

Aus dem Institut für Sport- und Präventivmedizin
Theoretische Medizin und Biowissenschaften bzw. Klinische Medizin
der Medizinischen Fakultät
Universität des Saarlandes, Homburg/Saar

**Pedometrisch ermittelte körperliche Aktivität im Alltag während und nach
kardiologischer Rehabilitation**

**Kumulative Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der
Theoretischen Medizin (Dr. rer. med.)
der Medizinischen Fakultät**

der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2023

vorgelegt von: Sinann Al Najem
geb. am: 22.09.1977 in Melle

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	4
Abkürzungsverzeichnis.....	6
Tabellenverzeichnis.....	7
Abbildungsverzeichnis.....	8
Für diese Arbeit relevante Publikationen	9
Anteil der Co-Autoren an Publikationen.....	10
Zusammenfassung (Deutsch).....	12
Abstract (English)	15
1 Einleitung	18
1.1 Körperliche Aktivität	18
1.2 Kardiologische Rehabilitation.....	21
1.3 Schrittzähler.....	21
1.4 Problemstellung	24
1.5 Fragestellung und Studiendesign.....	25
2 Material und Methoden.....	27
2.1 Probanden	27
2.2 Parameter	27
2.3 Statistik.....	31
2.3.1 Schrittzahl während der Reha	31
2.3.2 Schrittzahl nach Reha	32
2.3.3 Kardiale Events nach Reha.....	32
3 Ergebnisse	34
3.1 Patientenkollektiv	34
3.2 Mit der Schrittzahl korrelierende Parameter während der Reha	39
3.3 Schrittzahl nach Reha.....	40
3.4 Kardiale Events nach Reha.....	46
4 Diskussion.....	51
4.1 Schritttaktivität während der Reha	51

4.2	Schrittaktivität nach der Reha	53
4.3	Hospitalisierungen nach Reha	55
4.4	Pedometrie bei Herzpatienten.....	56
5	Schlussfolgerung.....	59
5.1	Limitationen	59
	Publikationen.....	61
6	Literaturverzeichnis	62
	Lebenslauf.....	70

DANKSAGUNG

Zunächst einmal möchte ich mich bei meinem Betreuer Jürgen Scharhag bedanken. Seine zahlreichen Anregungen und Korrekturen haben die Qualität der Veröffentlichungen maßgeblich verbessert. Prof. Scharhag hat entscheidend dazu beigetragen, dass Überlegungen nicht Überlegungen blieben und das Projekt Dissertation Fahrt aufnehmen konnte. Ich danke Ihnen vielmals dafür.

Des Weiteren möchte ich mich bei Prof. Dietrich Andresen sowie Prof. Thomas Voigtländer bedanken, die mich immer wieder in meinem Vorhaben bestärkt und gemeinsam mit Jürgen Scharhag den Rahmen für die Dissertation geschaffen haben.

Ganz besonderer Dank gebührt der Deutschen Herzstiftung und hier v. a. meinem Chef und großen Förderer Martin Vestweber sowie seiner ehemaligen Stellvertreterin Renate Horst. Sie haben mich beide über Jahre begleitet, hatten immer ein offenes Ohr, besonders wenn es mal nicht so lief. Ich danke Ihnen sehr. Sie haben an mich geglaubt und mir ermöglicht, diese Dissertation neben meiner Arbeit zu bewerkstelligen.

Ebenso möchte ich mich bei Prof. Axel Schmermund sowie Prof. Bernd Nowak bedanken, die mir ermöglicht haben, ein Patientenkollektiv im Herzwirk (Reha-Abteilung des Cardioangiologischen Centrums Bethanien) zu rekrutieren und mir stets wertvollen Input im Rahmen der Veröffentlichungen gegeben haben. Großer Dank auch an Peter Dohmann und das gesamte Team Herzwirk. Sie haben mich super aufgenommen und waren mir eine Riesenunterstützung. Gern möchte ich an dieser Stelle noch Ulrike Kaltenbach und Stephanie Bruder namentlich erwähnen, die ich bei Unklarheiten immer wieder um Rat fragen konnte. Vielen Dank Euch allen. Ich verspreche, mich in Zukunft wieder öfter im Herzwirk blicken zu lassen.

Ganz großer Dank auch an Yannick König für die Hilfe bei der Dateneingabe. Bei Andreas Groll möchte ich mich herzlich für die Unterstützung bei der Ableitung der Ergebnisse bedanken. Wir haben uns noch nie gesehen, aber sehr gut in endlos langen Telefonaten kennenlernen dürfen. Ich hoffe, dass wir uns in Zukunft auch einmal persönlich treffen.

Zu guter Letzt möchte ich mich bei meiner Familie bedanken. Meine Mutter hat mir oft gesagt, dass ich die Promotion nicht fertig machen muss, wenn sie mich zu sehr belastet. Umso stolzer bin ich, dass ich sie nun fertiggestellt habe. Danke an meinen Papa – den für mich größten Mediziner. Er hat mir von oben sicherlich die ein oder andere Motivationsspritze gegeben. Auch wenn ich nicht ganz in seine Fußstapfen getreten bin, so setze ich mich dennoch für die Gesundheit von Patienten ein. Danke an Sami und Lara sowie ihren Mann Basti für ihre Liebe und permanente Unterstützung. Ihr seid die besten Geschwister der Welt. Und ganz großer Dank an meine Frau und meine Kinder. Die Arbeit hat uns Unmengen an Familienzeit gekostet.

Ich danke euch einfach unfassbar für euer Verständnis. Ich weiß nicht, wie ihr meine Launen ertragen habt. Danke, dass ihr mir geholfen habt, daran festzuhalten. Ich liebe euch!

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

- AHA American Heart Association
- BMI Body Mass Index
- CABG Koronararterielle Bypass-Operation
- CCB Cardioangiologisches Centrum Bethanien
- DRV Deutsche Rentenversicherung
- EF Ejektionsfraktion
- ESC European Society of Cardiology
- GAM Generalisiertes Additives Regressionsmodell
- GFR glomeruläre Filtrationsrate
- HDL high-density lipoprotein
- HF Herzfrequenz
- IOS Internetwork Operating System
- KG Körpergewicht
- LDL low-density lipoprotein
- MET metabolische Äquivalente
- NYHA New York Heart Association
- PAVK Periphere arterielle Verschlusskrankheit
- PCI Perkutane Koronarintervention
- PTCA Perkutane transluminale Koronar-Angioplastie
- UK United Kingdom
- WHO World Health Organization

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Patientenbeschreibung; Mittelwerte und Standardabweichungen der Variablen ..	35
Tabelle 2: Patientenbeschreibung, Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) der Variablen	37
Tabelle 3: Klinische Charakteristik der Patienten.....	38
Tabelle 4: Geschätzte Koeffizienten der linearen Effekte auf die Schrittzahl pro Tag während der Reha, abgeleitet aus einem additiven Modell mit einem nicht-linearen Effekt für den Body Mass Index.....	39
Tabelle 5: Geschätzte Koeffizienten der Effekte der linearen Regression auf die Schrittzahl pro Tag nach Reha, abgeleitet aus einem additiven Modell mit einem nicht-linearen Effekt für Body Mass Index.....	46
Tabelle 6: Schritte pro Tag und kardiale Ereignisse innerhalb eines Jahres nach Reha (durchschnittliche Nachverfolgungsdauer: 218 Tage).....	47
Tabelle 7: Geschätzte Koeffizienten der Effekte von Schritten pro Tag nach Reha, der Ejektionsfraktions-Gruppe (ermittelt während der Reha, als binäre Variable: Ejektionsfraktions-Gruppe 1 = >55%, EF 2-4 = <55%), des Geschlechts und des Alters auf die Zeit bis zum Auftreten eines kardialen Ereignisses nach Reha, abgeleitet aus einem proportionalen Hazard Modell.	48

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Nicht-linearer Effekt des Body Mass Index (BMI; geglättete Linie) \pm 1 Standardfehler auf die Schrittzahl.....	40
Abbildung 2: Entwicklung der Schritttaktivität (geglättete Linie) \pm 1 Standardfehler (gestrichelte Linie) insgesamt, bei Männern und Frauen innerhalb eines Jahres nach Reha	41
Abbildung 3: Entwicklung der Schritttaktivität (geglättete Linie) \pm 1 Standardfehler (gestrichelte Linie) im Jahresverlauf (01. Januar bis 31. Dezember) nach Reha.....	41
Abbildung 4: Entwicklung der Schritttaktivität von Patienten unterschiedlicher New York Heart Association-Gruppe (NYHA) (geglättete Linie) \pm 1 Standardfehler (gestrichelte Linie) innerhalb eines Jahres nach Reha.....	42
Abbildung 5: Entwicklung der Schritttaktivität (geglättete Linie) \pm 1 Standardfehler (gestrichelte Linie) von Patienten unterschiedlicher Ejektionsfraktions-Gruppe (Ejektionsfraktion $>55\%$ = EF1, Ejektionsfraktion $<55\%$ = EF2-4) innerhalb eines Jahres nach Reha	43
Abbildung 6: Entwicklung der Schritttaktivität (geglättete Linie) \pm 1 Standardfehler (gestrichelte Linie) von Patienten in Abhängigkeit ihres Body Mass Index (Normalgewicht: $18,5-<25$, Übergewicht: $\geq 25-<30$, Adipositas: ≥ 30) im Verlauf eines Jahres nach Reha	44
Abbildung 7: Entwicklung der Schritttaktivität (geglättete Linie) \pm 1 Standardfehler (gestrichelte Linie) von Patienten in Abhängigkeit ihres Rauchstatus (Raucher, Ex-Raucher, niemals geraucht) im Verlauf eines Jahres nach Reha	45
Abbildung 8: Survivalfunktion (95% Konfidenzintervall schattiert), welche die Wahrscheinlichkeit repräsentiert, dass ein Patient mit einer konstant angenommenen durchschnittlichen Schritttaktivität von 5.000 oder 7.500 Schritten/Tag (rechts) bzw. einer konstant angenommenen durchschnittlichen Schritttaktivität von 10.000 oder 12.500 Schritten/Tag (links) kein negatives Ereignis einer kardialen Hospitalisation innerhalb eines Jahres nach Reha erfährt.	49
Abbildung 9: Survivalfunktion (95% Konfidenzintervall schattiert), welche die Wahrscheinlichkeit eines Patienten mit einer mit einer Ejektionsfraktion $>55\%$ (EF=1) und einer Ejektionsfraktion $<55\%$ (EF >1) repräsentiert, kein negatives Ereignis einer kardialen Hospitalisation innerhalb eines Jahres nach Reha zu erfahren.....	50

FÜR DIESE ARBEIT RELEVANTE PUBLIKATIONEN








Inhalte der vorliegenden kumulativen Dissertation wurden bereits in folgenden Fachzeitschriften veröffentlicht:



Titel der Publikationen

1. Najem SA, Groll A, Schmermund A et al. (2018) Walking activity during ambulant cardiac rehabilitation is related to maximum working capacity, age, and smoking behavior. *Vasc Health Risk Manag* 14:361–369. doi: 10.2147/VHRM.S179798
2. Al Najem S, Groll A, Schmermund A et al. (2020) Walking activity of cardiac patients during one-year post cardiac rehabilitation. *Dtsch Z Sportmed* 71:159–166. doi: 10.5960/dzsm.2020.427
3. Al Najem S, Groll A, Schmermund A et al. (2022) Correlation of Walking Activity and Cardiac Hospitalizations in Coronary Patients for 1 Year Post Cardiac Rehabilitation: The More Steps, the Better! *Clin Med Insights Cardiol* 16:11795468221116841. doi: 10.1177/11795468221116841

ANTEIL DER CO-AUTOREN AN PUBLIKATIONEN

An den für diese Arbeit relevanten Publikationen waren folgende Autoren wie angeführt beteiligt:

Name Doktorand/ Co-Autor*in	Beschreibung Anteil	Anteil in %	Unterschrift
Sinann Al Najem (Erstautorenschaft)	Erstellung des Studiendesigns sowie der Konzeption, Analyse und Interpretation der Ergebnisse, Einarbeitung der Revisionen, Rekrutierung der Probanden, Koordination des Publikationsprozesses	50	
Jürgen Scharhag (Doktorvater)	Unterstützung bei der Erstellung des Studiendesigns sowie der Konzeption, Analyse und Interpretation der Ergebnisse, Revision und Freigabe der Publikationen	10	
Andreas Groll	Unterstützung bei der Erstellung des Studiendesigns sowie der Analyse und Interpretation der Ergebnisse, Revision und Freigabe der Publikationen	10	
Dietrich Andresen	Unterstützung bei der Konzeption, Revision und Freigabe der Publikationen	5	
Thomas Voigtländer	Unterstützung bei der Rekrutierung von Probanden, Revision und Freigabe der Publikationen	5	
Axel Schmermund	Unterstützung bei der Rekrutierung von Probanden, Revision und Freigabe der Publikationen	5	
Bernd Nowak	Unterstützung bei der Rekrutierung von Probanden, Revision und Freigabe der Publikationen	5	

Peter Dohmann	Unterstützung bei der Rekrutierung von Probanden, Revision und Freigabe der Publikationen	5	
Ulrike Kaltenbach	Unterstützung bei der Rekrutierung von Probanden, Revision und Freigabe der Publikationen	5	

ZUSAMMENFASSUNG (DEUTSCH)

Hintergrund: Ziel der kardiologischen Reha ist, Patienten in Bewegung zu bringen, ihre Fitness zu steigern und so das Risiko für weitere unerwünschte kardiologische Ereignisse zu reduzieren. Diese Studie soll eruieren, wie viele Schritte kardiologische Reha-Patienten während und bis zu einem Jahr nach einer ambulanten kardiologischen Rehabilitation laufen. Ferner soll überprüft werden, ob und wie körperliche Aktivität, gemessen in Schritten, mit physischen und kardiologischen Parametern, dem kardialen Risiko sowie kardiologischen Beschwerden und damit einhergehenden erneuten Hospitalisierungen zusammenhängt.

Methoden: Im Rahmen einer Observationsstudie wurden stabile Herzpatienten, die zwischen dem 01. Juli 2015 bis Juli 2016 an einer kardiologischen Reha im Cardioangiologischen Centrum Bethanien Herzwerk in Frankfurt teilgenommen haben, gefragt, ob sie an der Studie teilnehmen möchten. Den Studienteilnehmern wurde ein Schrittzähler ausgehändigt, um während der Reha (versiegelt) und bis zu einem Jahr danach (unversiegelt) die Schritttaktivität zu erfassen. Zudem wurden die Patienten angehalten, ihre Schritte (täglich), ihren Blutdruck (täglich), ihr Gewicht (wöchentlich) sowie das Auftreten von kardiologischen Beschwerden und Krankenhausaufenthalten nach Reha in einem Herztagebuch zu dokumentieren.

Im Rahmen der Reha werden regelmäßig Untersuchungen durchgeführt. Folgende aus den Untersuchungen resultierende Parameter wurden für diese Studie genutzt: Maximale ergometrische Leistungsfähigkeit und Herzfrequenz, Body Mass Index, New York Heart Association-Klasse, Ejektionsfraktion, Status der Koronarerkrankung (1-,2- oder 3-Gefäßerkrankung), Beta-Blocker Medikation, Alter, Geschlecht, Rauchstatus und Laborparameter (Blutbild). Um die mit der täglichen Schrittzahl in Zusammenhang stehenden Variablen zu erkennen, wurde eine Lasso-Regression durchgeführt und anhand der ausgewählten Parameter ein additives Regressionsmodell geschätzt.

Um zu eruieren, wie sich die Schritttaktivität nach Reha entwickelt, wurde durch einen gepaarten t-Test überprüft, ob sich die durchschnittliche Schrittzahl/Tag während und in den ersten drei Wochen nach Reha signifikant unterscheidet. Inwieweit Geschlecht, Alter, Rauchstatus, New York Hearts Association-Klasse, Ejektionsfraktion, Body Mass Index, Saison (Tag des Jahres) und Anzahl der vergangenen Tage nach Reha mit der täglichen Schritttaktivität im Zusammenhang stehen, wurde mit einem Generalisierten Additiven Regressionsmodell geschätzt. Des Weiteren wurde mit Hilfe einer Cox-Regression (Cox proportional hazard model) untersucht, inwieweit die Parameter „Schritte pro Tag“, „Ejektionsfraktion“, „Geschlecht“ und „Alter“ zeitlich mit dem Auftreten von kardialen Ereignissen bis zu einem Jahr nach Reha zusammenhängen. Zur Veranschaulichung wurden Kaplan-Meier Kurven erstellt, um Patientenprofile zu vergleichen.

Ergebnis: Ursprünglich hatten 280 Patienten Interesse, an der Studie teilzunehmen. Nach Sichtung der Patientendaten wurden 45 Patienten mit eingeschränkter Gehfähigkeit von der

Studie ausgeschlossen (periphere arterielle Verschlusskrankheit, n=18; neurologische oder orthopädische, die Gehfähigkeit einschränkende Probleme, z. B. Gon- oder Coxarthrose, n=23; eine Kombination beider zuvor genannten Ausschlusskriterien, n=4). Hinzu kamen Reha- und oder Studienabbrüche (n=21) und Patienten, deren Daten aufgrund von technischen Problemen oder zu geringer Tragezeiten des Schrittzählers, während (n=22) und nach der Reha (n=66), nicht verwendet werden konnten. Um den Zusammenhang von Hospitalisierungen und der Schrittzahl nicht zu verwässern, wurden ferner Daten von Patienten mit Kardiomyopathien, außer solchen mit ischämischen Kardiomyopathien, sowie von Patienten mit einer bekannten Herzklappenerkrankung oder Koronarstenose, bei denen eine weitere Intervention vorab geplant war, nicht verwendet, so dass im Rahmen dieser Fragestellung schließlich ein Patientenkollektiv von 111 Patienten resultierte.

Während der Reha (n=192) zeigte das Modell eine positive Korrelation der durchschnittlichen Schrittzahl pro Tag mit der ergometrisch ermittelten maximalen Leistungsfähigkeit ($p=0,001$), eine negative Korrelation mit steigendem Alter ($p=0,01$) und dem Rauchstatus (Raucher: $p<0,05$; ehemaliger Raucher: $p=0,001$) sowie eine nicht-lineare Korrelation mit dem Body Mass Index (Body Mass Index 18,5–24: 7.427 ± 2.730 Schritte pro Tag; Body Mass Index 25–29: 6.448 ± 2.393 Schritte pro Tag; Body Mass Index 30–34: 6.751 ± 2.393 Schritte pro Tag; Body Mass Index 35–39: 5.163 ± 2.574 Schritte pro Tag; Body Mass Index >40 : 6.077 ± 1.567 Schritte pro Tag, $p=0,191$). Nach Reha (n=126) zeigte sich ein Anstieg der durchschnittlichen Schrittzahl innerhalb der ersten 3 Wochen um 925 Schritte pro Tag ($p<0,001$). Die Dauer der Zeitspanne bis zu einem Jahr nach Reha stand nicht signifikant mit der Schrittzahl im Zusammenhang ($+0,35$ Schritte pro Tag, $p>0,05$). Es zeigte sich jedoch ein saisonaler signifikanter Anstieg im Sommer und Abfall im Winter ($p<0,001$). Generell vermindert war die durchschnittliche Schrittzahl pro Tag nach Reha bei Frauen (-402 Schritte pro Tag gegenüber Männern, $p<0,001$) sowie mit steigendem Alter (-51 Schritte pro Tag pro Jahr, $p<0,001$).

Auch übergewichtige/fettleibige Patienten (nicht-linear, $p<0,001$) liefen weniger, ebenso Raucher (-725 Schritte pro Tag gegenüber Nichtrauchern, $p<0,001$) und ehemalige Raucher (-1.119 gegenüber Nichtrauchern, $p<0,001$). Des Weiteren zeigte sich eine verminderte Schritttaktivität bei Patienten mit höherer New York Heart-Klassifikation (New York Heart-Klassifikation 2 mit -1.216 Schritten pro Tag sowie New York Heart-Klassifikation 3 mit -1.946 Schritten pro Tag gegenüber New York Heart-Klassifikation 1, $p<0,001$) sowie bei Patienten mit einer höheren Ejektionsfraktion (Ejektionsfraktion-Gruppe 2-4: -711 Schritte pro Tag gegenüber Ejektionsfraktion-Gruppe 1, $p<0,001$). Das Risiko für eine kardiologisch begründete Hospitalisierung (n=111) nach Reha fiel bei Patienten mit höherer Schrittzahl niedriger aus (für eine konstant angenommene durchschnittliche Schrittzahl von 5.000 vs. 7.500 Schritten pro Tag, Abfall der Hazard-Rate: 0,43; für eine konstant angenommen durchschnittliche Schrittzahl von 10.000 vs. 12.500 Schritten pro Tag, Abfall der Hazard-Rate: 0,20). Ein

erhöhtes Risiko zeigte sich bei Patienten mit einer Ejektionsfraktion <55% vs. Ejektionsfraktion >55% (Anstieg der Hazard-Rate: 2,88). Die durchschnittliche Nachbeobachtungszeit nach Reha betrug 218 Tage. Kein Patient verstarb, 25 wurden hospitalisiert.

Schlussfolgerung: Das Tracken von Schritten bietet Herzpatienten eine gute Hilfestellung, ihre Aktivität einzuschätzen. Ein Schrittzähler kann sie motivieren, ihre Schrittzahl durch einfache und bei geringem Risiko umzusetzende Aktivitäten wie Spaziergänge zu erhöhen. Auch wenn aufgrund des Studienprofils keine Kausalitäten abgeleitet werden können, zeigt sich, dass eine verminderte Schrittzahl mit einer erhöhten Hospitalisierung nach Reha im Zusammenhang steht. Demzufolge kann das Tracken der Schrittzahl nach Reha wertvoll sein, um die Prognose von Herzpatienten abzuschätzen.

ABSTRACT (ENGLISH)

Background: Keeping patients active and improving fitness levels to reduce the risk of cardiac event recurrence is one of the main objectives of cardiac rehabilitation. This study is aimed to examine the number of steps per day patients achieved during and up to one year after ambulant cardiac rehabilitation. This study also analyzes if the number of steps correlate with physical and cardiological parameters, risk factors, and cardiological complaints leading to hospitalizations.

Methods: As part of an observational study, stable cardiac patients who attended cardiac rehabilitation between July 01, 2015, and July 2016 at the Cardioangiologische Centrum Bethanien Herzwerk located in Frankfurt (Germany), were asked to participate in this study. Enrolled patients were advised to track daily steps with a pedometer during cardiac rehabilitation (sealed) and up to one year afterwards (unsealed). In addition, patients were instructed to note their daily steps, blood pressure (daily), weight (weekly), incidence of cardiac symptoms and cardiac hospitalizations after rehabilitation in a diary.

The following parameters which were routinely collected during rehabilitation were used in this study: maximum working capacity and maximum heart rate, body mass index, New York Heart Association class, ejection fraction, status of coronary artery disease (number of affected coronaries: 1, 2, or 3 vessel disease), beta-blocker medication, age, sex, smoking status, and laboratory parameters (blood count).

Aiming to identify a small set of explanatory variables which are associated with the response for steps per day, a regularized regression approach known as 'least absolute shrinkage' and selection operator was utilized. Afterwards, we fitted a sparse additive regression model that was derived from the selected covariates.

To elicit the development of steps per day after rehabilitation, a paired t-test was used to compare the average amount of steps per day during and in the first three weeks after rehabilitation. In addition, we estimated the influence of sex, age, smoking, New York Heart Association-class, ejection fraction, Body Mass Index, season (day of the year), and length of time after rehabilitation on steps per day, utilizing a generalized additive regression model. Furthermore, reoccurring cardiac events up to 1 year after rehabilitation could be studied and analyzed using a Cox proportional hazard model that includes parameters such as daily step counts, ejection fraction, gender, and age. Kaplan-Meier curves were generated to better compare patients' profiles.

Results: Originally, 280 patients were interested in participating in the study. After reviewing the health records, 45 patients with limited walking abilities were excluded from the study. From these 45 patients, 18 were excluded for peripheral arterial occlusive disease, 23 for neurological or orthopedic problems limiting walking ability, (e.g., gon- or coxarthrosis), and 4 for a combination of the previously mentioned exclusion criteria. In addition, 21 patients

cancelled cardiac rehabilitation or their study participation. Furthermore, data of some patients could not be used due to technical problems or insufficient wearing time of the pedometer during (n=22) and after rehospitalization (n=66). In order not to dilute the association of rehospitalizations and step count, data of patients with cardiomyopathies – except those with ischemic cardiomyopathies –, with known valvular heart disease or coronary stenosis whose intervention was planned, were not used, resulting in a study population of 111 patients concerning this question.

During rehabilitation, the model (n=192) noted a positive correlation of the average number of steps per day with maximum working capacity (p=0.001) and a negative correlation with increasing age (p=0.01) and smoking status (smoker: p<0.05; former smoker: p=0.001). A non-linear correlation was found with Body Mass Index. (Body Mass Index 18.5-24: 7,427±2,730 steps per day; Body Mass Index 25-29: 6,448±2,393 steps per day; Body Mass Index 30-34: 6,751±2,393 steps per day; Body Mass Index 35-39: 5,163±2,574 steps per day; Body Mass Index>40: 6,077±1,567 steps per day, p=0.001). After rehabilitation, the average number of steps (n=126) increased within the first 3 weeks by an average of 925 steps per day (p<0.001). The length of time up to one year after rehabilitation did not significantly correlate with walking activity (+0.35 steps per day, p>0.05), but there was a seasonal and significant increase in summer and decrease in winter (p<0.001). In general, the average number of steps per day after rehabilitation was reduced in women (-402 steps per day vs. men, p<0.001), decreased in older patients (-51 steps per day per year, p<0.001), and was reduced in overweight/obese patients (non-linear, p<0.001). Steps per day were also reduced in smokers (-725 steps per day) and former smokers (-1,119 steps per day) vs. non-smokers, p<0.001). Patients with a higher New York Heart Association-class walked on average less steps per day compared to class 1 (class 3: -1,946 steps per day, class 2: -1,216, p<0.001). Likewise, patients of ejection fraction-group 2-4 walked on average 711 steps per day less compared to group 1 (p<0.001). Furthermore, a reduced risk for cardiac hospitalization after rehabilitation (n=111) was monitored in patients with higher step counts (assumed constant steps per day: 5,000 vs. 7,500, hazard rate reduction 0.43; assumed constant steps per day: 10,000 vs. 12,500, hazard rate reduction 0.20). In addition, the risk for cardiac hospitalization after rehabilitation was higher in patients with an ejection fraction <55% vs. ejection fraction ≥55% (hazard rate increase 2.88). The mean follow-up time after rehospitalization was 218 days. No patient deceased, and 25 needed to be hospitalized after rehabilitation due to cardiac symptoms.

Conclusion: Tracking steps is a great tool for cardiac patients to assess their activity levels. A pedometer can motivate them to increase their step count through simple and low-risk activities such as walking. Due to this study design, no causalities can be derived, but a decreased step count appears to be associated with increased cardiac rehospitalization.

Accordingly, tracking steps of cardiac patients could be valuable for estimating patients' prognosis.

1 EINLEITUNG

Im Folgenden wird der Stellenwert der körperlichen Aktivität und die aktuellen Aktivitätsempfehlungen in der Prävention und Therapie von Herz-Kreislauf-Erkrankungen aufgezeigt. Ferner werden aktuelle Schrittempfehlungen besprochen, der Forschungsstand vorgestellt und darauf aufbauend die Fragestellungen dieser Arbeit herausgearbeitet.

1.1 KÖRPERLICHE AKTIVITÄT

Der Nutzen körperlicher Aktivität ist seit Jahrhunderten bekannt. Erstmals beeindruckend veranschaulichen konnten dies Morris et al. in ihrer „Busstudie“ im Jahre 1953. Sie konnten zeigen, dass die Wahrscheinlichkeit einer Herzerkrankung bei Schaffnern deutlich geringer ist als bei Busfahrern, die sich weniger bewegten [54]. Seit dieser bahnbrechenden Studie wird der Stellenwert der körperlichen Aktivität zur Prävention von Herz-Kreislauf-Erkrankungen und die Auswirkungen von Sport auf das Herz-Kreislauf-System rege untersucht. Es ist unbestritten, dass körperliche Aktivität das Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen mindert [72] und langfristig bei Gesunden und kardiovaskulär Erkrankten mit einer Abnahme der Mortalität und Morbidität einhergeht [6, 48, 68, 71]. Körperliche Inaktivität hingegen gilt als einer der größten Risikofaktoren für die Ausbildung chronischer Erkrankungen [90]. Vor allem langes Sitzen hat sich unabhängig von sonstiger körperlicher Aktivität als Risikofaktor für die Gesamtmortalität herauskristallisiert [84]. Entsprechend hat die European Society of Cardiology (ESC) formuliert, dass vor allem Personen, die viel sitzen (sedentary) und kardiovaskuläre Risikofaktoren aufweisen, nach entsprechender Risikostratifizierung motiviert werden sollen, mit leichten Trainingsprogrammen zu beginnen und diese graduell zu steigern [63, 64, 85]. Obwohl die Anzahl der Studien und die Evidenz zum Nutzen körperlicher Aktivität wächst, zeigt sich einhergehend mit technischem Fortschritt in den letzten Jahrzehnten ein deutlicher Rückgang der körperlichen Aktivität – v. a. in den Industrienationen [25].

Generell ist jedes Mehr an Aktivität unabhängig von Intensität und Dauer gesundheitsförderlich [27, 59, 78]. Dennoch sind die Trainingsintensität und der Trainingsumfang im Zusammenhang mit Herz-Kreislauf-Erkrankungen aus präventivmedizinischer Sicht von Bedeutung. So wirkt sich ein hoher Energieverbrauch günstig auf das Risikoprofil [2] und analog dazu v. a. eine Ausübung anstrengender Aktivitäten günstiger auf das Mortalitätsrisiko aus als moderate Alltagsbelastungen [71]. Williams et al. legen nahe, dass der Gesamtenergieumsatz für die Senkung des kardiovaskulären Risikos entscheidend ist. Sie haben auf Grundlage zweier Erhebungen (National Runners' (n=33.060) und Walkers' (n=15.945) Health Study) die Energieumsätze aus den zurückgelegten Strecken und der Bewegungsintensität errechnet und festgestellt, dass ein hoher Grad an Aktivität mit einer Senkung des kardiovaskulären Risikos einhergeht, es aber bei gleichem Energieumsatz (MET-Stunden/Tag) unerheblich ist,

ob der Energieumsatz durch moderates Gehen oder anstrengendes Rennen hervorgerufen wurde [88]. Entsprechend geben die 2020 aktualisierten neuen Leitlinien zur körperlichen Aktivität der World Health Organization (WHO) keine Intensitätsvorgaben, sondern empfehlen Erwachsenen wöchentlich mindestens 150-300 Minuten moderate Ausdaueraktivität bzw. 75-150 Minuten anstrengende Ausdaueraktivität oder eine Kombination daraus. Zusätzlich wird angegeben, dass eine Ausdaueraktivität >300 Minuten/Woche mit einem zusätzlichen Gesundheitsnutzen einhergeht. Eine Limitierung nach oben wird nicht angeführt [17].

Die American Heart Association (AHA) definiert moderate Ausdaueraktivität als Aktivität bei einer Intensität von 3-6 metabolischen Äquivalenten (MET), eine anstrengende entsprechend höher (>6 MET) [28, 61]. Die „European Guidelines on Cardiovascular Disease Prevention in Clinical Practice“ definieren, gestützt auf eine Veröffentlichung von Howley et al. [33], eine Aktivität bei 64-76% der maximalen Herzfrequenz als moderat (3-5,9 MET) bzw. 77-95% als anstrengend (≥ 6 MET), wobei ein MET einem Sauerstoffverbrauch von 3,5ml Sauerstoff pro kg Körpergewicht (KG) pro Minute entspricht [85].

Im Gegensatz zur vorherigen WHO-Leitlinie aus dem Jahre 2010 [90] entfällt in der 2020 veröffentlichten Leitlinie die Vorgabe, dass eine Aktivität mindestens 10 Minuten zusammenhängend erfolgen sollte [17]. Gestützt wird sich hierbei auf neue Evidenz, die belegt, dass jegliche Aktivität unerheblich von der Länge positive Auswirkungen auf die Gesundheit hat und das Gesamtvolumen moderater bis anstrengender körperlicher Aktivität entscheidend ist [35]. Ebenso wird – wie in der alten Leitlinie auch – ein Krafttraining empfohlen [17, 90], jedoch nun die Wichtigkeit in Kombination mit regelmäßigem Ausdauertraining hervorgehoben. Das Krafttraining sollte hierbei mindestens zweimal wöchentlich mit mindestens moderater Intensität durchgeführt werden [17]. Weitere Empfehlungen aus dem Jahre 2010, die auf die generelle Förderung jeglicher Aktivität („some activity is better than none...more physical activity is better“) und die Reduzierung von Sitzzeiten eingehen, werden erneut aufgegriffen und bestätigt [17, 90].

Grundsätzlich gelten die oben erwähnten Aktivitätsempfehlungen, sofern erreichbar, auch für Menschen mit chronischen Erkrankungen. In Bezug auf Herz-Kreislauf-Erkrankungen wird darauf verwiesen, dass sich körperliche Aktivität positiv auf das Risikoprofil (Diabetes, Bluthochdruck, Übergewicht) auswirkt, das Risiko der kardiovaskulären Mortalität vermindert sowie die Progression kardiovaskulärer Erkrankungen verlangsamt – ggf. auch das Krankheitsbild verbessert – werden kann [17]. In einer älteren Studie aus dem Jahre 1993 konnten Hambrecht et al. veranschaulichen, dass ein Energieumsatz von über 1.500 kcal/Woche notwendig ist, um bei Patienten eine Progression der kardiovaskulären Erkrankung in Form von Koronarläsionen zu verhindern. Eine Regression konnte erst ab Energieumsätzen von 2.200 kcal/Woche beobachtet werden [26]. Wenn man davon ausgeht, dass 1 MET etwa 1 kcal pro Kilogramm KG entspricht und eine moderate Aktivität im Bereich

3-6 MET anzusiedeln ist, würde das von den Leitlinien empfohlene Minimum von 150-300 Minuten pro Woche Ausdaueraktivität einem Energieumsatz von 450-1.800 kcal pro Woche entsprechen. Um eine Regression von Koronarläsionen zu erzielen, scheinen folglich hohe Bewegungsumfänge vonnöten zu sein, um das Krankheitsbild zu verbessern. 2.200 kcal/Woche würden umgerechnet einen Bewegungsumfang von ca. 733 Minuten bei 3 MET oder 367 Minuten bei 6 MET pro Woche entsprechen. In Bezug auf die Mortalität konnte eine neuere Studie, die auf Grundlage von Daten zweier großer US-Kohortenstudien (Nurses' Health Study and Health Professionals Follow-up Study, 1988-2018) den Zusammenhang von hoher körperlicher Aktivität und dem Eintreten von Todesfällen analysiert haben, ähnliche Vorteile bei großen Aktivitätsumfängen zeigen [47]. Im Vergleich zu Personen, die kaum aktiv waren und die Minimalempfehlungen der 2018 erschienen Leitlinienempfehlungen zur körperlichen Aktivität für Amerikaner von >75 Minuten anstrengender bzw. >150 moderater Aktivität pro Woche nicht erreichten [65], zeigte sich die größte Senkung des Mortalitätsrisikos bei Personen mit 150-300 Minuten anstrengender (Reduktion: 21-23%) bzw. mit 300-600 Minuten moderater Aktivität (Reduktion: 26-31%) pro Woche. Größere Aktivitäten (≥ 300 Minuten anstrengende bzw. 600 Minuten moderate Aktivität pro Woche) zeigten keinen zusätzlichen Nutzen in Bezug auf das kardiovaskuläre oder generelle Mortalitätsrisiko [47]. Bei Entsprechung der Empfehlung (75-150 Minuten anstrengende Aktivität oder 150-300 Minuten moderate Aktivität bzw. eine Kombination davon) [65] war das Mortalitätsrisiko im Vergleich zu keiner bzw. kaum Aktivität reduziert (Reduktion bei anstrengender Aktivität: 19%, Reduktion bei moderater Aktivität: 20-21%), aber im Vergleich zu einer Aktivität von 150-299 Minuten anstrengender bzw. 300-600 Minuten moderater Aktivität pro Woche geringer und nicht optimal. Zielsetzung sollte demzufolge sein, dass auch chronisch Erkrankte – im Rahmen ihrer Möglichkeiten – hohe Bewegungsumfänge erreichen, um ihr Krankheitsbild und das Mortalitätsrisiko insgesamt zu verbessern. Sofern sie diese nicht erreichen, wird ihnen laut WHO-Leitlinie empfohlen, sich medizinisch beraten zu lassen, um, angepasst an ihre Kondition und Erkrankung, bestmöglich aktiv zu sein [17]. Schaut man sich die ESC-Empfehlungen für Herzpatienten an, fällt auf, dass sich diese im Wesentlichen mit den Bewegungsempfehlungen der WHO decken [17, 85]. Regelmäßige körperliche Aktivität stellt ungeachtet des medizinischen Fortschritts in der Revaskularisations- und medikamentösen Statintherapie einen wichtigen Eckpfeiler in der Therapie von Herzpatienten dar [68]. Analog zu den WHO-Empfehlungen wird auch in den ESC-Empfehlungen propagiert, dass Patienten so aktiv wie ihnen möglich und ihr Zustand es zulässt sein sollten, wenn sie die Bewegungsempfehlungen nicht erreichen können [85]. Zwar müssen „die allgemeinen Risikodeterminanten der jeweiligen Person, ihre kardiovaskuläre [...] Erkrankung sowie ihr [...] Trainingsvorhaben [...] berücksichtigt werden“ [13], jedoch dürfen diese Risikodeterminanten keine Ängste schüren und nicht – wie in früheren Zeiten – zur Verordnung von Schonung und

Betruhe führen. Die kardiologische Rehabilitation bietet eine gute Möglichkeit, Patienten Ängste zu nehmen und ermöglicht es, sie kontrolliert und unter Supervision in einem sicheren Umfeld an Belastungen heranzuführen.

1.2 KARDIOLOGISCHE REHABILITATION

Laut einer Studie von Kronish et al. erreichen nur 16% der mit einem akuten Koronarsyndrom diagnostizierten Patienten die Aktivitätsempfehlungen von ≥ 30 Minuten Ausdaueraktivität fünf Wochen nach ihrer Entlassung [41]. Die kardiologische Reha mit ihrer individuell angepassten Trainingstherapie als Basis hat die Zielsetzung, Patienten nach einem kardiologischen Ereignis und entsprechender Behandlung zu unterstützen, „um über eine möglichst hohe und nachhaltige körperliche Fitness erneuten Krankheitsereignissen und einer vorzeitigen Gebrechlichkeit wirksam vorzubeugen“ [70]. Am besten belegt ist die Wirksamkeit der kardiologischen Rehabilitation im Kontext der koronaren Herzkrankheit. Hier konnte eine deutliche Reduktion der kardiovaskulären Mortalität und Morbidität gezeigt werden [6, 24, 68]. So ist nicht verwunderlich, dass die ESC Patienten eine kardiologische Rehabilitation nach atherosklerotischen Ereignissen, nach Revaskularisation sowie bei Herzinsuffizienz ausdrücklich empfiehlt – Klasse I-Empfehlung (indiziert und empfohlen) auf Grundlage höchster Evidenzklasse (Level A = auf Grundlage von Daten multipler randomisierter klinischer Studien und Metaanalysen) [85]. Hierbei scheint es laut einer Studie von Steinacker et al. in Bezug auf die Gesundheit unerheblich zu sein, ob diese stationär oder ambulant wahrgenommen wird [74].

Es verwundert deshalb sehr, dass die kardiologische Rehabilitation trotz ihrer Evidenz nur unzureichend in Anspruch genommen wird [44]. Zwar gibt es in den meisten europäischen Ländern (90,9%) entsprechende Programme, v. a. in den westlichen Industrienationen, allerdings fällt einer Umfrage zufolge in Europa nur ein Reha-Platz auf jeden siebten Patienten mit einer ischämischen Herzerkrankung [1]. Auch EUROASPIRE V kommt in ihrem Register, für das Daten von 2016-2017 aus 27 europäischen Ländern von Patienten mit akuten Koronarsymptomen nach Bypass, perkutaner Koronarintervention, einem akuten Infarkt oder einer akuten Ischämie gesammelt und analysiert wurden, zu dem Ergebnis, dass nur 46% der Befragten zu einer kardiologischen Rehabilitation geraten wurde. Immerhin haben von den Befragten zumindest 69% an der Hälfte der Reha-Sitzungen teilgenommen – das sind insgesamt 32% aller Patienten [40].

1.3 SCHRITZÄHLER

Neben den Fortschritten in Behandlungsmaßnahmen drängen verstärkt digitale Anwendungen auf den Markt, die bei der Therapie und Diagnostik von Herzerkrankungen zunehmend eine

tragende Rolle spielen. So wurde kürzlich eine Studie in einer Hotline Session beim ESC vorgestellt, die die Überlegenheit eines Screenings von Vorhofflimmern mittels Smartphone gegenüber der bisher in der Praxis gängigen Vorgehensweise mit einer Erhöhung der Detektionsweise von klinisch relevantem Vorhofflimmern um mehr als Doppelte zeigt [69]. Im Gegensatz zu technischen Neuerungen wie dem EKG-Screening mittels eines Smartphones oder einer Smartwatch scheint der Einsatz von Schrittzählern zur Erfassung der körperlichen Aktivität nahezu veraltet. Die Schrittzahl wird mittlerweile von fast jedem Smartphone oder per Smartwatch – sozusagen nebenbei – erfasst. Die Daten werden in Anwendungen wie Intenetwork Operating System (IOS) Health oder Google Fit gespeichert und weiteren Applikationen zur Nutzung zur Verfügung gestellt. Erfunden wurde der Schrittzähler angeblich im Jahr 1780 von dem Uhrmacher Abraham-Louis Perrelet. Sein Schrittzähler war in der Lage, bis zu 10.000 Schritte zu zählen [37]. Weltweit bekannt wurden Schrittzähler erstmals im Jahr 1964 durch eine Marketingaktion der Firma Yamasa. Sie nutzte den Hype um die Olympischen Spiele in Japan, um der Welt ihren Schrittzähler „Manpo-kei“, was übersetzt so viel wie der 10.000 Schritte-Messer heißt, vorzustellen [29]. Auch wenn sich die Empfehlung, 10.000 Schritte pro Tag zu laufen in den Folgejahren durchgesetzt hat – eindeutig wissenschaftlich untermauert ist diese Empfehlung nicht. Bravata et al. konnten 2007 in einer Metaanalyse zeigen, dass die Nutzung von Schrittzählern in Kombination mit einem Schrittziel, z. B. 10.000 Schritte pro Tag, die körperliche Aktivität gemessen in Schritten steigert und mit einer Verbesserung des Risikoprofils (Blutdruck und Body Mass Index (BMI)) einhergeht. Ob aber die Schrittempfehlung hierfür tatsächlich 10.000 Schritte lauten muss oder ob auch moderatere Schrittziele ausreichen, um die Aktivität zu steigern und das Risikoprofil zu verbessern, blieb unklar [16]. Theoretisch für die Sekundärprävention haben dies Ayabe et al. bestimmt. Sie haben unter Zuhilfenahme von Akzelerometern den Gesamtenergieverbrauch durch körperliche Aktivität mit der Schrittaktivität in Zusammenhang gesetzt und errechnet, dass eine Schrittzahl im Bereich von 6.500-8.500 Schritte pro Tag ausreicht (6.485-8.510 Schritte/Tag entsprechen laut Korrelation 214-314 kcal/Tag), um die allgemeinen Empfehlungen der kardiovaskulären Sekundärprävention zu erreichen [8]. Ob sich diese theoretisch ermittelten Schrittzahlen konkret auf die Gesundheit auswirken, sind Houle et al. nachgegangen. Sie konnten zeigen, dass eine Schrittzahl ≥ 7.500 Schritte pro Tag mit einer Verbesserung des Risikoprofils (Blutdruck und Gewicht) bei Patienten innerhalb eines Jahres nach akutem Koronarsyndrom einhergeht [32]. Dass auch geringere Schrittzahlen einen Nutzen haben, konnten Lee et al. in einer neueren Studie aufzeigen. Sie haben das Mortalitätsrisiko älterer Frauen (Durchschnittsalter 72 Jahre) mit der durchschnittlichen Schrittzahl in Zusammenhang gestellt und kamen zu dem Ergebnis, dass sich bereits eine durchschnittliche Schrittzahl ab ≥ 4.400 im Vergleich zu ≤ 2700 Schritten pro Tag positiv auf das Mortalitätsrisiko auswirkt, jedoch nur bis zu einer maximalen durchschnittlichen Schrittzahl von 7.500 Schritten pro Tag.

Höhere Schrittzahlen zeigten keinen zusätzlichen Nutzen in Bezug auf die Lebenserwartung [46]. Ein ähnliches Ergebnis weist die Studie von Del Pozo et al. auf, die in einer Beobachtungsstudie Daten von 78.500 Personen (United Kingdom (UK) Biobank-data von 2013-2015) ausgewertet haben. Ein Anstieg der durchschnittlichen Schritte pro Tag ging ihren Daten zufolge mit einer Abnahme des Mortalitäts-, Krebs- und eines Risikos für Herz-Kreislauf-Erkrankungen einher, allerdings nur bis zu einer Schrittzahl von durchschnittlich ca. 10.000 Schritten pro Tag. Zwar liegt das Limit des durchschnittlichen Schrittziels, was die positiven Effekte betrifft, hier um 2.500 Schritte pro Tag höher, allerdings war das Durchschnittsalter der Probanden in dieser Studie mit 61 Jahren auch 11 Jahre jünger [23] als in der Studie von Lee et al. [46], was den Unterschied erklären könnte. Welchen Einfluss das Alter haben könnte, haben Paluch et al. in einer Metaanalyse untersucht. Sie konnten den Abfall des Sterberisikos mit steigender Schrittzahl bis zu einem altersspezifischen Plateau zeigen. Während sich bei Personen >60 Jahren bei 6.000–8.000 Schritten pro Tag keine Risikoreduktion mehr abzeichnete, war dieses Plateau bei Personen <60 Jahren erst bei 8.000–10.000 Schritten pro Tag erreicht [60]. Eine kürzlich in „Nature“ veröffentlichte Studie von Master et al. kommt hier allerdings zu einem anderen Ergebnis. Ihre Daten zeigen kein Plateau, sondern belegen, dass eine hohe durchschnittliche Schrittzahl generell mit einem niedrigeren Risiko für das Auftreten von chronischen Erkrankungen einhergeht. In der Studie wurden Daten von mehr als 4.000 Teilnehmern über einen Zeitraum von 4 Jahren ausgewertet. Je mehr Schritte Personen liefen, desto niedriger war das Sterberisiko. Lediglich das Risiko für das Auftreten von Bluthochdruck und Diabetes sank ab einer Schrittzahl von 8.000-9.000 Schritten pro Tag nicht weiter ab [51]. Grundsätzlich kritisch hinterfragen könnte man den Einsatz von Schrittzählern, wenn man sich die Studienergebnisse von Jakici et al. anschaut. Hier wurde untersucht, ob sich der zusätzliche und langfristige Einsatz von Schrittzählern bei Übergewichtigen, die an einem Standardprogramm zur Gewichtsreduktion teilgenommen haben, positiv auf das Gewichtsmanagement auswirkt. In ihrer Interventionsstudie wurde einer Gruppe von Übergewichtigen ein Standardprogramm zum Abnehmen angeboten, während der anderen Gruppe zusätzlich Wearables und eine Web-Plattform zum Tracken der Aktivität und Ernährung an die Hand gegeben wurde. Zwar zeigte sich in beiden Gruppen eine Gewichtsreduktion innerhalb des Zeitraums von 24 Monaten, der zusätzliche Einsatz von Schrittzählern ging aber im Vergleich zu Probanden, die nur am Standardprogramm teilgenommen haben, mit keinen signifikanten Unterschieden einher [34]. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte sein, dass sich die Probanden nach ihrer Aktivität „belohnen“ wollten und sich, da sie aktiv waren, mehr Essen gönnten. Sofern die Vermutung zutrifft, ist dies aber eher als Aufklärungsproblem einzuordnen und sollte nicht die Sinnhaftigkeit der Schrittzählung und Aktivitätsmessung – bzw. ob sich diese womöglich nicht für jede Gruppe gleichermaßen eignet – in Frage stellen. Dass der Einsatz von Schrittzählern positive Auswirkungen auf die

körperliche Aktivität und Gesundheit haben kann, konnte bei kranken Herzpatienten auch im Kontext der kardiologischen Rehabilitation nachgewiesen werden. Kaminsky et al. zeigten in ihrer Pilotstudie einen signifikanten Anstieg der körperlichen Aktivität bei Patienten, denen bei Antritt der kardiologischen Reha ein Schrittzähler und individualisierte Schrittziele an die Hand gegeben wurden, im Vergleich zu Patienten, die nur am Standardprogramm teilgenommen haben [36]. Auch nach der kardiologischen Reha scheint der Einsatz von Schrittzählern von Nutzen zu sein. So konnten Butler et al. in einer Interventionsstudie neben einer größeren Aktivität nach sechs Monaten eine größere kardiorespiratorische Fitness in der Pedometergruppe nachweisen [18].

1.4 PROBLEMSTELLUNG

Anhand der angeführten Studien wird deutlich, dass eine hohe Schrittaktivität bzw. eine Steigerung der Schrittzahl einen Gesundheitsnutzen haben. Dennoch bleibt unklar, wer wie viele Schritte laufen sollte. Sollen gesunden Erwachsenen weiterhin 10.000 Schritte pro Tag empfohlen werden [16, 82]? Ist diese Zielsetzung für eingeschränkte Personen womöglich zu hoch gegriffen [83]? Neben individuellen Unterschieden (gesund, krank, jung, alt etc.) kommt erschwerend hinzu, dass die Schrittzahl allein keine Rückschlüsse auf die Intensität zulässt. Schrittzähler vermögen die Schrittzahl akkurat zu messen, geben jedoch weder Rückschlüsse auf Frequenz, Dauer oder Intensität einer Aktivität noch sind sie in der Lage andere Aktivitäten wie Schwimmen, Fahrradfahren oder Krafttraining zu erfassen [10]. So macht es energetisch einen deutlichen Unterschied, ob jemand 1.000 Schritte spazieren geht, joggt oder sprintet. Demzufolge ist auch nicht verwunderlich, dass Del Pozo et al. in ihrer Studie nicht nur eine Risikominderung bei der Gesamt-, Krebs- und Herzkreislaufmortalität bei einer Erhöhung der Schrittzahl bis zu 10.000 Schritten pro Tag beobachten, sondern ebenfalls aufzeigen konnten, dass sich eine hohe Schrittfrequenz zusätzlich positiv auf das Risiko auswirken kann [23]. Neben der Schrittfrequenz beeinflusst das Gelände die Intensität. So unterscheidet sich eine Bergwanderung von der Belastung deutlich von einem Spaziergang im Tal. Doch auch wenn Schrittzahlen nicht per se gleichwertig zu sehen sind, bietet die Schrittzählung eingeschränkten Personen die Chance, sich „hohe“ Schrittziele zu stecken und diese in einem für sie günstigen Gelände in ihrem eigenen Tempo ohne kritische Belastungsspitzen – womöglich mit Pausen – zu erreichen. Dies ist v. a. vor dem Hintergrund interessant, dass die neuen Leitlinien nicht mehr an einer zusammenhängenden Aktivität von mindestens 10 Minuten festhalten, sondern ebenfalls Aktivitäten <10 Minuten als gesundheitsförderlich ansehen und die Summe der Aktivitäten (mindestens >150 -300 Minuten moderate Ausdaueraktivität pro Woche bzw. >75-150 Minuten anstrengende Aktivität) entscheidend ist [17]. Eine Studie von Okamoto et al. konnte sogar einen direkten Zusammenhang zwischen der Schrittzahl und den Gesundheitskosten aufzeigen. So geht ein über das Jahr gerechneter

durchschnittlicher Schritt pro Tag mehr kurzfristig mit einer Reduktion der Gesundheitskosten von 16,26 JPY (ca. 0,11€) einher, langfristig gesehen wurde ein noch größerer Effekt berechnet [58].

Es bleibt festzuhalten, dass man dem Gehen bzw. Laufen zur Steigerung der körperlichen Aktivität eine große, wenn nicht die größte, Bedeutung zukommen lassen muss. Jeder, der nicht anderweitig – z. B. orthopädisch – beeinträchtigt ist und dadurch nicht laufen kann, kann direkt, ohne spezielles Training und Vorbereitung Schritte sammeln [45] und so im Rahmen seiner Belastbarkeit beim Spaziergehen, Nordic Walking, Wandern oder bei anderen Bewegungseinheiten seine körperliche Aktivität steigern.

Wie bereits erörtert ist es schwierig, Schrittempfehlungen eindeutig festzulegen. In der Sekundärprävention wäre es ratsam, zunächst einmal zu überprüfen, wie viele Schritte Herzpatienten eigentlich laufen und bei niedrigen Schrittzahlen zu hinterfragen, ob es Indikatoren für die verminderte Schrittaktivität gibt und ob die Schrittzahl eine prognostische Bedeutung für Herzpatienten haben kann.

1.5 FRAGESTELLUNG UND STUDIENDESIGN

Auf Grundlage der oben genannten Problematik war das Ziel der Studie, Antworten auf die folgenden Fragen zu finden:

1. Wie viele Schritte laufen Reha-Patienten unterschiedlicher New York Heart Association (NYHA)-Klassifikation, unterschiedlicher Ejektionsfraktion und unterschiedlicher fahrradergometrischer Leistungsfähigkeit einer ambulanten Reha im Durchschnitt?
2. Ändert sich die Schrittaktivität der Gruppen im Zeitverlauf nach ambulanter Reha?
3. Gibt es in Abhängigkeit der NYHA-Klasse, EF und Leistungsfähigkeit Unterschiede beim Erreichen empfohlener Schrittzahlen (Compliance)?
4. Treten erneute kardiologische Beschwerden, erneute Koronarintervention oder akute Koronarsymptome bei Probanden sowie damit einhergehende Hospitalisierungen bei Patienten mit hoher Schrittzahl seltener auf als bei Probanden, die weniger laufen?

Dem folgend wurde im Rahmen einer als Pilotstudie konzipierten Untersuchung

a) im Querschnitt überprüft, ob kardiologische Reha-Patienten in Abhängigkeit der (fahrrad-)ergometrischen Leistungsfähigkeit, der NYHA-Klassifikation und der EF unterschiedliche Schrittzahlen während und nach der Reha aufweisen,

b) im Längsschnitt überprüft, ob die anhand der Schrittzahl ermittelte körperliche Alltagsaktivität mit dem Auftreten von „adverse events“ (erneute bzw. Zunahme

kardiologischer Beschwerden, erneute Koronarintervention oder akute Koronarsymptome) im Zeitverlauf bis maximal ein Jahr nach Reha einhergeht und

c) im Längsschnitt überprüft, ob die Compliance der Patienten hinsichtlich der empfohlenen Schrittzahl und den in der Reha gegebenen Aktivitätsempfehlungen mit Hilfe eines Pedometers nach Reha im Zeitverlauf aufrechterhalten bzw. erreicht werden kann.

2 MATERIAL UND METHODEN

Nachfolgend werden Material, Methode und die Statistik, die im Rahmen der Studie zur Anwendung kamen, vorgestellt. Inhalte dieses Kapitels wurden 2018 [57], 2020 [3] und 2022 [4] von Al Najem et al. veröffentlicht.

2.1 PROBANDEN

Die Beschreibung der Rekrutierung und Auswahl der Probanden wurde 2018 [57], 2020 [3] und 2022 [4] von Al Najem et al. veröffentlicht. Die Probanden wurden im „Herzwerk“, Reha-Abteilung des Cardioangiologischen Centrums Bethanien (CCB) in Frankfurt, zwischen Juli 2015 bis Juli 2016 bei ihrem Reha-Antritt auf die Studie aufmerksam. Sie wurden über das Studienvorhaben aufgeklärt, dessen Durchführung von der Ethikkommission der Landesärztekammer bewilligt wurde, und erhielten eine Patienteninformation sowie eine Einwilligungserklärung, die sie vor Teilnahme unterschreiben mussten.

Einschlusskriterien:

- ≥18 Jahre
- Stabile kardiologische Reha-Patienten des CCB nach Koronarintervention

Ausschlusskriterien:

- Angiologische Patienten mit peripherer arterieller Verschlusskrankheit (PAVK)
- Patienten mit neurologischen Erkrankungen, die die Gehfähigkeit beeinträchtigen
- Psychische Erkrankungen
- Drogenabhängigkeit
- Bestehende Schwangerschaft
- <18 Jahre
- Relevante bewegungseinschränkende orthopädische Erkrankungen (z. B. Spinalkanalstenose, relevante Gon- und Coxarthrose)

2.2 PARAMETER

Die Beschreibung der in dieser Studie verwendeten Parameter wurde von Al Najem et al. in den Jahren 2018 [57], 2020 [3] und 2022 [4] veröffentlicht. Im Rahmen des Studienvorhabens wurden vermehrt Parameter, die im Rahmen von Routineuntersuchungen bzw. -befragungen in der kardiologischen Reha erhoben wurden, verwendet. Zusätzlich wurde Patienten ein Schrittzähler ausgehändigt, um deren Schrittaktivität während der Reha (versiegelt) und bis zu ein Jahr danach (unversiegelt) zu erfassen. Nach Reha-Ende wurden die Patienten gebeten,

ihre Schritte, den Blutdruck, das Gewicht sowie kardiologische Beschwerden in einem Herztagebuch zu protokollieren.

Folgende aus den Untersuchungen in der Reha routinemäßig erhobenen Parameter wurden für diese Studie genutzt:

Laborparameter (Kleines Blutbild)

Cholesterin, high-density lipoprotein (HDL), low-density lipoprotein (LDL), Creatinin, glomeruläre Filtrationsrate (GFR), Natrium, Kalium, Blutzucker

Nikotin

Es wurde erfragt, ob der Proband raucht oder geraucht hat.

Anthropometrie und Alter

Das KG und die Körpergröße wurden bestimmt und der BMI errechnet.

Das Alter wurde aus der Patientenakte übernommen.

Familiäre Disposition

Es wurde erfragt, ob in der Familie Herz-Kreislauf-Erkrankungen wie Herzinfarkt, Hirnschlag oder eine PAVK bei

a) weiblichen Verwandten ersten Grades (Mutter, Schwester) unter 65 Jahren

b) männlichen Verwandten ersten Grades (Vater, Bruder) unter 55 Jahren

aufgetreten sind.

Leistungsphysiologische Tests

Bei Reha-Antritt wird bei jedem Patienten ein Belastungs-EKG bis zur symptomlimitierten Ausbelastung auf dem Fahrradergometer durchgeführt (Bestimmung: EKG-Veränderungen, Watt, maximale Herzfrequenz (HF), Watt/kg KG).

Ein weiteres Abschluss-Belastungs-EKG wird ausschließlich bei Patienten der Deutschen Rentenversicherung (DRV) nach Abschluss der Reha durchgeführt (Vergleich: Watt/kg KG vor und nach Reha).

Für Testung und Training werden Fahrradergometer der Firma Ergoline Ergoselect 400[®] mit Monitoring (HF /EKG /RR) eingesetzt (Auswertungs- und Belastungssoftware: Ergoline ERS 2[®]).

Betablocker-Medikation

Aus der Patientenakte wurde übernommen, ob der Patient Betablocker einnehmen muss.

Status der Koronarerkrankung

Aus der Patientenakte wurde übernommen, wie viele Koronargefäße betroffen sind (1-,2- oder 3-Gefäßerkrankung).

Gruppeneinteilung nach NYHA-Klassifikation, EF, Leistungsfähigkeit

Die NYHA-Klassifikation (I-IV), die EF und das Ergebnis vom Belastungs-EKG wurden aus der Patientenakte des Probanden übernommen.

Die EF-Gruppen wurden wie folgt eingeteilt:

E1: EF > 55 %

E2: EF < 55 – 45 %

E3: < 45 – 35 %

E4: < 35 %

Schrittzahl pro Tag während der Reha (Pedometrie versiegelt)

Die Pedometrie wurde während der gesamten Reha mit dem Schrittzähler Omron Walking Style Pro 2.0[®] durchgeführt. Der Schrittzähler wurde vorab mit schwarzem Klebeband versiegelt. Die Probanden sollten ihn, mit Ausnahme der Schlafens-, Dusch- und Schwimmzeiten, durchgehend an einem Clip am Gürtel oder in der Hosentasche tragen. Hierbei ist zu beachten, dass der verwendete Schrittzähler nur Daten von 21 Tagen speichern kann. Bei langen Reha-Phasen (>21 Tage) musste der Schrittzähler zwischenzeitlich ausgelesen werden, um Datenverlust zu vermeiden.

Schrittdaten von Patienten wurden nur verwendet, wenn Schrittdaten an über 50% der Tage während der Dauer der Studienteilnahme vorhanden waren.

Protokollierung nach Reha: Schrittaktivität, Gewicht, Blutdruck und kardiologische Beschwerden nach Reha

Den Probanden wurde am Ende der Reha ein „Herztagebuch“ ausgehändigt, um ihre Aktivitäten, ihr Gewicht, ihren Blutdruck und etwaige kardiologische Beschwerden nach Reha zu dokumentieren. Der Umgang mit dem Herztagebuch wurde vorab erklärt. In dem Herztagebuch können etwa drei Monate dokumentiert werden. Nach drei Monaten wurde den Probanden automatisch ein neues Tagebuch zugeschickt. Zusätzlich erhielten sie einen frankierten Rückumschlag, um ihr ausgefülltes Herztagebuch zurückzuschicken. Die Dokumentation sollte insgesamt über den Zeitraum eines Jahres nach Reha-Beginn erfolgen.

Schrittaktivität nach Reha (unversiegelte Pedometrie)

Am letzten Reha-Tag wurde die Schrittaktivität des Patienten während der Reha ausgelesen und dokumentiert. Im Anschluss wurde die Versiegelung des Schrittzählers entfernt und dem Patienten der Umgang mit dem Gerät erklärt. Die Probanden sollten den Schrittzähler weiterhin, mit Ausnahme der Schlafens-, Dusch- und Schwimmzeiten, durchgehend an einem Clip am Gürtel oder in der Hosentasche tragen. Als Zielvorgabe diente die Empfehlung ≥ 6.500 Schritte pro Tag zu laufen. Lagen sie darunter, wurde ihnen empfohlen, zu versuchen ihre Schrittaktivität kontinuierlich zu steigern (z. B. um 10% pro Woche).

Auch nach Reha wurden Schrittdaten von Patienten nur verwendet, wenn Schrittdaten an über 50% der Tage während der Dauer der Studienteilnahme vorhanden waren.

Erfassen weiterer Aktivitäten: Wurden die Reha-Empfehlungen umgesetzt?

Am Ende der Reha wurden den Patienten individuelle Trainingsempfehlungen gegeben. Diese wurden im „Herztagebuch“ festgehalten. Am Ende jeder Woche sollte der Proband rückwirkend bewerten, ob er die Aktivitätsempfehlungen erfüllen konnte.

Besuchte der Proband eine Herzsportgruppe oder Reha-Einrichtung, sollten die Trainingstage entsprechend dokumentiert werden. Ebenfalls sollten Aktivitäten, die nicht vom Schrittzähler erfasst werden konnten (z. B. Schwimmen), unter Angabe der Intensität und Dauer dokumentiert werden.

Blutdruck

Der Blutdruck sollte einmal pro Tag protokolliert werden. Die Blutdruckmessung führte der Patient eigenständig durch. Hierbei wurden die Studienteilnehmer dazu angehalten, vorher keinen Kaffee oder Schwarztee zu trinken, direkt vorher nicht zu rauchen und vor der Messung fünf Minuten ruhig und entspannt zu sitzen. Die Messung erfolgte vor der Tabletteneinnahme am Morgen. Nach einer einminütigen Ruhepause sollte der Blutdruck erneut gemessen werden. Bei Abweichungen (≥ 10 mmHg systolisch oder diastolisch) war eine dritte Messung vorzunehmen. Protokolliert wurden immer die niedrigsten Werte.

Körpergewicht

Das KG war einmal pro Woche zu protokollieren. Das Wiegen sollte immer zur gleichen Tageszeit (am besten morgens nach dem ersten Toilettengang), ohne Kleider, vor der ersten Medikamenteneinnahme, vor dem Frühstück erfolgen. Das Gewicht sollte, sofern möglich, auf eine Kommastelle genau protokolliert werden.

„Adverse events“

Sollten im Verlauf eines Jahres erneute kardiologische Beschwerden auftreten, eine erneute Koronarintervention erforderlich sein oder akute Koronarsymptome auftreten, die mit einem Krankenhausaufenthalt einhergingen, waren die Probanden dazu angehalten, dies im Tagebuch zu erfassen.

Jahreszeit und Anzahl der vergangenen Tage nach Reha

Es wurde der Tag des Jahres nach Reha sowie die Anzahl der vergangenen Tage nach Reha erfasst, um saisonale sowie zeitliche Zusammenhänge (vergangene Zeitspanne nach Reha) analysieren zu können.

2.3 STATISTIK

Inhalte der im Kapitel 2 angeführten statistischen Verfahren wurden 2018 [57], 2020 [3] und 2022 [4] von Al Najem et al. veröffentlicht.

2.3.1 SCHRITZAHL WÄHREND DER REHA

Dieses Kapitel beschreibt die statistischen Verfahren, die im Rahmen der Untersuchung während der Reha genutzt wurden. Der Inhalt dieses Kapitels wurde 2018 von Al Najem et al. [57] veröffentlicht.

Zur deskriptiven Gegenüberstellung von Probanden mit und ohne Beeinträchtigung (NYHA-Klasse, (fahrrad-)ergometrischen Leistungsfähigkeit, EF) werden kategoriale Variablen als absolute und relative Häufigkeiten angegeben und Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet.

Um die mit der Schrittzahl in Zusammenhang stehenden Variablen während der Reha zu erkennen und aufgrund der großen Anzahl potenzieller Einflussgrößen, wurde eine Lasso-Regression durchgeführt. Anhand der ausgewählten Parameter wurde ein additives Regressionsmodell geschätzt [77]. Bei der Lasso-Regression werden die Absolutbeträge der Regressionskoeffizienten bestraft, so dass einige dieser bei der Schätzung auf null gesetzt und somit die zugehörigen Variablen aus dem Modell ausgeschlossen werden. Somit wird Variablenselektion und ein sparsameres Modell erreicht, welches typischerweise stabilere Schätzer liefert und weniger anfällig gegenüber Overfitting ist. Eine Vorprüfung ergab, dass zwischen BMI und Schrittzahl ein nicht-linearer Zusammenhang besteht, so dass ein polynomialer Effekt bis zum Exponenten 4 zugelassen wurde. Insgesamt gingen die folgenden 15 Kovariablen in die Lasso-Regressionsanalyse ein:

Geschlecht, Alter, Rauchstatus, BMI (polynomial mit dem Exponenten 4), Status der Koronarerkrankung, NYHA-Klasse, EF, maximale Leistungsfähigkeit, (W/kg KG), maximale

Herzfrequenz, Hämoglobin-Konzentration, Betablocker-Medikation, Hämatokrit, Cholesterin, HDL und LDL [57]

2.3.2 SCHRITZAHL NACH REHA

Dieses Kapitel beschreibt die statistischen Verfahren, die im Rahmen der Untersuchung nach Reha genutzt wurden. Der Inhalt dieses Kapitels wurde 2020 von Al Najem et al. [3] veröffentlicht.

Um zu eruieren, wie sich die Schrittaktivität nach Reha entwickelt, wurde in einem gepaarten t-Test geprüft, ob die durchschnittliche Schrittzahl/Tag während und in den ersten drei Wochen nach REHA signifikant voneinander abweicht. Inwieweit Geschlecht, Alter, Rauchen, NYHA, EF, BMI, Saison (Tag des Jahres) und Anzahl der vergangenen Tage nach Reha mit der täglichen Schrittaktivität im Zusammenhang stehen, wurde anhand eines Generalisierten Additiven Regressionsmodells (GAM) geschätzt [89]. Zur Veranschaulichung wurden deskriptive Kurven erstellt, um den Zusammenhang der durchschnittlichen Schrittzahl pro Tag und der vergangenen Zeit nach Reha in Tagen in Abhängigkeit des Geschlechts, der NYHA-Klasse, EF, BMI-Klassifizierung und dem Rauchstatus grafisch zu illustrieren.

2.3.3 KARDIALE EVENTS NACH REHA

Dieses Kapitel beschreibt die statistischen Verfahren, die genutzt wurden, um das Auftreten von kardialen Events nach Reha zu analysieren. Der Inhalt dieses Kapitels wurde 2022 von Al Najem et al. [4] veröffentlicht.

Anhand einer Cox-Regression (Cox proportional hazard model) wurde untersucht [75], inwieweit die Variablen durchschnittliche Schritte pro Tag, EF, Geschlecht und Alter mit dem Zeitpunkt des Auftretens von kardialen Ereignissen („adverse events“) bis zu einem Jahr nach Reha zusammenhängen. Es wurden Kaplan-Meier Kurven erstellt, um Patienten mit einer konstanten durchschnittlichen Schrittaktivität von 5.000, 7.500, 10.000 und 12.500 Schritten pro Tag zu vergleichen und Patienten mit einer EF <55% und \geq 55% gegenüberzustellen.

Ein kardiales Event nach Reha wurde wie folgt definiert:

- (a) Tod kardialer Ursache
- (b) Hospitalisierung nach Wiederbelebung (Herzstillstand), Koronarintervention (Koronararterienbypass, perkutane Koronarintervention, Stent-Implantation), akute Koronarsymptomatik, objektive Verschlechterung einer Angina (Schmerzen in der Brust oder anderen Arealen im Oberkörper, Kurzatmigkeit, Schwindel, Übelkeit), Arrhythmien oder kardiale Synkopen

Die statistische Analyse wurde in R durchgeführt [67]. Das Group-LASSO Verfahren ist im R-Paket `grplasso` implementiert [53]. Das GAM wurde mittels dem R-Paket `mgcv` erstellt [89].

3 ERGEBNISSE

Die folgend aufgeführten Ergebnisse wurden 2018 [57], 2020 [3] und 2022 [4] veröffentlicht. Der Artikel aus dem Jahre 2018 zeigt auf, wie sich die Schrittzahl während der Reha darstellt und welche Parameter mit dieser im Zusammenhang stehen [57]. Die Veröffentlichung aus dem Jahre 2020 baut auf diesen Ergebnissen auf und eruiert, wie sich die Schrittaktivität im Verlauf eines Jahres nach Reha entwickelt [3]. Im abschließenden Artikel aus dem Jahre 2022 wird untersucht, wie und ob niedrige oder hohe Schrittzahlen mit dem Auftreten von kardiologischen Beschwerden (Hospitalisierungen) im Zusammenhang stehen [4].

3.1 PATIENTENKOLLEKTIV

Im Rahmen der ersten Untersuchung während der Reha mussten 45 von 280 Patienten, die an der Studie teilnehmen wollten, im Vorfeld aufgrund folgender Kriterien von der Studie ausgeschlossen werden:

- Angiologische Patienten mit PAVK (n=18)
- Patienten mit neurologischen oder orthopädischen Erkrankungen, die die Gehfähigkeit relevant einschränken (n=23)
- Kombination der beiden vorab genannten Kriterien (n=4) [57]

Dropouts während der Reha

21 Patienten haben ihre Studienteilnahme bereits während der Reha und/oder die Reha insgesamt abgebrochen. 22 weitere Patienten mussten aufgrund fehlender Daten von der Studie ausgeschlossen werden (unzureichende Schrittdaten: technische Probleme bzw. fehlende Motivation, den Schrittzähler zu tragen; ein Patient war zu schwer, um das Belastungs-EKG durchzuführen). Insgesamt konnten für die Untersuchung während der Reha die Daten von 192 Patienten genutzt und ausgewertet werden [57].

Die demographischen Daten dieser Patienten können Tabelle 1 entnommen werden.

Tabelle 1: Patientenbeschreibung; Mittelwerte und Standardabweichungen der Variablen
 Quelle: Najem et al. 2018 [57]

	n	Schritte pro Tag	Leistungsfähigkeit [W/kg KG] während der Reha)	Alter	BMI	Anzahl der Reha-Tage
Gesamt	192	6.530 ± 2.504	1,5 ± 0,46	59 ± 11	28,49 ± 4,85	24 ± 5
Männer	160	6.584 ± 2.534	1,56 ± 0,45	59 ± 11	28,49 ± 4,54	24 ± 5
Frauen	32	6.257 ± 2.365	1,23 ± 0,37	58 ± 10	28,5 ± 6,24	26 ± 4
NHYA1	139	6.817 ± 2.598	1,62 ± 0,43	58 ± 10	27,89 ± 4,51	24 ± 5
NHYA2	43	5.977 ± 2.115	1,23 ± 0,35	60 ± 13	29,09 ± 5,01	25 ± 4
NHYA3	10	4.917 ± 1.741	0,97 ± 0,3	57 ± 11	34,3 ± 4,86	28 ± 5
EF1	149	6.699 ± 2.438	1,52 ± 0,43	58 ± 11	28,62 ± 4,92	24 ± 5
EF2	28	6.374 ± 2.994	1,56 ± 0,54	62 ± 10	27,5 ± 3,84	24 ± 4
EF3	12	5.015 ± 1.910	1,17 ± 0,47	62 ± 13	29,42 ± 6,2	27 ± 5
EF4	3	5.638 ± 667	1,21 ± 0,42	62 ± 12	27,67 ± 4,04	23 ± 4
Keine Koronarerkrankung	18	6.613 ± 2.034	1,48 ± 0,41	51 ± 14	28,94 ± 5,12	26 ± 4
1-Gefäßerkrankung	67	6.914 ± 2.587	1,58 ± 0,46	58 ± 11	28,12 ± 5,62	24 ± 4
2-Gefäßerkrankung	65	6.649 ± 2.702	1,54 ± 0,42	60 ± 10	28,71 ± 4,38	24 ± 5
3-Gefäßerkrankung	42	5.697 ± 2.085	1,32 ± 0,5	62 ± 10	28,57 ± 4,16	25 ± 5
Normalgewicht: BMI 18,5-24	33	7.427 ± 2.730	1,74 ± 0,45	56 ± 13		23 ± 4
Übergewicht: BMI 25-29	98	6.448 ± 2.393	1,59 ± 0,43	62 ± 10		24 ± 5

Adipositas Grad 1: BMI 30-34	36	6.751 ± 2.393	1,34 ± 0,36	55 ± 10		25 ± 5
Adipositas Grad 2: BMI 35-39	20	5.163 ± 2.574	1,05 ± 0,31	58 ± 8		26 ± 5
Adipositas Grad 3: BMI >40	5	6.077 ± 1.567	1,05 ± 0,14	45 ± 8		27 ± 4
Fehlende Werte	0	0	0	0	0	0

Abkürzungen:

BMI = Body Mass Index

EF = Ejektionsfraktion berechnet nach der Teichholz Formel, echokardiographisch bestimmt

EF1 = >55 %, EF2 = <55 - 45 %, EF3 = <45 - 35 %, EF4 = <35 %

NYHA1 = New York Heart Association-Klassifikation 1, NYHA2 = New York Heart Association-Klassifikation 2, NYHA3 = New York Heart Association-Klassifikation 3

KG = Körpergewicht

Dropouts nach der Reha

Nach der Reha konnten im Rahmen der zweiten Untersuchung Patientendaten von weiteren 66 Patienten aufgrund zu geringer Tragezeiten des Schrittzählers nicht verwendet werden, so dass man hier auf ein Kollektiv von 126 Patienten kam [3]. Die demographischen Daten dieser Patienten können Tabelle 2 entnommen werden.

Tabelle 2: Patientenbeschreibung; Mittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) der Variablen

Quelle: Al Najem et al. 2020 [3]

	n	Mittelwert Schrittzahl pro Tag während der Reha	Mittelwert Schrittzahl pro Tag während des Verlaufs eines Jahres nach Reha	Leistungsfähigkeit während der Reha, W/kg KG	Alter in Jahren	BMI	Dauer Studienteilnahme nach Reha in Tagen
Gesamt	126	6.633 (2.468)	7.562 (4.637)	1,54 (0,46)	60,45 (10,59)	27,18 (3,95)	262,83 (119,58)
Frauen	24	6.435 (2.339)	7.387 (4.292)	1,26 (0,39)	58,08 (9,73)	26,65 (4,73)	207,08 (123,45)
Männer	102	6.679 (2.507)	7.592 (4.695)	1,61 (0,44)	61,01 (10,76)	27,27 (3,8)	275,95 (115,39)
NYHA1	95	6.931 (2.601)	7.886 (4.875)	1,65 (0,43)	60,06 (9,75)	26,9 (3,65)	272,59 (112,9)
NYHA2	24	5.809 (1.817)	6.532 (3.442)	1,29 (0,39)	63,17 (12,8)	26,82 (3,59)	249,67 (132,81)
NYHA3	7	5.410 (1.548)	5.788 (3.271)	1,02 (0,34)	56,43 (13,06)	34,44 (4,29)	175,57 (139,75)
EF1	101	6.668 (2.410)	7.728 (4.698)	1,53 (0,43)	59,88 (10,23)	27,47 (4,21)	262,22 (119,4)
EF2-4	25	6.490 (2.741)	6.900 (4.323)	1,58 (0,55)	62,76 (11,88)	26,15 (2,65)	265,32 (122,74)
Raucher	16	5.980 (2.093)	7.179 (5.058)	1,37 (0,38)	54,38 (8,4)	29,22 (6,53)	228,12 (130,31)
Ex-Raucher	70	6.073 (1.958)	7.152 (4.325)	1,52 (0,44)	61,13 (10,53)	26,9 (3,53)	258,87 (121,3)
Nicht-raucher	40	7.874 (2.957)	8.340 (4.870)	1,66 (0,49)	61,7 (10,91)	26,91 (3,11)	283,65 (110,92)

Abkürzungen:

BMI = Body Mass Index

EF = Ejektionsfraktion berechnet nach der Teichholz Formel, echokardiographisch bestimmt

EF1 = >55 %, EF 2-4 = <55 %

NYHA1 = New York Heart Association-Klassifikation 1

NYHA2 = New York Heart Association-Klassifikation 2

NYHA3 = New York Heart Association-Klassifikation 3

KG = Körpergewicht

Für die Fragestellung in Bezug auf die kardialen Ereignisse („adverse events“) nach Reha im Rahmen der abschließend veröffentlichten Untersuchung konnten Daten von 15 weiteren Patienten (Patienten mit Kardiomyopathien, außer solchen mit ischämischen Kardiomyopathien; Patienten mit einer bekannten Herzklappenerkrankung oder Koronarstenose und bereits geplanter Intervention nach Reha) nicht berücksichtigt werden, so dass man hier auf ein Patientenkollektiv von 111 Patienten kam [4]. Demographische Daten über die klinische Charakteristik dieser Patienten können Tabelle 3 entnommen werden.

Tabelle 3: Klinische Charakteristik der Patienten
 Quelle: Al Najem et al. 2022 [4]

	n = 111 Männer = 91, Frauen = 20
Alter in Jahren	61 ± 11
Body Mass Index kg/m ²	28,17 ± 4,47
EF-Gruppe*, Anzahl der Patienten (%)	
EF-Gruppe 1: >55%	91 (82)
EF-Gruppe 2: <55 – 45%	15 (13,5)
EF-Gruppe 3: <45 – 35%	3 (2,7)
EF-Gruppe 4: <35%	2 (1,8)
Kardiovaskuläre Risikofaktoren, Anzahl der Patienten (%)	
Raucher	13 (11,7)
LDL >100	39 (35,1)
LDL >70	53 (47,7)
Bluthochdruck**	20 (18)
Diabetes	26 (23,4)
Übergewicht***	24 (21,6)
Typ der Koronargefäßerkrankung, Anzahl der Patienten (%)	
1-Gefäßerkrankung	40 (36)
2-Gefäßerkrankung	47 (42,3)
3- Gefäßerkrankung	24 (21,6)
Herzinfarkt, Anzahl der Patienten (%)	52 (46,8)
Betablocker-Medikation	76 (68,5)

Daten dargestellt als Mittelwerte ± 1 Standardabweichung oder der Anzahl der Patienten (mit dem prozentualen Anteil in der Klammer)

Abkürzungen:

BMI = Body Mass Index

*EF: Ejektionsfraktion berechnet nach der Teichholz Formel, echokardiographisch bestimmt

**Bluthochdruck wurde als systolischer Blutdruck >140mmHg definiert

*** Übergewicht wurde als BMI (kg/m²) >30 definiert

3.2 MIT DER SCHRITZAHL KORRELIERENDE PARAMETER WÄHREND DER REHA

Die in diesem Kapitel aufgeführten Ergebnisse wurden 2018 von Al Najem et al. [57] veröffentlicht.

Von den 15 untersuchten Variablen wurden die folgenden sechs vom LASSO-Verfahren als relevant ausgewählt: Alter, Rauchstatus, BMI (polynomial mit dem Exponent 4), Leistungsfähigkeit (W/kg KG), Betablocker-Medikation, HDL. Die geschätzten Koeffizienten, außer für die Variable BMI, welche einen nicht-linearen Effekt aufweist (siehe Abbildung 1), haben einen linearen Effekt auf die Schrittzahl und sind Tabelle 4 zu entnehmen. Die Parameter für HDL und Betablocker-Medikation zeigen keine Signifikanz. Alle anderen Variablen wurden ausgeschlossen [57].

Tabelle 4: Geschätzte Koeffizienten der linearen Effekte auf die Schrittzahl pro Tag während der Reha, abgeleitet aus einem additiven Modell mit einem nicht-linearen Effekt für den Body Mass Index

Quelle: Najem et al. 2018 [57]

Parametrische Koeffizienten	Schätzwert	Standardfehler	t-Wert	Pr(> t)
Intercept	5.800,69	1.512,51	3,835	0,000173***
Alter	-49,94	15,81	-3,185	0,001863**
Raucher	-986,17	484,13	-2,037	0,043113*
Ex-Raucher	-1.125,36	344,97	-3,262	0,001322**
HDL	15,47	12,09	1,280	0,202176
Wmax/kg KG	2.623,7	397,43	6,602	4,41e-10***
Betablocker-Medikation	-277,7	316,82	-0,877	0,381913

***: p-Wert <0,001, **: p- Wert <0,01, *: p- Wert <0,05

Abkürzungen:

HDL = high-density lipoprotein

Wmax = maximale fahrradergometrisch-ermittelte Leistungsfähigkeit in Watt

KG = Körpergewicht

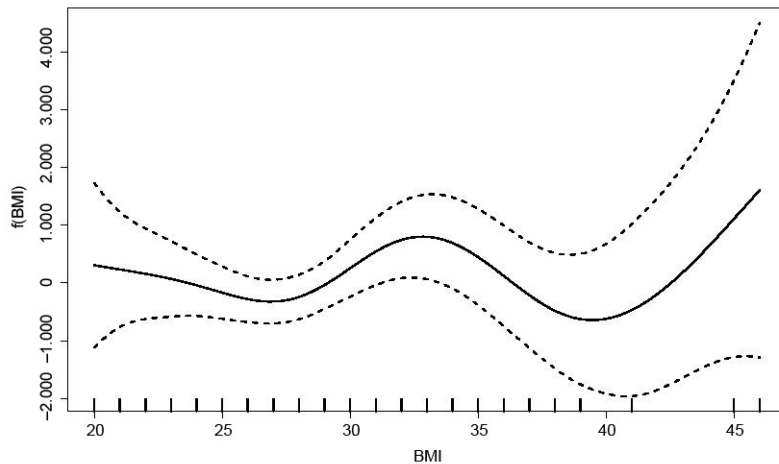


Abbildung 1: Nicht-linearer Effekt des Body Mass Index (BMI; geglättete Linie) \pm 1 Standardfehler auf die Schrittzahl
 Quelle: Najem et al. 2018 [57]

3.3 SCHRITZAHL NACH REHA

Die in diesem Kapitel aufgeführten Ergebnisse wurden 2020 von Al Najem et al. [3] veröffentlicht.

Im Post-Reha untersuchten Patientenkollektiv ($n = 126$) zeigt sich im Vergleich zur Rehazeit innerhalb der ersten drei Wochen nach Reha ein Anstieg der durchschnittlichen Schrittzahl von 6.633 (SD 2.468) auf 7.558 Schritte (SD 3.140), ein statistisch signifikanter Anstieg von 925 Schritten/Tag (SD 2.150, $p < 0,001$). Die deskriptiven Kurven veranschaulichen, dass die Schrittzahl bei den Patienten im Verlauf eines Jahres nach Reha hoch bleibt und nicht abfällt (Abbildung 2), jedoch die Saison bzw. der Tag des Jahres eine Rolle spielt, was sich in einem Anstieg der Schrittzahl gegen Sommer und Abfall gegen Winter darstellt (siehe Abbildung 3) [3].

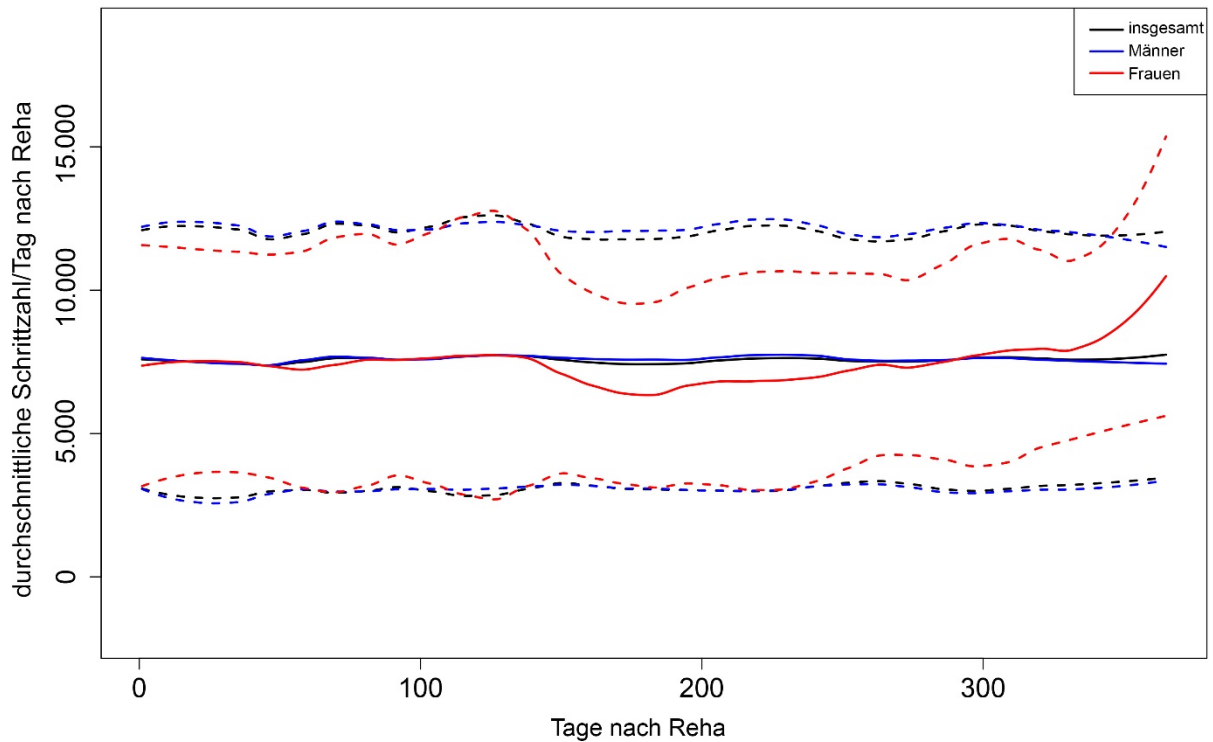


Abbildung 2: Entwicklung der Schrittaktivität (geglättete Linie) ± 1 Standardfehler (gestrichelte Linie) insgesamt, bei Männern und Frauen innerhalb eines Jahres nach Reha
 Quelle: Al Najem et al. 2020 [3]

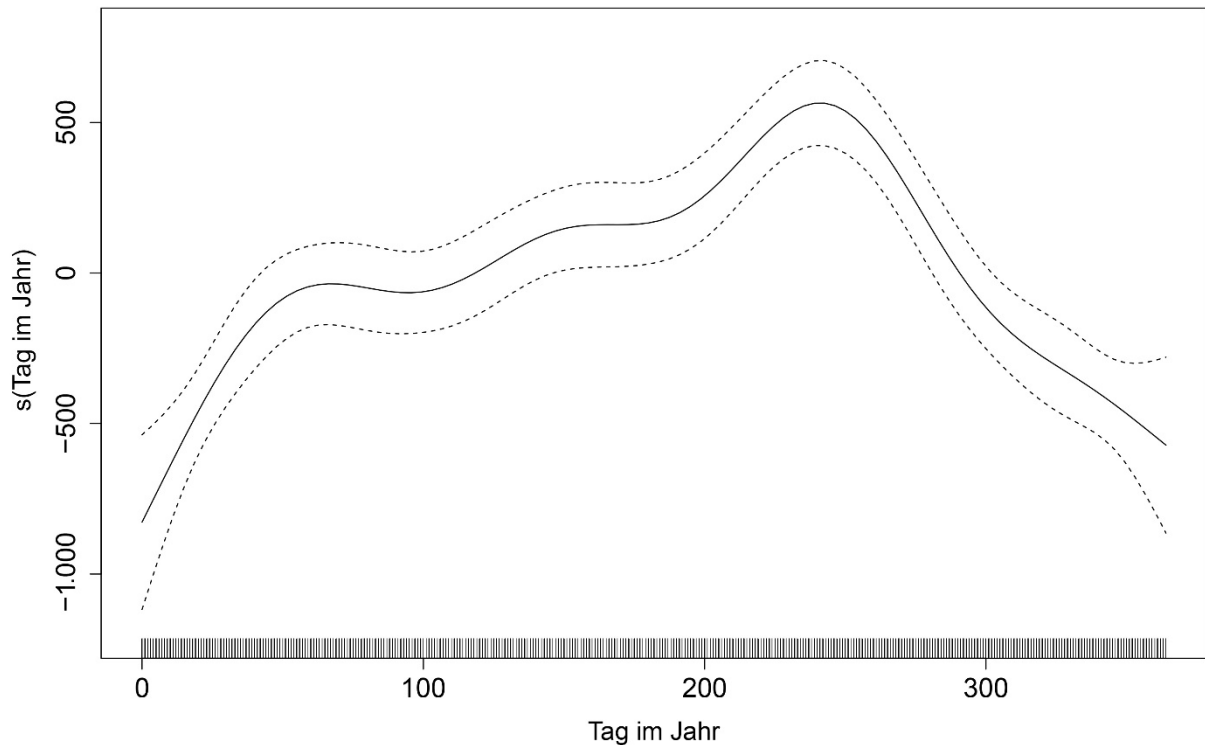


Abbildung 3: Entwicklung der Schrittaktivität (geglättete Linie) ± 1 Standardfehler (gestrichelte Linie) im Jahresverlauf (01. Januar bis 31. Dezember) nach Reha
 Quelle: Al Najem et al. 2020 [3]

Insgesamt zeigt sich eine erhöhte Schritttaktivität bei Männern im Vergleich zu Frauen (siehe Abbildung 2), eine erniedrigte bei Patienten, die einer höheren NYHA-Klasse (siehe Abbildung 4, NYHA1 vs. NYHA2-3) und EF-Gruppe (siehe Abbildung 5, EF1 vs. EF2-4) angehören, ebenso bei Übergewichtigen (siehe Abbildung 6, Normalgewicht vs. Übergewicht und Adipositas) und Patienten mit einer Rauchvergangenheit (siehe Abbildung 7, Nichtraucher vs. Raucher und Ex-Raucher) [3].

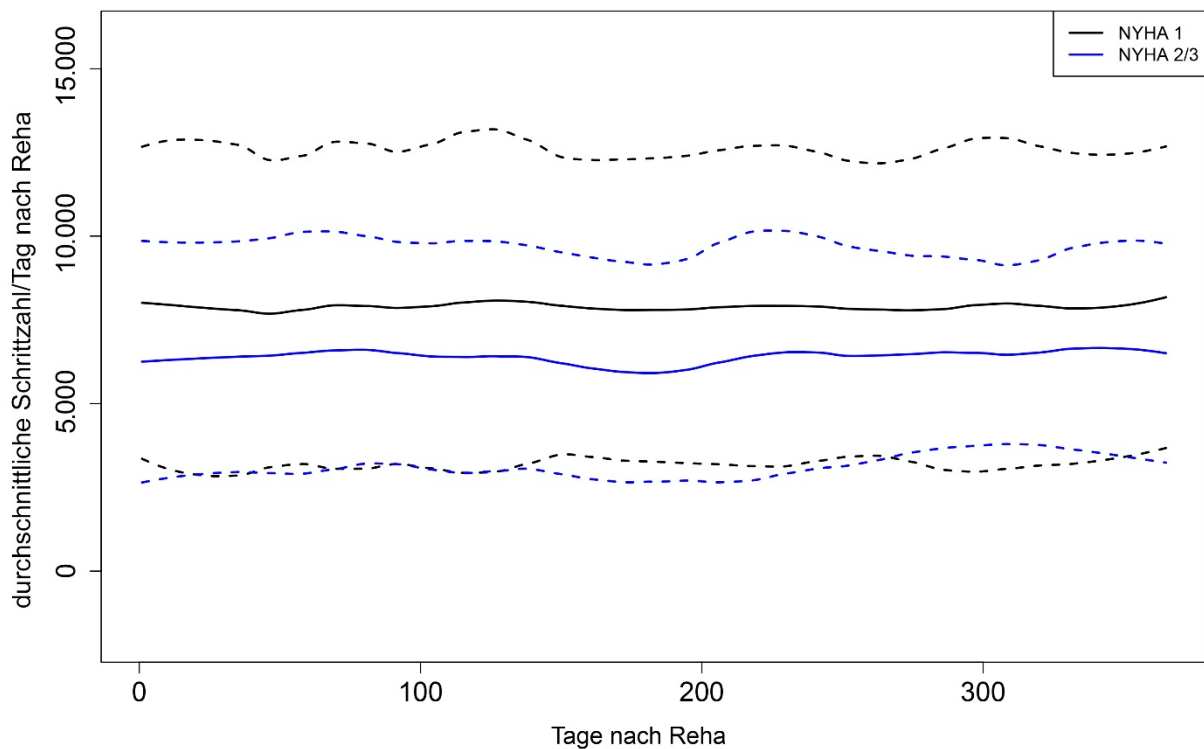


Abbildung 4: Entwicklung der Schritttaktivität von Patienten unterschiedlicher New York Heart Association-Gruppe (NYHA) (geglättete Linie) \pm 1 Standardfehler (gestrichelte Linie) innerhalb eines Jahres nach Reha
Quelle: Al Najem et al. 2020 [3]

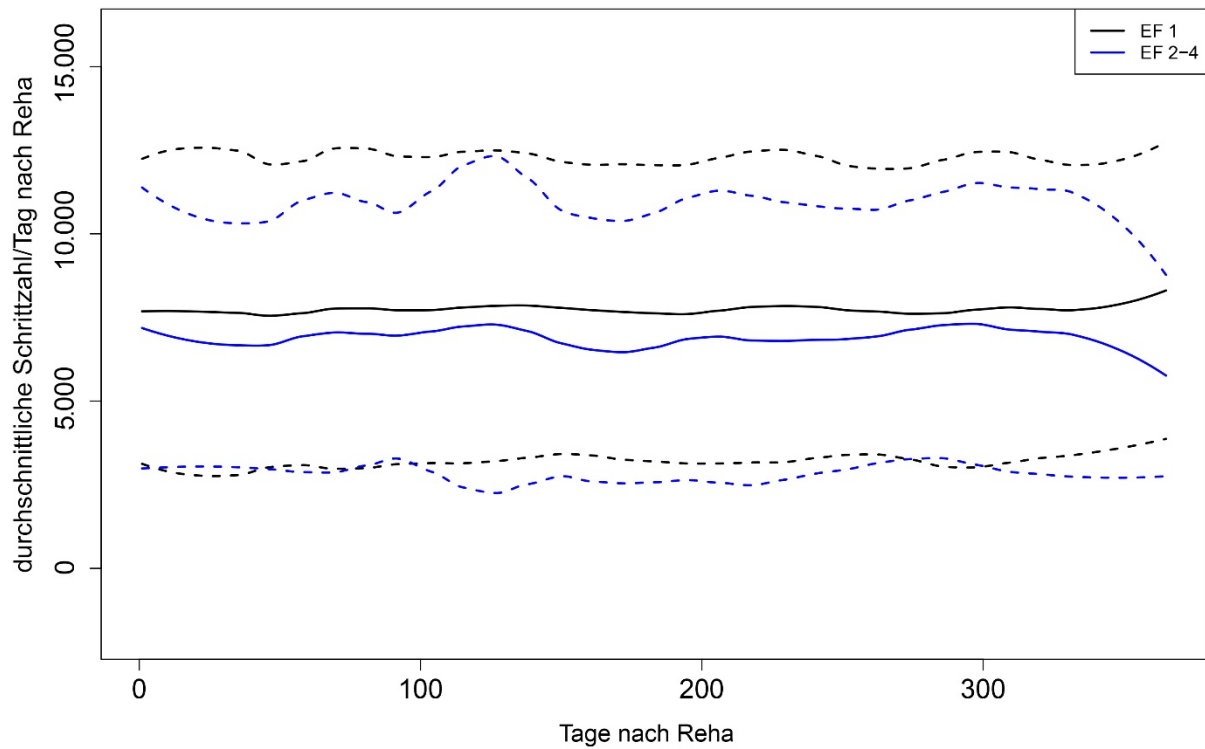


Abbildung 5: Entwicklung der Schrittaktivität (geglättete Linie) \pm 1 Standardfehler (gestrichelte Linie) von Patienten unterschiedlicher Ejektionsfraktions-Gruppe (Ejektionsfraktion $>55\%$ = EF1, Ejektionsfraktion $<55\%$ = EF2-4) innerhalb eines Jahres nach Reha

Quelle: Al Najem et al. 2020 [3]

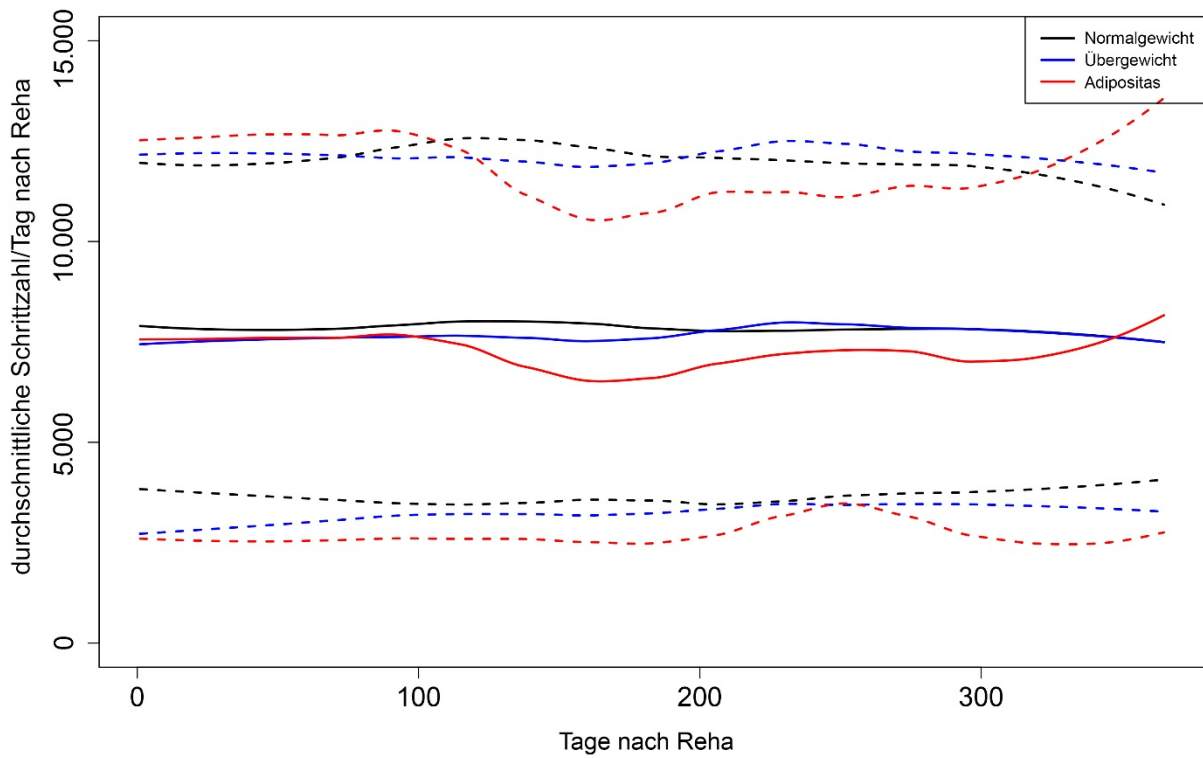


Abbildung 6: Entwicklung der Schrittaktivität (geglättete Linie) \pm 1 Standardfehler (gestrichelte Linie) von Patienten in Abhängigkeit ihres Body Mass Index (Normalgewicht: 18,5-<25, Übergewicht: \geq 25-<30, Adipositas: \geq 30) im Verlauf eines Jahres nach Reha
 Quelle: Al Najem et al. 2020 [3]

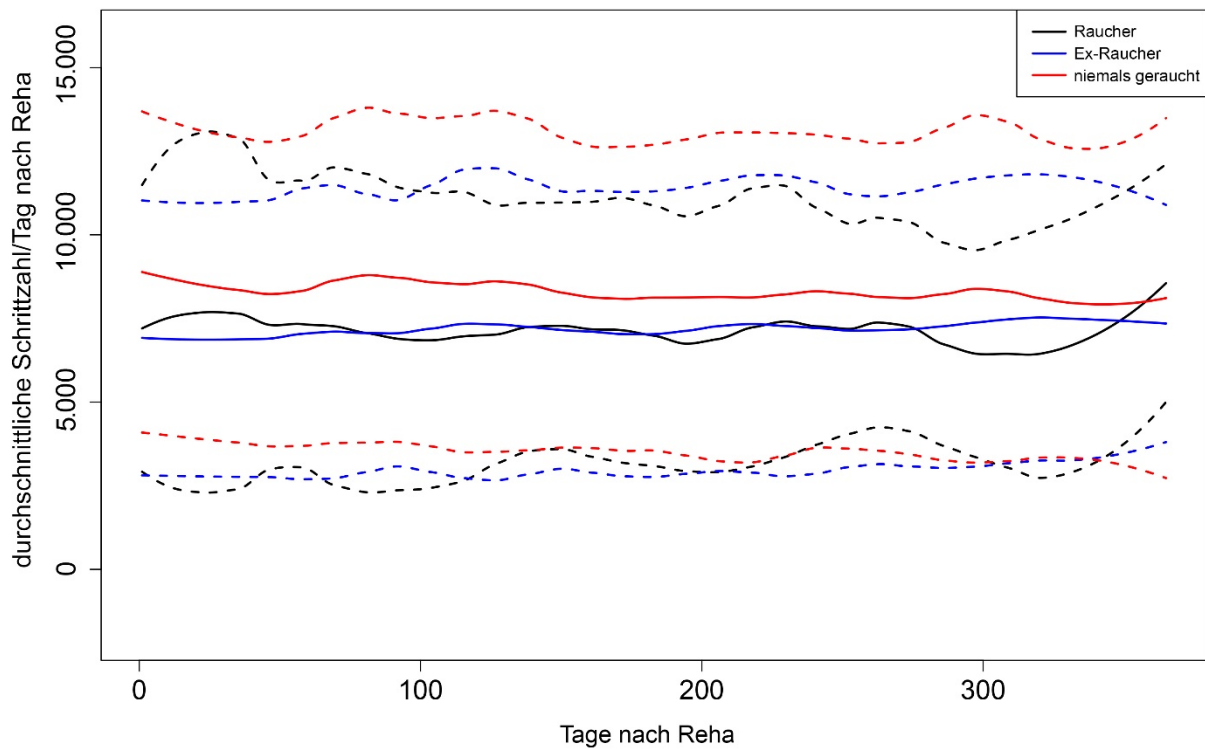


Abbildung 7: Entwicklung der Schrittaktivität (geglättete Linie) \pm 1 Standardfehler (gestrichelte Linie) von Patienten in Abhängigkeit ihres Rauchstatus (Raucher, Ex-Raucher, niemals geraucht) im Verlauf eines Jahres nach Reha
 Quelle: Al Najem et al. 2020 [3]

Die über die deskriptiven Kurven illustrierten Zusammenhänge wurden durch das Regressionsmodell, das im Kapitel 2.3 beschrieben wurde, bestätigt. Es konnten für alle aufgeführten Variablen, bis auf die Länge der Zeit nach Reha, hochsignifikante Zusammenhänge aufgezeigt werden (siehe Tabelle 5) [3].

Tabelle 5: Geschätzte Koeffizienten der Effekte der linearen Regression auf die Schrittzahl pro Tag nach Reha, abgeleitet aus einem additiven Modell mit einem nicht-linearen Effekt für Body Mass Index

Quelle: Al Najem et al. 2020 [3]

Parametrische Koeffizienten	Schätzwert	Standardfehler	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	11.300,406	202,217	55,882	<2e-16	***
Geschlecht: Mann	402,269	92,824	4,334	1,47e-05	***
Raucher	-724,909	106,953	-6,778	1,24e-11	***
Ex-Raucher	-1.118,595	60,466	-18,5	<2e-16	***
EF2-4	-711,146	71,894	-9,892	<2e-16	***
Länge der Zeit nach Reha	0,351	0,265	1,325	0,185	
NYHA2	-1.216,326	74,107	-16,413	<2e-16	***
NYHA3	-1.945,847	169,837	-11,457	<2e-16	***
Alter	-50,613	2,738	-18,484	<2e-16	***

Approximierte Signifikanz der nicht-linearen Terme				
	Edf	F	p-value	
s(BMI)	8,4491	64,09	<2e-16	***
s(Tag im Jahr)	7,6259	16,64	<2e-16	***
s(ID)	0,9748	31,13	1,43e-08	***

Edf = Effektive Freiheitsgrade

P-Wert <0,1; *P-Wert <0,05; **P-Wert <0,01; ***P-Wert <0,001

BMI = Body Mass Index

EF = Ejektionsfraktion berechnet nach der Teichholz Formel, echokardiographisch bestimmt

EF1 = >55 %, EF 2-4 = <55 %

NYHA2 = New York Heart Association-Klassifikation 2

NYHA3 = New York Heart Association-Klassifikation 3

3.4 KARDIALE EVENTS NACH REHA

Die in diesem Kapitel aufgeführten Ergebnisse wurden 2022 von Al Najem et al. [4] veröffentlicht.

Im Verlauf eines Jahres nach Reha wurden 25 kardiologische Hospitalisierungen dokumentiert. Kein Patient verstarb. Die Hospitalisierungsgründe der Patienten können Tabelle 6 entnommen werden. Die „event-freie“ Überlebensrate innerhalb eines Jahres nach Reha beträgt 75 % [4].

Tabelle 6: Schritte pro Tag und kardiale Ereignisse innerhalb eines Jahres nach Reha (durchschnittliche Nachverfolgungsdauer: 218 Tage)

Quelle: Al Najem et al. 2022 [4]

	n = 111 Männer = 91 Frauen = 20
Schritte/Tag nach Reha	7.333 ± 4.426
Anzahl der Patienten mit einer durchschnittlichen Schrittzahl nach Reha von ≥10.000 (%)	21 (19)
Anzahl der Patienten mit einer durchschnittlichen Schrittzahl nach Reha von ≥7.500 - <10.000 (%)	28 (25)
Anzahl der Patienten mit einer durchschnittlichen Schrittzahl nach Reha von ≥5.000 - <7.500 (%)	38 (34)
Anzahl der Patienten mit einer durchschnittlichen Schrittzahl nach Reha von <5.000 (%)	24 (22)
Gründe für die kardiologische Rehabilitation, Anzahl der Patienten (%)	
Perkutane transluminale Koronar-Angioplastie (PTCA)	2 (1,8)
Perkutane Koronarintervention (PCI)	100 (90,1)
Koronararterielle Bypass-Operation (CABG)	6 (5,4)
Koronare Herzkrankheit	3 (2,7)
Kardiale Hospitalisierungen nach Reha	
Anzahl der Patienten innerhalb von 6 Monaten	19 (17)
Anzahl der Patienten innerhalb von 12 Monaten	25 (23)
Gründe für die Hospitalisierung	
Akute koronare Symptome (Brustbeschwerden, -Schmerz)	9 (8,11)
Koronarintervention	4 (3,6)
Dyspnoe	2 (1,8)
Arrhythmie	4 (3,6)
Synkope	1 (0,9)

Daten dargestellt als Mittelwerte ± 1 Standardabweichung oder der Anzahl der Patienten (mit dem prozentualen Anteil in der Klammer).

Die Wahrscheinlichkeit für ein kardiales Ereignis nach Reha war bei Patienten mit einer EF <55% höher ($\beta=1,371$). Mit steigender Schrittzahl zeigte sich ein deutlich geringeres Risiko für ein kardiales Ereignis ($\beta=-1,514 \cdot 10^{-4}$) [4].

Tabelle 7: Geschätzte Koeffizienten der Effekte von Schritten pro Tag nach Reha, der Ejektionsfraktions-Gruppe (ermittelt während der Reha, als binäre Variable: Ejektionsfraktions-Gruppe 1 = >55%, EF 2-4 = <55%), des Geschlechts und des Alters auf die Zeit bis zum Auftreten eines kardialen Ereignisses nach Reha, abgeleitet aus einem proportionalen Hazard Modell.

Quelle: Al Najem et al. 2022 [4]

Parametrische Koeffizienten	Coef	exp(coef)	se(coef)	z	Pr(> z)
EF 2-4	1,371e+00	3,9380	4,172e-01	3,285	0,00102**
Schritte pro Tag	-1,514e-04	0,9998	6,524e-05	-2,321	0,02027*
Geschlecht (männlich = 1, weiblich = 0)	7,751e-01	2,1709	7,405e-01	1,047	0,29522
Alter (in Jahren)	1,033e-02	1,0104	1,951e-02	0,529	0,59664

** : p- Wert <0,01, * : p- Wert <0,05

Abkürzungen:

EF 2-4 = Ejektionsfraktion <55%

Die Effekte der beiden relevantesten Prädiktoren (durchschnittliche Schrittzahl, EF) wurden zusätzlich durch Kaplan-Meier Kurven illustriert [4]. In Abbildung 8 wird die Ereigniskurve von Patienten für eine konstant angenommene durchschnittliche Schrittzahl von 5.000–7.500 Schritten pro Tag nach Reha der Ereigniskurve von Patienten für eine konstant angenommene durchschnittliche Schrittzahl von 10.000–12.500 Schritten pro Tag nach Reha gegenübergestellt. Abbildung 9 vergleicht die Ereigniskurve von Patienten mit einer EF>55% und einer EF<55%.

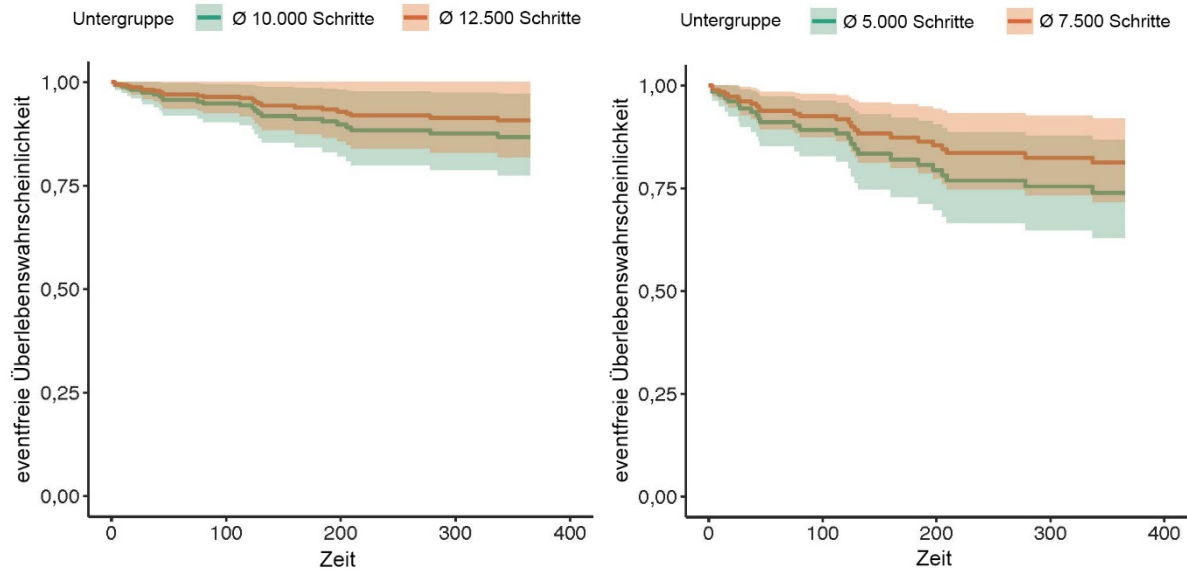


Abbildung 8: Survivalfunktion (95% Konfidenzintervall schattiert), welche die Wahrscheinlichkeit repräsentiert, dass ein Patient mit einer konstant angenommenen durchschnittlichen Schrittaktivität von 5.000 oder 7.500 Schritten/Tag (rechts) bzw. einer konstant angenommenen durchschnittlichen Schrittaktivität von 10.000 oder 12.500 Schritten/Tag (links) kein negatives Ereignis einer kardialen Hospitalisation innerhalb eines Jahres nach Reha erfährt.

Quelle: Al Najem et al. 2022 [4]

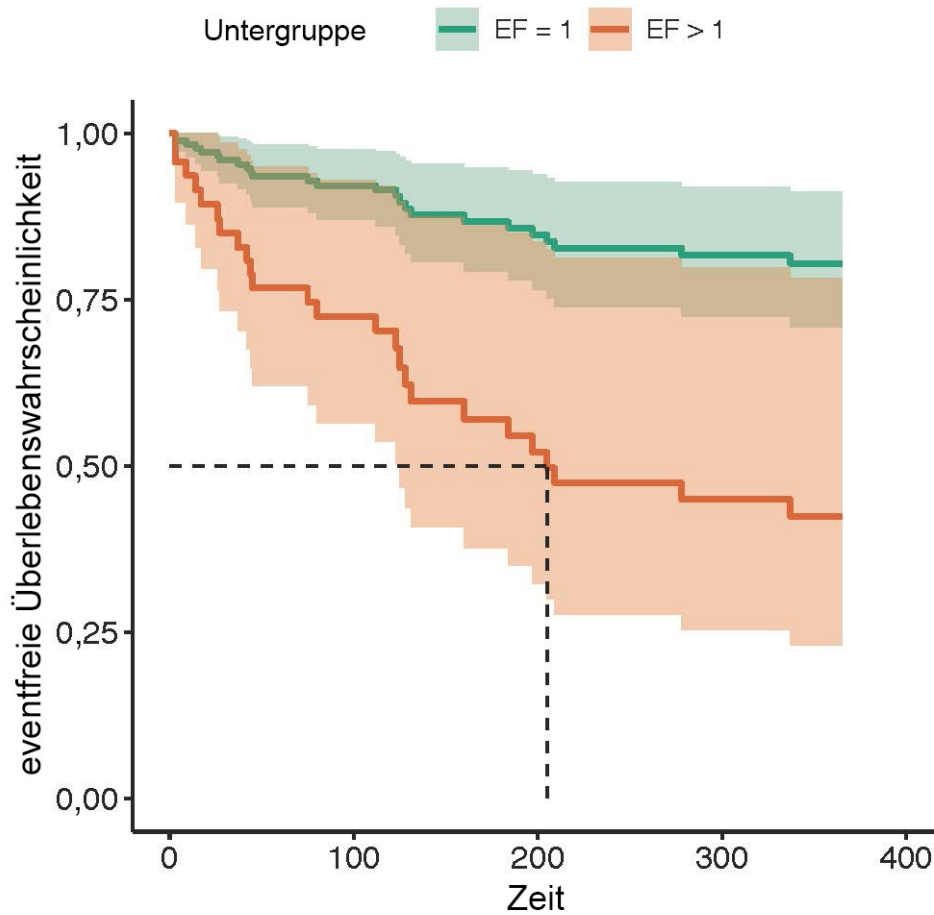


Abbildung 9: Survivalfunktion (95% Konfidenzintervall schattiert), welche die Wahrscheinlichkeit eines Patienten mit einer mit einer Ejektionsfraktion $>55\%$ ($EF=1$) und einer Ejektionsfraktion $<55\%$ ($EF>1$) repräsentiert, kein negatives Ereignis einer kardialen Hospitalisation innerhalb eines Jahres nach Reha zu erfahren.
 Quelle: Al Najem et al. 2022 [4]

4 DISKUSSION

Im folgenden Kapitel werden die zuvor angeführten Ergebnisse interpretiert und es wird diskutiert, wie sich die Schrittaktivität während und im Anschluss an die Reha entwickelt. Weiterhin wird die kardiale Hospitalisierungsrate mit der Schrittzahl in Bezug gesetzt und bewertet. Abschließend wird besprochen, ob die Pedometrie ein sinnvolles Instrument im Rahmen der kardiologischen Reha bzw. für Herzpatienten generell darstellt.

Inhalte der Diskussion wurden von Al Najem et al. 2018 [57], 2020 [3] und 2022 [4] veröffentlicht.

4.1 SCHRITTAKTIVITÄT WÄHREND DER REHA

Inhalte dieses Kapitels wurden 2018 von Al Najem et al. [57] diskutiert.

Die durchschnittliche Schrittaktivität unserer Patienten während der Reha ist mit 6.530 Schritten pro Tag (n=192) [57] auf einem ähnlichen Niveau wie im Patientenkollektiv von Ayabe et al. (6.752 Schritte pro Tag), deren Patienten ebenfalls an einem kardiologischen Reha-Programm – allerdings über den Zeitraum von drei Monaten – teilgenommen haben [8]. Da in der Studie von Ayabe et al. NYHA1- und NYHA2- Patienten untersucht wurden, ist ein Vergleich, der sich nur auf diese Patientenklassen beschränkt, sinnvoll. Betrachtet man die Schrittzahlen unserer NYHA1- und NYHA2-Patienten, gleichen sich diese mit durchschnittlich 6.618 Schritten pro Tag [57] dem Ergebnis von Ayabe et al. [8] weiter an. Im Durchschnitt liegt unser Patientenkollektiv in dem Bereich von 5.000 -7.500 Schritten/Tag, der von Tudor-Locke et al. als „low active“ (5.000-7.500 Schritte pro Tag) definiert wurde [80]. Im Vergleich zum von Ayabe et al. theoretisch kalkulierten Grenzwert von 6.500 Schritten pro Tag in der kardiovaskulären Sekundärprävention [8], ist festzuhalten, dass 99 unserer Patienten (51,6%) darunter liegen und nur 58 unserer Patienten eine durchschnittliche Schrittzahl von >7.500 Schritten erreichten [57], die laut dem Studienergebnis von Houle et al. mit einer Risikoreduktion im Verlauf eines Jahres nach einem akuten Koronarsyndrom einhergeht [32]. Inwiefern die Schrittaktivität während der Reha tatsächlich als Grundlage zur Prognosebewertung dient, ist fraglich. Insgesamt ist festzuhalten, dass die körperliche Aktivität während der Reha sehr hoch ist, der Fokus aber nicht zwingend und ausschließlich auf schrittfördernden Aktivitäten liegt. So war ein tägliches Krafttraining sowie 30 Minuten Fahrradergometrie an Trainingstagen (jeden Tag außer am Wochenende) verpflichtend [57]. Beides sind Aktivitäten, die anstrengend sind, sich aber nicht stark in der Schrittzahl widerspiegeln.

Wenngleich die Schrittaktivität während der Reha nur bedingt Aufschluss über die tatsächliche geleistete Aktivität geben kann, zeigt unser Ergebnis einen hohen Zusammenhang zwischen Schrittaktivität und Leistungsfähigkeit [57]. Dies ist nicht verwunderlich, da körperliche Aktivität

und Fitness oft synonym verwendet werden und diese Parameter dazu dienen, die Prognose von gesunden Menschen und bereits erkrankten Patienten abzuschätzen [56, 72, 76]. Je mehr Schritte Patienten laufen, desto höher war auch ihr ergometrisches Leistungsvermögen. Ebenso zeigt sich ein Zusammenhang zwischen der Schrittzahl und dem Alter mit einem Rückgang von im Durchschnitt etwa 500 Schritten/Tag weniger pro Jahrzehnt [57]. Einerseits bekräftigt unser Ergebnis, dass die Schrittaktivität im Alter nachlässt, zeigt aber andererseits auch, dass dies leicht aufzufangen wäre. Theoretisch kalkuliert kann ein Abfall der Aktivität von rund 500 Schritten/Tag mit einem Abfall der maximalen Leistungsfähigkeit von 0,19 W/kg KG gleichgesetzt werden. Laut unserem Modell wäre demnach, vorausgesetzt alle anderen Faktoren blieben gleich, ein Abfall der Schrittaktivität durch Training und einer dadurch hervorgerufenen Steigerung der Leistungsfähigkeit leicht auffangbar [57]. Einschränkend muss an dieser Stelle klar konstatiert werden, dass sich unser Ergebnis aus Beobachtungen ableitet und hieraus keine kausalen Zusammenhänge geschlossen werden können. Eine Steigerung der Fitness muss demzufolge nicht zwangsweise mit einer erhöhten Schrittaktivität einhergehen. Vice versa geht eine Steigerung der Schrittzahl nicht zwingend mit einer größeren Leistungsfähigkeit einher. Dennoch stellt die Erhöhung der Schrittzahl pro Tag auch für eingeschränkte und „unfitte“ Patienten – zumindest in einem gewissen Maße – eine einfache Möglichkeit dar, ihre Aktivität zu steigern [57].

Des Weiteren konnte unser Modell eine verminderte Schrittzahl bei Rauchern gegenüber Nichtrauchern zeigen (durchschnittlich 986 Schritte pro Tag weniger) [57], was nicht verwundert, da die Leistungsfähigkeit bei Rauchern Studien zufolge niedriger ist [14] und es generell Hinweise für eine inverse Assoziation zwischen Rauchen und gesundheitlichen Faktoren gibt [86]. Eigenartig ist jedoch die Feststellung, dass Ex-Raucher die Gruppe mit der geringsten Schrittaktivität darstellten. Sie liefen im Durchschnitt 1.125 Schritte pro Tag weniger als Patienten, die niemals geraucht haben, und 139 Schritte pro Tag weniger als Raucher [57]. Ggf. hängt diese Tatsache in unserer Studie auch mit dem Alter zusammen, das, wie bereits beschrieben, mit der Schrittzahl korreliert. In unserer Studie war die Gruppe der Raucher am jüngsten (Raucher: 51 Jahre, Ex-Raucher: 60 Jahre, Nichtraucher/niemals geraucht: 61 Jahre), was die im Vergleich zu den Ex-Rauchern höhere Schrittaktivität erklären könnte [57]. Grundsätzlich ist auch nicht auszuschließen, dass Patienten aufgrund ihrer Erkrankung mit dem Rauchen aufgehört haben. Unter Umständen könnte die Notwendigkeit mit dem Rauchen aufzuhören bei diesen Patienten höher gewesen sein als bei Patienten, die noch rauchen. Womöglich sind sie per se eingeschränkter bzw. kränker, was sich negativ auf ihre Schrittaktivität auswirken könnte [57]. Des Weiteren ist anzumerken, dass 34 der ehemaligen Raucher (von insgesamt 105 ehemaligen Rauchern), erst im Reha-Jahr mit dem Rauchen aufgehört haben [57]. Da das Rauchverhalten nur bei Reha-Antritt abgefragt wurde, ist unklar, ob sie Nichtraucher bleiben und ihnen der Rauchausstieg, als eine der wichtigsten und

präventivsten Maßnahmen in der Sekundärprävention für Koronarpatienten und Patienten nach Herzinfarkt [20, 21], tatsächlich auf Dauer gelingt. Vielleicht ist die Priorisierung hier auch eine andere, so dass sich diese Patienten zunächst auf den Rauchstopp als wichtigste präventive Maßnahme fokussieren [57].

Äußerst fraglich ist, warum die Schritttaktivität von Übergewichtigen gegenüber Normalgewichtigen in unserer Studie während der Reha höher ist. Grundsätzlich würde man annehmen, dass Patienten, die viel laufen, einen höheren Energieverbrauch haben und demzufolge weniger wiegen [57]. Eine Erklärung könnte sein, dass sich Aktive für ihre Aktivität womöglich belohnen und einfach mehr essen. Dies wurde bereits in der Studie von Jakici et al. konstatiert, in der untersucht wurde, ob Übergewichtige, die an einem Standardprogramm zur Gewichtsreduktion teilgenommen haben, einen positiven Nutzen beim Gewichtsmanagement erfahren, wenn sie zusätzlich einen Schrittzähler und eine Webplattform zum Tracken ihrer Aktivität und Ernährung nutzen [34]. Allerdings zeigen unsere Ergebnisse auch, dass die Leistungsfähigkeit bei den Übergewichtigen im Durchschnitt niedriger war (Leistungsfähigkeit von Patienten mit einem BMI von 30 – <35: $1,34 \pm 0,36$ W/kg KG, n=36 vs. Leistungsfähigkeit von Patienten mit einem BMI von 25 – <30: $1,59 \pm 0,43$ W/kg KG, n=98) [57].

4.2 SCHRITTAKTIVITÄT NACH DER REHA

Inhalte dieses Kapitels wurden 2020 von Al Najem et al. [3] diskutiert.

Im Vergleich zur Untersuchung während der Reha war das Studienkollektiv in dieser Gruppe mit n=126 etwas kleiner [3]. Während der Reha-Phase gab es dabei in Bezug auf die durchschnittliche Schritttaktivität mit einer Schrittzahl von 6.664 pro Tag [3] keine wesentlichen Unterschiede zur zuvor durchgeführten Untersuchung mit dem größeren Kollektiv (6.530 Schritte pro Tag, n=192) [57]. Direkt nach der Reha zeigt sich die Schritttaktivität mit durchschnittlich 7.588 Schritten pro Tag in den ersten 3 Wochen nach Reha signifikant erhöht und fällt auch im Zeitverlauf eines Jahres nach Reha mit durchschnittlich 7.562 Schritten pro Tag, abgesehen von einem saisonalen Abfall gen Winter und einem Anstieg gen Sommer, nicht wesentlich ab [3]. Diese saisonalen Zusammenhänge sind nicht verwunderlich und wurden bereits in vielen anderen Studien thematisiert [11, 19, 38, 39, 66]. Im Zeitverlauf eines Jahres nach Reha liegt die Schritttaktivität in unserer Studie durchschnittlich 898 Schritte pro Tag höher als während der Reha [3] und insgesamt im Durchschnitt auch über der von Houle et al. festgelegten Schwelle von >7.500 Schritten pro Tag in der Sekundärprävention [32]. Der signifikante Anstieg nach Reha lässt vermuten, dass sich die Reha positiv auf die Schritttaktivität von Patienten ausgewirkt hat. Hier ist jedoch einschränkend festzuhalten, dass das Training während der Reha nicht ausschließlich auf schrittfördernde Aktivitäten setzte, sondern z. B. auch ein tägliches Krafttraining sowie eine tägliche 30-minütige

Fahrradergometrie an Trainingstagen auf dem Programm stand – beides keine schrittfördernden Aktivitäten [3]. Es ist nicht auszuschließen, dass Patienten nach Reha wegen der einfachen Umsetzung vermehrt auf schrittfördernde Aktivitäten wie Laufen oder Gehen setzen.

Insgesamt zeigt sich die Schrittaktivität bei weiblichen, älteren, kränkeren (höhere NYHA-Klasse, niedrigere EF), übergewichtigen Herzpatienten sowie bei Rauchern und ehemaligen Rauchern im Zeitverlauf eines Jahres nach Reha vermindert [3]. Hinweise, dass die Schrittaktivität bei Männern höher ausfällt, zeigen sich auch in anderen Untersuchungen [42, 79, 81]. In unserem Fall liefen Frauen im Vergleich zu Männern nach der Reha durchschnittlich 402 Schritte pro Tag weniger [3], zudem sind Männer laut unserer Untersuchung während der Reha fitter [57]. Eine verminderte Fitness muss jedoch nicht zwangsweise mit einer verminderten Schrittaktivität oder Aktivität generell einhergehen. Vielmehr sollte nach Gründen für die herabgesetzte Aktivität, vielleicht ein anderes „geschlechtsspezifisches Verständnis“ von Sport sowie Sozial- oder Bildungsaspekte, gesucht werden [3]. Keinesfalls sollte man physiologische Aspekte als ursächlich ansehen, da körperliche Aktivität – v. a. im Alter – dazu beiträgt, gesund und mobil zu bleiben und das Fortschreiten von chronischen Erkrankungen einzudämmen [52]. In unserem Fall zeigt sich – unabhängig vom Geschlecht – eine im Durchschnitt etwa um 50 Schritte reduzierte Schrittzahl pro steigendes Lebensjahr (etwa 500 Schritte pro Jahrzehnt), was als jährlicher Mobilitätsverlust interpretiert werden kann [3].

Analog zu den Daten während der Reha zeigte sich nach Reha eine reduzierte Schrittaktivität bei Rauchern und Ex-Rauchern im Vergleich zu Nichtrauchern [3]. Generell zeigen Studien, dass Raucher dazu tendieren, weniger aktiv zu sein [31]. Zudem scheint körperliche Aktivität einen schützenden Effekt zu haben und das Risiko zu reduzieren, in der Jugend (anzufangen) zu rauchen [7]. Im Durchschnitt am wenigsten liefen – wie in der Reha auch – die Ex-Raucher [3]. Wie bereits angeführt, wurde das Rauchverhalten nur bei Reha-Antritt abgefragt. Ob Patienten innerhalb eines Jahres nach Reha Nichtraucher geblieben sind, ist unklar. Ebenso ist unklar, ob die Notwendigkeit bei den ehemaligen Rauchern mit dem Rauchen aufzuhören möglicherweise aufgrund von Krankheit größer war, diese Patienten per se schon eingeschränkter waren und dies eine mögliche Ursache für die niedrigere Schrittaktivität sein könnte [3]. Dass Patienten mit einer niedrigen Schrittzahl eingeschränkter sind, konnten wir auch in unserer Studie zeigen. So liefen NYHA2- und NYHA3-Patienten während und nach der Reha deutlich weniger als NYHA1-Patienten und Patienten mit einer niedrigeren EF (EF2-4) weniger als mit einer hohen (EF1) [3, 57]. Eine Studie von Baril et al. konnte ferner eine Differenz von 1.629 Schritten pro Tag beim Vergleich von NYHA2- und NYHA3-Herzschwächepatienten aufzeigen [9]. In unserer Studie fiel die Differenz nach der Reha zwischen NYHA2- und NYHA3-Patienten mit 744 Schritten pro Tag niedriger und ähnlich dem Vorhersagewert der Regressionsanalyse aus (730 Schritte pro Tag), in der weitere Parameter

mit einbezogen wurden [3]. Eine Erklärung für die große Differenz (844 Schritte pro Tag) zur Studie von Baril et al. [9] könnte sein, dass die Patienten in unserer Studie in der Reha für die Wichtigkeit der körperlichen Aktivität sensibilisiert wurden und ihnen somit bewusst war, dass sie von einer Steigerung der körperlichen Aktivität – selbst bei einer kleinen – gesundheitlich besonders profitieren werden [3]. Hier ist jedoch anzumerken, dass Tragezeit (2 Wochen) und Pedomertyp (Pedometer, der am Handgelenk getragen wurde) in der Studie von Baril et al. anders ausfielen [9]. Dennoch zeigt auch unser Ergebnis eine deutlich verminderte Schrittzahl beim Vergleich von NYHA2- und NYHA3-Patienten nach Reha (NYHA2-Patienten: 730 Schritte weniger). Noch deutlicher wird dieser Abfall im Vergleich zu NYHA1-Patienten (NYHA3-Patienten laufen 1.946 Schritte weniger, NYHA2-Patienten laufen 1.216 Schritte weniger) [3].

4.3 HOSPITALISIERUNGEN NACH REHA

Inhalte dieses Kapitels wurden 2022 von Al Najem et al. [4] diskutiert.

Unsere Untersuchung zeigt, dass Hospitalisierungen im Verlauf eines Jahres nach Reha bei Koronarpatienten mit hohen Schrittzahlen signifikant seltener und später und vermehrt bei Patienten mit einer erniedrigten EF auftreten. Zwischen Alter oder Geschlecht und Hospitalisierung bestand keine signifikante Beziehung [4]. Schaut man sich das Risiko von Gesunden für eine koronare Herzkrankheit an, so ist in Bezug auf die Aktivität ein nicht-linearer Zusammenhang zu erkennen. So geht laut Sattelmair et al. eine moderate Aktivität von 150 Minuten pro Woche mit einer 14 prozentigen, eine Aktivität von 300 Minuten mit einer 20 prozentigen Risikoreduktion einher [72]. Den prozentual größten Effekt bietet demzufolge überhaupt die Aufnahme einer sportlichen Tätigkeit, auch in einem niedrigen Umfang. Der Zusammenhang, dass etwas Aktivität – in unserem Fall die Erfüllung einer gewissen durchschnittlichen Schrittzahl/Tag – besser ist als keine und weitere Aktivität (höhere durchschnittliche Schrittzahl/Tag) einen zusätzlichen Nutzen bringt, deckt sich mit unserem Ergebnis in Bezug auf die Hospitalisierung [4]. Ebenso zeigen Sattelmair et al. eine größere Risikoreduktion beim Vergleich einer moderaten mit einer niedrigeren im Gegensatz zum Vergleich einer moderaten mit einer hohen Aktivität [72]. Vergleichen wir im Verlauf eines Jahres eine durchschnittliche Schrittaktivität von 5.000 Schritten/Tag, was Tudor-Locke et al. als Schwellenwert für einen überwiegend sitzenden Lebensstil definieren („sedentary“), mit einer Schrittaktivität von 7.500 Schritten/Tag, als Schwellenwert für einigermaßen aktiv definiert („somewhat active“) [80], beträgt die absolute Risikominderung unserem Modell zufolge 0,43 für eine kardiologische Hospitalisierung im Verlauf eines Jahres nach Reha [4]. Beim Vergleich von 10.000 Schritten/Tag, was von Tudor-Locke et al. als Schwellenwert für einen "aktiven" („active“) Lebensstil definiert wird, mit dem „hoch aktiven“ („highly“) Schwellenwert von durchschnittlich 12.500 Schritten pro Tag [80], liegt die Risikominderung

für eine kardiologische Hospitalisierung im Verlauf eines Jahres bei 0,2 [4]. Demzufolge unterstreicht unser Ergebnis die Wichtigkeit, Patienten, die bislang nicht aktiv sind, zu motivieren, sich zu bewegen, da mit geringem Aufwand (Erreichen einer moderaten Schrittzahl), die Prognose deutlich verbessert werden kann. Ebenso sollten selbstverständlich auch aktive Patienten (hohe durchschnittliche Schrittzahl) weiterhin zur Aktivität ermuntert werden. Auch hier ist unseren Daten zufolge eine Verbesserung der Prognose durch eine Aktivitätssteigerung möglich, aber nicht stark [4].

4.4 PEDOMETRIE BEI HERZPATIENTEN

Inhalte dieses Kapitels wurden von Al Najem et al. 2018 [57], 2020 [3] und 2022 [4] diskutiert. Auch wenn unser Ergebnis die Schlussfolgerung nahelegt, dass der Einsatz von Schrittzählern zum Tracken der Aktivität von Herzpatienten sinnvoll ist, so muss man doch vorsichtig in der Interpretation sein. Zunächst einmal ist festzuhalten, dass unser Ergebnis einen Zusammenhang beschreibt und hieraus keine Kausalitäten abgeleitet werden können [3, 4, 57]. Des Weiteren ist anzumerken, dass es unterschiedliche Aktivitätserhebungsmethoden gibt, die alle ihre Vor- und Nachteile haben [55]. Subjektive Erhebungsmethoden wie Fragebögen sind zwar einfach in der Handhabung, aber vulnerabel für Recall Bias (Erinnerungsverzerrungen), besonders bei älteren Menschen [30]. Der Schrittzähler zählt zu den objektiven Erhebungsinstrumenten, ist relativ präzise im Messen von Schritten, jedoch als alleiniges Erhebungsinstrument weniger geeignet, um Distanzen zu erfassen oder Rückschlüsse auf den Energieverbrauch zu ziehen [22]. Die Pedometrie eignet sich somit gut, um Aktivitäten wie Gehen und Laufen zu erfassen, hilft aber nicht bei der Aufzeichnung anderer Aktivitäten, wie z. B. Fahrradfahren [55]. Um die Frequenz, Intensität oder Dauer von Aktivitäten zu erfassen, eignen sich Akzelerometer [87]. Da in Studien selten der Gesamtenergieverbrauch betrachtet wird, ist unklar, welche Rolle Intensität, Dauer und Frequenz (Schrittfrequenz) einer Aktivität spielen und ob nicht eher das gesamte Aktivitätsvolumen entscheidend ist [73]. Da aber „Laufen“ und „Gehen“ zwei der grundlegendsten Bewegungsformen des Menschen darstellen, ist davon auszugehen, dass Schrittzähler einen guten Eindruck über das Aktivitätsniveau eines Menschen geben können. Darüber hinaus gibt es Hinweise, dass Schrittzähler bzw. Aktivitätsmonitore dazu beitragen können, die Aktivität zu steigern [16, 43]. Auch wenn die Effekte möglicherweise überschätzt werden [43], können sie Menschen beim Erreichen der Leitlinienempfehlung zur körperlichen Aktivität unterstützen.

Obwohl die Empfehlungen in der Primär- und Sekundärprävention sich nicht wesentlich unterscheiden, müssen in der Sekundärprävention – gerade bei Patienten mit moderatem und hohem Risiko – individuelle Risikodeterminanten betrachtet werden [13, 62], da Training paradoxerweise ein Trigger für einen Herzstillstand bei kardiovaskulär-erkrankten Patienten

sein kann [50]. Aus diesem Grund benötigen Koronarpatienten individuelle, auf das Risikoprofil abgestimmte Aktivitätsempfehlungen, die ggf. mit Restriktionen bei der Ausübung kompetitiver, hoch-anstrengender Aktivitäten einhergehen können. Dennoch ist wichtig, dass Erkrankte motiviert werden müssen, zu trainieren und im Rahmen ihrer Möglichkeiten körperlich aktiv zu sein [17]. Gerade im Zusammenhang mit der kardiologischen Reha gibt es eine große Evidenz, die die Vorteile der kardiologischen Reha (erniedrigte kardiale Mortalität, weniger Hospitalisierungen) – v. a. bei Koronarpatienten – belegt [6, 69], die mit ca. 80% aller Patienten die größte Patientengruppe in der kardiologischen Rehabilitation darstellen (instabile Angina Pectoris: 3%, NSTEMI: 22,1%, STEMI: 39,2%, elektive PCI: 1%, CABG: 20,1%) [12]. Schrittzähler können Herzpatienten motivieren, sich mehr zu bewegen [18, 36]. Ob die häufig für Gesunde propagierte Empfehlung von 10.000 Schritten eine gute Orientierung bietet [16, 82], ist fraglich. Die meisten unserer Patienten konnten diese Empfehlung nicht erreichen [3, 4, 57]. Laut Auswertungen von Handydaten wird sie ebenso wenig von der Allgemeinbevölkerung erreicht [5]. Die Schrittzahl unserer Patienten im Verlauf eines Jahres nach Reha lag mit durchschnittlich 7.345 Schritten pro Tag höher als in der Allgemeinbevölkerung und demzufolge im Bereich von 6.500-8.000 Schritten pro Tag [4]. Dieser Bereich geht theoretischen Berechnungen zufolge mit einem Energieverbrauch von 1.500-2.000 Kalorien pro Woche einher und entspricht damit den Empfehlungen der sekundären kardiovaskulären Prävention [8]. Eine andere Studie schlägt >7.500 Schritte pro Tag als Empfehlung vor, da eine solche Schrittzahl gemäß ihrer Untersuchung das Risikoprofil bei Patienten innerhalb eines Jahres nach akuten Koronarsyndrom verbessert (Blutdruck, Lipide) [32]. Im Gegensatz zur eben angeführten Studie, die Risikoparameter und Schrittzahl vergleicht, war das Ziel unserer Untersuchung, die Prognose eines kardialen Ereignisses direkt mit der Schrittzahl nach Reha in Relation zu setzen. Unser Ergebnis bekräftigt, dass jedes Mehr an Aktivität, also jeder Schritt mehr, mit weniger Hospitalisierungen aufgrund kardiologischer Symptome einhergeht und sich demzufolge günstig auf die Prognose von Koronarpatienten auswirkt [4]. Dennoch bleibt unklar, ob die Prognose der nach Reha hospitalisierten Patienten vielleicht nicht bereits im Vorfeld ungünstig war und dies auch der Grund für die reduzierte körperliche Aktivität ist. Die Beobachtung, dass Patienten mit niedriger EF öfter hospitalisiert wurden [4], bekräftigt diesen Verdacht, zumal die EF ein wichtiger Marker für die Prognose von Patienten ist [49]. Auch ist anzumerken, dass eine niedrige EF die Wahrscheinlichkeit für belastungsbedingte kardiale Ereignisse erhöht [15] und deshalb mit Aktivitätseinschränkungen (kompetitiver Sport) einhergeht [15, 62]. Des Weiteren zeigen unsere Ergebnisse eine reduzierte Schritttaktivität bei Patienten mit einer niedrigen EF im Verlauf eines Jahres nach Reha. Ebenso war die Schritttaktivität bei Älteren, bei Patienten mit einer höheren NYHA-Klasse, Übergewichtigen, Rauchern oder ehemaligen Rauchern und

Frauen geringer. Geschlecht und Alter standen jedoch nicht mit einem kardialen Event im Zusammenhang [4].

Das Gehen stellt eine der grundlegendsten Bewegungsformen dar. Ein gutes Gehvermögen ist im Alter und bei Krankheit essenziell. Es ist Grundlage für eine gewisse Selbständigkeit und Mobilität und geht mit einer höheren Lebensqualität einher. Generell verdeutlicht unsere Studie, dass es gerade bei Kranken weniger darum geht, allgemeingültige Schrittziele zu erfüllen, sondern Patienten auf ihrem Leistungsniveau abzuholen. Niedrige Schrittzahlen sind nicht zwingend ein Ausdruck von Faulheit, sondern können auch das Resultat der individuellen Fähigkeiten darstellen und pathologisch begründet sein [4]. Als Beispiel sind hier PAVK-Patienten zu nennen, die wir in unserer Studie gerade aufgrund der Einschränkungen in Bezug auf das Gehvermögen und der schlechten Vergleichbarkeit mit anderen Herzpatienten ausgeschlossen haben [3, 4, 57]. In diesem Sinne ist festzuhalten: Jeder zusätzliche Schritt ist ein „Fortschritt“ und wirkt sich günstig auf die Prognose von Koronarpatienten aus.

5 SCHLUSSFOLGERUNG

Der Nutzen von körperlicher Aktivität zur Prävention und in der Therapie von Herz-Kreislauf-Erkrankungen ist unbestritten [6, 48, 68, 71, 72]. Das Tracken von Schritten stellt grundsätzlich eine gute und einfache Möglichkeit dar, Rückschlüsse auf die körperliche Aktivität zu ziehen. Zwar geben einfache Schrittzähler keine Rückschlüsse auf die Intensität, sind aber akkurat in der Aufzeichnung von Schritten [10] und demzufolge auch im Messen der Hauptbewegungsform des Menschen. Während der Reha zeigte sich eine verminderte durchschnittliche Schrittaktivität pro Tag bei unfitten (niedrigere maximale ergometrische Leistungsfähigkeit), älteren, rauchenden oder ehemals rauchenden Patienten [57] und demzufolge bei Patienten, die ein höheres Risiko für ein „adverse event“ aufweisen. Nach Reha war die durchschnittliche Schrittaktivität der Patienten erhöht und fiel auch im Verlauf eines Jahres nach Reha nicht ab. Auch hier zeigte sich eine niedrigere Schrittzahl bei Patienten mit einem ungünstigen Risikoprofil (ältere, kränkere: höhere NYHA-Klasse, niedrigere EF, und übergewichtige Herzpatienten sowie Raucher und ehemalige Raucher) sowie bei Frauen im Vergleich zu Männern [3].

Die Verwendung eines Schrittzählers ermöglicht Patienten, ihre Aktivität einzuschätzen und kann sie motivieren, ihre Schrittzahl durch einfache und bei geringem Risiko umzusetzende Aktivitäten wie Spaziergänge zu erhöhen. Auch wenn aufgrund des Studienprofils keine Kausalitäten abgeleitet werden können, zeigen die Ergebnisse, dass eine verminderte Schrittzahl mit einer erhöhten Hospitalisierung nach Reha im Zusammenhang steht [4]. Das Tracken der Schrittzahl ermöglicht demzufolge nicht nur Rückschlüsse auf die Aktivität von Herzpatienten, sondern kann auch wertvoll sein, um die Prognose von Herzpatienten abzuschätzen.

5.1 LIMITATIONEN

Die Limitationen dieser Studie wurden von Al Najem et al. 2018 [57], 2020 [3] und 2022 [4] veröffentlicht.

Die Aussagekraft unserer Ergebnisse ist aufgrund folgender Punkte eingeschränkt.

1. Unsere Ergebnisse basieren auf Korrelationen. Kausalitäten können demzufolge nicht abgeleitet werden.
2. Unsere Ergebnisse beruhen nur auf Daten von Patienten, die die Reha in einer ambulanten kardiologischen Reha in Frankfurt wahrgenommen haben (CCB Herzwerk).
3. Aktivitätsmessungen per Pedometer sind generell limitiert. Pedometrisch können keine Rückschlüsse auf die Frequenz, Art, Intensität und Dauer einer Aktivität erhoben werden. Demzufolge ist nicht feststellbar, ob Aktivitätsempfehlungen wirklich erreicht

wurden. Es wurde versucht, eine wöchentliche Einschätzung der Patienten über das Erreichen der Aktivitätsempfehlungen in den Tagebüchern zu erfassen. Da die Einschätzung bei den meisten Patienten fehlte, konnte dieser Punkt nicht ausgewertet werden.

4. Viele Parameter wurden während der Reha abgefragt (Laborparameter, Rauchstatus, Alter, KG, Körpergröße, BMI, Familiäre Disposition, Medikation, Status der Koronarerkrankung, NYHA-Klassifikation, EF, Leistungsfähigkeit). Es ist nicht auszuschließen, dass einige der Parameter sich im Laufe des Jahres nach Reha verändert haben.
5. Die Patienten wurden gebeten, die Pedometer durchgehend zu tragen – außer beim Schlafen, Schwimmen und Duschen. Es ist nicht auszuschließen, dass dies beim Ausüben anderer Aktivitäten vereinzelt zu Fehlzählungen geführt haben könnte [55].
6. Es wurde versucht, weitere Aktivitäten auf Basis der Tagebucheinträge der Patienten zu erfassen. Da die Qualität und Vollständigkeit der Daten zumeist nicht gegeben waren, konnten diese nicht ausgewertet werden.
7. Die Aktivität von Patienten vor der Reha wurde nicht erhoben bzw. abgefragt.
8. Aufgrund der hohen Anforderungen an die Patienten (tägliche Pedometrie und Führen eines Tagebuches bis zu einem Jahr nach Reha) kam es zu Studienabbrüchen, die die Anzahl der Probanden für die Erhebung nach Reha reduziert hat.

PUBLIKATIONEN

1. Najem SA, Groll A, Schmermund A et al. (2018) Walking activity during ambulant cardiac rehabilitation is related to maximum working capacity, age, and smoking behavior. *Vasc Health Risk Manag* 14:361–369. doi: 10.2147/VHRM.S179798
2. Al Najem S, Groll A, Schmermund A et al. (2020) Walking activity of cardiac patients during one-year post cardiac rehabilitation. *Dtsch Z Sportmed* 71:159–166. doi: 10.5960/dzsm.2020.427
3. Al Najem S, Groll A, Schmermund A et al. (2022) Correlation of Walking Activity and Cardiac Hospitalizations in Coronary Patients for 1 Year Post Cardiac Rehabilitation: The More Steps, the Better! *Clin Med Insights Cardiol* 16:11795468221116841. doi: 10.1177/11795468221116841
4. Raspe M, Bals R, Bölükbas S et al. (2023) Tabakentwöhnung bei hospitalisierten Patienten:innen – Stationär einleiten, ambulant fortführen. *Pneumologie*. doi: 10.1055/a-2071-8900

6 LITERATURVERZEICHNIS

1. Abreu A, Pesah E, Supervia M et al. (2019) Cardiac rehabilitation availability and delivery in Europe: How does it differ by region and compare with other high-income countries?: Endorsed by the European Association of Preventive Cardiology. *Eur J Prev Cardiol* 26:1131–1146. doi: 10.1177/2047487319827453
2. Ades PA, Savage PD, Toth MJ et al. (2009) High-calorie-expenditure exercise: a new approach to cardiac rehabilitation for overweight coronary patients. *Circulation* 119:2671–2678. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.108.834184
3. Al Najem S, Groll A, Schmermund A et al. (2020) Walking activity of cardiac patients during one-year post cardiac rehabilitation. *Dtsch Z Sportmed* 71:159–166. doi: 10.5960/dzsm.2020.427
4. Al Najem S, Groll A, Schmermund A et al. (2022) Correlation of Walking Activity and Cardiac Hospitalizations in Coronary Patients for 1 Year Post Cardiac Rehabilitation: The More Steps, the Better! *Clin Med Insights Cardiol* 16:11795468221116841. doi: 10.1177/11795468221116841
5. Althoff T, Sosič R, Hicks JL et al. (2017) Large-scale physical activity data reveal worldwide activity inequality. *Nature* 547:336–339. doi: 10.1038/nature23018
6. Anderson L, Oldridge N, Thompson DR et al. (2016) Exercise-Based Cardiac Rehabilitation for Coronary Heart Disease: Cochrane Systematic Review and Meta-Analysis. *J Am Coll Cardiol* 67:1–12. doi: 10.1016/j.jacc.2015.10.044.
7. Audrain-McGovern J, Rodriguez D, Moss HB (2003) Smoking progression and physical activity. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 12:1121–1129
8. Ayabe M, Brubaker PH, Dobrosielski D et al. (2008) Target step count for the secondary prevention of cardiovascular disease. *Circ J* 72:299–303. doi: 10.1253/circj.72.299
9. Baril J-F, Bromberg S, Moayedi Y et al. (2018) Use of Free-Living Step Count Monitoring for Heart Failure Functional Classification: Validation Study (Preprint). doi: 10.2196/preprints.12122
10. Bassett DR, Toth LP, LaMunion SR et al. (2017) Step Counting: A Review of Measurement Considerations and Health-Related Applications. *Sports Med* 47:1303–1315. doi: 10.1007/s40279-016-0663-1
11. Bélanger M, Gray-Donald K, O'Loughlin J et al. (2009) Influence of weather conditions and season on physical activity in adolescents. *Ann Epidemiol* 19:180–186. doi: 10.1016/j.annepidem.2008.12.008
12. Benzer W, Rauch B, Schmid J-P et al. (2017) Exercise-based cardiac rehabilitation in twelve European countries results of the European cardiac rehabilitation registry. *Int J Cardiol* 228:58–67. doi: 10.1016/j.ijcard.2016.11.059.

13. Bjarnason-Wehrens B, Schulz O, Gielen S et al. (2009) Leitlinie körperliche Aktivität zur Sekundärprävention und Therapie kardiovaskulärer Erkrankungen. *Clin Res Cardiol Suppl* 4:1–44. doi: 10.1007/s11789-009-0078-8
14. Borba AT de, Jost RT, Gass R et al. (2014) The influence of active and passive smoking on the cardiorespiratory fitness of adults. *Multidiscip Respir Med* 9:34. doi: 10.1186/2049-6958-9-34.
15. Borjesson M, Dellborg M, Niebauer J et al. (2019) Recommendations for participation in leisure time or competitive sports in athletes-patients with coronary artery disease: a position statement from the Sports Cardiology Section of the European Association of Preventive Cardiology (EAPC). *Eur Heart J* 40:13–18. doi: 10.1093/eurheartj/ehy408
16. Bravata DM, Smith-Spangler C, Sundaram V et al. (2007) Using pedometers to increase physical activity and improve health: a systematic review. *JAMA* 298:2296–2304. doi: 10.1001/jama.298.19.2296
17. Bull FC, Al-Ansari SS, Biddle S et al. (2020) World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *Br J Sports Med* 54:1451–1462. doi: 10.1136/bjsports-2020-102955
18. Butler L, Furber S, Phongsavan P et al. (2009) Effects of a pedometer-based intervention on physical activity levels after cardiac rehabilitation: a randomized controlled trial. *J Cardiopulm Rehabil Prev* 29:105–114. doi: 10.1097/HCR.0b013e31819a01ff
19. Cepeda M, Koolhaas CM, van Rooij FJA et al. (2018) Seasonality of physical activity, sedentary behavior, and sleep in a middle-aged and elderly population: The Rotterdam study. *Maturitas* 110:41–50. doi: 10.1016/j.maturitas.2018.01.016
20. Chow CK, Jolly S, Rao-Melacini P et al. (2010) Association of diet, exercise, and smoking modification with risk of early cardiovascular events after acute coronary syndromes. *Circulation* 121:750–758. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.109.891523.
21. Critchley J, Capewell S (2004) Smoking cessation for the secondary prevention of coronary heart disease. *Cochrane Database Syst Rev*:CD003041. doi: 10.1002/14651858.CD003041.pub2.
22. Crouter SE, Schneider PL, Karabulut M et al. (2003) Validity of 10 electronic pedometers for measuring steps, distance, and energy cost. *Med Sci Sports Exerc* 35:1455–1460. doi: 10.1249/01.MSS.0000078932.61440.A2
23. Del Pozo Cruz B, Ahmadi MN, Lee I-M et al. (2022) Prospective Associations of Daily Step Counts and Intensity With Cancer and Cardiovascular Disease Incidence and Mortality and All-Cause Mortality. *JAMA Intern Med* 182:1139–1148. doi: 10.1001/jamainternmed.2022.4000

24. Doimo S, Fabris E, Piepoli M et al. (2019) Impact of ambulatory cardiac rehabilitation on cardiovascular outcomes: a long-term follow-up study. *Eur Heart J* 40:678–685. doi: 10.1093/eurheartj/ehy417
25. Hallal PC, Andersen LB, Bull FC et al. (2012) Global physical activity levels: surveillance progress, pitfalls, and prospects. *The Lancet* 380:247–257. doi: 10.1016/S0140-6736(12)60646-1
26. Hambrecht R, Niebauer J, Marburger C et al. (1993) Various intensities of leisure time physical activity in patients with coronary artery disease: Effects on cardiorespiratory fitness and progression of coronary atherosclerotic lesions. *J Am Coll Cardiol* 22:468–477. doi: 10.1016/0735-1097(93)90051-2
27. Hamilton MT, Hamilton DG, Zderic TW (2007) Role of low energy expenditure and sitting in obesity, metabolic syndrome, type 2 diabetes, and cardiovascular disease. *Diabetes* 56:2655–2667. doi: 10.2337/db07-0882.
28. Haskell WL, Lee I-M, Pate RR et al. (2007) Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Circulation* 116:1081–1093. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.107.185649
29. Hatano Y (1993) Use of the pedometer for promoting daily walking exercise. *ICHPER*:4–8
30. Hertogh EM, Monninkhof EM, Schouten EG et al. (2008) Validity of the modified Baecke questionnaire: comparison with energy expenditure according to the doubly labeled water method. *Int J Behav Nutr Phys Act* 5:30. doi: 10.1186/1479-5868-5-30
31. Heydari G, Hosseini M, Yousefifard M et al. (2015) Smoking and Physical Activity in Healthy Adults: A Cross-Sectional Study in Tehran. *Tanaffos* 14:238–245
32. Houle J, Valera B, Gaudet-Savard T et al. (2013) Daily steps threshold to improve cardiovascular disease risk factors during the year after an acute coronary syndrome. *J Cardiopulm Rehabil Prev* 33:406–410. doi: 10.1097/HCR.0000000000000021
33. Howley ET (2001) Type of activity: resistance, aerobic and leisure versus occupational physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 33:S364-9; discussion S419-20. doi: 10.1097/00005768-200106001-00005
34. Jakicic JM, Davis KK, Rogers RJ et al. (2016) Effect of Wearable Technology Combined With a Lifestyle Intervention on Long-term Weight Loss: The IDEA Randomized Clinical Trial. *JAMA* 316:1161–1171. doi: 10.1001/jama.2016.12858
35. Jakicic JM, Kraus WE, Powell KE et al. (2019) Association between Bout Duration of Physical Activity and Health: Systematic Review. *Med Sci Sports Exerc* 51:1213–1219. doi: 10.1249/MSS.0000000000001933

36. Kaminsky LA, Jones J, Riggan K et al. (2013) A pedometer-based physical activity intervention for patients entering a maintenance cardiac rehabilitation program: a pilot study. *Cardiovasc Diagn Ther* 3:73–79. doi: 10.3978/j.issn.2223-3652.2013.03.03
37. Kern R (2010) Vom Compendium zum Einzelinstrument. 17. Jahrhundert. *Wissenschaftliche Instrumente in ihrer Zeit*, vol 2. Verlag der Buchhandlung Walther König, Köln
38. Kimura T, Kobayashi H, Nakayama E et al. (2015) Seasonality in physical activity and walking of healthy older adults. *J Physiol Anthropol* 34:33. doi: 10.1186/s40101-015-0071-5
39. Klenk J, Büchele G, Rapp K et al. (2012) Walking on sunshine: effect of weather conditions on physical activity in older people. *J Epidemiol Community Health* 66:474–476. doi: 10.1136/jech.2010.128090
40. Kotseva K, Backer G de, Bacquer D de et al. (2019) Lifestyle and impact on cardiovascular risk factor control in coronary patients across 27 countries: Results from the European Society of Cardiology ESC-EORP EUROASPIRE V registry. *Eur J Prev Cardiol* 26:824–835. doi: 10.1177/2047487318825350
41. Kronish IM, Diaz KM, Goldsmith J et al. (2017) Objectively Measured Adherence to Physical Activity Guidelines After Acute Coronary Syndrome. *J Am Coll Cardiol* 69:1205–1207. doi: 10.1016/j.jacc.2016.10.087
42. Lampert T, Mensink GBM, Müters S (2012) Körperlich-sportliche Aktivität bei Erwachsenen in Deutschland. Ergebnisse der Studie "Gesundheit in Deutschland aktuell 2009" (Physical and sporting activity among adults in Germany. Results from the "German Health Update 2009" survey). *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 55:102–110. doi: 10.1007/s00103-011-1401-3
43. Larsen RT, Wagner V, Korffitsen CB et al. (2022) Effectiveness of physical activity monitors in adults: systematic review and meta-analysis. *BMJ* 376:e068047. doi: 10.1136/bmj-2021-068047
44. Laukkanen JA (2015) Cardiac rehabilitation: why is it an underused therapy? *Eur Heart J* 36:1500–1501. doi: 10.1093/eurheartj/ehv138
45. Lee I-M, Buchner DM (2008) The importance of walking to public health. *Med Sci Sports Exerc* 40:S512-8. doi: 10.1249/MSS.0b013e31817c65d0.
46. Lee I-M, Shiroma EJ, Kamada M et al. (2019) Association of Step Volume and Intensity With All-Cause Mortality in Older Women. *JAMA Intern Med* 179:1105–1112. doi: 10.1001/jamainternmed.2019.0899
47. Lee DH, Rezende LFM, Joh H-K et al. (2022) Long-Term Leisure-Time Physical Activity Intensity and All-Cause and Cause-Specific Mortality: A Prospective Cohort of US Adults. *Circulation* 146:523–534. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.121.058162

48. Löllgen H, Böckenhoff A, Knapp G (2009) Physical activity and all-cause mortality: an updated meta-analysis with different intensity categories. *Int J Sports Med* 30:213–224. doi: 10.1055/s-0028-1128150
49. Lopera G, Curtis AB (2009) Risk stratification for sudden cardiac death: current approaches and predictive value. *Curr Cardiol Rev* 5:56–64. doi: 10.2174/157340309787048130.
50. Marijon E, Uy-Evanado A, Reinier K et al. (2015) Sudden cardiac arrest during sports activity in middle age. *Circulation* 131:1384–1391. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.114.011988.
51. Master H, Annis J, Huang S et al. (2022) Association of step counts over time with the risk of chronic disease in the All of Us Research Program. *Nat Med*. doi: 10.1038/s41591-022-02012-w
52. McPhee JS, French DP, Jackson D et al. (2016) Physical activity in older age: perspectives for healthy ageing and frailty. *Biogerontology* 17:567–580. doi: 10.1007/s10522-016-9641-0
53. Meier L (2015) grplasso: Fitting user specified models with Group Lasso penalty. R package (version 0.4-5)
54. Morris JN, Heady JA, Raffle P et al. (1953) CORONARY HEART-DISEASE AND PHYSICAL ACTIVITY OF WORK. *The Lancet* 262:1053–1057. doi: 10.1016/s0140-6736(53)90665-5
55. Müller C, Winter C, Rosenbaum D (2010) Current objective techniques for physical activity assessment in comparison with subjective methods. *Dtsch Z Sportmed* 61:11–18
56. Myers J, Prakash M, Froelicher V et al. (2002) Exercise capacity and mortality among men referred for exercise testing. *N Engl J Med* 346:793–801. doi: 10.1056/NEJMoa011858
57. Najem SA, Groll A, Schmermund A et al. (2018) Walking activity during ambulant cardiac rehabilitation is related to maximum working capacity, age, and smoking behavior. *Vasc Health Risk Manag* 14:361–369. doi: 10.2147/VHRM.S179798
58. Okamoto S, Kamimura K, Shiraishi K et al. (2021) Daily steps and healthcare costs in Japanese communities. *Sci Rep* 11:15095. doi: 10.1038/s41598-021-94553-2
59. Owen N, Bauman A, Brown W (2009) Too much sitting: a novel and important predictor of chronic disease risk? *Br J Sports Med* 43:81–83. doi: 10.1136/bjism.2008.055269.
60. Paluch AE, Bajpai S, Bassett DR et al. (2022) Daily steps and all-cause mortality: a meta-analysis of 15 international cohorts. *Lancet Public Health* 7:e219-e228. doi: 10.1016/S2468-2667(21)00302-9.

61. Pate RR, Pratt M, Blair SN et al. (1995) Physical activity and public health. A recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine. *JAMA* 273:402–407. doi: 10.1001/jama.273.5.402
62. Pelliccia A, Sharma S, Gati S et al. (2021) 2020 ESC Guidelines on sports cardiology and exercise in patients with cardiovascular disease. *Eur Heart J* 42:17–96. doi: 10.1093/eurheartj/ehaa605
63. Perk J, Backer G de, Gohlke H et al. (2012) European Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice (version 2012). The Fifth Joint Task Force of the European Society of Cardiology and Other Societies on Cardiovascular Disease Prevention in Clinical Practice (constituted by representatives of nine societies and by invited experts). *Eur Heart J* 33:1635–1701. doi: 10.1093/eurheartj/ehs092
64. Piepoli MF, Hoes AW, Agewall S et al. (2016) 2016 European Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice: The Sixth Joint Task Force of the European Society of Cardiology and Other Societies on Cardiovascular Disease Prevention in Clinical Practice (constituted by representatives of 10 societies and by invited experts) Developed with the special contribution of the European Association for Cardiovascular Prevention & Rehabilitation (EACPR). *Eur Heart J* 37:2315–2381. doi: 10.1093/eurheartj/ehw106
65. Piercy KL, Troiano RP, Ballard RM et al. (2018) The Physical Activity Guidelines for Americans. *JAMA* 320:2020–2028. doi: 10.1001/jama.2018.14854
66. Prins RG, van Lenthe FJ (2015) The hour-to-hour influence of weather conditions on walking and cycling among Dutch older adults. *Age Ageing* 44:886–890. doi: 10.1093/ageing/afv103
67. R CORE TEAM (2019) R: A Language and Environment for Statistical Computing, Vienna, Austria
68. Rauch B, Davos CH, Doherty P et al. (2016) The prognostic effect of cardiac rehabilitation in the era of acute revascularisation and statin therapy: A systematic review and meta-analysis of randomized and non-randomized studies - The Cardiac Rehabilitation Outcome Study (CROS). *Eur J Prev Cardiol* 23:1914–1939. doi: 10.1177/2047487316671181
69. Rizas KD, Freyer L, Sappeler N et al. (2022) Smartphone-based screening for atrial fibrillation: a pragmatic randomized clinical trial. *Nat Med*. doi: 10.1038/s41591-022-01979-w
70. S3-Leitlinie Kardiologische Rehabilitation im deutschsprachigen Raum Europas (D-A-CH). AWMF-Registernummer: 133-001

71. Samitz G, Egger M, Zwahlen M (2011) Domains of physical activity and all-cause mortality: systematic review and dose-response meta-analysis of cohort studies. *Int J Epidemiol* 40:1382–1400. doi: 10.1093/ije/dyr112
72. Sattelmair J, Pertman J, Ding EL et al. (2011) Dose response between physical activity and risk of coronary heart disease: a meta-analysis. *Circulation* 124:789–795. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.110.010710
73. Shephard RJ (2001) Absolute versus relative intensity of physical activity in a dose-response context. *Med Sci Sports Exerc* 33:S400-18; discussion S419-20. doi: 10.1097/00005768-200106001-00008.
74. Steinacker JM, Liu Y, Muche R et al. (2011) Long term effects of comprehensive cardiac rehabilitation in an inpatient and outpatient setting. *Swiss Med Wkly* 140:w13141. doi: 10.4414/smw.2010.13141
75. Therneau TM, Grambsch PM (2000) *Modeling Survival Data: Extending the Cox Model*. Statistics for Biology and Health. Springer New York, New York
76. Thompson PD, Buchner D, Pina IL et al. (2003) Exercise and physical activity in the prevention and treatment of atherosclerotic cardiovascular disease: a statement from the Council on Clinical Cardiology (Subcommittee on Exercise, Rehabilitation, and Prevention) and the Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism (Subcommittee on Physical Activity). *Circulation* 107:3109–3116. doi: 10.1161/01.CIR.0000075572.40158.77
77. Tibshirani R (1996 Jan) Regression shrinkage and selection via the lasso. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)* 58(1):267-88.
78. Tremblay MS, Esliger DW, Tremblay A et al. (2007) Incidental movement, lifestyle-embedded activity and sleep: new frontiers in physical activity assessment This article is part of a supplement entitled *Advancing physical activity measurement and guidelines in Canada: a scientific review and evidence-based foundation for the future of Canadian physical activity guidelines* co-published by *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* and the *Canadian Journal of Public Health*. It may be cited as *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 32(Suppl. 2E) or as *Can. J. Public Health* 98(Suppl. 2). *Appl Physiol Nutr Metab* 32:S208-S217. doi: 10.1139/H07-130
79. Troiano RP, Berrigan D, Dodd KW et al. (2008) Physical activity in the United States measured by accelerometer. *Med Sci Sports Exerc* 40:181–188. doi: 10.1249/mss.0b013e31815a51b3
80. Tudor-Locke C, Bassett DR (2004) How many steps/day are enough? Preliminary pedometer indices for public health. *Sports Med* 34:1–8. doi: 10.2165/00007256-200434010-00001

81. Tudor-Locke C, Ham SA, Macera CA et al. (2004) Descriptive epidemiology of pedometer-determined physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 36:1567–1573. doi: 10.1249/01.MSS.0000139806.53824.2E
82. Tudor-Locke C, Craig CL, Brown WJ et al. (2011) How many steps/day are enough? For adults. *Int J Behav Nutr Phys Act* 8:79. doi: 10.1186/1479-5868-8-79
83. Tudor-Locke C, Craig CL, Aoyagi Y et al. (2011) How many steps/day are enough? For older adults and special populations. *Int J Behav Nutr Phys Act* 8:80. doi: 10.1186/1479-5868-8-80
84. van der Ploeg HP, Chey T, Korda RJ et al. (2012) Sitting time and all-cause mortality risk in 222 497 Australian adults. *Arch Intern Med* 172:494–500. doi: 10.1001/archinternmed.2011.2174
85. Visseren FLJ, Mach F, Smulders YM et al. (2021) 2021 ESC Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice. *Eur Heart J* 42:3227–3337. doi: 10.1093/eurheartj/ehab484.
86. Wang M, Wang H, Fei F-R et al. (2017) The associations between cigarette smoking and health-related behaviors among Chinese school-aged adolescents. *Tob Induc Dis* 15:27. doi: 10.1186/s12971-017-0132-0
87. Welk GJ, Blair SN, Wood K et al. (2000) A comparative evaluation of three accelerometry-based physical activity monitors. *Med Sci Sports Exerc* 32:S489-97. doi: 10.1097/00005768-200009001-00008.
88. Williams PT, Thompson PD (2013) Walking versus running for hypertension, cholesterol, and diabetes mellitus risk reduction. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 33:1085–1091. doi: 10.1161/ATVBAHA.112.300878
89. Wood SN (2017) *Generalized Additive Models*. Chapman and Hall/CRC
90. World Health Organization (2010) *Global recommendations on physical activity for health*. World Health Organization, Geneva, Switzerland

LEBENS LAUF

Aus datenschutzrechtlichen Gründen wird der Lebenslauf in der elektronischen Fassung der Dissertation nicht veröffentlicht.

Tag der Promotion: 08.05.2024

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Michael D. Menger

Berichterstatter: Prof. Dr. Jürgen Walter Scharhag
Prof. Dr. Bruno Scheller-Clever