

Diplomarbeit

**Glykämische Kontrolle untersucht durch
kontinuierliche Glukosemonitoringsysteme
während eines einwöchigen Abenteuer camps bei
Jugendlichen mit Typ 1 Diabetes**

eingereicht von

Celine Tomka

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor(in) der gesamten Heilkunde
(Drⁱⁿ. med. univ.)**

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt am

Universitätsklinikum für Innere Medizin

ausgeführt an der

Klinischen Abteilung für Endokrinologie und Diabetologie

unter der Anleitung von

OA Priv. Doz. Dr. Dr. Felix Aberer

Dr. Antonia Kietaihl

Graz, 24.07.2025

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Des Weiteren erkläre ich hiermit, dass, sofern bei der Erstellung dieser Arbeit Künstliche Intelligenz (KI) Werkzeuge zur Generierung und/oder Korrektur bestimmter Textpassagen verwendet wurden, dieser Einsatz unter Einhaltung ethischer Grundsätze, akademischer Integrität und den Vorgaben meiner Universität erfolgte, sowie in Folge dies transparent gemacht und in angemessener Weise gekennzeichnet wurde. Teilergebnisse dieser Diplomarbeit wurden im Journal Biosensors publiziert (DOI: 10.3390/bios14090451).

Graz, am 24.07.2025

Celine Tomka eh.

Danksagungen

An dieser Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei allen bedanken, die mich während der Entstehung dieser Diplomarbeit unterstützt und begleitet haben. Mein besonderer Dank gilt meinem Hauptbetreuer Dr. Felix Aberer, der mir nicht nur mit seinem Fachwissen und wertvollen Anregungen zur Seite stand, sondern mir auch immer durch seine zuverlässige Erreichbarkeit und Unterstützung viel Rückhalt und Motivation gegeben hat.

Ebenso danke ich meiner Zweitbetreuerin Dr. Antonia Kietaihl für ihre Unterstützung.

Ein großes Dankeschön geht auch an das gesamte Team des Diabär-Abenteuercamps. Eure Offenheit, euer Humor und die gemeinsame, oft sehr lustige Zeit während des Camps haben diese Arbeit nicht nur inhaltlich, sondern auch menschlich bereichert.

Nicht zuletzt danke ich meiner Familie von ganzem Herzen. Danke für euren Rückhalt, euren Zuspruch und euer Verständnis – nicht nur während dieser langwierigen und intensiven Phase, sondern auf meinem gesamten bisherigen Weg.

Ohne euch alle wäre diese Arbeit nicht in dieser Form möglich gewesen.

Abstract

Einleitung

Die Diagnose Diabetes mellitus Typ 1 (T1D) stellt für Kinder und Jugendliche eine erhebliche psychische Belastung dar. Neben der Notwendigkeit der Therapiesteuerung – wie Blutzuckermessungen, Insulingaben und Ernährungsmaßnahmen – sind Betroffene oft auch mit stigmatisierenden Herausforderungen im täglichen Leben konfrontiert. Diese Anforderungen können zu emotionalen Belastungssituationen führen, welche als Diabetes „Distress“ zusammengefasst werden können. Die österreichische Selbsthilfe-Organisation „Diabär“ veranstaltet regelmäßig ein einwöchiges Abenteuercamp in den österreichischen Alpen für Jugendliche (12-18 Jahre) mit T1D. Der Schwerpunkt liegt auf erlebnisorientierten Aktivitäten und Spaß ohne strengem Schulungscharakter, um den eigenen Umgang mit der chronischen Erkrankung unter Begleitung zu stärken und Kompetenzen zum Selbstmanagement zu forcieren. Im Gegensatz zu traditionellen Schulungscamps wird die formale Wissensvermittlung bewusst minimiert. Einmal täglich erfolgt jedoch gemeinsam mit dem medizinischen Fachpersonal eine Analyse der am Vortag aufgezeichneten Glukosewerte, welche mittels kontinuierlicher Glukosemonitoring (CGM) Systemen erhoben und retrospektiv analysiert werden. Das Hauptziel der Studie bestand darin, die Sicherheit einer solchen Campteilnahme, insbesondere in Bezug auf Hypoglykämien, für Kinder und Jugendliche mit T1D zu untersuchen.

Methoden

Alle Teilnehmenden wurden für die Studiendauer von drei Wochen (Heimphase: 1 Woche vor (Woche 1) und 1 Woche nach dem Camp (Woche 3); Studienphase: die Campwoche (Woche 2)) mit einem Real-Time-CGM-System (Dexcom G7) ausgestattet. Glykämische Daten wurden prospektiv über drei Studienabschnitte erfasst und analysiert. 14 Jugendliche mit T1D (8 Jungen, 6 Mädchen, Alter $13,4 \pm 1,6$ Jahre; HbA1c $7,5 \pm 0,9$ %; Diabetesdauer $6,4 \pm 4,4$ Jahre) wurden in die Studie eingeschlossen. Die Sicherheit (time below range; TBR) und glykämische Kontrolle (time in range; TIR und time above range; TAR, HbA1c, Variabilität [CV])

während des Camps wurden durch den Vergleich der CGM-Daten mit den jeweiligen Studienphasen (Woche 1-3) untersucht.

Ergebnisse

Die TIR (70-180 mg/dL) war in der Campwoche höher als in der Woche 1 (70,39% \pm 11,08 vs. 53,12% \pm 20,23; $p = 0,013$) und Woche 3 (70,39% \pm 11,08 vs. 57,65 \pm 12,8; $p = 0,021$). Die TBR Level 1 (54-70 mg/dL) war während des Camps signifikant höher als im Vergleich zur Woche 1 (2,53% \pm 1,68 vs. 1,33% \pm 1,18; $p=0,031$), während die TBR Level 2 (<54 mg/dL) keine Unterschiede zeigte. Gleichzeitig kam es zu einer signifikanten Reduktion sowohl der TAR 1 (180-250 mg/dL) als auch der TAR 2 (>250 mg/dL) in der Campwoche im Vergleich zur Heimphase 1 (TAR 1: 22,36% \pm 6,11 vs. 18,27% \pm 6,28; $p= 0,009$ und TAR 2: 22,70% \pm 16,45 vs. 8,16% \pm 6,20; $p = 0,014$). Während des gesamten Studienzeitraums traten keine gravierenden medizinischen Zwischenfälle, insbesondere keine schweren Hypoglykämien, auf.

Konklusion

Die Teilnahme an dem Abenteuercamp ohne primären Schulungsfokus stellt für Jugendliche mit T1D kein erhöhtes Risiko für Hypoglykämien dar und kann daher als sicher eingestuft werden.

Abstract

Introduction

The diagnosis of type 1 Diabetes (T1D) represents a considerable psychological burden for children and adolescents. In addition to the need for therapy management – such as blood glucose monitoring, insulin administration and dietary regulation – affected individuals are often confronted with stigmatizing challenges in their daily life. These demands can lead to emotional stress responses commonly summarized under the term “diabetes distress”. The Austrian self-help organization “Diabär” regularly organizes a one-week adventure camp in the Austrian alps for adolescents (aged 12–18) with T1D. The focus lies on adventurous activities and fun without a strict educational framework, aiming to support adolescents in managing their chronic condition in a guided setting and strengthen their self-management skills. Unlike traditional diabetes camps, formal education is deliberately minimized. However, once daily, glucose data recorded via continuous glucose monitoring (CGM) systems are retrospectively reviewed and discussed with medical professionals. The primary objective of this study was to evaluate the safety of participation in such a camp, particularly regarding the risk of hypoglycemia, for children and adolescents with T1D.

Methods

All participants were equipped with a real-time CGM system (Dexcom G7) for the three-week study period, which included one week prior to the camp (Week 1, home phase 1), the camp week itself (Week 2) and one week after the camp (Week 3, home phase 2). Glycemic data were collected prospectively and analyzed across all three phases. Fourteen adolescents with T1D (8 males, 6 females; mean age 13.4 ± 1.6 years; HbA1c $7.5 \pm 0.9\%$; diabetes duration 6.4 ± 4.4 years) were enrolled in the study. Safety (time below range; TBR) and glycemic control (time in range; TIR, time above range; TAR, HbA1c, and glycemic variability [CV]) during the camp were assessed by comparing CGM data across the three phases.

Results

TIR (70–180 mg/dL) was significantly higher during the camp week compared to Week 1 (70.39% \pm 11.08 vs. 53.12% \pm 20.23; $p = 0.013$) and Week 3 (70.39% \pm 11.08 vs. 57.65% \pm 12.8; $p = 0.021$). TBR Level 1 (54-70 mg/dL) was significantly elevated during the camp compared to Week 1 (2.53% \pm 1.68 vs. 1.33% \pm 1.18; $p = 0.031$), while TBR Level 2 (<54 mg/dL) showed no significant differences. A significant reduction was observed in both TAR 1 (180-250 mg/dL) and TAR 2 (>250 mg/dL) during the camp compared to Home Phase 1 (TAR 1: 22.36% \pm 6.11 vs. 18.27% \pm 6.28; $p = 0.009$ and TAR 2: 22.70% \pm 16.45 vs. 8.16% \pm 6.20; $p = 0.014$). No serious medical events, particularly no severe hypoglycemic episodes, occurred during the entire study period.

Conclusion

Participation in an adventure camp without a primary educational focus does not pose an increased risk of hypoglycemia for adolescents with T1D and can therefore be considered safe.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen und deren Erklärung.....	1
Abbildungsverzeichnis	2
Tabellenverzeichnis	3
1. Einleitung	5
1.1. Diabetes mellitus Typ 1	5
1.1.1. Epidemiologie	5
1.1.2. Ursachen	6
1.1.3. Psychische und soziale Aspekte	6
1.1.4. Diagnostik	7
1.1.5. Therapie	9
1.2. Schulungscamps für Personen mit T1D	13
1.2.1. Abenteuercamp „Diabär“	15
2. Aufzeigen der Kenntnis- / Forschungslücke.....	19
3. Material und Methoden.....	21
3.1. Studiendesign.....	21
3.1.1. Teilnehmer*innen und Interventionen.....	21
3.1.2. Studiendauer.....	23
3.1.3. Datensammlung	23
3.1.4. Einschlusskriterien	23
3.1.5. Ausschlusskriterien	24
3.1.6. Parameter und relevante Informationen erhoben im Rahmen der CRF	24
3.2. Zielsetzung und Einschränkungen/Abgrenzungen	24
3.2.1. Primäre Co-Endpunkte	25
3.2.2. Sekundäre Endpunkte	25
3.3. Hypothesen	27
3.4. Ethische Aspekte und Informed Consent	28
3.5. Statistik.....	28
3.5.1. Datenanalyse.....	28
4. Ergebnisse.....	30

4.1. Baseline-Charakteristika	30
4.2. Primäre Co-Endpunkte	31
4.2.1. Hypoglykämien (TBR1 und TBR2)	31
4.2.2. Hyperglykämien (TAR1 und TAR2)	32
4.3. Sekundäre Endpunkte	34
4.3.1. TIR vor, während und nach dem Camp	34
4.3.2. Glykämische Variabilität	35
4.3.3. Durchschnittlicher Blutzucker und geschätzter HbA1c.....	36
4.3.4. Sensordatenverfügbarkeit	37
4.3.5. Vergleich der glykämischen Kontrolle tagsüber und nachts.....	38
4.3.6. Vergleich der Insulinapplikationsarten	41
4.3.7. Glykämische Kontrolle in Abhängigkeit vom Aktivitätslevel während der Abenteuercampwoche	44
4.3.8. Anwendbarkeit der mobilen Applikation Campviews	45
5. Diskussion	47
5.1. Persönliche Erfahrung	49
Literaturverzeichnis	52
Anhang	56
Publikation.....	56
Hilfsmittel.....	56

Abkürzungen und deren Erklärung

AID...	automated insulin delivery/automatisierten Insulindosierung
CD4+-Zellen...	T-Zellen Untergruppe; Art von immunologischen Zellen
CD8+-Zellen...	T-Zellen Untergruppe; Art von immunologischen Zellen
CGM...	Continuous Glucose Monitoring
CSII...	continuous subcutaneous insulin infusion
eA1c...	geschätzter HbA1c
GMI...	Glukose Management Indikator
HbA1c...	Hämoglobin A1c -Wert, glykierter Hämoglobin-Wert
HCL...	hybrid closed loop
Hypo-BE...	schnell verfügbare Kohlenhydrate bei Hypoglykämie in Broteinheiten
MDI...	multiple daily injections
MODY...	maturity onset diabetes of the young
oGTT...	oraler Glukose-Toleranztest
QoL...	Quality of Life/Lebensqualität
SMBG...	kapillare Blutzuckermessung
T1D...	Typ 1 Diabetes
T2D...	Typ 2 Diabetes
TAB...	time above range; Zeit über dem Zielbereich
TBR...	time below range; Zeit unter dem Zielbereich
TIR...	time in range; Zeit im Zielbereich

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Standard-Diagnostik des Diabetes mellitus und Prädiabetes mit entsprechenden Grenzwerten (1).....	8
Abbildung 2: Glykämische Zielwerte. (9)	11
Abbildung 3: Camp- und Studienablauf. Eigene Graphik.....	18
Abbildung 4: Flussdiagramm der Studienteilnehmer*innen.	30
Abbildung 5: Mittelwerte der TBR vor, während und nach dem Camp bei unter 70 bis 54 mg/dL und unter 54 mg/dL.....	32
Abbildung 6: Mittelwerte der TAR vor, während und nach dem Camp bei über 180 bis 250 mg/dL und über 250 mg/dL.....	34
Abbildung 7: Time in range (70–180 mg/dL) vor, während und nach dem Camp.	35
Abbildung 8: Mittelwerte des CV vor, während und nach dem Camp.	36
Abbildung 9: Glykämische Kontrolle tagsüber basierend auf den Mittelwerten der TIR, TBR (< 70 mg/dL) und TAR (>180 mg/dL).....	38
Abbildung 10: Glykämische Kontrolle nachts basierend auf den Mittelwerten der TIR, TBR (< 70 mg/dL) und TAR (>180 mg/dL).....	40
Abbildung 11: Individuelle mittlere TIR (70-180 mg/dL) von jedem*jeder Teilnehmenden vor, während und nach dem Camp bezogen auf die Methode der Insulinverabreichung.	43
Abbildung 12: Darstellung der glykämischen Kontrolle der Tage mit unterschiedlichen Aktivitätsleveln mittels der Mittelwerte der TIR (70-180 mg/dL).	45

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Baselinecharakteristika der Studienteilnehmer*innen.	31
Tabelle 2: Deskriptive Statistik der Mittelwerte von TBR für Level 1 und Level 2 vor, während und nach dem Camp in Prozent.....	32
Tabelle 3: Deskriptive Statistik der Mittelwerte der TAR von Level 1 und Level 2 vor, während und nach dem Camp in Prozent.....	33
Tabelle 4: Deskriptive Statistik der Mittelwerte der TIR vor, während und nach dem Camp in Prozent.	34
Tabelle 5: Deskriptive Statistik der glykämischen Variabilität vor, während und nach dem Camp.....	35
Tabelle 6: Deskriptive Statistik des durchschnittlichen Blutzuckers vor, während und nach dem Camp.....	36
Tabelle 7: Deskriptive Statistik des geschätzten HbA1c vor, während und nach dem Camp in Prozent.	37
Tabelle 8: Deskriptive Statistik der Sensordatenverfügbarkeit der Teilnehmer*innen vor, während und nach dem Camp.....	37
Tabelle 9: Deskriptive Statistik der glykämischen Kontrolle (TAR, TIR, TBR) tagsüber im Vergleich vor, während und nach dem Camp in Prozent.	39
Tabelle 10: Deskriptive Statistik der glykämischen Kontrolle (TAR, TIR, TBR) nachts im Vergleich vor, während und nach dem Camp in Prozent.....	40
Tabelle 11: Deskriptive Statistik der Teilnehmer*innen mit MDI als Therapieform im Vergleich vor, während und nach dem Camp.	42
Tabelle 12: Deskriptive Statistik der Teilnehmer*innen mit CSII als Therapieform im Vergleich vor, während und nach dem Camp.	42
Tabelle 13: Deskriptive Statistik der Teilnehmer*innen mit AID als Therapieform im Vergleich vor, während und nach dem Camp.....	43
Tabelle 14: Deskriptive Statistik der durchschnittlichen TIR (70-180 mg/dL) aller Studienphasen in Prozent.	44
Tabelle 15: Deskriptive Statistik der durchschnittlichen TIR (70-180 mg/dL) während des Camps in Prozent.	44
Tabelle 16: Deskriptive Statistik der Tage mit niedriger körperlicher Aktivität der Studienteilnehmer*innen.	45

Tabelle 17: Deskriptive Statistik der Tage mit hoher körperlicher Aktivität der
Studienteilnehmer*innen.45

1. Einleitung

1.1. Diabetes mellitus Typ 1

Typ 1 Diabetes (T1D) ist eine chronische Stoffwechselerkrankung, die durch eine persistierende Hyperglykämie gekennzeichnet ist, bedingt durch eine autoimmune Destruktion der Beta-Zellen des Pankreas und folglich zu einer Störung der Insulinproduktion und -sekretion führt. Diese Störung macht eine lebenslange Insulin-Substitutionstherapie notwendig. (1)

1.1.1. Epidemiologie

Weltweit variiert die Inzidenz von T1D erheblich. Die höchsten Raten finden sich in Finnland und Sardinien mit etwa 50 neuen Fällen pro 100.000 Kinder und Jugendliche pro Jahr, während Länder wie China, Indien und Venezuela Inzidenzraten von weniger als 1 pro 100.000 aufweisen. (2)

In Österreich wurde von 1989 bis 2011 ein stetiger Anstieg der T1D-Inzidenz beobachtet, von 2011 bis 2020 folgte eine Plateauphase und mit 2021 wurde mit einer Inzidenzrate von 28,6/100.000/Jahr die höchste österreichische standardisierte Rate verzeichnet. (14)

Die globale Prävalenz von T1D wird auf etwa 9 Millionen Menschen geschätzt. Prognosen deuten darauf hin, dass diese Zahl bis 2040 auf 13 - 17 Millionen ansteigen könnte, was auf eine zunehmende Inzidenzrate und verbesserte Überlebensraten aufgrund besserer Behandlungsoptionen zurückzuführen sein kann. (3) Im Vergleich zu anderen Diabetesformen macht T1D etwa 5 - 10% aller Diabetesfälle aus. Bei Kindern und Jugendlichen unter 15 Jahren ist T1D jedoch die dominierende Form und macht etwa 85 - 90% aller Diabetesfälle aus.

Weiters bestehen geschlechtsspezifische Unterschiede in der Prävalenz von T1D. Studien zeigen, dass im europäischen Raum Männer eine leicht höhere Inzidenzrate aufweisen als Frauen. In jüngeren Populationen sind Jungen und Mädchen gleich häufig betroffen. (19)

1.1.2. Ursachen

Die Ursache für die Entstehung von T1D ist noch weitgehend ungeklärt. Man geht davon aus, dass die Entwicklung multifaktoriell determiniert ist. Dabei wird vermutet, dass eine immun-genetische Prädisposition, verschiedene Umweltfaktoren, wie virale Infekte sowie eine immunologische Fehlsteuerung, eine wichtige Rolle spielen. Durch die Fehlregulation des Immunsystems wandern antigenpräsentierende Zellen in die Lymphknoten des Pankreas und führen zur Aktivierung von autoreaktiven T-Zellen, insbesondere CD4+- und CD8+ T-Zellen, sowie zu einer Aktivierung der B-Lymphozyten, wodurch Autoantikörper produziert werden. Diese Vorgänge führen in weiterer Folge zur Zerstörung der körpereigenen, insulinproduzierenden Beta-Zellen des Pankreas. Die Ursache, welche Mechanismen die Entstehung und den Prozess der Autoimmunität stimulieren, ist noch nicht gänzlich erforscht. (4,20)

1.1.3. Psychische und soziale Aspekte

Mit der Diagnose T1D wird von Betroffenen eine lebenslange Therapieadhärenz, Motivation zur krankheitsbezogenen Weiterbildung und ein hohes Maß an Selbstmanagement abverlangt. Die psychische Belastung, welche durch besagte Anforderungen erzeugt wird, kann sich in emotionaler und kognitiver Überforderung manifestieren, was man als „Diabetes Distress“, einen Diabetes spezifischen Stress, definiert. (11)

Damit einhergehend kann ein andauernder „Diabetes Distress“ zu einer insuffizienten glykämischen Kontrolle führen. Sowohl vorübergehende schwere Hypo- und Hyperglykämien als auch persistierende Hyperglykämien und erhöhte Glukosevariabilität können sich negativ auf Gehirnstrukturen und die kognitive Funktion auswirken. (12)

Die chronische Erkrankung geht auch mit weiteren psychologischen Komorbiditäten einher. Patient*innen mit T1D haben ein erhöhtes Risiko zur Entwicklung einer affektiven Störung, wie Depression, depressive Symptome und Angststörungen. Auch das Risiko für ein gestörtes Essverhalten bis hin zu manifesten Essstörungen ist erhöht, vermutlich aufgrund des starken Fokus auf

Essen, insbesondere die Kohlenhydrataufnahme, welche im Rahmen der Therapie substanziell berücksichtigt werden muss. (13) Neben ungünstiger psychischer Aspekte ist eine Diabeteserkrankung auch mit weiteren Spätkomplikationen wie Atherosklerose in kleinen und großen Blutgefäßen und Neuropathie assoziiert. (7)

1.1.4. Diagnostik

Generell ist für die Diagnose von Diabetes mellitus die Erfüllung zweier Diagnosekriterien notwendig. Dazu gehört einerseits das Vorliegen der typischen klinischen Symptomatik, wie Polyurie, Polydipsie und Gewichtsverlust, andererseits die Messung von pathologischen Blutzuckerwerten. Dieser Nachweis von erhöhten Blutzuckerwerten im Blut und/oder Harn kann mittels Messung des Nüchternblutzuckers, Gelegenheitsblutzuckers (spontane Messung) oder des oralen Glukose-Toleranz-Tests (oGTT) sowie des Hämoglobin A1c -Werts (HbA1c) erfolgen. Erhöhte HbA1c-Werte gehören zu den Standardkriterien zur Diagnose von Diabetes mellitus und werden mit Grenzwerten von $\geq 6,5 \%$ (48 mmol/mol) als pathologisch gesehen. (1)

Die Diagnose wird bei Erwachsenen unabhängig von Alter und Geschlecht durch Messung mehrfach erhöhter Blut-Glukosewerte an mindestens zwei verschiedenen Tagen gestellt. In der Pädiatrie bestehen grundsätzlich die gleichen Diagnosekriterien wie bei Erwachsenen, ausgenommen der Glukosebelastung beim oGTT, welche sich gewichtsbedingt (1,75 g Glukose/kg KG) unterscheidet. (1)

	Manifester Diabetes mellitus	Erhöhtes Diabetes-Risiko (Prädiabetes) ^a
Nicht-Nüchtern, Gelegenheitsglukose („Random-Glukose“, venös od. kapillär)	≥ 200 mg/dl (11,1 mmol/l) an 2 Tagen ^b ODER ≥ 200 mg/dl (11,1 mmol/l) + klassische Symptome ^c	–
Nüchtern-Glukose (venöses Plasma)	≥ 126 mg/dl (7,0 mmol/l) an 2 Tagen ^b	≥ 100 mg/dl (5,6 mmol/l), aber < 126 mg/dl (7,0 mmol/l) (Abnorme Nüchternglukose, „impaired fasting glucose“, IFG)
2-h-Glukose nach 75 g OGTT (venöses Plasma)	≥ 200 mg/dl (11,1 mmol/l) an 2 Tagen ^b	Glukose ≥ 140 mg/dl (7,8 mmol/l), aber < 200 mg/dl (11,1 mmol/l) (Gestörte Glukosetoleranz, „impaired glucose tolerance“, IGT)
HbA1c	≥ 6,5 % (48 mmol/mol) an 2 Tagen ^b	≥ 5,7 % (39 mmol/mol), aber < 6,5 % (48 mmol/mol) ^d

^aEin erhöhtes Diabetes-Risiko kann auch ohne Nachweis von Störungen der Glykämie bestehen und lässt sich mittels definierter Risiko-Tests erheben (siehe unter: Prävention)
^bSind 2 unterschiedliche Tests positiv, ist die Diagnose Diabetes gegeben, so dass auf die Testwiederholung verzichtet werden kann. Ergeben unterschiedliche Tests unterschiedliche Ergebnisse, dann ist der Test mit erhöhtem Ergebnis zu wiederholen
^cBei Vorliegen von Hyperglykämie und klassischen Symptomen ist die Diagnose ohne Testwiederholung gegeben, da z. B. bei Erstmanifestation des Typ 1 Diabetes das HbA1c normal sein kann
^dWeiterführende Diagnostik mittels Nüchtern-Glukose oder OGTT ist erforderlich

Abbildung 1: Standard-Diagnostik des Diabetes mellitus und Prädiabetes mit entsprechenden Grenzwerten (1)

Die zellulär vermittelte Autoimmundestruktion der pankreatischen Beta-Zellen bildet die Grundlage für die Entwicklung von T1D. Zu den dafür ursächlichen Autoimmunmarkern beziehungsweise diabetesspezifischen Antikörpern, auf die Patient*innen bei Verdacht auf T1D getestet werden, gehören:

- Inselzellantikörper (ICA)
- GAD65 Antikörper
- Insulin Autoantikörper (IAA)
- Antikörper gegenüber Tyrosinphosphatase IA-2 und IA-2beta
- Antikörper gegenüber Zinktransporter 8 (ZnT8)

Ist, nach Erfüllung der oben genannten Diagnosekriterien, mindestens einer der Autoantikörper positiv, so kann die Diagnose T1D gesichert werden. Wurden keine diabetesspezifischen Autoantikörper oder nur ein Autoantikörper bei Euglykämie und/oder keinen klinischen Symptomen nachgewiesen, müssen immer auch andere Diabetesformen, wie Typ 2 Diabetes (T2D) oder „Maturity onset diabetes of the young“ (MODY), in Betracht gezogen werden. (6)

Weiters werden im Labor das C-Peptid, ein Spaltprodukt in der Insulinproduktion, als Maß der körpereigenen Rest-Insulinsekretion, sowie Ketonkörper im Blut und/oder Harn, als Marker für das Ausmaß der Stoffwechseldekompensation, bestimmt. Ein niedriges oder gar fehlendes C-Peptid deutet dabei ebenso auf T1D hin. (4)

Eine Ketonurie beziehungsweise erhöhte Ketonkörper im Serum (β -Hydroxybutyrat ≥ 3 mmol/L) sind hinweisend auf eine diabetische Ketoazidose, eine potenziell lebensbedrohliche Komplikation des T1D. Es ist notwendig, dass diese durch relativen oder absoluten Insulinmangel hervorgerufene Stoffwechsellage so schnell wie möglich erkannt und behandelt wird, da sie unbehandelt zum Tode führt. (7)

1.1.5. Therapie

Die Therapie von T1D besteht aus einer lebenslangen Insulintherapie zur Abdeckung des physiologischen Bedarfs und wird unmittelbar nach Stellung der Diagnose initiiert.

Neben der Insulintherapie gehören Glukoseselbstkontrollen, eine altersangepasste strukturierte Schulung, sowie psychosoziale Versorgungsmaßnahmen für die Betroffenen und deren Familie zu essentiellen Maßnahmen zur Therapiesteuerung. (8)

Im Vordergrund der Diabetesbehandlung stehen als allgemeine Therapieziele, die Vermeidung von Blutzuckerschwankungen und akuten Komplikationen, wie Hypoglykämien und Ketoazidosen, die Prävention von diabetes-assoziierten mikrovaskulären und makrovaskulären Folgeerkrankungen, sowie die Sicherstellung der altersgerechten körperlichen Entwicklung und Leistungsfähigkeit. Weiters soll die psychosoziale Entwicklung von Menschen mit Diabetes so gering wie möglich von der Diabeteserkrankung und deren Therapie betroffen sein. Die Integration und Inklusion in der Tagesbetreuung, Schule und Berufsausbildung soll sichergestellt sein. (8)

1.1.5.1. Insulintherapie

Die Formen der Insulintherapie, welche im Mittelpunkt der Therapie stehen, lassen sich in die konventionelle und die funktionelle Insulintherapie einteilen. Die funktionelle Therapie verfolgt das Ziel, die physiologische Insulinsekretion zu imitieren. Therapeutisch erreicht man so die beste glykämische Kontrolle, was dieses Schema zum „State of the art“ in der Behandlung von T1D macht. Die

konventionelle Therapie erfüllt diesen Anspruch hingegen nicht und wird daher heutzutage nur mehr in bestimmten Situationen verwendet. Bei der konventionellen Insulintherapie wird die Blutzuckereinstellung mit mindestens zwei täglichen Injektionen mit Intermediärinsulin oder Insulinmischungen aus Intermediär- und Normalinsulin erreicht.

Die funktionelle Insulintherapie, welche auch Basis-Bolus-Therapie genannt wird, setzt sich aus einer ein- bis zweimal täglichen Applikation eines Basisinsulins oder Langzeitinsulinanalogons und aus prandialen Bolusgaben von kurzwirksamem Insulin zusammen. Diese funktionelle Therapieform, bei welcher mehrere tägliche Injektionen stattfinden, wird auch als MDI („multiple daily injections“) bezeichnet.

(5)

Eine weitere Unterart der funktionellen Therapie ist die Insulinpumpentherapie beziehungsweise die CSII- („continuous subcutaneous insulin infusion“-) Therapie. Für diese werden ausschließlich Normalinsuline und kurz wirksame Insuline angewendet. Diese können mit und ohne Unterstützung von kontinuierlichen Glukosemonitoring (CGM) -Systemen eingesetzt werden. Daraus haben sich komplexere automatisierte Insulinpumpensysteme mit CGM-Unterstützung entwickelt, welche als AID („automated insulin delivery“) beziehungsweise HCL („hybrid-closed-loop“) Systeme beschrieben werden. Diese Systeme bestehen aus einer Insulinpumpe, einem CGM-Sensor und einem Algorithmus. Die Insulinpumpe und der Glukosesensor stehen hierbei miteinander in Verbindung über den Algorithmus. Die Blutglukose wird gemessen und die entsprechend berechnete Insulinmenge wird verabreicht. Bei HCL-Systemen ist somit nur die Eingabe der prandialen Boli beziehungsweise zugeführte Kohlenhydratmengen notwendig. (8, 10, 14)

1.1.5.2. Zielwerte

Um Akut- und Langzeitkomplikationen zu vermeiden, sowie gesundheitsschädliche Effekte der Hypo- und Hyperglykämie auf die Gehirnentwicklung, kognitive Funktion, Stimmung und Lebensqualität zu

minimieren, wurden leitliniengemäß verschiedene glykämische Zielwerte festgelegt. (9)

Zu diesen etablierten Glukosewerten gehören der Glukosewert durch kapilläre Blutzuckermessung (SMBG), HbA1c und CGM-Werte. Diese lauten wie folgt:

- SMBG: Ziel 70 – 180 mg/dL (4 – 10 mmol/L)
- HbA1c: Ziel unter 7,0 % (unter 53 mmol/mol)
- CGM als Zeit im Zielbereich (Time in Range; TIR):
 - o über 70 % zwischen 70 – 180 mg/dL (3.9 – 10 mmol/L)
 - o unter 4 %: zwischen 54 – 69 mg/dL
 - o unter 1 %: unter 54 mg/dL
 - o unter 25 %: über 181 – 250 mg/dL
 - o unter 5 %: über 250 mg/dL
 - o glykämische Variabilität: Ziel unter 36 % (9)

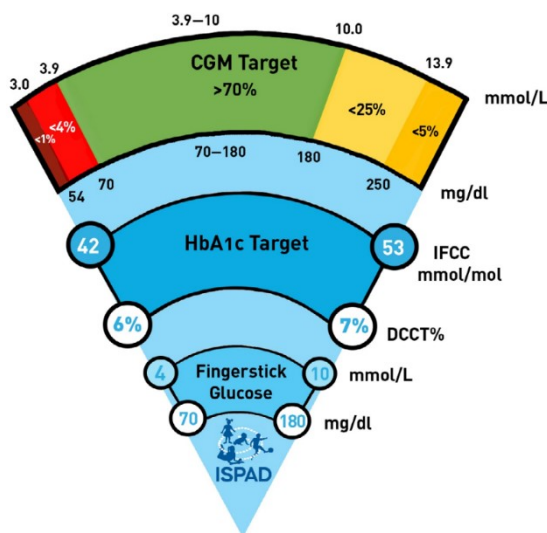


Abbildung 2: Glykämische Zielwerte. (9)

Der HbA1c-Wert gibt Auskunft über den Glukose-Mittelwert der letzten zwei bis drei Monate und ist ein gutes Maß für die Langzeitglukosekontrolle. Der HbA1c-Wert ist jedoch nicht aussagekräftig in Bezug auf Hypoglykämien und Glukoseschwankungen. (10)

Denn stark zwischen Hypo- und Hyperglykämie fluktuierende Glukosewerte können zu denselben HbA1c-Werten wie von Personen mit stabilen

Glukosewerten führen. Dies ist wichtig, da die glykämische Variabilität einen Prädiktor für das Auftreten von schweren Hypoglykämien darstellt. Zusätzlich gibt es eine wachsende Anzahl von Beweisen dafür, dass die glykämische Variabilität ein unabhängiger Risikofaktor für kurz- und langfristige Komplikationen ist. Daher bietet das CGM, wohl aufgrund der Bereitstellung von Metriken für durchschnittliche Glukose, Glukose außerhalb des Zielbereichs und glykämische Variabilität sowie einer sehr hohen Korrelation mit HbA1c, eine bessere Abbildung des Gesamtblutzuckerspiegels. (9)

Bei CGM-Systemen unterscheidet man zwei Arten: das real-time-CGM (rtCGM) und das intermittently-scanned-CGM (isCGM oder Flash-Glukose-Monitoring). Während bei rtCGM die Glukosewerte selbstständig vom System mittels eines Transmitters übermittelt werden, ist bei isCGM-Systemen für die Datenübertragung ein manuell durchgeführter Scan über den Sensor notwendig. (10)

Neben den Glukosewerten geben die Systeme auch die Trends des Blutzuckerspiegels mittels Pfeilrichtungen an. (10)

Besonders im Kindes- und Jugendalter ist die Nutzung von Insulinpumpen und CGM-Systemen sehr weit verbreitet, mit einer Nutzungsrate von Insulinpumpen und CGM-Systemen in Ländern mit optimaler Kostenerstattung von > 90 %. Dadurch stehen im Vergleich zur herkömmlichen kapillaren Blutzuckermessung deutlich mehr Daten zur Verfügung. Daraus hat sich der Begriff „Time in Range“ (TIR=Zeit im Zielbereich) entwickelt und über die letzten Jahre zunehmend an Bedeutung gewonnen. Bei TIR handelt es sich um den Prozentsatz der Zeit, bei der sich die Sensorblutzuckerwerte im Zielbereich von 70-180 mg/dL befinden. Als zu erreichender Zielwert wurde festgelegt, dass an einem Tag >70 % der Glukosewerte im Zielbereich liegen sollen. Zudem wurde im Rahmen der Hypoglykämie-Vermeidung ein Ziel von <4 % des Tages in einem Bereich von 54 bis 69 mg/dL und <1 % unter 54 mg/dL in den Leitlinien formuliert. Je nach Diabetesform, Komorbiditäten, Hypoglykämierisiko, Alter und sozioökonomischen Faktoren können jedwede Zielbereiche variieren und individuell definiert werden. (10)

1.2. Schulungscamps für Personen mit T1D

Die Entstehung der ersten Diabetescamps weltweit lässt sich bis in die Mitte des 20. Jahrhunderts zurückverfolgen. Der amerikanische Arzt Dr. Leonard F. Wendt gründete 1925 ein Camp, das Kindern und Jugendlichen mit Diabetes die Möglichkeit gab, eine traditionelle Ferienlagererfahrung unter medizinischer Begleitung zu erleben. (15)

Die Entdeckung und Isolierung von Insulin einerseits durch Nicolae Paulescu im Jahr 1916, andererseits durch Frederick Banting und Charles Best im Jahr 1921 revolutionierten die Behandlung von Diabetes mellitus und legten den Grundstein für die Entwicklung von Diabetescamps. Die Anwendung der Insulin-Ersatztherapie ermöglichte es erstmals, den Blutzuckerspiegel effektiv zu kontrollieren und damit eine bislang unmittelbar tödliche Erkrankung in eine behandelbare und chronische Erkrankung zu verwandeln. Dadurch verbesserten sich die Lebenserwartung und Lebensqualität von Menschen mit Diabetes erheblich. (16)

In Österreich wurde das erste Diabetescamp im Jahr 1955 von der Österreichischen Diabetikervereinigung in Zusammenarbeit mit medizinischen Fachkräften der Universitätskinderklinik Wien gegründet. Im Jahr 1977 folgte die Grazer Universitätskinderklinik mit einem dreiwöchigen Ferien-Schulungscamp für Kinder und Jugendliche mit T1D, welches von Univ.-Prof. Dr. Borkenstein organisiert wurde. In den ersten Jahren diente dieses Camp vor allem der Verbesserung der Einstellung der individuellen Insulintherapie der Teilnehmer*innen. (17,18) Heutzutage liegen die Schwerpunkte der Schulungscamps vor allem in der Diabetes-Schulung, wie zum Beispiel dem Umgang mit Insulinpumpen und CGMs, Verhalten in Notsituationen und Blutzuckermessungen, sowie der Ernährungsschulung. (15) In einer Metaanalyse konnte gezeigt werden, dass Kinder und Jugendliche mit T1D nach einem Sommercamp eine signifikante Verbesserung der durchschnittlichen Veränderung des HbA1c und des Diabeteswissens, gemessen als standardisierter Score, aufweisen. (25) Auch einer Studie von Nagl et al. konnte eine signifikante Erhöhung der durchschnittlichen TIR und eine Reduktion der TAR, jedoch eine Erhöhung der TBR der Camp-Teilnehmer*innen während eines 2-wöchigen

Schulungscamps festgestellt werden. Hierbei ließen sich unter anderem bei Teilnehmer*innen mit rtCGM im Vergleich zu Teilnehmer*innen mit isCGM signifikant niedrigere TBR-Werte und höhere TIR nachweisen. Trotz der signifikanten Verbesserung der glykämischen Kontrolle wurde das Therapieziel von TIR > 70 % im Durchschnitt nicht erreicht. (26) Weiters beschrieben auch Santiphrahob et al. sowohl Verbesserungen des Diabeteswissens als auch der glykämischen Kontrolle im Vergleich von vor zu nach dem Camp nach Implementierung von spezifischen schulischen Interventionen in den Campalltag wie Spiele, Vorträge und Kleingruppendiskussionen, mit einem Fokus auf Diabetes-Selbstmanagement. Dieser Effekt hielt bei Follow-up-Untersuchungen in Bezug auf das Diabeteswissen nach 6 Monaten noch an. Die verbesserte glykämische Kontrolle war zum Zeitpunkt des 6-Monat-Follow-ups nicht mehr erhalten. Es bestehen wenig Beweise zum nachhaltigen Effekt von Diabetescamps in Bezug auf die Verbesserung der glykämischen Kontrolle. Auch eine Studie von Garcia-Perez et al. konnte trotz pädagogischer Interventionen im Rahmen des Camps keine Veränderung der glykämischen Kontrolle in einem Follow-up bis zu einem Jahr nach der Campteilnahme nachgewiesen werden. (27) Dennoch zeigten eine amerikanische Studie wiederum, dass nach Teilnahme von Kindern und Jugendlichen an 6 einwöchigen Diabetescamps im Zeitraum von zwei Jahren mit fortgeschrittenem Camp-Jahr und höherem Alter der Teilnehmer*innen ein durchschnittlich niedrigerer Glukosewert unabhängig von Geschlecht und Diabetesdauer nachgewiesen werden konnte. (28)

Ein weiteres Motiv für die Abhaltung derartiger Camps ist die soziale Integration und der Austausch zwischen Betroffenen, was besonders für junge Menschen von großer Bedeutung ist. Viele Camps weisen eine hohe Wiederteilnahmerate auf. Viele der Teilnehmer*innen werden auch in weiterer Folge zu Betreuer*innen, medizinischem Personal und Vorbildern für neue Campteilnehmer*innen. Es ist daher annehmbar, dass Teilnehmer*innen nicht nur von der Camp-Erfahrung, sondern auch von den Bekanntschaften, die sich in einem Umfeld, in dem Diabetes die Norm darstellt, entwickeln, profitieren. (15) Fegan-Bohm et al. berichteten zum Beispiel von anekdotischen und qualitativen Indizien, dass die wahrgenommenen psychosozialen Vorteile, welche Kinder und Jugendliche

während eines Diabetescamps erfahren, durch die Sozialisierung mit anderen Kindern mit Diabetes verstärkt werden. Dazu gehört die Reduktion des Gefühls der Einsamkeit und zu lernen, seinen Diabetes zu managen, in einer sicheren und unterstützenden Umgebung. Vor allem für Kinder und Jugendliche mit einer suboptimalen Diabeteseinstellung scheinen die sozialen Aspekte einer Diabetescamp-Erfahrung bedeutend zu sein. Allgemein wird die Zufriedenheit von Campteilnehmer*innen, Betreuer*innen und Eltern meist als hoch eingeschätzt. (27) Weiters zeigte eine spanische Studie, dass nach der Teilnahme an einem solchen Camp, Kinder und Jugendliche eine signifikant erhöhte Lebensqualität (QoL), gemessen durch Scores für das emotionale Wohlbefinden und Selbstwertgefühl, angaben. Zudem konnten Unterschiede im Bereich Sorgen und Ängste festgestellt werden. (29) Weissberg et al. wiesen nach, dass Kinder nach der Teilnahme an einem Diabetescamp eine statistisch signifikante Abnahme von „Diabetes Distress“ wahrnahmen und eine Zunahme der Unabhängigkeit in Bezug auf die Selbstfürsorge erlebten. (30)

Auch in der Metaanalyse von Hasan et al. konnte gezeigt werden, dass ein Camp eine ideale Umgebung für Kinder und Jugendliche mit T1D darstellt, um Freundschaften mit anderen Kindern, welche denselben gesundheitlichen Herausforderungen ausgesetzt sind, zu schließen und dadurch eher eine positive Herangehensweise an ihre Erkrankung und an das Leben selbst zu entwickeln. Die Ergebnisse zu den Veränderungen in der QoL und Angstzuständen nach dem Camp waren jedoch nicht signifikant. Dennoch zeigten die Ergebnisse der Studien durchwegs eine Reduktion der Angstzustände der Teilnehmer*innen, auch wenn diese nicht signifikant waren. (25)

1.2.1. Abenteuercamp „Diabär“

Das Abenteuer-Schulungscamp, welches zur Studiendurchführung herangezogen wurde, wird von „Diabär“, einem österreichischen Selbsthilfe- „Verein für Diabetiker*innen“ der Universitätsklinik Graz, organisiert. Dieses findet seit dem Sommer 2017 jährlich statt. Zu den Besonderheiten dieses Camps zählt die Lokalisation. Diese befindet sich auf einer Hütte in den Bergen auf 1.760 Meter

Seehöhe in den Bad Kleinkirchheimer Alpen. Weiters dürfen erst Jugendliche mit T1D ab dem 12. Lebensjahr an diesem Camp teilnehmen. (18)

Der Grund für das höhere Teilnahmealter liegt darin, dass das Camp vor allem das Selbstmanagement und die Selbstständigkeit der Jugendlichen in Bezug auf ihren Diabetes fördern soll, während zahlreiche soziale und sportliche Aktivitäten unternommen werden. Ein gewisses Maß an „Eigenregie“ in Bezug auf die Therapiesteuerung wird daher zur Berechtigung der Campteilnahme vorausgesetzt. Im Vergleich zu anderen Diabetes-Schulungscamps liegt die Ernährungsschulung, sowie Insulin- sowie Kohlenhydrate-Berechnung, im Hintergrund, während die Möglichkeit auf soziale und sportliche Unternehmungen mit anderen Jugendlichen mit T1D im Fokus steht. Dennoch wurde im Rahmen dieser Studie eine einmal tägliche Blutzuckerbesprechung mit dem kontinuierlich anwesendem Ärzt*innenteam durchgeführt, welche zeitlich jedoch auf maximal 10 Minuten beschränkt wurde.

Das Programm des einwöchigen Abenteuer camps sah in der Regel drei Mahlzeiten und eine kurze Blutzuckerbesprechung nach dem Abendessen vor.

Die täglichen Aktivitäten werden im Folgenden dargestellt:

- Tag 1: Die Unterkunft auf 1.760 Metern Höhe wurde nach gemeinsamer Autofahrt und kurzer Wanderung erreicht. Anschließend gab es Spiele zum Kennenlernen der Jugendlichen und Betreuer*innen untereinander. Danach stand den Jugendlichen eine freie sportliche Beschäftigung mit verschiedenen Auswahlmöglichkeiten, wie beispielsweise Tischtennis, Fußball, Frisbee und Federball, zur Verfügung.
- Tag 2: Der zweite Tag startete mit einem Wanderausflug von etwa 11 Kilometern und 267 Höhenmetern mit Zwischenpause und Jausenstation auf einer Berghütte. Eine weitere Zwischenpause beziehungsweise freie Beschäftigung wurde den Jugendlichen am Rückweg in einem Freizeitpark am Berg (Bergstation) ermöglicht. Der Nachmittag wurde genutzt, um gemeinsam verschiedene Ballspiele, Tauziehen und Geschicklichkeitsspiele zu spielen.
- Tag 3: Nach dem Frühstück erfolgte ein Abstieg von der Berghütte, etwa vier Kilometer, um mit dem Reisebus zur Burg Landskron zu gelangen, wo

sowohl eine Führung durch das Greifvogelgelände als auch eine Greifvogelshow besucht wurden. Nach einer Mittagspause verbrachten die Jugendlichen und das Betreuer*innenteam ihre Zeit in einem Naturfreizeitpark, dem „Family Fun Park“. In diesem bestand die Möglichkeit, der Erkundung der Erlebniswege, „fly-line“ (flying fox), Kletternetzsystem in den Bäumen „Treenet Abenteuer“ und einem Waldspielplatz, zu nützen. Aufgrund des unbeständigen Wetters musste der Aufenthalt im Freizeitpark vorzeitig beendet werden. Daher stand nach Rückfahrt und Wanderung im Regen zur Unterkunft genügend Zeit für Indoor-Beschäftigungen, wie Tischtennis, Fußball, Brett- und Würfelspielen zur Verfügung.

- Tag 4: Erneut startete der Tag mit einer Wanderung von der Unterkunft in das Tal. Mittels Reisebus wurde als Tagesausflugsziel der Badensee Greifenburg erreicht. Am Badensee gab es neben der Option des Schwimmens auch einen Sprungturm, eine „Zip-Line“ über den See, seilgesicherte Klettermöglichkeiten, Trampoline und Beachvolleyballplätze. Nach der Heimkehr zur Unterkunft gab es abends ein Lagerfeuer und nach Sonnenuntergang wurde eine „Abenteuer“-Nachtwanderung unternommen.
- Tag 5: Dieser Tag wurde auf der Berghütte verbracht für ein „Schlag-den-Betreuer*innen“-Spiel. Dafür wurden 26 verschiedene Spiele unterschiedlicher Herausforderungen, von sportlich über Geschick zu Kreativität und Teamarbeit, durchgeführt. Ein paar Spiele, die beispielsweise gespielt wurden, waren ein Tischtennismatch, ein Fußballmatch, ein Schätzspiel und Apfelbeißen (aus Wasserwanne). Nach dem Abendessen wurden noch einige Runden Versteckspiel bis zur Bettruhe gespielt.
- Tag 6: Aufgrund des schlechten Wetters fiel die Wanderung von und zur Berghütte ins Wasser und die Fahrt fand stattdessen mit dem Auto beziehungsweise Reisebus statt. Der Tag wurde in der Therme St. Kathrein verbracht. In der Therme gab es die Möglichkeit, sich in Indoor- und Outdoorbecken aufzuhalten, sowie eine Wasserrutsche und einen Wasserspielplatz mit Hüpfburg zu bespielen. Nach der Rückkehr zur

Unterkunft hatten die Jugendlichen etwa zwei Stunden Freizeit, bis am Abend nach dem Abendessen die Disco startete.

- Tag 7: Der letzte volle Camp-Tag war leider der mit dem schlechtesten Wetter. Als Alternativprogramm mussten Indoor-Aktivitäten, wie Tischtennis und Fußball (indoor im Aufenthaltsraum möglich), Karten- und Brettspiele, sowie Armbänder knüpfen, erhalten. Am Abend wurden zahlreiche Abschlussbilder geschossen, unter anderem Aufnahmen mit Langzeitbelichtung, bei denen die Jugendlichen sich austoben konnten.
- Tag 8: Die Abreise fand direkt nach dem Frühstück statt, mit der Wanderung zurück ins Tal und abschließend der Heimreise.

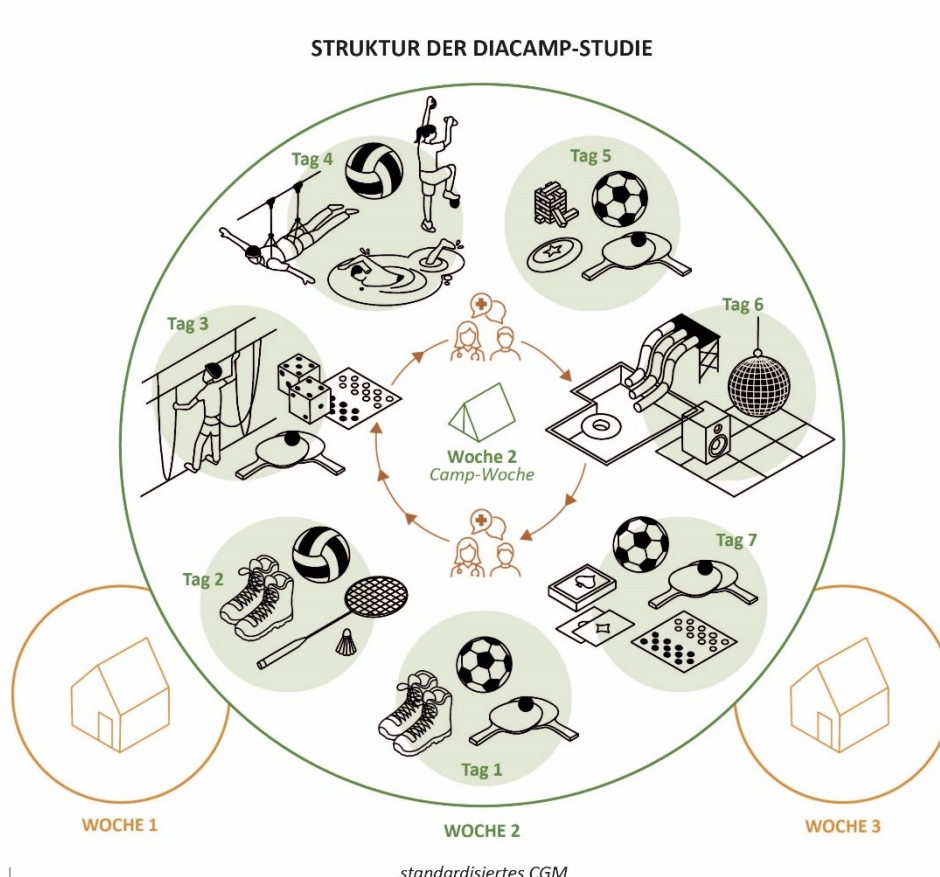


Abbildung 3: Camp- und Studienablauf. Eigene Graphik.

2. Aufzeigen der Kenntnis- / Forschungslücke

T1D ist eine chronische autoimmune Erkrankung, die für gewöhnlich im Kindesbeziehungsweise Jugendalter erstmalig auftritt. Das Leben mit dieser Erkrankung ist gezeichnet durch komplexes Selbstmanagement, welches beispielsweise die Insulininjektionen, die Nutzung von Glukosesensoren und Insulinpumpen, Blutzuckermessungen und den Fokus auf den Essenszeitpunkt, die Wahl der Nahrungsmittel und das Aktivitätslevel miteinschließt. Weiters geht mit T1D auch das Risiko der Entwicklung einer symptomatischen Hypoglykämie einher. Dieser potenziell lebensbedrohliche Zustand kann sich mit vegetativen Symptomen, wie Heißhunger, Zittern, Übelkeit und Erbrechen sowie mit neuroglykopenen Symptomen, wie Verwirrung, Unruhe, Krampfanfällen und Vigilanzstörungen, welche bis zur Bewusstlosigkeit reichen, manifestieren. (7) Die Sichtbarkeit des Zubehörs zur T1D-Behandlung beziehungsweise der Technologie, die den Blutzucker misst, Therapieanpassungen und hypoglykämische Symptome, wenn sie auftreten, stellen potenzielle Faktoren der Erkrankung dar, welche zur Stigmatisierung des betroffenen Kindes oder Jugendlichen und in weiterer Folge zum Verstecken der Erkrankung führen kann. (21) Soziale Gruppenaktivitäten, welche das Ziel haben, Kinder und Jugendliche mit T1D zu vernetzen, könnten hierbei unterstützend wirken, diese psychologischen Barrieren zu überwinden und zu einer verbesserten glykämischen Kontrolle führen. (22) Der österreichische Verein „Diabär“ (Verein für Diabetiker*innen der Universitätsklinik Graz) veranstaltet jährlich ein einwöchiges Abenteuercamp, welches in den Bergen auf einer Seehöhe von 1.760 Metern lokalisiert ist, mit dem Zweck, dass Jugendliche mit T1D sich untereinander austauschen können. In dieser Zeit haben die Jugendlichen die Möglichkeit, an zahlreichen sozialen und sportlichen Aktivitäten, wie Klettern, Wandern, Wasserparks und Lagerfeuerabenden, teilzunehmen, ohne dabei Diskriminierung jeglicher Art ausgesetzt zu sein. Für die Zeit des Camps steht medizinisches Personal für medizinische Hilfestellungen und Unterstützung jederzeit zur Verfügung. Das Camp hat die Intention, keinen großen Fokus auf das Diabetesmanagement oder Anpassungen beziehungsweise Verbesserungen der Diabetestherapie zu setzen, außer bei dringender Notwendigkeit. Die glykämische Kontrolle während eines solchen Abenteuercamps ist jedoch entscheidend, da

Campaktivitäten und unvertraute Situationen, wie die Höhenlage der Unterkunft oder Sport, eine potenzielle Auswirkung auf den Insulinbedarf sowie das Risiko für Hypo- und Hyperglykämien haben.

Daher soll in dieser prospektiven Studie die glykämische Kontrolle, welche mittels CGM-Daten untersucht wurde, in der Woche vor, während und nach dem Abenteuercamp evaluiert werden. Das Hauptziel ist es, zu zeigen, dass Jugendliche mit T1D während eines Abenteuercamps keinem erhöhten Risiko für klinisch relevante Hyper- und Hypoglykämien ausgesetzt sind.

3. Material und Methoden

3.1. Studiendesign

Es handelt sich bei der Studie um eine prospektive (CGM-)Datenanalyse. Die Rekrutierung der Teilnehmer*innen der Studie erfolgte über die Teilnehmer*innenliste des Abenteuercamps für Jugendliche mit T1D im Alter von 12 bis 18 Jahren. Es wurden nur Teilnehmer*innen mit verfügbaren und ausreichenden CGM-Daten ($\geq 70\%$ Datenverfügbarkeit) in die Analyse eingeschlossen. Da das „Diabär“-Abenteuercamp nicht das Ziel verfolgt, strikte Studienbedingungen einzuhalten, konnten während der Studie alltagsrepräsentative Daten generiert werden.

3.1.1. Teilnehmer*innen und Interventionen

In die Studie wurden Jugendliche mit T1D, welche an dem einwöchigen Abenteuercamp teilnahmen, mit vorliegender Einverständniserklärung der Jugendlichen beziehungsweise der Eltern oder Erziehungsberechtigten eingeschlossen. Während der Studie setzten die Teilnehmer*innen ihre Insulintherapie (CSII, AID, MDI) und ihr von den betreuenden pädiatrischen Diabetolog*innen festgelegtes Dosisregime wie gewohnt fort. Weiters war auch die Dokumentation der Verabreichung von Insulin und Kohlenhydraten nicht vorgesehen, da die Studie nicht das geplante Camp-Programm beeinflussen sollte.

Zur Datenerhebung wurde für die Zeit der Studie von den Jugendlichen ein kontinuierliches CGM-System genutzt, welches zum größten Teil der Fälle bereits vor Studienbeginn in Verwendung war.

Abhängig vom gegenwärtig verwendeten CGM-System wurden eingeschlossene Teilnehmer*innen folgendermaßen mit CGM-Systemen ausgestattet:

- 1) Jugendliche mit Systemen zur automatisierten Insulindosierung (AID), welche kein Dexcom G7 CGM nutzen, erhielten für die Dauer der Studie einen verblindeten Dexcom G7 Sensor und -Receiver mit einer 24-Stunden-Rückblick-Funktion, durch welche die CGM-Daten retrospektiv zur

Verfügung gestellt werden. Es wurden einmal täglich die Sensordaten heruntergeladen.

- 2) Jugendliche, die ein Abbott (Flash-) CGM-System nutzen, wurden ebenfalls für die Dauer der Studie mit einem verblindeten Dexcom G7 CGM-System ausgestattet oder angeboten, für die Studiendauer auf einen Dexcom G7 (unverblindet) statt dem Abbott Libre umzusteigen.
- 3) Jugendliche, die bereits ein Dexcom CGM-System nutzen, verblieben bei diesem und wurden gebeten, ihre Daten über die Dauer der Studie in die Dexcom Clarity Cloud hochzuladen.

Die Setzung der verblindeten Studien-CGM-Sensoren wurde zweimal eingeplant. Das erste Mal fand die Applikation am Studienort im LKH Ost Graz eine Woche vor Camp-Beginn statt. Das zweite Mal erfolgte der Wechsel während des Camps rechtzeitig vor Auslaufen der Sensorsitzungsdauer, um Sensordatenverlust zu vermeiden. Die planmäßige Setzung der Sensoren sollte dabei helfen, potenzielle Bias, wie Unterschiede der Genauigkeit der Daten, Applikationsstellen und standardisierte Warm-up-Phasen, bei einem Minimum zu halten.

Eingeschlossene Teilnehmer*innen erhielten einen Teilnehmer*innencode in aufsteigender Reihenfolge. Die einzige Person mit einem Zugang zur Identifikation der Teilnehmer*innen ist der*die Studienleiter*in („principal investigator“), welcher die Namen der Teilnehmer*innen und Teilnehmer*innencodes auf einen spezifischen „subject log“ überträgt.

Während des Camps wurden die CGM-Daten über die Dexcom-Software (Dexcom Clarity) veranschaulicht. Außerdem wurde für die Campdauer die innovative Applikation „CampViews“ zur Verfügung gestellt. CampViews™ EMR ist eine mobile Applikation für iOS- und Android-Geräte, welche Diabetes-Camps mit einem Registrierungssystem versorgt, wodurch medizinische Campbetreuer*innen ein individuelles Profil des Campteilnehmers oder der Campteilnehmerin erstellen können mit allen notwendigen medizinischen Informationen. Mittels der Applikation soll es möglich sein, die Dexcom-CGM-Daten und Trends aller Dexcom-Gerätbenutzenden Campteilnehmer*innen in Echtzeit gleichzeitig als digitale

Aufzeichnung auf einem Bildschirm zur Übersicht zu haben. CampViews verändert die Art, wie Diabetescamps geführt werden, während es außerdem die Verwendung und Verschwendung von Papierunterlagen eliminiert und die Arbeitsbelastung vor, während und nach dem Camp reduziert. Durch die erhöhte Effizienz und den problemlosen Zugang zu den medizinischen Daten können alle Betreuer*innen in Echtzeit informiert bleiben. Die Software von CampViews wurde dazu entwickelt, um eine sichere Umgebung für Campteilnehmer*innen, Betreuer*innen und das medizinische Team herzustellen, indem man die Möglichkeit hat, alle notwendigen Informationen über eine Applikation überall und anwenderfern in Echtzeit einsehen zu können.

3.1.2. Studiendauer

Die Dauer der Studie und damit der CGM-Datensammlung betrug drei Wochen. Dabei wurde jede Woche in eine Phase eingeteilt und folgendermaßen bezeichnet:

- Woche 1: Heimphase 1: Woche vor Campstart
- Woche 2: Abenteuercampphase (von 30. Juli bis 6. August 2023)
- Woche 3: Heimphase 2: Woche nach dem Camp

3.1.3. Datensammlung

Die CGM-Daten wurden nach Beendigung der Woche 3 (Studienende) von der entsprechenden Software (Dexcom Clarity) des genutzten CGM-Sensors heruntergeladen. Für die Analyse wurden die Daten vollständig anonymisiert. Die Datensammlung und -analyse fand indirekt personenbezogen statt, nach kontinuierlicher Zuweisung einer individuellen Teilnehmer*innenummer zu jedem*r Studienteilnehmer*in, welche nur von dem*der Studienleiter*in dekodiert werden kann.

3.1.4. Einschlusskriterien

Von den 17 Jugendlichen, die am „Diabär“-Abenteuercamp teilnahmen, wurden jene Jugendlichen in die Studie eingeschlossen, die nach Studienaufklärung eine unterschriebene Einwilligungserklärung der Jugendlichen beziehungsweise der

Eltern oder Bevollmächtigten, sowie verfügbare und ausreichende CGM-Daten (≥ 70 % Datenverfügbarkeit) in jeder Phase der Studie vorliegen hatten.

3.1.5. Ausschlusskriterien

Zu den vorab definierten Ausschlusskriterien gehörten Teilnehmer*innen, die eine CGM-Datenverfügbarkeit von ≥ 70 % in jeder Studienphase nicht erreichten, sowie das Ablehnen oder Zurückziehen der Einverständniserklärung.

3.1.6. Parameter und relevante Informationen erhoben im Rahmen der CRF

- Alter
- Geschlecht
- Diabetesdauer
- Insulintherapie (Pumpe/AID-Therapie oder Pen-Therapie) und Insulindosis
- aktuell genutztes CGM-Sensor-System
- GMI (Glukose-Management-Indikator; ausgehend von den Sensorberichten)
- Begleitende/Zusätzliche Medikation
- Medizinische Vorgeschichte
- Körpergröße (m) und Gewicht (kg)

3.2. Zielsetzung und Einschränkungen/Abgrenzungen

Das primäre Ziel der Studie war, zu untersuchen, ob die Teilnahme an einem Abenteuer camp für Kinder und Jugendliche mit T1D sicher ist. Dafür wurden die gesammelten Glukosewerte der CGM-Systeme herangezogen und die Daten der Campwoche jeweils mit den Daten der vorangegangenen und der darauffolgenden Woche verglichen. Es wurde untersucht, ob das Risiko für Hyper- und Hypoglykämien während des einwöchigen Abenteuer camps sich von den Kontrollzeiträumen eine Woche vor und nach dem Camp unterscheidet.

3.2.1. Primäre Co-Endpunkte

Die primären Endpunkte sind die Unterschiede der glykämischen:

- Zeit unter dem Zielbereich (Time below range; TBR) Level 1 bestimmt mittels CGM (54-69 mg/dL als Level 1 Hypoglykämie) während des einwöchigen Abenteuer camps im Vergleich zur Woche davor und danach
- TBR (Level 2 Hypoglykämie; < 54 mg/dL) während des einwöchigen Abenteuer camps im Vergleich zur Woche davor und danach bestimmt mittels CGM
- Zeit über dem Zielbereich (time above range; TAR) Level 1 bestimmt mittels CGM (181-250 mg/dL) während des einwöchigen Abenteuer camps im Vergleich zur Woche davor und danach
- TAR Level 2 bestimmt mittels CGM (> 250 mg/dL) während des einwöchigen Abenteuer camps im Vergleich zur Woche davor und danach

3.2.2. Sekundäre Endpunkte

Die sekundären Endpunkte beinhalten:

- Den Unterschied der glykämischen Zeit im Zielbereich (70-180 mg/dL) während des einwöchigen Abenteuer camps im Vergleich zur Woche davor und danach, bestimmt mittels CGM.
- Den Unterschied der glykämischen Variabilität (in %) während des einwöchigen Abenteuer camps im Vergleich zur Woche davor und danach, ermittelt durch CGM. Für die Beschreibung der glykämischen Variabilität wurde der Variationskoeffizient (CV), welcher berechnet wird, indem die Standardabweichung durch den mittleren Glukosewert geteilt wird und das Ergebnis anschließend mit 100 multipliziert wird, herangezogen. Die glykämische Variabilität ist ein Maß für Glukoseschwankungen und bildet Hyper- als auch Hypoglykämien ab. Es wird ab einem Wert von CV < 36 % von stabilen und bei CV ≥ 36 % von zu stark schwankenden Glukosewerten gesprochen. (9)
- Den Unterschied des durchschnittlichen Blutzuckers (in mg/dL) und des geschätzten HbA1c (in %) während des einwöchigen Abenteuer camps im

Vergleich zur Woche davor und danach bestimmt mittels CGM.

Der geschätzte HbA1c (eA1c; GMI) kann mittels einer Formel und den durchschnittlichen Glukosewerten des CGM-Systems in etwa der letzten 48 Tage (herangezogener Messdatenbereich von 13 bis 89 Tagen reichend) in der entsprechend angewandten Applikation, in diesem Fall Dexcom, berechnet werden. Je mehr Messungen für die Berechnung zur Verfügung stehen, desto genauer wird die Schätzung. Jedoch kann der geschätzte HbA1c-Wert nicht den im Labor ausgewerteten HbA1c-Wert ersetzen. (23)

- Den Unterschied in der Sensordatenverfügbarkeit (in %) während des einwöchigen Abenteuerlags im Vergleich zur Woche davor und danach bestimmt mittels CGM. Die Sensordatenverfügbarkeit stellte nicht nur einen der sekundären Endpunkte dar, sondern bildete auch ein Einschlusskriterium. Jede*r Studienteilnehmer*in musste in jeder Studienphase mindestens 70 % an Datenverfügbarkeit erreichen. Für die Abgrenzung der einzelnen Studienabschnitte in die entsprechenden Wochenzeiträume wurde als zeitlicher Grenzwert jeweils Sonntag um 8:00 Uhr gewählt.
- Die Unterschiede der TIR (70–180 mg/dL), TAR (> 180 mg/dL) und TBR (< 70 mg/dL) am Tag (8:00 bis 22:00) und in der Nacht (22:00 bis 8:00) während des einwöchigen Abenteuerlags im Vergleich zur Woche davor und danach bestimmt mittels CGM
- Die Unterschiede der glykämischen Kontrolle in Abhängigkeit von der Insulinapplikationsart während des einwöchigen Abenteuerlags im Vergleich zur Woche davor und danach, bestimmt mittels CGM
- Die Unterschiede der glykämischen Kontrolle in Abhängigkeit vom Aktivitätslevel der Jugendlichen innerhalb der Abenteuerlag-Woche („high-activity“- und „low-activity“-Gruppe). Für die Auswertung der glykämischen Kontrolle wurden zwei Gruppen gebildet: die „high-activity“-Gruppe, in welche die Tage zugeordnet wurden, bei denen die durchschnittliche tägliche physische Aktivität der Teilnehmer*innen bei über einer Stunde lag, und die „low-activity“-Gruppe, die Tage mit einer durchschnittlichen täglichen physischen Aktivität der Jugendlichen von

unter einer Stunde beinhaltete. (24)

Als Tageszeitraum wurden die Glukosewerte von 8:00 bis 8:00 Uhr des nächsten Tages festgelegt. Für die Beurteilung der glykämischen Kontrolle wurde die TIR, im Rahmen von 70 bis 180 mg/dL, herangezogen.

Die physische Aktivität während des Abenteuer camps variierte je nach Aktivitätsprogramm des Camptages, welches maßgeblich vom Wetter beeinflusst wurde. In die „high-activity“-Gruppe fielen die Tage 2 bis 6 des Abenteuer camps. Die Tage 1 und 7 wurden zur „low-activity“-Gruppe gezählt.

- Die Untersuchung der Anwendbarkeit der zur Verfügung gestellten mobilen Applikation (Campviews) während des „Diabär“-Abenteuer camps 2023, welches dazu entwickelt wurde, CGM-Daten größerer Gruppen von registrierten Teilnehmern*innen in Echtzeit zu veranschaulichen. Das Ziel von Campviews ist es, eine sichere Camperfahrung für alle Teilnehmer*innen zu schaffen und die Arbeit der Betreuer*innen zu erleichtern, indem alle wichtigen medizinischen Informationen aller Jugendlichen in einer App zu finden sind und die aktuellen Blutzuckerwerte über die Dexcom G7 Sensoren jedes*r Teilnehmer*in zeitgleich auf der Campviews-App ersichtlich sind.

3.3.Hypothesen

Nullhypothese: ein einwöchiges Abenteuer camp führt bei Jugendlichen mit T1D nicht zu einem Anstieg in mittels CGM untersuchten klinisch relevanten hyper- und hypoglykämischen Episoden.

Alternativ-Hypothese: ein einwöchiges Abenteuer camp führt bei Jugendlichen mit T1D zu einem Anstieg in mittels CGM untersuchten klinisch relevanten hyper- und hypoglykämischen Episoden.

3.4. Ethische Aspekte und Informed Consent

Die Studie wurde in Übereinstimmung mit den in der Deklaration von Helsinki festgelegten ethischen Standards, GCP-ICH und gemäß dem Protokoll und den Voraussetzungen der betroffenen Kontrollbehörden durchgeführt. Die vorgenommenen Messungen waren nicht invasiv. Die CGM-Systeme, welche die Daten für die spezifischen Endpunkte liefern, werden alltäglich genutzt und nicht ausschließlich aus Studiengründen angewendet.

Im Rahmen der Studie und dieser Diplomarbeit wurde durch die Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz ein positives Ethikvotum (EK-Nummer: 35-330ex22/23) ausgestellt. Die Studie wurde von der Medizinischen Universität Graz gesponsort und hat keine alternative Finanzierung erhalten. Die Sensoren wurden von der Firma Dexcom gratis zu Verfügung gestellt.

Vor Beginn jeglicher studienbezogenen Aktivitäten wurden den Studienteilnehmer*innen, sowie deren Eltern (oder Bevollmächtigten) verbal und schriftlich die Informationen über das Verfahren auf eine für den*die Teilnehmer*in verständliche Weise vermittelt. Eine freiwillige, signierte und persönlich datierte Einverständniserklärung wurde von allen Studienteilnehmer*innen und deren Eltern (oder Bevollmächtigten) vor jeglicher studienbezogenen Aktivität eingeholt. Die Verantwortung zur Einholung der Einverständniserklärung verblieb bei dem medizinisch qualifizierten Personal (Schulung nach GCP). Die schriftliche Einverständniserklärung wurde außerdem von der Person, welche die Einverständniserklärung eingeholt hatte, signiert und persönlich datiert. Weiters erhielten die Teilnehmer*innen und deren Eltern (oder Bevollmächtigten) eine Kopie des signierten und datierten Dokuments.

3.5. Statistik

3.5.1. Datenanalyse

Die Analyse der Daten erfolgte mittels der SPSS-Software (IBM SPSS Statistik, Version 26). Die CGM-Daten wurden von einer bestimmten CGM-Software,

Dexcom Clarity, retrospektiv heruntergeladen. Alle Analysen wurden separat für jede Studienphase und jeden Jugendlichen ausgeführt.

Die CGM-Daten (time in range, time below range, time above range), die den geplanten Zeitrahmen (Woche vor und nach dem Camp, sowie während des Camps) umfassten, wurden aus der CGM-Software extrahiert und in eine Excel-Arbeitsmappe beziehungsweise zur statistischen Analyse in SPSS transferiert. Zur Beschreibung der Charakteristika der Studienteilnehmer*innen wurde deskriptive Statistik mit Mittelwert (SD) und Median (IQR) verwendet. Kategorische Daten wurden mit dem Chi-Quadrat-Test und dem Fisher-Test verglichen. Kontinuierliche Daten wurden mittels Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung geprüft. Bei Vorliegen einer Normalverteilung werden die Daten zum Vergleich der einzelnen Testphasen mittels einer einfachen ANOVA mit Messwiederholung verglichen. Wenn keine Normalverteilung angenommen werden konnte, wurde als nicht-parametrischer Test zum Vergleich der metrischen Daten der Friedman-Test durchgeführt. Für den Vergleich von zwei abhängigen Variablen wurde bei Vorliegen einer Normalverteilung der t-Test für verbundene Stichproben und, wenn keine Normalverteilung angenommen werden konnte, der Wilcoxon-Test durchgeführt. Die graphischen Darstellungen wurden mittels Excel erstellt. Eine statistische Signifikanz wurde bei $p < 0,05$ akzeptiert.

4. Ergebnisse

Von den 17 Jugendlichen, die am Abenteuercamp teilnahmen, konnten 14 in die Studie eingeschlossen werden. Drei Jugendliche wurden vor der Datenanalyse von der Studie ausgeschlossen:

- ein*e Teilnehmer*in aufgrund von Ablehnung der Einwilligungserklärung,
- die anderen Teilnehmer*innen aufgrund von unzureichender Datenverfügbarkeit.

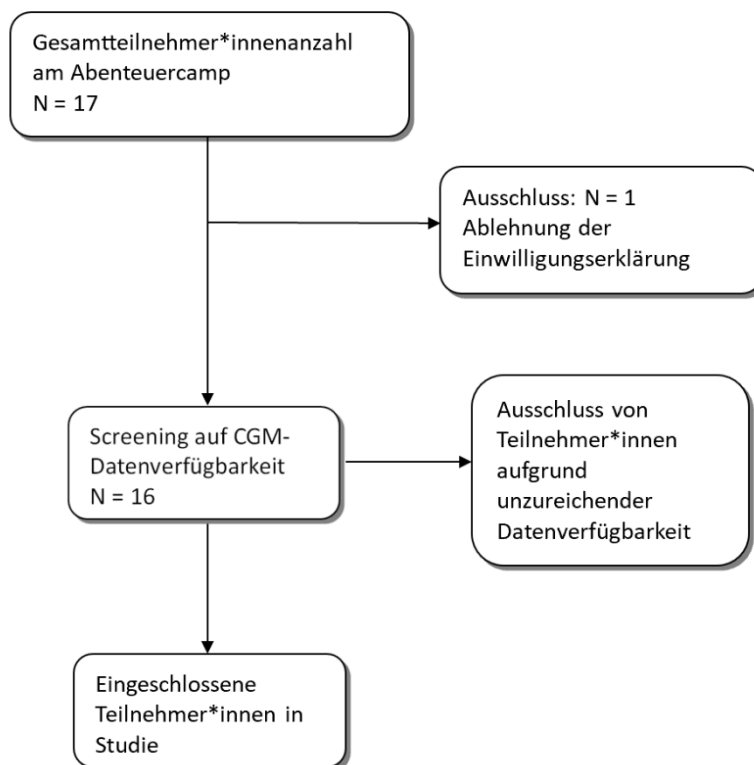


Abbildung 4: Flussdiagramm der Studienteilnehmer*innen.

4.1. Baseline-Charakteristika

Von den 14 Studienteilnehmer*innen hatten 3 eine MDI (multiple daily injections) Therapie, 5 eine AID (automated insulin delivery) Therapie und 6 eine CSII (kontinuierliche subkutane Insulin-Infusion) Therapie. Das Durchschnittsalter betrug 13,4 ($\pm 1,6$) Jahre. Acht der 14 Jugendlichen waren Jungen, sechs waren Mädchen. Die durchschnittliche Dauer der Diabeteserkrankung der Jugendlichen

lag bei 6,4 (\pm 4,4) Jahren, sowie einem glykierten Hämoglobin (HbA1c) von 7,5 % (\pm 0,9) beziehungsweise 59 (\pm 9,2) mmol/mol.

Baseline Characteristics	All
N	14
form of therapy:	
MDI	21% (3/14)
AID	36% (5/14)
CSII	43% (6/14)
Age (a)	13,14 +/- 1,6
Sex (male/female)	8=m/6=f
Diabetes duration (a)	6,4 +/- 4,4
HbA1C (%)	7,5 +/- 0,9
HbA1C (mmol/mol)	58,6 +/- 9,2

Tabelle 1: Baselinecharakteristika der Studienteilnehmer*innen.

4.2. Primäre Co-Endpunkte

4.2.1. Hypoglykämien (TBR1 und TBR2)

Vor dem Camp lag der Mittelwert der TBR Level 1 (54-69 mg/dL) bei 1,33 % \pm 1,18. Während des Camps wurde eine durchschnittliche TBR Level 1 von 2,53 % \pm 1,68 und die Woche nach dem Camp von 2,01 % \pm 1,21 erreicht.

Die Mittelwerte der TBR Level 2 betragen vor dem Camp 0,49 % \pm 0,80, während des Camps 0,64 % \pm 0,49 und nach dem Camp 0,58 % \pm 0,68.

Während des Camps kam es zu keinen schweren Hypoglykämien, keinen Ketoazidosen oder anderen relevanten interkurrenten Erkrankungen mit Notwendigkeit einer Therapie im Krankenhaus.

Im paarweisen Vergleich der TBR1 der einzelnen Studienphasen wiesen die Testphase vor und nach dem Camp ($p = 0,228$), sowie die Phase während und nach dem Camp ($p = 0,526$) keinen signifikanten Unterschied auf. Zwischen der Testphase vor und während des Camps ($p = 0,031$) zeigte sich jedoch ein statistisch signifikanter Effekt. Es ergab sich eine Effektstärke von $f = 0,63$, was einem starken Effekt entspricht.

Die Ergebnisse der TBR Level 2 unterschieden sich zwischen den drei Studienphasen nicht signifikant mit einem $p = 0,076$. Die Werte lagen hierbei über

der festgelegten Grenze für das Signifikanzniveau von $p < 0,05$ und die Nullhypothese wird beibehalten.

	Statistiken								
	Mittelwert	Median	Std.- Abweichung	Varianz	Minimum	Maximum	Perzentile		
							25	50	75
Mittelwerte der TbR < 54 mg/dl vor dem Camp in %	,4886	,1800	,80141	,642	,00	2,69	,0000	,1800	,5525
Mittelwerte der TbR < 54 mg/dl während des Camps in %	,6443	,7150	,48586	,236	,00	1,62	,1900	,7150	,9150
Mittelwerte der TbR < 54 mg/dl nach dem Camp in %	,5800	,4000	,67670	,458	,00	2,47	,0375	,4000	,9175
Mittelwerte der TbR Level 1 vor dem Camp in %	1,3329	1,0050	1,18462	1,403	,00	3,49	,2475	1,0050	2,3775
Mittelwerte der TbR Level 1 während des Camps in %	2,5321	2,0450	1,68329	2,833	,26	5,84	1,1575	2,0450	3,8700
Mittelwerte der TbR Level 1 nach dem Camp in %	2,0114	1,9950	1,21317	1,472	,15	4,12	,9750	1,9950	3,1375

Tabelle 2: Deskriptive Statistik der Mittelwerte von TBR für Level 1 und Level 2 vor, während und nach dem Camp in Prozent.

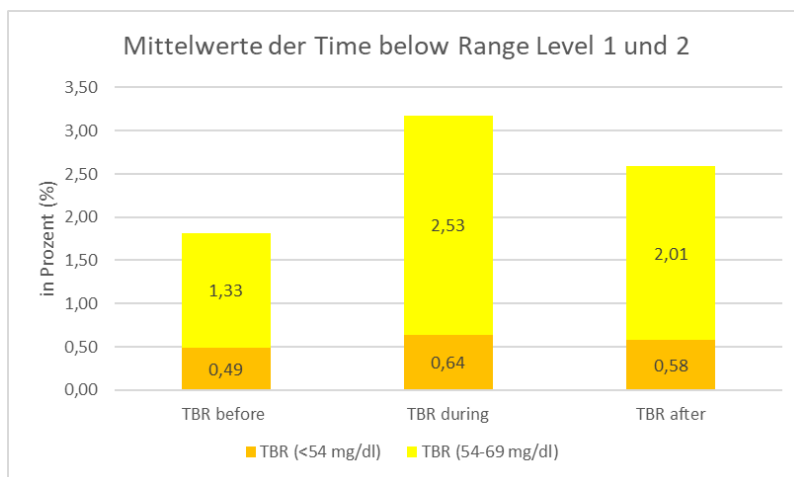


Abbildung 5: Mittelwerte der TBR vor, während und nach dem Camp bei unter 70 bis 54 mg/dL und unter 54 mg/dL.

4.2.2. Hyperglykämien (TAR1 und TAR2)

Als durchschnittliche TAR Level 1 (über 180–250 mg/dL) wurden vor dem Camp 22,36 % \pm 6,11, während des Camps 18,27 % \pm 6,28 und nach dem Camp 22,93 % \pm 4,62 erreicht. Die Mittelwerte der TAR über 250 mg/dL lagen vor dem Camp bei 22,70 % \pm 16,45, während des Camps bei 8,16 % \pm 6,20 und nach dem Camp bei 16,82 % \pm 11,93.

Die paarweisen Vergleiche zwischen den Studienwochen zeigten, dass sowohl bei der TAR Level 1 vor dem Camp im Vergleich zu nach dem Camp ($p = 1,000$) als auch vor dem Camp im Vergleich zu während des Camps ($p = 0,158$) kein statistisch signifikanter Effekt vorliegt. Im Vergleich der TAR Level 1 der Campwoche zur Woche 3 lag $p < 0,05$ ($p = 0,009$), sodass ein statistisch signifikanter Unterschied ergibt. Dabei war die Effektstärke $f = 0,62$, was einem starken Effekt entsprach.

Bei der TAR Level 2 ließ sich ein $p = 0,011$ erheben und die Nullhypothese konnte damit abgelehnt werden. In den konsekutiv durchgeführten Post-hoc-Tests (Dunn-Bonferroni-Tests) zeigte sich, bei paarweisem Vergleich der TAR Level 2 der einzelnen Testphasen, dass vor dem Camp im Vergleich zu während des Camps eine statistische Signifikanz ($p = 0,014$) akzeptiert werden konnte. Der r -Wert ergab hierbei $0,29$, was einem schwachen Effekt entsprach. Im Vergleich der anderen Studienphasen zueinander, dem Vergleich der Studienwoche 1 zu 3 ($p = 1,000$) und Campwoche zu Woche 3 ($p = 0,07$) konnte die Nullhypothese nicht verworfen werden. Es lagen daher keine signifikanten Unterschiede vor.

	Statistiken								
	Mittelwert	Std- Abweichung	Varianz	Spannweite	Minimum	Maximum	Perzentile		
							25	50	75
Mittelwerte der TaR > 180-250 mg/dl vor dem Camp in %	22,3579	6,11105	37,345	24,45	10,32	34,77	19,3150	23,0550	24,1900
Mittelwerte der TaR > 180-250 mg/dl während des Camps in %	18,2700	6,28408	39,490	18,65	10,93	29,58	11,7675	17,5950	22,6225
Mittelwerte der TaR > 180-250 mg/dl nach dem Camp in %	22,9336	4,61808	21,327	15,89	13,60	29,49	19,8150	23,6550	26,7350
Mittelwerte der TaR > 250 mg/dl vor dem Camp in %	22,7036	16,44818	270,543	46,38	4,12	50,50	6,7375	22,7650	37,8275
Mittelwerte der TaR > 250 mg/dl während des Camps in %	8,1650	6,19993	38,439	25,51	1,44	26,95	5,0925	7,2600	9,9275
Mittelwerte der TaR > 250 mg/dl nach dem Camp in %	16,8214	11,92544	142,216	39,25	1,96	41,21	6,2400	13,0900	29,1175

Tabelle 3: Deskriptive Statistik der Mittelwerte der TAR von Level 1 und Level 2 vor, während und nach dem Camp in Prozent.

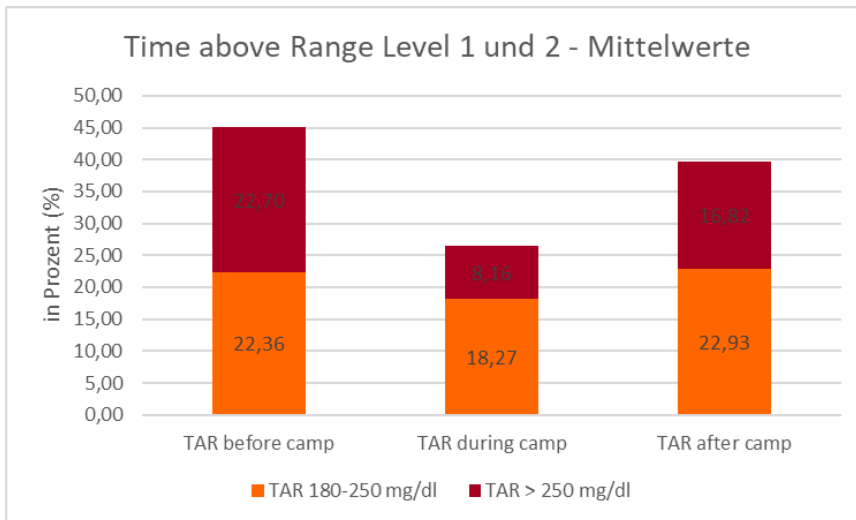


Abbildung 6: Mittelwerte der TAR vor, während und nach dem Camp bei über 180 bis 250 mg/dL und über 250 mg/dL.

4.3. Sekundäre Endpunkte

4.3.1. TIR vor, während und nach dem Camp

	N	Statistiken								
		Gültig	Mittelwert	Median	Std.- Abweichung	Varianz	Minimum	Maximum	Perzentile	
								25	50	75
TIR vor dem Camp	14	53,1200	51,2550	20,23452	409,436	25,01	84,08	34,2350	51,2550	70,6550
TIR während des Camps	14	70,3914	72,7150	11,08652	122,911	43,02	85,15	65,2700	72,7150	76,9650
TIR nach dem Camp	14	57,6529	57,1600	12,80069	163,858	35,84	79,74	49,0575	57,1600	69,9200

Tabelle 4: Deskriptive Statistik der Mittelwerte der TIR vor, während und nach dem Camp in Prozent.

Die durchschnittliche TIR (70–180 mg/dL) betrug vor dem Camp 53,12 % ± 20,23. Während des Camps lag sie bei 70,39 % ± 11,08 und nach dem Camp sank der Wert auf 57,65 % ± 12,80.

Die Ergebnisse unterschieden sich zwischen den Messzeitpunkten signifikant. Es zeigte sich ein statistisch signifikanter Effekt zwischen der Woche vor und während des Camps ($p = 0,013$) sowie während und nach dem Camp ($p = 0,021$). Dabei ergab sich ein $f = 0,83$, was einem starken Effekt entsprach.

Zwischen der Campwoche 1 und 3 konnten jedoch mit $p > 0,05$ keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

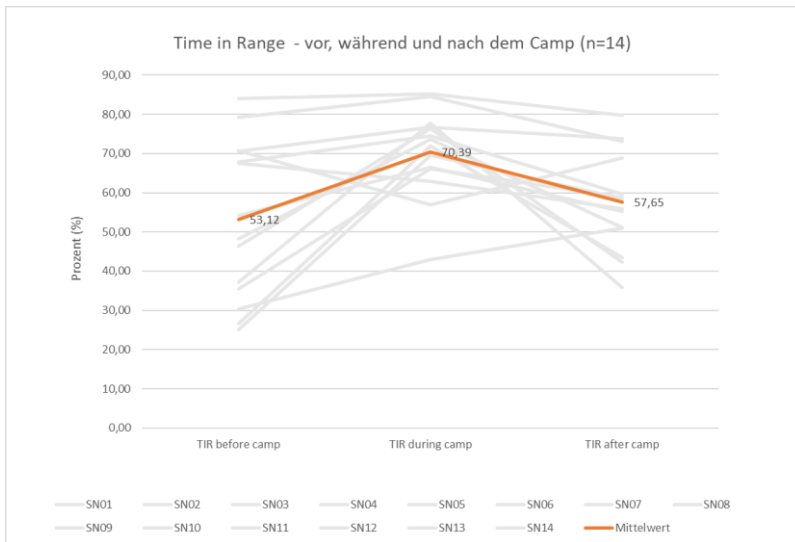


Abbildung 7: Time in range (70–180 mg/dL) vor, während und nach dem Camp.

4.3.2. Glykämische Variabilität

Die durchschnittliche Glukosevariabilität lag vor dem Camp bei 40,13 %. Während des Camps wurde ein Wert von 38,17 % erreicht. Nach dem Camp betrug der Variationskoeffizient 39,75 %.

	Statistiken										
	N		Mittelwert	Median	Std.- Abweichung	Varianz	Minimum	Maximum	Perzentile		
Gültig	Fehlend	25							50	75	
Glykämische Variabilität vor dem Camp in %	14	0	40,1321	38,8600	5,26694	27,741	33,09	50,50	36,6175	38,8600	43,4125
Glykämische Variabilität während des Camps in %	14	0	38,1693	38,3250	4,45930	19,885	30,72	47,89	35,1100	38,3250	41,0225
Glykämische Variabilität nach dem Camp in %	14	0	39,7543	39,1650	4,35961	19,006	30,39	49,76	37,5650	39,1650	42,6175

Tabelle 5: Deskriptive Statistik der glykämischen Variabilität vor, während und nach dem Camp.

In der statistischen Auswertung wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Testphasen aufgewiesen.

Die Ergebnisse ergaben folgende Signifikanzniveaus in Vergleich der einzelnen Studienphasen: Testphasen: Woche 1 – Woche 2: $p = 0,369$; Testphasen: Woche 2 – Woche 3: $p = 0,239$; Testphasen: Woche 1 – Woche 3: $p = 1,000$.

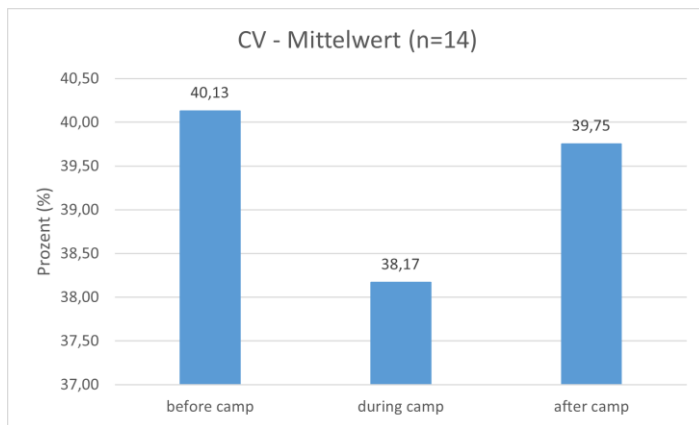


Abbildung 8: Mittelwerte des CV vor, während und nach dem Camp.

4.3.3. Durchschnittlicher Blutzucker und geschätzter HbA1c

Der Mittelwert der Glukose, ermittelt durch CGM, betrug in der Woche vor dem Camp 187,63 mg/dL \pm 40,69. Während des Camps lag der Wert im Durchschnitt bei 153,52 mg/dL \pm 17,65. In der Woche nach dem Camp entsprach der durchschnittliche Blutzucker 176,32 mg/dL \pm 27,79.

Die Ergebnisse unterscheiden sich zwischen den drei Messzeitpunkten mit $p = 0,032$.

Die konsekutiv durchgeführten Post-hoc-Tests (Dunn-Bonferroni-Tests) konnten keine signifikanten Unterschiede im paarweisen Vergleich der drei Messzeitpunkte feststellen. Es ergaben sich folgende Signifikanzniveaus: Studienphasen: Woche 1 – Woche 2: $p = 0,70$; Studienphasen: Woche 2 – Woche 3: $p = 0,70$; Studienphasen: Woche 1 – Woche 3: $p = 1,000$.

	Deskriptive Statistiken							
	N	Mittelwert	Std.- Abweichung	Minimum	Maximum	Perzentile		
						25.	50. (Median)	75.
Glukosemittelwert vor dem Camp	14	187,6257	40,68542	131,93	254,19	151,9275	188,7650	224,4100
Glukosemittelwert während des Camps	14	153,5221	17,65255	133,40	205,42	141,5725	152,6450	157,9825
Glukosemittelwert nach dem Camp	14	176,3164	27,79299	136,76	229,44	157,1625	170,9850	199,9725

Tabelle 6: Deskriptive Statistik des durchschnittlichen Blutzuckers vor, während und nach dem Camp.

In der Berechnung des Mittelwerts des geschätzten HbA1c vor dem Camp wurde ein Wert von 8,16 % \pm 1,42 errechnet. Während des Camps lag der

durchschnittliche geschätzte HbA1c bei 6,98 % ± 0,62 und nach dem Camp bei 7,77 % ± 0,97.

	Statistiken										
	N Gültig	Mittelwert	Median	Std.- Abweichung	Varianz	Spannweite	Minimum	Maximum	Perzentile		
									25	50	75
geschätzter HbA1c (%) vor dem Camp	14	8,1636	8,2050	1,41647	2,006	4,26	6,22	10,48	6,9250	8,2050	9,4450
geschätzter HbA1c (%) während des Camps	14	6,9757	6,9450	,61370	,377	2,50	6,28	8,78	6,5625	6,9450	7,1325
geschätzter HbA1c (%) nach dem Camp	14	7,7707	7,5850	,96736	,936	3,23	6,39	9,62	7,1050	7,5850	8,5925

Tabelle 7: Deskriptive Statistik des geschätzten HbA1c vor, während und nach dem Camp in Prozent.

Die jeweiligen Testphasen unterscheiden sich mit $p = 0,032$. Im paarweisen Vergleich durch die konsekutiv durchgeführten Post-hoc-Tests (Dunn-Bonferroni-Tests) konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Messzeitpunkten feststellen. Es ergaben sich folgende Signifikanzniveaus: Studienphasen: Woche 1 – Woche 2: $p = 0,70$; Studienphasen: Woche 2 – Woche 3: $p = 0,70$; Studienphasen: Woche 1 – Woche 3: $p = 1,000$.

4.3.4. Sensordatenverfügbarkeit

Abgesehen von einem* einer Teilnehmer*in, welcher in der Abenteuercampwoche nicht die 70 % Datenverfügbarkeit erreichte, erzielten alle Studienteilnehmer*innen in jeder Phase über 70 % Datenverfügbarkeit und damit das Einschlusskriterium für die Studie. Die durchschnittliche Sensordatenverfügbarkeit lag vor dem Camp bei 91,8 %, während des Camps bei 93,6 % und nach dem Camp bei 98,0 %.

	Statistiken									
	N Gültig	Mittelwert	Median	Modus	Std.- Abweichung	Varianz	Perzentile			
							25	50	75	
Sensordatenverfügbarkeit vor dem Camp (%)	14	91,7929	95,8500	72,00 ^a	10,16771	103,382	84,4250	95,8500	99,1750	
Sensordatenverfügbarkeit während des Camps (%)	14	93,5714	98,1000	100,00	14,68916	215,771	94,8500	98,1000	99,9250	
Sensordatenverfügbarkeit nach dem Camp (%)	14	97,9929	99,4500	99,90 ^a	3,57200	12,759	97,8000	99,4500	99,9000	

a. Mehrere Modi vorhanden. Der kleinste Wert wird angezeigt.

Tabelle 8: Deskriptive Statistik der Sensordatenverfügbarkeit der Teilnehmer*innen vor, während und nach dem Camp.

Der paarweise Vergleich der einzelnen Testphasen ergab keine signifikanten Unterschiede. Die Ergebnisse wiesen folgende Signifikanzniveaus auf:

Testphasen: Woche 1 – Woche 2: $p = 1,000$; Testphasen: Woche 2 – Woche 3: $p = 0,927$; Testphasen: Woche 1 – Woche 3: $p = 0,182$.

4.3.5. Vergleich der glykämischen Kontrolle tagsüber und nachts

Tagsüber wurde vor dem Camp ein Mittelwert der TIR von $49,08\% \pm 19,11$, der TBR von $1,66\% \pm 1,89$ und der TAR von $49,27\% \pm 19,58$ erreicht. Während des Camps lag die durchschnittliche TIR tagsüber bei $67,11\% \pm 11,67$, die TBR bei $2,74\% \pm 1,81$ und die TAR bei $30,15\% \pm 12,34$. Die Woche nach dem Camp entsprachen tagsüber die Mittelwerte der TIR $57,08\% \pm 11,91$, die der TBR $2,70\% \pm 2,03$ und der TAR $40,22\% \pm 13,20$.

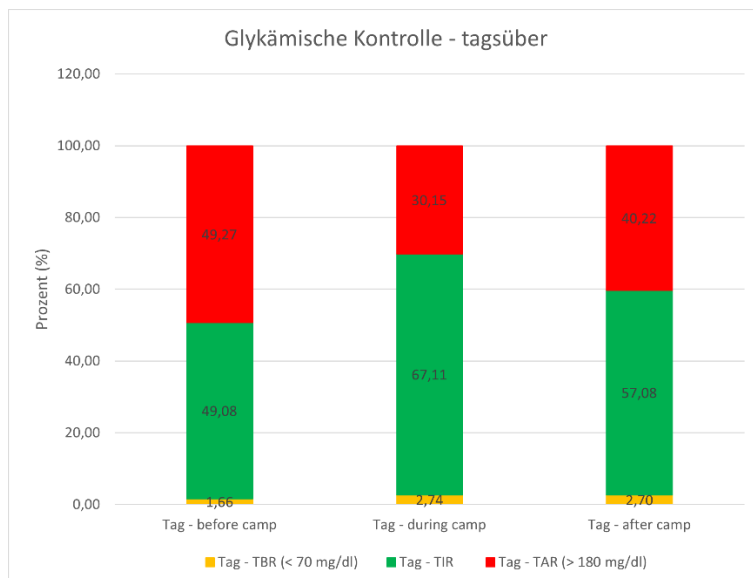


Abbildung 9: Glykämische Kontrolle tagsüber basierend auf den Mittelwerten der TIR, TBR (< 70 mg/dL) und TAR (>180 mg/dL).

Die einzelnen Studienphasen der TAR tagsüber wurden paarweise verglichen. Es zeigte sich, dass ein statistisch signifikanter Effekt zwischen der Woche vor dem Camp und der Campwoche ($p = 0,006$) vorliegt. Dabei war $f = 0,87$, was einem starken Effekt entsprach.

Zwischen den anderen Messzeiträumen, Studienphase 1 und 3 ($p = 0,069$), sowie Studienphase 2 und 3 ($p = 0,121$), stellten sich keine signifikanten Unterschiede dar.

Die Werte der TIR tagsüber zeigten im paarweisen Vergleich der Testphasen hierbei, dass in der Woche 1 und der Campwoche ein statistisch signifikanter Effekt ($p = 0,008$) besteht. Bei der Berechnung der Effektstärke ergab sich $f = 0,85$, was einem starken Effekt entsprach. Die Ergebnisse wiesen darauf hin, dass zwischen den anderen zwei der drei Messzeiträume, zwischen der Woche 1 und 3 ($p = 0,104$), sowie der Campwoche und der Woche 3 ($p = 0,094$), keine signifikanten Unterschiede existierten.

Die Ergebnisse der TBR tagsüber zeigten, dass keine signifikanten Unterschiede ($p = 0,071$) zwischen den Messwiederholungen vorlagen.

Deskriptive Statistik - Vergleich der glykämischen Kontrolle tagsüber

	Mittelwert	Median	Std.- Abweichung	Varianz	Spannweite	Minimum	Maximum	Perzentile		
								25	50	75
TaR tagsüber vor dem Camp (%)	49,2643	44,7350	19,57741	383,275	56,49	19,18	75,67	35,0225	44,7350	68,1100
TaR tagsüber während des Camps (%)	30,1443	31,1700	12,33593	152,175	43,52	14,80	58,32	20,2750	31,1700	34,0150
TaR tagsüber nach dem Camp (%)	40,2236	39,9900	13,19914	174,217	44,13	20,60	64,73	29,0900	39,9900	47,4875
TIR tagsüber vor dem Camp (%)	49,0779	50,4650	19,10565	365,026	55,04	24,33	79,37	31,2150	50,4650	64,4100
TIR tagsüber während des Camps (%)	67,1100	67,7100	11,66677	136,114	39,66	41,68	81,34	61,6975	67,7100	75,9825
TIR tagsüber nach dem Camp (%)	57,0829	56,3600	11,91126	141,878	42,21	35,01	77,22	51,7675	56,3600	65,1125
TbR tagsüber vor dem Camp (%)	1,6579	1,1350	1,88446	3,551	6,79	,00	6,79	,2625	1,1350	2,5225
TbR tagsüber während des Camps (%)	2,7436	2,6100	1,80872	3,271	5,71	,00	5,71	1,4650	2,6100	4,2575
TbR tagsüber nach dem Camp (%)	2,6950	2,2500	2,03141	4,127	5,88	,20	6,08	,7550	2,2500	4,1050

Tabelle 9: Deskriptive Statistik der glykämischen Kontrolle (TAR, TIR, TBR) tagsüber im Vergleich vor, während und nach dem Camp in Prozent.

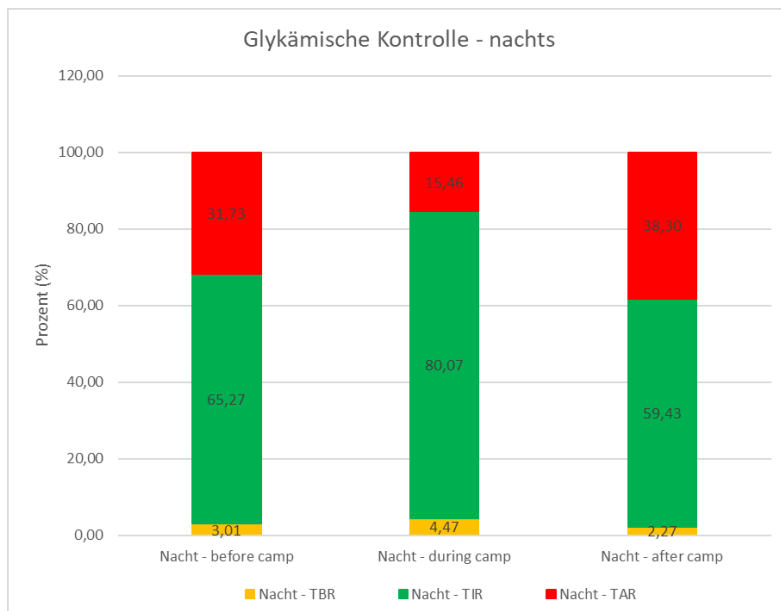


Abbildung 10: Glykämische Kontrolle nachts basierend auf den Mittelwerten der TIR, TBR (< 70 mg/dL) und TAR (>180 mg/dL).

Weitergehend zu den nächtlichen Mittelwerten vor dem Camp wurden für die TIR 65,27 % ± 24,42, für die TBR 3,01 % ± 6,16 und für die TAR 31,73 % ± 24,91 berechnet. Der durchschnittliche nächtliche Wert in der Abenteuercampwoche betrug für die TIR 80,07 % ± 15,52, für die TBR 4,47 % ± 4,41 und für die TAR 15,46 % ± 14,62. Die nächtlichen Werte der TIR nach dem Camp lagen bei 59,43 % ± 20,49, die der TBR bei 2,27 % ± 2,19 und die der TAR bei 38,30 % ± 19,91.

Deskriptive Statistik - Vergleich der glykämischen Kontrolle nachts

	Mittelwert	Median	Std.- Abweichung	Varianz	Spannweite	Minimum	Maximum	Perzentile		
								25	50	75
TaR nachts vor dem Camp (%)	31,7271	24,9650	24,91458	620,736	72,96	,00	72,96	9,6375	24,9650	53,5825
TaR nachts während des Camps (%)	15,4579	9,6700	14,61700	213,657	50,54	,40	50,94	5,4150	9,6700	20,9075
TaR nachts nach dem Camp (%)	38,3021	43,0550	19,90812	396,333	58,14	2,18	60,32	16,0500	43,0550	58,3800
TIR nachts vor dem Camp (%)	65,2650	68,6250	24,42494	596,578	71,36	27,04	98,40	44,5775	68,6250	88,7875
TIR nachts während des Camps (%)	80,0693	80,1800	15,51510	240,718	50,40	47,19	97,59	73,5700	80,1800	93,2000
TIR nachts nach dem Camp (%)	59,4279	53,2750	20,49152	419,903	57,94	37,50	95,44	40,9950	53,2750	83,3500
TbR nachts vor dem Camp (%)	3,0064	1,0900	6,16480	38,005	23,64	,00	23,64	,1500	1,0900	2,4725
TbR nachts während des Camps (%)	4,4729	2,6450	4,40585	19,412	13,12	,00	13,12	,8500	2,6450	8,5575
TbR nachts nach dem Camp (%)	2,2693	1,8850	2,18494	4,774	6,75	,00	6,75	,1500	1,8850	3,5200

Tabelle 10: Deskriptive Statistik der glykämischen Kontrolle (TAR, TIR, TBR) nachts im Vergleich vor, während und nach dem Camp in Prozent.

Die TAR nachts wies im Vergleich der verschiedenen Testphasen auf einen statistisch signifikanten Effekt ($p = 0,001$) hin. In den konsekutiv durchgeführten Post-hoc-Tests (Dunn-Bonferroni-Tests) zeigte sich im paarweisen Vergleich der Studienphasen der TAR nachts, dass die signifikanten Unterschiede zwischen der Woche 1 und 2 ($p = 0,014$) und in der Woche 2 und 3 ($p = 0,000$) zu finden waren. Die Effektstärke des paarweisen Vergleichs zwischen Studienwoche 1 und 2 lag bei $r = 0,25$ und damit bei einem schwachen Effekt. Im Vergleich der Studienwoche 2 und 3 ergab sich eine Effektstärke $r = 0,38$, was einem mittelstarken Effekt entsprach. Zwischen der Woche 1 und 3 ließen sich bei der TAR nachts keine signifikanten Unterschiede ($p = 0,186$) feststellen.

Die Ergebnisse der TIR nachts unterschieden sich zwischen den drei Zeiträumen ($p = 0,005$). Im Rahmen der konsekutiv durchgeführten Post-hoc-Tests stellte sich heraus, dass zwischen der Campwoche und der Woche nach dem Camp ein statistisch signifikanter Unterschied vorlag ($p = 0,004$). Dabei ergab $r = 0,32$, was mit einem mittelstarken Effekt gleichzusetzen ist. Die Werte zwischen der Woche 1 und 3 ($p = 0,176$) und zwischen der Woche 1 und der Campwoche ($p = 0,558$) unterschieden sich hingegen nicht signifikant.

Die Ergebnisse der TBR nachts zwischen den drei Messzeiträumen unterschieden sich nicht signifikant ($p = 0,191$).

4.3.6. Vergleich der Insulinapplikationsarten

Wie aus den Baseline-Charakteristika entnehmbar, wurden in die Studie drei Teilnehmer*innen mit MDI-Therapie, fünf mit CSII- und sechs mit AID-Systemen eingeschlossen. Die durchschnittliche TIR der Jugendlichen mit MDI-Therapie lag vor dem Camp bei 63,5 %, während des Camps bei 69,4 % und danach bei 69,1 %.

Deskriptive Statistiken - MDI^a

	N	Bereich	Minimum	Maximum	Mittelwert	Std.- Abweichung	Varianz
TIR vor dem Camp (%)	3	48,54	35,54	84,08	63,4800	25,08863	629,440
TIR während des Camps (%)	3	28,16	56,99	85,15	69,4000	14,37404	206,613
TIR nach dem Camp (%)	3	20,99	58,75	79,74	69,1233	10,49712	110,189

a. Insulinapplikationsart = MDI

Tabelle 11: Deskriptive Statistik der Teilnehmer*innen mit MDI als Therapieform im Vergleich vor, während und nach dem Camp.

Bei den Teilnehmern*innen mit den CSII-Systemen betrug die mittlere TIR vor dem Camp 41,7%, während des Camps 65,3% und nach dem Camp 50,5%.

Deskriptive Statistiken - CSII^a

	N	Bereich	Minimum	Maximum	Mittelwert	Std.- Abweichung	Varianz
TIR vor dem Camp (%)	5	42,46	25,01	67,47	41,6540	16,84574	283,779
TIR während des Camps (%)	5	34,62	43,02	77,64	65,3480	13,61498	185,368
TIR nach dem Camp (%)	5	22,58	35,84	58,42	50,4560	8,76717	76,863

a. Insulinapplikationsart = CSII

Tabelle 12: Deskriptive Statistik der Teilnehmer*innen mit CSII als Therapieform im Vergleich vor, während und nach dem Camp.

Im Vergleich dazu wurde bei den Jugendlichen der AID-Systeme im Durchschnitt eine TIR vor dem Camp von 57,5%, während des Camps von 75,1% und nach dem Camp von 57,9% ermittelt.

In dem paarweisen Vergleich der MDI- und CSII-Gruppe konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Messzeiträumen festgestellt werden. Es ergaben sich folgende Signifikanzniveaus für die MDI-Gruppe: TIR: Woche 1 – Campwoche: $p = 1,000$; TIR: Campwoche – Woche 3: $p = 1,000$, TIR: Woche 1 – Woche 3: $p = 1,000$. Die CSII-Gruppe zeigte folgende Signifikanzniveaus: TIR: Woche 1 – Campwoche: $p = 0,177$; TIR: Campwoche – Woche 3: $p = 0,441$, TIR: Woche 1 – Woche 3: $p = 1,000$.

Die TIR der AID-Gruppe wies Unterschiede zwischen den drei Messzeiträumen auf. Der paarweise Vergleich der Studienphasen zeigte, dass sich die Werte der TIR zwischen der Campwoche und der Woche 3 unterscheiden ($p = 0,047$). Dabei ergab $f = 0,75$, was einem starken Effekt gleichkäme. Zwischen den anderen Testphasen, TIR der Woche vor dem Camp zur Woche nach dem Camp ($p =$

1,000) und TIR der Woche vor dem Camp zur Campwoche ($p = 0,139$), lag kein statistisch signifikanter Effekt vor.

Deskriptive Statistiken - AID^a

	N	Bereich	Minimum	Maximum	Mittelwert	Std.- Abweichung	Varianz
TIR vor dem Camp (%)	6	52,58	26,66	79,24	57,4950	19,15459	366,898
TIR während des Camps (%)	6	18,17	66,45	84,62	75,0900	6,00925	36,111
TIR nach dem Camp (%)	6	31,59	42,26	73,85	57,9150	13,77109	189,643

a. Insulinapplikationsart = AID

Tabelle 13: Deskriptive Statistik der Teilnehmer*innen mit AID als Therapieform im Vergleich vor, während und nach dem Camp.

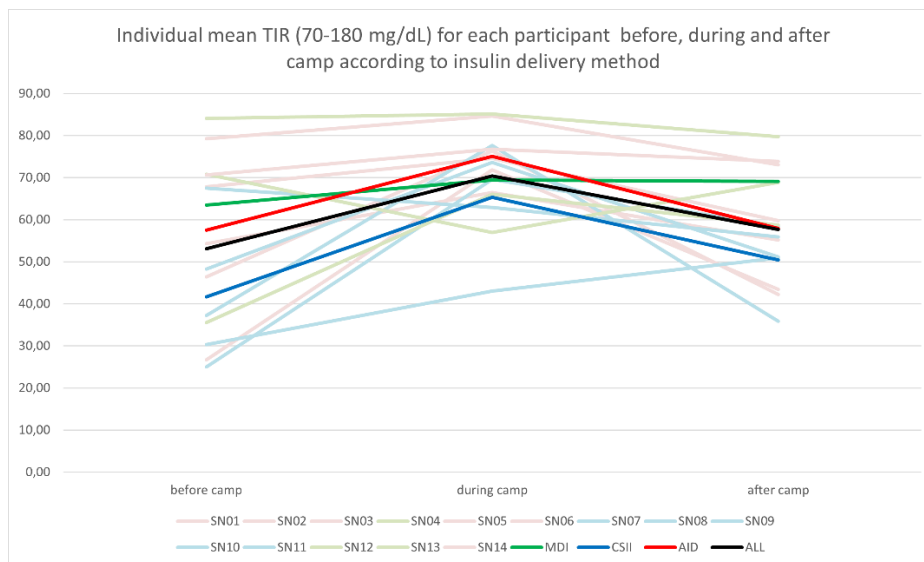


Abbildung 11: Individuelle mittlere TIR (70-180 mg/dL) von jedem* jeder Teilnehmenden vor, während und nach dem Camp bezogen auf die Methode der Insulinverabreichung.

Weiters wurde die durchschnittliche TIR einerseits aller Studienphasen gesamt, andererseits alleinig der Camp-Phase aller Studienteilnehmer*innen herangezogen, um zu überprüfen, ob abhängig von der Therapieform zwischen den durchschnittlichen TIR-Werten signifikante Unterschiede vorliegen.

Der paarweise Vergleich der durchschnittlichen TIR aller Studienphasen zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Therapieformen. Es ergaben sich hierbei folgende Signifikanzniveaus: TIR: MDI – CSII: $p = 0,299$; TIR: CSII – AID: $p = 0,408$, TIR: MDI – AID: $p = 1,000$.

Deskriptive Statistiken

Abhängige Variable: TIR_mean_gesamt

Insulinapplikationsart	Mittelwert	Standardabweichung	N
MDI	67,3344	14,84943	3
CSII	52,4860	7,88640	5
AID	63,5000	11,97133	6
Gesamt	60,3881	12,15740	14

Tabelle 14: Deskriptive Statistik der durchschnittlichen TIR (70-180 mg/dL) aller Studienphasen in Prozent.

Auch im paarweisen Vergleich der durchschnittlichen TIR in der Campwoche unterschieden sich die Ergebnisse zwischen den drei Therapieformen nicht. Es ergaben sich folgende Signifikanzniveaus: TIR: MDI – CSII: $p = 1,000$; TIR: CSII – AID: $p = 0,517$; TIR: MDI – AID: $p = 1,000$.

Deskriptive Statistiken

Abhängige Variable: TIR während des Camps (%)

Insulinapplikationsart	Mittelwert	Standardabweichung	N
MDI	69,4000	14,37404	3
CSII	65,3480	13,61498	5
AID	75,0900	6,00925	6
Gesamt	70,3914	11,08652	14

Tabelle 15: Deskriptive Statistik der durchschnittlichen TIR (70-180 mg/dL) während des Camps in Prozent.

4.3.7. Glykämische Kontrolle in Abhängigkeit vom Aktivitätslevel während der Abenteuerwoche

Der Mittelwert der TIR der „high-activity“-Tage ergab $71,14 \% \pm 5,12$, während der Mittelwert der TIR der Campstage, die in die „low-activity“-Gruppe fielen, bei $68,74 \% \pm 3,85$ lag.

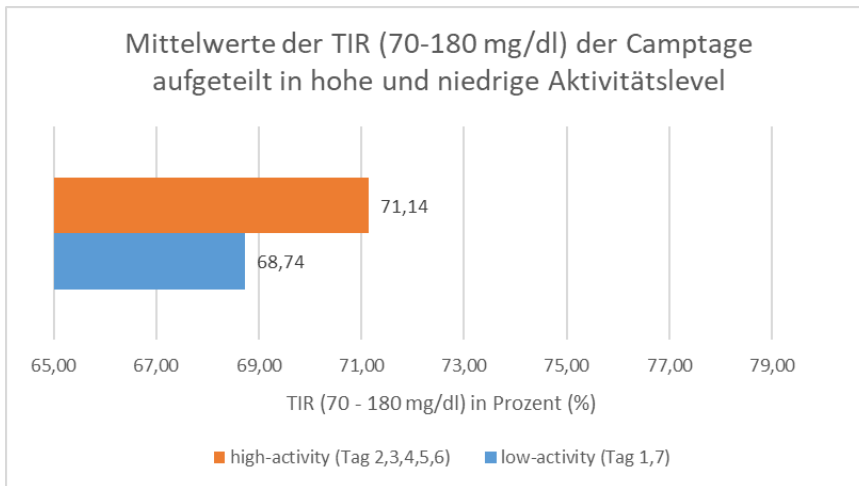


Abbildung 12: Darstellung der glykämischen Kontrolle der Tage mit unterschiedlichen Aktivitätsleveln mittels der Mittelwerte der TIR (70-180 mg/dL).

Die statistische Auswertung wies ein $p = 0,331$ auf, wodurch man eine Gleichheit der Ergebnisse und damit das Vorliegen von keinen signifikanten Unterschieden zwischen den Mittelwerten der „high-activity“ und der „low-activity“-Tage annehmen kann.

Deskriptive Statistik

low_acitivity_days_mean		N	Mittelwert	Median	Std.- Abweichung	Spannweite	Minimum	Maximum
Gültig	Fehlend							
14	0	69,3321	71,2500	13,24507	50,75	31,95	82,70	

Tabelle 16: Deskriptive Statistik der Tage mit niedriger körperlicher Aktivität der Studienteilnehmer*innen.

Deskriptive Statistik

high_acitivity_days_mean		N	Mittelwert	Median	Std.- Abweichung	Spannweite	Minimum	Maximum
Gültig	Fehlend							
14	0	72,1116	73,5900	12,51530	39,94	47,26	87,20	

Tabelle 17: Deskriptive Statistik der Tage mit hoher körperlicher Aktivität der Studienteilnehmer*innen.

4.3.8. Anwendbarkeit der mobilen Applikation Campviews

Während des Abenteuer Camps gelang es, bei 3 der 14 Sensoren der Studienteilnehmer*innen eine Verbindung zu Campviews aufzubauen. Das

Ausbleiben der restlichen Verbindungen der Teilnehmer*innen zu Campviews ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass für die Applikation eine WIFI oder eine Netzverbindung notwendig war. In unserer Unterkunft auf 1.760 Höhenmetern in den Bergen hatten wir eine sehr variable Netzverbindung und kein weitreichendes WIFI. Während unserer Abenteuer, zum Beispiel am Badensee, in der Therme oder bei Wanderungen, gingen die Verbindungen zwischen Campviews und Sensoren einerseits durch das fehlende WIFI und auf der anderen Seite durch Aktivitäten, die den Verbindungsaufbau erschweren, wie beispielsweise Schwimmen, offline. Außerdem ist aufgefallen, dass die wenigen Glukosewerte, die uns angezeigt wurden, mit einer Zeitverzögerung von etwa 30 Minuten zu den Dexcom-Sensoren auf der Campviews Applikation dargestellt werden, wodurch die Daten der Applikation nicht zur Korrektur der Glukosewerte herangezogen werden konnten.

5. Diskussion

Diese Studie belegte die glykämische Sicherheit eines Abenteuercamps für Jugendliche mit T1D, welches keinen expliziten Fokus auf Schulung legte, sondern den Teilnehmenden im Umgang bezüglich des Diabetesmanagements Sicherheit und Selbstständigkeit geben sollte. Sowohl die Diabeteseinstellung und der Umgang mit der eigenen Diabetestherapie, wie beispielsweise die Metaanalyse von Hasan et al. und die Studie von Nagl et al. zeigen, als auch die Lebensqualität und der soziale Zusammenhalt der Jugendlichen, wie Anarte et al. und Hasan et al. darlegten, können durch Campteilnahmen verbessert werden. (25,26,29)

Dennoch sind Kinder und Jugendliche mit T1D durch ihre Erkrankung und ihre Insulintherapie einem erhöhten Risiko für potenziell lebensbedrohliche Zustände, wie symptomatische Hypoglykämien, ausgesetzt. (21) Daher standen die Beurteilung der glykämischen Kontrolle, das individuelle Diabetesmanagement und vor allem die Sicherheit während eines solchen Camps im Vordergrund der Studie.

Die wichtigsten Ergebnisse der Studie zeigten, dass es während des Abenteuercamps zu keinem Anstieg von Hypoglykämien über die empfohlenen Grenzen laut Leitlinien (TBR Level 1 von $2,53 \% \pm 1,68$, TBR Level 2 von $0,64 \% \pm 0,49$) kam und dieses damit als sicher erachtet werden kann. (9) Die Analyse der TBR Level 1 und 2 der einzelnen Studienphasen veranschaulicht, dass, abgesehen von der TBR Level 1 im Vergleich der Woche 1 zur Campwoche ($p = 0,031$), keine statistisch signifikanten Unterschiede feststellbar sind. Es konnte eine statistisch signifikante Verbesserung der TIR während des Camps im Vergleich zu vor dem Camp festgestellt werden, jedoch lässt sich kein nachhaltiger Effekt aus den Ergebnissen ableiten in Bezug auf die TIR. Während des Camps erreichten im Durchschnitt der gesamten Abenteuerwoche 8 der 14 Teilnehmer*innen den empfohlenen Zielwert von über 70% der TIR. In der Studienwoche vor dem Camp lagen gerade einmal 4 der 14 Jugendlichen mit der durchschnittlichen TIR bei über 70%.

Signifikante Veränderungen der glykämischen Variabilität, des eA1c und des durchschnittlichen Blutzuckers konnten während der einzelnen Testphasen nicht dargestellt werden.

Bei Untersuchung der glykämischen Kontrolle in Abhängigkeit von Tag zu Nacht konnte demonstriert werden, dass tagsüber in der Campwoche eine signifikant niedrigere TAR und höhere TIR als in der Woche vor dem Camp erreicht wurden. Auch in der Nacht konnte eine signifikante Besserung der TAR in der Campwoche festgestellt werden. Auch die TIR stieg in der Campwoche an, jedoch nicht signifikant. Sowohl die nächtliche TAR als auch TIR verschlechterten sich nach dem Camp wieder signifikant. Es konnte damit kein nachhaltiger Effekt erzielt werden.

Weiters ergab die Untersuchung den einzelnen Therapieformen MDI, CSII und (AID) keinen signifikanten Unterschied zwischen der einzelnen Testphasen. Eine Ausnahme stellt dabei die AID-Therapie dar, bei welcher ein signifikanter Unterschied zwischen der Campwoche und der Woche nach dem Camp in Bezug auf die Qualität der Blutzuckerkontrolle festgestellt wurde.

Im Vergleich der TIR der verschiedenen Therapieformen untereinander fand sich sowohl in der Analyse aller Testphasen zusammen als auch isoliert während der Campwoche kein signifikanter Unterschied. Bezüglich der glykämischen Kontrolle konnte somit keine der Therapieformen Überlegenheit gegenüber den anderen Modalitäten belegen.

Die glykämische Kontrolle während Tagen mit viel körperlicher Aktivität zeigte sich mit einer TIR von $71,14 \% \pm 5,12$ höher als die Tage mit wenig körperlicher Aktivität mit $68,74 \% \pm 3,85$, jedoch stellte sich der Unterschied als nicht signifikant heraus.

Die Studie beinhaltet verschiedene Limitationen, die berücksichtigt werden sollten. Ein nachhaltiger Effekt des Abenteuercamps konnte mit der Diacamp-Studie nicht nachgewiesen werden, was bedeutet, dass die Blutzuckerkontrolle in der Woche vor dem Camp mit der Woche nach dem Camp vergleichbar war, die Schulungsinterventionen am Camp folglich nicht zu einer längerfristigen Verbesserung der Blutzuckerkontrolle einhergingen. Außerdem lässt sich der nachhaltige Effekt schwer beurteilen, da die Dauer der einzelnen Studienphasen

eine Woche betrug und diese allesamt hintereinander stattfanden. Um potenzielle langfristige Effekte des Camps feststellen zu können, wäre eine weitere Datenerhebung sowie -auswertung nach Monaten bis ein Jahr nach dem Camp notwendig. (27) Um Verhaltensänderungen beziehungsweise Veränderungen von Gewohnheiten oder der physischen Aktivität feststellen zu können, wäre vermutlich eine längere Campdauer oder eine häufigere Teilnahme an Camps sinnvoll. (31)

Weiters hatten wir nur Zugriff auf die Pumpen- und Sensordaten für die gesamte Studiendauer. Information über die individuelle Unterstützung der Eltern oder die körperliche Aktivität zuhause waren jedoch nicht vorhanden.

Außerdem wurde in der Studie nur eine kleine Kohorte untersucht. Auch wenn diese durch die Teilnehmer*innengrenze für das Abenteuercamp begrenzt war, ist zu erwähnen, dass mit Abnahme der Kohortengröße, die statistische Aussagekraft nachlässt. Von einem Rekrutierungsbias ist nicht auszugehen, da, auch wenn einige Teilnehmer*innen von der gleichen Klinik und Abteilung für Diabetologie rekrutiert wurden, teilweise Teilnehmer*innen aus verschiedenen Bundesländern Österreichs und anderen Staaten (Deutschland und Spanien) an der Studie teilnahmen.

In Hinblick auf das echte Leben kann die Teilnahme an einem Abenteuercamp Kindern und Jugendlichen mit T1D dabei helfen, einen selbstbewussteren und kompetenteren Umgang mit ihrer Erkrankung zu entwickeln. Durch die Vielzahl an betreuten Aktivitäten erhalten sie die Möglichkeit, in einem geschützten Rahmen eigene körperliche und emotionale Grenzen auszutesten und Vertrauen in ihre Fähigkeiten im Umgang mit ihrem Diabetes zu gewinnen. Folglich könnten dadurch elterliche Ängste und Sorgen reduziert und das Vertrauen in die Selbstständigkeit ihres Kindes gestärkt werden.

5.1. Persönliche Erfahrung

Meine erste Teilnahme an einem Diabetescamp hinterließ nachhaltige Eindrücke, auf die ich im Folgenden näher eingehen möchte. Die Dauer des Camps war auf eine Woche festgelegt. Zwar äußerten insbesondere die Teilnehmenden

wiederholt den Wunsch nach einer Verlängerung aufgrund des positiven Gruppenerlebnisses, dennoch wäre eine längere Campdauer mit einer erheblichen Mehrbelastung für das Betreuungspersonal verbunden gewesen und hätte sich aufgrund des relativ geringen Betreuungsschlüssels (5:17 – Betreuungspersonal:Teilnehmende mit T1D) nicht langfristig umsetzen lassen. Eine längere Aufenthaltsdauer hätte vermutlich dennoch zur nachhaltigeren Festigung des erlernten Diabeteswissens beigetragen.

Das Konzept des Camps sah vor, dass die Jugendlichen ein hohes Maß an Selbstmanagement aufweisen und nächtliche Blutzuckerkontrollen durch das Betreuungsteam nicht erforderlich sein sollten. Demnach war es geplant, die letzte Kontrolle vor dem Zubettgehen durchzuführen. In der Praxis zeigte sich jedoch, dass es aufgrund der teils stark schwankenden Blutzuckerwerte notwendig war, bis zu dreimal pro Nacht (um 24:00, 2:00 und 4:00 Uhr) Kontrollgänge vorzunehmen. Diese Instabilität der Blutzuckerwerte könnte auf verschiedene externe Faktoren zurückzuführen sein, darunter die Höhenlage der Camplokation, die veränderte körperliche Aktivität sowie emotionale Faktoren, wie beispielsweise das Knüpfen neuer sozialer Kontakte.

Eine weitere Beobachtung war die Variabilität des Blutzuckers der Teilnehmenden bei oder nach sportlichen Aktivitäten. Bei einigen Jugendlichen trat bereits zu Beginn körperlicher Aktivitäten ein rascher und erheblicher Abfall des Blutzuckerspiegels auf, was mit einem erhöhten Bedarf an schnell verfügbaren Kohlenhydraten (Hypo-BE) einherging. Zudem wurde deutlich, dass die Einschätzung und Planung der notwendigen Hypo-BE-Menge für sportliche Aktivitäten in vielen Fällen unzureichend war und optimiert werden musste. So war es beispielsweise notwendig, eine geplante Nachtwanderung vorzeitig abubrechen, da einige Teilnehmer*innen trotz wiederholter Erinnerung durch das Betreuungspersonal nicht über eine ausreichende Menge an Hypo-BEs verfügten. Positiv hervorzuheben ist die rasche und ausgeprägte Entwicklung eines starken Gruppenzusammenhalts sowohl unter den Teilnehmenden als auch zwischen diesen und den Betreuer*innen. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die abgelegene Lage der Berghütte, welche ausschließlich von den Campteilnehmer*innen genutzt wurde, eine stärkere soziale Vernetzung

begünstigte und zahlreiche gemeinsame Aktivitäten stattfanden. Zudem konnte beobachtet werden, dass die Teilnehmer*innen im Allgemeinen einen ausgeprägten gegenseitigen Unterstützungswillen im Umgang mit ihrer Diabeteserkrankung und den dazugehörigen technologischen Hilfsmitteln aufwiesen. Dennoch ließ sich eine gewisse altersbedingte Tendenz erkennen, wonach insbesondere ältere Jugendliche häufiger Jüngeren mit Rat und praktischer Hilfe zur Seite standen, wenn diese noch Unsicherheiten im Selbstmanagement oder in der Anwendung diabetesspezifischer Technologien zeigten.

Literaturverzeichnis

1. Harreiter, J., Roden, M. Diabetes mellitus – Definition, Klassifikation, Diagnose, Screening und Prävention (Update 2023). Wien Klin Wochenschr 135 (Suppl 1), 7–17 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00508-022-02122-y>
2. Atkinson MA, Eisenbarth GS, Michels AW. Type 1 diabetes. Lancet. 2014 Jan 4;383(9911):69-82. doi: 10.1016/S0140-6736(13)60591-7. Epub 2013 Jul 26. PMID: 23890997; PMCID: PMC4380133.
3. Patterson, C. C., Karuranga, S., Salpea, P., Saeedi, P., Dahlquist, G., Soltész, G., ... & Ogle, G. D. (2019). Worldwide estimates of incidence, prevalence, and mortality of type 1 diabetes in children and adolescents: Results from the International Diabetes Federation Diabetes Atlas, 9th edition. Diabetes research and clinical practice, 157, 107842.
4. de LI van, Harbeck B. Facharztwissen Endokrinologie und Diabetologie: Klinik, Diagnostik, therapie. Berlin, Germany: Springer; 2020.
5. Lechleitner, M., Kaser, S., Hoppichler, F. et al. Diagnostik und Therapie des Typ 1 Diabetes mellitus (Update 2023). Wien Klin Wochenschr 135 (Suppl 1), 98–105 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00508-023-02182-8>
6. Holder M, Ziegler R. S3-leitlinie diagnostik, therapie und verlaufskontrolle des diabetes ... [Internet]. 2023 [cited 2023 Dec 7]. Available from: https://www.ddg.info/fileadmin/user_upload/05_Behandlung/01_Leitlinien/Evidenzbasierte_Leitlinien/2023/S3_DM_Kinder_Jugendliche_20231113_Laengfassung.pdf
7. Herold G. Innere medizin: Eine Vorlesungsorientierte Darstellung, Unter Berücksichtigung des Gegenstandskataloges für die ärztliche prüfung, MIT ICD 10-Schlüssel im text und stichwortverzeichnis. Köln, Deutschland: Herold, Gerd; 2020.
8. Neu A, Bürger-Büsing J, Danne T, Dost A, Holder M, Holl RW, et al. Diagnosis, Therapy and Follow-Up of Diabetes Mellitus in Children and Adolescents. Exp Clin Endocrinol Diabetes. 2019;127(S 01):S39-s72.
9. de Bock M, Codner E, Craig ME, Huynh T, Maahs DM, Mahmud FH, Marcovecchio L, DiMeglio LA. ISPAD Clinical Practice Consensus

- Guidelines 2022: Glycemic targets and glucose monitoring for children, adolescents, and young people with diabetes. *Pediatr Diabetes*. 2022 Dec;23(8):1270-1276. doi: 10.1111/pedi.13455. PMID: 36537523; PMCID: PMC10107615.
10. Schütz-Fuhrmann, I., Rami-Merhar, B., Fröhlich-Reiterer, E. et al. Diabetestechnologie (Update 2023). *Wien Klin Wochenschr* 135 (Suppl 1), 53–61 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00508-023-02165-9>
 11. Abrahamian, H., Kautzky-Willer, A., Rießland-Seifert, A. et al. Psychische und neurokognitive Erkrankungen und Diabetes mellitus (Update 2023). *Wien Klin Wochenschr* 135 (Suppl 1), 225–236 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00508-022-02117-9>
 12. Nevo-Shenker M, Shalitin S. The Impact of Hypo- and Hyperglycemia on Cognition and Brain Development in Young Children with Type 1 Diabetes. *Horm Res Paediatr*. 2021;94(3-4):115-23.
 13. van Duinkerken E, Snoek FJ, de Wit M. The cognitive and psychological effects of living with type 1 diabetes: a narrative review. *Diabet Med*. 2020;37(4):555-63.
 14. Rami-Merhar, B., Fröhlich-Reiterer, E., Hofer, S.E. et al. Diabetes mellitus im Kindes- und Jugendalter (Update 2023). *Wien Klin Wochenschr* **135** (Suppl 1), 106–114 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00508-023-02169-5>
 15. Diabetes management at camps for children with diabetes. *Diabetes Care*. 2012;35 Suppl 1(Suppl 1):S72-5.
 16. Cantley J, Eizirik D. 100 years of insulin: progress, current perspectives and future challenges. *J Endocrinol*. 2021 Dec 14;252(3). doi: 10.1530/JOE-21-0391. PMID: 34819394.
 17. ÖDV-Historie [Internet]. [cited 2024 Jul 10]. Available from: https://diabetes.or.at/ueber_uns/oedv-historie/oedv-kindercamp
 18. Diabetes-Museum. Diabär – Verein für diabetiker der Universitätsklinik Graz [Internet]. 2021 [cited 2024 Jul 8]. Available from: <https://diabetes-museum.at/diabaer-selbsthilfe-graz/>

19. Maahs DM, West NA, Lawrence JM, Mayer-Davis EJ. Epidemiology of type 1 diabetes. *Endocrinol Metab Clin North Am.* 2010;39(3):481-97.
20. Bluestone JA, Herold K, Eisenbarth G. Genetics, pathogenesis and clinical interventions in type 1 diabetes. *Nature.* 2010 Apr 29;464(7293):1293-300. doi: 10.1038/nature08933. PMID: 20432533; PMCID: PMC4959889.
21. Liu NF, Brown AS, Folias AE, Younge MF, Guzman SJ, Close KL, et al. Stigma in People With Type 1 or Type 2 Diabetes. *Clin Diabetes.* 2017;35(1):27-34.
22. Haugstvedt A, Wentzel-Larsen T, Rokne B, Graue M. Psychosocial family factors and glycemic control among children aged 1-15 years with type 1 diabetes: a population-based survey. *BMC Pediatr.* 2011;11:118.
23. Bergenstal RM, Beck RW, Close KL, Grunberger G, Sacks DB, Kowalski A, et al. Glucose Management Indicator (GMI): A New Term for Estimating A1C From Continuous Glucose Monitoring. *Diabetes Care.* 2018;41(11):2275-80.
24. WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour. Geneva: World Health Organization; 2020. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
25. Hasan I, Chowdhury A, Haque MI, Patterson CC. Changes in glycosylated hemoglobin, diabetes knowledge, quality of life, and anxiety in children and adolescents with type 1 diabetes attending summer camps: A systematic review and meta-analysis. *Pediatr Diabetes.* 2021;22(2):124-31.
26. Nagl K, Bozic I, Berger G, Tauschmann M, Blauensteiner N, Weimann K, et al. Time in Range in Children with Type 1 Diabetes before and during a Diabetes Camp-A Ceiling Effect? *Children (Basel).* 2022;9(12).
27. Fegan-Bohm K, Weissberg-Benchell J, DeSalvo D, Gunn S, Hilliard M. Camp for Youth With Type 1 Diabetes. *Curr Diab Rep.* 2016;16(8):68.
28. Carlson KT, Carlson GW, Jr., Tolbert L, Demma LJ. Blood glucose levels in children with Type 1 diabetes attending a residential diabetes camp: a 2-year review. *Diabet Med.* 2013;30(3):e123-6.
29. Anarte MT, Carreira M, Leiva Gea A, Varela E, Mateo-Anarte M, López Sigüero JP, et al. Diabetes Summer Camp in children and adolescents with

- type 1 diabetes: Effects on well-being and quality of life. *Endocrinol Diabetes Nutr (Engl Ed)*. 2020;67(5):326-32.
30. Weissberg-Benchell J, Vesco AT, Rychlik K. Diabetes camp still matters: Relationships with diabetes-specific distress, strengths, and self-care skills. *Pediatr Diabetes*. 2019;20(3):353-60.
31. Skoufa L, Makri E, Barkoukis V, Papagianni M, Triantafyllou P, Kouidi E. Effects of a Diabetes Sports Summer Camp on the Levels of Physical Activity and Dimensions of Health-Related Quality of Life in Young Patients with Diabetes Mellitus Type 1: A Randomized Controlled Trial. *Children (Basel)*. 2023;10(3).

Anhang

Publikation

1. Kietaibl A-T, Aziz F, Wurm E, Tomka C, Moser O, Pieber TR, et al. Improved Glycemic Control during a One-Week Adventure Camp in Adolescents with Type 1 Diabetes—The DIACAMP Study. Biosensors. 2024;14(9):451.

Hilfsmittel

1. Zur Rechtschreibprüfung der Arbeit wurde folgendes Tool verwendet: Scribbr, QuillBot, 29.06.2025; <https://www.scribbr.at/rechtschreibpruefung/>
2. Zur sprachlichen und englischsprachlichen Optimierung der Zusammenfassung und des Abstracts wurde folgendes Tool verwendet: ChatGPT 4, OpenAI, 30.06.2025; <https://chatgpt.com>