

Chimia 49 (1995) 226–232
 © Neue Schweizerische Chemische Gesellschaft
 ISSN 0009–4293

Einflüsse der Umwelt auf Synthesefasern

Felix A. Reifler*, Marcel Halbeisen und Hansruedi Schmid

Abstract. To get more information on the long term behaviour of technical textiles and on related degradation processes, the degradation of different synthetic fibres (polyester, PVC-coated polyester, polypropylene, polyethylene, polyamide 6 and 6.6, *m*-aramide) were investigated under the combined influence of pollution gases and light. Laboratory weathering experiments were performed in a specially designed climatic chamber, using different atmospheres such as normal air, zero air and zero air with pollution gases (NO₂, SO₂, O₃, NO₂/O₃) added. Outdoor exposure tests are in progress at eight sites in Switzerland each having its specific meteorological conditions and typical environmental load. The exposure sites were chosen at locations of the Swiss National Air Pollution Monitoring Network (NABEL), where concentrations of air pollutants and climatic data are registered continuously. Results of tensile tests on laboratory and outdoor exposed samples are given. Comparison is made between laboratory ageing and outdoor exposure.

1. Einleitung und Problemstellung

Bei textilen Erzeugnissen kann unterschieden werden zwischen Bekleidungstextilien, Heimtextilien und Technischen Textilien. Dabei ist der relative Anteil an Technischen Textilien in den letzten Jahren laufend gestiegen. Als Filtergewebe, Seile, Gurten, Bänder, Schläuche, Isolationsmaterial, Medizinische Textilien, Agrotexilien, im Fahrzeug- und Flugzeugbau, im Outdoor- und Sportbereich, im Transport- und Bauwesen ('Geotextilien') erweisen sie sich immer mehr als nicht mehr wegzudenkende Werkstoffe. In der Schweiz entfallen rund 20% der Textilproduktion auf Technische Textilien [1], in Deutschland sind es rund 25% [2]. Für die nächsten fünf Jahre wird für Technische Textilien weltweit ein weiteres Wachstum prognostiziert. Infolge anhaltender Verlagerungen der Konfektion von Bekleidungstextilien in Billiglohnländer dürfte der Produktionsanteil an Technischen Textilien in der Schweiz und in Deutschland sogar überproportional zunehmen.

An das Langzeitverhalten Technischer Textilien werden oft sehr hohe Anforderungen gestellt. Insbesondere dort, wo ein vorzeitiges Altern grossen Einfluss auf die Sicherheit einer auf der Verwendung Technischer Textilien beruhenden Konstruktion hat, wünscht der Anwender Angaben über die garantierte Lebensdauer der eingesetzten textilen Werkstoffe. Je

nach Einsatzort wirken die verschiedensten Umweltfaktoren auf die eingesetzten Materialien und reduzieren deren Lebensdauer in unterschiedlichem Masse. Dabei muss davon ausgegangen werden, dass die Schadgase NO_x, SO₂ und O₃ auch bei den in der Schweiz vorhandenen Konzentrationen eine signifikante negative Wirkung auf das Alterungsverhalten von Werkstoffen ausüben.

Mit Hilfe von Laborbewitterungen versucht man, bereits nach kurzer Zeit zu Aussagen über das Langzeitverhalten von Werkstoffen zu gelangen. Als Referenz für deren Verhalten im Ausseneinsatz ist man aber nach wie vor auf die Freibewitterung angewiesen. Die im Labor gewonnenen Erkenntnisse werden umso praxisähnlicher, je mehr der für die Alterung relevanten Einflussfaktoren simuliert werden können. Bereits bei früheren Versuchen [3][4], für einige textile Werkstoffe 'Beschleunigungsfaktoren' von Laborbewitterungen gegenüber Freibewitterungen zu bestimmen, wurde festgestellt, dass Bewitterungsversuche ohne den Einbezug des Schadgas-Einflusses mit grossen Unsicherheiten verbunden sein können.

Aus diesen Gründen wurden die Proben bei den nachfolgend beschriebenen Laborversuchen in einem speziell konzipierten Klimaschrank gleichzeitig einem definierten Licht und einer schadgashaltigen Atmosphäre bekannter Zusammensetzung ausgesetzt. Diese Bewitterungen sollen es erlauben, den spezifischen Einfluss obengenannter Schadgase auf bestimmte Fasern sowie polymerspezifische Empfindlichkeiten zu erfassen. Beim Ver-

Tab. 1. Angaben zu den verwendeten Gewebeproben

Polymer	Kurzzeichen ^{a)}		Reisskraft unbewittert [N] ^{b)}	Durchmesser Einzelfaden ^{c)} [µm]	Fadenzahl [cm ⁻¹]
Polyester	PES	Monofil	167±2	37±2	69
Polyester beschichtet ^{d)}	PES besch.	–	3260±60	–	–
Polyester unbeschichtet ^{e)}	PES unbesch.	Multifil	3120±20	30±1	6
Polyamid 6	PA 6	Monofil	690±6	160±6	27
Polyamid 6.6	PA 6.6	Monofil	464±7	78±4	57
Polypropylen	PP	Monofil	514±8	103±4	47
Polyethylen	PE	Monofil	531±3	92±9	62
<i>m</i> -Aramid	AR	Multifil	1030±4	21±3	31

*Korrespondenz: Dr. F. A. Reifler
 Eidgenössische Materialprüfungs- und
 Forschungsanstalt
 Unterstrasse 11
 CH-9001 St. Gallen

^{a)} Kurzzeichen gemäss DIN 60'001, Teil 4 [9].

^{b)} Bestimmung jeweils aus mindestens 24 Proben.

^{c)} Bestimmung mittels Bildanalyse unter dem Lichtmikroskop.

^{d)} PES-Trägergewebe, mit PVC beschichtet (totale Dicke: 0.78 mm).

^{e)} Zugehöriges Trägergewebe ohne Beschichtung.

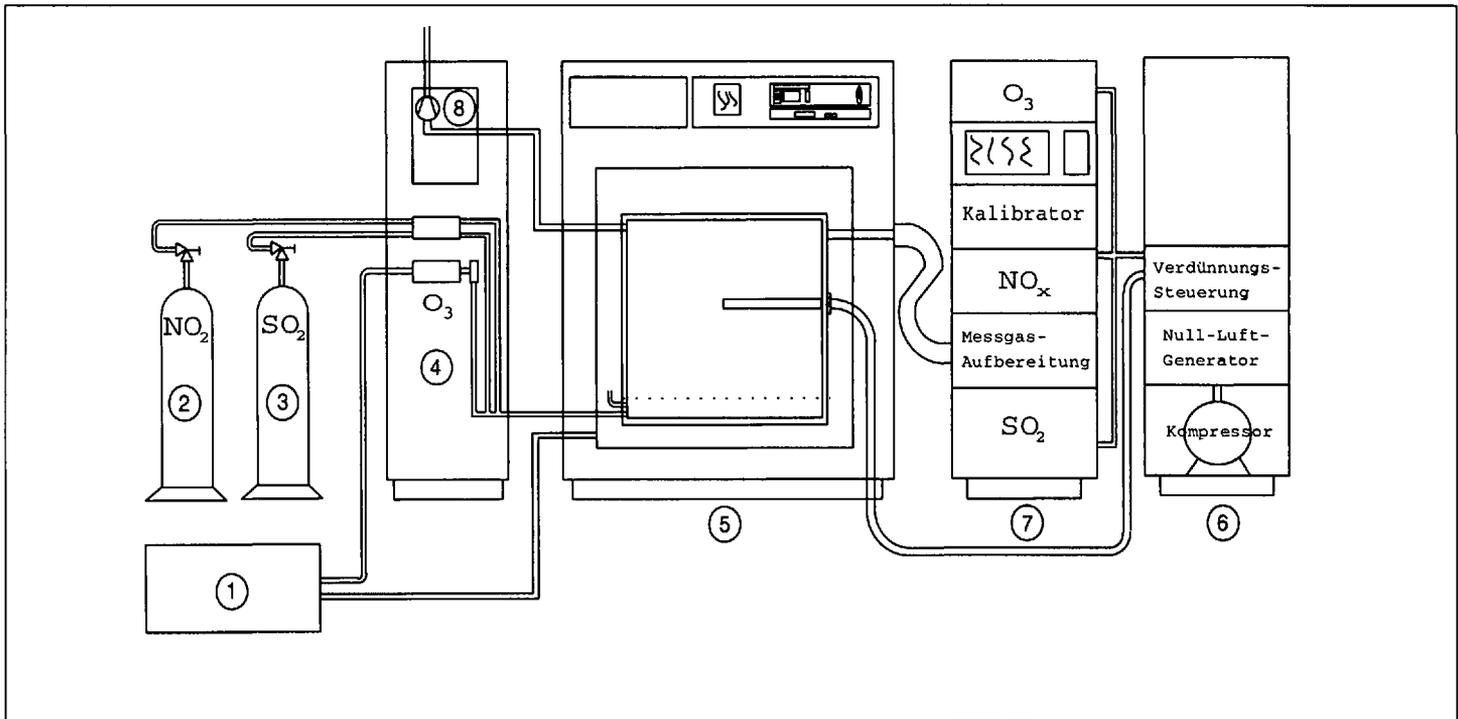


Fig. 1. Schadgas-Klimaprüfschrank. 1) Null-Luft-Generator; 2, 3) Druckgasflaschen mit vorverdünntem Schadgas; 4) Gasdosierungseinrichtung mit Ozonisator; 5) Klimaschrank (Vol. 1 m³) mit Innenprüfschrank aus PVDF (Vol. 168 l) und Beleuchtungstüre; 6) Verdünnungseinheit mit Verdünnungssonde und Null-Luft-Versorgung (alternativ zur Messgasaufbereitung einsetzbar); 7) Gasmess-Einheit zur Schadgasanalytik; 8) Absaugpumpe und Abzug für schadgashaltige Abluft.

gleich mit parallel durchgeführten Freibewitterungsversuchen werden die Schadgasverhältnisse an den acht über die ganze Schweiz verteilten Freibewitterungsstandorten mitberücksichtigt.

2. Experimentelles

2.1. Auswahl und Vorbehandlung der Gewebeproben

Für Labor- und Freibewitterungen wurden in Absprache mit interessierten Industrievertretern Gewebeproben aus den in Tab. 1 aufgeführten, im Sektor der Technischen Textilien vorwiegend eingesetzten Polymeren, verwendet. Soweit möglich, wurde versucht, Gewebe mit ähnlichem Durchmesser der Einzelfasern einzusetzen. Bei PES, PA 6, PA 6.6, PP, PE und AR handelt es sich um handelsüblich stabilisierte, ungefärbte Gewebe. In Ergänzung zu diesen Proben wurde ein speziell für den Gebrauch als der Witterung ausgesetzte Kunststoffdichtungsbahn hergestelltes, PVC-beschichtetes Polyester-gewebe mitgeprüft.

Die für Laborbewitterungen vorgesehenen, ausgestanzten Proben wurden mit entionisiertem Wasser gespült, bei Raumtemperatur an der Luft getrocknet und anschliessend in den Probenhaltern montiert. Um ein Ausfransen der für Freibewitterungen vorgesehenen Proben zu verhindern, wurden diese direkt mit einer

Lötpistole ausgeschnitten und ohne weitere Vorbehandlung montiert.

Die Probenbreite betrug im Schadgas-Klimaprüfschrank 5 cm, bei den Freibewitterungen 20 cm. In beiden Fällen waren von der totalen Probenlänge von ca. 25 cm jeweils die mittleren 8 cm dem Licht ausgesetzt.

2.2. Schadgas-Klimaprüfschrank

Funktionsprinzip: Ein steter Strom sehr reiner Luft aus dem Null-Luft-Generator (vgl. Prinzipskizze in Fig. 1) wird mit den gewünschten Mengen Schadgas vermischt. Mit einer Gasmess-Einheit können die Konzentrationen von O₃, NO, NO₂ und SO₂ kontinuierlich überwacht und registriert werden. Das Messgas kann unverdünnt oder verdünnt auf die Messgeräte geleitet werden. Die maximal mit Licht nutzbare Probenfläche misst 50 x 54 cm. Nachfolgend wird eine Kurzbeschreibung der zur ganzen Apparatur gehörenden Einzelkomponenten gegeben.

Null-Luft-Generator: Typ aadco 737-12C, Leistung max. 0.03 m³/min. Die von Feuchtigkeit, O₃, NO, NO₂, SO₂ und Kohlenwasserstoffen befreite Luft wird dem Klimaschrank und dem Ozongenerator zugeleitet. Schadgaskonzentrationen am Generatorausgang ('Null-Luft'): O₃: ≤ 1 µg/m³, NO: ≤ 3 µg/m³, NO₂: ≤ 3 µg/m³, SO₂: ≤ 2 µg/m³.

Schadgase: NO₂ und SO₂ werden vorverdünnt einer Druckgasflasche entnom-

men, wobei deren Zudosierung mit Massendurchflussreglern gesteuert wird. O₃ wurde aus Null-Luft in einem Ozon-Generator (Sander Modell 25) erzeugt. Prinzipbedingt erzeugt dieses mittlerweile nicht mehr im Einsatz stehende Gerät neben O₃ auch noch eine signifikante Menge an Stickoxiden, was bei dessen Verwendung zu folgenden NO_x-Konzentrationen im Prüfschrank führte: NO: 120 µg/m³, NO₂: 140 µg/m³.

Klimaschrank: Grundgerät Typ Weiss 1000SB; nutzbares Volumen 1.013 m³; Innenprüfschrank aus PVDF, Volumen 0.168 m³ (Fig. 1). Die aus dem Null-Luft-Generator (oder ggf. direkt aus dem Labor) bezogene Luft wird im Mantelraum konditioniert. Diese Luft gelangt zusammen mit den aus dem Beistellschrank zugeleiteten Schadgasen durch den Lochboden des Prüfraums zu den Proben. Die Luftumwälzung im Prüfraum wird durch die am Ende des Systems plazierte Absaugpumpe bewirkt; die Luftwechselrate beträgt ca. 1.5 m³/h.

Beleuchtung: Die Türe des Klimaschranks enthält eine Beleuchtungseinheit aus total 18 UV-Fluoreszenzröhren verschiedenen Typs. Sie simuliert den photochemisch wirksamen Anteil der Globalstrahlung im Wellenlängenbereich von 290-450 nm (DIN 53'384, Verfahren B [5]). Zur Messung der Intensitätsverteilung der UV-Strahlung auf der Probenfläche wurde ein UV-Radiometer Minolta

Farbcode	Kurzbezeichnung	Station	Höhe [m.ü.M.]	Standorttyp	Herkunft Imm.- und Meteodaten
	BER	Bern	530	Stadtzentrum	NABEL AfU Stadt Bern
	DAV	Davos	1570	Agglomeration, Wald	NABEL
	DUE	Dübendorf	430	Agglom. ungeschützt	NABEL
				Agglom. geschützt	
	HAE	Härkingen	420	ländlich, Autobahn	NABEL
	LAE	Lägeren	630	Wald	NABEL
	MAG	Cadenazzo	200	ländlich	NABEL
	PAY	Payerne	500	ländlich	NABEL/SMA
	SIO	Sion	480	ländlich, Autobahn	NABEL/SMA

Fig. 2. Freibewitterung: Kurzcharakterisierung der Stationen und Farbcode

UM-1 mit drei verschiedenen Messköpfen verwendet.

Messgasaufbereitung: Soll die Messung der Schadgaskonzentrationen an unverdünntem Messgas erfolgen, wird dieses nach Abzweigung aus dem Prüfschrank vorerst entfeuchtet und gekühlt (*Gasaufbereitung JCP-S, Insat AG*) und anschliessend auf die Schadgas-Analysatoren geleitet. Bei Messungen an verdünntem Messgas wird dieses in der Verdünnungs-sonde (*EPM Modell 797*) mit Null-Luft verdünnt und anschliessend direkt zu den Analysatoren geführt.

Schadgasanalytik: Eingesetzt werden in der Immissionsanalytik übliche Geräte: Ozonanalysator *Monitor Labs 8810*, NO_x-Analysator *Monitor Labs 8840* und SO₂-Analysator *Horiba APSA-350E*.

2.3. Laborbewitterungen im Schadgas-Klimaprüfschrank

Die Probenhalter ermöglichen die gleichzeitige Montage von 48 Proben. Um den Einfluss der Intensitätsverteilung des UV-Lichts möglichst klein zu halten, wurden die vier Proben, aus welchen später ein Mittelwert für die Restreisskraft berechnet wurde, so über die zur Verfügung stehende Fläche verteilt, dass Probenorte mit unterdurchschnittlicher, durchschnittlicher und überdurchschnittlicher UV-Intensität gleichmässig vertreten waren.

Jedes Bewitterungsexperiment dauerte 500 h und wurde mit Proben aus vier verschiedenen Polymeren durchgeführt. Von allen Polymeren wurden dem Prüfschrank nach 1/3 und 2/3 der Totalzeit jeweils bewitterte Proben entnommen und

durch neue ersetzt. Auf diese Weise konnte für die Bewitterungszeiten 167 h und 333 h die Anzahl verfügbarer Proben verdoppelt werden.

Die Schadgase wurden im Klimaschrank der auf 50° und 70% r.F. konditionierten Luft zugemischt; Art und Konzentration der Schadgase wurden während der ganzen Dauer eines Experiments nicht geändert. Die sich durch die Zumischung bei den einzelnen Bewitterungsexperimenten ergebenden Schadgaskonzentrationen sind in *Tab. 2* aufgeführt; sie gibt ebenfalls Auskunft über die resultierenden Multiplikationsfaktoren gegenüber den Durchschnittskonzentrationen bei den acht Freibewitterungsstandorten in der Zeit von Juni 93 bis Juni 94 (*Tab. 3*).

2.4. Freibewitterungen

Auslagerungsstandorte: Die Proben wurden an den bereits von *Oesch, Faller* und *Heimgartner* [6] im Detail beschriebenen Standorten in Bern, Davos, Dübendorf, Härkingen, Lägeren, Cadenazzo (Magadino-Ebene), Payerne und Sion ausgelagert. Eine grobe Charakterisierung der Stationen kann *Fig. 2* entnommen werden.

Die Proben wurden auf einer um 45° geneigten Fläche montiert. Die Probengestelle sind nach Süden ausgerichtet und stehen jeweils bei einer Messstation des 'Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe' (NABEL). Die Station in Bern stellt einen Sonderfall dar: Hier sind die Probengestelle nach Norden ausgerichtet; die Auslagerung geschah unmittelbar bei einer Messstation des Amtes für Umwelt-

schutz und Lebensmittelkontrolle der Stadt Bern.

Auslagerungsperioden: Die Auslagerungen laufen seit dem 10. Juni 93 und sind auf vier Jahre ausgelegt, mit halbjährlichen Probenahmen. Die Probenahmen werden jeweils innerhalb von drei Tagen bei allen Stationen durchgeführt. Die in diesem Bericht erwähnten Proben stammen von den zwei ersten Probenahmen (Dezember 93 und Juni 94).

Immissionen/Meteorologie: Die Immissionsverhältnisse sind in *Fig. 3*, eine Auswahl an meteorologischen Grössen ist in *Fig. 4* ersichtlich. Über Herkunft der Daten, den verwendeten Farbcode und den Standorttyp der Stationen gibt *Fig. 2* Auskunft. Für Details bezüglich Messmethoden und Datenerfassung sei hier auf [7] und [8] verwiesen.

Für die Stadt Bern sind sowohl Messwerte der NABEL-Station als auch die Messwerte der Messstation des Amtes für Umweltschutz und Lebensmittelkontrolle der Stadt Bern angegeben. Da in städtischen Verhältnissen die Immissionssituation von Ort zu Ort sehr stark variieren kann, erlaubt der Einbezug der NABEL-Daten eine bessere Abschätzung der in dieser Hinsicht zu erwartenden Unterschiede.

2.5. Untersuchung der Proben

Restreisskraft: Die Reisskraftbestimmungen erfolgten auf einer Zugprüfmaschine *Instron 4502* in Anlehnung an SN 198'461 (Streifenbreite 3.5 cm, Einspannlänge 10 cm). Bei unbewitterten Proben wurde die Reisskraft als Durchschnitt aus sechs Messungen, bei bewitterten als Durchschnitt aus vier Proben ermittelt.

3. Laborbewitterungen

3.1. Versuchsprogramm

Eine erste Serie von Laborbewitterungen erfolgte mit Proben aus PES, PP, PA 6 und AR in allen in *Tab. 2* charakterisierten Atmosphären. Zusätzlich wurde mit diesen Polymeren ein Versuch in Laborluft ohne UV-Licht durchgeführt. Dabei lag in 'Laborluft ohne Licht' die Reisskraftabnahme nach 500 h bei allen vier Polymeren unter 10% (PES: 0%, PP: 2.5%, PA 6: 8%, AR: 1.5%); ein markanter Unterschied zwischen Reisskraftabnahmen in 'Laborluft' und 'Null-Luft' wurde nicht beobachtet. Für die zweite Serie von Laborbewitterungen mit Proben aus PE, PA 6.6, PES (beschichtet) und PES (unbeschichtet) wurde deshalb auf die Versuche in Laborluft mit und ohne UV-Licht verzichtet.

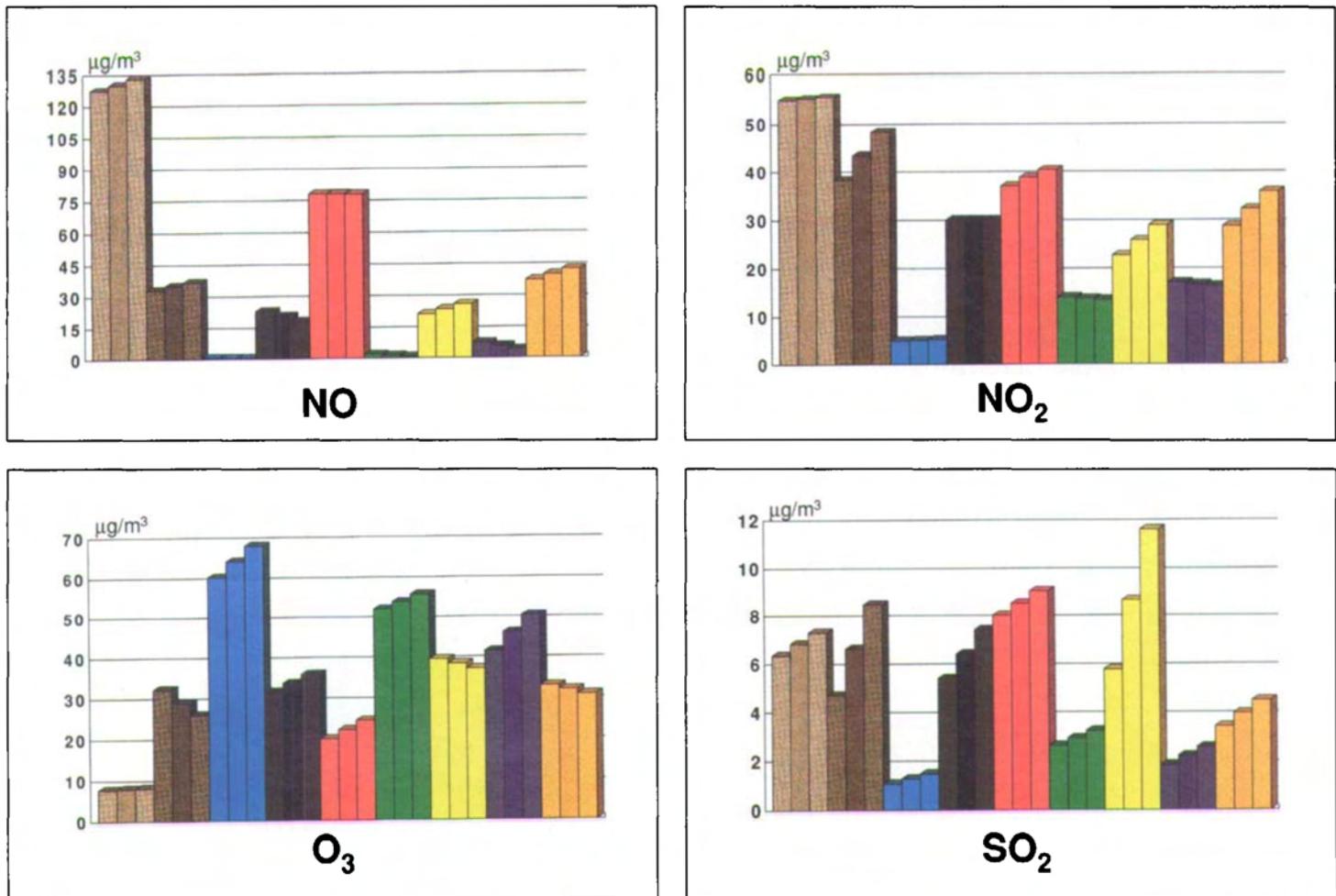


Fig. 3. Freibewitterungsstationen: Immissionsdaten. Farbcode vgl. Fig. 2. Angegeben sind bei jeder Station die durchschnittlichen Tages-Mittelwerte für die Zeit vom 10.6.93-8.12.93 (linker Balken), 8.12.93-7.6.94 (rechter Balken) und 10.6.93-7.6.94 (mittlerer Balken).

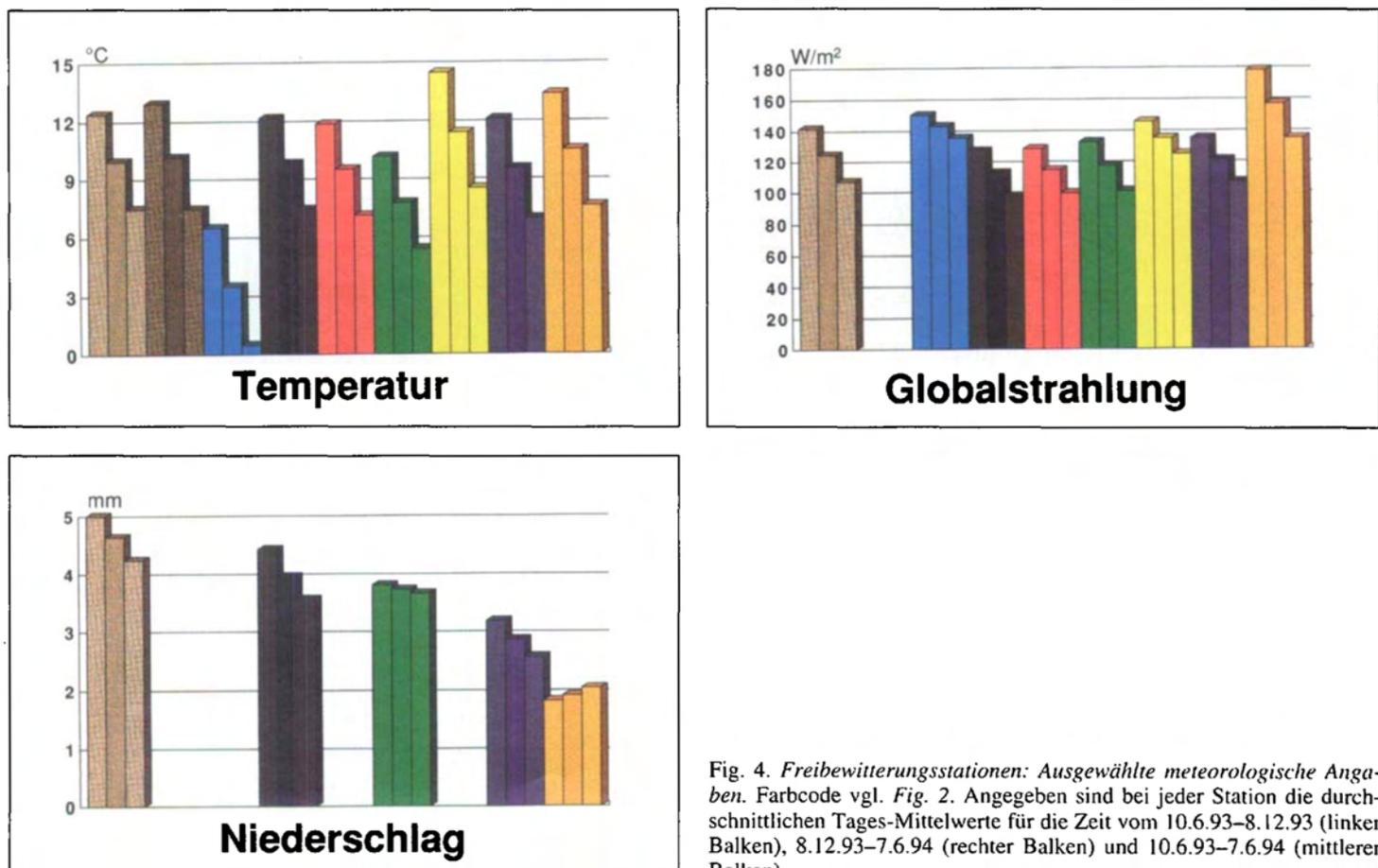


Fig. 4. Freibewitterungsstationen: Ausgewählte meteorologische Angaben. Farbcode vgl. Fig. 2. Angegeben sind bei jeder Station die durchschnittlichen Tages-Mittelwerte für die Zeit vom 10.6.93-8.12.93 (linker Balken), 8.12.93-7.6.94 (rechter Balken) und 10.6.93-7.6.94 (mittlerer Balken).

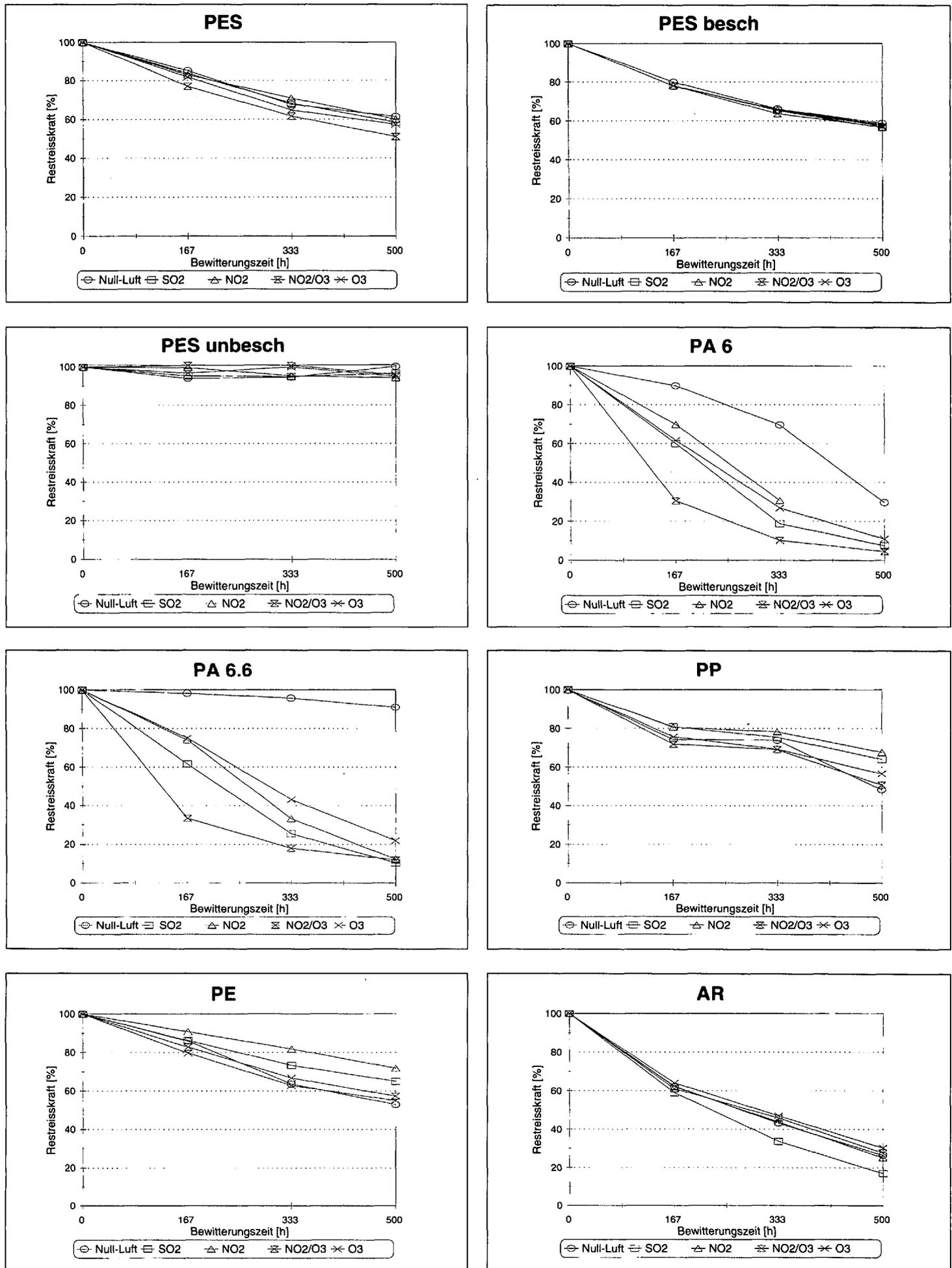


Fig. 5. Reisskraftabnahme Laborbewitterung. Kurzbezeichnungen vgl. Tab. 1.

3.2. Resultate der Reisskraftbestimmungen

Für bewitterte Proben steht bei textilen Flächengebilden die Bestimmung der Restreisskraft im Vordergrund. Die Resultate dieser Bestimmungen geben Hinweise darauf, welche Proben mit weiteren analytischen Methoden untersucht werden sollen.

Fig. 5 gibt eine Übersicht über die Reisskraftabnahme der Proben während der Laborbewitterungen. Nur bei den Polyamiden ist ein signifikanter Einfluss der Atmosphäre auf den Verlauf der Reisskraftabnahme feststellbar.

Interessant ist das Auftreten einer eigentlichen Stufe im Verlauf der Reisskraftabnahme bei den PP-Proben. Dies könnte auf ein während einer bestimmten Phase der Polymerdegradation aktives Stabilisatorssystem zurückzuführen sein.

Zwischen den einzelnen Proben bestehen Unterschiede hinsichtlich Gewebekonstruktion, Einzelfaden-Durchmesser und Fadenzahl. Deshalb ist ein direkter Vergleich der nach einer bestimmten Bewitterungszeit noch vorhandenen Restreisskraft in % nur beschränkt zulässig.

4. Resultate Freibewitterungen

Welche Restreisskraft die ausgelagerten Proben nach einem halben bzw. einem ganzen Jahr noch besitzen, kann der Fig. 6 entnommen werden. Diese Daten gestatten die folgenden Aussagen:

PES, PES (unbeschichtet), PE, AR: Die nach Norden orientierten (Bern) und die geschützten Proben (Dübendorf) zeigen die höchsten Werte für die Restreisskraft. Die Restreisskraft der Proben des Halbjahres Dezember 93 bis Juni 94 ist hier generell grösser als diejenige des Halbjahres Juni 93 bis Dezember 93. Im Wesentlichen scheinen hier Globalstrahlung

und Temperatur die Reisskraftabnahme zu bestimmen.

PP: Die Werte für die Restreisskraft nach einem halben und einem ganzen Jahr unterscheiden sich bei den meisten Stationen nur wenig. Ob hier eine Parallele zu der in der Laborbewitterung aufgetretenen Stufe besteht, werden die Zweijahres- und weitere Jahresproben zeigen.

PES (beschichtet), AR: Hier zeigt sich deutlich der Unterschied zwischen einem speziell für den Ausseneinsatz konzipierten Material und einem Material, das bei der üblichen Verwendung keiner starken UV-Belastung ausgesetzt ist. Falls eine solche zu erwarten ist, werden Aramide besonders gut stabilisiert.

PA 6, PA 6.6: Bei beiden Polyamiden ist die Restreisskraft nach einem Jahr bei den Stationen Davos, Härkingen und Cadenazzo am tiefsten. Genau diese Stationen besitzen im Zeitraum Juni 93 bis Juni 94 die höchsten durchschnittlichen Konzentrationen von O₃ bzw. SO₂, was wie bei der Laborbewitterung auf einen markanten Einfluss der Schadgase auf die Alterung von PA hindeutet.

5. Diskussion und Ausblick

Die Versuche und deren Auswertung sind noch nicht abgeschlossen. Bei der Freibewitterung wird eine Bestätigung oder Revision der bis jetzt vorliegenden Erkenntnisse im kommenden Sommer anhand der zweiten Jahresproben und der ersten Zweijahresproben möglich sein. Erst die Resultate der zur Zeit laufenden Untersuchungen mit Rasterelektronenmikroskopie, Gelpermeationschromatographie (GPC), Thermoanalyse (DSC) und punktuell weiteren Analysemethoden werden die Deutung der Alterungsvorgänge auf molekularer Ebene erlauben. Infolge des bei Fasern sehr ungünstigen Verhältnisses

zwischen direkt exponierter Oberfläche und Kernmaterial sind bei den aus den durchgeführten Bewitterungen vorliegenden Proben bis ins Faserinnere starke Veränderungen zu erwarten.

Aus den bisher vorliegenden Resultaten können für Fasern aus den untersuchten Polymeren folgende Schlüsse gezogen werden:

- Bei den untersuchten Polymeren ist die UV-Strahlung der Hauptverursacher der Verluste an mechanischer Stabilität. Art und Grösse des zusätzlichen Einflusses der Schadgase auf den Verlauf der Alterung ist stark polymerabhängig.
 - Eine starke Abhängigkeit des Alterungsverhaltens von Art und Konzentration einwirkender Schadgase darf nicht *a priori* ausgeschlossen werden. Je nach vorgesehenem Verwendungszweck und den beim Einsatz zu erwartenden äusseren Bedingungen müssen im Einzelfall entsprechende Abklärungen gemacht werden.
 - Bei der Laborbewitterung aufgetretenes polymertypisches Verhalten kann zum Teil bei der Freibewitterung ebenfalls beobachtet werden.
 - Es zeichnet sich ab, dass sich bestimmte Freibewitterungsstandorte zur besonders scharfen Prüfung bestimmter Polymere gut eignen.
- Von den noch laufenden Freibewitterungen und erweiterten analytischen Untersuchungen erwartet man Antworten auf folgende Fragen:
- Welche Zusammenhänge bestehen zwischen der Freibewitterung und der Laborbewitterung in verschiedenen Atmosphären? Welche Polymere sind auf welche Parameter besonders empfindlich?
 - Welches sind auf molekularer Ebene die allfälligen Unterschiede zwischen Proben aus der Laborbewitterung und Proben aus der Freibewitterung, mit gleichem Reisskraftverlust?
 - Welche Unterschiede ergeben sich bei den Freibewitterungen durch die von Jahr zu Jahr schwankenden meteorologischen Bedingungen?
 - Können für Fasern aus bestimmten Polymeren Beschleunigungsfaktoren unserer Laborbewitterung gegenüber der Freibewitterung an einzelnen Stationen abgeleitet werden?

Ein spezieller Dank geht an die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der EMPA-Abteilungen in Dübendorf und St. Gallen, die auf vielfältige Weise zum Fortschritt des Projektes beitragen. Gedankt sei auch dem Amt für Umweltschutz und Lebensmittelkontrolle der Stadt Bern für die Bereitstellung von Immissionsdaten.

Tab. 2. Schadgaskonzentrationen bei den Laborbewitterungen und durchschnittlicher Multiplikationsfaktor gegenüber Freibewitterung

Atmosphäre	Konzentration [ppm]	zudosiertes Schadgas [µg/m ³]	Freibewitterung ^{a)} [µg/m ³]	Multiplikationsfaktor
'NO ₂ '	1.6	3000	27.2	110
'O ₃ '	3.0	6000	37.2	160
'SO ₂ '	2.3	6000	5.1	1180
'NO ₂ /O ₃ '	1.6/3.0	3000/6000	-	110/160

^{a)} Durchschnitt über alle acht Freibewitterungsstandorte vom 10.6.93 bis 7.6.94.

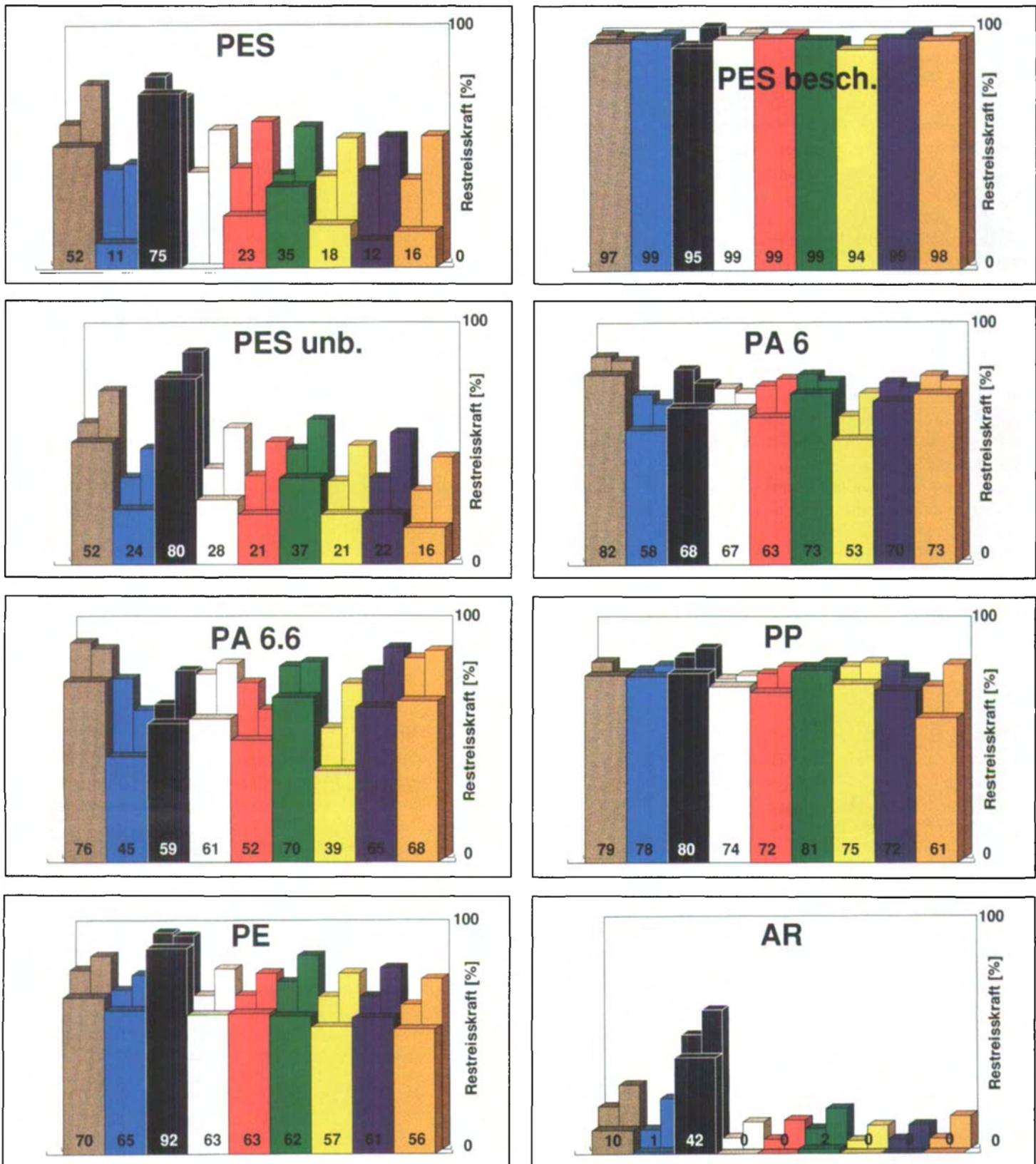


Fig. 6. Restreisskraftabnahme Freibewitterung. Kurzbezeichnungen vgl. Tab. 1. Farbcode vgl. Fig. 2. Angegeben sind bei jeder Station die Restreisskraftwerte nach den Auslagerungsperioden Anf. Juni 93–Anf. Dez. 93 (Balken hinten links), Anf. Dez. 93–Anf. Juni 94 (Balken hinten rechts) und Anf. Juni 94–Anf. Dez. 94 (vorderer Balken).

Eingegangen am 27. März 1995

[1] R. Gallati, 'Schweizerische Textilindustrie', CS Branchenstudie, Schweiz. Kreditanstalt (Hrsg.), Zürich, Januar 1994.
 [2] H.-J. Koslowski, 'Technische Textilien 2000', Technische Textilien 1993, 36, T148.
 [3] E. Martin, 'Lichtbeständigkeit textiler Faserstoffe', Textilveredlung 1983, 18, 222.
 [4] E. Martin: 'Vergleich zwischen künstlicher

Bewitterung und Aussenbewitterung', Interner Bericht EMPA St. Gallen, Oktober 1988.
 [5] DIN 53'384: Prüfung von Kunststoffen – Künstliches Bewittern oder Bestrahlen in Geräten – Beanspruchung durch UV-Strahlung, Deutsches Institut für Normung, April 1989.
 [6] S. Oesch, M. Faller, P. Heimgartner, 'Umwelteinflüsse auf Werkstoffe', Chimia 1994, 48, 217.

[7] EMPA Dübendorf (Hrsg.), 'Technischer Bericht zum Nationalen Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL)', Juni 1994.
 [8] Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (Hrsg.), 'NABEL - Luftbelastung 1993', Schriftenreihe Umwelt Nr. 230, Bern 1994.
 [9] DIN 60'001, Teil 4: Textile Faserstoffe – Kurzzeichen, Deutsches Institut für Normung, August 1991.