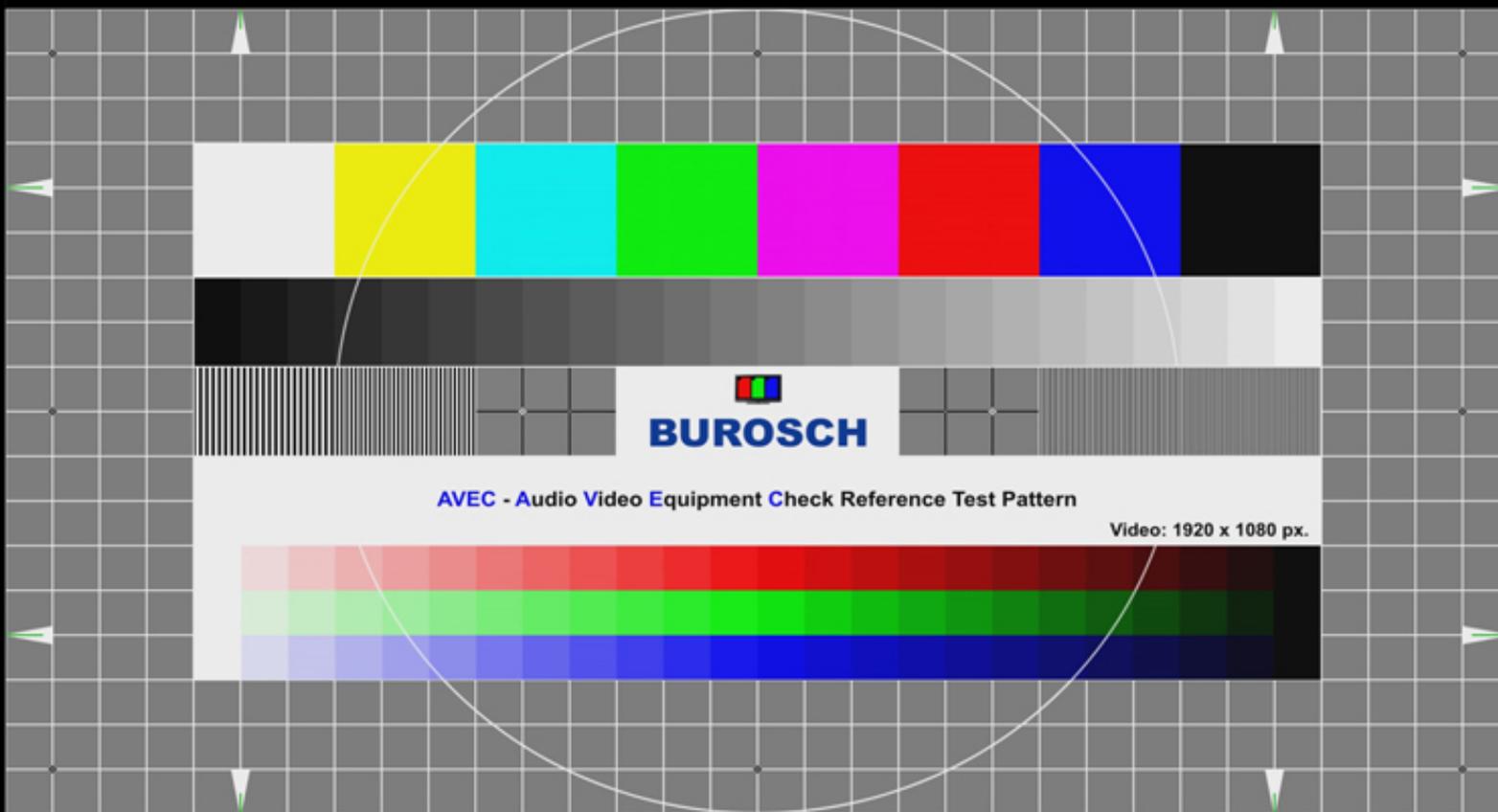


# Medientechnik

**Geschichte. Grundlagen. Gegenwart.**



**Alles, was Sie über Fernsehtechnik, Kalibrierung, Full HD sowie Ultra HD, OLED, HDR, HEVC und Mobile TV wissen sollten - von DVB über HbbTV bis zum Streaming.**



# Herausgeber

Die Firma BUROSCH befasst sich seit ihrer Gründung im Jahre 1948 mit der Audio- und Videotechnik und spezialisierte sich im Laufe der Zeit auf die Entwicklung von Messgeräten für die Unterhaltungselektronik. Heute ist die Firma BUROSCH Marktführer in Bezug auf Referenz-Testsequenzen für die Bildoptimierung sowie TV- und Beamer-Bildanalyse. Im Auftrag verschiedener Hersteller (z.B. Panasonic) bestimmt das unabhängige BUROSCH-TV-Testlabor die Bildqualität der neuesten Fernsehgeräte, arbeitet an deren Entwicklung mit, bietet professionelle Kalibrierung und ermittelt mithilfe standardisierter PSNR- und SSIM-Verfahren die Qualität eingesetzter Codecs sowie Spezifikationen. Darüber hinaus berufen sich namhafte Fachzeitschriften bei ihren vergleichenden Warentests auf die BUROSCH-Testbilder. Und auch renommierte Forschungsinstitute gehören selbstverständlich zu den BUROSCH-Partnern.

Der Leser profitiert also vom umfassenden Know-how und den einzigartigen Synergieeffekten, die auf langjährigen Erfahrungen sowie erfolgreichen Kooperationen mit Industrie und Forschung basieren.



*Abbildung 1: Klaus Burosch*

Als Initiator und Herausgeber dieses Buches bedanke ich mich für die hervorragende Zusammenarbeit mit allen Beteiligten, Kollegen und Mitarbeitern. Ein ganz besonderer Dank gilt meinen beiden Söhnen Steffen und Andreas Burosch für ihre tatkräftige Unterstützung.

Mit freundlicher Empfehlung  
Klaus Burosch, im August 2016

Klaus Burosch

# Inhaltsverzeichnis

Herausgeber

Vorwort

Technik-Essay von Konrad L. Maul

Die Chronologie des Fernsehens

19. Jahrhundert

20. Jahrhundert

21. Jahrhundert

Grundlagen der Wahrnehmung

Das menschliche Auge

Aufbau

Photorezeptoren und Netzhaut

Adaption

Akkommodation

Sehnerv

Fovea centralis

Das Licht: mehr als elektromagnetische Wellen

Reflexion und Remission

Polarisation

Kontrast und Schärfe

Kontrast

Ortsfrequenz

Sehschärfe

## Räumliche Wahrnehmung (3D)

Gesichtsfeld

Parallaxe

3D-Sickness

Pulfrich-Effekt

Shutterbrillen

Polfilterbrille

Farbfilterbrillen (Anaglyphen-Verfahren)

## Farbwahrnehmung

Farbbegriffe

Farbfrequenzen und -wellenlängen

Additive und subtraktive Farbmischung

Farbtemperaturen

Absorptionsspektren

Photorezeptormosaik

Rot-Grün-Blindheit (Anopia)

## Grundlagen der Fernsehtechnik

### Bildübertragung

Kathodenstrahl/Elektronenstrahl

Elektronenröhre (Kathodenstrahlröhre)

Aufbau

Strahlablenkung

Comeback der Bildröhre?

### Farbbildwiedergabe

Loch- und Schlitzmaskenröhre

Delta-Farbbildröhre (Lochmaske)

Inline-Farbbildröhre (Schlitzmaske)

Trinitron-Röhre

### Bildaufbau

Bildrate/-frequenzen (24 bis 120 Hz)

Kino

Fernsehen

Bildabtastung

Zeilensprung-/Halbbildverfahren (Interlaced Scan)

Zeilensprung-Artefakte

Progressive Abtastung (Vollbildverfahren)

De-Interlacing

Pulldown

Weave

Gamma-Korrektur

Bewegungsunschärfe

Local Dimming

Abbildungsfehler

Klötzchenbildung

Banding/Clouding

Blooming

Flashlights

Dirty-Screen-Effect (DSE)

Crosstalk/Ghosting

Soap-Effect

Halo-Effekt

Tipps zur Fehlerbehebung

Videoauflösungen

Zeitliche/räumliche Auflösung

Skalierung

Native Auflösung

Pixeldichte

Betrachtungsabstand - Was ist dran?

Farbräume und photometrische Größen

Helligkeits-Farbigkeits-Farbmodelle

Photometrische Größen und Einheiten

Farbtemperatur

Normvalenzsysteme (CIE 1931/1964)

Farbräume und Farbmodelle

ITU-R-Empfehlung BT.709 (Rec.709)

ITU-R-Empfehlung BT.2020 (Rec.2020)

Video-/Auflösungsstandards

Standard Definition (SD)

High Definition (HDTV)

Full HD (1920 × 1080 Pixel)

UHD-1: Ultra HD (3840 × 2160 Pixel)

UHD-2: 8K (7680 × 4320 Pixel)

4K Cinema (4096 × 2160 Pixel)

Fernsehnormen

Kalibrierung und Messinstrumente

Unbunt- oder Weißabgleich

Wave-Form-Monitor (WFM)

Vektorskop

Testbilder

Testbild-Generator

Test-Labor: professionelle Kalibrierung

Analoge Fernsehsignalübertragung

Das monochrome Video-Signal

BAS-Signal

Das Chrominanz-Signal (Farbsignalcodierung)

FBAS-Signal

Weitere Farbvideosignale

Farbsignalhierarchie

Farbfernsehsysteme

NTSC-Verfahren

PAL-Verfahren

SECAM

Die Begriffe PAL und NTSC im Digitalfernsehen

Modulation und Synchronisation

Multiburst

Cross-Color-/Cross-Luminance  
(Signalübersprechen)

Color-Plus-Verfahren/Intra Frame Averaging

Analoge Übertragungsverfahren

Analoge Videoanschlüsse

Grundlagen des Digitalfernsehens

Geschichte der TV-Digitalisierung

Grundbegriffe der Digitaltechnik

Bit/Byte

Bit Error Ratio (BER)

Codec

Container

Chroma Subsampling/Farbunterabtastung

Multiplexverfahren

Videokompressionsverfahren

Digitalisierung

Diskretisierung

Quantisierung

Codieren/Decodieren

AVC/H.264

HEVC/H.265

Digitale Videosignale

Video-Schnittstellen (Interfaces)

SDI

DVI

HDMI

Video- und Bildformate

MPEG

JPEG

Digital Video Broadcasting (DVB)

DVB-S/DVB-S2 (Satellitenkanal/ETS 300 421)

DVB-C/DVB-C2 (Kabelkanal/ETS 300 429)

DVB-T/DVB-T2 (Terrestrischer Kanal/ETS 300 744)

[freenet.tv](http://freenet.tv)

DVB-Spezifikationen

DVB-IPTV (TV over IP)

DVB-GEM/MHP

MHP (DVB-J/DVB-HTML)

DVB-H (Mobil)

Praxis der modernen Fernsehtechnik

Mobiles Fernsehen

Handy-TV per UMTS

DMB: TV goes mobile

DVB-SH

DVB-T für Android und Apple

TV over IP/IPTV

Triple-Play

IPTV (DSL + Kabel)

02 TV & Video - kein IPTV, dafür live via App +  
AirPlay

Telekom IPTV: Magenta

Fernsehen mit 1&1 DSL

Fritz!Box 6490 Cable

IPTV via Satellit/SAT over IP

Quadplay/All in One

(K)ein Ende der Grundverschlüsselung?

IPTV Deutschland GmbH

HbbTV - mehr als nur IPTV

Red-Button

Blue-Button

TV-Mediatheken

Video-on-Demand

Netflix

Amazon Instant Video

Watchever

Maxdome

Web-TV per Live-Stream

Zattoo

Magine TV

Weitere TV-Apps

dailymeTV

Couchfunk/Live-TV

AllMyTV

Apps der TV-Sender

Red Bull TV

Streaming-Boxen

Apple-TV (Airplay)

Android-TV  
Google Chromecast  
Google Nexus Player  
NVIDIA SHIELD  
Amazon Fire TV

Das richtige Netz(werk)

Internet

Netzwerkverbindungen

LAN (Ethernet)  
Power-LAN (Powerline)  
WPAN (Bluetooth)  
WLAN (WiFi)

Übertragungswege

DSL/VDSL  
Glasfaser  
LTE (4G)  
Powerline Access

Netze der Zukunft

Internet via Satellit  
Internet via Kabel  
All-IP (Quad Play)

Router & Co.

Betriebssysteme für Smart-TVs

webOS 2.0/3.0  
Android-TV  
Tizen für Samsung

Bildwiedergabesysteme NEXT GENERATION

Video-Features der Zukunft

Ultra HD/UHD/4K

## BT.2020: Der lange Weg zum erweiterten Farbraum

### HDR

Probleme bei der Kompatibilität

Probleme zwischen Aufnahme und Wiedergabe

Tonemapping

HDR-Übertragungsmethoden

Metadaten

HDR-Systeme und ihre verschiedenen Ansätze

HD+ (Samsung)

HDR-10 vs. Dolby Vision

Videomaterial mit HDR

Amazon und Netflix setzen auf Dolby Vision

HDR nur mit dem richtigen Kabel

### Ultra HD Premium™

Praxistest zum Zertifikat

Weitere Gütesiegel für 4K/Ultra HD

Streaming in Ultra HD und 8K

Upscaling & Co

UHD Deep Color

UHD/HDR-Demokanäle

### Display-Technologien

Plasma

LCD/LED

LED-Backlight-Technologien im Vergleich

OLED

OLED vs. LED/LCD & Co

Beleuchtung  
Farbbrillanz  
Kontrast  
Lebensdauer  
Einbrennen  
3D-Darstellung  
Bewegungsdarstellung

QLED/Quantum Dots

QLED vs. OLED

TV-Bildschirme

4K-OLEDs + HDR

HDR + QLED

UHD-Standard für wenig Geld

ULED

Curved-TV

Ambilight

Extra dünn

Video-Equipment

UHD-Standards bei Schnittstellen

4K/UHD-Blu-ray-Player + HDR

Blu-ray vs. Streaming (4K/HDR)

Tuner/Receiver & Co

Integrierte Tuner

Externe Tuner

Tuner plus SAT-IP-Client

AV-Receiver

SAT-Receiver inklusive 4K + HDR

PS4 PRO mit 4K/HDR-Content

UHD/4K-Streaming - Boxen

Soundbars/Audio-Systeme

Heimkino: Beamer/Leinwände

LCD-Technologie

DLP/LED-Technologie

SXRD-Technologie

D-ILA-Technologie

Wichtige Parameter

Leinwände

Virtual Reality

Professionelle Bildeinstellungen

Drei Gründe für schlechte Bildqualität

Hintergründe der Werkseinstellungen

Vier Methoden zur Bildoptimierung

Sechs Schritte zur Bildoptimierung

Die richtigen Menüeinstellungen

Blue-Only

Die professionelle Kalibrierung

Kalibrierung mit Lichtsensoren

Display- und Beamer-Tuning

Was bedeutet Bildoptimierung zu Hause?

Standardwerte

Basis der Bildoptimierung

Grundmerkmale der Bildanalyse

Was bedeutet Bildoptimierung?

Vorbereitung der Bildoptimierung

Alles auf einen Blick

Testbilder von BUROSCH

Einsatzgebiete

5 Kategorien der BUROSCH-Testbilder

## Basic-Testbilder

Basic-Testbild Nr. 1: Bildformat/Overscan

Basic-Testbild Nr. 2: Helligkeit

Basic-Testbild Nr. 3: Kontrast

Basic-Testbild Nr. 4: Farbe

Basic-Testbild Nr. 5: Bildschärfe

## Universal-Testbilder

Universal-Testbild: „First Check“

Universal-Testbild: "Ladies" Version 1 (2013)

Universal-Testbild „Ladies“ Version 2 (2016)

Universal-Testbild „Divas“ inklusive  
Audiotestsequen

Universal-Testbild „AVEC“ für Bild und Ton

## Statische Testbilder zur Feineinstellung

Testbild: "Display Banding/Clouding"

Testbild "BCC"

Testbild: „Crosstalk/Ghosting“

## Dynamische Testsequenzen

### Realtestbilder zur Gegenkontrolle

Realtestbild "Woman"

Realbild "Stuttgarter Bibliothek"

Realbild "Santorin"

## BUROSCH-Testbilder in der Praxis

Schritt 1: Die richtige Vorbereitung

Schritt 2: Die richtige Reihenfolge

Schritt 3: Die richtige Anwendung

Schritt 4: Die richtige Feineinstellung

Schritt 5: Die richtige Kontrolle

Tipps & Tricks

Hintergründe der vergleichenden Warentests  
Synergien und Know-how  
Fachzeitschriften/Praxis-Bewertungen  
Hersteller/Industrie  
Forschung/Entwicklung  
Workshops  
Ein Tipp zum Schluss  
Häufig gestellte Fragen (FAQ)  
HDTV & Fernsehstandards  
Bildformate & Auflösung  
Wiedergabegeräte & Anschlüsse  
Technik und Grundbegriffe  
Multimedia  
Stichwortverzeichnis (Index)

# Vorwort

*„Der Fortschritt geschieht heute so schnell, dass, während jemand eine Sache für gänzlich undurchführbar erklärt, er von einem anderen unterbrochen wird, der sie schon realisiert hat.“*

Albert Einstein

Ob der Genius des 20. Jahrhunderts bereits seinerzeit geahnt hat, was in punkto Unterhaltungselektronik Großartiges und Vielfältiges entstehen würde? Für uns heißt es heute nicht selten: „Glotze an - Alltag raus!“ oder wir schauen unterwegs die aktuelle Folge unserer Lieblingsserie im Bus oder Zug. Doch wie kommt das Video der letzten Familienfeier auf die Beamerleinwand, der neueste Blockbuster per Stream auf den TV-Bildschirm oder der aktuelle Podcast auf das Display unseres Smartphones?

Fernsehen ist nicht mehr nur „Der Alte“ zur selben Zeit, am selben Ort. Heute können wir immer und überall mithilfe modernster Multimediatechnik unterhalten und informiert werden. Der Empfang von Filmmaterial aus fast einhundert Jahren ist kinderleicht und auf diversen Wegen möglich. Deshalb lässt sich das Fernsehen nicht in eine einzige Schublade pressen, es ist ein Teil der Mediengeschichte, die aus vielen Bereichen der Funk-, Film-, Hörfunk-, Telekommunikations- und Raumfahrttechnik aber auch des gesellschaftlichen und sogar politischen Wandels besteht. Was auf dem Papier anno 1880 mit einer Idee zur seriellen Bildübertragung begann und letztlich in den 1930er Jahren mit der Kathodenstrahlröhre von Ferdinand Braun und

Manfred von Ardenne erstmalig realisiert wurde, ist heute im Jahre 2016 eine Selbstverständlichkeit.

Bereits Mitte des 20. Jahrhunderts entstand ein Massenmarkt, der sich bis heute unaufhaltsam entwickelt. Immer größer, kompakter, schneller, brillanter werden die stationären und mobilen Endgeräte zur Bildwiedergabe. TV-Geräte entwickelten sich von klobigen Mattscheiben zu eleganten Displays mit präziser Nanotechnologie - von superschlank bis gebogen, mit Full HD oder nativer UHD-Auflösung (Ultra HD), einzigartigen Farben und einem nie da gewesenen Kontrast, stationär oder mobil. Der klassische TV-Apparat hat ausgedient, Fernsehen ist heute viel mehr: Entertainer, Ratgeber, Seelsorger, Babysitter, Mentor, Ideengeber, Trendsetter und die Schnittstelle zu einer globalisierten Welt.

Dieses Buch erzählt die Geschichte des Fernsehens von den Anfängen bis zur Gegenwart. Es vermittelt Grundlagen über die menschliche Wahrnehmung, die Farbmeterik, Farbraummodelle, Bildauflösungen und Videoformate sowie technische Hintergründe zum analogen und digitalen Fernsehen, der Videosignalübertragung, diversen Kompressionsverfahren, zur Kalibrierung beziehungsweise Bildoptimierung und erläutert darüber hinaus wichtige Standards in Bezug auf DVB, HDMI, HEVC und das CIE-Normvalenzsystem. Während viele Bücher hier enden, beleuchtet dieses Praxishandbuch die Video-Features der Gegenwart und damit aktuelle Bildwiedergabetechnologien im Zusammenhang mit OLED, Quantum Dots, HDR oder aber Curved-TV und beantwortet zahlreiche Fragen rund um das Thema Multimedia.

Die Firma BUROSCH arbeitet mit diversen Forschungseinrichtungen, namhaften Herstellern sowie verschiedenen Warentestern zusammen, wobei jeder

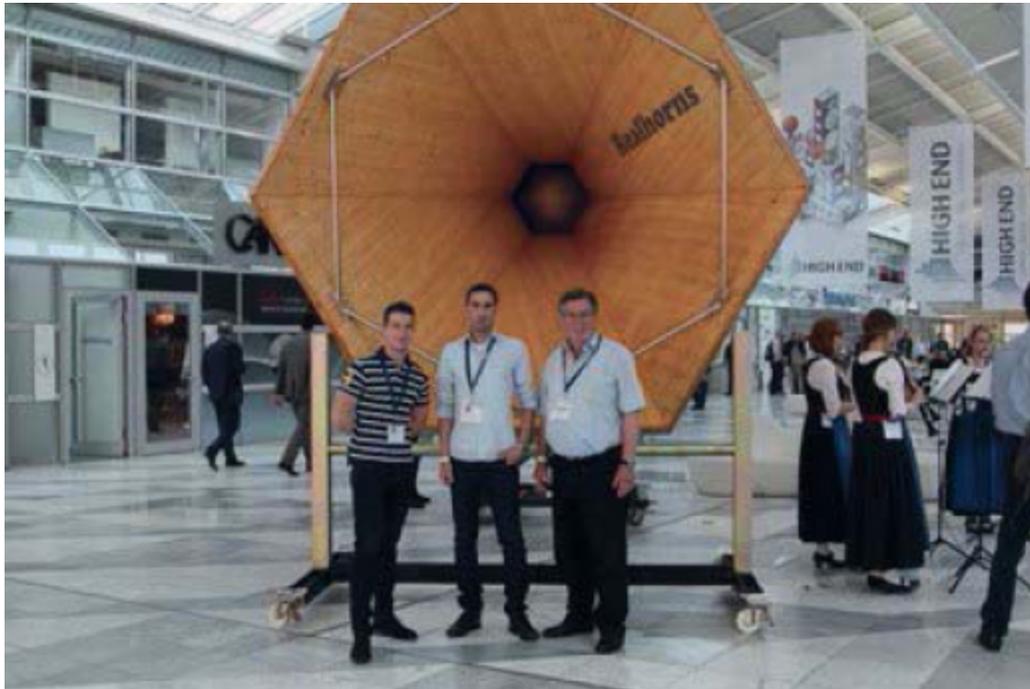
einzelne Partner von diesem einzigartigen Netzwerk partizipiert. Im Besonderen sei hier die technische Fakultät der Hochschule Pforzheim und Professor Blankenbach zu nennen, der verantwortlich ist für die Vertiefungsrichtung Displaytechnik im Studiengang Elektrotechnik. Im Bereich der Messtechnik entwickelte BUROSCH seinen neuen Lichtsensor gemeinsam mit Professor Seelmann und Professor Dittmar der Hochschule Aalen.

In der Praxis arbeitet BUROSCH mit zahlreichen Fachzeitschriften zusammen, die auf Basis der BUROSCH-Testbilder ihre vergleichenden Warentests durchführen; hierzu zählen unter anderem HDTV, CHIP, c't, SATVISION, AUDIO VIDEO FOTO BILD, audiovision oder auch sat+kabel. Weitere Auftraggeber von BUROSCH sind neben der European Broadcast Union in Genf oder dem Instituts für Rundfunktechnik in München selbstverständlich in der Industrie zu finden. Weltweit kommt hier das BUROSCH-Know-how zum Einsatz, wenn es beispielsweise darum geht, im Shoot Out herauszufinden, welcher Hersteller das beste Display bietet und wie die Bildwiedergabe optimiert werden kann. Wer also einen Fernseher, Monitor oder Beamer von Sony, Panasonic, Samsung, LG, Changhong etc. kauft, der kann darauf vertrauen, dass die Qualitätskontrolle mit BUROSCH-Testbildern durchgeführt wurde.

Auf Basis dieser exklusiven Kooperation kann letztlich jeder Kunde, Anwender sowie Leser dieses Buches die hervorragende Sachkenntnis, das umfassende Praxiswissen sowie die daraus resultierende Präzision und Professionalität der BUROSCH-Messtechnik nutzen.

„Medientechnik - Grundlagen. Geschichte. Gegenwart.“ ist ein praktisches Gemeinschaftswerk der Firma BUROSCH. An der Erstellung beteiligten sich zahlreiche Fachleute, die sich nicht zuletzt auf diesem Wege für die langjährige

Zusammenarbeit mit BUROSCH bedanken wollen. Zu ihnen gehört einer der erfahrensten und profiliertesten TV-Entwickler Deutschlands. Konrad L. Maul war es eine Ehre, das Technik-Essay für dieses Buch zu schreiben. Er war 37 Jahre in der Fernsehentwicklung tätig und leitete unter anderem das Entwicklungsteam für das erste 100-Hertz-Gerät der Firma Grundig.



*Abbildung 2: Andreas Burosch, Steffen Burosch und Klaus Burosch, High End München 2015*

# Technik-Essay von Konrad L. Maul

Das erste deutsche Fernsehpatent von Paul Nipkow

„Der hier zu beschreibende Apparat hat den Zweck, ein am Orte A befindliches Objekt an einem beliebigen anderen Orte B sichtbar zu machen“, sind die einleitenden Worte in Paul Nipkows Patentschrift von 1885 mit dem Titel „Elektrisches Teleskop“. Ein wahrer Geniestreich, wie wir im Folgenden noch sehen werden. Und da sich 2015 der Start des weltweit ersten regulären Fernsehprogramms zum achtzigsten Mal jährt, soll es der Anlass sein, diese Schlüsselerfindung näher in Augenschein zu nehmen.



Foto: commons.wikimedia.org

Paul Nipkow (1860-1940) Fernsehponier

Paul Nipkow wurde als Sohn eines Bäckermeisters 1860 in Lauenburg (Pommern) geboren. Er besuchte das Gymnasium und interessierte sich schon früh für Naturwissenschaften und Technik. Und wie es bei vielen jungen Menschen der Fall ist, die später Technik und Ingenieurwissenschaften als ihre Berufung erleben, hatte auch der junge Nipkow Freude am Experimentieren. In seinem Heimatort wurde zu dieser Zeit im Postamt eine Fernsprechstelle eingerichtet, damals eine technische Sensation. Er überredete den zuständigen Postbeamten, den er gut kannte, ihm den Bell-Telefonhörer der Sprechstelle über Nacht zu leihen. Er baute ein Mikrophon dazu und stellte mit dieser einfachen Telefonverbindung Versuche an.

Nach dem Schulabschluss ging Paul Nipkow zum Studium nach Berlin. Er studierte Mathematik, Physik und hörte auch Vorlesungen über Elektrotechnik. Am Heiligabend 1883 soll

er, so sagt jedenfalls die Anekdote, dann sein Heureka-Erlebnis gehabt haben. Eine Fahrt nach Hause zu seiner Familie konnte er sich mit seinem spärlichen Budget nicht leisten. Also saß er alleine in seiner Studentenbude und sah durch das Fenster die brennenden Kerzen an den Weihnachtsbäumen in der Nachbarschaft. Er fühlte sich einsam. Da soll ihm der Gedanke gekommen sein, welche phantastische Möglichkeit es wäre, zumindest mittels eines „Telephons für Bilder“ am Geschehen zu Hause teilnehmen zu können und er erdachte ein vollkommen neues Prinzip der Bildzerlegung und des Bildaufbaus.

Bevor wir uns aber Paul Nipkows Erfindung näher ansehen, werfen wir zunächst einen Blick auf die technischen Erkenntnisse und Grundsatzüberlegungen, die ihm seinerzeit zur Verfügung standen.

Der englische Elektroingenieur Willoughby Smith hatte 1873 Messergebnisse an Stäben aus kristallinem Selen unter Lichteinwirkung veröffentlicht. Er gilt damit als Entdecker des Photowiderstandes. Ein Bauelement war gefunden, das Lichtwerte in entsprechende elektrische Stromwerte umwandeln konnte. „Warum nicht diese neue Selenzelle zur Übertragung eines realen Bildes über eine Telegraphenleitung verwenden?“, dachte sich der französische Notar und Erfinder Constantin Senlecq. Er veröffentlichte 1881 das erste Buch in der Weltgeschichte über Fernsehen „Le Téléscope“. Senlecq war nicht der Einzige, der das Prinzip vorschlug, ein Bild in Bildpunkte zu zerlegen, deren Helligkeitswerte in elektrische Ströme zu wandeln, diese nacheinander auf einer Telegraphenleitung zu übertragen, um sie dann auf der Empfangsseite wieder zusammensetzen. Aber gemeinsam war allen Überlegungen zu dieser Zeit, dass die vorgeschlagenen Konzepte der Bildabtastung technisch nicht umsetzbar seien.

Paul Nipkow zögerte nicht lange und reichte sein Fernsehsystem „Elektrisches Teleskop“ schon nach den Weihnachtsfeiertagen am 6. Januar 1884 zur Patentierung beim Kaiserlichen Patentamt ein. Die Patentierung erfolgte dann am 15. Januar 1885 (siehe Abbildung 2). Die Ausgestaltung der Erfindung zeigt Abbildung 3 anhand von drei Zeichnungen.



Deckblatt des ersten deutschen Fernsehpatents von Paul Nipkow

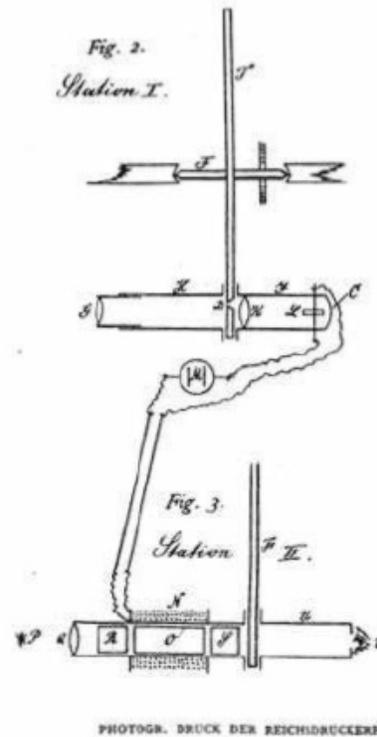
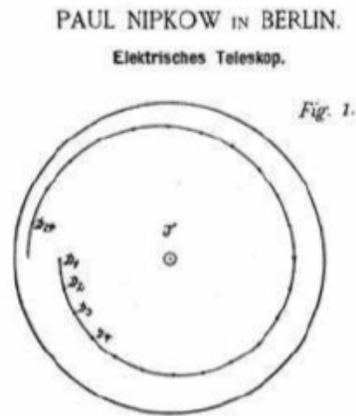


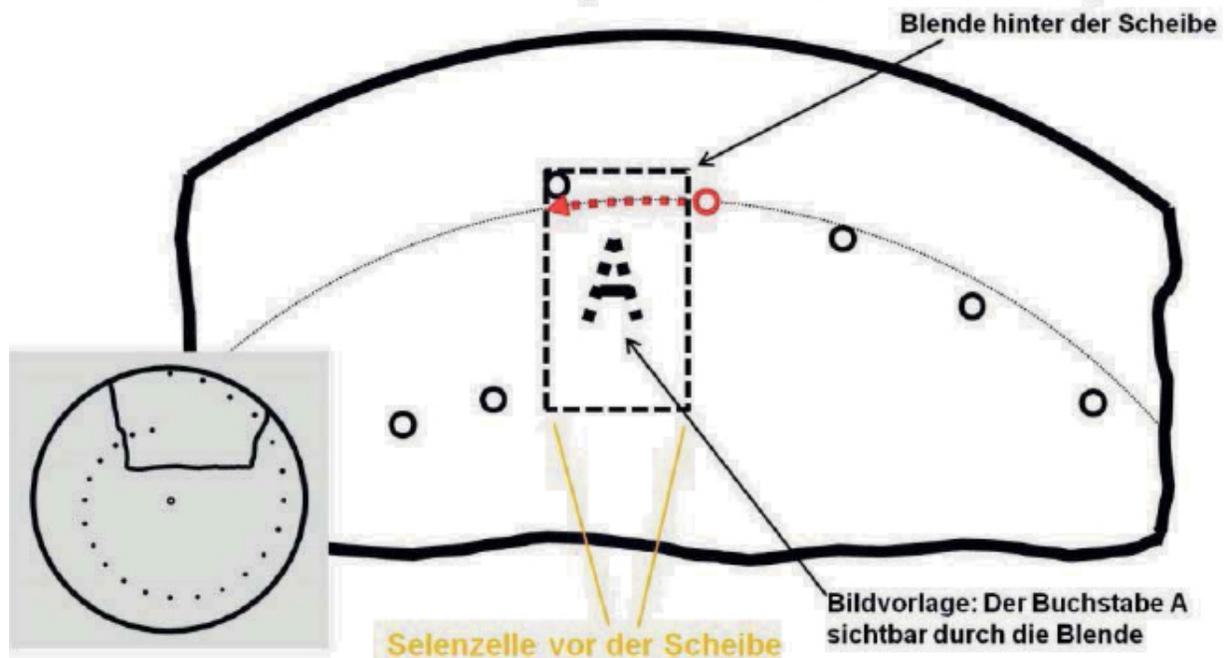
Abb. Deutsches Patent- und Markenamt  
DE000000030105A Seite 5

Erstes deutsches Fernsehpatent von Paul Nipkow; Ausgestaltung der Erfindung anhand von drei Zeichnungen

Zum leichteren Verständnis der Beschreibung wurden die Originalzeichnungen des Patentbesitzers in zwei Prinzipskizzen (Abbildung 4 und 5) umgeformt.

Beginnen wir mit der Nipkow-Scheibe selbst: Nipkow schlägt vor, entlang einer Spirallinie in gleichmäßigen Abständen Bohrungen anzubringen, in seinem Ausführungsbeispiel sind es 24. Mittels eines Uhrwerks wird die Scheibe in gleichmäßige Umdrehungen versetzt. Die Scheibe dreht sich vor dem zu übertragenden Objekt, in unserem Beispiel der Einfachheit halber die Zeichnung des Buchstabens A. Hinter der Scheibe befindet sich eine Blende, die hier rechteckförmig gezeichnet ist. Paul Nipkow hatte eine rohrförmige Konstruktion gewählt, die einen kreisförmigen Bildausschnitt geliefert hätte. Wenn wir nun von vorne auf die Scheibe sehen, gibt diese jeweils nur den Bereich der Vorlage frei, der durch eine Bohrung zu sehen ist. Die Abstände der Bohrungen sind so gewählt, dass wenn eine Bohrung den linken Rand des Blendenfensters erreicht, die nächste Öffnung am rechten Rand des Blendenfensters erscheint.

Ausschnitt aus einer „Nipkow-Scheibe“ mit 24 Öffnungen.



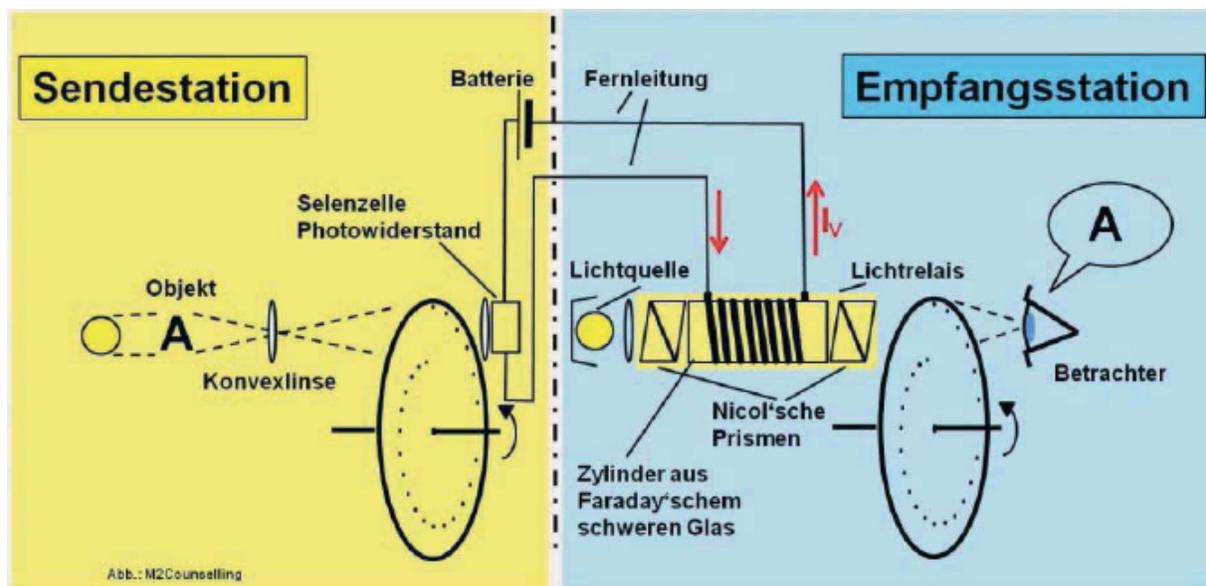
**Der rote Kreisbogen beschreibt Abtastung einer Fernsehzeile.  
Die Selenzelle setzt Helligkeitswerte in Widerstandswerte um.**

Abb. M2Counselling

Prinzipzeichnung des Patents: Nipkow-Scheibe mit 24 Öffnungen;  
Funktionsprinzip der Bildabtastung

Der rot markierte Kreisbogen in Abbildung 4 beschreibt den Weg der roten Öffnung und entspricht damit quasi einer Abtastzeile des Nipkow'schen Fernsehsystems. Wenn Öffnung 24 den linken Blendenrand erreicht, hat die Scheibe eine ganze Umdrehung durchgeführt und damit ein ganzes Bild mit 24 Zeilen abgetastet. Die Bildabtastung beginnt mit der nächsten Umdrehung für das nächste Bild wieder von vorne. Für die Übertragung muss nun der Helligkeitswert jedes Bildpunktes, den die jeweiligen Scheibenöffnungen freigeben, in einen elektrischen Wert umgewandelt werden. Dazu sieht Paul Nipkow an der Stelle, auf der wir in der Prinzipskizze auf die Scheibe geblickt haben, einen Selenwiderstand vor. Dieser setzt nun die Punkthelligkeit in einen Widerstandswert um.

In Abbildung 5 ist links der prinzipielle Aufbau der Sendestation zu sehen. Der Photowiderstand ist über eine Batterie mit den beiden Drähten der Fernleitung verbunden.



Prinzipzeichnung des Patents: Aufbau der Sende- und Empfangsstation

Auf der rechten Seite zeigt Abbildung 5 den Aufbau von Nipkows Empfangsstation. Hier verwendet er eine mit der Senderseite baugleiche Nipkow-Scheibe, die ebenfalls von einem Uhrwerk angetrieben wird und sie so synchron zur Sendestation in gleichmäßige Umdrehungen versetzt. Auf der Empfängerseite müssen nun die auf der Senderseite durch die Abtastung erhaltenen Widerstandswerte wieder in Helligkeitswerte der einzelnen Bildpunkte umgewandelt werden.

Die zur Zeit der Patentanmeldung vorhandenen elektrischen Lichtquellen waren die Kohlebogenlampe und die von Edison 1879 zum Patent eingereichte Kohlefadenglühlampe. Beide waren für die direkte Umwandlung der schnellen Helligkeitswechsel, die Nipkows elektromechanisches Verfahren erfordert, nicht geeignet. Deswegen griff er auf den von Michael Faraday 1846 entdeckten Effekt der

Polarisationsdrehung des Lichts zurück. Dabei wird die Polarisationssebene eines Lichtstrahls, der in ein durchsichtiges Medium geleitet wird, durch ein Magnetfeld längs dieses Mediums gedreht.

Abbildung 5 zeigt die von Paul Nipkow vorgeschlagene Anordnung, die später auch als „Lichtrelais“ bezeichnet wurde. Dieses besteht aus einem Glasstab um den Drahtwindungen gelegt werden. Vor und hinter dem Stab sind Nicol'sche Prismen angebracht. Ein Nicol'sches Prisma besteht aus zwei mit speziellem Klebemittel aneinandergesetzten Prismen. Es hat die Eigenschaft, den eingehenden Lichtstrahl einer Lichtquelle zu polarisieren, sodass am Ausgang der Lichtstrahl nur mehr eine Schwingungsebene aufweist.

Nipkow gibt an, dass die beiden Nicol'schen Prismen so gegeneinander zu verdrehen sind, dass das Licht der Lichtquelle nicht mehr am Ausgang des „Lichtrelais“ erscheint. Die Polarisationssebenen der beiden Nicol'schen Prismen stehen dann senkrecht zueinander. Wird nun Strom durch die Spule geschickt, dreht sich nach dem Faraday-Effekt die Polarisationssebene des Lichtstrahls beim Durchlaufen des Glasstabs, und diese steht nicht mehr senkrecht zur Polarisationssebene des Nicol'schen Prismas am Ausgang. Licht kann also passieren. Mit der Stärke des Stromes lässt sich der Winkel der Polarisationsdrehung und somit die Helligkeit steuern. Die Spule des „Lichtrelais“ verbindet Nipkow mit den beiden Drähten der Fernleitung.

Sehen wir uns nun das Zusammenwirken der Sende- und Empfangsstation an. Die jeweilige Punkthelligkeit wird durch den Selenwiderstand in einen analogen Widerstandswert umgesetzt. Die Batterie treibt einen dem Widerstandswert entsprechenden Strom durch die Spule des „Lichtrelais“, und demgemäß stellt sich die Helligkeit am Ausgang des

„Lichtrelais“ ein. Das Auge und das Gehirn des Beobachters vor der sich drehenden Nipkow-Scheibe des Empfängers setzt aus den einzelnen übertragenen Bildpunkthelligkeiten wieder den Buchstaben A der Vorlage zusammen.

Paul Nipkow hat in seiner Patentschrift noch weitere Ausführungsformen für sein „Lichtrelais“ beschrieben, die aber für die Bildübertragung nicht geeignet sind. Weiterhin gibt Nipkow folgenden Ausführungshinweis, den er mit Annahmen zum Sehsystem begründet: Das Auge empfände einen momentanen Lichteindruck 0,1 bis 0,5 Sekunden lang. Ein einheitliches Bild ergäbe sich mit seinem „Elektrischen Teleskop“, wenn beide Scheiben in 0,1 Sekunden eine Umdrehung vollenden würden. Sein System liefert demnach zehn Bilder in der Sekunde. Paul Nipkow hat also die „Trägheit“ des Sehsystems schon zur Wirkungsweise angeführt - und dies vor Erfindung der Filmkamera und des Filmprojektors durch Le Prince (1888) und Edison (1890-1891).

Ob Paul Nipkow versucht hat, sein „Elektrisches Teleskop“ praktisch zu erproben, ist nicht bekannt. Man geht davon aus, dass er es nicht getan hat. Die Frage ist natürlich, ob 1884 ein Aufbau nach seinen Prinzipzeichnungen überhaupt funktioniert hätte.

Die Antwort ist leider „nein“, und zwar aus folgenden Gründen:

- Der verwendete Selenwiderstand wäre zu träge gewesen, um die Bildpunkthelligkeiten umzusetzen.
- Das auf dem Faraday-Effekt beruhende „Lichtrelais“ hätte für die Drehung der Polarisation so hohe Ströme benötigt, dass sie allein mit einem Selenwiderstand nicht hätten erzeugt werden können.