

Peter Swidersky und Andreas Sroka



Billard im Zauber der Materialien

vom 18. Jh. bis in das 21. Jh.

*Billardgeschichte im Fokus der
Materialentwicklung*

Zusammenfassung

1	<u>Ein Kneipenspiel für Glücksritter wird zum Präzisionssport</u>	S.04
2	<u>Vom Zauber der Materialien</u>	S.04
3	<u>Die Entwicklung des Billardsports und neue Materialien, eine Symbiose</u>	S.05
3.1	<u>Urformen des Billards</u>	S.05
3.2	<u>Eine Entdeckung revolutionierte den Billardsport</u>	S.05
3.3	<u>Von Kreiden und Mineralien</u>	S.07
3.4	<u>Zauberstäbe für die Kugeln</u>	S.09
3.5	<u>Tische auf dem Weg zu Schwergewichten</u>	S.12
3.6	<u>Durch Zufall kommt Elastizität ins Spiel</u>	S.13
3.7	<u>Tischlein deck dich</u>	S.16
3.8	<u>Von brennenden Laborschürzen zu neuen Billardkugeln</u>	S.19
4	<u>Billardkugeln damals und heute</u>	S.23
4.1	<u>Massen, Radien und Dichten</u>	S.23
4.2	<u>Ein Blick in das Innere von Billardkugeln</u>	S.29
4.3	<u>Dynamische Differenzkalorimetrie</u>	S.30
4.4	<u>ATR-Infrarotspektroskopie</u>	S.33
5	<u>Ein Blick zurück und ein Blick nach vorne</u>	S.38

Literaturverzeichnis

S.39

Danksagung

S.41

Zusammenfassung

Tisch, Kugeln, Queue und Kreide, das sind die vier Säulen für den Billardsport. Wie in einem Konzert sind diese Säulen als Instrumente für ein großes Zusammenspiel aufeinander abgestimmt.

Die Entwicklungen in diesen Bereichen basieren bis heute auf dem Einsatz und der Optimierung von Naturstoffen und neuen synthetischen Materialien. Sie wurden im Laufe der Geschichte für jeden Bereich angepasst und nach den zu erfüllenden Funktionen verändert und verbessert.

In diesem Beitrag wird die geschichtliche Entwicklung von Tisch, Kugeln, Queue und Kreide mit Fokus auf die physikalisch- chemischen Eigenschaften der eingesetzten Materialien beleuchtet.

Nach den Holzkugeln dominierte lange Zeit Elfenbein als Material für die Herstellung von Billardkugeln. Die Entwicklung von verschiedenen Kunststoffen gegen Ende des 19. Jh. und Anfang des 20. Jh. ermöglichte schließlich den Ersatz von Elfenbein und sicherte die breite Existenz des Billardsports.

Die Kugeln bildeten dabei teilweise sogar einen gewissen Motor für die Entwicklung von neuen Kunststoffen. Aus diesem Grund wird alten und neuen Billardkugeln in diesem Beitrag eine besondere Aufmerksamkeit geschenkt.

Alte und neue Billardkugeln werden in dieser Abhandlung hinsichtlich ihrer Verteilungen der Massen, Durchmessern und Dichten mit den heutigen Standards verglichen.

Mit DSC-Messungen und ATR-IR-Messungen werden alte und neue Billardkugeln auch hinsichtlich ihrer physikalischen Eigenschaften und chemischen Zusammensetzung verglichen. Die Messungen ermöglichen dabei auch eine eindeutige Identifizierung der ersten synthetischen Billardkugeln auf Zelluloidbasis.

1. Ein Kneipenspiel für Glücksritter wird zum Präzisionssport

Das Image vom Billardspielen hat sich in den letzten 100 Jahren stark gewandelt. Im 19. und 20. Jahrhundert war Billard eine in verräuchten Spielhallen und Kneipen praktizierte Männerdomäne. Am Tresen lungerten Typen herum, die ihren Whisky tranken, während am Billardtisch zwei Glücksritter, umringt von wettsüchtigen Spekulanten, mit fantastischen Spielzügen unentwegt Kugeln in die Löcher versenkten. Tageslicht war in diesen Spielhöhlen ein seltener Gast. Der Tisch, über Deckenlampen hell erleuchtet, war Mittelpunkt des Geschehens und ständig eingehüllt in einen gewissen Dunst, denn es wurde unentwegt geraucht und getrunken. Mitgeprägt wurde dieses Bild durch Filme wie *The Hustler (Haie der Großstadt)* 1961 mit *Paul Newman* in der Hauptrolle.

Trotzdem gab es im 20. Jh. Ausnahmen, wie die marokkanische Prinzessin *Yasmine d'Quezzan*, die in den 1930er Jahren in Frankreich am grünen Tisch begeisterte, oder wie *Ruth McGinnis*, die in den 1930er und 1940er als *Queen of Billards* in den USA spielte. Sie lochte bereits als Schulkind am Pooltisch ihres Vaters 25 Kugeln in Folge ein [1]. Die Schwedin *Ewa Mataya (Laurance)* wurde 1981 mit 17 Jahren Europameisterin im 14.1 Ball [1] und wurde 2014 in die *Hall of Fame* des *Billiard Congress of America* aufgenommen. Heute bilden Frauen im Billardsport keine Ausnahmen mehr und begeistern in Europameisterschaften und Weltmeisterschaften mit spektakulärem Ballzauber das Publikum. Die hochprofessionellen Spiele lassen erahnen, dass die Materialien für diesen Sport höchsten Ansprüchen genügen müssen. Ein Grund, den Sport und dessen Entwicklung einmal im Hinblick auf alte und neue Materialien unter die Lupe zu nehmen.

2. Vom Zauber der Materialien

Materialentwicklungen bilden ein Fundament für fast alle modernen Technologien in den verschiedensten Lebensbereichen. Handys, Bildschirme und Computer wären ohne hochentwickelte Halbleiter nicht denkbar. Titanlegierungen für den Flugzeugbau, Cerangläser für die Herstellung von Kochfeldern, Lacke, Gummi und Kunststoffe für die Automobilindustrie, seien hier als Beispiele genannt. Fast überall werden neue Materialien eingesetzt, die im Einzelnen, aber meistens in ihrer Summe und im Zusammenwirken, die Funktionen und Eigenschaften der vielen heutigen Errungenschaften gewährleisten.

Eine interessante Mischung für das Zusammenwirken von Materialien, deren Entwicklung sich ab dem 19. Jh. bis heute drastisch beschleunigte, findet man im Billardsport. Das Equipment für diesen Sport bildet eine Miniaturwelt für die Veränderungen und das Zusammenwirken bestimmter Werkstoffe. *Albert Einstein* sagte einmal „*Billard ist die hohe Kunst des Vorausdenkens, die den Kopf eines Schachspielers und die ruhige Hand eines Konzertpianisten erfordert*“. So gibt es im Billard spektakuläre Turniere mit wahren Virtuosen, wie *Earl Strickland (Earl the Pearl)* und *Efren Reyes (Der Magier aus Manila)* [2]. Kein Wunder also, dass für diesen Zauber in einem Präzisionssport hohe Anforderungen an Tisch, Queue und Kugeln gesetzt werden. So erfolgte ab dem Ende des 19. Jahrhunderts eine rasante Entwicklung mit neuen Werkstoffen, die im 18. Jahrhundert noch nicht bekannt waren. Seit 1998 ist Billard als Sportart vom Internationalen Olympischen Komitee (IOC) anerkannt, jedoch noch nicht Teil der Spiele, seit 2001 aber Teil der World Games.

3. Die Entwicklung des Billardsports und neue Materialien, eine Symbiose

3.1 Urformen des Billards

Billard ist entstanden, als Rasenspiele wie Krocket vom Adel für die Wintermonate in die Gebäude verlagert wurden. Anfangs wurde das Spiel auf Tischen mit allerlei Hindernissen und Schlägern, ähnlich einem Hockeyschläger, gespielt. Wahrscheinlich liegen die Ursprünge in Großbritannien oder Frankreich. Bereits 1469 wurde für Ludwig XI in Frankreich ein Tisch zum Spielen mit Kugeln gebaut [1]. Gespielt wurde anfangs mit Holzkugeln, die mit der Entwicklung des Billardsportes über einen langen Zeitraum durch Kugeln aus Elfenbein ersetzt wurden, eine sehr dunkle Seite in der Geschichte des Billardsports.

Ende des 17. Jh. wurde immer häufiger das dünne Ende des Schlägers zum Stoßen der Kugeln eingesetzt und es entwickelte sich der Billardqueue in Form eines Stabes. Im 17. Jh. verbreitete sich der Sport auf die Gesellschaft in den öffentlichen Bereich und auch in Gasthäusern und Kaffeehäusern waren Billardtische immer öfter vertreten [1]. Die Qualität der Tische und die Möglichkeiten der Präzision in dem Spiel, waren aber noch weit von den heutigen Standards entfernt.

3.2 Eine Entdeckung revolutionierte den Billardsport

Anfangs befanden sich auf den Tischen verschiedene Hindernisse, wie Reifen oder Kegel [1], die im 18. Jahrhundert verschwanden. Ende des 18. Jh. wurde in Frankreich Karambolage entwickelt und in England entstand das Lochbillard.

1807 sollte das Billardspiel durch die Erfindung von *François Mingaud* grundlegend revolutioniert werden. Der Offizier musste wegen offener Kritik an der napoleonischen Armee eine Gefängnisstrafe verbringen, wo er Zugang zu einem Billardtisch hatte. Er besetzte die Spitze seines Queues mit einem Stück Leder von seinem Stiefel und stellte fest, dass man den Kugeln über die Lederspitze ein Effet geben kann [1]. Der Effet kam besonders zur Geltung, wenn man das Leder etwas abrundet und zum Beispiel an der Wand aufraute. Die Pomeranze aus Leder war geboren und mit ihr waren Masséstöße¹, Rückläufer und Nachläufer möglich. Die Lederspitzen wurden fortan immer weiterentwickelt.

Der Naturstoff Leder wurde bis heute nicht ersetzt. Das Material wird bei guten Queues heute passgenau auf die Queuespitze geklebt. Leder mit Schraubgewinde kann man zwar schnell austauschen, doch die Präzision lässt zu wünschen übrig. Aus diesem Grund befinden sich bei guten Queues auf der Spitze ausschließlich Klebleder. Preiswerte Klebleder sind heute für 1-2 Euro pro Stück erhältlich. Für hochwertige Mehrschichtklebleder müssen zwischen 10 und 30 Euro pro Stück gezahlt werden. Ein Vorteil der mehrschichtigen Leder ist das geringe "Pilzen"². Leder für Queuespitzen gibt es heute in verschiedenen Härtegraden und Durchmessern (d), für die verschiedenen Spiele angepasst an die Billardkugeln und Queuespitzen.

(1) Bei einem Masséstoß wird der Queue fast senkrecht und sehr hart und schnell auf den Spielball gestoßen, wodurch der Ball ein Effet erhält, und sogar entgegen der Stoßrichtung zurücklaufen kann.

(2) Unter Pilzen versteht man, dass das Leder durch die Stöße an der Spitze abflacht.

Tabelle1: Härtegrade und Durchmesser für Leder, verschiedene Spiele und Kugeldurchmesser

Härte	Zeichen		Spiel	Leder d / mm	Kugeln d / mm
Super soft	SS		Russische Pyramide		68
Soft	S		Karambolage	11 - 13	61,5
Medium	M		Kegelbillard	11 - 13	57
Medium Hard	MH		Poolbillard	11 - 14	57
Hard	H		Snooker	8 - 11	54
Extreme Hard	X				



Bild 1: Schraubleder und Klebleder

Das Leder wird auf eine Ferrule¹ geklebt, die besonders hart ist und auf dem oberen Ende des Shafts² angebracht ist. Die Ferrule besteht bei den heutigen Queues meistens aus Kunststoffen wie Elforyn (einem Kunststoff der als Elfenbeinersatz für viele Bereiche wie Messergriffe oder Teile für Musikinstrumente entwickelt wurde), Polycarbonat oder ABS³-Kunststoff.

Bei einem weichen Tip⁴ kann das Tempo bei sehr langsamen Stößen gut reguliert werden, wobei aber für ein hohes Tempo mehr Kraft für den Stoß aufgebracht werden muss und es dabei dann eher auf Kosten der Präzision gehen kann.

Queuespitzen werden meistens aus Schweine- oder Wasserbüffelleder hergestellt, die unterschiedliche Texturen aufweisen. Nur bei den speziellen Queues, die für den Break⁵ eingesetzt werden, verwendet man sehr harte Spitzen aus Phenolharz. Phenolharze werden durch Synthese aus Phenolen mit Formaldehyd gewonnen und sind erst seit Anfang des 20. Jahrhunderts bekannt. Sie zeichnen sich durch eine besondere Widerstandsfähigkeit und Härte aus, denn beim Break werden die Kugeln im Profisport auf bis zu $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ auf die mit dem Rack⁶ aufgebaute Kugelansammlung beschleunigt [3]. Queuespitze und Kugeln werden dabei einer sehr hohen Belastung ausgesetzt.

(1) Die Ferrule ist eine zylindrische Hülse auf dem Queue-Oberteil und schützt es vor Rissen und Abnutzungen.

(2) Das Queue-Oberteil mit der Lederspitze wird auch als Schaft bezeichnet

(3) ABS = Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer

(4) Ein Tip ist die Lederspitze des Queues

(5) Unter Break versteht man den ersten Stoß, der das Spiel eröffnet

(6) Ein Rack ist eine Aufbauhilfe für die Position der Kugelansammlung vor Spielbeginn. Klassisch werden dafür Dreiecke (8-Ball) oder Rauten (9-Ball) aus Holz eingesetzt. Heute werden auch Aufbauhilfen aus sehr dünnen (etwa 0,14 mm dicken) Polyethylenfolien eingesetzt, auf denen die Kugeln fixiert werden können.

3.3 Von Kreiden und Mineralien

1824 machte der Berufsspieler *John Carr* das Leder rutschfest, indem er im englischen Ort Bath kleine Säckchen mit Kreide in Umlauf brachte, mit der man das Leder einrieb [1]. Die Kreide sorgt für die Haftreibung zwischen Leder und Ball. Das Zusammenwirken mit Haft- und Gleitreibung der Kugel auf dem Tuch sorgt für die Eigenrotation der Kugel und damit für den Effekt.

Der Begriff Kreide kann allgemein für ganz unterschiedliche Stoffe stehen. Die Bezeichnung Kreide steht im mineralogischen und chemischen Sinn für die Substanz Kalk. So werden die Kalkfelsen an der Steilküste der Insel Rügen, die von *Caspar David Friedrich* 1818 mit Öl auf Leinwand gebannt wurden, auch als Kreidefelsen bezeichnet.

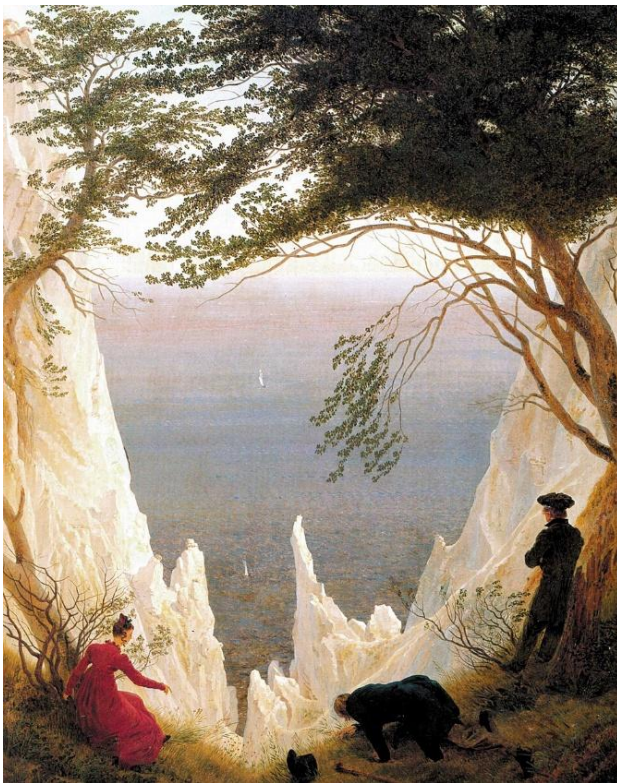


Bild 2: Kreidefelsen auf Rügen
Caspar David Friedrich

Bei Kalk handelt es sich um Calciumcarbonat mit der Summenformel CaCO_3 . Tafelkreide, die in Schulen verwendet wird, bestand ursprünglich aus Calciumcarbonat und besteht heute hauptsächlich aus Gips (Calciumsulfat mit der Formel $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) oder Magnesiumoxid (MgO). Es werden auch Mischformen mit Calciumcarbonat eingesetzt. Da Gips als Reststoff in großen Mengen bei vielen Abwasserreinigungsverfahren und auch bei der Rauchgasentschwefelung anfällt, ist es wesentlich preisgünstiger als Calciumcarbonat.

Billardkreide besteht heute weder aus Kalk noch aus Gips. Die Stoffe sind für die Anwendung zu weich. Sie werden bei den Stößen auf der Queuespitze zusammengedrückt und tragen nur mäßig zu einer rauen Oberfläche für die Haftreibung bei.

Für einen Vergleich der Härten von Mineralien dient eine Skala von 1 – 10. Diese relative Härteskala (nach dem Mineralogen *Friedrich Mohs* benannt) ordnet Mineralien in 10 Härtegrade ein. Die Skala beruht darauf, dass ein härterer Stoff einen weichen Stoff ritzen kann [4].

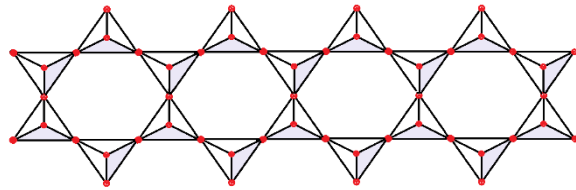
Talk hat mit der Mohshärte von 1 die niedrigste Härte. Diamant hat mit 10 die höchste Härte und kann Korund mit der Härte von 9 ritzen. Kalk besitzt eine Mohshärte von 3 und Gips mit der Härte von nur 2 kann mit dem Fingernagel eingeritzt werden. Kalk und Gips sind daher als Billardkreide nicht so gut geeignet, da sie bei den Stößen auf die Kugel zusammengepresst werden.

Quarz hingegen ist mit der Mohshärte von 7 viel härter als Kalk oder Gips. Deshalb bestehen Billardkreiden heute zu über 90% aus Quarz (Siliciumdioxid mit der Formel SiO_2).

Quarz ist zudem kostengünstig, denn er kommt im wahrsten Sinne des Wortes wie "Sand am Meer" vor.



Bild 3: Mineralien und Struktur von SiO_2



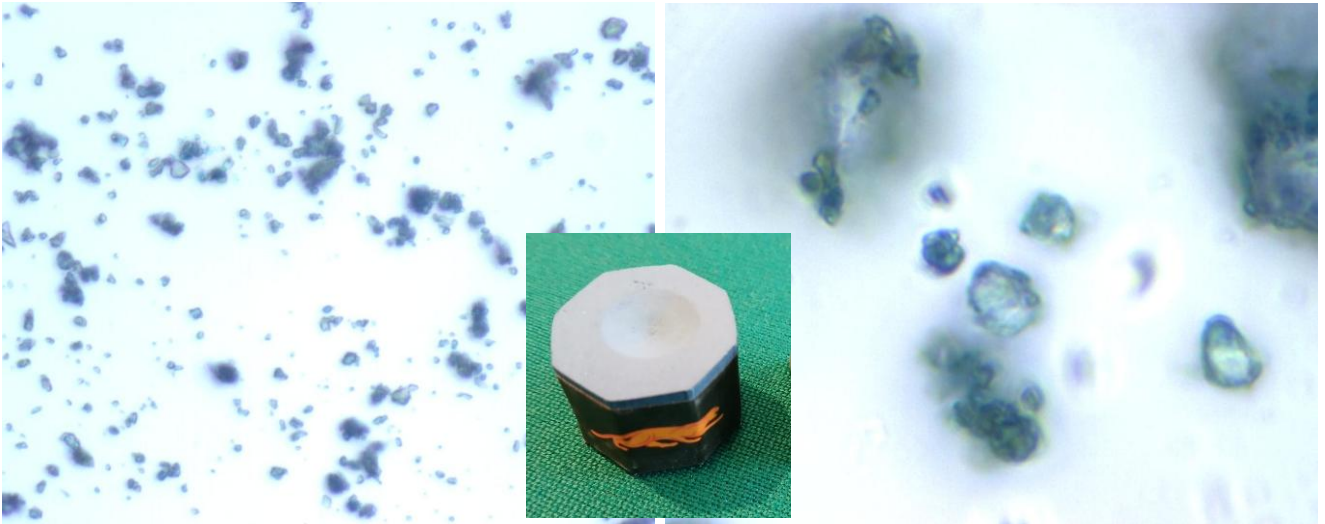
Die große Härte von Quarz beruht auf der Kristallstruktur, bei der SiO_4 -Tetraeder mit starken kovalenten Bindungen über Sauerstoffbrücken ein dreidimensionales Gitter bilden.

Reiner Kalk, reiner Gips und reiner Quarz sind farblos. Die unterschiedlichen Farben bei gleichen Mineralien entstehen durch Fremdatome im Kristall, die nur in Spuren enthalten sind. Es handelt sich dann um allochromatische Mineralien. Bei eigenfarbigen (idiochromatischen) Mineralien entsteht die Farbe durch Atome eines Elementes, welches Grundbestandteil des Kristalls selbst ist. Eine dritte Gruppe bilden die pseudochromatischen Stoffe, deren Farberscheinung durch Brechung, Reflexionen und Interferenz an Rissen, Spaltflächen und Schichten entstehen [4].

Die Billardkreiden werden durch Mischung von feinvermahlenem farblosem Quarz mit Farbstoffen und Bindemitteln hergestellt, wobei die Farbe der Kreiden auf die Spieltücher abgestimmt werden (bei Poolbillard meistens blau, bei Snooker häufig grün).

Auch bei den Billardkreiden gibt es große Preisunterschiede. Standardkreiden erhält man mit 12 Würfeln in einer Schachtel bereits zwischen 6 und 12 Euro, während Premiumkreiden pro Stück zwischen 15 und 35 Euro kosten können. Die Kreiden unterscheiden sich in der Körnung, den zugesetzten Farbstoffen und dem Wasseranteil. Der Korngrößenbereich liegt bei Billardkreiden zwischen 5 bis 35 Mikrometern. Hochwertige Kreiden sind sehr feinkörnig, günstige Standardkreiden sind etwas trockener und grobkörniger. Die Kreiden werden häufig auch an das Leder angepasst.

Bei einem weichen bis mittleren Leder werden feinkörnige Kreiden eingesetzt, bei einem harten Leder oder Phenolharz-Pomeranzen werden trockene grobkörnigere Kreiden eingesetzt. Wenn Billardspieler von einer fettigeren Kreide sprechen, so haftet diese nach dem Stoß stärker an der Kugel. Die Kreide selbst enthält kein Fett, das wäre sehr kontraproduktiv.



*Bild 4: Billardkreide Predator unter dem Mikroskop
links 500- fache Vergrößerung / rechts 1250-fache Vergrößerung*

3.4 Zauberstäbe für die Kugeln

Als die Umstellung von einem Schlagen zum Stoßen der Kugeln erfolgte, entstanden aus den Schlägern Stäbe. Die einteiligen Holzstäbe verbreiteten sich im 18. Jahrhundert als Vorläufer der Queues und wurden nach der Erfindung von *François Mingaud* im 19. Jahrhundert zunehmend mit Lederpomeranzen versehen. Zweiteilige Billardqueues verbreiteten sich erst im 20. Jahrhundert. Zweiteiler tauchten auch vorher bereits vereinzelt auf, aber erst die Massenproduktion hochwertiger Joints¹ ermöglichte eine weite Verbreitung. Die zweiteiligen Queues wurden populär, weil sie den Transport erleichterten und spezielle Gewinde nutzen, die dem Queue Stabilität verleihen. Mit Zunahme der Materialentwicklungen wurden die Joints immer weiter optimiert. Bei modernen Queues werden verschiedene Materialien für den Bereich der Verbindungsstücke eingesetzt. Die Übergangsstücke können aus Edelstahl, Messing, Kunststoff oder Holz gefertigt sein (Bild 4). Meistens hat das Übergangsstück eine Schraube und ein Gewinde aus hochpoliertem Edelstahl. Zur Gewindeschonung werden häufig Kunststoffkappen auf das Oberteil geschraubt bzw. in das Unterteil eingeschraubt. Einige Hersteller bieten statt Schraubgewinden auch Verbindungen zum einfachen Zusammenstecken an.

(1) Als Joint bezeichnet man die Verbindungselemente der Queues



Bild 4: Verschiedene Joints mit Metallgewinden



Bild 5: Queueeinzelteile, Schrauben und Kreidehalter

Die vorgeschriebenen Standards für Pool-Billard sind durch die *World Pool-Billard-Association* (WPA) festgelegt. Die WPA ist der internationale Dachverband für Pool-Billard, der 1987 gegründet wurde. Für Pool-Billardqueues gelten die folgenden Regelungen [5]:

Tabelle 2: Queue-Spezifikation nach WPA

	Minimum	Maximum
Länge der Queues	40 inch (1016 mm)	Keine Vorgabe
Gewicht der Queues	Keine Vorgabe	25 oz (708,75 g)
Durchmesser des Tip	Keine Vorgabe	14 mm

Ein Pool-Billard-Queue ist etwa 148 cm lang (58 inch) und das Gewicht liegt zwischen 17 oz-22 oz (1oz = 28,35 g), wobei 17 oz und 22 oz bereits als Extreme anzusehen sind. Gängig sind 13 mm Spitzen, dünnere Spitzen als 12 mm sind eher selten. Ein Queue sollte sich flexibel verhalten und nach dem Stoß etwas vibrieren. Man kann dies prüfen, in dem man den Queue am Griffband festhält und mit der Hand hinter dem Gewinde dem Queue einen leichten Schlag versetzt. Ein flexibler Queue beginnt dann leicht zu vibrieren [6].

Die Queue-Produktion wurde vor allem durch die Entwicklungen automatisierter Drehbänke im letzten Drittel des 20. Jh. erleichtert.

Die Unterteile und der Shaft¹ werden bei klassischen Queues auch heute noch aus kanadischem Ahornholz gefertigt, wobei ab dem 21. Jh. zunehmend weitere Materialien, oft auch in Verbund mit kanadischem Ahornholz, eingesetzt wurden.

(1) Der Shaft bildet den oberen Teil des Queues. Auf dem Shaft ist die Ferrule mit der Lederspitze zum Spielen angebracht. Das Queueunterteil ist mit einem Griff versehen.

Ein Beispiel für den Verbund von Materialien bietet das Oberteil R₃₆₀ der Firma Cuetec. Der Shaft ist mit vier computergenau geschnittenen Teilen aus kanadischem Ahornholz zusammengesetzt. Die Teile sind um einen röhrenförmigen Verbundkern gepresst, verleimt und poliert. Die Ferrule ist bei diesem Oberteil aus ABS-Kunststoff gefertigt [7]. Ein weiteres Beispiel für den Materialverbund bei Queues ist das sehr schlank auslaufende S.S.T.-Oberteil (*Super Slim Taper*) der gleichen Firma, welches zum Schutz mit einer C.M.F-Schicht (*Maple* Fiberglas) überzogen ist. Bei Fiberglas handelt es sich um einen mit Glasfasern verstärkten Kunststoff. Die Ferrule ist in diesem Fall aus Polycarbonat-Kunststoff gefertigt [8].

Die Firma Cuetec hat sich auch das sogenannte Acueweight-System patentieren lassen, wodurch man das Gewicht und den Schwerpunkt des Queues verändern kann. Hierfür kann man die But Cap¹ mit dem Bumper² abschrauben und durch Eindrehen oder Herausdrehen von Gewichtsschrauben den Schwerpunkt verändern.

Die Produktion von R₃₆₀-Oberteilen wurde inzwischen eingestellt. Wie auch bei anderen Herstellern wurde die Entwicklung einer weiteren Generation von Queue-Oberteilen auf Basis von Carbonfasern vorangetrieben. Ab 2015 gewannen die Carbonfaserobertheile, die sehr langlebig sind und nur sehr geringe Abweichungen bei Effetstößen aufweisen, an Bedeutung.

Der Shaft Cynergy stellt ein solches Carbonfaserobertheil dar und besteht aus mehreren Lagen harzprägnierter, unidirektionaler Carbonfaser-Filamente. Der Durchmesser jedes Filaments beträgt 7 µm, das entspricht etwa ein Zwölftel eines menschlichen Haares. Der Kern des Oberteils besteht aus Polyurethanschaum, der Flexibilität und Stabilität verleiht und bei Ballkontakt einen holzähnlichen Klang erzeugt. Ein Vorteil wird durch die starke Carbonfaser-Verbundkonstruktion eingebracht, die ermöglicht, dass der Polyurethanschaum 10 cm vor dem Tip endet und dadurch die Masse am Queueende verringert wird. [9].

Ein Carbonshaft liegt derzeit preislich zwischen 400 Euro und 600 Euro. Auch wenn die Carbonoberteile zunehmend im Profisport Anklang finden, so werden derzeit auch noch klassische Oberteile aus Ahornholz bevorzugt. Billardqueues erhält man ab 15 Euro. Queues der Mittelklasse liegen preislich zwischen 50 Euro und 150 Euro, während professionelle, sehr hochwertige Queues, mehrere hundert Euro oder sogar einige tausend Euro kosten können.

An dieser Stelle seien neben den eigentlichen Spielqueues auch die Break- und Jump-Queues erwähnt. Diese haben eine sehr harte Spitze aus Phenolharz und werden nur für den Break oder einen Jump³ eingesetzt, da diese Stöße sehr hart ausgeführt werden. Der eigentliche Spielqueue ist dafür nicht so geeignet und wird geschont. Bei einem Jump-Queue, den man oft auch als Break-Queue verwenden kann, ist zusätzlich noch eine Verkürzung möglich, deshalb sind diese Queues dreiteilig. Aufgrund der Härte von Polyphenolharz, werden auch moderne hochwertige Billardkugeln aus diesem Kunststoff gefertigt.

-
- (1) Als But Cap wird die Kappe am unteren Ende eines Ques bezeichnet. Die But Cap besteht häufig aus Kunststoff oder Edelstahl.
 - (2) Der Bumper ist ein Gummipuffer, der am unteren Teil der But Cap angebracht ist.
 - (3) Bei einem Jump springt die Kugel über eine Spielkugel, die ein Hindernis darstellt.

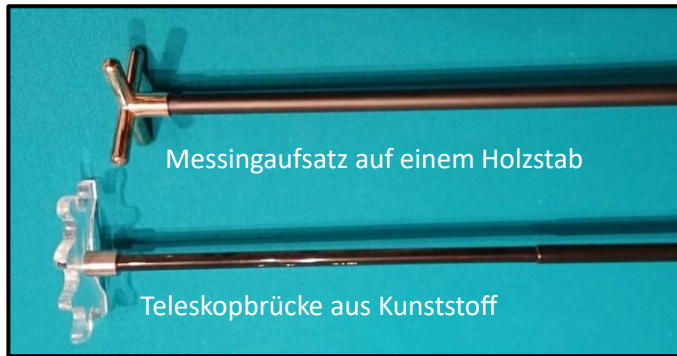


Bild 6: Queuebrücken

Queue-Verlängerungen werden genutzt, wenn man mit dem Spielqueue nicht richtig an die weiße Kugel zum Stoßen kommt. Diese Verlängerungen werden auch Brücken oder "Oma" genannt und kommen vor allem bei den sehr großen Snookertischen (12-Fuß) häufiger zum Einsatz.

Bei guten Queues kommen manchmal auch Intarsien als Verzierung zum Einsatz. In Bild 5 ist ein Queue-Unterteil mit Inlays aus Abalone, weißem Ahornholz und Ebenholz zu sehen. Selbst für Kreiden findet man Halter mit Verzierungen. In Bild 5 sieht man Billardkreide in einer Halterung, die "Qpod" genannt wird und mit Perlmutter verziert ist. Bessere Spieleigenschaften erzielt man durch die Verzierungen natürlich nicht, aber die hochwertigen Materialien erhalten damit ein gebührendes Outfit.

In den Jahren 1959 bis 1975 produzierte der in Russland geborene Billard-Queue-Hersteller *George Balabushka* in den USA etwa 1200 handgefertigte Queues, die einen legendären Ruhm erlangten und heute begehrte Sammlerstücke sind. Die meisten *Balabushka-Queues* waren nicht aufwendig verziert, aber setzten auch für die heutige Produktion viele Standards. Für die Griffe verwendete *Balabushka* irisches Leinen. Irisches Leinen wird auch heute noch für Griffbänder bei sehr vielen Queues eingesetzt und zeichnet sich durch eine hervorragende Griffbarkeit aus und kann gut Feuchtigkeit aufnehmen. Die Verbindungen wurden aus Edelstahl gefertigt und für die Endkappen verwendete *Balabushka* Delrin (Polyoxymethylen). Nur in wenigen Fällen nutzte er für die Verbindungen und Endkappen Elfenbein. Für die Unterteile verwendete *Balabushka* geradfaseriges Ahornholz, da er davon überzeugt war, dass geradfaseriges Ahorn die höchste Stabilität aufweist [10].

Besondere Bekanntheit erlangten die *Balabushkas* durch den Film "Die Farbe des Geldes" (1986), in dem *Tom Cruise* (als *Vincent Lauria*) von *Paul Newman* (als *Fast Eddie Felson*) einen *Balabushka-Queue* erhält. Der Film wurde als Fortsetzung des Filmklassikers "Haie der Großstadt" von 1961 gedreht.

Die *Balabushkas* gelten als die Stradivaris unter den Queues und können heute bei Auktionen mehrere zehntausend Euro erzielen. *Balabushka* wurde 2004 in die *Hall of Fame des Billiard Congress of America* aufgenommen.

3.5 Tische auf dem Weg zu Schwergewichten

Die Oberflächen von Billardtischen bestanden vor 1825 aus Holz, nur wenige Tische waren aus Marmor gefertigt. 1826 experimentierte John Thurston, ein englischer Hersteller von Billardtischen und Erfinder, mit Schiefer als Spielfläche. Schiefer bietet den Vorteil, dass er sich relativ einfach zu einer sehr glatten Oberfläche verarbeiten lässt.

Zudem kann sich Schiefer nicht verziehen. Holzplatten können mit der Zeit durchhängen oder sich wölben, insbesondere bei Temperaturschwankungen und hoher Luftfeuchtigkeit. Sofern die Schieferplatten in einem guten Holzrahmen richtig justiert werden, bieten sie eine langlebige sehr glatte Oberfläche mit sehr guten Laufeigenschaften für die Kugeln und durch die hohe Masse kann der Tisch eine zunehmende Stabilität erhalten. Thurston fertigte aufgrund des großen Gewichtes Schieferplatten in vier oder fünf Teilen, die mit einer Nut-Federverbindung zusammengehalten wurden und sehr präzise plan geschliffen wurden. Heute werden die Schieferplatten (bei Pooltischen meistens drei Teile) passgenau aufeinander ausgerichtet und mit einem schnell härtenden Zweikomponentenfüllspachtel auf Polyesterbasis verfugt und anschließend die Fuge glattgeschliffen. Der erste Tisch wurde von Thurston 1834 verkauft und der Erfolg war so groß, dass in England bis 1840 Billardtische mit Holzauflagen weitgehend abgelöst wurden. Ab 1850 setzten sich die Tische mit Schieferplatten in den USA und Australien durch, später in Frankreich. Heute werden für gute Billardtische ausschließlich Schieferplatten verwendet.

Die Spezifikation der Poolbillardtische ist von der deutschen Billardunion festgeschrieben [11].

Tabelle 3: Pool-Billardtisch-Spezifikationen

Tisch	Innenbanden		Masse (Minimum)	Höhe	Schieferplatten Dicke (Minimum)	Zulassung
	Länge / mm	Breite / mm				
8-Fuß	2240	1120	300 kg	750 mm - 850 mm	25 mm	Tische, die bei Meisterschaften eingesetzt werden können
9-Fuß	2540	1270	350 kg	750 mm - 850 mm	5 mm	Tische, die bei Deutschen Meisterschaften und internationalen Turnieren eingesetzt werden

Bei Karambolage-Tischen müssen die Oberflächen nach einer Regelung der Deutschen Billard Union (DBU) mit einer Heizung auf 25°C – 28°C gehalten werden [12]. Damit kann ein schnelles gleichmäßiges Rollverhalten standardisiert werden.

3.6 Durch Zufall kommt Elastizität in das Spiel

Thurston verbesserte auch die Banden. Bisherige Banden waren mit Rosshaar oder Filz gestopft. Die heutige Reproduzierbarkeit bezüglich der Reflexionswinkel und Rückprallstärke war damals bei weitem noch nicht gegeben. Das Spiel über Banden gestaltet sich prinzipiell als anspruchsvoll, da zusätzlich zum Einfallswinkel auf die Bande sowohl die Stoßstärke als auch der Treffpunkt des Queues auf die Stelle an der weißen Spielkugel Einfluss auf den Reflexionswinkel nehmen. Nur bei einer sehr langsamen und genau in der Mitte getroffenen Kugel gilt, dass der

Reflexionswinkel etwa dem Einfallswinkel entspricht. Bei sehr schnell und fest gespielten Kugeln wird der Reflexionswinkel kleiner als der Einfallswinkel. Das gilt auch bei heutigen Banden.

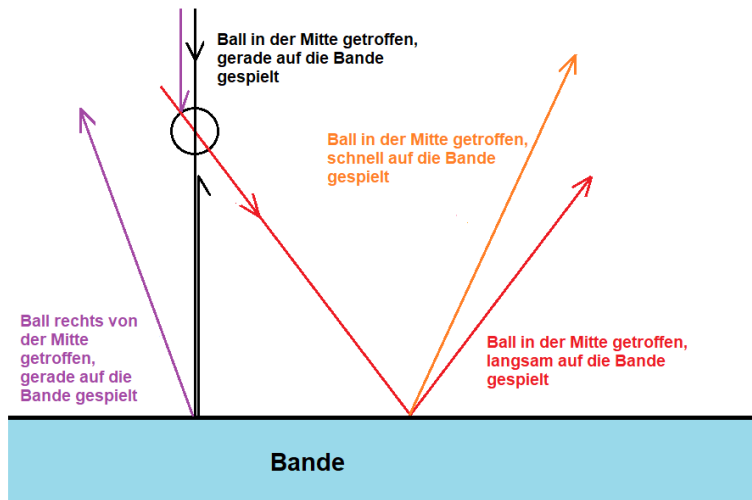


Bild 7: Spielballreflexionen bei unterschiedlicher Spielweise

Der Winkel des Rücklaufs verringert sich bei festen Stößen, da das Bandengummi stärker eingedrückt wird und die Kugel aus der Delle in einem kleineren Winkel zurückläuft.

Wird die Kugel nicht in der Mitte getroffen, erhält die Kugel ein Effet, der durch die Bande einen Abprallwinkel verursacht.

Bei heutigen Banden ist bei gleicher Spielweise eine hervorragende Reproduzierbarkeit gegeben und das Spiel über Banden ist sehr gut berechenbar.

John Thurston fertigte 1835 erstmals Banden aus Naturkautschuk an. Die Banden stellten hinsichtlich der Belastbarkeit gegenüber den bisherigen Banden eine Verbesserung dar, zeigten aber im Ablaufwinkel eine starke Temperaturabhängigkeit, denn die Banden wurden in der Kälte hart und bei hohen Temperaturen weich und sie wiesen nur teilweise eine Elastizität auf.

Der Quantensprung zu den heute so erfolgreichen Gummibanden erfolgte erst 1839 durch die Entdeckung des US-Amerikanischen Chemikers *Charles Goodyear*. Die Entdeckung erfolgte wahrscheinlich zufällig, als Kautschuk zusammen mit Schwefel in einen heißen Ofen kam [13]. *Goodyear* entdeckte, dass die Masse nach dem Abkühlen zu einer dauerhaften elastischen und beständigen, nicht klebrigen Substanz aushärtete [13]. Bisher hatten viele Forscher vergebens versucht, den Naturkautschuk hinsichtlich des Anwendungspotentials zu verbessern. Der aus dem Kautschukbaum gewonnene, abgesonderte Saft wurde bereits seit Jahrhunderten zu Naturkautschuk verarbeitet, dessen Einsatzmöglichkeit beschränkt ist. Bei heißem Umgebungstemperaturen wird der Kautschuk klebrig und bei tiefen Temperaturen brüchig und hart. Durch die Umsetzung mit Schwefel, wird ein dauerhaft elastischer Kunststoff erzeugt. 1844 ließ *Goodyear* den später als "Vulkanisation von Kautschuk" bekannten Prozess patentieren. Benannt ist der Prozess nach *Vulcanus*, dem römischen Gott des Feuers [13].

Wodurch wird das Materialverhalten bei der Vulkanisation derart verändert?

Naturkautschuk besteht aus polymerisierten Isoprenmolekülen. Polymere sind Moleküle, die aus mehr als 10 Monomeren bestehen, die über kovalente Bindungen miteinander verknüpft sind. Liegen weniger als 10 Monomere vor, spricht man von Oligomeren. Bei Naturkautschuk sind 10000 bis 50000 Isoprenmoleküle zu Polymeren verknüpft, wobei die Molekülmasse eine

Verteilung aufweist, da die Moleküle aus unterschiedlich vielen Monomer-Einheiten aufgebaut sind.

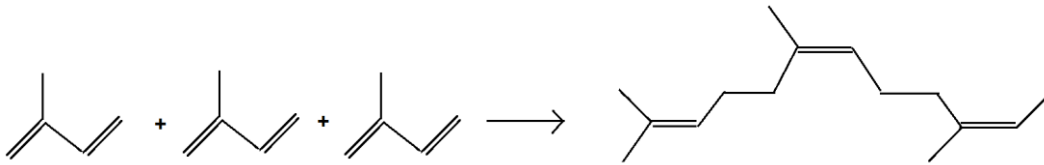
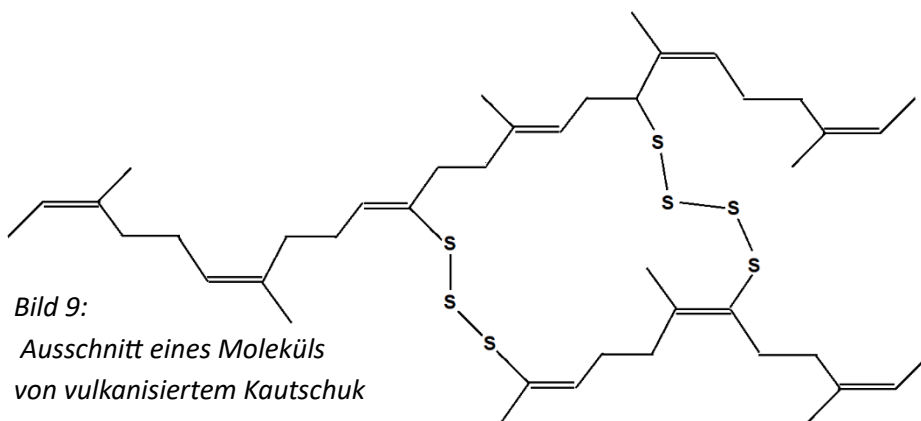


Bild 8: Polymerisation von drei Isoprenmolekülen

Beim Naturkautschuk handelt es sich um sehr lange fadenförmige Moleküle, die bei mechanischer Beanspruchung intramolekular zusammengedrückt werden und ihre Form verändern. Dadurch verhält sich das Polymermaterial plastisch, also eher wie Knetgummi, denn nach dem Zusammendrücken haben die Moleküle eine neue Form angenommen.

Durch die Vulkanisation werden die Molekülketten des Kautschuks durch Schwefelatome (S) kovalent miteinander verbunden. Die Verbindungen über die Schwefelatome wirken nun wie Federn zwischen den Molekülen. Die Form kann durch Zusammendrücken etwas verändert werden, aber die Verbindungen mit den Schwefelatomen sorgen nach der mechanischen Beanspruchung für eine Rückbildung zu der ursprünglichen Gestalt.



*Bild 9:
Ausschnitt eines Moleküls
von vulkanisiertem Kautschuk*

Kunststoffe werden aufgrund dieser unterschiedlichen Phänomene auch nach ihrem mechanischen Verhalten klassifiziert. Dafür wird bei Kunststoffen mit Zugversuchen die Dehnung eines Probekörpers in Abhängigkeit von der angelegten Zugspannung untersucht. Die Form des Spannungs-Dehnungsdiagrammes erlaubt es, zwischen steifen (energieelastischen) Polymeren, plastisch verformbaren (viskoelastischen Polymeren) und vollelastischen gummiartigen (entropieelastischen) Polymeren zu unterscheiden [14].

Billardkugeln und Ferrulen bestehen beispielsweise aus harten, nicht verformbaren, spröden Kunststoffen. Vulkanisierter Kautschuk ist ein vollelastischer Kunststoff, der wieder vollständig in die ursprüngliche Form zurückkehrt. Solche Kunststoffe werden auch Elastomere genannt.

Es gibt aber auch Polymere, die sowohl eine bleibende Verformung und eine Elastizität aufweisen. Gummibärchen bestehen z.B. aus Gelatine (Polypeptidketten) und Pektinen (Polysacchariden). Sie können gedehnt werden und zeigen dann teilweise eine viskose Eigenschaft, indem sie fließen (sich also etwas verformen). Sie dehnen sich aber nach dem Zug

teilweise wieder zurück. Damit zeigen sie auch eine gewisse Elastizität. Dieses Verhalten nennt man Viskoelastizität.

Nachdem der vulkanisierte Kautschuk bekannt war, experimentierte *Thurston* mit dem neu entwickelten Material. 1845, wurden die von *Thurston* neu entwickelten Banden patentiert. Diese Banden zeichneten sich durch eine hohe Elastizität, einen viel genaueren Reflexionswinkel aus und waren in ihrem Verhalten weitgehend temperaturunabhängig. In Nordamerika starteten die Gummibanden in den 1850er Jahren durch, in Frankreich etwa zehn Jahre später. Die Vulkanisationsverfahren und Banden wurden im Laufe der Jahre bis heute noch weiter optimiert.

3.7 Tischlein deck dich

Im 17. Jahrhundert wurden die Billardtische mit gewebten Wolltüchern bezogen. Die Tücher waren grün gefärbt und im Gegensatz zu den heutigen Tüchern etwas flauschiger. Die Kugeln liefen dadurch etwas langsamer im Vergleich zu den Verläufen auf modernen Billardtüchern.

In der Stadt *Verviers* gründete 1680 der mittelständige Händler *Guillaume Henri Simon Simonis* eine Tuchfabrik. Der Ort war nicht zufällig gewählt, denn die Stadt *Verviers* liegt im flachen Tal des Flusses *Vesdre* im wallonischen Teil von Belgien, in dem das Wasser eine sehr geringe Wasserhärte¹ aufweist und sich deshalb hervorragend zum Waschen von Wolle eignet.

Hartes Wasser hat eine hohe Konzentration an Calciumionen. Beim Waschvorgang wird Wasser erhitzt, dabei kann es bei hartem Wasser zur Bildung von Kalk und Kalkseifen kommen.

Die im Wasser vorhandenen Hydrogencarbonationen (HCO_3^-) bilden in einem chemischen Gleichgewicht Carbonationen (CO_3^{2-}), Kohlenstoffdioxid (CO_2) und Wasser. Das Gleichgewicht verschiebt sich dabei mit zunehmenden Temperaturen nach rechts, das bedeutet, es werden beim Erwärmen von Wasser zunehmend Carbonationen gebildet [15].

Die Carbonationen bilden bei hohen Calciumionenkonzentrationen (hoher Wasserhärte) unlöslichen Kalk, der sich negativ auf die Textilstruktur auswirkt. Die Kalkbildung findet auch bei hartem Wasser in Kaffeemaschinen statt, denn auch dort wird Wasser erhitzt und es entstehen Carbonationen.

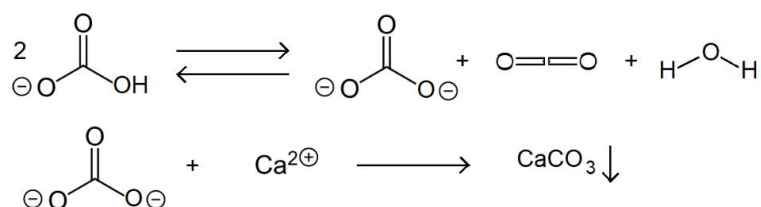


Bild 10:

Hydrogencarbonat – Carbonat-Gleichgewicht und Fällung von Kalk aus Calcium- und Carbonationen

(1) Die Wasserhärte gibt die Konzentration an Calciumionen und Magnesiumionen im Wasser an. Sie wird häufig in Grad Deutscher Härte (°dH) angegeben. Dabei wird der Gesamtgehalt an Calciumionen und Magnesiumionen in Massenäquivalenten Calciumoxid umgerechnet und 1°dH entspricht 10 mg CaO.

Zudem bilden sich bei hartem Wasser aus den Calciumionen und den damaligen Seifen unlösliche Kalkseifen, die sich ebenfalls im Textilgewebe absetzen und auch die Waschwirkung herabsetzen.

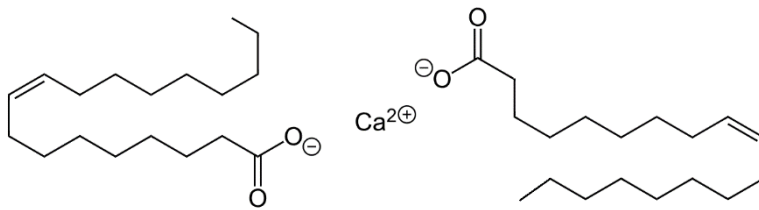


Bild 11: Calciumoleat als Beispiel für eine Kalkseife

Es ist also kein Wunder, dass *Henri Simonis* den Ort *Verviers* mit weichem Wasser für die Gründung seiner Textilfabrik wählte. Das Unternehmen wurde von seinem Enkel (der das Unternehmen nach seinem Sohn *Iwan* benannte) weitergeführt und etabliert. 1797 wurde in der Firma die erste Spinnmaschine zur Verarbeitung von Wolle eingeführt. Anfang des neunzehnten Jahrhunderts wurden weitere Maschinen auch zum Reinigen der Wolle angeschafft und der Ausbau des Eisenbahnnetzes, die Etablierung der Dampfmaschine und der Elektrizität erhöhten die Produktions- und Transportkapazitäten enorm. Das genaue Produktionsdatum des ersten Billardtuches durch *Simonis* ist nicht bekannt, *Iwan Simonis* kann aber auf eine lange Tradition von über 200 Jahren in der Herstellung von hochwertigen Billardtöchern zurückblicken [16].

Heute werden *Simonis-Billardtücher* mit einer hohen Fadendichte angeboten, die unterschiedliche Anteile an Nylon zu einer gekämmten Kammgarnwolle aufweisen. Über den Nylonanteil werden die Eigenschaften der Tücher verändert. Das Tuch *Simonis 860* enthält 90% Wolle und 10% Nylon, bei einem Gewicht von 410 g m^{-2} . Es ist im Spielverhalten etwas langsamer als das Tuch *Simonis 760* mit 70 % Wolle, 30 % Nylon und einem Gewicht von 355 g m^{-2} [17]. Die Tücher für Billardtische werden mit über zwanzig unterschiedlichen Farben angeboten. Am häufigsten werden grüne Farben und blaue Farben genutzt.

Der Kunststoff Nylon fand seinen Einsatz bei der Herstellung von Billardtöchern allerdings erst in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Nylon wurde 1935 von dem amerikanischen Chemiker *Wallace Hume Carothers* (Leiter des Labors für Polymerforschung bei *DuPont*) entdeckt. Der Kunststoff weist Amidbindungen auf und lässt sich exzellent zu sehr dünnen Fäden ausziehen. Eine Schlüsselrolle spielt dabei die Kettenlänge der Säure- und Aminkomponenten. Bei Nylon 66 enthalten beide Ketten 6 Kohlenstoffatome. Nach bereits drei Jahren wurde die erste industrielle Anlage von Nylonfäden in Betrieb genommen.

Zunächst wurde Nylon als Material in Fallschirmen im zweiten Weltkrieg eingesetzt. Ab 1939 begann Nylon seine Karriere in der Produktion von Nylonstrümpfen, die ein Verkaufsschlager wurden. Leider erlebte Carothers den großen Erfolg des Nylons nicht, denn der unter Depressionen leidende Chemiker wählte 1937 den Freitod [16]. Nylon wird heute in vielen Textilien eingesetzt und setzte seine Karriere bis zum Bestandteil in hochwertigen Billardtöchern fort.

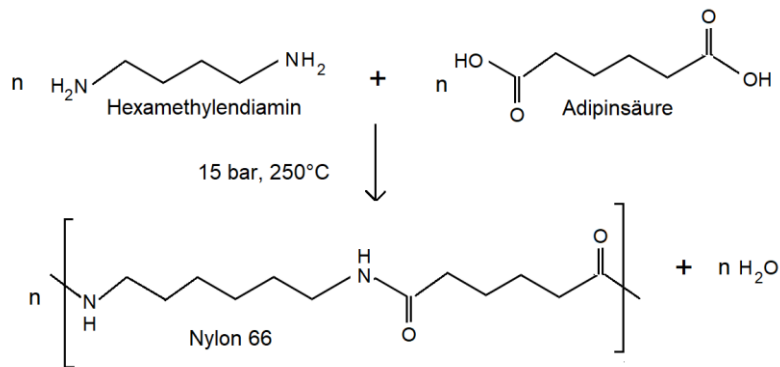


Bild 12: Polymerisation von Hexamethyldiamin mit Adipinsäure zu Nylon 66

Nylon ist ein sogenannter Thermoplast. Neben den mechanischen Eigenschaften werden Kunststoffe auch nach der Art ihrer Herstellung und Verarbeitungsmöglichkeiten in Thermoplaste und Duroplaste eingeteilt. Thermoplaste bestehen aus linearen Molekülen, die oberhalb einer bestimmten Temperatur fließfähig werden und durch Extrusion oder Spritzgießen verarbeitet werden können [14]. Thermoplaste können dabei eine amorphe oder teilkristalline Struktur einnehmen. Die teilkristalline Struktur wird häufig durch das Fransenmizellen-Modell dargestellt, doch die wirklichen Strukturen sind komplizierter [14]

Bei Duroplasten sind die Polymere eng vernetzt. Sie werden durch Einbringen der Monomere oder Oligomere in eine Form und anschließende Vernetzung hergestellt. Die Vernetzung kann dabei thermisch oder photochemisch nach Zugabe bestimmter Initiatoren erfolgen [14]. Diese Kunststoffe sind nicht schmelzbar und meist sehr hart. Phenolharze und Polyesterharze, aus denen heutige Billardkugeln hergestellt werden, sind Beispiele für Duroplaste.

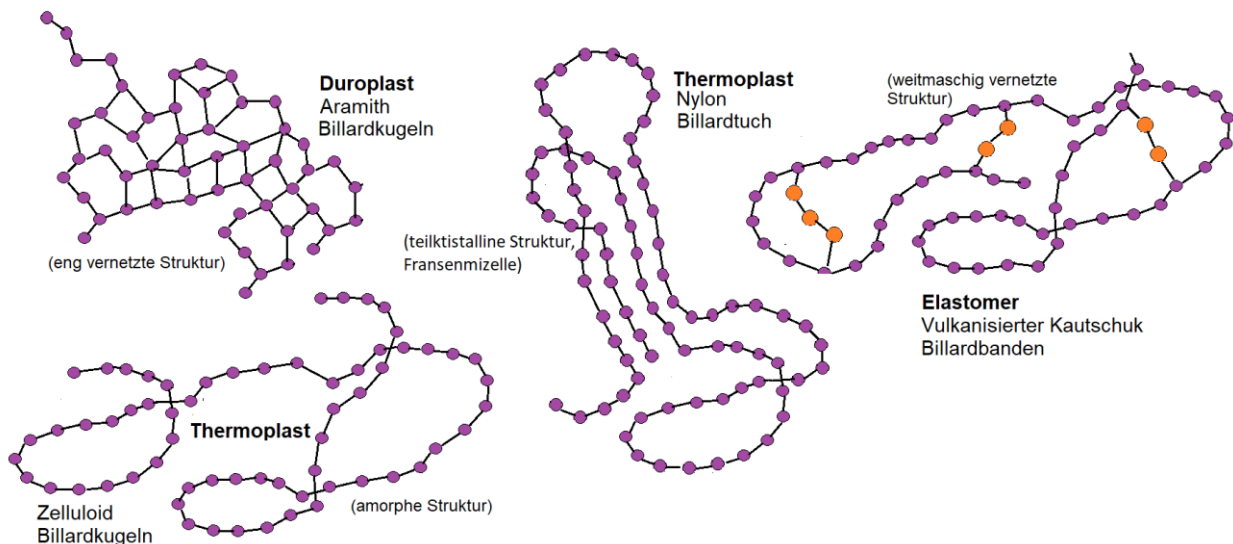


Bild 13: Modellstrukturen für Duroplasten, Thermoplasten und Elastomere und Einsatz im Billardsport

Die Eigenschaften der Kunststoffe hängen sehr stark von den Atomgruppen, Bindungen, Molekülgrößen, Molekülformen (verzweigt oder nicht verzweigt) und von den Vernetzungen ab. Als Hilfsstoffe werden auch Weichmacher eingesetzt. Die Moleküle der Weichmacher sind nicht Bestandteil des Polymers selbst, sondern lagern zwischen den Polymerketten. Sie können im Laufe der Zeit ausdünsten. Der Verlust an Weichmachern führt dann dazu, dass der Kunststoff brüchig wird.

3.8 Von brennenden Laborschürzen zu neuen Billardkugeln

Die zufällige Entdeckung der Schießbaumwolle im Jahr 1845 ermöglichte die Entwicklung des ersten thermoplastischen Kunststoffes und ebnete damit auch den Weg zu den ersten synthetischen Billardkugeln, die Elfenbeinkugeln ersetzen konnten. Der Chemieprofessor *Christian Friedrich Schönbein* lehrte an der Universität Basel und wollte seinen Studierenden die Knallgasreaktion zeigen. Hierfür stellte er über eine Elektrolyse mit einer Voltaschen Säule¹ Wasserstoffgas und Sauerstoffgas her. Dabei fiel ihm ein eigenartiger Geruch auf, den er schon einmal nach einem Blitzeinschlag wahrgenommen hatte. Der Geruch stammte von dem Gas Ozon (O₃) [18].

Da das Gas nur in Spuren entsteht, konnte er es mit den damaligen Methoden nicht nachweisen. Er vermutete eine Verbindung aus Stickstoff und Sauerstoff und experimentierte deshalb mit Salpetersäure (HNO₃) und Schwefelsäure (H₂SO₄). Im Dezember des Jahres 1845 fiel ihm eine Glasflasche mit einer Mischung aus beiden Säuren vom Tisch und Schönbein wischte das Gemisch mit einer baumwollenen Schürze auf. Die Schürze hängte er zum Trocknen an einen Ofen. Einige Stunden später explodierte die Schürze. Schönbein startete daraufhin Experimente mit Baumwolle und Gemischen aus Salpetersäure und Schwefelsäure, um die Reaktion zu reproduzieren und die explosionsfähige Baumwolle zu optimieren. Die Baumwolle wird bei der Reaktion von der Salpetersäure nitriert und die Schwefelsäure wirkt dabei katalytisch. Die nitrierte Baumwolle besteht aus Nitrozellulose und wird Schießbaumwolle genannt.

Der englische Chemiker *Alexander Parkes* mischte zu der Schießbaumwolle Campher und erfand damit den ersten thermoplastischen Kunststoff. 1855 meldete er ein Patent für künstliches Horn (*Parkesine*) aus Schießbaumwolle und Campher an [18]. Der Name Zelluloid entstand erst 1870 als Handelsmarke 'Celluloid' der *Celluloid Manufacturing Company*. Die Firma stellte die entsprechenden Kunststoffe her, die für Spielwaren, Kämmen, Puppenköpfe, Brillengestelle, Tischtennisbälle und viele weitere Produkte eingesetzt wurden.

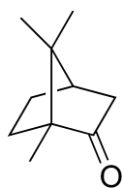
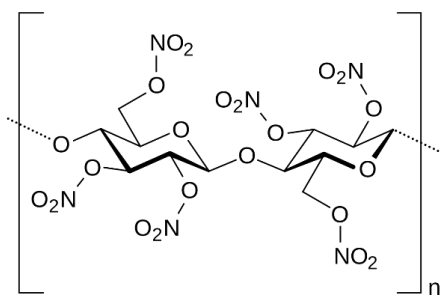


Bild 14:
Struktur von Nitrozellulose (links)
Struktur von Campher (rechts)

Mit Elfenbeinkugeln wurde etwa ab dem Anfang des 17. Jahrhunderts gespielt, sie setzten sich fortan immer mehr durch und wurden im 19. Jahrhundert zum Standard. Die Jagd nach Elfenbein hatte die Elefantenpopulation bereits stark dezimiert und alle Elefanten der Welt hätten den Bedarf an Billardkugeln nicht decken können. Aus einem Stoßzahn konnten nicht mehr als 10 Kugeln gefertigt werden [1], ein Frevel an den Lebewesen und der Natur, wie die Herstellung aller anderen Elfenbeingegegenstände auch. Seit 1989 ist der Elfenbeinhandel durch das Washingtoner Artenschutzabkommen verboten.

(1) Die Voltasche Säule stellte eine erste Batterie dar, die von dem Grafen *Alessandro Volta* um 1799 entwickelt wurde. Sie bestand aus Schichten mit Zink- und Kupferplättchen zwischen denen sich elektrolytgetränkte Pappe befand.

Elfenbeinkugeln eigneten sich für das Billardspiel sehr gut, denn sie konnten ganz glattpoliert werden und hatten eine passende Dichte. Man konnte mit den Kugeln sehr gut das Effet-Spiel praktizieren. Die Kugeln hatten aber auch Nachteile. Sie nutzten sich mit der Zeit ab und mussten teilweise nachgearbeitet werden, bis sie unter die Normgrößen schwanden. Bei sehr tiefen Temperaturen konnten sie auch in Stücke springen. Zudem konnten die Kugeln Unterschiede in der Dichte aufweisen [1].

Aufgrund der sich abzeichnenden Notlage hinsichtlich des Bedarfs an guten Billardkugeln setzte die amerikanische Billardfabrik *Phelan & Collendar* 1864 einen Preis von 10.000 Dollar für ein geeignetes Ersatzmaterial aus [19]. 1868 stellte *John Wesley Hyatt* eine Billardkugel auf Zelluloidbasis her. Diese Kugel wird in der Sammlung des *National Museum of American History (NMAH)* in *Washington, DC* aufbewahrt und befindet sich auf einem Holzsockel mit der Aufschrift "*Made in 1868 of Cellulose Nitrate, Celluloid, The Year John Wesley Hyatt Discovered This First Plastics Resin*". Die Untersuchung mit der FTIR-Spektroskopie zeigt, dass die Kugel im Wesentlichen aus einer Mischung von Knochenmaterial (77%) und Nitrozellulose (23%) besteht [19].

Nach Vorschrift der Gebrüder Hyatt wurde die Nitrozellulose entwässert (aufgrund der Explosionsgefahr nicht vollständig), in Campher gelöst und das Gemisch in Stampfwerken und Walzwerken gemahlen, wobei während des Mahlprozesse auch andere Stoffe wie Schwerspat (Bariumsulfat, BaSO_4), Magnesia [Magnesiumoxid, MgO] und färbende Substanzen zugefügt wurden. Die Stoffe dienten teilweise auch dazu, die Kosten der Grundmasse zu senken. Die durchgekneteten Massen wurden in einer von 130°C heißen Dampf umspülten Kochpresse unter hohem Druck zusammengepresst. Die noch heißen Blöcke, die aus der Presse kamen, waren plastisch verformbar [20].

John Wesley Hyatt wurde 1971 posthum in die *Hall of Fame des Billiard Congress of America* aufgenommen.

Nach der Erfindung von *Hyatt* wurden Billardkugeln auf Zelluloidbasis von den verschiedensten Firmen produziert. *Brunswick* produzierte bereits Billardtische seit 1845 und als einer der ersten prominenten Kunden in der Firmengeschichte kaufte *Abraham Lincoln* 1850 einen *Brunswick-Billardtisch*. 1905 begann *Brunswick* auch mit der Herstellung der ersten Billardkugeln auf Zelluloidbasis, den *Compo-Ivorylene Kugelsets* und 1917 wurden die ersten *Ivorylene Pocket Balls* produziert [21]. In der ersten Hälfte des 20. Jh. wurden Billardkugeln auf Basis der Grundrezeptur von Hyatt mit den Namen *Bonzoline*, *Ivorylene* und *Crystalate* zunehmend auf den Markt gebracht. *Arthur Neves et al.* [19] untersuchten alte Kugeln aus Bonzoline (1930 iger-1960iger), Ivorylene (1930iger-1950iger) und Crystalate (1900-1960iger). Die Materialien weisen alle Zusammensetzungen auf Basis von Zellosennitrat (15%-25%), Campher (2%-6%) und Rinderknochen (70%-80%) auf, wobei Unterschiede in den prozentualen Zusammensetzungen auch in den Beimengungen von unterschiedlichen Begleitstoffen wie Aluminiumsilikat, Calciumcarbonat, Zinkoxid und farbgebenden Substanzen wie Ultramarinblau, Chromgelb oder Naphtolrot auftreten [19].

Den Einsatz der Schießbaumwolle zur Produktion von Zelluloid, hatte *Schönbein* nicht mehr erlebt. Er hätte sich wohl nicht träumen lassen, dass seine brennende Schürze einmal den Weg für die Produktion der ersten synthetischen Billardkugeln ebnen sollte.

Mit den *Aramith-Billardkugeln* ist *Saluc* heute ein Weltmarktführer für hochwertige Turnierkugeln und fusionierte im Jahr 2012 mit der Firma *Iwan Simonis*, einem Hersteller von Billardtöchern für Turniertische [22]. Aramithharz ist ein speziell für Billardkugeln ausgelegtes Polyphenolharz, dabei handelt sich um einen duroplastischen Kunststoff den man auch Phenoplast nennt.

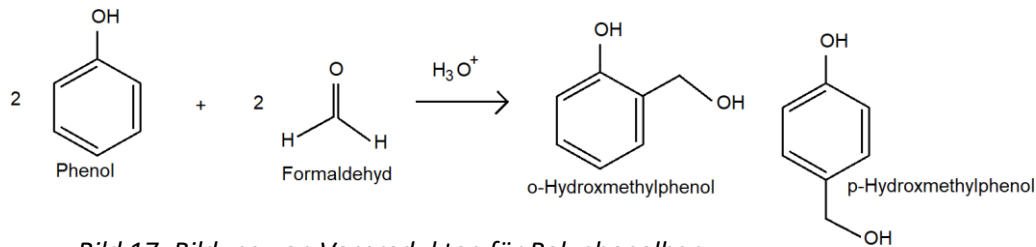


Bild 17: Bildung von Vorprodukten für Polyphenolharz

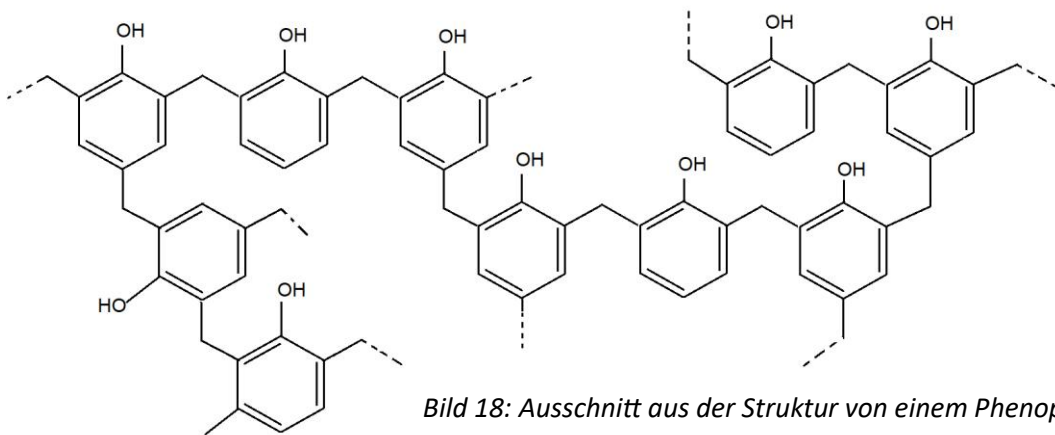


Bild 18: Ausschnitt aus der Struktur von einem Phenoplast

Vielleicht haben die neuen Kunststoffe auf Basis von Zelluloid und Polyphenolharzen eine vollständige Ausrottung der Elefanten verhindern können. Fest steht aber, dass die Elefantenpopulation im 20. Jh. trotz der Ersatzstoffe im Billardbereich leider weiter drastisch gesunken ist. Die nachfolgend dargestellten geschätzten Daten [23] sind in Bild 19 dargestellt.

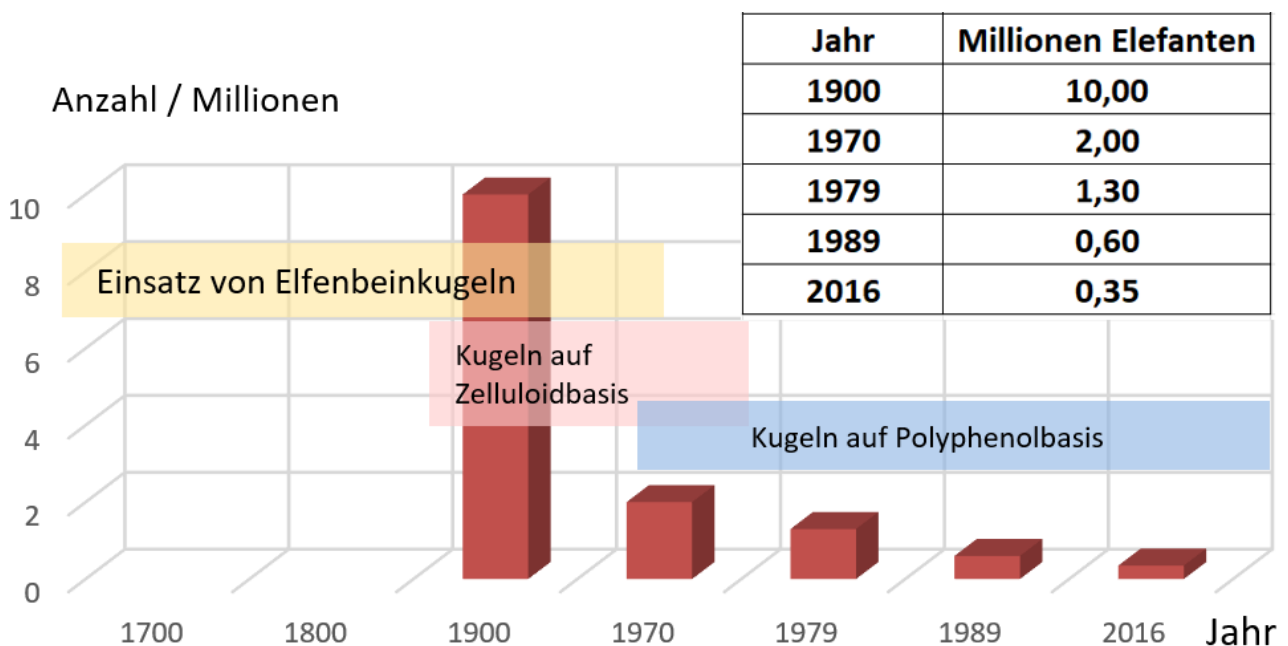


Bild 19: Geschätzte Elefantenbestände in Afrika

4 Billardkugeln damals und heute

Da den Billardkugeln im Zusammenhang mit der Entwicklung der Kunststoffe eine besondere Bedeutung zukommt, sollen abschließend alte Billardkugeln auf Zelluloidbasis mit modernen Billardkugeln gegenübergestellt werden. Ein Vergleich zwischen neuen Kugeln zeigt, dass sich auch Kugelsätze moderner Billardkugeln erheblich voneinander unterscheiden können.

4.1 Massen, Radien und Dichten

Für Poolbillardkugeln und Snookerkugeln gibt es hinsichtlich der Massen und Durchmesser klare Vorgaben mit erlaubten Toleranzbereichen. Die minimalen und maximalen Dichten errechnen sich über die maximalen und minimalen zugelassenen Massen m und Radien r dabei wie folgt:

$$\rho = \frac{m}{\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3}$$

Tabelle 4: Standardvorgaben und die daraus berechneten zugelassenen Dichtebereiche

Masse (min)	Masse (max)	Durchmesser (min)	Durchmesser (max)	Dichte (min)	Dichte (max)
Pool WPA	156 g – 170g				
163 g -7 g	163 g +7g	57,15 mm - 0,127 mm	57,15 mm + 0,127 mm	1,586 g·cm ⁻³	1,751 g·cm ⁻³
Snooker	130 g -150 g (innerhalb eines Satzes erlaubte Abweichung maximal 3 g)				
140 g -1,5g	140 g +1,5 g	52,5 mm -0,05 mm	52,5 mm +0,05 mm	1,823 g·cm ⁻³	1,873 g·cm ⁻³

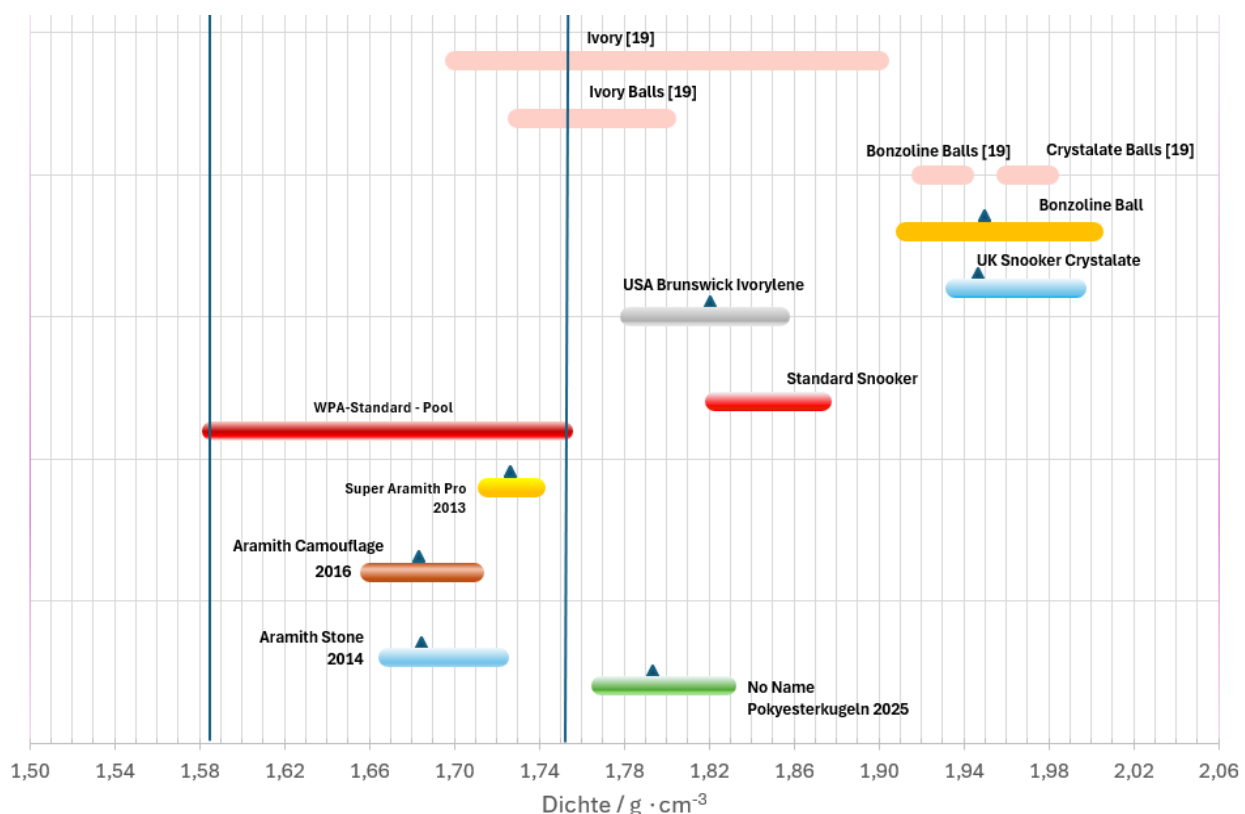


Bild 20: Vergleich der Dichtebereiche mit Durchschnittswerten (Dreiecke) für verschiedene Kugeltypen

Die in Abbildung 20 rosa dargestellten Dichtebereiche für Elfenbein, Elfenbeinkugeln, *Crystalate-Kugeln* und *Bonzoline-Kugeln* wurden aus der Literatur [19] entnommen. Für die Bestimmung der Dichtebereiche der Kugelsätze wurden die Kugeln auf einer Laborwaage ($\pm 0,01\text{g}$) gewogen. Mit einer Schieblehre ($\pm 0,05\text{ mm}$) wurde von allen Kugeln der Durchmesser bestimmt. Für jede Kugel wurde aus der ermittelten Masse und dem Durchmesser die Dichte berechnet.

Die angegebenen Dichtebereiche der Kugelsätze resultieren auf Basis der Kugeln mit der jeweils bestimmten niedrigsten bzw. höchsten Dichte des jeweiligen Satzes. Einzig der orange dargestellte Dichtebereich für die *Bonzoline-Kugel* stammt von Messungen an nur einer Kugel. Der Dichtebereich für diese einzelne *Bonzoline-Kugel* resultiert auf einer Streuung bei den gemessenen Durchmessern, da die alte Karambolage-Kugel an einigen Stellen sehr abgespielt ist. Die Mittelwerte sind bei allen Dichtebereichen mit Dreiecken markiert.

Tabelle 5: Gemessene Kugeln und Dichtebereiche

Kugel (Satz)	Material	Spiel	Herkunft	Jahr	Anzahl	Dichte (min) $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	Dichte (max) $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
LITERATURDATEN [19]							
Ivory	Elfenbein			1880-1920		1,70	1,90
Ivory Balls	Elfenbein				2	1,73	1,80
Bonzoline Balls	Bonzoline			1930-1960		1,92	1,94
Crystalate Balls	Crystalate			1900-1960		1,96	1,98
Alte Kugeln							
Bonzoline Ball	Bonzoline	Karambolage	unbekannt	1910-1940	1	1,913	2,001
UK Snooker	Crystalate	Snooker	Chippenham	1920-1950	18	1,936	1,993
USA Brunswick	Ivorylene	Pool	Bolder Colorado	1940-1960	15	1,783	1,853
Standard							
Standard		Snooker				1,823	1,873
Standard		Pool				1,586	1,751
Neue Kugeln							
Super Pro	Aramith	Pool	Saluc	2013	16	1,716	1,738
Camouflage	Aramith	Pool	Saluc	2016	16	1,660	1,709
Stone	Aramith	Pool	Saluc	2014	16	1,669	1,721
No Name	Polyester	Pool	unbekannt	2025	16	1,769	1,828

In Abbildung 20 wurden mit den roten Balken auch die berechneten Standardbereiche für Poolbillardkugeln und für Snookerkugeln eingetragen. Der Standarddichtebereich liegt bei Snookerkugeldurchmesser höher als bei Poolkugeln und ist innerhalb eines Satzes nicht so breit.

Die Dichtevergleiche in Abbildung 20 können zu folgenden Ergebnissen zusammengefasst werden:

- Die für *Bonzoline* und *Crystalate* ermittelten Dichtebereiche stimmen mit den in der Literatur [19] angegebenen Dichtebereichen überein.
- Bei allen Kugeln auf Zelluloidbasis (*Bonzoline*, *Crystalate*, *Ivorylene*) sind die ermittelten Dichtebereiche deutlich höher als die heute zulässigen Standardbereiche.
- Die Kugeln auf Zelluloidbasis weisen unabhängig von der Spielart (Pool/Snooker) Dichten auf, die weit oberhalb der heute gültigen Standardbereiche liegen.
- Die Dichten von *Crystalate* und *Bonzoline* liegen höher als die Dichten von Elfenbein, eine Überlappung der Bereiche liegt nicht vor.
- Der Dichtebereich von *Ivorylene* liegt innerhalb des Dichtebereiches von Elfenbein aber deutlich über dem WPA-Standardbereich für Poolbillardkugeln.
- Die Standardbereiche für Poolbillardkugeln und Snookerkugeln überlappen mit dem Dichtebereich von Elfenbein.
- Alle Poolkugelsätze auf Basis von *Aramith* liegen innerhalb des Dichtestandardbereiches für Poolbillardkugeln.
- Der Satz *Aramith Super Pro* in Turnierkugelqualität weist die geringste Variation in den Dichten auf.
- Der Dichtebereich der *No Name-Kugeln* (vom Vertreiber als Polyesterkugeln angegeben) liegt außerhalb des Standarddichtebereiches für Poolbillardkugeln.

Die Dichte würde als Kriterium für eine Materialunterscheidung zwischen Elfenbein, *Ivorylene*, *Aramith* und Polyester nicht genügen. Eine deutlich höhere Dichte außerhalb des Standardbereiches kann aber als Hinweis auf alte Kugeln, die auf Zelluloidbasis hergestellt wurden, dienen.

Für Billardkugelsätze existieren große Preisunterschiede. Der Preisbereich liegt zwischen 15 Euro und 400 Euro pro Satz. Auf den ersten Blick ist beim Kauf der Kugelsätze der Grund für die hohen Preisunterschiede nicht ersichtlich. Der durchgeführte Vergleich zeigt aber bereits, dass die Anforderungen für den Dichtebereich bei dem einfachen *No-Name-Kugelsatz* nicht erfüllt sind.

Besonders deutlich treten die Unterschiede zwischen Kugelsätzen im Niedrigpreisbereich und Kugelsätzen in Turnierqualität hervor, wenn man die Massenbereiche und Massenverteilungen der Sätze untersucht.

Die Massen wurden auf Laborwaagen mit einer Genauigkeit von 0,01 g ermittelt. Um eventuelle systematische Fehler einzugrenzen wurden 3 verschiedene Laborwaagen verglichen, die bei einer gleichen Kugelmasse eine Abweichung von maximal bis 0,09 g aufwiesen.

Die durchschnittlichen Kugelmassen und Kugeldurchmesser der Niedrigpreiskugelsätze liegen nicht mehr im *WPA-Normbereich* (rote Linien in Abbildung 21) für Pool-Billardkugeln. Die Massenverteilungen sind weitaus größer im Vergleich zu den hochwertigeren Kugelsätzen auf *Aramith*-Basis.

Auch bei den untersuchten Durchmesserbereichen weisen die *Aramith-Kugeln* die engsten Durchmesserbereiche auf.

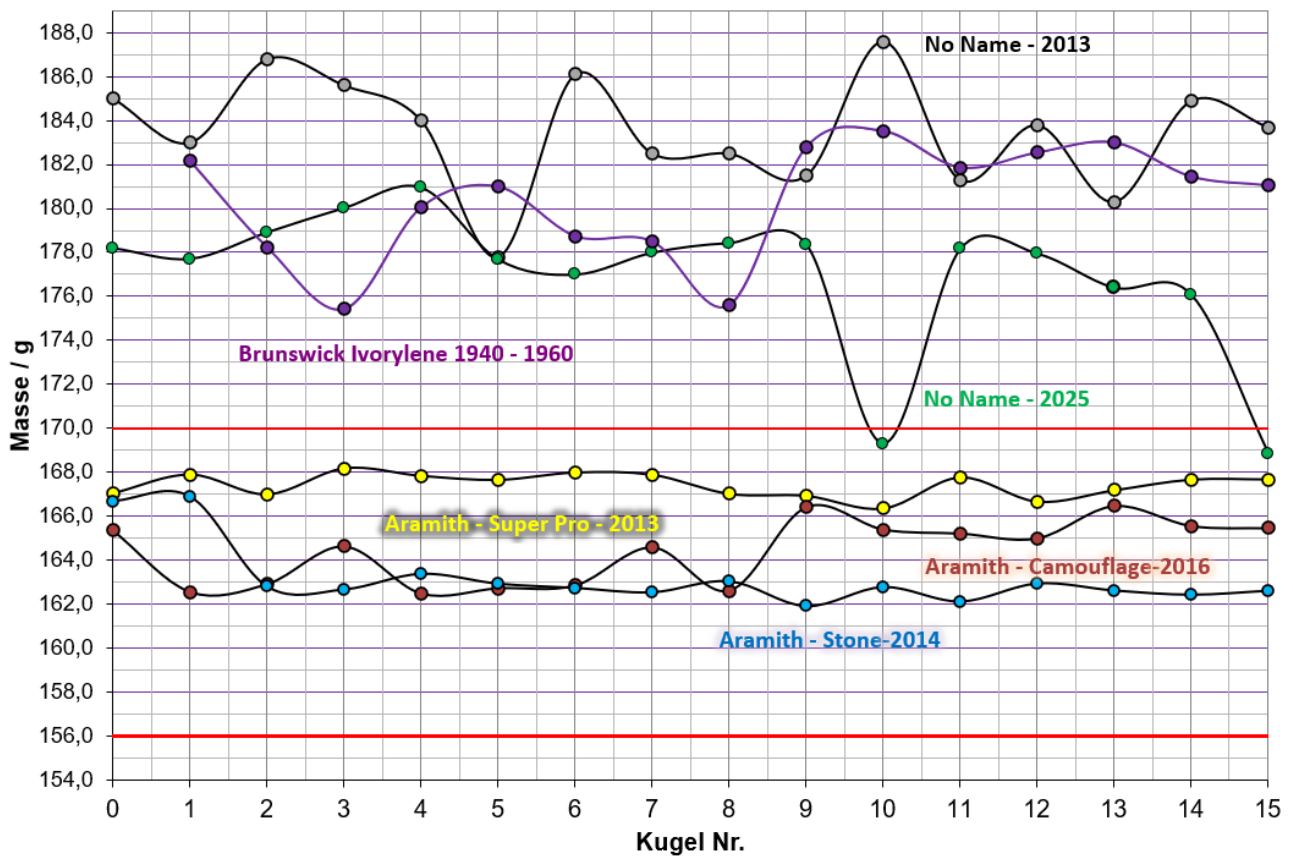


Bild 21: Massenverteilungen verschiedener Kugelsätze

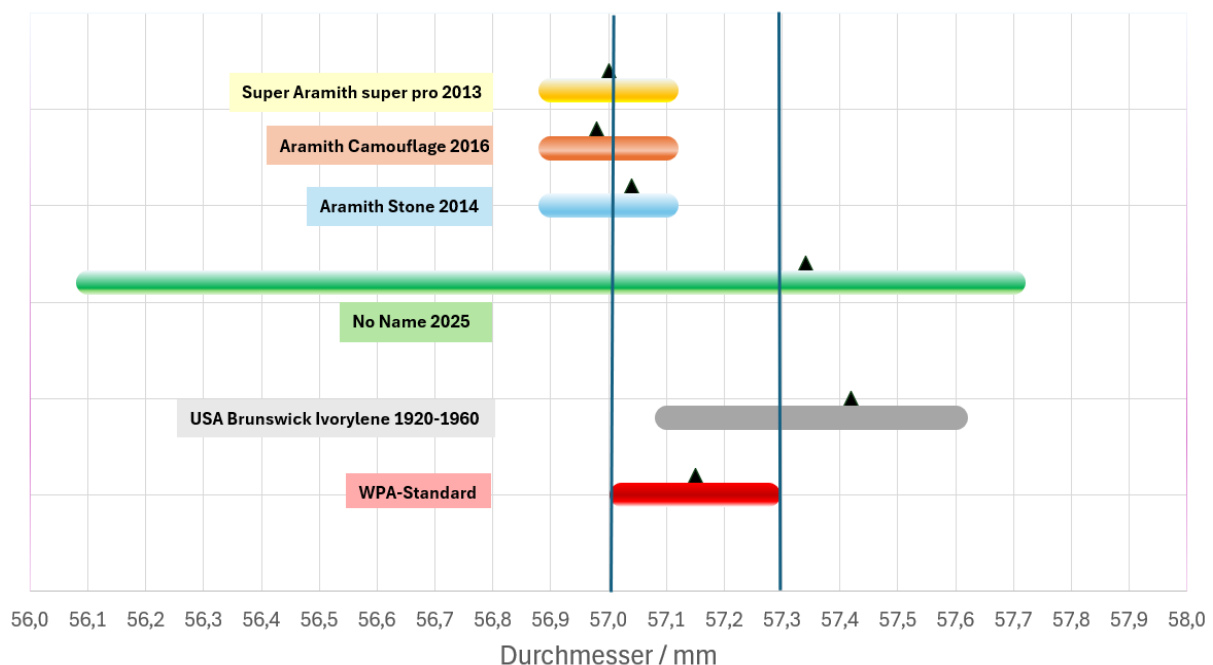


Bild 22: Durchmesserbereiche verschiedener Kugelsätze

Die Schwankungen bei den Massen der alten Kugeln der Firma *Brunswick* (1920-1960) sind sogar noch etwas geringer, als bei den *No-Name-Kugeln* von 2025 und der Durchmesserbereich ist kleiner und liegt teilweise im Normbereich. Das ist ein Hinweis darauf, dass damals hochwertige Kugelsätze bereits mit einer höheren Präzision gefertigt wurden, als heutige Kugelsätze auf Niedrigpreisniveau.

Der Durchmesserbereich der *Aramith-Kugeln* liegt teilweise etwas unter dem WPA-Normbereich. Eine Erscheinung, die wahrscheinlich auf das Alter der Kugeln zurückzuführen ist. Die Durchmesser der Kugeln wurden 2025 gemessen, nachdem über mehrere Jahre eine Massenabnahme stattgefunden hatte.

Die Massen der Turnierkugeln *Super Aramith Pro* wurden hinsichtlich der Massenverteilungen über einen Zeitraum von 12 Jahren untersucht.

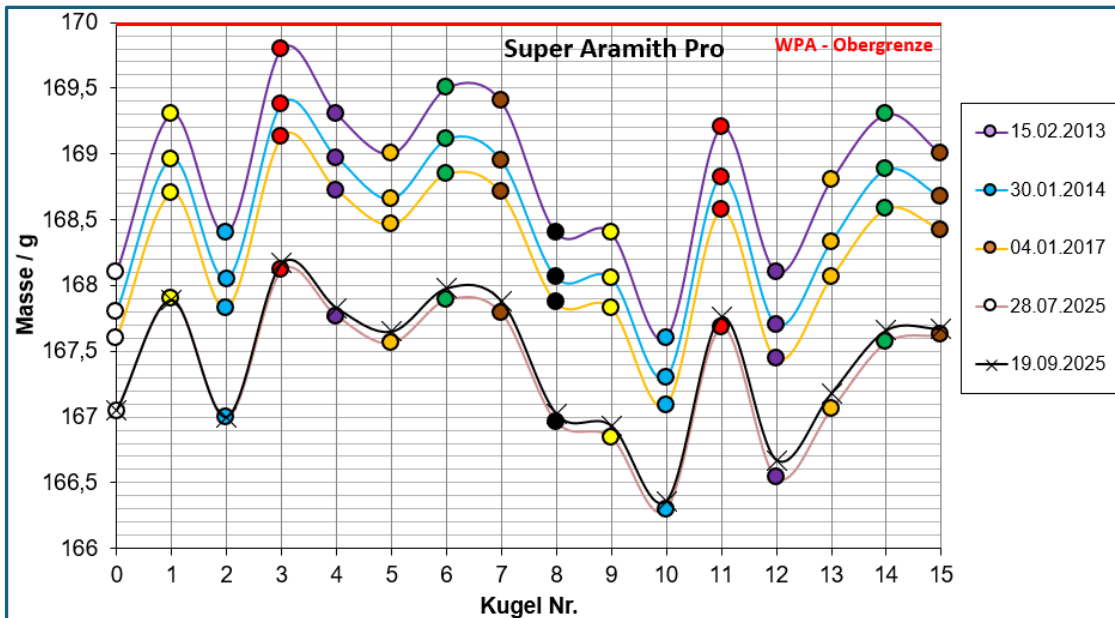


Bild 23: Kugelmassenverteilungen und Massenabnahme

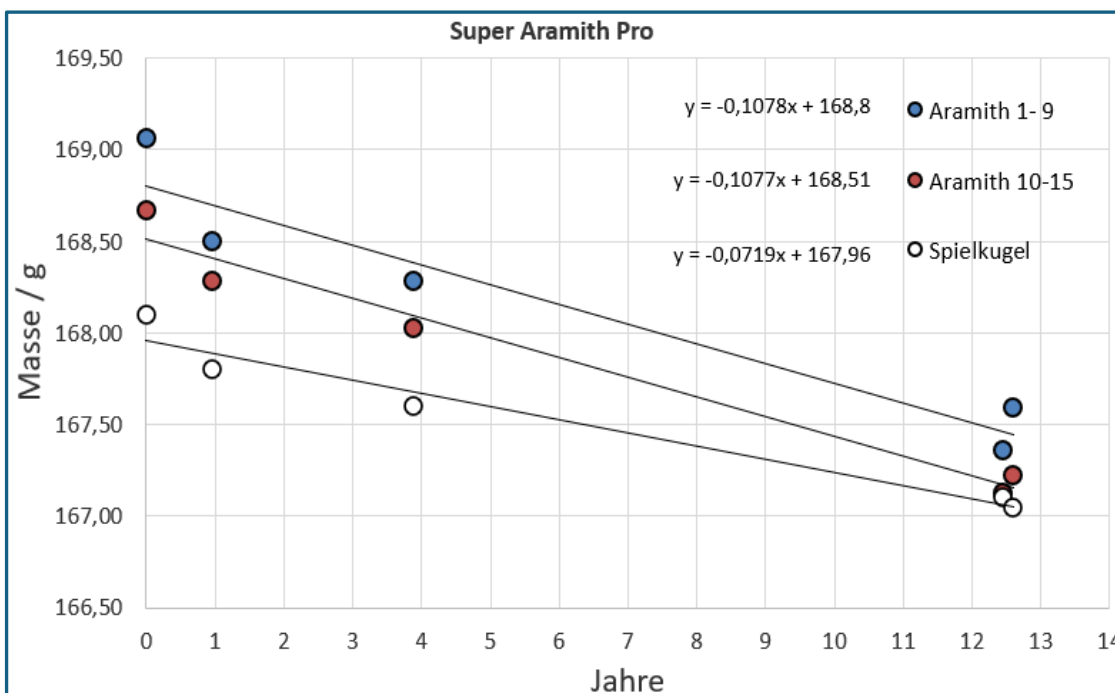


Bild 24: Lineare Regression zur Kugelmassenabnahme

Der Kugelsatz *Aramith Super Pro* wurde weitestgehend ohne die zugehörige weiße Kugel (0) gespielt, da mit einer *Aramith-TV-Kugel* gespielt wurde. Auch bei der weitgehend unbenutzten weißen Spielkugel ist aber ein Massenschwund festzustellen, wenn auch geringer als bei den Kugeln 1 – 15.

Die weiße Originalspielkugel wurde in einem Kasten im Dunkeln aufbewahrt und zeigte eine leichte Vergilbung, die mit einem Kugelreiniger und durch mehrfaches Polieren in einer Kugelpoliermaschine abgetragen werden konnte.

Bei der geringen Anzahl der Messdaten dient die lineare Regression lediglich, um einen Trend aufzuzeigen. Tatsächlich muss es sich nicht um einen linearen Zusammenhang handeln. Massenabnahmen wurden auch bei den kaum gespielten Aramith-Kugelsätzen *Camouflage* und *Stone* festgestellt, wenn auch weniger stark ausgeprägt. Bei einem ebenfalls selten gespielten Kugelsatz (*Guinnes*), der nicht aus Aramithkugeln besteht, wurde hingegen keine Massenabnahme festgestellt.

Tabelle 6: Trend bei der Massenabnahme verschiedener Kugelsätze

Aramith Super Pro	Massenabnahme pro Jahr	Massenabnahme 2013 - 2025
Originalspielkugel (weiß)	0,07 g / a	-1,05 g
1-9	0,11 g / a	-1,47 g
10-15	0,11 g / a	-1,45 g
Massenabnahme		
Aramith Stone	Masse 2014	Masse 2025
-0,81 g	163,98 g	163,17
Aramith Camouflage	Masse 2016	Masse 2025
-0,82 g	164,38 g	163,56
Kugelsatz Guinnes	Masse 2014	Masse 2025
+0,03 g	174,91	174,94

Die Abnahme der Massen bei *Aramith Super Pro* -Kugeln über einen langen Zeitraum kann auf eine Abnutzung durch das Spielen und Polieren der Kugeln zurückzuführen sein. Erstaunlich ist aber, dass zwischen den Kugeln 1-9 und 10-15 kein deutlicher Unterschied feststellbar ist, obwohl die Kugeln 1-9 viel häufiger benutzt wurden (8-Ball-Billard + 9-Ball-Billard). Auch bei der weißen, kaum benutzten Spielballkugel, wurde ein signifikanter Massenverlust festgestellt.

Es liegt die Vermutung nahe, dass aus dem *Aramith* im Laufe der Zeit geringe Spuren niedermolekularer Bestandteile diffundieren. Vielleicht handelt es sich um Substanzen, die auch dazu beitragen, dass *Aramith-Kugeln* sich im Vergleich zu *No-Name Kugeln* auch auf einen viel höheren Glanz polieren lassen.



Bild 26: Glanzvergleich zur Beurteilung der Polierbarkeit

Die Polierbarkeit auf Hochglanz stellt ein weiteres Qualitätsmerkmal von Billardkugeln dar. Verglichen wurde eine nicht gespielte *No Name-Kugel* von 2025 (links) mit einer seit 2013 gespielten *Aramith super pro Kugel* (rechts). Beide Kugeln wurden vor dem Vergleich in einer *Ballstar-Poliermaschine* in drei Durchgängen gründlich poliert.

4.2 Ein Blick in das Innere von Billardkugeln

Von 6 Billardkugeln wurden Schnitte für weitere Untersuchungen angefertigt.



- 1) Ivorylene Brunswick
1920 - 1950 (Pool)
- 2) Ivorylene Brunswick
1940 - 1960 (Pool)
- 3) Crystalate
1920 - 1950 (Snooker)
- 4) Polyester
No Name 2025 (Pool)
- 5) Polyphenol
Aramith Premier 2025 (Pool)
- 6) Kunststoff
1960 - 1990 (Snooker)

Die beiden *Ivorylene-Kugeln* (1 und 2) der Firma *Brunswick* weisen unterschiedliche Kerne auf, wobei Kugel 1 aufgrund der Rissbildungen als älter eingestuft wird. Offenbar hat *Brunswick* die Kugeln im Laufe der Produktionsgeschichte weiter optimiert, sicher auch in Hinblick auf die Produktionskosten. Der Kern von Kugel 2 besteht wahrscheinlich aus recycelten alten *Ivorylene-Kugeln*. Rissbildungen sind ein Hinweis auf echte antike Kugeln, basierend auf Zelluloid.



Auch wenn die Stärke und Anzahl der Rissbildungen sicherlich von der Häufigkeit der Benutzung abhängt, sind Rissbildungen bei älteren Kugeln häufig stärker ausgeprägt. Die in der Literatur [19] abgebildete "erste" Hyatt-Billardkugel von 1868 weist eine ausgeprägte Rissbildung auf.

4.3 Dynamische Differenzkalorimetrie

Bei der Dynamischen Differenzkalorimetrie befinden sich zwei Tiegel aus dem gleichen Material in einem Ofen. Die Tiegel haben annähernd die gleiche Größe, gleiche Masse, gleiche Wärmekapazität und gleiche Wärmeleitfähigkeit. Ein Tiegel dient als Referenztiegel, in den anderen Tiegel wird eine Probe eingebracht, die möglichst genau eingewogen wird. Die Einwaagen liegen etwa zwischen 5 mg und 40 mg.

Beide Tiegel werden in dem Ofen mit einer vorgegebenen Heizrate über ein Temperaturprogramm erhitzt. Bei der *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) werden die Wärmeströme, die in die Zellen gelangen, gemessen. Ein Wärmestrom in Abweichung zum leeren Referenztiegel kann schon alleine durch die Wärmekapazität der Probe auftreten, denn durch den Zelleninhalt kann der Tiegel mit dem Probematerial für die gleiche Temperaturänderung mehr Wärme aufnehmen. Beim Schmelzen der Probe geht ein (im Vergleich zur Referenz) zusätzlicher Wärmestrom als Schmelzenthalpie in das Probematerial. Bei chemischen exothermen Reaktionen, wie Oxidationen im Luftstrom, wird ein zusätzlicher Wärmestrom aus dem Tiegel durch die chemische Reaktion frei.

Aufgezeichnet wird über eine Auswertungssoftware die Wärmestromdifferenz zwischen Probetiegel und Referenztiegel in mW gegen die Temperatur in °C. Durch Integration über die Zeit können Wärmekapazitäten und Enthalpieänderungen berechnet werden. Die DSC-Messungen wurden mit der *DSC 20* mit einem *TC15 TA Controller* der Firma *Mettler Toledo* durchgeführt.

Es konnte gezeigt werden, dass über die DSC-Messungen antike Kugeln auf Basis von Zelluloid sicher identifiziert werden können. Nachweisbar sind diese an einem ausgeprägten Peak (zwischen 195°C und 205°C), der durch die exotherme Reaktion des Zelluloidanteils im Luftstrom entsteht. Die Peaks konnten mit einem als Zelluloid gekennzeichnetem Kunststoff als Referenzstoff bestätigt werden.

Bild 29 zeigt einen Vergleich der DSC-Kurven für *Ivorylene* (Kugel1), *Ivorylene* (Kugel2) und *Crystalate* (Kugel 3). Alle Kurven zeigen Peaks auf Zelluloidbasis.

Durch Integration der massenbezogenen Wärmestromdifferenz über den Zeitbereich im betrachteten Temperaturintervall des Peaks erhält man die massenbezogene Wärmemenge aus der chemischen Reaktion des Zelluloids.

Ein Vergleich dieser massenspezifischen Wärmemengen lässt Rückschlüsse auf den Zelluloidgehalt zu. Je höher diese Wärmemengen sind, desto größer wird der Zelluloidanteil in der Probe sein.

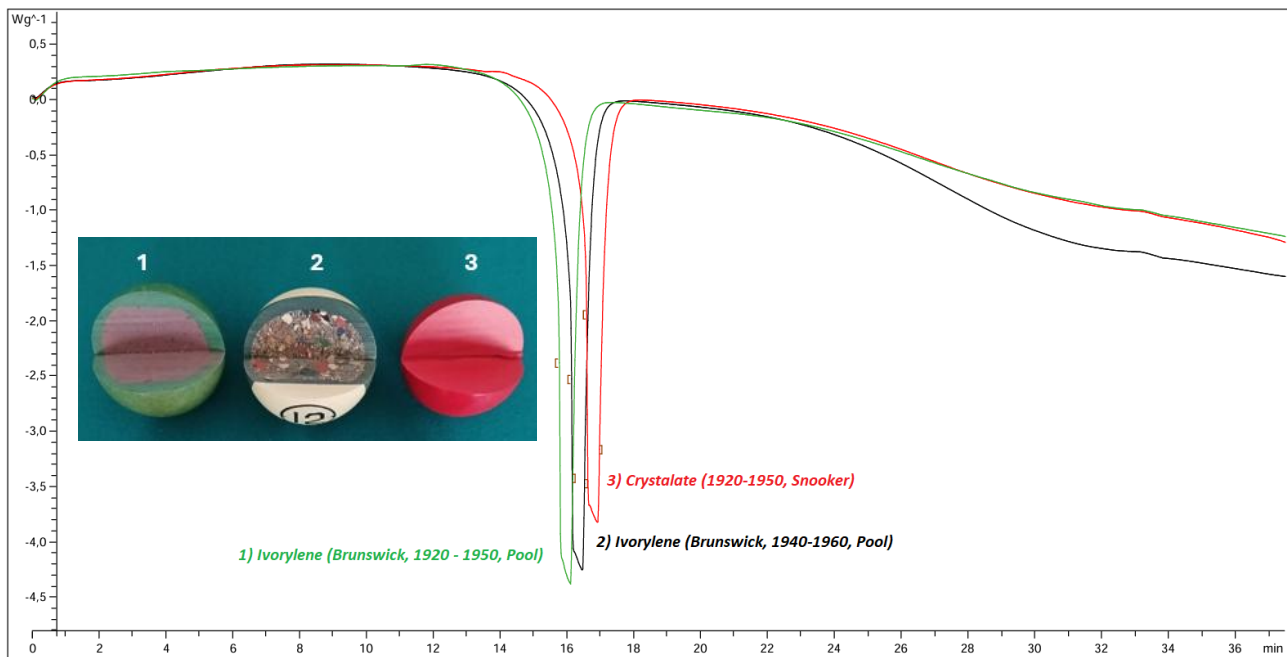


Bild 29: Vergleich der DSC-Kurven Ivorylene (1 und 2) und Crystalate (3)

Tabelle 7 zeigt eine Übersicht zu den gemessenen massenbezogenen Wärmemengen

Probe	Material	Einwaage / mg	Integral / mJ	ΔQ_s / mJ · g ⁻¹	Peak / °C	Heizrate / °C · min ⁻¹
1 (Hülle)	Ivorylene	28,2	-5225,53	-185,30	199,40	10
1 (Kern)	Ivorylene	22,6	-4458,03	-196,07	197,26	10
2 (Kern)	Ivorylene	23,1	-4570,53	-197,26	196,07	10
3 (Kern)	Crystalate	26,0	-4406,17	-169,47	204,03	10
Referenz	Kunststoff mit Zelluloid	24,4	-8156,58	-334,29	198,70	10

In Literatur ist für den Zellulosenitratanteil bei *Crystalate* ein Wert von 20,2 % und Campheranteil von 3,8% angegeben [19]. Für *Ivorylene* wurde für den Zellulosenitratanteil 16,3 % und für den Campheranteil 4,1 % angegeben [19]. Der Zelluloidanteil liegt damit bei Ivorylene und Crystalate zwischen 20,4% und 24,0 %. Die relative Abweichung vom Mittelwert beträgt 16,2%. Die Wärmemengen der DSC-Messungen lassen darauf schließen, dass der Anteil des Zelluloids bei der untersuchten *Crystalate-Kugel* und den *Ivorylene-Kugeln* ebenfalls vergleichbar ist. Die Wärmemengen aus den Peaks durch die exotherme Reaktion des Zelluloids weichen relativ um 17,6 % vom Mittelwert ab.

Ein Vergleich der DSC-Kurven für *Aramith-Premier* (Pool, Kugel 5) und Kunststoff (Snooker, Kugel 6) zeigt, dass es sich beim Kunststoff (Snooker) mit großer Wahrscheinlichkeit ebenfalls um *Aramith* handelt, die Thermogramme sind sich sehr ähnlich und vergleichend in Abbildung 30 dargestellt.

In einem Satz mit 24 Snooker-Kugeln, der als antiker Kugelsatz unter *Crystalate Kugeln* verkauft wurde, konnten bereits aufgrund der Oberflächenbeschaffenheit und Dichte 6 Kugeln identifiziert werden, die offenbar nicht aus altem *Crystalate* gefertigt wurden. Die Kugel 3 (als echte *Crystalate-Kugel*) und Kugel 6 (als Ersatzkugel aus einem anderen Material) entstammen diesem Satz. Die Kugel 6 konnte bereits aufgrund der Oberfläche und Dichte als Ersatzkugel identifiziert werden, auch die Schnittfläche im Inneren der Kugel 6 ist deutlich heller, im Vergleich zu der echten *Crystalate-Kugel* 3 (siehe Bild 27).

Der Nachweis von antiken Kugeln auf Zelluloidbasis kann mit der DSC also leicht gelingen, aber nicht zerstörungsfrei. Erste sichere Hinweise auf alte Kugeln liefern die im Vergleich zu neuen Kugeln wesentlich höheren Dichten und Rissbildungen.

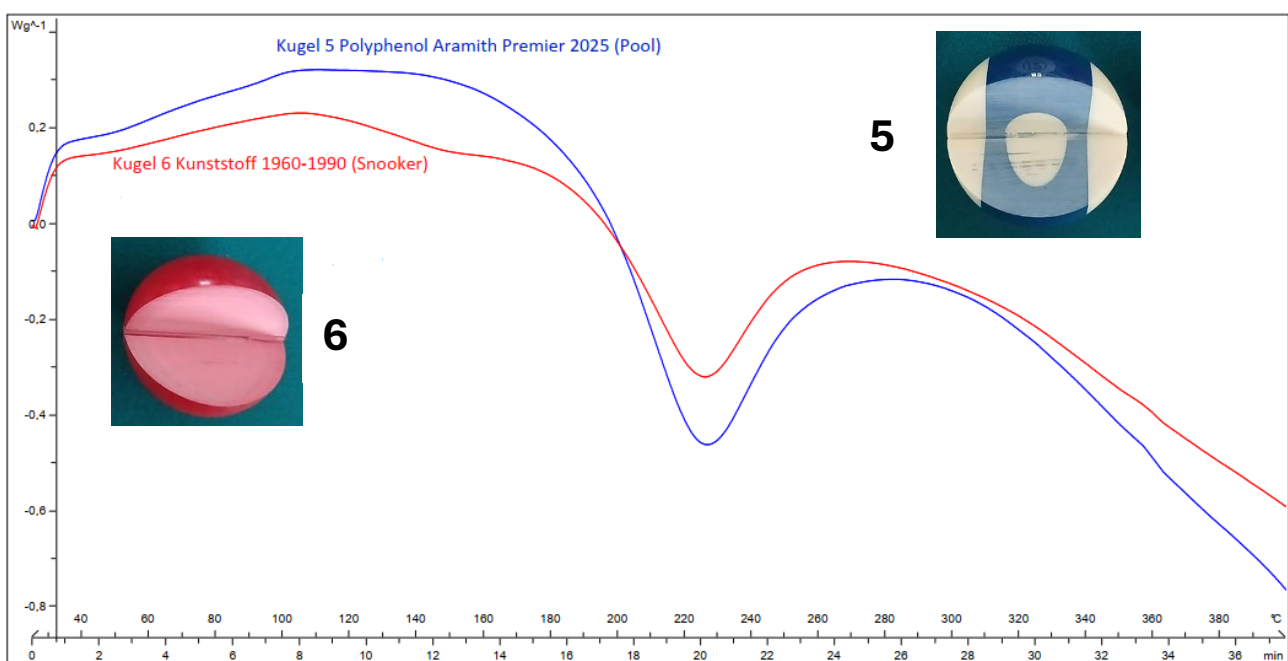


Bild 30: Vergleich der DSC-Kurven für Aramith Premier (Pool) und Kunststoff (Snooker)

Die Thermogramme der *Aramith-Kugel* und Polyester-Kugel (No-Name) zeigen in verschiedenen Temperaturbereichen unterschiedliches Vermögen, Wärme zu speichern. Ein Vergleich ist in Abbildung 31 dargestellt.

Durch die Stöße und durch die Reibung auf dem Tuch entsteht Wärme, die zu Temperaturerhöhungen und Brandspuren auf dem Tuch führen können. Bei hohen Wärmekapazitäten kann die Kugel mehr Wärme speichern und die Temperaturerhöhungen fallen dann kleiner aus. Dadurch können Brandspuren auf dem Tuch leichter vermieden werden. Aus diesem Grund ist das Verhältnis der spezifischen Wärmekapazitäten der *Aramith Premier-Kugel* (Preis 11,95 Euro) zu der Polyester-Kugel (Preis 2,99 Euro) von Interesse.

Bei der *Aramith Premier-Kugel* findet bis 190°C ein deutlich höherer Wärmefluss in die Probe statt, als bei der Polyesterkugel. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die *Aramith Premier-Kugel* bis 190°C ein größeres Wärmespeichervermögen aufweist als die Polyesterkugel.

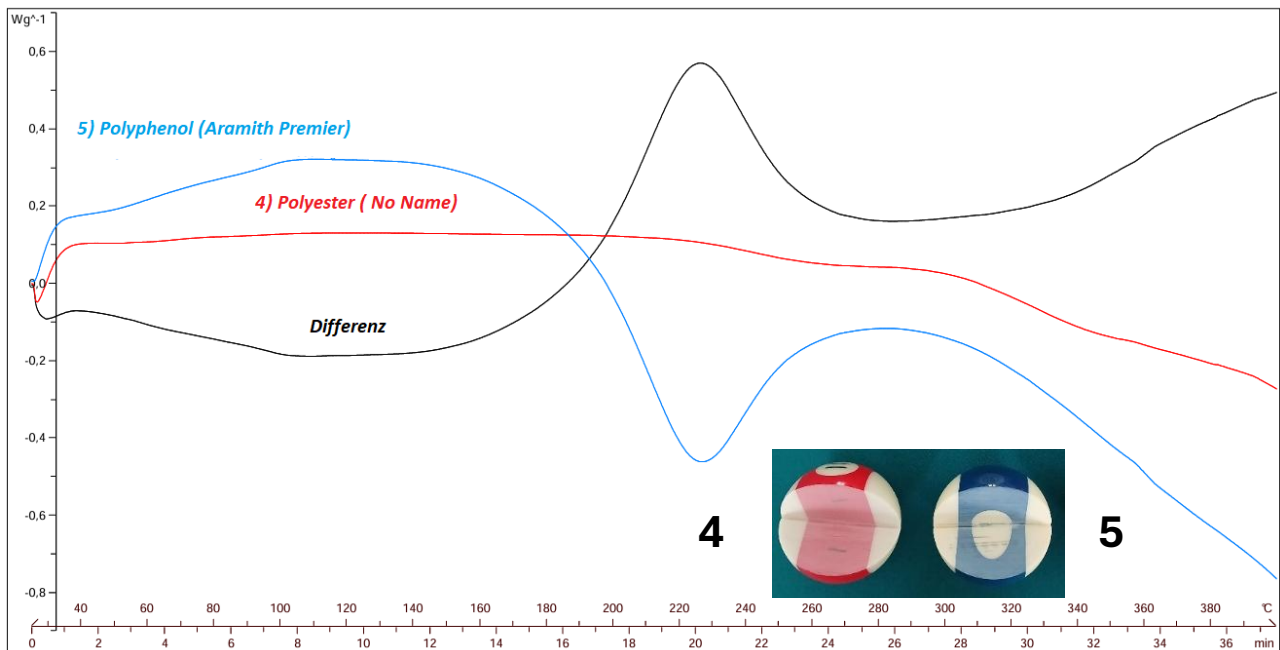


Bild 31: Vergleich der DSC-Kurven Polyesterkugel (Pool, Kugel 4) und Aramith Premier (Pool, Kugel 5), Differenzkurve (schwarz)

Im Temperaturintervall von 25°C - 190°C kann das Aramith zwischen $0,1 \text{ W g}^{-1}$ und $0,2 \text{ W g}^{-1}$ mehr Wärme pro Zeit aufnehmen als Polyester (Differenz 4-5). Bei höheren Temperaturen kehrt sich das Verhalten um und Aramith gibt Wärmemenge ab.

Von dem Aramith-Hersteller wird angegeben, dass bei Stößen teilweise von 0 km/h auf 30 km/h beschleunigt wird und dadurch Reibungstemperaturen von 250°C zwischen Kugel und Tuch erzeugt werden können. Die Aramith-Kugeln sollen dabei ihren hohen Glanz beibehalten und weniger Brandflecken auf dem Tuch erzeugen [3]. Eine Begründung hierfür könnte in der höheren Wärmekapazität im Temperaturbereich bis 190°C liegen.

4.4 ATR-Infrarotspektroskopie

ATR bedeutet "attenuated total reflection" (abgeschwächte Totalreflexion). Die Methode wird vorwiegend für die Oberflächenuntersuchungen von undurchsichtigen Stoffen eingesetzt. Für die ATR-Infrarotspektroskopie wurden aus den Kugeln glatte Scheiben geschnitten und an die Oberfläche eines Lichtwellenleiters gebracht. Die elektromagnetische Infrarotstrahlung dringt an der Grenzfläche in das Material ein, wobei bestimmte Wellenlängen aus dem IR-Bereich ($780 \text{ nm} - 1000 \mu\text{m}$) absorbiert werden. Durch Aufnahme einer bestimmten Strahlungsenergie können die Atome und Atomgruppen Schwingungszustände mit höherem Energieinhalt einnehmen. Voraussetzung dafür ist die Änderung des Dipolmomentes bei der Schwingung.

Die Bindungslängen der Moleküle können sich periodisch ändern, es liegt dann eine Valenzschwingung (Streckschwingung) vor. Die Bindung verhält sich dabei wie eine Feder. Es sind aber bei drei- und mehratomigen Molekülen auch Deformationsschwingungen möglich, dabei ändern sich die Bindungswinkel.

Die Energie der absorbierten elektromagnetischen Strahlung für die Schwingungsanregungen ist dabei für bestimmte Atome und Atomgruppen bei beiden Schwingungsarten charakteristisch. Das bedeutet, dass man aus einem Spektrum auf bestimmte Atome und Atomgruppen schließen kann. Bei einem Spektrum wird die Absorption oder Transmission (Verhältnis durchgelassener Lichtintensität zu einfallender Lichtintensität) gegen die Wellenzahl (Reziprokwert der Wellenlänge) aufgetragen. Die Wellenzahl ist zur Energie der elektromagnetischen Strahlung proportional. Aus den Wellenzahlen, bei denen ein Peak erscheint, können somit die Atome und Atomgruppen, aus denen das Molekül besteht, identifiziert werden. Für die Auswertung greift die Software in der Regel auf eine Spektren-Bibliothek zurück, um die Moleküle zu identifizieren.

Die Spektren zu Kugel 2 wurden mit einem *INVENIO S* -Spektrometer der Firma Bruker aufgenommen.

Spektren zu Kugel 2 (*Ivorylene Brunswick*)

Um nachzuweisen, dass die inhomogen erscheinende Kernmischung von Kugel 2 im Wesentlichen aus den gleichen Materialien wie die Hülle besteht, wurden von Kugel 2 an verschiedenen Stellen des inneren Kerns und von der grünen Hülle (grünes Spektrum) ATR-IR-Spektren angefertigt und verglichen. Der Vergleich zeigt, dass die Spektren nahezu identisch aussehen. Das lässt darauf schließen, dass die verschiedenen Farbbereiche im Inneren der Kugel aus dem gleichen Material bestehen und auch dem Material der Hülle entsprechen. Dies stützt die Vermutung, dass das Innere der Kugel aus recyceltem *Ivorylene* alter Kugeln stammt. Eine solche Recycling-Möglichkeit bietet der Einsatz von modernen Duroplasten für Billardkugeln nicht.

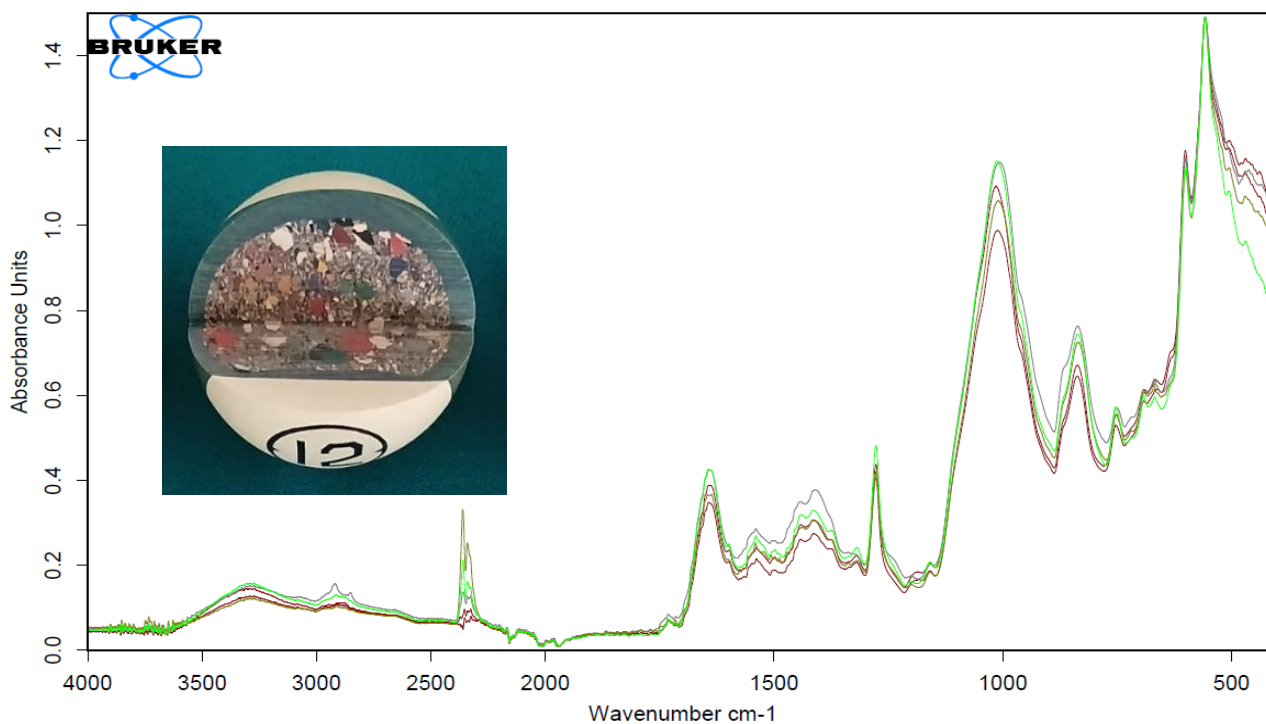


Bild 32: Vergleich von ATR-IR-Spektren unterschiedlicher Kernbereiche und Hülle (grünes Spektrum) der Kugel 2

Die übrigen Spektren wurden mit dem *Nicolet iS50 FT-IR* der Firma *Thermo Fisher Scientific Inc.* angefertigt.

Wie bei den DSC-Messungen wurden die Messungen zu den Kugeln 1,2 und 3, die Messungen zu den Kugeln 5 und 6 und die Messungen zu den Kugeln 4 und 5 miteinander verglichen.

Spektren zu den Kugeln 1,2 und 3

Alle Spektren weisen sehr ähnliche Banden auf, die erkennen lassen, dass es sich bei *Crystalate* und *Ivorylene* um sehr ähnliche Materialzusammensetzungen handeln muss. Die Banden stimmen im Wesentlichen mit den in der Literatur [19] präsentierten Banden aus den Spektren für den Hyatt-Ball, Knochen, Zellulosenitrat und Campher überein.

Damit handelt es sich um echte antike *Ivorylene-Kugeln* und um eine echte antike *Crystalate-Kugel*. Diese Kugeln weisen Zusammensetzungen auf Basis von Zelluloid und Knochenmaterial in Anlehnung an die *Bonzoline-Kugeln* nach Hyatt auf.

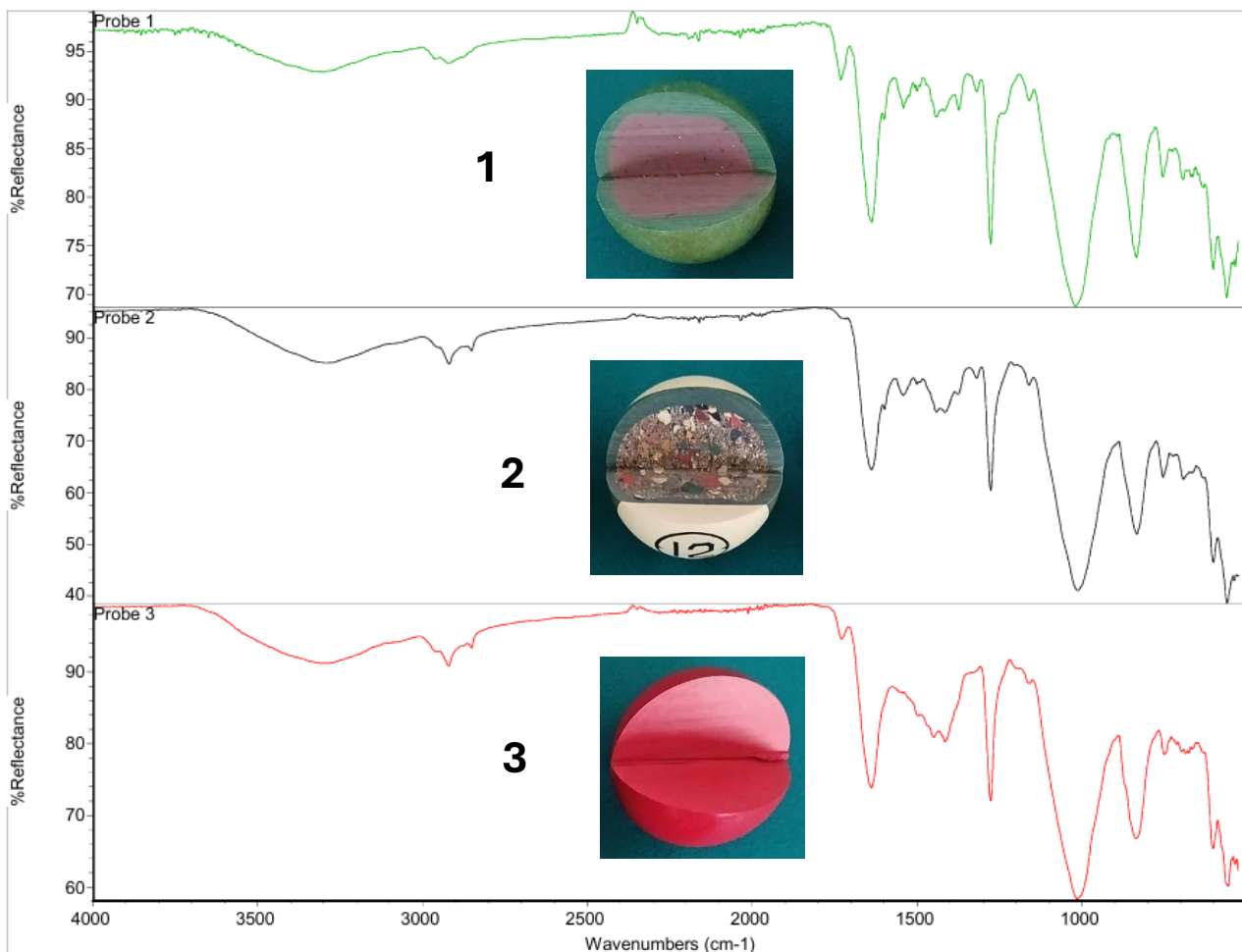


Bild 33: ATR-IR-Spektren von antiken Kugeln [Kugel 1 und 2 (Ivorylene) und Kugel 3 Crystalate]

Spektren zu den Kugeln 5 und 6

Wie auch die Ergebnisse aus den DSC-Messungen zeigten, lässt sich vermuten, dass Kugel 5 und Kugel 6 aus einem ähnlichen Material bestehen.

Beide Spektren sind sehr ähnlich und unterscheiden sich nur geringfügig in einzelnen Bereichen bei den Intensitäten.

Ein Vergleich mit einem Spektrum zu *Bakelit* aus der *CAS Scifinder-Datenbank* zeigt, dass es sich in beiden Fällen um ein Phenolharz ähnlich dem *Bakelit* handeln muss.

Charakteristisch ist der breite Bandenbereich zwischen 2800 cm^{-1} und 3500 cm^{-1} mit OH-Valenzschwingungen, C-H-Valenzschwingungen des Benzolringes und C-H-Valenzschwingungen der CH_2 -Gruppen [23] (vergleiche hierzu auch den Strukturausschnitt zu Phenolharz in Abb. 18).

Bei *Bakelit* ist dieser Bereich im Vergleich zu den anderen Banden noch stärker ausgeprägt als bei den gemessenen Spektren. Bei der in einem alten Kugelsatz als *Crystalate* gekauften Kugel 6 handelt es sich also mit großer Wahrscheinlichkeit um eine viel jüngere Kugel auf Basis von *Aramith*, während die mit dem gleichen Satz erworbene Kugel 3 tatsächlich eine alte *Crystalate-Kugel* darstellt.

Wahrscheinlich wurden fehlende antike Kugeln durch neuwertige Kugeln ersetzt und der ganze Satz als vollständiger Satz alter Kugeln verkauft.

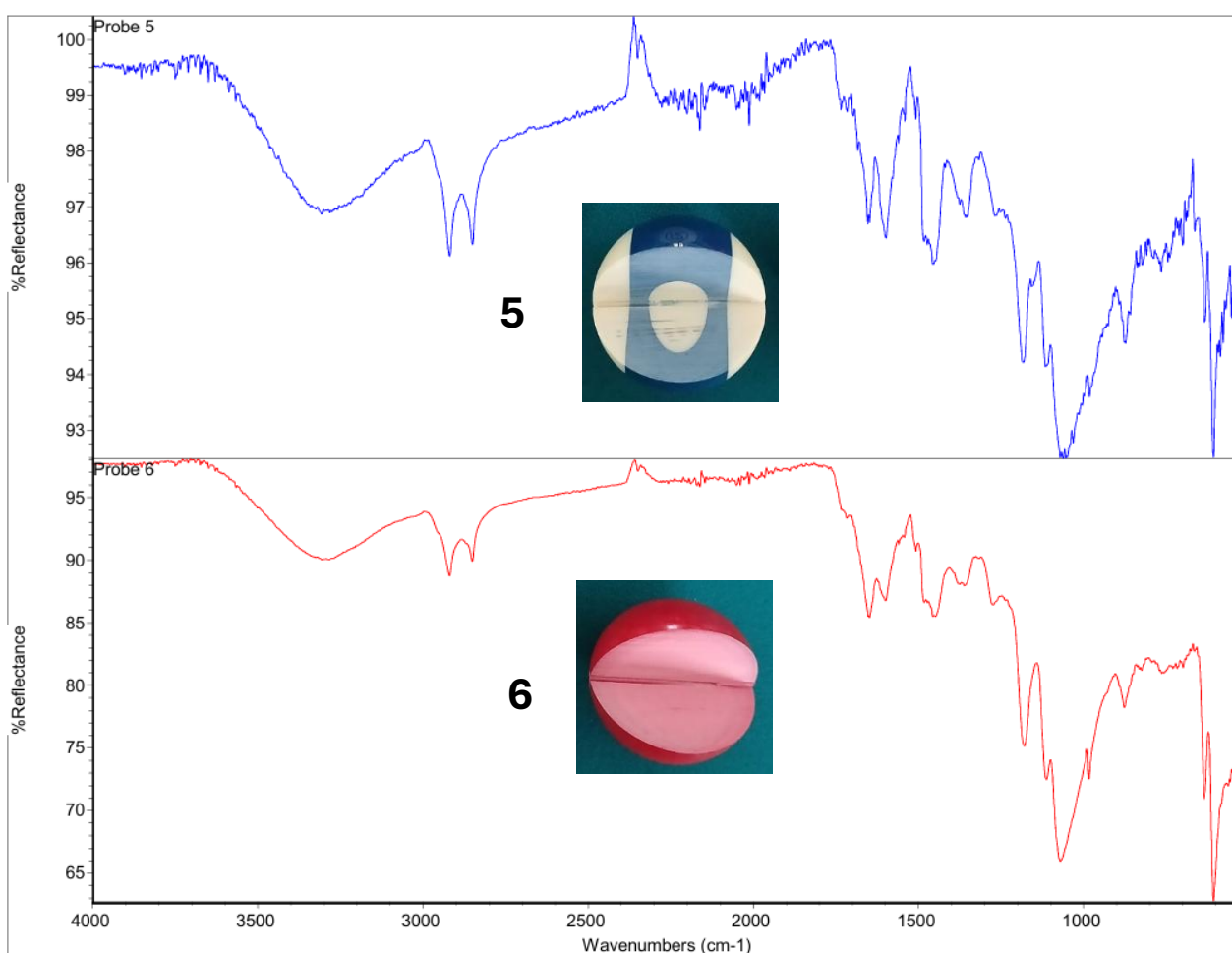


Bild 34: ATR-IR-Spektren von Kugeln auf Phenolharzbasis

Spektren zu den Kugeln 4 und 5

Bei den DSC-Messungen konnten bereits Unterschiede in den temperaturabhängigen Wärmeflüssen nachgewiesen werden. Die Spektren von Kugel 4 und 5 weisen Unterschiede auf, aber auch Gemeinsamkeiten.

Der Bandenbereich zwischen 2800 cm^{-1} und 3500 cm^{-1} mit OH-Valenzschwingungen, C-H-Valenzschwingungen des Benzolringes und C-H-Valenzschwingungen der CH_2 -Gruppen ist bei der Aramith-Kugel (blau) entsprechend einem Phenolharz viel stärker ausgeprägt. Bei der roten Polyesterkugel sind ebenfalls phenolische Gruppen erkennbar, aber im Vergleich zu der blauen Aramith-Kugel in weitaus geringem Umfang. Bei der roten Polyesterkugel 4 weisen die beiden ausgeprägten Banden zwischen 500 cm^{-1} und 1000 cm^{-1} auf substituierte Aromaten hin [24]. Die einzelne Bande bei etwa 1750 cm^{-1} stellt bei Kugel 4 eine C=O -Valenzschwingung dar (C=O bei 1740 cm^{-1} für Essigsäurebenzylester [24]). Die Carbonylgruppe (C=O) stammt aus den Esterbindungen.

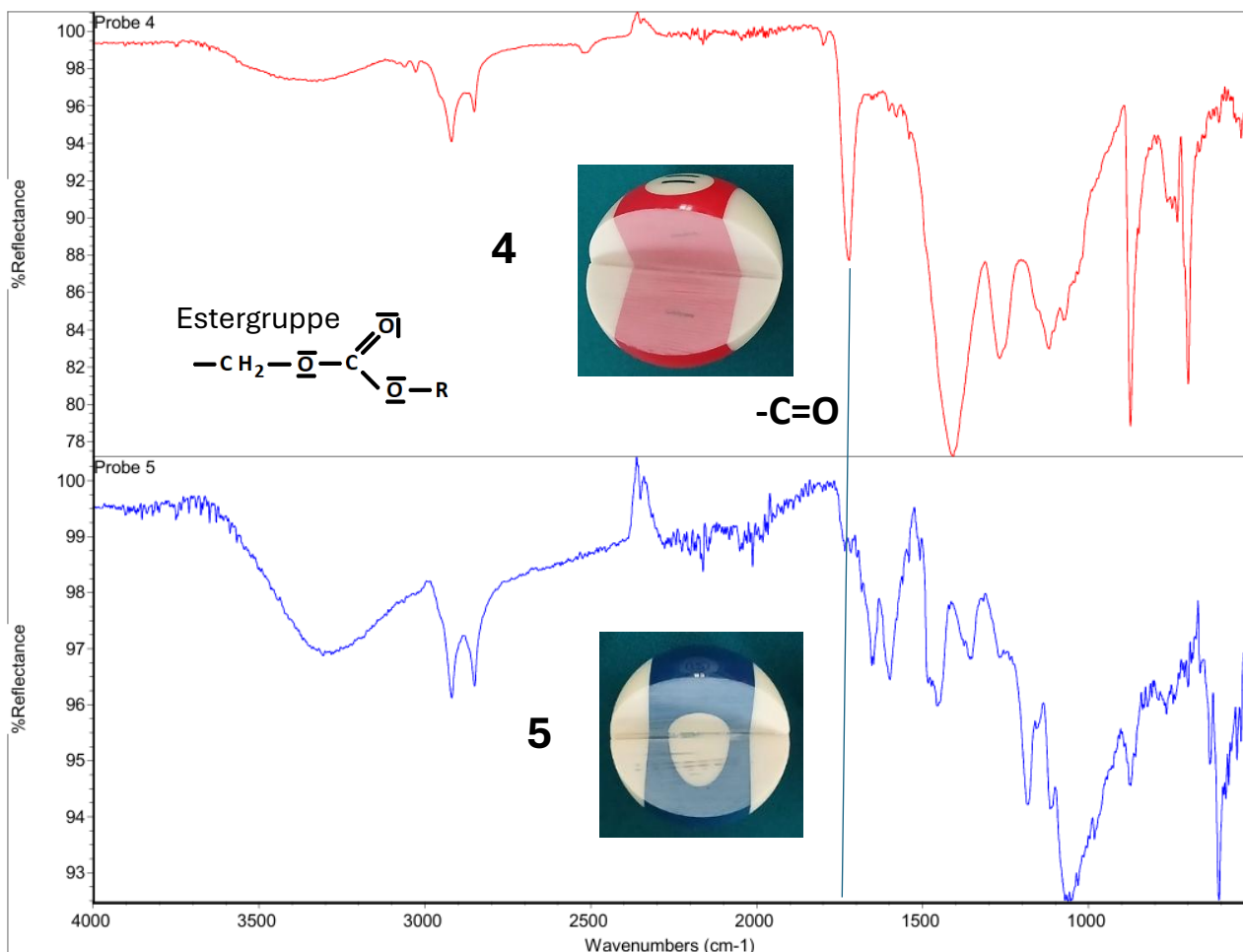


Bild 35: ATR-IR-Spektren von einer Polyesterkugel 4 (rot) und einer Phenolharz-Kugel (Aramith Premier) 5 (blau)

Mit der ATR-IR-Spektroskopie können alte Kugeln auf Zelluloid leicht identifiziert werden und von neuen Kugeln unterschieden werden. Moderne Billardkugeln unterschiedlicher Qualitätsklassen weisen aufgrund der unterschiedlichen duroplastischen Kunststoffe in den Spektren entsprechende Unterschiede auf. Bei den hochwertigen Aramith-Kugeln sind die Banden der Kohlenstoffatome der Benzolringe wesentlich stärker ausgeprägt, während bei dem viel preisgünstigeren Polyesterkugeln eine Carbonylbande der Ester erscheint, die bei Aramith nicht zu sehen ist.

5 Ein Blick zurück und ein Blick nach vorne

Nach der “Verwandlung” von Schlägern in Queues, Ende des 17. und Anfang des 18. Jahrhunderts wurde Anfang des 19. Jahrhunderts durch den Einsatz von Leder auf den Queuespitzen das Spiel mit Effet möglich und der hinzugewonnene Ballzauber führte zu einer zunehmenden Beliebtheit des Billardspiels.

Ab Mitte des 19. Jahrhunderts kam durch die Spielflächen aus Schiefer und nach der Entdeckung der Vulkanisation des Kautschuks mit den elastischen Banden eine hohe Präzision in das Spiel. *Balabushka* erschuf im 20. Jahrhundert zweiteilige Queues, die aufgrund ihrer Präzision bis heute legendären Ruhm erlangten. Durch die Entwicklung des Zelluloids Ende des 19. Jahrhunderts und die ersten Synthesen von Duroplasten Anfang des 20. Jahrhunderts konnte Elfenbein als Material für Kugeln ersetzt werden. Die Synthese neuer Kunststoffe führte zu immer weiteren Entwicklungen, auch bei den Billardtöchern.

Heute ist in diesem Sport ein wahrer Ballzauber mit höchster Präzision möglich und man könnte meinen, dass alle Möglichkeiten bereits ausgereizt sind. Doch wer hätte sich im 19. Jahrhundert Billardkugeln aus *Aramith* vorstellen können und wer hätte im 20. Jahrhundert an einen Queue-Schaft aus Carbonfasern gedacht?

Auch wenn ein heutiger hochwertiger Queue nicht besser sein muss als ein handgefertigter *Balabushka* aus dem 20. Jahrhundert und Aramith-Kugeln in ihrer Präzision und Polierbarkeit kaum zu übertreffen sind, werden weitere Entwicklungen nicht ausbleiben.

Untersuchungen haben gezeigt, dass die Qualität alter Kugelsätze hinsichtlich der Ballverteilungen teilweise besser war, als bei modernen Billardkugeln auf Polyesterbasis. Die Untersuchungen zeigten auch, dass bei den alten Billardkugeln teilweise ein Recycling stattfand. Gerade heute wird ein Recycling von Kunststoffen im Hinblick auf Nachhaltigkeit immer wichtiger. Die heutigen Kugeln auf Basis von Duroplasten können aber nicht wieder eingeschmolzen werden. Vorteile kamen also durch Weiterentwicklungen auch abhanden. Dies kann auch an einer Absenkung der Produktionskosten liegen. Die heutigen Kugeln auf Basis von Duroplasten können in kurzer Zeit in hohen Stückzahlen produziert werden und nicht handgefertigte Queues hoher Qualität können noch zu moderaten Preisen erworben werden.

Der Bereich für weitere Optimierungen ist inzwischen sehr schmal geworden, trotzdem wird es wohl immer Neuerungen geben.

Zunehmend werden heute Billardhandschuhe aus Synthesefasern eingesetzt, um die Gleitreibung zwischen Stützhand und Queue zu verringern.

Wahrscheinlich wird ein virtuelles Billard in Zukunft ganz ohne Reibung zwischen Hand und Queue auskommen. Bei einem Spiel gegen eine KI im virtuellen Raum würden dann auch jegliche Raumbeschränkungen entfallen. Die Spielstärke des Gegners könnte man einstellen und es wären sogar Billardspiele in einer Besenkammer möglich.

Wahrscheinlich wird dem Billardspiel dadurch aber etwas verloren gehen und vielleicht haben wir heute das Glück, dieses Spiel nahe am Gipfel seiner Möglichkeiten mit einer hohen Präzision auskosten zu dürfen.

Literaturverzeichnis

[1]

Franz Schiffer, Billard, Pool, Snooker, Karambol, Regeln Technik, Geschichte, S.13, S. 26, S. 108, 1995, Hugendubel Verlag, ISBN 3-88034-733-6

[2]

Olaf Dorow, Der Magier aus Manila, Weser Kurier, 16.01.2018

<https://www.weser-kurier.de/bremen/sport/der-magier-aus-manila-doc7e3qi6xd9okx4v3ujif>

Aufgerufen: 16.07.2026

[3]

The Legend, Beschreibung zum Kugelsatz Super Aramith Pro, Firma Saluc, 2014

[4]

Ďud'a Rejl, Slivka, Mineralien Handbuch und Führer für den Sammler, S.12, S.13, S.14, Bechtermünzverlag, 1991, ISBN 3-86047-740-4

[5]

The WPA Sports Regulations, world Pool-Billard Association, Recommended Equipment Specifications (Effective November 2001)

[6]

Ralph Eckert, Sportliches Pool Billard I, Technik und Training nach dem PAT System Teil1, S. 156, Litho-Verlag, 2006, ISBN: 3-9810400-8-2

[7]

Beschreibung zum Cuetec Oberteil R₃₆₀ für die Queues "Edge" und "Oberon", Firma Cuetec, 2013

[8]

Beschreibung zum Cuetec Oberteil S.S.T. für den Queue "Player", Firma Cuetec, 2013

[9]

Control, Precision, Performance, Cynergy, Beschreibung zum 15 K Carbon Fiber Composite High Performance Playing Shaft, Firma Cuetec, 2025

[10]

Simpson, Brad, Paul Rubino, Victor Stein, Blue Book of Pool Cues (1.Aufl.) Blue Book Publications, ISBN: 1-886768-02-1

[11]

Normenkatalog der Deutschen Billardunion, Billardregel.de, Litho-Verlag & Ioannis, 2004

<https://billardregel.de/pool-billard/materialnormen/>

Aufgerufen: 16.07.2026

[12]

Deutsche Billard Union e.V., Materialnormen Karambol, Handbuch Deutsche Billard-Union e.V.

[13]

Derek B. Lowe, Das Chemiebuch, Vom Schießpulver bis zum Graphen, 250 Meilensteine in der Geschichte der Chemie, S. 128, S. 236, S.302 Libero-Verlag, ISNB, 2016, ISBN: 978-90-8998-832-4

[14]

Bernd Tieke, Makromolekulare Chemie, eine Einführung, S.13, Wiley VCH, 2005, ISBN: 978-3-527-31379-2

[15]

Holleman Wiberg, Lehrbuch der Anorganischen Chemie, S.916, Walter de Gruyter, 1985, ISBN 3-11-007511-3

[16]

Simonis Cloth, eine kurze Geschichte

<https://iwansimonis.com/a-brief-history-2/>

Aufgerufen: 16.07.2026

[17]

Herstellerangaben auf der Homepage von Iwan Simonis

<https://iwansimonis.com/de/pool-cloth/>

Aufgerufen: 16.07.2026

[18]

Ernst F. Schwenk, Sternstunden der frühen Chemie, von Johann Rudolph Glauber bis Justus von Liebig, S. 208, Beck, 1998, ISBN 3 406 420524

[19]

Arthur Neves et al., Best billard ball in the 19th century: Composite materials made of celluloid and bone as substitutes for ivory, S.2,3,6, PNAS Nexus, 2, 2-11, 2023

[20]

Otto Krätz, Faszination Chemie, 7000 Jahre Kulturgeschichte der Stoffe und Prozesse, S.94 Callwey Verlag, 1990, ISBN 3-76667-0984-4

[21]

Eine stolze Tradition integren Wirtschaftens, Firmengeschichte, Billard, Brunswick Corporation

<https://www.brunswick.com/our-company/our-history>

Aufgerufen: 16.07.2026

[22]

Die Geschichte hinter Aramith, Produktbeschreibung Firma Saluc, 2026

<https://aramith.com/de/story-behind-aramith/>

[23]

Elefantenbestände in Afrika, Rettet die Elefanten Afrikas e.V., Kerpen, 2026

<https://reaev.de/wordpress/elefantenbestaende-in-afrika/>

Aufgerufen: 16.07.2026

[24]

Manfred Hesse, Herbert Meier, Bernd Zeeh, Spektroskopische Methoden in der Organischen Chemie, S.52, S.53, S.55, S.56, Georg Thieme Verlag, 1987, ISBN 3-13-576103-7

Danksagung

Herzlichen Dank an die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Technischen Hochschule Lübeck,
Herrn Stefan Bollmann und Prof. Dr. Thomas Müller Menzel für das Anfertigen der Kugelschnitte,

Dipl.-Ing. Ms. Sc. Sabine Löscher für die Mikroskopie,

Dipl.-Ing. Birgit Schädel und Prof. Dr. Ahmad Zeinolebadi für die ATR-IR-Messungen mit dem INVENIO
S -Spektrometer

Camilla Spykman M.Sc. und Prof. Dr. Veronika Hellwig für die ATR-IR-Messungen mit dem
Nicolet iS50 FT-IR -Spektrometer

Autoren

Prof. Dr. Peter Swidersky

Technische Hochschule Lübeck

Fachbereich Angewandte Naturwissenschaften

Peter.swidersky@th-luebeck.de

Dipl.-Ing. Andreas Sroka

Technische Hochschule Lübeck

Fachbereich Angewandte Naturwissenschaften

Andreas.sroka@th-luebeck.de

18.08.2026