

**Hypoxie –
Fitness, Prävention und alternative Therapieform**

Prof. Dr. med. Hermann Buhl

1. Einführung

Mit der Absicht, ein neues Präventiv- u .Heilverfahren anzubieten, stellt sich immer die Frage: Wer sind die potentiellen Nutzer und liegt ein **gesellschaftliches Bedürfnis** vor?

In Deutschland nehmen die Funktionsstörungen des Organismus und die Zahl der chronisch Erkrankten kontinuierlich zu. Übereinstimmend wird von Wissenschaftlern, Ärzten und Politikern festgestellt, dass die Ursachen dafür im relativ hohen Lebensstandard, dem wachsenden Informationsfluss, einer zu hohen Energieaufnahme bei abnehmendem Energieverbrauch und dem Bewegungsmangel zu suchen sind und damit die Lebensweise und der Gesundheitszustand negativ beeinflusst wird.

Zwei Drittel der deutschen Bevölkerung sind davon betroffen.

Die neuesten Angaben des Statistischen Bundesamtes von 2010 zeigen, dass Übergewicht, Adipositas, Herzschwäche, Diabetes, Burn-Out und Depression zunehmen und sich als Volkskrankheiten weiter ausbreiten.

Leider kommt hinzu, dass eine Veränderung der Verhaltensweisen der Menschen hinsichtlich Ernährung und Bewegung in absehbarer Zeit nicht zu erwarten ist.

Meist ist der Leidensdruck für den Einzelnen im Alltag noch nicht einschneidend genug, um deshalb den gewohnten Lebensrhythmus umzugestalten. Hinzu kommt allerdings auch, dass die Symptome, die später zu einer chronischen Krankheit führen, lange Zeit nicht spürbar sind und zu einer gewissen Sorglosigkeit gegenüber dem eigenen Gesundheitszustand führen

Es wird verkannt, dass z.B. Adipositas nicht nur eine Fehlfunktion der Fettzellen und Diabetes nicht nur ein zu viel an Zucker im Blut ist, nein, das System Mensch ist funktionsgestört und an einer Schwachstelle wird schließlich eine Krankheit festgestellt.

Natürlich bleibt der Gang zum Arzt, und auch Medikamente werden weiterhin verordnet.

Es ist aber zwingend erforderlich, neue Strategien zu entwickeln und alternative Wege zu gehen, die dem Bürger helfen sollen, seine Gewohnheiten zu verändern und selbst dazu beitragen, seine Lebensqualität zu verbessern.

Mit dieser **Zielsetzung** gewinnt der hier vorgeschlagene Einsatz der Hypoxie als präventive und im engeren Sinne auch therapeutische Behandlungsform an Bedeutung. Damit erschließt sich ein Zugang zum Organismus, den keine andere Therapieform erreicht, wie z.B. eine medikamentöse Therapie, mit Ausnahme einer sinnvoll aufgebauten Bewegungstherapie.

Und so, wie ein körperliches Training die meisten Organfunktionen um ein Vielfaches steigern kann, aktiviert auch ein **künstlich gesetzter Sauerstoffmangel (Hypoxie)** auf Grund seiner systemischen Wirkung mehr oder weniger alle Zellen und deren Funktionen sowohl in passiver, und noch wirkungsvoller, in aktiver Form. Die Wirkung eines systemischen, d.h. den ganzen Körper betreffenden Sauerstoffmangels ist schon lange bekannt. Im Verlauf der Evolution haben sich effektive Mechanismen in der Zelle herausgebildet, diesen Mangel erfolgreich zu kompensieren.

Millionen Menschen der Erde wohnen und arbeiten in über 2000 m Höhe und zeigen Anpassungen des Herzkreislaufes, Blutes, Stoffwechsels und ihrer genetischen Anlagen.

Leistungssportler nutzen diese Effekte im Rahmen ihres Höhentrainings schon länger aus. Vor allem nach den Erfahrungen bei den Olympischen Spielen in Mexiko 1968 und den überdurchschnittlichen Leistungen der afrikanischen Läufer in den letzten Jahren, wurde eine Fülle von empirischen und experimentellen Ergebnissen zusammengetragen, die nicht nur der Leistungssteigerung dienten, sondern auch einen allgemeinen Erkenntnisgewinn mit sich brachten.

Warum sollten nicht auch der „ normale Gesunde“ und, in ausgewählten Fällen, auch der „kranke Mensch“ davon profitieren?

Die **These** dazu lautet:

„Hypoxie verfügt über ein physiologisches und biochemisches Wirkungsspektrum und ist als alternatives Heilverfahren einsetzbar“.

Das näher zu erläutern und Empfehlungen zu geben, ist die Aufgabe der vorliegenden Broschüre.

Welche **Zielgruppen** kommen für eine Anwendung der Hypoxie in Frage?

Grundsätzlich wirkt sich bei allen Menschen vom **Kindes** - bis zum **Seniorenalter** ein differenziert und regelmäßig gegebener Hypoxiereiz positiv aus. Der Urlaub in mittleren Höhen ist dafür der beste Beweis, denn er fördert bei vielen das subjektive Wohlbefinden und einen merkbaren Leistungsschub. Aber diese Aufenthalte sind natürlich begrenzt und der positive Effekt bald aufgebraucht.

Vordergründig nutzen **Sportler** und **Alpintouristen**, die sich für ihren Aufenthalt in größeren Höhen vorbereiten, die Hypoxie.

Zunehmend jedoch zeigt sich ein positiver Effekt auch bei **Personen mit Bewegungsmangel** und **hoher psychischer Belastung**.

Und zunehmend berichten Personen mit pathologischen Fehlregulationen bis hin zu manifesten chronischen **Krankheiten** des Kreislaufs, der Atmung und des Stoffwechsels, dass eine messbare Veränderung nach Hypoxiebehandlung eingetreten ist.

2. Hypoxie – was ist das?

Hypoxie ist ein Mangel an Sauerstoff in Organen und Zellen des Körpers (hypo = unter; Oxygenium = Sauerstoff). Es sind viele Ursachen bekannt, die zu einer Unterversorgung der Gewebe mit Sauerstoff führen. Dazu erfolgen weitere Ausführungen im Kapitel „Hypoxie unter Normoxie“.

Es sind **zwei Formen** der Hypoxie zu unterscheiden:

Die **hypobare Hypoxie** und die **normobare Hypoxie!**

Bei einer **hypobaren Hypoxie** (hypo=unter; baro=druck). verringert sich die Luftsäule, die auf unserem Körper lastet, so dass der notwendige Druck fehlt, um das Sauerstoffmolekül aus der uns umgebenden Mischluft über die Atemwege in den Körper zu pressen (Abb.1). Der zunehmende Aufstieg in die Höhe entspricht dieser Situation.

Diese Luftsäule übt einen Druck von ca. 18.000 kg/m² bzw. 18 t aus, der auf unserer Körperoberfläche lastet, die ca. 1,8 m² beträgt. Diese Angabe beruht auf Messungen, die davon ausgehen, dass die Gesamtmasse Luft in der Atmosphäre einen Druck von ca. 10.000 kg/m² Erdoberfläche ausübt.

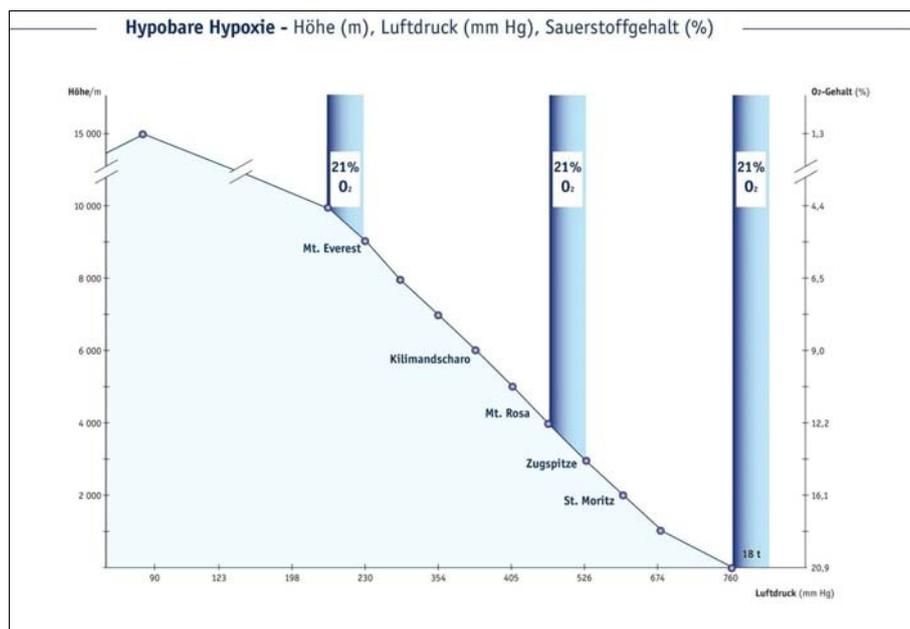


Abb. 1 Physiologisches Prinzip der hypobaren Hypoxie (Buhl, Höhenbalance 2008)

Der Abbildung ist aber auch zu entnehmen, dass sich der Sauerstoffanteil von 21,9 % in der Luft bis in Höhen von über 20 km nicht verändert. Der Sauerstoffmangel am Mt. Everest ist in diesem Sinn kein Mangel, sondern der erheblich reduzierte Luftdruck verhindert die Aufnahme des O₂ – Moleküls.

Doch in der natürlichen Höhe wirken **zusätzlich Faktoren**, die nicht zu unterschätzen sind:

Das ist die Zunahme der UV – Strahlung, bes. der für uns schädlichen UV-B Strahlen; die abnehmende Temperatur und der reduzierte Wasserdampfgehalt sorgen für eine zunehmend trockene Luft und erfordern eine verstärkte Flüssigkeitsaufnahme.

Das Kältegefühl wird durch die Windverhältnisse zusätzlich beeinflusst, d.h. die gefühlte Kälte liegt weit unter der real gemessenen Außentemperatur.

Und nicht zu unterschätzen ist die Gefahr, die eine oder andere Form der Höhenkrankheit zu erleiden.

Um diese Nachteile zu umgehen, wurden sog. **Unterdruckkammern** gebaut, in denen starke Pumpen den Druck senken und eine hypobare Hypoxie erzeugen. Doch diese Anlagen sind teuer und nur für bestimmte Leistungszentren festgelegt.

Die **zweite Form** der Hypoxie wird als **normobare Hypoxie** (normo=gleich; baro=Druck) bezeichnet (Abb.2). Hier kommt eine neue Technologie zur Anwendung.

Es sind **Kompressoren**, die über einen speziellen Filter verfügen, über den der komprimierte Luftstrom geleitet wird und das Sauerstoffmolekül aus der Mischluft entfernt, so dass im Körper eine sauerstoffarme Luft ankommt. Je nach Leistung der Kompressoren lassen sich Hypoxiegrade bis zu 6000 m Höhe erzeugen. Diese Geräte finden gegenwärtig eine zunehmende Verbreitung. Sie sind transportabel, überall aufstellbar und jederzeit nutzbar; allerdings erfordern sie die Anwendung einer Gesichtsmaske. Mit mehreren Geräten kann aber auch ein gut abgedichteter Raum unter Hypoxie gesetzt werden, so dass gleichzeitig mehrere Personen ohne Maske behandelt werden können.

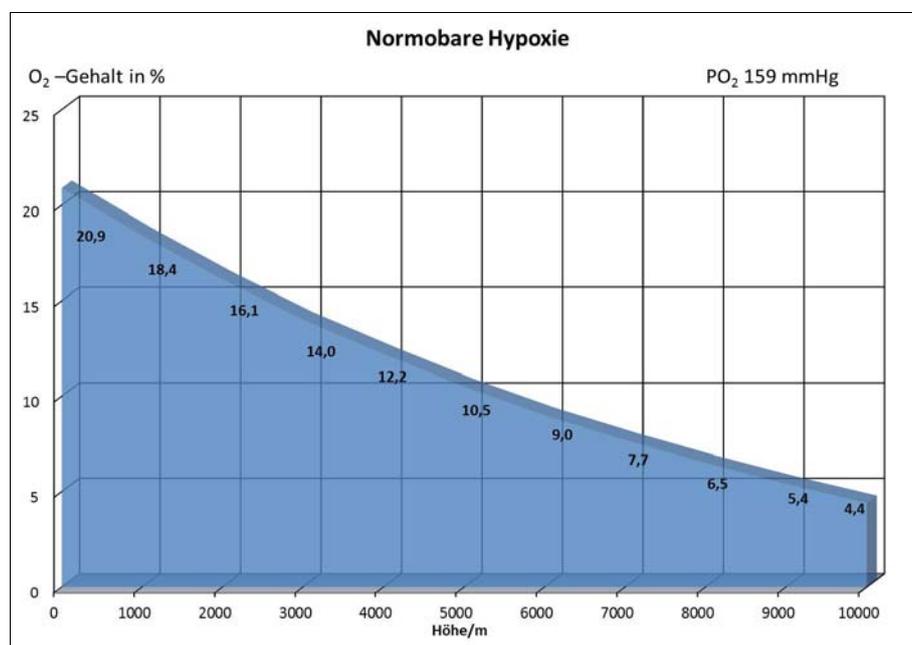


Abb. 2 Physiologisches Prinzip der normobaren Hypoxie (Buhl, Höhenbalance 2008)

Im Vergleich zur natürlichen Höhe wird mit dieser Technologie eine **künstliche Hypoxie** erzeugt. Diese ist allerdings an begrenzte Räumlichkeiten gebunden. Aber der Vorteil, dass die Nutzung zu jeder Zeit möglich und wohnortnah ist, wiegt diesen geringen Nachteil wieder auf.

Und ein weiterer Vorteil besteht darin, dass damit auch Belastungen mit dem Fahrradergometer, dem Laufband oder mit Krafttrainingsgeräten möglich sind. Das wird besonders von Sportlern genutzt, die ihr „Höhentraining“ jetzt unter Normoxie absolvieren können.

Die Frage, ob sich die beiden Hypoxieformen hinsichtlich ihres Wirkungsspektrums unterscheiden, wurde experimentell untersucht, es wurde kein prinzipieller Unterschied in der Wirkung beim Menschen gefunden.

3. Das biologische Grundprinzip der Hypoxiewirkung

Das Wesen der Hypoxie ist zunächst schwer verständlich, denn Sauerstoffmangel weist oft einen negativen Aspekt auf und ist mit Leistungsminderung oder gar einer Krankheit assoziiert.

Aber wie so oft in biologischen Prozessen, liegt zwischen schwacher und gefahrdrohender Wirkung ein durchaus nutzbringender Bereich, den es zu erkennen und exakt zu beschreiben gilt.

So auch mit der Hypoxie.

Man muss sich vorstellen, dass man sich bequem in sitzender oder liegender Position befindet, und mit einer Maske in simulierten 3000 m oder in einer Höhenkammer aufhält und zunächst nichts verspürt. Bald atmet man jedoch etwas schneller, das Herz schlägt kräftiger und der eine oder andere verfällt in eine angenehme Müdigkeit. Mehr ist an äußeren Symptomen zunächst nicht erkennbar.

Aber im Organismus bzw. den einzelnen Zelltypen beginnt bereits nach Sekunden eine vielschichtige Organisation der Gegenmaßnahmen auf den verschiedenen Ebenen, wie es im Kapitel „Zielorgane der Hypoxie“ beschrieben wird.

In Abhängigkeit vom aktuellen Sauerstoffmangel werden in schneller Folge Regulationen in der Zelle aktiviert, die alle einen Beitrag leisten, um trotz eines reduzierten Angebots an Sauerstoff die erforderliche Energie (ATP – Synthese) dem Organismus zur Verfügung zu stellen.

Man spricht von einer **Kaskade an Kompensationsmechanismen**, die zwar in einer bestimmten Reihenfolge ablaufen, jedoch weist jede Zelle für sich ein spezifisches Reaktionsmuster auf.

Das Wirkungsprinzip der Hypoxie beruht demnach auf der Stärke und Dauer der ausgelösten **Kompensation** einerseits und auf der Qualität dieser Regulationen andererseits.

Hypoxie ist also zunächst „nur“ der Auslöser und die Kompensation die Zielfunktion.

Hypoxie stört den gut eingespielten „Zellalltag“ und zwingt die Zelle dazu, die Voraussetzungen für die Kompensation des O_2 – Mangels zu schaffen. Das erfolgt simultan im Sekundenbereich in der Lunge, am Herzen und auf der genetischen Ebene, allerdings zeitversetzt.

Und genau diese damit verbundenen Regulationen nutzen wir aus, um die eine oder andere Funktionsstörung wieder zu beheben, die sich allmählich in unserem Körper entwickelt hat (siehe chronische Krankheiten).

Im gesunden Körper führt es jedoch dazu, gewünschte Funktionen noch leistungsfähiger zu machen, wie es z.B. der Sportler durch Training in der Höhe zu verwirklichen sucht.

Die **These** dazu lautet: „Hypoxie führt zu einer Sensibilisierung der Zellfunktionen und löst vielschichtige Regulationen zur Kompensation des Sauerstoffmangels aus, die therapeutisch nutzbar sind“.

4. Hypoxie unter Normoxie

In Zellen, Organen und Blutgefäßen treten auch unter Lebensbedingungen, bei denen normalerweise ausreichend Sauerstoff zur Verfügung steht (Norm-Oxie), spontan Sauerstoffmangelzustände auf, die allerdings lokal begrenzt sind.

Der klassische Fall ist der Herzinfarkt: Ein Herzwandblutgefäß ist durch einen Blutpfropf verschlossen, das nachfolgende Gewebe wird nicht mehr durchblutet und es tritt ein lebensbedrohender Zustand ein.

Weitere Ursachen eines lokal begrenzten O_2 -Mangels können sein:

- Die Atemwege sind entzündlich verändert und es wird zu wenig Luft aufgenommen (Asthma);
- Der Sauerstoffträger Hämoglobin bindet nicht alle Sauerstoffmoleküle, im Blut wird zu wenig transportiert und die Gewebe sind unterversorgt;
- Die Zelle selbst kann durch Membrandefekte nicht ausreichend O_2 aufnehmen und den Mitochondrien für die Energiesynthese zur Verfügung stellen;

- Das Blutvolumen sowie die Blutzusammensetzung entsprechen nicht mehr dem Bedarf;
- Form und Anzahl der roten Blutzellen haben sich verändert und beeinträchtigen die Fließeigenschaften des Blutes, besonders in den kleinsten Gefäßen, den Kapillaren, kommt es zu Störungen in der Mikrozirkulation, wo der so wichtige Stoffwechselfaustausch stattfindet;
- Im Muskelgewebe kommt es relativ häufig vor, dass kleinere Regionen ungenügend durchblutet werden und den Boden für die oft auftretenden Muskelverspannungen oder partiellen Muskelfaserzerrungen bereiten.

Der lokale Sauerstoffmangel ist die häufigste Ursache von Muskelverletzungen.

Diese Feststellung für das Muskelgewebe trifft auch für den gesamten Organismus zu:

Die Ursache der Mehrzahl der uns bekannten chronischen Erkrankungen geht abgestuft auf einen schon länger bestehenden lokalen Sauerstoffmangel in den betroffenen Körpergeweben zurück.

Für den Einzelnen sind solche Mängel zunächst nicht spürbar, es entwickelt sich schleichend eine Fehlfunktion und eines Tages entsteht daraus eine behandlungswürdige Krankheit.

Und genau hier setzt die systemische Wirkung einer Hypoxiebehandlung an:

Durch die oben beschriebenen Kompensationsmechanismen lassen sich schon im Vorfeld solche Störungen beheben, die mit anderen Therapieformen (Medikamente) nicht zu beeinflussen sind.

Die Ausnahme macht allerdings auch hier ein systematisch und lebenslang ausgeübtes körperliches Training mit 2 – 4 Stunden Belastung in der Woche.

Damit eröffnet sich für die Hypoxie ein Wirkungsfeld, welches sich klar von den bisher bekannten Indikationen unterscheidet, wie z.B. Leistungstraining, Prophylaxe der Höhenkrankheiten oder Akklimatisation.

Aus dem Verhalten des Sauerstoffs und der Unterversorgung der Gewebe mit O_2 unter normalen Bedingungen lässt sich die These ableiten:

„Auch unter Normoxie –Bedingungen entstehen lokal begrenzte Hypoxiezustände, die durch eine Selbstregulation des Organismus beseitigt werden können. Bei längerem Bestehen werden diese Mangelzustände selbst zur Ursache von chronischen Krankheiten“.

5. Zielorgane der Hypoxie

Der anatomische Aufbau sowie die entsprechenden Funktionen der Organe bzw. Zellen des menschlichen Körpers sind hierarchisch geordnet. Die Reize, die ständig von außen auf dieses System einwirken, werden demzufolge differenziert von den Zellen aufgenommen und entsprechend ihres Informationsgehalts verarbeitet.

So auch im speziellen Fall unter Hypoxieeinfluss. Obwohl der gesamte Körper als System den hypoxischen Zustand kompensieren muss, reagieren die einzelnen Zellen recht unterschiedlich (Abb.3 u.4).

Damit lässt sich z.T. auch die individuelle Reaktion des Menschen auf Hypoxie erklären. Je nachdem in welchem Zustand sich eine Zelle befindet, sei es durch den Einfluss der Ernährung, durch Training oder eine Krankheit u.a., wird ihre Reaktion auf Hypoxie stets unterschiedlich sein.

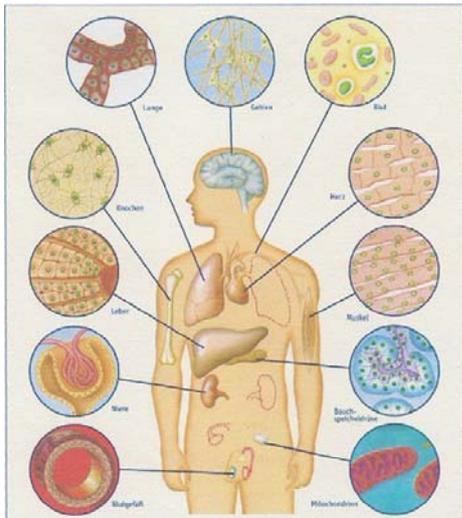


Abb. 3 Körperzellen in Normoxie

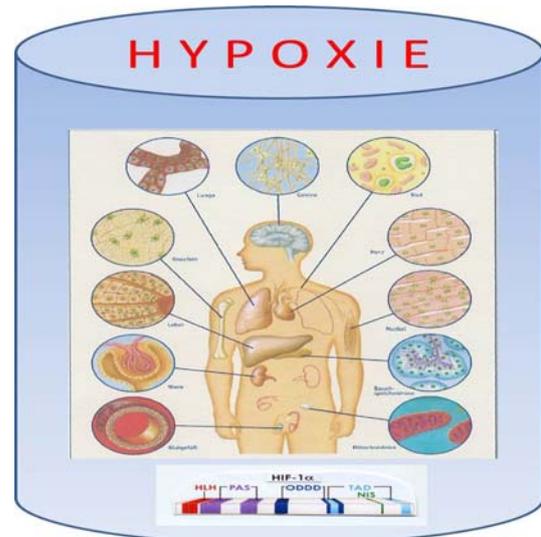


Abb. 4 Körperzellen unter Hypoxie (modif. Buhl, 2007)

Zunächst sollte man sich folgende Situation vorstellen.

Man liegt zu Hause entspannt auf einer Liege oder sitzt im Sessel in einer simulierten Höhe von 3000 oder 4000 m und verspürt außer einer schwachen Zunahme der Atmung und des Herzschlages zunächst keine weiteren Symptome.

Gleiches passiert auch in der natürlichen Höhe, allerdings genießt man hier den Blick auf die beeindruckende Bergwelt. Doch das erfolgt für viele nur einmal im Jahr oder gar nach Jahren. Damit sind die Voraussetzungen für eine länger anhaltende Wirkung nicht gegeben.

Was passiert aber in dieser für uns scheinbar entspannenden Situation im Körper tatsächlich?

5.1. Rezeptoren

Bereits nach Sekunden und wenigen Minuten reagieren fast alle Körperzellen auf den Hypoxiereiz und beginnen ihre Kompensationsstrategien zu aktivieren.

Es sind die **Rezeptoren** (lat.receptor – der Empfänger), Organe zur Aufnahme von Sinnesreizen; deshalb auch Sinneszellen oder Sensoren genannt, die als erste auf die Hypoxie reagieren. Sie sind überall auf und in den Zellen, im Blut, in den Blutgefäßen und vor allem an den Nervenzellen im gesamten Körper verteilt. Die Bedeutung dieser Strukturen ist fundamental, denn der Informationsaustausch im Organismus erfolgt auf der Ebene der Rezeptoren.

Rezeptoren sind hochspezifische Eiweißstrukturen, die eng mit einer Nervenendigung verbunden sind, wie es in der Abb.5 dargestellt ist. Das Wirkungsprinzip ist in allen Rezeptoren gleich, aber der anatomische Aufbau und die Formen unterscheiden sich beträchtlich. Sie sind in der Lage, in Sekunden auf einen (ihren) spezifischen Reiz zu reagieren. Ihre vielfältigen Strukturen versetzen sie in die Lage, verschiedene Druckformen, chemische Stoffe, Gase, Temperaturen u.a. in Bruchteilen von Sekunden aufzunehmen, zu unterscheiden und über Nervenbahnen weiter zuleiten.

Sie werden deshalb als Mechano-, Chemo- oder Thermorezeptoren bezeichnet.

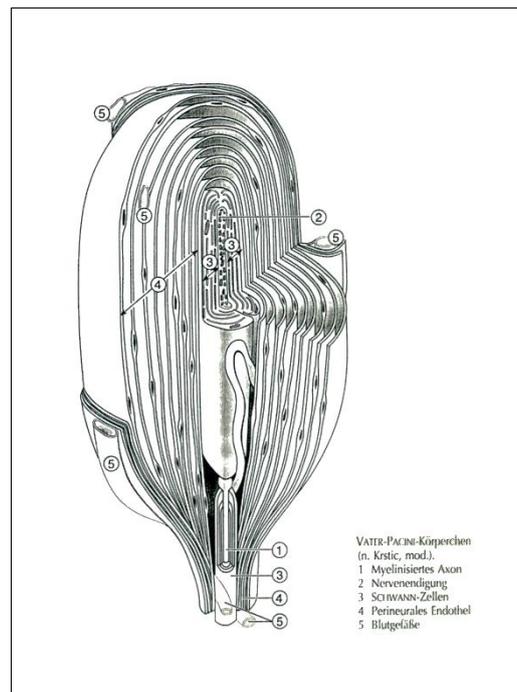


Abb. 5 Anatomisch –histologische Aufbau eines Rezeptors (Bsp.:Vater-Pacini-Körperchen)

Es ist deutlich zu sehen, wie sich der Nerv (1) frei mit dem hochempfindlichen Gewebe (2) verbindet, um sofort z.B. den von den Lamellen übertragenen mechanischen Reiz aufnehmen zu können.

Entscheidend ist jedoch, dass der aufgenommene Reiz durch ein **Frequenzspektrum** charakterisiert wird und genau dieses wird von der Nervenendigung im Rezeptor erkannt und blitzschnell an die zugehörigen Nervenzellkerne in den betreffenden Strukturen des ZNS wie z.B. Hirnstamm, Limbisches System, Thalamus oder des Großhirns weitergeleitet.

Die dort lokalisierten Nervenzellen erhalten damit neue Informationen, verarbeiten diese mit anderen Regionen im ZNS und senden eine spezifische Antwort an die Organe bzw. Zellen, die von der Hypoxie betroffen sind.

Das ist ein fundamentales Funktionsprinzip der lebenden Natur, welches im Verlaufe der Evolution immer mehr verfeinert wurde.

Andererseits haben einige Rezeptoren ihre Bedeutung beim Menschen verloren, da sie kaum noch gebraucht werden, wie z.B. die in den Riech- oder Hörzellen.

In diesem Zusammenhang stellt sich natürlich die Frage, ob der Mensch in seiner langen Entwicklung auch für die Situation eines lokalen oder systemischen Sauerstoffmangels über ausreichend Rezeptoren verfügt, um diesen Mangel zu kompensieren. Diese Frage ist eindeutig zu bejahen. Damit sind die Voraussetzungen gegeben, die Hypoxie als physiologisch begründetes Wirksystem am Menschen einzusetzen.

Die überragende Rolle der Rezeptoren in der Vielfalt ihrer Formen und Funktionen ist mit der **These** zu beschreiben:

„ Rezeptoren im Blut, an den Blutgefäßen, in den Organen und im genetischen Apparat der Zelle, nehmen den Hypoxiereiz auf, modifizieren ihn und aktivieren wichtige Funktionen des Körpers, die sich letztlich für eine präventive oder therapeutische Anwendung nutzen lassen.

Was passiert nun weiter im Körper unter Hypoxie?

Die Beschreibung der nachfolgend angegebenen Zellen ist keine Reihenfolge, da viele Reaktionen nur gering zeitversetzt ablaufen; aber aus didaktischer Sicht wurde dieser Ablauf gewählt.

5.2. Lunge und Herz

Wir atmen sauerstoffreduzierte Luft ein und die Alveolen in der Lunge (kleinste Funktionseinheit der Lunge als Ort des Gasaustausches) können weniger Sauerstoffmoleküle an das im Blut zirkulierende Hämoglobin abgeben (häm=eisenhaltiger Stoff; globin=Eiweiß als Trägermolekül).

Als Folge nimmt die Sättigung des Blutes mit Sauerstoff ab, die wir mit dem Oxymeter (spektroskopische Messung der Sauerstoffsättigung im Blut) am ausgestreckten Finger direkt messen können. Normalerweise ist das Blut mit 96 – 98 % gesättigt; bei 2500 m fällt es auf ca. 90 %, bei 5000 m unter 80 % und der Mt. Everest Besteiger muss mit weniger als 50 % des Normalwertes auskommen.

Die reduzierte Sättigung des Blutes wird sofort von Chemo- bzw. Drucksensoren reflexartig registriert, die sich in und an den großen arteriellen Hirngefäßen und in der Aorta befinden (Abb.6).

Sie werden als Glomus caroticum bzw. Glomus aorticum und Sinus caroticus bezeichnet, wie der Abbildung zu entnehmen ist (glomus = Knäuel). Hier wird der Gehalt bzw. Druck des Sauerstoffs und Kohlendioxids im Blut festgestellt und als elektrisches Signal über die Nervenbahnen dem Atemzentrum im Hirnstamm (Teil zwischen Großhirn und Rückenmark) zugeleitet.

Schon nach 2 – 4 Sekunden antworten dort spezifische Nervenzellen und geben das Signal für eine Steigerung der Atemfrequenz, um das Luftvolumen und damit den Sauerstoffanteil wieder zu erhöhen. Das erhöhte Luftvolumen muss natürlich transportiert werden und so erhalten die in unmittelbarer Nähe liegenden Nervenzellen des Kreislaufzentrums den „Befehl“ aus dem Atemzentrum, die Herzleistung durch Steigerung der Herzfrequenz zu verbessern und damit den Durchlauf des Blutvolumens pro Zeiteinheit zu erhöhen.

Die Veränderungen spüren wir deutlich, Atmung und Herzschlag werden schneller und stärker, solange der Hypoxiereiz anhält.

Diese Wirkungen der Hypoxie auf das kardiopulmonale Funktionssystem treten in jedem Fall ein, mit Sicherheit ab 90 ± 2 % Sauerstoffsättigung des Blutes, denn es ist eine zunächst energiearme Sofortlösung des Körpers auf eine Notsituation. Diese Regulationen wurden in experimentellen Studien umfangreich untersucht.

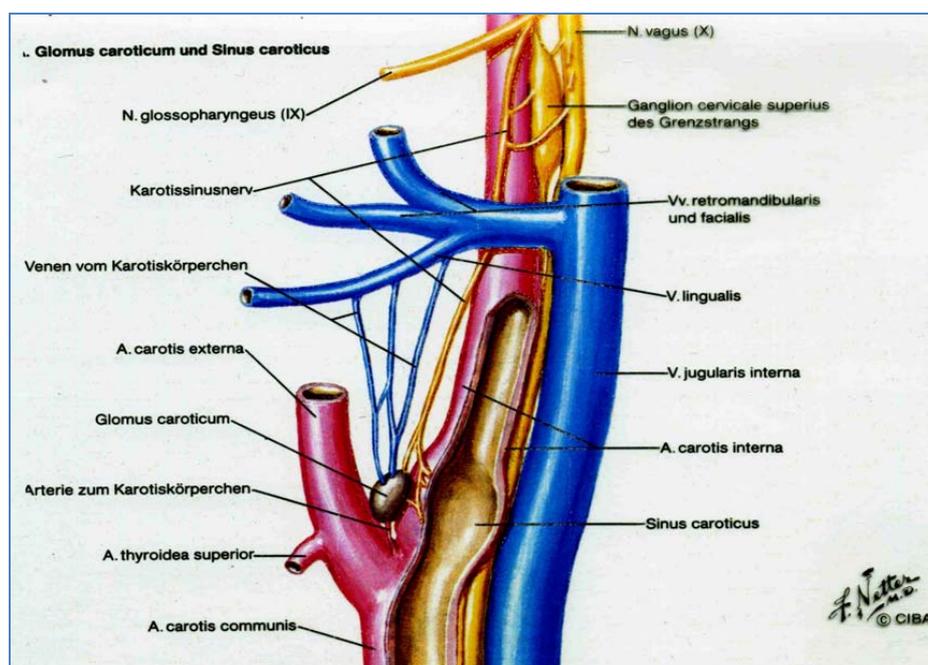


Abb. 6 Rezeptoren in den großen Hirnarterien (Gl.caroticum)

Das lässt sich mit der **These** zusammenfassen:

„Hypoxie weist im Bereich einer Sauerstoffsättigung von 90 ± 2 % und weniger eine fördernde Wirkung auf das Herzkreislauf – u. Atmungssystem auf.“

5.3. Blutgefäße und Blutstrom

Es ist naheliegend, dass sich der durch die Hypoxiewirkung schneller und stärker gewordene Blutstrom auch auf den Zustand der Blutgefäße selbst auswirkt. Diese erweitern sich durch Impulse von Nervenzellen, die netzartig in der Wand des Blutgefäßes verteilt liegen und zum autonomen Nervensystem gehören, welches nicht durch unseren Willen zu beeinflussen ist. In der Abbildung 8 sind die Nerven als gelber Strang dargestellt.

Der stärkere Antrieb zur Gefäßerweiterung geht allerdings von verschiedenen Hormonen und in erster Linie von einem Gas, dem **Stickoxid (NO)**. Dieses Gas entsteht in den Zellen die für die Bildung der Innenschicht eines jeden Blutgefäßes verantwortlich sind – den **Endothelzellen**. Und genau hier wirkt der Hypoxiereiz besonders sinnvoll, indem er die Synthese und die Freisetzung von NO stark fördert.

Doch zunächst nochmals zurück zum **Blutstrom**.

Es gehört zu den wichtigsten Erkenntnissen der Rheologie (Lehre von der Blutströmung und den Fließeigenschaften) der letzten Jahre, dass durch **Hypoxie das Strömungsverhalten** und die **Fließeigenschaften** des Blutes deutlich verändert und verbessert werden.

Im Blut bewegen sich neben den Erythrozyten (rote Blutzelle als Sauerstoffträger), Leukozyten (Abwehrzellen) und die Thrombozyten (für die Blutgerinnung) noch viele andere Moleküle.

Diese Zellen und Moleküle fließen nun nicht artig im Blutstrom, sondern stoßen einander an, drängeln und schieben sich gegenseitig und bilden auch kleinste Klumpen, die sich aber selbst wieder auflösen. Die dabei entstehenden **Scherkräfte und Schubspannungen** kann man messen und daraus die Kräfte berechnen, die auf die Wand und speziell auf die Innenwand der Blutgefäße wirken. (Abb.7)

Die Wechselwirkungen zwischen Blutströmung und Blutgefäßreaktion sind natürlich sehr vielfältig und von großer Bedeutung für die Entstehung chronischer Krankheiten, wie z.B. Arteriosklerose, Diabetes, Bluthochdruck und Herz-Kreislauf-erkrankungen.

Die These dazu lautet:

„ Hypoxie fördert die zentrale und periphere Durchblutung, aktiviert die NO - Synthese in den Endothelzellen und beeinflusst die Fließeigenschaften des Blutes“.

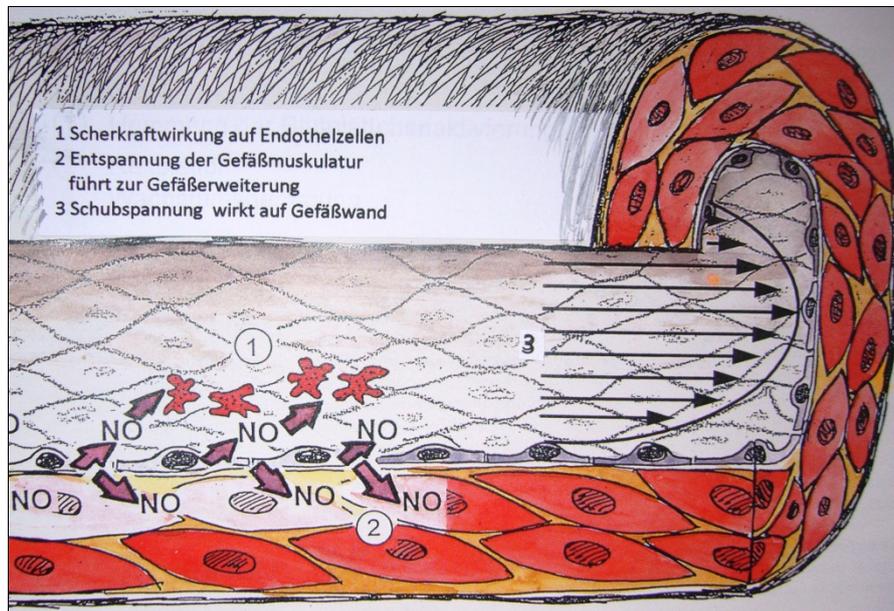


Abb. 7 Blutgefäß: Scherkräfte und Schubspannung (modif. n. Buhl)

An dieser Stelle ist nochmals auf die Funktion der Endothelzellen einzugehen, da experimentell gut belegt wurde, dass durch die Hypoxie deren Leistungspotential erheblich gesteigert werden kann.

5.4. Endothelzellen

Endothelzellen bilden die Innenschicht eines jeden Blutgefäßes (Abb.8). Es sind hochaktive Zellen, die an einer Vielzahl biochemischer und hormoneller Regulationen beteiligt sind. Das Endothel verteilt sich auf alle Gefäße im gesamten Organismus und erreicht eine Fläche von ca.700 m² und ein Gesamtgewicht von 1,5, kg. Damit ist es hinsichtlich seiner Funktion und Leistungskapazität ein mit der Leber vergleichbares Stoffwechselorgan. Des weiteren wurde erkannt, dass die Innenwand nicht glatt und undurchdringlich ist, sondern über Öffnungen verfügt, wie Spalten und feine Kanälchen, die einen regen Stoffaustausch zwischen Blutstrom, Gefäßwand und angrenzenden Gewebe ermöglichen.

Aber nicht nur Moleküle wie Glukose, Fette, Elektrolyte u.v.a. passieren das Endothel, sondern auch die Abwehrzellen des Immunsystems (Makrophagen, Lymphozyten) drängeln sich regelrecht hindurch, um im angrenzenden Gewebe ihre Abwehrfunktion zu erfüllen.

Das trifft auch für den Gefäßwachstumsfaktor (VEGF) zu, der wesentlich an der Bildung neuer Blutgefäße beteiligt ist (s. Angiogenese).

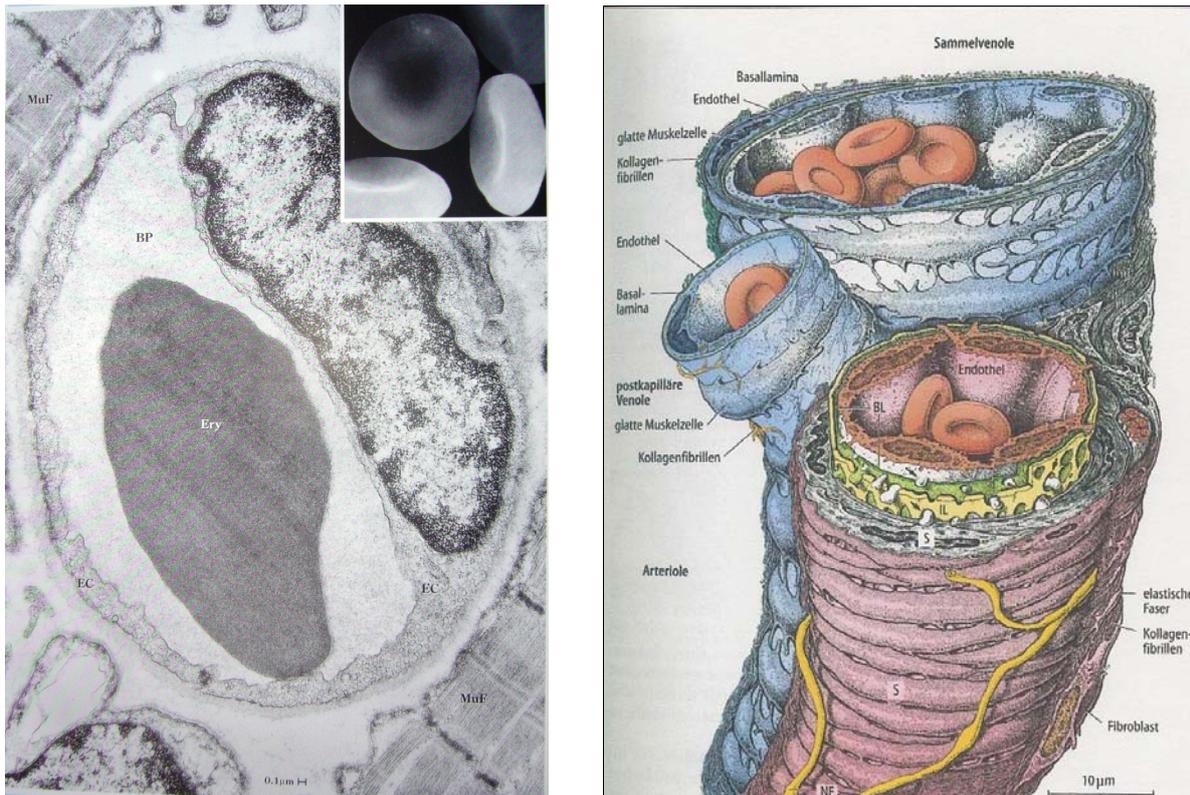


Abb. 8 Endothelzelle in einer Kapillare (Ude/Koch, 1994) Abb. 9 Endothelzellen im arteriellen Blutgefäß (nach Krstić, 1997)

Die Endothelzellen sind zwar schon lange bekannt, ihre Bedeutung jedoch nicht. Deshalb spielten sie lange Zeit keine nennenswerte Rolle in der Forschung und Klinik.

Mit der Entdeckung des NO Mitte der 90iger Jahre des vorigen Jahrhunderts, die mit dem Nobelpreis gewürdigt wurde, suchte man auch die Quelle und den Synthesort dieses Gases.

Und diese wurde hauptsächlich in den Endothelzellen gefunden. Der Syntheseweg ist aufgeklärt.

Es ist vor allem der Blutstrom mit den bereits genannten Scherkräften und den Schubspannungen, die auf die Endothelzelle wirken und sie aktivieren, NO zu bilden und freizusetzen. Die Abgabe von NO an die Umgebung erfolgt im Sekundenbereich, da es aber als Gas nicht stabil ist, zerfällt es sehr schnell. Aber sobald NO erscheint, durchdringt es die Gefäßwand, strömt in das umliegende Gewebe und löst eine Reihe von Regulationen aus, wobei die wichtigste in der Erweiterung des Blutgefäßes besteht.

Ein **intaktes Endothel** ist die entscheidende Voraussetzung für eine optimale Blutversorgung der Organe vor allem im Bereich der Mikrozirkulation und verhindert die Entstehung chronischer Erkrankungen, wie oben bereits angeführt. Umgekehrt bedeutet das, dass eine sog. **endotheliale Dysfunktion** übereinstimmend in Fachkreisen als Hauptursache für die Entstehung der wichtigsten chronischen Krankheiten gilt (Abb. 10).

Begriffserklärung der Abb.10:

Vasodilatation	Gefäßerweiterung;
Aggregation	Zusammenballung von Blutzellen;
Adhäsion	Anhaften von Blutzellen und Teilchen an der Gefäßwand;
hyper	über
Arteriosklerose	zunehmende Verengung des Lumens einer Arterie
Hypertonie	Bluthochdruck
KHK	Koronare Herzkrankheit



Abb. 10 Aufgaben des Endothels und die endotheliale Dysfunktion

Wenn nun experimentell nachgewiesen wurde, dass Hypoxie diese Prozesse positiv beeinflusst, ist aus allein dieser Sicht gesehen, die Anwendung der Hypoxie in Sinn einer Gefäßprotektion(lat. protekto – Schutz) schon gerechtfertigt.

Aber die Endothelzellen verfügen über eine weitere Fähigkeit, die bisher immer angezweifelt, aber jetzt im Experiment nachgewiesen wurde: Sie können **neue Blutgefäße** bilden, die Angiogenese (gr. angion – das Gefäß)(Abb. 10).

An besonders beanspruchten Blutgefäßen in stark belasteten Geweben, z. B. der Muskulatur, lösen sich einzelne Endothelzellen aus ihren Verband heraus, bilden mit Hilfe des Gefäßwachstumsfaktors (VEGF)eine röhrenförmige Ausstülpung, aus der sich in Abhängigkeit von der dort bestehenden Belastung, nach Wochen ein neues Blutgefäß bildet.

Damit wird das Endothel zu einem bevorzugten Zielbereich der Hypoxie ,die **These** lautet:„ Hypoxie aktiviert das endotheliale Zellpotential, führt zur Erweiterung der Blutgefäße und wirkt im Sinn einer Gefäßprotektion sowie einer Steigerung des Stoffwechsels in den Körpergeweben“.

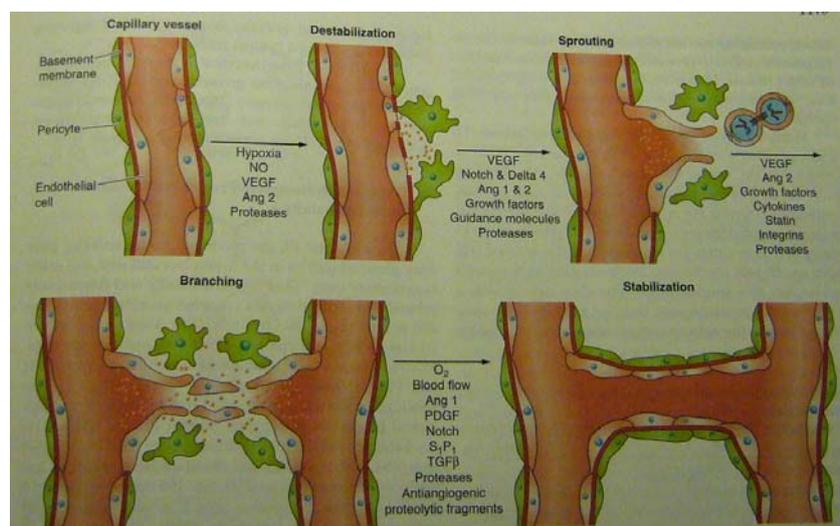
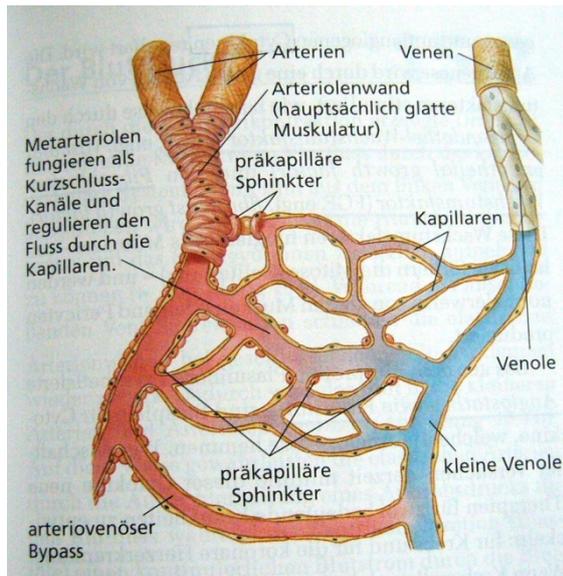


Abb. 11 Angiogenese: Bildung neuer Kapillaren durch Hypoxie (Clapp,2009)

5.5. Mikrozirkulation



Unter Mikrozirkulation versteht man jenen Bereich des Körpers, der aus einem dichten Gefäßnetz von Kapillaren und Venolen besteht und der Ort ist, wo der direkte Austausch von Flüssigkeit, Stoffen, Sauerstoff, Mineralien, Molekülen u. v. a. aus dem Blut mit dem umgebenden Gewebe stattfindet (Abb. 12).

Abb.12 Mikrozirkulation: Blutstrom zwischen Kapillare und Venole (n.Silverthorn, 2007)

Die Leistungsfähigkeit dieses Systems hängt ab vom Zustand und der Anzahl der Kapillaren, von der Zusammensetzung und den Fließeigenschaften des Blutes, der Verformbarkeit der Erythrozyten und den Druckverhältnissen zwischen Innendruck in der Kapillare und dem Außendruck im Gewebe.

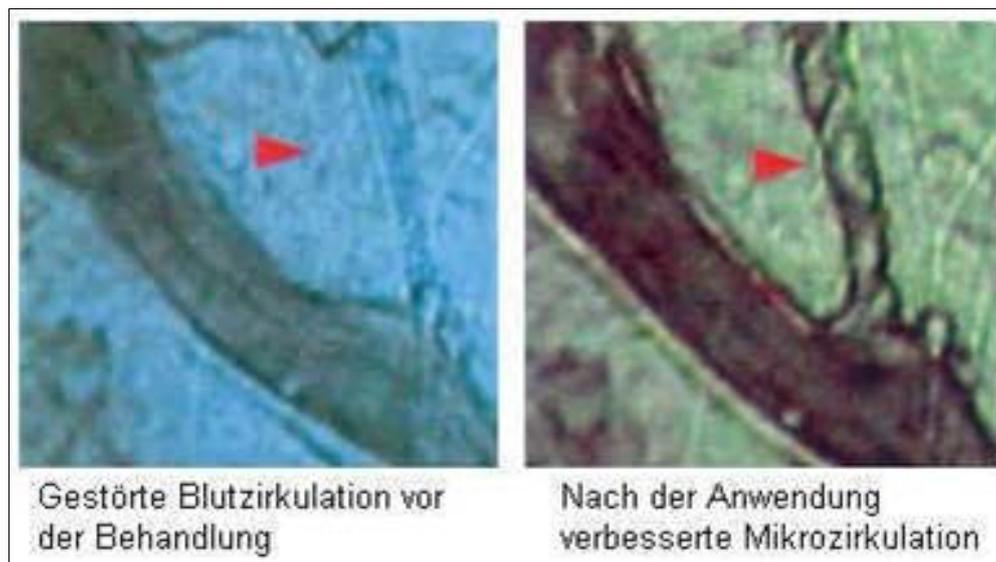


Abb. 13 Mikrozirkulation: Arterio – venöser Stoffaustausch (Klopp, 2008)

Und welchen Einfluss hat die Hypoxie in diesem Bereich?

Es wurde bereits festgestellt, dass sich unter Hypoxie die physikalischen Eigenschaften des Blutstroms und der Blutzellen selbst verändern, das Endothel als direkter Zielbereich der Hypoxie gilt, Blutgefäße erweitert werden und die Anzahl der Kapillaren, die bislang als passive Reserve im Gewebe lagen, aktiviert wurden, wie in der Abb. 13 dargestellt wurde.

Die Summe dieser Veränderungen spiegelt sich in der Leistungsfähigkeit des Funktionssystems der Mikrozirkulation wider.

Die Regulationen im Stromgebiet der Mikrozirkulation sind zwar nicht immer im Einzelfall messbar, aber subjektiv als Begründung dafür anzusehen, dass man sich nach einer Hypoxieanwendung insgesamt wohler fühlt und bei der Erledigung bestimmter Aufgaben des Alltags auch leistungsfähiger ist.

Die **These** dazu lautet: " Hypoxie übt einen aktivierenden Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Funktionssystems der Mikrozirkulation aus".

5.6. Mitochondrien

Die interessantesten und für den Organismus wichtigsten Funktionseinheiten sind die Mitochondrien (Abb.: 12). Es sind mikroskopisch sichtbare Strukturen, die zwischen 5 – 40 % des gesamten Zellvolumens einnehmen. Der unterschiedliche Anteil wird von der Funktion der betreffenden Zelle im Organismus bestimmt. Den höchsten Anteil weisen z.B. die männlichen Spermazellen auf, gefolgt von den Nervenzellen, den Muskelzellen, den Nieren- und Leberzellen. Der histologische Aufbau zeigt eine Doppelmembran mit einem Zwischenraum, dessen Bedeutung erst in letzter Zeit, insbesondere durch das Verhalten bei Hypoxie, richtig verstanden wurde. Im Inneren ist die Zellmembran eingestülpt, um die Oberfläche zu vergrößern (Abb.: 14).

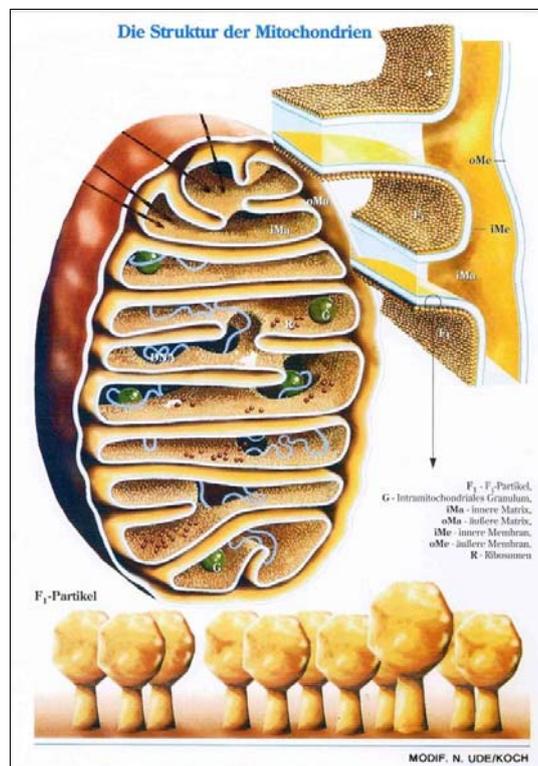


Abb.: 12 Mitochondrium im Elektronenmikroskop Abb.:13 Mitochondrium –Funktionsmodell (Ude/Koch 1998)

An den Zellmembranen sind pilzähnliche Strukturen zu sehen, am unteren Bildrand vergrößert, die jene Enzyme enthalten, die für die ATP – Synthese erforderlich sind.

ATP (Adenotriphosphat) ist der einzige Energieträger im Organismus und versorgt alle anderen Zellen mit ATP für den Aufbau ihrer Strukturen und natürlich für ihre Funktion.

Mitochondrien reagieren äußerst sensibel und sehr schnell auf einen Sauerstoffmangel und rücken damit in den Mittelpunkt der Betrachtung im Falle einer hypoxischen Situation.

Bislang ging man davon aus, dass Mitochondrien einen „festen“ Platz in der Zelle belegen und auf den Antransport des Sauerstoffmoleküls warten. Dem ist nicht so!

Mitochondrien sind sehr agil, bewegen sich in der Zelle stets dorthin, wo sich Sauerstoff befindet und das ist in der Regel dort, wo die Kapillaren direkt an der Zellmembran anlegen.

Bleibt der O_2 - Mangel über Minuten und Stunden bestehen, ist eine „Schwellung“ der Mitochondrien zu beobachten und auch zu messen, als Hinweis dafür, dass der Aktivitätszustand erhöht wurde. Besteht weiterhin (Stunden und Tage) diese Mangelsituation, beginnen sich die **Mitochondrien zu teilen**. Das ist besonders bei körperlichen Belastungen, z.B. beim Höhentraining der Fall.

Der Teilungsreiz geht von speziellen Eiweißmolekülen aus, die sich in der inneren und äußeren Membran befinden, wie der Abb.13 zu entnehmen ist.

In eigenen Untersuchungen hat der Autor bereits 1978 an Untrainierten und Sportlern festgestellt, dass sich das Volumen und die Anzahl von Mitochondrien durch Ausdauerbelastungen in 2500 m bis 4000 m Höhe um 10 – 30 % vergrößert haben. Die beiden Pfeile in der Abbildung 14 weisen auf die Trennungsstelle hin. Die Teilung in zwei neue Mitochondrien ist nur möglich, weil sie als einzige Zellstruktur des Körpers über einen eigenen genetischen Apparat (mitochondriale DNA) verfügt, der nach der Teilung erhalten bleibt, so dass jedes neue Mitochondrium wieder über eine DNA verfügt und sofort funktionsfähig ist (DNA = Desoxyribonukleinsäure; Träger der Erbanlagen).

Die These dazu:

Mitochondrien reagieren auf Hypoxie mit der Erhöhung ihrer Kapazität durch Schwellung der Zellmembranen und Teilung in zwei neu gebildete Mitochondrien, die sofort leistungsfähig sind.

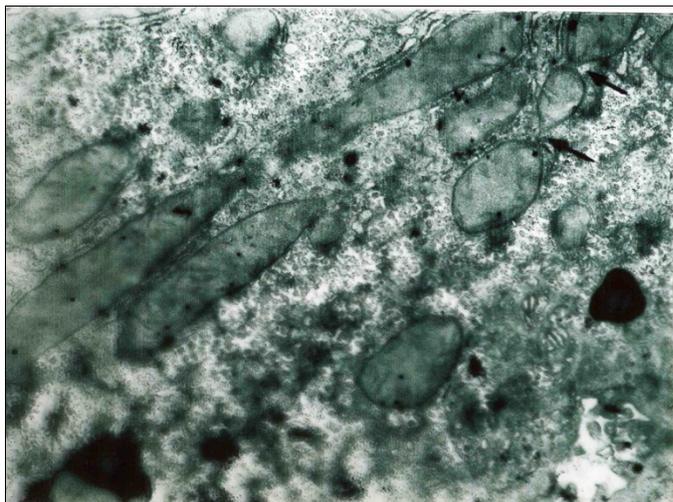


Abb.: 14 Lebermitochondrien – Teilungsphase (Buhl 1982)

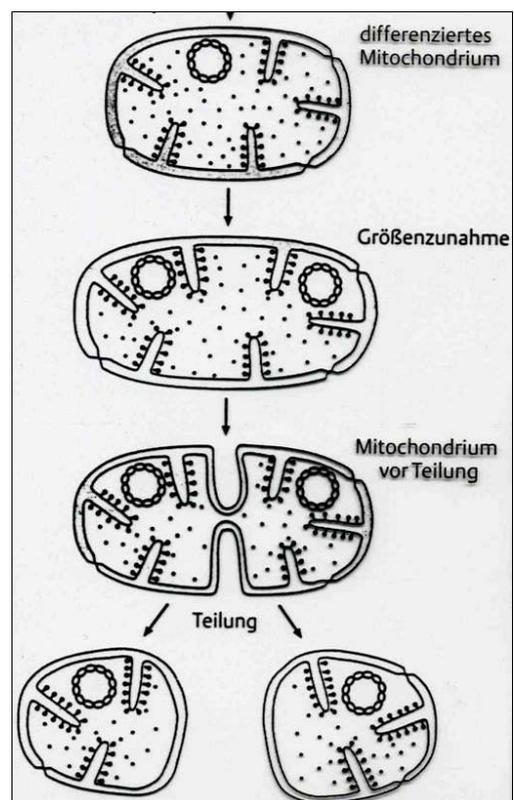


Abb.: 15 Schema der Mitochondrienteilung

5.7. Die genetische Regulation/ HIF/ Epigenetik

Mit dem beeindruckend dargestellten Wirkungsspektrum der Hypoxie verfügen wir auf der Grundlage experimentell gesicherter Ergebnisse, über ausreichende Argumente, um die Hypoxie auch praktisch anwenden zu können.

Doch zum tieferen Verständnis und damit dem eigentliche Wesen der Hypoxie haben in jüngster Zeit die aufsehenerregenden Ergebnisse zur Regulation der Hypoxie auf der genetischen und epigenetischen Ebene beigetragen.

Vor sechs Jahren wurde der entscheidende Faktor für die Umsetzung des Zellsignals „Sauerstoffmangel“ und auch die genetische Antwort gefunden : **HIF - 1 α** - der hypoxieinduzierende Faktor (Abb. 16). Dieses hochspezifische Proteinmolekül ist in jeder Körperzelle zu finden, allerdings in unterschiedlicher Konzentration.

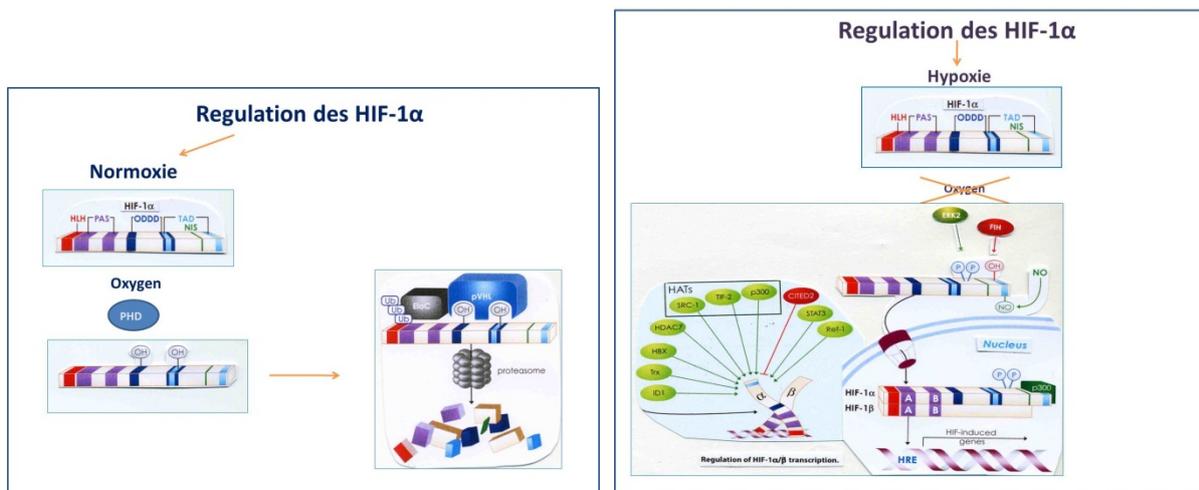


Abb.: 16 HIF - 1 a Regulation: Instabilität = Zerfall
Mangel

Abb.: 17 HIF-1a- Regulation: Stabilisierung bei O₂-
Mangel

Wenn ausreichend Sauerstoff in der Zelle verfügbar ist, ist er nicht aktiv und zerfällt sofort.

Tritt jedoch ein Sauerstoffmangel ein, besteht die Hauptaufgabe dieses Faktors darin, sich zu stabilisieren und als **Transkriptor** („Überschreiber“) in Aktion zu treten (Abb.: 17)

Er überträgt diese Information „Sauerstoffmangel“ an das oder die entsprechenden **Gene** (Träger einer speziellen Erbanlage) der **DNA**, die gut geschützt im Zellkern liegt und diesen niemals verlässt.

Wenn der HIF seinen Rezeptor auf dem in Frage kommenden Gen gefunden hat, wird die damit ausgelöste Information auf einen Boten übertragen, welcher seinerseits die DNA und damit den Zellkern verlassen kann, um seine Botschaft auf die nun zu aktivierenden anderen Substrukturen im Zellinneren zu übertragen.

Dieser Bote ist die **RNA** (Ribonukleinsäure), auf die hier nicht näher eingegangen wird.

Die nächst wichtigen Substrukturen sind die **Ribosomen**, die sich ebenfalls im Zellinneren befinden und dicht in der Nähe des Zellkerns lokalisiert sind. Deren Aufgabe ist es, die von der RNA übertragenen Informationen in neue, hochspezifische Eiweiße (Aminosäuren) umzuwandeln, d.h. hier ist der Ort der Proteinsynthese, d.h. hier werden die neuen Aminosäuren gebildet.

Und Aminosäuren werden in dieser Mangelsituation dringend und in großer Menge benötigt. Denn für die Kompensation des Sauerstoffmangels (s.o.) sind neue Enzyme, Substrate, Hormone und Zellmembranteile erforderlich, die in einer abgestimmten Weise dazu beitragen, die Kapazität für die Aufnahme von Sauerstoffmolekülen zu verbessern, die der Zelle ja nicht mehr ausreichend zur Verfügung stehen.

Damit wird die Proteinsynthese und die sie regulierenden Enzyme zum entscheidenden Nachweis, in welchem Ausmaß die Zelle auf den Sauerstoffmangel reagiert. Man kann sowohl diese Syntheseleistung als auch die Aktivität der Enzyme messen. So konnte festgestellt werden, dass besonders unter Hypoxie im Vergleich zur Normoxie diese Prozesse erheblich gesteigert werden und die Grundlage dafür sind, dass Hypoxie nicht nur das funktionelle Potential, sondern auch die Strukturen einer Zelle und z.T. ganzer Organe verändern kann.

Epigenetik

Aber die Gene als Träger des Erbgutes erhalten eine völlig neue Bedeutung, nachdem kürzlich erkannt wurde, dass Gene nicht unveränderlich ihr Erbgut selbst regeln, sondern von speziellen Proteinen gesteuert werden, die in Form von chemischen Verbindungen um bzw. an das Gen gekoppelt sind. Diese Proteine bilden praktisch Schalter, welche bestimmen, ob ein Gen angeschaltet werden kann oder auf einen von außen kommenden Reiz nicht mehr antwortet.

Die Gesamtheit der Schalter bilden das sog. **Epigenom** der Zelle (griec. epi = daneben, darauf). Dieses Epigenom reagiert auf alle Reaktionen der Umwelt, angefangen von der Ernährung, dem Stoffwechsel, Stress und Krankheiten. Im Klartext heißt das:

Reize der Umwelt und unserer Lebensweise können die Epigenetik verändern.

Die Epigenetik wurde bereits als neue Wissenschaftsdisziplin in der Forschung und Lehre international anerkannt und neue Institute gebildet. Fachleute gehen davon aus, dass nach der Aufklärung des menschlichen Genoms jetzt das Zeitalter der Epigenetik begonnen hat.

Allerdings wird damit nicht die fundamentale Rolle der DNA aufgehoben. Aber das Dogma der Unveränderlichkeit der Erbanlagen muss, aus dieser Sicht gesehen, neu definiert werden.

Als **These** lässt sich zusammenfassen:

Hypoxie stabilisiert den HIF, welcher dann als Transkriptionsfaktor über die DNA und RNA die Steigerung der Proteinsynthese auslöst, die als wesentliche Voraussetzung der nachfolgenden Kompensation eines Sauerstoffmangels erforderlich ist.

Für die Beurteilung der Hypoxiewirkung auf den menschlichen Organismus ergeben sich damit neue Erklärungsmöglichkeiten.

Es ist das Phänomen bekannt, dass der Körper recht unterschiedlich auf Hypoxie reagiert und dafür bislang keine ausreichenden Gründe gefunden worden sind. Aus der Sicht der Epigenetik bietet sich eine mögliche Erklärung an.

Ein Gen, welches im Verlauf des Lebens eine Funktion oder einzelne Zellen nicht mehr nutzt, wird von den Epigenen aus dem Zellverband herausgenommen und abgeschaltet. Die vererbte oder erworbene Anlage, diese Funktion auszuüben, bleibt aber erhalten. Falls diese Funktion zu einem späteren Zeitpunkt wieder benötigt wird, kann sie durch regelmäßige Nutzung oder einen Trainingsprozess wieder aktiviert werden. Viele Menschen haben im Verlauf ihres Lebens z.B. kaum Kontakt mit systemischer oder lokaler Hypoxie. Werden sie nun einem aktuellen Hypoxiereiz ausgesetzt, verfügen sie nicht über das erforderliche Kompensationspotential und fühlen sich unwohl oder kehren, z.B. bei einer Höhenwanderung, um. Erst eine allmähliche Gewöhnung führt auch bei diesen Menschen zu einer Anpassung an diese Bedingungen. Und dass eine Anpassung grundsätzlich möglich ist, beweisen die Extrembergsteiger mit ihren Leistungen oberhalb von 8000 m, die auch ohne zusätzliche Sauerstoffgabe möglich sind.

Aus epigenetischer Sicht gesehen erschließt die Anwendung der künstlichen Hypoxie völlig neue Indikationsbereiche, an die bisher nicht zu denken war, da sich durch gezielte Programme Organfunktionen oder auch nur einzelne Zellverbände beeinflussen und wieder aktivieren lassen.

6. Unterschied zwischen chronischer (CH) und intermittierender Hypoxie(IH)

Seit den fünfziger Jahren des vorigen Jahrhunderts setzte man vorwiegend die Hypoxie als gleichbleibenden Dauerreiz ein. Das ergab sich vor allem aus dem Höhenttraining der Sportler, die in einer natürlich vorgegeben Höhe wohnen und trainieren mußten. In Laborversuchen an Mensch und Tier zeigte sich aber, dass der Hypoxieeffekt zu steigern war, wenn man kurze Pausen zwischen die Hypoxiephasen einlegte. Mit dieser Methode konnte man höhere Höhen bzw. tiefere Sauerstoffsättigungen erreichen, die auch eine stärkere physiologische und biochemische Wirkung zeigten. Diese Form hat sich international durchgesetzt, als erkannt wurde, dass man Hypoxie auch als Therapieform bei ausgewählten Krankheiten einsetzen konnte.

Unter IH versteht man eine Methode, mit der man Hypoxiereize von 10 – 30 min setzt und diese mit Pausen von 5 -10 min unter Normoxie unterbricht. Diese Programme können 1-3 Std. dauern und mindestens 3 – 4 x/ Woche in Anspruch genommen werden; idealerweise sollte täglich eine Sitzung erfolgen. Die Gesamtdauer der Hypoxieanwendung sollte mindesten bei 10 -12 Std. liegen und innerhalb von 2 Wochen absolviert werden.

Nach Datenlage der Literatur gibt es gegenwärtig keine standardisierten Programme, sondern eher eine breite Vielfalt der Anwendungsmöglichkeiten.

Der wesentlichste Unterschied wurde auf der genetischen Ebene gefunden. Die IH stabilisierte den HIF deutlich länger als die CH und stimulierte damit die Kompensationsmechanismen stärker, die wir als Grundlage der Hypoxiewirkung bereits kennengelernt haben. Der HIF bleibt aber auch nur über wenige Stunden aktiv und bildet sich dann wieder zurück. Er kann aber durch eine stufenweise Steigerung des Hypoxiereizes erneut aktiviert werden. Hier liegt auch ein Vorteil der künstlichen normobaren Hypoxieform, die jederzeit zur Verfügung steht.

Weitere und stärkere Wirkungen der IH im Vergleich zu CH zeigten sich in einer verbesserten Ventilation und Durchblutung des Herzmuskels, der Steigerung des Energiestoffwechsels und der antioxidativen Wirkung, des Stressabbaus durch Senkung des Sympathikotonus und Zunahme des Parasympathikonus. Sympathikus und Parasympathikus sind die tragenden Nerven des autonomen bzw. peripheren Nervensystems und bestimmen entscheidend den organischen und psychischen Zustand des Menschen. Die weit verbreitete Auffassung, dass Hypoxie die Blutneubildung fördert, trifft vor allem auf den chronischen Aufenthalt zu. Die Bildung neuer roter Blutzellen als Träger des Hämoglobins, dauert mindesten 10 -20 Tage und erfordert stets einen mehrwöchigen Aufenthalt in Höhen deutlich über 2000 m. Diese Anpassung spielt daher unter normobaren Hypoxiebedingungen zunächst keine nennenswerte Rolle. Aber auch die Zunahme der Erythrozyten bzw. damit der Hämoglobinmasse mit dem Ziel der Leistungssteigerung beim Höhenttraining der Sportler, muss auf Grund neuer Kenntnisse kritisch beurteilt werden.

Man kann also zusammenfassen, dass mit dem Prinzip der intermittierend eingesetzten Hypoxie ein breites, bisher nicht mögliches Indikationsspektrum erschlossen wurde. Auch die praktische Durchführung mit den mobilen Geräten trägt wesentlich dazu bei, dass hier eine alternative Heilmethode sinnvoll angewendet werden kann.

7. Anwendungsbereiche

7.1. Thesen

Zunächst erfolgt die Übersicht der aus dem Text abgeleiteten Thesen, um aus diesen Abstrakt eine Grundlage zu schaffen, für welche Zielgruppen eine Anwendung der Hypoxie sinnvoll ist.

- These 1:** Hypoxie verfügt über ein **physiologisches und biochemisches Wirkungsspektrum**, welches als alternatives Heilverfahren eingesetzt werden kann.
- These 2:** Hypoxie führt zu einer **Sensibilisierung der Zellfunktionen**, die eine vielschichtige Kompensation des Sauerstoffdefizits auslöst, die therapeutisch genutzt werden kann.
- These 3:** Auch unter Normoxie entsteht eine **lokal begrenzte Hypoxie** in verschiedenen Körpergeweben, die durch Selbstregulation des Organismus kompensiert – aber bei längerem Bestehen zur Ursache von chronischen Krankheiten werden kann.
- These 4:** **Rezeptoren** im Blut, an den Blutgefäßen, in den Organen und im genetischen Apparat nehmen den Hypoxiereiz auf, modifizieren ihn und aktivieren wichtige Funktionen des Körpers.
- These 5:** Die Hypoxie weist im Bereich einer Sauerstoffsättigung zwischen 90 und 80 % eine **protektive Wirkung** auf das Herzkreislauf –u. Atmungssystem auf.
- These 6:** Hypoxie fördert die **Durchblutung** und beeinflusst positiv die **Fließeigenschaften** des Blutes.
- These 7:** Hypoxie aktiviert das **endotheliale Zellpotential** und wirkt im Sinn einer Gefäßprotektion sowie einer Steigerung des extrazellulären Stoffwechsels.
- These 8:** Hypoxie übt einen aktivierenden Einfluß auf die Leistungsfähigkeit der **Mikrozirkulation** aus.
- These 9:** **Mitochondrien** reagieren auf Hypoxie mit einer Erhöhung ihrer Kapazität durch Schwellung der Zellmembranen und Teilung in zwei sofort leistungsfähige neue Mitochondrien
- These 10:** Hypoxie stabilisiert den Hypoxie-induzierenden Faktor(HIF), der dann als **Transkriptionsfaktor** über die DNA und RNA zur Steigerung der Proteinsynthese führt, die als Voraussetzung der nachfolgenden Kompensation erforderlich ist.

Zusammenfassung

Die theseartige Übersicht verdeutlicht, dass die Wirkung der Hypoxie auf den Organismus ein breites Spektrum aufweist und auf verschiedenen Ebenen umgesetzt wird. Mit der Abb.: ? sollen diese Zusammenhänge in einem Schema dargestellt werden, wobei der zeitliche Ablauf zu beachten ist. Aus dieser Übersicht ließ sich ableiten, dass es im Wesentlichen vier Anwendungsbereiche sind, die je nach der Zielvorstellung der potentiellen Nutzer in Anspruch genommen werden können.

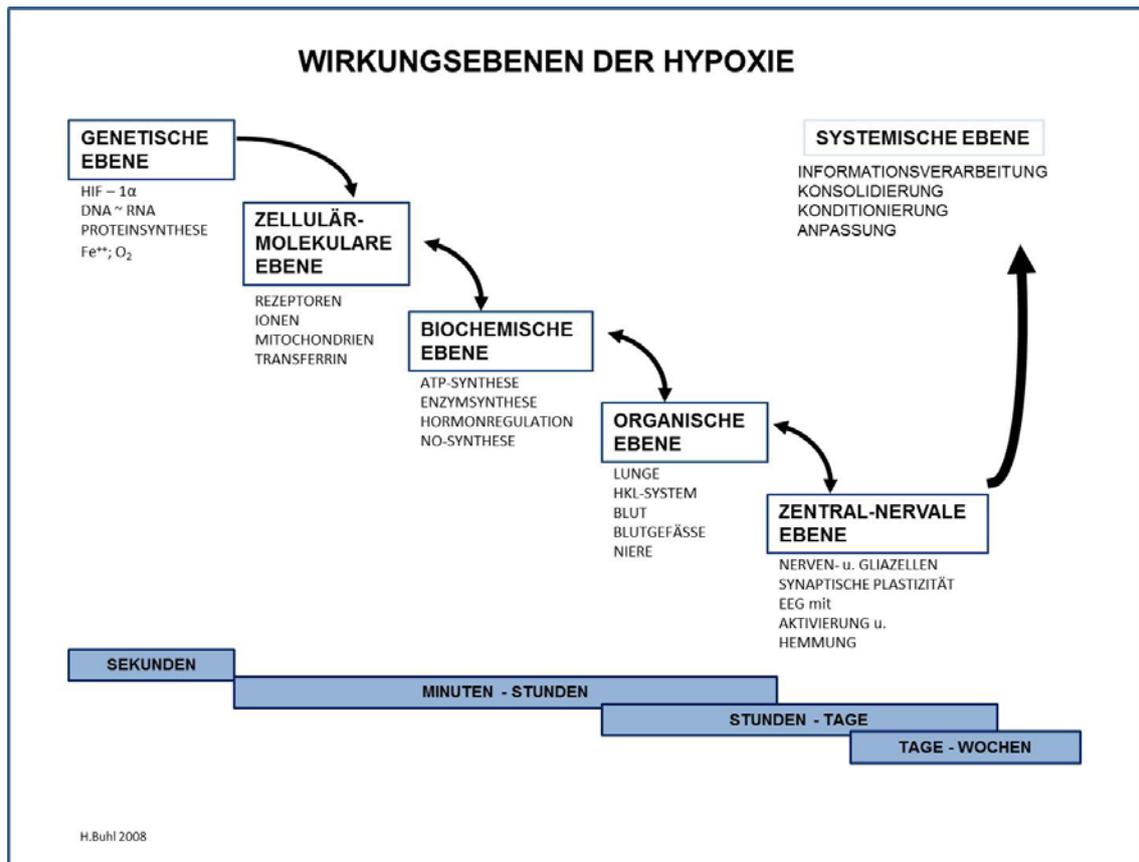


Abb. 18 Übersicht der Wirkungsebenen der Hypoxie

7.2. Verbesserung des aktuellen Gesundheitszustandes

Das breite Wirkungsspektrum der Hypoxie bietet eine solide Grundlage, um mit geeigneten Programmen spürbare und messbare Veränderungen im Organismus auszulösen. Es ist davon auszugehen, dass bereits mit einer 60 -90 min dauernden Anwendung pro Tag sowie 10 -15 Sitzungen in Folge und einer Gesamtzeit von 10 - 15 Hypoxie - Stunden, nachweisbare Veränderungen zu erreichen sind.

Damit bietet sich für einen Großteil gesunder Männer und Frauen die Möglichkeit an, in unregelmäßigen Abständen im Jahresverlauf und entsprechend ihrer beruflichen und sonstigen Belastungen des Alltags, die Hypoxie sowohl als Mittel zur Steigerung ihrer allgemeinen Fitness, als auch als Maßnahme der Vorsorge und Prävention einzusetzen.

7.3. Vorbereitung für Trekking und Bergsteiger

Für Personen, die mit dem Ziel Bergsteigen und Trekking in mittleren und höheren Höhen unterwegs sind, sollte eine spezielle Vorbereitung für die Höhe in ihrem Programm enthalten sein. Dafür eignet sich die normobare Hypoxie unter Heimbedingungen optimal.

Grundlage dafür ist die Fähigkeit des Organismus, sich an den Sauerstoffmangel anpassen zu können. Dafür sollte man mindesten 5 Tage, besser allerdings einige Tage mehr, 1 bis 2 Wochen vor der Abreise unter Hypoxie verbringen. Dafür genügen 1 - 2 Stunden/ Sitzung und Tag.

Man beginnt mit etwa 2400 m und steigert sich um 400 m pro Sitzung, so dass man mit Sicherheit sowohl die Schlafhöhe als auch die angestrebte Gipfelhöhe mehrmals erreicht hat.

Der biologische Sinn besteht darin, in der Zelle ein sog. **präkonditionelles Hypoxiegedächtnis** zu erzeugen. Es wurde bereits festgestellt, dass der Hypoxiereiz auf Rezeptoren wirkt, von diesen über Nervenbahnen auf bestimmte Nervenkernegebiete im ZNS übertragen wird und dort eine „Gedächtnisspur“ hinterläßt. Dieses

bisher im Detail noch nicht vollständig erforschte „Hypoxiegedächtnis“, kann mit Beginn des Höhengaufenthalts abgerufen werden und schützt den Trekker oder Wanderer vor den negativen Gefahren einer Höhenunverträglichkeit.

Eine weitere Möglichkeit, sich auf einen bevorstehenden Höhengaufenthalt vorzubereiten, besteht in der Durchführung eines **Hypoxietests**.

Gegenwärtig wird folgender Ablauf bevorzugt: Der Proband sitzt mit einer Gesichtsmaske entspannt im Sessel, die Höhe wird auf 4000 m eingestellt und Herzfrequenz, Blutdruck und Sauerstoffsättigung werden über 20 min lang laufend kontrolliert. Der erfahrene Tester beurteilt am Verhalten der drei Messgrößen, ob die Regulation im physiologischen Erwartungsbereich liegt oder eine der drei Messwerte eine bedenkliche Tendenz zeigt. Dann sollte der Test zunächst abgebrochen werden und eine Wiederholung nach 15 – 30 min erfolgen. Diese Pause ist mit leichten Bewegungen oder einen Spaziergang zu gestalten. Bestehen dann immer noch Bedenken, sollte sich ein moderat gestaltetes allgemeines Training über 4 -5 Tage anschließen, um den Test danach zu wiederholen.

7.4. Höhenttraining der Leistungssportler

Die Hypoxie erhält unter den Bedingungen eines Höhenttrainings einen besonderen Stellenwert. Natürlich geht es auch hier um die Nutzung des Hypoxieeffektes. Doch die Sportler haben ihren Organismus im Rahmen eines langfristig angelegten Trainingssystems bereits an hohe Leistungen angepasst. Die Hypoxie wird deshalb als zusätzliche Leistungsreserve eingeordnet.

Das setzt wiederum voraus, dass der bislang erreichte Leistungsstand unter Normalbedingungen exakt analysiert werden muss, um festzustellen, welche Organfunktion unter Normoxie nicht mehr zu steigern ist – aber mit einem gezielten Einsatz der Hypoxie doch noch realisiert werden kann.

Die vielfach vertretene Auffassung, dass Höhenttraining automatisch zu einer Leistungsverbesserung führt, ist falsch. Viele Sportler mussten diese negative Erfahrung machen.

Die Hypoxie ist kein Selbstläufer.

Das gilt vor allem unter den Bedingungen der künstlichen normobaren Hypoxie. Es liegt natürlich nahe, in ein Studio oder eine ärztliche Praxis zu gehen und die dort stationierten Geräte für ein „Höhenttraining“ zu nutzen. Der Betreiber sollte deshalb mit dem Sportler ausführlich beraten, welches Ziel dieser verfolgt, was bisher trainiert wurde, in welcher Trainingsphase er sich befindet, welche Trainingszeit zur Verfügung steht und ob schon Erfahrungen mit der Hypoxie gemacht wurden. Im Fall eines unkritisch absolvierten Höhenttrainings entstehen bald Zweifel am Angebot des Betreibers und führen letztlich zum Wegbleiben der Kunden.

7.5. Therapie bei ausgewählten Krankheiten

Die Anwendung der Hypoxie als Therapieform ist nicht neu. Seit Jahrzehnten wurde immer wieder versucht, sowohl in Höhenkliniken als auch mit Masken oder in Kammern, kranke Menschen mit Hypoxie zu behandeln. Die Gestaltung der eingesetzten Therapieprogramme zeigt aber eine große Vielfalt hinsichtlich der Höhe, Dauer und Zyklen der Anwendung. Die Ergebnisse waren zwiespältig, jedoch mit positiver Tendenz.

Als Hauptursache für diese Vielfalt waren und sind die nicht ausreichenden theoretischen Kenntnisse zur Hypoxiewirkung anzusehen. Das hat sich erst jüngster Zeit wesentlich verbessert, nachdem die Forschung die speziellen Reaktionen der einzelnen Organe in Verbindung mit den Regulationen auf der genetischen Ebene aufklären konnte.

Eine kritische Durchsicht der in der Literatur angegebenen Therapieprogramme lässt sich wie folgt zusammenfassen:

Die Behandlung erfolgt in der Regel täglich, aber auch 3 – 4 Sitzungen/ Woche wurden angegeben.

Die Sitzungen dauern 60 – 120 min; insgesamt werden 10 – 20 Sitzungen innerhalb von 2 -4 Wochen

absolviert. Damit wird eine Gesamtzeit von minimal 10 Std. bis optimal 25 Std. innerhalb eines Monats erreicht. Hinsichtlich der Höhe lagen die Angaben zwischen 2500 – 5000m, was einer Sauerstoffsättigung von ca. 90 – 80 % entspricht.

Hervorzuheben ist jedoch, dass nahezu alle Anwender nicht die kontinuierliche Form, sondern das intermittierende Prinzip bevorzugten, d.h. die intervallartig eingeschobene Unterbrechung von 3 – 5 min unter Normoxie.

Wie oft ein solcher Zyklus im Jahresverlauf wiederholt werden soll, dazu fanden sich keine Angaben.

Die Liste der Indikationen ist erstaunlich breit angelegt, wobei auffällt, dass es sich bei einer Reihe von Krankheitsbildern nur um einen versuchsweisen Ansatz handelte.

Schwerpunktmäßig wurden Krankheiten des Herzkreislaufsystems, der Atemorgane, Übergewicht und Adipositas, Diabetes und Depression genannt.

Von Interesse sind auch die Beobachtungen der Anwender, dass eine ausführliche Vorbereitung wesentlich zum Erfolg beiträgt. Für die meisten Patienten ist es eine ungewöhnliche Therapie.

Das Grundwissen zur Hypoxiewirkung ist daher eine wesentliche Voraussetzung für den Patienten, das gewählte Programm regelmäßig und diszipliniert im angegebenen Zeitraum zu absolvieren.

8. Medizinisch – technische Bedingungen

Grundsätzlich sollte von der Auffassung ausgegangen werden, dass die Anwendung der Hypoxie als therapeutische Maßnahme unter ärztlicher Kontrolle erfolgt!

Die relativ einfache Handhabung, die Mobilität der Geräte und der schnelle Zugang des Kunden aus dem Alltag heraus, verleitet dazu, die Anwendung als Präventiv- o. Heilverfahren nicht mit dem erforderlichen Ernst in Anspruch zu nehmen.

Der Arzt selbst sollte über ein gutes Grundwissen über Hypoxie und deren Wirkung auf den menschlichen Körper verfügen. Der Vorteil besteht darin, dass er als Fachmann die pathophysiologischen Ursachen und Verlaufsformen der in Frage kommenden Krankheiten sowieso kennt und diese nun unter Hypoxiebedingungen beobachten und kontrollieren kann. Abhängig vom Ergebnis ist es durchaus möglich, dass damit auch ein neuer Erkenntnisgewinn für ihn verbunden sein kann.

Der Anspruch der ärztlichen Verantwortung ist natürlich auch auf das mittlere medizinische Personal zu übertragen. Allerdings ist es durchaus möglich, dass auch ein Physiotherapeut oder Sportlehrer mit entsprechender Zusatzausbildung, nach fachgerechter Einweisung die Durchführung übernehmen kann. Mit diesen Anforderungen an eine sachgerecht durchgeführte Hypoxiebehandlung soll das Verständnis dafür geweckt werden, dass es sich hier nicht um einen Modetrend handelt, sondern um eine alternative Behandlungsform, die sich fachlich klar von den Angeboten in verschiedenen Fitnessstudios unterscheiden sollte.