

Eiweißstoffwechsel und Eiweißspeicherung unter besonderer Berücksichtigung der Funktion von Leber und Niere

von HP Dr. Anita Kracke

Der Stoffwechsel lebendiger Wesen dient mehreren Zielen. Einerseits geht es um spezifische Leistungen einer Funktion oder eines Organs, andererseits sollen die Ordnung und der Bestand des Organismus gesichert und zerstörte oder verschlissene Teile regeneriert werden.

Um diese Aufgaben zu erfüllen, muss Nahrung und Energie zugeführt werden. Zu unserer Ernährung brauchen wir Kohlenhydrate, Fette, Proteine, Vitamine, Mineralstoffe, Spurenelemente, Vitalstoffe, Wasser, Sauerstoff, Sonnenlicht und feinstoffliche, energetische Kraft.

Solange ein Wesen einzellig in einer flüssigen Umgebung schwimmt, werden mit dem umgebenden Medium (meistens Wasser) alle lebensnotwendigen Stoffe zugeführt, und die Abfallstoffe können in das umgebende Medium entsorgt werden. Bei höher entwickelten, mehrzelligen Verbänden ist ein kompliziertes System der Ver- und Entsorgung nötig, um die Lebensfunktionen aufrecht zu erhalten. Das sog. Grundgewebe erfüllt diese Aufgaben optimal für die einzelnen Zellen, und über verschiedenartige, große Leitungssysteme werden Nährstoffe und Schlacken ebenso wie Informationen transportiert.

Nach der Aufnahme aus dem Darm in die Gefäßbahnen werden die aufgeschlossenen Nahrungspartikel durch die Leber geschleust. Sie kommen dann schließlich in den

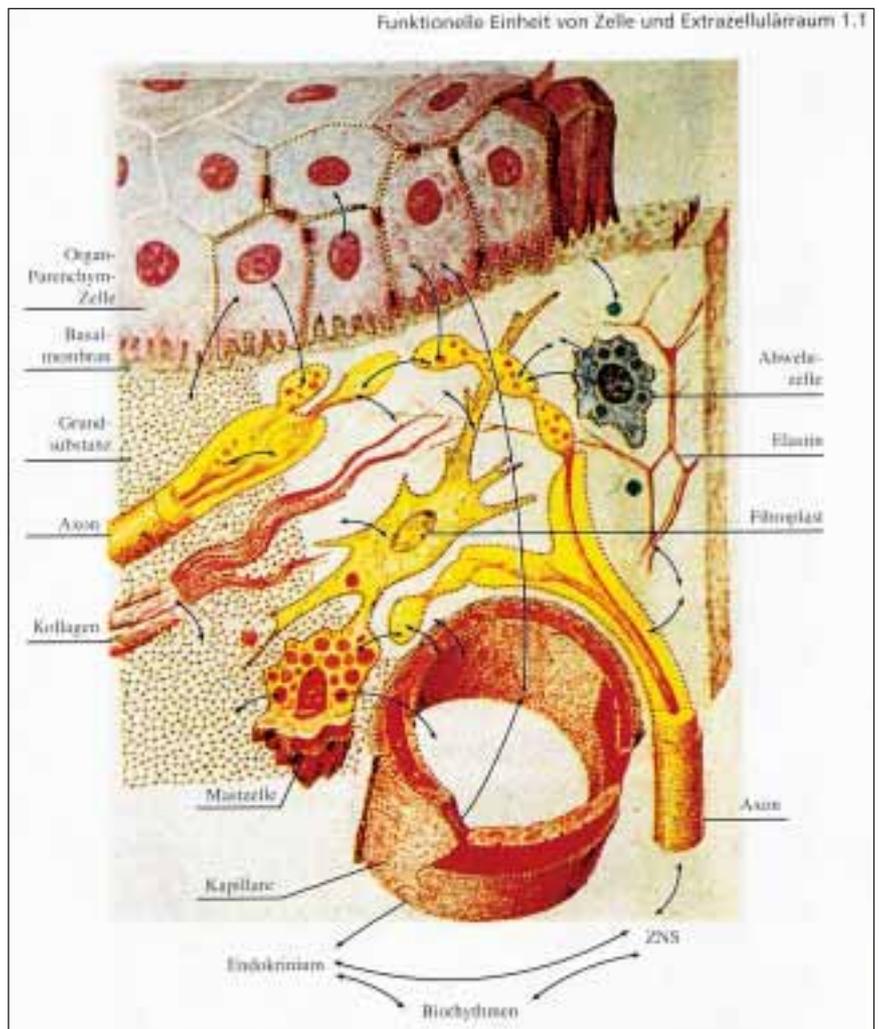


Abb.1: Schema der Grundregulation
Wechselseitige Beziehungen (Pfeile) zwischen Endstrombahn (Kapillaren, Lymphgefäße), Grundsubstanz, terminalen vegetativen Axonen, Bindegewebszellen (Mastzellen, Abwehrzellen, Fibroblasten usw.) und Organparenchymzellen. Epitheliale und endotheliale Zellverbände sind von einer zur Grundsubstanz vermittelnden Basalmembran unterlagert (aus dem Lehrbuch „Das System der Grundregulation“ von Alfred Pischinger, neubearbeitet und herausgegeben von Hartmut Heine, 9. Auflage, Haug, 1998).

großen Kreislauf und über die Kapillaren bis an die Gewebe. Über entsprechende Diffusionsdrücke

und osmotische Gefälle gelangen die einzelnen Zellbausteine, Energieträger, Mineralien, Vitalstoffe und



Wasser zu den verbrauchenden Zellen. Nachdem die Gewebsflüssigkeit die Stoffe an die Zellen abgegeben hat, kehrt sie entledigt in die Blutbahn zurück, wo sie neu beladen wird. Nach einer Nahrungsaufnahme dauert dieser Austausch nach Prof. Wendt (aus „Die Eiweißspeicherkrankheiten“ von Prof. Dr. Lothar Wendt, 2. Auflage, erschienen im Haug Verlag 1984) etwa 500 Umläufe bzw. drei Stunden, bevor die Unterschiede der Filtrations- und Diffusionsdrücke zwischen Blut und Gewebe wieder ausgeglichen sind.

Im Laufe der Evolution hat sich die Notwendigkeit ergeben, Stoffe zu speichern um Hungersnöte zu überstehen. Man kann vermuten, daß die ersten Speichermöglichkeiten sich auf das Fett in den entsprechenden Zellen beschränkte. Später war es dann möglich, auch Glukose und Eiweiß zu speichern.

Anders ausgedrückt kann man sagen, es konnten nur diejenigen Mutanten überleben, die es gelernt hatten, Nährstoffe zu speichern. Diese Fähigkeiten wurden dann an die Nachkommen vererbt. Durch diese Speichermöglichkeiten erlangten die mit diesen Fähigkeiten ausgestatteten Individuen eine enorme Emanzipation. Ernährung und Speicherung laufen parallel ab. Die Speicherung verläuft nicht zu Ungunsten der Ernährung.

Man glaubt noch heute vielfach, daß das Fett das einzige Speichermolekül für unsere Nährstoffe sei. In Wahrheit können die meisten Nährstoffe gespeichert werden. Allerdings gibt es verschiedene Speichermoleküle mit unterschiedlicher Speicherfähigkeit. So kann der Körper Eiweiße in Form von Kollagen speichern, in Mukopolysacchariden können Glucose, Aminosäuren, Fettsäuren und Wasser gespeichert werden. Triglyceride sind die Speicherform für Fette und

Glucose in Fettzellen, und schließlich kann die Glucose in Form von Glykogen eingelagert werden. Diese Speichermoleküle sind wasserlöslich und dadurch überhaupt erst speicherbar. Wenn die Substanzen dem Stoffwechsel wieder zugeführt werden sollen, müssen sie wasserlöslich gemacht werden.

Nur im Blut kann auch wasserlöslich gespeichert werden. Speziell im Bezug auf die Eiweißspeicherung sind das Kollagen und die Mukopolysaccharide als wasserunlösliche Depotmoleküle anzusehen, während das Albumin und die Aminosäuren wasserlösliche Eiweißtransport- und -speichermoleküle darstellen. Die wasserlösliche Fettspeicherung und Beförderung geschieht in Form von freien Fettsäuren oder als Lipoprotein mit Eiweiß und Cholesterin in einem Molekül vereint.

Die Speicherung von Triglyceriden in den Fettzellen ist äußerst effizient und reicht beim Gesunden zur Energiegewinnung für einen Monat. Wenn diese Menge Energie als Glykogen gespeichert werden sollte und könnte, würde es zu einer Gewichtsverdoppelung kommen. Die Bevorratung an Glykogen reicht im Normalfall von einer Mahlzeit zur anderen und ist abhängig vom Insulin.

Intrazellulär kann jede Körperzelle zusätzliche Nährstoffe speichern. Die extrazelluläre Speicherung von Bausteinen, Zuckern und Wasser ist besonders den Abkömmlingen des dritten Keimblattes vorbehalten. Dies betrifft alle bindegewebigen Strukturen, wie Blut, Blutgefäße, Bindegewebe, Knorpel und Knochen.

Die verschiedenen (Eiweiß-) Speicher des Menschen

1. Unterhautbindegewebe: dies ist der Speicher für Hungerzeiten. Er ist

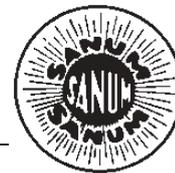
für diese Aufgabe optimal geeignet, da keine Körperfunktionen gestört werden. Die Haut ist ein sehr dünnes Organ mit verhältnismäßig niedrigem Stoffwechsel. Selbst bei starker Speicherung in der Subkutis werden die Organellen durch den schwachen Nährstoffstrom und die entsprechend langsame Entsorgung optimal versorgt. Erst nach Erreichen einer gewissen Reizschwelle beginnt die Unterhautbindegewebszelle mit der Speicherung. Diese Schwelle liegt niedriger als die der Lymphbahn-Endothelzelle und auch niedriger als der hydrostatische Druck in der Venole. Das ist der Grund, weshalb der Stau in der Subkutis nicht abfließen kann und die Zellen der Unterhaut zu speichern beginnen.

Beispielhaft für eine solche Unterhautbindegewebsspeicherung ist die dicke Speckschicht des Wals, die ihn wie ein Mantel umhüllt. Dieser Unterhautspeicher ist zugleich Wärmeisolierung. Auf dem Festland würde ihn sein im Wasser schwimmender Fettmantel ersticken; dies bedeutet, daß die physiologische Grenze für den Subkutisspeicher das Gewicht ist.

Je nach Speicherung ist also die Haut des Menschen papierdünn oder mehrere Zentimeter dick. Bei Einlagerung von vielen Mukopolysacchariden und Wasser ist die Subkutis schwammig, bei Eiweißspeicherung fest und derb bis zur Pachydermie, während Fett eine Konsistenz erzeugt, die dazwischen liegt.

Daher sollte man schon auf die Dicke der Hautfalte achten, die bei extrem fetten Individuen nicht abzuheben ist. Es wird nie Fett allein gespeichert.

Die bevorzugten Orte der Speicherung in der Unterhaut sind unterschiedlich: Kollagen wird besonders



im Nacken abgelagert und Fett unter der Bauchhaut. Der Subkutan-Speicher soll helfen, eine Hungersnot zu überstehen. In histologischen Schnitten durch das subkutane Bindegewebe fettstüchtiger Personen zeigen sich z.B. an einer Stelle nur dicke Fettzellen und an anderen Stellen stark verquollene und vermehrte Kollagenfasern; dies ist dann reines Eiweiß.

In Hungerphasen werden die Fettzellen entleert und die kollagenen Fasern vollständig abgebaut, so dass zwischen den elastischen Fasern des Bindegewebes große Löcher klaffen.

2. Interstitium: dies ist das Versorgungsgebiet der Parenchymzellen, das Quellgebiet der Lymphe und gleichzeitig Speicher. Das Interstitium liegt zwischen Kapillare und Zelle. Es ist wie ein gut drainierter Sumpf durchzogen von elastischen und kollagenen Fasern und wird dirigiert von den Peptidhormonen der Zelle. Es dient gleichermaßen drei physiologischen Hauptaufgaben: der Ver- und Entsorgung sowie der Speicherung. Die Dicke des Interstitiums ist oftmals geringer als der Durchmesser eines Erythrozyten; sie beträgt z.B. im Herzmuskelgewebe 5 μm . In Zeiten, in denen es - wie augenblicklich bei uns - keinen Hunger gibt und die Umweltverschmutzung immer größer wird, ist die Speicherfunktion des Interstitiums schnell überfordert, da selten oder nie eine Entleerung erfolgt. Dadurch verkommt das Zwischenzellgewebe oftmals zur Müllhalde.

Das Interstitium hat beim Gesunden eine durchschnittliche Dicke von 5-10 μm , enthält größtenteils Kollagen und Mukopolysaccharide und ca. 16-17 l Wasser. Die physiologische Eiweißspeicherkapazität beträgt etwa 3 kg. Im normalen Interstitium herrscht ein ganz schneller Trans-

port von Nährstoffen, weil die Zellen sich schnell an dem „bedienen“, was über die Basalmembran der Kapillaren einströmt. Bei Übereiweißung ist alles anders, weil ab einer Dicke von 10 μm der Bedarf der Zellen gering ist und sogleich eine erneute Speicherung beginnt. Es fehlt ja der normal ausgeglichene Zeitraum zwischen den Mahlzeiten, in denen die Speicher bis zum Eintritt des Hungergefühls entleert werden konnten. Eine Dicke des Interstitiums über 20 μm erzeugt Risikofaktoren für die Gesundheit.

3. Kapillare: dieses Speicherorgan ist noch viel winziger. Es speichert mit seiner Basalmembran, die eine Dicke von ca. 0,06 μm hat. Die Eiweißspeicherkapazität liegt bei ca. 1 kg, und die Speichermoleküle bestehen zu 95% aus Kollagen und zu 5% aus Mukopolysacchariden. Die Endothel-Basalmembran kann bis zu 0,12 μm dick werden; nach den Mahlzeiten ist dies noch physiologisch, allerdings muss sie bis zur nächsten Speisenaufnahme möglichst wieder abgeschwollen sein.

4. Blutspeicher: 78ml Blut/kg Körpergewicht kann als normal angesehen werden. Der Hämatokritwert schwankt beim Gesunden zwischen 35 und 42 Vol.%. Der Abstand zwischen diesen beiden Werten ist die physiologische Speicherbandbreite und beträgt z.B. bei einem Gesunden mit einem Körpergewicht von 77 kg und 6 l Blut etwa 300 g. Bei einer Übereiweißung, die bis zu einem Hämatokritwert von 65 Vol.% gehen kann, entspricht dies 900 g Festsubstanz. Bei diesen Werten ist das Infarktrisiko natürlich besonders hoch. Man kann feststellen, daß die sog. „physiologischen Werte“ in der Vergangenheit aufgrund der stetig steigenden Übereiweißung der „gesunden“ Menschen immer nach oben angeglichen wurden. Generell

kann man sagen, daß bei einem Ansteigen der Molekülkonzentration der Blutbestandteile wegen der Erhöhung der Blutviskosität eine Verlangsamung der Mikrozirkulation auftritt. Dies bedeutet Stau und damit den Anreiz zur Speicherung.

Ein Überhang im Blut aus einer Überversorgung wird ins Unterhautbindegewebe zur Speicherung verschoben und dort entsprechend eingelagert. Solange im interstitiellen Bindegewebe nur ernährt und verbraucht wird und in der Subkutis gespeichert wird, ist der Mensch gesund, wenngleich er etwas fett werden kann.

Die oberste Grenze der Stauspeicherwerte im noch physiologischen Bereich liegt für den Hämatokrit bei 42 Vol.%, für die Basalmembran der Kapillaren bei 0,12 μm und für das Interstitium der Organe bei 10 μm Dicke.

Bei einem Überangebot an Eiweiß mit der Nahrung kann ein Teil der Aminosäuren gleich nach der Mahlzeit in der Leber zu Harnstoff umgewandelt und über die Niere ausgeschieden werden. Dadurch wird vermieden, dass es zu einem Aminosäuren- bzw. Eiweißstau im Gewebe kommt. Der Harnstoffzyklus ist also ein Überlaufventil für das Angebot an Aminosäuren. Solange der Harnstoffzyklus ein Überangebot an Aminosäuren abbauen kann, bleibt der Mensch gesund, weil Staus vermieden werden. Über die Harnstoffsynthese können die Stickstoffverbindungen von je zwei Aminosäuren ausgeschieden werden. Im Hungerzustand unterbleibt diese Reaktion, bei Überernährung kann der gesamte Stickstoff auf diese Weise verstoffwechselt werden. Allerdings ist die Leistungsfähigkeit der Menschen bzw. ihrer Enzyme bezüglich der Harnstoffsynthese recht unterschied-



lich; sie kann zwischen 100 % und 42% schwanken. Mit der Leistungsgrenze für die Harnstoffsynthese ist ein wichtiger Faktor für die pathologische Eiweißspeicherung vorgegeben.

Wenn die Eiweißlast des Menschen das Maximum der Enzymtätigkeit des Harnstoffzyklus überschreitet, so fließen mehr Eiweißmoleküle ins Interstitium als die Zellen verbrauchen können. Eiweißreste bleiben dort liegen, und es entsteht ein eiweißreiches Bindegewebs-Ödem. Als Folge werden die Bindegewebszellen zur Speicherung angeregt, und es entsteht eine Verdickung des Kollagengeflechtes und der Basalmembran (BM).

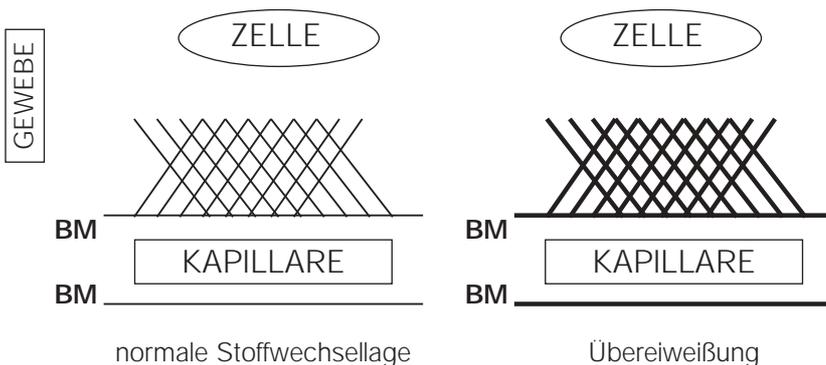


Abb. 2: Die Veränderung der Basalmembran (BM) der Kapillaren und der Kollagengeflechte des Bindegewebes bei Eiweißmast

Das verdickte Kollagengeflecht stellt jedoch eine Behinderung der Diffusion im Interstitium dar. Das bedeutet, dass die Zellen unterversorgt werden und auch ihre Funktion nicht wahrnehmen können. Diese Minderversorgung umfasst alle Stoffe, die zur Regeneration der Zellbestandteile und zur Erfüllung der spezifischen Zellfunktion erforderlich sind: das Wasser einschließlich seiner Informationen, den Sauerstoff und die Glucose, um Energie zu liefern. Eine Unterversorgung bedeutet auch immer einen Stau im Abtransport von

Schlackenstoffen, weil natürlich auch in umgekehrter Richtung eine Transportbehinderung von der Zelle weg entsteht. Gleichzeitig kann man beobachten, dass die Zelle bei einem Insulinmangel - das Insulin-Molekül ist verhältnismäßig groß und wird sehr schnell von Diffusionsbehinderungen betroffen - zur Gewinnung von Energie auf die anaerobe Energiegewinnung umschaltet, bei der durch Gärungsvorgänge Milchsäure entsteht. Zusätzlich gewinnt die Zelle Energie aus dem Abbau von Fetten und Eiweißen. In jedem Falle entstehen saure Stoffwechselprodukte, die zu einer weiteren Behinderung des Stofftransportes im Grundgewebe führen, weil sie aus dem Sol-Zustand der Matrix einen Gel-Zustand schaffen.

Die Wand der Kapillaren

Die Kapillar-Endothelien bestehen in der Regel aus einer dreischichtigen Basalmembran (Lamina rara externa, Lamina densa und Lamina rara interna), der lumenseitig die Endothelzellen aufgelagert und zum Gewebe zu die Perithelzellen angelagert sind. Der Transport von Stoffen aus der Kapillare über die Endothelzelle kann auf zweierlei Weise erfolgen:

1. Die Endothelzelle stülpt auf der Lumenseite des Gefäßes ein Bläschen, das Pinozytosebläschen,

ein. Es füllt sich mit Serum und den darin gelösten Molekülen. Es kann sich, was die Eiweißsubstanzen angeht, dabei sowohl um körpereigene als auch um Fremd- (Hetero-) Proteine handeln. Dieses Bläschen kann die Endothelzelle bis zur Basalmembran durchwandern. Dort öffnet sich die Zellmembran sowie das Pinozytose-Bläschen, und der Inhalt fließt in den Subendothelialraum und auf die Basalmembran. Der Inhalt des Bläschens gelangt dann unverändert auf die Basalmembran genauso wie die Substanzen, die zwischen den Endothelzellen direkt mit der Basalmembran in Berührung kommen.

2. Andererseits kann aber ein Pinozytosebläschen auch auf ein Lysosom in der Zelle treffen und mit ihm fusionieren. Diese Zellorganellen enthalten bis zu 40 verschiedene Enzyme, mit denen z.B. Nucleinsäuren, Proteine, Glykogen, Mukopolysaccharide und Lipide abgebaut werden können. In den Lysosomen kann körpereigenes und körperfremdes Material ab- und umgebaut werden. Auf diese Weise werden auch geschädigte Plasmaanteile einer Zelle durch eine Membran abgesondert, mit einem Lysosom verbunden und ab- oder umgebaut.

Im Falle der Eiweißspeicherung in der Kapillarwand können die biochemischen Vorgänge folgendermaßen ablaufen: Die Endothelzelle nimmt Glykoproteine durch Pinozytose aus dem Blut auf. Es kommt zur Verschmelzung der Pinozytosebläschen mit den Lysosomen und einer anschließenden lysosomalen Spaltung der Glykoproteine in Aminosäuren und Zucker. Die Aminosäuren penetrieren in die Mitochondrien, wo die Aminogruppe durch oxidative Desaminierung oder

Transaminierung abgespalten wird. Das übriggebliebene C-Skelett wandert in den Zitronensäurezyklus, während der Stickstoff als Amid- oder Aminogruppe zunächst im Glutamin endet. Das Glutamin verläßt die Mitochondrien und transaminiert seine Amidgruppe an den umgewandelten Zucker, wodurch der Aminosucker Glukosamin entsteht. Im Verhältnis 1:1 werden Aminosucker und gewöhnlicher Zucker zu MPS (Mukopolysacchariden) verknüpft. Das Glutamin aber, das seine Amidgruppe verloren hat und jetzt Glutamat heißt, wird zu Prolin umgewandelt, und dies ist nun wieder die Haupt-Aminosäure des Prokollagenmoleküls. Prokollagen und MPS verlassen die Endothelzellen. Aus Prokollagen werden Kollagenmonomere, die schließlich auf der Basalmembran der Kapillare abgeschieden werden oder sich durch Helixbildung in kollagene Fasern verwandeln.

Bei der Entspeicherung nimmt die Endothelzelle wieder Material der Basalmembran auf, spaltet es in Aminosäuren, Zucker und Amino-

zucker. In rückwärtiger Synthese wird aus den Aminosuckern wieder Glutamin und Zucker gebildet. Aminosucker, Zucker und Glutamin werden ins Blut eingeschleust und von der Leber mit Hilfe von GOT und GPT u.a. zu Proteinen aufgebaut.

Die **Lysosomen** aller Zellen sind die Müll-Verbrennungs- und Wiederaufbereitungsanlage des Körpers. Die unverdaulichen Schlacken dieses Umbaues werden in sog. Telo-Lysosomen endgelagert. Alle lebenden Zellen mit Ausnahme der Erythrozyten sind zu solcher Heterophagie befähigt. Die Reinigung des Blutes erfolgt über die Phagozyten, die ebenfalls über ihre Lysosomen die aufgenommenen Bestandteile (Fremdeiweiße) abbauen. In jedem Falle ist die Fähigkeit der Lysosomen zum Ab- und Umbau von Eiweißen der Schlüssel für die Reinigung der Säfte von fremdem und eigenem Eiweiß, wobei die Phagozyten sicher einen etwas anders zusammengesetzten Spiegel von Enzymen besitzen als die Endothelzellen.

Aus dieser Darstellung wird deutlich, daß bei einem Überangebot von Eiweißen, die abgebaut werden müssen, die lysosomalen Kräfte der Endothelzellen überfordert werden können. Das Problem kann sich noch potenzieren, wenn bereits eine lysosomale Eiweiß-Abbauschwäche vorhanden ist. Es besteht auch die Möglichkeit, daß nur eines oder mehrere Enzyme fehlen, dann kann es zu den meist tödlichen Speicherkrankheiten kommen. Bei der Entstehung der Eiweißspeicherkrankheiten muß man auch immer wieder die Möglichkeit der Speicherung von Eiweißverbindungen bedenken, die entstehen, weil Umweltgifte, Bakterien- und Viruspartikel an körpereigene Eiweiße binden und entweder wegen einer lysosomalen Schwäche, wegen sowieso schon bestehender Übereiweißung oder weil der Körper diese Verbindungen nicht erkennen und abbauen kann, als Heteroproteine eingelagert werden müssen. Dies sind die Schlüssel für Autoimmunerkrankungen.

Wenn die abbauenden Kräfte zu stark sind, kann dies ebenfalls zu ei-

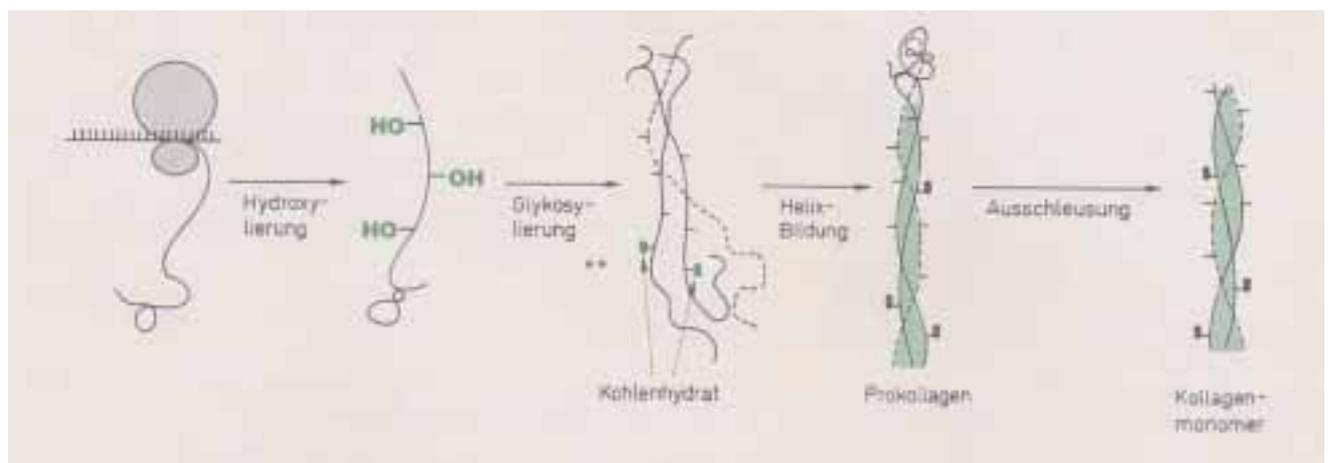


Abb. 3: Biosynthese des Kollagens

An den Ribosomen (links) wird die Peptidkette synthetisiert. Sie wird im endoplasmatischen Retikulum durch Hydroxylierung und Glykosylierung modifiziert; dann bildet sich die Tripelhelix und die entstandenen Prokollagene werden ausgeschleust. Extrazellulär erfolgt die Bildung der Kollagenmonomeren (aus „Kurzes Lehrbuch der Biochemie für Mediziner und Naturwissenschaftler“ von Peter Karlson, erschienen im Georg Thieme Verlag, Stuttgart).



ner Fehlentwicklung führen. (siehe auch Buddecke „Grundriss der Biochemie“, 9. Auflage 1994, de Gruyter Verlag)

Die **Basalmembran** der Kapillärwände ist der Filter, durch den alles gefiltert werden muß, was aus dem Blut an die Zellen und Zellverbände der Organe und Gewebe gelangen soll. Der eigentliche Filter ist die Lamina densa der Basalmembran. Sie hat eine Porengröße von weniger als $0,01 \mu\text{m}$. Die beiden ihr angelagerten Laminae rarae dienen vorwiegend der Speicherung (beim Fetus macht die Lamina densa $1/4$ der Dicke der BM aus, während die Laminae rarae leer sind, da alles Eiweiß zum Aufbau der Körpersubstanz gebraucht wird). Nur die Lamina densa stellt den eigentlichen Filter dar. Es ist dabei gleichgültig, ob die Substanzen zuvor durch die Endothelzelle geschleust wurden. Die drei Schichten der Basalmembran sind der Ort einer An-, Ab- und Zwischenlagerung bzw. Speicherung. Die in der Basalmembran abgelagerten und abgetrennten Stoffe werden von den Perizyten oder Perithelzellen, die wegen ihrer fußförmigen Fortsätze auch Podozyten genannt werden, mit denen sie der Basalmembran aufliegen, aufgenommen und in die Gewebsflüssigkeit abgegeben. Auch in den Perizyten findet wieder ein entsprechender Umbau statt, das heißt, daß die Perizyten die in der Basalmembran gespeicherten Kollagene und Mukopolysaccharide wieder in lösliche Stoffe umwandeln. Die Basalmembran ist ein lebender Filter, der sich dauernd erneuert, indem auf der Seite des Kapillarlumens aufgetragen wird und auf der Gewebeseite abgetragen wird. Solange Auf- und Abbau sich die Waage halten, ist Diffusion und Osmose durch den Filter möglich, und auch die Durchblutung und

Durchsaftung der Gewebe sind nicht gestört. Wenn jedoch die Gewebe besonders mit Eiweißstoffen gesättigt sind, weil der Verbrauch durch die Zellen nicht mit dem Angebot Schritt halten kann, kommt es zur Speicherung im Interstitium und in der Basalmembran der Kapillärwände bei gleichzeitigem Rückstau ins Blut. Eine Verdickung der Basalmembran bei gleichzeitiger Vermehrung der kollagenen Fasern im Interstitium und deren Verquellung führt automatisch zu einer Transportbehinderung aller die Zelle versorgenden Moleküle.

Stauspeicherung und ihre Folgen

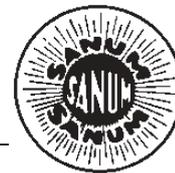
Durch die Überversorgung mit Eiweißen kommt es gleichzeitig also zu einer Minderversorgung der interstitiellen und der Parenchymzellen mit z.B. Glucose, Sauerstoff und Wasser. Aus diesem Grunde wird reflektorisch der Blutdruck erhöht, um über einen erhöhten Diffusionsdruck doch noch die lebensnotwendigen Stoffe an die Zelle zu bringen.

Am Beispiel der Muskelzelle können die Auswirkungen dieser Minderversorgung durch eine Überweißung erklärt werden. Jede Zelle muß nicht nur versorgt werden, um sie lebensfähig zu erhalten, sie hat auch eine gewisse Funktion zu erfüllen. Die Muskelzelle muß Kontraktionsenergie aus Glykogen gewinnen. Glykogen wird im Körper aus Glukose und Sauerstoff im Beisein von Insulin zusammengebaut. Wenn nun der Transport der Speicherenergie zur Zelle bzw. des Insulins, der Glukose und des Sauerstoffs behindert ist, wird der Reserve-Energiestoffwechsel zugeschaltet, damit die Zelle (z.B. die Herzmuskelzelle) ihre Aufgabe erfüllen kann. Dieser Reserve-Energiestoff-

wechsel wird nur aus Glukose gespeist und bedarf weder des Sauerstoffs noch des Insulins. Die nicht zu Glykogen umgebaute Glukose wird gleich enzymatisch gespalten, und das Endprodukt ist Milchsäure.

Die Energieausbeute ist im Vergleich zur aeroben Energiegewinnung in den Mitochondrien sehr gering. Weil aber die Glukose-Vergärung zur Energieversorgung nicht ausreicht, wird Fett abgebaut; dabei wird im Gewebe durch die Bildung von z.B. β -Oxybuttersäure bzw. β -Hydroxybutyrat, Azetessigsäure und Azeton eine zusätzliche Azidität erzeugt. Auch die Zuschaltung der Eiweiße zur Energiegewinnung bewirkt eine zusätzliche Säurebildung, denn nach der Desaminierung bleibt eine weitere Fettsäure aus der Aminosäure übrig. Gleichzeitig stockt die Entsorgung des Interstitiums, und zu den physiologisch anfallenden Schlacken des Stoffwechsels, wie Harnsäure und Kreatinin, kommen die Abbauprodukte des Reserve-Energiestoffwechsels hinzu.

Der Anstieg der Azidose und des Schlackenspiegels bewirkt eine Reizung der sensiblen Nervenenden im vernetzten System der Grundsubstanz. Das azidotisch-schlackenreiche Gewebsödem, das sich gebildet hat, ruft einen Muskelschmerz hervor, den wir am Herzen als Angina pectoris-Schmerz, in der Skelettmuskulatur als Rheuma- oder Fibromyalgie-Schmerz registrieren. Es kann auch noch die Situation entstehen, daß die Minderversorgung der Zelle zu Atrophie und Nekrose mit anschließendem Zelltod führt. Da der Herzmuskel nicht sensibel innerviert ist, stirbt die Zelle schmerzlos ab, was wir den stummen (schmerzlosen) Infarkt nennen.



Bei dem geschilderten Stau im Interstitium bzw. der mangelhaften Versorgung der einzelnen Zelle durch Transportbehinderungen kommt es zu einem Nährstoffstau in Richtung Kapillare. Weil die einzelnen Substanzen aus dem Blut nicht abgefordert werden, steigen die Blutspiegel der Moleküle erheblich an. Zunächst wird noch vermehrt in der Basalmembran der Kapillaren gespeichert. Der Anreiz für die Endothelzelle ist nun so stark, daß sie verstärkt unlösliches Kollagen auf der Basalmembran abscheidet, was deren Permeabilität stark herabsetzt. Die Peptidhormone der Zellen des Interstitiums und der Organe signalisieren ihre Unterversorgung, was mit einer Erhöhung der Konzentration der „angeforderten“ Substanzen wie Insulin, Glukose, Cholesterin usw. im Plasma beantwortet wird. Die erhöhte Konzentration der übermäßig zugeführten und gestauten Eiweiße sowie aller anderen lebensnotwendigen Moleküle für die Zelle steigt an, was zu einer verminderten Blutfließfähigkeit führt.

Auch die Zahl der Erythrozyten steigt, damit über eine vermehrte Beladung mit Hämoglobin die Sauerstoffversorgung durch das Blut gewährleistet werden kann. Schließlich steigt der Blutdruck ebenfalls an, weil über eine Engstellung der Gefäße und Druckvermehrung die Diffusion der Substrate durch die Basalmembran verbessert werden kann.

Bei weiterer Stauung wird auch die Reizschwelle der Endothelzellen der Arterienintima erreicht, und auch sie beginnen nun mit einer Speicherung. Dies ist der Beginn einer multifaktoriellen Arteriosklerose, denn jetzt werden hier alle gestauten Moleküle und besonders auch Eiweiße gespeichert. Die übrigen Speicherorgane wie Basalmem-

bran, Interstitium und Unterhautbindegewebe werden indessen weiter gefüllt.

Der Zusammenbruch der Körperfunktionen kann von dem totalen Versagen der Transportfunktionen oder durch den Zelltod eingeleitet werden. So kann solch ein Mensch am schmerzlosen zellulären Herzinfarkt sterben, am interstitiogenen Herzinfarkt im Angina pectoris Anfall, an einer unbehandelbaren Herzschwäche, am arteriogenen Herzinfarkt oder am kapillarogenen Herzinfarkt.

Nach diesem Verständnis sind es die Eiweißspeicher-Krankheiten, die zu den Risikofaktoren, den Mikro- und Makroangiopathien, zu Herzinfarkt, Schlaganfall, Rheuma, Angina pectoris führen und nicht so sehr die Störungen im Zucker- und Fettstoffwechsel, wie von vielen immer noch propagiert wird. Die Mikroangiopathien des Diabetikers und des Hypertonikers sind in der Verstopfung der Basalmembran und dem Tod der dahinter im Grundgewebe liegenden Zellen begründet.

In den Venen und in der Lunge sind die Partialdrücke und Blutspiegel der einzelnen Moleküle nicht hoch genug, um die Reizschwelle der Endothelzellen der dort befindlichen Gefäße zur Speicherung zu überschreiten.

Die Bedeutung der Heteroproteine

Über unsere Umwelt und Nahrung nehmen wir notgedrungen viele Stoffe auf, die es ursprünglich in der Natur nicht gibt, oder die bedingt durch die Industrialisierung in viel höheren Konzentrationen entstehen und aufgenommen werden. Diese Stoffe, häufig auch Metall-Ionen wie

z.B. Platin aus den Katalysatoren unserer Autos, lagern sich im Körper bevorzugt an Eiweißstrukturen an, damit sie wasserlöslich und transportfähig werden. Wenn der Eiweißkörper dadurch zum Heteroprotein wird, dann baut die Endothelzelle ihn ab und entgiftet ihn über die Zell-Lysosomen. Die Endprodukte werden bevorzugt auf der Basalmembran oder im Interstitium abgelagert. Es gibt jedoch viele komplexe Verbindungen, für die der Körper überhaupt kein „Rezept“ zum Abbau hat. Solche Substanzen müssen ganz oder leicht verändert eingelagert werden und können dadurch erheblich die Diffusionen stören.

Außerdem ist es möglich, daß durch die Verbindung von Fremdstoffen mit körpereigenen Eiweißsubstanzen, der Körper nicht mehr in der Lage ist, dieses Eiweiß als „Selbst“ zu erkennen und mit einer Immunreaktion antwortet. Diese Verbindung von Störstoffen mit Körper-eiweiß kann zu tödlichen Autoimmunkrankheiten führen. Auch Krankheitskeime bzw. deren Toxine (Streptokokken) oder die Verbindung von Antigen-Antikörper-Komplexen, die nicht regulär abgebaut und in Energie umgewandelt werden, können in der Basalmembran gespeichert werden. Das geschieht immer dann, wenn die lysosomalen Kräfte der Zellen und besonders der Endothelzellen überfordert werden.

Diese Art der Ablagerung in einem einzigen Speicher war aus der Sicht der Evolution bis dahin durchaus sinnvoll, aber mit Zunahme der Umweltgifte und gleichzeitigem Fehlen von Hungerzeiten behindern sich die eingelagerten „Speicherstoffe“ gegenseitig. Beides zusammen führt zu Angiopathien, die 50% der Todesfälle ausmachen.



Die Vorgänge an der Basalmembran mit dem Verschluss der Poren und der Verdickung sind an Ratten anhand der Substanz Ferritin untersucht worden. Ferritin ist ein Eiweißstoff, an den das zu transportierende Eisen gebunden ist. Die Molekülgröße ist größer als $0,1 \mu\text{m}$, was dazu führt, daß dieses Molekül nach einer Injektion im Versuch die Poren der Basalmembran verstopft. Wasser kann die Kapillare nicht mehr verlassen, um ins Gewebe zu treten; der hydrostatische Druck in der Kapillare steigt, während er im Gewebe sinkt. Für einen Stoffaustausch muß der hydrostatische Druck in den Kapillaren immer größer sein als der kolloid-osmotische Druck im Gewebe. Um die Wasserregulation aufrecht zu erhalten, produziert die dem Endothel der Kapillare angelagerte Muskelzelle Renin, das über den venösen Blutweg abtransportiert wird. Sympatiktone Impulse bewirken daraufhin eine Erhöhung des Blutdrucks über die Vergrößerung des Herzzeitvolumens, bis die normale Wasserfiltrationsrate wieder erreicht ist. Dabei werden die Arteriolen der Kapillaren mit verminderter Permeabilität der Basalmembran besonders geweitet, damit die Mehrleistung des Herzens in diesem Bereich besonders effektiv ist. An anderer Stelle werden dagegen die Arteriolen verengt, damit es hier nicht zu einer Überwässerung kommt.

Diese Gefäßspannung wird solange aufrechterhalten, bis der Wassergehalt in dem minderversorgten Gebiet ausgeglichen ist. Die Herzleistung kann schon vorher zur Norm zurückkehren, weil die Arteriolen spannung der normal versorgten Gebiete den Blutdruck für die minder versorgten Teile aufrecht erhält.

Zusammenfassung der Speicherung und ihrer Folgen

Eine Überernährung mit gemischter Kost führt zu einer Fett-, Eiweiß-, Kohlenhydrat- und Wasserspeicherung. Das erzeugt im Körper ganz allgemein folgende Veränderungen:

- Gewichtszunahme
- Blutverdickung
- Bindegewebsverdickung und -verdichtung
- Verdickung der Basalmembran und Provokation von Risikofaktoren
- Verdickung der Arterien-Intima
- Arteriosklerose, Herzinfarkt, Schlaganfall

Funktionsprinzip der Niere

Filtration: Im Glomerulum wird aus dem Blut ein sehr großes Flüssigkeitsvolumen abfiltriert (Glomerulofiltrat), das neben Wasser die kleinstmolekularen Stoffe des Plasmas enthält.

Die glomeruläre Filtrationsrate (GFR) beträgt 120 ml/Min. , d.h. ca. 180 Liter / Tag . Dies bedeutet, dass die austauschbare Extrazellulärflüssigkeit von ca. 17 Litern mehr als 10mal täglich die Nierentubuli passiert. Von dieser Extrazellulärflüssigkeit kehren 99% nach tubulärer Rückresorption in den Extrazellulärraum zurück. Somit beträgt die funktionelle Ausscheidung von Wasser 1% der GFR; dies sind dann ca. $1\text{-}2 \text{ l}$ Urin pro Tag.

Um solche Messungen über die GFR durchzuführen, muss man Stoffe einsetzen, die filtrierbar sind, aber durch Resorption oder Exkretion den Urin in der Menge nicht variieren und auch in der Niere nicht verstoffwechselt werden können; außerdem dürfen sie die Nierenfunktion nicht ändern. Diese Anforderungen erfüllt Inulin und in gewisser Weise auch das physiolo-

gischerweise im Körper bzw. Urin vorkommende Kreatinin.

Resorption: Anschließend werden in Tubulus und Sammelrohr die Bestandteile des Primärharns je nach Substanzart in unterschiedlichem Ausmaß (z.B. Glucose, Harnstoff) sowie dieselbe Substanz je nach Bedarf in wechselnder Menge (z.B. Na^+ oder H_2O) wieder durch die Tubuluswand zurück ins Blut transportiert = Re(ab)sorption.

Exkretion: Der Rest des Filtrates wird mit dem Urin ausgeschieden.

Sekretion: Einige Stoffe, die den Körper besonders rasch verlassen sollen (z.B. Toxine), werden nicht nur filtriert, sondern zusätzlich von den Tubuluszellen in das Tubuluslumen transportiert.

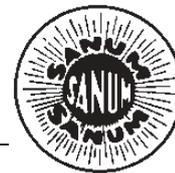
Regulation: Durch bedarfsgerechte Resorption wird die Salz- und Wasserausscheidung kontrolliert → dies beeinflusst Volumen und Osmolalität des Extrazellulärspaces und hält ihn im Normalfall konstant.

Außerdem erfolgt eine Regulation des Säuren-Basen-Haushaltes zusammen mit Lunge, Leber und Stoffwechsel über die Ausscheidung von H^+ -Ionen und HCO_3^- Ionen.

Entgiftung: Es werden Endprodukte des Stoffwechsels und Fremdstoffe eliminiert (Harnstoff, Harnsäure, Toxine, Medikamente); wertvolle Bestandteile des Blutes werden hingegen konserviert (Glukose, Aminosäuren.)

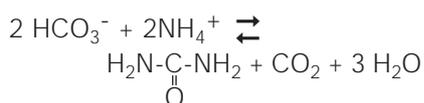
Hormone: Folgende Hormone werden produziert: Angiotensin II, Erythropoetin, Thrombopoetin, Calcitriol, Prostaglandine u.a.

Servicefunktionen im Stoffwechsel des Körpers: z.B. Protein- und Peptidabbau, Glukoneogenese, Argininbildung.



Bedeutung der Leber im Zusammenhang mit dem Eiweißstoffwechsel

Die Leber ist dasjenige Organ, das sehr eng mit dem Eiweißhaushalt und dem Ab- und Aufbau von Eiweißkörpern verbunden ist. Über die Harnstoffsynthese können überschüssig zugeführte Aminosäuren und Eiweißbausteine aus dem Körper geleitet werden. Gleichzeitig greift die Leber sehr stark regulierend in den Säuren-Basen-Haushalt ein. In diesem Zusammenhang besitzt die Harnstoffsynthese eine zentrale Rolle. Man kann Harnstoff als ein Diamid der Kohlensäure ansehen $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$.



Das Bikarbonat wird bei der Regulation des Säuren-Basen-Haushaltes verbraucht, um Protonen in Form des Ammonium-Ions auszuschleiden. Bei der Harnstoffsynthese geht dem Körper viel basisches Bikarbonat verloren. Um bei einer Übersäuerung, die verschiedene Ursachen haben kann (u.a. auch eine starke Eiweißmast), jedoch Bikarbonat einzusparen, beschreitet der Körper einen anderen Weg. Der Ammoniak, der durch die übermäßige Eiweißzufuhr über die Nahrung oder z.B. durch Fäulnisprozesse im Darm entstehen kann und hochgiftig ist, kann dann trotzdem eliminiert werden. Die Harnstoffsynthese wird eingeschränkt und statt dessen wird der Ammoniak an die Aminosäure Glutaminsäure gebunden. Es entsteht Glutamin, welches zur Niere transportiert wird.

Bedeutung der Niere im Zusammenhang mit dem Eiweißstoffwechsel

Die Niere hat im Gegensatz zur Leber vordergründig wenig mit dem

Eiweißhaushalt zu tun. Sie ist es allerdings, die den Harnstoff ausscheidet, der in der Leber gebildet wird. Zur Niere wird auch das Glutamin befördert, das aus der Amin-Bildung der Glutaminsäure entstanden ist, um Bikarbonat einzusparen und doch Ammoniak zu entgiften. Die Niere kann das Glutamin so umwandeln, daß Bikarbonat, Ammoniak und Glukose entstehen. Es werden zwei Moleküle Bikarbonat gebildet, und außerdem können über diesen Weg doch noch Protonen in Form von NH_4^+ ausgeschieden werden. In diesem Falle darf uns ein dauerhaft neutraler bis basischer Urin nicht wundern, obgleich der Patient übersäuert ist. Mit dem eingesparten Bikarbonat und dem zusätzlich gewonnenen Bikarbonat können Protonen abgefangen werden und über die Lunge als CO_2 und Wasser abgeatmet werden.

Soweit die physiologischen Abläufe im Bezug auf den Eiweißstoffwechsel.

Die Aufgaben und der anatomische Aufbau der Niere stehen in wunderbarem Einklang miteinander. Das Organ wird sehr stark durchblutet, und in den Glomerula findet die Filtration eines Primärharnes statt. Die Glomerulumkapillaren haben ein Endothel mit Poren auf einer relativ dicken Basalmembran. Auf der anderen Seite der Basalmembran befindet sich ebenfalls ein Epithel, welches das innere Blatt der Bowmannschen Kapsel bildet und mit den sog. Podozyten besetzt ist, die Deckzellfüßchen besitzen und deren Kern als Vorwölbung in das Lumen hineinragt.

Es lässt sich nun leicht ermessen, was geschieht, wenn der Körper durch Euproteine oder Heteroproteine und deren Einlagerung in

die Basalmembran aller Gefäßendothelien überfrachtet wird. Die Basalmembranen der Nierenepithelien verdicken zunehmend, eine gesunde Filtration ist nicht mehr möglich. Gleichzeitig kommt es zu einer Unterversorgung aller Nierenzellen, so dass die Tubuluszellen neben mangelhafter Filtration ihre sonstigen Aufgaben nicht mehr erfüllen können. Um die Filtrationsrate zu erhöhen und die Zellversorgung zu sichern, muss in den Nieren der Blutdruck reflektorisch erhöht werden. Klinisch manifestiert sich dieser Bluthochdruck als renaler Hochdruck.

Schon Selye konnte in den 30iger Jahren des vorigen Jahrhunderts bei Versuchen an Ratten feststellen, daß diese Tiere ein manifestes Nierenproblem entwickelten, wenn sie mit eiweißreicher Kost **und** kochsalzhaltiger Kost versorgt wurden. Genau das ist aber die Situation in der Ernährung unserer Bevölkerung. Die käufliche Fertignahrung einschl. unserer Backwaren zeichnet sich durch einen hohen Gehalt an Kochsalz aus. Die überreichliche Versorgung mit NaCl führt zu einer Dysbalance im Na/K-Verhältnis. Die Kalium/Natriumpumpe kann nicht richtig arbeiten. Durch die Überversorgung mit Natrium wird rein physikalisch viel Wasser im Körper zurückgehalten, und das Bindegewebe „versumpft“. In allen Körperzellen mangelt es am Kalium; dies wird besonders am Herzen sinnfällig, das durch die Mehrarbeit sowieso schon stark gefordert ist. Durch den Kaliummangel am Herzmuskel kommt es zu Arrhythmien.

Gleichzeitig stellt sich bei vielen Patienten besonders auch Frauen nach der Menopause das Problem ein, dass vermehrt Albumin über



den Urin den Körper verläßt. Beim gesunden Menschen wird das natürlicherweise im Glomerulofiltrat des Primärharns enthaltene Albumin durch die Endothelzellen rückresorbiert und lysosomal abgebaut. Bei einer erhöhten Plasmakonzentration im Blut und einem starken Filtrationsdruck gelangt möglicherweise vermehrt Albumin in den Primärharn.

Bei physiologischer Konzentration im Primärharn ist die Epithelzelle mit der Rückresorption und Verarbeitung der Albumine ausgelastet. Besteht aber eine Überversorgung mit Eiweißen oder ist der Siebkoeffizient für Albumine z.B. beim nephrotischen Syndrom erhöht, versagen die lysosomalen Kräfte der Epithelzelle, und es kommt zu einer Albuminurie.

Das Gleiche gilt verständlicherweise für die Ausscheidung von Glukose mit dem Urin. Wegen der Mangel-situation im Pischinger Raum sendet die Zelle ihre Impulse aus, und es werden die Insulin- und Zuckerkonzentrationen im Plasma erhöht. Die Insulinmoleküle sind zu groß, um durch die verdickte Basalmembran zu diffundieren, während die Glukosemoleküle durch die Erhöhung des Blutdrucks und der Plasmakonzentration in ausreichender Menge passieren können. Dies bewirkt natürlich auch eine höhere Nierenfiltration bei verminderter Rückresorption durch Überforderung der Tubuluszellen. Ein Teil des Zuckers wird daher ausgeschieden, das imponiert dann als Zuckerrharnruhr (Diabetes).

SANUM-Therapie der Über-eiweißung

Bei der vermehrten Einlagerung von Euproteinen aufgrund einer nutritiven Übereiweißung können die verdickten Basalmembranen und über-

füllten Speicher durch ein striktes Eiweißfasten am leichtesten entleert werden, wobei die Betonung darauf liegen muss, das tierische Eiweiß zu meiden. Bei akut gefährdeten Patienten mit Bluthochdruck und Risikofaktoren für Infarkt, Schlaganfall usw. können kleine Aderlässe schnell eine Entlastung bringen. Der Blutspeicher ist der einzige Stauspeicher, zu dem der Therapeut verhältnismäßig einfach und schnell Zugang hat. Wenn dem Patienten gleichzeitig ausreichend Flüssigkeit als Wasser oder dünner Kräutertee angeboten wird, ist ein Aderlass von 150 bis 200 ml besonders gut verträglich. Wie bei kommunizierenden Röhren fließt aus den anderen Speichern schnell Eiweiß ins Plasma nach, wenn gleichzeitig auf tierisches Eiweiß total verzichtet wird und auch pflanzliches Eiweiß nur moderat zugeführt wird.

Solch einen Aderlass kann man 1 bis 2x in der Woche machen. Die Entlastung für den Patienten ist oftmals schon nach sehr kurzer Zeit spürbar. Gleichzeitig kehren die Blutparameter allmählich wieder zur Norm zurück. Wenn der Patient gleichzeitig noch ein leichtes körperliches Bewegungsprogramm absolviert, wie Spaziergänge und/oder Gymnastik, besteht die Möglichkeit, auch Heteroproteine abzubauen, indem sie zur Energieproduktion verbrannt werden. Die Ausdauer und Beharrlichkeit auf einer Disziplin führen gefahrlos in eine normale, beglückende Gesundheitssituation. Mit der Diät nach Dr. Werthmann ohne Kuhmilch und deren Produkte, Hühnereier und Schweinefleisch (siehe auch „Ratgeber für chronisch Kranke und Allergiker“ von Dr. Konrad Werthmann, erhältlich über den Semmelweis-Verlag) hat der Patient anschließend gleichzeitig die Möglichkeit, seine Primärallergene wie Kuhmilch-, Hühnerei- und

Schweinefleischprodukte zu meiden und damit seine Immunitätslage zu verbessern.

Bei einer Störung des Darmmilieus ist an die Basistherapie mit den SANUM-Mitteln FORTAKEHL und/oder PEFRAKEHL zu denken und in jedem Falle an die Verbesserung der Blutfließfähigkeit durch MUCOKEHL oder in Kombination mit NIGERSAN als SANKOMBI. Der Patient müsste entsäuert werden mit ALKALA T oder N und den Potenzakkorden von rechtsdrehender Milchsäure als SANUVIS und durch Zitronensäure als CITROKEHL. Unterstützend kann das Bindegewebe gereinigt werden mit FORMASAN und LATENSIN. Bei älteren Menschen ist es besonders wichtig, nur geringe Mengen tierischen Eiweißes zu verzehren. Aufgrund des Alters treten immer leichter und häufiger sog. „Übermittlungsfehler“ zwischen der DNA und der mRNS auf, die zur Produktion von Proteinen führen, die vom Körper als falsch erkannt werden und abgebaut werden müssen. Da gleichzeitig eine altersbedingte Atrophie der Darmschleimhaut auftritt, die dazu führt, daß auch vermehrt Fremdeiweiße die Darmschranke passieren, sind die lysosomalen Kräfte der Körperzellen und Endothelien leicht zu überfordern. Ältere Menschen sollten also vermehrt darauf achten, daß sie eine leichte, vielseitige, pflanzliche Kost zu sich nehmen und ausreichende Mengen trinken, damit es nicht zur Verschlackung der Gewebe kommt und die Entgiftungsorgane nicht überlastet werden. Die angeführte Tabelle nach Dr. Mielke (aus „Droge Wohlstandskost: Chronisch krank durch Fehlernährung“ von Dr. Klaus Jürgen Mielke, Mielke-Verlag, Hannover) verdeutlicht nochmals die Wertigkeit der Hauptbestandteile unserer Nahrung für die Versorgung unseres Körpers. □



Die vier Ernährungssäulen (nach Dr. Klaus Jürgen Mielke)

	1	2	3	4
Lebensmittel-Bestandteile	Kohlenhydrate	Fette	Proteine	Vitalstoffe
Stoffgruppe	Energiestoff	Energiestoff	Aufbau- und Funktionsstoff	Werkzeuge des Stoffwechsels
Physiologischer Bedarf der Nahrungsbestandteile	80%	11%	7%	2%
Versorgung mit pflanzlichen Nahrungsmitteln	reichlich	ausreichend	ausreichend	überwiegend ausreichend
Versorgung mit tierischen Nahrungsmitteln	Mangel	Überschuss	Überschuss	Mangel