

Dr. Walther Beck

Konsulent des Österreichischen Bundesdenkmalamtes, Linz

## EINSATZ IONISIERENDER STRAHLEN ZUR SANIERUNG VON PAPIEREN UND HÖLZERN

Die Anwendung ionisierender Strahlen zur Entseuchung alter Hölzer und Papiere stellt eine grundsätzlich neue Möglichkeit auf dem Gebiete der Konservierung von Kunst- und Kulturgegenständen dar. So wie jeder Eingriff in organische oder anorganische Materialien seine Vorteile hat, wenn er nur imstande ist, Kulturgüter der Nachwelt zu erhalten, so muß doch bei allen Verfahren, die zum Schutze eines Objektes getroffen werden, überlegt werden, ob nicht vielleicht um einer augenblicklichen "Sanierung" willen unersetzliche Werte einer rascheren Vernichtung preisgegeben werden. Es erfordern alle chemischen oder physikalischen Konservierungsmaßnahmen äußerste Vorsicht, sie erfordern ein großes Maß an Wissen und Können, sollen sie wirklich den erstrebten Zweck erfüllen können, ohne daß als Nebenwirkungen irreparable Schäden erkennbar werden. Wir sind daher bei allen Maßnahmen, die wir der Praxis empfehlen, außerordentlich vorsichtig, um nicht einmal als jene dazustehen, die der Zerstörung unersetzlicher Güter Vorschub geleistet haben.

Die Untersuchungen über die Möglichkeiten des Einsatzes ionisierender Strahlen bei Papieren und Hölzern stehen immer noch in ihrem wissenschaftlichen Anfangsstadium. Wohl weiß man heute schon manches über die Auswirkung der Strahlenwirkung auf Papiere und Hölzer, doch sind die praktischen Voraussetzungen für den Einsatz ortsungebundener Strahlenquellen noch nicht gegeben. Doch sind die Möglichkeiten des Einsatzes ionisierender Strahlen gerade auf dem Gebiete der Vergütung von Holz und Papier noch lange nicht genügend erforscht. Hier könnte über eine Bekämpfung von Schadpilzen, Bakterien und Insekten hinaus eine Festigung von Papier und Holz durch Polymerisation monomerer Gase innerhalb des Gewebes erfolgen, so daß - wahrscheinlich ohne Veränderung der Oberflächen - eine wesentliche Vergütung des vorhandenen Materiales erwartet werden kann.

Gammastrahlen dringen durch stoffliche Hindernisse mit großer Energie und verbrauchen dort ihre Energie je nach Stoffart mehr oder weniger rasch. Das heißt mit anderen Worten: Sie dringen, je nach Material, tiefer oder weniger tief ein, bzw. sie durchstrahlen das Material. Dabei treffen durchdringende ionisierende Strahlen auch Stellen, die von Flüssigkeiten oder Gasen nicht erreicht werden können. Dadurch können Schadorganismen, die sich an diesen Stellen befin-

den, abgetötet werden, wenn nur die Dosis groß genug ist. Allerdings ist bei Anwendung dieser Behandlungsart eine Gewähr gegen neuerlichen Befall nicht gegeben, da Gammastrahlen eben nur im Moment des Auftretens wirken.

Ein Dauerschutz kann nur durch chemische Konservierung, bzw. durch eine Änderung des Milieus, (also z.B. durch Trockenlegung) erreicht werden. Der Einsatz ionisierender Strahlen könnte nach unseren Erfahrungen und unter der Voraussetzung, daß geeignete mobile Strahlenquellen und entsprechende Schutzvorrichtungen zur Verfügung stehen, gegen bestimmte Schimmelpilze unter Fassungen, gegen Schwamm- und Insektenbefall in großen Altären und Kanzeln, sowie bei Holzdecken, aber auch zur Sterilisierung von Büchern oder Papieren angewandt werden. Vor allem wenn solche Schriftstücke und Druckwerke nach Wassereintrüben von mehr oder weniger undurchlässigen Schlammschichten überzogen sind, wie dies bei vielen Werken in den Uffizien von Florenz der Fall war.

Arbeiten auf dem Gebiete der Sanierung alter Papiere und Hölzer waren uns bei Beginn unserer Arbeiten nicht bekannt. Erst in jüngster Zeit scheinen sich auch andere Arbeitsgruppen dieses Problems etwas intensiver angenommen zu haben. Der Grund dafür ist wohl in der Tatsache zu finden, daß datiertes, einheitliches Material nur äußerst schwer zu erhalten ist. Wir haben am Beginn unserer Arbeiten in Vorversuchen neue Hölzer und Papiere geprüft, um zu sehen, ob es möglich sei, die in der Literatur teilweise schon beschriebenen Mindestdosen zur Abtötung von Pilzen, Insekten und Milben noch ohne Schädigung der Strukturen von Papier oder Holz zu applizieren. Erst dann gingen wir auf altes Material über. An diesem wurden erstens die eben angeschnittenen Fragen der Zerstörung des Aufbaues getestet, andererseits aber auch die Möglichkeit von Farbveränderungen an Goldfassungen sowie an den Oberflächen der Papiere und Hölzer beobachtet. Gerade diese Frage ist ja ein Hauptanliegen für den mit einer Konservierung Beauftragten. Und die Entscheidung über die zur Verwendung gelangende Methode hängt nicht zuletzt von der Frage ab, wie die Oberflächen auf die vorgesehene Behandlung reagieren.

Der anatomische Bau der Hölzer ist vor allem für die chemische Konservierung von Wichtigkeit. Die Möglichkeit, Chemikalien in das Innere der Hölzer zu bringen, entscheidet hier über die Frage, ob eine Konservierung überhaupt möglich ist, zu welchem Zeitpunkt dies geschehen muß und welche Mittel angewandt werden müssen. Sie wissen, daß die als Tracheiden bezeichneten wasserführenden Zellen der Nadelhölzer von Hoftüpfeln begrenzt sind. Diese Hoftüpfel wieder verkleben bei manchen Nadelholzarten (z.B. Fichte), und können auch nach

Wiederbefeuchtung nicht geöffnet werden, während die Hoftüpfel z.B. der Kiefer wieder durchgängig werden. Sie kennen auch den komplizierten Aufbau der Laubhölzer. Hier existieren zwar keine Hoftüpfel (unter dem Mikroskop sichtbare Kennzeichen der Holzart), da lange, rohrartige Leitungsbahnen (sog. Tracheen) den Flüssigkeitstransport übernehmen, doch wird auch hier in der sogenannten Kernzone durch Einlagerungen eine Schwerimprägnierbarkeit hervorgerufen. Der chemische Aufbau der Hölzer wiederum ist für den Befall des Holzes durch pilzliche oder tierische Holzzerstörer von Wichtigkeit. Es zeigt zwar die Elementaranalyse der Holzarten recht ähnliche Ergebnisse (48 - 51 o/o C, 5 - 6 o/o H, 43 - 45 o/o O, 0,04 - 0,06 o/o N), doch schwanken die Gehalte an Zellulose von 40 bis 60 o/o, etwa 25 o/o der Hölzer können als Hemizellulosen bestimmt werden, während Lignin zu etwa 20 bis 30 o/o am Aufbau der Hölzer beteiligt ist. Neben diesem als Kittsubstanz dienenden Lignin finden wir noch 3 - 5 o/o Terpene, Fette, Wachse und Harze.

Unsere Arbeiten über die Veränderungen der Holzeigenschaften durch Gammastrahlung basierten auf eingehenden Untersuchungen verschiedener Autoren. So untersuchten I.D. Bletchly und R.C. Fisher die Abtötung von Insekten im Holz, während z.B. V.L. Karpow, A. Burmester oder J.A. Kent u.a. die Verbesserung der technologischen Eigenschaften des Holzes durch Kunststoffvergiftung mit Hilfe ionisierender Strahlen im Auge hatten. Die Veränderung von Holz durch Gammastrahlen zeigt sich einmal in chemischen Strukturveränderungen, zum anderen in einer Änderung des Sorptionsverhaltens und - als Auswirkung beider Faktoren - in einer Änderung der Festigkeitseigenschaften. Daß dabei nicht nur Abnahmen der Festigkeit zu finden sind, ist dadurch bedingt, daß geringe Bestrahlungsdosen eine Molekülvernetzung bewirken, die bei der Zellulose zu einer Kettenverlängerung führt und bei Lignin eine Verbindung mit den ungesättigten Bestandteilen des Holzes bewirkt. Es war uns bekannt, daß die Biegefestigkeit und die Bruchschlagfestigkeit durch bedeutend niedrigere Strahlendosen beeinflusst werden konnten, als die Druckfestigkeit. An dieser Stelle seien die von G. Becker und A. Burmester durchgeführten Versuche erwähnt. Die beiden Autoren fanden, daß bestrahltes Holz bis zu einer bestimmten Strahlendosis hin für Insekten leichter verdaulich wird und damit den untersuchten Tieren (Hausbocklarven und Termiten) bessere Lebensmöglichkeiten bietet. Allerdings verschlechtert sich der Nahrungswert des Holzes bei höheren Bestrahlungsdosen, da Kohlehydrate und Eiweißstoffe verändert werden und die Tiere dann mehr Nahrung zu sich nehmen müssen, um ihren Stoffhaushalt zu decken.

Es war also schon bekannt, daß bei der Bestrahlung von Holz mit Gammastrahlen im niedrigeren Dosisbereich ein geringer Aufbau eintritt, daß aber mit steigen-

der Dosis ein Abbau der Bestandteile des Holzes, allerdings ohne Änderung der Struktur, eintritt. Der Umkehrpunkt liegt je nach Holzart und Festigkeit verschiedenen hoch.

Jedoch ist der Anfang der Festigkeitsabnahme für die praktische Anwendung ionisierender Strahlen in der Vergütungstechnik von entscheidender Bedeutung. Denn nur dort ist der Einsatz von Kunststoffmonomeren sinnvoll, wo durch die Strahldosen noch kein wesentlicher Abbau des Holzes hervorgerufen wurde. Ob dieser Umkehrpunkt auch bei alten Hölzern noch über jener Strahlenmenge liegt, die notwendig ist, um die wichtigsten Holzschädlinge zu vernichten, war daher festzustellen.

Der Aufbau und die mögliche Konservierung von Papier wurde von uns als Grundlage für unsere Arbeiten ebenfalls studiert. Wir wissen, daß Papier ein Material ist, das aus Zellulosefasern besteht, die unter Verwendung von Wasser zu einem ungeordneten Netzwerk zusammengefügt wurden. Trotz seiner porösen Struktur weist Papier ohne Zusatz von Bindemitteln eine mechanische Festigkeit auf, die etwa jener des Aluminiums oder des Gußeisens entspricht. Die Bindungsfestigkeit der Fasern liegt in der Größenordnung molekularer Gitterbindungen. Das Wesen der Papierbindung stellt jedenfalls ein erstaunliches Phänomen dar, das in der Natur kaum eine Parallele findet. Seit Ts'ai Lun im Jahre 105 zum ersten Male eine brauchbare Beschreibfläche aus Schiffstauen, Fischernetzen, Bambus und anderem Pflanzenmaterial herstellen konnte, beschäftigen sich die Papiermacher aller Länder mit dieser Frage.

Papier wird von einer großen Zahl holzerstörender Insekten und Pilze angegriffen und zerstört. Der Befall durch diese Lebewesen ist durch die Porosität des Materials besonders begünstigt. In feuchten Räumen führt die Hygroskopizität der Zellulose rasch zu einer Befeuchtung des Papiers und damit zur Herstellung eines für den Pilzbefall geeigneten Milieus.

Die chemische Konservierung von Papier ist besonders schwierig. Mit den üblichen Holzschutzmitteln kann aus leicht verständlichen Gründen nicht gearbeitet werden. Gegen Insekten kann man reine Wirkstoffe (z.B. Lindan), meist in Pulverform oder als Aerosol, manchmal auch als wasserfreie, farblose Lösung einsetzen.

Pilzbefall ist besonders schwierig zu bekämpfen. Wohl stehen gegen Schimmelpilze geeignete farblose Fungizide zur Verfügung (TMTD), doch ist es schwer, diese Mittel wirklich an alle gefährdeten Punkte zu bringen, andererseits sind bestimmte Pilzgruppen, wie die zu den Holzerstörern gehörenden Basidiomyceten,

mit diesen Produkten nur schwer zu fassen. Am besten wäre noch eine vorbeugende Imprägnierung der Papiere gleich bei der Erzeugung. Doch scheidet dieser Gedanke für alte Papiere aus. Eine Abtötung von Insekten und auch von bestimmten Schädlingen durch Giftgase ist unter günstigen Umständen immerhin möglich.

Die zur Abtötung von Insekten notwendigen Dosen ionisierender Strahlen waren uns durch die Literatur bereits bekannt. Danach genügt zur vollständigen Abtötung aller Insektenstadien eine Dosis von maximal 0,3 Mrad. Die Letalitätsdosen für verschiedene Mikroorganismengruppen, angefangen von den gramnegativen Stäbchen über grampositive Kokken bis hin zu Sporenbildnern (wie z.B. *Bacillus mentericus*) und bei den Schimmelpilzen (z. B. *Aspergillus niger*), die bei maximal 1,0 bis 1,5 Mrad liegen, konnten ebenfalls der Literatur entnommen werden. Über die Strahlenresistenz holzzerstörender Pilze, besonders über ihr Verhalten in neuen und alten Hölzern, lagen keine Angaben vor. Erst die nach Beendigung unserer Arbeiten erschienene Veröffentlichung von Bors und Glubrecht befaßte sich mit der Strahlenresistenz holzzerstörender Pilze. Bei dieser Arbeit ist als besonders interessant hervorzuheben, daß für die Abtötung des Myzels holzzerstörender Pilze bei höheren Temperaturen nur ein Zehntel jener Strahlendosis aufgewendet werden muß, die bei niederen Temperaturen notwendig ist. Von dieser Änderung der Radiosensitivität werden allerdings die Pilzsporen nicht berührt. Während also die für die Abtötung des echten Hausschwammes (*Merulius lacrymans*) ausreichende Bestrahlungsdosis bei einer Erhöhung der Temperatur von 20 auf 26° C von 0,2 auf 0,03 Mrad sinkt, benötigt man zur Abtötung der Sporen jeweils 0,6 Mrad.

Für unsere Untersuchungen über die möglichen Veränderungen von alten Hölzern und Papieren durch ionisierende Strahlen war es zunächst einmal notwendig, die Frage zu klären, welche Grenzdosen an Gammastrahlen zur Abtötung holzzerstörender Pilze, bzw. von Schimmelpilzen ausreichen. Es war ferner zu klären, ob die in den Nährsubstraten *in vitro* gefundenen Werte auch auf alte Hölzer oder Papiere übertragbar sind. Und drittens war zu klären, wo die Grenzdosis liegt, deren Überschreitung eine Verschlechterung des augenblicklichen Erhaltungszustandes der Hölzer und Papiere erkennen lassen.

Bei modernem Papier weiß man, daß die zum Aufbau verwendete Zellulosefaser unter der Einwirkung ionisierender Strahlen Wasserstoffatome abspaltet, wodurch Radikalstellen entstehen, die durch ein ungepaartes Elektron gekennzeichnet sind. Diese Radikalstellen können nun in Gegenwart von Radikalfängern oder von Verbindungen, die zu Übertragungsreaktionen befähigt sind, durch Übertragung auf den Reaktionspartner abesättigt werden. So werden z.B. labile Radikal-

stellen leicht durch Wasser abgesättigt, während die stabileren Radikalstellen im Inneren der kristallinen Bereiche äußerst widerstandsfähig sind. Diese Stellen reagieren erst, wenn das Kristallgitter angegriffen wird, wie dies z.B. bei der Alkalibehandlung der Zellulose geschieht. Daher erklärt es sich auch, daß der Strahlenabbau wesentlich langsamer vor sich geht, als der Abbau einer hetero-chemisch angegriffenen Zellulosefaser.

Als wir darangingen, alte Papiere zu untersuchen, stießen wir sofort auf eine große Schwierigkeit: Das handgeschöpfte Material variiert nämlich in Faserdicke und -länge sehr stark. Auch die Dicke der handgeschöpften Papiere selbst schwankt bei den einzelnen Bogen erheblich. Insgesamt standen uns 10 alte Papiere zur Verfügung, die wir alten Faszikeln des Oberösterreichischen Landesarchivs vor der Neubindung der Folianten entnehmen konnten. Alter und Dicke dieser Papiere sind in Bild 1) zu sehen.

A l t e P a p i e r e (Blätter aus alten Faszikeln, die bei der Neubindung von Folianten anfielen)

Lfd. Nr.	Jahrgang	durchschnittliche Dicke in My	Anmerkungen
1	1559	180	gesund
2	1645	140	Fraßschäden und dunkle Flecken
3	1653	160	stark fleckig, Fraßschäden
4	17. Jh.	160	teilweise schmutzig
5	ca. 1700	190	gesund
6	18. Jh.	170	gesund, mit Tinte gezogene Linien
7	Ende 18. Jh.	160	zerknittert, schmutzig
8	ca. 1800	200	stark rot und braun gefleckt
9	um 1800	150	teilweise schmutzig, Tintenflecke
10	1840	220	bedruckt

Zum Vergleich hatten wir 7 neue Papiere herangezogen, die Blattdicken von 50 bis 240  $\mu$  und Gewichte von 30 bis 220 g aufwiesen.

# Neue Papiere

Lfd. Nr.	Jahrgang	durchschnittliche Dicke in My	Anmerkungen
11	1967	50	Florpost orange 30 g 61/86
12	1967	90	Hartpost mit Wasserzeichen
13	1967	80	C-Stoff 80 g 61/86
14	1967	90	Polytonpapier 110 g 61/86
15	1967	140	Postkartenkarton 150 g
16	1967	200	Registerkarton 220 g 70/100
17	1967	240	Postkartenkarton 170 g 61/86

Wir untersuchten diese Papiere zunächst einmal äußerlich und stellten nach DIN 6164 die Hauptfarben der Papiere fest. Nach derselben Methode klassifizierten wir die vorhandenen Einschlüsse. Dies war wegen der Kleinheit der Einschlüsse eine schwierige und recht langwierige Arbeit.

Die Papiere zeigten folgende Ausgangsfarben:

Papier Nr.	Hauptanteil			Einschlüsse		
	Farbe	Sättigungsstufe	Dunkelstufe	Farbe	Sättigungsstufe	Dunkelstufe
1	2	1	1	3	5,5	1,5
2	1,5	1	1	3	5,5	1,5 - 4,5
3	2	1	1	3	4	3
4	1,5	1	1	4	4	4,5
5	3	1	1	4	4	3
6	2	2	1	3	4	1
vergilbte Tintenstriche						
7	1	1	1	minimal		
8	2	1	1	17	2	1
				3	4	1
				4	1	7
9	2	2	1	3	5,5	3
10	1,5	1	1	3	6,5	3

Druckreste im Grauton VI-VIII

Papier		Hauptanteil		Einschlüsse		
Nr.	Farbe	Sättigungs- stufe	Dunkel- stufe	Farbe	Sättigungs- stufe	Dunkel- stufe
11	5	2	1		keine	
12	Grauton I (weiß)				keine	
13	1	1	1	2	4	1
14	Grauton I (weiß), glänzend				keine	
15	Grauton I (weiß, etwas glänzend)				keine	
16	3	1,5	1		keine	
17	Grauton I (weiß, etwas glänzend)				keine	

Der nach der Bestrahlung vorgenommene neuerliche Farbttest zeigte zwischen den behandelten und den unbehandelten Proben keinerlei Farbunterschiede. Auch die Einschlüsse, deren Beurteilung allerdings zufolge ihrer Kleinheit und Unregelmäßigkeit besonders schwierig ist, zeigten keine Farbveränderungen. Weder alte noch neue Papiere wurden durch Bestrahlungsdosen bis zu 1.0 Mrad in ihrer Farbe verändert.

Um die Papiere für unsere Untersuchungen in gleicher Weise vorzubereiten, wurden Streifen von 15 x 170 mm gestanzt. Diese Streifen wurden dann in Plastiktaschen einzeln eingeschweißt.

Der mikroskopische Aufbau alter und neuer Papiere unterscheidet sich vom Ausgangsmaterial her grundsätzlich. Während früher Stroh, Leinen, Wolle und dergleichen als Ausgangsmaterial benutzt wurden, wird heute Zellstoff aus Laub- und Nadelhölzern zur Papierfabrikation verwendet. Das Ausgangsmaterial der Papiere konnte zudem früher nicht so homogen gemahlen werden, wie dies heute der Fall ist. Die Bestrahlung der uns zur Verfügung stehenden Proben alter und neuer Papiere, die bis zu 1 Megarad durchgeführt wurde, ergab keinerlei im Mikroskop sichtbare Veränderungen der Papierfasern.

Großen Raum nahm die Untersuchung der mechanischen Eigenschaften der Papiere vor und nach der Bestrahlung ein. Mit Hilfe einer Zugprüfmaschine untersuchten wir das Festigkeits- und Dehnungsverhalten, während wir die Falzbarkeit der Papiere mit dem Schopperschen Falzapparat durchführten.

Die Reißfestigkeit ist die auf den Anfangsquerschnitt des Probekörpers



bezogene Kraft im Augenblick des Reißens. Die Reißdehnung ist die auf die ursprüngliche Meßlänge des Probekörpers bezogene Änderung der Meßlänge im Augenblick des Reißens. Zusammen mit dem mikroskopischen und dem Farbbefund geben die Werte über Reißfestigkeit und Reißdehnung sowie die noch zu besprechende Doppelfalzzahl ein gutes Bild über die mögliche Qualitätsänderung der Papiere.

Für die Reißfestigkeit, die aus vier bis sechs Proben in einfacher Varianzanalyse berechnet wurde, gaben sich folgende Sicherungen zur Kontrolle (Sicherungen durch Sternchen angegeben):

Reißfestigkeit nach Bestrahlung

Papier Nr.	0.0 Mrad	0.1 Mrad	0.3 Mrad	0.5 Mrad	1.0 Mrad
2	263.75	246.50	243.17	243.00	255.60
3	45.86	78.75	58.75*	77.75	-
4	225.00	206.80	202.40	202.80	209.00
5	187.67	167.20	166.40	166.60	160.60
6	211.25	191.33	176.67	202.00	188.67
7	189.57	219.25	170.40 **	164.75***	198.75
8	230.80	209.17*	185.33	170.00	221.40
9	293.40	245.17	276.83*	285.83	297.20
10	190.20	188.17*	209.83	190.50	193.20
12	567.00	496.50	539.17	554.50	557.00
13	188.00	197.17	188.00*	188.83	193.60
14	307.50	256.67	425.17	243.83	264.60
15	695.25	717.00	713.17	689.83	707.80*
16	698.75	730.33	741.83	728.00	748.80*
17	173.75	165.17	168.00	167.00	162.00

Die Proben zeigten keine geordnete Zu- oder Abnahme der Festigkeit. Auch die gesicherten Abweichungen lassen keine Schlüsse auf irgendwelche generellen Festigkeitsänderungen zu. Es ist somit die Aussage berechtigt, daß eine Bestrahlung bis zu 1.0 Mrad die Festigkeit neuen oder alten Papiers nicht wesentlich beeinflußt.

Für die Reißdehnung, für die ebenfalls aus vier bis sechs Proben die Werte in einfacher Varianzanalyse berechnet wurden, ergaben sich die folgenden Werte:

## Reißdehnung nach Bestrahlung

Papier Nr.	0.0 Mrad	0.1 Mrad	0.3 Mrad	0.5 Mrad	1.0 Mrad
2	5.37	4.67	4.42*	4.67	3.90**
3	2.14	2.63	1.87	2.25	--
4	7.00	5.90	5.60	5.80	4.18**
5	3.67	3.80	4.70	4.40	4.76
6	7.35	5.83*	7.53	7.75	7.70
7	4.37	3.95	3.46**	3.55**	3.32
8	4.96	5.00	4.82	5.38	5.68*
9	8.24	7.20	7.58	8.27	7.86
10	4.60	5.13*	5.07*	5.02	5.04
12	3.28	3.07	3.33	2.95	2.90
13	2.90	3.17	2.75	2.42	3.00
14	3.75	4.00	4.33	3.42	3.50
15	2.90	3.37	3.37*	3.53**	3.66**
16	3.13	3.83**	3.50	3.50	3.50
17	4.75	4.08*	4.08*	4.58	3.70**

Auch die Prüfung auf Reißdehnung zeigt keinen generellen Trend der Dehnungszahlen in Korrelation zur Bestrahlung. Auch ein Vergleich der Reißfestigkeitswerte und der Reißdehnungswerte gestattet keinerlei Rückschlüsse, daß die Bestrahlung bis zu 1.0 Mrad die Festigkeit des Papiers verändert.

Durch die Doppelfalzzahl wird die Beanspruchung des Papiers bei Verarbeitung und Gebrauch simuliert und festgestellt. Durch sie wird der Widerstand des Papiers gegen fortgesetztes Falzen, Biegen und Knittern bestimmt. Die Prüfung erfolgt in dem schon erwähnten Schopper'schen Falzapparat. Die Papierstreifen werden dort an beiden Enden eingespannt, unter bestimmten Zug gestellt und dann so oft nach beiden Seiten um nahezu 180° gefaltet, bis sie zerreißen. Es standen uns für diese Prüfung jeweils 9 bis 10 Proben zur Verfügung. Auch hier wurden die Sicherungen gegenüber den Kontrollen in einfacher Varianzanalyse ermittelt.

## Doppelfalzzahl nach Bestrahlung

Papier-Nr.	0.0 Mrad	0.5 Mrad	1.0 Mrad
2	24.80	21.33	13.60
6	506.33	478.89	332.00
10	49.10	47.30	47.80
11	4.78	4.22	4.00
12	24.80	21.33	13.60
16	8497.90	7332.50***	5682.20***

Hier zeigte sich nun, daß die Faserfestigkeit bei Bestrahlungen von 0,5 und 1,0 Mrad bei allen Papieren abnahm. Eine Sicherung dieses Trends konnte allerdings nur bei dem Papier Nr. 16, einem Registerkarton mit 200 my Dicke und sehr hoher Doppelfalzzahl gesichert werden.

Man kann aus den gefundenen Zahlen schließen, daß die Abnahme der Festigkeit bis zu 0,5 Mrad in erträglichen Grenzen bleibt, während Dosen von 1,0 Mrad schon größere Festigkeitsverluste bringen können. Ein Vergleich der drei, die mechanischen Eigenschaften der Papiere charakterisierenden Tabellen lassen allerdings auch für die genannte höhere Dosis keine Korrelation erkennen.

Zusammenfassend kann man feststellen, daß unsere Arbeiten dem Ziele dienen, die Einsatzmöglichkeiten ionisierender Strahlen bei alten Hölzern und Papieren zu studieren. Wir wissen nun, daß die Abtötung holzerstörender Insekten und Pilze bei Strahlendosen von 0,2 bis 0,3 Mrad erfolgt. Zur Vernichtung, vor allem sporenbildender Bakterien und einzelner Schimmelpilze (wie *Aspergillus niger*) werden Dosen bis zu 1,5 Mrad benötigt. Die an alten und neuen Papieren durchgeführten Untersuchungen zeigten bis zu 1,0 Mrad keine Änderung der Farben. Mikroskopische Veränderungen konnten bis in höhere Bereiche nicht festgestellt werden. Reißdehnung und Reißfestigkeit leiden bis zu 1,0 Mrad nicht, während die Doppelfalzzahl bei Papieren, die mit 0,5 Mrad behandelt wurden, bereits eine Abnahme der Festigkeit erkennen ließ.

Hölzer zeigten bis zu Strahlendosen von 0,5 Mrad keine Abnahme der Härte. Fassungen und Kreidegrund blieben bei denselben Dosen unverändert.

Es scheint also möglich zu sein, altes Papier und Holz durch ionisierende Strahlen von schädlichen Insekten und Pilzen zu befreien, ohne die Eigenschaf-

ten des Materials wesentlich zu beeinflussen.

Problematisch wird die Frage bei der Bekämpfung von Schimmelpilzen und sporenbildenden Bakterien, jedoch spielen diese Gattungen zumindest bei Hölzern nur eine untergeordnete Rolle. Bei Papieren kann der Befall durch Schimmelpilze und Bakterien durch entsprechende Lagerung mit großer Sicherheit vermieden werden.

### Summary

The use of ionization rays in the restoration of old paper and wood.

The alteration of paper properties by gamma rays.

On principle it is possible to use gamma rays for the extermination of mould spores and for killing insects or spiders which destroy wood or paper. In studying the possibilities for the use of ionization rays on old wood and paper first new materials were tested on the alteration of their mechanical qualities by irradiation, then the potentiality of killing parasites was examined. Due to these gained informations it was finally possible to use gamma rays on old wood and paper. Analyses which were made on new and old paper with a dose of irradiation up to 1.0 Mrad showed no alteration of colours according to DIN 6164 and no alteration of the fibres could be seen under the microscope. Even the mechanical qualities of the paper did not show any influence in their tear resistance at this dose. Only the examination of the fold endurance showed a diminution of the fibre resistance at a dose of more than 0.5 Mrad.

It seems to be possible to free old paper or wood from mould spores or parasites by ionization rays without influencing the qualities of the material in an essential extent.

## Résumé

### Utilisation des rayons ionisants pour l'assainissement de vieux papiers et de vieux bois

#### Modifications des propriétés du papier sous l'action des rayons gamma

Il est en principe possible d'utiliser les rayons gamma pour se débarrasser des moisissures, des insectes ou des aranéides destructeurs du bois ou du papier. Pour étudier la possibilité de recourir aux rayons ionisants sur de vieux bois et de vieux papiers, on s'est tout d'abord servi de matériaux neufs. On a étudié les modifications de leurs propriétés mécaniques après exposition aux rayons et on a ainsi constaté la possibilité de détruire les parasites. Sur la base des résultats obtenus on a pu enfin utiliser les rayons gamma sur de vieux bois et de vieux papiers. Les examens effectués sur de vieux papiers et sur des papiers neufs n'ont permis de constater aucune modification des couleurs définies par les Normes Industrielles Allemandes (DIN) 6164 après une exposition à des radiations allant jusqu'à 1.0 Mrad, on n'a pas non plus constaté de modifications visibles au microscope des fibres du papier. L'examen des propriétés mécaniques du papier n'a pas non plus révélé d'influence sur la résistance ni sur l'extensibilité avant déchirure du papier. On a uniquement remarqué une diminution de la résistance des fibres après une exposition de 0,5 Mrad pour les doubles-plies. Il semble donc possible de débarrasser les vieux bois et les vieux papiers des insectes ou des champignons parasites à l'aide des rayons ionisants sans modifier considérablement les propriétés de ces matériaux.