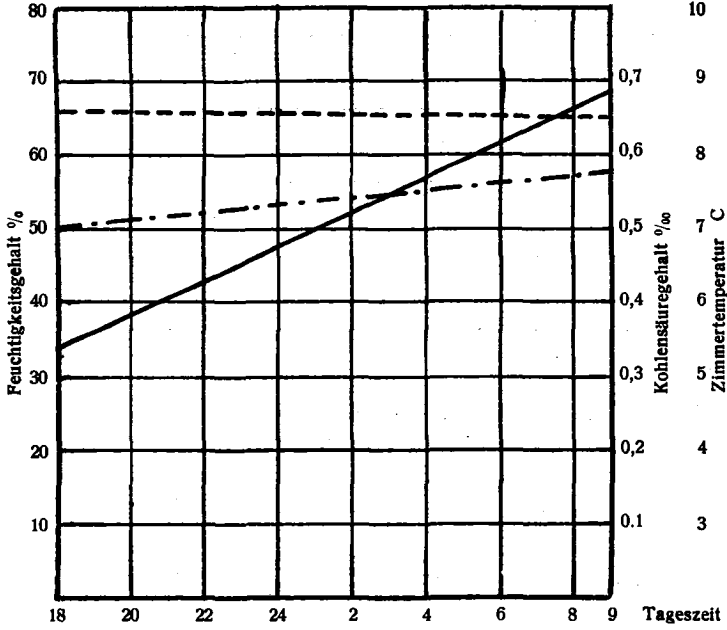
	I	II	III	IV	Mittel
	1. Versuchs- tag	2. Versuchs- tag	3. Versuchs- tag	4. Versuchs- tag	
Haus Wibichstraße Nr. 5.					
Anzahl der Personen: 2 Erwachsene, zeitweise 3 Erwachsene und 2 Kinder.					
CO ₂ -Gehalt am Morgen	‰	0,55			
„ „ Mittag	‰	0,80			
„ „ Abend	‰	1,55			
CO ₂ Zunahme	‰	1,00			
CO ₂ Zunahme pro Person	‰	0,25			
Feuchtigkeit am Morgen	‰	94			
„ „ Mittag	‰	80			
„ „ Abend	‰	79			
Feuchtigkeitszunahme	‰	-15			
Temperatur am Morgen	°C	14			
„ „ Mittag	°C	21,5			
„ „ Abend	°C	20,5			
Temperaturzunahme	°C	6,5			
Haus Wibichstraße Nr. 7.					
Anzahl der Personen: 1 Erwachsene.					
CO ₂ -Gehalt am Morgen	‰	0,54	0,48	0,58	0,53
„ „ Mittag	‰	0,62	0,62	—	0,62
„ „ Abend	‰	0,64	0,90	0,66	0,73
CO ₂ Zunahme	‰	0,10	0,42	0,08	0,20
Mittl. CO ₂ Zunahme pro Person	‰	0,20			
Feuchtigkeit am Morgen	‰	55	44	45	48
„ „ Mittag	‰	59	46	—	—
„ „ Abend	‰	60	50	43	51
Feuchtigkeitszunahme	‰	5	6	-2	3
Temperatur am Morgen	°C	14,1	12,8	5,0	10,6
„ „ Mittag	°C	19,7	16,0	—	—
„ „ Abend	°C	21,0	20,0	18,0	19,6
Temperaturzunahme	°C	6,9	7,2	13,0	9,0
Haus Wibichstraße Nr. 9.					
Anzahl der Personen: 2 Erwachsene.					
CO ₂ -Gehalt am Morgen	‰	0,68	0,83	0,66	0,72
„ „ Mittag	‰	—	0,87	—	—
„ „ Abend	‰	0,90	1,55	0,80	1,08
CO ₂ Zunahme	‰	0,22	0,72	0,14	0,36
Mittl. CO ₂ Zunahme pro Person	‰	0,18			
Feuchtigkeit am Morgen	‰	44	46	47	45,7
„ „ Mittag	‰	—	45	—	—
„ „ Abend	‰	47	45	46	46
Feuchtigkeitszunahme	‰	3	-1	-1	0,3
Temperatur am Morgen	°C	9,8	12,8	9,5	10,7
„ „ Mittag	°C	—	14	—	—
„ „ Abend	°C	15,7	17,0	16,7	16,5
Temperaturzunahme	°C	5,4	4,2	7,2	5,8
Haus Wibichstraße Nr. 11.					
CO ₂ -Gehalt am Morgen	‰	0,74	0,74	0,66	0,73
„ „ Mittag	‰	0,75	—	0,83	—
„ „ Abend	‰	0,87	1,15	0,86	0,94
CO ₂ Zunahme	‰	0,13	0,41	0,20	0,21
Mittl. CO ₂ Zunahme pro Person	‰	0,21			
Feuchtigkeit am Morgen	‰	54	60	60	58
„ „ Mittag	‰	58	—	64	—
„ „ Abend	‰	63	65	60	61
Feuchtigkeitszunahme	‰	9	5	0	3
Temperatur am Morgen	°C	13,0	15,0	14,5	14,1
„ „ Mittag	°C	18,5	—	17,4	—
„ „ Abend	°C	20,6	20,1	20,2	20,9
Temperaturzunahme	°C	7,6	5,1	5,7	6,8

4. Zusammenfassung.

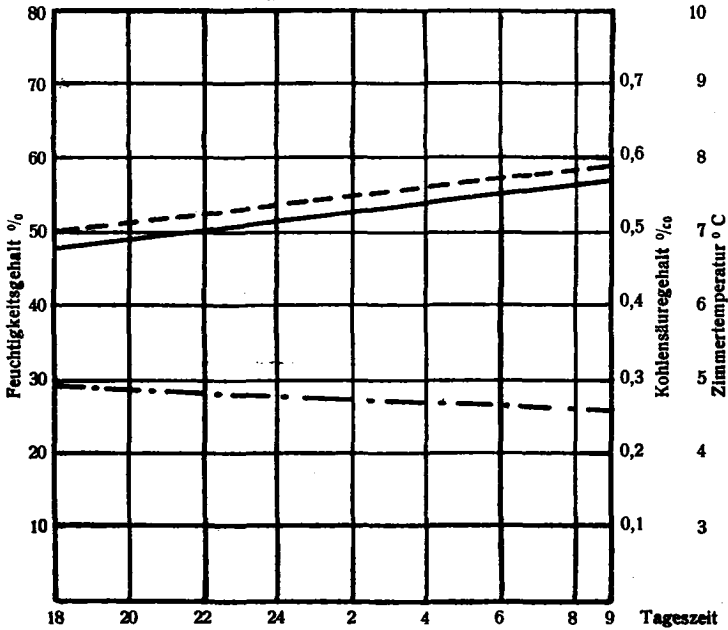
1. In allen Schlafzimmern blieb der Kohlensäuregehalt während der Nacht unter der hygienisch zulässigen Grenze. Ziemlich hoch ist der Feuchtigkeitsgehalt, doch überstieg derselbe nur in Haus Wibichstraße Nr. 5 und nur wenig die obere Grenze. (60 % relative Feuchtigkeit).

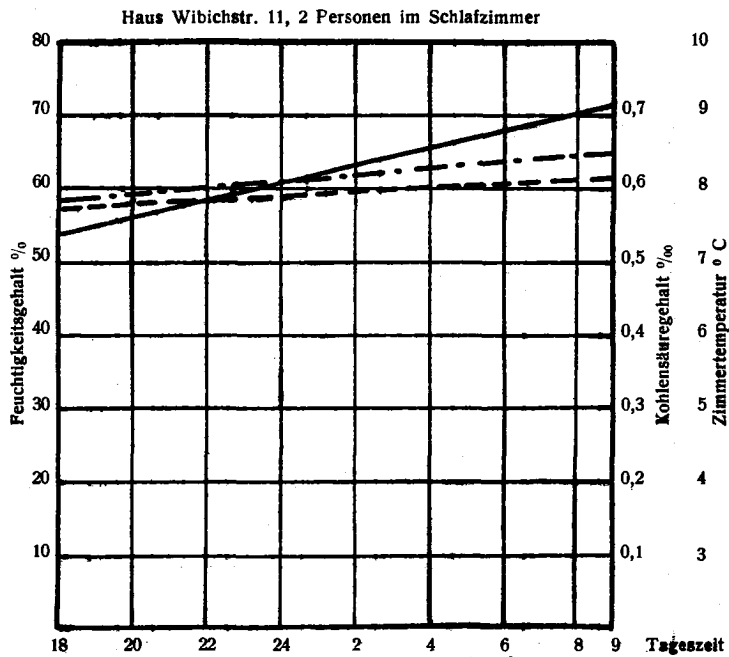
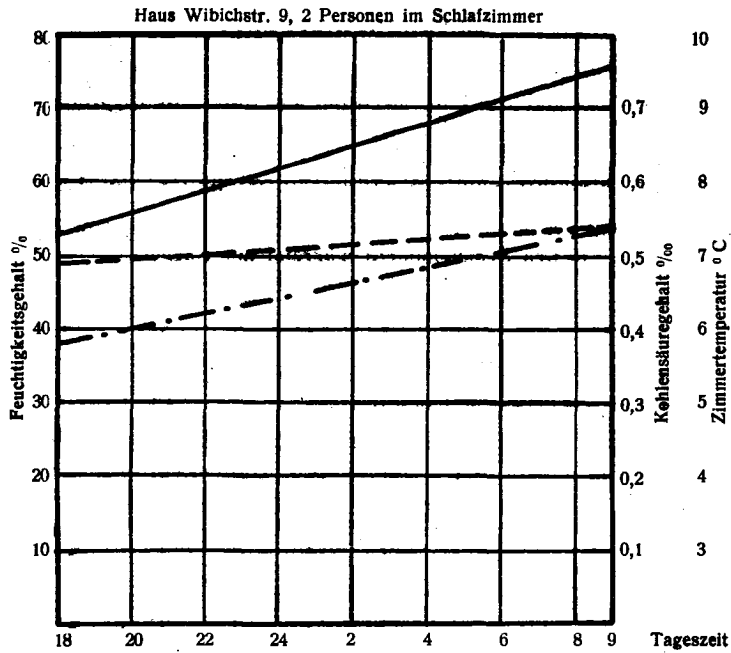
In Abb. 34 ist die Abhängigkeit des Kohlensäuregehaltes, der Feuchtigkeit und der

Abb. 34 a—c. Veränderung des Kohlensäure- und Wasserdampfgehaltes, sowie der Temperatur in den Schlafzimmern während der Nacht
Haus Wibichstr. 5, 3 Personen im Schlafzimmer



Haus Wibichstr. 7, 2 Personen im Schlafzimmer





Legende: — — — Feuchtigkeitsgehalt
 — — — Kohlensäuregehalt
 - · - · - Temperatur

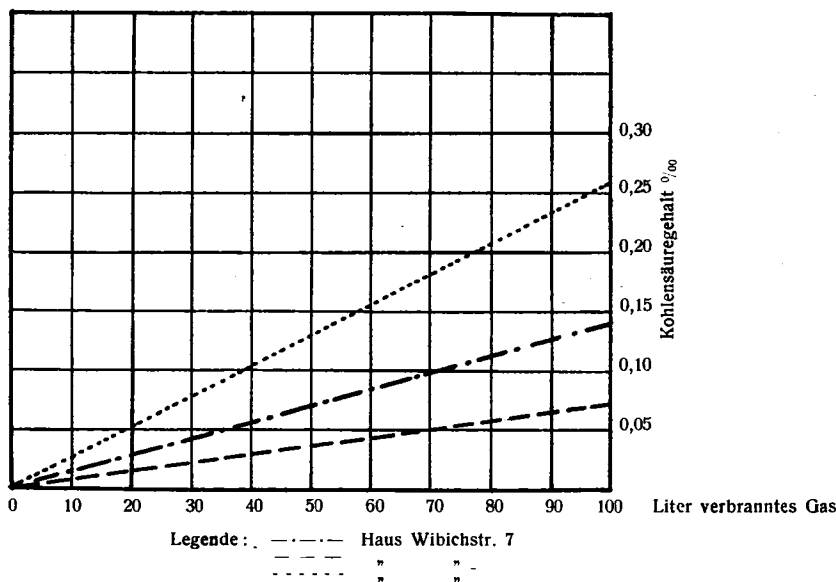
Temperatur von der Zeit graphisch dargestellt. In Haus Wibichstraße Nr. 5 ist die Kohlensäurekurve am steilsten, was zum Teil auf die größte Bewohnerzahl zurückzuführen ist. In den andern Häusern sind diese Kurven ungefähr gleich steil, da je gleich viel Personen in den Zimmern schliefen.

2. In den Küchen übersteigt der Kohlensäuregehalt die hygienisch zulässige Grenze nur während kurzer Zeit. Die Feuchtigkeitsbestimmungen in der Küchenluft dagegen zeigten, daß die relative Feuchtigkeit während des Kochens stark ansteigt und daß sich ferner Wasser aus der Luft niedergeschlagen haben muß, denn die absolute Zunahme der Küchenluft an Wasserdampfgehalt ist geringer, als die Wasserdampfzufuhr durch das Verbrennen des Gases, wie aus Tabelle 22a klar hervorgeht.

Ich habe bei den Berechnungen angenommen, daß sich pro Liter verbrauchtes Gas ein Gramm Verbrennungswasser bildet. Diese Annahme trifft bei den wasserstoffreichen Heizgasen, die heute zur Anwendung kommen, durchaus zu. Das während des Kochens in den Pfannen verdampfte Wasser wurde bei diesen Berechnungen nicht einmal berücksichtigt. Wenn in den Küchen, wie es im Winter oft vorkommt, niedrige Temperaturen herrschen, so muß sich durch das Verbrennen größerer Gasmengen Wasserdampf abscheiden. Die Küchen erscheinen feucht. Es wäre deshalb empfehlenswert, über den Kochherden brauchbare Dampfabzüge anzubringen.

In Abb. 35 ist die Kohlensäuregehaltszunahme der Luft beim Verbrennen von 100 l Gas graphisch dargestellt. Es sollte sich bei jedem Haus ungefähr gleich viel Kohlensäure

Abb. 35. Beziehung zwischen dem Kohlensäuregehalt der Luft und der verbrannten Gasmenge



entwickeln, da Türen und Fenster während der ganzen Kochzeit geschlossen gehalten wurden. Es war aber nicht so. Es zeigten sich größere Unterschiede in den einzelnen Häusern, was vielleicht auf die Wandkonstruktion zurückgeführt werden kann, da alle Küchen gleich gebaut und verputzt waren. Da das Haus, bei dem sich am wenigsten Kohlensäure nachweisen ließ, naturgemäß den größten Gasdurchgang besitzt, so reihen sich, nach Abb. 35, die Häuser nach der Größe des Gasdurchgangs wie folgt ein:

Haus	% CO ₂ /100 l Gas
1. Haus Wibichstraße Nr. 9	0,072
2. Haus Wibichstraße Nr. 7	0,133
3. Haus Wibichstraße Nr. 11	0,259

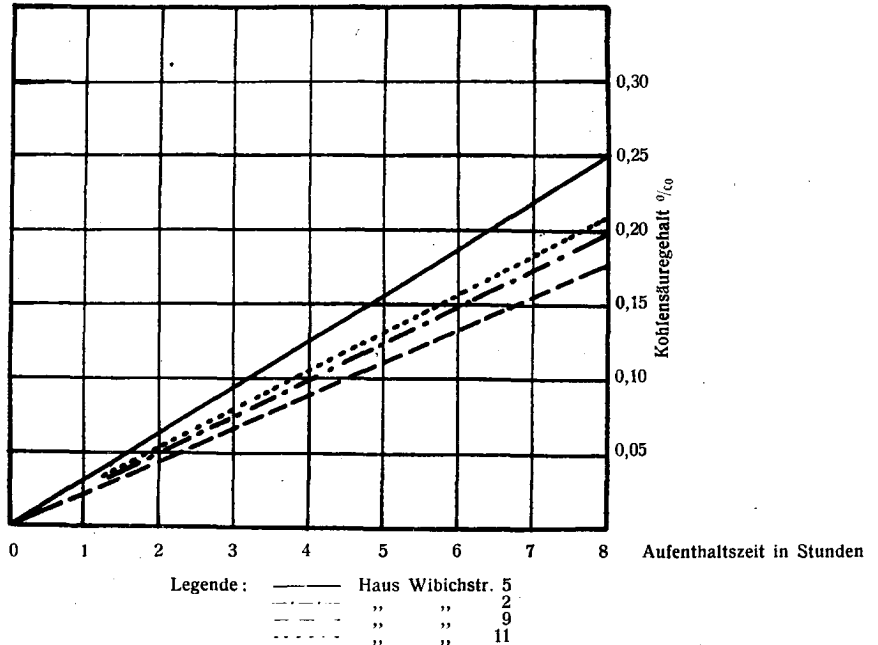
Es zeigte sich hier die gleiche Reihenfolge wie bei der Wärmedurchgangszahl, wo auch Haus Wibichstraße Nr. 9 am besten abschneidet.

3. In den Wohnzimmern war der Feuchtigkeitsgehalt in den Häusern Wibichstraße Nr. 7 und Nr. 9 und Nr. 11 unter der hygienisch unzulässigen Grenze. Etwas hoch war

derselbe in Haus Nr. 5, das nach Aussagen der Bewohner bei naßwarmem Wetter feuchtet. Der Kohlensäuregehalt war außer Haus Wibichstraße Nr. 5, wo über Mittag sehr viel Leute im Zimmer waren, normal, sodaß in dieser Beziehung die Wohnungen als absolut hygienisch angesprochen werden dürfen.

In Abb. 36 sind die erhaltenen Zahlenwerte graphisch aufgetragen. Um vergleichbare Resultate zu erhalten, wurden die erhaltenen Kohlensäurewerte auf eine Person in

Abb. 36. Zunahme des Kohlensäuregehaltes in den verschiedenen Wohnzimmern bezogen je auf eine Person



Abhängigkeit von der Zeit aufgetragen. Auch hier sollten sich ungefähr die gleichen Größen ergeben, da die Kohlensäureentwicklung des Menschen nicht große Unterschiede bedingen kann. Es zeigt sich aber, daß in Haus Wibichstraße Nr. 9 der Kohlensäuregehalt stets viel kleiner war, als in den andern Häusern. Es war dies also auch hier durch die Mauerkonstruktion bedingt. Ich bestimmte nun, wie ich es bei den Küchen getan habe, die Reihenfolge der Häuser nach der Größe des Gasdurchgangs:

	$\%_{00} \text{CO}_2/\text{Person in 8 Std.}$
1. Haus Wibichstraße Nr. 9	0,18
2. Haus Wibichstraße Nr. 7	0,20
3. Haus Wibichstraße Nr. 11	0,21
4. Haus Wibichstraße Nr. 5	0,25

Es zeigte sich also auch hier wieder die gleiche Reihenfolge wie die bei den Küchen und beim Wärmedurchgang erhaltene. Es steht also Haus Wibichstraße Nr. 9 in hygienischer wie in wärmeökonomischer Beziehung von den 4 untersuchten Haustypen an erster Stelle.

Zusammenfassung.

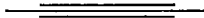
Die von der Stadt Zürich in den Jahren 1919/20 an der Wibichstrasse in Zürich 6 erstellte Kolonie von 4 Kleinwohnhäusern mit verschiedenen Mauerkonstruktionen bot ein sehr zweckmäßiges Objekt für die Vornahme von vergleichenden heiztechnischen und hygienischen Untersuchungen. Es wurden deshalb:

- A. Die aufgestellten Kachelöfen in feuerungs- und heiztechnischer Hinsicht geprüft.
- B. Der Einfluß der Wandkonstruktion und der Heizung auf die Wärmeökonomie der 4 Kleinhäuser ermittelt.
- C. Die Luft der Wohnräume, Schlafzimmer und Küchen auf Kohlensäure und Wasserdampfgehalt untersucht, um die Abhängigkeit des Kohlensäuregehaltes von der Bewohnerzahl einerseits und vom Gasverbrauch in den Küchen und der Mauerkonstruktion andererseits festzustellen.

Die bei diesen Untersuchungen erhaltenen hauptsächlichsten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Der feuerungstechnische Wirkungsgrad der 3 untersuchten Ofentypen wird durch die Konstruktion beeinflusst. Besitzen die Öfen ungenügende Rauchgasführung und zu geringe Masse, so erniedrigt sich der feuerungstechnische Wirkungsgrad um ca. 10%, er sinkt von 85—90% auf 75—80% herunter, und die typischen Eigenschaften des Kachelofens, nämlich die Wärmespeicherung- und Abgabe nach Erlöschen des Feuers gehen verloren. Stärker wird der feuerungstechnische Nutzeffekt der Öfen durch den Erhaltungszustand und die Heizungsweise beeinflusst. Bei ungenügendem Unterhalt und unzuweckmäßiger Heizung kann der Wirkungsgrad auf 50% heruntersinken.
2. Die zur Aufstellung der Wärmebilanz verwendeten Formeln und Berechnungsarten wurden diskutiert und gezeigt, daß die einfachen Rechenverfahren für Kachelöfen für gewöhnlich genügen, da in den Rauchgasen wenig unverbrannte Gase enthalten sind und die Abgastemperatur gering ist.
3. Die an den Kachelöfen vorgenommenen Temperaturmessungen zeigen, daß die Oberflächentemperatur sehr stark von der Rauchgasführung beeinflusst wird. An den untersuchten Kachelöfen traten selten zu hohe, und deshalb hygienisch unzulässige Temperaturen auf.
4. Aus systematisch vorgenommenen Temperaturmessungen in den Versuchsräumen ergab sich, daß das von Brabbé angewendete Verfahren, zur Aufstellung der Raumtemperaturkurven nur die in der Mitte des Zimmers gemessene Temperatur zu verwenden, zweckmäßig ist.
5. Die in den 4 verschiedenen Mauerkonstruktionen aufgenommenen Temperaturabfallkurven zeigten, daß die Mauern sich hinsichtlich der Wärmespeicherung verschieden verhalten. Die Temperaturdifferenz zwischen innerer und äußerer Maueroberfläche stand im Zusammenhang mit der Wärmeleitfähigkeit k .
6. Die in den 4 Versuchsräumen experimentell ermittelten Wärmeverluste stimmen weder mit den für die Mauern berechneten Wärmeleitfähigkeiten, noch mit den berechneten, stündlichen Wärmeverlusten überein. Es wurde gezeigt, daß die Wärmespeicherung einen maßgebenden Einfluß auf den Temperaturverlauf in den Versuchsräumen nach Abstellung der Heizung ausübt. In dieser Hinsicht stimmen die von mir erhaltenen Resultate mit den von Korff-Petersen und W. Liese in der Zeitschrift für Hygiene und Infektionskrankheiten Band 93 (1921) veröffentlichten und zum Vergleich herangezogenen Untersuchungen, überein.

7. Es wurde gefunden, daß die Krell'sche Abkühlungszahl für die 4 untersuchten Mauerkonstruktionen im Zusammenhang mit den gefundenen Wärmeverlusten steht. Allerdings können die Krell'schen Werte nicht als ein direktes zahlenmäßiges Maß zur Feststellung der Wärmeverluste angesprochen werden.
8. Die in den Wohnräumen und Schlafzimmern der 4 Kleinhäuser vorgenommenen Kohlensäure- und Wasserdampfbestimmungen haben gezeigt, daß die hygienisch zulässigen Werte nicht überschritten werden, in den Küchen dagegen infolge Uebersättigung Wasserdampfausscheidung eintreten kann, wenn nicht gut wirkende Dampf-abzüge vorhanden sind. Es empfiehlt sich deshalb, solche auch in Kleinküchen anzubringen. Die Kohlensäuregehalte der Luft standen in direktem Zusammenhange mit der Zahl der Bewohner einerseits und dem Gasverbrauch anderseits. Die in den verschiedenen Häusern unter gleichen Bedingungen gefundenen wechselnden Kohlensäuregehalte sind auf die Mauerkonstruktion zurückzuführen.



Lebenslauf.

Ich, O. Vetter, wurde am 24. November 1898, als Sohn des Joseph Vetter, Professor an der Kunstgewerbeschule, und der Sophie geb. Linsmayer in Luzern geboren. Ich besuchte die dortigen Primar- und Realschulen und legte im Jahre 1917 die Maturitätsprüfung ab. Im gleichen Jahre noch bezog ich die chemisch-technische Abteilung der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich, wo ich 1921 das Diplom eines Ingenieur-Chemikers erhielt. Im Herbst dieses Jahres trat ich als wissenschaftlicher Mitarbeiter in die Eidgenössische Prüfungsanstalt für Brennstoffe ein und führte unter Leitung des Direktors, Dr. P. Schläpfer, vorliegende Promotionsarbeit aus.

