

Mit besseren Werkstoffen zu neuen Rekorden

Neue Materialien ermöglichen Höchstleistungen im Sport. Das zeigt eine Ausstellung im Olympischen Museum in Lausanne.

Von **Jean-Jacques Daetwyler**

Bei den ersten Olympischen Spielen 1896 in Athen betrug das beste Resultat im Stabhochsprung 3,30 Meter. Der aktuelle Weltrekord von Sergei Bubka 1994 erzielt, liegt bei 6,14 Meter. Die Leistung hat sich in hunderten Jahren also fast verdoppelt. Dieser spektakuläre Fortschritt ist nicht nur auf die Technik und Vorbereitung der Sportler zurückzuführen. Sie ist zum grossen Teil den besseren Werkstoffen zu verdanken, aus welchen die Stäbe heute bestehen.

Der Anstieg der Rekorde in dieser Disziplin erfolgte auch nicht linear, sondern ruckartig. Immer wenn für den Stab ein geeigneteres Material verwendet wird, gehen die Leistungen in die Höhe und stabilisieren sich nach einigen Jahren. Ein erster Schub fand am Anfang des 20. Jahrhunderts statt, als Bambus statt Holz gebraucht wurde, ein zweiter folgte ab 1950 beim Übergang zu Aluminiumlegierungen, der dritte nach 1960 mit der Einführung der Verbundwerkstoffe.

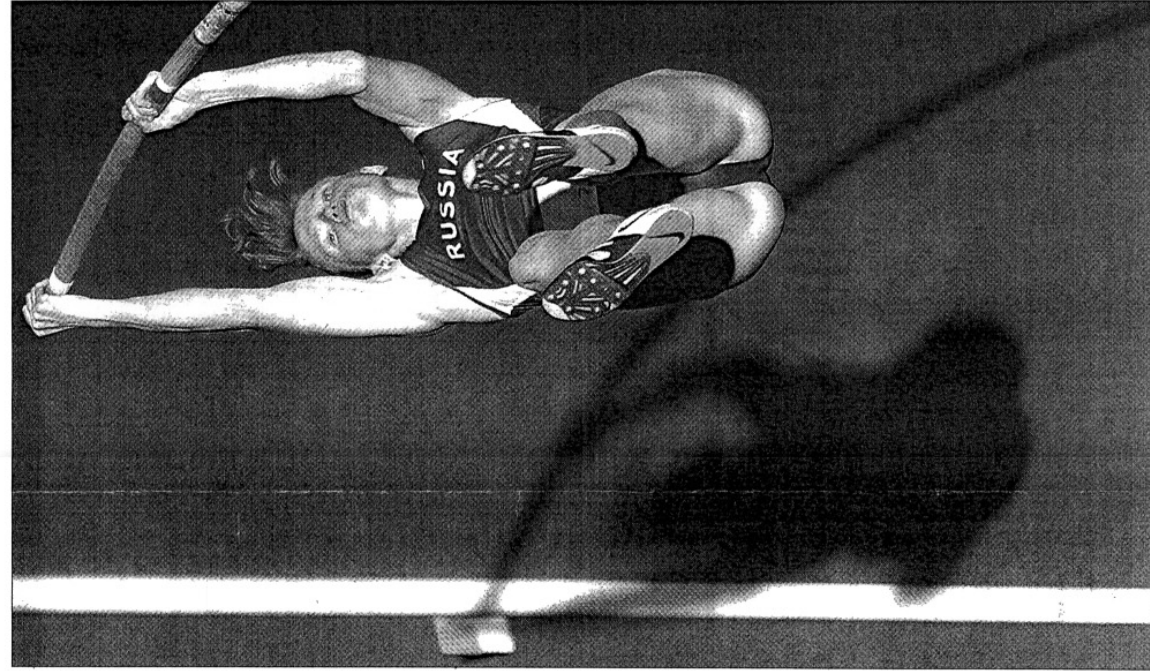
«Indem der Stab flexibler wird, kann er die Bewegungsenergie des Athleten effizienter als potenzielle Biegeenergie speichern und dann in potenzielle Höhenenergie umwandeln», erklärte Stephen Haake, Präsident der International Sports Engineering Association, kürzlich an einer Tagung in Lausanne. Eingeladen hatte das Institut für Materialforschung (IMX) der ETH Lausanne und der Polymer Group Switzerland. Das IMX ist auch Mitorganisator einer Ausstellung zum Thema «Werkstoffe im Sport», die zurzeit im Olympischen Museum in Ouchy bei Lausanne zu sehen ist.

Der Sport profitiert von der Materialforschung. Der Stabhochsprung ist dabei nur ein Beispiel unter vielen. Fast alle Teile eines heutigen Rennfahrrades enthalten Materialien, die vor einem halben Jahrhundert noch nicht zur Verfügung standen. Und wenn Skis immer noch einen Kern aus Pappelholz haben, der Torsionen gut widersteht, so ist dieser nur eines von bis zu zwölf verschiedenen Bestandteilen aus Kunststoff, Federstahl, Glas-, Kevlar- und Kohlenstofffasern.

Polymere mit Kohlenstofffasern

Der Sportbereich profitiert von Errungenschaften der Materialforschung, die zunächst für andere Anwendungen gedacht waren. So werden für heutige Golf- und Tennisschläger, Rahmen von Rennfahrrädern oder Pfeile für Bogenschützen wettkampftaugliche Werkstoffe gebraucht, die für neuere Generationen von Flugzeugen entwickelt wurden, etwa Verbundwerkstoffe, bestehend aus Polymeren und Kohlenstofffasern. Umgekehrt ist der Sportbereich aber auch Prüfstand für Werkstoffe, die später vielleicht in Raumschiffen oder Autos verwendet werden.

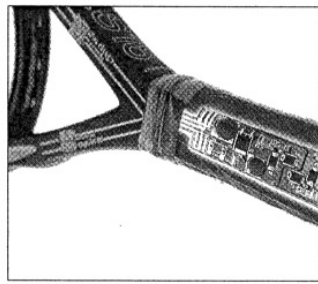
Zum Beispiel waren Laboratorien der ETH Lausanne am Bau der Alinghi, des Segelbootes für das Schweizer Team im Kampf um den America's Cup, beteiligt. Ein wichtiges Anliegen der Zusammenar-



Hoch hinaus: Die Russin Svetlana Feofanowa im Sprung. EZRA SHAW, ALLSPORT/KEystone

In Zukunft härter zu schlagen

Dieser Tennisschläger der jüngsten Generation enthält ein Netz aus piezoelektrischen Fasern – einem Material, das bei Verformungen einen geringen elektrischen Strom erzeugt. Die Fasern reagieren auf den Einschlag des Balls, indem sie die mechanische Energie in elektrische Energie umwandeln und eine Kraft erzeugen. Der Vorgang, der auch noch elektronisch gesteuert ist, erhöht die Steifheit und dämpft die Vibrationen des Schlägers. (I.J.D.)



Intelligent: Neuer Schläger. BILD J. DONATSCH

beit ist, innovative Verbundstrukturen für den Schiffsumpf zu entwickeln und ihre Widerstandsfähigkeit zu testen. Die Schiffe werden immer schneller; ähnlich wie bei Motorbooten, lassen die Wellen den Bug wild stampfen. Der Rumpf muss wohl leicht, aber auch sehr widerstandsfähig sein, sonst riskiert er zu brechen.

Das Material für den Rumpf ist eine Sandwichkonstruktion. Die relativ dicke Innenschicht mit einer Wabenstruktur aus Aluminium ist zwischen zwei Schalen aus Kohlenfasern eingeklemmt. Dieses Sandwichgebilde kann sowohl Zug- als auch Druckkräften widerstehen und ist dennoch sehr leicht. Der Rumpf wiegt nur 2 Tonnen. So kann der Wulst-Kiel aus Blei schwerer gemacht werden, und zwar um 20 Tonnen. Diese Verteilung des Gewichts sorgt für mehr Stabilität und ermöglicht somit einen wirkungsvolleren Einsatz der Segel, das heisst auch höhere Geschwindigkeiten.

Biologische Grenzen

Wenn leistungsfähigere Werkstoffe einerseits bessere sportliche Leistungen ermöglichen, so kann dies andererseits auch höhere Belastungen für Muskel, Sehnen und Knochen bedeuten. «Man kann nicht die Leistungen der Werkstoffe von Sportgeräten erhöhen, wenn die biologischen Materialien im Körper der Sportler nicht stark genug sind», warnte Edgar Stüssi, Leiter des Laboratoriums für Biomechanik der ETH Zürich. Er hat unter anderem ein Verfahren entwickelt, um die Steifheit des Schienbeins zu messen. Dadurch lässt sich auch die Wirkung des Trainings auf die Stärke des Knochens kontrollieren.

Impulse auf die Materialforschung erwartet man vom Sport noch in einer anderen Richtung: bei der Entwicklung umweltfreundlicher Werkstoffe. Golf- und Tennisschläger zählen heute zu den wichtigsten Anwendungen von Kohlenstofffasern. Die Auswirkungen auf die Umwelt sind jedoch beträchtlich, wenn man berücksichtigt, dass die Produktion eines Kilogramms dieser Fasern 2400 Liter Wasser und 6 Kilogramm Rohstoffe benötigt. Der Leiter des IMX, Jan-Anders Manson, fragt deshalb in seiner Einführung im Katalog der Ausstellung des Olympischen Museums: «Wann werden wir die ersten zu hundert Prozent umweltfreundlichen Tennisschläger kaufen können?»

Erfolg durch neue Materialien, Olympisches Museum Lausanne, täglich von 9 bis 18 Uhr, bis 16. März 2003.

Glänzende Aussichten für Titan

Titan ist leicht und beständig. Doch das weiss glänzende Metall hat einen Nachteil: Es ist teuer. Dies soll sich schon bald ändern.

Von Jean-Jacques Daetwyler

Kommt Anfang dieses Jahrhunderts eine Titanwelle auf uns zu, ähnlich wie vor 120 Jahren Aluminium Mode wurde? Dieses leichte, graue Metall war damals zwar teurer als Platin, aber Schmuck aus Aluminium galt als so attraktiv, dass man ihn durch mattiertes Silber nachahmte. Als schliesslich Aluminium in grösseren Mengen verfügbar und günstiger wurde, brauchte man es immer häufiger als Material für Nutzgegenstände, zum Beispiel für Kochpfannen für Elektroherde. An der Landesausstellung von 1939 in Zürich war sogar ein Pavillon des Aluminiums zu sehen.

Die Expo.02 wird dem Titan kein Showgebäude widmen. Und wird dieses Metall heute auch für Schmuck verwendet, so vor allem aus gesundheitlichen Gründen: Titan, das seit über zwanzig Jahren ohne nachgewiesene Allergiefälle für verschiedenartige medizinische Implantate eingesetzt wird, bietet auch beim Piercing die Garantie, dass keine Sensibilisierung stattfindet.

Prothesen sind heute eine wichtige, doch lange nicht die einzige Anwendungsmöglichkeit von Titan. Die «International Titanium Association» führt über 20 Einsatzgebiete für dieses Metall auf. Titan lässt sich gut dehnen und verformen, ohne zu brechen, und hat eine relativ hohe Schmelztemperatur. Deshalb sind das Metall und seine Legierungen ein ausgezeichnetes Strukturmaterial, vor allem wenn es darauf ankommt, das Gewicht zu minimieren – so bei Flugzeugen, Rennautos, Sportfahrrädern oder leichteren Notebooks. Denn Titan ist fast zweimal leichter als Stahl (jedoch anderthalbmal schwerer als Aluminium).

Magnete und Bratpfannen

Aber auch andere Eigenschaften des Materials werden genutzt. Die Magnete des im Bau stehenden Grossbeschleunigers LHC am Europäischen Labor für Teilchenphysik Cern bei Genf werden 630 Kilometer supraleitende Kabel aus einer Titan-Niob-Legierung erhalten. Und mit Titan gebundene Antihafbeschichtungen machen Bratpfannen widerstandsfähiger. Wegen der hohen Korrosionsbeständigkeit gegenüber zahlreichen natürlichen und chemischen Substanzen wird Titan in der Chemie-, Papier- und Textilindustrie eingesetzt, aber auch in Meerwasserentsalzungsanlagen.

Doch das Wundermaterial hat einen Nachteil: Es ist teuer. Titan kostet ein Mehrfaches von Edelstahl. Deshalb kommt es meist nur dann zum Einsatz,

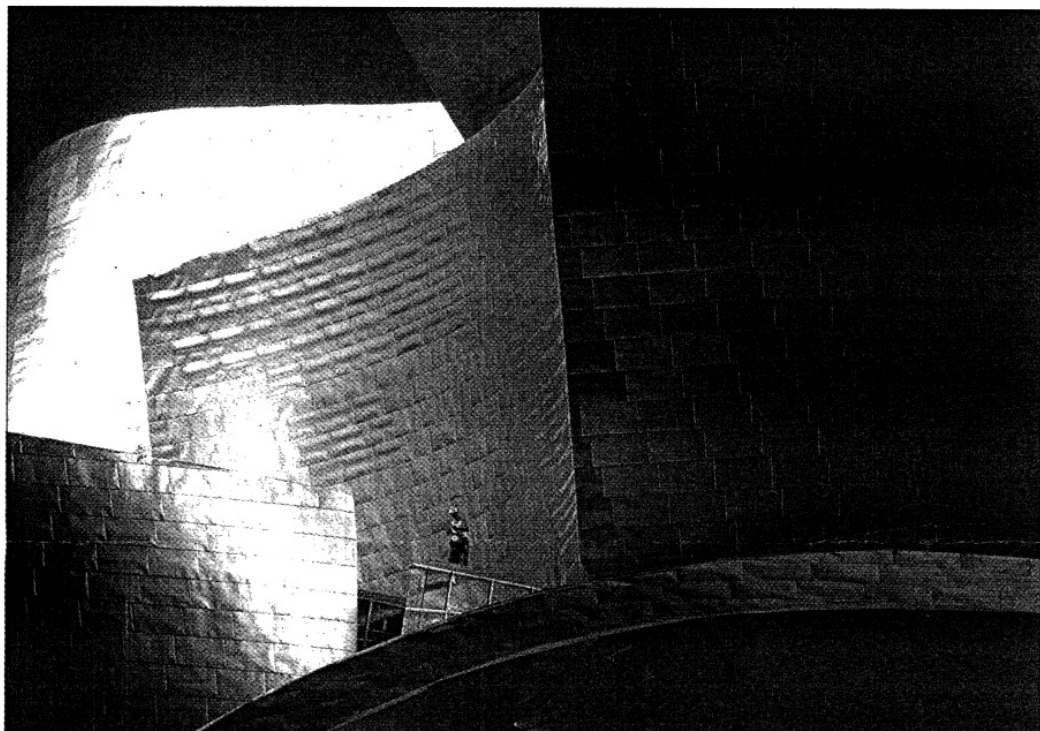


BILD ERIK SAMPERS/GAMMA

Das Guggenheimmuseum in Bilbao wurde mit einer Metallschicht aus Titan verkleidet.

wenn seine Vorteile eine wichtigere Rolle spielen als der Preis oder wenn die geringen benötigten Mengen in den Gesamtkosten einer Anwendung nicht ins Gewicht fallen. So sind Dünnschichten aus Titandioxid eine Basiskomponente neuartiger, viel versprechender Solarzellen, die sogar billigeren Sonnenstrom produzieren könnten. Ein Einsatz von Titan im grossen Massstab, wie er aus ästhetischen Gründen beim Guggenheimmuseum im spanischen Bilbao vorgenommen wurde, ist hingegen eine Ausnahme. Der Stararchitekt Frank Gehry liess dort Wände und Dach des Gebäudes mit diesem Metall verkleiden.

Titan ist nicht deswegen teuer, weil es etwa selten wäre. Mengenmässig ist es das neunthäufigste Element in der Erdkruste. Wichtige Vorkommen gibt es in geografisch und politisch gut zugänglichen Gebieten, zum Beispiel in Nordamerika, Japan und Russland. Doch das Metall wird heute mit Hilfe eines mehrstufigen, umständlichen Verfahrens gewonnen, das bei den Kosten schwer ins Gewicht fällt.

Suche nach neuem Verfahren

Erfunden wurde das Verfahren 1938 vom Luxemburger William Kroll. Ihm waren die Mängel bewusst. Deshalb suchte er jahrelang nach einem einfacheren, direkteren Weg der Titangewinnung.

Millionen von Dollar wurden aufgewendet, um ein besseres Verfahren zu entwickeln. Alles umsonst.

Doch jetzt wurde an der Abteilung für Materialwissenschaft und Metallurgie der Universität Cambridge in Grossbritannien ein neues Verfahren entdeckt, das Fachleute als revolutionär bezeichnen. Dieser FFC-Prozess, so benannt nach den Namen seiner Entdecker, Derek Fray, Tom Farthing und George Chen, dürfte zu einer drastischen Preissenkung bei Titan führen, prophezeit das britische Wissenschaftsmagazin «New Scientist» (Bd. 2297, S. 44).

Überraschung im Labor

Beim FFC-Verfahren geht man von Titandioxid aus, das in grossen Mengen verfügbar ist. Das Metall wird durch Elektrolyse gewonnen: Lässt man einen elektrischen Strom durch die mit geschmolzenem Kochsalz gefüllte Elektrolysezelle fliessen, so gibt die Kathode aus Titandioxid Sauerstoff in Ionenform ab. Die Kathode wird mit Titanmetall angereichert. Die Sauerstoffionen diffundieren durch das Kochsalz und entladen sich an der Anode unter Bildung von gasförmigem Sauerstoff.

Im Vergleich zum Kroll-Verfahren ist dies eine spektakuläre Vereinfachung. Auch die Umweltbelastung wird bedeutend geringer. Das FFC-Verfahren sei

eine wirkliche Erfindung und nicht bloss die Verbesserung eines existierenden Prozesses, kommentiert «British Titanium».

Dass das neue Verfahren überhaupt möglich ist, überraschte die Fachleute. Titandioxid ist nämlich ein elektrisch isolierender Stoff, von dem niemand erwartet hätte, dass er sich als Elektrodenmaterial eignet. Die Erklärung für das unerwartete Verhalten: Sobald die Kathode ein wenig Sauerstoff abgegeben hat, weist das Material einen Elektronendefekt auf und wird elektrisch leitend. Die Versuche in einer Pilotanlage zeigen, dass dieser Vorgang, der auf Grund konventionellen theoretischen Denkens als unmöglich galt, nicht nur machbar ist, sondern auch effizient funktioniert. Bleibt noch der Schritt zur industriellen Grossproduktion. Eine entsprechende Anlage ist in Planung.

Hält das Verfahren, was es verspricht, so ist der Weg frei für eine wirtschaftliche Verwendung von Titan in Alltagsprodukten. Dies bedeutet gleichzeitig, dass Titan zum banalen Werkstoff wird. Das weisse, glänzende Metall wird dabei zwangsläufig auch etwas von seiner heutigen Aura verlieren, und wer beim Kauf eines Autos, von Sportartikeln, Computern oder Küchengeräten Wert auf die besondere Note legt, wird sich anderen exklusiven und teuren Materialien zuwenden müssen.

2. | WirtschaftsteilnehmerInnen

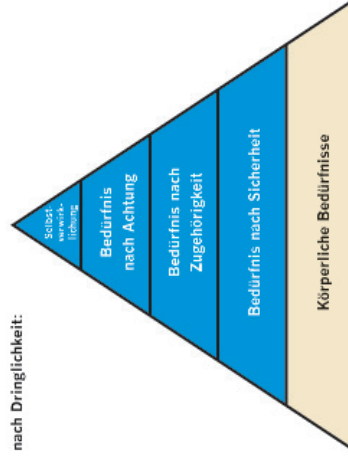
Die Wirtschaftswissenschaft teilt die WirtschaftsteilnehmerInnen in zwei Gruppen ein: Haushalte und Unternehmen. Die VertreterInnen jeder Gruppe unterscheiden sich in ihrem Wesen und ihren Bedürfnissen, in ihren Zielsetzungen und ihrem Verhalten. Jede Gruppe von WirtschaftsteilnehmerInnen erfüllt unterschiedliche Aufgaben:

Haushalte (Konsumierende)

Personen, die «unter einem Dach zusammenleben», bilden einen Haushalt. Sie konsumieren Waren, nehmen Dienstleistungen in Anspruch und sparen einen Teil ihres Einkommens. Wie der Name sagt, konsumieren die Haushalte. Ausgangspunkt des Wirtschaftens sind ihre Bedürfnisse. Jeder Mensch will seine persönlichen Bedürfnisse bestmöglich decken. Diese kann man nach verschiedenen Merkmalen ordnen.

Unterscheidung der Bedürfnisse

nach Dringlichkeit:



1. Grund- beziehungsweise Existenzbedürfnisse
(Nahrung, Wohnung)

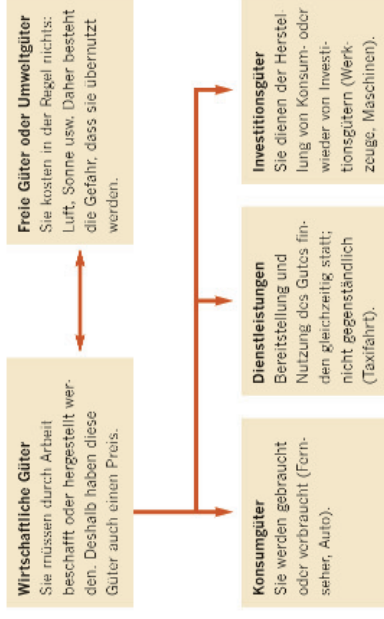
Schema von Maslow

nach Befriedigung:

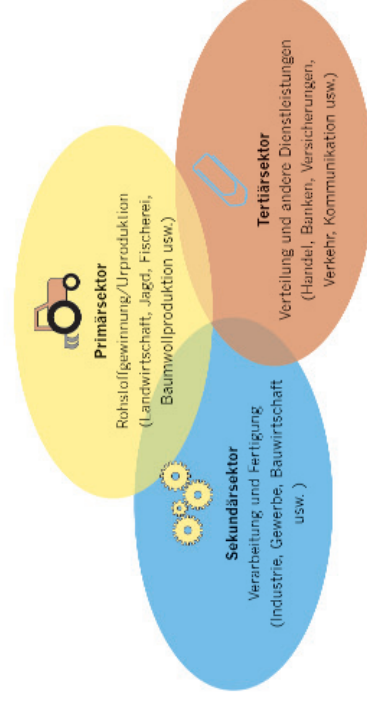
- Individualbedürfnisse: Essen, Autofahren usw.
- Kollektivbedürfnisse: Bedürfnisse, die nur durch gemeinsame Anstrengungen befriedigt werden können: Strassenbau, Versicherungen, Spitaler usw.
- Materielle Bedürfnisse: Kleider, Möbel usw.
- Immaterielle Bedürfnisse: Bedürfnisse, die nicht gegenständlich, nicht «greifbar» sind, sondern gespürt werden: Liebe, Freiheit, Zugehörigkeit usw.

Unternehmen (Produzierende)

Unternehmen sind gewinnorientierte Wirtschaftsteilnehmer und produzieren die von den Haushalten gefragten Güter. Sind die Güter knapp und begehrt, können die Unternehmen einen Preis verlangen und sie verkaufen. Wir nennen solche Güter wirtschaftliche Güter.



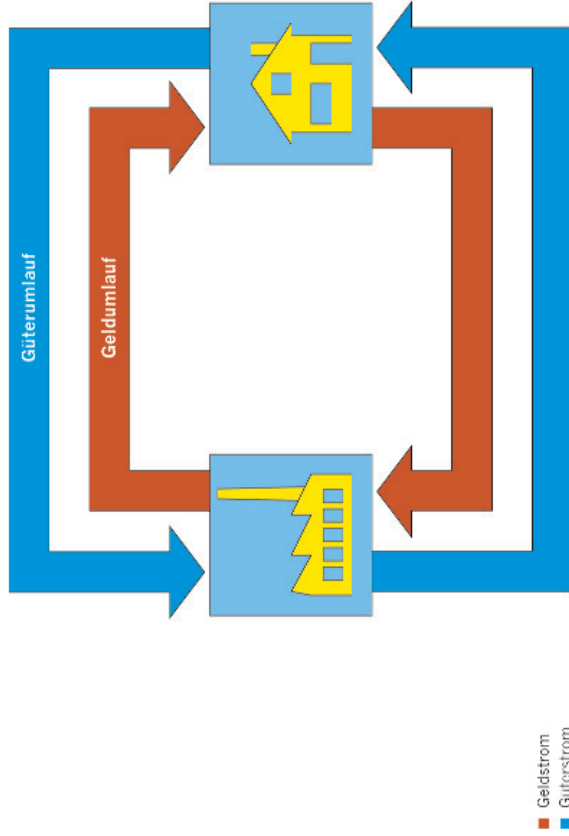
Auf Grund ihrer Produktion ordnet man die Unternehmen drei Wirtschaftssektoren zu:



Die Entwicklung dieser Sektoren können Sie dem Kapitel «Globalisierung» entnehmen. (vgl. S. 176)

2.1 | Einfacher Wirtschaftskreislauf

Um die Zusammenhänge der Volkswirtschaft in groben Linien darstellen zu können, betrachtet die Wirtschaftslehre die Volkswirtschaft als Kreislauf von Gütern und Geld zwischen Unternehmen, die produzieren, und Haushalten, die konsumieren.



- ▶ Unternehmen produzieren Waren und Dienstleistungen, welche von den Haushalten gekauft, das heisst konsumiert werden.
- ▶ Für die Produktion dieser Güter stellen die Haushalte den Unternehmen ihre Arbeit, ihren Boden, ihr Kapital und ihr Wissen zur Verfügung.
- ▶ Für Arbeit, Boden, Kapital und Wissen erhalten die Konsumenten (Haushalte) Löhne, Zinsen, Gewinne und Renten.
- ▶ Mit diesem Geld kaufen die Konsumentinnen Waren und Dienstleistungen. Dadurch fließt das Geld wieder zu den Produzierenden.

Die beiden Ströme verlaufen in entgegengesetzter Richtung:
Der Geldstrom umfasst alle Einkommen, die ein Volk in einem Jahr verdient. Die Summe dieser Entgelte bezeichnet man als *Volkseinkommen*.
Der Güterstrom umfasst alle Güter, die von einer Volkswirtschaft in einem Jahr hergestellt werden. Berechnet man alle Waren und Dienstleistungen des Güterstroms zu aktuellen Marktpreisen, erhält man das *Sozialprodukt*.
Geldstrom (Volkseinkommen) und Güterstrom (Sozialprodukt) sind in einer

störungsfreien («gesunden») Volkswirtschaft wertmässig gleich gross. In einer solchen Volkswirtschaft werden nur so viele Güter gekauft, wie Einkommen erzielt werden. Umgekehrt werden nur so viele Einkommen erzielt, wie Güter produziert werden. Sind die Ströme ungleich, ergeben sich Preisänderungen. (Grundlagen Wirtschaft, S. 337f.)

In Wirklichkeit sind diese Abläufe natürlich komplexer. Einerseits treten die Produzenten selbst als Konsumenten auf (so produziert der/die BäckerIn Brot, muss aber auch Mehl einkaufen), andererseits spielt sich das wirtschaftliche Geschehen nicht nur zwischen Produzentinnen und Konsumentinnen ab. Um ein genaueres Bild der gesamtwirtschaftlichen Vorgänge zu erhalten, muss der einfache Wirtschaftskreislauf also erweitert werden.

2.2 | Erweiterter Wirtschaftskreislauf

Der erweiterte Wirtschaftskreislauf berücksichtigt einige zusätzliche Beteiligte.

Banken

Die Banken sind in einer Volkswirtschaft die wichtigsten Kapitalvermittler. Sie sammeln die vielen kleinen und grossen Ersparnisse und leiten sie gezielt auf eigene Rechnung an die KreditnehmerInnen weiter (Kredite). Damit können die Unternehmen die erforderlichen Investitionen finanzieren. Die Banken können nur Kredite für Investitionen geben, wenn die Haushalte sparen. Daraus ergibt sich folgender Grundsatz: sparen = investieren.

Staat

Der Staat, auch öffentlicher Sektor genannt (öffentliche Verwaltung, Bahn, Post), spielt in einer Volkswirtschaft eine wesentliche Rolle sowohl als Wirtschaftsteilnehmer wie auch als Verantwortlicher für die Wirtschafts- und Konjunkturpolitik. Er erfüllt mehrere wirtschaftliche Aufgaben:

- ▶ Bereitstellungsfunktion (Gesetzgebung, Beitritt zu internationalen Organisationen usw.),
- ▶ Umverteilungsfunktion («gerechte» Steuern, ALIV usw.) und
- ▶ Stabilisierungsfunktion (Konjunkturpolitik, Sicherheit usw.).

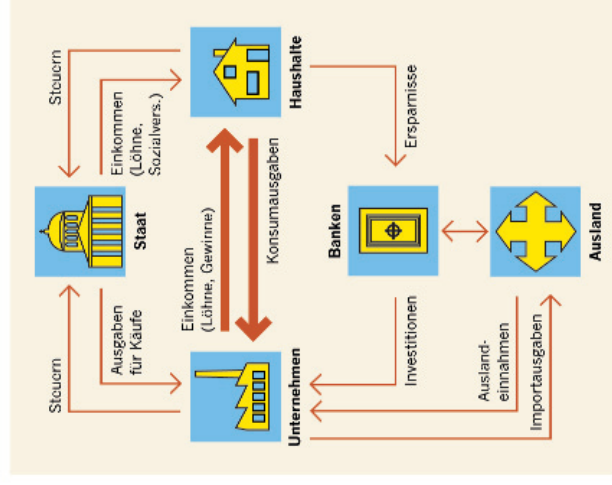
Auf Grundlage seiner Gesetze hat der Staat entscheidenden Einfluss auf das Verhalten der Wirtschaftsteilnehmenden und somit auf den Verlauf der Wirtschaft, zum Beispiel durch:

- ▶ die Verfassung (Rechtsstaatlichkeit, Marktform),
 - ▶ die Vorschriften, Beschränkungen usw. (Unternehmensformen, Herstellung von Produkten, Raumplanung usw.),
 - ▶ die Einnahmen (Steuern, Zölle usw.) und
 - ▶ Ausgaben (Subventionen, Umverteilung der Einkommen) sowie
 - ▶ die Geldpolitik der Nationalbank.
- Die tragende Rolle des Staates wird ausführlich im Kapitel «Staat und Wirtschaft» beschrieben. (vgl. S. 269ff.)

Ausland

Das Ausland beeinflusst die wirtschaftliche Tätigkeit eines Landes stark. Durch die Ausfuhr (Export) von Waren oder Dienstleistungen fließen Devisen (ausländisches Geld) in das eigene Land. Je mehr also exportiert wird, desto grösser ist der Geldzufluss in die eigene Volkswirtschaft. Im Gegenzug müssen für Importgüter (Rohstoffe, Halbfabrikate, Nahrungsmittel usw.) Zahlungen an das Ausland geleistet werden. Eine weitere wichtige Einnahmequelle für eine Volkswirtschaft ist der Tourismus.

Der erweiterte Wirtschaftskreislauf ist in der untenstehenden Grafik dargestellt. Dabei werden nur noch die Geldströme betrachtet.

Erweiterter Wirtschaftskreislauf

Die Kreislauftheorie ist eine brauchbare und umfassende Betrachtung des Wirtschaftsgeschehens. Die zahlenmässige Erfassung dieser Geldströme erfolgt in der Nationalen Buchhaltung, einer Art volkswirtschaftlicher Gesamtrechnung. Auf Grund dieser Erhebungen ist es möglich, den «Puls» einer Volkswirtschaft zu messen und allenfalls mit staatlichen Massnahmen zu beeinflussen.