

# Transatlantikflug mit der transportablen Herz-Lungen-Maschine „Life Box“

## ZUSAMMENFASSUNG

Wir beschreiben den Transport eines Patienten mit Lungenversagen (Acute Respiratory Distress Syndrome – ARDS) von Guadeloupe (Karibik) nach Frankfurt/Main mit Hilfe einer transportablen Herz-Lungen-Maschine „Life Box“ sowie einer Hämofiltration in einem REGA-Jet. Der Anschluss an die „Life Box“ erfolgte dabei über die Leistengefäße (Vena femoralis links, Vena femoralis rechts).

## SCHLÜSSELWÖRTER

„Life Box“, Lungenversagen, ARDS, femoro-femorale Bypass, Hämofiltration, PC<sup>®</sup>-Beschichtung

## ABSTRACT

We describe the transport of a patient with lung failure (ARDS) from a hospital in Pointe-à-Pitre, Guadeloupe (Caribbean) to Frankfurt/Main with application of the transportable heart-lung machine „Life Box“ and a hemofiltration in a REGA jet. The „Life Box“ was connected via the femoral vessels.

## KEY WORDS

„Life Box“, lung failure, ARDS, ECLS, femoro-femorale ECC, PC<sup>®</sup> coating

## EINLEITUNG

Der Transport von Patienten mit extrakorporaler Zirkulation wird bereits seit vielen Jahren global praktiziert, wie u. a. die Arbeitsgruppe um Coppola [1] in einer Veröffentlichung berichtet. Immer mehr Studien zeigen den positiven Effekt der extrakorporalen Zirkulation (EKZ), die unter Reanimation zum Einsatz kommt [2]. Dem Herzzentrum Bodensee ist ein eigenes Rettungswesen angegliedert, das das Segment Cardiac Life Support (CLS) anbietet. In der Vergangenheit wurden Primär- und Sekundärtransporte von kardial instabilen Patienten mit Katecholaminen (Intensiv-Transporte) und Transporte mit mechanischer Herz-Kreislauf-Unterstützung (Cardiac Life Support, CLS) wie z. B. Intraaortale Ballonpumpe (IABP) durchgeführt. Durch die Entwicklung der kleinen, transportablen Herz-Lungen-Maschine („Life Box“)

ist es nun auch möglich, das Modell Extracorporeal Life Support (ECLS) rund um die Bodenseeregion anzubieten. Bei Anfragen findet primär immer ein Arzt-zu-Arzt-Gespräch zwischen der anfordernden Klinik und dem Arzt des ECLS-Teams statt. Als Indikation gelten an unserer Klinik die Richtlinien der Extracorporeal Life Support Organization (ELSO) [3].

Je nach Indikation wird die Kanülierung dementsprechend durchgeführt, bei Lungenunterstützung kommt z. B. eine venöse Kanülierung zur Anwendung. Bei kardialer Unterstützung erfolgt der Anschluss an den Patienten immer venoarteriell. Bei den anderen Indikationen (Ertrinkungsunfall, Hypothermie) entscheidet man vor Ort über die Kanülierungsart. Das ECLS-System besteht aus vier Modulen (Abb. 1).



Abb. 1: ECLS-Equipment: 1. Perfusionsinheit, 2. Antriebseinheit, 3. Transportrucksack, 4. Kanülenköcher

Dieses ECLS-System kommt bei verschiedensten Indikationen wie z. B. Reanimation, Interventionen im Herzkatheterlabor, Einsatz von transapikalen Aortenklappen oder bei Lungenunterstützung zum Einsatz.

## LOGISTIK UND EXTRA CORPOREAL LIFE SUPPORT (ECLS)

Dieses Transportsystem wurde speziell für den Einsatz außerhalb der herzchirurgischen Klinik entwickelt, um Patienten in Notfallsituationen zu stabilisieren und in die nächste geeignete Klinik zu transportieren. Speziell die Bodenseeregion hat ein sehr großes Einzugsgebiet, wo wir im Notfall Transporte boden- und/oder luftgebunden durchführen. Die Fachabteilung Kardiotechnik stellt einen 24-stün-

digen Rufdienst und zusätzlich den Perfusionservice für den internen und externen ECLS-Einsatz. Erschwerte örtliche Gegebenheiten erfordern besondere Anforderungen an ein Perfusionssystem. Ein solches System muss klein, leicht und einfach zu bedienen sein und über ausreichend Akkukapazität verfügen. Gerade in ländlichen Regionen [5] sind Rettungstransportwagen (RTW) selten mit 230 V an Bord ausgestattet. Die Praxis zeigt, dass z. B. Perfusorenwechsel, Patientenumlagern und lokal beengte Verhältnisse (Aufzüge, über mehrere Ebenen) enorm viel Zeit und somit Batterieleistung benötigen. Finden diese Transporte in der Nacht statt, können die meisten Luftrettungsorganisationen nicht fliegen, so dass bodengebunden transportiert werden muss. Für den Transport müssen gesetzliche Vorschriften zur Befestigung solcher ECLS-Systeme beachtet und eingehalten werden, die Vorgaben für den Lufttransport sind hier natürlich deutlich höher.

Das ECLS-System ist ein All-in-one-Modul (ECCO 5, Fa. Dideco, Mirandola, Italien), bestehend aus einem Oxygenator, einer Zentrifugalpumpe und einer venösen Blasenfalle (Abb. 2, Tab. 1).



Abb. 2: ECCO-Modul

Wie die Praxis so oft zeigt, sind die Inflow-Kanülen der limitierende Faktor bei der Generierung von Blutflussraten von mehr als 5 l/min. Berdajs et al. [6] konnten

Max. Blutfluss	5 l/min
Statisches Primingvolumen	360 ml
Membranoberfläche	1,2 m <sup>2</sup>
Membrantyp	Polymethylpenten, Hohlfaser
Oberfläche des Wärmetauschers	0,14 m <sup>2</sup>
Wärmetauschermaterial	Edelstahl
Anschlüsse	venöser Einlass (Blasenfalle) 3/8" arterieller Auslass (Oxygenatormodul) 3/8" Rezirkulation/Purge Line 1/4"
Zulassung	5 Tage
Beschichtung	Ph.I.S.I.O Coating®

Tab. 1: Technische Daten des Oxygenationssystems

im Tierexperiment die Vorteile der Smart®-Kanüle zeigen, der Inflow-Pressure lag deutlich unter dem einer anderen Kanüle mit gleichem 19-Fr.-Lumen (Abb. 3).

Es stehen zwei verschiedene Schlauchsets zur Verfügung v/a (3/8 x 3/8) und (3/8 x 1/4), das System wird retrograd über Schwerkraft in 2 bis 3 Minuten luftblasenfrei gefüllt und ist damit schnell einsetzbar (Abb. 4).

Die Systemfüllung beträgt ca. 600 ml, das Perfusionssystem ist geschlossen, so

dass kein Blut-Luft-Kontakt stattfindet, und komplett Phosphorylcholin®(PC)-beschichtet [4]. Das „Life Box“-System ist sowohl für den veno-venösen als auch für den veno-arteriellen Einsatz geeignet.

### Beschreibung des Transportmittels

Aufgrund der geringen Größe, des geringen Gewichtes und des multifunktionellen Halters kann die „Life Box“ auch in kleine-

ren Helikoptern wie z. B. dem Eurocopter EC 135 installiert werden. Als Spannungsquellen können 12/24/110 und 240 Volt verwendet werden. Der Eurocopter EC 145 bietet viel Platz für Patient, Arzt, Pilot und Rettungssanitäter, ist kostengünstig im Betrieb, verfügt über eine große Reichweite und eine leistungsfähige Rettungswinde. Der EC 145 ist das vollständig überarbeitete Nachfolgermodell der bekannten BK 117 und EC 135 (Tab. 2). Für längere Strecken wird das Ambulanzflugzeug Typ Candair CL 604 „Challenger“ eingesetzt (Tab. 3).

2 Turbinen (Arriel 1E2): 2 x 771 PS
Rotordurchmesser: 11,00 m
Länge über alles: 13,03 m
Höhe: 3,95 m
Reisegeschwindigkeit: 240 km/h
Operationshöhe bis 5.400 Meter über Meer
Große Kabine für Patient, Arzt, Pilot, Rettungssanitäter sowie eine Begleitperson
Rettungswinde max. 270 kg, 90 m Seillänge
Kurze Auskühlungszeit der Triebwerke

Tab. 2: Technische Daten EC 145

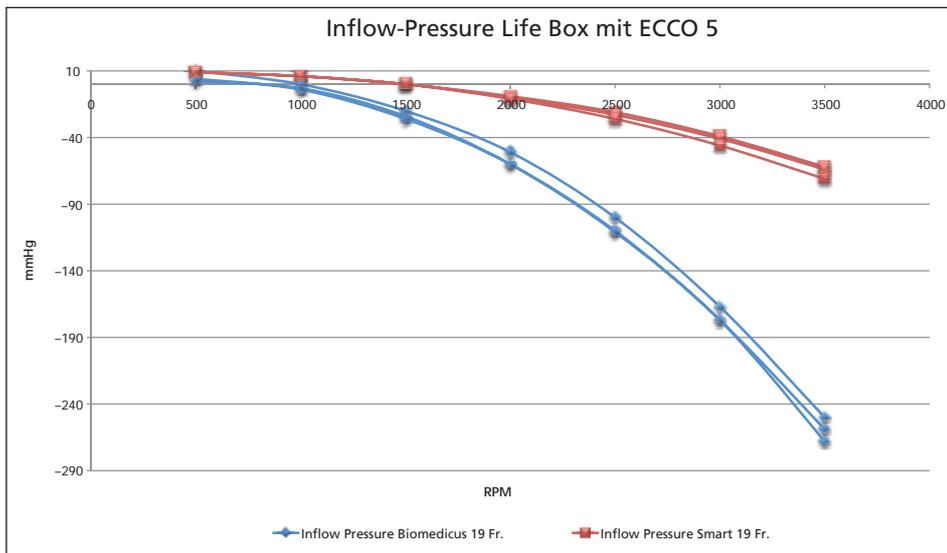


Abb. 3: Inflow-Pressure im Tierexperiment

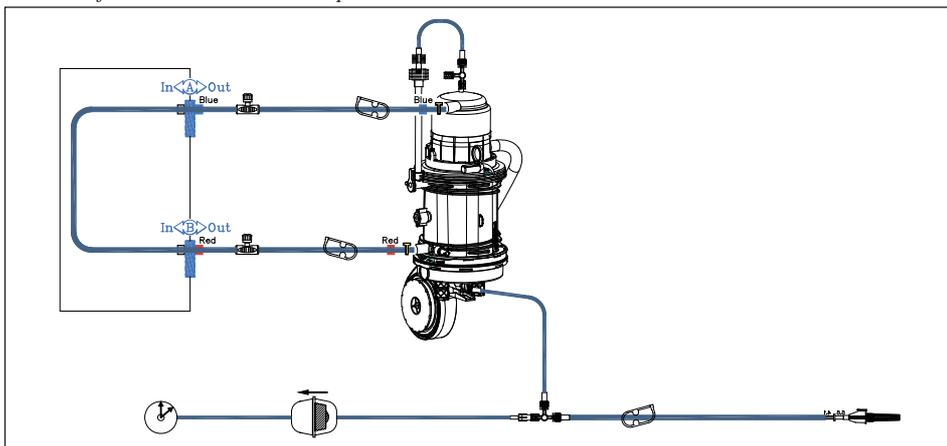


Abb. 4: Komplettes Perfusionssystem mit integrierter venöser Blasenfalle

Flügelspannweite: 19,61 m
Länge über alles: 20,86 m
Höhe: 6,40 m
Max. Abfluggewicht: 21.863 kg
Reichweite: 6.500 km/3.500 nm
Reisegeschwindigkeit: 850 km/h; 528 mph
Patientenkapazität: 4 (liegend)

Tab. 3: Technische Daten Candair Challenger

### Kanülierung

Primär wird der Anschluss an die „Life Box“ über Seldinger-Technik angestrebt, was unter Reanimationsbedingungen schwierig sein kann. Hat der Patient bereits intravasale Kanülen oder Katheter liegen, können diese zur Seldinger-Technik verwendet werden. Das Kanülieren kann schneller und einfacher erfolgen, wenn die anfordernde Klinik den Patienten bereits mit Seldinger-Drähten versorgt.

### Gerinnungsmanagement

Beim Einsatz als ECLS-System wurden die Patienten mit 150 IE/kg heparinisiert bei angestrebten ACT-Werten zwischen 160 und 180 sec. Bei allen bisherigen Einsätzen gab es keinerlei thrombotische Probleme.

## FALLBESCHREIBUNG

Ein 60-jähriger Patient (186 cm, 110 kg) erkrankte während einer Schiffsreise in der Karibik an einem grippalen Infekt. Am 20.1.2010 erfolgte die Ausschiffung nach Guadeloupe. Da der Patient starke pulmonale Probleme hatte, wurde er in die Universitätsklinik von Pointe-à-Pitre (Guadeloupe, Karibik) eingeliefert und dort initial mit Verdacht auf H1N1-Infektion behandelt. Der Zustand des Patienten verschlechterte sich zunehmend, so dass der Patient am 27.1.10 intubiert und mechanisch beatmet wurde. Radiologisch zeigte sich das Bild einer „White lung“ (Abb. 5) mit der Diagnose ARDS, im Verlauf des Tages wurde der Patient katecholaminpflichtig, trotz spezieller Lagerungsmaßnahmen (u. a. Bauchlage) konnte keine Besserung erzielt werden.



Abb. 5: „White lung“

Der Patient befand sich in einem lebensbedrohlichen Zustand. Es wurde die US Air Ambulance (Ft. Lauderdale, USA) zur Unterstützung angefordert, die den Patienten letztendlich für transportunfähig erklärte mit der Begründung, man benötige eine Herz-Lungen-Maschine und eine so kleine HLM gäbe es nicht. Nach 8 Stunden Therapie flog die amerikanische Crew unverrichteter Dinge zurück. Der ADAC Deutschland kontaktierte daraufhin die Schweizer Flugrettungsgesellschaft REGA. Die REGA fragte am Herzzentrum Bodensee an, und nach Abklärung aller Ausschlusskriterien wurde die Organisation in Angriff genommen. Einige Stunden später startete der REGA-Jet Richtung Karibik mit einer 7-köpfigen Crew an Bord, bestehend aus 3 Piloten, dem Flight Medical Team (Facharzt für Anästhesie und eine Anästhesie/Intensivpflegekraft), 1 Herzchirurg, 1 Kardiotechniker. Die Laborwerte zum Zeitpunkt des Abfluges in Zürich waren: Kreatinin 2,4 mg%, pH 7,28, Laktat 3,8 mmol/l. Die Beatmungparameter  $pO_2$  71 mmHg und  $pCO_2$  63 mmHg. Die arterielle Sättigung lag bei ca. 90 % unter  $FiO_2$  100 % mit einem Positive End Expiratory Pressure (PEEP) von 12.



Abb. 6: Mikrozirkulationsstörung

Der Hinflug erfolgte über die Azoren (Tankstopp) direkt nach Guadeloupe, die Flugzeit betrug ca. 13 Stunden.

Nach Ankunft in Guadeloupe suchten wir das Centre Hospitalier Universitaire (CHU) in Pointe-à-Pitre auf, um uns ein Bild vom Zustand des Patienten zu machen. Leider hatte sich der Zustand des Patienten nochmals verschlechtert, der pH-Wert lag bei 7,19, die Beatmungparameter  $pO_2$  69 mmHg und  $pCO_2$  67 mmHg verschlechterten sich zunehmend. Der Kreatininwert stieg weiter auf 3,8 mg% wie auch das Laktat auf 5,8 mmol/l an. Der Patient hatte bereits massive Mikrozirkulationsstörungen (Abb. 6) und befand sich nun zusätzlich im Nierenversagen, eine Nierenersatztherapie wurde diskutiert. Wir bekamen von der dortigen Dialyseabteilung zwei verschiedene Hämodialysesets der Firma Gambro Hosal (Gröbenzell, Deutschland), und so bauten wir uns ein kleines Hämofiltrationsset, um während des Fluges eine kontinuierliche veno-venöse Hämofiltration (CVVH) durchzuführen. Obendrein gab

uns die Dialyseabteilung 40 Liter Hämofiltrationslösung mit auf den Heimflug. Das CVVH-System konnte gut in die „Life Box“ integriert werden, luftblasenfrei gefüllt.

### Perfusion und Hämofiltration

Aufgrund der großen Körperoberfläche (KOF) von 2,39 m<sup>2</sup> entschlossen wir uns, zwei 24-Fr.-Kanülen in die Leistenvenen zu legen.

Initial wurde der Patient mit 150 IE/kg KG heparinisiert. Das Einbringen der Kanülen erfolgte problemlos via Seldingerdrahttechnik. Die Inflow-Kanüle wurde ca. 35 cm weit in die linke Femoralvene eingebracht, die Spitze der Outflow-Kanüle lag unmittelbar vor dem rechten Vorhof. Beim Konnektieren mit den Perfusionsschläuchen wurde eine Thrombenbildung in der Outflow-Kanüle festgestellt. Der Thrombus wurde mit Hilfe eines Fogarty-Katheters entfernt, aus Sicherheitsgründen wurde der Patient nochmals mit 150 IE/kg KG heparinisiert. Nach Messung der ACT wur-

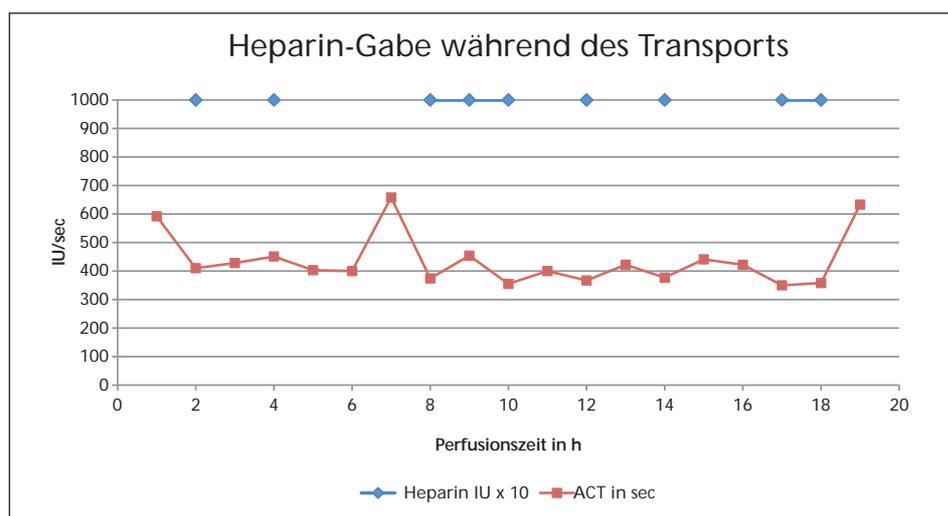


Abb 7: Erhöhter Heparinverbrauch

	MEZ*	SaO <sub>2</sub>	FiO <sub>2</sub>	Noradrenalin
Ankunft 30.01.2010		90 %	1,0	20 µg/min
Übernahme Patient am 31.01.2010		81 %	1,0	20 µg/min
Stabilisierungsphase vor Kanülierung/ ZVK-Anlage		78 %	1,0	20 µg/min
Start der ECC	16:00	77 %	1,0	20 µg/min
Bloodflow 5,3 l/min	16:30	97 %	0,8	6 µg/min
Stabilisierungsphase vor Ambulanz- Transport	18:30	98 %	0,7	5 µg/min
Ambulanz-Transfer Spital – Airport – Boarding	18:50–19:30	99 %	1,0	4 µg/min
Nach Boarding, vor Take-off		99 %	1,0	4 µg/min
Nach Take-off	20:00	98 %	1,0	3 µg/min
Routing Gouadeloupe – Halifax	21:00	99 %	0,8	3 µg/min
	22:00	99 %	0,6	2 µg/min
	23:00	99 %	0,6	2 µg/min
Landung Halifax	00:00	99 %	0,6	5 µg/min
Take-off Halifax	00:25	99 %	0,6	5 µg/min
Periflight Routing via Irland – GB – nach Frankfurt	02:30	99 %	0,6	3 µg/min
	04:00	98 %	0,6	2 µg/min
	05:00	98 %	0,6	2 µg/min
	06:00	97 %	0,6	5 µg/min
	06:30	98 %	0,6	6 µg/min
Landung Frankfurt und Umlagerung	07:00	99 %	0,6	3 µg/min
Transfer Ambulanz nach Unispital Frankfurt – Übergabe	07:20–08:30	99 %	0,6	3 µg/min

\*MEZ = mitteleuropäische Zeit, alle Zeitangaben in circa

Tab. 4: Chronologischer Verlauf des Transports

de die veno-venöse Unterstützung gestartet. In der Klinik wurde leider kein AT-III-

Wert bestimmt, und so entschlossen wir uns, die ACT deutlich höher zu halten. Wie



Abb. 8: Deutliche Verbesserung der Mikrozirkulation

in der Grafik dargestellt, erwies sich diese Strategie als richtig, der Heparinbedarf (Abb. 7) war enorm hoch.

Insgesamt wurden dem Patienten 123.000 IE Heparin verabreicht, die ACT konnte meistens nur knapp über 400 sec gehalten werden. (Das erste Labor in Frankfurt/Main ergab einen AT-III-Wert von nur 43 %). Die arterielle Sättigung lag vor Starten der „Life Box“ bei ca. 78 %, wenige Minuten nach Start der ECC lag die arterielle Sättigung bei über 93 %. Nach ca. 20 Minuten Perfusionszeit konnten die Katecholamine (Tab. 4) deutlich reduziert werden, die arterielle Sauerstoffsättigung (SaO<sub>2</sub>) stieg kontinuierlich (s. Tab. 4) an bei stufenweiser Reduktion der Sauerstoffkonzentration (Fraction of Inspired Oxygen, FiO<sub>2</sub>) (s. Tab. 4).

Auch die peripheren Mikrozirkulationsstörungen waren nach ungefähr zwei Stunden reversibel (Abb. 8).

Während der zweistündigen Stabilisierungsphase wurden vom Flight Medical Team diverse Maßnahmen (ZVK-Neuanlage, Röntgen-Thorax, TEE, Verbandswechsel etc.) durchgeführt. Nachdem sich der Patient während dieser Phase mittels veno-venöser EKZ stabilisiert hatte, konnten wir den Transport zum Flugzeug beginnen. Das Raumangebot im Rettungstransportwagen (RTW) war ausreichend, so dass wir die Geräte ohne Probleme unterbringen und fixieren konnten. Nach einer 20-minütigen Fahrt kamen wir am Flughafen von Pointe-à-Pitre an und begannen unverzüglich mit dem Boarding.

Im REGA-Jet angekommen (Abb. 9), fixierten wir die „Life Box“ mit der Grundplatte im Schienensystem des Flugzeugs und starteten die CVVH (Abb. 10). Das letzte Labor in der Klinik zeigte deutlich bessere pH- und Oxygenierungsparameter, die Retentionswerte und das Kalium stiegen allerdings weiter stetig an. Das Kreatinin war nun bei 4,8 mg%, Laktat 5,2 mmol/l und Kalium 6,3 mmol/l. Nierenersatzbehandlung bedeutet eine zeitweise Übernahme der Funktion der Nieren durch intensivmedizinische Apparaturen.



Abb. 9: Transport zum REGA-Jet



Abb. 10: „Life Box“ mit CVVH

Alle zur Verfügung stehenden Verfahren sind der natürlichen Niere unterlegen. Sie ermöglichen aber eine ausreichende Entgiftung und/oder Entwässerung, bis sich die Niere so weit erholt hat, dass sie ihre Aufgaben wieder selbst wahrnehmen kann. Bei pumpengestützter Hämofiltration kann die Substitutionslösung vor („arteriell“) oder hinter („venös“) dem Filter zugeführt werden. Bei Zufuhr „vor“ dem Filter („Prädilution“) ist das Blut im Filter schon verdünnt und die Entgiftungsleistung geringer. Dafür ist die Thromboseeignung im Filter niedriger.

Bei Zufuhr „hinter“ dem Filter („Postdilution“) ist die Entgiftungsleistung höher, aber durch die Blutkonzentration am Filterende wird die Thromboseeignung gefördert. Da der Heparinbedarf von Beginn an enorm hoch war, entschlossen wir uns zu einer Prädilutions-Behandlung.

Der Blutzulauf für den Hämofilter wurde vor der Oxygenierungsmembran abgenommen und der Blutablauf vor der venösen Blasenfalle eingeleitet. Der Einlassdruck des Hämofilters konnte durch Regulierung (mittels Schraubklemme) variiert werden. Somit konnte je nach Bedarf die Filtrationsrate gesteigert oder gedrosselt werden. Nach Starten der CVVH wurden Kreatinin, Laktat und Kalium kontinuierlich gesenkt. Insgesamt konnten wir über 11 Stunden ungefähr 25 l der Hämofiltrationslösung substituieren und filtrieren (Abb. 11).

Der Zustand des Patienten war über die gesamte Transportzeit stabil, die arterielle Sättigung lag konstant zwischen 98 % und 100 %, die Laborwerte wurden mit dem

I-Stat-1-Laborgerät (Abbot, USA) in regelmäßigen Abständen kontrolliert.

Da der Seitenwind stärker als 50 Knoten/sec war, musste die Pilotencrew eine andere Route für den Rückflug wählen. Somit flogen wir via Halifax (Nova Scotia, Kanada) nach Frankfurt/Main, was eine Flugzeit von ca. 13 Stunden ergab, die gesamte Transportzeit betrug ca. 15 Stunden.

Sonntag früh landeten wir am Frankfurter Fraport und starteten den letzten Transport auf unserer abenteuerlichen Reise. Die Frankfurter Feuerwehr dachte, wir kommen mit einer großen Herz-Lungen Maschine und schickte uns ihr größtes Fahrzeug, welches wir dann doch nicht nehmen konnten – die Trage passte nicht in den Flieger. Somit transportierten wir den Patienten mit einem RTW in die Frankfurter Uniklinik.

Nach fast 60 Stunden Einsatz waren nun alle Beteiligten froh, dass wir den Patienten in einem stabilen und gut oxygenierten Zustand „nach Hause“ gebracht hatten. Das Weaning von der veno-venösen Unterstützung war nach 10 Tagen erfolgreich, intermittierend wurde der Patient noch hämofiltriert.

Nach weiteren 10 Tagen ging der Patient auf Normalstation, von dort wurde er nach ungefähr zwei Wochen direkt in die erfolgreiche Rehabilitation verlegt.

#### LITERATUR

- [1] Coppola CP, Tyreeb M, Larry K, Robert DiGeronimo R: A 22-year experience in global transport extracorporeal membrane oxygenation. *J Ped Surg* (2008); 43: 46–52
- [2] Chen et al: Cardiopulmonary resuscitation with assisted extracorporeal life-support versus conventional cardiopulmonary resuscitation in adults with in-hospital cardiac arrest: an observational study and propensity analysis. *Lancet* 2008; 372: 554–561
- [3] <http://www.elseo.med.umich.edu/> (Abruf 08.08.2010)

- [4] Wendel HP: Beschichtungstechniken für Werkstoffe der EKZ-Systeme. In: *Handbuch der Kardiotechnik*, 4.Auflage (2002); 106–124
- [5] Nichol H, Thomas E, Callaway CW et al: Regional Variation in Out-of-Hospital Cardiac Arrest Incidence and Outcome. *Jama* 2008; 300(12): 1423–1431
- [6] Berdajs DA, Born F, Crosset M, Bürki M, Horisberger J, Künzli A, Ferrari E, Hurni M, Tozzi P, Segesser LK v.: Superior venous drainage in „Life-Box“. *Perfusion* July 2010; (25)4: 211–215

Frank Born, ECCP  
Herzzentrum Bodensee Konstanz  
Luisenstraße 9 a  
78464 Konstanz  
Born@cardiotechnik.com  
www.rescueperfusion.com

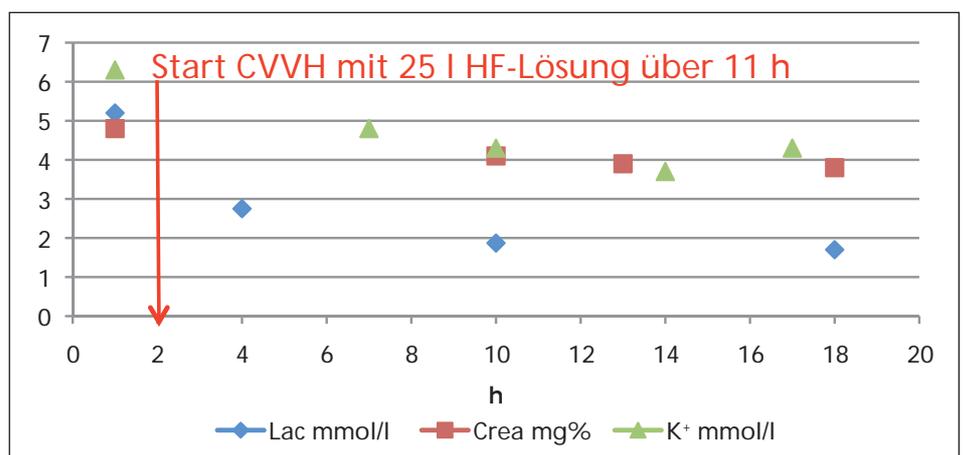


Abb. 11: CVVH-Verlauf über die Transportzeit