

Hirntod und Hirntoddiagnostik

2 kompakt

DSO

Voraussetzungen

- akute primäre oder sekundäre Hirnschädigung
- und
- Ausschluss von: Intoxikation, dämpfender Wirkung von Medikamenten, Relaxation, primärer Hypothermie, Kreislaufschock, Koma bei metabolischer, endokriner oder entzündlicher Erkrankung

Untersucher

Zwei Ärzte mit mehrjähriger Erfahrung in der Intensivbehandlung von Patienten mit schweren Hirnschädigungen
(unabhängig voneinander, nicht an Entnahme oder Übertragung beteiligt)

Durchführung

KLINISCHE SYMPTOME

- **Koma**
- **Ausfall der Hirnstammreflexe**
 - *beidseits erloschener Pupillen-Lichtreflex*
 - *beidseits erloschener Cornealreflex*
 - *Trigeminus-Schmerzreaktion fehlt*
 - *fehlender Pharyngeal- und Trachealreflex*
 - *okulozephaler Reflex fehlt (Puppenkopf-Phänomen)*
- **Ausfall der Spontanatmung** [→ *Apnoe-Test*]

NACHWEIS DER IRREVERSIBILITÄT

▪ Beobachtungszeitraum

▪ **Supratentorielle Hirnschädigung**

	primär	sekundär
Neugeborene* 0-28 TAGE	72 h	72 h
Säuglinge u. Kleinkinder* 29-730 TAGE	24 h	24 h
Erwachsene u. Kinder > 2 JAHRE	12 h	72 h

* bei Kindern < 2 Jahre: mindestens zwei klinische Untersuchungen und jeweils zusätzlich eine apparative Diagnostik (Perfusionsszintigraphie nur einmal nach 2. klinischer Untersuchung)

▪ **Infratentorielle Hirnschädigung**

Irreversibilität muss zusätzlich mit apparativer Diagnostik nachgewiesen werden.

▪ **Apparative Zusatzdiagnostik**

Eine apparative Zusatzdiagnostik ersetzt die Beobachtungszeit (Ausnahme: Kinder < 2 Jahre).

- *Nachweis des Ausfalls der hirneigenen elektrischen Aktivität mit Hilfe eines EEG*
- *Nachweis des progredienten, konsekutiven Verlustes oder Ausfalls der evozierten Potentiale (AEP/SEP)*
- *Nachweis des zerebralen Perfusionsstillstandes (Transkranielle Dopplersonographie, Perfusionsszintigraphie)*

Dokumentation

Alle Untersuchungsergebnisse, Datum, Uhrzeit und untersuchende Ärzte müssen auf dem standardisierten Protokoll des wissenschaftlichen Beirats der Bundesärztekammer dokumentiert werden [→ *Formular der Bundesärztekammer*].

Bei der Behandlung von Patienten mit primärer oder sekundärer Hirnschädigung kann es zu einer intensivmedizinisch oder neurochirurgisch nicht zu beeinflussenden intrakraniellen Drucksteigerung kommen, die zu einem zunehmenden Funktionsausfall des Großhirns, des Kleinhirns und des Hirnstamms führt. Verfolgt man den dokumentierten neurologischen Status in der Patientenkurve, so finden sich oft Hinweise auf einen zunehmenden Verlust der Hirnstammfunktionen mit mehr oder minder raschem Übergang in den Hirntod.



Ein fehlender Hustenreflex beim Absaugen, der nicht medikamentös bedingt ist, sollte Anlass zur Einleitung der Hirntoddiagnostik sein.

2.1 Notwendigkeit der Hirntoddiagnostik

Die Notwendigkeit einer Hirntoddiagnostik ergibt sich aus folgenden Gründen:

1. Sie stellt den Tod fest.
Dies ist eine sichere Entscheidungsgrundlage für einen Therapieabbruch.
2. Der festgestellte Tod ist gleichzeitig auch Voraussetzung für eine Organentnahme.



Art der Hirnschädigung

- *Primäre = strukturelle Hirnschädigung*
(z.B. Verletzungen, Blutungen, Infarkte, Tumore, Verschlusshydrozephalus etc.)
- *Sekundäre = metabolische Hirnschädigung*
(z.B. Hypoxie, prolongierte Schocksituation, kardialer Kreislaufstillstand etc.)

Der Todesnachweis erfolgt nach den Richtlinien der Bundesärztekammer [→ ANHANG – RICHTLINIEN]. Es sollte klinikintern bekannt sein, welche Ärzte für die Hirntoddiagnostik zuständig und wie sie zu erreichen sind [→ CHECKLISTE „KRANKENHAUSINTERNE ABLÄUFE“].

Die Mithilfe eines externen Konsiliariums kann jederzeit über den Koordinator der DSO angefordert werden, auch wenn über die Organspende noch nicht entschieden ist.



ACHTUNG

Unabhängig vom Hirntodprotokoll muss die amtliche Todesbescheinigung („Leichenschauschein“) ausgefüllt werden. Datum und Uhrzeit des festgestellten Todes sind mit den Angaben im Hirntodprotokoll identisch!

2.2 Der Hirntod

DEFINITION

Der Hirntod wird definiert als Zustand der irreversibel erloschenen Gesamtfunktion des Gehirns (Großhirn, Kleinhirn und Hirnstamm).



Die Diagnose des Hirntodes erfordert

- *die Erfüllung der Voraussetzungen zur Feststellung des Hirntodes [→ 2.3.1],*
- *die Feststellung der klinischen Symptome [→ 2.3.2] und*
- *den Nachweis der Irreversibilität der klinischen Ausfallsymptome [→ 2.3.3].*

Primäre Hirnschädigungen betreffen das Gehirn unmittelbar und strukturell (schwere Verletzungen bei Schädel-Hirn-Trauma, intrakranielle Blutung, Hirninfarkt, Hirntumoren). Sekundäre Hirnschädigungen betreffen das Gehirn über den Stoffwechsel (Hypoxie, Kreislaufstillstand kardialer Genese oder schwere Kreislaufinsuffizienz). Bei einer infratentoriellen Schädigung sind das Kleinhirn und der Hirnstamm betroffen, bei primär supratentoriellen Prozessen liegt die Schädigung im Großhirnbereich.

Mit dem Hirntod ist naturwissenschaftlich-medizinisch der Tod des Menschen festgestellt. Die Herz-Kreislauffunktion wird durch kontrollierte Beatmung aufrechterhalten. Studien haben eindeutig belegt, dass alle Hirntoten bei fortgeführter maschineller Beatmung unausweichlich einen Herzstillstand (Asystolie) entwickeln. Der Hirntod kann in den meisten Fällen auf der Intensivstation mit Hilfe der klinischen Untersuchung festgestellt werden. Zusätzliche apparative Untersuchungen sind in Deutschland bei Patienten mit primär infratentorieller Hirnschädigung und bei Kindern unter 2 Jahren vorgeschrieben [→ 2.3.3 und 2.3.4].

2.3 Diagnose des Hirntodes

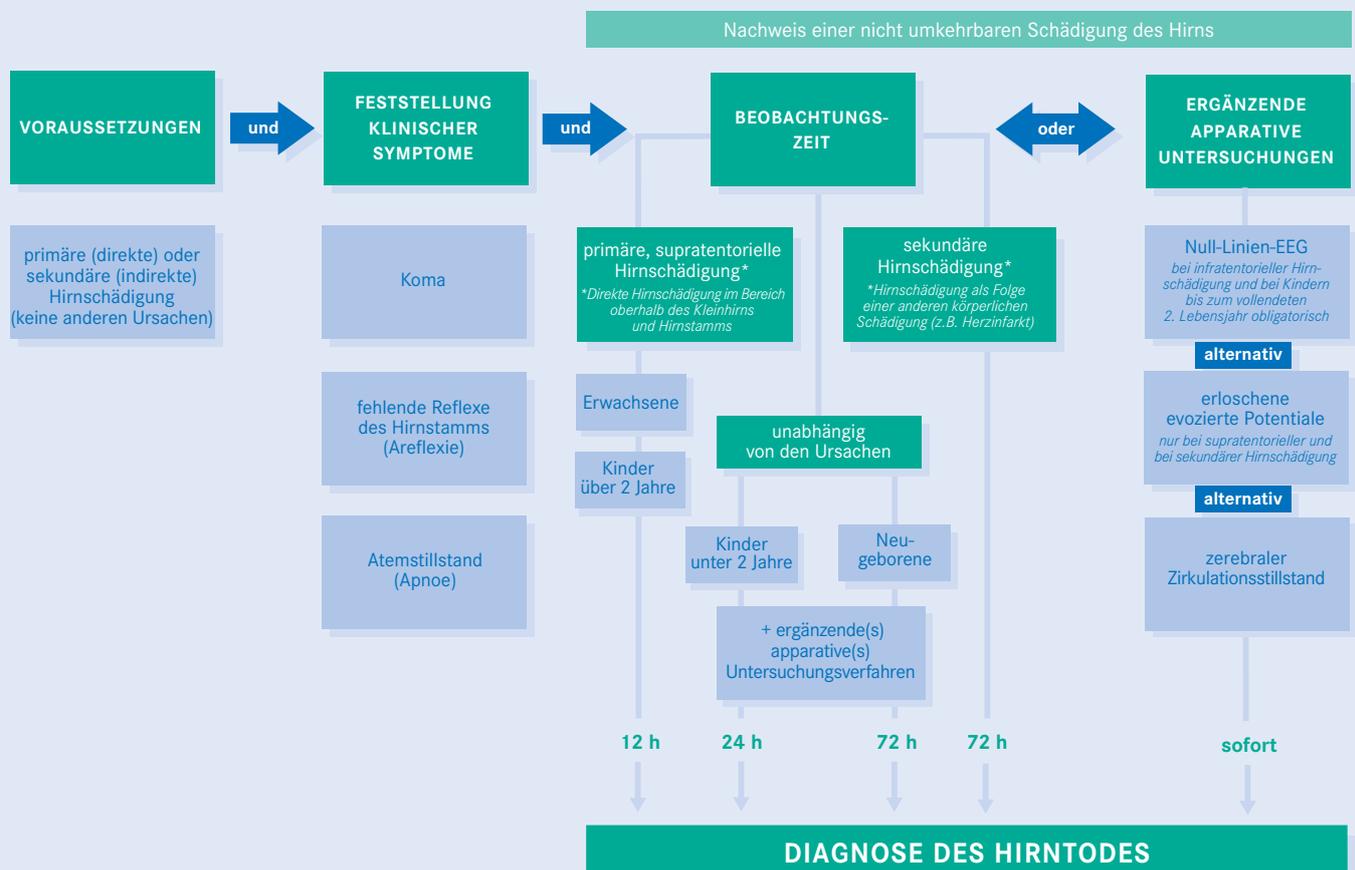
Die klinische Untersuchung im Rahmen der Hirntoddiagnostik muss von zwei Ärzten durchgeführt werden, die über eine mehrjährige Erfahrung in der Intensivbehandlung von Patienten mit schweren Hirnschädigungen verfügen.

Die Erhebung der Befunde erfolgt unabhängig voneinander.

Die Untersucher dürfen weder an der Entnahme noch an der Übertragung der Organe des Spenders beteiligt sein. Sie dürfen auch nicht Weisungen eines Arztes unterstehen, der an diesen Maßnahmen beteiligt ist [→ KAPITEL 8 – TRANSPLANTATIONSGESETZ, § 5, ABS. 1 UND 2].

Schematischer Ablauf der Hirntoddiagnostik entsprechend den aktuellen Richtlinien der Bundesärztekammer

Hirntoddiagnostik



2.3.1 VORAUSSETZUNGEN ZUR FESTSTELLUNG DES HIRNTODES

Unabdingbare Voraussetzung ist das Vorliegen einer akuten schweren Hirnschädigung, nachgewiesen z.B. durch bildgebende Verfahren (Kraniale Computertomographie, Magnetresonanztomographie, Angiographie, Szintigraphie). Obligat ist der Ausschluss von anderen Ursachen, die den Ausfall der Hirnfunktion verursachen oder mit verursachen können. Dazu gehören: Intoxikation, dämpfende Wirkung von Medikamenten, neuromuskuläre Blockade, primäre Hypothermie, Kreislaufschock, Koma bei endokriner, metabolischer oder entzündlicher Erkrankung.

2.3.2 KLINISCHE SYMPTOME

KOMA

Bewusstlosigkeit ohne Augenöffnung und ohne andere zerebrale Reaktion auf wiederholten adäquaten Schmerzreiz.

AUSFALL DER HIRNSTAMMREFLEXE

- Ausfall der Pupillenverengung auf Licht
- Erloschener Cornealreflex
 - **PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG:** *vorsichtiges Bestreichen der Cornea beider Augen z.B. mit einem weichen Tupfer*
- Fehlen von Reaktionen auf Schmerz im Trigeminierversorgungsgebiet
 - **PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG:** *starker Druck auf supraorbitale Nervenaustrittspunkte oder Schmerzreize an der Nasenschleimhaut*
- Fehlender Pharyngeal- und Trachealreflex
 - **PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG:** *Spatelberührung im Rachen und Reiz mit Hilfe eines in den Trachealtubus bis zur Carina eingeführten Absaugkatheters*
- Ausfall des okulozephalen Reflexes
 - **PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG:** *plötzliche, passive Kopfseitwärtsdrehung. Bei erloschenem okulozephalen Reflex bleiben die Bulbi fixiert (Puppenkopffänomen). Bei erhaltenem okulozephalen Reflex erfolgt eine Bulbusabweichung zur Gegenseite.*

AUSFALL DER SPONTANATMUNG

Ein zentralbedingter Ausfall der Spontanatmung liegt vor, wenn bei bisher gesunden Menschen bei einem $\text{paCO}_2 > 60 \text{ mm Hg}$ keine Eigenatmung einsetzt.



Der Apnoe-Test wird wegen der möglichen Gefährdung des Patienten und der physiologischen Wirkung der Hyperkapnie als letzte klinische Untersuchung des Hirnfunktionsausfalls durchgeführt.

→ PRAKTISCHE DURCHFÜHRUNG:

Zunächst Beatmung mit einer inspiratorischen Sauerstoffkonzentration von 100 % ($\text{FiO}_2 = 1$) unter kontinuierlicher SaO_2 -Messung. Das Atemminutenvolumen wird reduziert, bis der paCO_2 zwischen 40 mm Hg (5,3 kPa) und 45 mm Hg (6 kPa) oder höher liegt. Anschließend erfolgt die Diskonnexion vom Beatmungsgerät bis zu einem paCO_2 -Wert $\geq 60 \text{ mm Hg}$. Dies erfolgt unter tief endotrachealer Sauerstoffinsufflation mit ca. 8 l/min (apnoeische Oxygenierung) zur Aufrechterhaltung einer ausreichenden Sauerstoffversorgung. Die erforderliche Diskonnexionszeit liegt zwischen 4 und 10 Minuten. Die Dokumentation des paCO_2 und $\text{paO}_2 / \text{SaO}_2$ erfolgt mittels arterieller Blutgasanalyse in bestimmten Zeitabständen (zur Zeit 0 und dann z.B. nach 3, 6, 9 Minuten nach Diskonnexion). Beim Hirntoten setzt trotz Hyperkapnie der zentrale Atemtrieb nicht ein.

Alternativ kann die geforderte Hyperkapnie durch eine kontrollierte Hypoventilation ohne Diskonnexion vom Beatmungsgerät herbeigeführt werden. □

□
Bei Patienten, deren Eigenatmung aufgrund kardiopulmonaler Vorerkrankungen an einen Kohlendioxidpartialdruck von mehr als 45 mm Hg adaptiert ist, gibt es keine allgemein anerkannten Werte des paCO_2 für den Apnoe-Test. In diesen Fällen kann auf den Apnoe-Test verzichtet werden und der Funktionsausfall des Hirnstamms ist zusätzlich durch apparative Untersuchungen zu belegen (Perfusionsausfall im vertebro-basilären Stromgebiet). Dies gilt auch für Patienten mit schwerer Lungenschädigung (Thoraxtrauma, Pneumonie etc.), bei denen eine ausreichende Sauerstoffversorgung während der Durchführung des Apnoe-Testes nicht aufrechterhalten werden kann.

2.3.3 NACHWEIS DER IRREVERSIBILITÄT

→ SUPRATENTORIELLE HIRNSCHÄDIGUNG

Ohne zusätzliche apparative Untersuchungsmethoden kann der irreversible Ausfall aller Hirnfunktionen mit einer zweiten klinischen Untersuchung nachgewiesen werden.

Der erforderliche Beobachtungszeitraum beträgt bei

- Primärer Hirnschädigung: 12 Stunden
- Sekundärer Hirnschädigung: 72 Stunden

Ohne Beobachtungszeitraum ist die definitive Diagnose in Verbindung mit einer apparativen Untersuchung (EEG, TCD, Hirnperfusionsszintigraphie, evozierte Potentiale) möglich.

→ INFRATENTORIELLE HIRNSCHÄDIGUNG

Die Irreversibilität muss mit einer zusätzlichen Untersuchungsmethode nachgewiesen werden: Elektroenzephalogramm (EEG), Transkranielle Dopplersonographie (TCD) oder Hirnperfusionsszintigraphie.

Akustisch und somatosensorisch evozierte Potentiale (AEP, SEP) sind für die Diagnose des Hirntodes bei Hirnstammläsionen nicht anwendbar, SEP auch nicht bei Halsmarkläsionen.

APPARATIVE UNTERSUCHUNGSMETHODEN



Mit Hilfe apparativer Methoden kann der Hirntod, außer bei Kindern unter zwei Jahren, zweifelsfrei im Zusammenhang mit einer klinischen Untersuchung (also ohne Beobachtungszeit) festgestellt werden.

NACHWEIS DES AUSFALLS

DER HIRNEIGENEN ELEKTRISCHEN AKTIVITÄT

mit Hilfe des Elektroenzephalogramms (EEG) gemäß den Richtlinien der Deutschen Gesellschaft für klinische Neurophysiologie.

Kontinuierliche Ableitung eines Null-Linien-EEG über mindestens 30 Minuten (mindestens 8 Kanäle, Empfindlichkeit von 2 $\mu\text{V}/\text{mm}$).

NACHWEIS DES PROGREDIENTEN, KONSEKUTIVEN VERLUSTES ODER AUSFALLS DER EVOZIERTEN POTENTIALE

AEP und SEP bei primärer supratentorieller Hirnschädigung gemäß den Richtlinien der Deutschen Gesellschaft für klinische Neurophysiologie.

NACHWEIS DES

ZEREBRALEN ZIRKULATIONSTILLSTANDES

■ Transkranielle Dopplersonographie (TCD)

Mindestens 2 Untersuchungen im Abstand von 30 Minuten und Nachweis dopplersonographischer Kriterien des Hirntodes:

- *Fehlen des Strömungssignals (Nachweis durch denselben Untersucher, der zuvor eindeutig intrakranielle Strömungssignale abgeleitet und dokumentiert hatte)*

oder

- *Biphasische Strömungen (Pendelfluss) mit gleich ausgeprägter antero- und retrograder Komponente oder frühsystolische Spitzen bei fehlender systolischer und diastolischer Strömung, intra- und extrakraniell an den Aa. Carotis interna und vertebralis sowie intrakraniell an den Aa. Cerebri media und basilaris.*

- **Perfusionsszintigraphie (Tc-99m-m-Hexamethylpropylenaminnoxim)**
Szintigraphische Kriterien des Hirntodes: Keine zerebralen Gefäße darstellbar, keine zerebrale Perfusion und keine Anreicherung im Hirngewebe.

- **Angiographie**

Wird in Deutschland nur dann bei der Hirntoddiagnostik berücksichtigt, wenn im Rahmen einer aus sonstigen diagnostischen Gründen erforderlichen Angiographie ein intrakranieller Perfusionsstillstand nachgewiesen worden ist. Angiographische Kriterien des Hirntodes: Eindeutiger Kontrastmittelstillstand an der Hirnbasis oder im Anfangsteil der großen Arterien. Dabei muss die Katheterlage dokumentiert werden und ein ausreichender arterieller Mitteldruck (Erwachsene > 80 mm Hg, Kinder bis zur Pubertät > 60 mm Hg) bestanden haben.

Im Gegensatz zur klinischen Untersuchung sind alle Methoden, die einen zerebralen Perfusionsstillstand nachweisen, unabhängig von noch nachweisbaren Serumkonzentrationen von sedierenden/analgesierenden Medikamenten für die Hirntoddiagnostik verwertbar. In bestimmten Situationen (große offene Schädelhirnverletzungen, nach Kraniotomie, Patienten mit Shunt/offene Ventrikeldrainage) findet ein Druckausgleich statt, der verhindern kann, dass der intrazerebrale Druck über den systemischen Blutdruck ansteigt. Somit kann bei Totalnekrose des Gehirns eine Restdurchblutung nachweisbar sein, die nicht gegen den Hirntod spricht. In diesen Fällen muss der Hirntod mit klinischen oder EEG-Kriterien diagnostiziert werden.

2.3.4 IRREVERSIBILITÄTSNACHWEIS BEI KINDERN UNTER ZWEI JAHREN

BEOBSACHTUNGSZEITRAUM

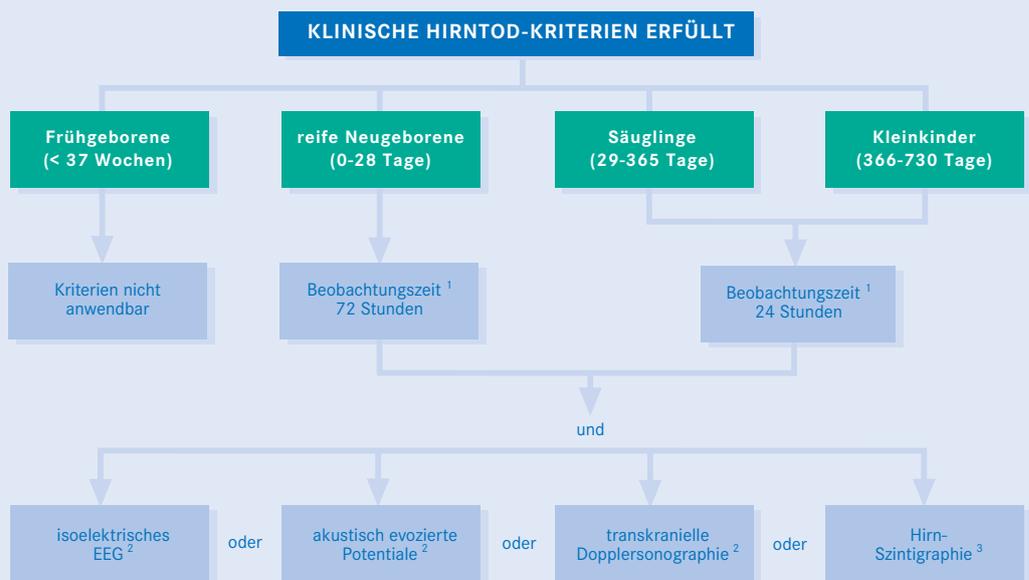
- Neugeborene (0-28 Tage): 72 Stunden
- Säuglinge und Kleinkinder (29-730 Tage): 24 Stunden

IRREVERSIBILITÄT DER AUSFALLSYMPTOME

Mindestens zwei klinische Untersuchungen und jeweils zusätzlich Null-Linien-EEG oder Fehlen der FAEP (nicht bei primär infratentorieller Schädigung) oder dopplersonographischer Nachweis des Zirkulationsstillstandes.

Das Perfusionsszintigramm muss als ergänzende Untersuchung nur einmal, und zwar nach der zweiten klinischen Feststellung der Ausfallsymptome durchgeführt werden.

Hirntoddiagnostik im Kindesalter



¹ unabhängig von der Ursache

² bei erster und zweiter Untersuchung

³ nur bei zweiter Untersuchung

2.4 Dokumentation

Alle Ergebnisse der klinischen und apparativen Untersuchungen, Datum und Uhrzeit der Untersuchung sowie die untersuchenden Ärzte müssen auf einem standardisierten Protokoll (z.B. Protokoll des wissenschaftlichen Beirates der Bundesärztekammer [→ ANHANG]) dokumentiert werden. Als Todeszeitpunkt wird in allen Dokumenten und im Leichenschauschein die Uhrzeit registriert, zu der die Diagnose des Hirntodes abgeschlossen ist.

Den Angehörigen ist (auf Wunsch) Gelegenheit zur Einsichtnahme zu geben. Sie können eine Person ihres Vertrauens hinzuziehen [→ KAPITEL 8 – TRANSPLANTATIONSGESETZ, § 5, ABS. 2].



FAZIT

Die in Deutschland geltenden Richtlinien erlauben eine zweifelsfreie Feststellung des vollständigen und irreversiblen Funktionsausfalls des Gehirns. Die erforderlichen Beobachtungszeiträume sind verglichen mit anderen Ländern in Deutschland am längsten. Weiterhin ist, im Gegensatz zu anderen Ländern, die apparative Zusatzdiagnostik bei infratentorieller Hirnschädigung und bei Kindern unter 2 Jahren obligat.