

Visualisierung von digitalen, individuellen Gesundheitsdaten am Beispiel des Blutzuckerverlaufs bei gesunden Menschen

Silvio Krause
Hochschule Wismar
Ph.-Müller-Straße 14,
23966 Wismar, Germany
silvio.krause@hs-wismar.de

Gerald Bieber
Fraunhofer IGD
Joachim-Jungius-Str. 11,
18059 Rostock, Germany
gerald.bieber@igd-r.fraunhofer.de

Christian Tominski
University of Rostock
Albert-Einstein-Str. 22,
18059 Rostock, Germany
christian.tominski@uni-rostock.de

Matthias Kreuseler
Hochschule Wismar
Ph.-Müller-Straße 14,
23966 Wismar, Germany
matthias.kreuseler@hs-wismar.de

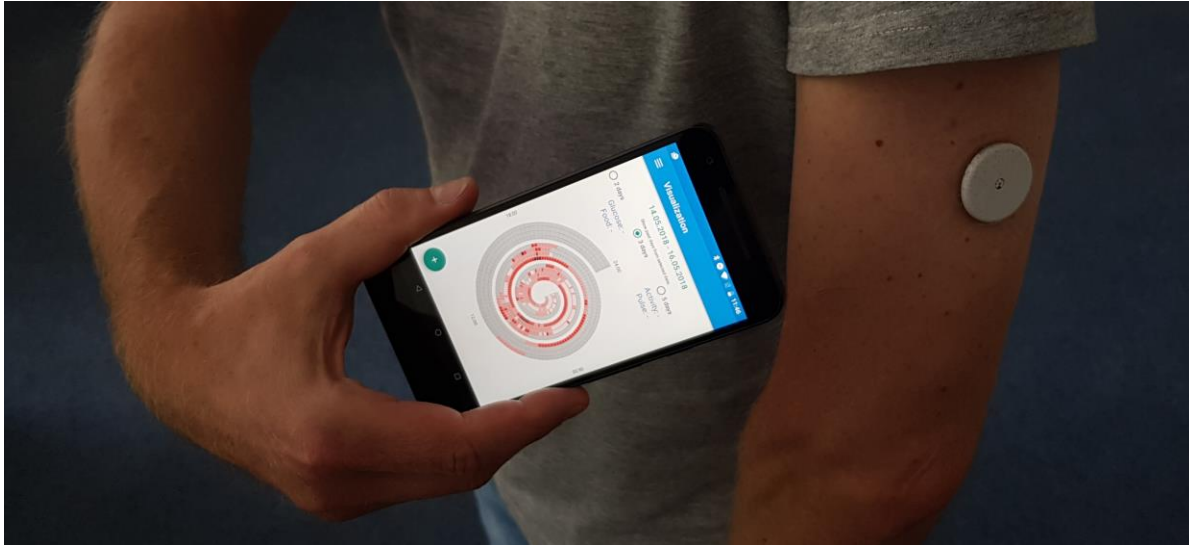


Abbildung 1. Kontinuierliche Blutzuckermessung durch Smartphone und aufgeklebtem Sensor.

ABSTRACT

Bei der Nahrungsaufnahme beeinflussen verschiedenste Nahrungsbestandteile die Konzentration des Blutzuckers. Durch die natürlichen Regelmechanismen, beispielsweise der körpereigenen Ausschüttung von Insulin, werden die Blutzuckerkonzentrationen auf einem gesunden Wert gehalten. Bei bestimmten Krankheitsbildern ist jedoch die Regulierung der Blutzuckerkonzentration gestört. Während bislang eine Blutzuckermessung nur durch Blutabnahme möglich war, so ist durch Einsatz von CGM Systemen (CGM - Continuous Glucose Monitoring Systems) eine kontinuierliche Blutzuckermessung möglich. Der Blutzuckerwert wird bei diesen Systemen durch eine Analyse der Zellflüssigkeit bestimmt. Die CGM Systeme werden derzeit für Diabetes mellitus Typ 1 Patienten eingesetzt, deren Blutzuckerspiegel durch das Fehlen der körpereigenen Insulinproduktion gestört ist. Auch bei Gesunden variiert der Blutzuckerspiegel vorwiegend durch Nahrungsaufnahme,

Ernährungsstil und körperliche Aktivität. Diese Blutzuckeränderungen können digital abgespeichert werden und sind zu jeder Zeit bequem im Alltag messbar. Diese Daten können anschließend mit angepassten Methoden der Visualisierung repräsentiert werden. Die Messung des Blutzuckerspiegels bei gesunden Personen wird jedoch bislang noch nicht durchgeführt, obwohl die digitale Abbildung relevante Aussagen hinsichtlich des aktuellen und individuellen Stoffwechselverhaltens, Stress sowie der körperlichen Fitness liefern könnte. Anhand der Daten wäre auch eine Entwicklung von Präventivmaßnahmen möglich, wie z.B. die Vorbeugung von Diabetes.

In dem Beitrag wird eine Anwendung vorgestellt, die digitale Gesundheitsdaten anhand von ausgewählten Visualisierungskonzepten darstellt, sowie deren potenzielle Möglichkeiten der Nutzung diskutiert.

WIWITA – 11. Wismarer Wirtschaftsinformatik-Tage 2018
Hochschule Wismar
University of Applied Sciences
Technology, Business and Design

Philipp-Müller-Straße 14
23966 Wismar
Telefon +49 3841 753-0
Telefax +49 3841 753-73 83

CCS Concepts

- Human-centered computing technologies
- Computing methodologies → Computer Graphics
- Information systems → Information systems applications

Keywords

Visualization; vital data; blood sugar; continuous glucose monitoring; activity; recognition; wearable computing; assistive technology.

1. EINFÜHRUNG

Der Diabetes mellitus (lat. „honigsüßer Durchfluss“) wird umgangssprachlich kurz als Diabetes oder Zuckerkrankheit oder seltener als Blutzuckerkrankheit bezeichnet [AU16]. Hierbei handelt es sich um eine Stoffwechselstörung, bei der der Glukolgehalt im Blut erhöht und als Symptom die Ausscheidung von Glukose mit dem Urin feststellbar ist. In der Antike wurde einerseits die Krankheit durch Fliegen identifiziert, die den Urin der Patienten bevorzugten oder andererseits durch den Arzt bestimmt, der eine Geschmacksprobe des Urins durchführte [Kr05]. Produziert der Körper kein eigenes Insulin mehr (Diabetes mellitus Typ 1) oder reagiert der Körper nicht mehr ausreichend auf das Insulin (Diabetes mellitus Typ 2), so steigt der Blutzuckerspiegel nach Nahrungsaufnahme an [My18]. Unter Blutzucker versteht man im Allgemeinen den Glukoseanteil im Blut. Durch die Ausschüttung von körpereigenem Insulin, Einnahme von Medikamenten oder externer Insulingabe sinkt der Blutzuckerspiegel auf ein gesundes Niveau. Neben Nahrungsaufnahme beeinflussen die körperliche Aktivität sowie eine Vielzahl anderer Parameter den Blutzuckerspiegel. So sind Stress, Fieber, Hormone oder auch der Tagesrhythmus wichtige Einflussgrößen des Blutzuckerspiegels [Um06]. Bei gesunden Personen, die zucker- oder kohlenhydrathaltige Nahrungsmittel aufnehmen, bleibt durch einen Regelmechanismus mit dem Hormon Insulin der Blutzuckerspiegel weitgehend konstant.

Der Blutzuckerspiegel sollte in einem definierten Bereich liegen, sowohl eine Über- als auch Unterzuckerung wird als ungesund bezeichnet. Eine starke Abweichung des Ist- zum Soll-Blutzuckerspiegel kann kurzfristig zur Ohnmacht (Komaanfall) bis hin zum Tod führen. Langfristige Abweichungen führen zu einer Vielzahl von Folgeschäden, beispielsweise Erblindung, Amputationen, Nierenschäden usw. Aktuell sind in Deutschland ca. 7 Millionen Personen an Diabetes erkrankt [Ha06]. Diabetes gilt durch die Vielzahl und Schwere der Folgekrankheiten daher auch als eine der teuersten Krankheiten für das Gesundheitssystem.

Der Blutzuckerspiegel ist derzeit nur invasiv messbar, obwohl viele Forschungsprojekte nach einer nichtinvasiven Messmethode suchen. Der Blutzucker wird in mmol/l gemessen, vereinzelt findet auch die alte Messeinheit mg/dl Verwendung (z.B. in Westdeutschland). Die Messung des Blutzuckers erfolgt meist durch kapillares Blut, wobei meist durch eine Stechhilfe aus den Fingerkuppen ein Blutropfen entnommen und der Glukosegehalt gemessen wird. Der Blutzuckerspiegel kann andererseits auch durch Messung des venösen Plasma, des venösen Vollblut oder durch CGM System mittels Messung des Glukosegehalts der Zellflüssigkeit bestimmt werden. Die Werte sind leicht unterschiedlich aber prinzipiell vergleichbar, die CGM Werte zeigen gegenüber der Blutmessung jedoch einen zeitlichen Versatz (Nachlauf von ca. 15 Minuten) auf. Im Folgenden wird der durch CGM Geräte bestimmte Glukosegehalt als Blutzuckerspiegel bezeichnet.

Als normaler Blutzuckerspiegel wird ein Bereich von ca. 3,6 – 6,9 mmol/l angesehen. Auch bei Gesunden kann dieser Wertebereich jedoch erheblich über oder unterschritten werden [FH07]. Gemäß den Leitlinien der Deutschen Diabetes Gesellschaft (DDG) [Na17] liegt die normale Nüchternblutzuckerkonzentration bei weniger als 5,6 mmol/l, wobei ab 7 mmol/l ein Diabetes wahrscheinlich ist. Der Zufallsblutzuckerspiegel sollte weiterhin unter 11,1 mmol/l liegen. Zur Bestimmung des Diabetes wird daher meist ein Glukosetoleranztest durchgeführt, bei dem morgens eine 75

Gramm Zuckerflüssigkeit getrunken wird und der Blutzuckerspiegel bis nach 2 Stunden der Aufnahme gemessen wird. Der Endwert sollte 11,1 mmol/l hierbei nicht überschreiten. Liegt Diabetes vor, so variiert der Blutzuckerspiegel stark, so dass für Diabetiker ein Zielbereich vorgeschlagen wird. Nach der DDG wird ein Bereich von 3,8 – 10 mmol/l empfohlen [He17]. Es wird geschätzt, dass die wenigsten Diabetes Typ 1 Patienten mit mehr als 80 Prozent der Messwerte im Zielbereich liegen.

Durch länger andauernde ungesunde und kohlenhydratreiche Nahrung in Verbindung mit ungenügender Bewegung wird der Diabetes begünstigt. Besonders schnell verdauliche Kohlendhydrate wie Zucker, Weismehl oder der billig herstellbare Isoglukose [Gr17] als künstlicher Zuckersatzstoff führen zu hohen Blutzuckerspitzen, erhöhen das Risiko einer Prädiabetes oder späteren Erkrankung und beinhalten weitere Gesundheitsrisiken, beispielsweise der kardiovaskulären Krankheiten [BE99].

Seit 2017 sind in Deutschland kontinuierlich messende Blutzuckermesssysteme (CGM) [KI05] für Patienten mit Diabetes mellitus Typ 1 als Kassenleistung anerkannt. Diese Systeme können ca. alle 10 Minuten einen Wert erfassen und können digital ausgelesen werden. Da besonders die Patienten mit Diabetes mellitus Typ1 auf eine ständige Blutzuckerkontrolle angewiesen sind, ist die Kenntnis über den Blutzuckerverlauf wichtig. Zum besseren Verständnis des Verlaufs ist eine grafische Repräsentation notwendig, wobei bisher nur einfache Linien- oder Punktdiagramme zur Visualisierung existieren.

In einem Forschungsvorhaben des Fraunhofer IGD werden bei gesunden Menschen mit einem CGM System der Blutzuckerlauf erfasst und Rückwirkungen durch kurzfristige Zuckeraufnahme, beispielsweise durch Trinken großer Mengen zuckerhaltiger Getränke (z.B. Cola) oder Essen vor dem Schlafengehen untersucht. Hierbei soll analysiert werden, welche Auswirkungen die Zuckeraufnahme auf den Blutzuckerlauf bewirken und ob eine metabolische Fitness, d.h. ein individueller Trainingszustand zur Verarbeitung von Blutzuckerspitzen existiert. Für die Repräsentation dieser Daten ist es notwendig zu untersuchen, ob alternative Visualisierungsverfahren existieren, die eine verbesserte Analyse ermöglicht.

Dieses führt daher zu der folgenden Forschungsfrage:

- Wie kann eine geeignete Visualisierung hinsichtlich des Blutzuckerlaufs bei gesunden Personen oder bei Diabetikern aussehen?

Damit eine geeignete Visualisierung gefunden werden kann, wurden relevante Visualisierungsziele festgelegt. Dazu gehört die Visualisierung des Tagesverlaufes der Parameter (Blutzucker, körperliche Aktivität, Puls, Nahrungsaufnahme) über mehrere Tage, eine Darstellung zur Überprüfung möglicher Korrelationen zwischen den einzelnen Parametern sowie eine Darstellung der erfassten Daten auf mobilen Geräten.

2. STAND DER TECHNIK

Bevor kontinuierliche Blutzuckermesssysteme verfügbar waren, wurden Messungen nur punktuell durchgeführt und meist nur in Verbindung mit der Nahrungsaufnahme bei Diabetikern. Diese punktuellen Messungen (ca. 4 – 6 Messungen pro 24 h) ließen kaum Approximationen in den Zwischenintervallen zu. Erst nach Einführung der CGM-Systeme konnten aus den Punktdaten dann Liniendiagramme konstruiert werden.

2.1 Abbildung von Zeitreihen

Die Werte des Blutzuckers, gemessen in mmol/l werden meist im Intervall von [0..20] mit der Auflösung von 0,1 mmol/l bestimmt. Höhere Werte als 20 mmol/l treten selten und nur kurzfristig auf. Zu jedem Blutzuckerwert wird die Messzeit erfasst sowie gegebenenfalls situationsabhängige Daten wie Kohlenhydrat- oder Nahrungsaufnahme, körperliche Aktivität etc. Die jeweiligen Blutzuckermesswerte können daher als Zeitreihe definiert werden. Die Kennzahlen (Blutzuckermesswerte) können grafisch auf der Ordinate eines Koordinatensystems in Abhängigkeit der Zeit (Abszisse) dargestellt wird. Die zeitliche Einheit ist meist konstant, obwohl in den Tagesstunden die meisten Werte erfasst wurden. Die Zeitreihen lassen sich für kurze Zeitabschnitte, aber auch über Tage oder Monate darstellen, siehe Abbildung 2.

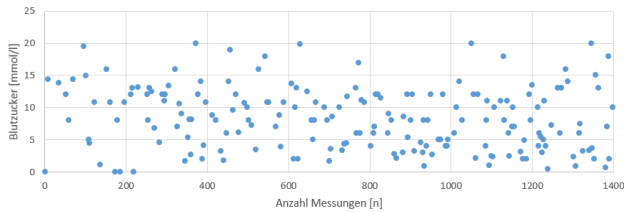


Abbildung 2. Darstellung der Blutzuckerwerte über die Zeit als Punkte.

Durch die Nutzung der CGM Geräte können die Zeitreihen auch als kontinuierlicher Graph visualisiert werden, siehe Abbildung 3. Hierbei bietet es sich an, auch den Zielbereich grafisch anzugeben, um eine intuitive Sichtbarkeit der Datenlage zu erhalten.

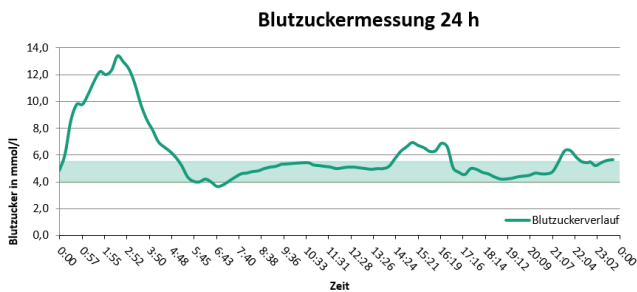


Abbildung 3. BZ Verlauf bei einem gesunden Menschen, auch hierbei starke Abweichung zum Normbereich.

2.2 Abbildung als Histogramm

Eine weitere Möglichkeit zur Visualisierung der Werte bieten Histogramme. Hierbei werden die Auftrittshäufigkeiten der Werte grafisch dargestellt. Üblicherweise werden zur Darstellung der Häufigkeiten diese in Klassen (bins) mit konstanter oder auch variabler Breite unterteilt und nebeneinander als Rechtecke dargestellt. Die Höhe der Klassen (Rechtecke) repräsentiert die Auftrittshäufigkeit.

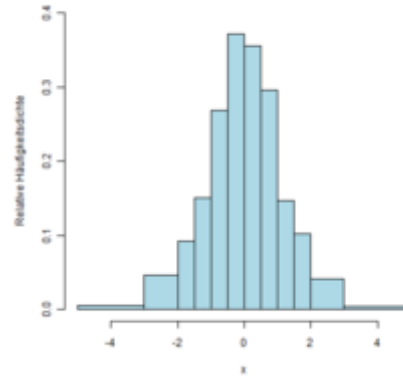


Abbildung 4. Abbildung von Auftrittshäufigkeiten als Histogramm [WP18].

2.3 Abbildung als Spirale

Der Mensch hat in der Regel einen zyklischen Tagesablauf. Nahrungsaufnahme oder gewisse Aktivitäten finden meistens im selben Zeitraum mit geringen Abweichungen statt. Durch diese geringen Abweichungen lassen sich Aktivitäten oder Mahlzeiten sehr gut mit Spiraldarstellungen identifizieren und mit mehreren Tagen vergleichen. Allerdings ist die Anzahl der Tage begrenzt, da sonst die Lesbarkeit nicht mehr gegeben ist und die kognitive Leistung zur Erfassung der Visualisierung zu hoch ist.

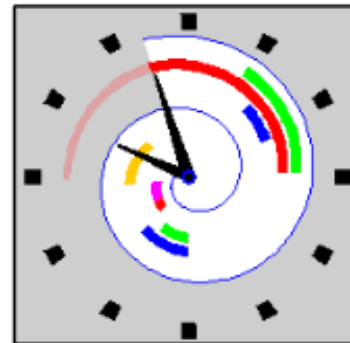


Abbildung 5. SpiraClock nach [DH02].

2.4 Abbildung als 3D-Objekt

Der Blutzuckerspiegel unterliegt starken Schwankungen durch die Tageszeit, diese begründen sich durch den chronologischen Tagesablauf des Menschen mit Schlaf, Nahrungsaufnahme und Aktivität. Die Abbildung 3 repräsentiert das Verhalten über den Tag und lässt Unterscheidungen zwischen den Wochentagen, besonders Arbeitstage und Wochenende zu. Diese Darstellung ist jedoch nicht intuitiv und enthält eine Vielzahl von redundanten Daten.

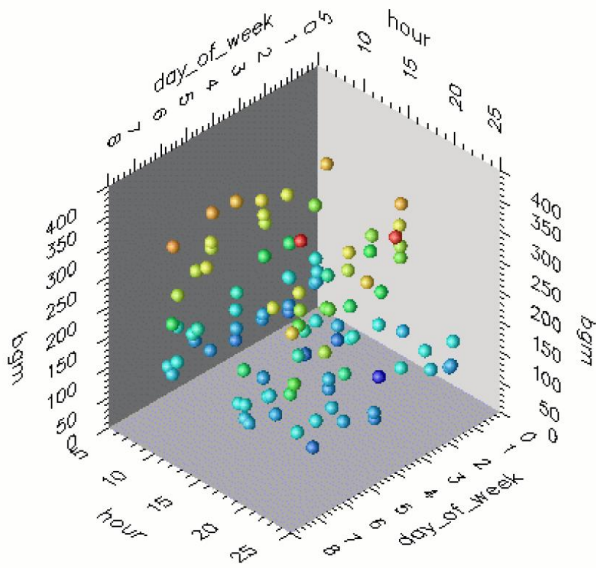


Abbildung 6. 3D-Darstellung des Blutzuckers nach [Sc01].

2.5 Pixel- bzw. Matrixdarstellungen

Da die Lesbarkeit bei sehr vielen Tagen bei Spiraldarstellungen deutlich nachlässt, bietet sich bei sehr großen Zeiträumen eine Pixel- bzw. eine Matrixdarstellung an. Auch hier kann man periodische Ereignisse und Korrelationen zwischen mehreren Parametern erkennen. In der folgenden Abbildung zur Visualisierung von Wetterdaten über ein Jahr lässt sich z.B. eine Korrelation zwischen dem Luftdruck und der Temperatur erkennen.

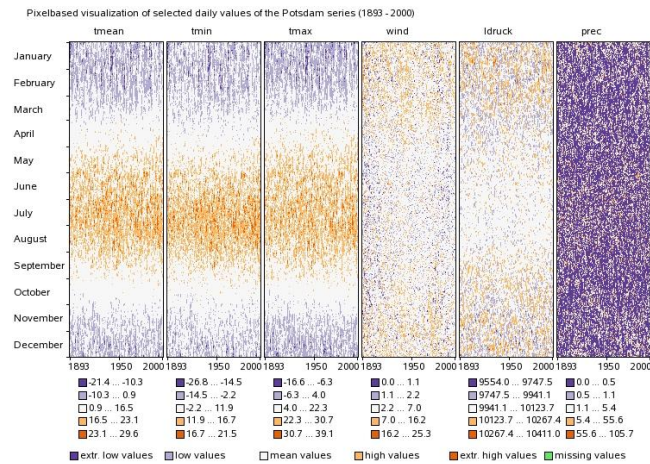


Abbildung 7. Pixeldarstellung nach [NO07].

Betrachtet man die Visualisierungskonzepte von Herstellern der CGM-Systeme, so nutzen diese Liniendiagramme, um den Blutzuckerverlauf darzustellen. Diese Liniendiagramme sind meist nicht sehr interaktiv und sind gegebenenfalls mit ein paar Annotationen versehen, wie der Zeitpunkt von Insulininjektionen oder ein Zeitpunkt der Nahrungsaufnahme. Außerdem lassen sich nicht mehrere Tage miteinander direkt vergleichen.

Die nachfolgende Abbildung vermittelt einen Überblick zur Visualisierung von Blutzuckerverläufen der verschiedenen Vertreter von Sensorherstellern.

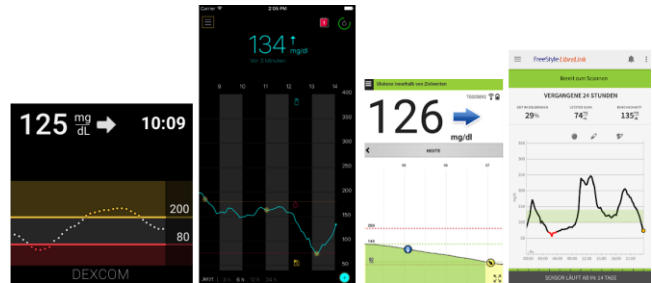


Abbildung 8. Verwendete Visualisierungskonzepte der CGM-Hersteller [De18][Me18][RD18][Ab18].

Durch die zunehmende Verfügbarkeit von kontinuierlichen Messdaten ergeben sich daher neue Möglichkeiten zur Visualisierung des Blutzuckerverlaufs. Es werden daher folgende die bekannten Visualisierungstechnologien miteinander kombiniert, um eine neue und geeignete Darstellung für das Anwendungsgebiet zu erhalten.

3. KONZEPT DER VISUALISIERUNG DES BLUTZUCKERVERLAUFS

Die Visualisierung des Blutzuckerverlaufs unterliegt je nach Nutzerrolle unterschiedlichen Anforderungen. Als Nutzerrolle kommen hierbei der Patient oder eine gesunde Person, ein Betreuer oder ein behandelnder Arzt sowie Forscher und Entwickler von neuen Gesundheitssystemen in Betracht. Hierbei gilt es, nicht nur den Blutzucker, sondern auch die Tagesaktivität, den Puls und die Nahrungsaufnahme abzubilden. Diese vier Parameter sollen über die Zeit dargestellt werden.

Damit alle Visualisierungsziele erfüllt werden können, wurden drei verschiedene Ansichten gewählt, die von allen Nutzern betrachtet werden können. Zur Visualisierung von größeren Zeiträumen (z.B. Tage, Wochen, Monate) wird eine Matrixdarstellung entworfen. Für die diskrete Umsetzung wurden die vier Parameter nebeneinander dargestellt. Ein Tag entspricht einer Matrix-Spalte. Der Wert der Parameter wird durch eine Farbskala repräsentiert. Hohe Werte werden mit dunklen Farben, geringe Werte mit hellen Farben abgebildet. Durch diese kompakte Darstellung lassen sich große Zeiträume gut darstellen und zyklische Ereignisse erkennen. Auch Vergleiche oder das Erkennen von Ausreißern ist ebenfalls möglich.

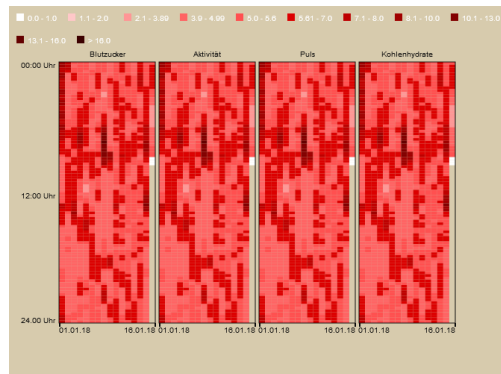


Abbildung 9. Konzept Matrixdarstellung.

Für einen kleinen Zeitraum von bis zu fünf Tagen kann eine Spiraldarstellung gewählt werden. Auch hier werden, wie in der Matrixdarstellung, die Werte der Parameter durch eine Farbskala repräsentiert. Ebenfalls lassen sich in dieser Darstellung die einzelnen Parameter vergleichen, um so mögliche Korrelationen erkennen zu können. Durch den kurzen dargestellten Zeitraum lässt sich diese Darstellung sehr gut interaktiv gestalten. So lässt sich die Darstellung der Absolutwerte der einzelnen Parameter z.B. durch ein Klickereignis auf einem Segment der Spiraldarstellung realisieren.

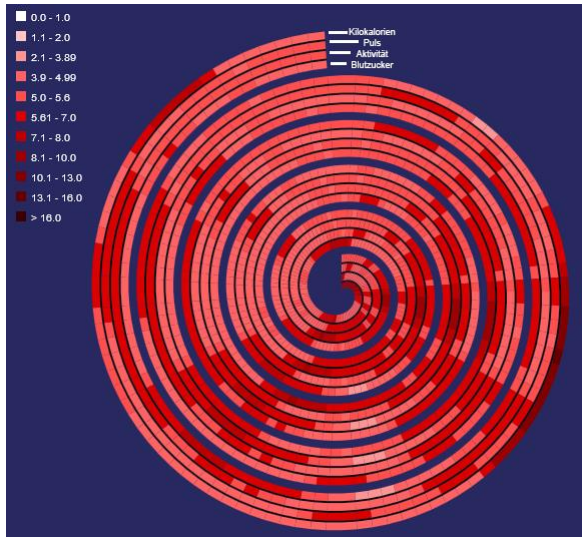


Abbildung 10. Konzept Spiraldarstellung.

Für einen detaillierten Tagesüberblick können Liniendiagramme für die einzelnen Parameter gewählt werden. Hier lassen sich die Absolutwerte und genaue Uhrzeiten ablesen. Die einzelnen Diagramme werden in dieser Ansicht untereinander angeordnet, um auch hier eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Wie in der Spiraldarstellung, soll auch diese Ansicht interaktiv gestaltet werden.

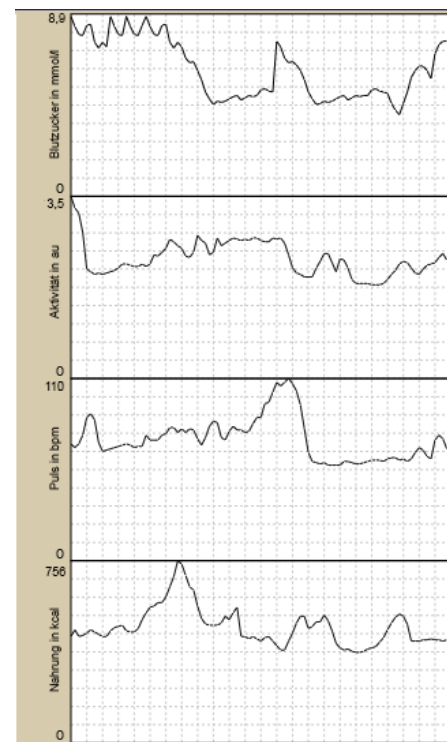


Abbildung 11. Konzept Diagrammdarstellung.

4. UMSETZUNG

Die drei vorgestellten Visualisierungskonzepte, Matrix-, Spiral- und Diagrammdarstellung, wurden in einer mobilen Anwendung auf Android umgesetzt. Damit Blutzuckerwerte bequem von einem Abbott Freestyle CGM [Abb18] eingelesen werden können, wurde eine mobile App entwickelt, die mittels NFC (Near-Field-Communication) den Blutzuckersensor auslesen kann. Außerdem ist es möglich, die Nahrungsaufnahme durch die Applikation zu protokollieren. Hierbei können ein Nahrungsfoto sowie Kohlenhydratmenge und Energiegehalt in Kilokalorien aufgenommen werden. Die Daten werden anschließend in einer lokalen und einer Onlinedatenbank gespeichert bzw. synchronisiert. Aus der Onlinedatenbank werden die restlichen zwei Parameter (körperliche Aktivität, Puls) synchronisiert. Diese Daten werden mithilfe einer Smartwatch mit einer dafür entwickelten Software erfasst. Die Smartwatch-App (DiaTrace) zur Erfassung der körperlichen Aktivität und dem Puls wurden vom Fraunhofer IGD [BR13] entwickelt. Neben den mobilen Anwendungen ist es auch möglich, die Daten mithilfe einer webbasierten Onlineplattform des Fraunhofer IGD darzustellen. Auf dieser Plattform lassen sich noch weitere Vitaldaten oder Nutzerverhalten, wie z.B. das Schlafverhalten, visualisieren.

Zur Darstellung des Tagesverlaufs wurde unter Java die Diagrammdarstellung in der Form umgesetzt, dass die vier Parameter Blutzucker, Puls, Aktivität und Kohlenhydrate gleichzeitig dargestellt werden können, wie die Abbildung 12 zeigt. Durch Interaktion mit dem Finger kann der Zeitpunkt des Interesses ausgewählt werden, die dazugehörigen Parameterwerte werden in dem oberen Fensterbereich textuell ausgegeben. In späteren Softwareversionen werden unterschiedliche Farbgebung sowie die empfohlenen Zielbereiche visualisiert.

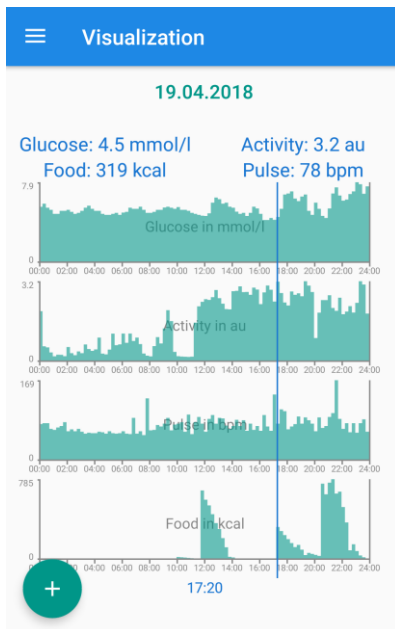


Abbildung 12. Diagrammdarstellung.

Damit die chronologischen Zusammenhänge visualisiert werden können, wurde eine Spiral-Darstellung für das mobile Endgerät implementiert. Diese Darstellung stellt alle vier Parameter (Blutzucker, körperliche Aktivität, Puls, Nahrungsaufnahme) kreisförmig dar, so dass Tageszeitabhängigkeiten leicht erkennbar sind, wie Abbildung 13 zeigt. Die Parameter werden durch unterschiedliche Farben repräsentiert, wobei der Farbton Rot mit unterschiedlichen Intensitäten zur Visualisierung genutzt. Durch Anklicken von Segmenten können für einen ausgewählten Zeitpunkt genauere Vitalwerte angezeigt werden.

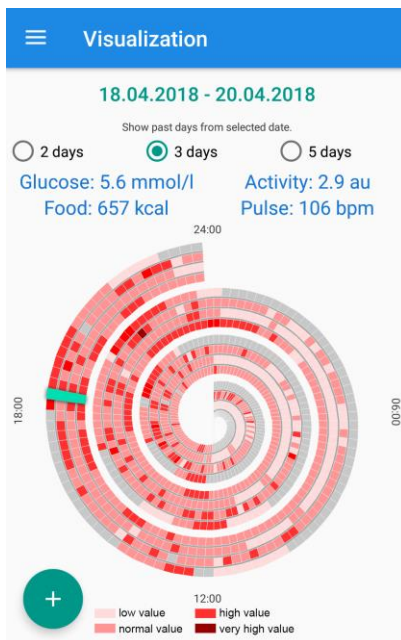


Abbildung 13. Spiraldarstellung.

Die Spiral-Darstellung präsentiert derzeit 2 bis 5 Tage. Bei einer größeren Anzahl von darzustellenden Tagen wird auf dem mobilen Display die Anzeigefläche zu klein. Daher ist für diese Zeiträume eine Matrixdarstellung implementiert worden.

Die Abbildung 14 zeigt die nun umgesetzte Matrix-Darstellung in der entwickelten Android App. Hier lässt sich sehr gut eine Korrelation zwischen Blutzucker und der Nahrungsaufnahme erkennen. Zeitliche Unregelmäßigkeiten bei der Nahrungsaufnahme am Abend lassen sich ebenfalls sehr leicht ablesen. Durch die Matrix-Darstellung lassen sich weiterhin Regelmäßigkeiten im Aktivitätsverhalten, beispielsweise in der Schlaf- oder Wachphase erkennen.

Die vorgestellten Visualisierungen der Parameter repräsentieren die Messwerte durch Farbintensitäten, deren Bereiche sich frei und individuell definieren lassen.



Abbildung 14. Matrixdarstellung.

Die mögliche Messdauer für die Parameter Blutzucker, Puls, Aktivität und Kohlenhydrate ist nur durch den Speicherplatz beschränkt. Der CGM-Sensor muss nach 14 Tagen gewechselt werden, wobei eine Erfassung und Einschätzung des Lebensstils des Nutzers für diesen Zeitraum als ausreichend betrachtet werden kann.

5. ERGEBNIS UND DISKUSSION

Die vorgestellten Visualisierungskonzepte wurden in einer prototypischen Applikation implementiert und mit 3 Nutzern getestet. Die applikationsspezifischen Funktionen wie Sensorabfrage, Datenhaltung und Synchronisation waren leistungsfähig und konnten im Evaluationszeitraum getestet werden. Die mobil erfassten Daten wurden dem Nutzer visualisiert.

Es zeigte sich, dass das vorgestellte Visualisierungskonzept sehr geeignet war, dem Nutzer ein direktes Feedback hinsichtlich der Nahrungsaufnahme des Lebensstils zu geben. Die Visualisierung war intuitiv und repräsentierte alle notwendigen Daten. Die Nutzer konnten durch die Visualisierung die Zusammenhänge der vier dargestellten Parameter besser verstehen und waren darüber hinaus von den körpereigenen Wechselreaktionen (besonders Blutzuckersteigerung nach Trinken von zuckerhaltigen Getränken) beeindruckt. Das Testsystem führte eigenständig dazu,

dass die Probanden ihre Nahrungsaufnahme bewusster durchführten. Die gewählten Darstellungskonzepte ermöglichen die Visualisierung von Wechselwirkungen und Anomalien der verschiedenen Parameter. Der Nutzer erhält einen tiefgehenden Einblick, was eine Nahrungsaufnahme oder Sport bewirken und kann sein Lebensstil daraufhin besser anpassen.

Die vorliegende App erlaubt die Erfassung und Visualisierung von Blutzuckerwerten von gesunden Personen und ermöglicht dadurch neue zukünftige Erkenntnisse auch hinsichtlich chronologischen Wechselwirkungen oder Einflüsse durch Hormone, Fieber, Infektionen oder Stress. Es ist vorstellbar, dass die Blutzuckererfassung zukünftig ein fester Bestandteil der Prävention oder Diagnose werden könnte. Die hierfür notwendigen Visualisierungstechnologien sind mit dieser Arbeit dargestellt worden.

6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Durch die Möglichkeit der kontinuierlichen Messung des Glukosegehalts der Zellflüssigkeit mittels CGM-Sensoren können Daten auch von gesunden Personen erfasst werden. Da der Blutzuckerspiegel bei Nahrungsaufnahme oder körperlicher Aktivität ebenfalls wie bei Diabetikern stark variiert, wurden neue Visualisierungskonzepte entwickelt, um eine geeignete Darstellung der Wechselwirkungen zu erhalten. Auf einem mobilen Endgerät wurde daher die Visualisierung als Diagramm-Darstellung, als Spiral-Darstellung und als Matrix-Darstellung implementiert und getestet. Es zeigte sich, dass die gewählten Darstellungsformen eine Bewertung des Lebensstils zulassen und die erfassten Daten intuitiv repräsentieren. Die Nutzer waren in der Lage, die körpereigenen Wechselreaktionen besser nachvollziehen und verstehen zu können. Es ist geplant, zukünftig das System mit mehreren Nutzern zu testen und alternative Farben einzubeziehen. Weiterhin werden Arbeiten im Bereich der Prävention, Therapieunterstützung sowie Datenanalyse mittels Methoden des maschinellen Lernens durchgeführt.

7. ACKNOWLEDGMENTS

Wir danken dem Südstadt-Klinikum Rostock sowie der MEDIGREIF-Inselklinik Usedom für die Unterstützung der vorliegenden Arbeit.

8. REFERENCES

- [AU16] Apotheken-Umschau (03.11.2016). Zuckerkrankheit: Diabetes – was ist das? Wort & Bild Verlag Konradshöhe GmbH & Co. KG
- [Ha06] Hauner, H. (2006). Die Kosten des Diabetes und seiner Komplikationen in Deutschland. *DMW-Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 131(S 8), S240-S242.
- [My18] Mylife. Der Unterschied zwischen Diabetes Typ 1 und Typ 2. Online: <https://www.mylife.de/krankheit-behandlung/der-unterschied-zwischen-diabetes-typ-1-und-typ-2-19306>, letzter Zugriff: 06.05.2018
- [Um02] Umpierrez, G. E., Isaacs, S. D., Bazargan, N., You, X., Thaler, L. M., & Kitabchi, A. E. (2002). Hyperglycemia: an independent marker of in-hospital mortality in patients with undiagnosed diabetes. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 87(3), 978-982.
- [SC01] Schneider J. (2001). Visualisierung von Diabetesdaten, Technical Report, Österreichisches Forschungsinstitut für Artificial Intelligence, Wien, TR-2001-33, 2001

[Kr05] Kremling H. (2005). Historische Betrachtungen zur präventiven Heilkunde. In: Würzburger medizinhistorische Mitteilungen. Band 24, 2005, S. 222–260, hier S. 240 f.

[FH07] Freckmann, G., Hagenlocher, S., Baumstark, A., Jendrike, N., Gillen, R. C., Rössner, K., & Haug, C. (2007). Continuous glucose profiles in healthy subjects under everyday life conditions and after different meals. *Journal of diabetes science and technology*, 1(5), 695-703.

[He17] Heinemann L et al. (2019). Praxisempfehlung der DDG: Glukosemessung und -kontrolle bei Patienten mit Typ-1- oder Typ-2-Diabetes, *Diabetologie* 2017; 12 (Suppl 2): S242 - S262

[KI05] Klonoff, D. C. (2005). Continuous glucose monitoring: roadmap for 21st century diabetes therapy. *Diabetes care*, 28(5), 1231-1239.

[Na17] Nauck M et al. (2017). Praxisempfehlung der DDG: Definition, Klassifikation und Diagnostik des Diabetes mellitus, *Diabetologie* 2017; 12 (Suppl 2): S94, Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart · New York, ISSN 1861-9002

[Abb18] Abbott FreeStyle Libre, Abbott GmbH & Co. KG, Abbott Diabetes Care, Max-Planck-Ring 2, 65205 Wiesbaden, <http://www.freestylelibre.de>

[NO07] : Visuelles Data Mining und Visualisierungsdesign für die Klimaforschung, S. 66, 2007

[BE99] Bjørnholt, J. V., Erikssen, G., Aaser, E., Sandvik, L., Nitter-Hauge, S. I. G. U. R. D., Jervell, J., ... & Thaulow, E. (1999). Fasting blood glucose: an underestimated risk factor for cardiovascular death. Results from a 22-year follow-up of healthy nondiabetic men. *Diabetes care*, 22(1), 45-49.

[Gr17] Grzegorek K. (2017). Isoglykose - Warum der Zuckersirup zum Problem werden könnte. *Ärzte Zeitung online*, https://www.aerztezeitung.de/news/news_ticker/article/945677/iso-glukose-zuckersirup-problem-koennte.html. 19.10.2017, letzter Zugriff: 06.05.2018.

[DH02] Dragicevic, P. & Huot, S. (2002). SpiraClock: A Continuous and Non-Intrusive Display for Upcoming Events. In: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI), ACM.

[WP18] Wikipedia, Histogramm (2018). Online: <https://de.wikipedia.org/wiki/Histogramm>, letzter Zugriff: 18.05.2018

[DE18] DEXCOM: Dexcom G5, mobile App, <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.dexcom.cgm.region1.mgd1>, letzter Zugriff: 06.05.2018

[Me18] MEDTRONIC: Guardian Connect, mobile App, Online: <https://guardianconnect.medtronic-diabetes.de>, letzter Zugriff: 18.05.2018

[RD18] ROCHE DIABETES CARE: Eversense CGM, Online: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.senseonics.gen12androidapp>, letzter Zugriff: 18.05.2018

[Ab18] ABBOTT FREESTYLE LIBRE: Freestyle Libre Link, <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.freestylelibre.app.de>, letzter Zugriff 06.05.2018

[BR13] Bieber G., Schiel R. (2013). Smartwatch und -phone als Therapie- und Monitoringgerät für Diabetes und Adipositas, *Diabetologie und Stoffwechsel* 8, Ausgabe S 01, Diabetes Kongress 2013 – 48. Jahrestagung der DDG, P181