

# POLYCARBONAT-SICHTSCHEIBEN IN WERKZEUGMASCHINEN

Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e.V. (VDW)  
Dr.-Ing. Timo Würz, RA Klaus-Peter Kuhnmüch, Dipl.-Ing. Heinrich Mödden

## 1. Ausgangssituation und Entwicklung

Zwar wird durch die sicherheitstechnischen Vorgaben des Gerätesicherheitsgesetzes /1/ und der maschinenspezifischen C-Normen /2,3,4/ die Fertigung mehr und mehr hinter geschlossenen Maschinentüren stattfinden, wie nachfolgende Zitate aus Normen für die Werkzeugmaschinen-sicherheit belegen:

- DIN EN 12415 „Kleine NC Drehmaschinen und –zentren ... die vornehmlich für die Kaltbearbeitung von Metall ohne Zugang zum Arbeitsbereich während der Bearbeitung gestaltet sind.“
- DIN EN 12417 „Bearbeitungszentren“ – Einleitung: „Eine *vollständige Verkleidung* des Arbeitsbereiches mittels trennender Schutzeinrichtungen ist an kleineren Maschinen *durchführbar*“ und Abschnitt 1.1.2.1 „Wenn möglich, *muss der Arbeitsbereich* während der Bearbeitung von feststehenden und/oder verriegelten beweglichen *trennenden Schutzeinrichtungen umschlossen* sein.“

die Prozessbeobachtung wird aber auch zukünftig notwendig sein, so führt ein Positionspapier der Berufsgenossenschaft (BG) dazu an /5/:

„Das Merkblatt beschreibt eine Strategie zur Festlegung einer Sonderbetriebsart „Prozessbeobachtung“ für den Fall, dass eine Beobachtung eines automatischen Ablaufes durch Bedienpersonen für bestimmte Be- und Verarbeitungsschritte unerlässlich ist und nach dem Stand der Technik nicht mit anderen Betriebsarten, wie sie zum Beispiel in entsprechenden Produktnormen für Maschinen beschrieben sind, erreicht werden kann.“



Bild 1: Prozessbeobachtung  
(Quelle: Chiron)

Der Bediener muss die zunehmend automatisierte Fertigung also weiterhin an der Werkzeugmaschine kontrollieren und dazu den Bearbeitungsprozess beobachten (Bild 1).

Bedeutsam ist hierzu auch die Feststellung der BG /6/, dass „gemessen an der Zahl der im Betrieb befindlichen Werkzeugmaschinen das Unfallgeschehen .. verursacht durch herausgeschleuderte Teile gering (ist). Allerdings sind sehr viel mehr Beinaheunfälle zu verzeichnen und, wenn es zu Unfällen mit Personenschaden kommt, handelt es sich zumeist um schwere oder gar tödliche Unfälle“ .

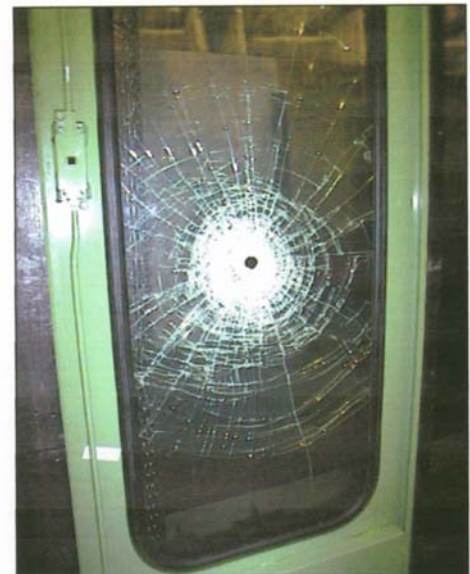


Bild 2: VSG-Durchschuss (IWF)

Andererseits erhöht sich das Gefährdungspotential infolge wegfliegender Teile (siehe Schutzfenster mit Verbundsicherheitsglas in Bild 2) durch weiterhin steigende Bearbeitungsgeschwindigkeiten /7/, siehe Bilder 3, 4 und 5. Deshalb hat der VDW im Jahre 1997 ein Projekt „Gestaltung und Dimensionierung von trennenden Schutzeinrichtungen“ gestartet, um mit dem IWF der TU Berlin und der BG den Stand der Technik übersichtlich zusammenzustellen und Verbesserungsmöglichkeiten aufzuzeigen /8/.

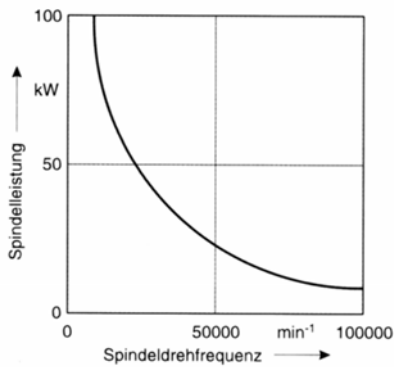


Bild 3: Stand der Technik bei HSC-Spindeln

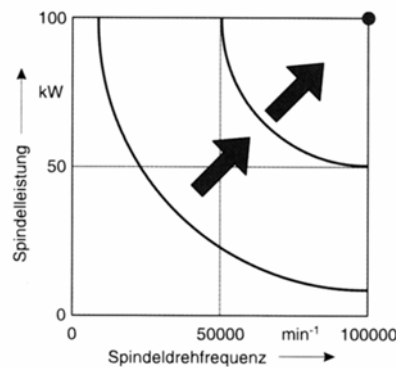


Bild 4: Wunschziele für die Entwicklung

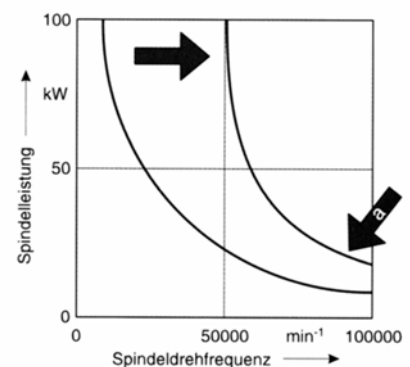


Bild 5: Reale Möglichkeiten und physikalische Grenzen (a)

Im Laufe dieses Projektes wurde schnell erkannt, dass die Sichtschutzeinrichtungen eine herausragende Bedeutung für die Sicherheit des Bedieners haben, weil dieser sich üblicherweise im Bereich vor der Sicherheitsscheibe aufhält und die Bearbeitung beaufsichtigt (Bild 1). Eine Verschärfung des Problems ergibt sich, weil sich die Scheiben oft im Primärbereich abgeschleuderter Teile befinden.

Beim Vergleich der Materialkennwerte verschiedener Scheibenmaterialien wurde bald deutlich, dass Polycarbonat „der Werkstoff“ für die Sicherheitsscheiben ist. Konkurrenzprodukte auf PET-Basis (Polyethylenterephthalat) wurden zwar zwischenzeitlich wegen ihrer angeblichen Unempfindlichkeit gegenüber Kühlschmierstoffen hoch gehandelt, konnten diesen Anspruch aber nicht aufrecht erhalten und am Ende auch nicht die Rückhaltefähigkeit des Polycarbonates (PC) nachweisen. Das im Personenschutz bewährte Sicherheitsglas schied für die gedachten Schadensereignisse an Werkzeugmaschinen sehr schlecht ab und PMMA (Polymethylmetacrylat) hat ebenfalls eine zu geringe Rückhaltefähigkeit.

Die Alterung des Polycarbonates wurde im VDW Arbeitskreis als ein bis dahin weitgehend vernachlässigtes Problem erkannt, denn infolge der Versprödung durch gewisse Bestandteile von Kühlschmierstoffen oder Reinigungsmitteln verändert PC seine Eigenschaften mit der Zeit zu einem glasähnlichen Verhalten; Bild 6 zeigt das Bruchverhalten einer versprödeten PC-Scheibe, die am Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitssicherheit (BIA) untersucht worden war. In Bild 7 ist dagegen eine neuwertige PC-Scheibe nach dem gleichen Aufprallereignis gezeigt [9]. Aus der Versprödung des Polycarbonates können erhebliche Gefährdungen resultieren.

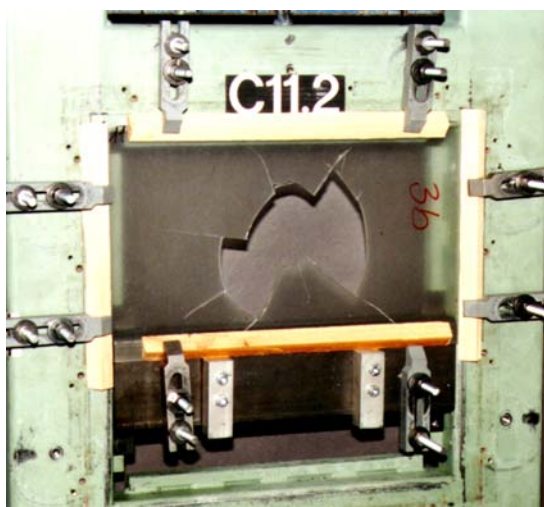


Bild 6: Versprödete PC-Scheibe nach einem Beschuss



Bild 7: Neuwertige PC-Scheibe mit der gleichen Aufprallenergie getestet

## **2. Ansätze zur sicheren Anwendung von Polycarbonat in Werkzeugmaschinen**

Um die betriebliche Sicherheit an Werkzeugmaschinen zu garantieren, wurden im Frühjahr 1999 die betroffenen Kreise mit einem Merkblatt informiert. Die Werkzeugmaschinenbauer und ihre Zulieferer wurden angeschrieben und aufgefordert, die Käufer von Neu- und Gebrauchtmaschinen ausdrücklich über das Alterungsproblem von Polycarbonat zu informieren, z. B. in der Betriebsanleitung. Das Merkblatt wurde in Englisch, Französisch, Italienisch und Spanisch übersetzt und an Verbände in Europa und USA verteilt. Die vom VDW vorgeschlagenen Austauschintervalle für die Polycarbonat-Sicherheitsscheiben, nämlich:

Fall 1: Beidseitig geschützte PC-Scheiben mit Abdichtung der Schnittkante: alle 5 Jahre,  
Fall 2: Einseitig geschützte oder ungeschützte PC-Scheiben: alle 2 Jahre,

wurden von den Anwendern der Werkzeugmaschinen nicht unwidersprochen hingenommen, weil aus der damit verbundenen Nachrüstung von Altmaschinen erhebliche Kosten resultieren.

Als erstes rückte die BG von dieser Empfehlung ab und formulierte ihr Positionspapier „Einzelfallbeurteilung“ /10/, das sich auf dringende Fälle bei den Alt-Maschinen konzentriert. Insbesondere die Automobilindustrie wendete sich gegen fest vorgeschriebene Austauschfristen. Einzelne Großanwender von Werkzeugmaschinen befürchteten zudem, dass „durch mißbräuchliche Anwendung des Merkblattes eine Verlagerung der Haftung von Herstellern zu Betreibern beabsichtigt“ sein könnte.

Statt mit fest definierten Fristen sollten versprödete PC-Scheiben entsprechend der Gefährdung und „mit Augenmaß“ getauscht werden. Bisherige Praxis ist, dass die Scheiben gewechselt werden, wenn sie beschädigt oder undurchsichtig geworden sind; die Versprödung des Polycarbonates ist aber nicht in jedem Fall per Sichtprüfung zu erkennen.

Das juristische Risiko für den Hersteller, falls der Anwender trotz offensichtlichen Beschädigungen den Austausch fahrlässigerweise nicht vornimmt, ist ein weiterer Grund dafür, dass die Austauschfristen von einigen Mitgliedsfirmen weitervertreten werden.

Im Gegensatz zu den Alt-Maschinen wurden die vorgeschlagenen Austauschfristen für Neu-Maschinen kaum in Frage gestellt.

Durch Erweiterung der Datenbasis zur Polycarbonat-Alterung mit Hilfe von aus dem Fertigungsbetrieb bezogenen Polycarbonat-Scheiben konnte belegt werden, dass geschütztes Polycarbonat eine Langzeitbeständigkeit von bis zu 12 Jahren hat (Bild 8). Auf Basis dieser Untersuchungsergebnisse wurde für allseitig geschütztes Polycarbonat letztlich eine Austauschfrist von 10 Jahren empfohlen.

Weil die Umrüstung auf rundum geschützte Polycarbonat-Scheiben in manchen Fällen konstruktive Probleme bereiten kann, benutzen einige Konstrukteure die Alterungskurve (Bild 8) für eine Ingenieur-gemäße Überdimensionierung, so dass nach definierter Zeit noch die nominell geforderte Rückhaltefähigkeit erwartet werden kann. Selbstverständlich schließt sich dann eine Austauschempfehlung an, da die Versprödung weiter voran schreitet.

## **3. Datenbasis zur Alterung von Polycarbonat**

Weil die Datenbasis mit im realen Betrieb gealterten PC-Scheiben nicht vollständig war, wurden im Auftrag des VDW vom BIA umfangreiche Beschussuntersuchungen mit betrieblich gealterten Scheiben durchgeführt /9/. Die Ergebnisse sind in Bild 8 zusammengefasst.

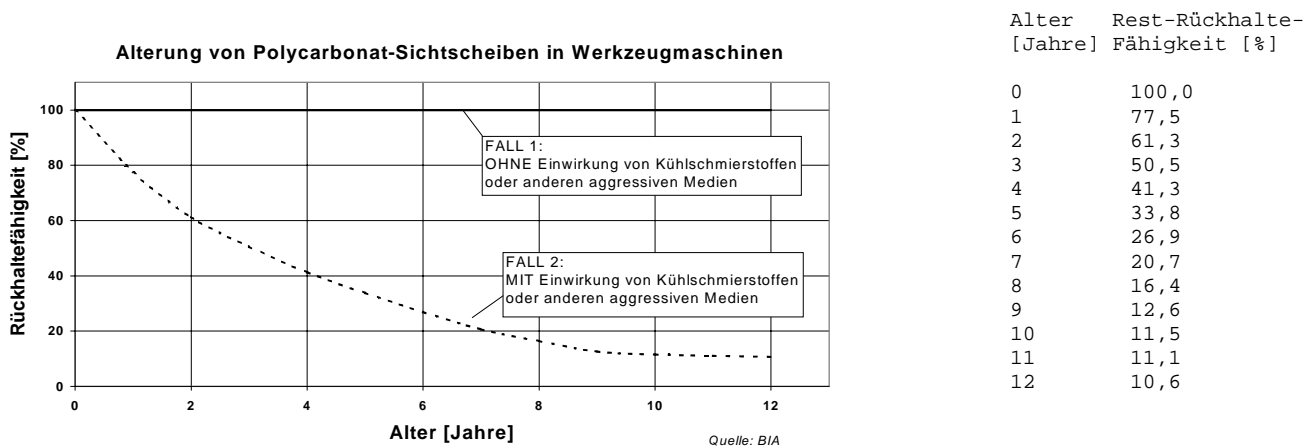


Bild 8: Alterung von Polycarbonat-Sichtscheiben in Werkzeugmaschinen

Die Alterungskurve zeigt ein quasi-exponentielles Verhalten, die interpolierten Zahlenwerte sind neben dem Diagramm dargestellt. Das wesentliche Ergebnis aber ist, dass Polycarbonat seine Rückhalterfähigkeit auch nach 12 Jahren noch behält, wenn jeder Kontakt mit schädigenden Substanzen vermieden wird (Fall 1). Als Konsequenz dieser Ergebnisse kommt bei deutschen Drehmaschinenherstellern mehrheitlich ausschließlich allseitig geschütztes Polycarbonat zum Einsatz. Ein entsprechender Vorschlag ist bei den europäischen Sicherheitsnormen eingebracht worden, siehe Tabelle 1 und 2 sowie /2/.

Die Hersteller anderer Maschinengattungen, wie Bearbeitungszentren und Schleifmaschinen, sind diesem naheliegenden Lösungsansatz nur teilweise gefolgt. Neben der einbautechnischen Problematik bei sehr großen Maschinentüren (BAZ für Formenbau) wurde die Argumentation entwickelt, dass die Risiken in vielen Fällen deutlich geringer sind, als an Drehmaschinen. Deshalb wurde aus der dargestellten Datenbasis für einige Sonderfälle herausgelesen, dass für ungeschützte Scheiben die Vermutung zulässig ist, dass nach mehr als 10 Jahren eine Rest-Rückhalterfähigkeit von noch ca. 10% des ursprünglichen Wertes erhalten bleibt. Dies kann in begründeten Fällen ausreichend für die Sicherheit sein, zum Beispiel für die Absicherung des Werkzeugwechslers und für Sägemaschinen, die ein sehr geringes Risiko wegfliegender Teile haben.

#### 4. Sind hartbeschichtete PC-Scheiben in Werkzeugmaschinen alterungsbeständig ?

Zum Einsatz von hartbeschichtetem Polycarbonat hat sich eine intensive Diskussion ergeben. Es wurde festgestellt, dass die bisher vorgestellten Beschichtungen keinen ausreichenden

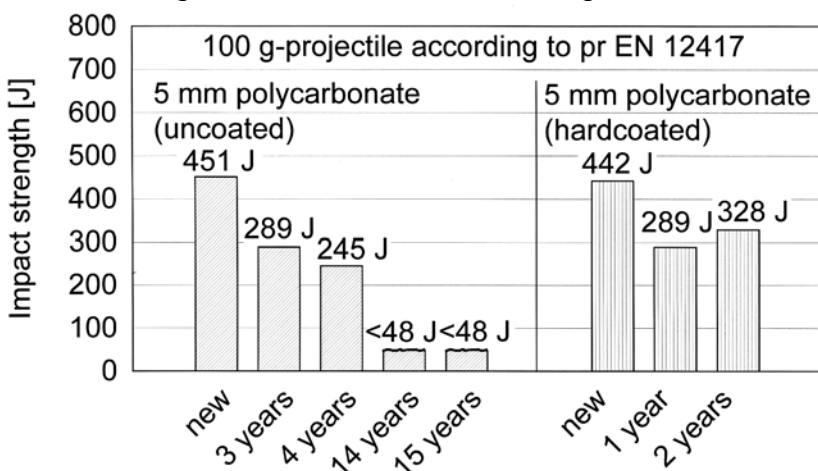


Bild 9: Beschussergebnisse mit gealtertem Polycarbonat (beschichtet und unbeschichtet),  
Quelle: BIA-Vortrag, Seminar am 17.06.99 in Shephed (England).

Schutz für die rauhe Einsatzumgebung an Werkzeugmaschinen bieten. Vielmehr legen gezielte Versuchsergebnisse eine Einstufung in das vormals vorgeschlagene zweijährige Austauschintervall nahe. In dem entsprechenden Ergebnisbericht /9/ werden die betreffenden Versuche folgendermaßen zusammengefaßt:

„Die Rückhalterfähigkeit neuwertiger und über mehrere Jahre hinweg in Bearbeitungszentren eingesetzter Polycarbonatscheiben

wurde durch Beschussversuche mit einem 100 g – Projektil gemäß der Norm DIN EN 12417 ermittelt. Mit zunehmender betrieblicher Einsatzzeit verringerte sich die Rückhaltefähigkeit. Die Festigkeitsverluste betragen dabei für unbeschichtetes wie auch für hartbeschichtetes Polycarbonat rd. 30% innerhalb von 3 Jahren Verwendungsdauer.“

## 5. Verträglichkeit mit einem entsprechend gemischtem Kühlschmierstoff ?

Um die Möglichkeiten zur Verwendung von ungeschütztem Polycarbonat weiter auszubauen, wurden Überlegungen angestellt, die Zusammensetzung der Kühlschmierstoffe (KSS) so zu verändern, dass eine Verträglichkeit mit dem Polycarbonat erreicht wird. Dazu sollten die schädigenden Anteile aus der KSS-Mixtur entfernt werden. Aufgrund des Untersuchungsaufwandes (Beispiel für Testreihe: PC mit/ohne verdächtigem Bestandteil mit anschließendem Beschussversuch in zweifacher Wiederholung) wurde der Ansatz nicht weitergeführt. Dagegen gehalten wurde auch die triviale und insgesamt zuverlässigere Lösung, PC-Scheiben rundum gegen Kontakt mit KSS oder anderen schädigen Substanzen zu schützen. Zudem liegen bereits detaillierte Angaben über die grundsätzliche Polycarbonat-Empfindlichkeit (z. B. Oberflächenablösungen durch Azeton und Kristallisation durch Ester) von den Herstellern vor /11/.

## 6. Einarbeitung der Datenbasis in die C-Normen für Werkzeugmaschinen

Die Erkenntnisse zur Polycarbonat-Alterung wurden in den Normungsprozess für die spezifischen C-Normen für Werkzeugmaschinen eingebracht. Abstimmungsgespräche auf europäischer Ebene zeigten jedoch Ablehnung bezüglich einer Einführung definierter Austauschfristen. Die Abstimmungsergebnisse sind in den nachfolgenden Tabellen 1, 2 und 3 aufgeführt.

Tabelle 1: **DIN EN 12415 Drehmaschinen**

Abschnitt 5.2.2: „Trennende Schutzeinrichtungen sind so zu gestalten und zu bauen, dass sie der größten vorhersehbaren Aufprallenergie widerstehen. Diese ist vom Durchmesser des größten Werkstückspannzeuges, mit dem die Maschine ausgestattet sein kann, und dessen größter Umfangsgeschwindigkeit abhängig. .. Beispiele von Werkstoffen mit bekannter Widerstandsklasse sind im Anhang C aufgezeigt.“

Anhang B.2.3: „Der Aufprall muss möglichst rechtwinklig zur Oberfläche erfolgen. Zielpunkte für die Projektile müssen die schwächsten und ungünstigsten Stellen auf der Werkstoffprobe oder auf der trennenden Schutzeinrichtung sein.“

Um das Normungsvorhaben für die Drehmaschinen durch die erst recht spät eingebrachten neuen Erkenntnisse zum Polycarbonat nicht zu verzögern, wurde ein separates „beschleunigtes Annahmeverfahren“ für die neuen Erkenntnisse angewendet. Die abschließenden Formulierungsvorschläge sind in Tabelle 2 dargestellt. Nach dem Abstimmungsverfahren, das bis zum 28. Juni 2002 läuft, soll eine entsprechende Überarbeitung der DIN 12415 vorbereitet werden. Ein Querverweis, wie die vier Drehmaschinennormen (siehe Tabelle 5) auf reale Drehmaschinen angewendet werden sollen, falls gewisse Bauarten den Geltungsbereich einer einzigen Norm überschreiten, soll ebenfalls erfolgen. Der Geltungsbereich einer einzigen Norm wird auch dann verlassen, wenn verschiedene Technologien in einer Maschine untergebracht werden, z. B. Drehen und Schleifen.

Tabelle 2: **DIN EN 12415 / pr A1 Drehmaschinen** (Schlussentwurf von 2002)

Abschnitt 5.2.2: „Wenn trennende Schutzeinrichtungen mit Sichtscheiben versehen sind, die auch für das Zurückhalten herausgeschleudeter Teile bestimmt sind, muss der Werkstoffauswahl und den Befestigungsverfahren besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden (siehe EN 953:1997, 5.5.2). Werkstoffe für Sichtscheiben (z. B. Polycarbonat), die im Laufe der Zeit infolge Verschmutzung durch Schmierstoffe, Reinigungsmittel, Lösungsmittel, Kühlschmierstoffe und durch Abrieb zu einer Verminderung der Stoßfestigkeit (Alterung) neigen, müssen auf beiden Seiten mit einem zusätzlichen abriebfesten Schutz versehen sein (z. B. abgedichtete Mehrlagen- oder Verbundscheiben), um diese schädigenden Wirkungen während der erwarteten Nutzungsdauer der Maschine zu verhindern.“

(Fortsetzung von Tabelle 2)

Abschnitt 6.2 Betriebsanleitung, zweiter Anstrich: „Um die Schutzfunktion der Sichtscheiben sicherzustellen, sind regelmäßige Sichtprüfungen erforderlich. Die Betriebsanleitung muss folgende Angaben enthalten:

- Prüfmethoden und die Beschreibung von Schädigungen, welche die Sichtscheibe für eine weitere Verwendung unbrauchbar machen oder anzeigen, dass ein Austausch erforderlich ist. Die Betriebsanleitung darf Beschreibungen von nicht akzeptablen Beschädigungen enthalten, wie z. B. plastische Verformung (Beulen, Dellen) infolge vorausgegangener Aufprallereignisse, Risse, Beschädigung der Kantenabdichtung, in den Verbundaufbau eingedrungener Kühlschmierstoff, so dass die Scheiben blind werden oder andere Beschädigungen der äußeren Schutzscheiben;
- Empfehlungen des Herstellers für den Austausch der Sichtschutzscheiben, die seit einem längeren Zeitraum, z. B. länger als 10 Jahre, im Einsatz sind;
- Empfehlungen für die bei Sichtschutzscheiben anzuwendende Reinigungsmethode und, falls anwendbar, die Auswahl und Anwendung geeigneter Reinigungsmittel;

Abschnitt B.2.3 Prüfverfahren (2. Absatz, 2. Satz): „Bei der Prüfung von Werkstoffproben muss der Aufprall des Projektils in der Mittel der Fläche, bei der Prüfung von trennenden Schutzeinrichtungen auf der schwächsten Stelle erfolgen.“

In Tabelle C.1 werden zusätzliche Beschußversuchsergebnisse ergänzt: Polycarbonat 6/10/2x8/2x12/18/19 mm

Als Schadensmodell geht man bei den Drehmaschinen zunächst von abgeschleuderten Futterbacken aus. Zusätzlich wurde für Stangenautomaten ein Schadensmodell ergänzt, bei dem ein Stangenabschnitt unter einem Winkel von  $\alpha = 30^\circ$  abbricht (Bild 10) und direkt auf die trennende Schutzeinrichtung prallt.

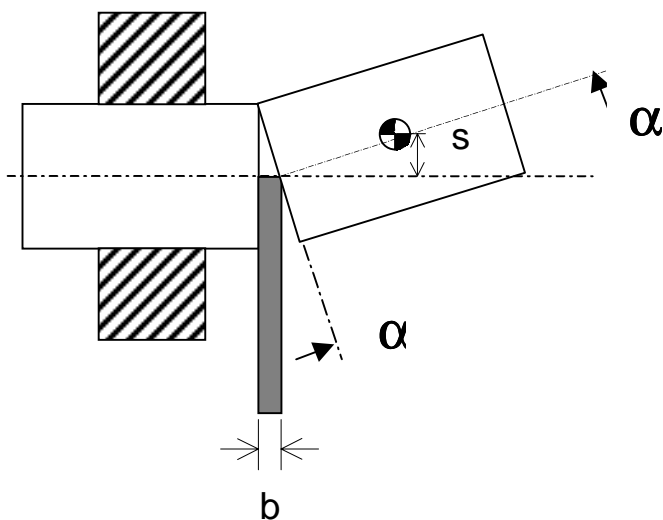


Bild 10: Schadensmodell für Stangenautomaten (Quelle: VDW)

Mit einem angenommenen Durchmesser zu Längenverhältnis ( $D/L$ ) von 0,2 ergibt sich eine Aufprallenergie  $J_c$  von:

$$J_c = 1/24 (\rho \pi^3 D^2 L^3 n^2)$$

Mit:  $\rho$  = Dichte [ $\text{kg/m}^3$ ],  $D$ = größter Stangendurchmesser [m],  $L$ = größte Werkstücklänge [m],  $n$  = höchste Werkstückspindeldrehzahl [Umdrehungen pro Sekunde].

Für die meisten Drehmaschinen wird aber die Futterbacken-Hypothese anzuwenden sein, mit Ausnahme von Mehrfachspindeldrehmaschinen (d. h. reinen Stangenautomaten) nach der Norm DIN EN 13788.

Für Drehmaschinen und Bearbeitungszentren wurde weitgehende Übereinstimmung der Formulierungen angestrebt, vergleiche Tabelle 2 und 3. Die recht umfangreichen Beschußversuchsergebnisse mit einem 50 g Projektil, wie es im Rahmen des Projektes „Arbeits- und Gesundheitsschutz in der Hochgeschwindigkeitsbearbeitung“ (ARGUS) /12/ zum Einsatz kam (siehe auch Bild 11), wurden nicht in die Norm genommen, weil die Schadensfallhypothese



mit dem 100 g Projektil, d. h. abgehende Fräskassette, nicht unnötig in Frage gestellt werden sollte.

In Sonderfällen mit nachweislich kleineren Schadensmassen als 100 g kann aber auf die Datenbasis mit dem 50 g Projektil Bezug genommen werden. An der TU Darmstadt liegen darüber hinaus Untersuchungsergebnisse mit Wendeschneidplatten von 10 g Masse vor.

Tabelle 3: **DIN EN 12417 Bearbeitungszentren** Abschnitt 17.2, dritter Absatz:

„Wenn trennende Schutzeinrichtungen mit Sichtfenstern versehen sind, die auch für das Zurückhalten herausgeschleuderter Teile bestimmt sind, muss der Werkstoffauswahl und den Befestigungsverfahren besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden (siehe EN 953:1997, 5.5.2). Werkstoffe wie Polycarbonat, die im Laufe der Zeit infolge Verschmutzung (z. B. durch Schmierstoffe, Kühlschmierstoffe, Reinigungsmittel, Lösungsmittel) und Abrieb zu einer Verminderung der Stoßfestigkeit (Alterung) neigen, müssen mit zusätzlichem Schutz (z. B. versiegelter Mehrlagen- oder Verbundaufbau) versehen sein, oder es ist durch zusätzliche Dicke dieser schädigenden Einwirkung während der erwarteten Nutzungsdauer der Maschine entgegenzuwirken.  
*Anmerkung:* Anhang A beschreibt ein Prüfverfahren für die Festigkeit der Werkstoffe in Bezug auf größte Spindeldrehzahlen, Werkzeugdurchmesser, Massen der Wendeschneidplatten und Abstände zwischen den Schneidwerkzeugen und trennenden Schutzeinrichtungen.“

In Tabelle A.1 sind zusätzliche Beschußversuchsergebnisse für Polycarbonat aufgenommen worden.

Für die Schleifmaschinen ist es gelungen, die ursprünglich vorgeschlagenen Austauschintervalle als Empfehlung in die Schlussfassung der Norm einzubringen, siehe Tabelle 4. Weil die formelle Abstimmung bereits abgeschlossen ist, sind weitere Formulierungsänderungen nicht zu erwarten.

Tabelle 4: **prEN 13218 Schleifmaschinen** (Schlussentwurf von 2001, bereits durch die formelle Abstimmung)

Abschnitt 7.2 Betriebsanleitung: „Die Betriebsanleitung muß folgende Informationen enthalten: .. l) Anleitung für eine regelmäßige Wartung und Prüfung der Schleifmaschine, der Schutzeinrichtungen und der dafür erforderlichen Geräte und benötigten Sonderwerkzeuge,

Dazu gehören auch Angaben über die Verwendungsdauer von Sichtscheiben in trennenden Schutzeinrichtungen:

- beidseitig geschützte Polycarbonatscheiben mit abgedichteten Kanten: Verwendungsdauer 5 Jahre
- einseitig geschützte oder ungeschützte Polycarbonatscheiben: Verwendungsdauer 2 Jahre.“

Anmerkung: Derzeit führen die BG und der VDW Untersuchungen zu keramischen Schleifscheiben durch, um den Vorbehalt zu klären, dass die bisherigen Normvorgaben für die Dimensionierung der trennenden Schutzeinrichtungen erheblich zu hoch sind. Wenn die Versuche belegen können, dass die Normvorgaben für die Fälle: a) Voll-keramische Schleifscheiben (BIA in St. Augustin, siehe /15/) und b) Schleifscheiben mit keramischen Belag auf metallischen Grundkörper (IWF der TU Berlin, siehe /16/) sinnvoll reduziert werden können, dann sollen diese neuen Erkenntnisse für die bevorstehende Revision der Norm berücksichtigt werden.

Bei der Sägemaschinennorm wurden spezifische Festlegungen für Polycarbonat nicht getroffen, weil kein Unfallgeschehen durch weggeschleuderte Teile, die Schutzscheiben durchdringen, bekannt ist. Das Gleiche gilt für die Pressen und die Erodiermaschinen; die derzeitige Situation bei den Sicherheitsnormen für Werkzeugmaschinen ist in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: **Sicherheitsnormen für Werkzeugmaschinen in CEN / TC 143** (Stand im Mai 2002)

Maschinenart (TC 143-WG, Vorsitz)	Zwischenstand / Frühestmögliche Verfügbarkeit
<b>Metall-Umformmaschinen</b> (WG 1 / Frankreich, vorher Deutschland)	
DIN EN 692: Mechanische Pressen	Überarbeitung gemäß EN 693 in Vorbereitung
DIN EN 693: Hydraulische Pressen	Bereits veröffentlichte Norm
DIN EN 12622: Hydraulische Gesenkbiegepressen	- " -
prEN 13736: Pneumatische Pressen	Vorbereitung für die Formelle Abstimmung, ca. 2002
prEN 13985: Tafelscheren	CEN-Umfrage in Vorbereitung, ca. 2003
<b>Schleifmaschinen</b> (WG 2 / Deutschland)	
PrEN 13218: Ortsfeste Schleifmaschinen	Formelle Abstimmung ist abgeschlossen, ca. 2002
EN 12413: Gebundene gebundene Schleifmittel	Veröffentlichte Norm
PrEN 13236: Schleifkörper und sonstige Schleifwerkzeuge mit Diamant und Bornitrid	Europäischer Normentwurf, Formelle Abstimmung in Vorbereitung, ca. 2003
PrEN 13743: Schleifmittel auf Trägermaterial	Europäischer Normentwurf, Umfrage in Vorbereitung
WI 00143008: Statisches Wuchten der Schleifscheiben	Europäischer Normentwurf in Vorbereitung
<b>Drehmaschinen</b> (WG 3 / Frankreich)	
DIN EN 12415: Kl. NC-Drehmaschinen und –zentren	Bereits veröffentlichte Norm
DIN EN 12478: Gr.NC-Drehmaschinen und –zentren	- " -
DIN EN 12840: Drehmaschinen mit Handsteuerung	DIN EN liegt vor.
DIN EN 13788: Mehrspindel-Drehautomaten	- " -
Anhang A der prEN12415: Trenn. Schutzeinrichtungen	Beschleunigtes Annahmeverfahren, ca. 2002
<b>Bearbeitungszentren etc.</b> (WG 4 / England)	
DIN EN 12417: Bearbeitungszentren	Veröffentlichte Norm seit 12/2001.
DIN EN 13128: Fräs- und Bohr-Fräsmaschinen	Veröffentlichte Norm seit 07/2001.
DIN EN 12717: Bohrmaschinen	Veröffentlichte Norm seit 01/2002.
PrEN 14070: Transfer- oder Sondermaschinen	Europäischer Normentwurf, ca. 2002
<b>Elektroerodiermaschinen</b> (WG 5 / Schweiz)	
DIN EN 12957: Funkenerodiermaschinen	Fertige Norm.
<b>Sägemaschinen</b> (WG 6 / England)	
PrEN 13898: Sägen f.d. Kaltbearbeitung v. Metall	Formelle Abstimmung folgt, ca. 2002.
<b>Fräser für die Hochgeschwindigkeitsbearbeitung</b> (WG 7 / Deutschland)	
DIN EN ISO 15641: Fräser für HSC	Fertige Norm

Anmerkung: Die angegebenen Normen sind ausschließlich über den Beuth Verlag, 10772 Berlin zu beziehen.



## 7. Reduzierung der mechanischen Gefährdungen durch Überwachung

Die Durchschlagsicherheit der Polycarbonat-Scheiben kann durch eine sinnvolle Kombination von a) mechanischer Rückhaltefähigkeit und b) elektronischer Werkzeugüberwachung (d. h. Auswertung der betreffenden Steuerungsdaten) verbessert werden. In Bild 11 ist die Situation für Bearbeitungszentren gezeigt. Verschiedenen Stahl- und PC-Dicken sind die maximal zulässigen „fiktiven“ Schnittgeschwindigkeiten für das 100 g - Normprojektil gegenüber gestellt. Zum Vergleich sind die Beschußergebnisse für das 50 g Projektil aus dem ARGUS-Projekt /12/ mit angeführt.

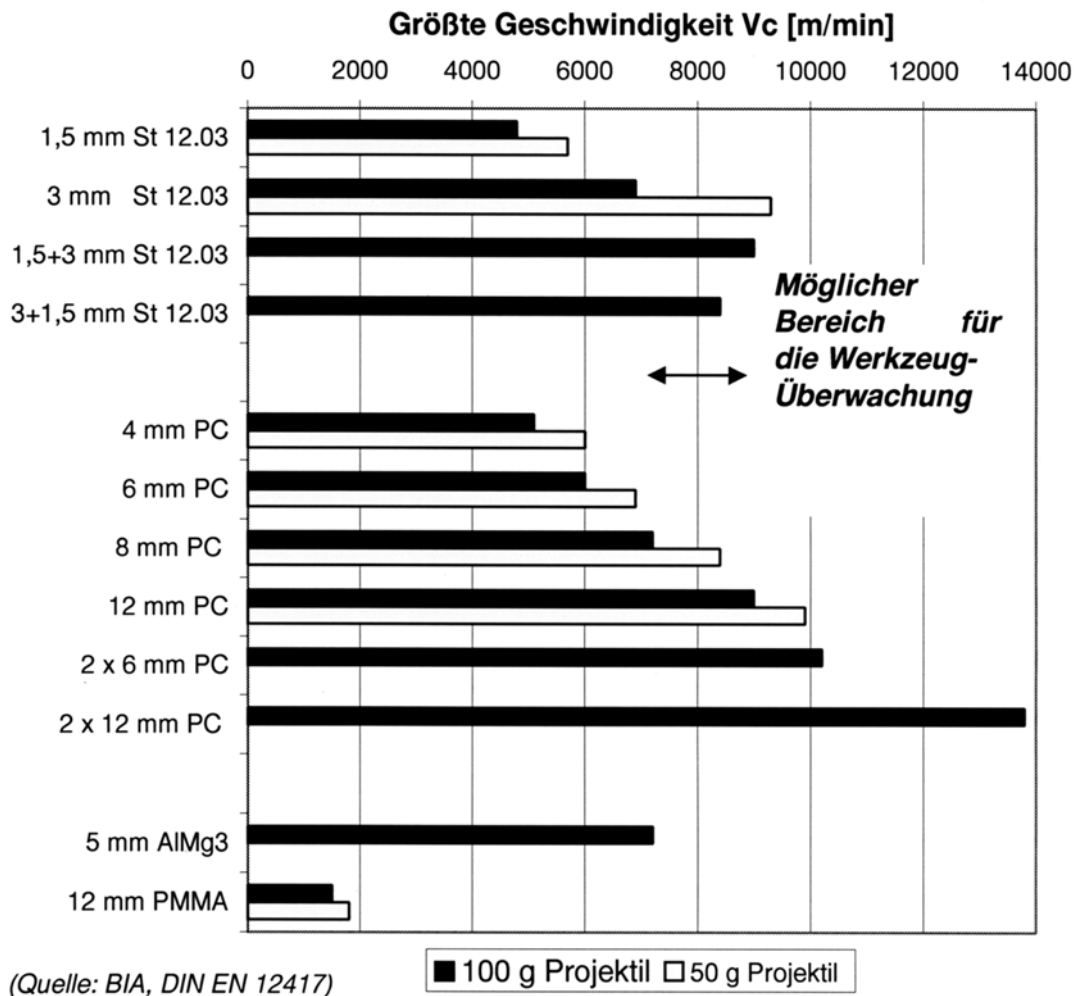


Bild 11: Werkzeugüberwachung bei Bearbeitungszentren jenseits der mechanischen Rückhaltefähigkeit der trennenden Schutzeinrichtungen (HSC-Fräsen von Aluminium und Kupfer bei 2000-5500 [m/min] )

Bei schnelllaufenden Werkzeugspindeln wird der Versagensfall befürchtet, dass ein großes Werkzeug auf eine kritische Überdrehzahl beschleunigt wird und Bersten eintritt. So kann zum Beispiel bei „fiktiven“ Schnittgeschwindigkeiten von mehr als 8000 m/min der Fall eintreten, dass selbst 12 mm PC nicht mehr genügend Rückhaltefähigkeit bieten, (reale Schnittgeschwindigkeiten erreichen Werte von bis zu 2000 bis 5500 m/min, z. B. Fräsen von Aluminium oder Kupfer /13/).

Statt noch größere Polycarbonat-Dicken vorzusehen, wie es die Norm DIN EN 12417 (BAZ) zunächst fordert, erscheint hier eine Werkzeugüberwachung wünschenswert, um die Dicke der Polycarbonat-Scheiben sinnvoll zu begrenzen und trotzdem Durchschlagsicherheit zu erreichen. Die BAZ-Norm macht dazu eine bemerkenswerte Einschränkung, siehe Tabelle 6:

Tabelle 6: **DIN EN 12417 Bearbeitungszentren** (Auszüge zur Werkzeugüberwachung)

Abschnitt 8.6.1: „Menschliches Fehlverhalten.. Die Kennzeichnung der Werkzeugaufnahmen in den Werkzeugmagazinen muss klar und eindeutig sein.“

Abschnitt 17.2, erster und zweiter Absatz:

„Trennende Schutzeinrichtungen müssen die Energien von Teilen der Maschine und/oder von Werkstücken, die vorhersehbar herausgeschleudert werden können, aufnehmen oder Personen vor diesen Teilen schützen (siehe Anhang A und EN 953:1997, 5.5 und 5.6).

Die nach Anhang A berechnete Dicke der Werkstoffe für die trennende Schutzeinrichtung darf vermindert werden, wenn die größten Auswurfenergien durch Einsatz von Systemen, die das Werkzeug für die numerische Steuerung erkennbar machen und die Begrenzung der verwendeten Spindeldrehzahl ermöglichen, begrenzt sind.“

In Abschnitt 14.1.1 werden die sicherheitstechnischen Kategorien nach EN 954-1 wie folgt zugeordnet:

„a) Verriegelung in Verbindung mit einer beweglichen trennenden Schutzeinrichtungen für: .. d)

Geschwindigkeitsbegrenzungssteuerung, einschließlich Werkzeugerkennung: Kategorie 3.

..  
Überwachung ist durch eines der folgenden Verfahren zu erreichen: - separate Kanäle, - kontinuierliche automatische Überwachung (siehe EN 292-1:1991, 3.14), - andere geeignete Mittel (z. B. Strom-, Geschwindigkeits- und Lageregler in Servoantrieben)“

Anmerkung: Einige Steuerungsexperten argumentieren, daß auch eine Überwachungselektronik in einfacher Technik per se eine Funktionssicherheit in Kategorie 3 (EN 954-1) darstellt, weil „Einfehlersicherheit“ auch so schon vorliegt. Erläuterung der Argumentation in der WG 4 des CEN / TC 143 (siehe Bild 12):

(Fehler 1) Wenn das Werkzeug mit einer fehlerhaften Maximaldrehzahl versehen ist, die im NC-Programm festgelegte Drehzahl aber hinsichtlich Werkzeugversagen unkritisch ist (d.h. korrekter, technologisch bedingter Wert), dann versagt das Werkzeug nicht.

(Fehler 2) Wenn im NC-Programm fälschlicherweise eine zu hohe Drehzahl programmiert wurde, die Werkzeugüberwachung aber funktioniert, so wird der Fehler im NC-Programm erkannt und der Spindelanlauf wird blockiert; es kommt nicht zu einem Versagensfall mit Personengefährdung.

(Fehler 1 + Fehler 2) Wenn durch einen doppelten Fehler das Werkzeug im überkritischen Drehzahlbereich betrieben würde, so müßte zunächst das Werkzeug selbst (gegen seinen innewohnenden Sicherheitsfaktor) versagen und weiterhin müßte die trennende Schutzeinrichtung mit einem wegfliegenden Teil tatsächlich durchschlagen werden, bevor eine Personengefährdung auftreten würde.

Zudem wird dieser Fall als vergleichsweise geringes Risiko angesehen, weil die gefährdete Person sich auch noch an genau dem Ort aufhalten müßte, wo das wegfliegende Teil durch die Verkleidung dringen würde, („zur falschen Zeit am falschen Ort“). Dieser Fall ist mit dem derzeitigen Stand der Technik vergleichbar und nach Einschätzung der Experten liegt - übrigens trotz des gealterten Polycarbonates ! - kein signifikantes Unfallgeschehen an Bearbeitungszentren mit geschlossenen Kabinen vor.

#### Rechenbeispiel:

Ein konkretes Beispiel soll eine praktisch wichtige Grenze bei 3 mm Stahlblech entsprechend ungefähr 8 mm Polycarbonat aufzeigen (d. h. ein weit verbreiteter Stand der Technik für Bearbeitungszentren); aus Bild 11 kann dazu eine maximal zulässige Schnittgeschwindigkeit von  $V_c = 7000$  [m/min] abgelesen werden.

In einem Universalbearbeitungszentrum befindet sich nun eine gängige Motorspindel mit 12.000 U/min Maximaldrehzahl. Der maximal zulässige Werkzeugdurchmesser  $B_{max}$  errechnet sich nach Norm zu  $B_{max} = V_c / (\pi n_{max})$ ,  $B_{max} \approx 0,186$  m. Dementsprechend sollten hier alle Werkzeuge mit Normdurchmessern größer 160 mm überwacht werden, um Durchschlagsicherheit bei großen Werkzeugen, die irrtümlich mit zu hohen Drehzahlen betrieben werden könnten, zu gewährleisten. Werkzeuge mit geringeren Durchmessern brauchen in diesem Beispiel nicht überwacht werden, weil die mechanische Rückhaltefähigkeit ausreicht.

Vier geeignete technische Prinzipien stehen zur Verfügung, um den „worst case“ des Werkzeugversagens sinnvoll zu begrenzen, siehe Tabelle 7.

Tabelle 7: Kurzbewertung der Prinzipien zu Werkzeugüberwachung

Nr.	Überwachungsprinzip	Vorteil	Nachteil
1	„implizite“ Codierung durch eine entsprechend mit zulässigen Höchstdrehzahlen bestückte Werkzeugdatenbank in der Werkzeugmaschine	Preisgünstig, einfach	Hohe Sorgfalt beim Einrichten gefordert, Restrisiko hoch
2	Vermessung des eingespannten Werkzeug vor der Aufprägung der Bearbeitungsdrehzahl z. B. mit einem Laser.	Preisgünstig, einfach, relativ zuverlässig	Größere Nebenzeiten, Funktionsstörungen durch verschmutzte Sensoren
3	„Explizite“ Werkzeug-Codierung mittels Werkzeug-integriertem Datenchip;	Hohe Zuverlässigkeit	Hoher Preis
4	Auswertung des Anlaufstromes: Weil bei einem irrtümlich eingespannten zu großen Werkzeug eine deutlich Drehbeschleunigungsverzögerung (gegenüber dem erwarteten kleinen Werkzeug) bis zum Erreichen der geforderten Drehzahl auftreten würde, könnte eine Abschaltung noch rechtzeitig vor dem Eintreten des Werkzeugversagens eintreten.	Einfaches Prinzip, kaum zusätzlicher Ausrüstungsaufwand	Empfindliche Kalibrierung

Mit sinnvoll gestaffelten Drehzahlintervallen und entsprechend sicher ausgelegten Grenzwerten für die Überwachungsparameter (z. B. Werkzeugdurchmesser oder Drehzahlaufbau) könnte auf der Basis einer sicheren Steuerung eine Werkzeugüberwachung erreicht werden, die das Versagen des Werkzeugs infolge Überdrehzahl ausschließt. In Bild 12 ist eine Prinzipskizze für die Werkzeugüberwachung dargestellt.

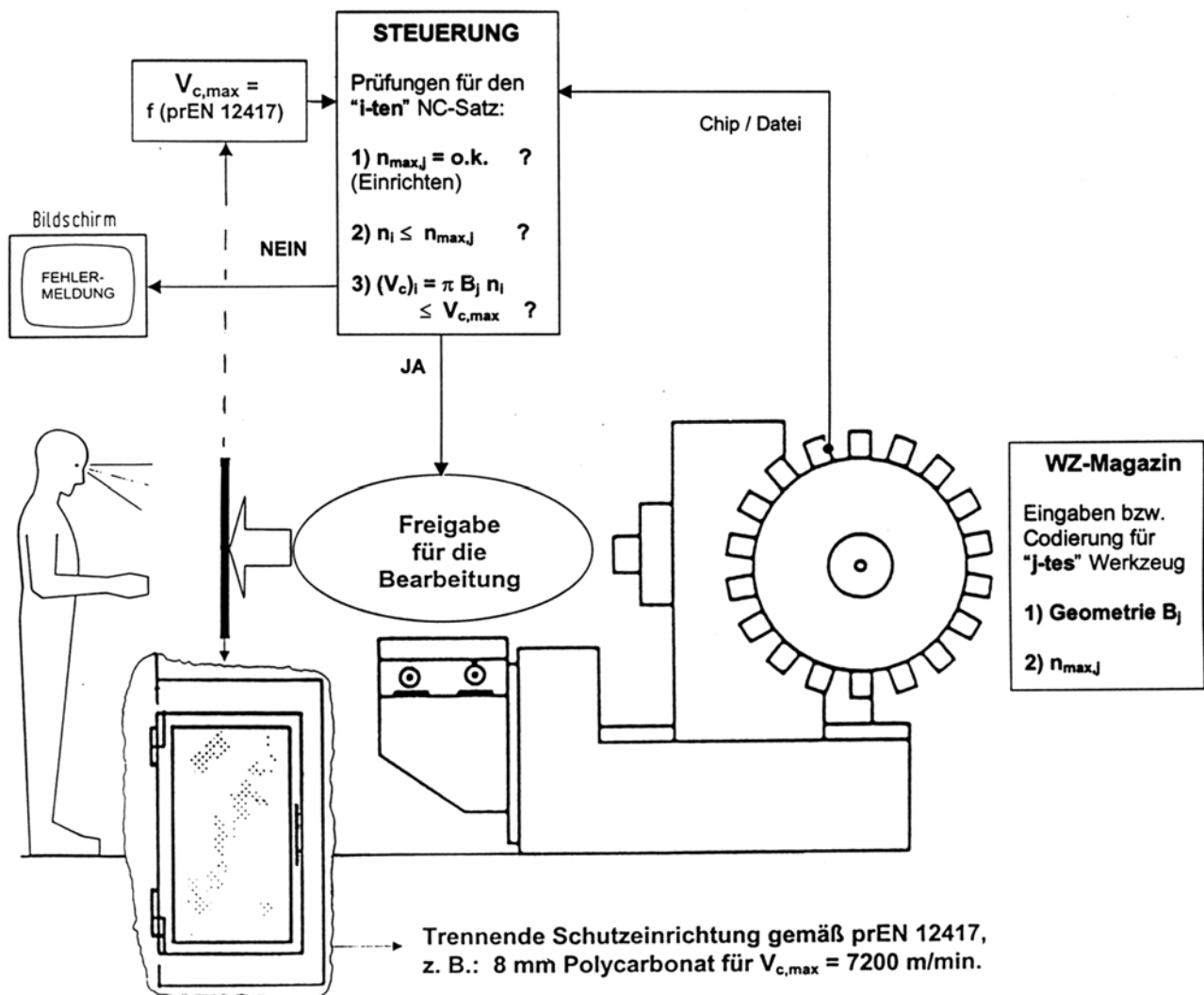


Bild 12: Sinnvolle Beschränkung der PC-Dicken durch die Kombination von mechanische Rückhaltefähigkeit und Werkzeugüberwachung hinsichtlich zulässiger Drehzahl (Quelle: VDW).

## 8. Rechtlicher Hintergrund

Wegen der Produkthaftung und der damit im Zusammenhang stehenden Produktbeobachtungspflicht wurde auch von der Verbandsseite auf die dreißigjährige Verjährungsfrist bei der verschuldensabhängigen Produkthaftung gemäß BGB und auf die zehnjährige Verjährungsfrist bei der verschuldensunabhängigen Haftung gemäß Produkthaftungsgesetz (gültig seit dem 01.01.1990) hingewiesen. Aufgrund des nunmehr bekannten „neuen Standes der Technik“ besteht nach den Grundsätzen der Produktbeobachtungspflicht eine dringende Informationspflicht an die Anwender von Werkzeugmaschinen über die Alterungsproblematik von Polycarbonat. Primär sind Hersteller verpflichtet, ihre direkten Kunden zu informieren. Bei etwaigen Weiterverkäufen von Gebrauchtmachines liegt die Informationspflicht grundsätzlich im Verantwortungsbereich des jeweiligen Wiederverkäufers, der jedoch zuvor auf die Problematik sowie auf seine Informationspflicht hingewiesen werden muß.

Über die genannten Hinweispflichten hinaus sollten die Werkzeugmaschinenbauer Kontakt mit ihren Zulieferanten der PC-Sichtscheiben aufnehmen und diese auf die Produkthaftungsrisiken hinweisen. Evtl. denkbar ist auch, dass die Hersteller der PC-Sichtscheiben geeignete Maßnahmen ergreifen, um zusätzlich ihrerseits der Hinweispflicht nachzukommen. Grundsätzlich könnten sowohl der Lieferant der Maschine als auch der Unterlieferant in einem Schadensfall aus Produkthaftung in Anspruch genommen werden.

In Bild 13 sind die rechtlichen Bedingungen für den Austausch von gealtertem Polycarbonat auf der Zeitachse gegenübergestellt. Der erste ausdrückliche Hinweis auf das Alterungsproblem von Polycarbonat in Werkzeugmaschinen erfolgte in einem Aufsatz der BG in der Zeitschrift „Werkstatt und Betrieb“ (Heft Nr. 9/97); in der „WT Werkstatttechnik“ (Ausgabe 10/99) wurde die Aussage genauer gefaßt, nämlich, dass die Rückhaltefähigkeit nach 5 Jahren auf 50% gesunken sein kann (später wurden sogar nur 30% festgestellt, siehe Bild 8) /14/. Im April 1999 wurde vom VDW die erste Version des Polycarbonat-Merkblattes verteilt, in dem die später zurückgenommen Austauschfristen vorgeschlagen wurden.

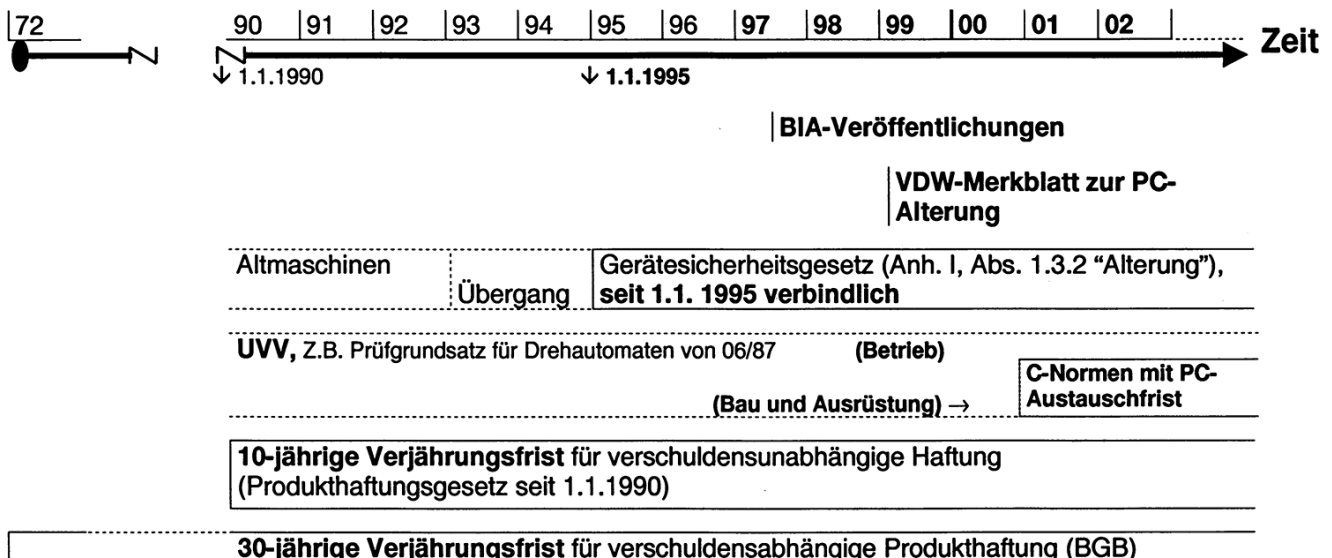


Bild 13: Rechtliche Bedingungen für den Austausch von gealtertem Polycarbonat

Sobald der Hersteller seiner Informations- und Hinweispflicht nachgekommen ist, liegt die Verantwortung beim jeweiligen Betreiber, da dieser entsprechend der Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie /17/ verpflichtet ist, sichere Arbeitsmittel einzusetzen. Die Kundeninformation sollte mit dem Hinweis erfolgen, daß es sich bei dem erkannten Problem

nicht um einen konstruktiven Fehler handelt, sondern daß der Austausch bzw. die Nachrüstung durch neueste Forschungsergebnisse erforderlich geworden ist.

### Argumentation Verschleißteil

Die Polycarbonat-Sichtscheiben werden vom VDW als Verschleißteile eingestuft, weil sie durch Umgebungseinflüsse ihre Rückhaltefähigkeit verlieren. Auf die Einstufung als Verschleißteil kann ausdrücklich in der Betriebsanleitung hingewiesen werden.

Die BG beurteilt die rechtliche Situation ähnlich /10/:

„Grundsätzlich ist jeder Betreiber dafür verantwortlich, dass die eingesetzten Arbeitsmittel für die Beschäftigten nicht gefährlich sind. .. Wenn nämlich ein Betreiber ernst zu nehmende Hinweise auf eine Gefährdung hat, handelt er fahrlässig, wenn er sich diesen Erkenntnissen ohne jede Prüfung verschließt und darauf vertraut, es werde schon nichts passieren (sog. Bewußte Fahrlässigkeit). Gesetzt den Fall, dass eine gealterte Polycarbonatscheibe ein herausgeschleudertes Teil nicht aufhält und dadurch jemand zu Schanden kommt, trifft den Betreiber dann sowohl zivilrechtlich (Schadensersatz / Regress) als auch strafrechtlich der Vorwurf fahrlässigen Handelns. Hinsichtlich der zivilrechtlichen Seite ist es denkbar, dass sich der Betreiber wegen der Haftung für den Schaden mit Erfolg an den Hersteller wenden kann, sei es auf Grund vertraglicher Vereinbarungen, sei es auf Grund der gesetzlichen Produkthaftungspflicht.“

Allerdings kommt die BG auch zu dem Schluß /10/:

„Die derzeitigen Erkenntnisse über die Alterung von Polycarbonatscheiben unter Einwirkung von Kühlschmierstoffen erzwingen nicht in jedem Fall einen vorsorglichen Austausch der Scheiben.“

Für Altmaschinen schlußfolgert die BG /10/:

„Was den Bestand an Altmaschinen betrifft, so mussten diese nach § 4 Abs. 2 bzw. Abs. 3 AMBV bis spätestens 30.6.1998 an die Anforderungen des Anhanges der AMBV angepasst werden und müssen nach § 4 Abs. 4 AMBV während der Benutzungsdauer auf diesem Niveau gehalten werden. Schutzvorrichtungen gegen herausgeschleuderte Gegenstände sind im Anhang unter 2.5 erwähnt. Eine versprödete Polycarbonatscheibe ist nicht mehr funktionstüchtig, also keine Schutzvorrichtung i.S. von 2.5 mehr, so dass in solchen Fällen die Maschine den Anforderungen der AMBV nicht mehr genügt. Daher ergibt sich hinsichtlich der Beobachtung der Polycarbonatscheiben keine Privilegierung für Altmaschinen.“

Hinsichtlich der Nachrüstproblematik ist nicht nur die Alterung des Polycarbonates zu betrachten. In Einzelfällen kann auch eine zu geringe Blechdicke (nach altem BG-Prüfgrundsatz 2.5 mm) problematisch sein. Für die Scheibeneinbausituation sollte ebenfalls geprüft werden, ob sie dem neuen Stand-der-Technik entspricht /8/.

### Argumentation Sicherheitsbauteil

Von der Europäischen Kommission kommt die Maßgabe, daß der Bauteilhersteller darüber zu befinden hat, ob sein Produkt ein Sicherheitsbauteil ist und er es als solches deklarieren muß /1/. Außerdem muß es sich bei dem Bauteil um eine vollständige gebrauchsfertige Einheit handeln, die unmittelbar in eine Maschine eingebaut werden kann und nach ihrem Einbau Sicherheitsfunktion übernimmt. Feststehende und bewegliche trennende Schutzeinrichtungen werden als Sicherheitsbauteile definiert; ein Herunterbrechen auf Bauteile, wie zum Beispiel gebrauchsfertig zugeschnittene Polycarbonat-Schutzscheiben ist aber problematisch bzw. umstritten.

Die Deklaration von Schutzscheiben als Sicherheitsbauteile durch den Zulieferer hätte Vorteile für den Werkzeugmaschinenbauer: Die Angaben zur bestimmungsgemäßen Verwendung würden verbessert, wobei auch die Bedingungen für einen notwendigen Scheibenaustausch klarer ausgedrückt würden. Selbstverständlich würde dann auch gelten, daß eine EG-Konformitätserklärung nach Anhang II c abgegeben werden müßte und damit die Behörden Möglichkeiten hätten, gegen einen Zulieferer vorzugehen, der nicht ordnungsgemäß handelt.

Fraglich bleibt dabei, ob die Klassifizierung der Sichtscheiben als Sicherheitsbauteile den VDW-Firmen eine ausreichende Absicherung verschaffen würde. Denn das Risiko eventueller

Fahrlässigkeit im Anwenderbetrieb, d.h. Nicht-Handeln bei offensichtlichem Austauschbedarf einer beschädigten PC-Scheibe., bleibt bestehen.

Bisherige Praxis: Sicherheitsscheiben für Werkzeugmaschinen werden nicht überall wie ein Sicherheitsbauteil gemäß Maschinenrichtlinie behandelt, obwohl sie nach der Artikel 1, Punkt 2), 4. Absatz vernünftigerweise so eingestuft werden sollten.

Zwar machen die renommierten Scheibenlieferanten EG-Baumusterprüfungen gemäß Anhang VI für ihre Fenster beim BIA, aber eine EG-Konformitätserklärung für Sicherheitsbauteile gemäß Anhang II, Punkt C wird bisher wohl nicht bei allen Fensterlieferanten angewendet. Eine CE-Kennzeichnung ist nicht üblich, weil diese in Artikel 8, Punkt 1), 2. Absatz, „nur auf Maschinen“ gefordert wird.

Die Novellierungsvorschläge für die ca. 2005 erwartete überarbeitete Maschinenrichtlinie /18/ fassen die Definitionen derart, daß ein Sicherheitsbauteil genauso wie eine Maschine behandelt werden soll und deshalb auch eine Konformitätserklärung gemäß Anhang II, A. und eine CE-Kennzeichnung nach Anhang III braucht.

Der VDW vertritt die Auffassung, dass eine Konformitätserklärung mit CE-Kennzeichnung, wie in den Neu-Vorschlägen vorgesehen, auch für Sicherheitsscheiben erfolgen sollte, weil diese eine herausragende sicherheitstechnische Bedeutung für Werkzeugmaschinen haben und mindestens ebenso wichtig für die betriebliche Sicherheit sein können, wie die bereits genannten Produkte. Deshalb ist es im Sinne der Werkzeugmaschinenbauer, die Sicherheitsscheiben als einen weiteren Punkt in Anhang IV (z.B. vor Punkt 19) zu erwähnen, um so zuverlässige Produkte auf Basis einer obligatorischen Baumusterprüfung beim Einkauf auswählen zu können.

## **9. Umsetzungsaspekte auf nationaler Ebene**

Das grundsätzlich gemeinsame Vorgehen der deutschen BG und der Werkzeugmaschinenbauer (VDW) wurde im vorherigen Abschnitt beschrieben. Die Dringlichkeit, alle Betroffenen von der Sicherheitslücke durch versprödete Sichtfenster zu informieren, wurde gemeinsam auf einer Veranstaltung der Gewerbeaufsicht im Mai 2000 betont /6/. Entsprechende Merkblätter sind von beiden Seiten verteilt worden und in Deutschland dürften nahezu alle Betroffenen mittlerweile über das Alterungsproblem informiert sein.

### Positionen und Positionsänderungen vom VDW und der BG:

- Im April 1999 verteilt der VDW sein erstes Positionspapier zur Polycarbonat-Alterung und empfiehlt die Austauschfristen 2 Jahre für ungeschütztes PC und 5 Jahre für geschütztes PC; dieses Papier wurde zunächst von der BG mitgetragen.
- Infolge des Drucks von den Anwenderbetrieben rückte die BG von den pauschalen Austauschfristen ab und bezieht im Dezember 1999 die neue Position „Einzelfallbeurteilung“ mit Abarbeiten der Prioritäten /10/.
- VDW und BG führen zusätzliche Alterungsversuche mit betrieblich gealterten Scheiben durch, um die vorhandene Datenbasis sinnvoll abzurunden, die Ergebnisse sind ein generalisiertes Alterungsdiagramm (Bild 8) und der Nachweis für die mangelnde Dauerhaftigkeit des Hartbeschichtungsschutzes (Bild 9).
- Nach den Verhandlungen mit Großanwendern, in denen die hohen Kosten für die Nachrüstung von Altmaschinen bzw. bereits in Betrieb befindlichen Maschinen als Problem dargestellt werden, läßt auch der VDW seine Austauschfristen fallen und verweist in einem überarbeiteten Merkblatt in Anlehnung an die BG-Position „Einzelfallbeurteilung“ auf das generalisierte Alterungsdiagramm (Datum: 15. August 2000); dies wird von allen Betroffenen akzeptiert.
- Weil einige Werkzeugmaschinen mit der Empfehlung von (unterschiedlichen, Hersteller-abhängigen) Austauschfristen ausgeliefert werden und andere Hersteller auf die BG-Position „Einzelfallbeurteilung“ (ohne Fristen) verweisen, entsteht Unverständnis im Kreise der Werkzeugmaschinenanwender über die unterschiedlichen Positionen. Der Wunsch nach einheitlichen Austauschfristen zumindest für rundum geschützte Polycarbonat-Scheiben wird diesmal von Anwendern vorgetragen.
- In einem internen Schreiben an die Mitgliedsfirmen schlägt der VDW deshalb auf der Basis der neuen Erkenntnisse (Bild 8) eine einheitliche Austauschfrist für rundum geschütztes PC vor, nämlich 10 Jahre (Rundschreiben vom 12. Dezember 2001). Dies wird von der BG mit unterstützt.

### Reaktionen der Anwender:

- Einerseits wird für Neu-Maschinen die oben dargestellte rechtliche Situation auch von Großanwendern akzeptiert. Denn für Neu-Maschinen werden die verschiedenen Austauschintervalle von 2, 5, 8 und 10 Jahren, die von den Werkzeugmaschinenbauern gegenüber ihren Kunden empfohlen werden, ohne nennenswerten Widerspruch hingenommen.

- Andererseits werden Austauschfristen für Alt-Maschinen wegen der hohen damit verbundenen Kosten besonders von den Großanwendern abgelehnt. In Abstimmung mit der BG hat sich eine Vorgehensweise entwickelt, die sich an dem Positionspapier „Einzelfallbeurteilung“ /10/ orientiert.

#### Reaktionen der Polycarbonat-Hersteller und Weiterverarbeiter:

- Die in Deutschland aktiven Firmen sind vom VDW direkt informiert worden oder haben dessen Positionspapiere indirekt oder auf Nachfrage erhalten.
- Einige Fensterlieferanten unterstützen die Untersuchungen sowohl beim VDW als auch beim BIA.
- Alternative Produkte wurden den Untersuchungsergebnissen entsprechend verbessert, so dass es mittlerweile mehrere Anbieter von im Verbundaufbau rundum geschützten Polycarbonat-Sichtscheiben gibt. Beim VDW wird dazu eine Liste mit der aktuellen Angebotssituation gepflegt.
- Ein PC-Hersteller gibt eine bedingte Garantie von 10 Jahren gegen „natürliche“ Alterung. Dies kann jedoch nicht mit der betrieblichen Alterung verglichen werden. Auch die Hartbeschichtung wird vereinzelt noch propagiert, obwohl aufgrund von Versuchsergebnissen deren Dauerhaftigkeit in Frage gestellt werden muss (Bild 9).
- Die Anbieter von kompletten Sichtscheibenverbunden geben bisher nur 5 Jahre Garantie für den allgemeinen Einsatzfall. Allerdings wird die 10-jährige Austauschempfehlung des VDW von einigen Anbietern mitgetragen, wenn der Rundumschutz des Polycarbonates nicht eingeschränkt ist. Andere Anbieter lehnen generelle Austauschfristen ab und orientieren sich an dem Positionspapier der BG „Einzelfallbeurteilung“.
- Auf der letzten EMO 2001 waren einige Maschinen mit Sichtscheiben mit dem Aufkleber „t = 8 Jahre“ ausgestellt.
- Ursprünglich als Konkurrenz zu Polycarbonat-Sichtscheiben dargestellte Scheiben auf der Basis von Polyethylenterephthalat (PET-G) und Polymethylmetacrylat (PMMA) und auch Verbundsicherheitsglas (VSG) konnten ihrem Anspruch nicht entsprechen und fielen wegen der teilweise deutlich geringeren Rückhaltefähigkeit hinter das Polycarbonat zurück. In einem Verbundaufbau können sie aber zum Schutz des Polycarbonates sinnvoll eingesetzt werden.
- Zum Schutz des Polycarbonates von der Bedienerseite her eignet sich auch eine genügend starke transparente Folie. Hier sind einige neue Produkte angeboten worden, auch zum Nachrüsten von Verbundglasscheiben, um den Splitterschutz zu bewirken.

#### Umsetzung des neuen Kenntnisstandes bei der Maschinenkonstruktion:

- Die Drehmaschinenbauer orientieren sich überwiegend an der in Kürze wirksam werdenden Normvorgabe (Tabelle 2), wonach nur noch beidseitig geschützte Polycarbonat-Sichtscheiben verwendet werden sollten.
- Die Hersteller von Bearbeitungszentren haben laut Norm (Tabelle 3) auch andere Möglichkeiten, als den Rundumschutz des Polycarbonates. Trotzdem sind einige Hersteller bereits dazu übergegangen, die Neu-Maschinen mit rundum geschützten PC-Sichtscheiben auszurüsten. Am weitesten verbreitet ist aber immer noch die einfache PC-Scheibe.
- Bei den Schleifmaschinen werden ebenfalls überwiegend einfache PC-Scheiben benutzt.

Auf Nachfragen bei den Gewerbeaufsichtsbehörden, wie offensichtliche Mängel an Neu-Maschinen und besonders importierten Maschinen zukünftig behandelt werden sollen, wurde angeführt, dass Handlungsfähigkeit erst nach Veröffentlichung der maschinenspezifischen C-Normen gegeben ist. - In den Tabellen 1, 2, 3, 4 und 5 ist gezeigt, dass diese Bedingung nun erfüllt ist.

## **10. Internationale Reaktionen**

Die BG hat in /6/ darauf hingewiesen, dass immer noch ein noch großer Informationsbedarf bei ausländischen Werkzeugmaschinenbauern besteht, die ihre Maschinen nach Deutschland importieren. Dies gilt auch heute noch, wie die Eindrücke auf der letzten EMO 2001 gezeigt haben. Wesentliche internationale Gesprächspartner sind England, Frankreich und die USA. Keine Reaktionen liegen bisher aus Italien und Spanien vor.

VDW und BG haben in den Jahren 1999 bis 2001 gemeinsam daran gearbeitet, ein Bewußtsein für die Versprödungsproblematik von Polycarbonat in den europäischen Arbeitsgruppen des CEN/TC 143 zu wecken. Die Tabellen 1, 2, 3 und 4 belegen, dass dies weitgehend gelungen ist.

#### Gesprächspartner MTTA und HSE in England:

Hervorzuheben ist eine Grossveranstaltung, die vom englischen Werkzeugmaschinenverband MTTA (Machine Tool Technologies Association) und der englischen Aufsichtsbehörde HSE (Health and Safety Executive) am 8.



März 2000 in Shephed beim Drehmaschinenbauer „600 Lathes“ veranstaltet wurde. Dort wurden die deutschen Ergebnisse präsentiert, um englische Hersteller für die Alterungsproblematik von Polycarbonat zu sensibilisieren. HSE-Vertreter wiederholten zwar den Gedanken, dass es in Großbritannien kein signifikantes Unfallgeschehen infolge versprödetem Polycarbonat gibt. Dennoch wurde eine detaillierte nationale Richtlinie für Drehmaschinen erarbeitet, um die in Dienst befindlichen Maschinen und Gebrauchsmaschinen nachzurüsten /19/. Auf die deutschen Untersuchungen wird darin sehr ausführlich Bezug genommen und die Ergebnisse werden für eine Handlungsanweisung zur Gefahrenabwehr an bereits in Betrieb befindlichen Maschinen ausgedeutet, Tabelle 8.

Tabelle 8: Auszug aus einer Auslegungstabelle der englischen HSE (Rest-Rückhaltefähigkeit)

EJECTED WEIGHT	POLYCARB THICKNESS	AGE OF POLYCARBONATE (YEARS)									
		NEW	1YR	2YRS	3YRS	4YRS	5YRS	6YRS	7YRS	8YRS	
	mm	kJ	kJ	kJ	kJ	KJ	KJ	kJ	kJ	kJ	
2.5 kg HAVING IMPACT AREA OF 900 sq mm	25	11.3	10.1	9.0	7.9	6.8	5.6	4.5	3.4	2.3	
	21	9.5	8.5	7.6	6.6	5.7	4.7	3.8	2.8	1.9	
	18	8.1	4.1	6.5	5.7	4.9	4.1	3.2	2.4	1.6	
	15	6.8	6.1	5.4	4.7	4.1	3.4	2.7	2.0	1.4	
	12	5.4	4.9	4.3	3.8	3.2	2.7	2.2	1.6	1.1	
	10	4.5	4.1	3.6	3.2	2.7	2.3	1.8	1.4	0.9	
	8	3.6	3.2	2.9	2.5	2.2	1.8	1.4	1.1	0.7	
	6	2.7	2.4	2.2	1.9	1.6	1.4	1.1	0.8	0.5	
4	1.8	1.6	1.4	1.3	1.1	0.9	0.7	0.5	0.4		

Für Neu-Maschinen orientiert sich die englische HSE an den C-Normen und fordert dafür, dass für Drehmaschinen nur noch rundum geschützte Polycarbonat-Scheiben verwendet werden sollen (siehe Tabelle 2). Falls diese keine offensichtlichen Beschädigungen aufweisen, werden solche Scheibenverbunde von der HSE als langzeitbeständig für die Lebensdauer der Maschine erachtet.

Ausführlich diskutiert wurde das juristische Risiko für den Werkzeugmaschinenbauer und dessen Schutzscheibenlieferant für den Fall, dass ein Anwender die HSE-Empfehlungen wider besseren Wissens, d. h. bei offensichtlichen Beschädigungen der Schutzscheibenverbunde nach vorausgegangener Aufprallbeanspruchung, nicht befolgt. Wenn ein solcher Scheibenverbund durch Versprödung infolge Kühlschmierstoffeinfluss eine stark reduzierte Rückhaltefähigkeit erlitten hat und dadurch anschließend ein Unfall mit Personenschaden verursacht würde, dann könnte der fahrlässig handelnde Anwender argumentieren, dass die Scheibe bei der vorherigen Sichtprüfung tadellos ausgesehen hätte. – Von daher wurde der Wert fest definierter Austauschintervalle erst richtig verstanden.

Ein bedeutsamer Auffassungsunterschied zwischen der deutschen BG und der englischen HSE trat hervor, als es um den bedienerseitigen Schutz des Polycarbonates im Verbundaufbau ging. Der Hauptlieferant für englische Drehmaschinen liefert einen rundum geschützten Glas-PC-Glas Verbund mit hoher Rückhaltefähigkeit. – Wegen der möglichen Splittverletzungen akzeptiert die deutsche BG kein Glas auf der Bedienerseite, wogegen die englische HSE hier keine Gefährdung sieht, Zitat: „There is no significance of spalling injuries“.

Gesprächspartner Frankreich:

Aufgrund des französischen Vorsitzes in der europäischen Arbeitsgruppe für die Drehmaschinennormen entwickelten sich ausführliche Diskussionen mit den relevanten Institutionen in Deutschland. Technische Daten und Versuchsergebnisse wurden ausgetauscht. Die französischen Vertreter in den Normungsgremien unterstützen weitgehend die deutschen Vorschläge.

„Gesprächspartner“ Spanien:

Obwohl Spanien bei der europäischen Normung ein wichtiger Abstimmungspartner für den VDW ist, konnte bislang keine Sensibilisierung hinsichtlich Polycarbonat-Alterung erreicht werden. Dies wird sich u.U. ändern, da im März 2002 ein Unfall mit einer neuen Drehmaschine aus Spanien, die nach England geliefert wurde, für Aufsehen gesorgt hat. Trotz eines Glas-PC-Verbunds mit 12 mm Polycarbonat wurde ein Bediener durch ein herausfliegendes Teil schwer verletzt.

„Gesprächspartner“ Italien:

Auch aus Italien liegen keine Reaktionen auf die VDW-Positionen zur Polycarbonat-Alterung vor. Dies erstaunt auch deshalb, weil an einem Institut in Rom (ISPESL) detaillierte Beschussuntersuchungen für die trennenden Schutzeinrichtungen an Holzbearbeitungsmaschinen durchgeführt werden (siehe Abschnitt 11).

#### Gesprächspartner USA:

Die US-Vertreter, die bei der europäischen Normung als Beobachter anwesend sind, haben von Anfang an Interesse für das Thema Polycarbonat-Alterung gezeigt. Vereinzelt Anfragen aus US-Firmen bzw. deutschen Zweigstellen sind beim VDW eingegangen. Weitere Abstimmungsschritte sind beabsichtigt.

### **11. Vergleich mit aktuellen Problemen bei den Holzbearbeitungsmaschinen<sup>1</sup>**

Die in EN 848-3 behandelten CNC-gesteuerten Bearbeitungszentren für die Holzbearbeitung sind den Werkzeugmaschinen (Bohr-/Fräszentren) sehr ähnlich. Im Gegensatz zu Werkzeugmaschinen bearbeiten Holzbearbeitungsmaschinen in der Regel vergleichsweise großformatige, häufig flächige Werkstücke in sehr kurzen Bearbeitungszyklen. Für eine Vielzahl von Einsatzfällen hat sich in der Vergangenheit die Fahrständer-Bauweise mit Ausleger ("C frame type") bewährt, die weitaus größte Anzahl CNC-gesteuerter BAZ für die Holzbearbeitung wird in dieser Bauweise ausgeführt. Aus der Holzwirtschaft ist diese offene Bauweise, bei der die Schutzeinrichtungen gegen das Herausschleudern von Teilen durch mehrlagige PVC-Streifenvorhänge realisiert ist (siehe Bild 14), nicht mehr wegzudenken.

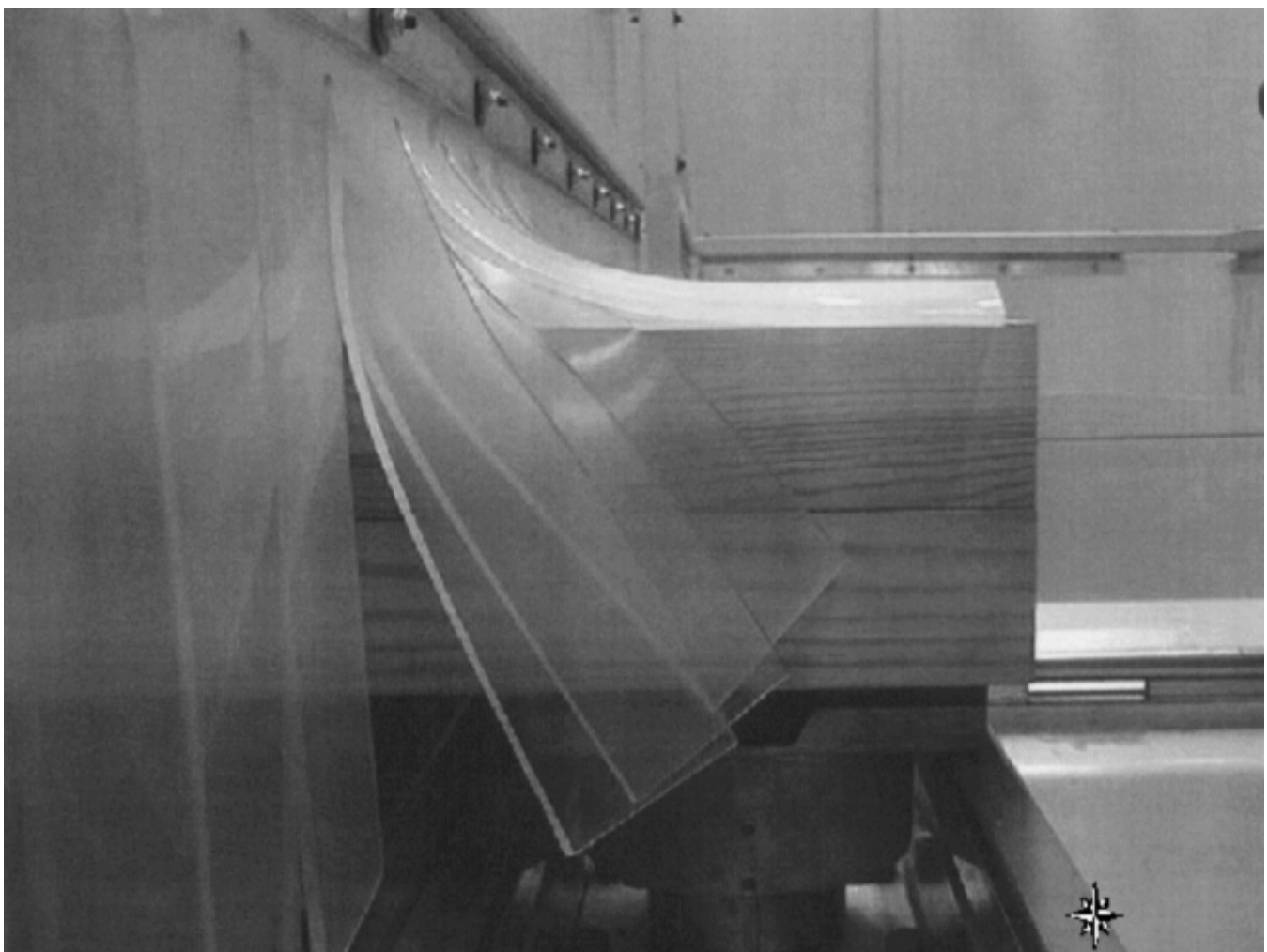


Bild 14: Trennende Schutzeinrichtung an einem CNC-gesteuerten Bearbeitungszentrum für die Holzbearbeitung (mehrlagiger Streifenvorhang aus Weich-PVC)

Seitens Schweden wird die EN 848-3 in Frage gestellt, da es in Schweden vereinzelt zu schweren Unfällen durch herausgeschleuderte (Werkzeug-) Teile gekommen ist, die jeweils auf menschliches Versagen zurückzuführen waren (Betrieb von ungeeigneten Werkzeugen bzw. Betrieb von Werkzeugen mit unzulässig hohen Drehzahlen). Daraufhin sind schwedische

<sup>1</sup> Mit freundlicher Unterstützung von Herrn Dr. Licher (VDMA, Fachverband Holzbearbeitungsmaschinen)

Sicherheitsbehörden aktiv geworden und haben ein Schutzklauselverfahren (MRL 98/37/EG, Artikel 7) beantragt, das jedoch abgewehrt werden konnte.

Es wird bemängelt, dass in EN 848-3 die Anforderungen an die trennenden Schutzeinrichtungen nicht ausreichen, obwohl die Norm schon seit mehreren Jahren im Amtsblatt der EU als harmonisierte Norm veröffentlicht ist und die Maschinenbauer, die sich danach richten, die Vermutungswirkung gemäß Maschinenrichtlinie (zu Recht) für sich in Anspruch nehmen. Seitens der EU-Kommission (genauer: des Ständigen Ausschusses für Maschinensicherheit) wird erwogen, die EN 848-3 als Ganzes aus dem Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften (OJ) zu streichen bzw. einen Vermerk in das OJ aufzunehmen, dass die Risiken durch herausgeschleuderte Teile in EN 848-3 nicht ausreichend behandelt sind. Um diese Situation abzuwenden, ist die zuständige Arbeitsgruppe CEN/TC 142/WG 5 gehalten, bis Ende Juni 2003 einen überarbeiteten Normentwurf abzuliefern, der diese Unzulänglichkeiten beseitigt.

Zur Erinnerung:

MRL 98/37/EG, Erwägungspunkt (20):

"Entsprechend der gegenwärtig herrschenden Praxis in den Mitgliedstaaten sollten die Hersteller dafür verantwortlich sein, die Übereinstimmung ihrer Maschinen mit den grundlegenden Anforderungen zu bescheinigen. Die Übereinstimmung mit harmonisierten Normen läßt die Übereinstimmung mit den grundlegenden Anforderungen vermuten. (..)"

MRL 98/37/EG, Artikel 5, Absatz (2):

"Entspricht eine nationale Norm in Umsetzung einer harmonisierten Norm, deren Fundstelle im Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften veröffentlicht worden ist, einer oder mehreren grundlegenden Sicherheitsanforderungen, wird bei nach dieser Norm hergestellten Maschinen oder Sicherheitsbauteilen davon ausgegangen, daß sie den betreffenden grundlegenden Anforderungen genügen. (..)"

Situation im April 2002: Um die Vermutungswirkung der Norm nicht zu verlieren, läßt das zuständige Technische Komitee CEN/TC 142 beim ISPEL in Rom die Schutzwirkung normgerecht ausgeführter PVC-Streifenvorhänge untersuchen. Ziel der Untersuchungen ist es, Anforderungen an diese speziellen trennenden Schutzeinrichtungen von CNC-gesteuerten Bearbeitungszentren zu definieren sowie ein geeignetes Testverfahren zu entwickeln.

Eine Anlehnung an die Normen für Werkzeugmaschinen wird auf Grund der sehr unterschiedlichen Anforderungen in der Holzbearbeitung nicht erwogen. Für den Versagensfall werden abgeschleuderte Schneidplatten (max. ca. 60g) mit einer Geschwindigkeit bis max. ca. 75 m/s zu Grunde gelegt. Eine Kompensation des Fehlverhaltens des Bedienpersonals durch technische Maßnahmen an der Maschine, wie z.B. Werkzeug-Codierung und -Überwachung, ist zumindest für die bis Juni 2003 anstehende Revision der EN 848-3 nicht zu erwarten, für die übernächste Revision jedoch nicht auszuschließen.

## **12. Zusammenfassung und Ausblick**

Das Problem der Polycarbonat-Alterung wurde in den letzten Jahren intensiv untersucht. Als Ergebnis wurde ein Zusammenhang zwischen der betrieblichen Alterungsdauer und der noch vorhandenen Rückhaltefähigkeit ermittelt. Weiterhin konnte nachgewiesen werden, dass allseitig geschützte PC-Scheiben über einen Zeitraum von wenigstens zehn Jahren ohne Verlust an Rückhaltefähigkeit eingesetzt werden können. Die Erkenntnisse wurden in die Ausgestaltung relevanter C-Normen eingebracht. Darüber hinaus hat der VDW in seinen Positionspapieren seine Mitgliedsunternehmen sowie interessierte Dritte über den aktuellen Kenntnisstand informiert.

Der Anhang für die Drehmaschinennorm DIN EN 12415 wird voraussichtlich noch im Jahre 2002 die Forderung nach „beidseitigem Schutz“ aufnehmen, um „die schädigenden Effekte für die vorgesehene Lebensdauer der Maschinen zu verhindern“. Ferner wird für die

Betriebsanleitung auf Inspektionszyklen und auf die mögliche Herstellerempfehlung für den Austausch der Sichtscheiben hingewiesen. In Übereinstimmung mit der Position des VDW wird dort ein Zeitraum von zehn Jahren vorgeschlagen.

Da beidseitig geschützte PC-Scheiben als sinnvollste technische Lösung erachtet werden, erübrigen sich zusätzliche Untersuchungen mit gealtertem Polycarbonat bzw. Untersuchungen zum Einfluss von KSS-Bestandteilen.

Die Akzeptanz und Anwendung der erarbeiteten Lösungen für den Einsatz von Polycarbonat in Werkzeugmaschinen muss zukünftig in enger Verbindung mit den entsprechenden C-Normen betrachtet werden.

Selbstverständlich müssen auch die Hersteller von Polycarbonat-Sichtscheiben auf Basis der vorliegenden Erkenntnisse sicherheitsgerechte Einsatzdauern für den Einsatz ihrer Produkte in Werkzeugmaschinen angeben.

Aufgrund der nun vorliegenden Kenntnislage sind keine weiteren VDW-Positionspapiere vorgesehen. Allerdings wird der VDW weiterhin andere Länder durch entsprechende Informationen für die Alterungsproblematik sensibilisieren.

---

Beitrag zum Fachgespräch „Arbeitssicherheit“ – Umsetzung normativer Hinweise zur Sicherheit von Werkzeugmaschinen unter dem Aspekt der Alterung am 8. Mai 2002 im PTZ der TU Berlin

### 13. Schrifttum:

Ref.	Autor / Titel	Quelle
1	J.M Gil-Robles, J. Cunningham: Richtlinie 98/37/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 22. Juni 1998 (Maschinenrichtlinie) und: European Commission (DG III Industry): Machinery – Useful Facts in Relation to Directive 98/37/EC, („Sicherheitsbauteil“ in der Antwort zur Frage 77, letzter Absatz der Abschnitte 1.1 und 2.3, „trennende Schutzeinrichtung“ in den Abschnitten 1.5 b und 2.2)	Amtsblatt der Europ. Gemeinschaften L207, 23. Juli 1998  Luxembourg, ISBN 92-828-6653-X
2	DIN EN 12415 (pr A1) / 12478/ 12840/ prEN 13788 Sicherheit von Drehmaschinen	Beuth-Verlag in Berlin und CEN /TC 143 / WG 3
3	DIN EN 12417 Sicherheit von Bearbeitungszentren.	Beuth-Verlag in Berlin und CEN /TC 143 / WG 4
4	PrEN 13218 Sicherheit von Ortsfesten Schleifmaschinen	Beuth-Verlag in Berlin und CEN /TC 143 / WG 2
5	Dr. Umbreit et al. Merkblatt – Sonderbetriebsart „Prozessbeobachtung“ und Neun Thesen zur Betriebsart „Prozessbeobachtung“	BG-Mainz, Stand: 13.01.2002
6	W. Link: Sichtscheiben an Werkzeugmaschinen – ein fast unbekanntes Problem (Fachtagung Europäische Marktüberwachung am 24. u. 25. Mai 2000 in Ettlingen)	Südd. Metall BG in Stuttgart,
7	Prof. H. Schulz: „HSC contra HVM ?“ aus „20 Jahre HSC“ Sonderausgabe von „Werkstatt und Betrieb“	HSC-Sonderteil 1999 aus der Zeitschrift Werkstatt und Betrieb
8	M. Ising, J. Bold: VDW0209 und VDW0209-1: Gestaltung und Dimensionierung von trennenden Schutzeinrichtungen (Teile 1 u.2)	VDW in Frankfurt
9	Dr. Mewes et al. Rückhaltefähigkeit von Polycarbonatscheiben nach betrieblichem Einsatz	BIA,Nr.:1999 23452, VDW Frankfurt
10	H.-J. Warlich et al. Position Einzelfallbeurteilung von der BG, Titel: Alterung von Polycarbonatscheiben (Eingang beim VDW am 9. Dez. 99)	BG Mainz, Fachausschuss Eisen und Metall II
11	N. N. a) GE Structured Products – Lexan Processing Guide, clause 3.1 Chemical Resistance, b) Kunststoff-Sichtscheiben im Maschinenschutz	General Electrics Plastics  Röhm, Darmstadt
12	J. Bold et al. ARGUS – Arbeits- und Gesundheitsschutz bei der Hochgeschwindigkeitsbearbeitung – Abschlußtagung am 23. 02.99	Technische Universität Berlin, IWF, Prof. Uhlmann
13	Prof. H. Schulz: „Bearbeiten bei hohen Geschwindigkeiten“ aus „20 Jahre HSC“ Sonderausgabe von „Werkstatt und Betrieb“	Zeitschrift Werkstatt und Betrieb Nr. 122 / 1989
14	Dr. Mewes et al: Trennende Schutzeinrichtungen an Werkzeugmaschinen	„Werkstatt und Betrieb“ (Heft Nr. 9/97); in der „WT Werkstattstechnik“ (10/99)
15	D. Mewes et al: Die Festigkeit von Schleifscheiben als Faktor für die Prozesssicherheit	Zeitschrift „Spanende Fertigung“ April 2000
16	J. Bold, M. Wittner: Entwicklung und Erprobung von Aufprallprüfkörpern zur Simulation von Schadensereignissen mit abgeschleuderten Belagsegmenten von Schleifscheiben mit Belag und Stahlgrundkörper	IWF-Bericht zum FWF-Projekt 0210 wird für die zweite Hälfte 2002 erwartet
17	J.P. Soisson Arbeitsmittelbenutzungsrichtlinie (89/655/EWG)	Amtsblatt der Europ. Gemeinschaften
18	N. N.: Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlamentes und des Rates über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG KOM (2000) 899 endgültig (Maschinenrichtlinie)	Dokument KOM(2000) 899 vom 26. Januar 2001, Europäische Kommission.
19	Nick Hitchcott: Engineering information sheet (EIS) – CNC turning machines – controlling risks from ejected parts	Health and Safety Executive, Birmingham, England