

# **Snelheid van papierverval**

*De betrouwbaarheid van prognoses  
op basis van  
kunstmatige-verouderingstests*

Henk J. Porck

KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK  
DEN HAAG, MAART 1999



## **INHOUDSOPGAVE**

WOORD VOORAF / 5

SAMENVATTING / 6

VERANTWOORDING / 7

Achtergrond / 7

Vraagstelling / 7

Doelstelling en opzet / 7

THEORIE EN PRAKTIJK / 9

Principe en uitvoering van kunstmatige veroudering / 9

Methoden en toepassingen / 10

Natuurlijke en kunstmatige veroudering / 15

DISCUSSIE / 20

Evaluatie / 20

Conclusies / 22

Aanbevelingen / 22

LITERATUUR / 24



## WOORD VOORAF

Bij de totstandkoming van dit rapport is dankbaar gebruikgemaakt van de praktische en inhoudelijke hulp van W.J.Th. Smit (Afdeling Conservering & Optische Technieken). De andere leden van de begeleidingscommissie, C.B.J. de Wolf (Hoofdafdeling Collecties & Onderzoek) en H.J. Jansen (Afdeling Bibliotheekonderzoek & Wetenschappelijke Documentatie), hebben bijgedragen in de voorbereiding, planning en sturing. D. Erhardt (Smithsonian Center for Materials Research and Education, Washington DC, USA), H. Bansa (Bayerische Staatsbibliothek, München, Duitsland) en J.C.M. van Eijndhoven (Rathenau Instituut, Den Haag) worden bedankt voor hun constructieve bijdrage aan de discussie. Overige zinvolle suggesties zijn gedaan door J. Down (Canadian Conservation Institute, Ottawa), V.D. Daniels (British Museum Conservation Department, Londen) en R.L. Feller (voormalig medewerker van het Carnegie Mellon Research Institute, Pittsburgh).

S. Pauk (Afdeling Bibliotheekonderzoek & Wetenschappelijke Documentatie, KB) en J.B.G.A. Havermans (TNO Papier & Karton, Delft) hebben het manuscript kritisch doorgelezen en waardevolle kanttekeningen gemaakt.

Het ministerie van OC&W subsidieerde deze studie, in het kader van de ondersteuning van het nationale programma voor conservering van bibliotheekmateriaal Metamorfoze. De begeleiders en opdrachtgevers worden gewaardeerd voor hun geduld en begrip ten aanzien van de opgetreden vertraging in deze studie over snelheid. Ten slotte wordt de hoop uitgesproken dat deze veroudering niet een afbraak maar een toename in rijpheid opgeleverd heeft in het eindproduct.

Pure laster is het.  
De tand des tijds bestaat niet eens.  
De tijd heeft geen tanden  
De tijd doet niets behalve verstrijken  
Wat knaagt dat zijn gewoon de muizen  
en de wormen en de schimmels  
en de gewetens.

Midas Dekkers (1997). *De vergankelijkheid*. Contact, Amsterdam, p.136

## SAMENVATTING

Door middel van kunstmatige, of versnelde veroudering wordt getracht om via extreme omgevingscondities in een klimaatkast het natuurlijke verouderingsproces van een materiaal te versnellen. Kunstmatige-verouderingstests worden veelvuldig gebruikt om de houdbaarheid van papier, c.q. de snelheid van het verval van papier te bepalen, en om het effect van een conserveringsbehandeling op lange termijn te kunnen voorspellen. Toch bestaan er nog veel vragen over de daadwerkelijke prognostische waarde van deze tests. Het onderhavige rapport beoogt, op basis van de vakliteratuur en discussie met deskundigen, een overzicht te geven van de huidige stand van zaken met betrekking tot de mogelijkheden en beperkingen van kunstmatige-verouderingsanalyse. De doelgroep betreft niet alleen de direct betrokken conserveringsonderzoekers, maar ook de functionarissen die verantwoordelijk zijn voor het uitwerken van een conserveringsbeleid.

Vanaf de jaren vijftig is een zeer grote verscheidenheid aan kunstmatige-verouderingsmethoden voor papier ontwikkeld, en is het toepassingsgebied van deze methoden in de praktijk van de conservering van archief- en bibliotheekmateriaal bijzonder breed uitgegroeid. Desondanks vindt er slechts op beperkte schaal fundamenteel en empirisch onderzoek plaats naar de betrouwbaarheid van kunstmatige-verouderingsanalyses. Een evaluatie van dit onderzoek toont aan dat de essentiële vragen hieromtrent nog niet bevredigend zijn beantwoord, en dat de uitkomsten van dit onderzoek nog geen algemeen geaccepteerde standaardmethode hebben opgeleverd. De meningen zijn verdeeld, en er is onenigheid over de meest geschikte condities waaronder de kunstmatige veroudering dient plaats te vinden.

Geconcludeerd wordt dat de huidige kunstmatige-verouderingstests geen betrouwbare gegevens opleveren voor het bepalen van de snelheid van het verval van papier, en dat zinvolle toepassingen van deze tests in het gunstigste geval slechts kunnen leiden tot relatieve uitspraken over het te verwachten effect van conserveringsbehandelingen, en over de rol van de diverse degradatie-reacties bij het proces van papierverval.

Naast enkele praktische aanbevelingen en suggesties voor alternatieve wijzen van benadering van de vraag hoe snel papier verval, wordt voorgesteld om, bijvoorbeeld onder auspiciën van de CPA/ECPA, een bijeenkomst te organiseren over dit thema, teneinde de huidige patstelling en situatie van onzekerheid en twijfel te doorbreken, en een agenda op te stellen voor een gezamenlijke aanpak van de problematiek.

## VERANTWOORDING

### Achtergrond

Bij het conserveringsonderzoek wordt veelvuldig gebruik gemaakt van methoden die het natuurlijk verval van archief- en bibliotheekmateriaal beogen te versnellen. Hiermee proberen onderzoekers inzicht te krijgen in de houdbaarheid van bepaalde materialen, de langetermijneffecten van conserveringsbehandelingen en de mechanismen van specifieke vervalprocessen.

Bij deze z.g. kunstmatige - of versnelde - verouderingsmethoden wordt doorgaans een bepaald materiaal gedurende een zekere periode in een klimaatkast blootgesteld aan extreme omgevingscondities, waarbij de veranderingen die in het materiaal optreden, worden gemeten. Uit de meetresultaten tracht men vervolgens af te leiden met welke snelheid het betreffende materiaal onder gewone, natuurlijke bewaaromstandigheden veroudert. Door vergelijking van de uitkomsten met onbehandeld referentiemateriaal probeert men vast te stellen wat het te verwachten effect is van een bepaalde conserveringsbehandeling. Daarnaast kan een kunstmatige-verouderingstest worden ingezet om de fysisch-chemische reacties van het natuurlijke vervalproces beter te kunnen onderzoeken of na te bootsen.

### Vraagstelling

Hoewel kunstmatige-verouderingstests de afgelopen decennia algemeen als onderzoeksinstrument worden toegepast, bestaan er toch nog altijd serieuze vragen ten aanzien van de betrouwbaarheid van deze tests. Zowel in de vakliteratuur als in het meer informele overleg binnen de kring van betrokken onderzoekers wordt er tot op de dag van vandaag nog volop gediscussieerd over de werkelijke voorspellende waarde van kunstmatige veroudering, met name ten aanzien van het materiaal papier. Men stelt vragen als:

- Zijn de tegenwoordige (standaard)methoden voor kunstmatige veroudering, die in eerste instantie zijn ontwikkeld voor moderne papieren, wel geschikt om papier te onderzoeken dat reeds een - afhankelijk van de bewaarcondities nog variërend - natuurlijk vervalproces heeft ondergaan?
- Zijn kunstmatige-verouderingsexperimenten geschikt voor het vaststellen van de werkelijke snelheid van het natuurlijke verval van papier, en dus daadwerkelijk te gebruiken voor het maken van betrouwbare prognoses?
- Is de toepassing van een kunstmatige-verouderingsanalyse toegestaan voor de bepaling van het kwantitatieve effect van een conserveringsbehandeling? Of kunnen er alleen relatieve uitspraken worden gedaan en kwalitatieve conclusies worden getrokken?
- In hoeverre zijn de reactiemechanismen van de papiervervalprocessen die optreden bij kunstmatige veroudering identiek aan die onder normale, natuurlijke bewaaromstandigheden?

### Doelstelling en opzet

Het ontbreken van een consensus met betrekking tot bovengenoemde vragen betekent een ernstig probleem, zowel vanuit fundamenteel wetenschappelijk oogpunt als voor de praktijk van het conserveringsbeleid. Voor de onderbouwing en planning van conserveringsactiviteiten en het reserveren van financiële middelen is het immers van belang om een betrouwbare

indruk te hebben van de snelheid waarmee het verval van papier voortschrijdt, en om een realistisch beeld te krijgen van de aard en omvang van het effect van een bepaalde conserveringsbehandeling of -maatregel op de middellange en lange termijn.

Om deze redenen heeft de Koninklijke Bibliotheek het initiatief genomen om binnen haar onderzoeksactiviteiten in het kader van het nationale conserveringsprogramma Metamorfoze aandacht aan deze problematiek te besteden. Hierbij stond een brede doelgroep voor ogen, die naast direct betrokken conserveringsonderzoekers bestaat uit functionarissen die verantwoordelijk zijn voor het conserveringsbeleid binnen de archief- en bibliotheekwereld.

De doelstelling van het onderhavige rapport is het geven van een actueel overzicht van de stand van zaken ten aanzien van het onderzoek naar en de wetenschappelijke discussie over de theoretische basis en praktische toepassingsmogelijkheden van kunstmatige veroudering. In de afsluitende discussie zullen de mogelijkheden voor het bepalen van de snelheid van papierverval, de betrouwbaarheid van deze mogelijkheden en de andere toepassingen van kunstmatige-verouderingstests kritisch worden geëvalueerd. Ten slotte zullen enkele conclusies worden getrokken en aanbevelingen worden gedaan.

Deze studie is tevens bedoeld als werkmateriaal voor de commissie 'kunstmatige veroudering' van de Werkgroep Archief- en Boekconservering, die door het Instituut Collectie Nederland (Amsterdam) is ingesteld ten behoeve van uitwisseling en overdracht van kennis en ervaring tussen restauratoren en conserveringsonderzoekers.

Bij het opstellen van het rapport is naast de relevante vakliteratuur gebruik gemaakt van de mogelijkheden van de digitale snelweg om over het betreffende thema te discussiëren met terzake deskundige collega's uit binnen- en buitenland. Het peilen van de opinies van deze onderzoekers - waarbij onder meer gebruik werd gemaakt van een 'aging newsletter' - verliep evenwel zeer moeizaam. De heersende onzekerheid en de verdeeldheid van meningen op dit specifieke terrein, die wellicht debet zijn aan deze geringe respons, komen ook in de vakliteratuur duidelijk naar voren. Mede hierdoor werd de voltooiing van dit rapport bemoeilijkt.

## THEORIE EN PRAKTIJK

### Principe en uitvoering van kunstmatige veroudering

Net als alle andere organische materialen in archieven en bibliotheken, is papier in principe onderhevig aan een aantal fundamentele degradatieprocessen. Onder normale bewaaromstandigheden verlopen deze bijzonder langzaam, maar op den duur leiden ze toch onvermijdelijk tot de bekende verouderingseffecten, zoals vergeling en vermindering van sterkte.

Bij de meest algemene reactie, de hydrolytische afbraak van de cellulosemoleculen waaruit papier is opgebouwd, speelt de aanwezigheid van water (vocht) een essentiële rol. De snelheid van het hydrolyseproces is volgens reactie-kinetische basisprincipes afhankelijk van de temperatuur, de zuurgraad (pH) en de hoeveelheid vocht die in het materiaal aanwezig is. Hierbij is het vochtgehalte van een organisch materiaal weer afhankelijk van de relatieve luchtvochtigheid van de omgeving waarin het materiaal wordt bewaard.

Een tweede vervalproces, dat bij afwezigheid van vocht overheerst, is de oxidatieve afbraak van cellulose, waarvoor met name de zuurstof uit de omgevingslucht verantwoordelijk is.

Zonder vocht en zuurstof zal een derde mechanisme de overhand krijgen: de z.g. thermische degradatie. Dit laatste vervalproces betreft het verbreken van chemische bindingen als gevolg van de temperatuur-afhankelijke bewegingen van de cellulosemoleculen en de atomen waaruit deze moleculen zijn opgebouwd.

**Arrhenius-tests** De drie bovengenoemde degradatiereacties treden naast elkaar op in het natuurlijke verouderingsproces. Hoewel deze reacties onderling grote verschillen in snelheid vertonen, wordt aangenomen dat de snelheid van het vervalproces in zijn geheel volgens een bepaalde wetmatige relatie afhankelijk is van de temperatuur, mits andere omgevingscondities constant blijven. Hierdoor lijkt het mogelijk om uit de resultaten van kunstmatige veroudering bij hoge temperatuur af te leiden hoe groot de snelheid van het vervalproces zal zijn bij normale, koelere omstandigheden.

De keuze voor het gebruik van verhoogde temperaturen hangt samen met het feit dat in het algemeen een reactie bij hogere temperaturen sneller verloopt, en daardoor het effect - in dit verband dus het verlies aan sterkte-eigenschappen van het papier - eerder meetbaar is dan bij kamertemperatuur. Dergelijke kunstmatige verouderingsexperimenten worden wel 'Arrhenius-tests' genoemd. Bij deze tests wordt de relatieve luchtvochtigheid constant gehouden, de temperatuur gevarieerd, en wordt met regelmatige tussenpozen een karakteristieke eigenschap van het papier, zoals het vouwgetal of de doorscheurweerstand, gemeten. Door bij verschillende temperaturen (T) te bepalen hoeveel dagen (d) er nodig zijn om een van tevoren vastgestelde mate van papierverval (bijvoorbeeld een bepaald percentage aan verlies van het vouwgetal) te bereiken, kan vervolgens een 'benodigde tijd'-versus-temperatuurgrafiek worden gemaakt, een z.g. Arrhenius-grafiek ('Arrhenius plot'). Indien bij deze grafiek de factor tijd in een logaritmische schaal (log d) wordt uitgezet en de temperatuur in een reciproque schaal (1/T), zal er theoretisch een rechte lijn (een rechtevenredig verband) ontstaan. Door nu simpelweg deze rechte lijn te verlengen (extrapoleren) naar lagere temperaturen - dat wil zeggen beneden de temperaturen waarbij de kunstmatige veroudering is uitgevoerd - kan uit de Arrhenius-grafiek worden afgelezen hoeveel tijd er nodig zou zijn om dezelfde mate van papierverval te krijgen bij een normale temperatuur. In feite kan op deze wijze de snelheid van papierverval bij elke willekeurige temperatuur worden voorspeld, dus ook bijvoorbeeld bij gekoelde opslagcondities.

**Andere toepassingen** Het principe van het versnellen van chemische reacties wordt behalve

bij de Arrhenius-test vooral gebruikt om het langetermijneffect van een bepaalde conserverings-behandeling te voorspellen. Hierbij wordt niet in eerste instantie geprobeerd om het effect op de houdbaarheid van het behandelde papier te kwantificeren, maar wordt door middel van vergelijking van de effecten van kunstmatige veroudering op behandelde papieren en op onbehandelde referenties een uitspraak gedaan of de conserveringsbehandeling al dan niet een significant voordeel oplevert voor de verouderingsbestendigheid van het papier. In dit geval wordt doorgaans niet bij verschillende hoge temperaturen gewerkt, noch worden met verschillende tussenpozen metingen verricht. Er wordt een vaste, al dan niet gestandaardiseerde instelling van verouderingscondities gekozen en er worden alleen metingen vóór en na de verouderingstest uitgevoerd. De praktijkvoorbeelden die in het volgende hoofdstuk aan de orde komen, laten zien dat hierbij niet alleen een verhoging van de temperatuur wordt gebruikt om de vervalprocessen te versnellen. Er worden ook andere 'stimulerende' omstandigheden aangewend.

Ten slotte wordt ten behoeve van fundamenteel onderzoek naar een bepaalde vorm van papierverval getracht om door het versnellen van de vervalprocessen de betreffende schadevorm te simuleren. Door deze benadering is het mogelijk om de relatie tussen de verschijningsvorm van het verval en de hieraan ten grondslag liggende degradatiereactie(s) beter te bestuderen. Daarnaast biedt een onder laboratoriumomstandigheden gesimuleerde schadevorm een geschikt alternatief voor het gebruik van authentiek collectiemateriaal voor het uitwerken van conserveringsmethoden.

### **Methoden en toepassingen**

De literatuur op het terrein van het conserveringsonderzoek laat een zeer grote verscheidenheid zien aan kunstmatige-verouderingstests (Neimo 1964; Pravilova 1964; Rahn 1974; Brown 1991). In de eerste plaats lopen de doelstellingen en daardoor ook de wijzen van uitvoering van de tests uiteen (Feller 1994a). Hoewel vaak niet expliciet in de onderzoeksrapportages aangegeven, zijn de drie hierboven genoemde werkwijzen te onderscheiden: Arrhenius-tests, vergelijkende studies en simulatie-experimenten. Hierbinnen zijn weer verschillende concrete toepassingen aan te geven.

In de tweede plaats verschillen de verouderingsmethoden zelf: de condities waaronder de kunstmatige veroudering plaatsvindt in de hiervoor speciaal ontworpen klimaatkasten. Hierbij zijn enkele internationale en nationale standaardmethoden (normen) te onderscheiden:

- ISO-normen van de International Standards Organization (ISO 1982, 1985, 1986a,b);
- TAPPI-normen van de Technical Association of the Pulp & Paper Industry (TAPPI 1963, 1985a,b);
- ASTM-normen van de American Society for Testing and Materials (ASTM 1971,1987);
- NEN-normen van het Nederlandse Normalisatie-instituut (NEN 1983);
- CSN- en AFNOR NFQ-normen van normalisatie-instituten in respectievelijk voormalig Tsjecho-Slowakije en Frankrijk (Hanus 1987,1995; Daniel 1992).

Naast deze gestandaardiseerde methoden wordt veel vaker gebruik gemaakt van afzonderlijke, door onderzoeksinstituten zelf ontwikkelde 'huismethoden'. Op deze plaats moet erop gewezen worden dat verschillende methoden van kunstmatige veroudering die op het terrein van de papierconservering worden gebruikt, afgeleid zijn van procedures die binnen de papierindustrie zijn ontwikkeld ten behoeve van het onderzoeken en vervaardigen van speciale materialen, zoals hitte- en vuurbestendige papier- en kartonsoorten (Back 1963, 1967a,b; Wink 1968; Fung 1969).

In de tabel op de volgende pagina's wordt, zonder te streven naar volledigheid, een chronologisch overzicht gegeven van een aantal concrete en illustratieve voorbeelden van in de

afgelopen decennia gehanteerde kunstmatige-papierverouderingsmethoden en van de bijbehorende toepassingsgebieden. Bij de methoden wordt achtereenvolgens vermeld de temperatuur ( $^{\circ}\text{C}$ ), de relatieve luchtvochtigheid (RV in %), de aanwezigheid van andere 'stimuli' (belichting, bestraling, aanwezigheid van gassen als zuurstof ( $\text{O}_2$ ), zwaveldioxide ( $\text{SO}_2$ ), stikstofoxiden ( $\text{NO}_x$ ), stikstofdioxide ( $\text{NO}_2$ ), en, indien aangegeven, de duur van de behandeling in dagen (d). In het geval van een standaardmethode worden deze gegevens tussen haakjes vermeld, voorafgegaan door de code van de betreffende norm. Als er meerdere verouderingsmethoden in combinatie gehanteerd zijn, worden deze gescheiden door een puntkomma (;) aangegeven.

Verdere toelichting: notatie 100/150 betekent: 100 dan wel 150; 100-150 betekent: verschillende waarden tussen 100 en 150. Bij het ontbreken c.q. niet aanduiden van gegevens over de relatieve luchtvochtigheid, moet er rekening mee gehouden worden dat de gebruikte klimaatkasten bij een hoog ingestelde temperatuur ( $>90^{\circ}\text{C}$ ) te vergelijken zijn met geventileerde ovens, en er onder die omstandigheden gewoonlijk een RV heerst tussen 0% en 5%.

KUNSTMATIGE-VEROUDERINGSMETHODEN EN TOEPASSINGEN / 1

<b>Methode</b>	<b>Toepassing</b>	<b>Referentie</b>
20°C, begassing met SO <sub>2</sub> , 7d	invloed van luchtverontreinigende stoffen	Langwell 1955
80°C, 70%RV, 5-30d	effect papierversteviging met polymethyl acrylaat	Yabrova 1958b
70°C, 50%RV, 10d; 100°C, 0/50%RV, 3d	houdbaarheid van diverse papiersoorten	Fink 1965
90°C, 0/50%RV, verschillende [O <sub>2</sub> ], 1-24d	mechanisme van veroudering, rol van zuurstof	Parks 1971a, 1971b, 1972
105-150°C, 0%RV, verschillende [O <sub>2</sub> ], <1d	mechanisme van veroudering, rol van zuurstof	Medved 1973
90°C, 13d; 35°C, belichting, 12d; 90°C, radioactieve straling	effect (zelf)klevende tapes	Skall 1974
100°C, 0/100%RV, verschillende [O <sub>2</sub> ], 1-10d	rol van zuurstof en vocht bij veroudering	Arney 1979
90°C, 50/100%RV, 7-35d	invloed van wassen met water	Tang 1979
60-120°C, 100%RV, verschillende [O <sub>2</sub> ], 1-10d	rol van zuurstof en temperatuur bij veroudering	Arney 1980
90°C, 100%RV, verschillende pH en [O <sub>2</sub> ], 1-28d	rol van zuurstof en zuurgraad [pH] bij veroudering	Arney 1981
90°C, 50%RV, 7-21d	vervaardiging testmateriaal, invloed RV op vouwgetal	Sclawy 1981
70-100°C, 2/50%RV, 3-179d	mechanisme van veroudering	Mendenhall 1981
60-165°C; belichting en begast met SO <sub>2</sub>	mechanisme van kopervraat	Banik 1982
100°C, 7d	invloed van reiniging met gompoeder	Pearlstein 1982
CSN-500375[103°C,3-24d]	mechanisme van veroudering	Hanus 1987

<b>Methode</b>	<b>Toepassing</b>	<b>Referentie</b>
80°C, 10-81d, papiermonsters in afgesloten glazen buizen	invloed historische papier-fabricage technieken	Barrett 1989
ISO-5630/3 [80°C, 65%RV, 12d]	houdbaarheid van diverse papiersoorten	Ernst 1989
90°C, 40/60%RV (wisseling RV om de 12 uur), 1-32d	invloed opslag bij wisselende bewaarcondities	Shahani 1989
90°C, belichting, 3-30d	effect cellulose-ethers op verkleuring	Feller 1990
90°C, 56%RV, 16d	effect cellulose-ethers op vouwgetal, zuurgraad en vouwgetal	Baker 1991
70°C, 0%RV, 35/42d; behandeling met auto-uitlaatgassen	invloed van gelatine-lijming	Barrett 1992
ISO-5630/3 [80°C, 65%RV, 12d]; 30°C, 50%RV, belichting, ca.6d	invloed van optische witmakers	Flieder 1992; Leclerc 1993a
90°C, 60%RV, 7d; 28°C, 80%RV, begast met SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , 7d	effect massaontzuring, effect luchtverontreiniging op ontzuurd papier	Daniel 1992
ISO-5630/1 [105°C, 3d]	invloed van opslag in een inert gas (argon)	Havermans 1992
90°C, 50%RV, 28d	vervaardiging testmateriaal, effect conservering transparant-papier	Hofmann 1992; Reyden 1992
80°C, 60%RV, 7-28d; gamma bestraling	simulatie verval, vervaardiging restauratie-papier	Inaba 1992
90°C, 55%RV, 40d	vervaardiging testmateriaal voor niet-destructieve analyse	Priest 1992
90°C, 50%RV, 20d 1992	invloed van bleking door middel van vocht en licht	Schaeffer
80°C, 95%RV, 1-32d; 22°C, 65%RV, met SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , 1-28d	effect massaontzuring, effect luchtverontreiniging op ontzuurd papier	Banik 1993

<b>Methode</b>	<b>Toepassing</b>	<b>Referentie</b>
50°C, 65%RV, 10d; 30°C, 50%RV, belichting, ca.12d	houdbaarheid fotokopieën	Leclerc 1993b
90°C, 65%RV, 30d; 30°C, 50%RV, belichting, ca.12d	stabiliteit van drukinkten	Maraval 1993
90/50°C, 80/35%RV (wisseling T, RV om de 6 uur), 6d	effect van insealen in polyesterfilm	Pauk 1993
60/100°C, 1-100d	effect wassen met water op arabische gom als bindmiddel	Daniels 1993
50-90°C, 30-38%RV, 2-1372d	mechanisme van verkleuring, rol van temperatuur en RV	Vitale 1993
ISO-5630/3 [80°C, 65%RV, 6-24d]	NEN-2728 en DIN-6738 normen voor permanent houdbaar papier	Berkhout 1994
90°C, 50%RV, 12d; 90°C, 50%RV, met SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , 4d	effect massaontzuring, effect luchtverontreiniging op ontzuurd papier	Havermans 1994,1995
NEN-1815 [105°C, 3-24d]; 1994 ISO-5630/3 [80°C, 65%RV, 3-24d]	effect van desinfectie met ethyleenoxide en gamma bestraling	Hofenk
80°C, 50%RV, 14-99d	vervaardiging testmateriaal, effect massaontzuring	Kaminska 1994
90°C, 50%RV, 12d	effect van massaontzuring met Battelle en DEZ systeem	Pauk 1994
CSN-500375 [103°C, 24d]	invloed van opslag in dozen	Hanus 1995, 1996
90°C, 50%RV, 12d	effect van massaontzuring met Bookkeeper systeem	Pauk 1996a
90°C, 50%RV, ca. 21d	effect van diverse verstevigingsmethoden	Bansa 1997
ISO-5630/3 [80°C, 65%RV, 6-24d]	invloed papiersamenstelling en -fabricage techniek	Letnar 1997
90°C, 35/80%RV (wisseling om de 3 uur)	simulatie inktvraat, effect van behandelingsmethoden	Neevel 1997

## **Natuurlijke en kunstmatige veroudering**

Het vertrouwen in de toepassing van kunstmatige papierveroudering is in principe gebaseerd op de aanname dat deze toepassing theoretisch mogelijk is. Deze hypothese dient echter in de praktijk te worden geverifieerd. Een dergelijke verificatie biedt daarbij de mogelijkheid tot een bijstelling of aanpassing van de gehanteerde kunstmatige-verouderingstest. Hiermee kan de relevantie van de test voor een voorspelling van het natuurlijke verouderingsproces worden geoptimaliseerd. Hieronder wordt, aan de hand van de vakliteratuur en discussie met deskundigen, een overzicht gegeven van de ontwikkelingen en huidige stand van zaken op dit terrein.

Reeds aan het einde van de negentiende eeuw werd gewezen op de mogelijkheid om het natuurlijke verval van papier kunstmatig te versnellen door middel van verhitting in een droge atmosfeer (Herzberg 1899). In 1926 vergeleek het Swedish Government Testing Institute de houdbaarheid van verschillende papieren na blootstelling aan verhoogde temperaturen en zonlicht (Hall 1926). Aan het einde van de twintiger jaren toonde onderzoek van het National Bureau of Standards (USA) aan dat droge lucht bij 100 °C de sterkste en meest reproduceerbare verouderingseffecten opleverde, hetgeen de basis legde voor de sindsdien vaak gebruikte kunstmatige-verouderingsmethode van 72 uur bij 100 °C (Rasch 1929). Latere empirische studies, zoals bij voorbeeld door Wilson e.a. (1955) en Barrow (1963), suggereerden dat deze kunstmatige veroudering overeenkomt met een veroudering tussen 18 en 25 jaar bij kamertemperatuur. De toepasbaarheid van een droge, thermische kunstmatige-verouderings-test voor het voorspellen van de houdbaarheid van papier bleek eveneens uit andere studies uit de vijftiger en zestiger jaren (Royen 1958; Barrow 1964).

Er zijn maar weinig studies verricht naar andere mogelijkheden om natuurlijke veroudering te simuleren (Kantrowitz 1940; Launer 1943). Hieruit blijkt dat hittebehandeling over het algemeen werd geaccepteerd als een goede methode. In dit verband is het interessant om te vermelden dat binnen het nieuwe onderzoeksprogramma van de American Society for Testing and Materials (ASTM) juist aandacht besteed wordt aan het ontwikkelen van kunstmatige-papierverouderingstests waarbij belichting en begassing met luchtverontreinigende stoffen ingezet zullen worden (Arnold 1996).

In de loop van de jaren vijftig werd het steeds duidelijker dat bij de tot dan toe gehanteerde tests met droge verhitting geen rekening gehouden werd met het feit dat het verouderingsproces onder laboratoriumomstandigheden in wezen afwijkt van het natuurlijke verouderingsproces bij normale relatieve luchtvochtigheden. Daardoor kunnen deze tests tot verkeerde conclusies leiden (Richter 1956; Yabrova 1958a; Graminski 1970,1979; Wilson 1971; Arney 1979). Daarnaast rezen er steeds meer twijfels over de zin van kunstmatige veroudering die slechts bij één verhoogde temperatuur wordt uitgevoerd. Men onderkende dat de reacties van het papiervervalproces niet alle op dezelfde wijze gerelateerd hoeven te zijn aan de temperatuur, hetgeen samenhangt met mogelijke verschillen in activeringsenergie: de minimale energie die nodig is om een reactie te laten verlopen (Stamm 1956; Royen 1957; Browning 1968,1969; Gray 1969,1977; Smith 1970; Graminski 1979; Arney 1980; Bansa 1984).

In eerste instantie leidden de genoemde vragen tot de overtuiging dat een benadering volgens de Arrhenius-principes - kunstmatige veroudering bij een bepaalde, meer realistische, waarde van de relatieve luchtvochtigheid en bij verschillende temperaturen, en extrapolatie van de uitkomsten naar kamertemperatuur - uit wetenschappelijk oogpunt beter verantwoord zou zijn (Baer 1974; Lindström 1989). Over de meest geschikte waarde van de temperatuur en de relatieve luchtvochtigheid bestaat echter nog steeds onenigheid, met als gevolg dat de variatie

in gebruikte condities bijzonder groot is. In een literatuuroverzicht uit 1964 wordt de volgende spreiding aangegeven: temperaturen tussen 22 °C en 160 °C, relatieve luchtvochtigheid variërend tussen 1% en 100%, en een behandelingsduur tussen 1 uur en 180 dagen (Neimo 1964).

**Problemen** Tot op de dag van vandaag zijn de vragen over de temperatuur en de relatieve luchtvochtigheid bij kunstmatige veroudering nog actueel. In dit verband is vermeldenswaard dat de vaak gehanteerde vuistregel dat een verhoging van de temperatuur met 10 °C leidt tot een verdubbeling van de reactiesnelheid, in het geval van het degradatieproces van papier niet van toepassing wordt geacht (Erhardt 1989). Daarnaast wordt beargumenteerd dat het vermoedelijk eerder gaat om de absolute hoeveelheid vocht in het papier dan om de relatieve luchtvochtigheid van de omgevingslucht (Bansa 1998b; Down 1998).

Er is bovendien sprake van een ander, fundamenteel probleem. Het toepassingsgebied van de Arrhenius-vergelijking betreft de reactiekinetiek van chemische omzettingen, maar de complexe eigenschappen van papier die bij kunstmatige veroudering vaak worden geregistreerd - zoals het vouwgetal, de doorscheurweerstand en de verkleuring van papier - kunnen eigenlijk niet op een eenvoudige, eenduidige wijze in verband worden gebracht met de chemische samenstelling van het betreffende papier.

Desondanks zijn er ook aanwijzingen gevonden dat onder bepaalde voorwaarden de snelheid van de verandering die een dergelijke (fysische) papiereigenschap ondergaat, toch gerelateerd kan worden aan de chemische processen die tijdens de kunstmatige veroudering plaatsvinden. Er wordt in de praktijk dan ook van uitgegaan dat de principes van de chemische reactiekinetiek wel toegepast kunnen worden (Luner 1969; Lindström 1989; Zou 1996; Erhardt 1998).

**Complexiteit van het materiaal** Dat er haken en ogen blijven zitten aan het toepassen van kunstmatige-verouderingstests voor papier, wordt in de vakliteratuur ook toegeschreven aan de complexiteit van het materiaal. Bij papier hebben we niet alleen te maken met uit cellulose bestaande plantaardige vezels, maar vaak ook met andere verbindingen als lignine, vulmiddelen, witmakers en kleur- en lijmstoffen. Papier is dus eigenlijk meer als een z.g. multi-component systeem te beschouwen dan als een enkelvoudige stof. Dit levert grote complicaties op bij de interpretatie van de uitkomsten van een kunstmatige-verouderingstest (Baer 1977; Down 1998).

Een andere complicerende factor is de wijze waarop het papier aan de verouderingscondities is blootgesteld. Zo zijn door onderzoek van de Library of Congress (Shahani 1989, 1991, 1993, 1994), het Instituut Collectie Nederland (Roelofs 1994), de Koninklijke Bibliotheek (Pauk 1996b) en de Nationale Bibliotheek van Australië (Brandis 1997) duidelijk aanwijzingen gevonden dat papier in stapels, c.q. boeken, een ander verouderingsgedrag vertoont dan losse vellen papier. Bij sommige van deze studies is vastgesteld dat, zowel bij kunstmatige als natuurlijke veroudering, in het centrum van een stapel papier een sterker verval optreedt dan aan de randen. Enkele onderzoeken hadden al eerder aangetoond dat bij verscheidene bibliotheekcollecties, op locaties met een relatief geringe luchtverontreiniging, het papier van boeken in het midden van de pagina's zuurder is (een lagere pH heeft), dan aan de randen (Smith 1972; Porck 1990). Het 'stack-versus-single sheet'-fenomeen bij papierveroudering wordt van groot belang geacht en zal in de toekomst nader worden onderzocht (Down 1998).

**Vergelijking kunstmatige en natuurlijke veroudering** Er zijn slechts weinig onderzoeken verricht waarbij een directe vergelijking is uitgevoerd tussen kunstmatige en natuurlijke

veroudering van papier (Wilson 1955,1980; Royen 1957,1958). In 1928 testte het National Bureau of Standards diverse chemische en fysisch-mechanische eigenschappen van verschillende schrijfpapieren met kunstmatige veroudering (100 °C, 3 dagen), terwijl een deel van het originele materiaal in een doos werd bewaard voor later onderzoek. Uit dit latere onderzoek werd geconcludeerd dat er alleen in kwalitatieve zin een overeenkomst was aan te geven tussen de uitkomsten van de kunstmatige veroudering en het natuurlijke verval dat in de tussentijd had plaatsgevonden (Wilson 1955).

In een recentere studie vergeleken Wilson en Parks (1980) de veranderingen in de papiereigenschappen na 36 jaar natuurlijke veroudering met de uitkomsten van kunstmatige veroudering (100 °C, 3 dagen), die in 1937 op het oorspronkelijke materiaal was toegepast. De veranderingen in vouwgetal, doorscheurweerstand, en enkele chemische karakteristieken bij het natuurlijk verouderde papier bleken bij bepaalde soorten papier redelijk goed overeen te komen met die van het kunstmatig verouderde papier. Bij andere papersoorten werden echter grotere afwijkingen aangetroffen.

Een elegante benadering van de vergelijking tussen kunstmatige en natuurlijke veroudering is te vinden in het lopende onderzoek van D. Erhardt van het Smithsonian Center for Materials Research and Education (SCMRE) in Washington, USA (Erhardt 1987,1988,1993,1995). Zijn uitgangspunt is dat de resultaten van kunstmatige veroudering alleen kunnen leiden tot betrouwbare uitspraken ten aanzien van natuurlijke veroudering, indien de toegepaste kunstmatige-verouderingsmethode het papiervervalproces versnelt zonder dit proces fundamenteel te veranderen. Dit houdt in dat elke afzonderlijke reactie die betrokken is bij het verval met dezelfde factor dient te worden versneld, zodat de verhouding tussen de reactiesnelheden constant blijft. Op basis van uitgebreid vergelijkend onderzoek naar de effecten van verschillende kunstmatige-verouderingsmethoden, waarbij de verschillende degradatiereacties afzonderlijk werden gevolgd met zeer gevoelige meetapparatuur, is een interessante conclusie getrokken: de aard van het papiervervalproces is meer afhankelijk van de relatieve luchtvochtigheid (RV) dan van de temperatuur. Door het verhogen van de temperatuur bij constant gehouden RV, wordt het vervalproces zonder fundamentele wijzigingen versneld, zodat equivalente verouderingsstadia kunnen worden bereikt door eenvoudig de duur van de kunstmatige verouderingsbehandeling aan te passen. Bij wijziging van de RV verandert echter de verhouding tussen de snelheden van de individuele reacties en dientengevolge de verdeling van reactieproducten zodanig, dat het onmogelijk is om equivalente verouderingsstadia te verkrijgen. Door nu deze conclusie uit onderzoek naar verschillende kunstmatige-verouderingsmethoden door te trekken naar het simuleren van het natuurlijke verouderingsproces van papier, kan worden aanbevolen om de kunstmatige-veroudering uit te voeren bij dezelfde relatieve luchtvochtigheid als in de bewaarcondities waaronder die natuurlijke veroudering plaats vindt.

**Vergelijking identieke kopieën** Een andere interessante lijn van onderzoek in dit kader is de vergelijking van identieke kopieën van boeken die, als onderdeel van onderscheiden bibliotheekcollecties, onder verschillende opslagcondities zijn bewaard, en als gevolg daarvan in verschillende stadia van verval verkeren (Smith 1972; Pauk 1996b). Dit soort onderzoek levert weliswaar geen directe aanbeveling op ten aanzien van kunstmatige veroudering: het betreft in wezen een vergelijking tussen twee verschillende wijzen van natuurlijke veroudering. Het levert echter toch relevante informatie op. Niet alleen biedt dergelijk onderzoek meer inzicht in de omgevingsafhankelijkheid van de snelheid van het natuurlijke verval van papier; ook kan in principe uit de resultaten van dit onderzoek worden afgeleid welke omgevingsfactoren verantwoordelijk zijn voor het geconstateerde verschil in verouderingsconditie, en dus in vervalsnelheid.

Door het aanreiken van dergelijke factoren kunnen dit soort vergelijkende studies indirect van belang zijn voor het ontwikkelen van betrouwbare kunstmatige-verouderingsmethoden. Zo zijn uit een door de Koninklijke Bibliotheek (KB) in samenwerking met TNO-Papier & Karton (Delft) verrichte studie naar boekenparen uit de New York Public Library en de KB, duidelijke aanwijzingen naar voren gekomen dat het snellere verval van het papier dat in New York bewaard was gebleven, veroorzaakt is door een grotere concentratie van de luchtverontreinigende stof zwaveldioxide en een hogere temperatuur, in combinatie met een lage en/of wisselend lage en hoge relatieve luchtvochtigheid in de gebruikte opslagruimtes aldaar (Pauk 1996b; Havermans 1997a). Ook in het onderzoek van Smith (1972) bij een drietal Amerikaanse bibliotheken werd geconcludeerd dat een grotere mate van luchtverontreiniging de oorzaak is voor de geconstateerde verschillen. Het papier van de boeken uit Chicago en New York bleek zuurder en daardoor vaak in een slechtere staat te zijn dan het papier van identieke boeken uit Appleton.

**Het SALTO-project** Nuttige informatie over de snelheid van papierverval en de omgevingsfactoren die hierbij een belangrijke rol spelen is op termijn ook te verwachten van een lopend onderzoek bij het Algemeen Rijksarchief in Den Haag (Feber 1998). In dit onderzoek, waarbij de Koninklijke Bibliotheek zich middels het SALTO-project (studie aangaande *lange termijn opslag*) heeft aangesloten, is identiek archief- en bibliotheekmateriaal en andere testpapieren op twee locaties opgeslagen, waarvan één voorzien is van een installatie om luchtverontreinigende stoffen weg te filteren. Door middel van een continue registratie van omgevings-condities zoals temperatuur, luchtvochtigheid en concentraties aan luchtverontreiniging in beide opslagruimtes, en regelmatige analyse van de kwaliteitstoestand van het opgeslagen materiaal, zullen over een jarenlange termijn interessante gegevens beschikbaar komen. Behalve inzicht in het langetermijneffect van de luchtzuivering, zullen ze ook een realistisch beeld geven van de snelheid waarmee de diverse papiersoorten, onder verschillende condities wat betreft aanwezigheid van luchtverontreinigende stoffen, zullen vervallen.

**Schade-inventarisaties** Een vergelijkbare aanpak bestaat uit de analyse van de meetgegevens van uitgevoerde schade-inventarisaties. Dergelijke onderzoeken zijn de afgelopen jaren bij vele binnen- en buitenlandse archieven en bibliotheken uitgevoerd, met als primair doel om een beter inzicht te verkrijgen in de aard en omvang van het probleem van het papierverval. Door nu deze inventarisaties na een zekere tijd te herhalen, waarbij hetzelfde testmateriaal opnieuw wordt onderzocht, kan door vergelijking van de uitkomsten met de eerdere metingen een indruk verkregen worden van de snelheid waarmee bepaalde papiereigenschappen zijn veranderd. Zo is in 1996 door de Koninklijke Bibliotheek een beknopte herhaling uitgevoerd van een schade-inventariserend onderzoek uit 1990, waaruit duidelijke aanwijzingen naar voren zijn gekomen dat er in 6 jaar al een meetbare achteruitgang in het vouwgetal van het papier is opgetreden; door de beperkte opzet was echter nog geen echte uitspraak over de snelheid van het verval mogelijk (Hol 1990; Pauk 1997).

**Ontwikkeling onderzoeksinstrumentarium** De mogelijkheden om de snelheid van het papierverval onder natuurlijke omstandigheden te volgen zijn tegenwoordig nog zeer beperkt (Feller 1994a,b). De kleine, en langzaam verlopende veranderingen in papiereigenschappen die tijdens de natuurlijke veroudering plaatsvinden, vergen zeer gevoelige meetapparatuur, en methodieken die zo min mogelijk schade aan het origineel veroorzaken. Gelukkig worden momenteel pogingen ondernomen om een dergelijk onderzoeksinstrumentarium te ontwikkelen. Zo is door het Instituut Collectie Nederland, samen met onderzoeksinstituten

in België, Duitsland, Frankrijk en Spanje, een samenwerkingsproject uitgewerkt, met als doel niet-destructieve micro-analysemethoden voor de karakterisering van de conditie van papier te ontwikkelen (Pedersoli 1998).

**Historische benadering** Ten slotte is vermeldenswaard dat een historische benadering ook mogelijkheden blijkt te kunnen scheppen om inzicht te verkrijgen in de snelheid van het natuurlijke verval van papier. In recente studies naar geschiedkundige bronnen over de slechte kwaliteit van negentiende-eeuws papier op de Nederlandse markt, wordt deze wijze van aanpak uitgewerkt. De gedachte hierbij is dat door gebruik te maken van de uitkomsten van het natuurwetenschappelijke onderzoek naar de papierkwaliteit dat in het midden van de negentiende eeuw is verricht, en door vergelijking van deze gegevens met de huidige meetresultaten van hetzelfde, in archiefcollecties te traceren materiaal, in principe een uitspraak over de snelheid van het verval van papier mogelijk is (Grijn 1996,1998; Porck 1996).

## DISCUSSIE

### Evaluatie

De bij conserveringsonderzoek naar papier algemeen toegepaste test en ingeburgerde term 'kunstmatige veroudering' suggereert (i) dat er een normaal, natuurlijk papierverouderingsproces bestaat, (ii) dat dit proces zonder wijziging in aard kunstmatig kan worden versneld, en (iii) dat door middel van kunstmatige-verouderingsexperimenten zinvolle informatie verkregen kan worden over dit natuurlijke verouderingsproces. Bij al deze suggesties kunnen echter grote vraagtekens worden gezet.

**Onvoldoende kennis over natuurlijke veroudering** In de eerste plaats bestaat er geen algemeen geldige beschrijving van het normale, natuurlijke verouderingsproces van papier. Er zijn zoveel - gedeeltelijk nog onbekende - papiersoort-afhankelijke interne factoren, en in tijd en plaats variabele externe factoren van invloed op de stabiliteit van papier, dat een eenduidige uitspraak over het natuurlijke verouderingsproces dat een vel papier zal ondergaan in de loop van de tijd onmogelijk lijkt (Roberson 1981; Wilson 1983; Fellers 1989; Feller 1994a,b; Gurnagul 1994; Norris 1994). Nog complexer is de situatie in het geval van een stapel papier, zoals een boek of dossier, laat staan een gehele bibliotheek- of archiefcollectie. Een betrouwbare uitspraak over de aard en de snelheid van natuurlijke veroudering kan eigenlijk alleen maar achteraf worden gedaan, dat wil zeggen retrospectief worden afgeleid. Dit is bovendien alleen mogelijk wanneer gedetailleerde informatie beschikbaar is over de originele, oorspronkelijke materiële toestand van het betreffende object en over de bewaarcondities waaraan het object in de loop van de tijd blootgesteld is geweest. De in het vorige hoofdstuk genoemde voorbeelden van vergelijkend onderzoek naar boekenparen die onder verschillende omstandigheden zijn bewaard, laten zien dat een dergelijke reconstructie van de bewaargeschiedenis van collecties geen sinecure is.

**Simulatie door stimulatie?** In de tweede plaats is het waarschijnlijk slechts een wensgedachte dat natuurlijke veroudering van papier door blootstelling aan artificiële, laboratoriumomstandigheden eenvoudig kan worden versneld, en dat zodoende bepaalde vormen van schade die bekend zijn uit de conserveringspraktijk, betrouwbaar kunnen worden gesimuleerd. De complexe en gedeeltelijk nog onbekende achtergrond van het natuurlijke verouderingsproces kan experimenteel nooit volledig worden bewerkstelligd. Zelfs als natuurlijke veroudering zou worden versimpeld tot de effecten van de tegenwoordig bekende papiervervalreacties, is de veronderstelling dat kunstmatige stimulatie van deze reacties, door middel van bepaalde aanpassingen van de omgevingscondities in klimaatkamers, op korte termijn zou resulteren in een identieke toestand van het papier als het natuurlijke proces van veroudering op lange termijn, zeer twijfelachtig en vooralsnog onvoldoende wetenschappelijk onderbouwd. De heersende onzekerheid in dezen wordt duidelijk geïllustreerd door de hierboven aangegeven veelheid aan standaard- en huismethoden voor kunstmatige veroudering. Er wordt kunstmatig verouderd bij verschillende temperaturen, verschillende luchtvochtigheden, al dan niet in aanwezigheid van luchtverontreinigende stoffen of andere 'stimuli' en bij verschillende behandelingsduren. Zelfs de standaardmethoden voor kunstmatige veroudering die zijn ontwikkeld om paal en perk te stellen aan deze grote variatie, geven geen duidelijkheid: zo houden de in de jaren tachtig opgestelde internationale ISO-normen de mogelijkheid open om kunstmatig te verouderen bij verschillende temperaturen en relatieve luchtvochtigheden.

**Relevantie van kunstmatige veroudering** Ten derde impliceren de voorgaande kanttekeningen dat er nogal wat vragen te stellen zijn bij de opvatting dat kunstmatige veroudering relevante gegevens oplevert voor de bepaling van de aard en de snelheid van het natuurlijke verval van papier. Het in het vorige hoofdstuk besproken onderzoek, dat is uitgevoerd naar de betrouwbaarheid van de prognostische waarde van kunstmatige veroudering, heeft tot op dit moment nog niet geresulteerd in een algemeen onderschreven conclusie, noch geleid tot een algemeen geaccepteerde methode. De uitkomsten van de weinige onderzoeken die in dit kader gedaan zijn, hebben de theoretische basis van de toepassing van kunstmatige veroudering nog onvoldoende in de praktijk bewezen. Evenmin hebben ze geleid tot aanpassingen van de gangbare methodes. Het is opmerkelijk dat er op zo'n beperkte schaal onderzoek gedaan wordt naar de vergelijking tussen natuurlijke en kunstmatige veroudering van papier. Hoe lastig dergelijk onderzoek ook mag zijn, het is in principe een van de weinige mogelijkheden om de procedure van kunstmatige veroudering af te stemmen op het natuurlijke verouderingsproces. Op het terrein van de conservering van leer bijvoorbeeld, is deze benadering redelijk succesvol gebleken (Larsen 1994).

**Probleem van de betrouwbaarheid** Het ontbreken van voldoende onderzoekspogingen ter verificatie van de betrouwbaarheid van kunstmatige-verouderingsanalyse, staat in schril contrast met de grootschalige toepassing van deze analyse in de praktijk. Dit wil aan de andere kant niet zeggen dat men zich geen zorgen maakt. Het probleem van de betrouwbaarheid van kunstmatige veroudering is in de vakliteratuur meermalen aan de orde gesteld (Arney 1980; Bansa 1984,1992,1998a; Mokken 1987, Erhardt 1988; Ströfer-Hua 1990; Wypych 1990; Brown 1991; Feller 1994a; Shahani 1994; Havermans 1997b). De heersende onzekerheid over de waarde van kunstmatige veroudering kan onder andere worden geïllustreerd met het feit dat er in de internationale norm ISO-9706 voor permanent houdbaar papier, waar een voorspelling van de duurzaamheid en houdbaarheid toch bij uitstek wenselijk is, geen kunstmatige-verouderingstest is opgenomen (Berkhout 1994).

Met het oog op de verschillende doelstellingen waarvoor kunstmatige veroudering wordt ingezet, is de Arrhenius-test, waarbij een kwantitatieve uitspraak over de houdbaarheid, c.q. de snelheid van papierverval wordt beoogd, waarschijnlijk het meest discutabel. Bij de andere doelen, zoals het bepalen van het kwalitatieve effect van een conserveringsbehandeling, de bestudering van een bepaalde degradatiereactie en het simuleren van bepaalde vormen van schade, ontbreekt de strenge voorwaarde voor de Arrhenius-test, namelijk dat in principe alle natuurlijke degradatiereacties met eenzelfde factor dienen te worden versneld. In deze gevallen kan kunstmatige veroudering vermoedelijk wel tot realistische uitspraken leiden, waarbij altijd echter een voorbehoud moet worden gemaakt. Een 'storing' als gevolg van een ongewenste - dat wil zeggen een bij natuurlijke veroudering afwezige - reactie kan, naar de huidige stand van kennis, immers niet worden uitgesloten.

**Patstelling** Het lijkt er enigszins op dat er onder de conserveringsonderzoekers ten aanzien van kunstmatige veroudering een soort patstelling is ontstaan, waarbij verschillende kampen te onderscheiden zijn: een grote groep 'gebruikers', een kleinere groep 'bezorgden' en een handvol 'zoekers naar oplossingen'. Deze groepen lijken eerder in zichzelf gekeerd werkzaam te zijn en een soort van interne status quo te handhaven, dan ervaringen uit te wisselen en naar een gezamenlijke aanpak te streven. Deze terughoudende opstelling, waarvan de geringe respons op de voor deze studie geplande discussie wellicht een afspiegeling is, kan aan een kant wel begrepen worden. In deze discussie worden immers cruciale en historisch diepgewortelde zaken kritisch aan de orde gesteld, en de consequenties van wijziging in opvattingen hieromtrent kunnen verstrekkend zijn. Zo kunnen reeds genomen beslissingen, zowel op het

terrein van het beleid als de praktijk van de conservering van archief- en bibliotheekmateriaal, die van oudsher vaak zijn gebaseerd op de uitkomsten van kunstmatige verouderingstests, in een dergelijke discussie worden ondergraven. Aan de andere kant is de heersende patstelling ernstig te betreuren, omdat deze een oplossing van de vele vragen die er over kunstmatige veroudering nog bestaan in de weg staat. En intussen schrijdt het natuurlijke verval genadeloos verder.

### **Conclusies**

Samenvattend kan op basis van deze evaluatie van de huidige stand van zaken ten aanzien van de theorie en de praktijk van kunstmatige veroudering van papier een viertal conclusies getrokken worden.

- De snelheid van papierversval en andere kwantitatieve aspecten van de natuurlijke veroudering van papier, zoals duurzaamheid en houdbaarheid, zijn niet betrouwbaar te voorspellen met behulp kunstmatige-verouderingstests.
- De toepassing van kunstmatige veroudering kan relevant zijn voor:
  - a. het vaststellen van het kwalitatieve effect van een bepaalde methode voor papierconservering;
  - b. fundamenteel onderzoek naar papierdegradatiereacties;
  - c. het simuleren van bepaalde vormen van papierschade.
- Onderzoek naar de prognostische waarde van kunstmatige veroudering van papier vindt onvoldoende plaats en wordt niet adequaat benut voor de verbetering van kunstmatige-verouderingsmethodes.
- Terughoudendheid in discussie, handhaving van de status quo en het zich ingraven in eigen stellingen kenmerken de kring van conserveringsonderzoekers op het terrein van kunstmatige papierveroudering. Hierdoor wordt de oplossing van de problematiek op dit gebied belemmerd.

### **Aanbevelingen**

Bij de opzet van deze studie is meer nadruk gelegd op het geven van een overzicht en op het kritisch evalueren van de huidige stand van zaken, dan op het aandragen van oplossingen. Toch zullen ter afsluiting van dit rapport enkele aanbevelingen worden gedaan, die mogelijk kunnen bijdragen aan een verbetering van de heersende situatie van onzekerheid en twijfel.

- De uitwisseling van kennis en ervaring tussen onderzoekers en beleidmakers op het terrein van kunstmatige-papierverouderingsanalyse dient te worden verbeterd. Een conferentie over dit onderwerp, onder auspiciën van de Preservation Science Council van de Commission of Preservation and Access (CPA), de Scientific Advisory Committee van de European Commission on Preservation and Access (ECPA), of de Koninklijke Bibliotheek in samenwerking met het Instituut Collectie Nederland, kan hiervoor een geschikt internationaal, Europees, respectievelijk nationaal forum bieden.
- Onderzoek ter verificatie van de hypothese dat kunstmatige veroudering bruikbare gegevens oplevert voor de praktijk van natuurlijke veroudering van papier, moet worden voortgezet en

dient vervolgens te worden 'vertaald' in verbetering, d.w.z. meer betrouwbare kunstmatige-verouderingstests.

- Vergelijkend onderzoek tussen natuurlijke en kunstmatige veroudering van papier kan, ter omzeiling van het grote probleem van de reconstructie van de bewaargeschiedenis van het onderzoeksmateriaal, uitgevoerd worden door bij het opzetten van langetermijnstudies naar papierversval, zoals bovengenoemd onderzoek bij het Algemeen Rijksarchief en de Koninklijke Bibliotheek (SALTO), een deel van het testmateriaal bij aanvang al, op verschillende wijzen, kunstmatig te verouderen en te analyseren. Vervolgens kunnen de uitkomsten in een later stadium, door een volgende generatie conserveringsonderzoekers, worden vergeleken met die van het natuurlijk verouderde materiaal.
- Het is aanbevelenswaardig om een uitspraak over de snelheid van het natuurlijke verval van een bepaalde papiersoort niet altijd te beperken tot een toekomstvoorspelling op basis van kunstmatige veroudering. In sommige gevallen is namelijk ook een retrospectieve benadering mogelijk, aan de hand van historische bronnen die soms gedetailleerd gewag maken van de kwaliteit van de betreffende papiersoort in het verleden.
- Bij de toepassing van de huidige kunstmatige verouderingstests voor het vaststellen van het relatieve effect van een bepaalde papierconserveringsbehandeling, voor het bestuderen van een specifiek vervalmechanisme en voor het nabootsen van een bepaalde vorm van papierversval, is het vanwege het onvermijdelijke risico van het optreden van ongewenste, d.w.z. niet bij natuurlijk verval optredende, reacties, aan te bevelen om de voorkeur te geven aan een 'milde' kunstmatige-verouderingsmethode. Hierbij liggen de omstandigheden waaronder kunstmatig wordt verouderd zo dicht mogelijk bij de normale, natuurlijke condities.
- De valse verwachtingen waartoe de term 'kunstmatige veroudering (artificial aging)' kan leiden, zouden voorkomen kunnen worden door:
  - a. het gebruik van de term 'veroudering (aging)' te beperken tot het daadwerkelijke, natuurlijke vervalproces;
  - b. een andere term te gebruiken voor de zogenaamde kunstmatige verouderingstests, zoals *'kunstmatig geïnduceerde degradatie [KGD-] test (artificial induced degradation [AID-] test)'*, hetgeen in overeenstemming is met de wijze waarop deze tests in de regel in de praktijk worden toegepast: het zodanig kiezen en aanpassen van omgevingscondities, dat in een relatief kort tijdsbestek een meetbare aantasting van het materiaal optreedt.

## LITERATUUR

- Arney, J.S., Jacobs, A.J. (1979). Accelerated Aging of Paper. The Relative Importance of Atmospheric Oxidation. *Tappi* 62(7), p. 89-91.
- Arney, J.S., Jacobs, A.J. (1980). Newsprint Deterioration. The Influence of Temperature on the Relative Contribution of Oxygen-independent and Oxygen-dependent Processes in the Total Rate. *Tappi* 63(1), p. 75-77.
- Arney, J.S., Chapdelaine, A.H. (1981). A Kinetic Study of the Influence of Acidity on the Accelerated Aging of Paper. In (Williams, J.C., red.): *Preservation of Paper and Textiles of Historic and Artistic Interest. II*. American Chemical Society (Advances in Chemistry Series 193), Washington DC, p. 189-204.
- Arnold, R.B. (1996). Update: ASTM/ISR Paper Aging Research Program. *The Abbey Newsletter* 20(3), p. 29-30.
- ASTM (1971). *Standard Test for Relative Stability of Paper (Effect of Heat on Folding Endurance)*. American Society for Testing and Materials (ASTM-D776-65, revised 1971; 72 uur bij 105±2 °C).
- ASTM (1987). *Standard Test Method for Determination of Effect of Dry Heat on Properties of Paper and Board*. American Society for Testing and Materials (ASTM-D776-87; 72 uur bij 105±2 °C).
- Back, E.L., Klinga, L.O. (1963). Reactions in Dimensional Stabilization of Paper and Fibre Building Board by Heat Treatment. *Svensk Papperstidning* 66(19), p. 745-753.
- Back, E.L. (1967a). Thermal Auto-crosslinking in Cellulose Material. *Pulp and Paper Magazine of Canada* 68(4), p. T165-T171.
- Back, E.L., Thong Htun, M., Jackson, M., Johanson, F. (1967b). Ultrasonic Measurements of the Thermal Softening of Paper Products and the Influence of Thermal Auto-crosslinking Reactions. *Tappi* 50(11), p. 542-547.
- Baer, N.S., Indictor, N. (1974). An Examination of Test Methods for the Evaluation of Papers and Paper Conservation Materials. *Archief- en Bibliotheekwezen in België* 12 (extra nummer: Studies over restauratie van archief, boeken en handschriften), p. 17-30.
- Baer, N.S., Indictor, N. (1977). Use of the Arrhenius Equation in Multicomponent Systems. In (Williams, J.C., red.): *Preservation of Paper and Textiles of Historic and Artistic Value*. American Chemical Society (Advances in Chemistry Series 164), Washington DC, p. 336-351.
- Baker, C.A. (1991). Methylcellulose and Sodiummethylcellulose: an Evaluation for Use in Paper Conservation through Accelerated Aging. In (Brommelle, N.S., Pye, E.M., Smith, P., Thomson, G., red.): *Adhesives and Consolidants. Preprints of the Contributions to the Paris Congress, 2-8 September 1984*. International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works (IIC), Londen, p. 55-59.
- Banik, G. (1982). Naturwissenschaftliche Untersuchungen zur Aufklärung des Kupferfrasses in graphischen Kunstwerken. *Das Papier* 36(9), p. 438-448.
- Banik, G., Sobotka, W.K., Vendl, A., Norzsicska, S. (1993). Effects of Atmospheric Pollutants on Deacidified Modern Papers. In (Bridgland, J., red.): *Preprints. 10th Triennial Meeting, Washington DC, USA, 22-27 August 1993*. ICOM Committee for Conservation, Parijs, p. 435-441.
- Bansa, H., Hofer, H.H. (1984). Die Aussagekraft einer künstlichen Alterung von Papier für Prognosen über seine zukünftige Benutzbarkeit. *Restaurator* 6, p. 21-60.
- Bansa, H. (1992). Accelerated Aging Tests in Conservation Research: Some Ideas for a Future Method. *Restaurator* 13, p. 114-137.
- Bansa, H., Ishii, R. (1997). The Effect of Different Strengthening Methods on Different Kinds of Paper. *Restaurator* 18, p. 51-72.

- Bansa, H. (1998a). Aqueous Deacidification - with Calcium or with Magnesium? *Restaurator* 19, p. 1-40.
- Bansa, H. [Bayerische Staatsbibliothek, München] (1998b): persoonlijke mededeling.
- Barrett, T.D. (1989). *Early European Papers/Contemporary Conservation Papers. A Report on Research Undertaken from Fall 1984 through Fall 1987*. The Paper Conservator 13, p. 57-65.
- Barrett, T. (1992). Evaluating the Effect of Gelatin Sizing with Regard to the Permanence of Paper. In (Fairbrass, S., red.): *Conference Papers, Manchester, 1992*. Institute of Paper Conservation, Leigh, p. 228-233.
- Barrow, W.J. (1963). *Permanence/Durability of the Book. A Two-year Research Program*. W.J. Barrow Research Laboratories, Richmond.
- Barrow, W.J. (1964). *Permanence/Durability of the Book. II. Test Data of Naturally Aged Papers*. W.J. Barrow Research Laboratories, Richmond.
- Berkhout, S.A. (1994). *Beoordeling en vergelijking van drie duurzaamheidsnormen voor papier*. TNO (TNO-rapport PK 94.7009), Delft.
- Brandis, L., Lyall, J. (1997). Properties of Paper in Naturally Aged Books. *Restaurator* 18, p. 115-130.
- Brown, R.P. (1991). Survey of Status of Test Methods for Accelerated Durability Testing. *Polymer Testing* 10, p. 3-30.
- Browning, B.L., Wink, W.A. (1968). Studies on the Permanence and Durability of Paper: the Prediction of Paper Permanence. *Tappi* 51, p. 156-163.
- Browning, B.L. (1969). *Analysis of Paper*. Marcel Dekker, New York, p.314-317.
- Daniel, F., Flieder, F., Leclerc, F. (1992). The Behaviour of Papers Deacidified under Pressure by Ethylmagnesium Carbonate as Regards two Kinds of Accelerated Ageing: Wet Heat and Simulated Pollution. In (Kastaly, B., red.): *Papers of the Conference on Book and Paper Conservation, Held in Budapest, 4-7 September 1990*. TAPPI, National Széchenyi Library, Boedapest, p. 471-482.
- Daniels, V.D., Shashoua, Y.R. (1993). The Effect of Gum Arabic Solubility on the Washing of Watercolours. In (Bridgland, J., red.): *Preprints. 10th Triennial Meeting, Washington DC, USA, 22-27 August 1993*. ICOM Committee for Conservation, Parijs, p. 442-446.
- Down, J. [Canadian Conservation Institute (CCI), Ottawa] (1998): persoonlijke mededeling over de discussies die binnen het CCI zijn gevoerd over het thema kunstmatige veroudering.
- Erhardt, D., Endt, D.v., Hopwood, W. (1987). The Comparison of Accelerated Aging Conditions through the Analysis of Artificially Aged Paper. In: *Preprints of Papers Presented at the Fifteenth Annual Meeting, Vancouver, British Columbia, Canada, May 20-24, 1987*. American Institute for Conservation, Washington DC, p. 43-55.
- Erhardt, D. (1988). Paper Degradation: a Comparison of Industrial and Archival Concerns. In: *1988 Paper Preservation Symposium*. TAPPI Press, Atlanta, p. 83-90.
- Erhardt, D. (1989). Relationship of Reaction Rates to Temperature. *The Abbey Newsletter* 13(3), p. 38-39.
- Erhardt, D. (1993). Temperature and Relative Humidity Effects on the Aging of Cellulose. In (Beyer, C., red.): *Preservation Research and Development. Round Table Proceedings, September 29-29, 1992*. Library of Congress Preservation Directorate, Washington DC, p. 31-34.

- Erhardt, D., Mecklenburg, M.F. (1995). Accelerated vs Natural Aging: Effect of Aging Conditions on the Aging Process of Cellulose. In (Vandiver, P.B., Druzik, J.R., Madrid, J.L.G., Freestone, I.C., Wheeler G.S., red.): *Materials Issues in Art and Archeology. IV. Symposium Held May 16-21, 1994, Cancun*. Materials Research Society (Materials Research Society Symposium Proceedings 352), Pittsburgh, p. 247-270.
- Erhardt, D. [Smithsonian Center for Materials Research and Education, Washington DC] (1998): persoonlijke mededeling.
- Ernst, U. (1989). Alterungsverhalten von Schreib-, Druck- und Kopierpapieren. *ARBIDO-R4* 4, p. 99-105.
- Feber, M.d., Havermans, J., Cornelissen, E. (1998). The Positive Effects of Air Purification in the Dutch State Archives. Part I: Experimental Set Up and Air Quality. *Restaurator* 19, p. 212-223.
- Feller, R.L., Wilt, M. (1990). *Evaluation of Cellulose Ethers for Conservation*. The Getty Conservation Institute (Research in Conservation 3), Marina del Rey.
- Feller, R.L. (1994a). *Accelerated Aging. Photochemical and Thermal Aspects*. The Getty Conservation Institute (Research in Conservation 4), Marina del Rey.
- Feller, R.L. (1994b). Aspects of Chemical Research in Conservation: the Deterioration Process. *Journal of the American Institute for Conservation* 33, p. 91-99.
- Fellers, C., Iversen, T., Lindström, T., Nilsson, T., Rigdahl, M. (1989). *Ageing/Degradation of Paper. A Literature Survey*. FoU-projektet för papperskonservering (Rapport 1E), Stockholm.
- Fink, P., Zwicky, K. (1965). Untersuchungen über die Lagerbeständigkeit von Druckpapieren. *Textil-Rundschau* 20(10), p. 289-305.
- Flieder, F., Leclerc, F. (1992). Influence of Optical Brighteners on Paper Permanence. In (Fairbrass, S., red.): *Conference Papers Manchester 1992*. Institute of Paper Conservation, Leigh, p. 257-263.
- Fung, D.P.C. (1969). Kinetics and Mechanism of the Thermal Degradation of Cellulose. *Tappi* 52(2), p. 319-321.
- Graminski, E.L. (1970). The Stress-strain Behavior of Accelerated and Naturally Aged Papers. *Tappi* 53(3), p. 406-410.
- Graminski, E.L., Parks, E.J., Toth, E.E. (1979). The Effects of Temperature and Moisture on the Accelerated Aging of Paper. In (Eby, R.K., red.): *Durability of Macromolecular Materials*. American Chemical Society (ACS Symposium Series 95), Washington DC, p. 341-355.
- Gray, G.G. (1969). An Accelerated-aging Study Comparing Kinetic Rates vs. TAPPI Standard 453. *Tappi* 52(2), p. 325-334.
- Gray, G.G. (1977). Determination and Significance of Activation Energy in Permanence Tests. In (Williams, J.C., red.): *Preservation of Paper and Textiles of Historic and Artistic Value*. American Chemical Society (Advances in Chemistry Series 164), Washington DC, p. 286-313.
- Grijn, E.v.d., Kardinaal, A., Porck, H. (1996). *The 1845 Paper Crisis in the Netherlands. An Historical-technical Study into the Dutch Paper Market and into the Nature and Extent of the Inferior Quality of Mid-19th Century Paper*. Voordracht op 23-ste Congres van de IPH (International Association of Paper Historians), Leipzig. IPH-Yearbook 1996, in druk.
- Grijn, E.v.d., Kardinaal, A., Porck, H. (1998). *The Evaluation of Paperdegradation: the Historical and the Scientific Approach*. Voordracht op 24-ste Congres van de IPH (International Association of Paper Historians), Porto. IPH-Yearbook 1998, in druk.

Gurnagul, N., Howard, R.C., Zou, X., Uesaka, T., Page, D.H. (1994). The Mechanical Permanence of Paper: a Literature Review. In: *Proceedings of the Workshop on the Effects of Aging on Printing and Writing Papers*. ASTM Institute for Standards Research, Philadelphia, p. 235-257.

Hall, G. (1926). *Permanence of Paper*. Technical Assoc. Papers, Series IX, p.92

Hanus, J., Komornikova, M. (1987). The Application of Statistical Analysis in Evaluation of Changes in Some Properties of Aged Papers. *Archief- en Bibliotheekwezen in België* 58(1-2), p.161-182.

Hanus, J., Komornikova, M., Minarikova, J. (1995). Influence of Boxing Materials on the Properties of Different Paper Items Stored Inside. *Restaurator* 16, p. 194-208.

Hanus, J., Komornikova, M., Minarikova, J. (1996). Changes in Some Mechanical Properties of Paper during Ageing in an Archival Box. In (Bridgland, J., red.): *11th Triennial Meeting Edinburgh, Scotland 1-6 September 1996. Preprints Volume II*. ICOM Committee for Conservation, Parijs, p. 510-516.

Havermans, J.B.G.A. (1992). *Vergelijkend onderzoek naar de houdbaarheid van papier onder gangbare klimatologische omstandigheden en papier bewaard in een inert gas*. TNO (TNO-rapport PK 92.1047), Delft.

Havermans, J.B.G.A. (1994). STEP CT90-0100. The Effects of Air Pollutants on Accelerated Ageing of Cellulose Containing Materials: Paper. Preliminary Results. / Main Conclusions of the STEP CT 90-0100 Project. Influences of Air Pollutants on the Accelerated Ageing of Cellulose Based Materials 'Paper'. In: *Proceedings of the Workshop on the Effects of Aging on Printing and Writing Papers*. ASTM Institute for Standards Research, Philadelphia, p. 159-195.

Havermans, J. (1995). Effects of Air Pollutants on the Accelerated Ageing of Cellulose-based Materials. *Restaurator* 16, p. 209-233.

Havermans, J.B.G.A. (1997a). *A Study of the Cause of Damage on Pairs of Books*. TNO (TNO-rapport BU2.97/009063-1/JH), Delft.

Havermans, J. (1997b). Durability of Information - From Stone to Polymer. In (Fellows-Jensen, G., Springborg, P., red.): *Care and Conservation of Manuscripts 3. Proceedings of the Third International Seminar on the Care and Conservation of Manuscripts Held at the University of Copenhagen 14th-15th October 1996*. The Royal Library, Copenhagen, p. 99-106.

Herzberg, W. (1899). Einfluss höherer Wärmegrade auf die Festigkeitseigenschaften von Papier. *Papier-Zeitung* 24(61), p. 2343.

Hofenk de Graaff, J.H., Roelofs, W.G.Th. (1994). Investigation of the Long-term effects of Ethylene Oxide and Gamma Rays on the Ageing of Paper. In (Verschoor, H., Mosk, J., red.): *Contributions of the Central Research Laboratory to the Field of Conservation and Restoration*. Central Research Laboratory for Objects of Art and Science, Amsterdam, p. 53-64.

Hofmann, C., Reyden, D.v.d., Baker, M. (1992). The Effect of Three Humidification, Flattening and Drying Techniques on the Optical and Mechanical Properties of New and Aged Modern Transparent Papers. In (Fairbrass, S., red.): *Conference Papers Manchester 1992*. Institute of Paper Conservation, Leigh, p. 247-256.

Hol, R.C., Voogt, L. (red.) (1991). *Bedreigd papierbezit in beeld. Schade-inventariserend onderzoek van archief- en bibliotheekmateriaal van na 1800 bij het Algemeen Rijksarchief en de Koninklijke Bibliotheek / Endangered Books and Documents. A Damage Survey of Post-1800 Archive and Library Material Held by the General Archives of the Netherlands and the Koninklijke Bibliotheek (National Library of the Netherlands)*. Coördinatiepunt Nationaal Conserveringsbeleid (CNC-Publikaties, 2), Den Haag.

Inaba, M., Sugisita, R. (1992). *The Deterioration of Japanese Paper by Accelerated Aging Treatment*. Third

International Institute of Paper Conservation Conference, University of Manchester Institute of Science and Technology, 1-4 april.

ISO (1982). *Paper and Board. Accelerated Aging, Part 1: Dry Heat Treatment*. International Standards Organization (ISO-5630/1; 72 uur bij 105±2 °C).

ISO (1985). *Paper and Board. Accelerated Aging, Part 2: Moist Heat Treatment at 90 °C and 25% Relative Humidity*. International Standards Organization (ISO-5630/2; 24, 48, 72 en 144 uur bij 90±0.2 °C en 25±0.5% RV).

ISO (1986a). *Paper and Board. Accelerated Aging, Part 3: Moist Heat Treatment at 80 °C and 65% Relative Humidity*. International Standards Organization (ISO-5630/3; 24, 48, 72 en 144 uur bij 80±0.5 °C and 65±1% RV).

ISO (1986b). *Paper and Board. Accelerated Aging, Part 4: Dry Heat Treatment at 120 °C or 150 °C*. International Standards Organization (ISO-5630/4; methode A: 168 uur bij 120±2 °C, methode B: 24 uur bij 150±2 °C).

Kaminska, E.M., Burgess, H.D. (1994). *Evaluation of Commercial Mass Deacidification Processes: AKZO-*

*DEZ, Wei T'O and FMC-MG3. Phase II. New and Artificially Aged Modern Papers*. Canadian Conservation Institute, Ottawa.

Kantowitz, M.S., Spencer, E.W., Simmons, R.H. (1940). *Permanence and Durability of Paper, an Annotated Bibliography of the Technical Literature 1855 AD to 1939 AD*. US Government Printing Office Division of Tests and Technical Control (Technical Bulletin 22), Washington DC.

Langwell, W.H. (1955). The Permanence of Paper in Temperate Climates. *Tappi* 38(9), p. 190A-192A.

Larsen, R. (red.) (1994). *STEP Leather Project. Evaluation of the Correlation between Natural and Artificial Ageing of Vegetable Tanned Leather and Determination of Parameters for Standardization of an Artificial Ageing Method*. (EC-DG XII, STEP Project CT 90-0105). Bjarnholt Repro, Kopenhagen.

Launer, H.F., Wilson, W.K. (1943). Photochemical Stability of Papers. *Journal of Research of the National Bureau of Standards* 30, p. 55-74.

Leclerc, F., Flieder, F. (1993a). Influence des azurants optiques sur la permanence des papiers. In: *Les documents graphiques et photographiques. Analyse et conservation. Travaux du Centre de Recherche sur la Conservation des Documents Graphiques 1991-1993*. Archives Nationales, Parijs, p. 207-222.

Leclerc, F., Duhamel, M., Valette, N. (1993b). Etude sur la stabilité des photocopies. In: *Les documents graphiques et photographiques. Analyse et conservation. Travaux du Centre de Recherche sur la Conservation des Documents Graphiques 1991-1993*. Archives Nationales, Parijs, p. 223-246.

Letnar, M.C., Vodopivec, J. (1997). Influence of Paper Raw Materials and Technological Conditions of Paper Manufacture on Paper Ageing. *Restaurator* 18, p. 73-91.

Lindström, T. (1989). Comparison between Natural and Accelerated Ageing of Paper. In: Fellers, C., Iversen, T., Lindström, T., Nilsson, T., Rigdahl, M. *Ageing/Degradation of Paper. A Literature Review*. FoU-projektet för Papperskonservering (Rapport 1E), Stockholm, p. 123-131.

Luner, P. (1969). Paper Permanence. *Tappi* 52(5), p. 796.

Maraval, M., Flieder, F. (1993). La stabilité des encres d'imprimerie. In: *Les documents graphiques et photographiques. Analyse et conservation. Travaux du Centre de Recherche sur la Conservation des Documents Graphiques 1991-1993*. Archives Nationales, Parijs, p. 163-205.

Medved, Z.N., Kozlov, N.A., Tarakanov, O.G. (1973). Changes of Certain Properties of Cellulose During Aging. *Zhurnal Prikladnoi Khimii* 46(5), p. 1103-1107. Vertaling: Consultants Bureau, Plenum Publishing Corporation, New York, 1973.

Mendenhall, G.D., Kelly, G.B., Williams, J.C. (1981). The Application of Several Empirical Equations to Describe the Change of Properties of Paper on Accelerated Aging. In (Williams, J.C., red.): *Preservation of Paper and Textiles of Historic and Artistic Interest. II*. American Chemical Society (Advances in Chemistry Series 193), Washington DC, p. 177-188.

Mokken, M., Steemers, T., Lingbeek, N. (1987). *Versnelde papierveroudering*. Een literatuurstudie in het kader van de HBO-opleiding Papier- en Boekrestauratie, Amsterdam; Vakbibliotheek Conservering (L 689), Koninklijke Bibliotheek, Den Haag.

Neevel, J.G., Reissland, B. (1997). The Ink Corrosion Project at the Netherlands Institute for Cultural Heritage - a Review. In (Windt, H.v.d., red.): *Iron-gall Ink Corrosion. Proceedings European Workshop on Iron-gall Ink Corrosion*. Museum Boijmans van Beuningen, Rotterdam, Netherlands Institute for Cultural Heritage, Amsterdam, p. 37-45.

Neimo, L. (1964). Accelerated Heat Aging of Cellulose. *Paperi Ja Puu-Papper och Tra* 46, p. 7-9,11-14 (Vertaling: Institute of Paper Chemistry, Appleton, 1964).

NEN (1983). *Paper en karton. Bepaling van de verandering in eigenschappen met behulp van versnelde veroudering door droge verhitting*. Nederlands Normalisatie-instituut (Norm NEN-1855; 1-3 dagen bij 105±2 °C).

Norris, T.O. (1994). Overview of Paper Deterioration. In: *Proceedings of the Workshop on the Effects of Aging on Printing and Writing Papers*. ASTM Institute for Standards Research, Philadelphia, p. 14-21.

Parks, E.J., Hebert, R.L. (1971a). *Accelerated Aging of Laboratory Handsheets: Retention of Folding Endurance, Internal Tear, Bursting Strength, and Tensile Strength*. National Bureau of Standards (NBS Rapport 10-628), Washington DC.

Parks, E.J., Hebert, R.L. (1971b). *Accelerated Aging of Laboratory Handsheets: Changes in Acidity, Fiber Strength, and Wet Strength*. National Bureau of Standards (NBS Rapport 10-627), Washington DC.

Parks, E.J., Hebert, R.L. (1972). *Accelerated Aging of Laboratory Handsheets: Reflectance, Moisture Regain, Sonic Modulus, and Differential Thermal Analysis*. National Bureau of Standards (NBS Rapport 10-687), Washington DC.

Pauk, S., Porck, H. (1993). *Een oriënterend onderzoek naar de invloed van insealen op papier bij kunstmatige veroudering*. Koninklijke Bibliotheek (KB Extra 7), Den Haag / De invloed van verschillende folies en verschillende manieren van insealen op papier bij kunstmatige veroudering. *De Restaurator* 23, p. 56-57.

Pauk, S., Porck, H. (1994). *Oriënterend onderzoek naar de effecten van de Battelle en diëthylzink massaontzuringmethoden / Pilot Research into the Effects of the Battelle and Diethylzinc Massdeacidification Methods*. Coördinatiepunt Nationaal Conserveringsbeleid (CNC-Publikaties,8), Den Haag.

Pauk, S. (1996a). *De Bookkeeper massaontzuring. Enkele effecten op 20<sup>e</sup>-eeuws bibliotheekmateriaal / The Bookkeeper Mass Deacidification. Some Effects on 20th Century Library Materials*. Koninklijke Bibliotheek, Den Haag.

Pauk, S., Porck, H. (1996b). *Land om land. Verslag van de bestudering van identieke boekenparen, die onder verschillende omstandigheden zijn bewaard*. Koninklijke Bibliotheek, Den Haag.

Pauk, S. (1997). *Bedreigd papierbezit nogmaals in beeld. Beperkte herhaling van het schade-inventariserend onderzoek uit 1990*. Koninklijke Bibliotheek, Den Haag.

- Pearlstein, E.J., Cabelli, D., King, A., Indictor, N. (1982). Effects of Eraser Treatment on Paper. *Journal of the American Institute for Conservation* 22, p. 1-12.
- Pedersoli, J.L. [Instituut Collectie Nederland, Amsterdam] (1998): persoonlijke mededeling.
- Porck, H.J., Smit, W.J.Th. (1990). Schade-inventarisatie bij krantenmateriaal. *Open* 22, p. 160-162.
- Porck, H., Grijn, E.v.d., Kardinaal, A. (1996). *Analysis of Paper Destabilizing Factors in Mid-19th Century Paper Production. A Contribution to the Development of a Conservation Policy*. Voordracht op 23-ste Congres van de IPH (International Association of Paper Historians), Leipzig. IPH-Yearbook 1996, in druk.
- Pravilova, T.A. (1964). Aging of Paper. In (Solechnik, N.Y., red.): *New Methods for the Restoration and Preservation of Documents and Books*. (USSR Academy of Sciences). Vertaling: Israel Program for Scientific Translations Ltd. (IPST Catalogue 1024), Jeruzalem. Oldbourne Press, Londen, p. 69-78.
- Priest, D.J., Sule, A. (1992). Measuring the Physical Properties of Paper within Books. In (Fairbrass, S., red.): *Conference Papers Manchester 1992*. Institute of Paper Conservation, Leigh, p. 146-152.
- Rahn, K.D. (1974). Zur Beurteilung der Alterungsbeständigkeit von Papier aus der Sicht des Papierherstellers. *Archief- en Bibliotheekwezen in België* 12 (extra nummer: Studies over restauratie van archief, boeken en handschriften), p. 119-130.
- Rasch, R.H. (1929). Quality of Purified Wood Fibers. *Paper Trade Journal* 88 (21 febr.), p. 233-268 (TAPPI Section p. 125-145).
- Reyden, D.v.d., Hofmann, C., Baker, M. (1992). Some Effects of Solvents on Transparent Papers. In (Fairbrass, S., red.): *Conference Papers Manchester 1992*. Institute of Paper Conservation, Leigh, p. 234-246.
- Richter, G.A., Wells, F.L. (1956). Influence of Moisture in Accelerated Aging of Cellulose. *Tappi* 39(8), p. 603-608.
- Roberson, D.D. (1981). Permanence/Durability and Preservation at the Barrow Laboratory. In (Williams, J.C. red.): *Preservation of Paper and Textiles of Historic and Artistic Interest. II*. American Chemical Society, Washington DC, p. 45-55.
- Roelofs, W.G.Th., Hofenk de Graaff, J.H., Knoppe, M. (1994). *Onderzoek naar de mogelijkheid archiefmateriaal, boeken en andere voorwerpen van culturele waarde te beschermen tegen luchtverontreiniging door het gebruik van gebufferde dozen en omslagen. Deel I. Onderzoek naar de veroudering van papier in stapels*. Centraal Laboratorium voor Onderzoek van Voorwerpen van Kunst en Wetenschap (Project 92/192), Amsterdam.
- Royen, A.H.v. (1957). Artificial Aging at 100 °C Compared with Natural Aging at Room Temperature. *Association Technique de l'Industrie Papetière Bulletin* 6, p. 223-226.
- Royen, A.H.H.v. (1958). Vergelijking van de versnelde veroudering bij kamertemperatuur. *De Papierwereld* 12(9), p. 219-222, 225.
- Schaeffer, T.T., Baker, M.T., Blyth-Hill, V., Reyden, D.v.d. (1992). Effects of Aqueous Light Bleaching on the Subsequent Aging of Paper. *Journal of the American Institute for Conservation* 31, p. 289-311.
- Sclawy, A.C. (1981). The Effects of Varying Relative Humidity Conditions on the Folding Endurance of Aged Paper Samples. In (Williams, J.C., red.): *Preservation of Paper and Textiles of Historic and Artistic Interest. II*. American Chemical Society (Advances in Chemistry Series 193), Washington DC, p. 217-222.
- Shahani, C.J., Hengemihle, F.H., Weberg, N. (1989). The Effect of Variations in Relative Humidity on the Accelerated Aging of Paper. In (Zeronian, S.H., Needles, H.L., red.): *Historic Textile and Paper Materials. II*.

*Conservation and Characterization*. American Chemical Society (ACS Symposium Series 410), Washington DC, p. 63-80.

Shahani, C.J. (1991). *Effects of Fluctuations in Relative Humidity and Temperature on Conditions within the Book Structure*. Voordracht op International Seminar on Research in Preservation and Conservation, New York.

Shahani, C.J., Hengemihle, F.H., Weberg, N. (1993). The Effect of Fluctuations in Relative Humidity on Library and Archival Materials and their Aging within Contained Microenvironments. In: *Proceedings of the Pan-African Conference on Preservation and Conservation of Library and Archival Materials. Nairobi, Kenya, 21-25 June, 1993*. IFLA (ALP/PAC/RSCA), p. 61-70.

Shahani, C.J. (1994). Accelerated Aging of Paper: Can It Really Foretell the Permanence of Paper? In: *Proceedings of the Workshop on the Effects of Aging on Printing and Writing Papers*. ASTM Institute for Standards Research, Philadelphia, p. 120-139.

Skall, E. (1974). Alterungstests. *IADA Mitteliungen* 4(1), p. 37-46.

Smith, R.D. (1970). New Approaches to Preservation. *The Library Quarterly* 40(1), p. 139-171 / In (Winger, H.W., Smith, R.D., red.): *Deterioration and Preservation of Library Materials, The Thirty-fourth Annual Conference of the Graduate Library School, August 4-6, 1969*. The University of Chicago Press, Chicago, p. 139-175.

Smith, R.D. (1972). A Comparison of Paper in Identical Copies of Books from the Lawrence University, the Newberry, and the New York Public Libraries. *Restaurator*, Supplement 2.

Stamm, A.J. (1956). Thermal Degradation of Wood and Cellulose. *Industrial and Engineering Chemistry* 48(3), p. 413-417.

Ströfer-Hua, E. (1990). Experimental Measurement: Interpreting, Extrapolation and Prediction by Accelerated Aging. *Restaurator* 11(4), p. 254-266.

Tang, L.C., Jones, N.M.M. (1979). The Effects of Wash Water Quality on the Aging Characteristics of Paper. *Journal of the American Institute for Conservation* 18, p. 61-81.

TAPPI (1963). *Relative Stability of Paper (by Effect of Heat on Folding Endurance)*. Technical Association of the Pulp & Paper Industry (TAPPI-T453-ts63; 72 uur bij 105±2 °C).

TAPPI (1985a). *Effect of Dry Heat on Properties of Paper*. Technical Association of the Pulp & Paper Industry (TAPPI-T453-pm85).

TAPPI (1985b). *Effect of Moist Heat on Properties of Paper and Board*. Technical Association of the Pulp & Paper Industry (TAPPI-T544-pm85; 90 °C en 25% RV).

Vitale, T., Erhardt, D. (1993). Changes in Paper Color due to Artificial Aging and the Effects of Washing on Color Removal. In (Bridgland, J., red.): *Preprints. 10th Triennial Meeting, Washington DC, USA, 22-27 August 1993*. ICOM Committee for Conservation, Parijs, p. 507-515.

Wilson, W.K., Harvey, J.L., Mandel, J., Workman, T. (1955). Accelerated Aging of Record Papers Compared with Normal Aging. *Tappi* 38(9), p. 543-548.

Wilson, W.K., Parks, E.J. (1971). *The National Bureau of Standards Research Program on Stability of Records*. Savannah.

Wilson, W.K., Parks, E.J. (1980). Comparison of Accelerated Aging of Book Papers in 1937 with 36 Years Natural Aging. *Restaurator* 4, p. 1-55.

Wilson, W.K., Parks, E.J. (1983). Historical Survey of Research at the National Bureau of Standards on Materials for Archival Records. *Restaurator* 5, p. 191-241.

Wink, W.A., Ward, K., Swenson, H.A. (1968). Improving the Thermal Stability of Paper by Chemical Treatment. *Tappi* 51(10), p. 445-449.

Wypych, J. (1990). *Weathering Handbook*. Chemtec Publishing, Toronto, p. 197-221.

Yabrova, R.R. (1958a). Artificially Accelerated Aging of Paper. (USSR State Library im V.I. Lenin, Department for Book Preservation and Restoration, Moskou). In (Belyakova, L.A., Kozulina, O.V., red.): *Collection of Materials on the Preservation of Library Resources. No. 3*. Vertaling: Israel Program for Scientific Translations Ltd. (IPST Catalogus 1022-3), Jeruzalem, 1964. Oldbourne Press, Londen, p. 73-82.

Yabrova, R.R. (1958b). The Effectiveness of Book Reinforcement by Polymethylacrylate Emulsion. (USSR State Library im V.I. Lenin, Department for Book Preservation and Restoration, Moskou). In (Belyakova, L.A., Kozulina, O.V., red.): *Collection of Materials on the Preservation of Library Resources. No. 3*. Vertaling: Israel Program for Scientific Translations Ltd. (IPST Catalogus 1022-3), Jeruzalem, 1964. Oldbourne Press, Londen, p. 83-98.

Zou, X., Uesaka, T., Gurnagul, N. (1996). Prediction of Paper Permanence by Accelerated Aging. I. Kinetic Analysis of the Aging Process. *Cellulose* 3, p. 243-267.