

Aus der Klinik für Anästhesiologie
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Benedikt Pannen

**Kontinuierliches, kabelloses Vitalparameter-Monitoring
auf der Palliativstation –
eine zusätzliche Hilfe zum Erkennen von Symptomen
und der Sterbephase?**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von Sebastian Reekers

2026

**Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf**

gez.:

Dekan: Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter: Prof. Dr. med. Martin Neukirchen

Zweitgutachter: Prof. Dr. Dr. med. Christian Jung

„Never looking back, or too far in front of me. The present is a gift, and I just wanna be”

Common

Teile dieser Arbeit wurden veröffentlicht:

Tenge, T.; Reekers, S.; Maier, O.; Schallenburger, M.; Batzler, Y.-N.; Stefaniak, M.; Schwartz, J.; Stroda, A.; M’Pembele, R.; Roth, S.; Bahners, B. H.; Chen, G.; Schaefer, M. S.; Jung, C.; Neukirchen, M. [2025]. Wireless patches for continuous vital sign monitoring, symptoms and medication at the end-of-life in the palliative care unit: A prospective observational study. *Journal of Clinical Monitoring and Computing* [published: 19.08.2025]

doi: 10.1007/s10877-025-01343-6

Zusammenfassung

Palliativversorgung hat das Ziel der Symptomlinderung, möglichst ohne belastende Maßnahmen. Das Monitoring von Vitalparametern könnte zu einer präziseren Symptomerfassung und Prognoseabschätzung führen, sollte Patienten am Lebensende aber nicht stören. Bisherige Studien geben Hinweise, dass in den letzten Lebenstagen Veränderungen von Herzfrequenz (HF) und Blutdruck messbar sind und mit Symptomen wie Schmerz oder Dyspnoe zusammenhängen. Kabellose Geräte zum kontinuierlichen Messen von Vitalparametern könnten in der Palliativversorgung hilfreich sein. Ziel der vorliegenden prospektiven, monozentrischen Beobachtungsstudie war es, mithilfe eines kontinuierlichen und kabellosen Monitorings Veränderungen der Vitalparameter in der Sterbephase zu erfassen und deren Beziehung zu Symptomen, Prognosen und medikamentöser Therapie zu untersuchen. Besonderes Augenmerk galt der Praktikabilität und Akzeptanz. Bei 36 Patienten in der Terminal- und Finalphase wurde mittels VitalPatch® von Mai 2023 bis März 2024 auf der Palliativstation kontinuierlich die HF, Atemfrequenz und Temperatur gemessen. Die Messwerte wurden durch routinemäßige Kontrollen abgeglichen. Zudem wurden demografische Daten, die Symptome mithilfe des Palliativen Symptombelastungs-Score sowie die medikamentöse Therapie erfasst. Die Auswertung erfolgte primär deskriptiv. Zusätzlich wurden adjustierte lineare *Mixed-Effect-Modelle*, logistische Regression, *likelihood-ratio* Tests sowie Spearman-Korrelation mit Bonferroni-Korrektur angewandt. Bei fünf Patienten gab es technische Probleme. Ein Patient entfernte das VitalPatch® im Delir, sodass 30 Patienten eingeschlossen wurden (Alter 69,7 [$\pm$ 14,0] Jahre, 53,3% weiblich). Im Median klebten die VitalPatch®-Sensoren 88 Stunden (Interquartilsabstand 35 - 153) bis zum Tod. Es zeigte sich ein signifikanter Anstieg der HF in den letzten drei Tagen vor dem Tod (-2 Tage: 3,70, 95%-KI 1,81 bis 5,59, $p < 0,001$; -1 Tag: 7,64, 95%-KI 5,79 bis 9,48, $p < 0,001$; Todestag: 12,26, 95%-KI 10,42 bis 14,11, $p < 0,001$) sowie ein Zusammenhang zwischen erhöhter HF und Schmerzintensität ($r = 0,32$, $p < 0,001$). Die weiteren Parameter änderten sich nur geringfügig. Am Lebensende zeigte sich eine zunehmende Symptomlast, v.a. in Bezug auf Schwäche, Vigilanz und Verwirrtheit. Die Medikation wurde in der Folge angepasst, u.a. durch vermehrten Einsatz von Opioiden und Benzodiazepinen. Diese Studie liefert relevante Hinweise auf mögliche prognostische Signale und ergänzt bestehende Forschung durch kontinuierliche Echtzeitdaten.

Summary

Palliative care aims to relieve symptoms, ideally without burdensome interventions. Monitoring of vital parameters could enable more accurate symptom assessment and prognostic estimation, but it should also not disturb patients at the end of life. Previous studies indicate that in the last days of life changes in heart rate (HR) and blood pressure are measurable and are associated with symptoms such as pain or dyspnoea. Wireless devices for continuous measurement of vital parameters could be helpful in palliative care. The aim of the present prospective, single-centre observational study was to use continuous, wireless monitoring to capture changes in vital parameters during the dying phase and to investigate their relationship with symptoms, prognosis, and pharmacological therapy. Particular emphasis was placed on the practicality and acceptability of continuous monitoring. In 36 patients in the terminal and final phase of their life, HR, respiratory rate, and temperature were measured continuously using the VitalPatch® from May 2023 to March 2024 on the palliative care ward. The measurements were cross-checked by means of routine checks. Demographic data, symptoms assessed using the Palliative Symptom Burden Score, and pharmacological therapy were also recorded. The analysis was primarily descriptive. In addition, adjusted linear mixed-effects models, logistic regression, likelihood ratio tests, and Spearman correlation with Bonferroni correction were applied. Five patients had technical problems. One patient removed the VitalPatch® during delirium, thus 30 patients were included in the analysis (age 69.7 [$\pm$ 14] years, 53.3% female). The VitalPatch® remained in place for a median of 88 hours (interquartile range 35 – 153) until death. A significant increase in HR (day -2: 3.70, 95% CI 1.81 to 5.59, $p < 0.001$; day -1: 7.64, 95% CI 5.79 to 9.48, $p < 0.001$; day 0: 12.26, 95% CI 10.42 to 14.11, $p < 0.001$) in the last three days before death was observed. In addition, an association between elevated HR and pain intensity was observed ($r = 0.32$, $p < 0.001$). The remaining parameters showed only minor changes. At the end of life, an overall increasing symptom burden was observed, particularly with regard to weakness, level of consciousness, and confusion. Medication was subsequently adjusted, including increased use of opioids and benzodiazepines. This study provides relevant evidence for possible prognostic markers and complements existing research with continuous real-time data.

Abkürzungsverzeichnis

AAPV	Allgemeine ambulante Palliativversorgung
Abb.	Abbildung
AF	Atemfrequenz
BMI	<i>Body-Mass-Index</i>
BP	Blutdruck (<i>blood pressure</i>)
CFS	Klinische <i>Frailty</i> Skala (<i>Clinical Frailty Scale</i>)
COPD	Chronisch obstruktive Lungenerkrankung (<i>Chronic obstructive pulmonary disease</i>)
CPS	<i>Clinician prediction of survival</i>
CPR	Kardiopulmonale Reanimation (<i>Cardiopulmonary resuscitation</i>)
CT	Computertomograph(ie)
DGP	Deutsche Gesellschaft für Palliativmedizin
EKG	Elektrokardiogramm
HES	Handlungsempfehlung Sterbephase
HF	Herzfrequenz
HOPE	Hospiz- und Palliativ-Erfassung
ICD	Implantierbarer Cardioverter-Defibrillator
IQA	Interquartilsabstand
KI	Konfidenzintervall
MRT	Magnetresonanztomograph(ie)
MW	Mittelwert
NRS	Numerische Ratingskala
NRW	Nordrhein-Westfalen
NYHA	<i>New York Heart Association</i>
OPS	<i>Objective Prognostic Score</i>
OR	<i>Odds Ratio</i>
pAVK	Periphere arterielle Verschlusskrankheit
PSBS	Palliativer Symptombelastungs-Score
SAPV	Spezialisierte ambulante Palliativversorgung
SD	Standardabweichung (<i>standard deviation</i>)
SI	Schockindex
SMD	Standardisierte Mittelwertdifferenz (<i>standardized mean difference</i>)
SpO ₂	Pulsoxymetrische Sauerstoffsättigung
SST	<i>Smart Sensor Technology</i>
Temp	Temperatur
TIA	Transitorisch ischämische Attacke

UKD	Universitätsklinikum Düsseldorf
WHO	Weltgesundheitsorganisation (<i>World Health Organization</i>)
WLAN	<i>wireless local area network</i>
Z.n.	Zustand nach

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	I
Summary	II
Abkürzungsverzeichnis.....	III
Inhaltsverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis.....	VIII
1. Einleitung.....	1
1.1 Definition von Palliativversorgung	1
1.2 Entwicklung der Palliativversorgung	1
1.3 Gegenwärtige Struktur der Palliativversorgung in Deutschland	2
1.4 Digitalisierung in der Palliativversorgung.....	3
1.5 Prognostik und Veränderungen in der Sterbephase	6
1.6 Ziele der Arbeit	12
2. Materialien und Methoden.....	13
2.1 Ethikvotum und administrative Rahmenbedingungen	13
2.2 Studienablauf	13
2.3 Studienkohorte: Ein- und Ausschlusskriterien und Einwilligung	15
2.4 Technische Umsetzung (VitalPatch® & Mobiltelefone).....	15
2.5 Datenerfassung.....	17
2.5.1 Demografische Daten	17
2.5.2 Symptomerfassung	18
2.5.3 Medikation.....	18
2.5.4 Prognose	19
2.5.5 Vitalparameter	19
2.6 Handlungsempfehlung Sterbephase	20
2.7 Statistische Methodik und Datenauswertung	20
3. Ergebnisse.....	22
3.1 Kohorten-Charakteristika und VitalPatch®-Daten.....	22
3.2 Trends.....	25
3.2.1 Ergebnisse der Symptomveränderungen	25
3.2.2 Medikamentenapplikation	29
3.2.3 Veränderungen der Herzfrequenz	30

3.2.4 Veränderungen der Atemfrequenz	30
3.2.5 Veränderungen der Temperatur	31
3.3 Korrelation zwischen Symptomen und Vitalparametern	32
3.4 Sensitivitätsanalysen	33
4. Diskussion	34
4.1 Schlussfolgerung / Kernaussagen	34
4.2 Klinischer Bezug	35
4.3 Ergebnisdiskussion.....	37
4.4 Methodische Diskussion und Limitationen der Studie.....	41
4.5 Ausblick.....	42
5. Literatur- und Quellenverzeichnis.....	44
6. Anhang.....	49

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Überblick des Studienablaufes	14
Abbildung 2	Lokalisation des VitalPatch® (angelehnt an MediBioSense®)	16
Abbildung 3	Überblick der Datenübertragung	19
Abbildung 4	<i>Study Flow</i>	22
Abbildung 5	Darstellung der Symptomlast über die Zeit	27
Abbildung 6	Entwicklung der Schmerzwerte bis zum Versterben	28
Abbildung 7	Verlauf des Gesamtwerts der Symptome	28
Abbildung 8	Zeitlicher Verlauf der Herzfrequenz über den Beobachtungszeitraum	30
Abbildung 9	Zeitlicher Verlauf der Atemfrequenz über den Beobachtungszeitraum	31
Abbildung 10	Zeitlicher Verlauf der Temperatur über den Beobachtungszeitraum	32
Abbildung 11	Korrelation zwischen Symptomintensitäten und den mittleren Vitalparametern	32

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Übersicht über Studien zur Vitalparametererfassung am Lebensende	9
Tabelle 2	Demografische Charakteristika der Studienteilnehmenden	23
Tabelle 3	Verlaufsdaten: Daten des VitalPatch® und des Monitorings	25
Tabelle 4	Symptomlast der letzten beiden Schichten vor dem Tod	26
Tabelle 5	Medikamentenapplikation am Tag des Studieneinschluss und am Todestag	29
Tabelle A1	Beschreibung der individuellen Symptomintensitäten (angelehnt an PSBS)	49
Tabelle A2	Kumulative Symptomlast bis zum Tode	50
Tabelle A3	Der Zusammenhang zwischen der verbleibenden Zeit bis zum Tod (in Stunden) und der Herzfrequenz (in Schlägen pro Minute)	51
Tabelle A4	Der Zusammenhang zwischen der verbleibenden Zeit bis zum Tod (in Stunden) und der Atemfrequenz (in Atemzügen pro Minute)	55
Tabelle A5	Der Zusammenhang zwischen der verbleibenden Zeit bis zum Tod (in Stunden) und der Temperatur (in °Celsius)	59

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in der vorliegenden Arbeit das generische Maskulinum verwendet. Die entsprechenden Personenbezeichnungen beziehen sich dabei auf alle Personen gleichermaßen.

1. Einleitung

1.1 Definition von Palliativversorgung

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) beschreibt *palliative care* als „Ansatz zur Verbesserung der Lebensqualität von Patienten und deren Familien, die mit Problemen konfrontiert sind, die mit einer lebensbedrohlichen Erkrankung einhergehen. Dies geschieht durch Vorbeugung und Lindern von Leiden, durch frühzeitiges Erkennen, sorgfältige Einschätzung und Behandlung von Schmerzen sowie anderen belastenden Beschwerden körperlicher, psychosozialer und spiritueller Art“ [1]. Zentraler Aspekt der Palliativversorgung ist die Lebensqualität [2]. Durch einen multiprofessionellen und interdisziplinären Ansatz sollen alle vier Dimensionen (physisch, psychisch, sozial, spirituell) wahrgenommen und berücksichtigt werden [2]. Palliativmedizinisches Handeln besteht vor allem in der Kontrolle und Linderung von Symptomen [2]. Bei der palliativen Betreuung soll weder der Sterbevorgang beschleunigt noch hinausgezögert werden [2]. Der Begriff „palliativ“ wird auf das lateinische Wort *pallium* zurückgeführt und bedeutet Mantel, Umhang [3]. Die Deutsche Gesellschaft für Palliativmedizin (DGP) empfiehlt die Verwendung des Begriffes Palliativversorgung [3]. Die Hospizversorgung ist durch haupt- und ehrenamtliche Betreuung und Unterstützung schwerstkranker und sterbender Menschen charakterisiert [4].

1.2 Entwicklung der Palliativversorgung

Die Idee, Symptome von sterbenden Menschen, ärztlich und pflegerisch zu lindern, gab es jedoch bereits im vierten und fünften Jahrhundert nach Christus [4]. Im 18. Jahrhundert wurde die Unterscheidung zwischen Einrichtungen der medizinischen Behandlung und Einrichtungen zur pflegerischen Versorgung sterbender Patienten deutlich [4]. Orte, an denen die Betreuung Sterbender stattfand, wurden als Hospize bezeichnet [4]. Als Begründerin der modernen Hospizbewegung gilt die britische Ärztin Cicely Saunders [4]. Die Psychiaterin Elisabeth Kübler-Ross legte mit ihrem Buch „Interviews mit Sterbenden“ (1971) den Grundstein für die moderne Sterbeforschung [4]. In Deutschland gab es bis 1978 offiziell eine ablehnende Haltung der katholischen Kirche gegenüber sogenannten „Sterbekliniken und Sterbeheimen“ [4]. Dies führte zu einer Verzögerung in der Entwicklung der Palliativversorgung in Deutschland [4]. Erst 1983 eröffnete eine

Palliativstation in Köln [4]. In den 1990er-Jahren konnten Fortschritte in der palliativmedizinischen Versorgung in Deutschland erreicht werden [4].

1.3 Gegenwärtige Struktur der Palliativversorgung in Deutschland

Die palliativmedizinische Versorgung ist in Deutschland in unterschiedlichen Formen möglich [5]. Es kann zwischen stationärer und ambulanter sowie allgemeiner und spezialisierter Versorgung unterschieden werden [5]. Die spezialisierte ambulante Palliativversorgung (SAPV) stellt ein multiprofessionelles Versorgungsangebot im häuslichen Bereich dar, das unter anderem bei der Therapie von Schmerzen und Kontrolle von Symptomen beiträgt [5]. Demgegenüber wird die palliative häusliche Betreuung durch Hausärzte als allgemeine ambulante Palliativversorgung (AAPV) bezeichnet [5]. In stationären Hospizen erfolgt die ärztliche Betreuung entweder im Rahmen der allgemeinen Palliativversorgung durch die Hausärzte oder im Rahmen der spezialisierten Versorgung bei komplexer Symptomlast durch die SAPV [4]. Palliativstationen in Krankenhäusern kümmern sich um Patienten, die unheilbare Erkrankungen aufweisen und eine Krankenhausbehandlung benötigen [5]. Ziel dieser Versorgung ist die Entlassung in das häusliche Umfeld [5]. Laut einer bundesweiten Erhebung der DGP existierten in Deutschland zum Stichtag 31.12.2022 insgesamt 336 Palliativstationen, was einem Anteil von 17,8% aller Krankenhäuser entspricht [6]. Die durchschnittliche Versorgungsdichte beträgt 34,1 Palliativbetten pro 1 Million Einwohner, wobei regionale Unterschiede bestehen [6]. Während das Saarland mit 51,4 Betten pro 1 Million Einwohner die höchste Dichte aufweist, liegt Bayern mit 36,5 Betten pro 1 Million Einwohner im Mittelfeld [6]. Nordrhein-Westfalen verzeichnet mit 31,5 Betten pro 1 Million Einwohner eine unterdurchschnittliche Versorgung [6]. Die meisten Palliativstationen befinden sich in Krankenhäusern mit onkologischen Therapieangeboten (80,8%), was darauf hindeutet, dass vorrangig Tumorpatienten betreut werden [6]. Tatsächlich hatten 80,0% der Palliativpatienten eine maligne Grunderkrankung, was auf eine Unterversorgung nicht-onkologischer Palliativpatienten hinweist [6]. Durchschnittlich wurden auf allen deutschen Palliativstationen 262 Patienten pro Jahr behandelt, davon verstarben im Mittel 130 pro Station [6]. Von den 262 Patienten wurden 78% nach Hause und 32% ins Hospiz entlassen [6]. Die Daten zeigen zudem einen Rückgang der Neugründungen: Während zwischen 2000 und 2009 noch 42,0% der heutigen Stationen entstanden, sank der Anteil zwischen 2020 und 2022

auf lediglich 4,1% [6]. Zudem äußerten 23,7% der befragten Palliativstationen die Sorge, dass ihre Station durch die geplante Krankenhausstrukturreform von einer Schließung bedroht sein könnte [6]. Im Rahmen der Hospiz- und Palliativ-Erfassung (HOPE) wurden 2014 Daten von 68 Palliativeinrichtungen mit über 1.800 Patienten analysiert [5]. Die häufigsten Symptome bei Aufnahme waren unter anderem Schwäche, Appetitmangel und Müdigkeit [5]. In der Finalphase, die laut S3-Leitlinie als die letzten drei bis sieben Tage definiert wird [2], dominieren Schmerzen, Atemnot und Rasselatmung [4].

1.4 Digitalisierung in der Palliativversorgung

Die Digitalisierung eröffnet in der Palliativversorgung neue Möglichkeiten. Sie unterstützt klinische Entscheidungsprozesse durch kontinuierliche und objektivierbare Daten [7]. Gleichzeitig kann die Belastung für Patienten möglichst gering gehalten werden [7]. Herkömmliche Vitalparameter-Erhebungen erfolgen in der palliativmedizinischen Versorgung meist diskontinuierlich [8]. So zeigte die Studie von Hwang et al. (2013), dass ein Abfall des Blutdrucks (BP) und eine niedrige pulsoxymetrische Sauerstoffsättigung (SpO_2) innerhalb von 48 Stunden den Tod zuverlässig vorhersagen [9]. Bruera et al. (2014) wiesen ähnliche Ergebnisse nach [10]. Ergänzend analysierten Sato et al. (2016) Patienten in der terminalen Phase [11]. Die Kombination aus Schockindex ≥ 1 und vermindertem Bewusstsein erwies sich als starker Prädiktor für den bevorstehenden Tod [11]. Hosoi et al. (2021) untersuchten unterschiedliche klinische Zeichen bei Nicht-Krebs-Patienten [12]. Die Pulslosigkeit der Arteria radialis war ein hoch spezifisches Spätzeichen [12]. In der Studie starben alle Patienten innerhalb von 72 Stunden nach dem Auftreten [12]. Jho et al. untersuchten 2016 den *Objective Prognostic Score* (OPS) [13]. Dieser erreichte eine Vorhersagegenauigkeit von 70-78% für das Überleben von drei Wochen [13]. Er beinhaltet u.a. das Vorhandensein von Dyspnoe und den Gesamtbilirubin-Spiegel [14]. Diese diskontinuierlichen Messungen zeigten zwar Trends, erlaubten jedoch keine präzisen Prognosen am Lebensende [8], [10]. Neuere Technologien wie *Smart Sensor Technology* (SST) versprechen eine dichtere, zeitnahe und schonendere Erfassung von Vitalparametern [7], [14]. Der Begriff SST umfasst nicht- oder nur minimal-invasive Sensoren, die physiologische Parameter wie BP, Herzfrequenz (HF) und Atemfrequenz (AF) erfassen [7]. Ziel dieser Technologien ist es, den Gesundheitszustand von Patienten kontinuierlich zu überwachen und objektivierbare Daten bereitzustellen [7]. Hierdurch

wird eine Brücke geschlagen zwischen traditionell klinischer Einschätzung und einer zunehmend digital basierten Prognostik [7], [14]. Gerade kontinuierliche Ansätze, wie bei Tanaka und Fukui et al., verdeutlichen, dass HF- und AF-Muster in den letzten Lebenstagen wertvolle digitale Parameter darstellen können [15], [16]. Während der letzten beiden Lebenswochen nahmen sowohl AF und HF als auch die Apnoe-Phasen zu [16]. Eine erhöhte maximale AF und eine insgesamt erhöhte mittlere HF waren ebenfalls bei Fukui et al. (2022) beobachtbar [15]. Vitalparameter können prognostisch wertvoll sein, andererseits besteht die Sorge, dass eine routinemäßige Nutzung in der Palliativversorgung Patienten zusätzlich belastet [17]. Ott et al. (2023) untersuchten in einem Review den möglichen Einsatz neuer Technologien in der Palliativversorgung [7]. Herkömmliche Überwachungstechnologien basieren meist auf direktem körperlichem Kontakt, wie etwa beim Elektrokardiogramm (EKG), das über Kabel mit dem Körper verbunden wird [7]. Diese könnten die Patienten irritieren, sich nachteilig auf die Bewegungsfreiheit auswirken oder die individuelle Pflege beeinträchtigen [7]. Angehörige könnten Hemmungen haben, die Patienten zu berühren [7]. Konventionelle Technologien seien im palliativen Setting oft weniger geeignet [7]. Vor diesem Hintergrund betonen Shi et al., dass ein neuartiger Ansatz mittels kontaktloser Überwachung die Lebensqualität eben nicht beeinträchtigen könnte [14]. Dabei sei es im Kontext des *Total Care*-Prinzips wichtig, die somatisch gemessenen Parameter nicht zum alleinigen Kriterium für pflegerische und medizinische Entscheidungen zu machen [7]. Mittlerweile liegen vermehrt Studien zum kontinuierlichen und/oder kabellosen Monitoring vor. Hatasaki et al. zeigten in einer großen Kohorte von Palliativpatienten, dass nächtliche Aktivitätsscores in den letzten Tagen und Wochen vor dem Tod mit der Symptomintensität assoziiert sind [18]. Diese wurden mit dem Nemuri SCAN erfasst [18]. Fukui et al. nutzten ebenfalls den Nemuri SCAN – ein kontaktloser Sensor, der unter der Bettmatratze angebracht ist und kontinuierlich Daten misst [15]. Mit der gleichen Technik beobachteten Ikuta et al. eine erhöhte AF (> 30/min.) bei 63,2% der Patienten, die im Mittel 4,17 Tage nach erstmaligem Auftreten mit dem Tod assoziiert war [19]. *Wearables* wurden in ersten prospektiven Studien bei stationären Palliativpatienten auf ihre Machbarkeit getestet [20]. Im Support-Trial verwendeten Helmer et al. Handgelenks- und Brustsensoren [20]. Der Handgelenkssensor maß u.a. die SpO₂ und die HF, während der Brustsensor ein einkanaliges EKG aufzeichnete [20]. Die Datenverfügbarkeiten lagen für HF bei 100% und bei der AF bei 99,9%, wohingegen die SpO₂ nur in 45,1% der Fälle valide erfasst werden konnte [20]. Dies verdeutlicht sowohl das Potenzial

kontinuierlicher Datenerhebung als auch die Grenzen aktueller Sensoren [20]. Hinzu kamen erhebliche Rekrutierungs- und Einwilligungshürden, die zu einem vorzeitigen Studienabbruch führten, da das Zielkollektiv nicht erreicht werden konnte [20]. Diese Schwierigkeiten unterstreichen, dass die Digitalisierung in der Palliativversorgung nicht nur eine technologische, sondern auch eine organisatorische und ethische Herausforderung darstellt [20]. Passend dazu untersuchten Seibel et al. die Pilot-Implementierung eines nicht-invasiven, bettbasierten Distress-Detektionssystems und zeigten in Interviews, dass der Nutzen vor allem als alltagspraktische Unterstützung gesehen wird, die klinische Einordnung jedoch nicht ersetzt [21]. Neben *Wearables* wurden auch bettbasierte *load-cell-Systeme* untersucht [22]. Vier Sensoren, die unter die Beine des Krankenhausbetts gesetzt wurden und kontinuierlich die Gewichtslast erkennen und kleinste Bewegungen durch Atmung und Herzschläge messen sollen [22]. Nozaki-Taguchi et al. zeigten, dass sich je nach klinischem Zustand Unterschiede in Aktivität und in der Unregelmäßigkeit von AF und HF darstellen lassen [22]. Mit dem gleichen System zeichneten Hasegawa et al. 48 Stunden lang die Atmung von Patienten mit fortgeschrittener Krebserkrankung auf [23]. Unter Opioiden war die AF geringer und der Atemrhythmus deutlich unregelmäßiger [23]. Ataktische Atmung trat ausschließlich in der Opioidgruppe auf [23]. Für die in der Palliativmedizin häufige Kombination aus Opioiden und Benzodiazepinen liefern Yoshimura et al. ergänzende Daten [24]. Nach zusätzlicher Benzodiazepin-Applikation unter laufender Opioidtherapie nahm die AF ab [24]. Gleichzeitig blieben Apnoefrequenz und Irregularitätsmaße unverändert [24]. Ein weiterer Forschungsansatz fokussiert sich auf kontaktlose Sensorsysteme, wie Radar, die die Belastung für Patienten und Angehörige minimieren [25]. Die Verknüpfung digitaler Signale mit Symptomverläufen eröffnet neue Perspektiven für eine datenbasierte und individualisierte Palliativversorgung [25]. In einer klinischen Validierungsstudie bei stationären Palliativpatienten zeigten Griebhammer et al., dass radarbasierte HF-Messungen eine hohe Übereinstimmung mit EKG-Referenzmessungen aufweisen [25]. Bei 92,7% der Langzeitmesswerte (*overnight*) und 93,9% der Kurzzeitmesswerte (eine Stunde) lagen die Abweichungen innerhalb von ± 5 Schlägen pro Minute [25]. Darüber hinaus konnten Langzeitaufnahmen symptomassoziierte Veränderungen abbilden, sodass Radarverfahren potenziell nicht nur Vitalparameter, sondern auch Symptomverläufe und Therapieansprechen monitoren können [25]. Aufbauend hierauf untersuchten Yip et al. (2025) den Einsatz von Radar- und Bewegungsbiosignalen in Kombination mit *Machine-Learning*-Algorithmen [26]. Bei 16 Palliativpatienten mit insgesamt rund 140 Stunden

Aufzeichnungszeit konnte der Vitalstatus (lebend gegenüber verstorben) mit einer *accuracy* von 92–98% klassifiziert werden [26]. Diese Arbeit betont nicht nur die technische Leistungsfähigkeit, sondern auch den Vorteil kontinuierlicher und bis zum Tod reichender Signale, die ohne zusätzliche Belastung für Palliativpatienten, Angehörige und dem Behandlungsteam erhoben werden [26].

1.5 Prognostik und Veränderungen in der Sterbephase

Die Prognoseabschätzung in der Sterbephase erfolgt häufig auf Basis subjektiver respektive klinischer Einschätzungen [17]. Mori et al. (2022) zeigten, dass Pflegefachkräfte oft genauere Prognosen als Ärzte treffen [17]. Die prognostische Einschätzung wurde u.a. mithilfe der *clinician prediction of survival* (CPS) untersucht [10], [17]. CPS bezeichnet die klinische Einschätzung in Form einer zeitlichen, probabilistischen Prognose oder anhand der *surprise question* [17]. Bei der zeitlichen CPS wird ein konkreter Zeitraum bis zum Tod geschätzt und weist eine begrenzte Genauigkeit von etwa 20-30% auf [17]. Im Gegensatz dazu erweist sich die probabilistische Einschätzung, bei der die Überlebenswahrscheinlichkeit in Prozent angegeben wird, insbesondere in den letzten 24 bis 48 Stunden genauer als die zeitliche CPS [17]. Die Drei-Tages-*surprise question* („Würde es Sie überraschen, wenn der Patient innerhalb von drei Tagen stirbt?“) zeigt eine hohe Sensitivität (94,3%) und einen hohen negativen prädiktiven Wert (83,6%) [17]. Die genannten Gütemaße können durch Primärdaten untermauert werden [27]. Ikari et al. evaluierten die Drei-Tages-*surprise question* in einer großen multizentrischen Kohorte [27]. Die Autoren bestätigten eine hohe Sensitivität (94,3%) bei gleichzeitig niedriger Spezifität (26,3%) [27]. Auch Veränderungen der Vitalparameter können Hinweise auf den bevorstehenden Tod geben. In den letzten Lebenstagen zeigte sich ein allmählicher Abfall des BP und der SpO₂ [17]. Dabei blieben HF und AF weitgehend konstant [17]. Gleichzeitig wiesen 40–80% der Patienten in den letzten drei Tagen normale Vitalparameter auf [17]. Ergänzend dazu beschreibt Simões et al. in einem Scoping Review klinische Zeichen mit hoher Spezifität für den bevorstehenden Tod innerhalb von 72 Stunden [28]. Als wiederkehrendes Zeichen wird Atmung mit mandibulärer Bewegung beschrieben [28]. Dieses Zeichen ist mit einer sehr hohen Spezifität und häufigem Auftreten in der letzten 12-Stunden-Phase assoziiert [28]. Viele Zeichen sind jedoch wenig sensitiv und ein fehlendes Zeichen schließt ein zeitnahes Versterben nicht aus [28]. Power et al. (2023) verdeutlichten die Heterogenität

der Studienlage bezüglich der Prognostik [8]. Insgesamt wurden 26 Prognosestudien aufgeführt [8]. Die Spannweite der Kohortengröße reichte von 24 bis 3.062 Patienten und es wurden unterschiedliche Zeitfenster und Endpunkte untersucht [8]. Prädiktive Faktoren für den bevorstehenden Tod waren z.B. Tachykardie (16 Studien), Tachypnoe (acht Studien) sowie niedriger systolischer BP (sieben Studien) [8]. Sechs Studien nutzten serielle, während drei Arbeiten tägliche Messungen durchführten [8]. Manche Studien nutzten dabei manuelle Erfassungen [10], [29], andere kontinuierliche, *non-wearable* Sensoren [16]. Es bleibt unklar, wie zuverlässig Vitalparameter allein als Prognoseindikatoren sind, da nicht alle Studien übereinstimmende Ergebnisse liefern [8]. Insgesamt bestehen Unsicherheiten bezüglich der praktischen Relevanz eines kontinuierlichen Monitorings für die klinische Entscheidungsfindung [10]. Neben Vitalparametern spielt auch die Symptomlast eine wichtige Rolle für den weiteren Lebensverlauf [17]. Patienten mit Symptomverbesserung wiesen eine längere mediane Überlebenszeit von 23-31 Tagen auf. Bei stabiler Symptomatik lag sie bei 27-29 Tagen. Bei symptomatischer Verschlechterung hingegen lag sie nur bei 15-21 Tagen [17]. Bemühungen sollten darauf gerichtet werden, die Ziele der Prognose zu klären und die Leistungsfähigkeit von Evaluationen und Assessments zu testen [17]. Es sollte untersucht werden, ob Prognostik eine klinische Relevanz mit sich bringt und die Situation für die Patienten und/oder für die Angehörigen verbessert [17]. Tanuseputro et al. untersuchten *End-of-life*-Verordnungen in Langzeitpflegeeinrichtungen [30]. Viele Patienten erhielten in den letzten 14 Tagen mindestens ein subkutanes Medikament, meist Opioide [30]. Die Verordnungsraten unterschieden sich deutlich zwischen den Einrichtungen [30]. Meesters et al. untersuchten kontinuierliche Infusionen in der letzten Lebenswoche im Krankenhaus [31]. Sedativa und Opioide wurden häufig als Dauerinfusion eingesetzt [31]. Prommer beschreibt Midazolam als zentrales Medikament in der Palliativmedizin [32]. Eine Indikation für Midazolam kann bestehen bei Agitation, Angst, teilweise bei Dyspnoe und zur gezielten Sedierung bei therapierefraktärer Symptomlast [32]. In der Versorgungsrealität wird symptomatische Verschlechterung häufig von medikamentösen Anpassungen begleitet [33]. Nguyen et al. untersuchten eine sehr große Hospiz-Kohorte [33]. Dabei zeigte sich eine häufige Kombination von Opioid-Verordnungen mit den zentral dämpfenden Benzodiazepinen [33]. Die Relevanz für diese Arbeit besteht in einer möglichen Beeinflussung von vegetativen Reaktionen wie Veränderungen der HF [33]. Taburee et al. analysierten Studien zu Anticholinergika bei Russellatmung [34]. Der Nutzen der Therapie blieb unklar [34]. Ein gesicherter Vorteil gegenüber Placebo wurde

nicht gezeigt [34]. Li et al. untersuchten Dexmedetomidin zur gezielten Sedierung bei refraktärer Dyspnoe [35]. Darunter sanken Dyspnoe- und Sedierungsscores sowie die AF [35]. HF und SpO₂ blieben unverändert, während Abfälle des BP beobachtet wurden [35]. Thomas et al. untersuchten Dexmedetomidin versus Midazolam in einem randomisierten Setting am Lebensende [36]. Die Sedierungstiefe war vergleichbar, die Delirschwelle war für Dexmedetomidin geringer [36]. Hiratsuka et al. zeigten, dass exemplarisch Müdigkeit, Appetitlosigkeit oder Atemnot auf eine zeitlich kürzere Prognose hinweisen [37]. Die neueren Studien von Griebhammer et al. (2024), Helmer et al. (2025) und Yip et al. (2025) fokussieren sich primär auf Machbarkeit und technische Nutzbarkeit. Systematische Analysen von Vitalparameter-Veränderungen werden nur exemplarisch dargestellt [20], [25], [26]. Insgesamt zeigt die Literatur ein hohes technisches Potenzial, aber eine heterogene Evidenz zur klinischen Relevanz. Es fehlen insbesondere prospektive Daten mit kontinuierlicher Erfassung bis zum Tod, kombiniert mit Symptom- und Medikationsverläufen. Diese Arbeit schließt diese Lücke durch simultane Betrachtung von Vitalparametern, Symptomintensitäten und Medikation in der Sterbephase auf einer Palliativstation. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht veröffentlichter Arbeiten zur Vitalparametererfassung. Die Studien unterscheiden sich u.a. in Kohortengröße, dem Überwachungszeitraum und den erhobenen Vitalparametern.

Tabelle 1. Übersicht über Studien zur Vitalparametererfassung am Lebensende.

Autoren	Population	Parameter (Auswahl)	Zeitraum	Kontinuität	Ergebnisse (Auswahl)
Hwang et al., (2013) [9]	n = 181, terminal Erkrankte auf einer Palliativstation	demografische Daten; klinische Symptome; HF, BP, Temp, SpO ₂	letzte 48 Stunden des Lebens; Tag des Todes	diskontinuierlich, nicht spezifiziert	Abnehmender BP und niedrige SpO ₂ als zuverlässigste Prädiktoren
Bruera et al., (2014) [10]	n = 357, fortgeschrittene Tumorerkrankte auf einer akuten Palliativstation	demografische Daten; AF, HF, BP, Temp, SpO ₂	von Aufnahme bis Tod oder Entlassung	diskontinuierlich, zweimal täglich	Abnehmender BP und SpO ₂ , klinisch wenig hilfreich für 3-Tages-Prognose; > 50% mit HF > 100 Schlägen pro Minute
Sato et al., (2016) [11]	n = 670, terminal Erkrankte	SI; Bewusstsein; demografische Daten; Medikation	bei Aufnahme	diskontinuierlich, bei Aufnahme	SI > 1 und vermindertes Bewusstsein als zuverlässiger Prädiktor für kurzfristige Überlebenszeit
Jho et al., (2016) [13]	n = 1146, 58 Versorgungseinrichtungen	<i>Objective Prognostic Score</i> (OPS)	Tag 1 bis Tod	keine genauen Angaben	OPS mit 70–78% Genauigkeit zur Vorhersage des Überlebens je nach Setting
Hosoi et al., (2020) [29]	n = 47, Nicht-Krebs-Patienten	demografische Daten; Vorerkrankungen; BP, HF, Temp, SpO ₂	bis 7 Tage vor Tod	diskontinuierlich, mind. 2× täglich	Signifikante Abnahme von BP und SpO ₂ ab dem 3. Tag vor Tod

Hosoi et al., (2021) [12]	n = 50, Nicht-Krebs-Patienten	BP, HF, Temp, AF, SpO ₂ ; klinische Zeichen	ab Beginn (reduzierte orale Aufnahme) bis Tod	diskontinuierlich, alle 12 Stunden bis Tod	Verschiedene Modelle sagten Tod innerhalb von 7 Tagen mit hoher Genauigkeit voraus
Tanaka et al., (2021) [16]	n = 26, Tumorerkrankte auf Palliativstation	AF, HF, Apnoeereignisse pro Stunde	bis Tod	kontinuierlich	Signifikanter Anstieg von HF (+ 1,51 Schläge pro Minute, 95% KI 1,50–1,52), AF und Apnoeereignissen in den letzten 2 Wochen
Fukui et al., (2022) [15]	n = 24, sterbende Patienten	AF, HF, Aktivität; demografische Daten, Symptome, Medikation	letzte 2 Wochen des Lebens	kontinuierlich pro Minute (NEMURI SCAN)	Erhöhte maximale AF und mittlere HF mit bevorstehendem Tod assoziiert
Ikuta et al. (2021) [19]	n = 23 (19 analysiert); Palliativpatienten	AF	Sterbephase (aktiv sterbend; Beobachtungszeit ≥ 7 Tage)	Kontinuierlich pro Minute (NEMURI SCAN)	AF > 30 / Min. bei 63% der Patienten
Hatasaki et al. (2025) [18]	n = 1111; Patienten mit fortgeschrittenem Krebs	Aktivitätsscore	Letzte Tage / Wochen	kontinuierlich (NEMURI SCAN)	Nächtliche Aktivitätsscores mit Symptomintensitäten assoziiert
Nozaki-Taguchi et al. (2023) [22]	n = 19; Patienten mit fortgeschrittenem Krebs	4 <i>load-cells</i> unter Bettbeinen: AF / HF-Variabilität	Für 48 Stunden nach Aufnahme	Kontinuierlich (bettbasiert, <i>load-cells</i>)	Unregelmäßigkeiten von AF / HF je nach klinischem Zustand

Hasegawa et al. (2021) [23]	n = 51; Patienten mit fortgeschrittenem Krebs	4 <i>load-cells</i> unter Bettbeinen: AF	Für 48 Stunden nach Aufnahme	Kontinuierlich (bettbasiert, <i>load-cells</i>)	Unter Opioiden geringere AF und unregelmäßiger Atemrhythmus
Yoshimura et al. (2024) [24]	n = 24, terminal erkrankte Patienten	4 <i>load-cells</i> unter Bettbeinen: AF, Apnoe-Hypopnoe-Frequenz	Vor- und nach (Erst-) Benzodiazepin-Gabe	Kontinuierlich	Nach Benzodiazepin-Gabe unter Opioidtherapie: AF nimmt ab
Grießhammer et al., (2024) [25]	n = 34/19, Palliativstation, Klinik	Radar: HF (Validierung gegenüber EKG)	<i>Overnight</i> / 1 Stunde	kontinuierlich	> 92% Übereinstimmung mit EKG
Yip et al., (2025) [26]	n = 16, Palliativ	Radar + <i>Machine Learning</i>	5-min-Segmente	kontinuierlich	<i>balanced accuracy</i> 0,92–0,98 für lebend vs. tot
Helmer et al., (2025) [20]	n = 7, Palliativstation	Wearables: HF, AF, SpO ₂ , Temp	bis 30 Tage	kontinuierlich	HF und AF valide; SpO ₂ nur 45% valide

n = Anzahl der Studienteilnehmer, AF = Atemfrequenz, BP = Blutdruck, EKG = Elektrokardiogramm, HF = Herzfrequenz, Temp = Temperatur, SpO₂ = pulsoxymetrische Sauerstoffsättigung, SI = Schockindex

1.6 Ziele der Arbeit

Veränderungen der Vitalparameter am Lebensende, wie steigende HF, AF und Apnoe-Phasen, sind in vorherigen Studien beschrieben worden. Kontinuierliches, kabelloses Monitoring könnte Veränderungen im Verlauf ohne Beeinträchtigung erfassen. Die vorliegende Arbeit analysiert Veränderungen von Vitalparametern, Symptomen und Medikation von Patienten auf einer Palliativstation und könnte durch objektive Parameter die klinische Einschätzung und Prognostik unterstützen. Zu diesem Zweck wird die Praktikabilität einer kontinuierlichen, kabellosen Überwachung der Vitalparameter untersucht. Wir erwarten Veränderungen der Vitalparameter, der Symptomlast und des Medikamentenbedarfs sowie Korrelationen zwischen Vitalparametern und Symptomlast. Folglich sind die Ziele: 1) die Überprüfung der Praktikabilität des kontinuierlichen Monitorings, 2) die Analyse von Veränderungen der Vitalparameter am Lebensende sowie 3) die Beschreibung ihrer Zusammenhänge mit Symptomen sowie mit Veränderungen der Medikation mit dem Ziel, Muster zu erkennen, die die klinische Prognose, die Symptomerfassung und das Symptommanagement optimieren.

2. Materialien und Methoden

2.1 Ethikvotum und administrative Rahmenbedingungen

Ein positives Votum der Ethikkommission der medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität in Düsseldorf wurde am 18.03.2023 erteilt (Studennummer: 2022-1981_1-andere Forschung erstvotierend. 5GTonic – 5G based patient monitoring in Cardiology). Es wurde spezifisch als Amendment für das Projekt „Giga for Health: 5G Medizincampus NRW“ (Nordrhein-Westfalen) der Klinik für Kardiologie, Pneumologie und Angiologie des Universitätsklinikums Düsseldorf (UKD) geprüft und bewilligt. Die Verbrauchsmaterialien (VitalPatch®) wurden dabei vom Land NRW finanziell gefördert [38]. Eine industrielle Förderung erfolgt nicht.

2.2 Studienablauf

Es handelt sich um eine prospektive, monozentrische Beobachtungsstudie von Mai 2023 bis März 2024, die am UKD durchgeführt wurde. Nach der stationären Aufnahme auf die Palliativstation erfolgte in der klinischen Routinepraxis die Einstufung der Patienten bezüglich der erwarteten verbleibenden Lebenszeit (Monate-Jahre, Wochen-Monate, Tage-Wochen, Tage). Geeignete Patienten wurden identifiziert und kontaktiert. Nach informierter Einwilligung wurde das kontinuierliche, kabellose Monitoring initiiert. Bis zum Tod oder zur Verlegung der Patienten wurden dann Echtzeitdaten von HF, AF und der Temperatur (Temp) erhoben. Parallel wurden aus der Dokumentation der Patienten Daten zur Symptomerfassung sowie zur Medikation erhoben. Eine orientierende Studienübersicht findet sich in Abbildung 1.

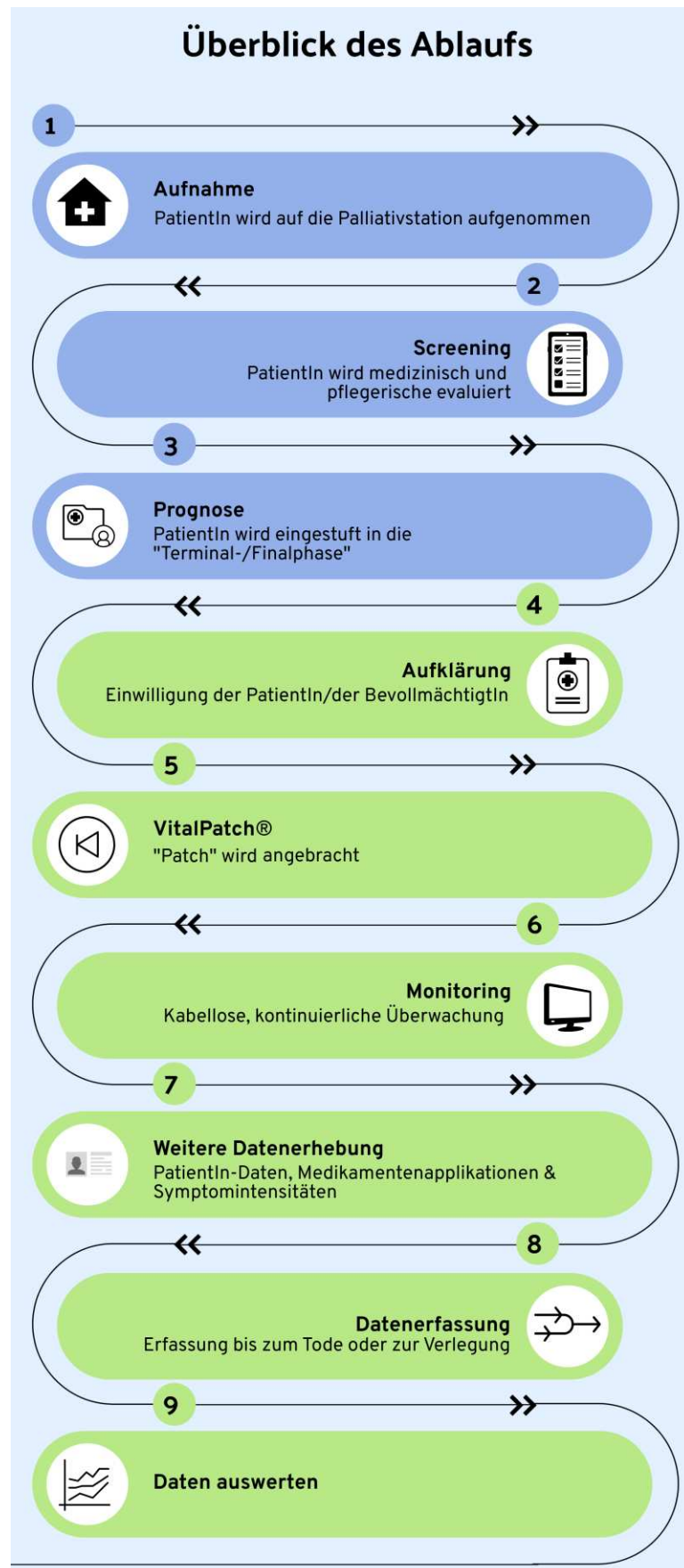


Abb. 1. Überblick des Studienablaufs.
Von der stationären Aufnahme bis zur Datenauswertung.

2.3 Studienkohorte: Ein- und Ausschlusskriterien und Einwilligung

Es wurden Patienten der Palliativstation PM01 des UKD eingeschlossen. Die Versorgung der Patienten wurde durch die Studie nicht beeinflusst. Die Patienten mussten mindestens 18 Jahre alt sein und sich gemäß der interprofessionellen Teameinschätzung nach Aufnahme in der Terminal- (Prognose Tage-Wochen) oder Sterbephase (Prognose Tage) befinden. Als Terminal- oder Sterbephase galt die interprofessionelle Prognoseeinschätzung von drei bis sieben Tagen. Im Folgenden sind die Begriffe als synonym zu verstehen. So galt als Einschlusskriterium eine Prognoseeinschätzung von Stunden bis Tagen oder Tagen bis Wochen. Es lagen keine weiteren Ein- oder Ausschlusskriterien vor. Nach informierter Einwilligung der Patienten bzw. der vertretungsberechtigten Personen (z.B. Vorsorgevollmacht/Betreuung) wurde die Datenerhebung eingeleitet. Die Daten der Teilnehmer wurden pseudonymisiert erhoben und ausgewertet. Der Studieneinschluss erfolgte freiwillig. Die Patienten sowie ihre rechtlichen Vertreter hatten jederzeit die Möglichkeit, die Studie abubrechen.

2.4 Technische Umsetzung (VitalPatch® & Mobiltelefone)

VitalPatch® ist ein technisches Produkt der Firma MediBioSense® aus Doncaster im Vereinigten Königreich [39]. Es ist ein kabelloses, batteriebetriebenes Medizinprodukt, welches zum Vitalparameter-Monitoring zum Einsatz kommt [40]. Fortlaufend können die HF [in Schlägen pro Minute], ein unipolares EKG, die AF [in Atemzügen pro Minute], die Temp [in °Celsius oder °Fahrenheit] sowie die Körperposition, inklusive Sturzerkennung, erfasst werden [40]. Über *Bluetooth* 4.1 ist bis zu einer Entfernung von zehn Metern eine Übertragung auf ein *Smartphone* möglich [40]. Die Batterielaufzeit beträgt ca. 168 Stunden, also sieben Tage [40]. Die VitalPatch®-Sensoren werden gemäß der Herstellerangabe auf die linke Brust geklebt [40]. Idealerweise werden sie kraniomedial nach kaudolateral in Projektion auf die Herzachse ausgerichtet (siehe Abbildung 2) [40].

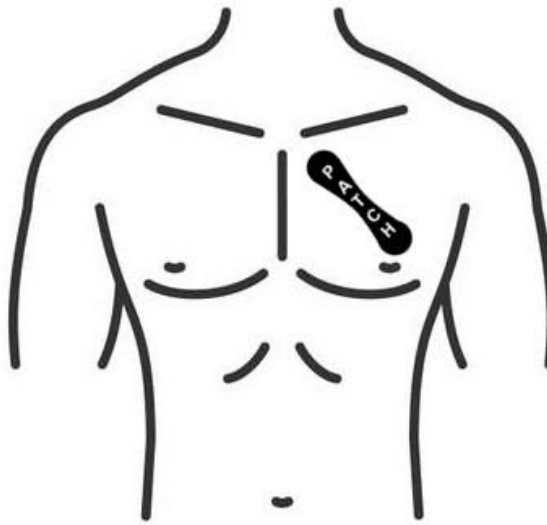


Abb. 2. Lokalisation des VitalPatch® (angelehnt an MediBioSense® [41]).

Nach der herstellergerechten Fixierung des VitalPatch® erfolgt das Anschalten durch einen Druckknopf [40]. Dieser wird ca. fünf Sekunden gedrückt, bis ein grünes Signal illuminiert [40]. Die VitalPatch®-Sensoren sind folglich aktiv und nicht deaktivierbar [40]. Anschließend wird das beigelegte Mobiltelefon gestartet [40]. Die auf dem Mobiltelefon installierte Software (*MediBioSense HealthStream®*) stellt nun automatisch eine Verbindung zu dem VitalPatch® her [40]. Durch ein direktes Messverfahren können HF und AF sofort erfasst werden [40]. Die Temp muss zunächst mittels Thermometer gemessen werden und kann nach etwa 30 Minuten in die Software zur Kalibrierung übertragen werden [40]. Die Referenz-Temp wurde mit einem klinisch üblichen Thermometer nach Stationsstandard axillär gemessen. Im Verlauf werden die Temp-Abweichungen detektiert [40]. Die Körperposition muss ebenfalls initial abgeglichen werden. Es wird zwischen „liegend“, „aufrecht sitzend“ und „gehend“ unterschieden [40]. Die VitalPatch®-Sensoren ermöglichen den Patienten, ihren Alltag normal nachgehen zu können [40]. Zu viel Wasser- oder Feuchtigkeitsexposition durch Sauna oder Baden kann zu Störungen des Geräts oder zum Lösen des Adhäsives führen [40]. Gewöhnliches Duschen stellt kein Problem dar [40]. Als unerwünschte Effekte können Ausschlag, Quaddeln oder andere dermatologische Reaktionen auftreten [40]. Kontraindikationen stellen Allergien gegen Hydrokolloid-Verbände dar [40]. Zudem sollte bedacht werden, dass bei Patienten mit Schrittmacher-Implantationen eine Interferenz mit den Messdaten entstehen könnte [40]. Die VitalPatch®-Sensoren sollten

vor Untersuchungen mittels Magnetresonanztomographie oder Röntgen-/Computertomographie entfernt werden [40]. Weitere produktspezifische und technische Informationen können den Quellen und Tabellen des Herstellers entnommen werden [40]. Die verwendeten Mobiltelefone sind Modelle der Samsung Galaxy S6-Reihe. Voraussetzung für eine stabile Datenübertragung ist eine konstante Internet-Verbindung. Im Rahmen des 5G-Projekts, welches durch das Nordrhein-Westfalen-Förderprojekt „Giga for Health“ finanziert wird, soll eine solche Verbindung sichergestellt sein [38]. Bei allen eingeschlossenen Patienten wurde die von der UKD vergebene Gerätenummer des eingesetzten Samsung Mobiltelefons (Beispiel: 5267711) dokumentiert. Gleiches gilt für die eingesetzten VitalPatch®-Sensoren (Beispiel: AVC2B008BF_0*****).

2.5 Datenerfassung

Für die Studie wurden systematisch verschiedene medizinische und demografische Daten erhoben. Dazu zählen grundlegende Informationen wie Alter, Geschlecht und Komorbiditäten, die Erfassung der Symptome, die Dokumentation der Medikation, die interdisziplinäre Einschätzung der Prognose sowie die kontinuierliche Aufzeichnung von Vitalparametern mittels VitalPatch®. Die nachfolgenden Unterkapitel erläutern die verwendeten Erhebungsmethoden im Detail.

2.5.1 Demografische Daten

Erfasst wurden Alter, Geschlecht, Gewicht, Größe sowie der aktuelle „funktionelle Status“ der Patienten. Dieser ist eingeteilt in drei Abhängigkeitsstufen: vollständig, partiell abhängig oder unabhängig. Komorbiditäten wurden in drei Kategorien eingeteilt und dokumentiert: a) vorhanden (die Vorerkrankung ist diagnostiziert), b) nicht vorhanden (die Vorerkrankung ist nicht diagnostiziert), und c) unbekannt/nicht diagnostiziert (keine Informationen zur Vorerkrankung verfügbar). Zu den erfassten Vorerkrankungen zählen arterielle Hypertonie, pulmonale Hypertonie, Diabetes mellitus, Raucherstatus, zerebrale Verschlusskrankheit, periphere arterielle Verschlusskrankheit, chronisch obstruktive Lungenerkrankung, Dialysepflicht, laufende Immuntherapie, Zustand nach (Z.n.) Apoplex, Z.n. kardiale Dekompensation innerhalb der letzten zwölf Monate, Z.n. Myokardinfarkt, implantierter Schrittmacher, Z.n. kardiopulmonaler Reanimation, NYHA-Klassifikation (*New York Heart Association*) sowie Vorliegen einer dementiellen Erkrankung. Zusätzlich wurde die *Clinical Frailty Scale* (CFS) erhoben, ein

in der klinischen Praxis häufig eingesetztes Instrument zur Einschätzung des *Frailty*-Grades (dt.: Gebrechlichkeit) von Patienten [42]. Die Skala reicht von 1 (sehr fit) bis 9 (terminal krank) [42]. Das Vorhandensein einer Tumorerkrankung sowie die Differenzierung ihrer Primärtumoren wurden dokumentiert. Eine bekannte oder diagnostizierte Metastasierung wurde entsprechend erfasst.

2.5.2 Symptomerfassung

Symptome wurden von den Pflegefachkräften der Palliativstation PM01 erfasst. Dies erfolgt zu jeder Arbeitsschicht, also im Früh-, Spät- und Nachtdienst. Die Symptomerfassung basiert auf dem Palliativen Symptombelastungs-Score (PSBS) [43]. Folgende Symptome werden in fünf Abstufungen eingeschätzt: Vigilanz, Verwirrtheit, Angst, Schwitzen, Schwäche, Übelkeit, Erbrechen, Dyspnoe, Husten und Juckreiz. Die 0 bedeutet, dass keine Symptomatik besteht, während eine 4 die größtmögliche Beeinträchtigung darstellt. Obstipation wird dichotom (ja/nein) eingeschätzt. Schmerzen werden entsprechend der Numerischen Rating-Skala von 0–10 bewertet. Abschließend wird ein Gesamtwert aller Einzelpunkte gebildet. Der maximal erreichbare Wert beträgt 51. Dieser ergibt sich aus zehn Symptomen à 0–4 (= 40 Punkte) plus Obstipation (0–1) und Schmerzen (0–10). Für die Studie wurden die erhobenen Einschätzungen für den Zeitraum der VitalPatch®-Datenerfassung dokumentiert. Im Anhang befindet sich eine vollständige Übersicht auf Basis des PSBS, die die Symptomeinschätzungen sowie deren Bedeutung darstellt (s. Tabelle A1).

2.5.3 Medikation

Die individuellen Medikamentenpläne auf der Palliativstation PM01 werden elektronisch erstellt, jedoch in Papierform ausgeführt. Pflegefachkräfte dokumentieren verabreichte Dauer- und Bedarfsmedikation. In dieser Studie wurden die am Tag des Studieneinschlusses verabreichten Medikationen und die Medikationen zum Studienende (Tod oder Verlegung/Entlassung) aus den individuellen Behandlungsplänen dokumentiert. Ein Medikament wurde als „appliziert“ bzw. „gegeben“ gewertet, wenn am jeweiligen Tag mindestens eine Applikation nachweisbar war. Zu der Medikation zählt in diesem Sinne auch die Applikation von Infusionen oder Ernährungslösungen (enteral oder parenteral). Dokumentiert wurden Opioide und Nicht-Opioide, Antidepressiva, Antikonvulsiva, Antiemetika, Laxantien, Co-Analgetika, Benzodiazepine, intravenöse Flüssigkeit, parenterale Flüssigkeit/Ernährung,

Antihypertensiva, Antiarrhythmika, Diuretika, Anticholinergika, Antibiotika, Antithrombotika/Antikoagulantien und Protonenpumpeninhibitoren.

2.5.4 Prognose

In der Regel findet donnerstags vormittags eine interdisziplinäre und interprofessionelle Stationsbesprechung statt. An dieser nehmen Ärzte, Pflegefachkräfte, Kunst-/Musiktherapeuten, Seelsorger, Sozialarbeiter, Physiotherapeuten sowie Psychologen teil. Studenten, Auszubildende oder Praktikanten können ebenfalls partizipieren und sich einbringen. Dort wird u.a. die potenzielle Prognose der Patienten evaluiert. Vier Intervall-Optionen werden unterschieden und individuell geschätzt: 1) Tage; 2) Tage bis Wochen; 3) Wochen bis Monate und 4) Monate bis Jahre. Diese Prognoseabschätzung wurde erfasst und mit dem tatsächlichen Eintritt des Todes verglichen.

2.5.5 Vitalparameter

HF, AF, Temp, Körperposition und Stürze werden gemäß der Herstellerangaben kontinuierlich detektiert. Die Daten werden kabellos per *Bluetooth* an ein in der Nähe befindliches Mobiltelefon übertragen. Dieses erfasst mithilfe einer Hersteller-Software die gemessenen Werte. Die Datensätze wurden pseudonymisiert auf der Website <https://med-uni-duesseldorf.web.app/> gespeichert. Zugriff hatten ausschließlich autorisierte Studienmitarbeitende. Abbildung 3 verdeutlicht schematisch den Ablauf der Datenübertragung.

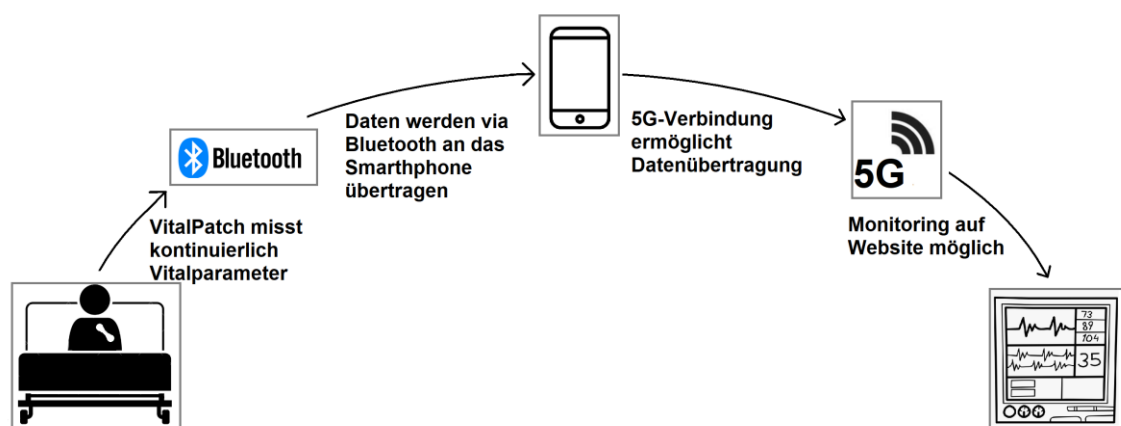


Abb. 3. Überblick der Datenübertragung.

2.6 Handlungsempfehlung Sterbephase

Die Handlungsempfehlung Sterbephase (HES) ist ein Leitfaden mit dem Ziel der verbesserten Betreuung sterbender Patienten [44]. Die Optimierung der Kommunikation, eine gesteigerte Sicherheit im Umgang mit den Sterbenden und den Angehörigen sowie regelmäßige Medikationsplan-Überprüfung werden durch die HES angeregt [44]. In der HES sind Kriterien für die Sterbephase entnehmbar, Angaben zur Kommunikation mit dem Umfeld hinterlegt sowie Algorithmen zum Umgang bei bestimmter Symptomatik dargestellt [45]. Es wurde dokumentiert, ob und zu welchem Zeitpunkt ein Einschluss in die HES erfolgte.

2.7 Statistische Methodik und Datenauswertung

Initial wurden die Daten deskriptiv erfasst. Stündliche Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) wurden für HF, AF, Temp und Körperposition berechnet. Zu Beginn der Auswertung wurden die Daten der VitalPatch®-Sensoren über das Programm Windows PowerShell (Microsoft, Version 5.1) exportiert [46]. Dafür war die Eingabe der individuellen VitalPatch®-Identifikationsnummern erforderlich. Für die Entschlüsselung in eine lesbare Microsoft Excel-Tabelle (Microsoft, Version 2602) wurde die Software Python (Python, Version 3.9.2) verwendet [47]. Die Werte der HF wurden bereinigt. Werte unter 30 bzw. über 155 Schläge pro Minute wurden ausgeschlossen. Für die AF und Temp wurden keine zusätzlichen Plausibilitätsgrenzen festgelegt. Die Grenzen wurden gewählt, um offenkundige Artefakte auszuschließen. Die im 4-Sekunden-Intervall registrierten Daten für HF, AF und Temp wurden in stündliche Mittelwerte umgerechnet und extrahiert. Die Körperposition wurde als Prozentanteil „liegend“ pro Tag angegeben. Um den Zusammenhang zwischen der Zeit bis zum Tod und der Symptomlast zu untersuchen, wurden lineare *Mixed-Effects*-Modelle verwendet. Dabei wurde der individuelle Fall als zufälliger Effekt (*Random Effect*) berücksichtigt und eine Adjustierung für Alter, Geschlecht und *Body-Mass-Index* vorgenommen. Unterschiede in der Medikation zwischen dem Beginn und dem Ende der Beobachtungsperiode wurden mittels standardisierter Mittelwertdifferenz (SMD) und Chi-Quadrat-Tests analysiert. Für die Analyse der Vitalparameter kamen ebenfalls adjustierte lineare *Mixed-Effects*-Modelle zum Einsatz. Zunächst wurde der Zusammenhang zwischen der verbleibenden Lebenszeit in Tagen und den Vitalparametern HF, AF sowie Temp untersucht. Drei Tage vor dem Tod dienten dabei

als Referenzwert, basierend auf früheren Studien [29]. Zudem wurde mithilfe logistischer Regression geprüft, ob eine Erhöhung der HF um fünf oder zehn Schläge pro Minute innerhalb der letzten 24 Stunden mit einem unmittelbar bevorstehenden Tod innerhalb der nächsten 24 Stunden assoziiert war. Sensitivitätsanalysen wurden durchgeführt, indem die Zeit in Tagen und Stunden als kontinuierliche Variable betrachtet wurde und entsprechend früherer Literatur Daten aus den letzten zwei Stunden vor dem Tod ausgeschlossen wurden [16]. Die Modellgüte wurde mittels *Likelihood-Ratio*-Tests überprüft, um zu bewerten, ob die Einbeziehung des zufälligen Effekts die Modellqualität signifikant verbesserte. Explorativ wurden für jede Zeitperiode vor dem Tod die mittleren Vitalzeichen mit der jeweiligen Symptomintensität mittels Spearman-Korrelation analysiert. Zur Korrektur für multiple Vergleiche wurde die Bonferroni-Methode angewandt. Ein p-Wert unter 0,05 wurde als statistisch signifikant betrachtet. Die Ergebnisse wurden als standardisierte Koeffizienten bzw. adjustierte Odds Ratios (OR) mit 95%-Konfidenzintervalle (KI) dargestellt. Die Grafiken wurden mit GraphPad Prism (Version 8.0) erstellt [48]. Die Datenanalyse erfolgte mit STATA (Version 16.0) [49].

3. Ergebnisse

3.1 Kohorten-Charakteristika und VitalPatch®-Daten

Es wurden 36 Patienten für die Studie rekrutiert. Ein Patient entfernte im hyperaktiven Delir das VitalPatch®. Bei fünf weiteren Patienten gab es technische Probleme, die zu fehlenden Daten führten. Eine grafische Darstellung des Studienablaufes findet sich in Abbildung 4 als *Study Flow*.

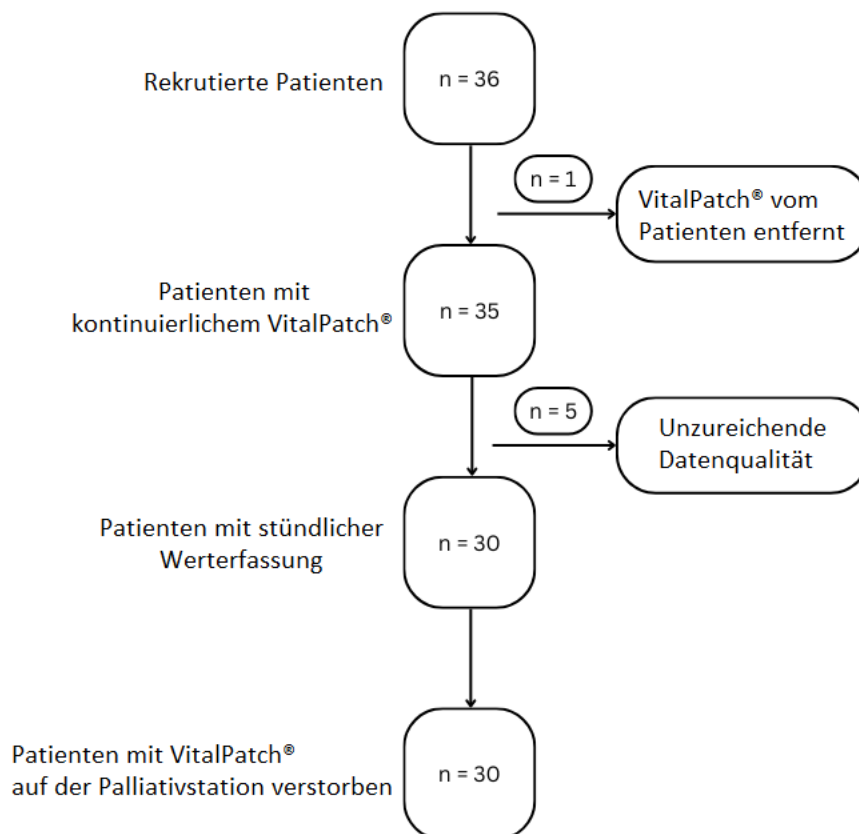


Abb. 4. Study Flow.

Die Stichprobe für die Datenanalyse umfasste 30 Patienten, mit 53,3% Frauen ($n = 16$) und 46,7% Männern ($n = 14$). Das Alter betrug im Mittel 69,7 Jahre. Das Altersspektrum reichte von 40 bis 95 Jahren. Die meisten Patienten lagen in der Altersklasse 60 bis 70 Jahre (26,6%). Von den 30 Patienten waren 90% an einer Tumorerkrankung erkrankt. Die größten Anteile waren Tumore des Urogenitaltraktes (26,6%) gefolgt von Hirntumoren (16,6%). Die übrigen 10% verstarben in zwei Fällen an einer Subarachnoidalblutung und in einem Fall infolge einer oberen gastrointestinalen Blutung. In Tabelle 2 sind detaillierte Informationen zu den demografischen Daten der Studienkohorte zu entnehmen.

Tabelle 2. Demografische Charakteristika der Studienteilnehmenden

	n (%) bzw. MW ($\pm$ SD)
Geschlecht	
Männlich	14 (46,7)
Weiblich	16 (53,3)
Alter in Jahren	69,7 ($\pm$ 14,0)
Größe in cm	169,2 ($\pm$ 10,1)
Gewicht in kg	68,9 ($\pm$ 12,1)
Body-Mass-Index in kg/m ²	24,0 ($\pm$ 3,6)
	fehlend: n = 2
Clinical Frailty Scale [1-9]	
8	1 (3,3)
9	29 (96,7)
Funktionaler Status	
Vollständig unabhängig	0 (0)
Teilweise abhängig	8 (26,7)
Vollständig abhängig	22 (73,3)
Tumore	
Kein Tumor	3 (10,0)
Gehirn/Zentrales Nervensystem	5 (16,7)
Lunge	4 (13,3)
Ösophagus	0 (0)
Magen	1 (3,3)
Darm; Rektum	3 (10)
Pankreas	1 (3,3)
Leber	0 (0)
Haut	1 (3,3)
Urogenital	8 (26,7)
Hämatologisch	2 (6,7)
Andere, nicht weiter spezifiziert	2 (6,7)
Disseminiert (bei Patienten mit Tumoren)	19 (70,4)
Vorerkrankungen	
Arterielle Hypertonie	16 (53,3)
Pulmonale Hypertonie	0 (0)
Diabetes mellitus	5 (16,6)
Periphere arterielle Verschlusskrankheit	1 (3,3)

Chronisch obstruktive Lungenerkrankung	4 (13,3)
Z.n. transitorisch ischämischer Attacke oder Apoplex	3 (10)
Z.n. kardialer Dekompensation (letzten zwölf Monaten)	3 (10)
Z.n. Myokardinfarkt	3 (10)
Schrittmacher/Implantierbarer Cardioverter-Defibrillator	0 (0)
Z.n. Kardiopulmonaler Reanimation	0 (0)
Dementielle Erkrankung	1 (3,3)

28 der 30 Patienten wurden aus dem ambulanten Setting auf die Palliativstation PM01 aufgenommen. Zwei Patienten wurden im UKD stationär behandelt, bevor sie auf die PM01 verlegt wurden. Die bisherige Aufenthaltsdauer betrug bei diesen beiden Patienten 16 und 41 Tage. Im Durchschnitt lag die Aufenthaltsdauer bei den teilnehmenden Patienten (von der stationären Aufnahme bis zum Tod) bei 10,7 ($\pm$ 6,5) Tagen. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde die Überlebenszeit der Patienten in Tagen mit der im interdisziplinären Team vorgenommenen Prognose verglichen. Von den insgesamt 30 Patienten lag bei drei Patienten keine prognostische Einschätzung vor, da sie zum Zeitpunkt der donnerstags erfolgenden Prognoseerhebung noch nicht im Team besprochen wurden. Bei drei weiteren Patienten lag die tatsächliche Überlebenszeit nicht innerhalb des prognostizierten Zeitfensters. Bei 24 von 27 Patienten (88,9%) war die Einschätzung korrekt. Der überwiegende Anteil ($n = 19$; 63,3%) wurde in das Prognosefenster Tage bis Wochen eingeschätzt. Nur ein Patient verstarb innerhalb von Stunden und lag somit außerhalb des prognostizierten Zeitfensters. Alle sechs Patienten, die einer Prognose von Tagen zugewiesen wurden, verstarben innerhalb des prognostizierten Zeitraums. Zwei Patienten wurden mit einer restlichen Lebenszeit von Wochen bis Monaten eingeschätzt, verstarben jedoch innerhalb von vier bzw. sechs Tagen. Im Durchschnitt wurde das Monitoring via VitalPatch® für 3,5 ($\pm$ 2,4) Tage durchgeführt. Das Monitoring war unproblematisch und wurde toleriert. Es sind keine Beschwerden, wie z.B. Hautreaktionen oder ein unangenehmes Gefühl, von Patienten, Angehörigen oder Mitarbeiter berichtet worden. Regelmäßig wurde die Positionierung des VitalPatch® kontrolliert und die erfassten Werte überprüft und validiert. Die klinische Validierung erfolgte durch den Abgleich der VitalPatch®-Werte mit den im Stationsalltag erhobenen intermittierenden Vitalzeichenmessungen. Tabelle 3 stellt diese Informationen übersichtlich dar.

Tabelle 3. Verlaufsdaten: Daten des VitalPatch® und des Monitorings

	n (%) bzw. Median (IQA)
Vitalparameter-Monitorings bis zum Tod in Tagen und Stunden	3 (1 - 8); 88 (35 - 153)
Tod auf Palliativstation mit VitalPatch®	30 (100)
Prognose bei Start mit VitalPatch®	6 (20): d 19 (63,3): d - w 2 (6,7): w - m 3 (10): fehlend
Korrekte Prognose des interdisziplinären Teams	24 / 27 (88,9); n = 3 fehlend
Stationärer Aufenthalt in Tagen bis zum Monitoring via VitalPatch®	6,5 (2 - 10)
Stationäre Aufnahme direkt auf die Palliativstation	28 (93,3)
Dauer des Aufenthalts auf der Palliativstation in Tagen bis zum Tod	10,5 (5 - 15)
Einschluss in die Handlungsempfehlung Sterbephase (HES)	29 (96,7)
Zeit bis zum Versterben in Tagen nach HES-Einschluss	3,0 (1 - 6)

h=Stunden; d=Tage; w=Wochen; m=Monate; IQA=Interquartilsabstand

3.2 Trends

3.2.1 Ergebnisse der Symptomveränderungen

In der letzten erfassten Schicht vor dem Versterben betrug der PSBS-Gesamtwert der Symptome im Median 19 (Interquartilsabstand [IQA] 16 - 23). Maximale Symptom-Intensitäten zeigten sich in den letzten beiden Schichten vor dem Tod v.a. bei Schwäche (vorletzte Schicht: 90,0%; letzte Schicht: 96,7%), Vigilanz (78,5%; 86,6%) und Verwirrtheit (64,2%; 66,6%). Keine bis geringe Beeinträchtigungen zeigten sich bei Übelkeit (85,7%; 90%), Erbrechen (92,8%; 90%) sowie Husten (89,2%; 96,6%). Eine vollständige Übersicht kann Tabelle 4 entnommen werden. Aufgrund von Rundungsdifferenzen bei der Prozentdarstellung können die Summen geringfügig von 100% abweichen.

Tabelle 4. Symptomlast der letzten beiden Schichten vor dem Tod.
Gemessen mit dem Palliativen Symptombelastungs-Score (PSBS).

Symptom	Schicht	0 ^a	1 ^b	2 ^c	3 ^d	4 ^e
Vigilanz	Vorletzte	0%	3,6%	10,7%	7,1%	78,6%
	Letzte	0%	3,3%	6,7%	3,3%	86,7%
Verwirrtheit	Vorletzte	10,7%	10,7%	10,7%	0%	67,9%
	Letzte	13,3%	13,3%	6,7%	0%	66,7%
Angst	Vorletzte	25%	25%	17,9%	25%	7,1%
	Letzte	36,7%	13,3%	30%	20%	0%
Schwitzen	Vorletzte	46,4%	35,7%	14,3%	0%	3,6%
	Letzte	60%	16,7%	16,7%	6,7%	0%
Schwäche	Vorletzte	0%	0%	0%	3,6%	96,4%
	Letzte	0%	0%	0%	3,3%	96,7%
Übelkeit	Vorletzte	75%	10,7%	7,1%	0%	7,1%
	Letzte	86,7%	3,3%	6,7%	0%	3,3%
Erbrechen	Vorletzte	92,9%	0%	3,6%	3,6%	0%
	Letzte	90%	0%	3,3%	3,3%	3,3%
Dyspnoe	Vorletzte	17,9%	14,3%	28,6%	32,1%	7,1%
	Letzte	16,7%	13,3%	20%	36,7%	13,3%
Husten	Vorletzte	75%	14,3%	7,1%	0%	3,6%
	Letzte	83,3%	13,3%	0%	3,3%	0%
Juckreiz	Vorletzte	82,1%	14,3%	3,6%	0%	0%
	Letzte	86,7%	6,7%	6,7%	0%	0%

^a=keine Beeinträchtigung; ^b=geringe B.; ^c=mäßige B.; ^d=starke B.; ^e=maximale B.

In Abbildung 5 sind die Symptomveränderungen in Bezug auf die Zeit als *heat map* dargestellt. Der zeitliche Rahmen ist hier auf 21 Schichten vor dem Tod erweitert. Gelbe Werte repräsentieren hohe Intensitäten, während lilafarbene Werte geringe bis keine Beeinträchtigung darstellen. Über den dargestellten Zeitraum dominieren Schwäche sowie Einschränkungen von Vigilanz und Verwirrtheit als stärkste Symptome.

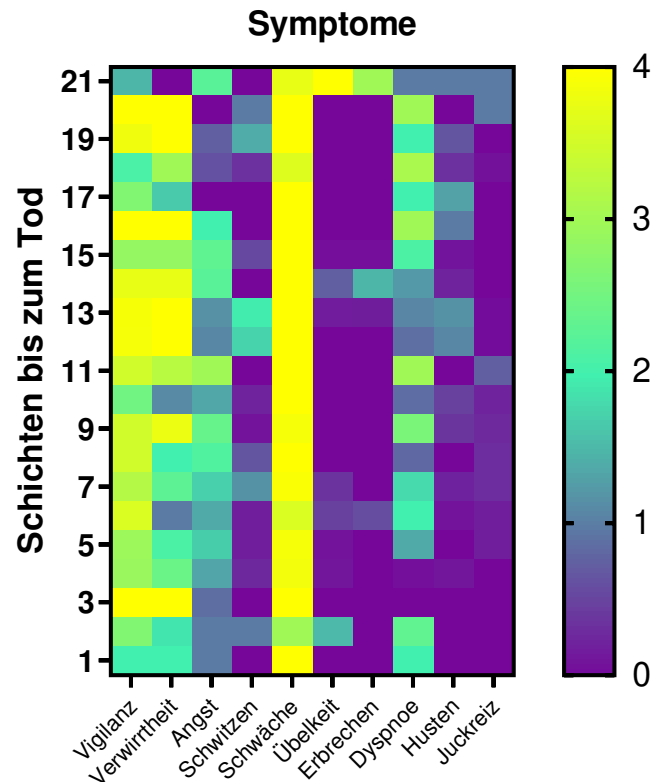


Abb. 5. Darstellung der Symptomlast über die Zeit (Arbeitsschichten).
Die Skala reicht von 0 = keine bis 4 = maximale Beeinträchtigung.

Symptome, die nicht in die fünf Kategorien fielen, waren Obstipation und Schmerzen. Bei 17 (56,7%) Patienten traten in der Studienzeit Obstipationen auf. Die Durchschnittswerte der Schmerzen lagen in der Beobachtungszeit zwischen 2,0 ($\pm 1,6$) und 3,8 ($\pm 1,5$). In Abbildung 6 ist der zeitliche Verlauf der durchschnittlichen Schmerzstärken illustriert. Die Breite der KI variiert im Beobachtungszeitraum. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in früheren Zeitschichten eine geringere Stichprobengröße (n) vorliegt.

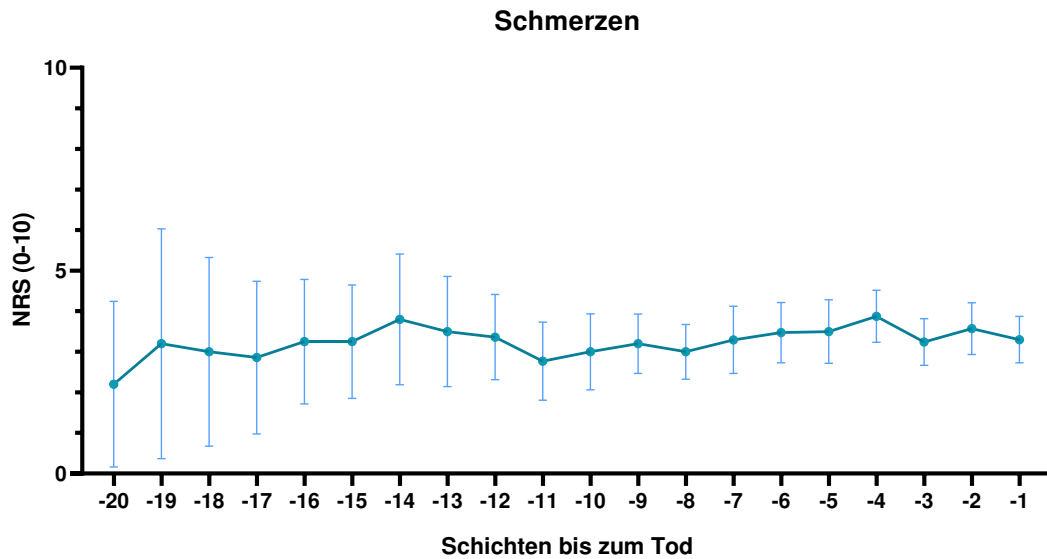


Abb. 6. Entwicklung der Schmerzwerte bis zum Versterben.

Dargestellt sind die Mittelwerte mit 95%-KI, erhoben mittels Numerischer Ratingskala (NRS).

Insgesamt ist eine steigende Tendenz der kumulativen Symptomlast zu beschreiben (0,12, 95%-KI 0,04 – 0,19, $p = 0,003$, vgl. Abbildung 7, publiziert in Tenge et al., 2025 [50]). Im Anhang ist in Tabelle A2 die kumulative Symptomlast detailliert dargestellt.

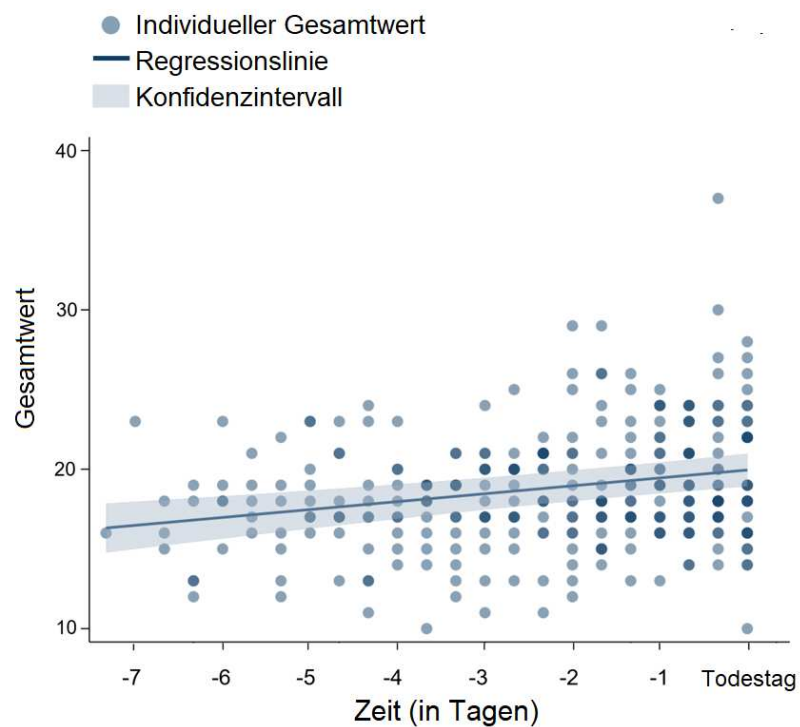


Abb. 7. Verlauf des Gesamtwerts der Symptome (modifiziert nach Tenge et al. [50]).

Ermittelt mit dem Palliativen Symptombelastungs-Score (PSBS).

Die Werte wurden adjustiert nach Alter, Geschlecht und Body-Mass-Index (BMI).

3.2.2 Medikamentenapplikation

Die medikamentöse Therapie veränderte sich im Verlauf des stationären Aufenthaltes der Patienten bis zum Tod. Am Tag des Studieneinschlusses dominierten neben den Gruppen der Analgetika und Co-Analgetika v.a. die Antiemetika (53%, n = 16). Opioide wurden bei 24 (80%) der Patienten eingesetzt. Protonenpumpen-Inhibitoren, Infusionen und Antidepressiva erhielten 7 der 30 Teilnehmenden. Am Tage des Versterbens erhielten im Vergleich zum Studieneinschluss alle Patienten eine Opioidtherapie (80% vs. 100%; SMD = -0,695). Die Benzodiazepin-Applikation steigerte sich um 30% zum ersten erfassten Tag, von 15 auf 24 der Patienten (50% vs. 80%; SMD = -0,651). Antidepressiva, Laxantien, Kardiaka, Antibiotika sowie Antithrombotika/Antikoagulantien erhielt am Tag des Versterbens keiner der Patienten mehr. Am häufigsten wurden Nicht-Opioide im Vergleich zwischen dem Tag des Studieneinschlusses und dem Todestag abgesetzt (53% vs. 10%; SMD = 1,035).

Tabelle 5. Medikamentenapplikation am Tag des Studieneinschluss und am Todestag

Medikamentengruppe	Start (n = 30)	Ende (n = 30)	SMD^a	p-Wert^b
Nicht-Opioide Analgetika	16 (53%)	3 (10%)	1,035	<0,001
Opioide	24 (80%)	30 (100%)	-0,695	0,010
Antidepressiva	7 (27%)	0 (0%)	0,767	0,005
Antikonvulsiva	5 (17%)	3 (10%)	0,194	0,45
Antiemetika	16 (53%)	6 (20%)	0,725	0,007
Laxantien	3 (10%)	0 (0%)	0,463	0,076
Andere Co-Analgetika	2 (7%)	0 (0%)	0,372	0,15
Benzodiazepine	15 (50%)	24 (80%)	-0,651	0,015
Intravenöse Flüssigkeit	7 (23%)	2 (7%)	0,472	0,071
Parenterale Flüssigkeit/Ernährung	3 (10%)	1 (3%)	0,265	0,30
Enterale Ernährung	0 (0%)	0 (0%)		
Antihypertensiva	3 (10%)	0 (0%)	0,463	0,076
Antiarrhythmika	1 (3%)	0 (0%)	0,258	0,31
Diuretika	2 (7%)	0 (0%)	0,372	0,15
Anticholinergika	3 (10%)	7 (23%)	-0,358	0,17
Antibiotika	3 (10%)	0 (0%)	0,463	0,076
Antithrombotika/Antikoagulantien	5 (17%)	0 (0%)	0,622	0,020
Protonenpumpeninhibitoren	7 (23%)	1 (3%)	0,605	0,023

^a=standardisierte Mittelwertdifferenz [SMD] (>0.2 stellt relevante Veränderung dar); ^b=Chi-Quadrat-Test

3.2.3 Veränderungen der Herzfrequenz

Über alle HF-Werte hinweg (insg. 2.728 [= alle stündlichen Mittelwerte]) wurde ein Durchschnittswert von 106,2 Schlägen pro Minute beobachtet. Über die letzten drei Tage vor dem Tod zeigte sich ein kontinuierlicher Anstieg der HF. Im Vergleich zu drei Tagen vor dem Tod nahm die HF stetig zu (-2 Tage: 3,70 Schläge pro Minute, 95%-KI 1,81 bis 5,59, $p < 0,001$; -1 Tag: 7,64 Schläge pro Minute, 95%-KI 5,79 bis 9,48, $p < 0,001$; Todestag: 12,26 Schläge pro Minute, 95%-KI 10,42 bis 14,11, $p < 0,001$). Ein Anstieg der HF um mehr als fünf Schläge pro Minute im Vergleich zum Wert 24 Stunden zuvor war signifikant mit einem unmittelbar bevorstehenden Tod innerhalb der nächsten 24 Stunden assoziiert (OR 1,86; 95%-KI 1,56 bis 2,22; $p < 0,001$). Diese Assoziation verstärkte sich bei einem Anstieg von zehn Schlägen pro Minute (OR 2,29; 95%-KI 1,88 bis 2,78; $p < 0,001$). In Abbildung 8 ist der Trend der HF bis zum Tod illustriert. Der Zusammenhang zwischen der verbleibenden Zeit bis zum Tod (in Stunden) und der HF (in Schlägen pro Minute) ist in Tabelle A3 des Anhangs aufgeführt.

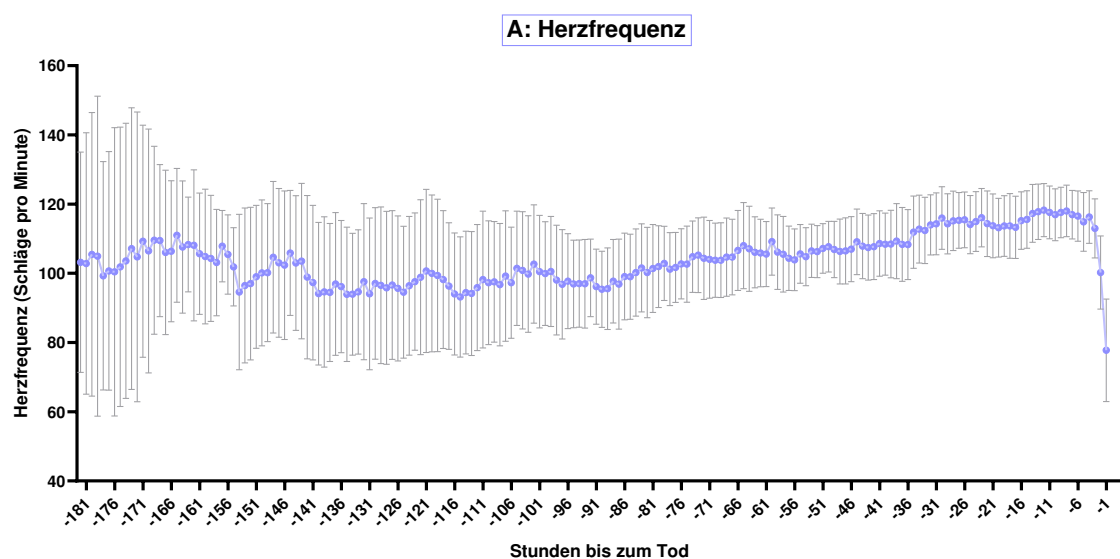


Abb. 8. Zeitlicher Verlauf der Herzfrequenz im Beobachtungszeitraum.
Dargestellt sind Mittelwerte $\pm$ 95 %-Konfidenzintervall (KI).

3.2.4 Veränderungen der Atemfrequenz

Bei allen gemessenen AF-Werten (insg. 2.765) wurde ein Durchschnittswert von 21,05 Atemzügen pro Minute dokumentiert. Für die AF zeigte sich, dass diese im Vergleich zu drei Tagen vor dem Tod am darauffolgenden Tag abnahm und am Todestag wieder anstieg (-2 Tage: -0,70, 95%-KI -1,25 bis -0,16, $p = 0,012$; Todestag: 0,77, 95%-KI 0,24 bis 1,31, $p = 0,005$). Abbildung 9 zeigt den Verlauf über den beobachteten Zeitraum. In

Tabelle A4 des Anhangs ist der Zusammenhang zwischen der verbleibenden Zeit bis zum Tod (in Stunden) und der AF (in Atemzügen pro Minute) umfassend dargestellt.

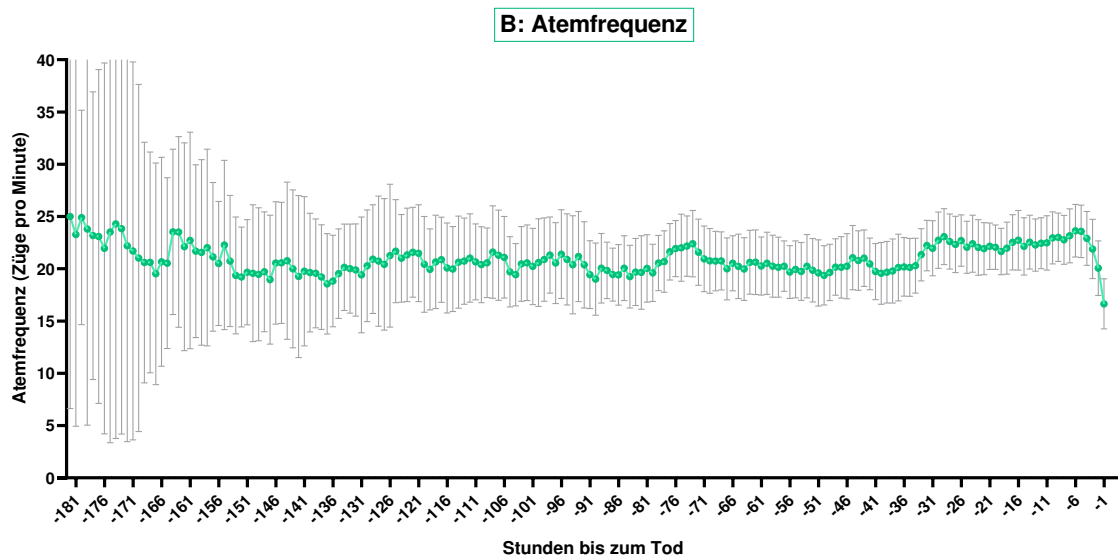


Abb. 9. Zeitlicher Verlauf der Atemfrequenz im Beobachtungszeitraum.
Dargestellt sind Mittelwerte $\pm$ 95 %-Konfidenzintervall (KI).

3.2.5 Veränderungen der Temperatur

Der Durchschnittswert der insg. 2.633 gemessenen Temp-Werten betrug 36,83 °Celsius. Im Vergleich zum Referenzzeitpunkt Tag -3 war die Temp an Tag -7 bereits erhöht (-7 Tage: 0,33, 95%-KI 0,17 bis 0,50, $p < 0,001$). In den letzten beiden Lebenstagen zeigte sich erneut ein Anstieg (-1 Tag: 0,15, 95%-KI 0,09 bis 0,21, $p < 0,001$; Todestag: 0,34, 95%-KI 0,30 bis 0,42, $p < 0,001$). Abbildung 10 stellt grafisch den Verlauf der Temp über die Zeit dar. Die Zusammenhänge zwischen der verbleibenden Zeit bis zum Tod (in Stunden) und der Temp (in °Celsius) sind in Tabelle A5 des Anhangs dokumentiert.

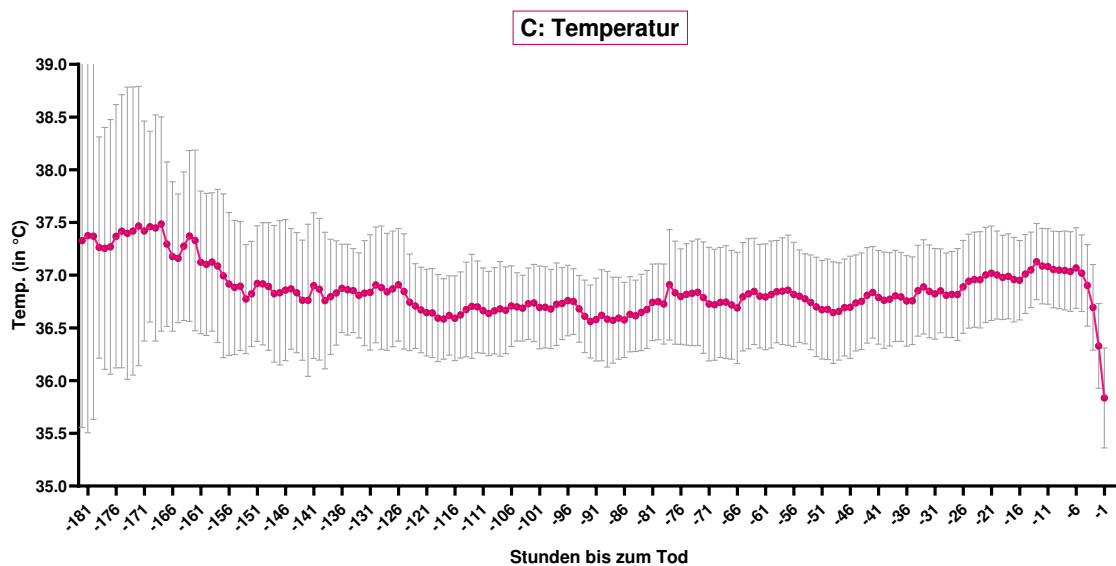


Abb. 10. Zeitlicher Verlauf der Temperatur im Beobachtungszeitraum.
Dargestellt sind Mittelwerte $\pm$ 95 %-Konfidenzintervall (KI).

3.3 Korrelation zwischen Symptomen und Vitalparametern

Korrelationsanalysen wurden durchgeführt, um den Zusammenhang zwischen den bewerteten Symptomintensitäten und den durchschnittlichen Vitalparametern zu untersuchen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 11 dargestellt. Die zugrundeliegende Auswertung wurde bereits in Tenge et al. (2025) publiziert [50]. Schmerzen und Schwitzen zeigen eine positive Korrelation mit der HF, während Obstipation eine negative Korrelation aufwies. Husten und Schwäche korrelieren positiv mit der AF, wobei Husten zudem mit einer erhöhten Körpertemp assoziiert ist. Darüber hinaus zeigte Schmerz eine inverse Korrelation mit der Temp.

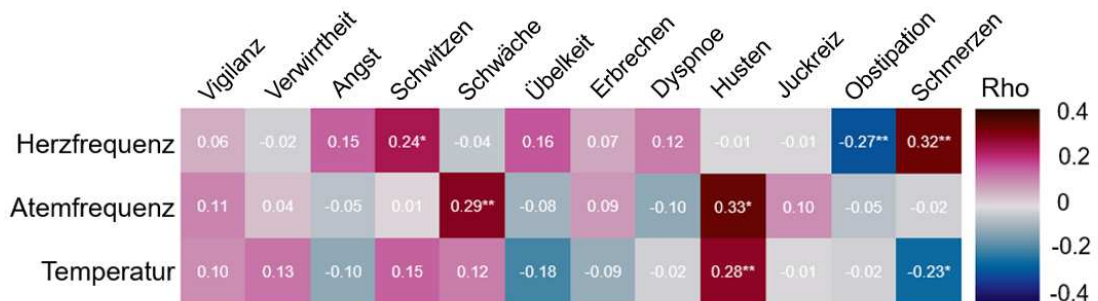


Abb. 11. Korrelation zwischen Symptomintensitäten und den mittleren Vitalparametern (modifiziert nach Tenge et al. [50]).

Korrelationskoeffizienten (Rho) im Bereich von $-0,4$ bis $+0,4$. Statistisch signifikante Korrelationen sind mit * ($p < 0,05$) bzw. ** ($p < 0,001$) gekennzeichnet.

3.4 Sensitivitätsanalysen

Sensitivitätsanalysen der drei gemessenen Vitalparameter, bei denen die Zeit in Tagen und Stunden als kontinuierliche Variablen betrachtet wurde, zeigten einen Anstieg aller Vitalparameter (HF stündlich: 0,15, 95%-KI 0,13 bis 0,16, $p < 0,001$; HF täglich: 3,58, 95%-KI 3,25 bis 3,91, $p < 0,001$; AF stündlich: 0,005, 95%-KI 0,001 bis 0,007, $p = 0,004$; AF täglich: 0,11, 95%-KI 0,02 bis 0,21, $p = 0,015$; Temp stündlich: 0,002, 95%-KI 0,002 bis 0,003, $p < 0,001$; Temp täglich: 0,05, 95%-KI 0,04 bis 0,06, $p < 0,001$). Der Ausschluss der letzten zwei Stunden vor dem Tod ergab bestätigende Ergebnisse.

4. Diskussion

4.1 Schlussfolgerung / Kernaussagen

In dieser prospektiven, monozentrischen Beobachtungsstudie auf einer universitären Palliativstation wurde die kontinuierliche Überwachung von Vitalparametern mittels des kutan tragbaren Biosensors VitalPatch® in der Sterbephase untersucht. Im Fokus standen die Praktikabilität, die Beschreibung auftretender Veränderungen sowie die Überprüfung möglicher Zusammenhänge zwischen objektiv erfassten Vitalparametern und subjektiv dokumentierten Symptomintensitäten. Die Datenanalyse umfasste 30 Patienten. Das Vitalparameter-Monitoring wurde im Median 88 (IQA 35 - 153) Stunden bis zum Tod durchgeführt. Alle Patienten verstarben mit angebrachtem VitalPatch® auf der Palliativstation. Die kabellose Technologie erwies sich als praktikabel, grundsätzlich zuverlässig und alltagstauglich. Die Anwendung war unproblematisch und wurde toleriert. Es wurden keine Beschwerden von Patienten, Angehörigen oder Mitarbeiter berichtet. Dies ist von elementarer Bedeutung in der Palliativversorgung. Die Datenverluste durch Internet-Verbindungsabbrüche und Exportprobleme verdeutlichen gleichzeitig, dass eine stabile technische Infrastruktur Voraussetzung für eine Implementierung ist. Die mit dem VitalPatch® erfassten Werte wurden orientierend mit intermittierend durchgeführten Routinemessungen abgeglichen. Damit wurde die klinische Verwertbarkeit der kontinuierlichen Messkurven gestützt. Im Rahmen der Studie zeigte sich für die HF die deutlichste Dynamik. Im Vergleich zum Referenzzeitpunkt drei Tage vor dem Tod stieg die HF signifikant an. Die Regressionsanalyse zeigte, dass eine Zunahme um mehr als fünf Schläge pro Minute innerhalb der letzten 24 Stunden die Wahrscheinlichkeit für einen unmittelbar bevorstehenden Tod erhöht. Bei einem Anstieg um zehn Schläge pro Minute zeigte sich eine noch stärkere Assoziation. Die AF und Temp wiesen im Beobachtungszeitraum statistisch signifikante, insgesamt jedoch nur minimale Veränderungen auf. In der klinischen Einordnung sind diese Effekte zurückhaltend zu interpretieren. Parallel zur Entwicklung der Vitalparameter nahm die Symptomlast bis zum Tod zu. In der letzten erfassten Schicht vor dem Versterben lag der PSBS-Gesamtwert im Median bei 19 (IQA 16 - 23). Hohe Symptomintensitäten zeigten sich v.a. für Schwäche, Vigilanz und Verwirrtheit. Demgegenüber wurden Übelkeit, Erbrechen und Husten im Rahmen der pflegerischen Fremdeinschätzung überwiegend als „keine“ oder „geringe

Beeinträchtigung“ dokumentiert. In den Analysen zeigte sich ein Zusammenhang zwischen erhöhter HF und Schmerzen. Dies legt nahe, dass kontinuierlich erfasste Vitalparameter als indirekte Indikatoren für subjektive Beschwerden zur Hilfe gezogen können. Diese Entwicklung spiegelte sich auch in der Medikation wider: Es kam zu spezifischen Anpassungen, insbesondere zu einer Zunahme des Einsatzes von Opioiden und Benzodiazepinen, während v.a. Nicht-Opioid-Analgetika sowie zahlreiche weitere Medikamente wie Kardiaka oder Antithrombotika/Antikoagulantien reduziert oder abgesetzt wurden. Die interdisziplinäre Prognoseeinschätzung wurde zu Beginn des Monitorings dokumentiert. In 88,9% der Fälle lag die tatsächliche Überlebenszeit im prognostizierten Zeitfenster. Diese Befunde stützen die Einordnung, dass das kontinuierliche Monitoring nicht als Ersatz, sondern als Ergänzung zur klinischen Einschätzung zu verstehen ist. Zusammenfassend verdeutlicht die Studie, dass in Bezug auf die Zielsetzungen dieser Arbeit 1) die Praktikabilität des kontinuierlichen Monitorings gegeben ist. Diese können perspektivisch dazu genutzt werden, Veränderungen im Krankheitsverlauf zu erkennen, therapeutische Entscheidungen zu unterstützen und zu einer verbesserten Prognoseeinschätzung beizutragen. Darüber hinaus wurden 2) Veränderungen von Vitalparametern, Symptomen und Medikation systematisch untersucht und analysiert und 3) Korrelationen zwischen bestimmten Symptomen und Vitalparametern gezeigt. Diese Ergebnisse bilden eine fundierte Grundlage für weiterführende Studien, die das Potenzial eines kontinuierlichen Monitorings in der *end-of-life*-Versorgung vertiefend untersuchen sollen.

4.2 Klinischer Bezug

Es lässt sich festhalten, dass *SST*, *Wearables* und kontaktlose Radarverfahren die palliative Versorgung sinnvoll ergänzen, indem kontinuierliche Verläufe sichtbar werden und die klinische Entscheidungsfindung unterstützt wird. In der klinischen Praxis werden Vitalparameter auf Palliativstationen traditionell nur bedarfsadaptiert und damit intermittierend erhoben, um unnötige Belastungen der Patienten zu verhindern. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass ein kabelloser, kutan tragbarer Biosensor wie der VitalPatch® unter stationären Bedingungen ohne explizit berichtete Zusatzbelastung eingesetzt werden kann und damit eine Voraussetzung schafft, Vitalparameter-Trends als ergänzende Information zu nutzen. Kontinuierliche Daten sind insbesondere dort relevant, wo intermittierende bzw. punktuelle Messungen kurzfristige Dynamiken nicht

abbilden. Die Veränderungen der HF erlauben isoliert betrachtet keine verlässliche Prognose des bevorstehenden Todes, können jedoch als ergänzende Information eine strukturierte klinische Reevaluation anstoßen. Dazu gehören die erneute Einschätzung der klinischen Situation und die Überprüfung der aktuellen Symptomlast. Zudem sollte die Therapiezielsetzung reflektiert und supportive Maßnahmen bei Bedarf frühzeitig angepasst werden. Ein klinischer Mehrwert ergibt sich aus der Verbindung objektiver Vitalparameter mit der Symptombdokumentation. Der Zusammenhang zwischen erhöhter HF und Schmerzen ist klinisch plausibel. Gerade in der Sterbephase ist dies besonders relevant, da Symptome häufig nur eingeschränkt verbal geäußert werden können. Ein unerwarteter HF-Anstieg kann daher Anlass sein, die Analgesie kritisch zu evaluieren und anzupassen. Die erhobenen Daten legen nahe, dass die HF in der Sterbephase als ergänzendes prognostisches Signal dienen könnte. Dazu gehören Maßnahmen zum Symptomassessent sowie ggf. die Anpassung symptomlindernder Maßnahmen. Für AF und Temp zeigten sich nur geringe Veränderungen. Eine klinische Einordnung ist aufgrund kleiner Effektstärken und möglicher Störfaktoren nur eingeschränkt möglich. Die Symptomprogression in Richtung Schwäche und Verwirrtheit hat unmittelbare Konsequenzen für pflegerische und ärztliche Entscheidungen. Dazu gehören Maßnahmen zur Delirprävention und -therapie, eine angepasste Umgebung sowie eine vorausschauende Versorgung unter Einbezug der Angehörigen. Die Medikationsveränderungen mit Zunahme von Opioiden und Benzodiazepinen sowie Reduktion zahlreicher Begleitmedikation entspricht einer symptomorientierten Therapie am Lebensende und steht im Einklang mit den Empfehlungen der S3-Leitlinie zur Palliativmedizin, die diese Medikamentengruppen zur Linderung belastender Symptome in der Sterbephase vorsieht [2]. Pflegefachkräfte und Ärzte könnten frühzeitiger auf Anzeichen der Sterbephase reagieren und dadurch die Betreuung sowie individuelle Therapieanpassungen bereits in einem früheren Stadium gezielt vornehmen. Diese Objektivierung könnte die Kommunikation unterstützen, indem Patienten oder deren Zugehörigen Verlaufsveränderungen objektiviert, nachvollziehbar gemacht und klinisch eingeordnet werden. Für eine Implementierung auf Palliativstationen oder Hospizen sind klare Verantwortlichkeiten, stabile technische Infrastruktur sowie Schulungen zur Interpretation erforderlich. Seibel et al. unterstreichen dabei aus Team-Perspektive, dass Akzeptanz, Datenschutz und Intimsphäre sowie eine klare Einbettung in bestehende Abläufe entscheidend sind, damit Monitoring als Unterstützung und nicht als Ersatz verstanden wird [21]. Ohne diese Rahmenbedingungen besteht das Risiko zusätzlicher

Unsicherheit und erhöhter Arbeitsbelastung. Darüber hinaus wäre die Entwicklung eines algorithmusbasierten, KI-gestützten Frühwarnsystems denkbar, das auf Vitalparameterveränderungen reagiert und behandelnde Teams frühzeitig informiert. Auch eine Integration in Telemedizin-Konzepte für Patienten in der Häuslichkeit oder im Heim erscheint denkbar. Allerdings sollte die Frage, ob sich daraus eine klinische Relevanz für die Symptom- und Sterbephasenerkennung ableiten lässt, kritisch reflektiert werden. Zwar wurden statistisch signifikante Veränderungen beobachtet, diese blieben jedoch häufig marginal und sind in ihrer Interpretation komplex. Daher stellen sich auch ethische und praktische Fragen: Wie sinnvoll ist die Überwachung aus ethischer Sicht? Inwieweit verbessert sich die Versorgungsqualität tatsächlich? Und wie gehen Patienten, Angehörige und Pflegefachkräfte mit den Ergebnissen um? Diese Aspekte sind essenziell, um den Einsatz der Technik patientenzentriert zu begründen und als ergänzendes Instrument innerhalb der palliativmedizinischen Versorgung einzuordnen. Das kontinuierliche Monitoring darf daher nicht isoliert betrachtet werden, sondern sollte stets im Kontext des *Total-Care*-Prinzips stehen. Ziel muss eine individuelle und ganzheitliche Betreuung bleiben und keine technikzentrierte Fokussierung des Sterbeprozesses. Trotz gewisser Hinweise auf einen möglichen Nutzen weist das additive Monitoring insgesamt einen eher begrenzten Stellenwert auf.

4.3 Ergebnisdiskussion

Das *Scoping Review* von Power et al. fasste Studien zur Überwachung der Vitalparameter in der Palliativversorgung zusammen und hob die begrenzten Daten zu seriellen oder kontinuierlichen Messungen hervor [8]. Die vorliegende Studie schließt diese Lücke, da sie mittels kabelloser VitalPatch®-Sensoren kontinuierliche Kurven von HF, AF und Temp abbildet, wobei im Median 88 (IQA 35 – 153) Stunden erfasst wurden. Für den Vergleich mit Vorarbeiten sind drei Punkte zentral: Erstens das Messprinzip, zweitens Population und Setting und drittens das Zeitfenster zur Erfassung der verschiedenen Vitalparameter. Die VitalPatch®-Trends ermöglichen insbesondere eine strukturierte Betrachtung zeitlicher Veränderungen der Vitalparameter und können dadurch helfen, klinische Entwicklungen im Verlauf von Stunden bis Tagen besser einzuordnen [28]. Mori et al. beschrieben für die *Drei-Tages-surprise question* eine hohe Sensitivität (94,3%) bei einem negativen prädiktiven Wert von 83,6% [17]. Diese Kennwerte sind vergleichbar mit der multizentrischen Evaluation von Ikari et al., die eine hohe

Sensitivität (94,3%) bei geringer Spezifität (26,3%) zeigte [27]. Im Vergleich dazu können die in Tenge et al. identifizierten HF-Veränderungen eine zusätzliche Orientierung geben und eine zeitliche Einordnung unterstützen [50]. Die in dieser Analyse identifizierten HF-Veränderungen sind daher als additive, nicht ersetzende Entscheidungsstütze zur klinischen Einschätzung zu verstehen. Eine Studie, die nicht-tragbare Geräte unter der Matratze der Patienten einsetzte und eine durchschnittliche Messdauer von zehn Tagen hatte, berichtete über signifikante Anstiege der HF (+ 1,51 Schläge pro Minute, 95%-KI 1,50 bis 1,52) und AF (0,27 Atemzüge pro Minute, 95%-KI 0,27 bis 0,28) [16]. Die Vergleichbarkeit ist eingeschränkt, da dort ausschließlich Tumorpatienten eingeschlossen wurden, die im Mittel älter waren (76,7 Jahre) und einen niedrigeren durchschnittlichen BMI (18,6) aufwiesen [16]. Vor dem Hintergrund der VitalPatch®-Ergebnisse lässt sich diese Evidenz um neuere nicht-tragbare Ansätze ergänzen: Hatasaki et al. beschrieben, dass Aktivitätsscores des Nemuri SCAN mit der Intensität körperlicher Symptome in der Sterbephase assoziiert waren [18]. Dies stützt die in Tenge et al. diskutierte Perspektive, dass kontinuierliche Signale als ergänzende Informationen der Symptomlast dienen können [50]. Aufbauend auf den von Tenge et al. [50] beschriebenen eher geringen Veränderungen der AF in den letzten Lebenstagen, lässt sich die Studie von Ikuta et al. als sinnvolle Zusatzinformation einordnen [19]. Die Autoren zeigen respiratorische Schwellenereignisse ($AF > 30/\text{min}$), die zeitlich häufig in die Sterbephase fallen [19]. Damit werden neben der kontinuierlichen Dynamik auch punktuelle Ereignisse deutlich [19]. Bezüglich der AF zeigen Hasegawa et al., dass Opioide diese nicht nur senken, sondern den Rhythmus unregelmäßiger machen und ataktische Muster begünstigen [23]. Für die Interpretation sollten daher auch Atemrhythmus-Unregelmäßigkeiten und episodische Veränderungen berücksichtigt und eine gleichzeitige Opioidapplikation als potenzieller Confounder in die Diskussion einbezogen werden [23]. Neben punktuellen Ereignissen lenkt Nozaki-Taguchi et al. den Fokus auf Instabilität bzw. Variabilität als potenzielles Merkmal der Sterbephase [22]. Für die Interpretation der VitalPatch®-Kurven spricht dies dafür, nicht ausschließlich Mittelwertveränderungen zu analysieren, sondern perspektivisch auch kurzfristige Fluktuationen zu prüfen [22]. Eine diskontinuierliche (alle zwölf Stunden) Erhebung von nicht-krebskranken Patienten zeigte einen signifikanten Rückgang des systolischen und diastolischen BP sowie der SpO_2 beginnend drei Tage vor dem Tod [29]. Die simultanen Abfälle des BP und der SpO_2 können eine physiologische Erklärung für einen kompensatorischen HF-Anstieg liefern. Mangels kontinuierlicher Daten bleibt dies

allerdings eine Annahme, die künftige Untersuchungen prüfen sollten. Auch Bruera et al. beschrieben bei zweimal täglichen Messungen bis zum Tod einen Abfall des systolischen und diastolischen BP und der SpO₂ in den letzten drei Lebenstagen [10]. Neben den BP und SpO₂-Messungen wurden bei 357 Patienten auch die HF, AF und Temp erfasst [10]. Die Temp stieg leicht an, während HF und AF in den letzten drei Tagen stabil blieben [10]. In der vorliegenden Untersuchung zeigte sich ebenfalls ein Anstieg der Temp [50]. Zudem berichteten Bruera et al., dass 55% der Patienten in den letzten zwei Lebenstagen eine HF über 100 Schlägen pro Minute aufwiesen [10]. Dies entspricht dem in dieser Studie beobachteten HF-Werten mit einem Mittelwert von 106,2 Schlägen pro Minute [50]. Besonders bemerkenswert ist der erhobene Zusammenhang zwischen HF und Schmerzintensität. Diese Übereinstimmung ist vereinbar mit der Hypothese, dass HF-Anstiege mit Schmerz assoziiert sein können. Die Veränderungen der Medikation zwischen Beginn und Ende der VitalPatch®-Anwendung sprechen für eine fortlaufende, symptomorientierte Anpassung [50]. Ein eigenständiger prognostischer Aussagewert einzelner Anpassungen lässt sich daraus jedoch nicht ableiten [50]. Meesters et al. berichten über eine häufige Anwendung kontinuierlicher Infusionen von Opioiden und Sedativa über Spritzenpumpen am Lebensende [31]. In ihrer Studie erhielten 69% der Patienten in der letzten Woche eine kontinuierliche Infusion [31]. In 62% wurde eine Kombination aus Sedativa und Opioiden verabreicht [31]. Midazolam und Morphin dominierten [31]. Gleichzeitig fehlte bei 22% eine dokumentierte Indikation [31]. Dies erschwert die Abgrenzung zwischen Krankheitsprogression und Therapieeffekten [31]. Das ist wichtig, weil in dieser Arbeit die Applikation von Opioiden und Benzodiazepinen bis zum Tod zunahm [50]. Gleichzeitig zeigte sich ein deutlicher HF-Anstieg und eine positive Korrelation zwischen HF und Schmerzen [50]. Vitalparameter sollten daher immer zusammen mit Symptomlast und Medikation diskutiert werden. Tenge et al. zeigten einen deutlichen Anstieg der Benzodiazepin-Applikation bis zum Tod [50]. Prommer ordnet Midazolam als zentralen Bestandteil der Symptomlinderung ein [32]. Das stützt die klinische Plausibilität der Eskalation. Li et al. beschrieben Dexmedetomidin als Option zur gezielten Sedierung bei anderweitig therapierefraktärer Dyspnoe [35]. Unter Dexmedetomidin sanken Dyspnoe-Scores, AF und der BP [35]. Es zeigten sich folglich therapiebedingte Veränderungen der Vitalparameter [35]. Dies unterstützt die These, dass sich Vitalparameter-Trends nicht ausschließlich als Signal für die Sterbephase interpretieren lassen, sondern auch als Folge der Symptomtherapie. Auch für Anticholinergika wurde eine Zunahme der Applikation berichtet, allerdings weniger

ausgeprägt als bei Benzodiazepinen [50]. Taburee et al. berichteten für Anticholinergika keinen gesicherten Therapieeffekt bei Russelatmung [34]. Eine Zunahme spricht für klinischen Bedarf, jedoch nicht automatisch für gesicherte Wirksamkeit. Eine zielorientierte Indikationsstellung ist daher sinnvoll. Der Fokus liegt dabei häufig auf Entlastung von Angehörigen [34]. Nicht-pharmakologische Maßnahmen wie Mundpflege und Lagerung behalten einen hohen Stellenwert [34]. Die beobachtete Zunahme von Opioiden und Benzodiazepinen lässt sich durch große Versorgungsdaten von Nguyen et al. stützen [33]. Dies spricht dafür, dass die dokumentierten Muster nicht nur unizentrisch auftreten und auch in anderen Kohorten beobachtet werden. In Tenge et al. nahm Midazolam in der Sterbephase deutlich zu [50]. Thomas et al. zeigten im randomisierten Vergleich, dass auch andere Sedierungsstrategien wie mit Dexmedetomidin eingesetzt werden können [36]. Damit ist die beobachtete Medikationsveränderung klinisch plausibel, aber nicht die einzige Versorgungsrealität. In der vorliegenden Studie wurde die Applikation von Medikation dokumentiert, nicht die Dosis und der Zeitpunkt [50]. Dadurch lässt sich nur limitiert zwischen Therapieeffekten und Sterbe-/Krankheitsprogression unterscheiden. Yoshimura et al. zeigen nach Benzodiazepin-Applikation unter Opioidtherapie eine Abnahme der AF [24]. Eine Abnahme der AF kann damit medikamenteninduziert sein und muss nicht eine zusätzliche respiratorische Dekompensation abbilden [24]. Für die Einordnung der AF-Trends in dieser Arbeit spricht das für eine zurückhaltende Interpretation und für eine klare Kontextualisierung mit Sedierung und Opioidapplikation. Neuere technische Verfahren unterstreichen das Interesse an belastungsarmen Monitoringverfahren. Griebßhammer et al. veröffentlichten eine Publikation, die sich mit radarbasierter und kontaktloser HF-Messung bei Palliativpatienten befasst [25]. In der Studie wurde die Machbarkeit und Genauigkeit dieser Methodik untersucht [25]. Die Autoren zeigten eine EKG-nahe *balanced accuracy* von ± 5 Schlägen pro Minute in über 90% der Messungen, womit kontaktlose Verfahren eine Ergänzung zu *Wearables* darstellen [25]. Die Autoren schlussfolgerten, dass kontinuierliches HF-Monitoring die klinische Einschätzung erleichtern kann [25]. Sie beobachteten eine Korrelation zwischen HF-Änderungen und Symptomen wie Schmerzen [25]. Damit sind die kontaktlos erhobenen Signale mit den Ergebnissen der VitalPatch®-Sensoren vereinbar [50]. Auch in dieser Arbeit zeigte sich eine positive Korrelation zwischen erhöhter HF und Schmerzen [50]. Die Entwicklung und Erforschung neuer technischer Ansätze legt die Durchführung von

Methodenvergleichen nahe und unterstreicht das bestehende Interesse an belastungsarmen Monitoringverfahren in der Palliativmedizin.

4.4 Methodische Diskussion und Limitationen der Studie

Die wesentliche Stärke dieser prospektiven, monozentrischen Beobachtungsstudie liegt in der Bereitstellung kontinuierlicher Echtzeitdaten bis zum Tod [50]. Das kontinuierliche Monitoring mittels des nicht-invasiven, kutan tragbaren VitalPatch® war praktikabel und wurde toleriert [50]. Es wurden keine Beschwerden von Patienten, Angehörigen oder Mitarbeitern berichtet [50]. Dies stellt eine innovative und patientenschonendere Methode dar [50]. Durch die Kombination von Vitalparametern, Symptomlast und Medikation konnte eine umfassende Analyse der letzten Lebenstage erfolgen [50]. Im Vergleich zu früheren Studien fällt auf, dass diese meist auf intermittierende Messungen setzten und keine kontinuierlichen Daten erhoben haben [9], [10], [11], [12], [29]. Diese Studie liefert hier einen klaren Mehrwert, da sie eine engmaschige, zeitlich präzise Abbildung physiologischer Veränderungen ermöglicht. Methodisch wurden die kontinuierlich erfassten Datensätze exportiert, entschlüsselt und aus den im 4-Sekunden-Intervall registrierten Werten in stündliche Mittelwerte umgerechnet. Artefaktanfällige Werte wurden bereinigt. Im Gegensatz zu Monitoring-Systemen, die beispielsweise unter Matratzen angebracht werden und auf Bewegungsanalysen beruhen [15], [25], bietet das verwendete kabellose VitalPatch®-System eine höhere Mobilität und Flexibilität, sowohl für Patienten als auch für das medizinische Personal [50]. So wäre mit dem VitalPatch® auch ein Monitoring außerhalb des Patientenzimmers möglich. Unterschiedliche Sensorprinzipien erzeugen unterschiedliche Fehlerprofile. Das monozentrische Studiendesign schränkt die Generalisierbarkeit der Befunde ein. Dies lässt sich auch anhand der Studie von Tanuseputro et al. zeigen [30]. Es wurden starke Unterschiede zwischen einzelnen Einrichtungen beschrieben [30]. Es ist zu vermuten, dass eine *selection-bias* vorliegt, da nur Patienten eingeschlossen wurden, die selbst oder über gesetzliche Vertreter eine informierte Einwilligung erteilen konnten. Dadurch wurden mutmaßlich Menschen mit eingeschränkter Entscheidungsfähigkeit ausgeschlossen, was die Repräsentativität einschränkt. Auch die Stichprobengröße von lediglich 30 Patienten limitiert die statistische Aussagekraft der Ergebnisse und erschwert generalisierbare Aussagen. Auch die Einschätzung der verbleibenden Lebenszeit durch das interprofessionelle Team ist aufgrund breiter Zeitkategorien nur eingeschränkt

interpretierbar. Grobe Intervalle erhöhen die Wahrscheinlichkeit einer korrekten Zuordnung, sodass die berichtete Prognosegüte von 88,9% nur begrenzt vergleichbar ist. Die Medikation wurde ohne Dosierung, Applikationsweg und Zeitpunkt dokumentiert. Therapieeffekte lassen sich daher nicht zuverlässig abgrenzen. Für die Temp war eine Kalibrierung durch manuelle axilläre Messung notwendig. Da axilläre Messungen beobachterabhängig sind, kann eine Intra- und Interrater-Messvariabilität nicht ausgeschlossen werden. Zwar erfolgten regelmäßige klinische Überprüfungen der erfassten Vitalparameter, jedoch ohne standardisiertes Verfahren und ohne dokumentierte Protokollierung. Ein weiteres methodisches Problem stellt der Datenverlust bei sechs Patienten dar. Fünf der sechs Datenverluste waren auf technische Probleme wie Internet-Verbindungsabbrüche oder fehlgeschlagene Datenexporte zurückzuführen. Vor allem im initialen Studienstart gab es erhebliche Einschränkungen des WLAN (*wireless local area network*). Dieser Umstand verdeutlicht die Notwendigkeit robusterer Monitoring-Systeme gegenüber Artefakten sowie stabiler Netzwerkverbindungen für eine künftige Implementierung in den klinischen Alltag. Auch inhaltlich zeigten sich Einschränkungen. Erfasst wurden lediglich HF, AF und Temp. Wichtige physiologische Parameter wie BP oder SpO₂ blieben unberücksichtigt. Hypotonie oder Hypoxie lassen sich als Erklärung für Veränderungen folglich nicht prüfen. Zwar waren die eingesetzten VitalPatch® zusätzlich in der Lage, die Körperposition der Patienten zu messen, jedoch erwiesen sich diese Daten als zu unzuverlässig für eine sinnvolle Analyse.

4.5 Ausblick

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass sich insbesondere die HF in den letzten Lebenstagen verändert und HF-Veränderungen mit der Symptomlast korrelieren. Damit werden Befunde aus früheren Arbeiten nicht nur bestätigt, sondern durch das kontinuierliche Monitoring erweitert. Gleichzeitig ist hervorzuheben, dass die in dieser Studie beobachtete Zunahme der HF um etwa 5 Schläge pro Minute unmittelbar vor dem Tod ein bislang in der verfügbaren Literatur nicht eindeutig berichtetes Signal darstellt, dessen potenzielle prognostische Relevanz in weiteren Studien zu prüfen ist. Damit könnte die HF ein wichtiger Parameter werden, dessen Veränderungen in der klinischen Entscheidungsfindung stärker berücksichtigt werden sollten. Die Einschätzung erfahrener Pflegefachkräfte und (Palliativ-)Medizinern bleibt relevant und kann durch technische Systeme lediglich ergänzt werden. Für die klinische Anwendung ist

entscheidend, Monitoring nur dann einzusetzen, wenn aus den erhobenen Informationen konkrete patientenorientierte Konsequenzen ableitbar sind. Hierzu gehört eine frühere Erkennung belastender Zustände, eine verbesserte Symptomkontrolle, eine präzisere Versorgungsplanung sowie eine unterstützte Kommunikation mit Angehörigen. In diesem Kontext kann die kontinuierliche Erhebung der HF helfen, therapeutische Maßnahmen wie Medikamentenanpassungen datenbasiert zu optimieren. Angehörige könnten gezielter informiert und in den Sterbeprozess eingebunden werden, wenn sich Verschlechterungen frühzeitig abzeichnen. Zu beachten ist zudem, dass HF-Veränderungen multifaktoriell beeinflusst sein können, sodass neben Schmerzen auch psychische Belastungen oder physiologische Zustände wie Infektionen hierfür infrage kommen. Ein nächster Schritt könnte die Entwicklung eines KI-gestützten, algorithmusbasierten Vorhersagemodells sein, das auf kontinuierlich erhobenen Vitalparametern basiert. Weitere Parameter wie Apnoe-Phasen, SpO₂ oder Bewegungsmuster könnten dabei berücksichtigt werden. Eine Integration solcher Monitoring-Systeme in Bereiche der stationären und ambulanten Palliativversorgung wäre ebenso sinnvoll wie ihre Einbindung in telemedizinische Versorgungskonzepte, insbesondere in schwer erreichbaren ländlichen Regionen. Der potenzielle Nutzen liegt dabei weniger in einer genauen Prognose als in der frühzeitigen Erkennung klinisch relevanter Veränderungen wie Schmerzen und damit in einer Verbesserung der Versorgungsqualität bei gleichzeitiger Entlastung aller Beteiligten. Voraussetzung bleibt, Monitoring patienten- und zielorientiert sowie im Kontext des *Total-Care-Prinzips* umzusetzen. Für zukünftige Forschung lassen sich daraus mehrere konkrete Empfehlungen ableiten. Multizentrische Studien mit größeren Kohorten wären empfehlenswert, um die Aussagekraft zu erhöhen und unterschiedliche Versorgungskontexte einzubeziehen. Ebenso wäre die Integration zusätzlicher Vitalparameter wie BP und SpO₂ sinnvoll, um ein vollständigeres physiologisches Bild zu erhalten. Eine Kombination quantitativer Daten mit qualitativen Erhebungen, etwa zur Perspektive von Patienten und Angehörigen, würde helfen, den subjektiven Nutzen und mögliche Belastungen besser zu verstehen. Nur eine umfassende Betrachtung erlaubt eine realistische Einschätzung und Weiterentwicklung der kontinuierlichen Vitalparametermessung in der Palliativversorgung. Für die Zukunft werden verbesserte Algorithmen, patientenschonendere Hardware und größere, repräsentative Kohorten entscheidend sein, um das Potenzial digitaler Technologien in der Palliativversorgung vollständig auszuschöpfen.

5. Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] World Health Organization, “Palliative care.” Accessed: Jul. 05, 2025. [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/palliative-care>
- [2] Leitlinienprogramm Onkologie, “S3-Leitlinie Palliativmedizin für Patienten mit einer nicht-heilbaren Krebserkrankung,” version 2.2, Sep. 2020. [Online]. Available: https://www.leitlinienprogramm-onkologie.de/fileadmin/user_upload/Downloads/Leitlinien/Palliativmedizin/Version_2/L_Palliativmedizin_Langversion_2.2.pdf.
- [3] Deutsche Gesellschaft für Palliativmedizin, “Definitionen zur Hospiz- und Palliativversorgung,” 2016. Accessed: Jul. 05, 2025. [Online]. Available: https://www.dgpalliativmedizin.de/images/DGP_GLOSSAR.pdf
- [4] M. W. Schnell and C. Schulz-Quach, Eds., *Basiswissen Palliativmedizin*, 3rd ed. Berlin, Heidelberg, Germany: Springer, 2019. [Online]. Available: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-59285-4>. Accessed: Oct. 04, 2025.
- [5] Robert Koch-Institut and Destatis, *Gesundheit in Deutschland*. Berlin, Germany: Robert Koch-Institut und Statistisches Bundesamt, 2015. Accessed: Jul. 05, 2025. [Online]. Available: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Gesundheit/Gesundheitszustand-Relevantes-Verhalten/Publikationen/Downloads-Gesundheitszustand/gesundheit-in-deutschland-publikation.html>
- [6] B. Dasch, H. Melching, B. O. Maier, P. Lenz, C. Bausewein, and J. Rosenbruch, “A nationwide survey of palliative care units in Germany on structures and patient care,” *Dtsch. Arztebl. Int.*, vol. 121, no. 3, pp. 92–93, Feb. 2024, doi: 10.3238/arztebl.m2023.0251.
- [7] T. Ott *et al.*, “Palliative care and new technologies: The use of smart sensor technologies and its impact on the Total Care principle,” *BMC Palliat. Care*, vol. 22, Art. no. 50, 2023, doi: 10.1186/s12904-023-01174-9.
- [8] J. Power, C. Gouldthorpe, and A. Davies, “Vital signs in palliative care: A scoping review,” *Cancers*, vol. 15, no. 18, Art. no. 4641, 2023, doi: 10.3390/cancers15184641.
- [9] I. C. Hwang, H. Y. Ahn, S. M. Park, J. Y. Shim, and K. K. Kim, “Clinical changes in terminally ill cancer patients and death within 48 h: When should we refer patients to a separate room?,” *Support. Care Cancer*, vol. 21, no. 3, pp. 835–840, Mar. 2013, doi: 10.1007/s00520-012-1587-4.
- [10] S. Bruera, G. Chisholm, R. Dos Santos, C. Crovador, E. Bruera, and D. Hui, “Variations in vital signs in the last days of life in patients with advanced cancer,” *J. Pain Symptom*

- Manage.*, vol. 48, no. 4, pp. 510–517, Oct. 2014, doi: 10.1016/j.jpainsymman.2013.10.019.
- [11] K. Sato, H. Yokoi, and S. Tsuneto, “Shock Index and decreased level of consciousness as terminal cancer patients’ survival time predictors: A retrospective cohort study,” *J. Pain Symptom Manage.*, vol. 51, no. 2, pp. 220–231.e2, Feb. 2016, doi: 10.1016/j.jpainsymman.2015.09.012.
 - [12] T. Hosoi, S. Ozone, J. Hamano, K. Maruo, and T. Maeno, “Prediction models for impending death using physical signs and vital signs in noncancer patients: A prospective longitudinal observational study,” *Palliat. Med. Rep.*, vol. 2, no. 1, pp. 287–295, Oct. 2021, doi: 10.1089/pmr.2021.0029.
 - [13] H. J. Jho *et al.*, “Prospective validation of the Objective Prognostic Score for advanced cancer patients in diverse palliative settings,” *J. Pain Symptom Manage.*, vol. 52, no. 3, pp. 420–427, Sep. 2016, doi: 10.1016/j.jpainsymman.2016.03.015.
 - [14] K. Shi, C. Will, T. Steigleder, F. Michler, R. Weigel, C. Ostgathe, and A. Kölpin, “A contactless system for continuous vital sign monitoring in palliative and intensive care,” in *Proc. 2018 Annu. IEEE Int. Syst. Conf. (SysCon)*, Vancouver, BC, Canada, Apr. 2018, pp. 1–8, doi: 10.1109/SYSCON.2018.8369507.
 - [15] S. Fukui *et al.*, “Association between respiratory and heart rate fluctuations and death occurrence in dying cancer patients: Continuous measurement with a non-wearable monitor,” *Support. Care Cancer*, vol. 30, no. 1, pp. 77–86, Jan. 2022, doi: 10.1007/s00520-021-06346-y.
 - [16] H. Tanaka *et al.*, “The change over time of vital signs with consideration for opioid use in the last 2 weeks of life among cancer patients in a palliative care unit: Continuous measurement of vital signs using a non-wearable monitor,” *Cancer Med.*, vol. 10, no. 24, pp. 8799–8807, Dec. 2021, doi: 10.1002/cam4.4382.
 - [17] M. Mori, T. Morita, E. Bruera, and D. Hui, “Prognostication of the last days of life,” *Cancer Res. Treat.*, vol. 54, no. 3, pp. 631–643, Jul. 2022, doi: 10.4143/CRT.2021.1573.
 - [18] K. C. Hataasaki *et al.*, “Objective measure for physical symptoms in terminal phase: Activity scores from nonwearable devices,” *J. Palliat. Med.*, vol. 29, no. 2, pp. 187–196, Feb. 2026, doi: 10.1177/10966218251390202.
 - [19] K. Ikuta, I. Maeda, Y. Hatano, I. Mori, and S. Fukui, “Feasibility and clinical usefulness of a novel nonwearable sheet-type monitor (Nemuri SCAN): Prognostic value of increased respiratory rate in actively dying patients,” *J. Palliat. Med.*, vol. 24, no. 11, pp. 1634–1640, Nov. 2021, doi: 10.1089/JPM.2020.0508.
 - [20] P. Helmer *et al.*, “The use of wearable sensor technology to enhance supportive care in hospitalized palliative patients (Support trial): A prospective preliminary pilot study,”

- BMC Palliat. Care*, vol. 24, no. 1, Art. no. 154, May 2025, doi: 10.1186/s12904-025-01794-3.
- [21] K. Seibel *et al.*, “Implementation of a digital distress detection system in palliative care: Qualitative data on perspectives of a multiprofessional palliative care team,” *BMC Palliat. Care*, vol. 23, no. 1, Art. no. 146, Aug. 2024, doi: 10.1186/S12904-024-01530-3.
 - [22] N. Nozaki-Taguchi *et al.*, “Continuous monitoring of activity and vital signs with load cells under the bed legs in advanced cancer patients: A prospective exploratory observational study—can it represent performance status?,” *Ann. Palliat. Med.*, vol. 12, no. 4, pp. 757–766, Jul. 2023, doi: 10.21037/APM-22-1235.
 - [23] M. Hasegawa *et al.*, “Effects of opioids on respiration assessed by a contact-free unconstrained respiratory monitor with load cells under the bed in patients with advanced cancer,” *J. Appl. Physiol.*, vol. 130, no. 6, pp. 1743–1753, Jun. 2021, doi: 10.1152/japplphysiol.00904.2020.
 - [24] A. Yoshimura, N. Nozaki-Taguchi, D. Suganuma, Y. Sakashita, M. Fujisato, and S. Isono, “Respiratory effects of benzodiazepine in patients with advanced-stage cancer receiving opioid analgesics: A prospective observational study,” *Palliat. Med. Rep.*, vol. 5, no. 1, pp. 399–407, Sep. 2024, doi: 10.1089/PMR.2024.0021.
 - [25] S. G. Griebßhammer *et al.*, “Contactless radar-based heart rate estimation in palliative care—a feasibility study and possible use in symptom management,” *BMC Palliat. Care*, vol. 23, no. 1, Art. no. 211, Nov. 2024, doi: 10.1186/S12904-024-01592-3.
 - [26] J. B. Yip *et al.*, “Continuous-wave radar and motion-derived biomarkers for non-contact vital status classification in end-of-life care: A clinically validated machine learning approach,” *IEEE J. Biomed. Health Inform.*, early access, pp. 1–13, 2025, doi: 10.1109/JBHI.2025.3599365.
 - [27] T. Ikari *et al.*, “‘3-Day Surprise Question’ to predict prognosis of advanced cancer patients with impending death: Multicenter prospective observational study,” *Cancer Med.*, vol. 10, no. 3, pp. 1018–1026, Feb. 2021, doi: 10.1002/CAM4.3689.
 - [28] C. Simões, R. Carneiro, and A. Cardoso-Teixeira, “High specificity clinical signs of impending death: A scoping review,” *Int. J. Nurs. Stud.*, vol. 164, Art. no. 105015, Apr. 2025, doi: 10.1016/J.IJNURSTU.2025.105015.
 - [29] T. Hosoi, S. Ozone, and J. Hamano, “Variations in vital signs at the end of life in noncancer patients: A retrospective study,” *Ann. Palliat. Med.*, vol. 9, no. 5, pp. 2678–2683, Sep. 2020, doi: 10.21037/apm-20-1054.
 - [30] P. Tanuseputro *et al.*, “Palliative end-of-life medication prescribing rates in long-term care: A retrospective cohort study,” *J. Am. Med. Dir. Assoc.*, vol. 25, no. 3, pp. 532–538.e8, Mar. 2024, doi: 10.1016/J.JAMDA.2023.11.026.

- [31] S. Meesters, B. Grüne, C. Bausewein, and E. Schildmann, “ ‘Palliative Syringe Driver’? A mixed-methods study in different hospital departments on continuous infusions of sedatives and/or opioids in end-of-life care,” *J. Patient Saf.*, vol. 18, no. 4, pp. E801–E809, Jun. 2022, doi: 10.1097/PTS.0000000000000918.
- [32] E. Prommer, “Midazolam: An essential palliative care drug,” *Palliat. Care Soc. Pract.*, vol. 14, 2020, doi: 10.1177/2632352419895527.
- [33] C. T. Nguyen, M. L. McPherson, B. N. Noble, and J. P. Furuno, “Prevalence and characteristics of patients prescribed opioids and central nervous system depression agents on discharge to hospice care,” *Ann. Palliat. Med.*, vol. 13, no. 2, pp. 240–248, Mar. 2024, doi: 10.21037/APM-23-537.
- [34] W. Taburee, T. Dhippayom, K. Nagaviroj, and P. Dilokthornsakul, “Effects of anticholinergics on death rattle: A systematic review and network meta-analysis,” *J. Palliat. Med.*, vol. 26, no. 3, pp. 431–440, Mar. 2023, doi: 10.1089/JPM.2022.0386.
- [35] N. Li, M. Cui, and Y. Wang, “Effect of dexmedetomidine for palliative sedation for refractory dyspnoea in patients with terminal-stage cancer,” *Cancer Manag. Res.*, vol. 15, pp. 291–299, 2023, doi: 10.2147/CMAR.S404934.
- [36] B. Thomas, G. Barclay, K. Mansfield, J. Mullan, and W. S. A. Lo, “Dexmedetomidine versus midazolam for end-of-life sedation: The DREAMS non-blinded randomized clinical trial,” *J. Pain Symptom Manage.*, vol. 70, no. 5, pp. 459–469, Nov. 2025, doi: 10.1016/J.JPAINSYMMAN.2025.07.027.
- [37] Y. Hiratsuka *et al.*, “Prevalence and severity of symptoms and signs in patients with advanced cancer in the last days of life: The East Asian collaborative cross-cultural study to elucidate the dying process (EASED),” *Support. Care Cancer*, vol. 30, no. 6, pp. 5499–5508, Jun. 2022, doi: 10.1007/S00520-022-06969-9.
- [38] Land.NRW, “Das 5G-Projekt ‘GIGA FOR HEALTH’ macht Krankenhäuser fit für die Zukunft | Land.NRW.” Accessed: Jul. 05, 2025. [Online]. Available: <https://www.land.nrw/pressemitteilung/das-5g-projekt-giga-health-macht-krankenhaeuser-fit-fuer-die-zukunft>
- [39] MediBioSense, “Terms of Use - MediBioSense.” Accessed: Jul. 05, 2025. [Online]. Available: <https://www.medibiosense.com/terms-of-use/>
- [40] MediBioSense, *MBS HealthStream FAQ Support Guide – VitalPatch® Biosensor*, 2021.
- [41] MediBioSense, *MBS Health Application—Instructions for Use*, 2021.
- [42] S. Church, E. Rogers, K. Rockwood, and O. Theou, “A scoping review of the Clinical Frailty Scale,” *BMC Geriatr.*, vol. 20, no. 1, Art. no. 393, Oct. 2020, doi: 10.1186/S12877-020-01801-7.
- [43] K. Fetz, H. Vogt, T. Ostermann, A. Schmitz, and C. Schulz-Quach, “Evaluation of the palliative symptom burden score (PSBS) in a specialised palliative care unit of a university

- medical centre: A longitudinal study,” *BMC Palliat. Care*, vol. 17, no. 1, Art. no. 92, Jul. 2018, doi: 10.1186/S12904-018-0342-0.
- [44] U. Reinholz *et al.*, “Einführung der Handlungsempfehlung Sterbephase (HES) auf einer universitären Palliativstation—Veränderung in der Betreuung Sterbender und ihrer Angehörigen aus Sicht der Pflege,” *Z. Palliativmed.*, vol. 17, no. 5, p. P130, Dec. 2016, doi: 10.1055/s-0036-1594145.
- [45] Deutsche Gesellschaft für Palliativmedizin, *Handlungsempfehlung Sterbephase (HES)*, version 2.3, Jan. 2022. [Online]. Available: https://www.dgpalliativmedizin.de/images/221213_HES_Version_2.3_Januar2022_Komplett.pdf?utm_source=chatgpt.com
- [46] Microsoft, “PowerShell-Dokumentation—PowerShell | Microsoft Learn.” Accessed: Jan. 20, 2026. [Online]. Available: <https://learn.microsoft.com/de-de/powershell/>
- [47] Python Software Foundation, “Welcome to Python.org.” Accessed: Mar. 04, 2025. [Online]. Available: <https://www.python.org/>
- [48] GraphPad Software, “Prism—GraphPad.” Accessed: Mar. 04, 2025. [Online]. Available: <https://www.graphpad.com/features>
- [49] StataCorp, “Statistical software for data science | Stata.” Accessed: Mar. 04, 2025. [Online]. Available: <https://www.stata.com/>
- [50] T. Tenge *et al.*, “Wireless patches for continuous vital sign monitoring, symptoms and medication at the end-of-life in the palliative care unit: A prospective observational study,” *J. Clin. Monit. Comput.*, Aug. 19, 2025, doi: 10.1007/s10877-025-01343-6.

6. Anhang

Tabelle A1 Beschreibung der individuellen Symptomintensitäten (angelehnt an PSBS)

Symptom	0	1	2	3	4
Vigilanz	keine Beeinträchtigung	tagsüber auftretende Müdigkeit	gelegentliche Schlafphasen am Tag	überwiegende Schlafphasen am Tag	Somnolenz
Verwirrtheit	keine Beeinträchtigung	Patient zu schwach, um sich aktiv zeitlich und örtlich zu orientieren	kurzfristige Orientierungsstörung	stark beeinträchtigt, reagiert depressiv	schwer desorientiert und hilflos
Angst	keine Beeinträchtigung	gelegentlich, Patient kann Grund nennen	häufiger auftretend, Zuwendung erforderlich	trotz Dauermedikation anfallsweise auftretend	starke Unruhe, Panik oder Suizidalität
Schwitzen	keine Beeinträchtigung	vereinzelt nach körperlicher Anstrengung	Schweißausbrüche mit Schwächegefühl	starkes Schwitzen (Wäschewechsel nötig)	anhaltendes, kurzfristig wiederkehrendes Schwitzen
Schwäche	keine Beeinträchtigung	normaler Tagesablauf unter Anstrengung möglich	normaler Tagesablauf mit Ruhepausen	Hilfe bei täglichen Verrichtungen nötig	überwiegende Pflegeabhängigkeit
Übelkeit	keine Beeinträchtigung	vorübergehend, mit Appetitlosigkeit verbunden	vereinzelt, aber mehrfach am Tag	starke Beeinträchtigung, Würge- und Brechreize	stundenlang anhaltende oder ständige Übelkeit
Erbrechen	keine Beeinträchtigung	einmalig nach Nahrungs- oder Medikamentenaufnahme	spontanes Erbrechen	mehrmaliges Erbrechen pro Schicht	quälendes Erbrechen oder ständige Übelkeit
Dyspnoe	keine Beeinträchtigung	unter Belastung auftretend	unter geringer Belastung	Ruhedyspnoe	Atemnot mit anfallsweisen Angstgefühlen, Medikation erforderlich
Husten	keine Beeinträchtigung	produktiver Husten	trockener Husten	ständiger Hustenreiz, Schlafstörung	quälender Hustenreiz, Schmerzen oder Erstickungsängste
Juckreiz	keine Beeinträchtigung	gelegentlich	Kratzdefekte der Haut	quälender Juckreiz, Medikation erforderlich	trotz Therapie quälender Juckreiz

Tabelle A2 Kumulative Symptomlast bis zum Tode

Tag	Schicht	n	Mittelwert $\pm$ SD	Median (IQA)
-7	-22	1	16 $\pm$ 0	16 (16-16)
	-21	1	23 $\pm$ 0	23 (23-23)
	-20	3	16,33 $\pm$ 1,53	16 (15-18)
-6	-19	5	15 $\pm$ 3,24	13 (13-18)
	-18	5	18,6 $\pm$ 2,88	18 (18-19)
	-17	5	18,2 $\pm$ 1,92	18 (17-19)
-5	-16	7	16,43 $\pm$ 3,51	16 (13-19)
	-15	8	19,13 $\pm$ 2,70	18,5 (17-21,5)
	-14	9	18,11 $\pm$ 3,06	17 (17-21)
-4	-13	10	17 $\pm$ 4,24	17 (13-19)
	-12	10	17,9 $\pm$ 2,69	17,5 (16-20)
	-11	11	16,64 $\pm$ 2,77	18 (15-19)
-3	-10	13	17,08 $\pm$ 2,93	17 (15-19)
	-9	15	17,93 $\pm$ 3,35	18 (16-20)
	-8	14	18,43 $\pm$ 2,95	18,5 (17-20)
-2	-7	16	18,38 $\pm$ 3,16	19 (16,5-21)
	-6	18	18,83 $\pm$ 4,58	18 (16-21)
	-5	19	19,26 $\pm$ 4,34	18 (16-23)
-1	-4	20	19,15 $\pm$ 3,22	19 (17-20,5)
	-3	23	19,65 $\pm$ 3,17	19 (17-22)
	-2	25	19,28 $\pm$ 3,09	19 (17-21)
Tag des Todes	-1	28	20,43 $\pm$ 5,01	18,5 (17-23)
	0	30	19,60 $\pm$ 4,37	19 (16-23)

Tabelle A3 Der Zusammenhang zwischen der verbleibenden Zeit bis zum Tod (in Stunden) und der Herzfrequenz (in Schlägen pro Minute), Ausgabe gemäß einem linearen gemischten Effektmodell mit Stunde 72 vor dem Tod als Referenzzeitpunkt

Stunde	Koeffizient	Standardfehler	p-Wert	95% KI (untere Grenze)	95% KI (obere Grenze)
-183	-17,73288	11,94228	0,138	-41,13932	5,673559
-182	-17,27481	11,94228	0,148	-40,68125	6,131631
-181	-8,66793	11,94228	0,468	-32,07437	14,73851
-180	-6,661697	11,94228	0,577	-30,06813	16,74474
-179	-17,25038	8,7206	0,048	-34,34244	-0,15832
-178	-14,25945	8,7206	0,102	-31,35151	2,832611
-177	-15,01314	8,7206	0,085	-32,10521	2,078919
-176	-14,66936	8,7206	0,093	-31,76142	2,422701
-175	-9,738721	8,7206	0,264	-26,83078	7,353341
-174	-7,499647	8,7206	0,390	-24,59171	9,592415
-173	-11,93127	8,7206	0,171	-29,02333	5,160796
-172	-7,008002	8,7206	0,422	-24,10006	10,08406
-171	-9,17644	8,7206	0,293	-26,2685	7,915622
-170	-11,59669	8,7206	0,184	-28,68875	5,495372
-169	-9,802989	8,7206	0,261	-26,89505	7,289074
-168	-9,877437	7,338666	0,178	-24,26096	4,506085
-167	-9,99581	7,338666	0,173	-24,37933	4,387712
-166	-8,6087	7,338666	0,241	-22,99222	5,774822
-165	-10,0469	7,338666	0,171	-24,43042	4,336623
-164	-3,580933	7,338666	0,626	-17,96445	10,80259
-163	-8,534484	7,338666	0,245	-22,91801	5,849038
-162	-10,21302	7,338666	0,164	-24,59654	4,170501
-161	-8,193796	7,338666	0,264	-22,57732	6,189726
-160	-10,74496	6,541158	0,100	-23,56539	2,075475
-159	-10,33156	6,541158	0,114	-23,152	2,488872
-158	-5,346725	6,541158	0,414	-18,16716	7,47371
-157	-9,974132	6,541158	0,127	-22,79457	2,846303
-156	-10,8655	6,009525	0,071	-22,64395	0,9129563
-155	-12,20786	6,009525	0,042	-23,98631	-0,4294089
-154	-13,5779	6,009525	0,024	-25,35635	-1,799443
-153	-13,20817	5,627262	0,019	-24,2374	-2,178942
-152	-13,47122	5,627262	0,017	-24,50045	-2,441988
-151	-15,94196	5,627262	0,005	-26,97119	-4,912729
-150	-12,14144	6,00709	0,043	-23,91512	-0,3677641
-149	-6,336577	6,00709	0,291	-18,11026	5,437102
-148	-10,34957	6,00709	0,085	-22,12325	1,424109
-147	-7,66467	6,00709	0,202	-19,43835	4,109009
-146	-8,847274	6,00709	0,141	-20,62095	2,926405
-145	-10,88224	6,00709	0,070	-22,65592	0,891441
-144	-7,070684	5,627262	0,209	-18,09992	3,958547
-143	-10,18786	5,627262	0,070	-21,21709	0,8413677
-142	-13,85564	5,627262	0,014	-24,88487	-2,82641
-141	-14,27616	5,337333	0,007	-24,73714	-3,815179
-140	-13,91121	5,337333	0,009	-24,37219	-3,450225
-139	-19,22536	5,337333	0,000	-29,68634	-8,764382
-138	-19,16998	5,337333	0,000	-29,63096	-8,709
-137	-17,60242	5,337333	0,001	-28,0634	-7,141436
-136	-15,3959	5,337333	0,004	-25,85688	-4,934923
-135	-12,54341	5,337333	0,019	-23,00439	-2,082429
-134	-13,24813	5,337333	0,013	-23,70911	-2,787146
-133	-11,31602	5,337333	0,034	-21,777	-,8550362
-132	-12,76945	5,337333	0,017	-23,23043	-2,30847
-131	-12,11051	5,337333	0,023	-22,57149	-1,649529

-130	-15,73323	5,337333	0,003	-26,19421	-5,272253
-129	-15,79075	5,337333	0,003	-26,25173	-5,329769
-128	-14,55379	5,337333	0,006	-25,01477	-4,092806
-127	-11,38517	5,337333	0,033	-21,84615	-0,9241849
-126	-8,915	5,337333	0,095	-19,37598	1,545981
-125	-8,528272	5,337333	0,110	-18,98925	1,932708
-124	-10,03264	5,108856	0,050	-20,04581	-0,0194645
-123	-9,373537	5,108856	0,067	-19,38671	0,6396362
-122	-11,23343	5,108856	0,028	-21,2466	-1,220255
-121	-12,74386	5,108856	0,013	-22,75703	-2,730684
-120	-11,42096	5,108856	0,025	-21,43413	-1,407789
-119	-14,34939	5,108856	0,005	-24,36256	-4,336215
-118	-14,11828	5,108856	0,006	-24,13145	-4,105105
-117	-10,10629	5,108856	0,048	-20,11946	-,0931145
-116	-8,270194	5,108856	0,105	-18,28337	1,742979
-115	-9,752161	4,923705	0,048	-19,40245	-0,1018752
-114	-10,86005	4,923705	0,027	-20,51033	-1,209764
-113	-9,698917	4,923705	0,049	-19,3492	-0,048632
-112	-7,710291	4,770373	0,106	-17,06005	1,639468
-111	-9,791983	4,921761	0,047	-19,43846	-0,1455086
-110	-8,175382	4,770373	0,087	-17,52514	1,174376
-109	-8,281515	4,770373	0,083	-17,63127	1,068244
-108	-6,318784	4,770373	0,185	-15,66854	3,030975
-107	-4,905847	4,770373	0,304	-14,25561	4,443912
-106	-5,123836	4,770373	0,283	-14,47359	4,225923
-105	-5,085604	4,770373	0,286	-14,43536	4,264155
-104	-5,983343	4,641038	0,197	-15,07961	3,112925
-103	-7,49075	4,641038	0,107	-16,58702	1,605518
-102	-6,730783	4,641038	0,147	-15,82705	2,365484
-101	-5,753785	4,641038	0,215	-14,85005	3,342482
-100	-7,02918	4,641038	0,130	-16,12545	2,067087
-99	-5,422595	4,641038	0,243	-14,51886	3,673672
-98	-6,709929	4,641038	0,148	-15,8062	2,386338
-97	-6,361565	4,640562	0,170	-15,4569	2,73377
-96	-7,745719	4,640562	0,095	-16,84105	1,349616
-95	-5,177378	4,640562	0,265	-14,27271	3,917957
-94	-3,262237	4,640562	0,482	-12,35757	5,833098
-93	-3,957219	4,640562	0,394	-13,05255	5,138116
-92	-8,2069	4,640562	0,077	-17,30223	0,8884354
-91	-7,721954	4,434521	0,082	-16,41346	0,9695469
-90	-6,980406	4,5299	0,123	-15,85885	1,898035
-89	-6,674295	4,5299	0,141	-15,55274	2,204146
-88	-5,661971	4,5299	0,211	-14,54041	3,21647
-87	-5,267289	4,5299	0,245	-14,14573	3,611152
-86	-5,742087	4,5299	0,205	-14,62053	3,136354
-85	-5,286857	4,434028	0,233	-13,97739	3,403677
-84	-5,233423	4,434028	0,238	-13,92396	3,457111
-83	-7,329358	4,350606	0,092	-15,85639	1,197674
-82	-5,566094	4,350606	0,201	-14,09313	2,960937
-81	-6,497959	4,350606	0,135	-15,02499	2,029073
-80	-2,879806	4,350606	0,508	-11,40684	5,647225
-79	-3,603156	4,350606	0,408	-12,13019	4,923876
-78	-3,118523	4,350606	0,473	-11,64555	5,408509
-77	-3,95506	4,432897	0,372	-12,64338	4,733258
-76	-3,349862	4,276438	0,433	-11,73153	5,031802
-75	-1,756667	4,348994	0,686	-10,28054	6,767204
-74	-2,82987	4,348994	0,515	-11,35374	5,694002
-73	0,3125113	4,348994	0,943	-8,21136	8,836383
-72	Reference				
-71	-0,6907289	4,276438	0,872	-9,072392	7,690935
-70	-1,381536	4,21237	0,743	-9,637629	6,874557

-69	-1,107943	4,21237	0,793	-9,364036	7,14815
-68	0,0220818	4,21237	0,996	-8,234011	8,278175
-67	-0,1904587	4,21237	0,964	-8,446552	8,065634
-66	-0,3428716	4,21237	0,935	-8,598964	7,913221
-65	0,1908145	4,21237	0,964	-8,065278	8,446907
-64	1,338701	4,21237	0,751	-6,917392	9,594794
-63	-0,9857005	4,276438	0,818	-9,367364	7,395963
-62	-0,2204648	4,21237	0,958	-8,476558	8,035628
-61	-0,808984	4,21237	0,848	-9,065077	7,447109
-60	1,776842	4,21237	0,673	-6,47925	10,03294
-59	0,6113007	4,278221	0,886	-7,773857	8,996459
-58	-1,115747	4,278221	0,794	-9,500905	7,269411
-57	-1,813976	4,278221	0,672	-10,19913	6,571182
-56	-2,825644	4,214292	0,503	-11,08551	5,434217
-55	-2,72554	4,155205	0,512	-10,86959	5,418513
-54	-1,109502	4,155205	0,789	-9,253555	7,034551
-53	-1,882975	4,155205	0,650	-10,02703	6,261078
-52	-0,9885107	4,155205	0,812	-9,132564	7,155542
-51	-0,85991	4,155205	0,836	-9,003963	7,284143
-50	-0,7871512	4,103854	0,848	-8,830558	7,256256
-49	-1,536584	4,103854	0,708	-9,579991	6,506823
-48	-1,588011	4,103854	0,699	-9,631418	6,455396
-47	-2,034448	4,103854	0,620	-10,07785	6,008959
-46	-1,472658	4,103854	0,720	-9,516065	6,570749
-45	0,6227991	4,057511	0,878	-7,329776	8,575374
-44	-0,7267829	4,015313	0,856	-8,596652	7,143086
-43	0,1378463	4,015313	0,973	-7,732023	8,007715
-42	-0,8375212	4,058515	0,837	-8,792065	7,117023
-41	0,0379382	4,058515	0,993	-7,916606	7,992482
-40	1,430308	4,015313	0,722	-6,439562	9,300177
-39	0,8478307	4,015313	0,833	-7,022039	8,7177
-38	0,8129184	4,015313	0,840	-7,056951	8,682788
-37	0,6768081	4,015313	0,866	-7,193061	8,546677
-36	0,9414724	4,058515	0,817	-7,013072	8,896016
-35	2,302022	3,977014	0,563	-5,492781	10,09683
-34	3,404451	4,0166	0,397	-4,467941	11,27684
-33	4,264136	4,0166	0,288	-3,608256	12,13653
-32	4,643559	4,0166	0,248	-3,228832	12,51595
-31	6,94144	3,941924	0,078	-0,7845896	14,66747
-30	6,799914	3,941924	0,085	-0,9261149	14,52594
-29	6,95795	3,941924	0,078	-0,7680793	14,68398
-28	7,316006	3,941924	0,063	-0,410023	15,04204
-27	8,865572	3,941924	0,025	1,139543	16,5916
-26	7,853043	3,941924	0,046	0,1270134	15,57907
-25	6,501389	3,941924	0,099	-1,22464	14,22742
-24	7,070778	3,941924	0,073	-0,655251	14,79681
-23	7,657436	3,941924	0,052	-0,0685929	15,38347
-22	7,836156	3,941924	0,047	0,1101266	15,56218
-21	7,52613	3,910079	0,054	-0,1374834	15,18974
-20	7,926334	3,880873	0,041	0,3199622	15,53271
-19	8,48885	3,912811	0,030	0,8198809	16,15782
-18	8,994986	3,912811	0,022	1,326016	16,66396
-17	9,695761	3,854452	0,012	2,141175	17,25035
-16	8,477568	3,829389	0,027	0,972103	15,98303
-15	9,909553	3,829389	0,010	2,404087	17,41502
-14	10,50892	3,829389	0,006	3,003454	18,01439
-13	12,41479	3,829389	0,001	4,909325	19,92026
-12	13,46584	3,806454	0,000	6,005328	20,92635
-11	13,80154	3,785189	0,000	6,382706	21,22037
-10	13,29287	3,785189	0,000	5,874033	20,7117
-9	13,87682	3,785189	0,000	6,457987	21,29565

-8	14,66132	3,785189	0,000	7,24249	22,08016
-7	13,66834	3,80829	0,000	6,204226	21,13245
-6	11,85817	3,80829	0,002	4,394053	19,32228
-5	9,048849	3,785189	0,017	1,630016	16,46768
-4	8,770952	3,806676	0,021	1,310005	16,2319
-3	6,947222	3,806676	0,068	-0,5137249	14,40817
-2	1,797559	3,832957	0,639	-5,714899	9,310016
-1	-17,89006	3,918814	0,000	-25,57079	-10,20932
Stunde des Todes	-28,44833	4,121847	0,000	-36,527	-20,36966

Tabelle A4 Der Zusammenhang zwischen der verbleibenden Zeit bis zum Tod (in Stunden) und der Atemfrequenz (in Atemzügen pro Minute), Ausgabe gemäß einem linearen gemischten Effektmodell mit Stunde 72 vor dem Tod als Referenzzeitpunkt

Stunde	Koeffizient	Standardfehler	p-Wert	95% KI (untere Grenze)	95% KI (obere Grenze)
-182	-5,517409	3,435741	0,108	-12,25134	1,21652
-181	-0,8818772	3,435741	0,797	-7,615807	5,852052
-180	-3,969341	3,435741	0,248	-10,70327	2,764589
-179	-3,141128	2,504035	0,210	-8,048946	1,76669
-178	-3,151122	2,504035	0,208	-8,05894	1,756696
-177	-1,887357	2,504035	0,451	-6,795175	3,020461
-176	-1,265022	2,504035	0,613	-6,17284	3,642796
-175	-1,001753	2,504035	0,689	-5,909571	3,906065
-174	1,317656	2,504035	0,599	-3,590162	6,225473
-173	1,341156	2,504035	0,592	-3,566662	6,248974
-172	0,9487611	2,504035	0,705	-3,959057	5,856579
-171	0,7053772	2,504035	0,778	-4,202441	5,613195
-170	-1,059594	2,504035	0,672	-5,967412	3,848224
-169	-1,861008	2,504035	0,457	-6,768825	3,04681
-168	-0,7511648	2,103607	0,721	-4,874158	3,371828
-167	-0,2059788	2,103607	0,922	-4,328972	3,917014
-166	-0,2373229	2,103607	0,910	-4,360316	3,88567
-165	0,6971261	2,103607	0,740	-3,425867	4,820119
-164	-0,6376167	2,103607	0,762	-4,76061	3,485376
-163	-0,8629604	2,103607	0,682	-4,985954	3,260033
-162	0,6471652	2,103607	0,758	-3,475828	4,770158
-161	-1,233042	2,103607	0,558	-5,356035	2,889951
-160	-0,324355	1,871301	0,862	-3,992037	3,343327
-159	-0,6093466	1,871301	0,745	-4,277029	3,058336
-158	0,2885316	1,871301	0,877	-3,379151	3,956214
-157	-0,3044199	1,871301	0,871	-3,972102	3,363262
-156	-1,780939	1,71689	0,300	-5,145981	1,584103
-155	-1,729931	1,71689	0,314	-5,094973	1,635111
-154	0,1461915	1,71689	0,932	-3,21885	3,511233
-153	-0,9918401	1,605717	0,537	-4,138987	2,155307
-152	-1,628996	1,605717	0,310	-4,776143	1,518151
-151	-1,473069	1,605717	0,359	-4,620216	1,674077
-150	-1,954811	1,716899	0,255	-5,319872	1,41025
-149	-1,678369	1,716899	0,328	-5,04343	1,686692
-148	-1,588114	1,716899	0,355	-4,953174	1,776947
-147	-1,288082	1,716899	0,453	-4,653142	2,076979
-146	-1,805653	1,716899	0,293	-5,170714	1,559408
-145	-0,7250039	1,716899	0,673	-4,090065	2,640057
-144	-0,6653178	1,716899	0,698	-4,030379	2,699743
-143	-0,2390507	1,716899	0,889	-3,604112	3,12601
-142	-1,455765	1,716899	0,396	-4,820825	1,909296
-141	-2,014452	1,716899	0,241	-5,379513	1,350608
-140	-1,861154	1,521295	0,221	-4,842838	1,12053
-139	-2,688733	1,521295	0,077	-5,670417	0,2929514
-138	-3,050227	1,521295	0,045	-6,031911	-0,0685424
-137	-3,195035	1,521295	0,036	-6,176719	-0,2133504
-136	-3,472028	1,521295	0,022	-6,453712	-0,4903437
-135	-3,066473	1,521295	0,044	-6,048157	-0,0847892
-134	-2,637893	1,521295	0,083	-5,619577	0,3437915

-133	-2,227111	1,521295	0,143	-5,208795	0,7545736
-132	-2,537406	1,521295	0,095	-5,51909	0,4442782
-131	-2,267711	1,521295	0,136	-5,249395	0,7139731
-130	-1,918456	1,521295	0,207	-4,90014	1,063228
-129	-1,69123	1,521295	0,266	-4,672915	1,290454
-128	-1,493667	1,521295	0,326	-4,475352	1,488017
-127	-2,544624	1,521295	0,094	-5,526308	0,4370598
-126	-2,231082	1,521295	0,142	-5,212766	0,7506025
-125	-1,097155	1,521295	0,471	-4,078839	1,884529
-124	0,1280863	1,454709	0,930	-2,723091	2,979264
-123	-0,1039502	1,454709	0,943	-2,955128	2,747227
-122	-0,2050861	1,454709	0,888	-3,056264	2,646091
-121	-0,6660143	1,454709	0,647	-3,517192	2,185163
-120	-0,7824303	1,454709	0,591	-3,633608	2,068747
-119	-1,853846	1,454709	0,203	-4,705023	0,9973318
-118	-1,947868	1,454709	0,181	-4,799046	0,9033091
-117	-0,7726096	1,454709	0,595	-3,623787	2,078568
-116	-0,2171224	1,454709	0,881	-3,0683	2,634055
-115	-1,45646	1,400702	0,298	-4,201785	1,288865
-114	-1,981398	1,400702	0,157	-4,726723	0,7639275
-113	-1,167097	1,400702	0,405	-3,912422	1,578228
-112	-0,9020155	1,355939	0,506	-3,559606	1,755575
-111	-0,5507033	1,355939	0,685	-3,208294	2,106888
-110	-1,190096	1,355939	0,380	-3,847687	1,467495
-109	-1,806188	1,355939	0,183	-4,463779	0,8514024
-108	-1,560583	1,355939	0,250	-4,218174	1,097008
-107	0,2597192	1,355939	0,848	-2,397872	2,91731
-106	0,0586086	1,355939	0,966	-2,598982	2,716199
-105	-0,5934093	1,355939	0,662	-3,251	2,064182
-104	-1,893394	1,31816	0,151	-4,47694	0,6901517
-103	-1,940423	1,31816	0,141	-4,523969	0,6431228
-102	-0,5164836	1,31816	0,695	-3,100029	2,067062
-101	-0,629022	1,31816	0,633	-3,212568	1,954524
-100	-1,315457	1,31816	0,318	-3,899003	1,268089
-99	-0,6106391	1,31816	0,643	-3,194185	1,972907
-98	-0,3290481	1,31816	0,803	-2,912594	2,254498
-97	-0,2875912	1,318049	0,827	-2,870919	2,295737
-96	-1,169799	1,318049	0,375	-3,753127	1,41353
-95	-0,3828544	1,318049	0,771	-2,966183	2,200474
-94	-0,5892513	1,318049	0,655	-3,17258	1,994077
-93	-0,9843922	1,318049	0,455	-3,56772	1,598936
-92	-0,7248391	1,318049	0,582	-3,308167	1,858489
-91	-1,490104	1,257768	0,236	-3,955284	0,9750752
-90	-2,300594	1,285698	0,074	-4,820516	0,2193274
-89	-2,645202	1,285698	0,040	-5,165123	-,1252801
-88	-1,268069	1,285698	0,324	-3,787991	1,251852
-87	-1,784285	1,285698	0,165	-4,304207	0,7356362
-86	-2,265858	1,285698	0,078	-4,78578	0,2540634
-85	-1,837069	1,257648	0,144	-4,302015	0,6278763
-84	-1,388229	1,257648	0,270	-3,853174	1,076717
-83	-2,187006	1,233201	0,076	-4,604036	0,2300247
-82	-1,77242	1,233201	0,151	-4,18945	0,6446104
-81	-1,728163	1,233201	0,161	-4,145193	0,6888674
-80	-1,390246	1,233201	0,260	-3,807276	1,026784
-79	-2,254533	1,233201	0,068	-4,671563	0,162497

-78	-0,7862147	1,233201	0,524	-3,203245	1,630816
-77	-0,593149	1,233201	0,631	-3,010179	1,823881
-76	-0,556547	1,211483	0,646	-2,931011	1,817917
-75	-0,1854602	1,211483	0,878	-2,559924	2,189003
-74	0,0527176	1,211483	0,965	-2,321746	2,427181
-73	0,349462	1,211483	0,773	-2,025002	2,723926
-72	<i>Reference</i>				
-71	-0,8727419	1,211483	0,471	-3,247206	1,501722
-70	-1,48861	1,194673	0,213	-3,830126	0,8529057
-69	-1,630871	1,194673	0,172	-3,972387	0,7106451
-68	-1,367474	1,194673	0,252	-3,70899	0,974042
-67	-1,531439	1,194673	0,200	-3,872955	0,8100768
-66	-2,219076	1,194673	0,063	-4,560593	0,1224396
-65	-1,696795	1,194673	0,156	-4,038311	0,6447212
-64	-1,640472	1,194673	0,170	-3,981988	0,7010437
-63	-1,072859	1,194673	0,369	-3,414375	1,268657
-62	-1,102815	1,211483	0,363	-3,477278	1,271649
-61	-1,261302	1,211483	0,298	-3,635765	1,113162
-60	-1,491631	1,211483	0,218	-3,866094	0,8828331
-59	-1,481182	1,211483	0,221	-3,855646	0,8932816
-58	-1,753061	1,211483	0,148	-4,127525	0,6214024
-57	-1,941802	1,211483	0,109	-4,316266	0,4326615
-56	-1,332512	1,17595	0,257	-3,637332	0,9723082
-55	-2,156887	1,17595	0,067	-4,461707	0,1479335
-54	-2,050537	1,17595	0,081	-4,355357	0,2542835
-53	-2,058601	1,17595	0,080	-4,363421	0,2462188
-52	-1,744345	1,17595	0,138	-4,049165	0,5604752
-51	-2,163629	1,17595	0,066	-4,468449	0,141191
-50	-2,342144	1,17595	0,046	-4,646964	-0,0373237
-49	-2,408576	1,17595	0,041	-4,713396	-0,1037562
-48	-2,336745	1,17595	0,047	-4,641566	-0,0319254
-47	-1,667724	1,17595	0,156	-3,972544	0,6370958
-46	-1,567465	1,17595	0,183	-3,872285	0,7373548
-45	-0,8627893	1,160896	0,457	-3,138104	1,412525
-44	-1,09971	1,160896	0,343	-3,375024	1,175605
-43	-1,92674	1,147272	0,093	-4,175351	0,3218713
-42	-1,858416	1,147272	0,105	-4,107027	0,3901953
-41	-1,895117	1,147272	0,099	-4,143728	0,3534937
-40	-2,81998	1,147272	0,014	-5,068591	-0,5713695
-39	-2,999973	1,147272	0,009	-5,248584	-0,7513619
-38	-3,213121	1,147272	0,005	-5,461732	-0,9645103
-37	-3,34837	1,147272	0,004	-5,596981	-1,099759
-36	-2,226655	1,147272	0,052	-4,475266	0,021956
-35	-1,835316	1,135171	0,106	-4,060211	0,3895789
-34	-2,262707	1,135171	0,046	-4,487602	-0,0378119
-33	-1,477803	1,135171	0,193	-3,702698	0,7470919
-32	-0,6898619	1,135171	0,543	-2,914757	1,535033
-31	-0,5353662	1,123899	0,634	-2,738168	1,667436
-30	-0,2283357	1,123899	0,839	-2,431138	1,974467
-29	0,4398145	1,123899	0,696	-1,762988	2,642617
-28	0,3973634	1,123899	0,724	-1,805439	2,600166
-27	0,0211625	1,123899	0,985	-2,18164	2,223965
-26	0,1126235	1,134967	0,921	-2,111871	2,337118
-25	0,3912166	1,134967	0,730	-1,833278	2,615711
-24	-0,2138986	1,134967	0,851	-2,438393	2,010596

-23	-0,4370681	1,134967	0,700	-2,661563	1,787427
-22	-0,3474929	1,134967	0,759	-2,571988	1,877002
-21	-0,2181478	1,123882	0,846	-2,420916	1,98462
-20	-0,0099202	1,113753	0,993	-2,192835	2,172995
-19	-0,5228142	1,113753	0,639	-2,705729	1,660101
-18	-0,8366925	1,113753	0,453	-3,019607	1,346223
-17	-0,355153	1,104575	0,748	-2,520079	1,809773
-16	0,0266826	1,096016	0,981	-2,12147	2,174835
-15	0,1125381	1,096016	0,918	-2,035614	2,260691
-14	-0,2619007	1,096016	0,811	-2,410053	1,886252
-13	-0,2535028	1,08793	0,816	-2,385806	1,878801
-12	-0,072245	1,080686	0,947	-2,19035	2,04586
-11	0,37246	1,080686	0,730	-1,745645	2,490565
-10	0,6123375	1,074035	0,569	-1,492733	2,717408
-9	0,4467353	1,074035	0,677	-1,658335	2,551806
-8	0,5013605	1,074035	0,641	-1,60371	2,606431
-7	0,8055235	1,074035	0,453	-1,299547	2,910594
-6	0,9372664	1,074035	0,383	-1,167804	3,042337
-5	0,9034398	1,074035	0,400	-1,201631	3,00851
-4	0,4608831	1,074035	0,668	-1,644187	2,565953
-3	0,0931599	1,074035	0,931	-2,01191	2,19823
-2	-1,237875	1,080892	0,252	-3,356384	0,8806349
-1	-4,224652	1,106913	0,000	-6,394162	-2,055142
Stunde des Todes	-6,647593	1,151859	0,000	-8,905195	-4,389991

Tabelle A5 Der Zusammenhang zwischen der verbleibenden Zeit bis zum Tod (in Stunden) und der Temperatur (in °Celsius), Ausgabe gemäß einem linearen gemischten Effektmodell mit Stunde 72 vor dem Tod als Referenzzeitpunkt

Stunde	Koeffizient	Standardfehler	p-Wert	95% KI (untere Grenze)	95% KI (obere Grenze)
-192	-0,0784119	0,3802166	0,837	-0,8236227	0,6667989
-191	0,3225848	0,2762045	0,243	-0,218766	0,8639356
-190	0,4300554	0,2762045	0,119	-0,1112954	0,9714062
-189	0,3461173	0,2762045	0,210	-0,1952336	0,8874681
-188	0,2565968	0,2762045	0,353	-0,284754	0,7979476
-187	0,2787956	0,2762045	0,313	-0,2625552	0,8201465
-186	0,1917741	0,2762045	0,487	-0,3495767	0,7331249
-185	0,0967683	0,2762045	0,726	-0,4445825	0,6381191
-184	0,0907884	0,2762045	0,742	-0,4505624	0,6321392
-183	0,0567389	0,2762045	0,837	-0,484612	0,5980897
-182	-0,0976596	0,2313524	0,673	-0,551102	0,3557828
-181	-0,0981335	0,2313524	0,671	-0,5515759	0,3553089
-180	-0,0061099	0,2313524	0,979	-0,4595523	0,4473324
-179	-0,0615285	0,2313524	0,790	-0,5149709	0,3919138
-178	-0,0675985	0,2052809	0,742	-0,4699417	0,3347447
-177	-0,0697832	0,2052809	0,734	-0,4721264	0,33256
-176	-0,0140386	0,2052809	0,945	-0,4163818	0,3883046
-175	0,0780063	0,2052809	0,704	-0,3243369	0,4803495
-174	0,1251579	0,2052809	0,542	-0,2771853	0,527501
-173	0,0808658	0,2052809	0,694	-0,3214774	0,483209
-172	0,1144183	0,2052809	0,577	-0,2879249	0,5167614
-171	0,1323367	0,2052809	0,519	-0,2700065	0,5346799
-170	0,14384	0,2052809	0,483	-0,2585032	0,5461832
-169	0,124522	0,2052809	0,544	-0,2778212	0,5268651
-168	0,1529015	0,2052809	0,456	-0,2494417	0,5552447
-167	0,1520839	0,2052809	0,459	-0,2502592	0,5544271
-166	0,0783345	0,1879073	0,677	-0,2899569	0,446626
-165	0,0048849	0,1879073	0,979	-0,3634066	0,3731763
-164	0,0928864	0,1879073	0,621	-0,2754051	0,4611779
-163	0,2182834	0,1879073	0,245	-0,1500081	0,5865748
-162	0,2334557	0,1879073	0,214	-0,1348358	0,6017471
-161	0,1026682	0,1879073	0,585	-0,2656232	0,4709597
-160	-0,032565	0,1753604	0,853	-0,3762651	0,3111351
-159	-0,0491482	0,1753604	0,779	-0,3928483	0,2945519
-158	-0,0149328	0,1753604	0,932	-0,3586329	0,3287673
-157	-0,0340888	0,1753604	0,846	-0,3777889	0,3096113
-156	-0,1401981	0,1753604	0,424	-0,4838982	0,203502
-155	-0,1540817	0,1658182	0,353	-0,4790794	0,170916
-154	-0,1834053	0,1658182	0,269	-0,5084031	0,1415924
-153	-0,1851892	0,1658182	0,264	-0,5101869	0,1398085
-152	-0,0957786	0,1582839	0,545	-0,4060093	0,214452
-151	-0,0645948	0,1582839	0,683	-0,3748255	0,2456359
-150	0,0704353	0,1658189	0,671	-0,2545637	0,3954343
-149	0,068139	0,1658189	0,681	-0,25686	0,393138
-148	0,0531583	0,1658189	0,749	-0,2718407	0,3781572
-147	-0,0194141	0,1658189	0,907	-0,3444131	0,3055849
-146	0,0054219	0,1658189	0,974	-0,3195771	0,3304209
-145	-0,0455307	0,1658189	0,784	-0,3705297	0,2794682
-144	-0,0087283	0,1658189	0,958	-0,3337273	0,3162707

-143	0,0106203	0,1658189	0,949	-0,3143786	0,3356193
-142	-0,0093375	0,1658189	0,955	-0,3343365	0,3156615
-141	-0,0181938	0,1658189	0,913	-0,3431928	0,3068052
-140	0,0313338	0,1582839	0,843	-0,2788969	0,3415645
-139	-0,0135075	0,1582839	0,932	-0,3237382	0,2967231
-138	-0,1073275	0,1582839	0,498	-0,4175581	0,2029032
-137	-0,1669262	0,1521619	0,273	-0,465158	0,1313056
-136	-0,0796294	0,1521619	0,601	-0,3778612	0,2186024
-135	-0,0662517	0,1521619	0,663	-0,3644835	0,2319801
-134	-0,0956115	0,1521619	0,530	-0,3938433	0,2026202
-133	-0,0773624	0,1521619	0,611	-0,3755942	0,2208693
-132	-0,1139004	0,1521619	0,454	-0,4121322	0,1843314
-131	-0,0748475	0,1521619	0,623	-0,3730793	0,2233843
-130	-0,0959761	0,1521619	0,528	-0,3942079	0,2022557
-129	-0,01082	0,1521619	0,943	-0,3090518	0,2874118
-128	-0,0566728	0,1521619	0,710	-0,3549046	0,241559
-127	-0,0734223	0,1521619	0,629	-0,3716541	0,2248095
-126	-0,0514758	0,1521619	0,735	-0,3497076	0,246756
-125	-0,0209217	0,1521619	0,891	-0,3191535	0,27731
-124	-0,1085496	0,1521619	0,476	-0,4067813	0,1896822
-123	-0,1793328	0,1470768	0,223	-0,4675981	0,1089325
-122	-0,1960435	0,1470768	0,183	-0,4843088	0,0922217
-121	-0,2197795	0,1470768	0,135	-0,5080448	0,0684858
-120	-0,2413215	0,1470768	0,101	-0,5295868	0,0469438
-119	-0,2366394	0,1470768	0,108	-0,5249047	0,0516259
-118	-0,3343168	0,1470768	0,023	-0,6225821	-0,0460515
-117	-0,3020998	0,1470768	0,040	-0,5903651	-0,0138345
-116	-0,2457435	0,1470768	0,095	-0,5340087	0,0425218
-115	-0,2596555	0,1470768	0,077	-0,5479208	0,0286098
-114	-0,2155703	0,1427791	0,131	-0,4954122	0,0642715
-113	-0,167401	0,1427791	0,241	-0,4472428	0,1124408
-112	-0,1976935	0,1427791	0,166	-0,4775353	0,0821483
-111	-0,1799001	0,1390954	0,196	-0,4525221	0,0927218
-110	-0,2120177	0,1390954	0,127	-0,4846397	0,0606042
-109	-0,2313361	0,1390954	0,096	-0,5039581	0,0412858
-108	-0,2043717	0,1390954	0,142	-0,4769936	0,0682503
-107	-0,1793359	0,1390954	0,197	-0,4519578	0,0932861
-106	-0,1952194	0,1390954	0,160	-0,4678413	0,0774026
-105	-0,1322323	0,1390954	0,342	-0,4048542	0,1403897
-104	-0,1004776	0,1358986	0,460	-0,366834	0,1658789
-103	-0,1312394	0,1358986	0,334	-0,3975959	0,135117
-102	-0,0821089	0,1358986	0,546	-0,3484653	0,1842476
-101	-0,0742381	0,1358986	0,585	-0,3405945	0,1921183
-100	-0,1219994	0,1358986	0,369	-0,3883558	0,1443571
-99	-0,1233819	0,1358986	0,364	-0,3897384	0,1429745
-98	-0,1415639	0,1358986	0,298	-0,4079204	0,1247925
-97	-0,1388155	0,1390858	0,318	-0,4114187	0,1337877
-96	-0,1745919	0,1358886	0,199	-0,4409286	0,0917447
-95	-0,140349	0,1358886	0,302	-0,4066857	0,1259876
-94	-0,1457753	0,1358886	0,283	-0,412112	0,1205613
-93	-0,2058421	0,1358886	0,130	-0,4721787	0,0604946
-92	-0,2673334	0,1358886	0,049	-0,5336701	-0,0009967
-91	-0,2936372	0,1330953	0,027	-0,5544992	-0,0327751
-90	-0,2587259	0,133085	0,052	-0,5195677	0,0021159
-89	-0,2236828	0,133085	0,093	-0,4845246	0,037159

-88	-0,2493495	0,133085	0,061	-0,5101913	0,0114923
-87	-0,2419964	0,133085	0,069	-0,5028382	0,0188454
-86	-0,2290157	0,133085	0,085	-0,4898575	0,0318261
-85	-0,2458865	0,133085	0,065	-0,5067283	0,0149553
-84	-0,2032063	0,133085	0,127	-0,4640481	0,0576355
-83	-0,1834039	0,1306155	0,160	-0,4394056	0,0725977
-82	-0,1459644	0,1306155	0,264	-0,401966	0,1100372
-81	-0,1241605	0,1306155	0,342	-0,3801621	0,1318411
-80	-0,0602698	0,1306155	0,644	-0,3162715	0,1957318
-79	-0,0082029	0,1284024	0,949	-0,259867	0,2434613
-78	-0,0472422	0,1284024	0,713	-0,2989064	0,2044219
-77	-0,0623497	0,1284024	0,627	-0,3140138	0,1893145
-76	-0,0242094	0,1264172	0,848	-0,2719825	0,2235637
-75	-0,0417355	0,1264172	0,741	-0,2895086	0,2060375
-74	-0,0225033	0,1264172	0,859	-0,2702764	0,2252697
-73	-0,0052103	0,1264172	0,967	-0,2529833	0,2425628
-72	<i>Reference</i>				
-71	-0,0448983	0,1264172	0,722	-0,2926714	0,2028747
-70	-0,1130322	0,1264172	0,371	-0,3608053	0,1347409
-69	-0,1394171	0,1248974	0,264	-0,3842115	0,1053772
-68	-0,1252902	0,1248974	0,316	-0,3700846	0,1195041
-67	-0,1089129	0,1248974	0,383	-0,3537073	0,1358815
-66	-0,1324487	0,1248974	0,289	-0,3772431	0,1123456
-65	-0,1518576	0,1248974	0,224	-0,396652	0,0929368
-64	-0,0348202	0,1248974	0,780	-0,2796146	0,2099741
-63	-0,0026242	0,1248974	0,983	-0,2474186	0,2421702
-62	-0,0249172	0,1264172	0,844	-0,2726903	0,2228558
-61	-0,0622764	0,1264172	0,622	-0,3100495	0,1854967
-60	-0,0416653	0,1264172	0,742	-0,2894384	0,2061078
-59	0,0034615	0,1264172	0,978	-0,2443116	0,2512346
-58	0,0364605	0,1264172	0,773	-0,2113126	0,2842335
-57	0,0165565	0,1264172	0,896	-0,2312166	0,2643296
-56	-0,0036339	0,1264172	0,977	-0,251407	0,2441391
-55	-0,0162147	0,1246807	0,897	-0,2605843	0,228155
-54	-0,0071972	0,1231068	0,953	-0,248482	0,2340877
-53	-0,0309013	0,1231068	0,802	-0,2721862	0,2103836
-52	-0,0648358	0,1231068	0,598	-0,3061207	0,1764491
-51	-0,1037556	0,1231068	0,399	-0,3450405	0,1375293
-50	-0,1338423	0,1231068	0,277	-0,3751272	0,1074426
-49	-0,1457025	0,1231068	0,237	-0,3869874	0,0955823
-48	-0,1915333	0,1231068	0,120	-0,4328181	0,0497516
-47	-0,1387995	0,1231068	0,260	-0,3800843	0,1024854
-46	-0,0659993	0,1231068	0,592	-0,3072841	0,1752856
-45	-0,0873657	0,1231068	0,478	-0,3286506	0,1539192
-44	-0,0144281	0,1216788	0,906	-0,2529142	0,224058
-43	-0,022416	0,1203729	0,852	-0,2583426	0,2135106
-42	0,0371515	0,1203729	0,758	-0,1987751	0,2730782
-41	0,060295	0,1203729	0,616	-0,1756316	0,2962216
-40	0,0203263	0,1203729	0,866	-0,2156004	0,2562529
-39	-0,0139093	0,1203729	0,908	-0,249836	0,2220173
-38	-0,0112456	0,1203729	0,926	-0,2471722	0,224681
-37	0,0081294	0,1203729	0,946	-0,2277972	0,2440561
-36	0,0094479	0,1203729	0,937	-0,2264788	0,2453745
-35	-0,0309026	0,1203729	0,797	-0,2668292	0,205024
-34	-0,0115028	0,1192012	0,923	-0,2451327	0,2221272

-33	0,0738496	0,1192012	0,536	-0,1597804	0,3074795
-32	0,0719656	0,1192012	0,546	-0,1616644	0,3055955
-31	0,034178	0,1181032	0,772	-0,1973	0,2656561
-30	0,0138374	0,1181032	0,907	-0,2176406	0,2453155
-29	0,0332814	0,1181032	0,778	-0,1981967	0,2647594
-28	0,0238024	0,1181032	0,840	-0,2076756	0,2552805
-27	0,0419811	0,1181032	0,722	-0,189497	0,2734591
-26	0,079516	0,1191838	0,505	-0,1540799	0,3131119
-25	0,1285722	0,1191838	0,281	-0,1050237	0,3621681
-24	0,1626571	0,1191838	0,172	-0,0709388	0,396253
-23	0,1962551	0,1191838	0,100	-0,0373408	0,429851
-22	0,1921023	0,1191838	0,107	-0,0414936	0,4256982
-21	0,2405146	0,1191838	0,044	0,0069187	0,4741105
-20	0,2274367	0,1191838	0,056	-0,0061592	0,4610326
-19	0,1773371	0,1181087	0,133	-0,0541516	0,4088258
-18	0,1944296	0,1181087	0,100	-0,0370591	0,4259183
-17	0,1979534	0,1181087	0,094	-0,0335353	0,4294421
-16	0,2457385	0,1171236	0,036	0,0161806	0,4752965
-15	0,2442794	0,1162133	0,036	0,0165055	0,4720533
-14	0,2992883	0,1162133	0,010	0,0715145	0,5270622
-13	0,3241741	0,1153466	0,005	0,0980989	0,5502494
-12	0,3934798	0,1153466	0,001	0,1674046	0,6195551
-11	0,4198394	0,1145746	0,000	0,1952772	0,6444015
-10	0,3780205	0,1138593	0,001	0,1548604	0,6011806
-9	0,3297838	0,1138593	0,004	0,1066237	0,5529439
-8	0,3547956	0,1138593	0,002	0,1316355	0,5779557
-7	0,3620875	0,1138593	0,001	0,1389274	0,5852476
-6	0,3622198	0,1138593	0,001	0,1390597	0,5853799
-5	0,3908874	0,1138593	0,001	0,1677273	0,6140474
-4	0,3202365	0,1138593	0,005	0,0970765	0,5433966
-3	0,1798646	0,1138593	0,114	-0,0432954	0,4030247
-2	-0,0124409	0,1138593	0,913	-0,235601	0,2107192
-1	-0,3400675	0,1146965	0,003	-0,5648685	-0,1152665
Stunde des Todes	-0,9030667	0,1165413	0,000	-1,131483	-0,6746501

Danksagung

Zunächst möchte ich allen Menschen meinen Dank aussprechen, die mich während meines Studiums und insbesondere im Rahmen meines Promotionsvorhabens unterstützt und ermutigt haben.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Prof. Dr. med. Martin Neukirchen, für seine kontinuierliche Zuversicht, wertvolle Unterstützung und fachliche Begleitung während des gesamten Promotionsprozesses. Ebenso danke ich Prof. Dr. Dr. med. Christian Jung für die freundliche Übernahme der Co-Betreuung.

Mein Dank gilt zudem Frau Dr. med. Theresa Tenge, die mir jederzeit mit Rat und Tat zur Seite stand und durch ihre fachliche Expertise sowie geduldige, aber fordernde Betreuung entscheidend zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.

Ferner danke ich allen Mitarbeitenden des Interdisziplinären Zentrums für Palliativmedizin (IZP) des Universitätsklinikums Düsseldorf. Die inspirierenden und oft auch humorvollen Diskussionen innerhalb der wissenschaftlichen Forschungsgruppe haben die Arbeit bereichert und leichter gemacht. Ohne die engagierte Unterstützung der Pflegekräfte auf der Station PM01 wäre dieses Projekt nicht realisierbar gewesen.

Abschließend danke ich meiner Familie und meinen Freunden für ihre stetige Unterstützung. Alle wissen selbst, wer sich angesprochen fühlen darf.

Das war's.