

**Konrad Binder**

## **Gestaltung und Optimierung von technischen Untersuchungsverfahren im Hinblick auf deren Bedeutung für die Praxis.**

### **1. Einführung**

In den letzten Jahren haben sich die einschlägigen Institute im Zusammenhang mit der Europäischen Normung intensiver als je zuvor mit Prüfmethode auseinandergesetzt. Dabei müssen hunderte nationaler Prüfmethode für Sportböden studiert und dahin geprüft werden, ob sie die Voraussetzungen erfüllen, als Vorlage für eine Europäische CEN-Norm zu dienen. Tabelle 1 gibt einen groben Überblick über die Ausschüsse bzw. Arbeitsgruppen.

**Tabelle 1: Gliederung CEN TC 217 - Sportböden**

<b>TC 217:</b>	<b>Hauptausschuß</b>
WG 1:	Koordination, Testmethoden
WG 7:	Ballspringverhalten
WG 8:	Shock absorption, Kraftabbau
WG 9:	Gleitverhalten
WG 2:	Sporthallenböden
WG 3:	Rasen
WG 4:	Tenne
WG 5:	Kunststoffbeläge
WG 6:	Kunststoffrasen

Das Problem besteht darin, daß die Sportbodenforschung und -Prüfung eine sehr junge Wissenschaft ist und sich die Prüfmethode bei vielen Eigenschaften so weit unterscheiden, daß eine Harmonisierung, wie es die Europäische Normung vorsieht, eigentlich gar nicht möglich ist. Leider sind sich die Verantwortlichen dessen offenbar nicht bewußt, daß neue Prüfmethode auf internationaler Basis entwickelt werden müssen, was Zeit und Geld und viel Koordinationarbeit erfordert.

Bei der Entwicklung leistungsfähiger Prüfmethode müssen bestimmte Rahmenbedingungen erfüllt sein. Die wichtigsten sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

**Tabelle 2: Anforderungen an Prüfmethode**

1) Praxisrelevanz
2) Korrelierbarkeit zum praktischen Verhalten
3) Einfachheit und Kostenakzeptanz

4) "Kriterien-Gerechtigkeit"
5) Reproduzierbarkeit/Wiederholbarkeit
6) Werkstoffgerechtigkeit

Praxisrelevanz bedeutet nur, daß die Prüfmethode selbstverständlich einen entsprechenden Bezug zur Praxis haben muß. Die 2. Forderung nach der Korrelierbarkeit ist schon viel anspruchsvoller, sie bestimmt gleichermaßen die Qualität des Praxisbezuges.

Ein ideales Beispiel einer guten Korrelation wäre eine umrechenbare Zeitraffung zwischen Laborversuch und Praxis. Eine so gute Korrelation gibt es bei keinem praktischen Test. Um ihr aber möglichst nahe zu kommen, wäre es zweckmäßig, jede Prüfung möglichst weitgehend der praktischen Beanspruchung anzugleichen.

### **Tabelle 3: Korrelierbarkeit zur Praxis**

#### **Probleme bei der Angleichung der Prüfung an die Praxis**

1) Kosten zu (komplizierte Geräte)
2) Zeitaufwand für Prüfer zu groß
3) Wartezeit für Kunden zu lang
(keine effektive Entwicklung möglich)

#### **Konsequenz: die praxisorientierte Kurzprüfungen:**

Diese müssen so gestaltet werden, daß trotz der **(modellmäßigen) Vereinfachung** Rückschlüsse auf das praktische Verhalten gezogen werden können.

### **3. Nachgiebigkeit und Kraftabbau - Grundlagen**

Diese modellmäßige Vereinfachung sei an Hand der Nachgiebigkeit näher diskutiert. Diese Eigenschaft ist durch Begriffe wie Kraftabbau (shock absorption) oder Vertikale Standardverformung abgedeckt (vgl. Tabelle 4).

#### **Tabelle 4: Begriffe zur Charakterisierung der Nachgiebigkeit (Beispiele)**

Vertikale Standardverformung StVv
Kraftabbau KA - shock absorption
(Negative) Beschleunigung - deceleration
HIC - Head Injury Criterion

## Severity Index

Es sei vor allem auch auf die prinzipiellen Voraussetzungen für die Erstellung einer effektiven Prüfmethode eingegangen - was ich z.B. über das Material wissen muß.

Bei der Beanspruchung von Sportböden werden je nach Typ unterschiedliche viskoelastische Deformationsmechanismen wirksam. Dieses Verhalten läßt sich qualitativ durch Ersatzmodelle aus Feder- und Dämpferelementen darstellen, wie wir sie aus der Theorie der linearen Viskoelastizität von Kunststoffen kennen.

### **Abb.1: Viskoelastische Ersatzmodelle**

Bei Hintereinanderschaltung der beiden Modelle in Abb.1 gelangt man zum allgemeinen BURGERS-Modell, das qualitativ alle Verformungsprozesse viskoelastischer Materialien erklären kann. Im unteren Teil ist der daraus ableitbare Kriechprozeß für den Fall einer konstanten statischen Belastung dargestellt. Das belastete Element aus Stahl (im Modell ohne Dämpferelemente) hält die elastische Anfangsdeformation zeitlich konstant, während sich der Kunststoff K auf Grund der Dämpferelemente zeitabhängig permanent verformt.

Um das tatsächliche Materialverhalten im linearen Bereich zu beschreiben, muß man zu einer größeren Zahl solcher Modelle übergehen.

### **Abb.2: Prinzip der Stoßkraftentstehung bei Auftreffen und Abbremsung einer Masse**

In Abb.2 ist schematisch die Entstehung der Stoßkraft dargestellt. Diese elementaren Formeln beschreiben die Energieumwandlung beim Fallen einer Masse und die resultierende Bodenkraft.

### **Abb.3: Bodenarten und Ersatzmodelle**

Zur Beschreibung des Verhaltens der Sportböden müssen wir in das gezeigte BURGERS-Modell noch Massenelemente einbringen.

Diese Modelle beschreiben qualitativ das Verhalten der Böden.

#### **Zur Funktion der 4 Elemente im einzelnen (Abb.1):**

c2: diese Feder repräsentiert das rein elastische Verhalten, d.h. jeder Boden verhält sich bis zu einem gewissen Grad "stahlelastisch".

Die Feder  $c_1$  und Dämpfer  $h_1$  repräsentieren gemeinsam die zeitelastische Verformungskomponente. Der Dämpfer  $h_1$  wandelt mechanische in Wärmeenergie um, die Feder  $c_1$  sorgt dafür, daß der Boden wieder in seine Ausgangslage zurückgeht.

Bei normaler Beanspruchung eines Sportbodens wird der Dämpfer  $h_2$  in minimalem Ausmaß wirksam - langfristig ist aber auch dieser plastische Verformungsanteil nicht zu vernachlässigen. Wer sich einmal angesehen hat, wie z.B. der Schaumstoff unter einem Kunststoffrasen alter Konstruktion nach 10 Jahren aussieht, wird dem zustimmen.

#### **Abb.4: "Oszillogramm" des Torsionsschwingungsversuches**

Die innere Dämpfung eines viskoelastischen Materials kann man mit einem Schwingungsversuch gut veranschaulichen und auch quantifizieren. Hierbei ist eine Probe des Werkstoffes mit einer Masse verbunden, die dann ausgelenkt wird und nach dem Prinzip des Masse-Federmodelles schwingt: die Abnahme aufeinanderfolgender Schwingungsamplituden ist ein Maß für die innere Dämpfung, den sogenannten **Energieverlust**.

### **3. Künstlicher Sportler Berlin**

#### **3.1 Die Wechselwirkung Boden-Mensch**

Unser Problem besteht nun darin, das Verhalten dieser vielfach sehr unterschiedlichen Sportböden bei Beanspruchung durch den Sportler meßtechnisch zu erfassen. Es geht dabei zunächst aber nur um eine angemessene Charakterisierung des Bodens.

Zur Messung der Bodenreaktion sind sehr unterschiedliche Geräte entwickelt worden. Auf Grund der Komplexheit kann mit einfachen "Materialprüfungen" nicht das Auslangen gefunden werden - daher ist ein "**Künstlicher Sportler**" (KS) erforderlich. Die Wahl dieses Wortes war **wesentlich**, weil dadurch programmatisch vorgegeben wurde, welche Leistungen dieses Gerät erbringen sollte, nämlich:

- A) Es muß die natürlichen Prozesse so weit simulieren, daß der Boden im Hinblick auf das entscheidende, charakteristische Verhalten in ähnlicher Weise belastet wird wie durch den "natürlichen Sportler" und
- B) Die Rückwirkung des Bodens auf den KS muß durch diesen meßtechnisch erfasst werden können.

Wie komplex der Mensch auch immer sein mag: er ist rein mechanisch eine vielfältige Kombination von Feder- und Dämpferelementen. Davon muß man bei der Konstruktion des Künstlicher Sportlers ausgehen und extreme Vereinfachungen treffen. Denn die Prüfinstitute können es sich nicht leisten, die laufende Beurteilung eines Sportbodens durch biomechanische Studien zu vollziehen. Es muß ein einfacher routinemäßiger Prüfprozeß sein.

### **Abb.5: viskoelastische Ersatzmodelle Sportler/Boden**

In erster Näherung kann das Ersatzmodell für den Boden auch als Ersatzmodell für den Sportler dienen. Und so haben wir hier nur die Ersatzmodelle übereinandergesetzt.

### **3.2 Künstlicher Sportler Berlin - Konstruktion**

Von allen Künstlichen Sportlern hat der KS Berlin (KSB) die größte Verbreitung gefunden.

### **Abb.6 Prinzip Künstlichen Sportlers Berlin KSB (aus DIN 18.032.T2)**

Zweifellos schwebte seinerzeit den Erfindern dieses Künstlichen Sportlers ein ähnliches Modell vor. Und tatsächlich enthielt der (nicht modifizierte) Original- KSB noch einen Öldämpfer.

Tatsache ist aber, daß der heutige KSB über keine Dämpferelemente verfügt. Der Grund liegt offenbar darin, daß die Realisierung eines konstant bleibenden Dämpfungssystems zu schwierig war, wodurch die Reproduzierbarkeit beeinträchtigt war.

Die praktische Bodenbelastung wird durch den gefederten Stoß einer Masse simuliert. Wie aber sollte die Feder dimensioniert werden?

Es scheint aussichtslos, eine Federkonstante für den menschlichen Körper definieren zu wollen. Als entscheidend wurde daher die Angleichung der Vertikalkräfte und deren Zeitdauer an die Praxis angesehen.

Die Ergebnisse biomechanischer Studien hatten etwa folgende Ergebnisse für Sprünge ergeben:

$$F_{\max} = 7.000 \text{ N} \sim 700 \text{ kp}$$

$$t = 100 \text{ ms} = 0,1 \text{ s}$$

### **Abb.7: Kraft-Zeit-Funktionen ÖIST-Messung**

In diesem Bild sind unsere eigenen Messungen mit dem KSB aufgezeichnet und Sie können sehen, daß am starren Boden die Verhältnisse in den genannten Bereichen von Kraft und Zeit liegen.

### **3.3 KSB - impulsmodifizierte KA-Messungen**

Bei den Messungen mit dem KSB fällt auf, daß die durch die Masse und Steifheit der Oberfläche bedingte Härte des flächenelastischen Bodens in Relation zum punktelastischen Boden nicht zum Ausdruck kommt.

Der Grund ist darin zu sehen, daß der massive Oberbelag bei einer Fallhöhe von 55 mm offenbar noch nicht so stark beschleunigt wird, daß deutliche Reaktionskräfte wirksam werden.

Wir haben daher die Reaktionskräfte bei einer wesentlich größeren Fallhöhe, nämlich 1 m untersucht. Bei verschiedenen Holzböden und einem mischelastischen Boden erhielten wir folgende Ergebnisse:

**Tabelle 5: Ergebnisse bei unterschiedlichen Fallversuchen**

Fall- masse	Fall- höhe	v, m/s	Fall- energie J	KA in % für Sportboden:		
				ME %	FE-1 %	FE-2 %
20,0 kg	55 mm	1,0	10,79	55	43	57
1,1	1000	4,4	10,79	63	46	50

Daraus ist unschwer zu erkennen, daß bei hohen Aufprallgeschwindigkeiten die flächenelastischen Böden deutlich geringere Kraftabbau-Werte aufweisen. Während der mischelast. Boden eine deutliche Steigerung des Kraftabbaues erfährt, ergibt sich speziell beim schwereren flächenelastischen Boden eine gegenläufige Tendenz, nämlich ein Abfall auf 50%.

Es sei noch erwähnt, daß auch die Kontaktzeit bei dem kurzen schnellen Schlag nur halb so groß ist wie beim langsamen Schlag mit dem 20 kg Gewicht.

Somit haben die orientierenden Versuche auch das erwartete Ergebnis, daß bei schnelleren Schlägen die relative Härte des flächenelastischen Holzbodens im Experiment mit einem nochmals mod. KSB ebenso zum Ausdruck kommt wie wir es in der Praxis empfinden.

### **3.4 KSB - "Fußfehler"**

Wenn wir uns aber schon mit der Beschleunigung von Massen befassen, so müssen wir auch wohl eine Problematik behandeln, die ich gerne als den "Fußfehler" des KSB bezeichnen möchte (vgl. Abb.6).

Dieser Fußfehler wird dem Gerät gelegentlich auch "vorgeworfen" und er rührt daher, daß das Fallgewicht ja nicht direkt auf den Boden fällt, sondern auf ein Paket von Bauteilen, das ebenfalls beschleunigt werden muß (von Prallkopf bis Prüffuß).

Abb.8: Prall- und Meßkopf

Daraus wird von Kritikern gelegentlich die Beziehung abgeleitet:

$$F_{\text{surf}} = F_{\text{KSB}} - M \cdot b .$$

Dabei ist M die Gesamtmasse des Testfußes und b seine Beschleunigung. Geht man von einer Masse von 2 kg aus und einer Beschleunigung von 15 g (= 150 m/s) so ergibt sich für diese Korrekturgröße:k

$$F_{\text{K}} = 2 \text{ kg} \cdot 150 \text{ m/s} = 300 \text{ N} .$$

Dieser Rechnung können wir aber nicht zustimmen. Dem Meßelement stellt sich nur der eigentliche Prüffuß als träger Widerstand entgegen und dieser hat bei uns z.B. nur eine Masse von 0,4 kg (alles inklusive), so daß sich nur ein Korrekturwert von  $F_{\text{K}} = 60 \text{ N}$  errechnet. Aber selbst dieser Wert dürfte in der Praxis nicht erreicht werden, da in dem Augenblick, da die Stoßkraft etwa im tiefsten Punkt der Deformation des Bodens ihr Max. erreicht, die Beschleunigung dieses Teiles schon wieder abgeschlossen ist.

Wahrscheinlich spielt die Trägheit dieses Teiles aber bei schnelleren Stoßprozessen eine Rolle, wie wir sie zuvor diskutiert haben. Es wäre dabei ganz interessant, diesen Teil aus Al zu fertigen - dann müßten sich andere KA-Werte ergeben, sofern die Trägheit des Fußes überhaupt eine maßgebliche Rolle spielt.

Welche Rolle spielt aber jene Masse des "Testfußes", die sich oberhalb des Meßelementes befindet? Sie trägt nach unseren Überlegungen auf Grund des Satzes von der Erhaltung des Impulses kaum zur Verfälschung der Ergebnisse bei.

### **3.5 KSB - "Federfehler" des Künstlichen Sportlers Berlin**

Die Meßfeder hat im KSB eine zentrale Funktion. Normgemäß soll sie eine Federkennzahl von  $c = 2.000 \text{ N/mm}$  aufweisen. Für Abweichungen von bis zu  $c = 250 \text{ N/mm}$  gibt die Norm eine Korrekturformel an. Es ist uns allen bewußt, daß die Genauigkeit und Vergleichbarkeit der in verschiedenen Instituten geprüften Werte umso besser ist, je genauer wir bei 2.000 liegen. Das bedeutet aber, daß wir uns künftig mehr um die c-Werte kümmern müssen.

### **4. Qualitätssicherung - Federkonstanz**

Es ist entscheidend, daß bei Messungen immer zumindest im Rahmen der üblichen Streuungen dieselben Meßwerte erhalten werden. Um eine gewisse Kontrolle darüber zu

haben, führen wir u.a. eine Liste, in der laufend gewisse Basisdaten verzeichnet werden (vgl. Tabell 6). Wie z.B. die Federkennzahl, aber auch der Kraftabbau auf Musterplatten ("Kalibrierplatten").

**Tabelle 6: ÖIST-Liste der KA- und und Meßfedern-Kontrolle**

<b>KA-KALIBRIERPROTOKOLL</b> <b>Künstlicher Sportler Berlin</b> Geräte Nr.: 393 Federmasse samt Prallkopf und Grundplatte: 1.600 g Betreuung: Melnitzky/Rußold <b>WERTE STARRER PLATTE, REFERENZPROBEN, FEDERRATEN</b>						
<b>Fmax55 Mon.- Dimension</b>	<b>Fmax90 wert *) kp</b>	<b>Recapl. KA55 kp</b>	<b>Semperit KA55 %</b>	<b>Cdyn FH55 %</b>	<b>Cdyn FH90 kN/m</b>	<b>kN/m</b>
21. Jän. 1993	646	826	---	16,5	1816	1838
16. Feb. 1993	646	826	---	---	1816	1838
11. März 1993	1)687	887	---	---	2061	2089
23. März 1993	680	881	49,0	---	2019	2101
01. Juni 1993	668	877	48,9	---	1944	2079
08. Juli 1993	686	888	47,9	---	2055	2134
20. Juli 1993	693	892	---	---	2097	2153
5. Aug. 1993	697	894	48,2	19,5	2121	2165
9. Aug. 1993	686	889	49,1	23,9	2056	2137
17. Aug. 1993	689	894	48,6	21,7	2075	2163
25. Aug. 1993	699	899	47,4	23,4	2139	2190
31. Aug. 1993	681	886	48,0	(25,2)	2024	2122
24. Sept. 1993	692	897	---	---	2095	2181
27. Sept. 1993	689	895	48,6	23,8	2075	2168
7. Okt. 1993	684	882	47,4	24,1	2043	2106
13. Okt. 1993	692	894	48,9	24,5	2091	2161
27. Okt. 1993	691	885	48,7	24,6	2086	2147
11. Nov. 1993	694	892	48,1	24,8	2113	2186
23. Nov. 1993	696	902	47,1	24,1	2116	2205

Es ist entscheidend, daß bei Messungen immer zumindest im Rahmen der üblichen Streuungen dieselben Meßwerte erhalten werden. Um eine gewisse Kontrolle darüber zu haben, führen wir u.a. eine Liste, in der laufend gewisse Basisdaten verzeichnet werden. Wie z.B. die Federkennzahl, aber auch der Kraftabbau auf Musterplatten. Wir sehen, daß diese Werte gewissen Schwankungen unterliegen, auf deren Ursachen wir hier nicht eingehen können. Aber im wesentlichen bewegen sie sich in einem engen Band, so daß wir zuversichtlich sein können, für alle Produkte richtige Meßwerte zu erhalten.

### **5. Folgen der Viskoelastizität**

Wir haben zuvor über den Einfluß der Stoßgeschwindigkeit auf das Meßergebnis gesprochen, weil entsprechende Massen beschleunigt werden müssen (vgl. Abb.6).

Die Stoßgeschwindigkeit hat aber auch deswegen einen Einfluß auf das Ergebnis, weil immer auch viskoelastische Komponenten beansprucht werden. Es ist bekannt, daß schon rein viskose Komponenten, wie z.B. das Wasser eines Bassins bei hoher Aufprall

geschwindigkeit viel härter ist als bei langsamem Eintauchen. D.h. der Widerstand eines Bodens wird auch umso größer sein, je schneller er beansprucht wird. Dies kann man sich an Hand der Dämpferelemente leicht vorstellen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Viskoelastizität ist die Temperaturabhängigkeit der Boden Härte. Kunststoffe werden bei tieferen Temperaturen generell steifer und härter.

Eine ideale Methode, um einen Überblick über die Temperaturabhängigkeit zu erhalten, ist die DTMA: dabei wird eine Probe dynamischen Deformationen ausgesetzt und der Widerstand und die Dämpfung als Funktion der Temperatur gemessen.

**Abb.9: Dynamisch-mechanische Thermoanalyse (DMTA) an EPDM-Sportbelag**

In Diagramm Abb.9 sind die Ergebnisse von Experimenten speziell für das EPDM-Material, das für Sportplatzbeläge in Granulatform eingesetzt wird, dargestellt.

Dieses Diagramm liefert uns folgende Informationen:

- 1) schon um 20°C nimmt die Steifigkeit mit abnehmender Temperaturen zu.
- 2) Diese Zunahme erreicht bei ca. - 30°C eine Zehnerpotenz, d.h. daß das Material bei dieser Temperatur 10x so steif ist als bei 20°C. Hier beginnt der sogenannte Einfrierbereich des Polymeren, die Moleküle verlieren im Molekülverband ihre Beweglichkeit. Gleichzeitig erfährt auch die Dämpfung eine drastische Steigerung und steigt innerhalb von 10°C um eine Zehnerpotenz an. Man kann also feststellen, daß bei - 30°C der Kunststoff-Boden extrem schlechte Laufeigenschaften aufweisen muß: er ist extrem hart und weist dennoch einen sehr hohen Energieverlust auf.
- 3) Wir erkennen, daß der Biegemodul, also die Härte des Materials bei 10 Hz höher ist als bei 1 Hz, d.h. der Widerstand ist bei höherer Temperatur größer, auch unterscheiden sich die  $T_g$ -Werte dementsprechend um 4,5°C

**Abb.10: DMTA-Analyse an NBR (Nitril-Butadien-Kautschuk)**

In Abb.10 sind analoge Diagramme für Nitrilkautschuk dargestellt. Daraus können Sie ersehen, daß hier schon bei - 10-20°C extreme Verhältnisse hinsichtlich Steifigkeit und Dämpfung-bzw. Energieverlust herrschen. D.h. daß ein solches Recyclingmaterial keinesfalls als Basisschicht von LA-Belägen in nordischen Ländern eingesetzt werden darf.

**Abb.11: DMTA-Analyse BR (Butadien-Kautschuk)**

Auf der anderen Seite hätten wir mit Butadien-Kautschuk (Abb.11) den nahezu idealen Kautschuk für Laufbahnen: der mechanische Verlustfaktor und damit der Energieverlust liegt temperaturunabhängig bei 0,1 und ist damit halb so groß wie bei dem gezeigten EPDM

und die Abnahme der Elastizität mit der Temperatur ist ebenfalls geringer. Das hängt damit zusammen, daß der Glaspunkt erst bei ca.  $-100^{\circ}\text{C}$  liegt.

Bei Kunststoffen wie PVC-weich und PUR liegen die  $T_g$ -Werte wesentlich höher, und zwar im Bereich um  $15^{\circ}\text{C}$ . Die Erfahrungen haben gezeigt, daß die Schlagfestigkeit punktelastischer Sporthallenböden aus diesem Grunde in diesem Temperaturbereich drastisch abnahm und die meisten Riß-Schäden offenbar dann passiert sind, wenn in Turnsälen - aus welchen Gründen auch immer - relativ tiefe Temperaturen geherrscht haben.

## **6. Folgen der Temperaturabhängigkeit für die Meßtechnik**

Die aufgezeigten Zusammenhänge sind auch für die Meßtechnik und die Zuverlässigkeit der Beurteilung von Sportböden von Bedeutung.

Abb.12: Kraftabbau als Funktion der Temperatur bei EPDM-Belägen

Abb.12 zeigt, daß die Härte von EPDM-Belägen durchaus mit den gezeigten Diagrammen korreliert, d.h. daß der Kraftabbau mit steigender Temperatur deutlich ansteigt.

Es gibt aber auch Sporthallenböden, die eine weitaus größere Temperaturabhängigkeit von KA zeigen (Abb. 13).

Abb.13: Kraftabbau als Funktion der Temperatur für unterschiedliche Sporthallenböden

Dieser Zusammenhang ist für die Kontrollprüfungen ebenso wichtig wie problematisch. Grundsätzlich gibt es nämlich in den uns bekannten Normen nur temperaturunabhängige Anforderungswerte. Wenn nun bei kühler Witterung gemessen wird, erfüllt ein Belag, der z.B. die Anforderung 35 % im Labor erfüllt, diese vor Ort nicht mehr. Und dieser Zusammenhang ist bei schwarzen Gummiarten kaum bekannt.

Dieser Aspekt ist dem Bereich Werkstoffgerechtigkeit gemäß Tabelle 1 zuzuordnen.

## **7. Anforderungswerte, Kriteriengerechtigkeit**

Dies führt uns noch zur Frage der "Kriteriengerechtigkeit" einer Prüfmethode. Nach unserer Auffassung ist eine Prüfmethode dann kriteriengerecht, wenn möglichst wenig Fehlbeurteilungen vorkommen (vor denen grundsätzlich kein Institut gefeit ist).

Dazu bedarf es folgender Voraussetzungen:

1) Die Prüfmethode muß ein möglichst klar quantifizierbares Ergebnis liefern. Die Streu- bzw. Bandbreite der Ergebnisse muß so klein wie möglich sein. Je breiter der Streubereich, umso mehr kritische oder falsche Beurteilungen können passieren.

Diese Voraussetzung ist zwar beim Kraftabbau gegeben, aber schon bei der Spikes-Prüfung oder auch der Verschleißprüfung von Kunststoffrasen haben wir mit diversen Normen unsere Probleme.

2) Die Anforderungen müssen von einem guten Produkt ohne weiteres erreichbar sein.

3) Die Anforderungen müssen eindeutig sein. So stellt sich die Frage: muß der Mittelwert die Anforderung erfüllen oder jeder Einzelwert oder dürfen die Einzelwerte z.B. 10 % unter dem Anforderungswert liegen. Diesbezüglich erscheint uns die Festlegung der Dickenanforderungen für Kunststoffbeläge im Freien mustergültig (DIN 18.035 Teil 6, ÖISS-Richtlinie).

Wenn diese Voraussetzungen nicht gegeben sind, wird es immer wieder vorkommen, daß ein Produkt von dem einen Institut positiv und von einem anderen Institut negativ beurteilt wird.

### **8. Qualitätssicherung - Marktordnung**

Die Qualitätssicherung gewinnt in der modernen Industrie und Prüftechnik eine immer steigende Bedeutung. Hiefür gibt es mehrtägige Seminare und es handelt sich für die meisten um ein ziemlich trockenes Thema. Ohne diese QS gibt es z.B. keine europäische Akkreditierung, die das ÖIST/ÖFI im Vorjahr glücklich hinter sich gebracht hat.

Ich möchte nur auf einen Aspekte näher eingehen (vgl. auch Tabelle 6):

Ein wichtiger Bestandteil der QS sind Ringversuche. Es genügt nämlich nicht, daß unser Institut immer dieselben, von uns als richtig empfundenen Ergebnisse erhält, unsere Ergebnisse müssen mit jener anderer behördlich anerkannter Institute übereinstimmen.

Als wir mit der Sportbodenprüfung vor über 10 Jahren begannen, haben wir uns um einen Ringversuch bemüht, um festzustellen, wo wir liegen.

Abb.14: Ringversuche zum Kraftabbau an Sporthallenböden; 1984

In Abb.14 sind die Ergebnisse wiedergegeben. Bis auf das OGI hatte zu dieser Zeit noch kein Institut längere Prüferfahrung. (ÖIST: mittlerer Balken). Insgesamt sind die Abweichungen der Institute voneinander ein wenig zu groß und auch die Streubereiche könnten kleiner sein.

Solche Ergebnisse sind es aber, die die Institute anspornen, Verbesserungen im Sinne der oben dargelegten Zusammenhänge vorzunehmen. Derzeit sind wir z.B. dabei, der Federkennzahl besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

Inzwischen hat sich die Übereinstimmung sicherlich wesentlich verbessert. Im wesentlichen sind bei unseren letzten Vergleichsversuchen mit einem anderen Institut bei Verwendung der identen Feder nur noch Abweichungen von 1-2 % aufgetreten, in Einzelfällen 3 %.

### **Marktordnung**

Selbstverständlich kann man über diese Fragen endlos diskutieren und wir haben dies auch beinahe getan. Es ist aber dessenungeachtet richtig, daß eine zuverlässige Prüfung dieser Art, auf die sich die Wirtschaft verlassen kann, für die Beläge einen Qualitätsstandard fixiert, auf den sich alle Beteiligten einstellen können. Damit ist die Basis für eine übersichtliche Marktordnung geschaffen: Der Produzent weiß, was er zu erzeugen hat und der Anwender, was er zu fordern hat.

### **9. KURZFASSUNG/ZUSAMMENFASSUNG**

Das Prüfzeugnis eines Sportbodens soll dessen gesamte Qualität wiedergeben, woraus das langfristige praktische Verhalten des Sportbodens hervorgehen sollte. Um diesem Ideal möglichst nahe zu kommen, wäre es zweckmäßig, zumindest alle funktionellen Prüfungen so weitgehend wie möglich der praktischen Beanspruchung anzugleichen. Diesem Vorhaben sind aber durch die Realität der Prüftechnik, insbesondere durch den verfügbaren Zeit- und Prüfaufwand, sehr enge Grenzen gesetzt.

Leistungsfähige Prüfungen müssen bestimmte **Rahmenbedingungen** erfüllen, insbesondere:

- 1) Praxisrelevanz bzw. Korrelierbarkeit zum praktischen Verhalten
- 2) Reproduzierbarkeit/Wiederholbarkeit
- 3) Werkstoffgerechtheit
- 4) Einfachheit und Kostenakzeptanz
- 5) "Kriterien-Gerechtheit"

Diese Aspekte werden primär an Hand einer der wichtigsten Eigenschaften, nämlich der Nachgiebigkeit näher diskutiert. Diese Eigenschaft ist durch Begriffe wie Kraftabbau (shock absorption) oder Vertikale Standardverformung abgedeckt.

Wenn Sportböden mechanisch beansprucht werden, dann werden je nach Typ unterschiedliche komplexe viskoelastische Deformationsmechanismen wirksam. Dieses Verhalten läßt sich zunächst qualitativ durch Ersatzmodelle aus Feder- und Dämpferelementen symbolisieren und verstehen. Diese Modelle sind aus der Theorie der linearen

Viskoelastizität von Kunststoffen bekannt (Maxwell-, Voigt-Kelvin-, Burgers-Modell). Zur Beschreibung des Verhaltens der Sportböden müssen wir in diese Modelle noch Massenelemente einbringen.

Zur Messung der Bodenreaktion sind sehr unterschiedliche Geräte entwickelt worden. Die Komplexität des angedeuteten Geschehens legt es nahe, daß mit einfachen "Materialprüfungen" nicht das Auslangen gefunden werden kann; hierfür sind vielmehr "**Künstlicher Sportler**" (KS) erforderlich. Die Wahl dieses Begriffes war wesentlich, weil dadurch programmatisch vorgegeben wurde, welche Leistungen dieses Gerät erbringen sollte, nämlich:

- I) Es muß die natürlichen Prozesse so weit simulieren, daß der Boden in ähnlicher Weise belastet wird wie durch den "natürlichen Sportler" und
- II) Die Rückwirkung des Bodens auf den KS muß durch diesen meßtechnisch erfasst werden können.

Von allen Künstlichen Sportlern hat der KS Berlin (KSB) die größte Verbreitung gefunden. Die praktische Bodenbelastung wird durch den gefederten Stoß einer Masse simuliert. Entscheidend ist dabei die Angleichung der Vertikalkräfte und deren Zeitdauer an die Praxis.

In diesem Zusammenhang werden weiters folgende Aspekte diskutiert:

- a) Die Viskoelastizität der in Wechselwirkung stehenden Systeme menschlicher Körper und Sportböden: Aus den viskoelastischen Modellen folgen wichtige Konsequenzen für den Einfluß von Geschwindigkeit und Temperatur auf das Meßergebnis.
- b) Die Rolle und spezifischen Eigenschaften der Kunststoffe.  
(temperaturabhängige Modul- und Dämpfungsfunktion)
- c) Auswirkungen der Wahl der Parameter des Feder/Masse-Systems auf das Meßergebnis "Kraftabbau". Dabei lassen sich im Rahmen des Konzeptes des KSB sehr einfach die Parameter Feder, Fallhöhe und Fallmasse variieren.
- d) Bedingungen für die **Reproduzierbarkeit und Richtigkeit** der Prüfergebnisse: Diese sind umfassend durch einen Katalog von verschiedenen Maßnahmen im Sinne der **Qualitätssicherung** beschreibbar. Ein wichtiger Bestandteil moderner Qualitätssicherungssysteme sind Rundversuche (Round Robin tests). Darüber hinaus müssen auch scheinbar unwesentliche apparative Unterschiede bei Geräten verschiedener Prüflaboratorien ausgeglichen werden.
- e) Die wichtige Rolle der Anforderungswerte und ihrer Festlegung.

21. November 1994/binder