

# Der richtige Augenblick

Entwicklung eines Frühwarnsystems vor Sekundenschlaf

Jonas Pfeil

Marlene Zander

Jugend-forscht 2003 - Arbeitswelt

## Marlene Zander

---

Prenzlauer Allee 36  
10405 Berlin  
Telefon: (0 30) 49 99 84 21  
MarleneZander@gmx.de

Geb.: 27. Dezember 1982

## Jonas Pfeil

---

An der Kolonnade 4  
10117 Berlin  
Telefon: (0 30) 22 48 80 64  
JonasPfeil@gmx.de

Geb.: 3. März 1983

Urania Berlin e.V.  
An der Urania 17  
10787 Berlin

[www.urania-berlin.de](http://www.urania-berlin.de)

# Inhalt

## 1 Problem Sekundenschlaf

---

1.1	Unfallursache Sekundenschlaf	1
1.2	Idee: Warnsystem vor Sekundenschlaf	2

## 2 Technische Umsetzung

---

2.1	Aufbau	5
2.2	Sicherheitsbedingungen	6

## 3 Weiterentwicklung

---

3.1	Neuerungen	9
3.2	Ausblick	9

## Anhang

---

	Literatur	10
	Schaltplan	11



# 1 Problem Sekundenschlaf

## 1.1 Unfallursache Sekundenschlaf

Durch den Unfall einer Freundin wurden wir auf das Thema Sekundenschlaf im Straßenverkehr aufmerksam. Auf Grund der Anregungen und Verbesserungsvorschläge im Rahmen des letztjährigen Bundeswettbewerbes<sup>1</sup> haben wir uns dazu entschlossen, das damalige Frühwarnsystem weiter auszubauen und Sicherheit sowie Praxistauglichkeit zu optimieren.

Der Sekundenschlaf gehört zu den Hauptursachen für tödliche Verkehrsunfälle. Mehrere unabhängig voneinander geführte Studien belegen das hohe Unfallrisiko im Straßenverkehr durch plötzliches Einnicken. So ist fast jeder vierte tödliche Unfall auf Sekundenschlaf zurückzuführen<sup>2</sup>.

Die meisten Einschlafunfälle ereignen sich in den frühen Morgenstunden. Tagsüber ist das Risiko geringer. Nach Dr. Jürgen Zully, Leiter des Schlafmedizinischen Zentrums der Universität Regensburg, bedeute dies aber keine Entwarnung: „Der Mensch erlebt zwar zwischen drei und vier Uhr morgens seinen biologischen Tiefpunkt, aber auch um die Mittagszeit haben viele Fahrer große Konditions- und Konzentrationsprobleme“ [Abb.2]. Mehr als ein Drittel aller durch Sekundenschlaf verursachten Unfälle geschehen am helllichten Tag<sup>3</sup>.

Da man tagsüber jedoch weniger auf eventuelle Aufmerksamkeitstiefs achtet, merkt man häufig nicht, dass man zum Autofahren eigentlich zu müde ist.

Besonders nach langen Fahrten auf monotonen Straßen, bei geringer Verkehrsdichte oder nach einem Stau

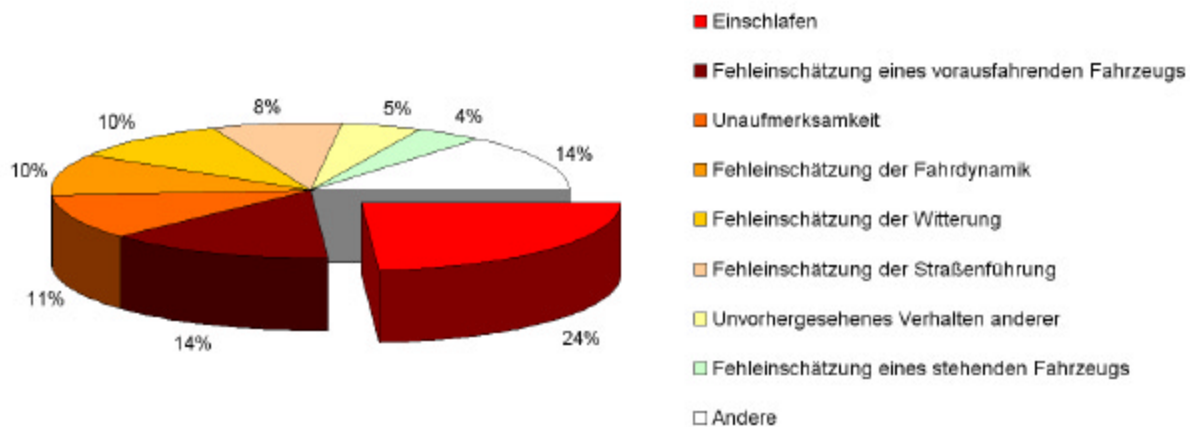


Abb. 1: Ursachen tödlicher Autobahnunfälle (Quelle: Studie des Instituts für Fahrzeugsicherheit München im Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) - 1998)

<sup>1</sup> Der richtige Augenblick - Frühwarnsystem vor Sekundenschlaf im Straßenverkehr, Marlene Zander, 5/2002

<sup>2</sup> nach Untersuchungen des VDS (2001), des GDV(1998) sowie des HUK-Verbandes (1991)

<sup>3</sup> Autozeitung - Report Sekundenschlaf - Ausgabe 17/1998

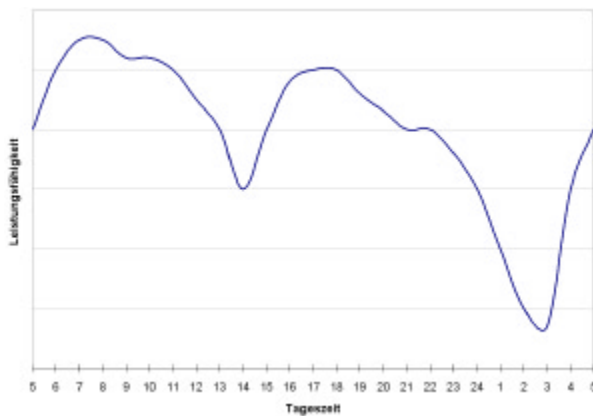


Abb. 2: Zweimal am Tag läßt die Leistungsfähigkeit nach. Der biologische Tiefpunkt liegt zwischen drei und vier Uhr morgens, aber auch am frühen Nachmittag haben viele Fahrer Konzentrationsprobleme. (Quelle: TK Multimedial 08/2002)

erhöht sich die Gefahr plötzlich einzuschlafen deutlich. Damit erklärt sich auch das hohe Einschlafisiko bei Berufskraftfahrern. Diese müssen sehr lange Strecken am Stück zurücklegen, sind oft nachts unterwegs und ignorieren Müdigkeit häufig auf Grund von Termindruck.

Neben der eigenen Sicherheit gefährden aber gerade LKW- und Busfahrer im Falle eines Unfalls auch andere Verkehrsteilnehmer. Da betroffene Fahrer keine Möglichkeit haben, die Situation durch angebrachte Reaktion zu entschärfen, verlaufen Einschlafunfälle oft besonders schwer. Bei LKWs können zudem noch Schäden durch gefährliche Ladungen hinzukommen.

Auch in anderen hochsensiblen Arbeitsbereichen (in Kraftwerken, bei Piloten etc.) gehört der Sekundenschlaf zu den Hauptursachen von Unfällen. Er stellt neben der Gefährdung von Menschenleben auch ein enormes wirtschaftliches Problem dar. Schlafforscher schätzen die Kosten und Folgekosten übermüdungsbedingter Unfälle in Deutschland auf 10 Milliarden Euro im Jahr<sup>4</sup>.

## 1.2 Idee: Warnsystem vor Sekundenschlaf

Mit einem Gerät, das den Anwender rechtzeitig vor dem Einschlafen warnen kann, ließe sich die unmittelbare Unfallgefahr durch Sekundenschlaf stark reduzieren.

Als erstes dachten wir an die Überwachung des Pulses zur Erkennung des Müdigkeitsgrades, da dieser im

Schlaf langsamer ist als im Wachzustand. Der Puls schwankt im Verlauf des Tages jedoch sehr stark. Deshalb sind durch seine Beobachtung keine sicheren Aussagen über beginnenden Schlaf möglich.

Bei einem Besuch im Schlaflabor der Berliner Charité erfuhren wir, dass es die Möglichkeit gibt, den Zeitpunkt des Einschlafens mit einem Elektroenzephalogramm (EEG) zu bestimmen. Hierzu werden die Aktionsströme des Gehirns überwacht. Bei einem drohenden Einnicken lassen sich sogenannte Schlafspindeln feststellen. Dieses Verfahren hielten wir auch für unpraktisch, da man zur Erstellung des EEG mindestens sechs Elektroden benötigt, die auf der Kopfhaut befestigt werden.

Die Ergebnisse von Studien der Uni Würzburg, nach denen Dauer sowie Frequenz des Lidschlags vom Wachzustand abhängen, brachten uns schließlich auf die Idee, die Augenlidbewegungen zu überwachen.

## Erfassung der Lidschläge

Das vertikale Elektrookulogramm (EOG), bei dem man kleinste Spannungsdifferenzen am Auge misst und so Rückschlüsse auf Augenbewegungen zieht, war wie das EEG auf Grund der benötigten Elektroden ungünstig. Um ein einfaches und sicheres Warnsystem zu entwickeln, benötigt man einen Sensor, der Lidschlagbewegungen berührungslos erfassen kann.

Wir kamen auf die Idee, unterschiedliche Lichtreflexionen zu messen, die am geöffneten und geschlossenen Auge auftreten. Da am Auge je nach Öffnungswinkel unterschiedlich starke Rückstrahlungen zu verzeichnen

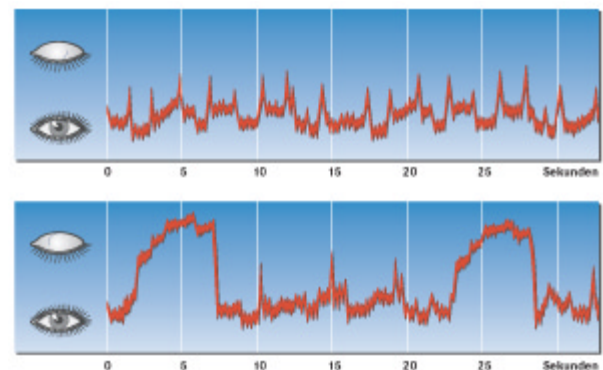


Abb. 3: Viele kurze Lidschläge charakterisieren den Wachzustand (oben). Bei starker Müdigkeit werden die Abstände größer und es treten sekundenlange Lidschläge auf. (Quelle: „Hallo, wach?“, High-tech Report 2/2002)

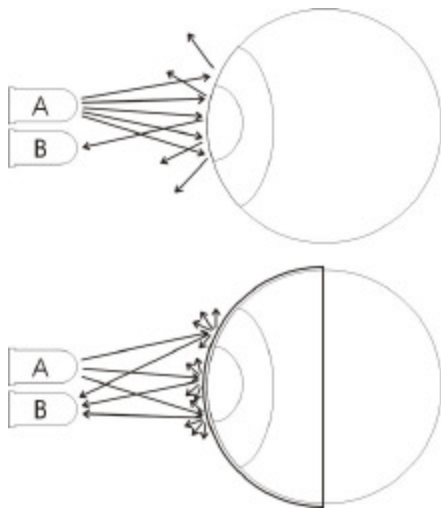
<sup>4</sup> ABARIS Psychotherapie News 06/2000

sind, ist eine auf Reflexion basierende Apparatur zur Beobachtung von Augenlidbewegungen denkbar.

Die Lichtquelle (eine IR-LED) sendet Infrarotlicht auf das Auge. Anschließend wird die Intensität des an der Augenoberfläche reflektierten Lichts erfasst und ausgewertet. Ist das Auge geöffnet, so wird ein großer Anteil des Lichtes absorbiert bzw. am Empfänger vorbeireflektiert. Am geschlossenen Auge treten daher die meisten Rückstrahlungen auf [Abb. 4].

Um unsere Messung von der Gesichtsform unabhängig zu machen, sind Sender (IR-LED) und Empfänger (Fototransistor) als Sensoreinheit parallel zueinander angeordnet. Dadurch muss die Ausrichtung der optischen Messelemente nicht mehr spezifisch auf den jeweiligen Benutzer eingestellt werden, wie es bei unserem Vorgängermodell auf Grund des großen Abstandes von Sender und Empfänger der Fall war [Abb. 5]. Hier mussten beide Teile des Sensors auf die gleiche Stelle am Auge zielen, um eine Abtastung zu ermöglichen.

Für die Erfassung der Lidschläge ist unser Sensor in eine Brille integriert und per Kabel mit einem kleinen Gehäuse verbunden, in dem sich die restliche Schaltung befindet. Es kann vom Anwender ohne Probleme am Körper getragen werden.



A: Lichtquelle (IR-LED)  
B: Empfänger (Fototransistor)

Abb. 4: Reflexionen am Auge: Die Lichtquelle sendet Infrarotlicht auf das Auge. Ist das Auge geöffnet, so wird ein großer Anteil des Lichtes absorbiert bzw. am Empfänger vorbeireflektiert. Am geschlossenen Auge treten daher die meisten Rückstrahlungen auf.



Abb. 5: Erste Version der Brille mit integriertem Sensor

## Bisherige Ansätze

Es gibt momentan mehrere Ansätze, die zur Eindämmung der Unfallursache Sekundenschlaf im Straßenverkehr erprobt werden. Über diese möchten wir im Folgenden eine kurze Übersicht geben. Es lassen sich hauptsächlich zwei verschiedene Herangehensweisen unterscheiden:

### 1. Die Überwachung des Fahrzeuges

Hier werden mechanische Signale ausgewertet, um den Zustand des Fahrers zu analysieren.

Bei Mercedes und MAN in München wird der sogenannte Line-Tracker entwickelt. Eine auf der Frontscheibe fest installierte Videokamera nimmt ständig die Straße auf. Ein Bildverarbeitungssystem erkennt anschließend die Fahrspur und warnt bei zu starken Abweichungen. Dieses Verfahren ist bisher störanfällig. So kann es bei Dunkelheit, bei ungenauen Fahrbahnmarkierungen sowie bei häufigem Spurwechsel zu Fehlern kommen. Ein weiterer Nachteil ist die nötige Festinstallation der Kamera. Nach einer Abweichung von der Straße kommt eine Warnung häufig zu spät.

Ein weiteres System aus diesem Bereich ist die Erstellung einer persönlichen Datenbank über das Fahrverhalten des Autobesitzers (BMW). Wenn bestimmte Parameter zu weit von dem eingespeicherten Verhalten abweichen, wird ein Alarm ausgelöst. Hier liegt der Nachteil bei dem auf einen Fahrer festgelegten System. Dadurch ist es in der Arbeitswelt schwer einzusetzen, da LKWs und Busse von vielen Fahrern benutzt werden.

Weiterhin wurde angedacht (z.B. bei Renault), den Einschlagwinkel des Lenkrads sowie die seitlichen Positionsbewegungen des Autos zu überwachen. Beides hängt stark vom Straßenzustand ab. Von daher könnte

ein solches System nur auf Autobahnen erfolgreich eingesetzt werden.

## 2. Die Analyse von Biosignalen

Der zweite Lösungsansatz besteht darin, einsetzenden Schlaf anhand körperlicher Anzeichen zu erkennen. In diesen Bereich gehört auch unsere Idee.

Uns sind zwei unabhängige Projekte bekannt, die das EEG als Grundlage nutzen. Bei TechnoTrans entwickelt man zusammen mit Spezialisten der FU Berlin den auf Hirnstrommessung basierenden „Müdigkeitsüberwacher“. Laut Joachim Chemnitzer, einem der beiden Gesellschafter der Firma, wäre im LKW oder PKW eine kleine Leiterplatte am Dach oder in der Kopfstütze denkbar, die genaue Befestigung der Elektroden an der Kopfhaut sei aber weiterhin ein Problem, für das man noch keine Lösung gefunden habe. Ähnliche Schwierigkeiten müssen bei der High-Tech-Kappe der australischen Forscher Sara Lal und Ashley Craig vom Department of Health Science der University of Technology, Sydney, beseitigt werden, bevor diese produktionsreif ist.

Ein weiteres Biosignal-System analysiert äußere Müdigkeitserscheinungen, wie verräterische Hand- oder Kopfbewegungen. Die Bewertung der Schläfrigkeit eines Fahrers anhand dieser Parameter ist allerdings unsicher. So kommt es häufig zu Fehleinschätzungen und damit zu Fehlalarm oder zu gar keiner Warnung.

Bei Renault und BMW arbeitet man an einem Kamerasystem zur Erkennung des Sekundenschlafes. Dieses nimmt fortlaufend Bilder vom Fahrer auf, um den Grad seiner Aufmerksamkeit zu bestimmen. Dazu wird eine Infrarotlichtkamera, die im Armaturenbrett eingebaut ist, auf das Gesicht des Fahrers gerichtet. Die so gewonnenen Aufnahmen werden mit einem gespeicherten Bild des Fahrers im Wachzustand verglichen. Bei Abweichung gibt das System Alarm. Der aussagekräftigste Faktor ist wie in unserem System die Bewegung der Augenlider. Schwierigkeiten liegen noch bei der nötigen Anpassung an unterschiedliche Gesichtsformen sowie an Bewegungen des Fahrers. Außerdem ist das System bisher nur bei Dunkelheit sicher anwendbar. Mehr als ein Drittel aller Einschlafunfälle passieren jedoch am helllichten Tag.

## Unser System

Das von uns entwickelte System misst Frequenz und Dauer von Augenlidschlägen und bestimmt so den Wachheitsgrad. Mit steigender Müdigkeit nehmen Lidschlagdauer sowie Lidschlagfrequenz zu. Erst bei sehr



Abb. 6: Grössenvergleich des Frühwarnsystems

starker Müdigkeit werden die Abstände zwischen den Lidschlägen wieder länger [Abb. 3]. Hier käme eine Warnung jedoch schon zu spät. Wird ein erhöhter Müdigkeitsgrad festgestellt, löst unser Gerät ein akustisches Warnsignal aus, um dem Benutzer anzuzeigen, dass er nicht weiterfahren sollte. Daraufhin befindet sich das System in erhöhter Alarmbereitschaft und weckt den Benutzer im Falle von Sekundenschlaf.

Dieser Ansatz ist der gleiche wie bei der Überwachung des Fahrers mittels einer Kamera. Der Unterschied liegt bei der Methodik zur Beobachtung der Augenlidbewegungen.

Der von uns entwickelte Infrarot-Sensor ist gegenüber äußeren Lichteinflüssen wesentlich unempfindlicher als die beschriebenen Kamerasysteme. Durch die Mobilität unseres Gerätes ist es weder auf einen Benutzer, noch auf ein Fahrzeug beschränkt. Somit könnte es neben Berufskraftfahrern auch Fluglotsen, Lokführern, Piloten und Beschäftigten in Kernkraftwerken dienen, also allgemein dort, wo ein Einschlafen weitreichende negative Folgen mit sich bringt. Zudem ist unser System im Vergleich zu den bisherigen Ansätzen sehr kostengünstig produzierbar.

## Vorteile

- keine Elektroden am Körper notwendig
- geringe Störanfälligkeit
- kurze Reaktionszeit
- vom Ort unabhängige Nutzbarkeit
- keine Fixierung auf nur einen Benutzer
- leichte Bedienung
- kostengünstige Produktion

## Nachteile

- Brille nötig
- bisher rein akustisches Signal

# 2 Technische Umsetzung

## 2.1 Aufbau

Das System besteht aus dem Infrarot-Sensor und einer Einheit zur Erfassung und Auswertung der Messdaten. Beide Komponenten sind über ein dünnes Kabel miteinander verbunden.

### Sensor

Der Sensor setzt sich aus einer Infrarot-LED (Light Emitting Diode) und einem Fototransistor zusammen, die parallel zueinander angeordnet sind. Die LED vom Typ Osram SFH 409 sendet Infrarotlicht mit einer Wellenlänge von 950 nm aus. Der Fototransistor vom Typ Siemens SFH 309 FA besitzt einen Filter, der nur für Licht mit Wellenlängen von 800-1000 nm durchlässig ist. Dadurch wird der störende Einfluss anderer Lichtquellen verringert.

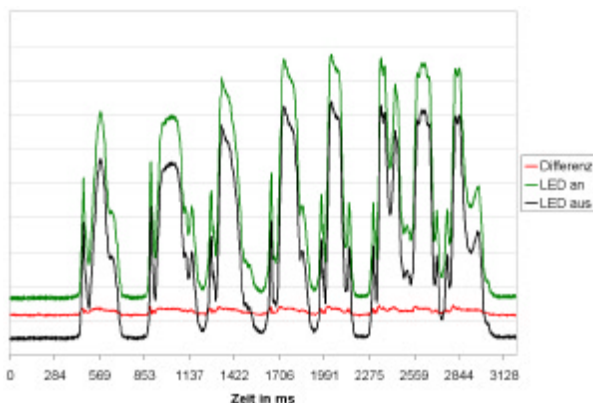


Abb. 7: Messung bei wechselnden Lichtverhältnissen: Durch die Differenzbildung der Werte „LED an“ und „LED aus“ wird nur der Anteil des von der Infrarotdiode ausgesendeten Lichtes bei der Auswertung berücksichtigt.

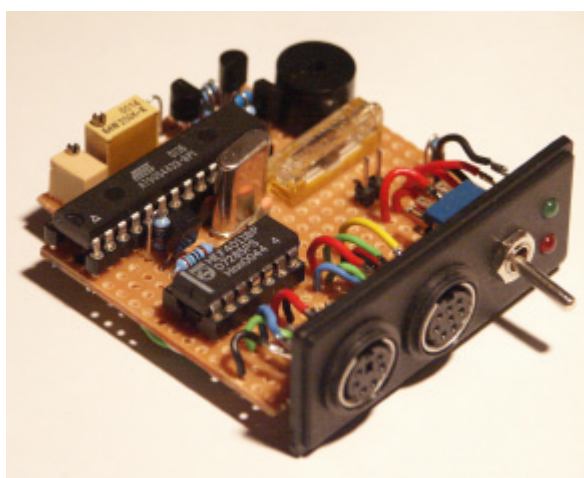


Abb. 8: Aufbau der Platine

Tageslicht enthält einen hohen Anteil an Infrarotstrahlung. Damit unsere Messwerte nicht dadurch verfälscht werden, wird die LED gepulst. Bei einer Messung werden jeweils die Spannungswerte von ein- und ausgeschalteter LED subtrahiert. So wird sichergestellt, dass nur das von der Infrarotdiode ausgesendete Licht bei der Auswertung berücksichtigt wird. Dies macht unser System unempfindlich gegenüber Veränderungen der äußeren Lichtverhältnisse [Abb. 7].

Die größte Empfindlichkeit besitzt der Fototransistor in einem Bereich bis zu  $10^\circ$  von seiner Längsachse. Er kann somit gezielt auf das Auge des Trägers ausgerichtet werden. Weil starkes, seitlich einfallendes Licht (z.B. von Sonnenstrahlen) auch registriert werden würde, muss der Fototransistor durch eine Hülse abgeschirmt werden. Diese verhindert gleichzeitig, dass die LED direkt in den Fototransistor einstrahlen kann.

Die Brille hält den Sensor in einem gleichbleibenden Abstand zum Auge.

Dadurch ist eine genaue Erfassung der Augenlidbewegung möglich, da der Abstand einen signifikanten Einfluss auf die Intensität des in den Fototransistor zurückfallenden Lichtes hat. Wäre der Abstand nicht konstant, so würde die Messung verfälscht werden.

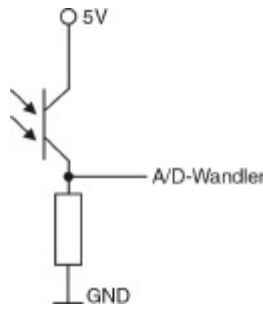


Abb. 9: Spannungsteiler

## Erfassung der Messdaten

Zur Verarbeitung der Daten sowie zur Reaktionssteuerung dient ein 8-Bit AVR Mikrocontroller vom Typ AT90LS4433. Er wird mit einer Frequenz von 3,6864 MHz getaktet. Mikrocontroller arbeiten im Prinzip wie normale Computer, sind jedoch aufgrund ihrer Spezialisierung und des einfachen Aufbaus gut geeignet für Aufgaben, bei denen es auf Zuverlässigkeit und schnelle Reaktion ankommt.

Die gesamte Schaltung wird über eine 9V-Batterie mit Strom versorgt. Ein Spannungsregler sorgt für eine konstante Versorgungsspannung von 5V.

Der Fototransistor wird zusammen mit einem Widerstand als Spannungsteiler geschaltet [Abb. 9]. Verändert sich der innere Widerstand des Transistors durch Lichteinfall, so verschiebt sich das Verhältnis im Spannungsteiler und somit die Spannung zwischen Fototransistor und Widerstand.

Die am Spannungsteiler abgenommenen Spannungen werden zum Analog-Digital-Wandler des Chips geleitet. Damit der Mikrocontroller die Werte einliest und auswertet, muss er zunächst darauf programmiert werden. Dazu wird das Programm mit dem Compiler CodeVisionAVR in der Programmiersprache C verfasst, in Maschinencode übersetzt und auf den internen Flash-Speicher des Mikrocontrollers geladen. Dieser Speicher ist dauerhaft, verliert also auch bei ausfallender Versorgungsspannung nicht seinen Inhalt.

## Auswertung der Messdaten

Nach dem Einlesen am Analog-Digital-Wandler werden die Werte für ein- und ausgeschaltete LED miteinander verglichen. Da am geschlossenen Auge mehr Licht reflektiert wird als am offenen, ist die Differenz zwischen diesen Werten um so größer, je weiter das

Auge geschlossen ist. Um zu erkennen, wann das Auge geöffnet ist, muss das System diese Differenz nach Anschalten des Gerätes einige Sekunden lang aufzeichnen.

Die Daten werden mit einem gleitenden Mittelwert-Filter geglättet. Dazu schreiben wir die Werte in einen First-In First-Out Puffer (FIFO). Dieser Puffer hat eine feste Länge. Es werden vorne ständig neue Messwerte hinzugefügt, während hinten die ältesten herausfallen. Um zusätzlich Ausreißer zu entfernen, werden immer die kleinsten und größten Messwerte aus dem FIFO gelöscht, bevor der Mittelwert gebildet wird. Je länger dieser Puffer ist, um so besser werden die Daten geglättet, um so langsamer reagiert der Filter aber auch auf Veränderungen.

Die geglätteten Daten werden verwendet, um ein Histogramm der aufgezeichneten Messwerte anzulegen. Hierbei wird gezählt, wie oft die 1024 möglichen Differenzwerte vorkamen. Da die Augen die meiste Zeit geöffnet sind, ist der am häufigsten registrierte Wert im Histogramm derjenige, bei dem das Auge geöffnet ist.

Nachdem dieser Wert erkannt wurde, kann die Software automatisch den Schwellwert zur Erkennung des Lidschlages festlegen. Ab jetzt stellt die Software zu jedem Zeitpunkt fest, ob das Auge gerade geöffnet oder geschlossen ist.

Bei jedem Lidschlag messen wir wie lange das Auge geschlossen bleibt. Außerdem wird erfasst, wie viel Zeit bis zum nächsten Lidschlag vergeht.

Diese Parameter werden ständig mit den Sollwerten für den Anwender im Wachzustand verglichen. Mit steigender Müdigkeit nimmt die durchschnittliche Lidschlagdauer sowie die Lidschlagfrequenz zu. Dadurch kann ermittelt werden, wie müde der Benutzer gerade ist.

Auf diese Weise wird schon vor Eintreten des Sekundenschlafs Alarm gegeben.

## 2.2 Sicherheitsbedingungen

Für die Benutzung der Infrarotdiode zur Bestrahlung des Auges ist es wichtig, vorab herauszufinden, ob die abgehende Strahlung für das menschliche Auge schädlich sein könnte. Von daher folgt die Strahlenschutzberechnung für die IR-LED<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> Diplomarbeit über optoelektronische Technik in der Biomedizin von Bert Herbst, Seite 15 - 17

## Berechnung der Bestrahlungsstärke

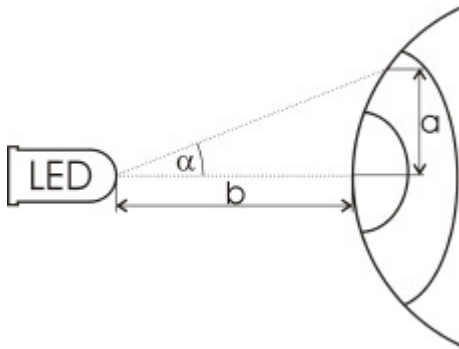


Abb. 10: Abstände und Winkelverhältnisse

Wir verwenden eine IR-Diode vom Typ Osram SFH 409 mit folgenden Kenndaten:

- Wellenlänge: ..... 950 nm
- Gesamtstrahlungsfluss: ..... 3 mW (bei 30 mA)
- Halbwinkel  $[\alpha]$ : .....  $20^\circ$
- Abstand zwischen Diode und Auge  $[b]$ : ..... 2,7 cm
- Durchmesser der scheinbaren Quelle: .....  $340 \mu\text{m}$

Wir gehen bei der Bestrahlung des Auges vom ungünstigsten Fall für den Benutzer aus. Das heißt erstens, dass der Strahl auf die geweitete Pupille des Fahrers trifft (max. Pupillendurchmesser: 7 mm). Dies ist auf Grund der häufigen Verwendung des Gerätes bei Nacht besonders zu berücksichtigen.

Weiterhin benutzen wir in der Rechnung einen maximalen Stromfluss von  $I_F = 30 \text{ mA}$ . Bei der tatsächlichen Anwendung des Systems lassen wir nur 18 mA durch die Diode fließen, was den Gesamtstrahlungsfluss auf 1,5 mW reduziert. Die Diode besitzt zum Auge den Abstand  $b = 27 \text{ mm}$ .

Mit

$$b = 27 \text{ mm}$$

$$\alpha = 20^\circ$$

$$\tan \alpha = \frac{a}{b} \Leftrightarrow a = b \times \tan \alpha$$

$$a = 27 \text{ mm} \times \tan 20^\circ = 9,8 \text{ mm}$$

Gleichung 1: Strahlradius  $a$

ergibt sich ein Strahlungsradius  $a$  von 9,8 mm und somit ein Strahlungsdurchmesser  $D_L$  von 19,6 mm. Da der Durchmesser des Diodenstrahls größer ist als der

maximale Pupillendurchmesser  $D_p$ , fällt immer nur ein Teil des Strahls tatsächlich ins Innere des Auges.

Dass die Strahlenleistung, die neben die Pupille geht, schädliche Auswirkungen hat, ist nicht bekannt. Daher berücksichtigen wir in der folgenden Berechnung nur den Anteil, der durch die Pupille geht.

Bei  $I_F = 30 \text{ mA}$  gilt:

$$P_p = P_L \times \frac{d_p^2}{d_L^2} = 3 \text{ mW} \times \frac{7^2}{19,6^2} = 0,38 \text{ mW}$$

$P_p$  Leistungsanteil, der durch die Pupille geht

$P_L$  Leistung der Lichtquelle

$d_p$  maximaler Pupillendurchmesser

$d_L$  Strahlungsdurchmesser

Gleichung 2: Anteil der Leistung, die durch das Auge geht

## Beurteilung und Schlussfolgerung

Es ergibt sich also eine maximale Leistung der IR-LED von 0,38 mW bei einem Stromfluss von 30 mA und einem Abstand  $b = 27 \text{ mm}$ .

Derzeit gilt für die Sicherheitsaspekte bei Bestrahlung eines Auges mit Infrarotlicht die Norm EN60825-1:1994. Hierbei fallen LEDs unter die Laserstrahlenschutzrichtlinien.

Der Grenzwert zugänglicher Strahlung (GZS) der Laserklasse 1 für die oben aufgeführten Ausgangsdaten einer divergenten Lichtquelle liegt nach der Norm EN60825-1:1994 bei 0,38 mW, womit die von uns benutzte IR-Diode selbst bei einem maximalen Stromfluss von 30 mA den Sicherheitsschutzbedingungen entspricht.

Bei einem Stromfluss von 18 mA beträgt die Leistung der durch die Pupille fallenden Strahlung  $P_p$  bei gleichem Abstand nur 0,19 mW, also nur 50% des GZS.

Da nach der Norm EN 60825-1:1994 „die Gefährdung des Auges für Wellenlängen über 700 nm ohne optische Hilfsmittel (Ferngläser, Fernrohre, etc.) nicht größer ist als bei Klasse 3A“, gilt für  $P_p$  zudem nur der Grenzwert dieser Klasse, der bei 1,95 mW liegt.

Daher ist davon auszugehen, dass die Strahlung der Infrarotdiode und somit die Nutzung des Gerätes ungefährlich ist.



# 3 Weiterentwicklung

## 3.1 Neuerungen

Unsere diesjährige Motivation lag vor allem bei der Optimierung der Sicherheit sowie der Praxistauglichkeit unseres Gerätes. Besonders wichtig war hierbei die Erhöhung der Zuverlässigkeit durch bessere Anpassung an wechselnde Bedingungen.

Um dies zu erreichen, veränderten wir zunächst die Ausrichtung der optischen Elemente zur Erfassung der Augenlidbewegungen. Die IR-LED und der Fototransistor wurden zu einer Sensoreinheit zusammengefaßt, wobei sie parallel zueinander angeordnet und durch eine Hülse abgeschirmt sind. Dadurch reagiert das System unempfindlicher auf unterschiedliche Gesichtsformen. Auch der Einfluss störender Lichtquellen wird minimiert.

Weiterhin verbesserten wir das Prinzip unserer Messdatenauswertung. Durch die Anlegung eines Histogramms und die selbständige Initialisierung des Schwellwertes stellt sich unser Gerät beim Einschalten automatisch



Abb. 11: Brille mit parallelem Sensor

auf den jeweiligen Anwender ein. Voreinstellungen fallen weg, was die Bedienung erleichtert.

Um den Anwender früher zu warnen, haben wir überlegt, wie wir Müdigkeit bereits vor Einsetzen des Sekundenschlafes erkennen können. Durch die zusätzliche Erfassung der Veränderung von Lidschlagfrequenz und Lidschlagdauer werden bereits erste Anzeichen von Müdigkeit in unsere Betrachtung miteinbezogen. Das ermöglicht ein Alarmsystem in Stufen. Der Anwender wird bei erkannter Müdigkeit gewarnt, bevor der Sekundenschlaf einsetzt.

## 3.2 Ausblick

Vor einem tatsächlichen Einsatz des Gerätes müßte es noch in realistischer Umgebung auf seine Praxistauglichkeit getestet werden. Denkbar wäre beispielsweise eine Testreihe in einem abgedunkelten Fahrsimulator, wie er im Institut für Fahrzeugsicherheit München benutzt wird. Hier sind wir im Gespräch mit der DRL.

Um abzusichern, dass die Sicherheitsbedingungen erfüllt sind, werden wir unser System noch von unabhängiger Seite überprüfen lassen.

Außerdem läuft eine Umfrage hinsichtlich der Akzeptanz eines solchen Systems in der Bevölkerung, damit wir uns den Bedürfnissen des Verbrauchers besser anpassen können.

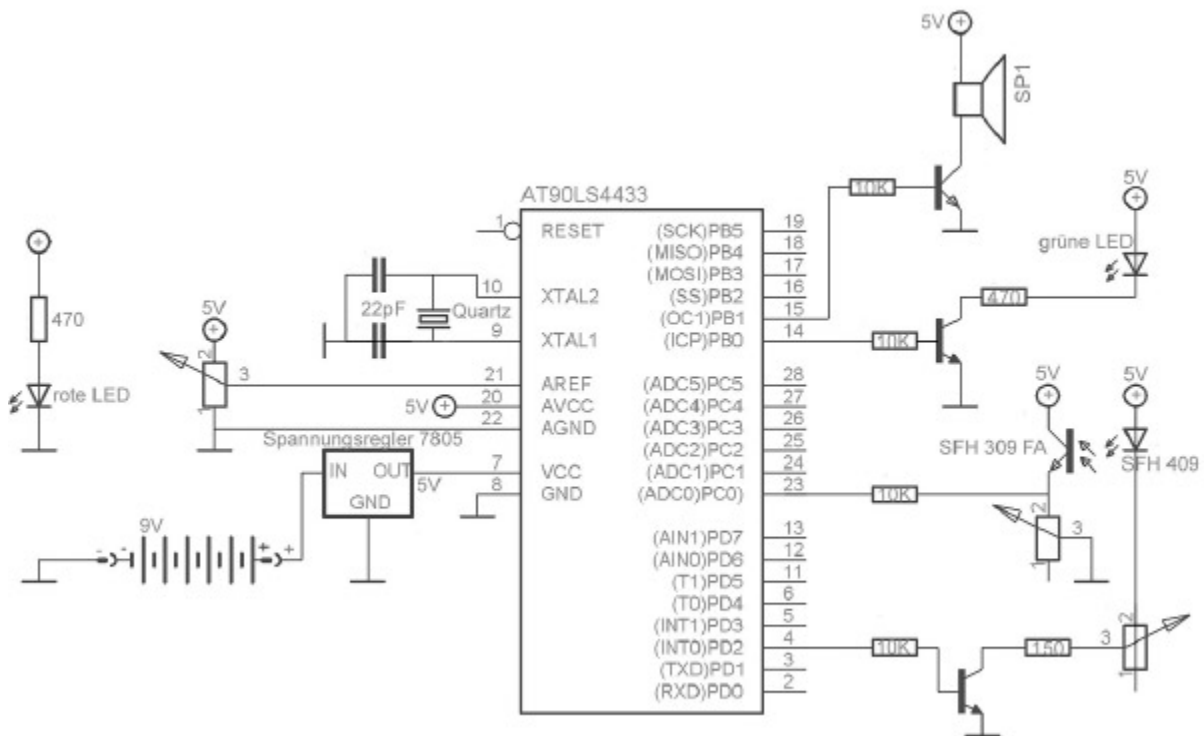
Momentan entwerfen wir z.B. einen Sensor, den Brillenträger an ihrer eigenen Brille befestigen können.

Mit dem Einsatz unseres Gerätes könnte sich die Zahl der Verkehrstoten um 25% verringern. Dennoch kann es nur die unmittelbare Unfallgefahr reduzieren. Gerade bei Berufskraftfahrern bleibt das Problem der Dauerübermüdung bestehen, die ein erhöhtes Unfallrisiko zur Folge hat.

## Literatur

---

- Studie des Instituts für Fahrzeugsicherheit München im Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV): Ursachen tödlicher Autobahnunfälle, München 1998
- Autozeitung: Report Sekundenschlaf 17/98
- TK Multimedial 08/2002
- Langwieder, K./ Sporner, A. / Hell, W.: Einschlafen am Steuer: Hauptursache schwerer Verkehrsunfälle, Wiener med. Wochenzeitschrift, Wien 1995
- Peter, Jörg H.: Schlaf und Kreislauf, Berlin 1993
- Kreysch, Hans-Georg / Holz, Arnim: Bio-Elektronik (EKG, EMG, EEG), Berlin 1982
- Lund, Reiner / Clarenbach, Peter: Das klinische Schlaflabor: Aufbau, Struktur und Funktion, München 1995
- Freiha, Tanos: Sakkadische Augenbewegungen und Lidschläge, Heidelberg 1998
- Heyne, G.: Elektronische Messtechnik: Eine Einführung für angehende Wissenschaftler, München 1999
- Hoffmann, Jörg: Taschenbuch der Messtechnik, Leipzig 2000
- ABARIS Psychotherapie News 06/2000



Schaltplan unseres Gerätes