

## ■ Der Fingerhut

Um den Allgemeinzustand von Patienten zu überwachen, liefert die Sauerstoffsättigung des Blutes einen wichtigen Kennwert. Dank Pulsoxymetern geht das ohne Nadelstich.

Das Gerät gehört zur Standardausrüstung von Intensivstationen, Operationssälen und Rettungswagen. Aber auch in der Sportfliegerei, wenn es in große Höhen gehen soll, oder beim Höhenbergsteigen ist es inzwischen häufiger anzutreffen. Die Rede ist vom Pulsoxymeter, mit dem sich die Sauerstoffsättigung des Blutes messen lässt. Mag der Name vielen Menschen eher unbekannt sein, so hatten doch bereits viele ein solches Überwachungsgerät an ihrer Fingerspitze, wenn sie operiert oder nach einem Unfall vom Notarzt versorgt wurden. Alternativ lässt sich ein Pulsoxymeter auch an einer anderen gut durchbluteten Stelle anbringen, etwa an einem Zeh oder am Ohrläppchen. Dem medizinischen Personal ermöglicht das Gerät eine einfache, relativ robuste und vor allem nicht-invasive Patientenüberwachung: Sinkt die Sauerstoffsättigung auf bedenkliche Werte, so schlägt das Gerät Alarm.

Im Blutkreislauf des menschlichen Körpers wird ständig Blut in der Lunge mit Sauerstoff angereichert und durch das Pumpen des Herzes über den gesamten Körper verteilt. Während sauerstoffreiches Blut durch die Arterien fließt, transportieren die Venen das sauerstoffarme Blut wieder zur Lunge zurück. Das arterielle Blut gesunder Menschen ist zu 96 bis 100 Prozent mit Sauerstoff gesättigt. Zuständig für den Transport des Sauerstoffs



Philips

Der Sauerstoffgehalt des Blutes liefert Mediziner und Pflegepersonal eine wichtige Information über den Gesamtzustand eines Patienten. Pulsoxymeter

ermöglichen diese Messung nicht-invasiv mit einer erstaunlich hohen Zuverlässigkeit.

durch die Arterien ist ein Protein, das Hämoglobin. Ist das Blut zum Beispiel zu 80 Prozent mit Sauerstoff gesättigt, so transportiert jedes fünfte Hämoglobin keinen Sauerstoff. Dass sich die Sättigung überhaupt mit einem Pulsoxymeter messen lässt, liegt am variablen Absorptionsverhalten des Hämoglobins: Ist es mit Sauerstoff beladen, absorbiert es stärker im infraroten als im roten Licht, bei sauerstoffarmem Hämoglobin ist es dagegen umgekehrt.

Prinzipiell können Pulsoxymeter in Absorption oder Reflexion messen; am häufigsten findet die Messung in Absorption statt. Auf den Finger des Patienten wird dazu ein „Hütchen“ aufgesteckt, das das vordere Fingerglied umschließt und sozusagen als Schnittstelle zwischen Patient und Auswerteelektronik dient. Im Gehäuse des Hütchens sind zwei Leuchtdioden angebracht, die bei Wellenlängen um 660 nm beziehungsweise um 940 nm emittieren. Auf der gegenüberliegenden Seite des Gehäuses befindet sich ein Photodetektor, der die Lichtintensität in ein elektrisches Signal wandelt. Fällt nun Licht von den Leuchtdioden durch den Finger, so trifft es auf Gewebe, auf sauerstoff-

reiches Blut in der Arterie und auf sauerstoffarmes Blut in der Vene. Bei einer Absorption in einem idealen Material gilt dann das Lambert-Beersche Gesetz: Die Schwächung der Lichtintensität hängt von der Schichtdicke und der Konzentration der absorbierenden Substanz ab, bezogen auf die Arterie des Fingers heißt das also von der Konzentration des Hämoglobins in der Arterie sowie deren Durchmesser.

### Kontinuierlicher Vergleich

Bei der Pulsoxymetrie vergleicht nun ein Algorithmus die kontinuierlich im roten und infraroten Licht gemessene Absorption des Lichts. Solange die Absorption bei 940 nm deutlich höher ausfällt als bei 660 nm, ist alles in Ordnung. Denn das Blut des Patienten ist dann gut mit Sauerstoff versorgt. Verschiebt sich das Verhältnis dagegen zugunsten der Absorption im Roten, so weist dies auf eine sinkende Sauerstoffkonzentration hin.

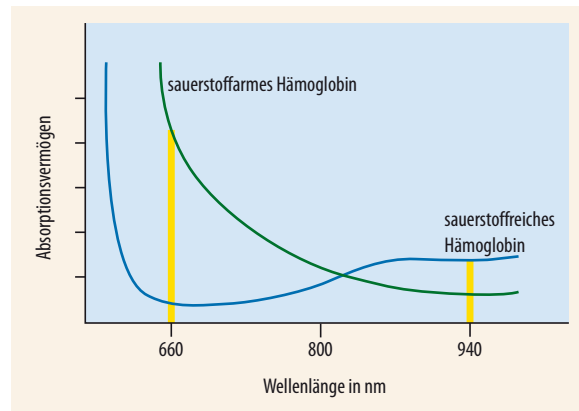
Allerdings steht bei einer Messung ja keine isolierte Arterie zur Verfügung, vielmehr ist sie vom Gewebe des Fingers umgeben. Mehr noch: Finger können unterschiedlich dick sein. Diese Faktoren beeinträchtigen die Messung, wes-



Haut und Gewebe des Menschen lassen zum Beispiel am Finger relativ viel Licht passieren. Dadurch ist es mit der Pulsoxymetrie möglich, den Sauerstoffgehalt des Blutes in Absorption zu messen. Prinzipiell ist auch eine Messung in Reflexion möglich, findet allerdings in der medizinischen Praxis seltener statt.

halb sich mit einem Pulsoxymeter auch kein aussagekräftiges Absolutsignal erfassen lässt, sondern nur ein Differenzsignal. Hierbei nutzt man aus, dass vor allem die Arterie sich im Rhythmus des Pulsschlags weitet und wieder zusammenzieht. Haut, Gewebe und Vene dagegen bleiben weitgehend unverändert. Zieht man vom Messsignal also den konstanten Absorptionsbeitrag aller Komponenten ab, bleibt nur der pulsierende Anteil der Absorption übrig, der allein auf das Hämoglobin zurückgeht. Er macht etwa zwei Prozent des Gesamtsignals aus.

Auch die Annahme eines idealen Absorbers, wie ihn das Lambert-Beersche Gesetz voraussetzt, trifft in der Praxis natürlich nicht zu: Durch den Finger verläuft das Licht keineswegs auf geraden Bahnen, bevor es absorbiert wird oder wieder austritt, sondern wird mehrfach gestreut. Deshalb müssen Pulsoxymeter kalibriert werden. Dazu atmen Probanden gezielt immer weniger Sauerstoff ein. In regelmäßigen Abständen wird ihnen Blut abgenommen, um die Sauerstoffkonzentration zu bestimmen, was noch immer als Goldstandard der Sauerstoffsättigungsmessungen gilt. Parallel verlaufen an den Probanden die Messungen mit dem Pulsoxymeter. Die resultierende Kalibrierungskurve erlaubt dann eine Korrektur für die Lichtstreuung im Finger. Aus naheliegenden Gründen sind solche Kurven nur für Sauerstoffkonzentrationen zwischen 100 und etwa 80 Prozent durch Messung



Sauerstoffreiches und sauerstoffarmes Hämoglobin absorbieren Licht unterschiedlich bei Wellenlängen um 660 nm und 940 nm (schematische Darstellung). Diesen Unterschied macht man sich bei der Pulsoxymetrie zunutze, indem die beiden Werte ins Verhältnis zueinander gesetzt werden.

entstanden – der weitere Verlauf ist extrapoliert.

Damit ein Pulsoxymeter Alarm schlägt, wenn ein Patient in eine kritische Situation gelangt, und gleichzeitig Fehlalarme vermeidet, müssen die Hersteller jedoch weitere Maßnahmen ergreifen. Deshalb zeigen Geräte, die in der Notfallmedizin zum Einsatz kommen, nicht nur den Wert der Sauerstoffsättigung an, sondern auch den zeitlichen Verlauf des pulsschlagbedingten Differenzsignals. Aus der Kurvenform können Ärzte oder Pfleger dann rasch erkennen, ob eine aussagekräftige Messung stattfinden kann. Streulicht wiederum, das auf den Photodetektor fallen könnte, lässt sich messtechnisch ausschließen, indem die Messung zum Beispiel nach folgendem Schema abläuft: Zunächst misst der Photodetektor die Summe aus rotem und Umgebungslicht, dann nur infrarotes und Umgebungslicht und schließlich nur das Umgebungslicht. Mit Hilfe eines Algorithmus lässt sich dann

das Rauschen des Umgebungslichts herausfiltern.

Die größte Herausforderung für die richtige Funktionsweise eines Pulsoxymeters sind jedoch Patienten, die eine verringerte periphere Kapillardurchblutung haben, was etwa bei Schock auftritt, oder wenn sich die Patienten bewegen bzw. bewegt werden müssen. Zum Beispiel kommt es im venösen Blut jedes Mal zu Bewegungen, wenn der Patient bewegt wird oder atmet. Der Ansatz, dass sich ein Messsignal eindeutig in einen variablen und einen statischen Anteil trennen lässt, stößt dann an seine Grenzen. Damit die Geräte trotzdem nur im richtigen Moment Alarm schlagen, sind sie heute mit Signalverarbeitungsalgorithmen ausgestattet, die in der Lage sind, auch solche Störfaktoren auszublenden. Zum Wohle des Patienten – und des medizinischen Personals.

Michael Vogel