

PRÜFUNG UNGARISCHER FLUGASCHEN

DIE FLUGASCHE ALS ROHSTOFF

Von

M. KORACH, M. DÉRI, G. SASVÁRI, Á. S. MOLDVAI, I. PRÁGER, L. ACKERMANN
und I. SZEBÉNYI

Lehrstuhl für Chemische Technologie, Technische Universität, Budapest

(Eingegangen am 11. April 1961)

I

Einleitung

Die in den Kohlenstaubbesseln entstehende Flugasche bereitet überall ernste Schwierigkeiten. In einem durchschnittlichen Kraftwerk fallen im Jahr ungefähr 200 000 t Flugasche aus. Schon die Lagerung der Asche allein wirft schwere Probleme auf, da sie wegen ihres überaus geringen Volumgewichtes vom Wind zerstreut wird. Die Flugaschenmassen sind also den Schlackenhaldden ähnliche industrielle Abfälle, die loszuwerden man überall bemüht ist, da sie unter anderem das Landschaftsbild ernstlich beeinträchtigen. Transport und Lagerung der Asche sind dermaßen teuer, daß jede Lösung, deren wirtschaftliche Bilanz — wenn auch passiv — günstigere Ergebnisse ausweist als die Transport- und Lagerungskosten, als gesellschaftlicher Gewinn zu betrachten ist.

All dies veranlaßte die Technologen bereits vor dem Krieg, irgendeine Art der Aschenaufarbeitung ausfindig zu machen, und heute sind wir so weit, daß sich die Flugasche aus einem Abfall zu einem Grundstoff der Silikatindustrie verwandelt hat. Die diesbezüglichen Forschungen und Versuche haben an jenen Stellen begonnen, wo die Flugaschenmassen infolge der großen Zahl von Kraftwerken frühzeitig zu einem wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Problem geworden waren. Auch in Ungarn befassen wir uns mit dieser Frage erst seit der Errichtung unserer großen, mit Kohlenstaub befeuerten Kraftwerke.

Unserer Ansicht nach verspricht die Aufarbeitung der Flugasche als Grundstoff der Baustoffindustrie nur dann Erfolge, wenn diese Frage mit wissenschaftlicher Methodik behandelt wird. Es handelt sich um ein typisches technologisches Problem, zu dessen Lösung der erste Schritt in der richtigen Fragestellung bestehen muß. Man hat sich also zu fragen, welche technologischen Möglichkeiten und Schwierigkeiten durch die Natur des Rohstoffes bedingt sind, und nichts ist kennzeichnender für den niedrigen Stand der technologischen Methodik als die Tatsache, daß die Flugaschentechnologie bereits bei der Charakterisierung des Rohstoffes falsch angefaßt wurde. Dies

führte manchenorts zu Mißerfolgen, so z. B. in Westdeutschland und in der letzten Zeit auch in Ungarn.

Es handelt sich um einen »neuen Baustoff«, und die Fachwelt läßt es manchmal unberücksichtigt, daß dieser Ausdruck anfechtbar ist, denn solange ein Grundstoff neu ist, und seine Dauerhaftigkeit und Wetterbeständigkeit noch nicht bewiesen sind, kann er nicht als Baustoff bezeichnet werden, sobald hingegen obige Eigenschaften bereits bewiesen sind, ist er nicht mehr als neu zu bezeichnen. Aus diesem Grunde bildet die Dauerhaftigkeitsprobe bei den nichtklassischen Baustoffen die entscheidende Frage der Technologie, ohne die von wissenschaftlicher Methodik keine Rede sein kann. Besonders seitdem die gefährliche Festigkeitsabnahme des Bauxitzements allgemein bekannt wurde, bildet diese Probe bei der Qualifizierung nichtklassischer Baustoffe die *conditio sine qua non*. Leider kennen wir auch heute noch keine Laboratoriumsversuche, bei welchen die Witterungsverhältnisse sozusagen modellmäßig nachgeahmt und zeitlich »verdichtet« werden können. Höchstens durch intensive Einwirkungen, wie etwa durch Wärmebehandlung, Frostversuche, Wasseraufnahme, usw. läßt sich im Verein mit entsprechenden strukturellen Untersuchungen die Wahrscheinlichkeit nachweisen, daß das Material auch den natürlichen Witterungseinflüssen widerstehen wird.

Die Tagespresse war früher in dieser Frage leider nicht immer fachmäßig informiert, sie propagierte deshalb oft Baustoffe, die nicht gründlich untersucht waren, was zur Folge hatte, daß man in unserem Lande die klassischen Baustoffe, wie Zement, Baustein und Ziegel sowie deren Weiterentwicklung vernachlässigte und zu viel Vertrauen ins Neue setzte. Diese Arbeit setzt sich zum Ziel, die ungarische Flugaschenforschung auf wissenschaftliche Grundlagen zu stellen. Wir hoffen, daß sie die Fortsetzung der Forschungsarbeit auf reeller Basis fördern wird.

II

Der heutige Stand der Flugaschenforschung in Ungarn

Die Flugaschenforschung wurde zuerst im Bauwissenschaftlichen Institut aufgenommen. Zu Anfang der fünfziger Jahre wurde dort die Verwendung der Flugasche als Betonzusatzmittel untersucht, und zwar mit Zement und Kalk hydraulisch gebunden, mit und ohne Wärmebehandlung. Nach den ersten erfolgversprechend scheinenden Resultaten wurde aber festgestellt, daß ein Teil der so hergestellten Flugaschenbetonkörper mit der Zeit seine Festigkeit verlor. Die Abnahme der Druckfestigkeit betrug nach einem Jahr 30—50%. Auf Grund der Untersuchungen des Bauwissenschaftlichen Instituts eignen sich zur Herstellung fester Bauelemente in erster Reihe die aus dem Csepeler und Mátravidéker Kraftwerk stammenden Flugaschen. Außer-

dem wurden auf Grund von Versuchen desselben Instituts Flugaschen-Schaumelemente hergestellt, die sich aber in der Praxis nicht besonders bewährten. Alle diese Stoffe hatten den Fehler, daß an ihrer Oberfläche der Mörtel schwach haftete.

Im Jahre 1955 wurden im Zentral-Forschungsinstitut für die Baustoffindustrie Versuche unternommen, die darauf abzielten, die Flugasche auf keramischem Wege zu Bauelementen zu verarbeiten. Man bediente sich der normalen Wandziegeltechnologie, wobei man einen großen Teil des Tons — bis zu 50 Gewichts% — durch Flugasche ersetzte. Das so erhaltene Material hatte gute Eigenschaften, sein Volumgewicht lag um 20% niedriger als das des Wandziegels und seine Druckfestigkeit stand kaum hinter derjenigen des Ziegels zurück.

Im Jahre 1957 versuchte man, ebenfalls im erwähnten Institut, die Flugasche mit wesentlich geringerem Tonanteil keramisch zu binden. Die so erhaltene Masse war viel weniger plastisch und wurde darum auf Vibropressen verformt. Einige ungarische Flugaschensorten ergaben mit 5–10 Gewichts% Ton und bei 1000° C gebrannt, Bausteine von 1000 kg/m³ Raumgewicht, deren Druckfestigkeit fast derjenigen der normalen Ziegel entsprach.

Ebenfalls im Jahre 1957 begann im Bauwissenschaftlichen Institut — auf Grund einer englischen Studienreise — eine Versuchsreihe, die zwar ebenfalls auf keramischem Wege, jedoch einem anders gearteten Endprodukt zustrebte. Auf Tellergranulatoren angefertigte, mit Kohlenstaub versetzte Flugaschenkugeln wurden in einem Versuchsschachtofen bei etwa 1200° C gebrannt. Das Produkt kann als festes und leichtes Ersatzmaterial für Betonkies verwendet werden, sein Volumgewicht beträgt 1700 kg/m³, und der aus ihm angefertigte Beton besitzt eine Druckfestigkeit von ca. 150 kg/cm².

III

Versuchsergebnisse*

1. Physikalische Eigenschaften

1.1. Volumgewicht, spezifisches Gewicht, Porosität

Das Schüttgewicht ändert sich je nach Flugaschensorte innerhalb weiter Grenzen. Bei den 7 untersuchten Aschen variiert es zwischen 477 und 830 kg/m³. Am niedrigsten stellt sich das Schüttgewicht der Flugasche des Pécsér Kraftwerks, trotzdem ihr Kornvolumgewicht mittlere Werte aufweist. Dies

* Die vorliegende kurze Zusammenfassung befaßt sich nicht mit den Untersuchungsmethoden. Nähere Angaben hierüber können einer Mitteilungsserie, die in der Zeitschrift »Építőanyag« (Baumaterial) erschien, entnommen werden, s. Literaturverzeichnis.

deutet darauf hin, daß bei dieser Asche nicht die innere Porosität der Körner, sondern die durch die unregelmäßige Form der einzelnen Körner bedingte Zwischenräume groß sind.

Tabelle I
Schüttgewichte

Kraftwerk	Schüttgewicht kg/m ³
Borsod	608
Csepel	695
Komló	615
Pécs	477
Tatabánya	830
Mátra	790
Ajka	712

Das Kornvolumgewicht der sauren Aschensorten ist in ganz charakteristischer Weise um 30—40% geringer als jenes der basischen Aschen. Dies erklärt sich daraus, daß die sauren Aschenarten als Folge ihres Eisenoxyd- und Kohlengehalts in der reduzierenden Feuerungsatmosphäre ebenso aufblähen wie die bekannten Blähtonarten. Diese Blähung läßt sich besonders bei einem Teil der Körner unter dem Mikroskop klar erkennen. Bei der basischen Ajkaer Asche entsprechen den aufgeblähten Körnern stark gesinterte und verglaste, aber durchaus nicht geblähte Körner.

Tabelle II
Kornvolumgewichte

Kraftwerk	Kornvolumgewicht kg/m ³
Borsod	2018
Csepel	1787
Komló	1886
Pécs	1708
Tatabánya	1919
Mátra	1790
Ajka	2765

1.2. Kornform und Kornaufbau

Die untersuchten Flugaschensorten enthalten ziemlich einheitlich, aber in verschiedener Menge folgende Korntypen:

- a) schwach ausgebrannte Schlackenkörner,
- b) kristalline, größtenteils hellgefärbte Konglomerate,
- c) geschmolzene Körner von unregelmäßiger Gestalt und verschiedener Farbe,
- d) aufgeblähte Kügelchen,
- e) aufgeblähte Kügelchen mit dunklem inneren Kern.

Die Basis für eine weitere Einteilung auf Grund der mikroskopischen Aufnahmen könnte der zurückgebliebene Kohlengehalt bilden. Auf Anwesenheit von unverbrannter Kohle kann aus der dunklen, manchmal schwarzen Farbe der einzelnen Körner geschlossen werden.

Unseres Erachtens ist die gesinterte oder geblähte Gestalt der Körner nicht so sehr für das Begleitgestein der fraglichen Kohle, sondern vielmehr für die Verbrennungsverhältnisse der Kesselfeuerung bezeichnend. Da aber anzunehmen ist, daß die Verbrennungsverhältnisse bei den einzelnen Kraftwerken konstant sind, kann die entstehende Flugasche mit dem Maß der Sinterung bzw. der Blähung hinreichend charakterisiert werden. Die hier folgende Tabelle faßt die im obigen Sinne bezeichnenden Eigenschaften der einzelnen Flugaschensorten zusammen.

Tabelle III

Morphologisches Bild der Aschenkörner

Kraftwerk	Verglaster Anteil %	Verglast und gebläht %	Kristallin oder nicht gesintert %
Borsod	5	—	95
Csepel	90	57	10
Komló	75	15	25
Pécs	72	15	28
Tatabánya	45	30	55
Máttra	17	10	83
Ajka	22	—	78

In Größe und Gleichmäßigkeit zeigen die Körner unter dem Mikroskop wesentliche Schwankungen. Wenn wir annehmen, daß sich die Kohlentelchen im Brennraum nicht rekombinieren, so ist diese Eigenschaft nur für die Wirksamkeit der Kohlenmühlen der einzelnen Kraftwerke bezeichnend. Die Ajkaer und Csepeler Aschen sind feinkörnige und gleichmäßig verteilte, die von Bor-

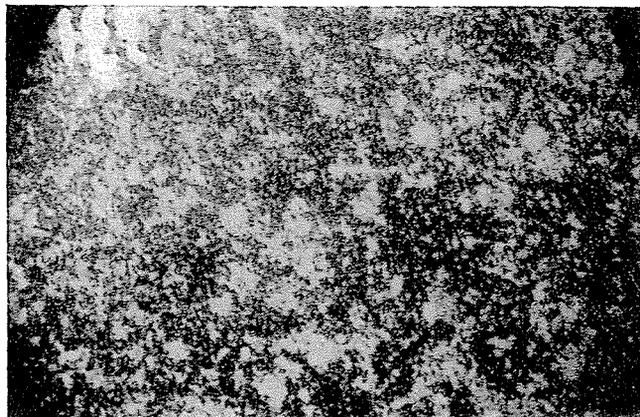


Abb. 1a. Mikrobild der Flugasche aus Tatabánya

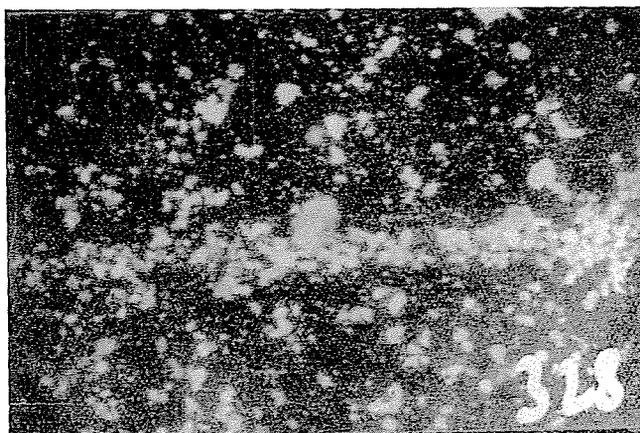


Abb. 1b. Mikrobild der Flugasche aus Pécs

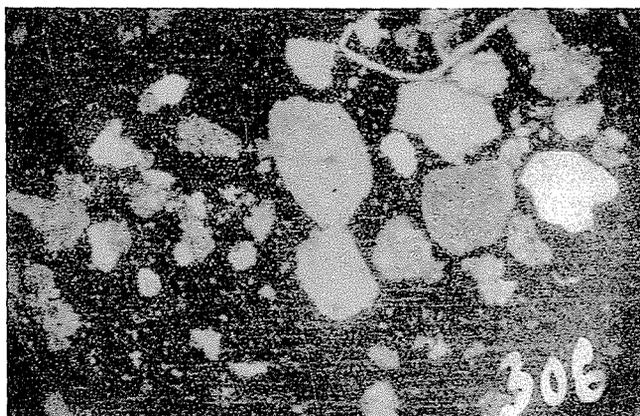


Abb. 1c. Mikrobild der Flugasche aus Borsod

sod und Komló grobkörnige und ungleichmäßig verteilte Flugaschen, die übrigen nehmen eine mittlere Stellung ein.

Auf Grund ihrer mikroskopischen Untersuchung kann die Tatabányaer, Mátraer und Ajkaer Asche als eine gut ausgebrannte, die Komlóer und Pécs'er als eine schwach ausgebrannte Asche bezeichnet werden. Die übrigen Aschen nehmen eine Mittelstellung ein.

1.3. Kornverteilung

Die auf Grund von Sieb- und Schlämmanalysen aufgenommenen Verteilungskurven zeigen bei der Borsoder, Tataer und Mátraer Asche eine Anomalie, und zwar enthält die Kurve bei etwa 1 mm Durchmesser einen deut-

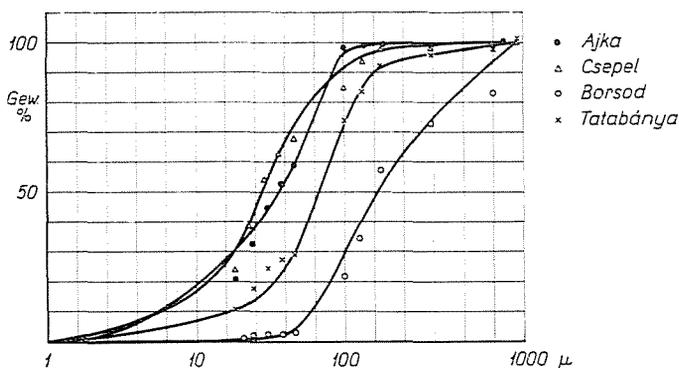


Abb. 2a. Kornverteilung der untersuchten Flugaschen

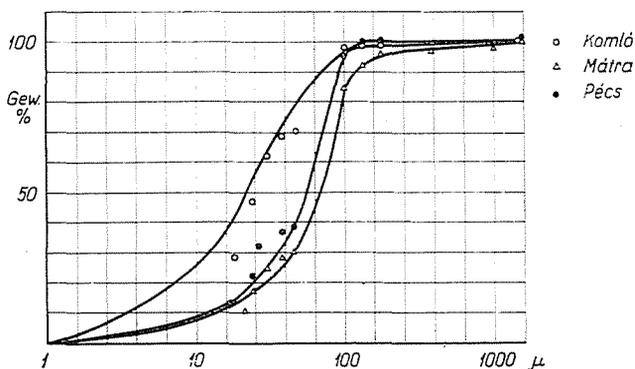


Abb. 2b. Kornverteilung der untersuchten Flugaschen

lichen Knick. Das ist ein Zeichen dafür, daß der verheizte Kohlenstaub nicht aus einem einheitlichen Mahlvorgang stammt, sondern eine Mischung zweier

verschiedener Mahlgüter darstellt. Die Verteilungskurven der übrigen Aschen verlaufen normal.

Die durchschnittliche Korngröße der einzelnen Aschen schwankt ebenfalls stark, wie aus der folgenden Tabelle hervorgeht.

Tabelle IV
Durchschnittliche Korngröße

Kraftwerk	Durchschnittlicher Korn- durchmesser μ
Borsod	190
Csepel	45
Komló	40
Pécs	74
Tatabánya	84
Máttra	76
Ajka	54

Bleibt die eventuelle Rekombination der Kohlenkörner während des Brandes unberücksichtigt, so ist die Kornverteilung der entstandenen Flugasche nur für den in den Kraftwerken angewendeten Mahlvorgang bezeichnend, und hat für die Qualifizierung der einzelnen Aschen keine besondere Bedeutung.

2. Kolloid-physikalische Eigenschaften

2.1. Adsorption verschiedener Dämpfe aus gesättigter Luft

Die Gleichgewichtsfeuchtigkeit der Flugaschen beträgt bei Zimmertemperatur in gesättigter Luft 6—12%. Eine Ausnahme bildet die Ajkaer basische Asche, die freies CaO enthält, deren Dampfaufnahme mithin nahezu 40% beträgt.

Allgemeingültig kann festgestellt werden, daß die verschiedenen Flugaschensorten ausnahmslos mehr Wasserdampf adsorbieren als Äthylalkohol- oder Benzoldampf — die als Vergleichsstoffe angewendet waren —, trotzdem die Molekel der letzteren viel schwerer sind als die des Wassers. Dies deutet darauf hin, daß im Falle von Wasserdampf auch eine Chemosorption vorhanden ist. Vergleicht man die mit Alkohol einerseits und Benzol andererseits erhaltenen Resultate, so findet man die Alkoholadsorption fast doppelt so groß wie diejenige des Benzols. Die wahrscheinliche Erklärung für diese Erscheinung ist in der Polarität bzw. Apolarität der beiden Molekülarten zu suchen.

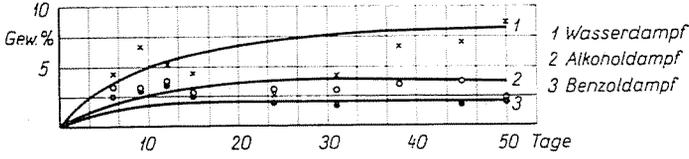


Abb. 3a. Adsorptionskurven einer saueren Flugasche (Pécs) in gesättigter Luft

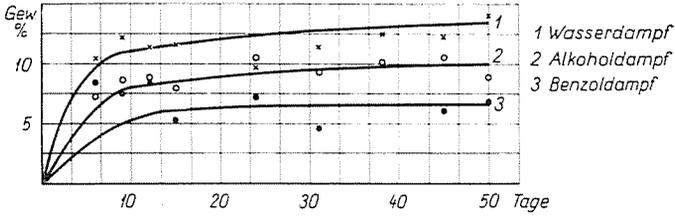


Abb. 3b. Adsorptionskurven einer saueren Flugasche (Tatabánya) in gesättigter Luft

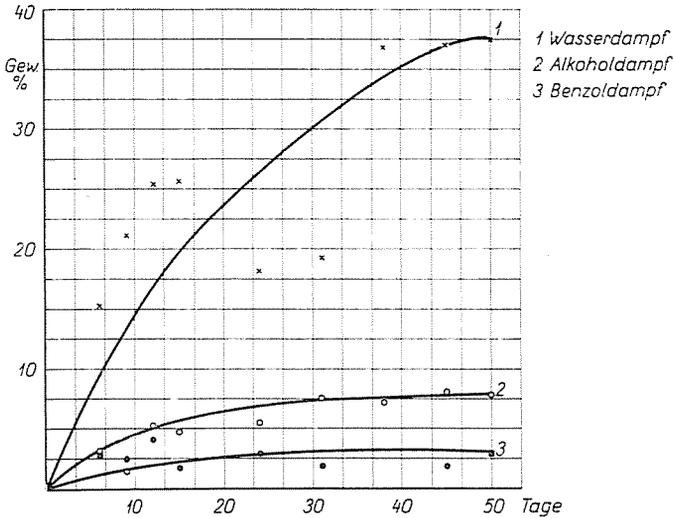


Abb. 3c. Adsorptionskurven einer basischen Flugasche (Ajka) in gesättigter Luft

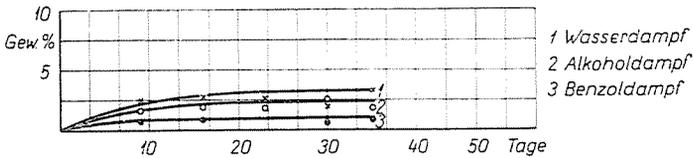


Abb. 3d. Adsorptionskurven des Quarzmehls in gesättigter Luft

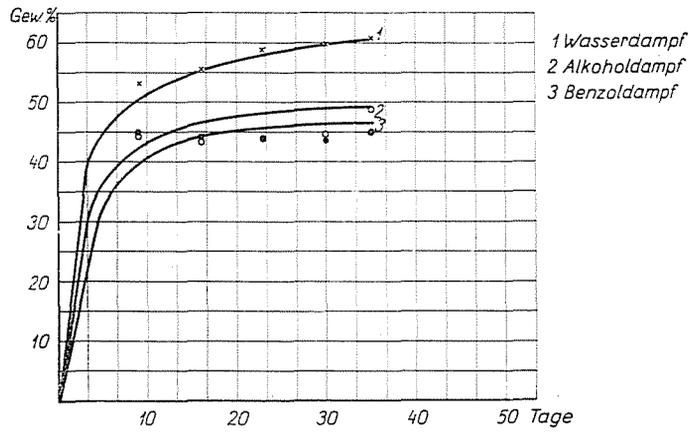


Abb. 3e. Adsorptionskurven des Silica-Gels in gesättigter Luft

Schließlich konnte festgestellt werden, daß die Wasserdampfadsorption während der Untersuchungszeit (50 Tage) nicht bis zur Sättigung anlangte und daß die Adsorptionskurven eine monoton steigende Tendenz zeigten. Bei den beiden organischen Dämpfen erreichte die Adsorption binnen 20 Tagen die Sättigung.

Auf Grund fachliterarischer Angaben kann die innere Porenoberfläche der Körner unter Berücksichtigung der Adsorptionsresultate auf das Zwei- bis Fünffache der makroskopischen Kornoberfläche angesetzt werden. Stark poröse Aschen sind die Borsoder, Tataer und Mátraer Sorten, die Pécsér Asche hingegen, die das kleinste Schüttgewicht aufweist, hat eine ziemlich geringe Porosität.

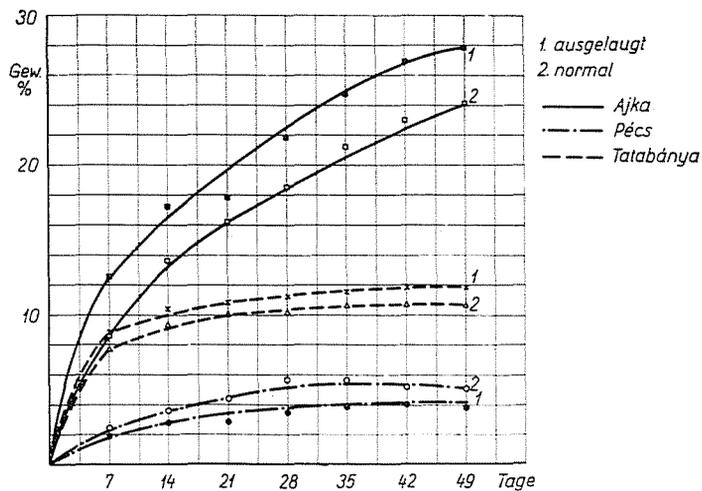


Abb. 4. Vergleich der Adsorptionsfähigkeit einiger Flugaschen im normalen und heiß ausgelagten Zustand

2.2. Wirkung der vorhandenen löslichen Salze auf die Dampfadsorption

Das Auslaugen mit heißem Wasser hat die Wasserdampfadsorption bei drei Aschensorten vergrößert, bei zwei Sorten verringert und bei den weiteren beiden Sorten nicht beeinflußt. Die wasserlöslichen Salze, die in ziemlich geringen Mengen vorhanden sind, beeinflussen die Adsorptionsfähigkeit vielleicht dadurch, daß ihre Kristalle einen Teil der inneren Poren verschließen.

3. Chemische Eigenschaften

3.1. Wasserlösliche Salze

Der Gehalt an wasserlöslichen Salzen schwankt beträchtlich zwischen 0,4—8%. Sein Wert ist besonders bei der Ajkaer und Mátraer Asche hoch. Bei der basischen Ajkaer Asche ist anzunehmen, daß ein Teil des verhältnismäßig großen Ca^{++} -Gehaltes in wasserlöslicher Form anwesend ist. Die wäßrige Extraktion wurde bei jeder Asche qualitativ untersucht und scheint einheitlich nur 3 Ionen-Arten zu enthalten, und zwar Ca^{++} , Mg^{++} und SO_4^- .

Tabelle V
Wasserlösliche Salze

Kraftwerk	Gew. %
Borsod	0,99
Csepel	1,90
Komló	0,49
Pécs	0,44
Tatabánya	1,33
Mátra	4,26
Ajka	7,24

3.2. Elementaranalyse

Die Ergebnisse der Analysen zeigen deutlich den Unterschied zwischen sauren und basischen Aschen. Bei der Ajkaer basischen Asche verhalten sich die sauren bzw. amphoteren Oxyde zu den basischen wie 4 : 6, bei den übrigen, untersuchten, ausnahmslos sauren Aschen ziemlich gleichmäßig wie 9 : 1. Der Kohlengehalt beträgt nur einen geringen Teil des Glühverlustes, charakteristisch ist die Tatsache, daß jede Asche mehr als 1% SO_3 enthält.

Die untersuchten Aschen wurden auch in verschiedenen anderen Laboratorien analysiert, wobei sich mit den eigenen Daten eine ziemlich schlechte Übereinstimmung ergab. Zweifellos ist aber die gegenseitige Übereinstimmung auch unter den fremden Analyseergebnissen ebenso schlecht, es

ist also wahrscheinlich, daß in keinem Fall Fehler begangen wurden. Viel wahrscheinlicher ist es vielmehr, daß sich die Zusammensetzung der Flugasche bei derselben Kohle und im selben Kraftwerk ständig ändert, und zwar wegen der Veränderlichkeit des Begleitgesteins und zum Teil auch wegen der veränderlichen Verhältnisse beim Verbrennen.

Tabelle VI
Chemische Analyse 7 einheimischer Flugaschen

Kraftwerk	Gewicht %						
	Glühverl.	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₂
Borsod	16,40	43,12	9,56	21,40	8,23	2,80	2,99
Csepel	3,01	54,79	9,52	22,73	6,51	3,33	1,81
Komló	15,44	46,98	5,42	25,29	3,43	2,37	1,40
Pécs	17,02	45,20	9,06	23,86	2,86	1,90	1,54
Tatabánya	10,35	43,12	11,95	25,98	7,26	3,45	1,83
Mátra	7,76	47,29	12,46	18,40	9,22	1,84	3,55
Ajka	10,40	11,00	8,71	8,04	55,81	4,53	7,87

3.3. Salzsäurelöslicher Anteil

Der durch Salzsäure gelöste Anteil schwankt unter den Aschenarten sehr stark innerhalb der Grenzen von 1 bis 9%. Die geringste Löslichkeit zeigt die Komlóer, die größte die Mátraer und Ajkaer Asche. Jede Asche enthält Eisen- und Aluminiumoxyd in säurelöslicher Form, doch variiert der Anteil der beiden Oxyde. In dieser Hinsicht lassen sich zwei Gruppen unterscheiden. Bei der Borsoder, Tataer und Mátraer Asche verhalten sich die salzsäurelöslichen Anteile der beiden Oxyde wie 1 : 1, während bei der Csepeler, Komlóer und Pécs'er Asche der Salzsäureextrakt fast nur Eisenoxyd enthält. Vermutlich ist ein großer Teil des Eisenoxyds nicht in silikatischer Bindung, sondern entweder frei oder in einer labilen Form (evtl. als Ferrit) vorhanden.

Tabelle VII
R₂O₃-Gehalt des salzsäurelöslichen Teiles

Kraftwerk	Fe ₂ O ₃ %	Al ₂ O ₃ %
Borsod	4,39	3,40
Csepel	2,08	0,84
Komló	1,67	0,27
Pécs	2,47	0,12
Tatabánya	5,26	3,00
Mátra	4,37	4,23

3.4. Gehalt an brennbarer Kohle

Der Gehalt an brennbarer Kohle ist, mit den ausländischen Angaben verglichen, sehr gering, ein Umstand, der darauf schließen läßt, daß der Kohlenstaub in unseren Kraftwerken einwandfrei verheizt wird. Der brennbare Kohlengehalt variiert zwischen 1 und 3%. Die einzige Ausnahme bildet die Borsoder Asche, bei welcher der Gehalt an brennbarer Kohle fast 6% beträgt. Das steht im klaren Zusammenhang damit, daß dieses Kraftwerk nicht Kohlenstaub, sondern Kohlengries verheizt (s. Kornverteilung) und daß dieser während der dadurch bedingten sehr kurzen Schwebezeit unvollkommen verbrennt.

Tabelle VIII
Brennbarer Kohlenstoffgehalt

Kraftwerk	Gewichts%
Borsod	5,42
Csepel	2,98
Komló	2,25
Pécs	2,63
Tatabánya	2,38
Mátra	1,86
Ajka	0,98

3.5. Hydrogen-Ion-Konzentration

Das endgültige p_H der 10%igen wäßrigen Aschensuspensionen stellt sich binnen 6 Stunden auf einen stabilen Wert ein. Dieser Wert schwankt bei den verschiedenen Aschenarten zwischen 5 und 13 p_H . In dieser Hinsicht

Tabelle IX
pH-Wert in 10%iger Suspension

Kraftwerk	pH
Borsod	7,2— 8,7
Csepel	11,6—11,9
Komló	7,9— 9,2
Pécs	6,9— 7,6
Tatabánya	5,5— 6,6
Mátra	7,3— 8,1
Ajka	12,3—12,7

lassen sich die Aschensorten wieder in zwei Gruppen einteilen. Die Csepeler und die Ajkaer Asche erweist sich als stark basisch mit p_H -Werten von 11,5 bzw. 12,5. Die p_H -Werte sämtlicher übrigen Aschen variieren zwischen 5,5 und 9. Der hohe Wert bei der Ajkaer Asche stimmt verständlicherweise mit dem p_H einer CaO-Suspension überein. Unverständlich ist aber der hohe Wert bei der Csepeler Asche, da diese im Bilde der Elementaranalyse die sauerste untersuchte Asche ist.

4. Mineralogische Untersuchung

4.1. Röntgen-Diffraktionsspektren

Die Debye-Scherrerschen Spektren der sauren Aschensorten zeigen eine so weitgehende Übereinstimmung, daß sie als ein einziges gemeinsames Spektrum aufgefaßt werden können. Das Spektrum der Ajkaer Asche war von Grund aus verschieden und muß als ein zweiter Spektraltyp aufgefaßt werden.

Das Spektrum der 6 sauren Aschen ist ziemlich linienreich. Die Anwesenheit von freiem Quarz wird durch die mittelstarke Quarzlinie 1,53 Å bewiesen. Die schwachen 1,49 und 1,45 Å-Linien lassen auf die Anwesenheit

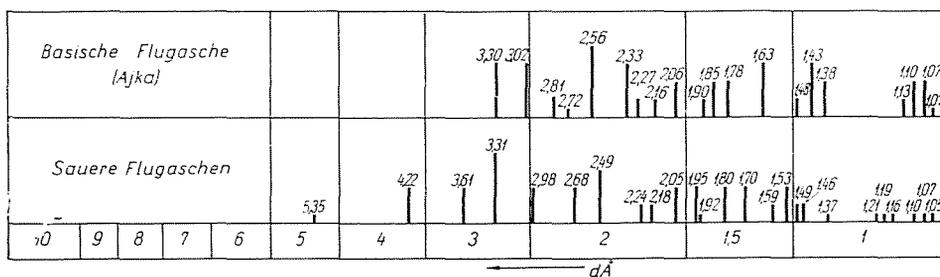


Abb. 5. Das Debye-Scherrer'sche Röntgenspektrum verschiedener Flugaschen

von Ferrioxyd schließen. Unter den Kalziumsilikaten erscheinen mit mittlerer Stärke der Wollastonit und dessen Monohydrat, der Xonotlit (die Linien 2,98, 3,61, 2,49 und 1,94 Å). Die Anwesenheit des Monohydrats in einem pyrogenen Produkt ist sehr interessant; es kann sich offenbar nur nach der Entstehung der Asche, während der Lagerung bilden. Ein großer Teil der Linien ist diffus, was auf die Anwesenheit einer massiven Glasphase hinweist.

Die basische Ajkaer Asche enthält keine freie Quarzlinie. Sie besteht im wesentlichen aus Kalzit und Diopsid, und zwar nach der Intensität der Linien zu urteilen, größtenteils aus Diopsid. Die charakteristischen Linien

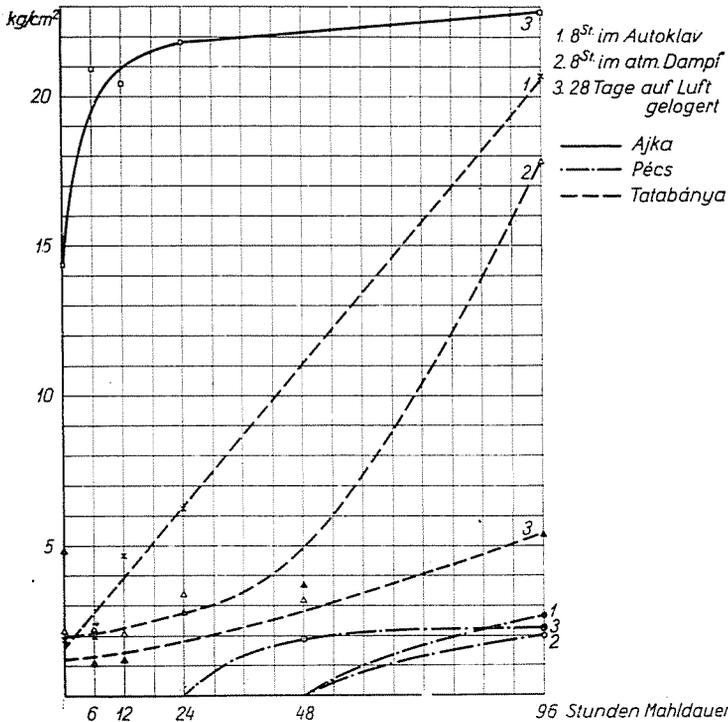


Abb. 6. Zusammenhang des Mahldauers und der spontanen Bindefähigkeit einiger Flugaschensorten

sind scharf, nur die Linie $3,30 \text{ \AA}$ (sie kann sowohl der Kalzit-Linie $3,29 \text{ \AA}$, wie auch den Diopsid-Linien, $3,27 \text{ \AA}$ und $3,34 \text{ \AA}$ entsprechen) ist einigermaßen diffus.

4.2. Bindefähigkeit in natürlichem Zustand und nach der Vermahlung

Die Ajkaer basische Asche ist in natürlichem Zustand bindefähig, quillt aber während der Bindung so stark, daß sie bei Zimmertemperatur in einigen Tagen, in heißer Dampfatmosfera aber bereits in einigen Stunden Risse bildet und zerfällt. Wegen dieser ihrer ungünstigen Eigenschaft wurde diese Asche als Grundstoff für die Bausteinherstellung gar nicht untersucht.

Unter den sauren Aschen ließ sich keine einzige finden, die in natürlichem Zustand in meßbarem Maße bindefähig gewesen wäre. Nach 96stündigem Mahlen lag die Druckfestigkeit der aus Borsoder, Csepeler, Komlóer und Pécseser Asche hergestellten Probekörper noch immer unter 10 kg/cm^2 . Die aus Mátraer Asche hergestellten Probekörper erreichten hingegen eine Druck-

festigkeit von 16, die aus Tataer Asche hergestellten eine solche von 21 kg/cm².

Die Bindung der Probekörper geschah auf drei verschiedene Arten, bei Zimmertemperatur, in atmosphärischem Dampf und im Autoklav bei 8 at Dampfdruck. Die besten Ergebnisse konnten — mit Ausnahme der Mátraer Asche — im Autoklav erzielt werden. Die Mátraer Asche erreichte die größte Festigkeit bei Zimmertemperatur.

Das nachträgliche Mahlen der Flugasche hat kaum technologische Bedeutung, nicht einmal bei jenen zwei Aschensorten, bei welchen eine auswertbare Bindefähigkeit auftrat.

Zusammenfassung

Die Verfasser untersuchten sieben ungarische Flugaschensorten, und zwar als etwaige industrielle Grundstoffe. Die Mitteilung ist eine kurze Zusammenfassung dieser Arbeit. Die Ergebnisse werden tabellarisch und graphisch ausführlich besprochen.

Literatur

1. OTTEMANN, J.: Silikattechnik 2, 143 (1951)
2. OTTEMANN, J.: Silikattechnik 3, 221 (1952)
3. VIOLET, H.: Betonsteinzeitung 18, 452 (1952)
4. ENDELL, J.: Braunkohle 4, 138 (1952)
5. BUDNIKOV, P. P., MATVEEV, M. A., JURCSIK, Sz. J.: Doklad. Akad. Nauk SSSR, 84, 1021 (1952)
6. McCLENAHAN, W. T.: Eng. New. Rec. 151, 32 (1953)
7. RUDNAY, Gy.: Magyar Tud. Akad. Műszaki Tud. Oszt. Közl. 11, 43 (1954)
8. KALOUSEK, G. L.: J. Am. Ceram. Soc. 37, 7 (1954)
9. GREENBERG, S. A.: J. Phys. Chem. 58, 362 (1954)
10. FERET, L., VENUAT, M.: Revue des Matériaux, Nr. 475, p. 87 (1955)
11. ALBERT, J.: Agyagkötésű égetett porszénhamu téglák. (Tongebundene gebrannte Flugaschenziegel.) Építőanyagipari Központi Kutató Intézet. Bp. Mitteilung Nr. 20 (1955)
12. PEPLER, R. B.: J. Res. Nat. Bur. Standards 54, 205 (1955)
13. KORACH, M., SASVÁRI, Gy.: Építőanyag 13, 134 (1961)
14. MOLDVAI, Á. S.: Építőanyag 13, 161 (1961)
15. DÉRI, M.: Építőanyag 13, 201 (1961)
16. SASVÁRI, Gy.: Építőanyag 13, 253 (1961)
17. ACKERMANN, L., — SZEBÉNYI, I.: Építőanyag 13, 281 (1961)
18. JÉCSAI, L.: Építőanyag 13, 321 (1961)
19. GÁCSI, P. B.: Építőanyag 12, 411 (1960)

Prof. M. KORACH

M. DÉRI

G. SASVÁRI

Á. S. MOLDVAI

I. PRÁGER

L. ACKERMANN

I. SZEBÉNYI

Budapest, XI., Gellért tér 4,
Ungarn