

Zur Bewertung der thermischen Behaglichkeit

E. Loose

1. Einleitung

Infolge solcher Entwicklungstendenzen wie ständig steigender Ansprüche an den Komfort des Raumklimas und der Tatsache, daß immer neue Materialien und Bauweisen in die Praxis eingeführt werden, sowie der Tatsache, daß die Energie eine physikalische Größe ist, für die ein oberer Grenzwert des Gesamtumsatzes gilt und nicht eine beliebig produzierbare und beliebig reproduzierbare Naturgabe – wobei die Frage unbeantwortet bleibt, ob es jeweils gelingt, ein behagliches Innenklima zu erreichen –, erzielen die Bewertung und Kontrolle von Raumklimaten eine wachsende Bedeutung.

2. Allgemeines

Die Bewertung der thermischen Behaglichkeit erfolgt über den Weg der Einzelkomponentenmessung und der Messung einer Summengröße. Die Befürworter der Einzelkomponentenmessung verweisen darauf, daß Abweichungen vom Behaglichkeitszustand nur durch gezielte Klimatisierung, die zur richtigen Einstellung des einzelnen Klima-Parameters führt, beseitigt werden können, dessen Kenntnis dann aber Voraussetzung ist. Die Verfechter der Klimasummenmessung sehen deren Vorzug in einem Verfahren, bei dem die energetische Oberflächenbelastung eines Körpers ein entscheidendes Kriterium für die Qualitätsbeurteilung des Klimas ist. Aus wissenschaftlicher Sicht ist die Klimasummenmessung problematisch und umstritten, wobei besonders die Beurteilungskriterien von *Fanger* diskutiert werden. Offene Fragen und gegensätzliche Standpunkte sind scheinbar vor allem darin begründet, daß sich eine gewisse Polarität in den Auffassungen zwischen den Vertretern der Einzelkomponentenmessung und denen der Summenmessung herausgebildet hat, wobei die einen nicht immer geneigt sind, den Wert des anderen Verfahrens anzuerkennen.

3. Einzelkomponentenmessung

Bei der Einzelkomponentenmessung werden die vier physikalischen Raumklimaparameter Raumlufttemperatur, mittlere Strahlungstemperatur der Umgebung, Luftbewegung und relative Feuchte mit den bekannten Meßgeräten getrennt erfaßt und zur Behaglichkeitsbeurteilung ausgewertet. Verschiedene Diagramme aus den Raumklimaparametern mit Behaglichkeitskennlinien und Behaglichkeitsfeldern, die Richtlinien für die Beurteilung geben, wurden vorgeschlagen.

Schlüter [1; 2] entwickelte einen Raumklimaanalysator, mit dem die Einzelkomponenten separat erfaßt und in einem universellen Gerät gemessen werden können. Dieses Gerät besteht aus einem trockenen und einem feuchten Heißleiterthermometer, die Rückschlüsse auf die relative Feuchte zulassen. Zwei auf konstante Temperaturen gehaltene kugelförmige Meßwertgeber – einer oberflächen-versilbert, einer geschwärzt – werden zur Messung von Luftgeschwindigkeit und mittlerer Strahlungstemperatur der Umgebung genutzt.

In diese Kategorie, bei dem das Fühlelement mit konstanter Leistung beheizt wird, gehört auch ein Gerät [3] mit einem im Infraroten maximal absorbierenden- und einem im Infraroten maximal reflektierenden Temperaturfühler, der auf der Temperatur des absorbierenden Temperaturfühlers gehalten wird, mit dem sich die Strahlungstemperatur der den Meßraum umschließenden Flächen bestimmen läßt.

4. Messung einer Summengröße

Die Klimasummenmessung ersetzt die vier physikalischen Klimakomponenten durch eine einzige leichter meßbare Größe, die zur Qualitätsbeurteilung des Klimas genutzt wird. Das Prinzip aller vorgeschlagenen Meßgeräte besteht darin, die Wärmeabgabe eines auf höherer Temperatur beheizten Abkühlungskörpers zu bestimmen und zur Qualitätseinschätzung des Klimas zu benutzen. Die physikalische Größe „Abkühlungsgröße“ ist der Wärmeverlust eines Abkühlungskörpers pro Zeit und Flächeneinheit und subsumiert die abkühlenden Faktoren Lufttemperatur, Strahlungstemperatur, Luftbewegung und Luftfeuchte, da durch den Feuchtesatz der Raumluft ihre Kenngrößen Dichte, Wärmeleitfähigkeit und die spezifische Wärmekapazität verändert werden. Alle Meßvorrichtungen bestehen im Prinzip aus 3 Elementen, dem Abkühlungskörper, der Heizeinrichtung und der Temperaturmeßeinrichtung. Ein Vergleich der Ausführungsformen soll das Zusammenwirken dieser 3 Elemente zeigen. Die Behaglichkeitsmessung beginnt mit dem von *Hill* [4] 1923 vorgeschlagenen Katathermometer, einem Flüssigkeitsthermometer mit verkürzter Skala, bei dem Abkühlungskörper und Temperaturmeßmittel gerätetechnisch identisch sind. Gemessen wird die Abkühlungszeit, in der das auf höherer Temperatur erwärmte Thermometer sich in der Raumluft von 38°C bis 35°C abkühlt. Die Abkühlungsgröße ergibt sich als Quotient aus dem Thermometerwert, der die auf 1 cm² Glasoberfläche bezogene im Temperaturintervall von 38...35°C gespeicherte Wärmemenge darstellt, und der Abkühlungszeit.

Dieses Katathermometer ist ein einfaches und zuverlässiges Gerät zur Behaglichkeitsmessung. Da es nur Momentanwerte liefert, kann es nicht im registrierenden Betrieb eingesetzt werden. Umständlich sind die vor jeder Messung erforderliche Erwärmung und die Zeitmessung.

Das selbsttätige Katathermometer [5] mit Heizeinrichtung im Thermometerkörper beseitigt diese Nachteile. Die Aufrechterhaltung des Kataprinzips erfordert aber ein kompliziertes Abtast- und Kontaktsystem und läßt die Messung wegen der Zeit als Meßgröße diskontinuierlich bleiben.

Bradtke und Liese [6] haben die Behaglichkeitsziffer B als Quotienten aus Raumlufttemperatur und Abkühlungsgröße eingeführt. Sie begründeten die Messung der Luftgeschwindigkeit als Resultierende aus Lufttemperatur und Abkühlungsgröße und die Ermittlung der mittleren Strahlungstemperatur aus der Differenz zweier Abkühlungsgrößen, gemessen mit zwei Katathermometern, von denen eines versilbert ist. Frigorimeter, bei denen eine geschwärzte Kupferkugel durch elektrische Heizung auf einer konstanten Temperatur von 37°C gehalten und aus der Größe des Heizstromes auf die Behaglichkeit geschlossen wird, dienen auch zur Ermittlung der Abkühlungsgröße [7].

Richtungsempfindliche Frigorimeter haben einen würfelförmigen Modellkörper, bei denen die Wärmeströme, die von den Würfelflächen infolge Abkühlung ausgehen, mit Wärmestrommeßplatten erfaßt werden [8].

Madsen [9] hat einen Klimasummenmesser zur Bestimmung des durch Asymmetrie des thermischen Feldes verursachten thermischen Unbehagens, d. h. zum Messen der Abweichung von Behaglichkeitszustand, in dem die im Körper erzeugte Wärme unter Konstanzhaltung einer als behaglich empfundenen Haupttemperatur an die Umgebung abgegeben wird, vorgeschlagen. Das Gerät enthält als Meßkörper zwei sich in parallelen Ebenen gegenüberstehende und gegeneinander wärmeisolierte heizbare Platten. Eine Steuereinrichtung regelt die Plattenheizungen jeweils so, daß die voneinander abgekehrten Flächen annähernd gleiche Temperaturen aufweisen.

Die Differenz zwischen den hierfür erforderlichen Heizleistungen ist ein Maß für die Asymmetrie des thermischen Feldes. Der Grad des thermischen „Unbehagens“ ergibt sich aus der zum Erreichen einer bestimmten Temperatur der Platten, die der von Bekleidung und Aktivitätsniveau abhängenden behaglichen Haupttemperatur der Rauminsassen gleicht, erforderlichen Heizenergie. Das eben beschriebene Gerät ist die Weiterentwicklung einer Vorrichtung ohne Richtungsempfindlichkeit [10].

Mit einem Modellkörper bilden andere Autoren die Wärmeflußregelung des natürlichen Kopfes nach und können durch Aufteilung des Kopfes in 4 Segmente [11] oder durch besondere Drehbewegungen [12] die Klimasummengröße richtungsabhängig erfassen.

Die Haupttemperatur als Bezugsbasis für das Behaglichkeitsempfinden heranzuziehen, erscheint überholt, weil inzwischen nachgewiesen wurde, daß für die Temperaturempfindung des Menschen die Thermorezeptoren

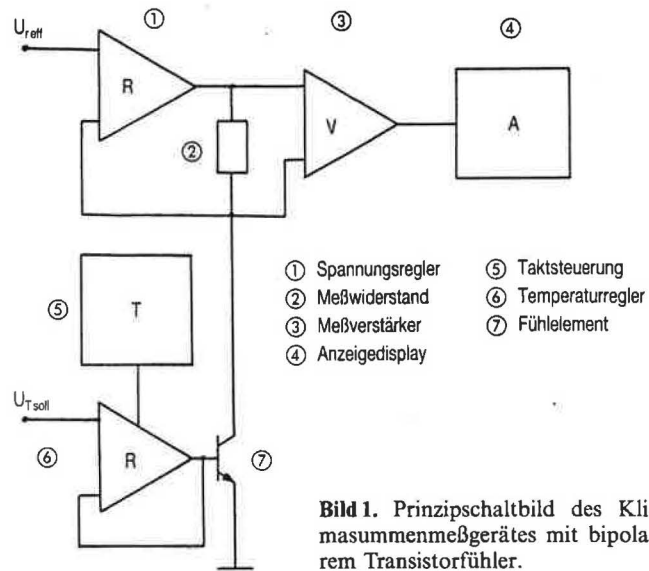


Bild 1. Prinzipschaltbild des Klimasummenmeßgerätes mit bipolarem Transistorfühler.

(Wärme- und Kälterezeptoren) den örtlichen Temperaturgradienten in der Haut erfassen und daher eindeutig Informationen über die Wärmestromdichte, einem energetischen bzw. leistungsbezogenen Maß in Gestalt der vom Organismus durch Strahlung und Konvektion an die Umgebung abgegebenen Wärmemenge je Zeit- und Flächeneinheit, liefern [13; 14].

Bei den Ausführungsformen der Meßgeräte wird vom Frigorimeter an die Temperatur des Abkühlungskörpers konstant gehalten und das Klimasummenmaß aus der für die Konstanzhaltung dieser Temperatur erforderlichen Heizenergie ermittelt, was physiologisch analog ist.

Nun ist vorgeschlagen worden [15], den Abkühlungskörper mit konstanter Energie zu beheizen und seine unter dem jeweiligen Klima gerade sich einstellende

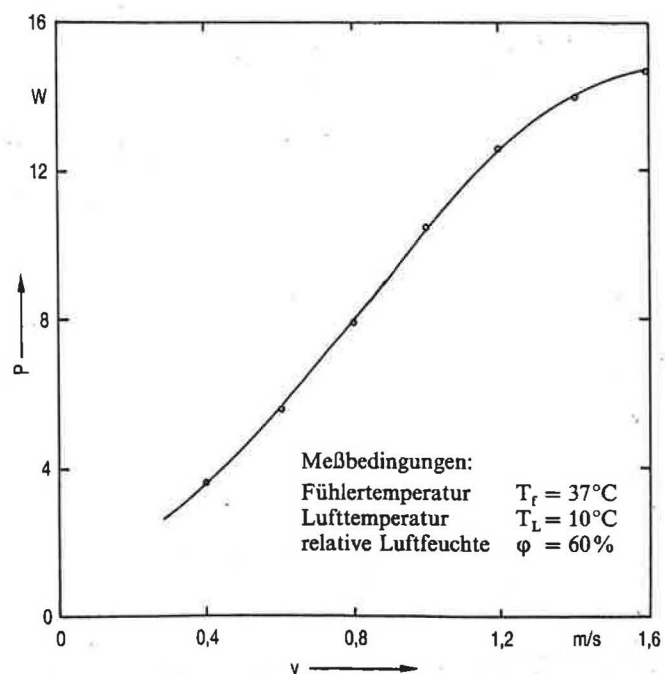


Bild 2. Fühlerleistung P als Funktion der Luftgeschwindigkeit v.

Temperatur als Maß für die Klimabeurteilung heranzuziehen. Diese Methode ist physiologisch nicht adäquat, da die menschliche Körpertemperatur konstant bleibt und das Behaglichkeitsempfinden aus der Energiebilanz zur Aufrechterhaltung dieser konstanten Temperatur resultiert.

Zu der Kategorie der Klimasummenmeßgeräte, die thermostatisch arbeiten, gehört auch eine eigene Entwicklung eines Meßgerätes, bei dem der Abkühlungskörper sowohl Temperaturmeßmittel als auch Heizeinrichtung ist.

Im Meßgerät wird ein bipolarer Transistor (Sensor) auf konstante Temperatur (Körpertemperatur) geheizt und die Energie erfaßt, die für die Konstanthaltung dieser Temperatur in abkühlender Umgebung erforderlich ist.

Ausgenutzt wird seine Erwärmung bei Stromdurchfluß, sowie die Temperaturabhängigkeit seiner Basis-Emitter-Strecke. Der Spannungsabfall zwischen Basis und Emitter wirkt auf die Regelung, wodurch der Strom gesteuert wird, der zur Erwärmung führt. Dieser Strom ist ein Maß für die Energie zur Konstanthaltung der Temperatur. Angezeigt wird der durch diesen Strom verursachte verstärkte Spannungsabfall. Die Kalibrierung der Skala erfolgt nach der Abkühlungsgröße.

Die Reihenschaltung von Meßwiderstand und Fühlelement liegt am Ausgang eines Regelverstärkers, der aus der Kollektorspannung des Fühlertransistors und einer konstanten Referenzspannung ein Vergleichssignal zur konstanten Regelung der Kollektorspannung bildet (Bild 1). Ein weiterer Regelverstärker ermittelt aus dem Temperaturabbildungssignal des Fühlers und einem konstanten Referenzsignal ein Vergleichssignal zur Ansteuerung des Fühlertransistors. Die Meßgröße, die am Meßwiderstand abgegriffen wird, wirkt auf einen Verstärker, an dessen Ausgang das Anzeigedisplay liegt.

Der Fühler wird der Raumluft ausgesetzt. Seine elektrischen Anschlüsse laufen über ein kurzes Kabel in ein Gehäuse, das die Schaltung und die Anzeigeeinheit aufnimmt. Mit dem realisierten Meßgerät können Klimasummenmessungen in Räumen vorgenommen werden. Das Bild 2 zeigt eine Kennlinie des Meßgerätes für die Fühlerleistung als Funktion der Luftgeschwindigkeit. Die Abhängigkeit der Fühlerleistung von der Lufttemperatur ist im Bild 3 dargestellt. Die gewonnenen Meßpunkte, die eine geringe Streuung aufweisen, lassen sich durch eine Gerade annähern. Auch die Messungen der Fühlerleistung in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchte ergab eine Gerade mit sehr geringem Anstieg. Der Kurvenverlauf ist im Bild 4 dargestellt. Auf dem Bild 5 ist eine Variante des Klimasummenmeßgerätes zu sehen.

5. Trends in der Klimabewertung

Eine zunehmende Bedeutung gewinnt die Klimabewertung besonders durch steigende Ansprüche an die Qualität des Raumklimas in Wohn- und Arbeitsstätten sowie der Entwicklung und Einführung neuer Methoden und Baumaterialien in die Produktion. Dabei sind beson-

ders Energiesparmaßnahmen durchzusetzen. Ferner steigen die Anforderungen an das Klima am Arbeitsplatz für Gesundheit und Leistungsbereitschaft häufig gegenüber dem außerberuflichen Bereich.

Viele Werktätige sind innerhalb oder außerhalb von Räumen Hitzeeinwirkungen oder Kältebelastungen im Arbeitsprozeß ausgesetzt. Unbehagliche Klimabedingungen verursachen hier eine geringe Leistungsfähigkeit und Leistungsbereitschaft. Auf anderen Gebieten, z. B. in der

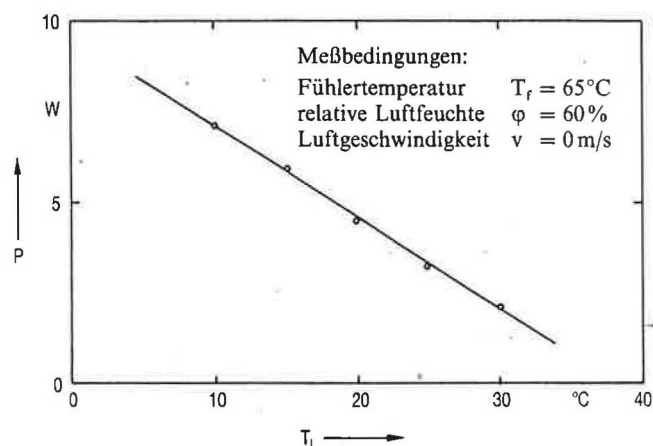


Bild 3. Fühlerleistung P als Funktion der Lufttemperatur T_L .

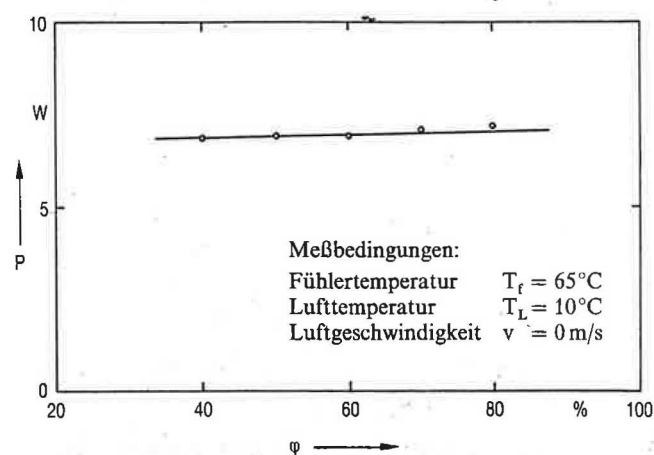


Bild 4. Fühlerleistung P als Funktion der relativen Luftfeuchte ϕ .

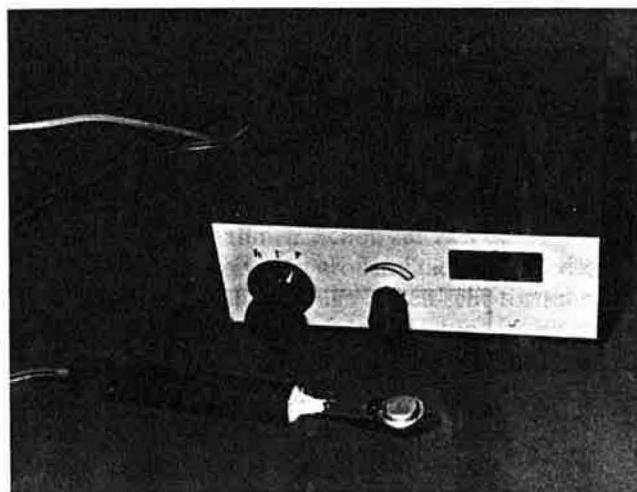


Bild 5. Meßgerät mit Stromversorgung und Fühler.

Tierhaltung und in Gewächshäusern, in denen die Ertragslage entscheidend von Klimabedingungen abhängt und im Zuge der Rationalisierung an Bedeutung gewinnt, sind einfache Geräte zur Klimasummenmessung noch gar nicht zugänglich. Ferner müssen für Materialien, Geräte, Anlagen sowie Erzeugnisse, wie z. B. Kunstwerke, besonders thermische Klimaparameter eingehalten werden, um deren Funktionstüchtigkeit, Lagerfähigkeit und Haltbarkeit zu garantieren.

Hier sind noch viele Untersuchungen erforderlich, bei denen eine optimale meßtechnische Erfassung des Klimas an Bedeutung gewinnt. Auf dem Gebiet der Klimabewertung steigt so die Anzahl der ökonomisch begründeten Einsatzfälle für Meßgeräte ständig. Die momentan produzierten Klimameßgeräte erfüllen in vielen Fällen folgende Anwenderforderungen nur unzureichend:

- geeignete statische und dynamische Meßeigenschaften,
- Resistenz gegenüber Umwelteinflüssen,
- Wartungsfreiheit,
- geringe Kosten.

Zur Lösung dieser Aufgaben sind qualitativ verbesserte Weiterentwicklungen bekannt, die durch sinnvolle Anwendung von Mikrorechnern zur Kennlinienlinearisierung, Meßfehler- und Störgrößenkorrektur und gleichzeitigen Verarbeitung mehrerer Meßgrößen erreicht wurden. Verbesserungen in der Qualität der Klimameßtechnik können durch neue Meßfühlerkonzeptionen erreicht werden.

6. Schlußbemerkungen

Klimasummenmeßgeräte mit bipolarem Transistorsensor können für ambulante schnell orientierende Messungen im Raum, die häufig an mehreren Produkten wiederholt werden müssen, als auch zur Dauerüberwachung von Raumklimaten herangezogen werden. Günstig ist die kontinuierliche Funktionsweise und die dadurch mögliche Sofort- und Direktanzeige.

Die erreichten Meßergebnisse sind reproduzierbar. Speziell bei Aufgaben zur Untersuchung der Wirkung der Bauwerkssanierung in der Altbausubstanz auf das Raumklima ergeben sich vielfältige Anwendungsfelder. Verbesserungen in der Klimasummenmessung können durch Entwicklungen in der Sensorik (z. B. durch Verbesserung der Anpassung zwischen Meßwertaufnehmer und Prozeß) erzielt werden. Besonders zur Erhöhung der

Meßgenauigkeit müssen Mikrorechner eingesetzt werden. Dabei ist zu entscheiden, ob die erreichbare Genauigkeit den notwendigen elektronischen Mehraufwand rechtfertigt.

7. Zusammenfassung

Der Darlegung des Meßprinzips zur Erfassung der thermischen Behaglichkeit folgt die Diskussion bisher bekannter Verfahren und Geräte. Am Ende wird eine Neuentwicklung beschrieben, bei der Abkühlungskörper, Temperaturmeßmittel und Heizeinrichtung ein und dasselbe Element darstellen.

Literatur

- [1] Schlüter, G.: Elektronischer Raumklima-Analysator DE 2210 523 vom 2.3.1972.
- [2] Schlüter, G.: Ein elektronischer Raumklimaanalysator Gesundheits-Ingenieur 93 (1972), 10, S 289-320.
- [3] Mayer, E.: Einrichtung zur Beurteilung des Raumklimas, DE-PS 3205704 C2 vom 22.12.88.
- [4] Hill, L.: The Katathermometer in studies of body heat efficiency. Med. Res. Council spec. Report, sev. 73 London (1923).
- [5] Strogies, W.: Selbsttätiges Katathermometer zur Messung und Registrierung von Abkühlungsgrößen. DE-PS 1048048 vom 25.6.1959.
- [6] Bradtke, F. u. Liese, W.: Hilfsbuch für raum- und außenklimatische Messungen. Berlin 1937 und Berlin, Göttingen, Heidelberg (1952).
- [7] Thilenius, R.: Die Konstruktion des Davoser Frigorimeters. Meteorologische Zeitschrift 48 (1931), S. 254.
- [8] Frank, W.: Die Erfassung des Raumklimas mit Hilfe richtungsempfindlicher Frigorimeter, Gesundheits-Ingenieur 89 (1968), 10, S. 301.
- [9] Madsen, Th. L.: Gerät zum Messen des durch Asymmetrie des thermischen Feldes verursachten thermischen Unbehagens. DE-AS 2528 340 vom 25.06.1975.
- [10] Madsen, Th. L.: Gerät zum Messen des Grades des thermischen Unbehagens. DE-OS 2157 550 vom 25.5.1972.
- [11] Lutz, H.: Ein einfaches Verfahren zur richtungsbezogenen Messung einer raumklimatischen Summengröße. Dissertation Stuttgart (1969).
- [12] Schwarz, B.: The Comfortmeter. Carson (1972).
- [13] Frank, W.: Raumklima und thermische Behaglichkeit. Berichte aus der Bauforschung, Sonderdruck aus Heft 104 (1975), S. 10.
- [14] Autorenkollektiv: Lehrbuch der Klimatechnik, BD 1, Grundlagen, 3. Auflage, S. 77/93. Verlag C.F. Müller, Karlsruhe (1980).
- [15] Hallgren, K. J.: Vorrichtung zur Erfassung der Behaglichkeit des Klimas in Aufenthaltsräumen DE-AS 1798439 vom 2.12.1976.

Chlor- und säurefreies Papier für den „gi“

Wenn neue technische Verfahren dazu beitragen, die Umwelt zu schonen, dann sollten sie auch überall dort eingesetzt werden, wo das sinnvoll ist. Ab Heft 1/1991 wird daher der „gi“ auf chlor- und säurefreiem Papier gedruckt. Damit kann ein Beitrag zur Entlastung unserer Gewässer geleistet werden.