

# AGF

BERICHTE

ARBEITSGEMEINSCHAFT FEUERSCHUTZ

Kritische Beurteilung der Verfahren zur Untersuchung  
der Selbstentzündungsneigung, einschließlich der Unter-  
suchung über die trockene Destillation von Holz

- Kurzfassung -

8

ARBEITSGEMEINSCHAFT DER LANDESDIENSTSTELLEN  
FÜR FEUERSCHUTZ IN DEN BUNDESLÄNDERN (AGF)

ARBEITSGEMEINSCHAFT FEUERSCHUTZ

AGF

Forschungsbericht Nr.8

Kritische Beurteilung der Verfahren zur Untersuchung der Selbst-  
entzündungsneigung, einschließlich der Untersuchung über die  
trockene Destillation von Holz

von

Dr.-Ing. G.Magnus und  
Dipl.-Ing. H.G.Werthenbach

Forschungsstelle für Brandschutztechnik  
an der Technischen Hochschule Karlsruhe

69 Seiten mit 25 Bildern, 6 Tabellen und 41 Literaturstellen

Auszugsweise Wiedergabe von Dr.-Ing. P.G.Seeger

Forschungsstelle für Brandschutztechnik

an der Universität Karlsruhe (TH)

Karlsruhe

April 1966

## EINLEITUNG

In vielen Brandfällen, bei denen die Brandursache nachträglich nicht mehr einwandfrei aufgeklärt werden kann, nimmt man sehr oft an, ohne es nachweisen zu können, daß es sich um eine Selbstentzündung gehandelt hat. Dies ließe sich ändern, wenn die Selbstentzündung unter den Umständen der Brandentstehung nachgewiesen werden könnte. Es wird später noch gezeigt werden, daß Brände durch Selbstentzündung bei derart niedrigen Temperaturen entstanden sind, bei denen man es anhand der bisher bekannten Werte nicht vermutet hätte. Viele zur Selbstentzündung neigende Stoffe müssen bei einer höheren Temperatur als die der Umgebung eingesetzt werden. Das dabei auftretende Risiko einer Selbstentzündung sollte sich vorher in einem Versuch ermitteln lassen.

## FORDERUNGEN AN EINE SICHERHEITSTECHNISCHE KENNZAHLE ÜBER DIE SELBSTENTZÜNDUNGSNEIGUNG

Vergleicht man die in der Literatur beschriebenen Brandfälle mit dem Ziel, sie unter gewissen Gesichtspunkten zu ordnen, so erkennt man erst recht die verwirrende Vielfalt der möglichen Einflußgrößen auf die Selbstentzündung von Holz.

Holz kann feucht oder getrocknet, massiv als Brett oder Balken, feinzerteilt als Sägemehl oder Hobelspäne vorliegen. Die in jedem Falle abweichende Anwendungsart kann einen mehr oder weniger großen Wärmestau hervorrufen und die Luftzufuhr beeinflussen. Beides wirkt auf die Selbstentzündungsneigung. Weiter spielt die Dauer und Höhe der Erwärmung eine Rolle.

Alle diese Gesichtspunkte ließen sich, wenn auch mit entsprechendem Aufwand, bei der Gestaltung einer für den jeweiligen Fall geltenden Kennziffer berücksichtigen. Die wirkliche Schwierigkeit besteht jedoch darin, daß diese Einflußgrößen in der Praxis meist nicht bekannt sind. Sicher festzustellen ist nur, ob das Holz im massiven oder zerkleinerten Zustand vorliegt. Allerdings können auch hier Bedenken laut werden, da der Brand

an einer kleinen, zufällig durch mechanische Einwirkung entstandenen zerfaserten Stelle eines sonst massiven Holzkörpers entstanden sein kann. Über Holzfeuchte, Luftfeuchtigkeit, Wärmeisolierung sowie mögliche Umgebungstemperatur wird man im allgemeinen Falle nichts aussagen können.

Zweifellos läßt sich aber eine Anordnung finden, die die größtmögliche Selbstentzündungsneigung des Holzes charakterisiert. Kann diese Anordnung durch eine Kennzahl ausgedrückt werden, so ist sie die niedrigste für die gewählte Holzart. Wird die Kennzahl unterschritten, findet in keinem Fall eine Selbstentzündung statt. Beim Überschreiten ist die Differenz ein Maß für das eingegangene Risiko.

#### ERKLÄRUNG DER BEGRIFFE ENTZÜNDUNG, SELBSTERHITZUNG, SELBSTERHITZUNGSTEMPERATUR, SELBSTENTZÜNDUNG, SELBSTENTZÜNDUNGSTEMPERATUR

Der Aufbau des Holzes aus organischen Grundstoffen läßt es gegen eine Temperaturerhöhung relativ empfindlich werden. So finden bei entsprechender Erwärmung exotherme Reaktionen im Holze statt. Erhöht sich durch Wärmestau die Holztemperatur, so wird die Reaktionsgeschwindigkeit weiter gesteigert. Die Holztemperatur kann dabei eine Höhe erreichen, bei der die Verbrennung des Holzes beginnt.

Da die diesen Vorgang beschreibenden Begriffe in der Literatur nicht immer einwandfrei getrennt sind, sollen hier die im inzwischen zurückgezogenen Entwurf zu DIN 14011 [1] angegebenen Definitionen angeführt werden.

#### Entzündung

"Beginn der Verbrennung"

#### Selbsterhitzung

"Erhitzung eines Stoffes ohne Wärmezufuhr von außen"

#### Selbsterhitzungstemperatur

"Die Temperatur, die ein fester oder flüssiger Stoff besitzen

muß, um - in einem Apparat vereinbarter Bauart - ohne Wärmezufuhr eine Selbsterhitzung zu bewirken".

#### Selbstentzündung

"Entzündung eines Stoffes ohne Wärmezufuhr von außen"

#### Selbstentzündungstemperatur

"Die Temperatur, die ein fester oder flüssiger Stoff besitzen muß, um - in einem Apparat vereinbarter Bauart - ohne Wärmezufuhr eine Selbsterhitzung, die zur Entzündung führt, zu bewirken".

### VORGÄNGE IM HOLZ BEI DER ERWÄRMUNG

Wird Holz in normaler Atmosphäre bei Luftmangel oder unter Luftabschluß erhitzt, so kommt es zum Ablauf chemischer Prozesse, die durch das Ineinandergreifen von primären und sekundären Reaktionen sehr unübersichtlich sind. Der Chemismus der trockenen Destillation von Holz (Pyrolyse) ist bis heute noch nicht völlig geklärt, ebensowenig wie die Vorgänge bei der Erwärmung von Holz in Luft. Die thermische Zersetzung von Holz ist mit der Abspaltung flüchtiger Substanzen verbunden. Der Gewichtsverlust kann daher als Maß für den Fortgang der Zersetzung angesehen werden. Der thermische Abbau des Holzes verläuft bei niedrigen Temperaturen sehr langsam. Hierbei spielt die Zeit eine große Rolle. Aus diesem Grund und weil die sich bei langsamer Zersetzung nur in Spuren bildenden Zersetzungsprodukte schlecht nachgewiesen werden können, sind diese Vorgänge kaum untersucht worden.

In der freien Atmosphäre stellen sich exotherme Vorgänge in Holz bei niedrigeren Temperaturen ein als bei der Pyrolyse unter Luftabschluß. Im Schrifttum bestehen hinsichtlich der Angaben, ab welcher Grenztemperatur die Reaktionen der Pyrolyse und Oxydation deutlich sichtbar verlaufen, erhebliche Widersprüche.

Roberts und Clough [2] zeigten durch Versuche, daß es sich bei

der thermischen Zersetzung von Holz nicht nur um eine Gesamtreaktion 1. Grades, die mit einer bestimmten Reaktionswärme verbunden ist, handelt. Sie experimentierten mit Holzzyllindern unter kontrollierten Wärmebedingungen in einer Stickstoffatmosphäre. Die Proben wurden fortlaufend gewogen und die Temperaturen an mehreren Punkten gemessen.

Die Versuchsergebnisse wurden zur Überprüfung verschiedener Berechnungsansätze über die Gesamtkinetik der Reaktion und der Reaktionswärme herangezogen.

Differenzen in der Gesamtreaktionswärme können entstehen, wenn die erste Reaktion dazu nur einen geringen Beitrag liefert und der Hauptteil der freiwerdenden Wärme aus der an zweiter Stelle ablaufenden Zersetzung flüchtiger Substanzen kommt. Die gesamt freiwerdende Energie ist dann von der Verweilzeit der freigesetzten flüchtigen Stoffe in der Probe abhängig. Milde Erhitzungsbedingungen dehnen die Zeit für die zweite Reaktion aus, was zu höheren Reaktionswärmen führt. Es wurde geäußert, daß für die Lage dieser Punkte das Verhältnis der Oberfläche und des Volumens des erhitzten Holzes zur Masse des Wärmespenders und zum Volumen der zum Wärmeaustausch zur Verfügung stehenden Gasmenge um das Holz wichtige äußere Einflußgrößen sind.

Eine weitere Analyse der exothermen Vorgänge im Holz stammt von Heinrich und Kaesche-Krischer [4]. Sie untersuchten anhand von Gewichtsverlust-Temperatur-Kurven die thermische Zersetzung des Holzes und erfaßten die dabei auftretenden thermischen Effekte in getrennten Versuchen mit der Differentialthermoanalyse.

Wesentlichstes Ergebnis der Versuche war, immer auf eine Temperaturanstiegsgeschwindigkeit von  $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$  bezogen, daß Proben aus Buchen-, Fichten- und Kiefernholz in einer Inertgasatmosphäre unterhalb einer Temperatur von  $260^{\circ}\text{C}$  keine exothermen Reaktionen zeigten. In Gegenwart von Luft wurde dagegen schon in der Nähe einer Temperatur von  $200^{\circ}\text{C}$  eine exotherme Reaktion beobachtet. Als Folgerung aus diesen Erkenntnissen entwickelten die Autoren das sogenannte Warmlagerungsverfahren.

Akita [5] versuchte, die Einflüsse auf die Zersetzungsgeschwindigkeit von Holz in eine Gleichung zu fassen. Dazu wurde die isotherme Zersetzungsgeschwindigkeit von Holz im Temperaturbereich zwischen  $150^{\circ}\text{C}$  und  $400^{\circ}\text{C}$  untersucht. Unterhalb  $200^{\circ}$  war die Zersetzung langsam, oberhalb  $270^{\circ}\text{C}$  schnell. Die Zersetzungsgeschwindigkeit der Probe bei hoher Temperatur in normaler Atmosphäre wurde durch die Gewichtsabnahme der Probe bestimmt. Es zeigte sich, daß dichtere Hölzer größere Zersetzungsgeschwindigkeiten hatten, wobei die Zersetzungsgeschwindigkeit für das verwendete jap. Zypressenholz unabhängig von Proben- dicke, Holzfeuchtigkeit, Harzgehalt und Faserverlauf war. Die Zersetzung selbst war dagegen bei nassem Holz wesentlich stärker als bei trockenem Holz.

Die entstandenen Zersetzungsprodukte setzten sich aus etwa 35 % Teer und organische Dämpfe, 40 % Holzkohle und 25 % Wasser zusammen. In den organischen Dämpfen wurden Kohlenwasserstoffe, Ketone, Aldehyde und Alkohole, aber kein Kohlendioxid und kein Wasserstoff festgestellt. Das Gewicht des zurückbleibenden festen Rückstandes nahm mit zunehmender Temperatur bis etwa  $400^{\circ}\text{C}$  stark ab.

Es wurde festgestellt, daß sich der Zersetzungsmechanismus nicht mit dem Druck ändert. Allerdings war bei gleicher Temperatur die Zersetzungsgeschwindigkeit bei einem Druck von 1 atm wesentlich größer als bei einem Druck von nur 2 Torr. Hierfür wurde folgende Erklärung gegeben: Die tatsächliche Oberflächentemperatur der Holzprobe ist bei größerem Druck höher als bei geringerem Druck, was auf eine schnellere Oxydation der ausgetriebenen Dämpfe und des Kohlenstoffes zurückzuführen ist.

Bei Temperaturen unter  $200^{\circ}\text{C}$  ist die erzeugte Wärme durch die langsame Zersetzung des Holzes sehr gering. Zur Bestimmung wurde daher eine indirekte Messung angewandt, der die Wärmeleitung zugrunde lag.

Hat sich die Zersetzung weit genug entwickelt, so kommt es zur Verbrennung des Holzes. Es wurde beobachtet, daß die Entzün-

dung auf der freien Oberfläche in den gasförmigen Produkten der thermischen Zersetzung beginnt [6]. Die Flamme schlägt anschließend auf die feste Oberfläche zurück. Die Entzündung der Gase trat spontan ein, wenn die Oberflächentemperatur  $500^{\circ}\text{C}$  erreichte. In dieser Größenordnung liegen bekanntlich die Entzündungstemperaturen der ausgetriebenen Gase. Spontane Entzündung konnte auch durch eine zusätzliche Zündquelle verursacht werden, wenn die Oberflächentemperatur der Probe  $280^{\circ}\text{C}$  und darüber betrug. Das ist die Temperatur des früher gebräuchlichen Brennpunktes. Sie beträgt nach [7]  $260^{\circ}\text{C}$  bis  $290^{\circ}\text{C}$ . Waren die Gase auf der Oberfläche der Probe verbrannt, so hörte die Verbrennung auf. Sie begann erst wieder, wenn die Umgebungstemperatur der Probe erhöht wurde. Es bildeten sich dann entweder Gase aus einer tieferen Schicht der festen Probe, oder aber in der wenig reaktionsfreudigen Holzkohlenschicht der Probenoberfläche wurden weitere Reaktionen ausgelöst.

Diese isolierende Wirkung der äußeren Holzkohlenschicht ist bei Bränden von großer Bedeutung, da dadurch das Holzinnere verhältnismäßig lange dem Angriff des Feuers widerstehen kann.

Die in einem Material auftretende Selbsterhitzung kann verschiedene Ursachen haben und die wesentlichsten sollen hier kurz angeführt werden.

#### 1. Selbsterhitzung durch Sorptionswärme

Es wurde festgestellt, daß man zu den exothermen Reaktionen des Holzes auch die Wärmeentwicklung rechnen muß, die durch die Wasseraufnahme des Holzes auftritt [3].

#### 2. Selbsterhitzung durch Adsorption von Sauerstoff auf der Oberfläche reaktionsfähiger Stoffe

Die Adsorption von Sauerstoff ist besonders dann wirksam, wenn ein inertes Gas desorbiert wird und an Stelle dieses Schutzgases der aktive Sauerstoff von der Stoffoberfläche gebunden wird.



### 3. Biologische Vorgänge

Auch diese Vorgänge können eine Temperaturerhöhung bewirken. Bei der Selbstentzündung pflanzlicher Stoffe spielt die Tätigkeit von Pilzen und Bakterien eine wichtige Rolle.

#### ZWECKMÄSSIGSTE KENNZAHLEN

Für Mineralöl- und Teerprodukte sowie technische Gasgemische sind eine Anzahl bewährter Sicherheitskennzahlen, wie Flammpunkt, Zündtemperatur, Explosionsgrenzen, Zündgruppe, Explosionsklassen usw. bekannt. Es hat nicht an Versuchen gefehlt, einen Teil dieser Begriffe auf brennbare feste Stoffe zu übertragen, wobei aber große Schwierigkeiten entstehen. Auf Einzelheiten soll hier nicht eingegangen werden, da keine der obigen Kennzahlen für die Selbstentzündung in Frage kommt. Dem hier geforderten Sicherheitsbegriff muß der Vorgang im Holz zugrunde gelegt werden, der zur Selbstentzündung führt. Das ist die Selbsterhitzung. Führt die Selbsterhitzung zur Selbstentzündung, so kann die Temperatur, bei der diese Selbsterhitzung begann, als Maß für die Selbstentzündung dienen.

#### VERFAHREN ZUR KLÄRUNG DES SELBSTENTZÜNDUNGSMECHANISMUS

In zahlreichen theoretischen und experimentellen Arbeiten wurde versucht, eine Antwort auf die Frage nach den Einflußgrößen auf die Selbstentzündung zu finden.

In groben Zügen kann die Methode der theoretischen Bestimmung der Selbstentzündungsgrenzen von Holz wie folgt beschrieben werden:

In dem Holzkörper befinden sich, entsprechend der exothermen Selbsterhitzungsreaktion, nach bestimmten Gesetzen verteilte Wärmequellen von gegebenenfalls unterschiedlicher Intensität. Die Wärmequellen gehorchen den bekannten chemischen Reaktions-

gleichungen. Hat die Umgebung eine niedrigere Temperatur als der Holzkörper, so fließt ein Teil der von den Wärmequellen gelieferten Wärme in die Umgebung ab und beeinflusst damit das Temperaturfeld in dem Holzkörper.

Die Temperatur in dem Holzkörper stellt sich nun nach dem wechselseitigen Zusammenhang zwischen Wärmeerzeugung und Wärmeabfluß ein. Grundsätzlich sind dabei drei Fälle denkbar.

1. Zwischen Wärmeabgabe und Wärmeerzeugung stellt sich ein Gleichgewichtszustand ein.
2. Die Wärmeerzeugung übersteigt in jedem Falle die Wärmeabgabe. Die dabei in dem Holzkörper verbleibende Wärme steigert dessen Temperatur und damit die Geschwindigkeit der exothermen Reaktion. Die Holztemperatur wird durch diesen Vorgang bis zur Entzündung des Holzkörpers gesteigert, falls genügend Sauerstoff vorhanden ist.
3. Beim Übergang von Fall 1 zu Fall 2 wird sich der Grenzfall des letzten möglichen Wärmegleichgewichtes einstellen. Eine kurzzeitige Störung in Richtung einer geringeren Wärmeabgabe führt dabei zu Fall 2.

Die dem letzten Gleichgewichtspunkt entsprechende Holztemperatur ergibt so die Selbstentzündungstemperatur, die zugehörige Umgebungstemperatur die kritische Umgebungstemperatur.

Wenn in den theoretischen Ansätzen für die Wärmeabgabe eine bestimmte Gesetzmäßigkeit angenommen wird, z.B. Holzkörper in ruhender Luft und Wärmeabgabe durch Konvektion, so lassen sich die Gleichgewichts- bzw. Ungleichgewichtszustände und damit die kritischen Temperaturen errechnen.

Für einfache Körper (Zylinder, Kugel, Platte) sind solche Rechnungen bereits durchgeführt. Allerdings müssen für die Wärmeerzeugung durchweg stark vereinfachende Voraussetzungen getroffen werden, da es zur Zeit noch nicht genügend bekannt ist,

welche Holzbestandteile exotherm reagieren, wie der zeitliche Ablauf der Reaktion bei den verschiedenen Bestandteilen ist und wie sich die reaktionsfähigen Substanzen verbrauchen. Auch über den Einfluß der Randbedingungen auf die Holzreaktion ist nur wenig bekannt.

Daher sind diese theoretischen Arbeiten z.Zt. noch nicht in der Lage, entsprechende Versuche zu ersetzen. Sie können aber wichtige Hinweise auf die zu erwartenden Versuchsergebnisse liefern.

Wie Versuche zeigten, wird die Selbstentzündung des Holzes von verschiedenen Einflußgrößen, die teils durch die Versuchsanordnung, teils durch die Probe selbst gegeben sind, bestimmt. Als bedeutsam ergab sich dabei :

die Aufheizgeschwindigkeit der Probe,  
der Feuchtigkeitsgehalt der Probe,  
die Wärmeisolierung der Probe,  
der Sauerstoffgehalt der Versuchsatmosphäre,  
die Dichte der Probe,  
der Harzgehalt der Probe,  
das Alter und der Zustand der Probe  
(Blaustich, Pilzbefall, Fäulnis),  
die Probengröße,  
die Form der Probe,  
die Dauer der Temperatureinwirkung  
und katalytische Einwirkungen auf die Probe.

Ausgehend von sicherheitstechnischen Forderungen ist durch Variation obiger Einflußgrößen ein Versuchsverfahren auszuwählen, das die niedrigste Selbstentzündungstemperatur liefert. Dabei sind jedoch immer die tatsächlichen Gegebenheiten am Einsatzort des Holzbauteiles im Auge zu behalten, d.h. z.B. es ist, wenn auch die Selbstentzündungstemperatur mit steigendem Sauerstoffgehalt der Versuchsatmosphäre sinkt, bei der Abschätzung der Brandgefahr eines bestimmten Objektes im allgemeinen der Sauerstoffgehalt der Luft zugrunde zu legen, solange abweichende Verhältnisse nicht mit Sicherheit angenommen werden können.

Die Forderung nach einem Meßverfahren zur Bestimmung der Selbsterhitzung bzw. der Selbstentzündung und nach einem dazugehörigen Meßapparat vereinbarter Bauart entsprechend dem Entwurf zu DIN 14011 [1] kann nach Ansicht der Forschungsstelle z.Zt. noch nicht befriedigend erfüllt werden. Obwohl es verschiedene Meßverfahren und Ansätze für den Entwurf einer solchen Apparatur gibt, haften den meisten oft für andere Zwecke entwickelten Methoden und Geräten Nachteile an. Die Beurteilung kann wie folgt zusammengefaßt werden. Es wird weder die wirklich niedrigste Selbstentzündungstemperatur gefunden, noch ist das Versuchsergebnis weitgehend geräteunabhängig.

Trotzdem sollen hier die bekanntesten Meßverfahren angegeben werden. Daneben auch solche für die entsprechende Prüfung von Kohle, da die Entwicklung der Apparate für die Bestimmung der Selbstentzündungstemperatur von Holz fast immer von der Kohleuntersuchung her erfolgte. Es handelt sich um folgende Meßverfahren <sup>1)</sup>:

1. Differential-Thermo-Analyse
2. Statische thermogravimetrische Analyse
3. Dynamische thermogravimetrische Analyse
4. Verfahren mit dem Erhitzungsmikroskop
5. Verfahren nach Steinbrecher
6. Verfahren mit dem Aluminium-Apparat
7. Verfahren nach Moore und Wollers
8. Verfahren nach Bunte und Windorfer
9. Verfahren nach Bunte, Brückner und Bender
10. Verfahren mit dem Zündwertprüfer nach Jentzsch
11. Warmlagerungsverfahren nach Heinrich und Kaesche-Krischer

Die Schwierigkeit, eines der vorhergehend angeführten Verfahren für die hier geforderte Aufgabenstellung einzusetzen, liegt nicht darin begründet, daß ein großer Teil der Methoden bisher nur für Kohle eingesetzt wurde - eine auf Holz zugeschnittene Modifikation ließe sich sicher finden - sondern be-

---

<sup>1)</sup> Die Verfahren sind in der ungekürzten Fassung dieser Arbeit eingehend beschrieben.

ruht auf der Tatsache, daß es von dem Begriff Selbstentzündung mindestens zwei Auffassungen gibt. Die eine, die den meisten Untersuchungen zugrunde liegt, lautet, daß Selbstentzündung vorliegt, wenn ein Stoff bei starker Erhitzung ohne Fremdzündung zur Entzündung kommt. Als Fremdzündungsquelle wird dabei etwa eine Flamme oder ein Funken angesehen. Dagegen wird hier wie auch in der neueren Literatur die Meinung vertreten, daß von Selbstentzündung nur dann gesprochen werden kann, wenn ihr eine Selbsterhitzung vorangeht. Betrachtet man die Prüfgeräte genauer, so läßt sich unschwer erkennen, daß bei dem fast immer vorliegenden ungünstigen Verhältnis zwischen Proben- und Ofenmasse und dem bei einigen Versuchsaapparaturen vorliegenden außergewöhnlich guten Wärmeableitvermögen der Probenumgebung, wie z.B. bei dem Aluminium-Apparat und dem V2A-Tiegel des Jentschgerätes eine Selbsterhitzung der Probe gar nicht zum Tragen kommen kann. Die so ermittelten Selbstentzündungstemperaturen liegen daher bedeutend höher als die unter Berücksichtigung der Selbsterhitzung erhaltenen Selbstentzündungstemperaturen. Es läßt sich aber nur durch die über die Selbsterhitzung ermittelte sicherheitstechnische Kennzahl die größtmögliche Selbstentzündungsneigung des Holzes charakterisieren. Als einzige Variable ist dabei ein unterschiedlicher Wärmestau zu berücksichtigen, während als Versuchsatmosphäre nur Luft in Frage kommt.

Es kann gezeigt werden, daß nur das Warmlagerungsverfahren nach Heinrich und Kaesche-Krischer [4] diesen Forderungen genügt. Dieses Verfahren umschreibt Versuche, die zur Feststellung der niedrigsten Umgebungstemperatur durchgeführt wurden, bei der ein Holzwürfel zur Entzündung kommen kann. Dazu wurden die Proben gut wärmeisoliert bei verschiedenen Temperaturen im Trockenschrank gelagert. Wie die Versuchsanordnung auf Bild 1 erkennen läßt, befand sich ein Holzwürfel mit einer Kantenlänge von 6 cm, der in einen feinmaschigen Drahtkäfig gleicher Abmessung eingepaßt war, zentrisch in einem würfelförmigen Behälter aus perforiertem Stahlblech mit einer Kantenlänge von 18 cm. Der Raum zwischen den beiden Käfigen war zur Wärme-

isolierung mit Steinwolle ausgefüllt. In den Holzwürfel führte ein Thermoelement. Die Anordnung wurde in einem Trockenschrank bei konstanter Temperatur gelagert und die Temperaturen im Holz und im Schrank laufend registriert. Die Atmosphäre des Trockenschrankes konnte eingestellt werden. Durch die gute Wärmeisolierung wurde im Holz eine Aufheizgeschwindigkeit von nur  $0,4^{\circ}\text{C}/\text{min}$  erreicht. Tabelle 1 gibt für einige Holzarten die niedrigsten Trockenschranktemperaturen an, bei denen in Gegenwart von Luft noch eine Selbstentzündung eintrat. Es wurde darum als einziges Verfahren den eigenen Versuchen der Forschungsstelle zugrunde gelegt.

#### EIGENE VERSUCHE

Nachdem aus den verschiedenen Verfahren das Warmlagerungsverfahren als das am besten geeignete von der Forschungsstelle angesehen wurde, wurden Versuche unternommen, um eigene Kenntnisse über dieses Verfahren zu sammeln.

Der Versuchsaufbau lehnte sich eng an den von Heinrich und Kaesche-Krischer [4] an. Aus Gründen der leichteren Beschaffung von Holzproben aus dem Handel wurde die Kantenlänge der würfelförmigen Proben allerdings von 6 cm auf 5 cm herabgesetzt. Ein solcher Holzklötzchen befand sich mit einer Steinwolle-Isolierung von  $180 \text{ g}/\text{dm}^3$  Stopfdichte in einem Drahtkäfig mit einer Kantenlänge von 18 cm. In einem thermostatisch geregelten Trockenofen wurde diese Anordnung dann längere Zeit einer konstanten Temperatur ausgesetzt. Die durch Thermoelemente ermittelten Temperaturen der sechs Holzseiten und der Holzmitte sowie die Temperatur des Drahtkäfigs wurden mit einem 12-Punkt-drucker von Hartmann & Braun aufgezeichnet.

Jede Versuchsreihe wurde dabei mit einer Ofentemperatur begonnen, bei der eine Selbstentzündung ziemlich sicher war. Bei jedem weiteren Versuch wurde die Temperatur in kleinen Stufen solange herabgesetzt, bis es zu keiner Entzündung mehr

kam. In diesem Falle wurde der Versuch allerdings erst abgebrochen, wenn die über die Ofentemperatur erhöhte Temperatur der Probe wieder zurückging, der exotherme Vorgang also langsamer wurde.

Die untersuchten Holzarten waren: Kambala, Tanne, Buche (gedämpft), Carolina Pine und Kiefer.

Von Interesse ist hier nur die niedrigste Ofentemperatur, bei der es noch zu einer Selbstentzündung kommt bzw. die höchste Ofentemperatur, die nicht zur Selbstentzündung führt. Die Werte gibt Tabelle 2 wieder. Da eine Proben-temperatur von  $250^{\circ}\text{C}$  in dieser Anordnung mit Sicherheit zur Selbstentzündung führt, wird die Zeitdauer Selbstentzündungszeit genannt, die die Probe vom Erreichen der Ofentemperatur bis zum Erreichen einer Temperatur von  $250^{\circ}\text{C}$  benötigt. Gleichfalls wird die Zeit angegeben, während der die nicht entzündeten Proben der Ofentemperatur ausgesetzt waren. Die vergleichbaren Werte von Heinrich und Kaesche-Krischer sind ebenfalls in Tabelle 2 eingetragen.

Bild 2 zeigt die Temperaturverläufe der untersuchten Holzproben bei einer Ofentemperatur von  $180^{\circ}\text{C}$  ( $181^{\circ}\text{C}$ ) und Bild 3 diejenigen für eine einzige Holzart bei verschiedenen Ofentemperaturen.

Die von der Forschungsstelle ausgeführten Versuche ergaben für die Selbstentzündungstemperaturen fast die gleichen Werte wie die Versuche von Heinrich und Kaesche-Krischer.

Versuche durch größeren Wärmestau mittels eines Drahtkäfigs mit einer Kantenlänge von 36 cm bei sonst gleichen Versuchsbedingungen eine Entzündung bei niedrigeren Ofentemperaturen herbeizuführen, schlugen fehl. Obwohl sich die Isolierwirkung erhöht hatte, führte die größere Wärmekapazität der Steinwollepackung in Verbindung mit dem stärker behinderten Luftzutritt zur Holzprobe zu höheren Selbstentzündungstemperaturen. Das brachte die Erkenntnis, daß die ermittelten Selbstentzündungstemperaturen in verwickelter Weise von der Isolierung abhängen.

Außerdem wurde in den Versuchen mit dem kleineren Drahtkäfig festgestellt, daß Ofentemperaturen unterhalb der Selbstentzündungstemperatur noch zu einer Temperaturerhöhung der Probe bis zu 30°C über die Ofentemperatur führten. Daß es trotz dieser Temperaturerhöhung nicht zur Selbstentzündung kam, ist wieder der verwendeten Isolierart zuzuschreiben.

Aufgrund dieser Erfahrungen sollen weitere Versuche durchgeführt werden, um die oben angeführten Einflüsse der Isolation auf die Selbstentzündung zu klären.

Die Forschungsstelle ist sicher, mit diesen Versuchen die in Tabelle 2 angegebenen Selbstentzündungstemperaturen weit unterschreiten zu können.

#### ZUSAMMENFASSUNG

Ausgehend von der Aufzählung einiger Brandfälle, die durch die Selbstentzündung von Holz hervorgerufen wurden, wird die Forderung erhoben, eine Möglichkeit zu schaffen, um in Laborversuchen eine charakteristische Kennziffer für die Beurteilung der Selbstentzündungsneigung von Holz zu erhalten. Da hier unter dem Gesichtspunkt des Brandschutzes nur die Selbstentzündung in Frage kommt, werden die in der Literatur nicht immer genau getrennten Begriffe noch einmal erklärt.

Auf eine Zusammenfassung der bisherigen Kenntnisse über die Vorgänge im Holz bei der Erwärmung folgt eine kurze Beschreibung der wichtigsten Methoden für die Prüfung der Zündneigung von Holz und Kohle. Es wurde festgestellt, daß nur ein Verfahren den hier gestellten Anforderungen genügt.

Die nach diesem Verfahren durchgeführten Versuche brachten eine gute Übereinstimmung mit den veröffentlichten Werten, zeigten aber auch, daß weitere Untersuchungen notwendig sind, um den Einfluß der Isolation auf die Selbstentzündung zu klären.



LITERATURVERZEICHNIS

- [1] DIN 14011 Blatt 1 (Entwurf), Juli 1954 (inzwischen zurückgezogen).
- [2] Roberts, A.F. and Clough, G.:  
Thermal decomposition of wood in an inert atmosphere.  
In: Ninth Symposium on Combustion.  
New York, London: Academic Press 1963.  
Ref. in: Fire Research Abstracts Reviews, 4 (1962),  
Nr. 3, S. 177-179.
- [3] Kollmann, F.:  
Zur Frage des Auftretens exothermer Reaktionen bei Holz.  
Holz als Roh- und Werkstoff, 18 (1960), Nr. 6, S.193-200.
- [4] Heinrich, H.J. und Kaesche-Krischer, B.:  
Beitrag zur Aufklärung der Selbstentzündung von Holz.  
Brennstoff-Chemie, 43 (1962), Nr. 5, S. 142-148.
- [5] Akita, K.:  
Studies on the mechanism of ignition of wood.  
Report of Fire Research Institute of Japan, 9 (1959),  
S. 1-44, 51-54, 77-83, 99-105.  
Ref.in: Fire Research Abstracts and Reviews, 4 (1962)  
Nr. 1 und 2, S. 109-115.
- [6] Lawson, D.I.:  
Wood and fire research.  
Journal of the Institute of Wood Science, 4 (1959), S.3-13.  
Ref.in: Fire Research Abstracts and Reviews, 2 (1960),  
Nr. 3, S.107.
- [7] Holz im Feuer.  
In: Albert Handbuch "Holzschutz".  
Wiesbaden-Biebrich: Chemische Werke Albert. Abl.Nr.II,  
I, S. 1.

Tabelle 1. Versuchsergebnisse nach dem Warmlagerungsverfahren von Heinrich und Kaesche-Krischer [15]

Art und Form	Beschaffenheit	Gewicht des Probe- körpers in g	Zünd- tem- pera- tur in °C	Induk- tions- zeit bis zum Ein- treten der Entzündung in h
Kiefernspäne	normal	70	180	15
	stark kienig	90	100	11
Kompaktes Kiefernholz	normal	115	180	18
	stark kienig	160	130	23
	verblaut	115	170	14
	mit Hausbockbef.	105	170	14
Kompaktes Fichtenholz	normal	105	160	22
	mit Harz- gallen	110	140	20
Kompaktes Buchenholz	normal	145	180	14

Tabelle 2. Umgebungstemperaturen, die zur Selbstentzündung führten für verschiedene Holzarten

Holzart	Selbstentzündung		keine Selbstentz.		Versuche nach [4]	
	Ofen- Temp. [°C]	Selbst- entz. Zeit [h]	Ofen- Temp. [°C]	Versuchs- zeit [h]	Ofen- Temp. [°C]	Selbstent- zünd. Zeit [h]
Tanne	178	10,5	175,5	11	-	-
Kiefer	176,5	4,5	170	31	180	18
Buche (gedämpft)	175,5	5,5	170,5	15	180	14
Kambala	178	12	175,5	34	-	-
Carolina Pine	180	8,5	179,5	32	-	-

\* Zeit, die für die Erwärmung des Holzes bis zu einer Temperatur von mehr als 650°C benötigt wurde.

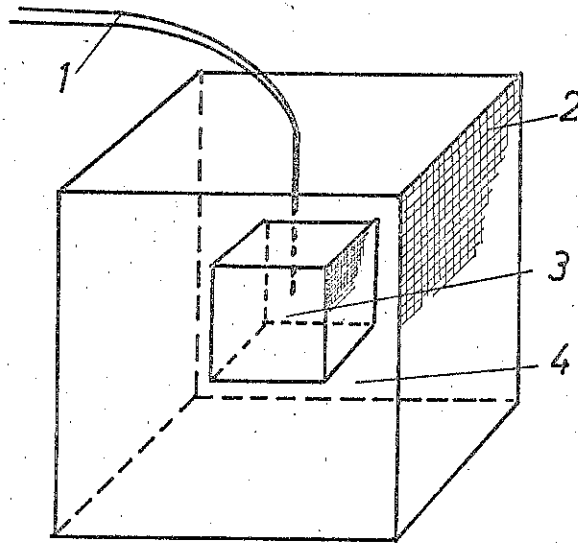


Bild 1. Versuchsanordnung zur Messung der Selbsterhitzung.  
1 Thermoelement; 2 Behälter aus perforiertem Stahlblech; 3 Behälter aus feinmaschigem Drahtgewebe zur Aufnahme der Probe; 4 Steinwollefüllung im Zwischenraum zwischen 2 und 3 nach [15]

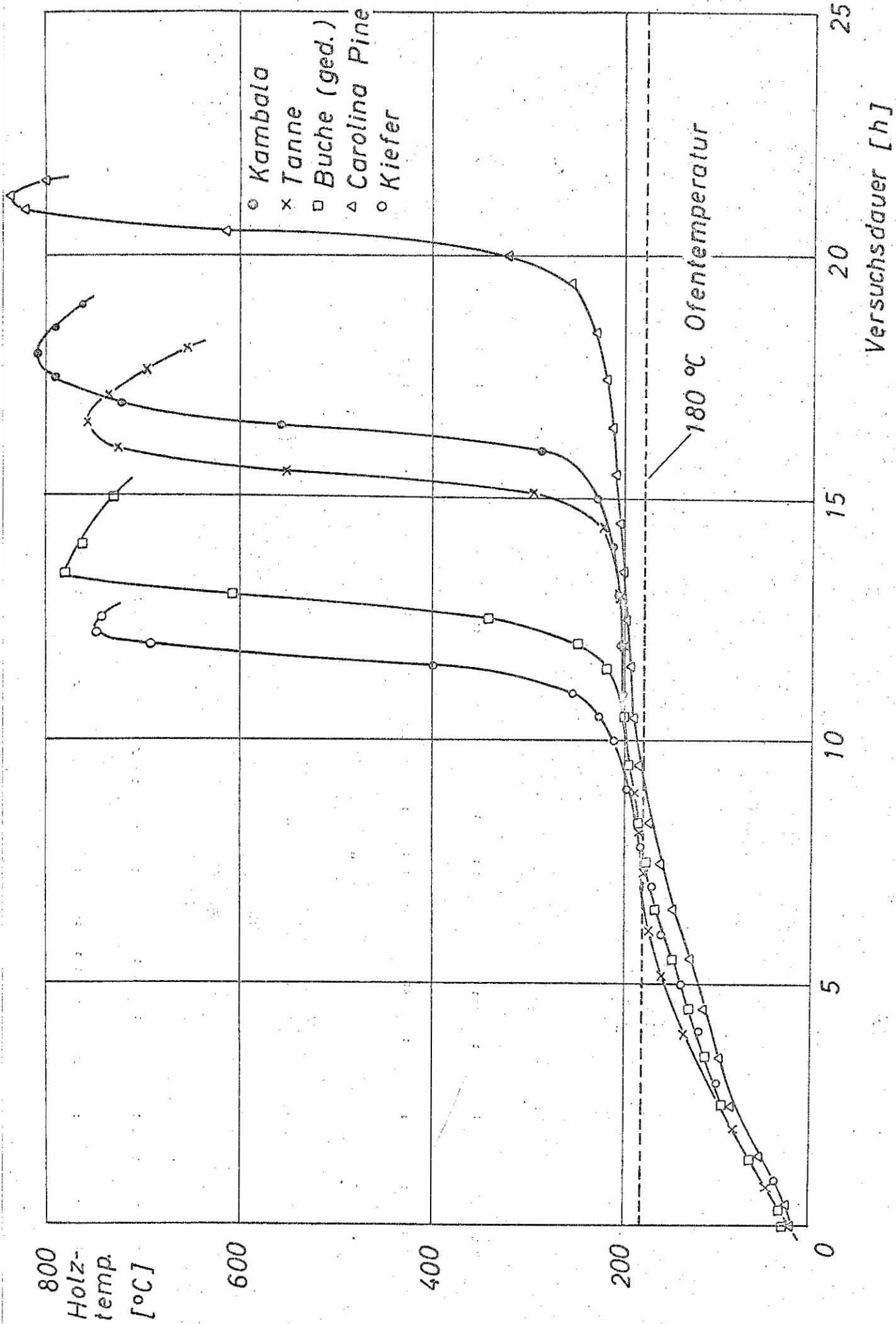


Bild 2. Selbsterhitzung verschiedener Hölzer in Luft. Umgebungstemperatur 180°C (181°C)

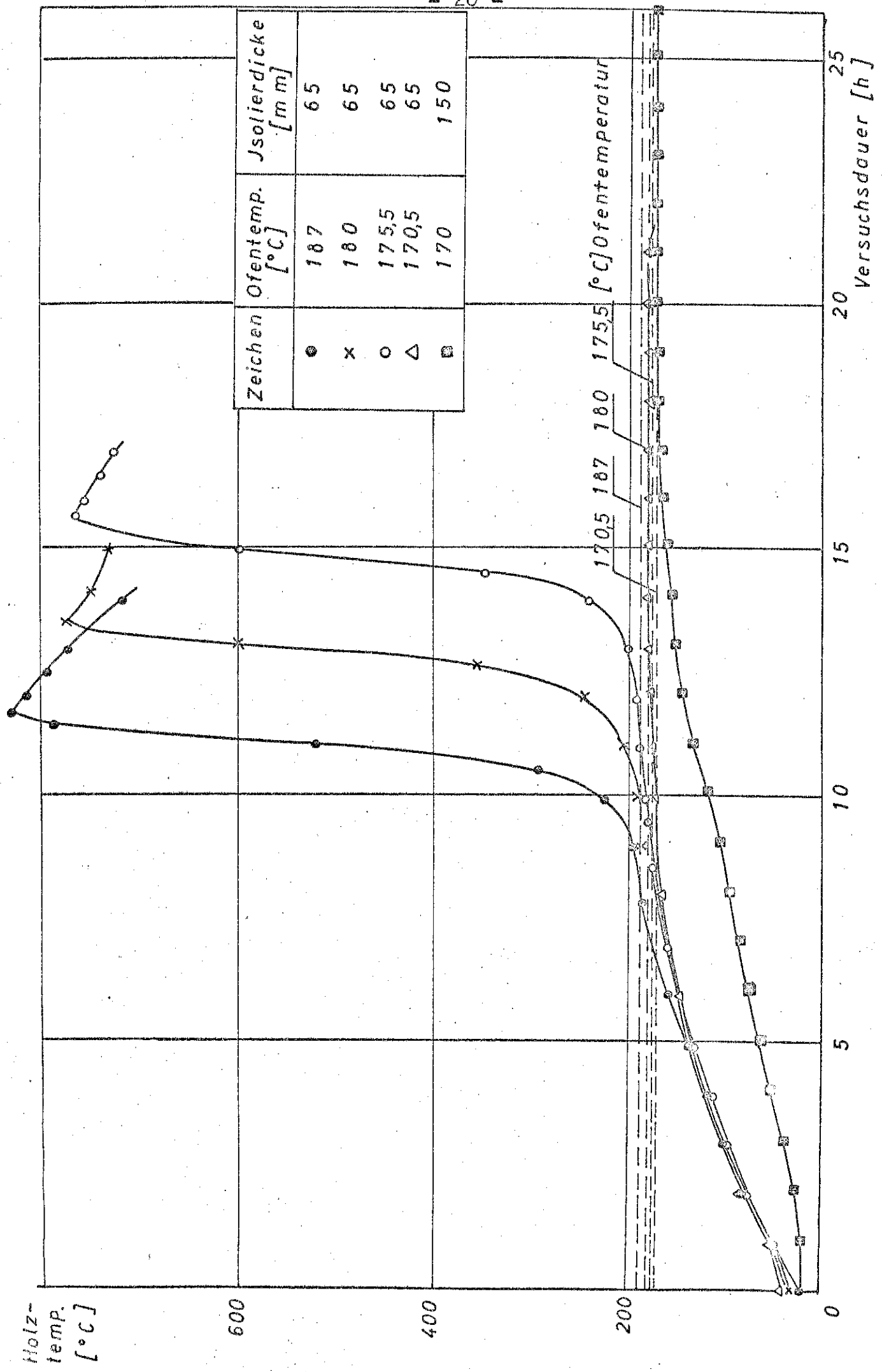


Bild 3. Selbsterhitzung von Buchenholz (gedämpft) in Luft bei verschiedenen Umgebungstemperaturen