



Dipl. Ing. Roland Schulz
Leiter Marketing
Christoph Miethke GmbH & Co. KG

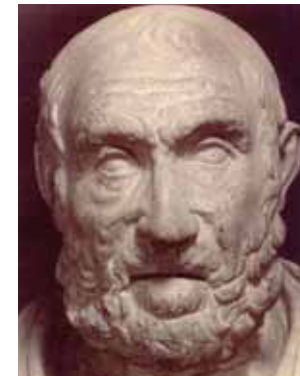
Ventilsysteme im Vergleich

Die Erforschung des Hydrocephalus hat im Vergleich zu anderen Krankheitsbildern eine erstaunlich lange Geschichte. Dennoch sind längst nicht alle Fragen gelöst. Trotz zahlreicher Bemühungen gibt es bis heute in der Behandlung des Normaldruckhydrocephalus keine sinnvolle Alternative zur Implantation eines

Ableitungssystems. Der wichtigste Bestandteil eines solchen Systems ist das Ventil, das den Hirninnendruck reguliert und in physiologischen Grenzen hält. Die Geschichte der Ventilentwicklung begann erst im vergangenen Jahrhundert, hat sich dann aber rasant weiterentwickelt.



Leonardo da Vinci
um 1510



Hippokrates



Operation durch Al Zahrawi 936-1013

Historie der Ventilentwicklung - von den Anfängen bis heute

Der bis heute gebräuchliche Begriff Hydrocephalus wurde bereits im Altertum geprägt. Hippokrates (460 - 377 v. Chr.), Gründer der ersten Ärzteschule auf Kos in Griechenland beschrieb erstmals das Krankheitsbild des Hydrocephalus. Schon damals vermutete er als Ursache für die Symptomkombination Kopfschmerzen, Erbrechen und Sehstörungen zu viel Wasser im Gehirn. Allerdings glaubte Hippokrates, dass sich Teile des Gehirns in Folge von Krampfanfällen verflüssigten.

Galen formulierte in der Zeit um 200 v. Chr. erstmals eine genaue Beschreibung der Hirnkammeranatomie: Erkenntnisse, die er durch Tiersektionen gewann.

Abulkassim Al Zahrawi führte bereits im 10. Jahrhundert in der Stadt Cordoba in Spanien chirurgische Eingriffe durch, um Hirnwasser abfließen zu lassen. Damit lieferte er circa 1300 Jahre nach Hippokrates erstmals wieder therapeutische Ansätze zur Behandlung des Hydrocephalus.

Leonardo da Vinci gab all diesen Erkenntnissen schließlich ein „Gesicht“ und fertigte 1510 die erste Zeichnung eines Hirnkammersystems an.

Um 1550 entdeckte Vesalius die wahre Ursache des Hydrocephalus: eine Hirnwasseransammlung innerhalb der Hirnkammern.

1744 führte Le Cat die erste dokumentierte Hirnkammerpunktion durch. Daraus entwickelte sich die Methode zur externen Drainage. Dies ist eine Hirnwasserableitung nach außen in einen Plastikbeutel.

Im 19. Jahrhundert stellte Magendie die Vermutung auf, dass mechanische Hindernisse ursächlich für die Ausprägung des Hydrocephalus verantwortlich sein könnten. In dieser Zeit versuchte man den kindlichen Hydrocephalus vor allem konservativ zu behandeln. So wurden den Kindern Gipsschalen und Kompressionsverbände angelegt, man versuchte es mit Diäten und Medikamenten, um die Hirnwasserproduktion zu vermindern. Schließlich kam man zu der Erkenntnis, dass ausschließlich der operative Eingriff das Mittel der Wahl für eine dauerhafte Therapie sein konnte.

Das Zeitalter der modernen Hydrocephalusbehandlung begann jedoch erst 1949. Durch die Weiterentwicklung verschiedener Materialien während des Zweiten Weltkrieges stand nun auch ein optimales Material für einen implantierbaren Schlauch zur Verfügung: das Silikon. Somit konnten erstmals Ableitungssysteme mit integrierten Ventilen entstehen.

Frank Nulsen entwickelte damals das erste Kugel-Konus-Ventil, das noch im selben Jahr von Eugen Spitz implantiert wurde. Die Kugel wird bei diesem Prinzip durch eine Feder in den Konus gedrückt. Bei erhöhtem Druck des Hirnwassers auf die Kugel wird die Feder komprimiert, die Ku-

gel wandert aus dem Konus und das Hirnwasser kann abfließen.

Nur sechs Jahre später folgten Robert Pudenz und Ted Heyer mit der Entwicklung des ersten Silikon-Schlitz-Ventils. Längliche Schlitze am unteren Ende des Ableitungsschlauches, die sich nur bei erhöhtem Druck öffnen, regulieren den Hirndruck.

Zur selben Zeit konstruierte der Ingenieur John D. Holter aus Philadelphia in nur wenigen Wochen das erste Doppel-Silikon-Schlitz-Ventil. Holters Antrieb war vor allem die Rettung seines Sohnes, der seit seiner Geburt unter Hydrocephalus litt. Dieses Ventil revolutionierte die



Holter-Ventil, gerade

Hydrocephalusbehandlung und schaffte breite Akzeptanz bei den Neurochirurgen. Durch die Anordnung zweier Silikon-Schlitz-Ventile war es nun möglich, das Hirnwasser gerichtet zu pumpen. Da damals die Ableitungen in den rechten Herzvorhof gelegt wurden, war auch ein Blutrückfluss verhindert. Eugen Spitz implantierte dieses Ventil im Frühjahr 1956 zum ersten Mal. Nur wenige Monate später begann die industrielle Massenproduktion dieses so genannten „Spitz-Holter-Ventils“, dessen Erfolg nicht zuletzt auch mit dem verwendeten Material Silikon zusammenhängt.

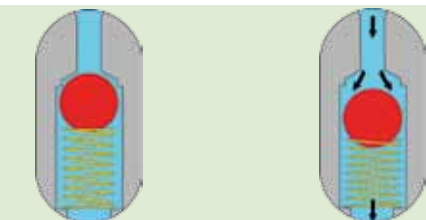
Silikon-Schlitz-Ventile



Membran-Ventile



Kugel-Konus-Ventile

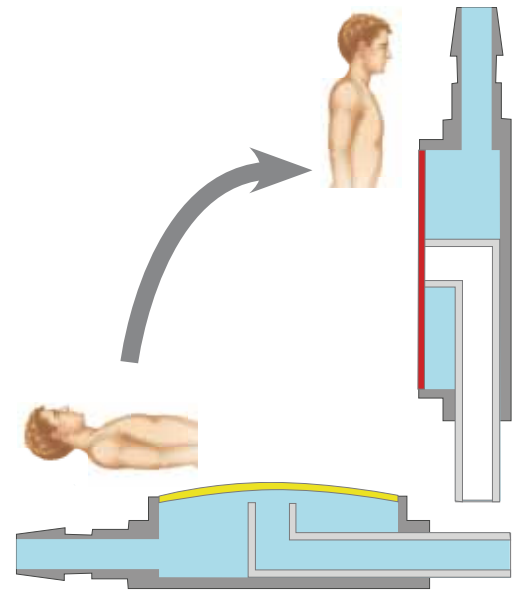


1960 entwickelte der deutsche Uhrmacher Rudi Schulte das erste Membran-Ventil. Der Hirndruck wird bei diesem Ventiltyp durch die Spannung einer Silikonmembran kontrolliert. Bei erhöhtem Hirndruck wandert die Membran nach unten und ermöglicht den Abfluss des Hirnwassers.

Diese drei unterschiedlichen Wirkprinzipien für Hydrocephalus-Ventile (Kugel-Konus-, Membran-, Silikon-Schlitz-Ventil) bilden bis heute die Grundlage aller Ventilkonstruktionen. Sie wurden innerhalb von nur etwa zehn Jahren entwickelt.



Beispiel Querschnitt Membranventil



Funktionsweise des Anti-Siphon-Device

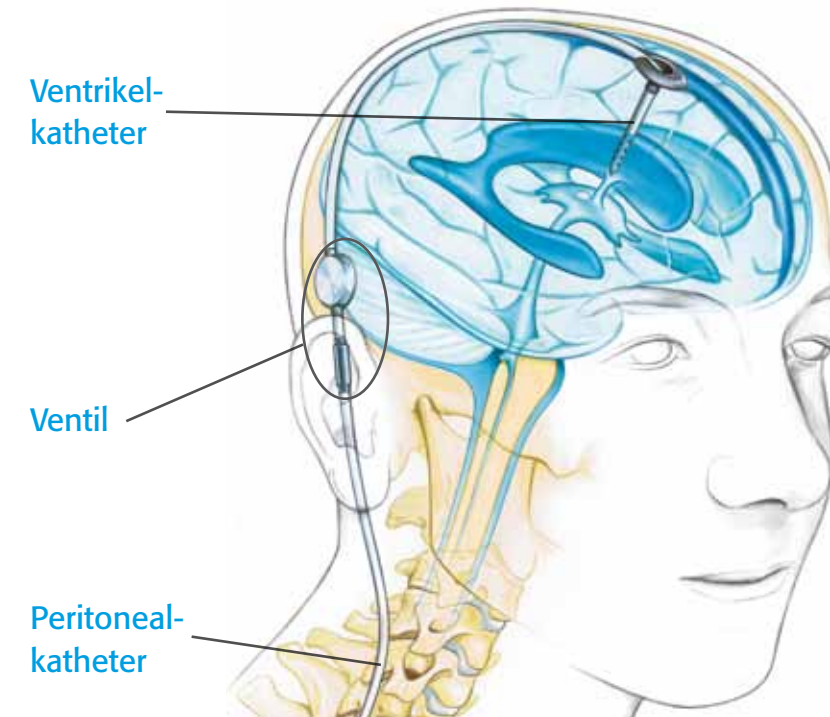
1973 entwickelte Portnoy erstmals ein Ventil für die aufrechte Körperposition. Er war damit der erste, der das Problem der übermäßigen Hirnwasserdrainage in der stehenden Position erkannte. Das so genannte Anti-Siphon-Device beruht auf dem Prinzip einer elastischen Membran. Beim aufrecht sitzenden oder stehenden Menschen verschließt die Membran durch den auftretenden Sog das Ventil. Erst wenn kein Sog mehr auf das Sys-

tem einwirkt, bewegt sich die elastische Membran in ihren Ausgangszustand zurück und öffnet das Anti-Siphon-Device. Das Ventil ist somit in liegender Position immer geöffnet. Aus diesem Grund werden Anti-Siphon-Ventile heute in der Regel nicht allein implantiert, sondern in Verbindung mit einem Differenzdruckventil.

Das Anti-Siphon-Device kann bis heute als Vorreiter für viele weitere Ventilkonstruktionen bis hin zum Gravitationsventil bezeichnet werden.

Heute – nach über 60 Jahren Weiterentwicklung in der Ventiltechnologie – ist die Forschung einen großen Schritt weitergekommen. Hydrocephalus ist kein Todesurteil mehr. Seit nunmehr zwanzig Jahren gibt es Gravitationsventile, die einerseits dem Problem der Überdrainage entgegen wirken und sich andererseits postoperativ und damit schonend an die individuelle Lebenssituation des Patienten anpassen lassen. Die große Aufgabe besteht heute darin, die Ventile so zu konzipieren, dass sie den Betroffenen ein nahezu normales Leben ermöglichen können.

Der Normaldruckhydrocephalus ist ein chronisches Krankheitsbild, das sich über lange Zeit entwickelt hat. Deshalb ist es wichtig, bei der Auswahl des passenden Ableitungs-/ Shuntsystems alle Risiken zu vermeiden, die extreme und schnelle Veränderungen in den Hirnkammern verursachen.

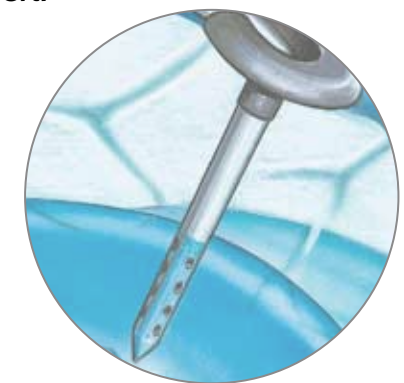


Aufbau eines Shuntsystems

Ein Shuntsystem besteht in der Regel aus einem Ventrikelkatheter, dem Ventil und einem Peritonealkatheter. Der behandelnde Arzt kann zusätzlich ein Reservoir integrieren, das es ihm in der Folgetherapie ermöglicht, in das System aktiv einzugreifen.

Die Ventrikelkatheter sind im Allgemeinen so konzipiert, dass der Mandrin – ein Führungsstab, der dem Operateur hilft, den Katheter in die Hirnkammer einzuführen – bis in die Spitze vorgeschoben werden kann. Dadurch wird ein Abknicken bei der Implantation verhindert.

Die Ventrikelkatheter sind an ihrem vordersten Ende mit Bohrungen versehen, durch die das Hirnwasser in das System einfließen kann. Diese Bohrungen beginnen bereits 3 mm von der Spitze entfernt und enden nach ca. 14 mm. Dadurch wird verhindert, dass es bei einer Implantation in sehr schmale Hirnkammern zu einer Drainage aus den Hirnkammern ins Gehirn kommt.



Bohrungen im Ventrikelkatheter

Der Peritonealkatheter leitet das Hirnwasser vom Ventil weg in den freien Bauchraum (Peritoneum). Die Katheter der Christoph Miethke GmbH & Co. KG haben einen Innendurchmesser von 1,2 mm und einen Außendurchmesser von 2,5 mm. Alle Katheter bestehen aus Silikon und besitzen 12 bis 15 % Bariumsulfat bzw. einen Bariumsulfatstreifen,

der vollständig vom Silikon umschlossen ist. Dieses Bariumsulfat gewährleistet eine gut sichtbare Darstellung im Röntgenbild. Kernspinnresonanzuntersuchungen oder computer-tomographische Untersuchungen können somit ohne Beeinträchtigung durchgeführt werden. Das gesamte Ableitungssystem ist MRT-kompatibel.



Beispiel Erkennbarkeit der Katheter im Röntgenbild

Welche Ventile gibt es heute?

Das Ventil selbst ist das Herzstück eines Shuntsystems und reguliert den intraventrikulären Hirninnendruck. Viele Neurochirurgen nutzen darüber hinaus die Empfehlung der Hersteller, diesem System zusätzlich noch ein Reservoir hinzuzufügen, um postoperativ unterschiedlichsten Einfluss auf das System nehmen zu können.

Abhängig vom Krankheitsbild und dem Grad der Störung wird Ihr Arzt das für Sie passende Ventilsystem auswählen. Faktoren wie die individuelle Mobilität, Körpergröße und das Gewicht spielen hierbei eine entscheidende Rolle. Es gibt eine ganze Reihe sehr unterschiedlicher Ventile auf dem Markt, die sich jedoch sehr gut in drei Typengruppen differenzieren lassen:



Beispiel für ein Reservoir (Vorkammer)

So bieten Reservoirs die Möglichkeit, den Hirninnendruck zu messen, Medikamente zu injizieren, Hirnwasser zu entnehmen oder eine Ventilkontrolle durchzuführen. Die Reservoirs der Christoph Miethke GmbH & Co. KG sind aus Titan gefertigt. Der stabile Titanboden verhindert so beim Einsatz einer Injektionsnadel ein mögliches Durchstechen des Bodens.

1. Ventile mit festem Öffnungsdruck

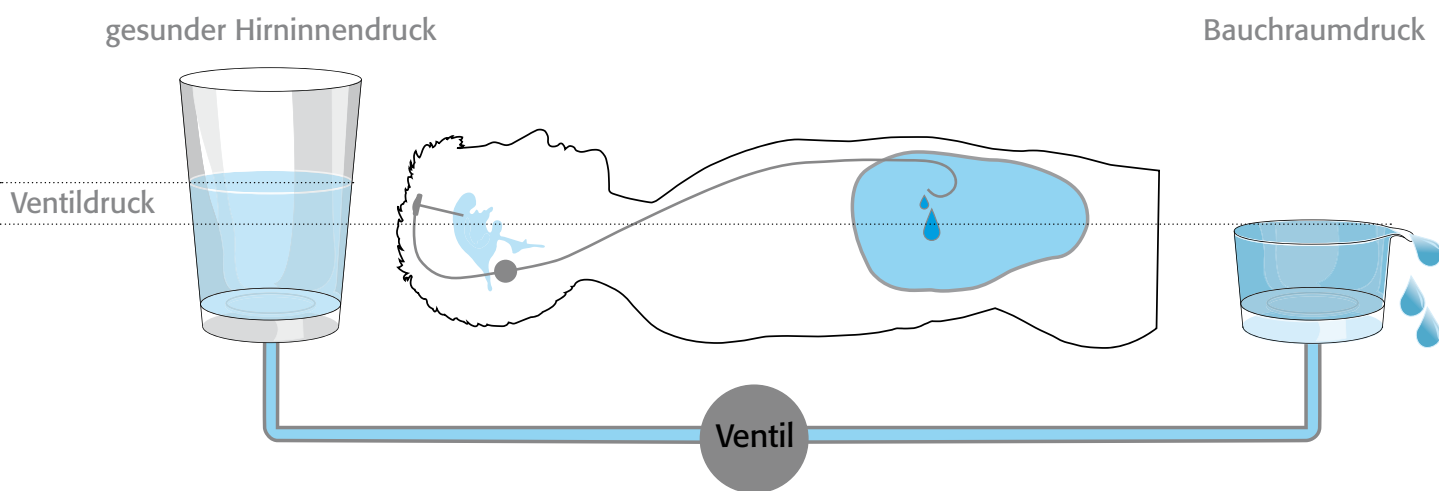
2. Ventile mit verstellbarem Öffnungsdruck

3. Gravitationsventile

Ventile mit festem Öffnungsdruck

Ein Ableitungssystem - ganz gleich mit welchem Ventil - verbindet in der Regel die Hirnkammern mit dem Bauchraum. Um die unterschiedliche Arbeitsweise von Ventilen besser zu verstehen, werden in der folgenden Beschreibung die Hirnkammern und der Bauchraum als Wasserbehälter dargestellt. Genauer gesagt ist der Bauchraum ein Überlaufgefäß, denn die Menge Hirnwasser, die bei der Ableitung in den Bauchraum gelangt, wird dort ohne Probleme aufgenommen und abgebaut. Werden diese beiden Behälter durch eine Hirnwasserableitung verbunden, entsteht physikalisch das „Prinzip zweier

kommunizierender Gefäße“. In der liegenden Körperposition wäre das Ableitungssystem – ohne Ventil – bemüht, die beiden Wasserbehälter auszugleichen und auf ein gleiches Niveau zu bringen. Der Öffnungsdruck des Ventils bewirkt jedoch einen erhöhten Hirninnendruck und damit ein Ansteigen des Wasserpegels im Hirnkammerbehälter. Da der gesunde Hirndruck im Liegen circa 10 cm Wassersäule beträgt, wird entsprechend ein Ventil gewählt. Der Wasserpegel im Hirnkammerbehälter steigt demnach um diesen Wert an und der Patient kann in der liegenden Position gut behandelt werden.

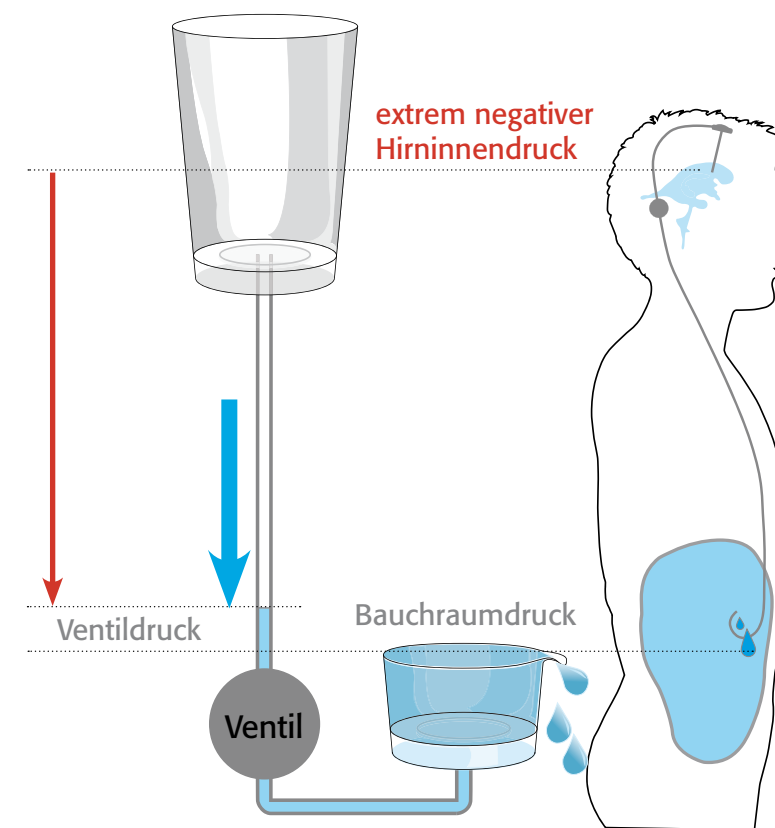


Hirndruck mit einem Ventil mit festem Öffnungsdruck in liegender Position

In der aufrechten Körperposition besteht ein Höhenunterschied zwischen unserem Kopf und dem Bauchraum. Es entsteht ein Sogeffekt zwischen dem Hirnkammer- und dem Bauchraumbehälter. Der Öffnungsdruck des Ventils kann nur einen Bruchteil dieses Sogs (hydrostatischer Druck) ausgleichen und der Hirnkammerbehälter läuft leer. Die Folge ist ein sehr negativer Hirninnendruck.

Die Auswirkungen für den mobilen Patienten sind vielfältig. Viele Patienten klagen über Kopfschmerz und Übelkeit.

In Ausnahmefällen kommt es zu Wasseransammlungen im Kopf (Hygrome), Blutungen oder sogar zum Zusammenfallen der Hirnkammern. Ventile mit festem Öffnungsdruck erweisen sich deshalb nur für eine ausgewählte Gruppe von Patienten als sinnvoll. Dabei könnte Immobilität des Patienten ein Kriterium für die Wahl eines solchen Ventils sein. Auf dem Markt haben sich drei verschiedene Entwicklungen von Ventilen mit festem Öffnungsdruck etabliert: Silikon-Schlitz-Ventile, Membran-Ventile, Kugeln-Konus-Ventile (siehe Seite 69).



Hirndruck mit einem Ventil mit festem Öffnungsdruck in stehender Position

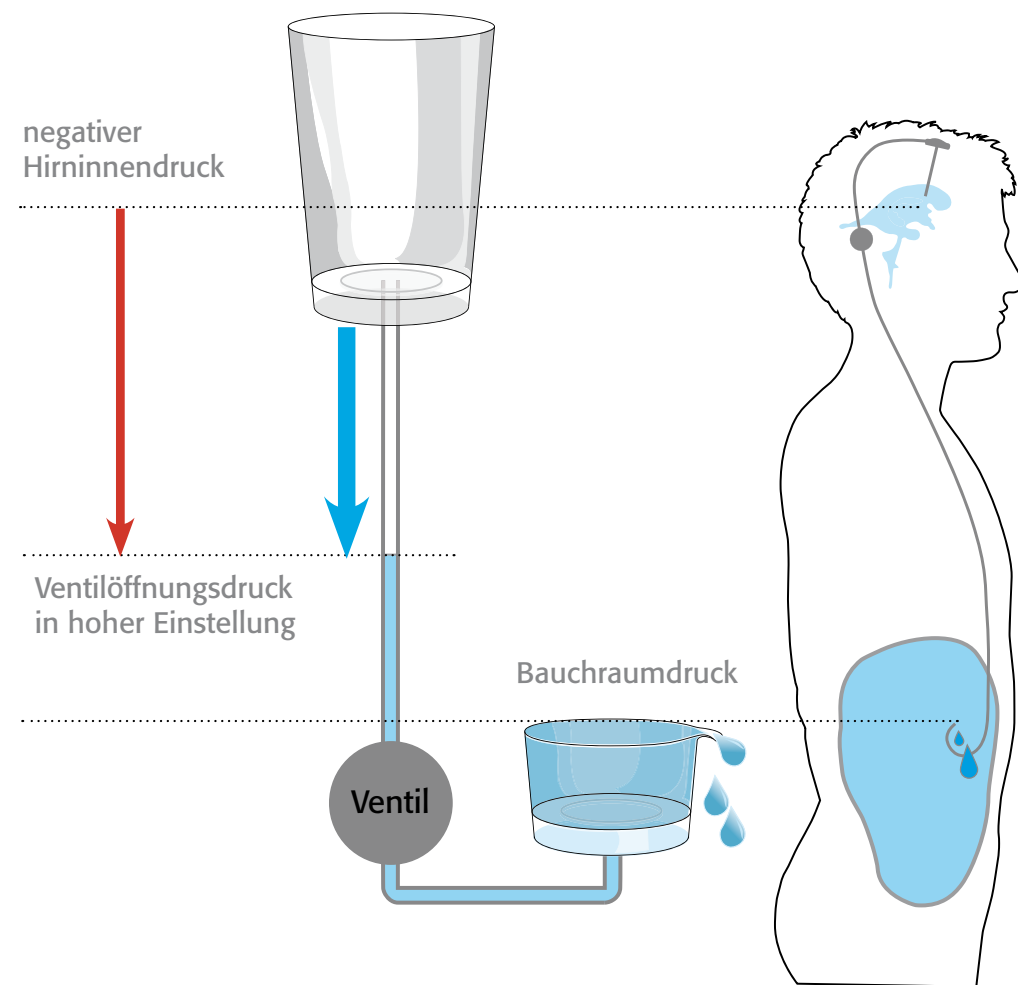
Ventile mit verstellbarem Öffnungsdruck

Ein Ventil mit verstellbarem Öffnungsdruck besitzt ebenfalls nur einen Öffnungsdruck für alle Körperpositionen, der allerdings nach der Implantation mit Hilfe magnetischer Kraft durch die Haut verstellbar ist. Mit diesem Ventil besteht nun die Möglichkeit, den Öffnungsdruck

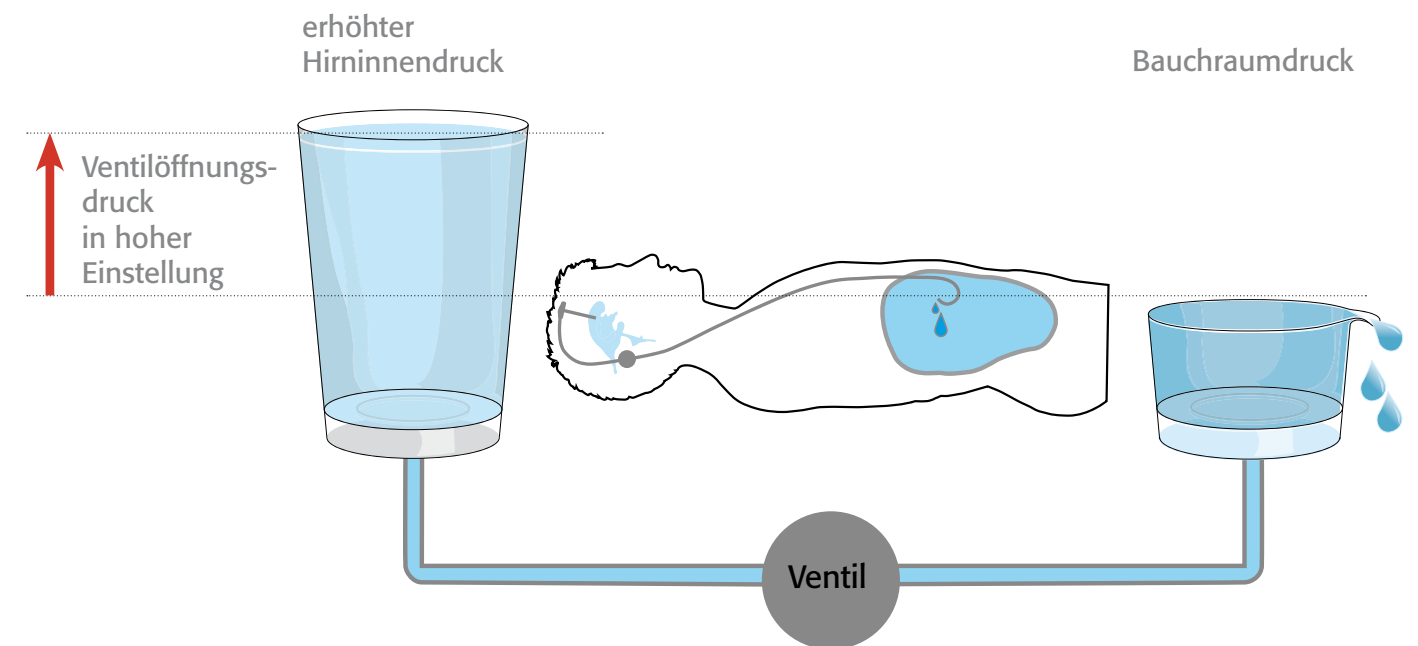
zu erhöhen, um der aufgezeigten Gefahr eines extrem negativen Hirninnendrucks in der stehenden Position entgegen zu wirken. Allerdings reicht zum Einen auch der höchste Ventildruck dieser Ventile nicht aus, um dieses Risiko völlig zu verhindern. Zum Anderen ist der

Ventildruck dann in der liegenden Position zu hoch, um eine optimale Therapie zu garantieren. Ein verstellbares Ventil allein löst bei einem mobilen Hydrocephaluspatienten grundsätzlich nicht die Problematik der sich verändernden physikalischen Druckverhältnisse. Diese

Randbedingungen sind zwischen der liegenden und der stehenden Körperlage so unterschiedlich, dass der Arzt mit einer einzigen Druckstufe, auch wenn sie verstellbar ist, nicht die optimale Behandlung erzielen kann.

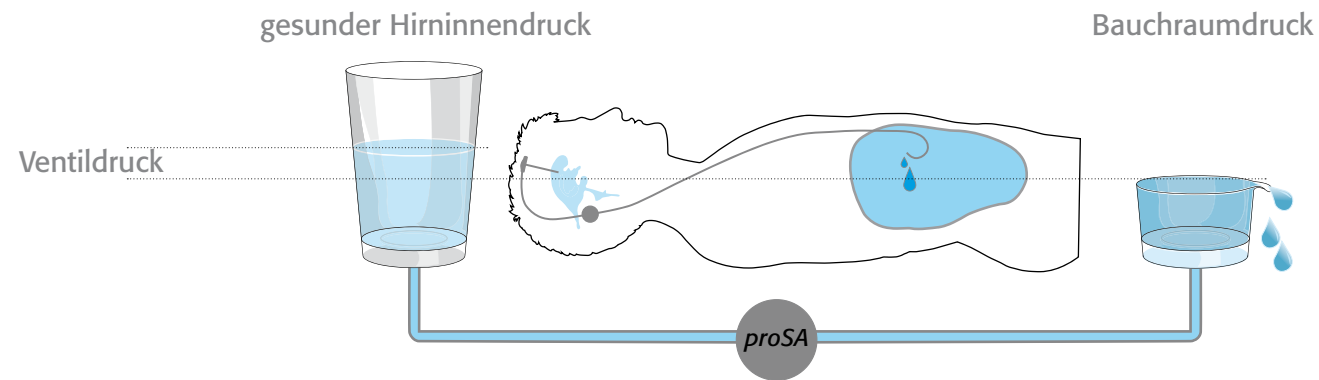


Hirndruck mit verstellbarem Ventil in hoher Einstellung in stehender Position

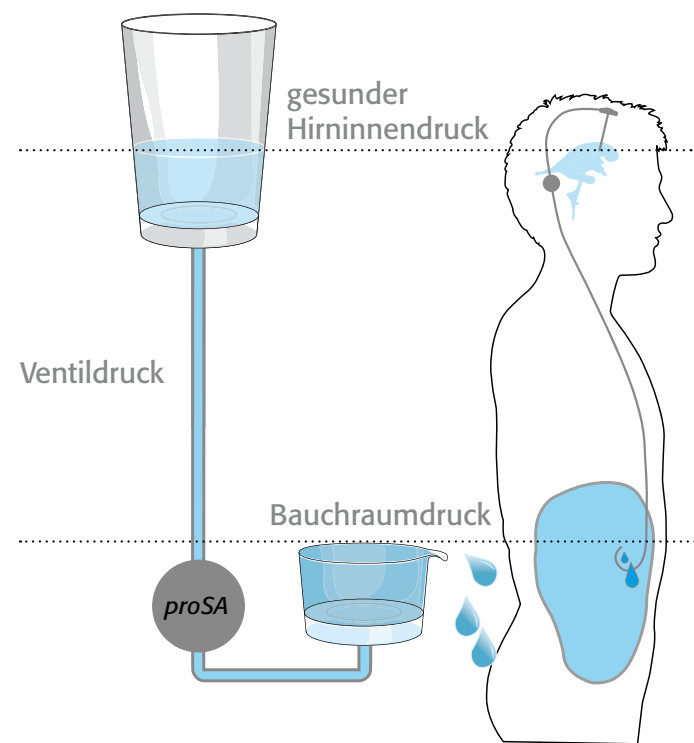


Ventil mit verstellbarem Öffnungsdruck in hoher Einstellung in liegender Position

Gravitationsventile



Gesunder Hirndruck mit Hilfe des verstellbaren Gravitationsventils *proSA* in liegender Position



Gesunder Hirndruck mit Hilfe des verstellbaren Gravitationsventils *proSA* in stehender Position

Als Gravitationsventile oder auch sogenannte „Schwerkraftventile“ bezeichnet man Ventile, die ihren Öffnungsdruck in Abhängigkeit von der Körperposition verändern und so vor allem dem Problem der übermäßigen Hirnwasserab-
leitung in der stehenden Körperposition entgegen wirken.

Gravitationsventile bestehen grundsätzlich aus zwei Einheiten: einer Differenzdruckeinheit für die liegende Körperposition und einer Gravitationseinheit für die stehende Körperposition. Dabei ist der Öffnungsdruck der Differenzdruckeinheit deutlich niedriger als der Öffnungsdruck der Gravitationseinheit. So erreichen diese Ventile einen gesunden Hirndruck in beiden Körperlagen. Menschen stehen, gehen, sitzen und liegen. Besonders bei NPH-Patienten kann sich die Mobilität nach der Implantation eines Ableitungssystems ändern.

Um auf sich verändernde Randbedingungen einzugehen, können verstellbare Gravitationsventile implantiert werden. Diese Ventile erlauben es dem Arzt, den Öffnungsdruck für die liegende und die stehende Körperposition nach der Operation zu verändern. Besonders die Verstellbarkeit für die stehende Position scheint für Normaldruckhydrocephalus-Patienten besonders wichtig. Da die Pa-

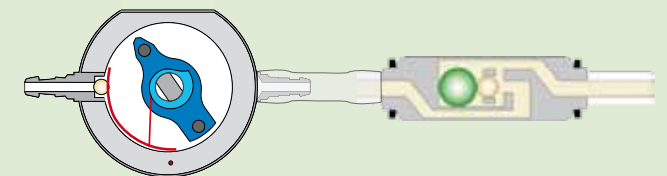
tienten oftmals ein Ventil im fortgeschrittenen Lebensalter erhalten, ändern sich die Lebensumstände in wenigen Jahren häufig sehr schnell. Aktivität und Mobilität sind aber entscheidende Kriterien für die richtige Druckstufenwahl in der stehenden Körperposition. Seit 2008 ist das erste Gravitationsventil erhältlich, das eine Verstellung der Druckstufe für die aufrechte Körperposition erlaubt.

Gemäß ihrer Funktion kann man Gravitationsventile in vier verschiedene Typen kategorisieren:

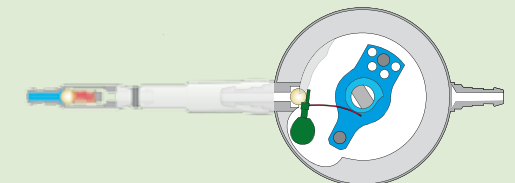
voreingestellte Gravitationsventile



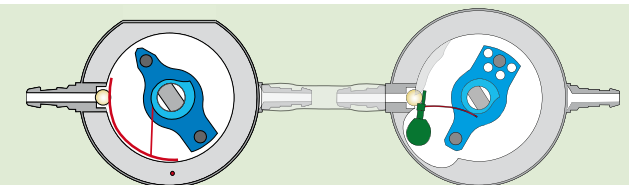
verstellbare Gravitationsventile für die liegende Position



verstellbare Gravitationsventile für die stehende Position



verstellbare Gravitationsventile für die liegende & stehende Position



Mit Hilfe speziell entwickelter Instrumente kann der Öffnungsdruck durch die Haut gemessen und verstellt werden. Eine Kontrolle mittels Röntgenbild entfällt. Darüber hinaus sind alle ver-

stellbaren Gravitationsventile mit einer mechanischen Bremse ausgestattet. Die Gefahr einer Spontanverstellung durch Magnetfelder, auch bei MRT-Untersuchungen, besteht daher nicht.

Gravitationsventile werden aus langzeitverträglichem Titan gefertigt, das stabil gegen äußere Einflüsse ist. Titan ist biokompatibel und hat keine Auswirkungen auf den Organismus. Darüber hinaus ermöglicht der Werkstoff Titan eine sehr präzise Fertigung. Die Ventile haben trotz ihrer geringen Größe einen komfortablen Durchflussraum und beugen so möglichen Verstopfungen vor.

Insgesamt lässt sich sagen, dass Gravitationsventile – insbesondere verstellbare Gravitationsventile – eine hohe Lebensqualität für die betroffenen Patienten er-

möglichen können. Der Hirninnendruck wird mit Hilfe von Gravitationsventilen in jeder Körperlage so reguliert, dass er sich annähernd im physiologischen Normbereich bewegt.

Die Chance, heute mit der Diagnose Normaldruckhydrozephalus zu einem nahezu normalen Leben zurückzukehren, ist in den letzten zehn Jahren durch die unablässige Weiterentwicklung in der Ventiltechnologie, durch die stetige Zusammenarbeit der behandelnden Ärzte weltweit mit den Entwicklern deutlich angestiegen.



Verstellinstrument für das proSA



Verstellbares Gravitationsventill: proSA