

Zeitschrift:	Jugend und Sport : Fachzeitschrift für Leibesübungen der Eidgenössischen Turn- und Sportschule Magglingen
Herausgeber:	Eidgenössische Turn- und Sportschule Magglingen
Band:	35 (1978)
Heft:	12
Artikel:	Bodenbeläge für Sportanlagen : biomechanische und sportmedizinische Aspekte
Autor:	Baumgartner, Urs / Nigg, Benno M. / Segesser, Bernhard
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-994013

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 13.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Bodenbeläge für Sportanlagen

Biomechanische und sportmedizinische Aspekte

Einleitung

Die Belastung des menschlichen Bewegungsapparates aus der Sicht des Biomechanikers

*Ursachen von Sportschäden
Belastung und Belastbarkeit
Faktoren der Belastungsintensität
Belastungseinfluss durch Sportterrain
Schlussfolgerung*

Der Einfluss des Bodenbelages – Resultate

*Grundsätzliche Bemerkung
Der Einfluss des Bodenbelages
– Allgemeine Erwartungen
– Laufen und Springen
– Rotationen*

Bemerkungen für die Praxis

*Voraussetzungen für Testsysteme von Bodenbelägen
Folgerungen für den Bau und die Verwendung von Bodenbelägen
Allgemeine Bemerkungen*

schiedene Publikationen geben Aufschluss über diese ersten, zum Teil beunruhigenden Ergebnisse, die insbesondere auf politischer Ebene zu generell interpretiert wurden und primär eine generell ablehnende Reaktion gegenüber allen Kunststoffbelägen, ungeachtet der material-technischen Eigenschaften, zur Folge hatten. Ausgeprägt muss dies im Zusammenhang mit dem Beitrag über «Biomechanische Grundlagen» im Band 1 – Theorie der Lehrmittelreihe über Turnen und Sport in der Schule festgestellt werden.

Im Jahre 1976 hat der Schweizerische Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung ein komplexes Projekt unter dem Titel «Der Einfluss verschiedener Sportplatzbeläge auf den menschlichen Bewegungsapparat» bewilligt und seither auch unterstützt.

Am 19. September 1978 konnten an einem Seminar der ETH Zürich einem interessierten Zuhörerkreis die ersten Ergebnisse dieses Forschungsprojekts vorgestellt werden:

Nigg Benno M. (Herausgeber); Denoth Jachen; Neukomm Peter A.; Segesser Bernhard. *Biomechanische Aspekte zu Sportplatzbelägen*. Zürich, Juris Druck und Verlag, 1978. 92 S. Abbildungen Tab.

In diesem Zusammenhang wurde klar festgehalten, dass die verschiedenen angeführten Resultate den momentanen unvollständigen Stand der Forschungsarbeiten darstellen und nicht als ausreichende Auswahlkriterien für die untersuchten Beläge gelten können. Bezugnehmend auf den nachfolgenden Auszug wie auch die grundsätzliche Frage dürfen auch folgende Punkte nicht unerwähnt bleiben:

- Die Belastung des menschlichen Bewegungsapparates stellt nur einen Teilaspekt der ganzen Problematik dar. Es wäre verfehlt, die Beweisführung pro und contra nur darauf auszurichten. Welchen Stellenwert dieser Gesichtspunkt im ganzen Kriterienkatalog einnimmt, kann nicht abschliessend angegeben werden, verdient aber eine entsprechende Würdigung.
- Das Angebot von Kunststoffbelägen präsentiert eine vielfältige Auswahl verschiedenster Produkte. Einerseits ist eine eindeutige Differenzierung hinsichtlich geforderter Eigenschaften notwendig, anderseits muss, wenn keine Alternativen vorliegen, ein Belag ausgewählt werden, der den biomechanischen Forderungen möglichst optimal entsprechen kann.

In diesem Sinne sollen die ausgewählten Kapitel aus der obenerwähnten Publikation einen Beitrag im Interesse der Sache darstellen.

Die Belastung des menschlichen Bewegungsapparates aus der Sicht des Biomechanikers

Benno M. Nigg

Wenn im Folgenden von der Belastung des menschlichen Bewegungsapparates die Rede ist, so ist darunter immer die *mechanische Belastung* zu verstehen. Eine Belastung also, die im Zusammenhang mit Kräften, Beschleunigungen und Drehmomenten steht. Diese Einschränkung ist im Sinne einer Definition und nicht im Sinne einer Gewichtung zu verstehen. Es ist einleuchtend, dass z. B. im psychisch-seelischen Bereich Belastungen auftreten können, die mindestens so elementar und wirksam wie die mechanische Belastung sind.

...

Bei der menschlichen Bewegung im Sport geht es nicht um einmalige Ereignisse, sondern um Krafteinwirkungen, die sich ständig wiederholen. Es könnten somit «Materialermüdungsscheinungen» auftreten, wobei jedoch berücksichtigt werden muss, dass sich der menschliche Bewegungsapparat regenerieren kann. Der menschliche Bewegungsapparat als lebendes System braucht Belastung im Sinn einer Stimulation. Das heisst, dass zu kleine Belastung eine negative Auswirkung hat. Auf der anderen Seite gibt es Belastungen, die so gross sind, dass ihre Auswirkung negativ werden kann. Dazwischen liegt der Bereich der optimalen Belastung (siehe Abbildung 1 oben). Die verschiedenen Bereiche können individuell sehr unterschiedlich sein. Was für den einen schon eine negative Wirkung haben kann (B) wirkt für den anderen (A) noch positiv (Abbildung 1 unten). Das kann vom Körperbau, von möglicherweise vorhandenen Fussinsuffizienzen, von der Adaptationsfähigkeit und von anderen Faktoren abhängig sein. Die gleiche Krafteinwirkung bedeutet also keineswegs die gleiche Belastung. Das heisst nichts anderes, als dass keine Grenze angegeben werden kann, die die Linie zwischen schädlich und nicht schädlich angibt. Es können nur Vermutungen angestellt werden, in welchem Bereich die Belastungen liegen könnten. Dazu seien zwei Überlegungen angeführt:

- Durch die berufliche Tätigkeit (viel sitzen) ist wohl bei vielen Menschen die Kurve (Abbildung 1 oben) nach links verschoben! Das heisst, die Belastbarkeit ist kleiner geworden im Vergleich zu früher.

- Nach Segesser (1976) haben 50 Prozent des schweizerischen Mittel- und Langstreckenkaders Beschwerden am Bewegungsapparat. Die Belastung des Bewegungsapparates ist somit für diese meist gut trainierten Athleten zu gross gewesen.

Auswirkung auf den Bewegungsapparat

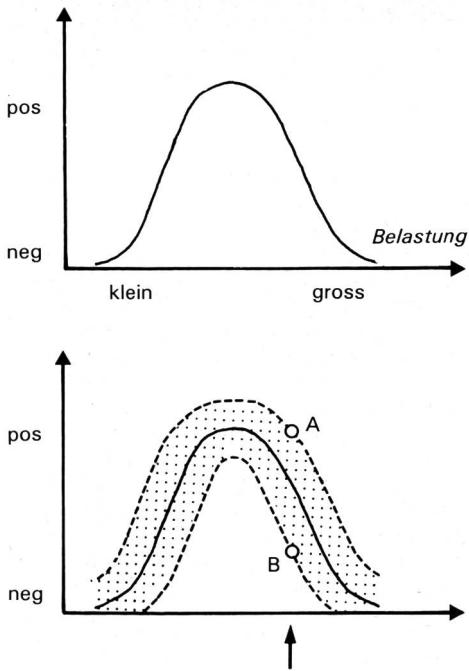


Abbildung 1: Modell für die Auswirkung verschiedener Belastungen auf den menschlichen Bewegungsapparat bei einer definierten Bewegung.

Diese beiden Überlegungen führen zu zwei Forderungen:

- Durch geeignetes Training muss die Belastbarkeit vergrössert werden.
- Durch geeignetes Schuhwerk und entsprechende Bodenbeläge muss die Belastung von aussen herabgesetzt werden.

Die erste Folgerung wird bei einer grossen Zahl von Menschen schwer durchzusetzen sein, wiewohl sie (auch vom volkswirtschaftlichen Standpunkt her) außerordentlich wichtig wäre. Zur zweiten Möglichkeit sollen die folgenden Ausführungen einige Hinweise geben.

Die Belastung des menschlichen Bewegungsapparates aus der Sicht des Mediziners

Bernhard Segesser

Ursachen von Sportschäden

Die Wahl eines geeigneten Sportterrains muss neben wirtschaftlichen Faktoren (Anschaffungen, Unterhalt usw.) auch das Ausmass der Belastung des Bewegungsapparates berücksichtigen. Die medizinische Beurteilung führt dabei zu weit weniger exakten Aussagen, als beispielsweise die Messungen der physikalischen Eigenschaften eines Bodens. Letztere beruhen auf genormten Messgrössen wie Shorehärte, Gleitreibungsverhalten, Durchbiegungsverhalten bei vertikaler Krafteinwirkung usw., die nur indirekte Rückschlüsse auf die Belastungsintensität des Bewegungsapparates zulassen, da dessen Reaktion auf die einwirkenden Kräfte nicht voraussehbar und zudem variabel ist. Die Beurteilung eines Bodens aus der Sicht des Mediziners ist deshalb bisher immer im wesentlichen vom Ausmass von Überlastungsbeschwerden bei Training auf bestimmten Böden ausgegangen und hat zu den Schlagworten wie Tartankrankheit oder Kunststoff-Syndrom geführt, mit welchen typische Überlastungsschmerzen an Sehnenansätzen der Bein- und Fussmuskulatur umschrieben werden (Prokop, 1976; Hort, 1976 und Segesser, 1974).

Bei der Diskussion um die Gefährdung des Sportlers durch ungeeignetes Trainingsterrain darf jedoch nicht ausser acht gelassen werden, dass diese Überlastungsbeschwerden nicht zwangsläufig auftreten müssen, sondern dass beispielsweise im schweizerischen Mittel- und Langstreckenkader zirka 50 Prozent der Athleten trotz wöchentlichen Laufleistungen von bis zu 150 km auf Asphalt und Kunststoff keine für das sogenannte Kunststoff-Syndrom typische Überlastungsbeschwerden angeben. Es sind somit weitere Ursachen einzubeziehen, die im Endeffekt eine Überbeanspruchung des Bewegungsapparates hervorrufen, die einerseits abhängen von dessen Belastbarkeit und andererseits von der Belastungsintensität, die durch Trainingsaufbau und -intensität, Schuh- und Terrainwahl, Klima usw. beeinflusst wird (Abbildung 2).

Die Faktoren sind nur zum Teil objektivierbar oder gar messbar. Als Messmethoden kommen biomechanische Messungen der Reaktion bestimmter Bewegungsabläufe auf einwirkende Kräfte der Realität am nächsten, da sie den Bewegungsapparat als Messobjekt einbeziehen,

ohne jedoch im zeitlichen Ablauf dessen mögliche Adaptations- oder Dekompensationsvorgänge auf die einwirkenden Kräfte zu erfassen.

...

Belastung und Belastbarkeit

Der Bewegungsapparat ist im Messsystem die variable Grösse, welche die Beurteilung eines Sportbodens erschwert. Wenn die Überlastungsschmerzen oder gar ein reversibler oder irreversibler Sportschaden an Muskeln, Sehnen, Bändern und Knochen auftreten, so sind folgende Entstehungsmechanismen möglich (siehe auch Abbildung 2):

- Der Bewegungsapparat weist eine verminderte Belastbarkeit auf, die Belastung selber würde qualitativ und quantitativ von einem suffizienten Bewegungsapparat ertragen.
- Der Bewegungsapparat ist an sich normal belastbar, die Belastungsintensität jedoch qualitativ und quantitativ zu hoch.
- Beide Phänomene – verminderte Belastbarkeit und zu hohe Belastung – summieren sich.

Der Sportboden hat dabei einen direkten Einfluss auf die Belastungsintensität und kann entweder eine direkte Ursache einer Überbelastung sein oder eine verminderte Belastbarkeit des Bewegungsapparates zur Dekompenstation bringen. Dabei erfolgt aber – wie bereits erwähnt – eine Überbelastung nicht zwangsläufig bei Training auf einem belastungsaggressiven Boden. Wenn nämlich Belastbarkeit und Belastungintensität im Gleichgewicht sind, resultiert ein Trainingseffekt, der – wie neuere Arbeiten zeigen – auch im Bereich der Muskulatur, der Sehnenansätze, der Sehnenzugfestigkeit und der Knochenstruktur Anpassungerscheinungen zeigt, aus denen wiederum eine Verbesserung der Belastbarkeit resultiert. Es ist damit durchaus zu erwarten, dass sich ein normal belastbarer Bewegungsapparat weitgehend an einwirkende Kräfte anpasst, sofern nicht intolerable Belastungsspitzen auftreten. Diese Anpassungsfähigkeit verbessert sich nach Wachstumsabschluss und nimmt mit zunehmendem Alter wiederum ab. Je regelmässiger dabei in qualitativer und quantitativer Hinsicht die einwirkenden Kräfte verteilt sind, und je besser die Erholung zwischen den einzelnen Belastungen ist, desto schneller erfolgt die Anpassung. Je grösser dagegen das Missverhältnis zwischen Belastbarkeit und Belastung ist, desto intensiver sind Überlastungsbeschwerden zu erwarten, bei denen nicht selten entzündungshemmende Dauerbehandlungen zu gefährlichen Krücken der Trainierbarkeit werden.

...

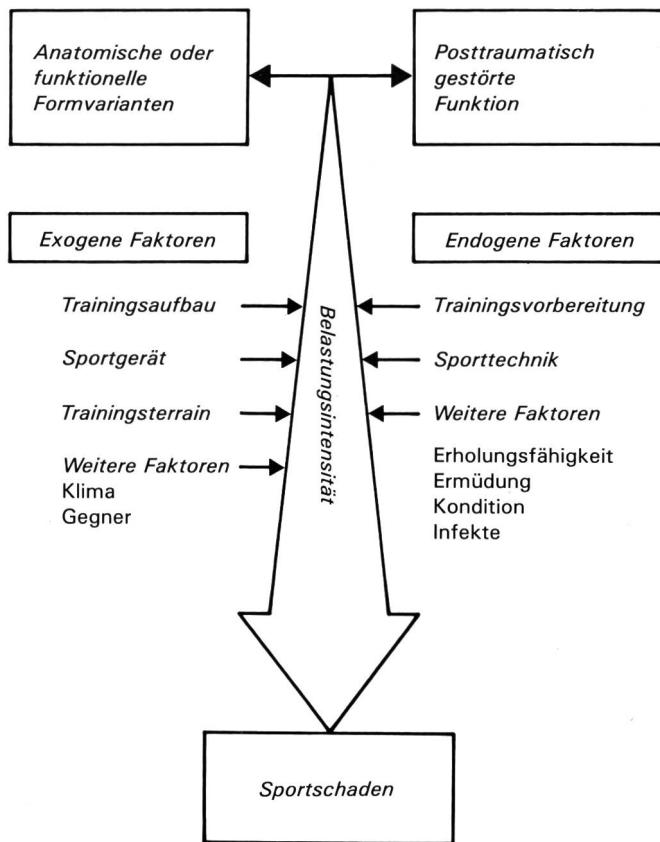


Abbildung 2: Zusammenstellung verschiedener Ursachen von Sportschäden.

Faktoren der Belastungsintensität

Verschiedene mehr oder weniger ausschlaggebende Faktoren bestimmen die Belastungsintensität (Vergleiche Abbildung 2). Dabei kann bei einem untrainierten Gelegenheitssportler eine Belastung bereits zu Überbelastungssymptomen führen, die beim Leistungssportler nicht einmal einen Trainingsreiz darstellt. Allgemein werden kurzzeitige hohe Krafteinwirkungen schlechter toleriert als länger dauernde unterschwellige Reize, da erstere von der Muskulatur nur ungenügend aufgefangen werden können. Von den Faktoren, die die Belastungsintensität beeinflussen und die neben Trainingsintensität und -aufbau aktiv beeinflussbar sind, sind vor allem die Wahl des Trainingsterrains und des Sportschuhs zu nennen. Beide können sich in der Wirkung überlagern. (Beispiel: blockierender Spikesschuh auf blockierendem Kunststoffboden) oder positiv korrigieren (Beispiel: Stol-

lenschuh auf nassem Rasen). Optimalerweise liessen sich durch das Medium Sportschuh sowohl statische Störungen korrigieren wie auch schädigende Einflüsse des Sportbodens dämpfen. Da aber insbesondere vom Gelegenheits-sportler nicht gefordert werden kann, dass er seine Belastungsintensität bei gegebenem Trainingsterrain durch entsprechende Schuhwahl korrigiert, muss dem Sportterrain eine entscheidende Bedeutung bei der Belastungsintensität zugemessen werden.

Belastungseinfluss durch Sportterrain

Von seiten des Sportbodens können unter anderem folgende Kriterien die Belastungsintensität positiv oder negativ beeinflussen:

- Seine Verformbarkeit
- Das Ausmass der Durchbiegungsmulde
- Sein Gleitreibungsverhalten

zu a)

Der ideal-elastische Boden weist eine kleine Absorption der auftreffenden Energie auf, erhöht damit die Laufgeschwindigkeit und ist daher der ideale Rekordboden, auf welchem seit den Olympischen Spielen in Mexiko alle Leichtathletikrekorde in Sprung- und Laufdisziplin aufgestellt wurden.

Viele dieser Böden werden vom Sportler subjektiv als hart empfunden (Hort, 1976 und Prokop, 1973) und weisen teilweise ähnliche biomechanische Eigenschaften wie Asphalt auf (Nigg, 1977).

Da während des Bodenkontakts, proportional zur Eigenelastizität und der einwirkenden Kraft, vom Boden her Rückstoskskräfte auf den Fuss wirken, wird während der Standphase eine wesentlich grösere Stoßdämpferfunktion des Fusses notwendig. Zusätzlich muss die Eigenschwingung des Bodens von der stabilisierenden Muskulatur aufgefangen und gedämpft werden. Daraus resultieren vor allem beim insuffizienten Fuss mit ungenügender Stoßdämpferfunktion oder erhöhter Gelenkbeweglichkeit wegen Bandinstabilität typische Überlastungs-entzündungen an der Haltemuskulatur am Unterschenkel und Fuss sofern diese Muskulatur nicht entsprechend trainiert wird.

Demgegenüber führt ein energieabsorbierender, damit dämpfender weicher Boden (Sägemehl, Sand, Rasen usw.) zur Entlastung des Bewegungsapparates. Der grösere Energieabbau beeinträchtigt die Laufleistung und erfordert zur Fortbewegung vermehrt Muskelkraft. Die Nachgiebigkeit vermindert die Trittsicherheit und kann beim bandschwachen Fuss die Verstauchungsanfälligkeit steigern.

Der für die Belastung des Bewegungsapparates optimale Boden muss auf Kosten einer Leistungsunterstützung eine dämpfende Komponente aufweisen.

zu b)

Ein punktelastischer Boden mit minimalem Durchbiegungsradius bringt dem drehenden Fuss einen materialbedingten Widerstand entgegen und bewirkt eine zusätzliche Blockierung, die die Instabilität des Fusses erhöht.

zu c)

Der Fuss setzt beim Übergang von der Schwung- zur Stemphase in einem Winkel von zirka 70° zur Bodenoberfläche auf. Dabei macht er bei der Landung eine Rutschbewegung in der Laufrichtung, so dass ein Teil der auftreffenden Energie durch Gleitreibung verloren geht. Im weiteren Bewegungsablauf macht der Vorfuss bis zum Abstoss über der Grosszehe eine Innendrehbewegung, was am Abrieb des Schuhs festzustellen ist.

Bei der Landung auf bestimmten Kunststoffböden ist die initiale Gleitphase praktisch aufgehoben (Prokop, 1976). Der energieverzehrende Effekt der initialen Gleitreibung ist damit aufgehoben und die Stoßdämpferfunktion des Fusses erhöht beansprucht, was seinerseits die stabilisierende Muskulatur wiederum höher belastet und die stabilisierende Standphase verlängert. Zu grosser Gleitreibung blockiert damit die Fußbewegung, ändert das Bewegungsmuster der Bewegung des Fusses und erhöht die Beanspruchung seiner Stoßdämpferfunktion. Bei unsauberer Landung besteht zudem die Gefahr der Überdrehung (Verstauchung) oder einer unkontrollierten Drehbewegung des Kniegelenks bei blockiertem Fuß (Meniskusverletzungen). Demgegenüber ist bei zu geringer Gleitreibung die initiale Gleitbewegung des Fusses beim Auftreten zu gross, was subjektiv zu einem Unsicherheitsgefühl und Störung der neuromuskulären Koordination der Laufbewegung führt.

Schlussfolgerung

Einen für Training und Wettkampf gleichermassen geeigneten Sportplatzboden gibt es nicht. Während für den Wettkampf ein Boden mit hohen Rückstosseigenschaften zur Leistungsunterstützung erwünscht ist, erhöht die Katapultwirkung und hohe Gleitreibung die Belastung des Bewegungsapparates und der Stoßdämpferfunktionen des Fusses dermassen, dass Überlastungsscheinungen an Muskel- und Sehnenansätzen am Unterschenkel und Fuß häufig sind. Die Feststellung, dass anatomische oder funktionell fassbare Belastungsvermindernungen – sei es nun eine statische oder dynamische Störung des Bewegungsapparates oder eine posttraumatische Störung der Gelenkfunktion – ursächlich für Überlastungsschäden verantwortlich gemacht werden müssen, darf nicht als Argument für einen belastungsaggressiven Boden gelten, da dieser zu Überlastung durch die signifikante Belastungserhöhung wesentlich beiträgt. Da ein zu grosser Prozentsatz der Bevölkerung, insbesondere auch Kinder, eine verminderte Belastbarkeit aufweist, eignet sich als Trainingsterrain somit vorwiegend ein Boden, der die auf dem Fuß auftreffenden Kräfte teilweise auffängt und leichte Gleitbewegungen des Fusses bei der Landung zulässt. Prophylaktisch ist neben einer gezielten Kräftigung der stabilisierenden Muskulatur und einem vernünftigen Trainingsaufbau vor allem der Wahl des Sportschuhs grosse Bedeutung zuzumessen. Im Vordergrund der Prophylaxe steht jedoch die Verminderung der Belastungsintensität durch entsprechende Wahl eines Trainingsterrains.

Der Einfluss des Bodenbelages – Resultate

Jachen Denoth und Benno M. Nigg

Grundsätzliche Bemerkung

Da in den verschiedenen Untersuchungen die Parameter Schuh, Boden und Bewegungsart vorkommen, sind die Resultate «mehrdimensional». Eine umfassende Beurteilung, wie die einzelnen Parameter die verschiedenen Werte beeinflussen können, ist nur möglich unter Berücksichtigung aller Aspekte. Nachstehend wird nur isoliert auf den Einfluss des Bodenbelages eingetreten. Die Bewegung (zum Beispiel die des Fusses) kann in eine vertikale und eine horizontale Komponente zerlegt werden. Die vertikale Bewegung beschreibt die «Reflexion» am Boden, die horizontale unter anderem das Rutschen und die Rotation auf dem Boden. Die Reflexion hängt im wesentlichen von der Härte der Kombination Boden-Schuh-Fuß ab, die horizontale Komponente von der Oberflächenbeschaffenheit von Schuhsohle-Boden.

...

Der Einfluss des Bodenbelages

a) Allgemeine Erwartungen

Vom Bodenbelag auf Sportplätzen wird recht viel erwartet. Der Bodenbelag soll so sein, dass die Belastung des menschlichen Bewegungsapparates in vernünftigen Bereichen ist. Er soll dem Sporttreibenden genügend Halt bei der Bewegungsausführung geben. Ausrutschen soll vermieden werden. Bei Stürzen soll die Verletzungsgefahr minimal sein. Er soll möglichst oft benutzt werden können, selbst dann, wenn die Witterungsbedingungen ungünstig sind. Meist sollen Kinder und Erwachsene den Sportplatz benutzen können. In manchen Fällen soll die Anlage auch bei aussersportlichen Anlässen benutzt werden können. Die Wartung der Anlage soll einfach sein. Hygienische Gesichtspunkte spielen eine wichtige Rolle. Dazu soll der Sporttreibende unter anderem durch den Bodenbelag zum Sport motiviert werden. Diese Liste von Erwartungen kann noch erweitert werden. Sie zeigt die Vielfalt der Gesichtspunkte, die möglichst optimal erfüllt sein sollten. Aus dieser Vielfalt soll im Folgenden wiederum der Teilaspekt «Belastung des Bewegungsapparates» besprochen werden. Dabei wird vor allem auf Mehrfachbelastungen eingegangen. Stürze werden nicht besprochen.

b) Laufen und Springen

Aus den Messungen von *Unold* (1973) auf verschiedenen Belägen der Sihlhölzlianlage in Zürich mit verschiedenem Schuhwerk resultierten unter anderem zwei wichtige Erkenntnisse:

- (i) Die Unterschiede der maximalen Beschleunigungsamplituden in der Hüfte sind bei gegebener Bewegungsart nicht signifikant. Das heisst, dass sich der Mensch der Unterlage so anpasst, dass die Stösse im Bereich der unteren Extremitäten abgedämpft werden. Es ist somit sinnvoll, wenn im Folgenden hauptsächlich die Gegebenheiten der unteren Extremitäten studiert werden.
- (ii) Es gibt offensichtlich Bodenbeläge, bei welchen die maximalen Beschleunigungsamplituden sogar grösser sind als auf Asphalt (Abbildung 3). Dieses Resultat erscheint im ersten Moment erstaunlich. Es ist Ausgangspunkt zu einer Reihe von weiteren Überlegungen.

Aus dem Diagramm kann weiter entnommen werden, dass die Werte auf Asphalt etwa 75 Prozent höher liegen als auf Rasen. Das weist auf die Probleme des Asphalts als Sportplatzbelag hin. Aufgrund dieser Messungen muss die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die Belastung des Bewegungsapparates auf Asphalt bedeutend höher liegt als auf Rasen, was mit den Erfahrungen übereinstimmt.

Das Diagramm zeigt weiter, dass es offensichtlich Böden gibt, auf welchen diese Messwerte im Vergleich zu Asphalt kleiner werden. Es sind dies wie schon erwähnt der Rasen, die Aschenbahn und auch der Turnhallenboden. Beim Turnhallenboden handelt es sich um eine Konstruktion mit dem in Abbildung 4 dargestellten Aufbau.

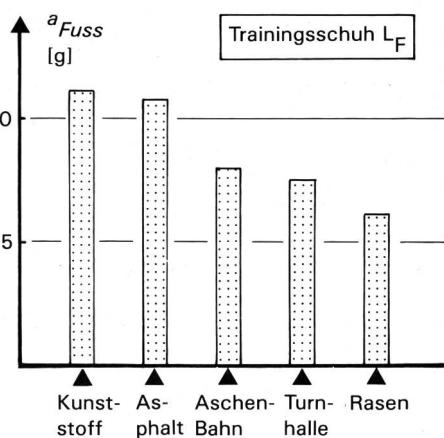


Abbildung 3: Mittelwerte der maximalen Beschleunigungsamplituden auf verschiedenen Bodenbelägen der Sihlhölzlianlage in Zürich nach *Unold* (1973). (Laufen über die Ferse mit Trainingsschuhen.)

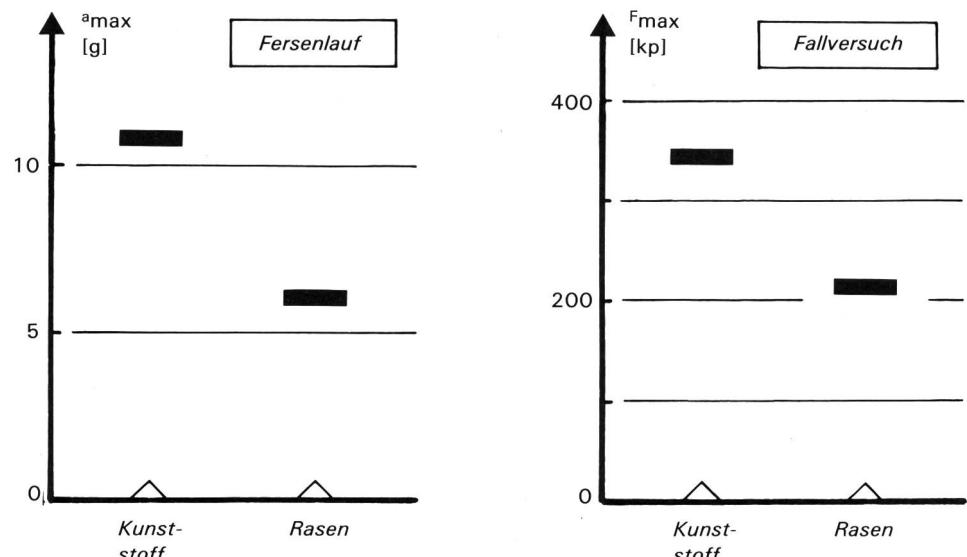


Abbildung 4: Vergleich der mittleren Beschleunigungswerte (nach *Unold*, 1973) und der mittleren Kraftwerte (nach *Denoth*, 1977) auf Kunststoffbelägen und auf Rasen.

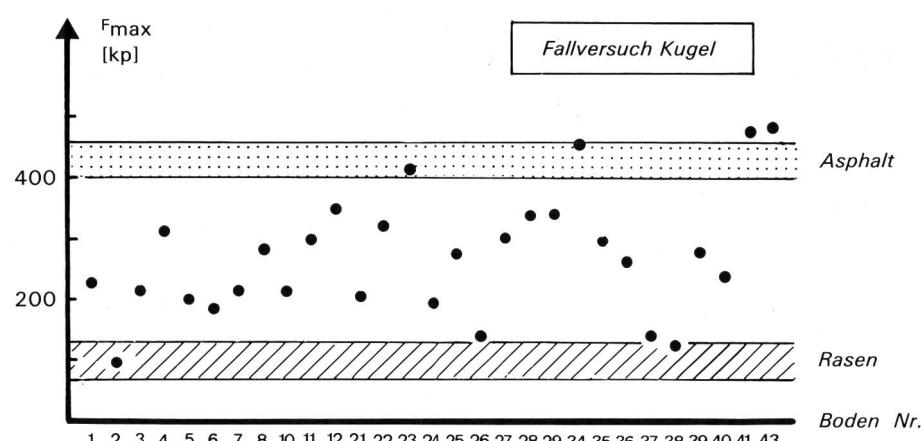


Abbildung 5: Maximale Kraftamplituden auf verschiedenen Kunststoffbelägen bei einem Fallversuch mit einer Eisenkugel ($m = 2,1 \text{ kg}$) aus der Höhe von 16 cm ($\Delta F = 5 \text{ Prozent}$) nach *Denoth* (1978).

Diese Feststellungen führten dazu, dass der gesamte Fragenkomplex umfassender und vielseitiger angegangen wurde. Es wurden Laborversuche mit einer Kraftmessplatte durchgeführt. Eine Hartgummikugel mit einem Eisenkern wurde aus einer Höhe von 36 cm auf 30 verschiedene Kunststoffbeläge verschiedene Provenienz und auf zwei verschiedene Rasenbeläge fallen gelassen. Die Resultate sind in Abbildung 5 zusammengestellt. Auf der rechten Seite sind die Messwerte aus dem Fallversuch (nach *Denoth*, 1977) und auf der linken Seite zum Vergleich die Messwerte an der Ferse nach *Unold* (1973) aufgezeichnet. Die Resultate des Laborexperimentes decken sich mit denen der Messungen am Menschen. Die Feststellung des «harten» Kunststoffbelages der Sihlhölzlianlage wird durch die Fallversuche bestätigt. Es ist jedoch erstaunlich, wie klein die Streuung des Mittelwertes der 30 Kunststoffbeläge beim Fallversuch ist. Das bedeutet, dass der Sihlhölzlibelag keine Ausnahmeerscheinung ist. Eine grosse Anzahl von Kunststoffbelägen verhalten sich ähnlich. Es ist deshalb sinnvoll, die unterschiedlichen Kunststoffbeläge näher zu analysieren. In Abbildung 5 ist eine Zusammenstellung aller Resultate der mit dem Fallversuch ausgemessenen Bodenbeläge gegeben. Die Messungen wurden mit einer Eisenkugel durchgeführt, um die Materialeigenschaften der flächenelastischen Unterlagen zu quantifizieren. Die Resultate zeigen somit nicht das Verhalten der Böden im Kontakt mit dem Menschen und dessen Federeigenschaften. Sie widerspiegeln vielmehr das Materialverhalten. Dieses Wissen muss im Experiment mit dem Menschen weiter verwendet werden. Beim verwendeten Rasen handelt es sich um einen relativ trockenen Rasenbelag.

Das Resultat zeigt, dass es in der Konstruktion des Bodens Unterschiede gibt, die in diesem Materialtest sichtbar werden. Der Bereich zwischen Rasen und Asphalt ist etwa gleichmässig aufgefüllt. Bei den Böden 23 und 34 handelt es sich um Beläge, für welche die Belastung (2,1 kg aus 16 cm Höhe) zu gross war. Die Kugel schlug durch den Belag. Beim Belag 2 handelt es sich um eine Belagskonstruktion, die speziell auf «Weichheit» gebaut wurde. Die Resultate weisen darauf hin, dass vom Material her grosse Unterschiede bestehen. Es ist nun wichtig, die gleichen Überlegungen auch im Zusammenhang mit dem Menschen zu machen. Erste Resultate dieser Analyse sind in Abbildung 6 zusammengestellt. Bei den Bodenbelägen sind Asphalt, ein relativ trockener und harter Rasen, ein «harter» und ein «weicher» Kunststoffbelag sowie ein Hallenbelag vertreten. Die Testbewegung war ein

vertikaler Standsprung mit Ausholen. Die Landung erfolgte auf einem Bein mit Ausfedern. Als Messgröße diente die maximale vertikale Kraftamplitude beim Auftreffen der Ferse.

Das Diagramm zeigt, dass der Streubereich der Messwerte kleiner geworden ist. Die vom Material her gegebenen Unterschiede werden vom Menschen nicht voll übernommen. Wohl stimmt die Reihenfolge (vergleiche Abbildung 3) der Beläge. Das bedeutet, dass die Federeigenschaft des Menschen dominant zu wirken beginnt. Die weiteren Auswertungen mit Berücksichtigung des Zeitpunkts des Maximums, der effektiven Landegeschwindigkeit, der Masse der Versuchspersonen und der Landetechnik, die noch durchgeführt werden, werden noch mehr Aufschluss über die wesentlichen Zusammenhänge geben. Aufgrund der ersten Resultate kann die Folgerung gezogen werden, dass die Federeigenschaften des menschlichen Bewegungsapparates zwischen Asphalt und Rasen liegen.

Bei den bisherigen Betrachtungen wurde ausschliesslich die vertikale Komponente der Bewegung analysiert. Im folgenden Beispiel wird ein Experiment beschrieben, bei dem die Versuchspersonen sowohl vertikale wie horizontale Bewegungen durchführen mussten. Bei der vertikalen Bewegung handelte es sich um einen Standsprung über ein 90 cm hohes Hindernis,

wobei die Landung analysiert wurde. Bei der horizontalen Bewegung handelte es sich um einen Weitsprung, auf 70 Prozent der maximalen Weite der verschiedenen Versuchspersonen. Dabei wurde die horizontale Komponente ausgewertet. Die Versuche wurden auf 4 verschiedenen Bodenbelägen durchgeführt, einem Asphaltbelag und 3 unterschiedlichen Kunststoffbelägen. Die Abbildung 7 zeigt, dass verschiedene Böden für unterschiedliche Bewegungsarten verschieden reagieren. Wenn man zum Beispiel den Boden 44 betrachtet, so sieht man, dass er für die vertikale Bewegung besser abschneidet als Asphalt, für die horizontale Bewegung jedoch in derselben Größenordnung ist wie die Messwerte bei Asphalt. Boden 45 und 46 hingegen sind sowohl für die vertikale wie auch für die horizontale Bewegung besser als Asphalt. Aufgrund dieser Resultate muss die Forderung aufgestellt werden, dass im Sinne eines Pflichtenhefts die hauptsächlichen Bewegungstypen, die auf einem Boden durchgeführt werden sollen, zusammengestellt werden und auf ihre dominanten Komponenten hin untersucht werden. Nur so ist man sicher, dass der Bodenbelag vom Standpunkt der Belastung des Bewegungsapparates her gesehen auch optimal ausgewählt werden kann. Auf diesen Punkt wird in den Bemerkungen für die Praxis noch einmal eingegangen.

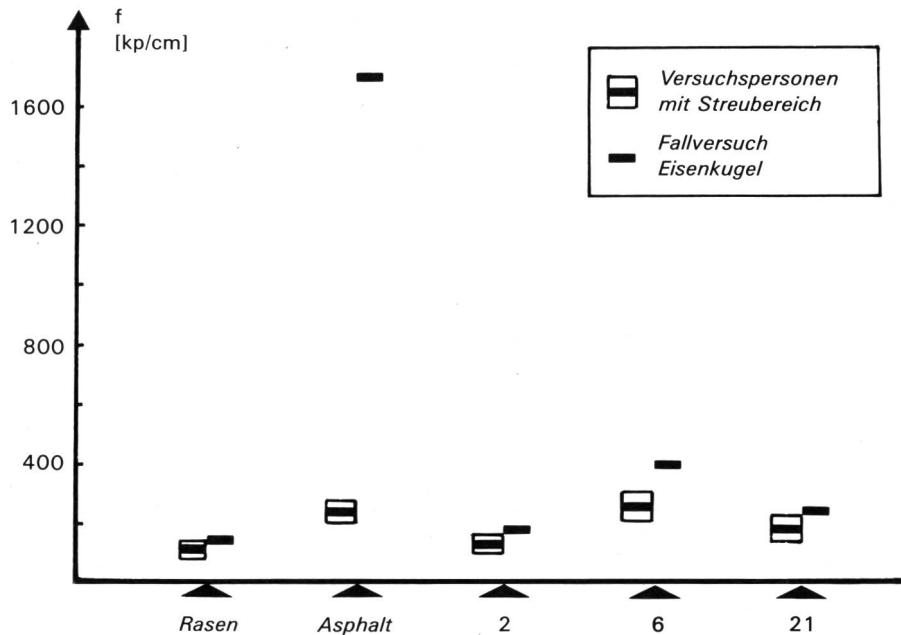


Abbildung 6: Vergleich der «Federkonstanten» auf verschiedenen Bodenbelägen bei einem vertikalen Standsprung mit Landung auf der Ferse (zwei Versuchspersonen) und einem Fallversuch ($m = 2,1$ kg) nach Denoth (1978).

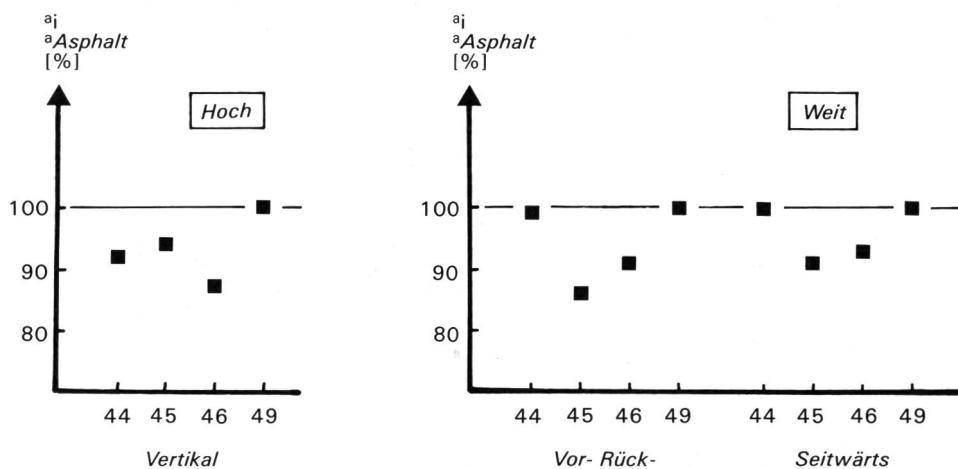


Abbildung 7: Resultate von Beschleunigungsmessungen am Schienbein bei vertikalen und horizontalen Bewegungsausführungen auf verschiedenen Bodenbelägen.

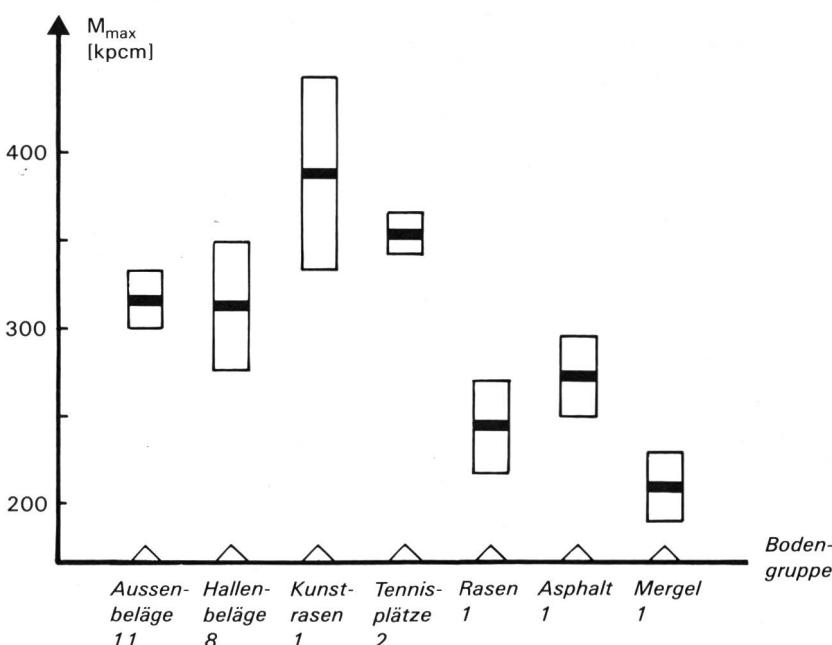


Abbildung 8: Mittelwerte der maximalen Drehmomente auf verschiedenen Bodenbelagsgruppen, gemittelt über alle Versuchspersonen, alle Schuhe und einzelne Belagsgruppen (nach Michel, 1978).

c) Rotationen

Es gibt Sportarten, bei denen die Rotation auf der Unterlage eine der häufigsten Bewegungsarten ist. Als Beispiel sei hier Tennis angeführt. Das Ziel der folgenden Überlegungen ist es, festzustellen, welche Bodenbeläge Rotationen besser zulassen. Das bedeutet, dass man nach Bodenbelägen sucht, bei welchen der Rotation ein kleiner Widerstand entgegengesetzt wird. Damit erreicht man, dass die Belastung des Bewegungsapparates bei diesen Rotationen verkleinert wird. Zu diesem Zwecke hatten 15 Versuchspersonen eine definierte Rotationsbewegung auszuführen. Dabei wurde das maximale Drehmoment gemessen, das bei dieser Rotation auftrat (Michel, 1978).

Das Resultat (Abbildung 8) zeigt, dass bezüglich der Rotation signifikante Unterschiede auf den verschiedenen Bodenbelägen bestehen. Die kleinsten Drehmomente wurden auf Mergel und auf Rasen gemessen. Es ist an und für sich nicht erstaunlich, da man aus der Praxis weiß, dass Rotationen in Trainingsschuhen auf diesen Belägen recht gut möglich sind. Auch die Werte auf Asphalt liegen relativ tief. Es hängt wohl damit zusammen, dass der Asphaltbelag nicht gummiert ist und dementsprechend der Rotation von Gummibelägen weniger Widerstand entgegengesetzt. Es ist weiter festzustellen, dass zwischen den Außen- und Innenbelägen kein signifikanter Unterschied besteht. Die Messwerte der maximalen Drehmomente liegen in derselben Größenordnung. Erstaunlich ist hingegen, dass auf den Kunststofftennisbelägen die maximalen Drehmomente relativ hoch liegen. Erstaunlich darum, weil doch gerade im Tennis die Rotation eine wichtige Bewegungskomponente ist und der Boden so konstruiert sein sollte, dass er diese Rotation gut ermöglicht. Die größten Drehmomente für Rotationsbewegungen wurden auf Kunstrasen gemessen. Das heißt, dass Rotationen auf Kunstrasen relativ schwierig auszuführen sind. Der Bereich der gemessenen Mittelwerte liegt zwischen 200 und 400 kp·cm.

Es ist einleuchtend, dass die maximalen Drehmomente und die dabei gemessenen Unterschiede nicht nur vom Bodenbelag, sondern auch vom Schuh abhängen. Es hat sich dabei gezeigt, dass die «Drehfreudigkeit» eines Schuhs praktisch unabhängig vom Bodenbelag ist. Das bedeutet, dass eine Sohlenkonstruktion, die auf dem einen Belag gut ist, auch auf dem anderen Belag gut ist. Für die Konstruktion der Bodenbeläge kann daraus die Folgerung gezogen werden, dass es allgemeine Kriterien für die

«Drehfreudigkeit» gibt. Diese allgemeinen Kriterien können für alle Böden angewendet werden. Sie hängen einerseits von der Oberflächenstruktur des Bodens ab, andererseits aber auch vom Material. Zum zweiten Punkt, dem Einfluss des Materials, kann ein Beispiel angeführt werden. Es wurden Drehversuche mit zwei Schuhtypen durchgeführt, deren Sohlenprofil praktisch identisch war. Mit diesen beiden Schuhtypen wurden signifikant verschiedene maximale Drehmomente gemessen. Das bedeutet, dass die unterschiedlichen Materialien, die verwendet worden sind, einen grossen Einfluss auf die «Drehfreudigkeit» des Bodens haben.

Wie oben angeführt, ist es wesentlich, dass vom Standpunkt der Belastung des Bewegungsapparates her gesehen die typischen Bewegungarten auf den Böden analysiert werden. In Tabelle 9 ist ein Beispiel gegeben, wie ein solche Aufschlüsselung geschehen kann.

Sportart	Bewegungskomponente		
	vertikal	horizontal	Rotation
Tennis		×	×
Basketball	×	×	×
Handball		×	×
Fitnesstraining mit Musik	×		

Tabelle 9: Beispiele von dominanten Bewegungskomponenten für verschiedene Sportarten.

Wenn also ein Boden entwickelt wird, der speziell für Tennis gebraucht wird, so muss er für horizontale Bewegungen und Rotationsbewegungen geeignet sein. Anders ausgedrückt, die Beschleunigungs- beziehungsweise Kraftwerte der horizontalen Komponenten und die Drehmomente, die bei Rotationen auftreten, dürfen nicht zu gross sein. Wenn auf einem Boden speziell Fitnesstraining ausgeführt wird, so handelt es sich in vielen Fällen hauptsächlich um vertikale Bewegungen. Das bedeutet, dass ein solcher Boden eine gute Dämpfungseigenschaft in der vertikalen Richtung haben muss.

In diesem Zusammenhang muss darauf hingewiesen werden, dass im Verlaufe der Messungen, die durchgeführt worden sind, die Unterschiede, die in den Böden gemessen worden sind, in der Grössenordnung von 100 Prozent lagen, während die Unterschiede in den Schuhen eindeutig kleiner waren (zirka 40 Prozent). Dies ist ein Hinweis darauf, dass alle Anstrengungen darauf hinzielen müssen, dass die Bodenbeläge im Sinne der Dämpfung der maximalen Kräfte und Beschleunigungen unbedingt verbessert werden müssen.

...

Bemerkungen für die Praxis

Benno M. Nigg

Die Resultate, die im Verlaufe der Messungen gefunden wurden, sind für den Praktiker zum Teil einleuchtend, zum Teil (mindestens im ersten Augenblick) erstaunlich. So ist die Feststellung, dass sich die Kraft beziehungsweise Beschleunigungswerte zwischen Asphalt- und Rasenbelägen deutlich unterscheiden, eine zahlenmässige Belegung der Erfahrungen, die der Praktiker schon oft gemacht hat. Asphaltbeläge sind für sportliche Betätigung bedeutend härter und unangenehmer als Rasenplätze! Es besteht wohl kein Zweifel, dass dem Rasen bei guten äusseren Bedingungen meistens der Vorzug gegeben wird gegenüber Asphalt. Die Feststellung hingegen, dass die Beschleunigungs- und Kraftamplituden auf vielen Kunststoffbelägen in der gleichen Grössenordnung wie die Asphaltwerte liegen, bedarf einer näheren Erläuterung. Für vertikale Bewegungen wirkt die Elastizität (das heisst die Härte) des Bodens als dominanter Faktor. Das System Mensch-Boden kann modellmässig als ein System zweier Federn betrachtet werden. Es ist einleuchtend, dass bei auftretenden Kräften primär und dominant die weichere Feder reagiert. Da der Unterschied der Belagshärte zwischen Asphalt und den meisten Kunststoffbelägen in den Kraft- und Beschleunigungsamplituden nur ganz schwach zum Ausdruck kommt, bei Rasen jedoch signifikant feststellbar ist, muss angenommen werden, dass die «Federkonstante» des menschlichen Bewegungsapparates bei den gemessenen Bewegungen weicher als die von Asphalt und Kunststoff, jedoch härter als die von Rasen ist. Für den Konstrukteur von Kunststoffbelägen heisst das, dass die Federkonstante des Kunststoffbelages weicher gemacht werden muss, damit seine Dämpfungseigenschaft zum Tragen kommt.

Da jedoch auf einigen Kunststoffbelägen die Beschleunigungswerte sogar höher als auf Asphalt sind, deckt die obige Erläuterung nur einen Teil der möglichen Erklärungen ab. Ein weiterer Einfluss auf die Messwerte liegt in der unterschiedlichen Bewegungsausführung.

Die Auftreffgeschwindigkeit des Fusses kann auf den verschiedenen Bodenbelägen bei gleicher Laufgeschwindigkeit verschieden sein. Die Sportler ändern ihre Bewegungsausführung im Sinne einer Anpassung an die Unterlage. (Siehe Prokop, 1977.) Die Anpassung geschieht vermutlich aufgrund der subjektiv empfundenen Bodenhärte und der subjektiven Einstellungen.

Die subjektive Einstellung zum Kunststoffbelag scheint teilweise so zu sein, dass er als relativ «weich» empfunden wird, weicher, als er in Wirklichkeit ist. Das kann eine schlechtere «Dämpfungseinstellung» des Sportlers bewirken, was zu den grösseren Beschleunigungsamplituden am Schienbein führen kann. Für den Sportler ist daraus die Folgerung zu ziehen, dass er in Kenntnis der Härte des Kunststoffbelages seinen Laufstil der Unterlage anpasst und möglichst weich läuft. Die Dämpfung kann selbstverständlich auch mit entsprechend weichem Schuhwerk verbessert werden. Die beiden Massnahmen, angepasste Lauftechnik und dämpfendes Schuhwerk, können sich ergänzen. Für die horizontale Bewegungskomponente wirkt einerseits wiederum die Elastizität des Bodens dominant. Es gilt sinngemäß dasselbe wie bei der vertikalen Bewegung. Zusätzlich wirkt hier aber auch die Oberflächenbeschaffenheit des Belages als wichtige Komponente für die Belastung des Bewegungsapparates. Je nach der Beschaffenheit der Oberfläche ist bei menschlichen Bewegungen ein Gleitweg (das heisst ein horizontaler Bremsweg) möglich. Je grösser dieser Gleitweg ist, desto kleiner werden die passiven Kraft- beziehungsweise Beschleunigungsspitzen. Extremsituationen treten hier vor allem beim Tennis auf. Richoz (1977) hat auf Mergel Rutschdistanzen bis zu 1,77 m gemessen (Mittelwert 0,64 m). Im Gegensatz dazu waren die Rutschdistanzen auf dem verwendeten kunststoffgebundenen Hartbelag (Tennis) alle kleiner als 3 cm. Auch bei normalen Laufbewegungen sind die Unterschiede im Gleitweg signifikant. Haberl und Prokop (1972) erhielten auf Aschenbahn beim Laufen im Mittelstreckentempo mittlere Gleitwege von 5,5 mm, während auf Kunststoffbelägen keine Rutschphase festgestellt werden konnte. Es ist im Moment nicht klar, wie auf Kunststoffbelägen die Rutschfähigkeit verbessert werden kann, ohne damit die Stabilität und Sicherheit des Bewegungsablaufes zu verschlechtern (Rutschen, nicht Ausrutschen). Es wäre jedoch sinnvoll, wenn die Fabrikanten von Kunststoffbelägen diesem Punkt bei der Entwicklung von neuen Belägen Rechnung tragen würden. Aus Resultaten und Überlegungen des erläuterten Forschungsprojektes können vorläufig einige Folgerungen gezogen werden, die im Folgenden zusammengefasst sind.

Voraussetzungen für Testsysteme von Bodenbelägen

Eine Testmethode, die einen Hinweis auf die Belastung des menschlichen Bewegungsapparates bei sportlicher Betätigung geben soll, muss sicher folgende fünf Kriterien berücksichtigen:

Bewegungsgeschwindigkeit

Die Geschwindigkeit, mit der die Bewegung durchgeführt wird und die Geschwindigkeit des Kraftanstieges bei den entsprechenden Bewegungen muss mitberücksichtigt sein. Hohe Bewegungsgeschwindigkeiten, bei welchen die Belastungen extrem werden, müssen unbedingt untersucht werden.

Mitbewegte Masse

Es ist von zentraler Bedeutung, welcher Anteil der Körpermasse bei den verschiedenen Bewegungsphasen mitbewegt ist (Fuss, Unterschenkel usw.).

Bewegungsart

Bei der Beurteilung eines Bodens müssen die Hauptsportarten mit ihren typischen Bewegungskomponenten enthalten sein. Ein Testverfahren muss somit diesen typischen Bewegungen Rechnung tragen. Dies kann zum Beispiel in einer Aufteilung in Teilstests geschehen (vertikal/horizontal/Rotation).

Bodentyp

Ein Testverfahren muss so sein, dass alle verschiedenen Bodentypen damit erfasst werden können.

Schuheinfluss

Das Testverfahren muss so sein, dass die Variation der möglichen Schuhtypen erfasst wird, da diese eine wichtige Pufferfunktion übernehmen können.

Folgerungen für den Bau und die Verwendung von Bodenbelägen

Eine Reihe der Resultate und Überlegungen, die in diesem Bericht zusammengefasst sind, sind als Darstellung der momentanen Situation zu verstehen. Die Resultate sind demnach nicht endgültig, sondern müssen hoffentlich in Bälde der neueren (verbesserten) Situation angepasst werden. Daneben gibt es jedoch Feststellungen und Forderungen, die allgemeine Gültigkeit haben. Sie sollen im Folgenden kurz festgehalten werden.

- Der Asphalt als Sportplatzbelag ist vom Standpunkt der Belastung des Bewegungsapparates eine schlechte Lösung. Sportplätze mit Asphaltbelag können demnach nie empfohlen werden.
- Eine Reihe von Kunststoffbelägen sind bezüglich der Belastung des Bewegungsapparates nicht besser als die Asphaltbeläge. Es ist jedoch möglich, wie das die Messungen bei einigen wenigen Belägen gezeigt haben, Kunststoffbeläge zu entwickeln, die vom Menschen her betrachtet signifikant weicher

sind als Asphalt. Das bedeutet, dass Kunststoffbeläge entwicklungs- und verbesserungsfähig sind, Asphaltbeläge jedoch nicht. (Asphaltbeläge sind immer gleich schlecht als Sportplatzbeläge.)

- In verschiedenen Fällen sind Sand- und Rasenplätze echte durchführbare Möglichkeiten für Sportplatzbeläge. Diese Möglichkeit scheint in letzter Zeit beinahe in Vergessenheit geraten zu sein.
- Beschwerden am Bewegungsapparat treten oft bei Fuss- und Muskelinsuffizienzen auf. Die Lösung solcher Probleme kann unter anderem auch durch entsprechende Schuhkorrekturen, Stärkung der Fuss- und Beinmuskulatur und entsprechende Trainingsgestaltung erfolgen. Lösungsmöglichkeiten liegen somit sowohl im Bereich des Bodens, wie auch ausserhalb. Der Einfluss des Bodens scheint jedoch dominanter zu sein.
- Die Gestaltung des Sportbetriebes wird stark von der Art der Unterlage mitbestimmt. Deshalb ist es einleuchtend, dass die Bewegungsausführung auf die ausgewählte Unterlage abgestimmt sein muss. Bei der Trainingsgestaltung muss die Bodenkomponente deshalb mit berücksichtigt werden.
- Ein wesentlicher Gesichtspunkt ist die Bedürfnisfrage. Es ist ein Unterschied, ob ein Belag für Training, Wettkampf, Schulsport, Pausenspiele oder Gesundheitssport gebaut wird. Es ist ferner von grosser Bedeutung, ob auf diesem Belag Kinder oder Erwachsene Sport treiben sollen.
- Es muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass «weichere» Böden (zum Beispiel Leichtathletikanlagen) meistens mit einer Leistungseinbusse verbunden sind.
- Es muss auch auf den Zusammenhang zwischen Belastung und Belastbarkeit hingewiesen werden. Die Belastbarkeit nimmt mit zunehmendem Training wahrscheinlich zu. Das bedeutet, dass ständiges Sporttreiben auf «harten» Belägen die Grenzbelastung weiter hinaufschiebt (falls nicht aufgrund von Insuffizienzen Beschwerden auftreten). Beispiele dafür sind diejenigen 50 Prozent der Langstreckenläufer des schweizerischen Nationalkaders, die nach Segesser (1976) keine Beschwerden haben. Weitere Beispiele sind der äthiopische Marathonläufer Bikila Abebe, der barfuss seinen Marathon lief und der russische Dreispringer Sanejew, der sein Sprungtraining hauptsächlich auf Asphalt und Beton ausführt. Das bedeutet, dass im Sinne einer Adaptation das Training zum mindesten teilweise auf dem gleichen Bodenbelag wie der Wettkampf durchgeführt werden soll.

Allgemeine Bemerkungen

Die obigen Ausführungen haben sich nur auf die Belastung des menschlichen Bewegungsapparates auf verschiedenen Sportplatzbelägen beschränkt. Es ist einleuchtend, dass beim Bau einer Sportanlage und bei der Auswahl des Bodenbelages für diese Sportanlage verschiedene Kriterien zur Anwendung gelangen: Belastung des Bewegungsapparates – Wirtschaftlichkeit – Bedürfnis – Motivation – Hygiene – Verletzungsgefahr – sportliche Leistung. Es werden somit eine Reihe von verschiedenen Punkten berücksichtigt werden müssen. Dabei ist die Belastung des menschlichen Bewegungsapparates ein Teilaspekt, der in der vorliegenden Arbeit besprochen wurde. Wie nun die Gewichtung dieser verschiedenen Punkte ist, kann von unserer Seite nicht festgelegt werden. Die Entscheidung ist auf der einen Seite persönlich, auf der anderen Seite politisch. Es hängt von den Prioritäten ab, die man gesetzt hat und auch von einer Reihe von äusseren Umständen, die man zu berücksichtigen hat. Den Entscheid fällt ja der Käufer des Bodenbelages. Dabei soll eben dieser Käufer über sämtliche wesentliche Punkte informiert sein, und einer dieser Punkte ist die Belastung des Bewegungsapparates.

Literaturverzeichnis

- Denoth J.: Der Einfluss des Sportplatzes auf den menschlichen Bewegungsapparat. Medita, pp 164–167, 9 (1977).
Hort W.: Ursachen, Klinik, Therapie und Prophylaxe der Schäden auf Leichtathletik-Kunststoffbahnen. Leistungssport, pp 48–52, 1 (1976).
Michel H.: Drehbewegung auf Bodenbelägen. Diplomarbeit in Biomechanik, ETH Zürich (1978).
Nigg B. M.: Biomechanik, Juris Verlag, Zürich (1977).
Nigg B. M.: Biomechanische Grundlagen. Lehrmittelreihe Turnen und Sport in der Schule. Band 1 – Theorie, Eidg. Turn- und Sportkommission, pp 62–72, (1978).
Prokop L.: Die Auswirkung von Kunststoffbahnen auf den Bewegungsapparat. Österreichisches Journal für Sportmedizin, 2 (1972), 3 (1972) 4 (1972) und 1 (1973).
Prokop L.: Sportmedizinische Probleme der Kunststoffbeläge. Sportstättenbau und Bäderanlagen, pp M75–M81, 4 (1976).
Richoz R.: Der Einfluss des Bodenbelages auf den Bewegungsablauf der Beine und den Bewegungsapparat (Tennis). Diplomarbeit in Biomechanik, ETH Zürich (1977).
Unold E.: Über den Einfluss verschiedener Unterlagen und Schuharten auf die Beschleunigung am menschlichen Körper. Diplomarbeit in Biomechanik, ETH Zürich (1973).

Anschrift der Verfasser

Nigg Benno M., Dr. sc. nat.

Denoth Jachen, Dr. sc. nat.

Neukomm Peter A., Dipl. El. Ing. ETH
Laboratorium für Biomechanik ETH Zürich
Weinbergstrasse 98, CH-8006 Zürich
Segesser Bernhard, Dr. med.
Orthopädische Universitätsklinik
(Chefarzt: Prof. Dr. E. Morscher)
Burgfelderstrasse 101, CH-4055 Basel