

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Klinik und Poliklinik für Kinder- und Jugendmedizin

(Direktor: Prof. Dr. Stefan Burdach)

Herzrhythmusstörungen bei Kindern
nach Stromunfall im Niederspannungsbereich
-
Retrospektive Auswertung der stationären kardialen
Überwachung

Eric Thomas Widmann

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Medizin

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. Ernst J. Rummeny

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. Stefan Burdach
2. Priv.-Doz. Dr. Sohrab Fratz (schriftliche Beurteilung)
3. apl. Prof. Dr. Alfred Hager (mündliche Prüfung)

Die Dissertation wurde am 09.12.2014 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 15.06.2016 angenommen.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	3
2. Aufgabenstellung	7
3. Material und Methoden.....	8
3.1 Methoden	8
3.2 Normwerte.....	10
3.3 Patientendaten	10
4. Ergebnisse	12
4.1 Ergebnisse der Aufnahmeuntersuchung.....	12
4.2 Ergebnisse der Überwachung.....	13
4.3 Ergebnisse der Blut-Untersuchungen.....	14
4.4 Ergebnisse der Kinder mit Risikofaktoren.....	16
4.5 Zusammenfassung der Ergebnisse	18
5. Diskussion	19
5.1 Diskussion der Methoden	19
5.2 Diskussion der Ergebnisse.....	22
6. Zusammenfassung	29
7. Literaturverzeichnis.....	30
8. Liste der Patienten	34

1. Einleitung

Im häuslichen Bereich gibt es für Kinder viele Möglichkeiten, einen Stromschlag zu erleiden. Die Hauptgefahr geht von ungesicherten Steckdosen aus. Vor allem Kleinkinder stecken im Spiel häufig metallische Gegenstände in die Öffnungen. Mit zunehmendem Alter werden auch defekte Kabel, Elektrogeräte und Lampenfassungen als Stromquelle relevanter. Trotz einer hohen Aufklärungsrate in der Bevölkerung und leicht verfügbaren Möglichkeiten zur Prävention, wie z.B. Sicherheitssteckdosen oder FI-Schutzschaltern mit Auslösung ab 30 mA, gehört es in deutschen Ambulanzen nach wie vor zum Alltag, Kinder nach einem Stromunfall zu behandeln. In den Jahren 2001 bis 2011 haben sich die stationären Aufnahmen zur Überwachung von Kindern nach einem Stromunfall, wie man den Daten der Gesundheitsberichterstattung des Bundes ⁽¹²⁾ entnehmen kann, sogar mehr als verdoppelt, wobei die Zahl der jährlichen tödlichen Stromunfälle bei Kindern relativ konstant bleibt. Im Jahr 2008 wurden in der Notaufnahme der Kinderklinik Schwabing 9 Kinder mit der Diagnose Stromunfall vorgestellt und stationär aufgenommen. Das entspricht einem Anteil von 0,04% aller stationären Aufnahmen in diesem Jahr.

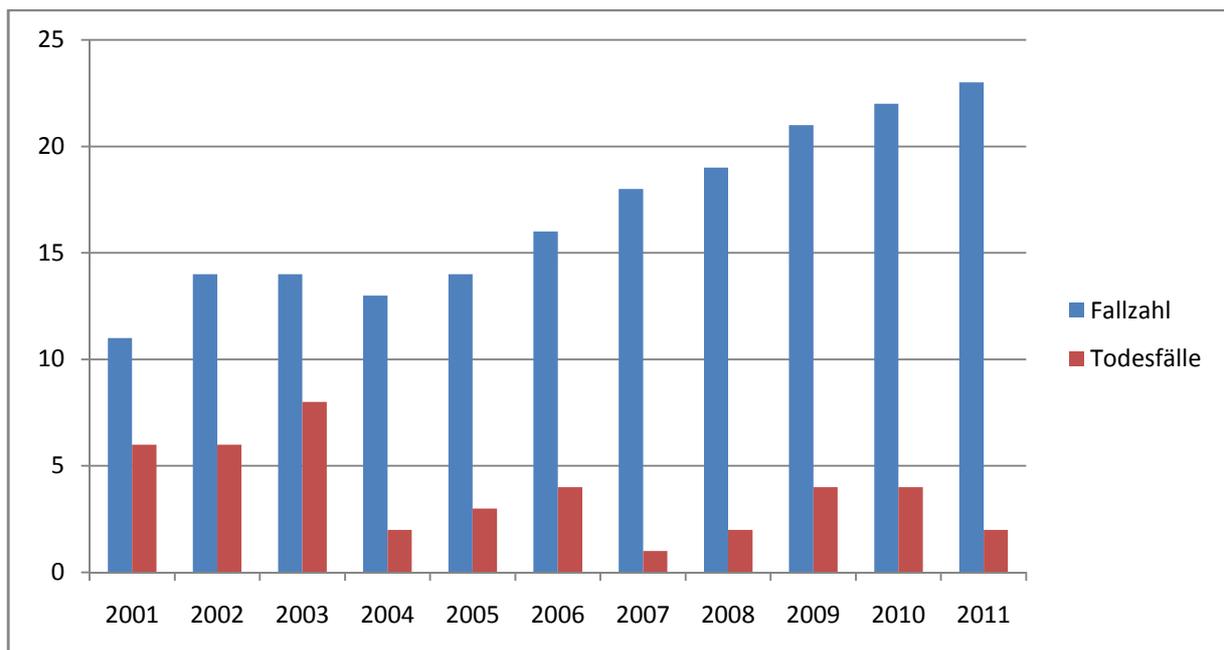


Abbildung 1-1 Vollstationäre Patienten je 100.000 Einwohner unter 15 Jahren und Todesfälle unter 15 Jahren nach Stromunfällen (nach GBE des Bundes) ⁽¹²⁾

Die Gefahr, die von einem Stromunfall ausgeht ist schon lange bekannt. Bereits 1850 wurde bei Experimenten am Hundeherz beobachtet, dass die Einwirkung von elektrischem Strom auf das Myokard zu extrem schnellen und unregelmäßigen Kontraktionen der Ventrikel führen kann ⁽¹⁷⁾. Laut *Prof. Dr. R. Klose* „steht die elektrophysiologische Wirkung des Stroms am Reizbildungs- und Reizweiterleitungssystem des Herzens im Vordergrund. [...] Der

unmittelbare Herzstillstand ist führende Todesursache nach einem Elektrotrauma. Neben Kammerflimmern und Asystolie werden supra- und ventrikuläre Extrasystolen, Überleitstörungen und Blockierungen sowie unspezifische ST-T-Streckenveränderungen beobachtet“ ⁽²⁰⁾. Die große Mehrzahl der Stromunfälle verläuft jedoch weniger schwerwiegend. Häufig werden geringgradige Verbrennungen oder peripher-nervöse Störungen beobachtet, meist zeigen sich keinerlei Symptome. Ob der Strom das Herz schädigt, hängt von der Stromstärke ^(7, 8, 22, 29, 30) und teilweise von der Stromrichtung durch den Körper ^(7, 21, 22, 24, 29) ab. Zudem ist relevant, ob sich das Herz während des Stromflusses in seiner vulnerablen Phase befindet und der Strom so arrhythmogen wirken kann ^(7, 22, 30).

Der elektrische Strom wird durch eine Spannung (U), gemessen in Volt (V), erzeugt. Diese beschreibt eine unterschiedliche Anzahl Elektronen zwischen zwei Elektroden. Verbindet man die Elektroden mit einem elektrischen Leiter, fließen Elektronen von einer Elektrode zur anderen. Die Stromstärke (I), gemessen in Ampere (A), beschreibt die Menge an fließenden Elektronen pro Sekunde. Wie hoch die Stromstärke bei einer bestimmten Spannung ist, hängt von dem elektrischen Widerstand (R), gemessen in Ohm (Ω), des verbindenden elektrischen Leiters ab. Bei Stromunfällen ist dies der Körperwiderstand. Je größer der Widerstand, desto geringer die resultierende Stromstärke.

Dieser Zusammenhang ist im *1. Ohmschen Gesetz* beschrieben: $I=U/R$

Stromunfälle werden ja nach anliegender Spannung in Nieder- (< 1000 V) und Hochspannungsunfälle (>1000 V) eingeteilt ^(3, 7, 8, 20, 26, 30). In deutschen Haushalten liegt an einer Steckdose eine Spannung von 230 V mit 50 Hz Wechselstrom an. Dieser wechselt 50-mal in der Sekunde die Richtung und wirkt so besonders arrhythmogen im Vergleich zu Gleichspannung ^(29, 30, 31). Bei Haushaltsstrom können maximal 16 A Strom fließen. Um ein Kammerflimmern auszulösen, reichen theoretisch bereits 50 mA ⁽²²⁾. *Koeppen* hat unterschiedliche Gefährdungsbereiche für Stromstärken bei Wechselstrom beschrieben ⁽²²⁾.

Tabelle 1-1 Mögliche Folgen eines Stromschlages unterteilt in Stromstärkebereiche (nach Koeppen ⁽²²⁾)

Stromstärkebereich	Mögliche Folgen
I (0-25 mA)	Keine Herzschädigung; Erreichen der Loslassschwelle (10-15 mA)
II (25-80 mA)	Herzkammerflimmern (ab ca. 50 mA); Atemstillstand; Starke Muskelverkrampfungen; Bewusstlosigkeit
III (80-3000 mA)	44% letal; 20% der Überlebenden haben eine Herzschädigung
IV (>3 A)	Starke Verbrennungen; Kammerflimmern; Asystolien

Der Körperinnenwiderstand liegt relativ konstant bei $500\ \Omega$ - $1200\ \Omega$ ^(7, 21, 24). Bei einer Spannung von $230\ \text{V}$ würden, nach dem *1. Ohm'schen Gesetz*, 190 - $460\ \text{mA}$ fließen. Durchaus genug, um tödliche Folgen zu haben. Damit der Strom durch den Körper fließen kann, muss allerdings erst der Widerstand der Haut überwunden werden. Bei intakter Haut beträgt der Körperwiderstand (Hautwiderstand + Körperinnenwiderstand) ca. $100.000\ \Omega$ ^(21, 22, 24). Es resultiert bei $230\ \text{V}$ eine Stromstärke von ca. $2,3\ \text{mA}$. Die Loslassschwelle bei $10\ \text{mA}$ wird in der Regel nicht erreicht. Sie bezeichnet eine strominduzierte Muskelverkrampfung am Arm, die ein willkürliches Lösen von der Stromquelle unmöglich macht. Der Hautwiderstand kann allerdings je nach Körperregion ^(21, 24) und Hautfeuchtigkeit ^(5, 8, 21, 24, 26, 30) und insbesondere bei Kindern ^(7, 21, 30) niedriger sein, sodass selbst bei intakter Haut höhere Stromstärken erreicht werden können. Ab einer Spannung zwischen $400\ \text{V}$ (Hände und Füße) und $150\ \text{V}$ (restlicher Körper) kann ein Stromschlag die Haut so sehr schädigen, dass der Hautwiderstand komplett zusammenbricht ^(7, 22, 24). Eine weitere wichtige Rolle spielen zusätzliche Widerstände, wie Schuhsohle, Bodenbelag oder Handschuhe. Diese werden unter dem Begriff „Übergangswiderstand“ zusammengefasst ⁽⁷⁾.

Um Herzrhythmusstörungen auszulösen, muss der Strom durch das Herz fließen. Früher nahm man an, dass Strom nach Durchbrechen des Hautwiderstands den Weg des geringsten Widerstands im Körper nimmt und somit Gefäß- und Nervenbahnen durchströmt ^(17, 21, 29). So würde der Strom direkt zum Herzen geleitet. Aktuell nimmt man an, dass sich Körperteile nicht aus Einzelwiderständen zusammensetzen (z.B. geringer Widerstand in Nervenbahnen), sondern näherungsweise einen Gesamtwiderstand haben ^(21, 24, 26). Der Weg des Stroms durch den Körper scheint also eher von Ein- und Austrittsstelle abhängig zu sein, als von anatomisch vorgegebenen Strukturen ⁽⁷⁾. Ein Stromfluss von Hand zu Hand oder von Hand zu Fuß kann dabei Herzmuskelnekrosen oder Herzrhythmusstörungen verursachen, ein Stromfluss von Fuß zu Fuß kann zwar schwere lokale Schäden zur Folge haben, eine kardiale Beteiligung ist allerdings unwahrscheinlich ⁽²¹⁾. Für den behandelnden Arzt ist es also wichtig, auf Strommarken zu achten, um auf einen eventuellen transthorakalen Stromfluss rückschließen zu können. Die Häufigkeit von kardialen Störungen bei Stromunfällen wird mit $14 - 54\%$ angegeben, wobei eine kardiale Symptomatik bei Erwachsenen mit Stromunfällen deutlich häufiger vorliegt, als im Kindesalter ⁽³⁰⁾.

Es werden Fälle bei Erwachsenen und Kindern beschrieben, in denen Herzrhythmusstörungen nicht direkt nach dem Stromkontakt, sondern erst mit einer zeitlichen Verzögerung auftreten ^(10, 17, 20, 23). Ursachen für eine Herzrhythmusstörung nach einem Stromunfall könnten z.B. ein Gewebsuntergang am Herzen, der die Reizweiterleitung stört ^(4, 14, 29, 30), Koronararterienspasmen ^(14, 29) oder Mikroembolien ⁽³⁰⁾ sein. Jensen

beschreibt in seinem Artikel 3 Fälle, in denen sich bei Erwachsenen Herzrhythmusstörungen erst nach 8-12 Stunden entwickelten ⁽¹⁷⁾. Es wird in der Literatur außerdem ein Fall beschrieben, in dem eine Jugendliche 10 Stunden nach einem Stromunfall leblos aufgefunden wurde. Es wurde vermutet, dass sie an einer Arrhythmie starb, die jedoch nicht zwingend auf den Stromunfall zurückgeführt wurde ^(10, 28). In einem weiteren Fall entwickelte ein 24-jähriger Mann ein Kammerflimmern einen Tag nach einem Stromunfall im Niederspannungsbereich ^(10, 28).

Im Folgenden werden diese Rhythmusstörungen als „späte Herzrhythmusstörungen“ bezeichnet. Die Gefahr einer solchen späten Herzrhythmusstörung beschäftigte bereits einige Autoren und beeinflusst teilweise maßgeblich die Behandlungsrichtlinien in Kliniken für Kinder, die einen Stromunfall erlitten ^(3, 8, 13, 19, 20, 25, 27, 28, 30).

2. Aufgabenstellung

Diese Arbeit setzt sich mit den Folgen eines Stromunfalls aus dem Niederspannungsbereich im Kindesalter auseinander. Dabei wird vor allem auf die beobachteten Veränderungen in den Standard-EKG-Ableitungen eingegangen. Zudem werden die klinische Symptomatik und Veränderungen in bestimmten Laborparametern untersucht. Aus den physikalischen Gegebenheiten eines Stromunfalls und der vielerorts verbreiteten Praxis, Kinder nach einem Stromunfall im Niederspannungsbereich stationär zu überwachen, stellen sich folgende Fragen:

1. Welche Veränderungen treten in den Standard-EKG-Ableitungen auf und in welcher Häufigkeit?
2. Kommt es zu weiteren EKG-Veränderungen während einer stationären Beobachtungszeit von etwa 24 Stunden?
3. Gibt es Veränderungen bei bestimmten Laborparametern, die routinemäßig bei den Patienten bestimmt wurden?
4. Gibt es zusätzliche Faktoren, die das Risiko für einen Schaden durch den elektrischen Strom erhöhen?
5. Ist das Vorgehen bei Kindern nach Stromverletzungen, das u.a. in der Kinderklinik Schwabing seit vielen Jahren durchgeführt wurde, sinnvoll und notwendig?

Die Ergebnisse dieser Arbeit sollen unter Einbeziehung nationaler und internationaler Veröffentlichungen zu einer Leitlinienempfehlung für den Umgang mit Kindern, die nach einem Stromunfall im Niederspannungsbereich in einer Notfallambulanz vorstellig werden, führen.

3. Material und Methoden

3.1 Methoden

Um den richtigen Umgang mit Kindern nach einem Stromunfall im Niederspannungsbereich zu überprüfen, wurden in der Kinderkardiologischen Abteilung der Klinik und Poliklinik für Kinder- und Jugendmedizin des Klinikums Schwabing der Technischen Universität München die Akten der Kinder, die wegen eines Stromunfalls in die Notfallambulanz kamen und stationär aufgenommen wurden aus dem Zeitraum von 1995 bis 2012, retrospektiv ausgewertet. Bei allen Kindern wurde ein EKG angefertigt und in aller Regel Blutuntersuchungen durchgeführt. Der Aufnahme-Untersuchung folgte eine etwa 24-stündige Überwachung mittels EKG-Monitor. Wurden keine schwerwiegenden Störungen festgestellt, konnten die Kinder am nächsten Tag wieder entlassen werden. Stromunfälle aus dem Hochspannungsbereich wurden in dieser Studie nicht berücksichtigt, da in diesen Fällen eine stationäre Aufnahme außer Frage steht. Folgeuntersuchungen wurden nicht durchgeführt. Diese Arbeit befasst sich mit den Fällen von 1995-2008. Die Fälle 2005-2012 wurden 2013 noch einmal gesondert durch *von Harbou et al*⁽³⁰⁾ ausgewertet und veröffentlicht.

Die erhobenen Daten wurden retrospektiv ausgewertet. Dabei wurden Alter und Geschlecht der Kinder, Unfallanamnese, Strommarken, Befunde der klinischen Untersuchung, des Aufnahme-EKGs und der Monitor-Überwachung und die Laborergebnisse (Elektrolyte, CK, CK-MB, LDH, Troponin T, Troponin I) erfasst. Zusätzlich wurden vorbestehende Herzerkrankungen notiert. Die Untersuchungsbefunde wurden im Anschluss im Hinblick auf ihren möglichen Zusammenhang mit einem Stromunfall bewertet. Wir definierten eine späte Herzrhythmusstörung als neu aufgetretene Herzrhythmusstörung, die nicht im Aufnahme-EKG, sondern erst während der stationären Überwachung auftrat.

Um zu überprüfen, ob es bestimmte Patienten gibt, die ein erhöhtes Risiko aufweisen, eine Herzrhythmusstörung zu entwickeln, definierten wir folgende Risikofaktoren:

- Laborwertveränderungen
- Vorbestehende Herzerkrankung
- Transthorakaler Stromfluss
- Bewusstlosigkeit
- Nasse Hände oder Umgebung
- Tetanie

Die Risikofaktoren wurden in Übereinstimmung mit der Fachliteratur und aus eigenen Überlegungen gewählt:

Laborwertveränderungen können als Hinweis auf eine Schädigung des Herzmuskels (CK, CK-MB, LDH, Troponin T, Troponin I) oder der Niere (Elektrolyte) herangezogen werden. Bei einer relevanten Laborwertveränderung könnte das Risiko für die Entstehung einer Herzrhythmusstörung erhöht sein. Die Laborwerte wurden während des stationären Aufenthalts bestimmt.

Vorbestehende Herzerkrankungen könnten das arrhythmogene Potential eines Stromunfalls verstärken, da eventuell vorhandene Narben am Herzmuskel (z.B. nach einer Herz-Operation) oder strukturelle Veränderungen die Erregungsausbreitung zusätzlich beeinflussen^(5, 17, 21). Die entsprechenden Angaben wurden anamnestisch erhoben.

Transthorakaler Stromfluss wird in der Literatur häufig mit einem erhöhten Risiko für Herzrhythmusstörungen nach einem Stromunfall in Verbindung gebracht^(4, 9, 17, 26, 30). Theoretische Überlegungen ergeben, dass nur ein Stromfluss über das Herz zu Herzrhythmusstörungen führen kann. Dies wird wahrscheinlicher, wenn der Stromfluss durch den Thorax verläuft. Der Rückschluss auf transthorakalen Stromfluss wurde anamnestisch und aufgrund vorhandener Strommarken geschlossen.

Auch *Bewusstlosigkeit* wird in der Literatur von mehreren Autoren als Risikofaktor diskutiert^(3, 4, 5, 6, 7, 20, 21, 26, 28, 30). Einer initialen Bewusstlosigkeit könnte eine aufgetretene Herzrhythmusstörung zugrunde liegen^(4, 5).

Nasse Hände oder nasse Umgebung setzen den Hautwiderstand deutlich herab^(5, 8, 11, 21, 24, 26, 30).

Zu den *Tetanien* wurde nicht nur ein generalisierter Krampf, sondern auch Verkrampfungen des Armes gezählt, bei denen die Loslassschwelle erreicht war. Durch die verlängerte Kontaktzeit mit der Stromquelle, vor allem bei Wechselspannung, kann sich der Schweregrad des Unfalls erhöhen^(5, 9, 17, 21, 22, 24, 29, 30).

Die Gesamtgruppe der Patienten haben wir im Hinblick auf Risikofaktoren weiter in Untergruppen unterteilt. So entstand eine Gruppe ohne Risikofaktoren und eine Gruppe mit Risikofaktoren. In der Gruppe mit Risikofaktoren haben wir ausserdem die einzelnen Risikofaktoren betrachtet. Es wurden jeweils die Inzidenz von Herzrhythmusstörungen und

das Auftreten von späten Herzrhythmusstörungen ermittelt. Die einzelnen Gruppen konnten so miteinander verglichen werden.

Unsere Ergebnisse haben wir mit nationalen und internationalen Veröffentlichungen abgestimmt, um eine entsprechende Empfehlung für den Umgang mit Kindern nach einem Niederspannungsstromunfall in Notfallambulanzen zu geben.

3.2 Normwerte

Folgende Normwerte wurden im Klinikum Schwabing für Laboruntersuchungen verwendet:

Natrium:	135 – 145 mmol/L
Kalium:	3,5 – 5,0 mmol/L
Calcium:	2,1 – 2,6 mmol/L
Magnesium:	0,7 – 1,2 mmol/L
Chlorid:	97 – 108 mmol/L
Kreatin-Kinase:	< 175 U/L
Kreatin-Kinase-MB:	< 10 U/L
LDH:	< 300 U/L
Troponin I:	< 0,032 µg/L
Troponin T:	< 0,04 µg/L

3.3 Patientendaten

Zwischen 1995 und 2008 wurden im Klinikum Schwabing 101 Kinder stationär aufgenommen, die einen Stromunfall im Niederspannungsbereich erlitten hatten.

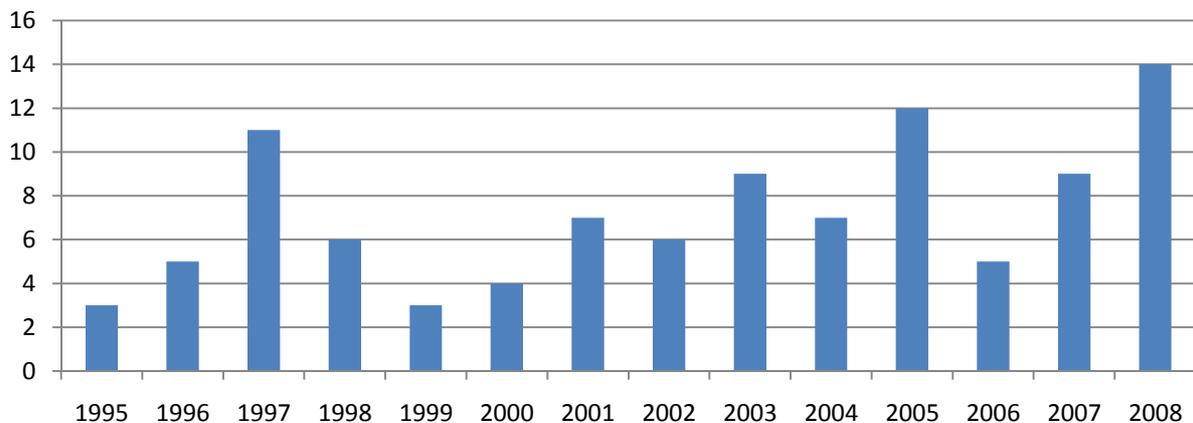


Abbildung 3-1 Anzahl der aufgenommenen Kinder nach Behandlungsjahr

Das Alter der Patienten lag zwischen 8 Monaten und 16 Jahren, mit einem Mittelwert von

5,4 Jahren +/- 4,4 Jahren. Unter den Patienten waren 65% (n = 66) männlich und 35% (n = 35) weiblich. Zur Zeit der Behandlung waren 63% (n = 64) 5 Jahre alt oder jünger.

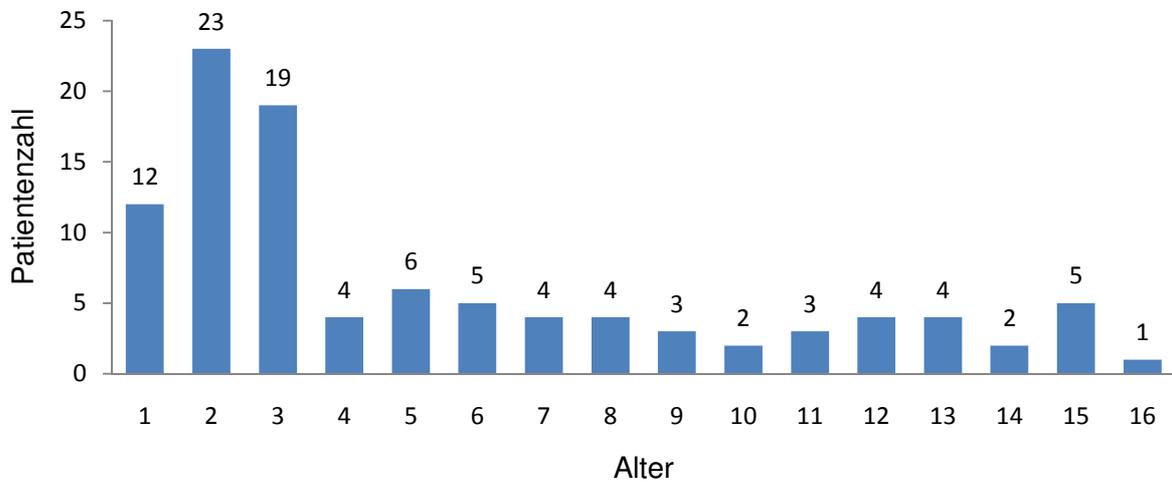


Abbildung 3-2 Anzahl der aufgenommenen Kinder nach Alter

Alle unsere Patienten erlitten den Stromschlag im häuslichen Bereich. Meist wurde eine Steckdose oder ein defektes Kabel als Stromquelle angegeben.

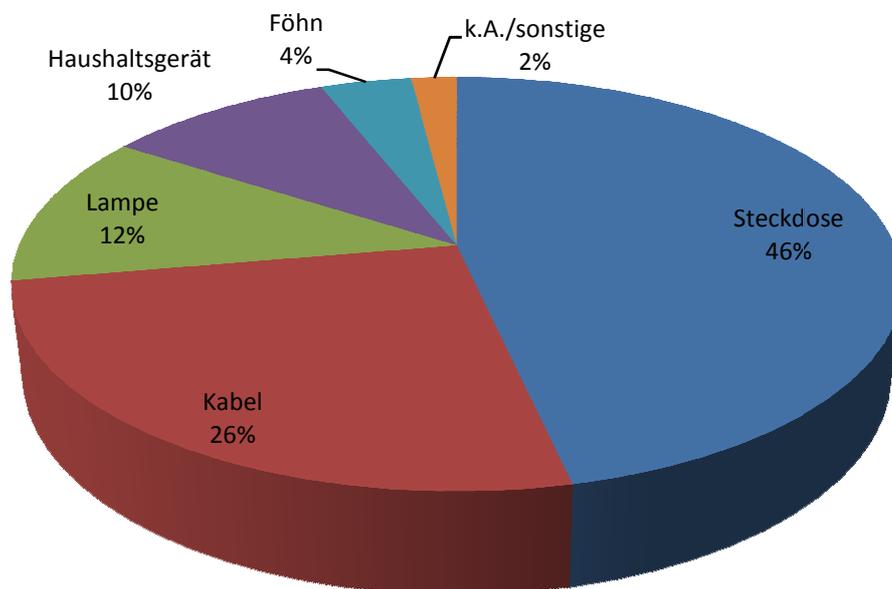


Abbildung 3-3 Anteile der Stromquellen

Die komplette Liste der Patientendaten findet sich im Anhang dieser Arbeit.

4. Ergebnisse

4.1 Ergebnisse der Aufnahmeuntersuchung

Die Aufnahmeuntersuchung bestand aus Anamnese, körperlicher Untersuchung und Ableitung eines 12-Kanal-EKGs. Besonderes Augenmerk wurde auf die Ergebnisse des EKGs gelegt.

Das EKG war bei 90 Kindern (89%) ohne pathologischen Befund. Bei 11 Kindern (11%) wurden Veränderungen im Aufnahme-EKG notiert.

Tabelle 4-1 EKG-Veränderungen bei Aufnahme

EKG-Veränderung	Möglicher Zusammenhang mit Stromunfall
SVES	Ja
SVES	Ja
VES	Nein (vorbestehend)
Grenzwertige PQ-Zeit	Ja
Grenzwertige PQ-Zeit	Ja
Erregungsausbreitungsstörung	Ja
Erregungsausbreitungsstörung	Ja
Erregungsausbreitungsstörung	Ja
Relative QT-Zeit erhöht	Ja
Sinustachykardie, leichte Erregungsrückbildungsstörung	Ja
Leichte ST-Hebung	Ja

Die Bewertung des EKGs wurde von einem Kinderkardiologen des Klinikums Schwabing vorgenommen. Von den 11 festgestellten Veränderungen wurden 10 möglicherweise durch den Stromunfall verursacht. Alle Veränderungen waren unspezifisch und nicht therapiebedürftig.

Eine Veränderung war bereits ein Jahr zuvor bei einer Jugenduntersuchung aufgefallen. Die Mutter hatte die entsprechenden EKG-Ausdrucke in die Notfallambulanz mitgebracht. Im Folgenden wird diese EKG-Veränderung nicht berücksichtigt.

In der Gesamtgruppe der Patienten ergibt sich eine Inzidenz von 10% für Herzrhythmusstörungen die auf den Stromunfall zurückgeführt wurden.

Bei der körperlichen Untersuchung fanden sich bei 3 Kindern Herzgeräusche und bei 51 Kindern Strommarken. Falls eine chirurgische Versorgung erforderlich war, erfolgte die Vorstellung in der kinderchirurgischen Abteilung unserer Klinik.

Tabelle 4-2 Auskultationsbefunde bei Aufnahme

Auskultationsbefund	Zusammenhang mit Stromunfall
Still'sches Herzgeräusch	Nein
Herzgeräusch	Nein
Herzgeräusch	Nein

Die Herzgeräusche wurden nicht auf den Stromunfall zurückgeführt. Sie werden in der folgenden Auswertung nicht berücksichtigt.

Anhand der Strommarken wurde bei 11 Kindern ein transthorakaler Stromfluss vermutet. Aus der Anamnese ergaben sich 2 weitere Fälle mit transthorakalem Stromfluss, sodass insgesamt 13 Kinder (13%) diesen Risikofaktor hatten.

In der Anamnese wurden noch weitere Risikofaktoren erfragt. Es ergaben sich folgende Patientenzahlen:

- Vorbestehende Herzerkrankung: 2 Kinder (Z.n. Herzoperation, WPW-Syndrom)
- Bewusstlosigkeit: 3 Kinder
- Nasse Hände oder Umgebung: 4 Kinder
- Tetanie: 5 Kinder
- Transthorakaler Stromfluss: 13 Kinder

Bei der genannten Herzoperation handelte es sich um den Verschluss eines großen ASD vom Sekundum-Typ mit partieller Lungenvenenfehlmündung. Ein Vor-EKG konnte nicht vorgelegt werden. Der Patient stellt sich jedoch jährlich zu kardiologischen Kontrollen vor.

Auf die Patientengruppe mit Risikofaktoren wird noch einmal gesondert bei den Ergebnissen der Risikogruppe eingegangen.

4.2 Ergebnisse der Überwachung

Die Überwachung umfasst einen zeitlichen Rahmen von ungefähr 24 Stunden. Es können Herzrhythmusstörungen entdeckt werden, die erst nach einem freien Intervall auftreten.

Rhythmusstörungen, die bereits bei der Aufnahme-EKG-Untersuchung nachweisbar waren, bestanden bereits bei Eintreffen in der Klinik. Es kann keine Aussage darüber gemacht werden, ob diese direkt nach dem Stromkontakt auftraten, sich noch vor der Vorstellung in der Klinik nach einem freien Intervall entwickelten oder bereits vorbestehend waren (außer bei bekannten vorbestehenden Herzrhythmusstörungen).

Insgesamt war die Überwachung bei 99 Kindern (98%) unauffällig. Nur bei 2 Patienten wurden im Verlauf auch weiterhin Herzrhythmusstörungen notiert:

- Ventrikuläre Extrasystolen (vorbestehend)
- Supraventrikuläre Extrasystolen

Beide Rhythmusstörungen zeigten sich bereits bei der Aufnahme-Untersuchung im EKG und wurden somit nicht als späte Herzrhythmusstörungen betrachtet. Es gab keinen Patient, der während der kardialen Überwachung eine Herzrhythmusstörung entwickelte. Bei einem Kind wurden in der Aufnahme-Untersuchung SVES diagnostiziert, die in der kardialen Überwachung nicht mehr nachweisbar waren.

Bei keinem Kind trat eine späte Herzrhythmusstörung auf.

4.3 Ergebnisse der Blut-Untersuchungen

Die Ergebnisse der Blutuntersuchungen können Hinweise auf die Schädigung des Herzmuskels oder der Niere geben ⁽²⁰⁾. Eine Schädigung könnte die Entstehung von Herzrhythmus- und Erregungsausbreitungsstörungen begünstigen.

Bei unseren Patienten wurden nicht durchgängig alle Laborwerte angefordert. Von 101 Kindern wurde bei 79 Kindern die CK (78%), bei 13 Kindern die CK-MB (13%), bei 36 die LDH (36%), bei 20 Kindern das Troponin I (20%) und bei 30 Kindern das Troponin T (30%) bestimmt. Bei 83 Patienten (82%) wurden außerdem die Serumelektrolyte (Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium und Chlorid) untersucht.

Bei 25 Kindern (25%) zeigten sich Veränderungen in den Laborwerten.

Tabelle 4-3 Laborwertveränderungen mit kardialen Untersuchungsbefunden

Laborwertveränderung	Initiales EKG	Kardiales Monitoring
CK (187 U/l)	o.p.B.	o.p.B.
CK (213 U/l)	o.p.B.	o.p.B.
CK (253 U/l)	o.p.B.	o.p.B.
CK (340 U/l)	Relative QT-Zeit verlängert	o.p.B.
CK (409 U/l)	o.p.B.	o.p.B.
CK (552 U/l)	o.p.B.	o.p.B.
CK (182 U/l)	o.p.B.	o.p.B.
CK (204 U/l)	o.p.B.	o.p.B.
CK (228 U/l)	o.p.B.	o.p.B.
CK (199 U/l)	o.p.B.	o.p.B.
CK (258 U/l)	o.p.B.	o.p.B.
CK (193 U/l), Cl ⁻ ↑ (114 mmol/l)	o.p.B.	o.p.B.
CK (180 U/l), LDH (351 U/l)	o.p.B.	o.p.B.
CK (454 U/l), LDH (328 U/l), Ca ²⁺ ↓ (1,3 mmol/l)	o.p.B.	o.p.B.
CK (255 U/l), LDH (328 U/l)	o.p.B.	o.p.B.
Troponin I (0,7 µg/l)	o.p.B.	o.p.B.
LDH (447 U/l)	o.p.B.	o.p.B.
LDH (305 U/l)	o.p.B.	o.p.B.
LDH (317 U/l)	o.p.B.	o.p.B.
LDH (330 U/l)	o.p.B.	o.p.B.
Ca ²⁺ ↑ (2,8 mmol/l)	o.p.B.	o.p.B.
Ca ²⁺ ↓ (1,3 mmol/l)	o.p.B.	o.p.B.
Ca ²⁺ ↓ (1,4 mmol/l), K ⁺ ↑ (5,2 mmol/l)	o.p.B.	o.p.B.
K ⁺ ↓ (3,3 mmol/l)	o.p.B.	o.p.B.
K ⁺ ↓ (3,3 mmol/l)	o.p.B.	o.p.B.

Bei 15 Kindern war die CK erhöht (1 EKG-Veränderung), bei 7 Kindern die LDH (keine EKG-Veränderungen), bei 1 Kind das Troponon I (keine EKG-Veränderungen). Bei 7 Kindern waren die Elektrolyte verschoben (keine EKG-Veränderungen).

Unter allen 25 Kindern, die Laborwertveränderungen hatten, wurde im Aufnahme-EKG 1 Veränderung festgestellt. Die relativ verlängerte QT-Zeit könnte durch den Unfall verursacht worden sein. Der relative Anteil liegt somit bei 4%.

Während der Überwachung trat bei keinem dieser Kinder eine Herzrhythmusstörung auf.

4.4 Ergebnisse der Kinder mit Risikofaktoren

Nach Anamnese, Aufnahme- und Laboruntersuchungen setzt sich die Risikogruppe folgendermaßen zusammen:

- Transthorakaler Stromfluss: 13 Kinder
- Nasse Hände oder Umgebung: 4 Kinder
- Tetanie: 5 Kinder
- Bewusstlosigkeit: 3 Kinder
- kardiale Vorerkrankungen: 2 Kinder
- Laborwertveränderungen 25 Kinder

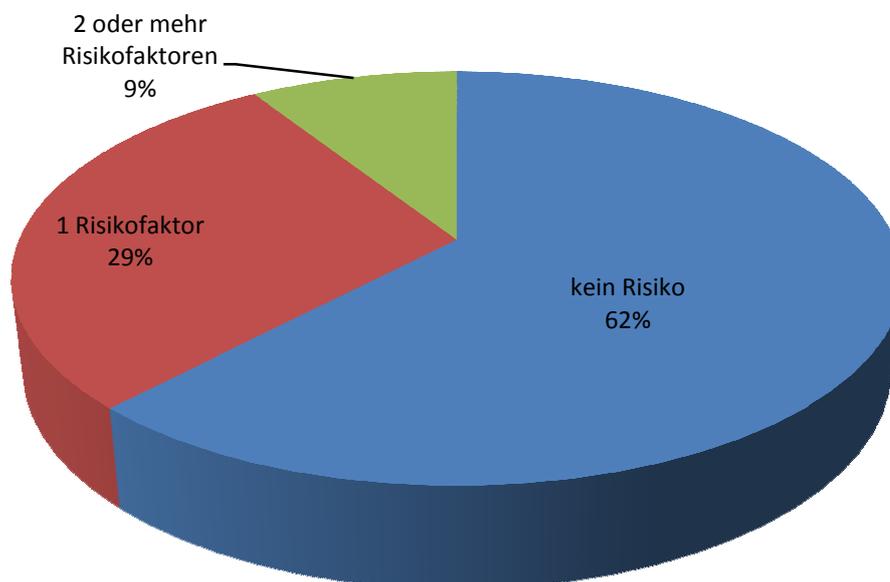


Abbildung 4-1 Anteil der Kinder mit Risikofaktoren

Insgesamt beinhaltet die Gruppe mit Risikofaktoren 38 Kinder, teilweise wurden mehrere Risikofaktoren bei einem Kind festgestellt. Die Inzidenz kardialer Rhythmusstörungen durch einen Stromunfall lag in dieser Gruppe bei 5% (38 Kinder, 2 Herzrhythmusstörungen). Zum Vergleich lag die Inzidenz in der Gruppe ohne erhöhtes Risiko bei 13% (63 Kinder, 8

Herzrhythmusstörungen).

Für die Inzidenz von Herzrhythmusstörungen in den einzelnen Risikofaktoren ergab sich folgendes Bild:

Tabelle 4-4 Relativer Anteil an Herzrhythmusstörungen bei den einzelnen Risikofaktoren

Risikofaktor	Herzrhythmusstörungen Relativer Anteil	Herzrhythmusstörungen Art
Transthorakaler Stromfluss	8% (n=1)	Erregungsausbreitungsstörung
Nasse Hände/ Umgebung	0% (n=0)	-
Tetanie	0% (n=0)	-
Bewusstlosigkeit	33% (n=1)	Erregungsausbreitungsstörung
Kardiale Vorerkrankung	0% (n=0)	-
Laborwertveränderung	4% (n=1)	Relative QT-Zeit erhöht

Bei der Erregungsausbreitungsstörung bei transthorakalem Stromfluss und Bewusstlosigkeit handelt es sich um das selbe Kind, das beide Risikofaktoren hatte. Bei der in der Tabelle genannten Laborwertveränderung handelt es sich um eine Erhöhung der CK auf 340 U/l.

Bei keinem Kind mit einem Risikofaktor trat eine späte Herzrhythmusstörung während der kardialen Überwachung auf.

4.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die retrospektive Auswertung der 101 Patientenakten des Klinikums Schwabing ergab:

1. Bei der Aufnahmeuntersuchung wurden 10 unspezifische EKG-Veränderungen festgestellt, die möglicherweise durch den Stromunfall verursacht wurden. Keine EKG-Veränderung war therapiebedürftig.
2. Während der Überwachung zeigten 2 Kinder unverändert Herzrhythmusstörungen, die bereits bei Aufnahme nachweisbar waren. Es traten keine späten Herzrhythmusstörungen auf.
3. 25 Kindern zeigten Veränderungen in den Blutwerten. Bei 18 Patienten waren Proteine erhöht, bei 5 Elektrolyte verschoben, bei 2 Kindern waren Proteine und Elektrolyte verändert.
4. Die Risikogruppe insgesamt zeigte keine erhöhte Inzidenz für das Auftreten von Herzrhythmusstörungen, weder direkt nach dem Stromkontakt, noch zeitlich verzögert.
5. Bei den einzelnen Risikofaktoren lag die Inzidenz für Herzrhythmusstörungen bei transthorakalem Stromfluss, nassen Händen/ nasser Umgebung, Tetanie, kardialen Vorerkrankungen und Laborwertveränderungen unter der Inzidenz der Gesamtgruppe. In der kleinen Gruppe mit Bewusstlosigkeit war sie erhöht.

5. Diskussion

5.1 Diskussion der Methoden

Ein Ziel dieser Arbeit ist es, zu überprüfen, ob Kinder nach einem Stromunfall stationär aufgenommen werden müssen. Dazu wurden die Akten der Kinder, die sich von 1995 – 2008 im Klinikum Schwabing nach einem Stromunfall vorstellten, retrospektiv ausgewertet. Das Behandlungsprotokoll des Klinikums Schwabing sah vor, dass bei der Diagnose „Stromunfall“ eine Aufnahmeuntersuchung mit der Ableitung eines EKGs und eine kardiale Überwachung von 24 Stunden erfolgt. Dieses Vorgehen wurde konsequent bei allen Patienten durchgeführt. Teilweise wurden auch Laborwerte bestimmt.

Um späte Herzrhythmusstörungen zu erkennen, gibt es prinzipiell 2 Möglichkeiten:

1. Folge-Untersuchung (EKG, Telefonat usw.)
2. Stationäre Aufnahme mit kardialer Überwachung

Im Klinikum Schwabing wurden die Kinder stationär aufgenommen. So ist eine lückenlose Überwachung möglich. Allerdings kann nur ein begrenzter Zeitraum erfasst werden. Die Überwachungszeit von 24 Stunden wird von mehreren Autoren empfohlen ^(1, 3, 19, 25, 27, 32), um späte Herzrhythmusstörungen diagnostizieren zu können. Es findet sich allerdings keine genaue Angabe über die Länge des freien Intervalls dieser Herzrhythmusstörungen. In einem Artikel werden 3 erwachsene Patienten beschrieben, die Herzrhythmusstörungen nach 8-12 Stunden entwickelten ⁽¹⁷⁾. Dieselbe Länge für das freie Intervall wird in einer weiteren Arbeit bestätigt ⁽²³⁾. Dieser Zeitrahmen ist mit unserer Überwachung abgedeckt. Kirchmair et al ⁽¹⁹⁾ schreiben in ihrer Arbeit von einem möglichen Zeitrahmen von „über 10 Tagen“ (bei Hyperkaliämie durch Nierenversagen). Um auch diesen Zeitraum abzudecken, müssten Folgeuntersuchungen durchgeführt werden.

Da es sich bei späten Herzrhythmusstörungen um sehr seltene Ereignisse mit unbekannter Inzidenz handelt ⁽⁴⁾, mussten wir auch eine ausreichend große Population untersuchen, um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen. Entsprechend wurde ein sehr langer Zeitraum (1995 bis 2008) für unsere Studie gewählt. In 6 vergleichbaren Studien wurden 31 ⁽²²⁾, 44 ⁽³¹⁾, 78 ⁽¹¹⁾, 124 ⁽³⁰⁾, 151 ⁽⁶⁾ und 224 ⁽⁵⁾ Kinder nach einem Stromunfall untersucht. In unserer Arbeit wurden die Akten von 101 Kindern retrospektiv ausgewertet, die mit der Diagnose Stromunfall im Niederspannungsbereich im Klinikum Schwabing stationär aufgenommen wurden. Unter ihnen fanden sich Patienten im Alter zwischen 8 Monaten und 16 Jahren mit

einem Altersgipfel bei 2-3 Jahren.

Ein weiteres Ziel unserer Arbeit war die Identifizierung und Bewertung verschiedener Risikofaktoren. Die Einteilung in Risikogruppen ist bei Studien der Herzrhythmusstörungen eine gebräuchliche Herangehensweise ^(4, 5, 6, 11, 30). Es werden verschiedene Risikofaktoren diskutiert. *Von Harbou et al* ⁽³⁰⁾ definierten in der Folgestudie dieser Arbeit stattgehabte Operationen am Herzen, vorbestehende Herzrhythmusstörungen, feuchte Hände, Tetanie oder Krampfanfälle als Risikofaktoren. Ausserdem wurde ein besonderes Augenmerk auf Laboruntersuchungen gelegt. *Bailey et al* untersuchten in ihrer Arbeit von 2007 ⁽⁴⁾ ein Behandlungsmodell für Notambulanzen, bei dem nur Patienten mit transthorakalem Stromfluss, Tetanie, Bewusstlosigkeit oder einem Hochspannungsunfall als Risikofaktoren stationär aufgenommen wurden. Eine andere Studie von *Bailey et al* testet ein Modell in dem kardiale Vorgeschichte, Bewusstlosigkeit, Spannung >240 V, Tetanie und feuchte oder durch Verbrennung geschädigte Haut als Risikofaktoren gelten ⁽⁵⁾. Angelehnt an diese Arbeiten und aus eigenen Überlegungen haben wir für unsere Arbeit transthorakalen Stromfluss, kardiale Vorerkrankungen, Laborwertveränderungen, nasse Hände bzw. Umgebung, Bewusstlosigkeit und Tetanie als Risikofaktoren definiert.

Als Normwerte der Blutuntersuchungen für diese Arbeit wurden die entsprechenden Normwerte des Klinikums Schwabing verwendet. Da verschiedene Kliniken möglicherweise unterschiedliche Normwerte verwenden, scheint der Vergleich unserer Normwerte mit Normwerten aus der Literatur sinnvoll.

Tabelle 5-1 zeigt die von uns verwendeten Normwerte verglichen mit pädiatrischen Normwerten aus einem Lehrbuch ⁽¹⁸⁾. Die römischen Zahlen stehen für Altersstufen:

- I: 1. Monat
- II: 2. – 12. Monat
- III: ab 2. Lebensjahr

Das Feld „Abweichungen“ gibt die Anzahl der Patienten an, bei denen der jeweilige Wert durch die Benutzung der pädiatrischen Normwerte des Lehrbuchs anders eingestuft worden wäre, als durch die von uns verwendeten Normwerte. Viele Abweichungen (19 Kinder betroffen) ergaben sich lediglich bei der Auswertung der CK-Werte. Der Grenzwert ist bei den pädiatrischen Normwerten des Lehrbuchs mit 90 U/L im Altersbereich II – III sehr niedrig angesetzt, die Abweichungen sind somit als falsch-negativ einzustufen.

Tabelle 5-1 Vergleich unserer Normwerte mit Normwerten aus einem pädiatrischen Lehrbuch

	Normwerte des Lehrbuchs		Unsere Normwerte	Abweichungen
Natrium [mmol/L]	I-III	130 - 145	135 – 145	0
Chlorid [mmol/L]	I-III	95 - 110	97 – 108	0
Kalium [mmol/L]	I	3,6 - 6,0	3,5 – 5,0	3
	II	3,7 - 5,7		
	III	3,2 – 5,4		
Kalzium [mmol/L]	I	1,75 – 2,7	2,1 – 2,6	0
	II-III	2,05 – 2,7		
Magnesium [mmol/L]	I	0,7 – 1,5	0,7 – 1,2	0
	II	0,7 – 1,0		
	III	0,5 – 1,25		
CK [U/L]	I	< 500	< 175	19
	II-III	< 90		
LDH [U/L]	I	< 800	< 300	2
	II	< 500		
	III	<300		
Troponin T [µg/L]	I-III	< 0,1	< 0,04	0

Der Risikofaktor „transthorakaler Stromfluss“ bedeutet, dass der Weg des elektrischen Stroms durch den Körper von einer Extremität zu einer anderen führt ^(4, 7). Natürlich ist Voraussetzung für eine Schädigung des Myokards, dass der Strom über das Herz fließt. Dies kann auch bei Unfällen geschehen, bei denen der Stromweg nicht nachweislich transthorakal verläuft. Transthorakaler Stromfluss kann somit sowohl als Risikofaktor als auch als Voraussetzung für eine Schädigung des Herzmuskels gesehen werden.

Durch die zahlreichen Faktoren, die in unserer Arbeit zu einer Einteilung in die Risikogruppe führten, wurden relativ viele Kinder eingeschlossen (38% der Kinder). Die Auswertung der Risikogruppe als Ganzes spielt allerdings nur eine untergeordnete Rolle, da sie sich sehr heterogen darstellt und so kein Rückschluss auf die Relevanz einzelner Risikofaktoren möglich ist. Diese wurden noch einmal einzeln auf die Inzidenz von Herzrhythmusstörungen und das Auftreten später Herzrhythmusstörungen untersucht. Die Ergebnisse der einzelnen Risikofaktoren können mit den Ergebnissen der Gesamtgruppe und der Gruppe der Patienten ohne Risikofaktoren verglichen werden. Einige Risikofaktoren waren allerdings selten, sodass eine Bewertung nur durch den Vergleich mit anderen Studien möglich wird.

Wir haben in unserer Studie eine große Anzahl Patienten mit einer guten Datenqualität ausgewertet. Um eine Empfehlung für den Umgang mit Kindern nach einem Niederspannungsstromunfall zu geben, ist allerdings auch entscheidend, dass sich unsere Ergebnisse mit den Ergebnissen aus anderen Studien decken. So haben wir die Inzidenz von Herzrhythmusstörungen bei unseren Patienten mit der aus anderen Studien verglichen.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

Zielsetzung dieser Arbeit ist es, die Inzidenz kardialer Beteiligung bei Kindern nach einem Stromunfall im Niederspannungsbereich zu bestimmen, Risikofaktoren für ihre Entstehung zu überprüfen, späte Herzrhythmusstörungen zu erfassen und die Ergebnisse mit anderen Studien zu vergleichen, um eine Therapieempfehlung für den Umgang mit Kindern nach einem Stromunfall zu geben.

Wie haben verschiedene Gruppen gebildet. Insgesamt wurden 101 Kinder betrachtet. Diese wurden in eine Gruppe ohne Risikofaktoren (63 Kinder) und in eine Gruppe mit Risikofaktoren (38 Kinder) unterteilt. Die Risikogruppe setzt sich aus verschiedenen Risikofaktoren zusammen, die einzeln ausgewertet wurden.

Bei unseren Patienten lag die Inzidenz von Herzrhythmusstörungen insgesamt bei 10% (10/101). Bei den Kindern ohne Risikofaktoren lag sie bei 13% (8/63). Im Vergleich dazu war die Inzidenz bei den Kindern mit Risikofaktoren mit 5% (2/38) relativ niedrig.

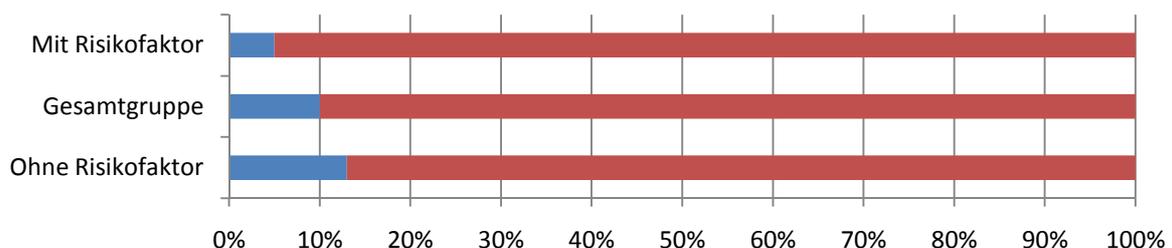


Abbildung 5-1 Prozentualer Anteil von Herzrhythmusstörungen

Unsere Gruppe der Kinder mit Risikofaktoren (n=38) ist allerdings insgesamt klein und deutlich kleiner, als die Gruppe der Kinder ohne Risikofaktoren (n=63). Die niedrigere Inzidenz von Herzrhythmusstörungen im Vergleich zu der Gruppe ohne Risikofaktoren ist am ehesten durch Zufall zu erklären.

Wie bereits erwähnt ist die Risikogruppe zu heterogen, um das Ergebnis auf einzelne Risikofaktoren übertragen zu können. In den einzelnen Risikofaktoren zeigte sich lediglich in der sehr kleinen Gruppe von Kindern mit initialer Bewusstlosigkeit ein erhöhtes Auftreten von

Herzrhythmusstörungen (n=3, 33% Herzrhythmusstörungen). Bei transthorakalem Stromfluss (n=13, 8% Herzrhythmusstörungen), Laborwertveränderungen (n=25, 4% Herzrhythmusstörungen), kardiale Vorerkrankungen (n=2, 0% Herzrhythmusstörungen), Tetanie (n=5, 0% Herzrhythmusstörungen) und nasse Hände (n=4, 0% Herzrhythmusstörungen) war die Inzidenz von Herzrhythmusstörungen niedriger, als bei den Kindern ohne Risikofaktoren und auch als in der Gesamtgruppe.

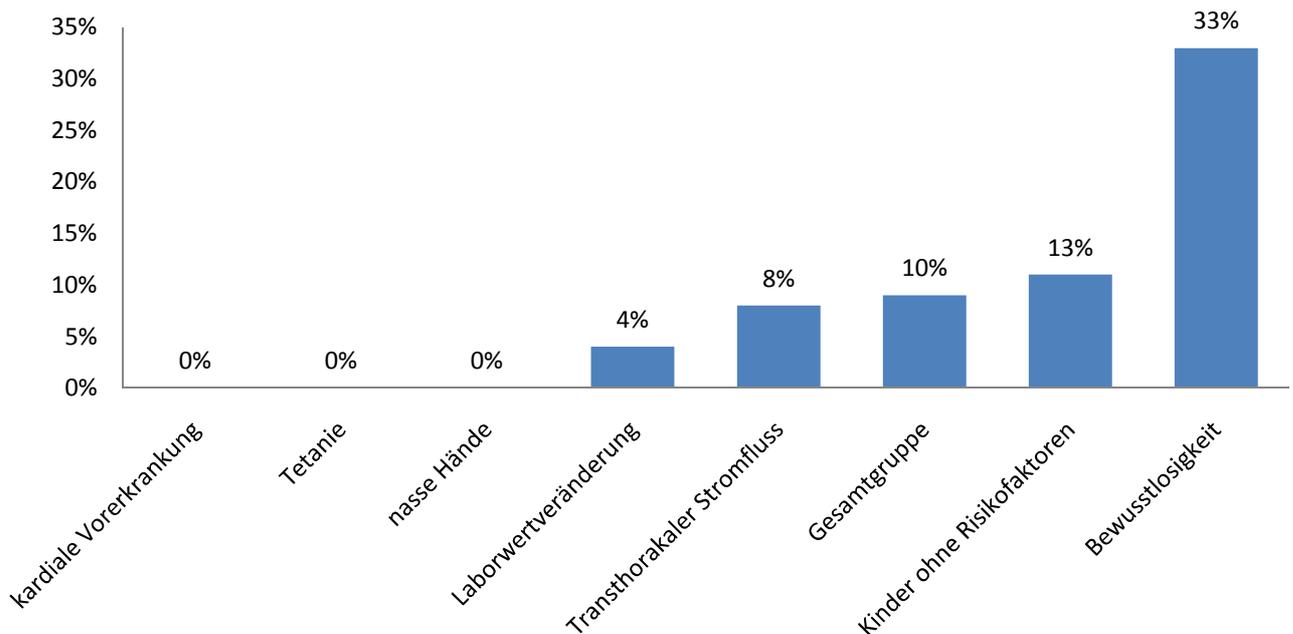


Abbildung 5-2 Relativer Anteil an Herzrhythmusstörungen

Vergleicht man unsere Studie mit anderen Studien, zeigen sich einige Parallelen in der Herangehensweise. In den folgenden Beispielen wurden Patientendaten retrospektiv ausgewertet und die Inzidenz kardialer Beteiligung bestimmt. Teilweise wird explizit erwähnt, dass EKG-Veränderungen vor der Auswertung von einem Kardiologen auf ihren Zusammenhang mit dem Stromunfall bewertet werden ^(5, 6, 22, 32). Im Vergleich war die Inzidenz kardialer Beteiligung bei unseren Patienten mit 10% durchschnittlich hoch.

Krienke et al ⁽²²⁾ untersuchten 31 Patienten im Alter von 0 bis 16 Jahren, von denen 30 einen Niederspannungsunfall erlitten. In der EKG-Untersuchung zeigten sich 2 Rhythmusstörungen, die auf den Stromunfall zurückgeführt wurden. Die Inzidenz kardialer Beteiligung lag bei 6%.

Bailey et al fanden in ihrer Studie von 2007 ⁽⁴⁾ 15 abnorme oder grenzwertige initiale EKGs bei 134 erwachsenen und heranwachsenden Patienten. Der relative Anteil liegt somit bei 11%. Es wurde jedoch nicht beschrieben, ob jede Rhythmusstörung durch den Stromunfall

ausgelöst wurde. Die Studie umfasste auch 10 Patienten nach Hochspannungsunfällen.

Arrowsmith et al ⁽³⁾ beschrieben 128 Niederspannungsunfälle unter 145 Patienten. Bei 97 Patienten wurde ein EKG geschrieben. EKG-Veränderungen zeigten sich bei 2 Patienten nach Niederspannungsunfällen (2%). Diese Studie wurde an Erwachsenen und Kindern durchgeführt.

In der Studie von 2000 beschreiben *Bailey et al* ⁽⁵⁾ 15 abnorme EKGs bei 224 Patienten einer Kinderklinik nach Hoch- und Niederspannungsunfällen. Bei 164 Kindern wurde ein EKG geschrieben. Seine Bewertung schloss 8 der 15 Rhythmusstörungen als Resultat des Stromunfalls aus. Die Inzidenz kardialer Beteiligung liegt somit bei 4%.

In einer deutschen Studie der Charité Berlin ⁽²⁸⁾ wurden Patientendaten von Kindern und Erwachsenen aus den Jahren 2001-2008 ausgewertet. Die Studie umfasste 268 Patienten. Bei 33 Kindern (28,7%) und bei 33 Erwachsenen (24,3%) zeigten sich leichtgradige kardiale Rhythmusstörungen. Keine dieser Arrhythmien war interventionsbedürftig.

Die Studie von *von Harbou et al* ⁽³⁰⁾ aus unserem Hause, die Weiterführung dieser Studie, untersuchte 124 Kinder nach Niederspannungsunfällen aus den Jahren 2005-2012. Es wurden 21 EKG-Veränderungen festgestellt und somit eine Inzidenz von 17% angegeben.

Da wir in unserer Arbeit teilweise sehr wenige Patienten mit einzelnen Risikofaktoren haben, empfiehlt sich der Vergleich mit anderen Studien, um diese beurteilen zu können. Bei unseren Patienten zeigten lediglich die Kinder mit initialer Bewusstlosigkeit eine erhöhte Inzidenz für Herzrhythmusstörungen. Diese Gruppe war allerdings sehr klein (n=3). Während des kardialen Monitorings wurden bei 2 unserer Kinder (beide ohne Risikofaktoren) weiterhin Herzrhythmusstörungen festgestellt. Diese waren bereits bei Aufnahme nachweisbar und somit keine späten Herzrhythmusstörungen. Die Inzidenz von späten Herzrhythmusstörungen liegt bei unseren Patienten also bei 0%.

Bailey et al untersuchten in einer 1995 veröffentlichten Studie ⁽⁶⁾ 141 Kinder nach Stromunfällen auf das Auftreten von Herzrhythmusstörungen. Ein EKG wurde bei 93 Kindern geschrieben, eine kardiale Überwachung bei 113 Kindern durchgeführt. Bei keinem der untersuchten Kinder wurde im initialen EKG eine Herzrhythmusstörung gefunden, die mit dem Stromunfall in Zusammenhang gebracht wurde. Sie schlossen daraus, dass in der Regel weder eine initiale EKG-Untersuchung noch eine anschließende kardiale Überwachung notwendig ist. Allerdings empfehlen sie, bis weitere Ergebnisse vorliegen, bei

Kindern mit Bewusstlosigkeit, Tetanie, nasser Haut oder transthorakalem Stromfluss weiterhin ein kardiales Monitoring nach einem Stromunfall.

In ihrer Studie von 2000 testeten *Bailey et al* ⁽⁵⁾ ein Behandlungskonzept für Kinder nach einem Stromunfall, bei dem nur Patienten mit kardiologischer Vorgeschichte, Bewusstlosigkeit, Spannung >240V oder auffälligem Aufnahme-EKG kardial überwacht wurden. Ein Aufnahme-EKG wiederum wurde nur geschrieben, wenn theoretische Risikofaktoren, wie Tetanie oder nasse Hände vorhanden waren oder der Unfall unbeobachtet passierte. Die Studie umfasste 224 Kinder. Sie kamen zu dem Schluss, dass ihr vorgestelltes Behandlungskonzept sinnvoll ist, um die Zahl stationärer Überwachungen nach Stromunfällen bei Kindern zu reduzieren, ohne dabei Patienten zu gefährden. Bis weitere Daten vorhanden sind, empfehlen sie, weiterhin Kinder mit kardiologischer Vorgeschichte, Bewusstlosigkeit oder bei Hochspannungsunfällen standardmäßig zu überwachen.

Bailey et al untersuchten in ihrer Studie von 2007 ⁽⁴⁾ 134 Patienten (Erwachsene eingeschlossen) auf Herzrhythmusstörungen und späte Arrhythmien. Eine Überwachung wurde nur durchgeführt, wenn transthorakaler Stromfluss, Tetanie, Bewusstlosigkeit oder Hochspannung als Risikofaktoren vorhanden waren. Sie schlossen aus ihrer Arbeit, dass bei asymptomatischen Patienten nach transthorakalem Stromfluss und/oder Tetanie im Niederspannungsbereich ein kardiales Monitoring nicht notwendig ist, wenn das initiale EKG unauffällig ist. Bewusstlosigkeit könnte ein Hinweis auf stattgehabte Arrhythmien sein. Diese Patienten sollten weiterhin überwacht werden.

In der von *Arrowsmith et al* veröffentlichten Studie von 1997 ⁽³⁾ wurden 145 Erwachsene und Kinder nach Hoch- und Niederspannungsunfällen auf das Auftreten von Herzrhythmusstörungen untersucht. Dabei wurden alle Patienten kardial überwacht, unabhängig von Risikofaktoren. Sie sahen ein vermehrtes Auftreten von Herzrhythmusstörungen, wenn die Patienten in Folge des Stromunfalls bewusstlos wurden.

Wilson et al untersuchten in ihrer Studie von 1998 ⁽³¹⁾ 44 Kinder nach Stromunfällen auf die Notwendigkeit einer kardialen Überwachung. Risikofaktoren wurden nicht definiert. Sie schlossen aus ihren Ergebnissen, dass eine routinemäßige Überwachung bei asymptomatischen Patienten mit unauffälligem initialen EKG nicht notwendig ist.

Blackwell et al führten zwischen 1993 und 1996 eine Studie an Erwachsenen nach Stromunfällen durch ⁽⁸⁾. In 190 von 196 Fällen wurde ein initiales EKG und nach 6 Stunden

kardialer Überwachung ein Verlaufs-EKG angefertigt. Bei 82 dieser Patienten (43%) wurden EKG-Veränderungen festgestellt. 6 dieser Patienten hatte eine symptomatische, vorübergehende Bradykardie, die in 3 Fällen behandlungsbedürftig war. Zwei Mal wurde ein WPW-Syndrom diagnostiziert, das nicht vorbekannt war. Die übrigen EKG-Veränderungen waren unspezifisch und nicht behandlungsbedürftig. Sie bildeten sich innerhalb von 24 Stunden spontan zurück. Bei keinem Patienten trat eine späte Herzrhythmusstörung auf. *Blackwell et al* schließen aus ihrer Studie, dass asymptomatische Patienten ohne initiale EKG-Veränderung nach Stromunfällen im Niederspannungsbereich nicht kardial überwacht werden müssen.

Searle et al empfehlen in ihrer Studie an Erwachsenen und Kindern ⁽²⁸⁾ nur eine stationäre Überwachung, wenn bei Patienten initial ein Kreislaufstillstand oder eine Bewusstlosigkeit auftraten, bei Weichteilverletzungen oder Verbrennungen und ggf. bei initial pathologischem EKG. Bei pathologischem EKG könne zunächst eine Rückbildung der Störung über 6 Stunden abgewartet werden. Weitere Risikofaktoren wurden nicht untersucht.

Von Harbou et al untersuchten in ihrer Studie von 2013 ⁽³⁰⁾ 124 Kinder auf das Auftreten von Herzrhythmusstörungen, späten Herzrhythmusstörungen und die Notwendigkeit eines kardialen Monitorings. Des weiteren wurden in der Literatur gängige Risikofaktoren (stattgehabte Herzoperationen, vorbekannte Herzrhythmusstörungen, Laborauffälligkeiten, feuchte Hände und Tetanie) auf ihre Relevanz überprüft. Ihre Ergebnisse zeigten, dass eine kardiale Überwachung bei asymptomatischen Patienten generell nicht notwendig ist. Eine mindestens 4-stündige Überwachung wird weiterhin bei Patienten mit den Risikofaktoren „voroperiertes Herz“, „bekannte Herzrhythmusstörungen“, „initiale Bewusstlosigkeit“ und „transthoraker Stromfluss“ und/oder bei initial auffälligem EKG empfohlen. Bei Kindern mit Tetanie oder feuchten Händen während des Stromunfalls sei ein kardiales Monitoring nicht notwendig.

Koumbourlis et al empfehlen in ihrer Veröffentlichung von 2002 ⁽²¹⁾ eine kardiale Überwachung bei Patienten nach Stromunfällen nur bei Hochspannungsunfällen, initialer Bewusstlosigkeit oder einem initial auffälligen EKG. Dies wird aufgrund bisher veröffentlichter Studien an Erwachsenen und Kindern zu diesem Thema empfohlen.

Chen et al untersuchten 7 Studien in einer Metaanalyse ⁽⁹⁾, die sich mit der Problematik des richtigen Umgangs mit Kindern nach einem Stromunfall im Niederspannungsbereich beschäftigen. Insgesamt umfasst diese Analyse 677 Kinder und 43 Erwachsene. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass asymptomatische Kinder nach einem Stromunfall im

Niederspannungsbereich weder ein initiales EKG, noch kardiale Überwachung benötigen.

In der Literatur finden sich Aussagen, dass Ergebnisse von Blutuntersuchungen auf bestimmte Indikatorproteine keine sichere Korrelation mit der Entstehung von kardialen Störungen haben ^(1, 2, 3, 11, 13, 15, 16, 20, 21, 30). Dies deckt sich mit den Ergebnissen aus unserer Studie. Bei allen Patienten mit Laborveränderungen trat nur eine Herzrhythmusstörung bei einem Patient mit CK-Erhöhung auf. Die Inzidenz von Herzrhythmusstörungen bei Patienten mit CK-Erhöhung lag bei 7%. Im Vergleich dazu lag die Inzidenz bei Kindern ohne CK-Erhöhung bei 10%. Sie scheint nach unseren Daten keine Korrelation mit einem vermehrten Auftreten von Herzrhythmusstörungen zu haben und kann am ehesten auf einen Zelluntergang am Skelettmuskel zurückgeführt werden ^(1, 2, 3, 15, 16, 20, 21). Es wird beschrieben, dass Troponin ein guter Indikator wäre ^(2, 19, 20), war bei unseren Patienten jedoch nur in einem Fall erhöht, in dem keine Herzrhythmusstörung auftrat. Eine Elektrolytverschiebung, zumindest des Serum-Kaliums, kann Auslöser von kardialen Störungen sein. Hier ist die Ursache eine Störung des elektrischen Potentials an den Herzmuskelzellen. In unserer Studie fand sich kein erhöhtes Risiko, bei einer Elektrolytverschiebung eine kardiale Störung zu entwickeln. Bei einer relevanten Elektrolytverschiebung sollte natürlich dennoch eine stationäre Aufnahme erwogen werden.

Die Auswertung unserer Daten zeigt, dass bei Kindern nach einem Stromunfall im Niederspannungsbereich Herzrhythmusstörungen in relevanter Häufigkeit auftreten. Dies deckt sich mit Veröffentlichungen anderer Autoren. Bei keinem unserer Patienten trat eine späte Herzrhythmusstörung auf. Aus unseren Daten ergibt sich somit keine Notwendigkeit, initial unauffällige Patienten kardial zu überwachen. In der Literatur beschreiben einige Autoren jedoch Risikofaktoren, die das Auftreten später Herzrhythmusstörungen begünstigen könnten. In unserer Arbeit haben wir nicht ausreichend Kinder nach Niederspannungsstromunfällen mit den jeweiligen Risikofaktoren betrachtet, um dies endgültig zu untersuchen. In Zusammenschau mit anderen Veröffentlichungen sollte zumindest bis weitere Daten zur Verfügung stehen, bei initialer Bewusstlosigkeit oder einer relevanten kardialen Vorerkrankung eine kardiale Überwachung erfolgen. Dies gilt auch für Kinder mit Auffälligkeiten in der initialen EKG-Untersuchung. Bei einem erniedrigten Hautwiderstand durch feuchte Hände, bei transthorakalem Stromfluss oder Tetanie scheint eine kardiale Überwachung nicht erforderlich zu sein.

Bei unseren Patienten konnten wir keinen Zusammenhang zwischen veränderten Laborparametern und dem Auftreten von Herzrhythmusstörungen feststellen. Eine standardmäßige Bestimmung von Laborwerten scheint somit nicht sinnvoll und sollte sich, sofern keine andere Indikation vorliegt, auf Patienten mit möglicherweise erhöhtem Risiko für

das Auftreten von Herzrhythmusstörungen oder nachgewiesener Herzrhythmusstörung im initialen EKG beschränken.

Asymptomatische Kinder nach einem Stromunfall im Niederspannungsbereich, die keine kardiale Vorgeschichte haben und keine Bewusstlosigkeit erlitten, müssen bei initial unauffälligem EKG nicht stationär aufgenommen und nicht kardial überwacht werden.

6. Zusammenfassung

In dieser Arbeit haben wir die Gefahr für das Auftreten von Herzrhythmusstörungen nach einem freien Intervall innerhalb der ersten 24 Stunden nach einem Stromunfall bei Kindern und gleichzeitig den Nutzen einer standardmäßigen Überwachung dieser Patienten untersucht.

Bei unseren Patienten traten in 10% der Fälle kardiale Störungen auf. Diese manifestierten sich vor der Aufnahmeuntersuchung und können somit nicht als zeitlich verzögert eingestuft werden. In keinem unserer Fälle trat eine Herzrhythmusstörung nach einem freien Intervall auf. Alle festgestellten Veränderungen waren unspezifisch und nicht therapiebedürftig.

Auch die Untersuchung der Risikogruppe ergab entgegen unseren Erwartungen kein erhöhtes Risiko, eine kardiale Störung zu entwickeln.

Die von uns bestimmten Laborparameter (Elektrolyte, CK, CK-MB, Troponin I, Troponin T) zeigten keine Korrelation mit dem Auftreten von Herzrhythmusstörungen.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, auch im Vergleich mit anderen Veröffentlichungen, dass eine kardiale Überwachung bei Kindern nach einem Stromunfall im Niederspannungsbereich nur in Ausnahmefällen erforderlich ist. Zumindest bis weitere Daten vorliegen, sollten Kinder mit einer initialen Bewusstlosigkeit nach dem Stromunfall oder mit einer kardialen Vorgeschichte kardial überwacht werden. Auch Kinder, die Auffälligkeiten in der initialen EKG-Untersuchung zeigen, sollten aufgenommen werden. Bei initial unauffälligen Kindern nach einem Stromunfall im Niederspannungsbereich ohne Risikofaktoren ist eine stationäre Aufnahme mit kardialer Überwachung nicht erforderlich.

7. Literaturverzeichnis

1. Arnoldo B, Klein M, Gibran NS:
Practice Guidelines for the Management of Electrical Injuries
In: J Burn Care Res 2006, 27: 439-447
2. Arnoldo BD, Perdue GF, Kowalske K, et al:
Electrical Injuries: A 20-Year Review
In: J Burn Care Res 2004, 25: 479-484
3. Arrowsmith J, Usgaocar RP, Dickson WA:
Electrical injury and the frequency of cardiac complications
In: Burns 1997, 23: 576-578
4. Bailey B, Gaudreault P, Thivierge RL:
Cardiac monitoring of high-risk patients after an electrical injury: a prospective
multiculture study
In: Emerg Med J 2007, 24: 348-352
5. Bailey B, Gaudreault P, Thivierge RL:
Experience With Guidelines for Cardiac Monitoring After Electrical Injury in Children
In: Am J Emerg Med 2000, 18: 671-675
6. Bailey B, Gaudreault P, Thivierge RL, et al:
Cardiac Monitoring Of Children With Household Electrical Injuries
In: Ann Emerg Med 1995, 25: 612-617
7. Bartsch A:
Elektrounfall, Blitzschlag
In: Dirks B.: Die Notfallmedizin
Springer-Verlag Heidelberg 2007, 3. Auflage: 435-441
8. Blackwell N, Hayllar J:
A three year prospective audit of 212 presentations to the emergency department
after electrical injury with a management protocol
In: Postgrad Med J 2002, 78: 283-285

9. Chen EH, Sareen A:
Do Children Require ECG Evaluation and Inpatient Telemetry After Household Electrical Exposures?
In: Ann Emerg Med 2007, 49: 64-67
10. Fatovich DM:
Delayed lethal arrhythmia after an electrical injury
In: Emerg Med J 2007 24(10): 743
11. Garcia CT, Smith GA, Cohen DM, Fernandez K:
Electrical Injuries in a Pediatric Emergency Department
In: Ann Emerg Med 1995, 26: 604-608
12. Gesundheitsberichterstattung des Bundes:
Sterbefälle nach äußeren Ursachen und Unfallkategorien (ab 1998), (Ad-hoc-Tabelle)
www.gbe-bund.de
13. Gonska BD:
Fragen aus der Praxis: Überwachung nach Stromunfall
In: Dtsch med Wschr 1996, 121: 1032
14. Haim A, Zucker N, Levitas A, et al:
Cardiac manifestation following electrocution in children
In: Cardiol Young 2008, 18: 458-460
15. Hammond J, Ward CG:
Myocardial Damage and Electrical Injuries: Significance of Early Elevation of CPK-MB Isoenzymes
In: South Med J 1986, 79: 414-416
16. Housinger TA, Green L, Shahangian S, et al:
A Prospective Study of Myocardial Damage in Electrical Injuries
In: J Trauma 1985, 25: 122-124

17. Jensen PJ, Thomsen PEB, Bagger JP, et al:
Electrical injury causing ventricular arrhythmias
In: Br Heart J 1987, 57: 279-83
18. Kerbl R, Kurz R, Roos R, et al:
Checkliste Pädiatrie, Anhang
In: Thieme-Verlag 2007, 3. Auflage: 931-940
19. Kirchmair W, Dienstl F:
Nach Elektrounfall: kardiale Überwachung?
In: Dtsch med Wschr 1982, 107: 857-859
20. Klose R:
EKG-Überwachung bei Stromunfällen
In: Anaesthesist 1999, 9: 657-658
21. Koumbourlis AC:
Electrical injuries
In: Crit Care Med 2002, 30: 424-430
22. Krienke L, Kienast W:
Kinder nach Stromunfall: Eine retrospektive 10-Jahres-Studie
In: Kinderärztl Prax 1990, 58: 461-465
23. Lederer W, Kroesen G:
Notfallmedizinische Versorgung von Blitz- und Stromschlagverletzungen
In: Anaesthesist 2005, 54: 1120-1129
24. Lee RC:
Injury by Electrical Forces: Pathophysiology, Manifestations, and Therapy
In: Curr Probl Surg 1997, 34: 679-764
25. Leibovici D, Shemer J, Shapira SC:
Electrical injuries: current concepts
In: Injury 1995, 26: 623-627

26. Muehlberger T, Krettek C, Vogt PM:
Der Stromunfall
In: Unfallchirurg 2001, 104: 1122-1127
27. Purdue GF, Hunt JH:
Electrocardiographic Monitoring after Electrical Injury: Necessity or Luxury
In: J Trauma 1986, 26: 166-167
28. Searle J, Slagman A, Maaß W, Möckel M:
Cardiac monitoring in patients with electrical injuries – an analysis of 268 patients at
the Charité hospital.
In: Dtsch Arztl Int 2013; 110(50): 847-53
29. Solem L, Fischer RP, Strate RG:
The natural history of electrical injury
In: J Trauma 1977, 17: 487-492
30. Von Harbou M, Tollens M, Burdach S:
Management von Stromunfällen bei Kindern. Wann ist eine stationäre Aufnahme
indiziert?
In: Pädiat Prax 81, 57-65 (2013/2014)
31. Wilson CM, Fatovich DM:
Do children need to be monitored after electric shocks?
In: J Paediatr Child Health 1998, 34: 474-476
32. Wrobel N:
Späte Herzrhythmusstörungen nach Stromunfall?
In: Dtsch med Wschr 1988, 113: 1554-1556

7.1 Verzeichnis zitierter Textstellen:

1. Seite 2: Quelle 20, Seite 657
2. Seite 5: Quelle 30, Seite 60

8. Liste der Patienten

Tabelle 8-1 Patientendaten Nr.01-42, Teil I

Patient	Alter	Geschlecht	Stromquelle	Strommarken	Risikofaktoren	Aufnahme-Untersuchung	Überwachung
01	8 Monate	m	Steckdose	Man re	keine	o.p.B.	o.p.B.
02	8 Monate	w	Steckdose	keine	keine	SVES	o.p.B.
03	9 Monate	w	Steckdose	Man re, Man li	transthorakaler Strom	o.p.B.	o.p.B.
04	10 Monate	m	Kabel	Man re	keine	o.p.B.	o.p.B.
05	10 Monate	m	Kabel	Lippe re	keine	o.p.B.	o.p.B.
06	1 Jahr	m	Steckdose	Man re	keine	o.p.B.	o.p.B.
07	1 Jahr	m	Kabel	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
08	1 Jahr	w	Kabel	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
09	1 Jahr	m	Steckdose	Man li, Rücken	transthorakaler Strom,	o.p.B.	o.p.B.
10	1 Jahr	m	Steckdose	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
11	1 Jahr	w	Steckdose	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
12	1 Jahr	w	Steckdose	keine	nasse Hände	o.p.B.	o.p.B.
13	2 Jahre	m	Steckdose	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
14	2 Jahre	w	Kabel	Man re	keine	o.p.B.	o.p.B.
15	2 Jahre	w	Steckdose	Man re, Man li	transthorakaler Strom, Tetanie	Still'sches Herzgeräusch	o.p.B.
16	2 Jahre	m	Steckdose	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
17	2 Jahre	m	Steckdose	Man re	keine	o.p.B.	o.p.B.
18	2 Jahre	m	Steckdose	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
19	2 Jahre	w	Steckdose	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
20	2 Jahre	w	Steckdose	Man re	keine	o.p.B.	o.p.B.
21	2 Jahre	m	Lampe	Man li	keine	o.p.B.	o.p.B.
22	2 Jahre	m	Steckdose	keine	nasse Hände	o.p.B.	o.p.B.
23	2 Jahre	m	Lampe	Man re	keine	o.p.B.	o.p.B.
24	2 Jahre	w	Haushaltsgerät	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
25	2 Jahre	m	Föhn	Man li	keine	o.p.B.	o.p.B.
26	2 Jahre	w	Lampe	Unterarm re, Unterarm li	transthorakaler Strom	o.p.B.	o.p.B.
27	2 Jahre	w	Steckdose	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
28	2 Jahre	m	Steckdose	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
29	2 Jahre	m	Kabel	Man re	keine	o.p.B.	o.p.B.
30	2 Jahre	w	Steckdose	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
31	2 Jahre	w	Steckdose	Man re	keine	o.p.B.	o.p.B.
32	2 Jahre	m	Steckdose	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
33	2 Jahre	m	Steckdose	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
34	2 Jahre	w	Steckdose	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
35	2 Jahre	m	Steckdose	Man re	keine	o.p.B.	o.p.B.
36	3 Jahre	m	Lampe	Man re	keine	o.p.B.	o.p.B.
37	3 Jahre	w	Haushaltsgerät	Man re	keine	o.p.B.	o.p.B.
38	3 Jahre	m	Steckdose	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
39	3 Jahre	m	Kabel	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
40	3 Jahre	m	Haushaltsgerät	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
41	3 Jahre	m	Kabel	Man re, Man li	transthorakaler Strom	o.p.B.	o.p.B.
42	3 Jahre	m	Steckdose	Man re	keine	o.p.B.	o.p.B.

Tabelle 8-2 Patientendaten Nr.01-42, Teil II

Patient	Crea [mg/dL]	LDH [U/L]	CK [U/L]	CK-MB [mg/L]	Troponin I [µg/L]	Troponin T [µg/L]	Elektrolyte	Behandlungsjahr
01	0,3	317	59	k.A.	k.A.	<0,02	o.p.B.	2001
02	0,3	k.A.	115	k.A.	<0,5	k.A.	o.p.B.	1998
03	0,6	k.A.	78	k.A.	k.A.	k.A.	o.p.B.	1997
04	0,3	328	454	k.A.	k.A.	<0,02	Ca ↓ (1,3)	2004
05	0,2	k.A.	228	4,1	k.A.	k.A.	o.p.B.	2008
06	0,5	k.A.	144	k.A.	k.A.	k.A.	o.p.B.	1997
07	0,2	k.A.	86	k.A.	<0,012	<0,02	K ↓ (3,3)	2007
08	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Ca ↓ (1,3)	2008
09	0,6	295	80	k.A.	k.A.	<0,05	o.p.B.	1997
10	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	1997
11	0,3	k.A.	62	k.A.	k.A.	k.A.	o.p.B.	1995
12	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	1997
13	0,4	295	31	k.A.	k.A.	<0,02	o.p.B.	2000
14	k.A.	k.A.	27	k.A.	<0,5	k.A.	o.p.B.	1999
15	0,3	351	180	k.A.	k.A.	<0,02	o.p.B.	2005
16	0,3	k.A.	175	k.A.	k.A.	k.A.	o.p.B.	2004
17	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	2005
18	0,5	k.A.	34	k.A.	<0,5	k.A.	o.p.B.	1997
19	0,8	205	71	4	k.A.	k.A.	o.p.B.	1995
20	0,4	k.A.	50	k.A.	k.A.	<0,02	o.p.B.	2001
21	0,3	k.A.	60	k.A.	k.A.	k.A.	o.p.B.	2004
22	k.A.	k.A.	k.A.	3,9	<0,012	k.A.	o.p.B.	2008
23	0,2	k.A.	140	k.A.	k.A.	k.A.	o.p.B.	2003
24	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	2008
25	0,2	k.A.	182	k.A.	k.A.	<0,02	o.p.B.	2003
26	0,5	k.A.	187	k.A.	k.A.	k.A.	o.p.B.	1997
27	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	o.p.B.	2001
28	0,25	k.A.	52	k.A.	k.A.	<0,02	o.p.B.	2003
29	0,4	305	89	k.A.	<0,5	k.A.	o.p.B.	1998
30	0,2	k.A.	199	k.A.	k.A.	k.A.	o.p.B.	2008
31	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	2000
32	0,2	328	255	k.A.	k.A.	<0,02	o.p.B.	2005
33	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	2005
34	0,4	k.A.	50	k.A.	k.A.	k.A.	o.p.B.	2001
35	0,25	330	111	k.A.	k.A.	k.A.	o.p.B.	2002
36	0,44	251	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	o.p.B.	1999
37	0,6	k.A.	53	k.A.	<0,5	k.A.	o.p.B.	1997
38	0,3	k.A.	204	k.A.	k.A.	k.A.	o.p.B.	2008
39	0,3	k.A.	58	k.A.	k.A.	k.A.	o.p.B.	2007
40	k.A.	k.A.	o.p.B.	k.A.	o.p.B.	o.p.B.	o.p.B.	2003
41	0,3	298	95	k.A.	k.A.	k.A.	o.p.B.	1995
42	0,5	k.A.	31	k.A.	k.A.	k.A.	o.p.B.	1996

Tabelle 8-3 Patientendaten Nr.43-83, Teil I

Patient	Alter	Geschlecht	Stromquelle	Strommarken	Risikofaktoren	Aufnahme-Untersuchung	Überwachung
43	3 Jahre	m	Steckdose	Man re	keine	o.p.B.	o.p.B.
44	3 Jahre	w	Steckdose	Man re	keine	leichte ST-Hebung	o.p.B.
45	3 Jahre	m	Steckdose	keine	Tetanie, Bewusstlosigkeit	o.p.B.	o.p.B.
46	3 Jahre	m	Lampe	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
47	3 Jahre	m	Kabel	Man re	keine	o.p.B.	o.p.B.
48	3 Jahre	m	Steckdose	nicht untersucht	keine	o.p.B.	o.p.B.
49	3 Jahre	w	Steckdose	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
50	3 Jahre	m	Steckdose	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
51	3 Jahre	m	Steckdose	Man re	keine	o.p.B.	o.p.B.
52	3 Jahre	m	Steckdose	Man li	keine	o.p.B.	o.p.B.
53	3 Jahre	m	Haushaltsger ät	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
54	3 Jahre	m	Steckdose	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
55	4 Jahre	w	Steckdose	Man re	keine	Erregungsausbreitungsstörung	o.p.B.
56	4 Jahre	m	Lampe	Man re, Man li	transthorakaler Strom	o.p.B.	o.p.B.
57	4 Jahre	m	Steckdose	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
58	4 Jahre	w	Steckdose	Man re	keine	o.p.B.	o.p.B.
59	5 Jahre	m	Lampe	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
60	5 Jahre	m	Kabel	Man li	keine	o.p.B.	o.p.B.
61	5 Jahre	w	Kabel	Unterschenkel re	keine	o.p.B.	o.p.B.
62	5 Jahre	m	Kabel	Man re	keine	o.p.B.	o.p.B.
63	5 Jahre	m	Kabel	keine	keine	Sinustachykardie, leichte Reizrückbildungsstörung	o.p.B.
64	5 Jahre	w	Lampe	Man re	keine	o.p.B.	o.p.B.
65	6 Jahre	m	Kabel	Man re	keine	o.p.B.	o.p.B.
66	6 Jahre	m	Steckdose	Man li	keine	o.p.B.	o.p.B.
67	6 Jahre	w	Lampe	keine	keine	Systolisches Geräusch	o.p.B.
68	6 Jahre	w	Steckdose	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
69	6 Jahre	m	k.A.	Man re, Man li	transthorakaler Strom	o.p.B.	o.p.B.
70	7 Jahre	w	Lampe	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
71	7 Jahre	m	Steckdose	Man re	keine	o.p.B.	o.p.B.
72	7 Jahre	m	Steckdose	keine	transthorakaler Strom	o.p.B.	o.p.B.
73	7 Jahre	m	Föhn	keine	Bewusstlosigkeit, nasse Umgebung, Tetanie, transthorakaler Strom	o.p.B.	o.p.B.
74	8 Jahre	m	Föhn	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
75	8 Jahre	m	Steckdose	Man li	keine	o.p.B.	o.p.B.
76	8 Jahre	w	Haushaltsger ät	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
77	8 Jahre	m	Steckdose	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
78	9 Jahre	m	Kabel	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
79	9 Jahre	w	Kabel	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
80	9 Jahre	w	Kabel	Man re	keine	o.p.B.	o.p.B.
81	10 Jahre	m	Kabel	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
82	10 Jahre	m	Steckdose	keine	WPW-Syndrom	o.p.B.	o.p.B.
83	11 Jahre	w	Kabel	Man re, Man li	transthorakaler Strom, Tetanie	o.p.B.	o.p.B.

Tabelle 8-4 Patientendaten Nr.43-83, Teil II

Patient	Crea [mg/dL]	LDH [U/L]	CK [U/L]	CK-MB [mg/L]	Troponin I [µg/L]	Troponin T [µg/L]	Elektrolyte	Behandlungsjahr
43	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	o.p.B.	2003
44	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	2008
45	0,3	268	76	k.A.	k.A.	k.A.	o.p.B.	2005
46	k.A.	283	62	k.A.	k.A.	<0,02	o.p.B.	2002
47	0,2	281	193	2,9	<0,012	k.A.	Cl ↑ (114)	2008
48	0,4	291	125	4,6	<0,012	k.A.	o.p.B.	2007
49	0,4	220	72	k.A.	k.A.	<0,02	o.p.B.	2001
50	0,4	k.A.	64	k.A.	k.A.	<0,02	o.p.B.	2006
51	0,3	k.A.	258 (später 160)	4,9 (später 3,0)	<0,012	k.A.	o.p.B.	2008
52	k.A.	k.A.	46	k.A.	k.A.	<0,02	o.p.B.	2001
53	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	2007
54	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	2004
55	k.A.	k.A.	45	k.A.	<0,5	k.A.	o.p.B.	2000
56	0,3	k.A.	55	k.A.	k.A.	<0,02	o.p.B.	2002
57	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	2008
58	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	2008
59	k.A.	k.A.	89	k.A.	k.A.	k.A.	o.p.B.	2005
60	0,3	287	86	k.A.	k.A.	<0,02	o.p.B.	2002
61	0,4	k.A.	253	7,3	k.A.	k.A.	o.p.B.	2007
62	0,3	233	106	k.A.	k.A.	k.A.	o.p.B.	2002
63	k.A.	k.A.	37	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	2005
64	0,3	k.A.	158	k.A.	k.A.	k.A.	o.p.B.	2005
65	k.A.	k.A.	131	k.A.	k.A.	<0,02	o.p.B.	2004
66	0,5	k.A.	52	k.A.	k.A.	k.A.	o.p.B.	1996
67	0,4	268	117	k.A.	k.A.	<0,02	K ↑(5,24), Ca ↓ (1,36)	2004
68	0,5	228	52	2,3	k.A.	k.A.	o.p.B.	1996
69	0,5	244	50	1,5	k.A.	k.A.	o.p.B.	1997
70	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	2004
71	0,4	k.A.	110	k.A.	k.A.	<0,02	o.p.B.	2006
72	k.A.	k.A.	86	k.A.	k.A.	<0,02	k.A.	2006
73	0,5	257	409	k.A.	<0,012	k.A.	o.p.B.	2007
74	k.A.	k.A.	42	k.A.	<0,5	k.A.	k.A.	2000
75	0,7	223	43	k.A.	k.A.	k.A.	o.p.B.	1996
76	k.A.	k.A.	118	1,8	<0,012	k.A.	o.p.B.	2007
77	0,4	234	49	k.A.	k.A.	<0,02	o.p.B.	2002
78	0,4	226	78	k.A.	k.A.	<0,02	o.p.B.	2003
79	k.A.	k.A.	133	4,5	k.A.	k.A.	o.p.B.	2007
80	0,4	228	213	k.A.	k.A.	<0,02	o.p.B.	2006
81	k.A.	k.A.	o.p.B.	k.A.	k.A.	k.A.	o.p.B.	2008
82	0,7	k.A.	76	k.A.	k.A.	k.A.	K ↓ (3,3)	1997
83	0,6	k.A.	45	k.A.	k.A.	<0,02	o.p.B.	2003

Tabelle 8-5 Patientendaten Nr.84-101, Teil I

Patient	Alter	Geschlecht	Stromquelle	Strommarken	Risikofaktoren	Aufnahme-Untersuchung	Überwachung
84	11 Jahre	w	Lampe	Man re	keine	o.p.B.	o.p.B.
85	11 Jahre	m	Kabel	keine	keine	Inkompletter Rechtsschenkelblock (2. EKG: o.p.B.)	o.p.B.
86	12 Jahre	m	Kabel	keine	keine	Grenzwertige PQ-Zeit	o.p.B.
87	12 Jahre	w	Haushaltsgerät	keine	nasse Hände	o.p.B.	o.p.B.
88	12 Jahre	w	Kabel	Man li	keine	o.p.B.	o.p.B.
89	12 Jahre	m	Föhn	Man li	keine	o.p.B.	o.p.B.
90	13 Jahre	m	Haushaltsgerät	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
91	13 Jahre	m	Kabel	Man re, Man li	transthorakaler Strom	o.p.B.	o.p.B.
92	13 Jahre	m	Steckdose	Man li	keine	VES (vorbestehend)	VES (vorbestehend)
93	13 Jahre	w	Kabel	Man li	keine	o.p.B.	o.p.B.
94	14 Jahre	m	Haushaltsgerät	Man li	keine	relative QT-Zeit erhöht (2. EKG: QT-Zeit kürzer)	o.p.B.
95	14 Jahre	m	Haushaltsgerät	Man re, Man li	Bewusstlosigkeit, transthorakaler Stromfluss	Reizausbreitungsstörung	o.p.B.
96	15 Jahre	m	Steckdose	Man re	Z.n. Herz-OP	o.p.B.	o.p.B.
97	15 Jahre	w	Kabel	keine	keine	o.p.B.	o.p.B.
98	15 Jahre	m	Kabel	Man re	keine	Herzgeräusch	o.p.B.
99	15 Jahre	m	Haushaltsgerät	Man re, Man li	transthorakaler Strom, Tetanie	o.p.B.	o.p.B.
100	15 Jahre	m	Lampe	keine	keine	PQ-Zeit obere Norm	o.p.B.
101	16 Jahre	w	Sicherung	keine	keine	SVES (2. EKG: SVES)	SVES

Tabelle 8-6 Patientendaten Nr.84-101, Teil II

Patient	Crea [mg/dL]	LDH [U/L]	CK [U/L]	CK-MB [mg/L]	Troponin I [µg/L]	Troponin T [µg/L]	Elektrolyte	Behandlungsjahr
84	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	2008
85	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	o.p.B.	2005
86	0,8	216	103	2,9	k.A.	k.A.	o.p.B.	1996
87	0,5	276	106	k.A.	k.A.	k.A.	o.p.B.	2007
88	0,6	242	106	k.A.	k.A.	<0,02	o.p.B.	2005
89	0,7	222	94	k.A.	0,7 (später <0,5)	k.A.	o.p.B.	1999
90	k.A.	194	130	k.A.	k.A.	<0,02	o.p.B.	2003
91	k.A.	447	k.A.	k.A.	<0,5	k.A.	o.p.B.	1998
92	0,7	255	87	k.A.	<0,5	k.A.	o.p.B.	1998
93	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	1998
94	0,9	k.A.	340	3,4	<0,012	k.A.	o.p.B.	2008
95	0,8	203	40	k.A.	k.A.	k.A.	o.p.B.	1998
96	0,9	k.A.	59	k.A.	k.A.	<0,02	o.p.B.	2001
97	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	2005
98	0,6	207	79	k.A.	k.A.	<0,02	Ca ↑ (2,8)	2006
99	k.A.	160	552	k.A.	k.A.	<0,02	o.p.B.	2003
100	1,2	k.A.	112	k.A.	k.A.	k.A.	o.p.B.	2005
101	k.A.	k.A.	66 (später 81)	k.A.	<0,5	k.A.	o.p.B.	1997