

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Struktur der Arbeit	2
1.3	Bibliografische Hinweise	2
2	Grundlagen	5
2.1	Physiologische Grundlagen	5
2.1.1	Kreislauf	5
2.1.2	Stoffwechsel	7
2.1.3	Blut – Aufbau und Zusammensetzung	7
2.1.4	Gastransport im Blut	11
2.2	Modellbegriffe	15
2.3	Gesetze und Normen	18
3	ARDS und ECLA	19
3.1	Akutes Lungenversagen	19
3.1.1	Historie	19
3.1.2	Definition des ARDS	20
3.1.3	Ätiologie	20
3.1.4	Inzidenz und Letalität	21
3.1.5	Therapieformen	21
3.2	Extrakorporale Lungenunterstützung (ECLA)	22
3.2.1	Konfigurationen der ECLA	23
3.2.2	Limitierungen der ECLA	27
3.3	Projektziele von SmartECLA	29
3.4	Projektansatz von SmartECLA	29
3.5	Systemaufbau	30
3.5.1	Sensoren	31
3.5.2	Datenverarbeitung	33
3.5.3	Aktoren	35
3.5.4	Weitere Medizingeräte	37
3.6	Regelungskonzept	39
3.7	Verwandte Arbeiten	43
4	Sicherheitskonzept	45
4.1	Sicherheitsziele	45

4.2	Projektspezifische Analysen des Systemaufbaus	46
4.2.1	Fehlermöglichkeits- und -Einflussanalyse	46
4.2.2	Fehlerbaumanalyse	49
5	Modellbasierte Sicherheitsmaßnahmen	51
5.1	Messwertvalidierung	51
5.1.1	Plausibilitätsüberprüfung	51
5.1.2	Modellbasierte Diagnose	51
5.2	Stellwertvalidierung	58
5.2.1	Extrakorporaler Blutfluss	58
5.2.2	Gasvolumenstrom durch den Oxygenator	60
5.3	Aktuatordiagnose	66
5.3.1	Modellierung der Gasdiffusion durch den Oxygenator	66
5.3.2	Ansaugen der Entnahmekanüle	69
5.3.3	Modell der Blutpumpe	73
5.3.4	Rezirkulation	79
6	Entwickelte Hardware	85
6.1	Mikrocontroller-Plattform	85
6.2	Druckmesser	87
6.3	Temperaturmesser	87
6.4	Pumpenkonsole	87
6.4.1	Modellbildung	88
6.4.2	Regelung des extrakorporalen Blutflusses	93
7	Softwarekonzept zur Automatisierung der ECLA	97
7.1	Anforderungen	97
7.2	Softwarearchitektur	98
7.2.1	ChibiOS/RT	99
7.2.2	PAM	103
7.2.3	CAN-Protokoll	104
7.2.4	Zeitsynchronisation	107
7.2.5	Datenhaltung	108
7.3	Anwendungsentwicklung	110
7.3.1	MATLAB/Simulink	110
7.4	Eigenschaften des Softwareframeworks	112
7.4.1	Entwicklungsablauf	112
7.4.2	Erzielte Softwarearchitektur	114
7.4.3	Planbarkeit	114
8	Zusammenfassung	117
9	Ausblick	119

A Anhang	121
A.1 Algorithmische Berechnung des Sauerstoffpartialdrucks aus der -sättigung	121
A.2 Systemaufbau	122
A.2.1 Sensoren	122
A.2.2 Datenverarbeitung	124
A.2.3 Aktoren	124
A.3 Hardwareplattform	125
A.3.1 Pumpenkonsole	127
A.4 Fehlermöglichkeits- und -Einflussanalyse	128
A.5 Fehlerbaumanalyse	135
A.6 Nachher Fehlerbaumanalyse	143
A.7 Algorithmus zur Detektion des Kanüleansaugens	151
A.8 Algorithmus zur Auswertung der Rezirkulation	152
A.9 Tierversuche	153
A.9.1 Versuchsaufbau	153