

# Der STABILO Digistift

STABILO International GmbH



STABILO International GmbH  
Schwanweg 1  
90562 Heroldsberg  
Germany  
Tel. +49 911 567 1210  
Mail: [Peter.Kaempf@stabilo.com](mailto:Peter.Kaempf@stabilo.com)

## Inhaltsverzeichnis

|          |                                         |           |
|----------|-----------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Produktbeschreibung</b>              | <b>3</b>  |
| 1.1      | Abgrenzung zu bestehenden Produkten     | 3         |
| 1.2      | Schnittstellen                          | 4         |
| 1.2.1    | LED                                     | 4         |
| 1.2.2    | USB                                     | 4         |
| 1.2.3    | Bluetooth® Low Energy                   | 4         |
| <b>2</b> | <b>Motivation für die Entwicklung</b>   | <b>5</b>  |
| 2.1      | Bedeutung der Graphomotorik             | 5         |
| 2.2      | Messung der handschriftlichen Kompetenz | 5         |
| <b>3</b> | <b>Betrieb</b>                          | <b>6</b>  |
| 3.1      | Einschalten                             | 6         |
| 3.2      | Laden                                   | 6         |
| 3.3      | BLE Verbindungsaufbau                   | 7         |
| 3.4      | Minenwechsel                            | 7         |
| 3.5      | Zurücksetzen                            | 7         |
| <b>4</b> | <b>Einsatz</b>                          | <b>8</b>  |
| 4.1      | Anwendung in der Ergotherapie           | 8         |
| 4.2      | Anwendung im Unterricht                 | 10        |
| 4.3      | Ergebnisparameter des Tests             | 10        |
| 4.3.1    | Dauer                                   | 10        |
| 4.3.2    | Druck                                   | 10        |
| 4.3.3    | Frequenz                                | 10        |
| 4.3.4    | Automationsgrad                         | 11        |
| 4.3.5    | Schreibwinkel                           | 11        |
| 4.4      | Buchstaben-Erkennung                    | 12        |
| 4.5      | Mögliche klinische Anwendungen          | 12        |
| <b>5</b> | <b>Technische Angaben</b>               | <b>13</b> |
| 5.1      | Stift                                   | 13        |
| 5.2      | Tablet für ErgoPen-App                  | 13        |
| 5.3      | Elektrische Eigenschaften               | 14        |
| 5.3.1    | Betriebsspannung                        | 14        |
| 5.3.2    | Radiointerferenz                        | 14        |
| 5.4      | Schutzklasse                            | 14        |
| 5.5      | CE-Zeichen                              | 14        |
| 5.6      | SVHC Materialien                        | 14        |
|          | <b>Literatur</b>                        | <b>15</b> |

## 1 Produktbeschreibung

Der Digistift ist ein Kugelschreiber, der mittels MEMS<sup>1</sup>-Sensoren die Beschleunigung, Drehraten, das Magnetfeld und den Andruck auf dem Papier beim Schreiben mißt und die Daten drahtlos per Bluetooth® Low Energy (BLE) an ein verbundenes Gerät weitergibt. Eine wiederaufladbare 350 mAh-Batterie läßt den Betrieb über mindestens 17 Stunden zu, ein interner 64-MBit-Speicher erlaubt den Betrieb auch ohne Funkverbindung und eine micro-USB Buchse am Stiftende ermöglicht die direkte Kommunikation mit dem internen Prozessor.

Der Stift wird über das Abziehen der Kappe eingeschaltet und verbindet sich mit jedem BLE-fähigen Gerät (Zielgerät). Das BLE-Protokoll verwendet Digistift-spezifische Charakteristiken, weshalb eine spezielle Software auf dem Zielgerät erforderlich ist, um den Stift sinnvoll zu betreiben. Dann kann der STABILO Digistift:

- auf Papier schreiben mit einer minimalen Schreiblänge von 1400 m.
- Beschleunigung, Drehraten, Bewegungen der Schreibspitze und die Lage im Raum drahtlos an ein verbundenes Gerät übertragen.
- In Version 2: Zusätzlich den Griffdruck messen.
- Beschleunigung, Drehraten, Bewegungen der Schreibspitze und die Lage im Raum intern für mindestens 25 Minuten (Version 2: Über 10 Stunden) speichern, wenn die Verbindung unterbrochen wurde.
- über eine schnelle, drahtgebundene Verbindung die gespeicherten Daten übertragen oder mit neuer Firmware beschrieben werden.



Abbildung 1: Seiten- und Draufsicht des Digistifts

Die Abmessungen und Massen des Digistifts sind:

- Maximaler Durchmesser 15 mm. Maximaler Durchmesser im Griffbereich 12,5 mm.
- Länge über alles (mit aufgesteckter Kappe) 167,0 mm.
- Masse mit aufgesteckter Kappe 25 g.
- Auswechselbarer Schreibeinsatz von 66,7 mm Länge.
- Schreibspitze mit einem Kugeldurchmesser von 1,0 mm.

### 1.1 Abgrenzung zu bestehenden Produkten

Uns ist kein vergleichbares Produkt bekannt. Ähnliche Systeme wurden bisher nur an Universitäten im experimentellen Rahmen entwickelt. Gängige elektronische Stifte vermessen die absolute Position der Schreibspitze auf einem speziellen Schreibsubstrat (Spezialpapier oder Grafiktablet). Dagegen schreibt der Digistift auf Papier und begnügt sich mit den relativen Positionsänderungen für seine Auswertung der Handschrift.

<sup>1</sup> MEMS = Mikro-Elektro-Mechanisches System

## 1.2 Schnittstellen

### 1.2.1 LED

Der Stift besitzt an seiner Unterseite eine Dreifarb-Leuchtdiode, die über den jeweiligen Zustand informiert. Dabei ist die Farbcodierung:

| Zustand                        | Kappe       | LED-Signal                   |
|--------------------------------|-------------|------------------------------|
| aus                            | aufgesteckt | aus                          |
| USB verbunden                  | aufgesteckt | orange bei Ladung, dann grün |
| Bootloader                     | abgezogen   | grünes Blinken               |
| Startprozeß                    | abgezogen   | Gelbes Dauerlicht            |
| USB Datentransfer              | abgezogen   | Blinkt rot-grün              |
| BLE Bereitschaft               | abgezogen   | Blinkt blau                  |
| BLE verbunden                  | abgezogen   | Blaues Dauerlicht            |
| Schreibt auf internen Speicher | abgezogen   | Blinkt violett               |

Tabelle 1: Zustände und LED-Farben des Digistiftes

### 1.2.2 USB

Die elektrischen und mechanischen Eigenschaften der USB-Mikro-Buchse am hinteren Ende des Produkts entsprechen der IEC 62684: 2011. Um die Verunreinigung der Elektronik mit Staub, Spritzwasser oder Speichel zu verhindern, kann die hintere Öffnung für die USB-Buchse durch einen flexiblen, abnehmbaren Stecker verschlossen werden.

Die USB-Verbindung dient sowohl dem Laden der Batterie als auch der Datenübertragung vom und zum Stift. Die Datenübertragung wird von einer benutzerdefinierten Software auf dem angeschlossenen Gerät initiiert und gesteuert. Der Digistift unterstützt Low-Speed- und Full-Speed-Verbindungen. Die Verbindung erfolgt über den virtuellen COM-Port-Mechanismus, der die Installation eines geeigneten Treibers erfordert. Für PC-Systeme bietet STM einen Installer auf [der STM-Webseite](#) an.

Das für die Kommunikation verwendete USB-Profil ist die Communication Device Class (CDC). Auf das Gerät wird über den virtuellen seriellen Anschluss zugegriffen. Alle Transaktionen werden vom USB Host initiiert. Ein Scan der COM-Ports sollte ein Gerät mit einem passenden Vendor ID / Produkt ID (VID/PID)-Paar erkennen. Für die aktuelle Version sind sie

**VID** 0x0483

**PID** 0x5740

### 1.2.3 Bluetooth® Low Energy

STABILO ist bei der Bluetooth SIG, Inc. mit der Declaration ID D035010 registriert und der ErgoPen ist konform mit dem Bluetooth®-Standard 4.1. Daher ist der Stift berechtigt, auf seiner Verpackung das Bluetooth®-Symbol zu führen.



Abbildung 2: Bluetooth®-Logo

Gemäß dem Generic Access Profile (GAP) ist der Digistift ein Peripheriegerät und das angeschlossene Gerät ist das zentrale Gerät. Dem Bluetooth Generic Attribute Protocol (GATT) konform kann die Bluetooth Low Energy (BLE)-Kommunikation, sobald eine Verbindung hergestellt wurde, zwischen einem Server und einem Client bestehen. Dabei ist das verbundene Gerät der Client und der Stift der Server.

GATT-Transaktionen in BLE basieren auf übergeordneten verschachtelten Objekten namens Profilen, Diensten und Merkmalen. Ein Profil ist eine Sammlung von einem oder mehreren Diensten, die wiederum aus einem oder mehreren Merkmalen bestehen. Ein Merkmal enthält die eigentlichen Datenpunkte. Der Stift verwendet ein benutzerdefiniertes Protokoll für die Sensordatenübertragung. Dies ist der Digistift Stream Data Service (Benutzerdefiniert, 128 Bit UUID = 7E0BC6BE-8271-4F5A-A126-C24220E6250C). Zusätzlich sind diese traditionellen Dienste in dem Protokoll enthalten:

- DIS (Geräteinformationsdienst)
- BAS (Batterieservice)
- optional zur Verwendung als Eingabegerät: HID (Human Interface Device) über GATT.

STABILO ist bei der IEEE unter dem OUI (Organization Unique Identifier) 88-86-C2 aufgeführt, so dass die hexadezimale MAC-Adresse jedes Digistiftes mit 8886C2 beginnt.

## 2 Motivation für die Entwicklung

### 2.1 Bedeutung der Graphomotorik

Eine routinierte Schrift ist durch einen gleichmäßigen Geschwindigkeitsverlauf mit genau nur einem Maximum der Geschwindigkeit innerhalb eines Auf- oder Abstriches gekennzeichnet [2, 3]. Werden Wörter wiederholt geschrieben, so bleiben bei geübten Schreibern die charakteristischen Ausführungen der Bewegung über alle Durchläufe erhalten. Schreibbewegungen dieser Art verstehen Mai und Marquardt als automatisiert [4]. Automation kennzeichnet somit eine flüssige Schreibbewegung. Nicht automatisierte Bewegungen sind hingegen durch mehrere Maxima im Geschwindigkeitsverlauf gekennzeichnet, werden also mit mehreren Bewegungsimpulsen pro Auf- oder Abstrich ausgeführt.

Automatisierte Schreibbewegungen werden vom Kleinhirn und dem motorischen Kortex gesteuert. Sie unterliegen nicht mehr der bewussten Kontrolle und verlangen keine visuelle Überprüfung. So wird die Aufforderung, einen Satz mit geschlossenen und dann mit offenen Augen zu schreiben, das gleiche automatisierte Bewegungsprofil zeigen. Bei weniger geübten Schreibern ist dagegen Schreiben mit einer bewussten Hand-Auge-Koordination verbunden. Das Großhirn, das für die Steuerung kognitiver Bewegungen zuständig ist, übernimmt dann die Kontrolle dieser nicht-automatisierten Bewegungsausführung. Diese bewusste Bewegungskontrolle führt nicht nur zu deutlich verlangsamtem Schreiben, sondern belastet auch stark das Arbeitsgedächtnis und erschwert es damit, sich gleichzeitig auf Rechtschreibung oder Inhalt zu konzentrieren.

Eine automatisierte Handschrift ist für den schulischen Erfolg elementar: Muss sich ein Schüler überwiegend auf die Mitschrift konzentrieren, wird es schwierig, gleichzeitig dem Unterricht zu folgen. Aber auch ein Verzicht auf das Mitschreiben ist keine Lösung: Notizen verbessern den Anteil des Gelernten erheblich, besonders, wenn sie per Handschrift erstellt werden [5]. Handschriftlich erstellte Ausarbeitungen erhalten laut einer Studie [6] 38% mehr relevante Konzepte, was auf eine verbesserte Kreativität bei Benutzung eines Stiftes hinweist.

### 2.2 Messung der handschriftlichen Kompetenz

Dagegen steht eine nachlassende handschriftliche Kompetenz von Schulabgängern durch den zunehmenden Gebrauch digitaler Medien [1]. In diesen spielt die Handschrift allenfalls eine untergeordnete

Rolle. Daher besteht Bedarf für ein praxistaugliches System, das den Automationsgrad der Schrift messbar macht. Obwohl seit Mitte der 1980er Jahre graphische Tablettis zur Verfügung stehen [7, 4], ist die Analyse motorischer Aspekte des Schreibens bisher meist noch auf die simple Beobachtung des Schreibprozesses beschränkt. Diese ausschließlich visuelle Bewertung kann zu falschen Interpretationen führen: So kann eine ordentliche, schöne Schrift durch sehr langsames, nicht bewegungsgünstiges Schreiben, eher Malen und mit vielen Pausen entstanden sein. Eine unleserliche Schrift hingegen kann einen hohen Automationsgrad aufweisen. Den Schreibprozess detailliert zu beobachten ist mit dem bloßen Auge nicht möglich, da die Augen einen bewegten Reiz nur bis zu einer Geschwindigkeit von ca. 1.5 Hz verfolgen können, Schreiben jedoch bei bis zu 6 Hz stattfindet. Die Registrierung und Analyse von Schreibbewegungen anhand der kinematischen Bewegungsanalyse ermöglichen Einsichten in den motorischen Schreibprozess, die durch bloßes Beobachten nicht erkannt werden können. Daher hat STABILO den Digistift entwickelt, der die Schreibbewegungen detailliert erfasst und deren Struktur hinsichtlich Beschleunigung, maximaler Geschwindigkeit und Bremsphase genau beschreibt.

### 3 Betrieb

#### 3.1 Einschalten

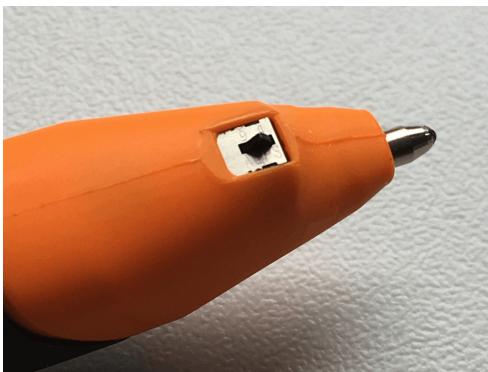


Abbildung 3: Kontaktschalter

Der Stift wird durch Abziehen der Kappe eingeschaltet, was den Kontaktschalter an der Spitze (siehe Abbildung 3) auslöst. Danach leuchtet die Leuchtdiode an der Stiftunterseite gelb, was den Startvorgang anzeigt. Bleibt die Leuchtdiode dunkel, ist die Batteriespannung unter den Abschaltwert von 3 V gefallen. Bitte laden Sie den Stift in diesem Fall mit dem mitgelieferten Ladegerät auf.

Nach Beenden des Startvorganges wechselt die Leuchtdiode zu einem blauen Blinken, was die Suche nach einem Bluetooth®-Gerät anzeigt, mit dem sich der Stift koppeln kann.

Falls das gelbe Dauerlicht über mehr als 3 Sekunden anhält, drücken Sie den Kontaktschalter vorsichtig herunter, bis die Leuchtdiode erlischt. Danach lassen Sie den Schalter wieder los, um den Startvorgang erneut zu starten.

#### 3.2 Laden

Der Digistift enthält eine 350 mAh Lithium-Ionen-Batterie, die über ein USB-Kabel geladen werden kann. Entfernen Sie die weiche Abdeckung vom Stiftende, um die USB micro Buchse zugänglich zu machen und stecken Sie den Micro-Stecker des mitgelieferten Kabels dort ein. Verbinden Sie das andere Ende des Kabels mit der Buchse am Ladegerät. Die interne Elektronik begrenzt den Ladestrom auf unter 320 mA und schaltet den Ladevorgang automatisch ab, wenn die Batterie vollständig geladen ist. Falls das mitgelieferte Ladegerät nicht zur Hand ist, kann auch jeder andere USB-Ausgang zum Laden verwendet werden, der einen Hochstrom-Anschluss unterstützt.



Abbildung 4: Einstecken des USB-Kabels



### 3.3 BLE Verbindungsaufbau

Wenn der Stift in der Nähe eines BLE-fähigen Gerätes ist, wird er dort als "Digipen" in der Liste der erkannten Bluetooth®-Geräte angezeigt. Wenn Sie den Digistift in dieser Liste auswählen, wechselt die Leuchtdiode auf ein blaues Dauerlicht, was die erfolgreiche Kopplung anzeigt. Wenn Sie den Stift abschalten wollen, stecken Sie einfach die Kappe wieder auf. Beim nächsten Entfernen der Kappe sollte er sich automatisch mit dem Gerät verbinden, sobald dieses in Reichweite ist.

Bitte beachten Sie, dass der Name des Stiftes frei einstellbar ist. Daher kann er unter einem anderen Namen in der Liste der BLE-Geräte erscheinen.

STABILO ist bei der IEEE unter dem OUI (Organization Unique Identifier) 88-86-C2 aufgeführt, so dass die hexadezimale MAC-Adresse jedes Digistiftes mit 8886C2 beginnt.

### 3.4 Minenwechsel

Der Digistift schreibt mit einer Spezialmine, die für ihn entwickelt wurde und von STABILO bezogen werden kann. Falls der Tintenfluß versiegt, kann das Griffstück nach vorne abgezogen werden und gibt die Mine frei, die dann leicht ausgewechselt werden kann. Um den Schalter unterhalb der Spitze nicht zu beschädigen, muß ein Drehen des Griffstücks unbedingt vermieden werden, weshalb sie mittels Längsnuten auf dem Stiftschaft geführt wird. Daher bewegen Sie das Griffstück bitte immer nur in Richtung der Stiftlängsachse, wenn Sie es auf- oder absetzen wollen.



(a) Abdrücken mit zwei Daumen



(b) Abziehen nach vorne

Abbildung 5: Abziehen des Griffstücks zum Minenwechsel

### 3.5 Zurücksetzen

Die Stiftelektronik kann bei einem Fehler über das Einstecken eines Drahtes an dem Loch neben der Fangschnur-Öffnung des USB-Deckels am Stiftende (siehe Abbildung 6) zurückgesetzt werden. Als Draht eignet sich eine aufgebogene Büroklammer. Bitte stecken Sie den Draht nicht tiefer als 4 mm ein; bei einem tieferen Einstecken können innere Bauteile beschädigt werden. Generell gilt: Erlischt die Leuchtdiode, war der Vorgang erfolgreich.



Abbildung 6: Zurücksetzen

## 4 Einsatz

### 4.1 Anwendung in der Ergotherapie

Für die Vermessung der Handschrift hat STABILO eine App für Android- und iOS-Tablets geschrieben, die mit dem Digistift zusammenarbeitet. Beim Start wird eine Verbindung mit einem in der Nähe befindlichen und eingeschalteten Stift aufgebaut; Symbole in der Kopfleiste des Bildschirms informieren über den verbundenen Stift und den Ladezustand der Stiftbatterie. Die App beinhaltet auch Funktionen zur Wartung des Stiftes, so kann er über die App kalibriert (siehe Abbildung 7b) oder eine neue Firmware auf den Stift geschrieben werden.

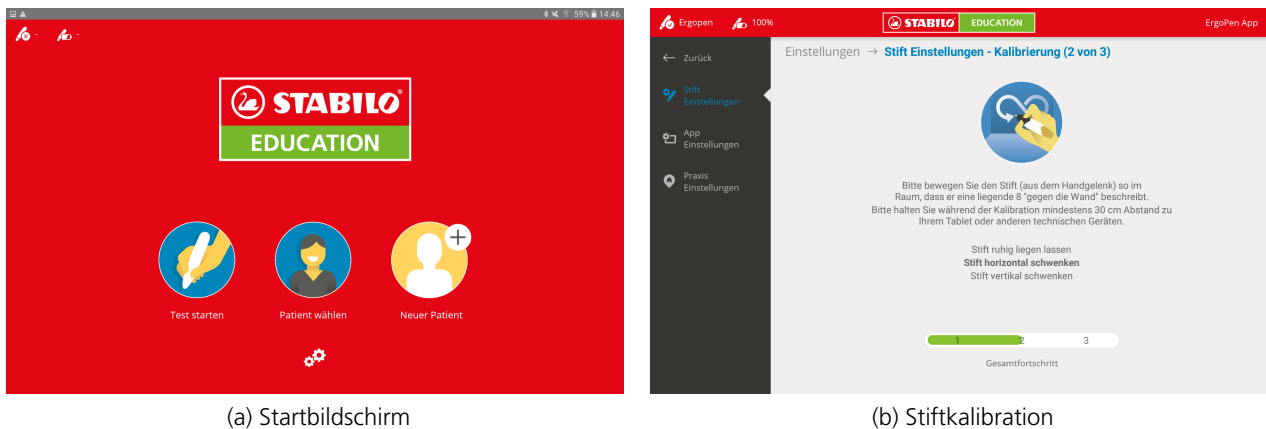


Abbildung 7: ErgoPen App

Vom Startbildschirm (Abbildung 7a) kommt man entweder direkt zu einem Test, die Liste der bereits eingegebenen Patienten oder die Eingabemaske für einen neuen Patienten. Dabei ist am linken Bildrand eine Spalte zu sehen, deren Befehle sich dem Kontext auf der rechten Seite anpassen. Hat man einen Patienten ausgewählt, bietet die Spalte links die Möglichkeit, zu vorher absolvierten Tests oder den Berichten dazu zu springen. Ebenso ist es möglich, die Daten über WLAN an einen verbundenen Rechner zu übertragen.

Der Hauptteil des Bildschirms rechts ist die eigentliche Arbeitsfläche: Hier kann man:

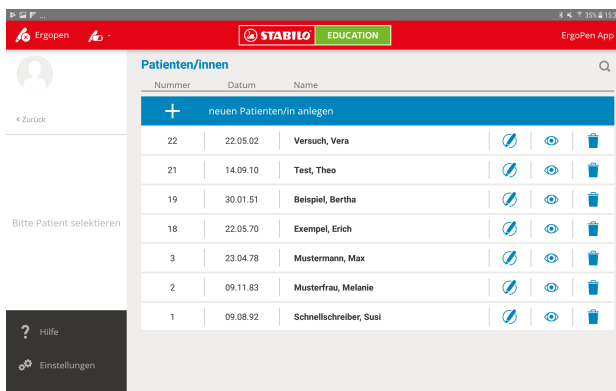
- die Liste der Patienten einsehen (Abbildung (8a)),
- zur Eingabemaske zum Hinzufügen eines neuen Patienten springen,
- zu den Daten eines ausgewählten Patienten springen, um sie einzusehen oder zu ändern,
- zur Liste bereits absolvierter Tests springen, um sie einzusehen oder zu ändern
- und zur Testdurchführung springen.

Um aus der Patientenübersicht heraus einen neuen Schreibtest zu starten, tippt man auf das eingekreiste Stiftsymbol in der Zeile des entsprechenden Patienten. Um zu den Patientendaten zu wechseln, tippt man auf das Auge-Symbol in der Zeile des entsprechenden Patienten, und um einen Patienten zu löschen auf das Mülltonnen-Symbol.

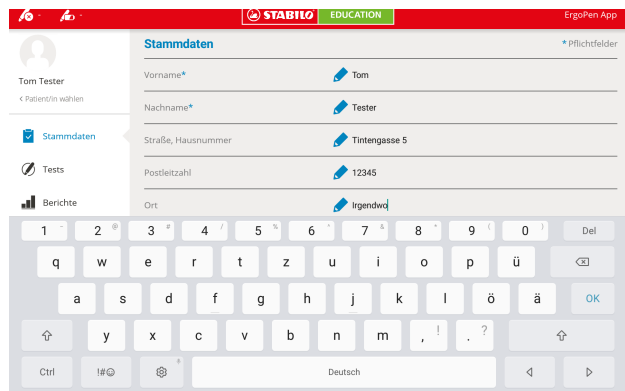
Um einen Eintrag in den Patientendaten zu ändern (siehe Abbildung 8b auf der nächsten Seite), tippt man auf das Bleistiftsymbol in der entsprechenden Zeile.

Der erste Test eines neuen Patienten wird als Anamnesetest bezeichnet. Weitere Tests zu späteren Zeitpunkten heißen Verlaufstest. Tippt man auf das Auge-Symbol in der Patientenliste oder das Stiftsymbol am linken Bildschirmrand, zeigt das Programm eine Liste aller Tests eines Patienten an (Abbildung 9a auf



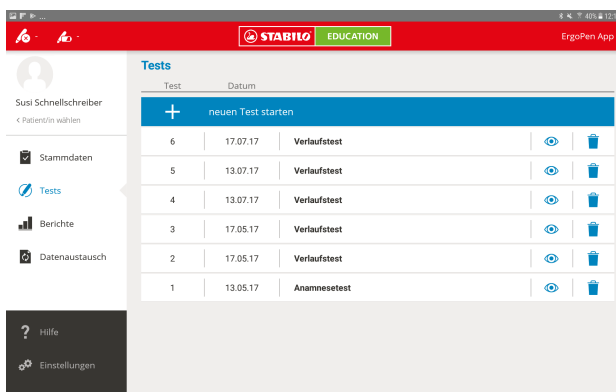


(a) Patientenliste

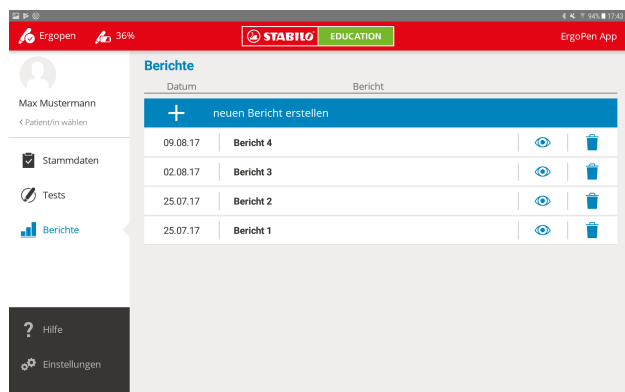


(b) Neuanlage eines Patienten

Abbildung 8: Eingabemasken der integrierten Patienten-Datenbank



(a) Liste der bereits durchgeführten Tests

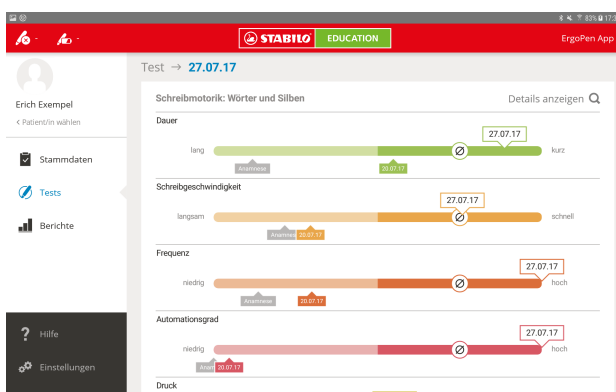


(b) Liste der Testberichte

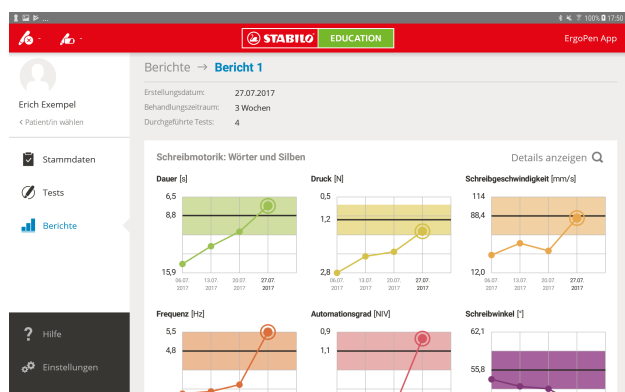
Abbildung 9: Schreibtest-Datenbank

der nächsten Seite). Tippt man in dieser Liste auf das Auge-Symbol, springt die Anzeige zur Übersichtsseite des entsprechenden Tests, wie sie in Abbildung 10a zu sehen ist. Will man einen Test löschen, tippt man auf das Mülltonnen-Symbol in der betreffenden Zeile der Testliste.

Durch Antippen des Drei-Balken-Symbols auf der linken Seite kann man die Liste der von der ErgoPen



(a) Übersicht nach Beendigung eines Tests



(b) Verlaufsbericht

Abbildung 10: Darstellung der Ergebnisse

App automatisch erzeugten Testberichte einsehen, wie sie in Abbildung 9b auf der vorherigen Seite beispielhaft gezeigt ist. Auch hier führt das Auge-Symbol zu einer detaillierten Ansicht des betreffenden Berichts. Ein Bericht faßt alle bis zum Zeitpunkt der Erstellung vorliegenden Testergebnisse zusammen und zeigt den zeitlichen Verlauf der getesteten Parameter (Abbildung 10b auf der vorherigen Seite).

## 4.2 Anwendung im Unterricht

Basierend auf der ErgoPen-App wurde die EduPen-App entwickelt, die einen vereinfachten Test verwendet und die Auswertung um Übungsempfehlungen ergänzt. Damit kann das System in der Grundschule und der Nachmittagsbetreuung eingesetzt werden. Seit Mitte November 2018 wird es als EduPen in Deutschland und Österreich vermarktet.

Mit einer Mustererkennung (siehe folgender Abschnitt) können auch ältere Schüler vom EduPen profitieren, indem Orthographie und Vokabeln trainiert werden. Dies stellt den nächsten Schritt in der Entwicklung des Systems dar.

## 4.3 Ergebnisparameter des Tests

### 4.3.1 Dauer

**Bedeutung:** Schreibdauer vom ersten Aufsetzen bis zum letzten Abheben des Stiftes.

**Hintergrund:** Durch den im Stift verbauten Drucksensor wird erkannt, wann der Stift innerhalb einer Testaufgabe das erste und letzte Mal das Blatt berührt. Dieser Zeitraum wird gestoppt und in Millisekunden [ms] ausgegeben. Die Dauer gibt Information darüber, wie lange die Durchführung einer Testaufgabe gedauert hat. Dieser Parameter unterscheidet sich von der Schreibfrequenz, da hier auch die Schreibpausen enthalten sind. Eine erhöhte Anzahl von Schreibpausen deutet auf Probleme mit dem Schreibprozess hin.

### 4.3.2 Druck

**Bedeutung:** Die mittlere vertikale Kraft, mit der der Stift auf die Schreibunterlage gedrückt wird.

**Hintergrund:** Der im Stift verbaute Kraftsensor zeichnet die axiale Kraft in Newton [N] auf, mit der der Stift während des Schreibens auf das Blatt Papier gedrückt wird. Der Meßbereich beträgt zwischen 0 und ca. 5,3 N. Aus der axialen Kraft wird dann zusammen mit dem Schreibwinkel der vertikale Schreibdruck berechnet. Ein niedriger Schreibdruck für einen Erwachsenen beträgt etwas weniger als 1 N (Newton = Kräfteinheit = etwa 100 g). Ein erhöhter Schreibdruck ist ab 1,5 N angezeigt. Der Schreibdruck wird normalerweise beim Schreiben eines Satzes gemessen und nicht bei einfachen wiederholten Bewegungen (z.B. Kringel).

### 4.3.3 Frequenz

**Bedeutung:** Die Anzahl der Auf- und Abstriche auf dem Papier pro Sekunde.

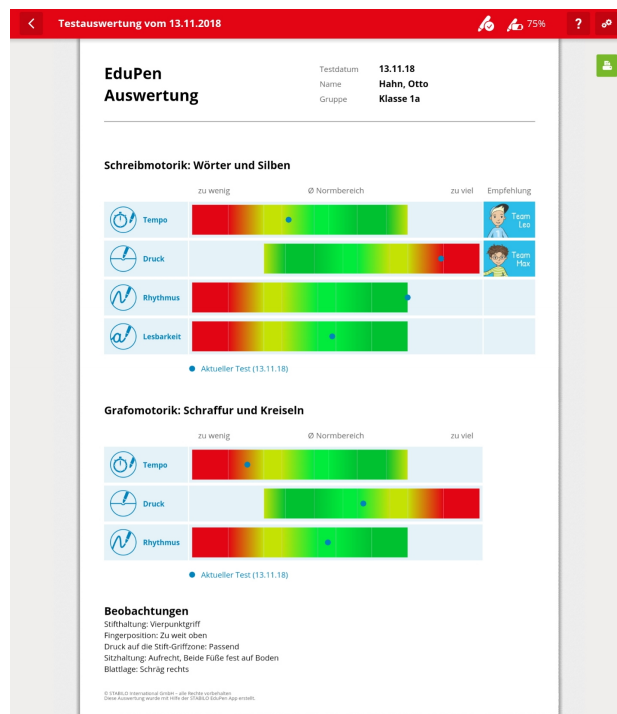


Abbildung 11: Testauswertung der EduPen-App

**Hintergrund:** Die Schreibfrequenz ist ein Maß für die Bewegungsfrequenz beim Schreiben (Auf- und Abbewegungen) und wird in Hertz [Hz] angegeben. Bewegungen in der Luft werden nicht mitgezählt. Eine Schreibfrequenz von 5 Hz (Hertz = Zyklen pro Sekunde) bedeutet, daß der Stift je Sekunde 5 mal auf und ab bewegt wird und dafür dann jeweils 200 ms benötigt werden. Die Schreibfrequenz ist ein stabiles Maß für die motorische Schreibleistung. Routinierte Schreiber schreiben mit schnellen automatisierten Bewegungen und einer Frequenz von 4.5 bis 5 Hz. Dabei pendelt die Hand in der Horizontalen um das Handgelenk mit ihrer Eigenfrequenz, die durch die Masse von Hand und Stift sowie den Muskeltonus bestimmt wird. Diese Bewegung erfolgt um so langsamer, je mehr beim Schreiben aufgrund mangelnder Routine nachkorrigiert werden muß. Schreibanfänger oder -umlerner haben noch kein Gefühl für die Kraft entwickeln können, mit der ein Stift bewegt werden muss, um eine Linie einer bestimmten Länge zu erzielen. Daher unterliegt ihre Schreibbewegung noch einer merklichen visuellen Überwachung, besonders, wenn sie innerhalb vorgegebener Linien schreiben müssen. Dies führt zu Korrekturen innerhalb eines Auf- oder Abstriches, wodurch die Schreibbewegung mehr Anstrengung erfordert und länger dauert. Diese Dauer wird vom Digistift gemessen und in dem Maß der Schreibfrequenz ausgedrückt.

Einfache Buchstaben (z.B. Schreibschrift-*l*) können mit einem Auf- und Abstrich geschrieben werden. Komplexere Buchstaben (z.B. Schreibschrift-*g*) können beispielsweise 2 Auf- und Abstriche benötigen. Entsprechend der Komplexität der verwendeten Buchstaben kann die gleiche Schreibfrequenz zu verschiedenen Schreibdauern führen.

#### 4.3.4 Automationsgrad

**Bedeutung:** Der Automationsgrad der Schreibbewegung zählt die Anzahl der Richtungswechsel in der Geschwindigkeit pro Auf- und Abstrich (Number of Inversions in Velocity, NIV).

**Hintergrund:** Eine Bewegungsausführung wird immer dann als automatisiert bezeichnet, wenn je Bewegungsabschnitt (Auf- oder Abstrich, „Stroke“) glatte und eingipfelige (glockenförmige) Geschwindigkeitsprofile vorliegen (Mai u. Marquardt 1995). Die Bewegungen werden dann immer ohne Unterbrechung in einem Zug ausgeführt. Als quantitatives Maß für den Automationsgrad einer Bewegung bietet sich an, bei jedem Auf- oder Abstrich die Anzahl der Richtungsinversionen in der Geschwindigkeit (NIV) zu berechnen, was der Anzahl der verwendeten Teilbewegungen pro Auf- oder Abstrich entspricht. Gelernte Bewegungen werden automatisiert ausgeführt, also vollständig vorausgeplant und dann nicht mehr bewusst gesteuert oder im Detail kontrolliert. Der Vorteil ist neben der hohen Ausführungsgeschwindigkeit, daß bei automatisierter Bewegungsausführung das Arbeitsgedächtnis nicht belastet wird und man sich z.B. auf Inhalt oder Rechtschreibung konzentrieren kann. Werden im optimalen Fall die Auf- oder Abstriche mit jeweils einer Bewegung ausgeführt, erhält man entsprechend ein Wert von NIV=1, bei nicht automatisierten Bewegungen liegen die Werte darüber.

#### 4.3.5 Schreibwinkel

**Bedeutung:** Der mittlere Winkel zwischen dem Stift und der Blattebene.

**Hintergrund:** Mit Hilfe der Inertialsensorik im Stift kann der Winkel beim Schreiben erfasst werden. Ein Stift, der auf dem Papier liegt, hat einen Winkel von 0 Grad, ein Stift, der vertikal auf dem Papier steht, hat einen Winkel von 90 Grad zur Blattebene. Der Stift sollte beim Schreiben nicht zu steil, aber auch nicht zu flach stehen. Günstig ist ein Schreibwinkel von etwa 50-60 Grad. Ein mittlerer Stiftwinkel ermöglicht im Zusammenspiel mit Fingergelenken in Mittelstellung eine hohe kleinräumige Bewegungsfreiheit, was wichtig für eine gute Ausformung der Buchstaben ist. Steht der Stift zu steil, ist dies oft mit einer verringerten Fingerbeweglichkeit und einer verkrampften Stifthaltung verbunden und es müssen größere Kräfte aufgewendet werden, um den Stift zu führen. Weiterhin kann der Handtransport erschwert sein, wenn dabei das Handgelenk abgehoben ist.

## 4.4 Buchstaben-Erkennung

Erste Machbarkeitsstudien wurden zusammen mit Frau Prof. Dr. Tanja Schultz am KIT ab 2014 an ersten Prototypen des Stiftes unternommen. Auf Basis dieser Arbeiten entwickelt der aus dieser Arbeitsgruppe hervorgegangene Karlsruher Startup Kinemic eine Mustererkennungs-Software unter Verwendung von Hidden Markov Models. Derzeit ist eine Schrifterkennung für Android und iOS implementiert und die gegenwärtigen Arbeiten dienen der Verbesserung der Robustheit und der Verminderung des Trainingsaufwands.

Daneben wurde in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für maschinelles Lernen der FAU Erlangen eine Masterarbeit erstellt, die das Erkennen von Buchstaben-Elementen mittels neuronaler Netze untersuchte. Die Erkennung von Grundelementen der Schrift ist ein vielversprechender Ansatz, denn damit lassen sich verschiedene Schriftsysteme (Lateinisch, Griechisch, Kyrillisch) mit nur einem Satz an Trainingsdaten erkennen. Die Arbeit zeigte, dass die Erkennung der einzelnen Muster bereits mit 98% Zuverlässigkeit möglich ist. Erst im nächsten Verarbeitungsschritt, der Komposition zu Buchstaben, sinkt die Erkennungsleistung deutlich. Dies deutet darauf hin, daß die Idee im Prinzip funktioniert, aber die Details noch weiter optimiert werden müssen.

Besonders mit Blick auf die Entwicklung von „Neuro-Chips“, also dedizierten Prozessoren zur hocheffizienten Berechnung neuronaler Netzwerke, die auch im Stift verbaut werden könnten, ist die Entwicklung eines leistungsfähigen neuronalen Netzwerkes ein lohnendes Forschungsobjekt. Dem steht der große Aufwand entgegen, die erforderlichen Daten zu sammeln und die vielen Möglichkeiten auf ihre Wirksamkeit zu überprüfen.

## 4.5 Mögliche klinische Anwendungen

Die britische Firma Manus Neurodynamica wird den Digistift in einem System für Parkinson-Frühdagnostik einsetzen. Derzeit laufen klinische Studien. Mittelfristig ist ein Jahresabsatz von 5000 bis 10000 Systemen geplant.

Durch Vorher-/Nachher-Vergleiche lassen sich die Ergebnisse eines operativen Eingriffs auf die Finger- und Handbeweglichkeit sowie mit Version 2 auf die Griffkraft durch Messung des Schreibdrucks objektiv bewerten. Der Patient schreibt vor und nach dem Eingriff einen standardisierten Testsatz oder macht Schraffurübungen, die besonders gut zur Messung der Finger- und Handbeweglichkeit geeignet sind. Bei der Wiedererlangung handmotorischer Kompetenz nach Verletzungen, chirurgischen Eingriffen oder nach einem Schlaganfall hilft der Digistift, den Fortschritt der Reha-Maßnahmen transparent zu machen. Eine objektive Messung überzeugt auch hartnäckige Skeptiker und motiviert zum Weitermachen.

## 5 Technische Angaben

### 5.1 Stift

|                                        |                                                                     |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Allgemeine Betriebstemperatur          | 0°C bis 40°C                                                        |
| Batterieladetemperatur                 | 5°C bis 35°C                                                        |
| kurzzeitige Lagertemperatur            | –20°C bis +70°C                                                     |
| Lagertemperatur für längere Zeiträume  | bis zu 1 Monat: –20°C bis +50°C<br>bis zu 3 Monate: –20°C bis +40°C |
| Relative Luftfeuchtigkeit im Betrieb   | 20% bis zu 85%                                                      |
| Relative Luftfeuchtigkeit bei Lagerung | 10% bis zu 90%                                                      |
| Betriebs- und Aufbewahrungsort         | Staubfreie und trockene Umgebung, geschl. Räume                     |
| Größe (L × T)                          | 167 × 15,0 mm (einschließlich Kappe)                                |
| Gewicht                                | ca. 25 g                                                            |
| Übertragungsart                        | Bluetooth® Low Energy 4.1                                           |
| Frequenzbänder                         | 2,402 GHz bis 2,480 GHz im 20 MHz Raster                            |
| Maximale Sendeleistung                 | 1mW / 0dBm                                                          |
| Batterietyp                            | Lithium-Ionen-Batterie                                              |
| Ladezeit (typisch)                     | 4 Stunden                                                           |
| Ladestrom (maximal)                    | 1000 mA                                                             |
| Dauerbetriebszeit (typisch)            | 17 Stunden                                                          |
| Druckmessung                           | 4096 Stufen                                                         |
| Neigungsbereich                        | beliebig                                                            |

### 5.2 Tablet für ErgoPen-App

|                         |                                                       |
|-------------------------|-------------------------------------------------------|
| Bild diagonale          | Android: Beliebig. Wir empfehlen 9,7 Zoll oder größer |
|                         | Apple iOS: 7, 10 oder 13 Zoll                         |
| Betriebssystem          | Android 5 (Lollipop), API-Level 21 oder neuer         |
|                         | Apple iOS Version 8.1 oder höher                      |
| Speicherplatz           | 16 GB oder mehr. Die ErgoPen-App benötigt 85 MB       |
| Prozessorleistung       | mindestens 1,6 GHz Taktrate                           |
| Bluetooth-Unterstützung | Bluetooth Low Energy (BLE), Bluetooth 4 oder neuer.   |

## 5.3 Elektrische Eigenschaften

### 5.3.1 Betriebsspannung

Die Betriebsspannung der Elektronik im Inneren des Stifts beträgt 3 V. Die Spannung erreicht maximal 5,5 V, wenn das Ladekabel angeschlossen wurde.

### 5.3.2 Radiointerferenz

Der Stift enthält eine Frequenzsprung-Funkeinheit mit einer maximalen Sendeleistung von 10 mW, die im ISM-Band von 2.400 GHz bis 2.4835 GHz auf 40 Kanälen arbeitet.

Das fertige Produkt verursacht weder Störungen mit anderen elektrischen Geräten noch zeigt es erhebliche Leistungsminderung bei Funkemissionen gemäß der internationalen Standards EN 300328, EN 301489, EN 55024 und EN 55032.

## 5.4 Schutzklasse

Der Stift ist vor Staub (das Eindringen von Staub wird nicht vollständig verhindert, aber er dringt nicht in ausreichender Menge ein, um den Betrieb des Gerätes zu stören) und Spritzwasser geschützt (Spritzwasser unter einem beliebigen Winkel hat keine schädliche Wirkung). Eine IP-Schutzklasse wurde allerdings nicht festgelegt oder getestet.

## 5.5 CE-Zeichen

Der Stift erfüllt die Anforderungen der europäischen Richtlinien für elektrische Sicherheit nach ISO 60950, an die elektromagnetische Verträglichkeit nach EN 301 486, 55024 und 55032, die photobiologische Verträglichkeit nach EN 62471 sowie die RoHS-Verordnung und ist daher berechtigt, das CE-Kennzeichen zu tragen. Ein schwer zu entfernender Aufkleber an der Stiftunterseite trägt das CE-Zeichen, das Herkunftsland sowie ein Symbol, das eine Entsorgung über den Hausmüll verbietet und dazu auffordert, den Stift über ein geeignetes Rücknahmesystem zu entsorgen.



Abbildung 12: CE-Aufkleber

## 5.6 SVHC Materialien

Die Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH), Artikel 57, erfordert die Information über besorgniserregende Materialien. Die Kugelschreiberspitze des Digistiftes enthält in ihrer Metalllegierung über 0,1% Blei, das am 27.6.2018 in die Liste der besonders besorgniserregenden Materialien (SVHC-Liste) aufgenommen wurde. Laut des Herstellers der Spitze sind zwischen 2% und 3% Blei enthalten. Die Spitze besteht hauptsächlich aus Neusilber, einer Legierung aus Nickel und Kupfer, der Blei zugegeben wird, um das Material zerspanen zu können. Derzeit gibt es keine bleifreien Spitzen aus Neusilber auf dem Markt; wir werden die Spitze im ErgoPen durch eine bleifreie Version ersetzen, sobald dies technisch möglich sein wird.



## Literatur

- [1] Hoppe, Imke: Die Bedeutung der Handschrift im Kontext der Digitalisierung. Fraunhofer Institut für Digitale Medientechnologie IDMT, 2009 5
- [2] Mai, Norbert: Warum wird Kindern das Schreiben schwer gemacht? Zur Analyse der Schreibbewegungen. In: Psychologische Rundschau 42 (1991), S. 12–18 5
- [3] Mai, Norbert ; Marquardt, Christian: Analyse und Therapie motorischer Störungen. In: Psychologische Beiträge (1995), Nr. 37, S. 538–582 5
- [4] Mai, Norbert ; Marquardt, Christian: Registrierung und Analyse von Schreibbewegungen: Fragen an den Schreibunterricht. In: Huber L., Speck-Hamdan A. Kegel G. G. Kegel G. (Hrsg.): Einblicke in den Schriftspracherwerb. Westermann, 2002, S. 83–99 5, 6
- [5] Mueller, Pam A. ; Oppenheimer, Daniel M.: The Pen Is Mightier Than the Keyboard: Advantages of Longhand Over Laptop Note Taking. In: Psychological Science (2014). <https://sites.udel.edu/victorp/files/2010/11/Psychological-Science-2014-Mueller-0956797614524581-1u0h0yu.pdf> 5
- [6] Oviatt, Sharon ; Cohen, Adrienne ; Miller, Andrea ; Hodge, Kumi ; Mann, Ariana: The Impact of Interface Affordances on Human Ideation, Problem Solving, and Inferential Reasoning. In: ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI) 19 (2012), 10 5
- [7] Teulings, H. L.: Bewegungssteuerung beim Schreiben. In: Heuer H., Keele S. (Hrsg.): Handbook of Perception and Action Bd. 2: Motor Skills. Academic Press, London, 1994, S. 703–772 6