

DIPLOMARBEIT

Erhebung des Energieverbrauchs von Spielekonsolen der achten Generation

ausgeführt zur Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs unter der Leitung von

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Hermann Kaindl

Univ.Ass. Dipl.-Ing. Stefan Christian Wilker B.Eng.

am

Institut für Computertechnik (E384)

der Technischen Universität Wien

durch

Mirsad Karat BSc.

Matr.Nr. 00126345

Wien, am 16.12.2021

Kurzfassung

Immer mehr Spielekonsolen finden Einzug in private Haushalte und übernehmen dabei die Rolle eines Entertainment-Systems im vernetzten Wohnzimmer. Neben dem reinen Spielerlebnis eröffnet sich damit nicht nur die Möglichkeit über einen Internetzugang Medien von YouTube, Hulu, Netflix, Spotify und anderen zu streamen, sondern auch Inhalte von CDs, DVDs und Blu-Rays abzuspielen. Eine weitere Besonderheit einiger Spielekonsolen ist die Installation von Software-Updates und das Aufladen der kabellosen Spiel-Controller im Ruhemodus. Die Spielekonsolen müssen dafür permanent mit dem Stromnetz verbunden sein. Ihre Energieeffizienz spielt deshalb, nicht nur für die Herstellerunternehmen, sondern vor allem für die Endverbraucher, besonders im Ruhemodus, eine wichtige Rolle. Im Zuge der Selbstregulierungsinitiative für Spielekonsolen wurde eine freiwillige Vereinbarung von den drei großen Spielekonsolenherstellern, Nintendo Co., Ltd., Sony Interactive Entertainment Inc. und Microsoft Corporation, gemäß den Bedingungen der EU-Richtlinie 2009/125/EG über energiebezogene Produkte zur Verbesserung von Ressourcen- und Energieeffizienz, Recycling und End-of-Life Behandlung von Spielekonsolen, die mehr als 20 Watt im aktiven Spielmodus verbrauchen, getroffen. Diese Diplomarbeit untersucht umfassend, wie hoch der tatsächliche Energieverbrauch in unterschiedlichen Szenarien der fünf meist verkauften Spielekonsolen der achten Generation von Nintendo Co., Ltd., Sony Interactive Entertainment Inc. und Microsoft Corporation ist. Dabei werden Messungen an der Wechselstrom-Seite, d.h. noch vor dem Spielekonsolen-Netzteil durchgeführt, um so die gesamte Stromaufnahme der Verbraucher zu erfassen. Das Ergebnis dieser Diplomarbeit demonstriert neben einer schriftlichen und graphischen Auswertung des gemessenen Energieverbrauchs auch ein mögliches Verbesserungspotenzial hinsichtlich zukünftiger Energieeinsparungen.

Abstract

Games consoles are increasingly finding their way into private households, taking on the role of an entertainment system in the networked living room. In addition to the pure gaming experience, this opens up the possibility not only to stream media from YouTube, Hulu, Netflix, Spotify and others via internet access, but also to play content from CDs, DVDs and Blu-Rays. Another special feature of some game consoles is the installation of software updates and the charging of the wireless game controllers in rest mode. Hence the game consoles must be permanently connected to the power grid. Their energy efficiency therefore plays an important role, not only for the manufacturing companies, but above all for the end consumers, especially in rest mode. In the course of the self-regulatory initiative for games consoles, a voluntary agreement was reached by the three major game console manufacturers, Nintendo Co., Ltd., Sony Interactive Entertainment Inc. and Microsoft Corporation, under the terms of EU Directive 2009/125/EC on energy-related products to improve resource and energy efficiency, recycling and end-of-life treatment of games consoles using more than 20 watts in active game mode. This thesis examines comprehensively how high the actual energy consumption is in different scenarios of the five best-selling eighth-generation game consoles from Nintendo Co., Ltd., Sony Interactive Entertainment Inc. and Microsoft Corporation. Measurements are carried out on the AC side, i.e. before the game console power supply unit, in order to record the total power consumption of the devices. In addition to a written and graphical evaluation of the measured energy consumption, the result of this thesis also demonstrates a possible potential for improvement with regard to future energy savings.

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen Menschen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Diplomarbeit unterstützt und motiviert haben. Zunächst bedanke ich mich bei Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Hermann Kaindl für die Möglichkeit diese Diplomarbeit am Institut für Computertechnik verfassen zu dürfen. Weiters möchte ich Univ.Ass. Dipl.-Ing. Stefan Wilker für seine Hilfe und sein Engagement besonderen Dank aussprechen. Ich möchte mich auch bei meiner Familie und besonders bei meinen Eltern, die nie aufgehört haben, an mich zu glauben, für ihre selbstlose Unterstützung bedanken. Vielen Dank auch an Hartwig Heller für sein geduldiges Korrekturlesen. Ganz besonderer Dank gebührt meiner Ehefrau Manuela, die mir immer wieder Zuversicht gegeben hat, auch in schwierigen Phasen nicht aufzugeben und mein Ziel konsequent weiterzuverfolgen.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	9
2. Geschichtlicher Überblick	13
2.1 Nintendo Co., Ltd.	13
2.2 Sony Interactive Entertainment Inc.....	16
2.3 Microsoft Corporation	18
3. Selbstregulierungsinitiative für Spielekonsolen	22
3.1 Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG.....	23
3.2 Selbstregulierungsinitiative als Alternative zur Durchführungsmaßnahme.....	26
3.3 Geschichte der Selbstregulierungsinitiative.....	28
3.4 Definitionen nach der Selbstregulierungsinitiative.....	31
3.5 Anforderungen aus der Selbstregulierungsinitiative.....	33
4. Testaufbau und Einstellungen	41
4.1 Messung an der Wechselstrom-Seite	42
4.2 Digital Power Meter 66205.....	42
4.3 Testaufbau.....	45
5. Sony PlayStation®4 Pro und PlayStation®4 (Slim)	50
5.1 PlayStation®4 Mess-Szenario: Aktives Spielen.....	55
5.2 PlayStation®4 Mess-Szenario: Ruhemodus	64
5.3 PlayStation®4 Mess-Szenario: Disc-Wiedergabe	70
5.4 PlayStation®4 Mess-Szenario: Stream-Wiedergabe.....	73
5.5 PlayStation®4 Mess-Szenario: Navigation im Home-Menü	78
5.6 PlayStation®4 Mess-Szenario: PS Remote Play	80
5.7 Playstation®4 Mess-Szenario: Share Play.....	82
5.8 PlayStation®4 Mess-Szenario: PS Now	84
5.9 PlayStation®4 Mess-Szenario: HDD vs. SSD.....	86
5.10 PlayStation®4 Mess-Szenario: PlayStation®VR.....	89
5.11 PlayStation®4 Messwerte nach den Vorgaben der SRI.....	91
6. Microsoft Xbox One X und Xbox One S	97
6.1 Xbox One Mess-Szenario: Aktives Spielen.....	102
6.2 Xbox One Mess-Szenario: Energie Sparen bzw. Schnelles Hochfahren	109
6.3 Xbox One Mess-Szenario: Disc-Wiedergabe	114
6.4 Xbox One Mess-Szenario: Stream-Wiedergabe	118
6.5 Xbox One Mess-Szenario: Navigation im Home-Menü.....	122
6.6 Xbox One Mess-Szenario: Xbox Game-Streaming	125
6.7 Xbox One Mess-Szenario: HDD vs. SSD.....	127
6.8 Xbox One Messwerte nach den Vorgaben der SRI	130

7. Nintendo Switch.....	139
8. Zusammenfassung und Conclusio	142
Referenzen	146
Erklärung.....	153

Abkürzungen

3D	Dreidimensional
4K Ultra HD	4000 Ultra High Definition
86-DOS	Disk Operating System
A	Ampere
AC	Alternating Current
ACM	Advanced Computer Modelling
APD	Automatisches Ausschalten / Auto-power down
Arms	Current Root Mean Square
AUX	Auxiliary
BASIC	Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code
BD	Blu-ray Disc
CCD	Charge-coupled Device
CD	Compact Disc
CD-ROM	Compact Disc – Read Only Memory
CP/M	Control Program/Monitor
CPU	Central Processing Unit
csv	Comma-separated values
CT	Current Transformer
DC	Direct Current
DSP	Digitaler Signalprozessor
DVD	Digital Versatile Disc
ErP	Energy-Related Products
EU	Europäische Union
Full HD	Full High Definition
GB	Gigabyte
GPIB	General Purpose Interface Bus
GPU	Graphics Processing Unit
HD	High Definition
HDCP	High-bandwidth Digital Content Protection
HDD	Hard Disk Drive - Festplattenlaufwerk
HDMI	High Definition Multimedia Interface
HDR	High Dynamic Range
Hz	Hertz
IBM	International Business Machines Corporation
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
kHz	Kilohertz
kWh	Kilowattstunde
LAN	Local Area Network
LBL	Lawrence Berkeley National Laboratory
LCD	Liquid Crystal Display, Flüssigkristallbildschirm
mA	Milliampere
MB	Megabyte
MITS	Micro Instrumentation and Telemetry Systems

ms	Millisekunde
MS-DOS	Microsoft Disk Operating System
mW	Milliwatt
mΩ	Milliohm
MΩ	Megaohm
NDRC	National Resources Defence Council
NES	Nintendo Entertainment System
NUI	Natürliche Benutzeroberfläche für Gesten- und Spracherkennung
OLED	Organische Leuchtdiode - Organic Light Emitting Diode
PC	Personal Computer
PS Now	PlayStation Now
PS4 Pro	PlayStation®4 Pro
PS4 Slim	PlayStation®4 (Slim)
RS232	Recommended Standard 232
s	Sekunde
SATA	Serial AT Attachment
SNES	Super Nintendo Entertainment System
SCP	Seattle Computer Products
SQL	Structured Query Language
SRI	Selbstregulierungsinitiative
SSD	Solid State Drive
TB	Terabyte
TFLOPS	Tera Floating Point Operations Per Second
THD	Total Harmonic Distortion
TU Wien	Technische Universität Wien
TWh	Terawattstunde
USB	Universal Serial Bus
UMD	Universal Media Disc
UHD	Ultra High Definition
USA	Vereinigte Staaten von Amerika
V	Volt
VR	Virtuelle Realität
Vrms	Voltage Root Mean Square
W	Watt
Wh	Wattstunde
WQHD	Wide Quad High Definition
Ω	Ohm

1. Einleitung

Spielekonsolen haben seit ihrer Einführung vor 50 Jahren eine enorme technologische Entwicklung erfahren. Die erste Spielekonsole für den heimischen Gebrauch *Magnavox Odyssey* wurde im August 1972 auf den Markt gebracht. Sie ist von Ralph Baer als analoges und batteriebetriebenes System entworfen worden und basierte auf der sogenannten *Brown Box* [67]. Während ihrer Weiterentwicklung boten die Spielekonsolen den Nutzern immer mehr Funktionen, wie den Zugang zum Internet oder das Online Gaming. Sie wechselten von den Spielemodulen auf die Compact Discs (CDs), danach auf Digital Versatile Discs (DVDs) und schließlich auf Blu-Ray Discs (BDs). Mittlerweile werden auch Streaming-Dienste sowohl für Videos und Musik als auch für Spiele geboten. Neben wachsender Funktionalität und verbesserter Leistung, ist auch der Stromverbrauch der Spielekonsolen zwischen den aufeinanderfolgenden Produktgenerationen gestiegen [66]. Die Spielekonsolenhersteller versuchen dabei in erster Linie, die Grafikleistung ihrer Spielekonsolen an die der mittelklassigen Gaming-Personal-Computern anzupassen und dabei die Preise ihrer Spielekonsolen möglichst niedrig zu halten.

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit der Erhebung des Energieverbrauchs der fünf meistverkauften Spielekonsolen der achten Generation, der *Nintendo Switch*, Sonys *PlayStation®4* und *PlayStation®4 Pro* und Microsofts *Xbox One S* und *Xbox One X*. Ihr empirischer Teil ist im Zuge der Überprüfungsstudie „*Review Study of the Ecodesign Voluntary Agreement for the Product Group „Videogames Consoles“*“ [25] für die Europäische Kommission entstanden. Diese wurde in wesentlicher und detaillierter Zusammenarbeit zwischen dem *Institut für Computertechnik* (ICT) an der *Technischen Universität Wien* (TU Wien) und dem *Ökopol Institut für Ökologie und Politik GmbH* durchgeführt. Die Koordination übernahm das *Centre for Strategy and Evaluation Services* (CSES). Für diese Überprüfungsstudie haben die in dieser Diplomarbeit vorgestellten Messdaten und die aus ihnen gewonnenen Erkenntnisse eine wesentliche Grundlage dargestellt.

Es sei erwähnt, dass am ICT der TU Wien eine Diplomarbeit mit dem Titel „*Evaluierung der Messmethoden zur Bestimmung der Energieeffizienz anhand der Produktgruppe Videospielekonsolen*“ [71] ein halbes Jahr nach der Veröffentlichung der Überprüfungsstudie [25] für die Europäische Kommission verfasst wurde. Sie behandelte den Vergleich zweier unterschiedlicher Messgeräte anhand von Messungen von unterschiedlicher Dauer an Haushaltsgeräten und Spielekonsolen in den drei Betriebszuständen *Aus*, *Standby* und *Aktiv*. Im Gegensatz zur vorliegenden Diplomarbeit wurde beim Standby-Modus nur zwischen einem Standby mit einer Internetverbindung und einem ohne Internet unterschieden. In der vorliegenden Diplomarbeit wird auf alle möglichen Funktionen des *Ruhemodus* bzw. des Energiemodus eingegangen, und der dabei auftretende Energieverbrauch der Spielekonsolen ermittelt.

Die Differenzierung zwischen den einzelnen Verwendungsmöglichkeiten der Spielekonsolen war in der erwähnten Diplomarbeit [71] kaum vorhanden, und der Einfluss unterschiedlicher Auflösungen der Videoausgabe der Spielekonsolen auf den Energieverbrauch wurde nur teilweise bei der Medien-Wiedergabe betrachtet. In der vorliegenden Diplomarbeit werden nahezu alle Verwendungsmöglichkeiten der unterschiedlichen Spielekonsolen (ausgenommen Live-TV bei den *Xbox One* Spielekonsolen) und der Einfluss der Auflösung der Videoausgabe in allen relevanten Verwendungsmodi untersucht. Außerdem wurde in der genannten Diplomarbeit [71] anhand des Spieletitels *FIFA 19* versucht zu zeigen, dass der voreingestellte Schwierigkeitsgrad eines Spieles den Energieverbrauch einer Spielekonsole beeinflussen kann, obwohl kein nennenswerter Unterschied zwischen den gemessenen Daten, wie in Tabelle 4.7 [71] ersichtlich, festzustellen war. Es wurden auch keine weiteren Spiele untersucht, um diese These zu untermauern. Die in der angeführten Diplomarbeit [71] vorgestellten Verbrauchswerte sollten mit Vorsicht betrachtet werden, weil sie sich teilweise sehr von den in der Überprüfungsstudie [25] wie auch in dieser Diplomarbeit vorgestellten Messdaten unterscheiden. Als Beispiel kann der Wert für das Herunterladen eines Updates im *Ruhemodus* der *PlayStation®4 Pro* in Tabelle 4.3 und Abbildung 4.13 mit 5,29 W [71] sowie in Tabelle 4.4 mit 6,89 Watt, im Gegensatz zum hier präsentierten Messwert von 52,69 W genannt werden. Weiters ging aus der erwähnten Diplomarbeit [71] hervor, dass die untersuchten Haushaltsgeräte, wie z.B. die Waschmaschine, der Handmixer, der Griller, das Bügeleisen, usw., mehr Energie verbrauchen als die Spielekonsolen. In der vorliegenden Diplomarbeit dagegen wird sehr detailliert der Energieverbrauch, der sowohl während des aktiven als auch während des passiven Gebrauchs der fünf meistverkauften Spielekonsolen der achten Generation entstehen kann, evaluiert, und es werden keine Vergleiche zwischen komplexen Heimspielesystemen und gewöhnlichen Haushaltsgeräten gemacht. In der genannten Diplomarbeit [71] wird das Ausschalten der *Microsoft Xbox One* Spielekonsole als sehr irreführend und aufwendig bezeichnet, und die Änderung dieses Zustandes als eine energiesenkende Maßnahme vorgeschlagen. Die genannten Spielekonsolen können tatsächlich sehr einfach ausgeschaltet werden, indem die Xbox-Taste am Spiel-Controller gedrückt gehalten und anschließend die Option *Konsole ausschalten* gewählt wird, oder indem man einfach den Netzschalter an der Vorderseite der Spielekonsole drückt. Die andere energiesenkende Maßnahme, die in der erwähnten Diplomarbeit [71] vorgeschlagen wurde, war die Spielekonsolen ausschließlich für das Spielen zu benutzen und die anderen Funktionen wie Disc-Wiedergabe und Medien-Streaming mit entsprechenden Wiedergabegeräten durchzuführen. Schließlich muss noch betont werden, dass im Gegensatz zur erwähnten Diplomarbeit [71] die in der vorliegenden Diplomarbeit vorgestellte Methodik, sowie die daraus resultierten Messwerte und Erkenntnisse von den Unterzeichnern der *Selbstregulierungsinitiative* (SRI), den drei großen Spielekonsolenhersteller *Nintendo Co., Ltd.*, *Sony Interactive Entertainment Inc.* und *Microsoft Corporation*, in der Überprüfungsstudie [25] für die Europäische Kommission akzeptiert wurden.

Es existieren einige wissenschaftliche Studien, die sich in ähnlicher Form mit dem Energieverbrauch von Spielekonsolen beschäftigen, jedoch sind ihre Daten entweder veraltet oder es liefert keine von ihnen Ergebnisse für alle fünf Spielekonsolen der achten Generation mit der in dieser Diplomarbeit vorgestellten Methodik.

So untersuchte die *Lawrence Berkeley National Laboratory* (LBNL) in ihrer Studie „*Green Gaming: Energy Efficiency without Performance Compromise*“ [53] den Energieverbrauch von Spiele PCs, Laptops, Medienstreaming Geräten und Spielekonsolen sowie das Benutzerverhalten unter realen

Bedingungen. Da für ihre Messungen die Spielekonsolen an einen Full HD Monitor angeschlossen waren, wurde der Einfluss der unterschiedlichen Auflösungen der Videoausgabe auf den Energieverbrauch, vor allem bei den 4K UHD-fähigen Spielekonsolen, überhaupt nicht berücksichtigt. Sie unterschieden bei den Spielekonsolen nur zwischen den gespielten Spielen und dem daraus resultierten unterschiedlichen Energieverbrauch. Beim so genannten *vernetzten Standby* wurden die unterschiedlichen Funktionen, wie das Installieren der Spiel-, App- oder System-Updates oder das Aufladen der Spiel-Controller über die Spielekonsole, beim Energieverbrauch nicht differenziert berücksichtigt. Die Studie zeigte allerdings, dass der Energieverbrauch der Spielekonsolen, wie zum Beispiel der *PlayStation*^{®3} oder der *Xbox 360*, mit neueren und weiterentwickelten Modellen derselben Produktgeneration sank.

Der *National Resources Defence Council* (NDRC) hat ein Thesenblatt mit dem Titel „*The Latest-Generation Video Game Consoles. How Much Energy Do They Waste When You’re Not Playing?*“ [65] veröffentlicht. In diesem wurde der Energieverbrauch der ersten drei Spielekonsolen der achten Generation, der *Nintendo Wii U*, der *Sony PlayStation*^{®4} und der *Microsoft Xbox One*, behandelt. Diese drei Spielekonsolen der achten Generation waren allerdings nicht Gegenstand der bereits erwähnten Überprüfungsstudie [25] für die Europäische Kommission, weil die *Nintendo Wii U* durch die *Nintendo Switch* ersetzt wurde, und die anderen beiden Spielekonsolenhersteller inzwischen neuere Modelle ihrer Spielekonsolen auf den Markt gebracht haben. In dem Thesenblatt wurde unter anderem auch über den Mehrverbrauch beim *vernetzten Standby* bei der *PlayStation*^{®4} und der *Xbox One* berichtet. Es wurde bestätigt, dass nicht nur bei der Leistungsskalierung, sondern auch im *vernetzten Standby* ein großes Energieeinsparungspotential bei den untersuchten Spielekonsolen vorhanden wäre. Deswegen werden diese Themen in der vorliegenden Diplomarbeit auch in entsprechender Tiefe für die neueren Modelle der Spielekonsolen behandelt.

Im Jahr 2013 wurde eine Studie unter dem Titel „*Estimating the energy use of high definition games consoles*“ [66] veröffentlicht, welche die bis dahin existierenden Daten für Spielekonsolen aus anderen Studien in Bezug auf deren Nutzung und Energieverbrauch evaluiert hat. Ihr Ziel war es, die bis dahin existierenden Lücken und Ungenauigkeiten bestehender Schätzungen in Bezug auf den Energieverbrauch von Spielekonsolen zu beseitigen und repräsentative Schätzungen abzuleiten, allerdings nur für Spielekonsolen, die bis zum Jahr 2012 erschienen waren. Es wurde auch festgestellt, dass die Unklarheit über die Art und Dauer der Konsolennutzung großen Einfluss auf die Schätzungen des Energieverbrauchs hatte. Da die neuen Spielekonsolen den Nutzern mit der Zeit immer mehr Funktionen bieten, ändert sich dadurch auch das Benutzerverhalten und die Dauer während der die Spielekonsolen aktiv genutzt werden. Deswegen ist es wichtig, diese neuen Funktionen genau auf den Energieverbrauch zu untersuchen, um mögliche Verbesserungspotentiale aufzeigen zu können, was ebenfalls in der vorliegenden Diplomarbeit präsentiert wird.

Die vorliegende Diplomarbeit ist in acht Kapitel unterteilt, wobei zu Beginn, in Kapitel 2, ein kurzer geschichtlicher Überblick über die drei größten Spielekonsolen Hersteller und deren erfolgreichste Spielekonsolen geboten wird. Beginnend mit *Nintendo Co., Ltd.* wird etwas detaillierter auf die Firmengeschichte eingegangen, anschließend wird Einblick in die Geschichte der *Sony Corporation* bis zur Gründung von *Sony Computer Entertainment Inc.* gegeben, und schließlich wird die Firmengeschichte der *Microsoft Corporation* und ihr Weg zur Entwicklung der im Jahr 2017 erschienenen und bis dahin leistungsstärksten Spielekonsole *Xbox One X* betrachtet.

Diese drei Spielekonsolenhersteller beherrschen nicht nur zu hundert Prozent den Spielekonsolen Markt [50], sie sind auch Unterzeichner der *Selbstregulierungsinitiative* der Europäischen Union für Spielekonsolen, die im aktiven Spielmodus mehr als zwanzig Watt verbrauchen. Um besseres Verständnis dafür zu bekommen, wird in Kapitel 3 sehr detailliert zunächst auf die *Ökodesign-Richtlinie* und anschließend auf die darauf beruhende SRI samt ihren Inhalten, Definitionen und Anforderungen an die Spielekonsolenhersteller eingegangen.

Die Messungen, die für die oben genannte Überprüfungsstudie [25] vorgenommen wurden, erforderten, um richtig durchgeführt zu werden, nicht nur technisches Verständnis für die hier angewandte Methodik, sondern auch detailliertes Wissen über die einzelnen Spielekonsolen. Zum einen mussten alle Anforderungen, die durch die SRI gestellt wurden, erfüllt werden, zum anderen musste adäquates Equipment mit den richtigen Messmethoden verwendet werden. Dieser Thematik und dem Beginn des empirischen Teils dieser Diplomarbeit ist Kapitel 4 gewidmet.

Neben den Messergebnissen für die Überprüfungsstudie [25] werden in dieser Diplomarbeit auch zahlreiche weitere Mess-Szenarien definiert und durchgeführt. Anhand dieser wird versucht, das breite Spektrum der Benutzungsmöglichkeiten einer Spielekonsole abzudecken, um weitere Energieeinsparungsmaßnahmen definieren zu können. Diese Messergebnisse und die daraus gewonnenen Erkenntnisse über den Energieverbrauch der fünf meistverkauften Spielekonsolen der achten Generation werden in den Kapiteln 5 bis 7 präsentiert. Darin sind auch zahlreiche Abbildungen zu finden, die den Lesern ein besseres Verständnis für die Interpretation der Messergebnisse aus den jeweiligen Mess-Szenarien bieten. Sie beinhalten unter anderem Vergleiche zwischen den ermittelten Energieverbräuchen beim Spielen unterschiedlicher Spieletitel, die auf den Spielekonsolen für die Messungen gespielt wurden. Es wird in diesen drei Kapiteln durch eine Reihe an Mess-Szenarien auch evaluiert, wie sehr der Energieverbrauch einiger Spielekonsolen von dem angeschlossenen Fernsehapparat bzw. Monitor abhängt. Die Auflösung der Videoausgabe einiger hier vorgestellter Spielekonsolen hat Einfluss auf ihren Energieverbrauch in bestimmten Situationen. Außerdem wird gezeigt, wie hoch der Energieverbrauch im sogenannten *Ruhemodus* bzw. Energiemodus sein kann, wenn man zusätzliche Funktionen aktiviert, die die Funktionalität dieser Modi erweitern. Man kann in diesen Modi, während die Spielekonsole sich im sogenannten *vernetzten Standby* befindet, Spiele-, App- und System-Updates installieren oder die Spiel-Controller über die USB-Anschlüsse aufladen.

In Kapitel 8 wird schließlich eine Zusammenfassung mit allen Erkenntnissen aus den Mess-Szenarien sowie eine *Conclusio* mit den dazugehörigen Verbesserungsvorschlägen geboten.

2. Geschichtlicher Überblick

Um nicht gleich zu Beginn den Rahmen dieser Diplomarbeit mit der gesamten Geschichte aller Spielekonsolen, die seit der Erfindung der sogenannten *Brown Box* durch Ralph Henry Baer im Jahr 1968 [37] erschienen sind, zu sprengen, wird hier nur auf die drei größten Spielekonsolenhersteller und die Geschichte ihrer erfolgreichsten Spielekonsolen eingegangen. Ein anderer Grund für die Beschränkung auf *Nintendo Co., Ltd.*, *Sony Interactive Entertainment Inc.* und *Microsoft Corporation* liegt in der Tatsache, dass sie zu hundert Prozent den Spielekonsolen-Markt in Europa beherrschen [50] und gemeinsam die *Selbstregulierungsinitiative* der Europäischen Union für Spielekonsolen, deren Verbrauch zwanzig Watt im aktiven Spielmodus überschreitet, freiwillig unterzeichnet haben [20]. Die Inhalte, Definitionen und Verpflichtungen dieser *Selbstregulierungsinitiative* werden in Kapitel 3 sehr detailliert vorgestellt. Beginnend mit *Nintendo Co., Ltd.* wird etwas genauer auf die Firmengeschichte und die immer fortwährende Entwicklung von innovativen Heimspielesystemen und den damit verbundenen Versuchen, immer mehr Menschen für Spielekonsolen zu begeistern, eingegangen. Danach wird die Geschichte der *Sony Corporation* bis zur Gründung von *Sony Computer Entertainment Inc.* betrachtet, mit anschließender Vorstellung der einzelnen Spielekonsolen samt ihrer Verkaufszahlen. Schließlich wird Einblick in die Firmengeschichte der *Microsoft Corporation* und ihren Weg zur Entwicklung, der im Jahr 2017 erschienenen und bis dahin leistungsstärksten Spielekonsole *Xbox One X* geboten, deren Messergebnisse bezüglich des Energieverbrauchs in Kapitel 6 präsentiert werden.

Die fünf in dieser Diplomarbeit untersuchten Spielekonsolen gehören der sogenannten achten Generation an. Jede Generation bringt mit dem Erscheinen neuer Spielekonsolen neue Innovationen mit sich, wie zum Beispiel das Spielen bei einer Ultra High Definition (UHD) Auflösung oder mit High Dynamik Range (HDR). Auf den Zusammenhang dieser beiden Spezifikationen mit der SRI wird in Kapitel 3 näher eingegangen. Neben der *PlayStation[®] 4* und der *Xbox One* Modelle gehören auch die *Wii U* und die *Nintendo Switch* zur achten Generation von Spielekonsolen, deren Zeiträumen vom Jahr 2010 bis zum Jahr 2021 definiert ist [51].

2.1 Nintendo Co., Ltd.

Die Firmengeschichte von Nintendo hat ihren Ursprung in Kyoto, als im Jahr 1889 Fusajiro Yamauchi mit der Herstellung von *Hanafuda*, sogenannten Blumen-Karten, begann [38]. Er gründete im Jahr 1933 eine Personengesellschaft, die *Yamauchi Nintendo & Co.*, deren Name im Jahr 1951 in *Nintendo Playing Card Co. Ltd.* geändert wurde. Als das Unternehmen im Jahr 1963 zusätzlich zu den Spielkarten für Kinder auch andere Spiele produzierte, wurde auch der Name in *Nintendo Co., Ltd.*

geändert. 1975 entwickelte das Unternehmen in Zusammenarbeit mit Mitsubishi Electric ein Videospielsystem, das ein elektronisches Videoaufzeichnungsgerät verwendete. Im folgenden Jahr erschien zum ersten Mal ein von Nintendo entwickeltes Spielsystem mit einem Mikroprozessor. Durch die Zusammenarbeit mit Mitsubishi Electric wurden im Jahr 1977 Nintendos erste Videospiele für zu Hause, *TV Game 15* und *TV Game 6*, entwickelt.

Der Schwiegersohn des japanischen Nintendo-Chefs Hiroshi Yamauchi Minoru Arakawa gründete in New York City im Jahr 1979 *Nintendo of America*, welches mit der Entwicklung von münzbetriebenen Spielautomaten begann [38]. Im Jahr darauf startete in Japan der Verkauf der ersten tragbaren Flüssigkristallbildschirm- (LCD-) Videospiele mit einem Mikroprozessor, der *GAME & WATCH*-Produktreihe. Zur selben Zeit wurde das Spiel *Donkey Kong* vom Nintendo-Grafiker Shigeru Miyamoto entwickelt. Der Held des Spiels, der ursprünglich *Jumpman* hieß, war ein kleiner stämmiger Zimmermann, der seine Freundin *Pauline* von einem zornigen Affen zu befreien versuchte. Aufgrund seiner Ähnlichkeit mit dem Vermieter des Hauptquartier-Büros der *Nintendo of America*, Mario Segali, wurde *Jumpman* später in *Mario* umbenannt. Im Jahr 1981 wurde der Spielautomat *Donkey Kong* entwickelt und nach weltweitem Vertrieb zum bestverkauften Münzspielautomaten der Branche.

Im Jahr 1983 begann die Arbeit an der Videospielekonsole *Family Computer (Famicom)*, in der sowohl eine Custom Processing Unit, als auch eine Picture Processing Unit eingesetzt wurden [38]. Das Famicom-System wurde im Jahr darauf, vorerst nur in Japan herausgebracht und später, als es weltweit erschien, in *Nintendo Entertainment System (NES)* umbenannt. *Mario* und sein Bruder *Luigi*, zwei Helden aus dem Spiel *Super Mario Bros.*, wurden so beliebt, dass sie NES zu einem weltweiten Riesenerfolg führten.

Das erste Famicom *Golf Tournament* wurde im Jahr 1987 in Japan abgehalten, für welches über das öffentliche Telefonnetz und Disk-Faxes ein Famicom-Netzwerk aufgebaut wurde [38]. Zwei Jahre später führte Nintendo in Japan den *Game Boy* ein. Er war die erste tragbare Spielekonsole mit wechselbaren Spielemodulen, von denen *Tetris* als erster Spielertitel erschien.

Das Jahr 1990 brachte in Japan mit dem Erscheinen des *Super Famicom*, weltweit als *Super Nintendo Entertainment System (Super NES)* bezeichnet, das 16-Bit-Zeitalter mit sich, während im deutschen Großstheim *Nintendo of Europe* als hundertprozentige Tochtergesellschaft gegründet wurde [38]. Im Juni 1992 erschien in Europa das Super NES, wovon weltweit über 46 Millionen Stück verkauft wurden. Im Jahr darauf wurde der Super FX Chip für Heim-Videospielsysteme angekündigt, was zu dieser Zeit einen technischen Durchbruch in der dreidimensionalen (3D) Grafik darstellte.

Als im Jahr 1994 der *Super Game Boy* herauskam, eroberte das Spiel *Donkey Kong Country*, das mit Hilfe von Advanced Computer Modelling (ACM) Grafik einen neuen Standard setzte, die Vereinigten Staaten von Amerika (USA) während der Ferienzeit im Sturm [38]. Gleichzeitig wurde der *Nintendo Gateway* erfolgreich eingeführt, wobei Super NES Spielekonsolen in Passagierflugzeugen samt einer kleinen Auswahl an Spielen installiert wurden, damit den Fluggästen während des Fluges Unterhaltung geboten werden konnte. Dank des großen Erfolgs von *Donkey Kong Country* wurde im darauffolgenden Jahr die ACM-Grafik auch auf dem *Game Boy* eingeführt. In Japan brachte Nintendo den *SatellaView*-Adapter für den *Super Famicom* auf den Markt, mit dem digitale Daten von Fernsehsatelliten empfangen werden konnten. Außerdem wurde ein 32-Bit Virtual Immersion-System namens *Virtual Boy* eingeführt, und der Verkauf des milliardsten Spielemoduls wurde gefeiert.

Am 23. Juni 1996 kam in Japan das *Nintendo 64* heraus, das erste echte 64-Bit-Heim-Videospielsystem, von dem am ersten Tag mehr als 500.000 Konsolen verkauft wurden [38]. Im März des folgenden Jahres wurde *Nintendo 64* in Europa eingeführt, von dem im ersten Jahr 2,3 Millionen Stück verkauft wurden. Am 8. Oktober 1999 wurde in Europa, das drei Jahre zuvor in Japan erschienene Spiel *Pokémon* herausgebracht und löste große Spielbegeisterung auf dem *Game Boy* aus. Im selben Jahr kündigte Nintendo seine Pläne für ein neues System mit einem IBM Gekko Prozessor und Matsushita's Unique Digital Versatile Disc (DVD) Technologie an.

Im Jahr 2000 wurde der *Game Boy* mit über 100 Millionen verkauften Stück zur bestverkauften Konsole aller Zeiten [38]. Da *Pokémon* weiterhin ein weltweites Phänomen auslöste, brachte Nintendo zur Feier des Erfolges eine limitierte Edition von dem *Pokémon Pikachu Nintendo 64* heraus. Nachdem *Nintendo UK* gegründet wurde, und am 6. April 2001 *Pokémon Gold und Silber* auf den europäischen Markt kamen, entwickelten sich beide zu einem sehr großen Erfolg. Das Duo wurde zum am schnellsten verkauften Spiel in Europa gekrönt, nachdem am Wochenende nach der Markteinführung bereits eine Million Stück verkauft worden waren. Im selben Jahr erschien auch der *Game Boy Advance*, die mit 500.000 verkauften Stück innerhalb der ersten Woche am schnellsten verkaufte Konsole aller Zeiten. Zusätzlich erschien auch der *Nintendo Game Cube* mit zwei sehr erfolgreichen Spieletiteln: *Luigi's Mansion* und *Super Smash Bros. Melee*.

Am 2. Januar 2002 wurde *Nintendo Italien* mit einem Büro in Mailand gegründet [38]. Im gleichen Jahr erschien in Europa am 15. März der *Pokémon mini*, die kleinste Konsole der Welt. Durch die gemeinsame Zusammenarbeit zwischen *Nintendo*, *Sega* und *Namco* begann die Entwicklung einer 3D-Computergrafikkarte *TRIFORCE*. Ende Mai wurde Satoru Iwata zum Nintendo-Präsident, nachdem Hiroshi Yamauchi nach 52 Jahren seinen Rücktritt verkündet hatte. Bis Ende 2002 wurden insgesamt 25 Millionen Exemplare der Konsole *Game Boy Advance* verkauft.

Ende des Jahres 2004 erschien in Japan und den USA das *Nintendo DS*, ein Handheld mit zwei Bildschirmen, einer Touch-Steuerung, eine Abwärtskompatibilität zu allen Titeln des *Game Boy Advance* sowie kabellosem Multiplayer-Spielen [38]. Das Gerät kam in Europa ein Jahr später auf den Markt und wurde sofort zum Verkaufsschlager. *Dr. Kawashimas Gehirn-Jogging*, zum Beispiel, wurde ein Riesenhit, sogar unter jenen Menschen, die sich davor noch nie für Videospiele interessiert hatten.

Das Jahr 2006 wurde mit der Veröffentlichung der *Wii* Spielekonsole abgeschlossen, die durch ihre innovative Steuerung sowohl junges als auch älteres Publikum begeisterte [38]. Im April 2008 erschienen *Wii Fit* und das zugehörige *Wii Balance Board*, deren Zielgruppe vorrangig Menschen waren, die ihr Bewusstsein hinsichtlich ihrer körperlichen Fitness damit erweitern konnten. Im Mai des gleichen Jahres kam der *WiiWare* heraus, ein Service, das den Nutzern ermöglichte, Spieletitel online zu kaufen und direkt auf ihre Konsole zu installieren.

Im Jahr 2011 wurde der *Nintendo 3DS* auf den Markt gebracht, mit dem die Spieler stereoskopische 3D-Grafik erleben konnten, ohne eine spezielle Brille verwenden zu müssen [38]. Ein Jahr später kam schon die nächste Spielekonsole, die *Wii U*, heraus sowie ein neues tragbares System, das *Nintendo 3DS XL*, mit den bis dahin größten verbauten Bildschirmen. Die *Wii U* war die erste High Definition (HD) Spielekonsole von Nintendo, mit der eine Videoausgabe am heimischen Fernsehapparat von bis zu 1280 Bildpunkten mal 720 Zeilen möglich war. Außerdem ermöglichte der zweite Bildschirm auf dem *Wii U GamePad* ein ganz neues Spiel- und Interaktionserlebnis.

Im September 2015 trat Tatsumi Kimishima sein Amt als Präsident von *Nintendo Co., Ltd.* an, und die *Nintendo Switch* wurde angekündigt [38]. Schließlich erschien sie am 3. März 2017, die erste hybride Spielekonsole, die zur achten Konsolengeneration gehört und damit in direkter Konkurrenz zu Microsofts *Xbox One* und Sonys *Playstation*^{®4} Spielekonsolen steht. Als hybrides System lässt sich die Spielekonsole sowohl als stationäre, d.h. mit einem externen Bildschirm verbundene Spielekonsole, als auch als tragbarer Handheld verwenden. Im Jahr 2019 erschien die *Nintendo Switch Lite*, die allerdings nur ein Handheld ist. In Kapitel 7 wird näher auf die *Nintendo Switch* und deren Energieverbrauch in unterschiedlichen Szenarien eingegangen.

2.2 Sony Interactive Entertainment Inc.

Sonys Firmengeschichte begann in Tokyo im Jahr 1946, nachdem Masaru Ibuka das *Tokyo Tsushin Kogyo K.K.*, ein Telekommunikationstechnik Unternehmen, gegründet hatte [39]. Nach der Entwicklung von Japans erstem magnetischen Bandaufnahmegerät *G-Type* im Jahr 1950 folgte 1955 Japans erstes Transistorradio *TR-55*. Das Unternehmen wurde im Jahr 1958 in *Sony Corporation* umbenannt. Im Jahr 1979 wurde der *Walkman*, ein tragbarer Stereo Kassetten Spieler auf den Markt gebracht. Im Jahr darauf begann Sony mit der Entwicklung und dem Verkauf von Charge-Coupled Device (CCD) Bildsensoren, die auf dem inneren Photoeffekt beruhen und brachte zwei Jahre später den weltweiten Compact Disc (CD) Player heraus. Im Jahr 1984 wurde der weltweite tragbare CD-Player *D-50* zum Verkauf angeboten, und diesem folgten mit den Jahren tragbare und kompakte Kamerarekorder sowie im Jahr 1992 der *MiniDisc*, ein tragbares Abspielgerät für digitale Audio-Inhalte.

Sony Corporation begann bereits im Jahr 1988 eine Zusammenarbeit mit *Nintendo Co., Ltd.*, bei der ein Compact Disc-Read Only Memory (CD-ROM) Laufwerk für Nintendos Super NES Spielekonsole entwickelt werden sollte [41]. Dabei sicherte sich das Sony Unternehmen die Rechte über die volle Kontrolle der Software, die auf die Compact Discs gespeichert werden würde. Doch die Zusammenarbeit wurde seitens Nintendo einen Tag, nachdem Sony sein CD-ROM Laufwerk angekündigt hatte, beendet. Nintendo entschied sich stattdessen für eine gemeinsame Entwicklung des Laufwerks mit *Philips*, welches allerdings nie für das Super NES gebaut wurde. Nach einem Streit vor Gericht beschloss Sony selbst eine Spielekonsole zu entwickeln und Nintendo Konkurrenz zu machen.

Das *Sony Computer Entertainment Inc.* wurde im November des Jahres 1993 als Gemeinschaftsunternehmen zwischen *Sony Music Entertainment (Japan) Inc.* und *Sony Corporation* gegründet [40]. Bereits am 12. Dezember 1994 erschien die 32-Bit Spielekonsole *PlayStation* in Japan mit einem CD-ROM Laufwerk und 3D-Grafik. Im September 1995 wurde der Verkauf auf Nordamerika und Europa ausgeweitet. Zwei Jahre später wurden bereits 20 Millionen Spielekonsolen weltweit verkauft und Ende des Jahres 1998 waren es bereits 50 Millionen verkaufte Spielekonsolen. Das Jahr 1999 begann für Sony mit der Markteinführung der *PocketStation* in Japan und endete mit weltweit 70 Millionen verkauften *PlayStation* Spielekonsolen.

Die *PlayStation*^{®2} wurde im März des Jahres 2000 auf den Markt gebracht [40]. Ihr Herzstück war eine 128-Bit Central Processing Unit (CPU), eine *Emotion Engine* mit Datenverarbeitungsmöglichkeiten weit über dem Standard der damaligen Personal Computer (PC) sowie ein *Grafik-Synthesizer*, der eine einzigartige Grafikqualität und Detailtreue lieferte. Die Spielekonsole wurde mit einem

Digital Versatile Disc (DVD) Laufwerk ausgeliefert, mit dem nicht nur Spiele gestartet, sondern auch Filme wiedergegeben werden konnten. Sie wurde mit dem *DUALSHOCK*[®]2 Spiel-Controller bedient, der über eine integrierte Vibrationseinheit verfügte, um das Spielerlebnis noch intensiver zu gestalten. Im Juli wurde die Spielekonsole *PS one*[®] vorgestellt, die nur ein Drittel so groß war wie die originale *PlayStation* Spielekonsole. Dazu kam im November 2001 als Zubehörteil ein LCD Monitor, mit dem die Spielekonsole nicht nur zu Hause, sondern auch portabel verwendet werden konnte. Im Jänner 2004 wurden bereits 70 Millionen *PlayStation*[®]2 Spielekonsolen weltweit vertrieben. Im November desselben Jahres wurde eine neue Version der *PlayStation*[®]2 mit einem reduzierten Volumen um 75% und einem integrierten Netzwerk-Anschluss für das Online-Spielen vorgestellt. Ein Monat später wurde das erste Handheld Spielesystem aus der *PlayStation* Familie präsentiert, die *PlayStation*[®]*Portable*. Sie enthielt ein kabelloses Netzwerkmodul, mit dem nicht nur Online-Spielen möglich war, sondern auch kollaboratives Multiplayer-Spielen. Ende des Jahres 2005 wurden bereits 10 Millionen Einheiten des tragbaren Spielesystems und 100 Millionen der *PlayStation*[®]2 Spielesysteme weltweit verkauft.

Im November 2006 wurde die *PlayStation*[®]3, ein neues Spielesystem mit einem Blu-ray Disc Player und interner Festplatte, in Japan vorgestellt [40]. Sie bestach durch ihren RSX[®] Graphik Prozessor und die revolutionäre Prozessor-Architektur namens *Cell Broadband Engine*[™]. Die Architektur wurde speziell für die *PlayStation*[®]3 in Zusammenarbeit von *Sony Computer Entertainment Inc.*, *Toshiba Corporation* und *International Business Machines Corporation* (IBM) entwickelt [42]. Sie integrierte ein IBM PowerPC Prozessor-Element für gewöhnliche System-Funktionen und acht synergetische Prozessor-Elemente für datenintensive Verarbeitung, und bot somit die Rechenleistung eines Supercomputers.

In den Jahren 2007 und 2008 wurden überarbeitete Versionen der *PlayStation*[®]*Portable* mit einem Video-Out Anschluss ausgestattet, über den die Konsole mit einem Fernsehgerät verbunden werden konnte sowie einem verbesserten LCD-Bildschirm herausgebracht [40]. Im September 2009 wurde der Verkauf einer schlankeren Version der *PlayStation*[®]3 gestartet, bei der die interne Architektur neu designt wurde, wobei die Basis-Funktionen unangetastet blieben. Ende des Jahres wurde der Verkauf eines neuen Modells der *PlayStation*[®]*Portable* Serie, die sogenannte *PSP*[®]*go* mit einem Schiebe-Bildschirm und 16 Gigabyte (GB) Flash Speicher statt des bisherigen Universal Media Disc (UMD[®]) Laufwerks, gestartet.

Im Juni 2010 wurde *PlayStation*[®]*Plus* gestartet, ein kostenpflichtiges Service der *PlayStation*[®]*Network* Mitgliedschaft, welches unter anderem für den Online-Multiplayer bei fast allen Spielen erforderlich ist [40]. Das Service bietet allerdings auch Zugang zu zwei gratis Spielen pro Monat, exklusive Rabatte und *Share Play*, eine Funktion bei der man jemanden online die Kontrolle über ein Spiel geben kann, auch wenn dieser das Spiel nicht besitzt [43]. Im Oktober desselben Jahres wurden die *PlayStation*[®]*Move* Bewegungs-Controller vorgestellt, mit denen dem Spieler dank eingebauter Bewegungssensoren eine Spiel-Interaktion mit seiner räumlichen Umgebung möglich war [40].

Das Jahr 2011 begann für *Sony Computer Entertainment Inc.* mit 150 Millionen *PlayStation*[®]2, 50 Millionen *PlayStation*[®]3, 70 Millionen *PlayStation*[®]*Portable* insgesamt bis dahin verkauften Spielekonsolen und endete mit der Einführung der *PlayStation*[®]*Vita*, einer weiteren tragbaren Spielekonsole mit einem neuartigen Spielerlebnis [40]. Sie verfügte neben einer starken CPU-GPU Kombination

über ein fünf Zoll Berührungs-Display aus organischen Leuchtdioden (OLED) und einem an der Rückseite angebrachten Berührungs-Pad.

Im September 2012 wurde der Verkauf des dritten Modells der Spielekonsole *PlayStation*^{®3} gestartet, die um mehr als die Hälfte kleiner war als das erste ursprüngliche Modell mit einer 60 Gigabyte (GB) Festplatte [40]. Die zweite Serie der *PlayStation*^{®Vita} wurde im Oktober 2013 gestartet, während im Folgemonat das *PlayStation*^{®Vita TV}, das kleinste tragbare Unterhaltungssystem, welches auf der *PlayStation* Plattform beruhte, in Japan zum Verkauf angeboten wurde.

Schließlich wurde im November 2013 der von den Fans langerwartete Verkauf der *PlayStation*^{®4} (PS4) Spielekonsole gestartet [40]. Ausgestattet mit einem AMD Chip, der die CPU und GPU Einheit vereinte, bot die Spielekonsole eine PC-ähnliche Architektur. Ausgeliefert wurde die Konsole mit dem neuen *DUALSHOCK*^{®4} Spiel-Controller, dessen Position im Raum detektiert werden kann, wenn er in Kombination mit der *PlayStation*^{®Camera} benutzt wird.

Im Juli 2014 wurde *PlayStation Now* gestartet, ein kostenpflichtiges cloudbasiertes Streaming-Service für Spiele, bei dem zahlreiche ältere Spieleinhalte direkt zur *PlayStation*^{®4} Spielekonsole oder einem PC gestreamt und gespielt werden können [40]. Viele der PS4-Spieletitel können auch auf die Spielekonsole heruntergeladen und für die Dauer eines aktiven *PlayStation Now*-Abonnements gespielt werden.

Eine neue verbesserte *PlayStation*^{®4} Spielekonsole wurde im Juni 2015 lanciert, mit einer Reduzierung des Leistungsverbrauchs um 8%, sowie einer Gewichtsreduktion um 10% im Vergleich zum Vorgängermodell [40]. Im September des Folgejahres wurde der Verkauf einer weiteren Version der *PlayStation*^{®4} Spielekonsole gestartet, die sowohl in dieser Diplomarbeit als auch von der Fangemeinde als *PlayStation*^{®4 (Slim)} bezeichnet wird. Sie ist noch schmaler, leichter und bietet einen noch geringeren Leistungsverbrauch im Vergleich zu ihren beiden Vorgängerinnen. Im Oktober 2016 erschien schließlich das erste System für eine *PlayStation* Spielekonsole, welches virtuelle Realität (VR) anbietet, nämlich die *PlayStation*^{®VR}. Die Spieler haben damit die Möglichkeit, mit der VR Brille in das Spielgeschehen einzutauchen. In Kapitel 5 werden auch Messergebnisse bezüglich ihres Energieverbrauchs präsentiert.

Im November 2016 wurde die *PlayStation*^{®4 Pro}, das letzte Modell der *PlayStation*^{®4} Serie, zum Verkauf angeboten [40]. Sie bietet den Spielern Verbesserungen, wie zum Beispiel eine Auflösung von 4K Ultra HD, bei der 3840 Bildpunkte mal 2160 Zeilen dargestellt werden können. Spiele, Videos und Streaming-Inhalte können nun mit einem entsprechenden Fernsehapparat detailreich und bei sehr hoher Qualität betrachtet werden, allerdings mit einem wesentlich höheren Leistungsverbrauch, wie in dieser Diplomarbeit in Kapitel 5 an zahlreichen Beispielen dargelegt wird. Im Dezember 2018 wurden bereits 91,6 Millionen *PlayStation*^{®4} Spielekonsolen weltweit verkauft, während bis Juli desselben Jahres insgesamt 525,3 Millionen *PlayStation*-Systeme weltweit verkauft wurden.

2.3 Microsoft Corporation

Im Jahr 1972 gründeten William Bill Henry Gates III und Paul Gardner Allen ihr erstes Unternehmen namens *Traf-O-Data* [44]. Ihr erster Auftrag bestand aus einem Analyseprogramm zur Messung des

Autoverkehrs. Drei Jahre später stellten sie für den zu dieser Zeit leistungsstärksten Minicomputer *Altair 8800* einen Interpreter *Altair BASIC* für die Programmiersprache *Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code* (BASIC) zur Verfügung. Dieser Minicomputer wurde von *Micro Instrumentation and Telemetry Systems* (MITS) entwickelt und galt als der Vorläufer des heutigen PCs. Der Interpreter *Altair BASIC* war auch gleichzeitig das erste Software Produkt der im August 1975 gegründeten Firma *Micro-Soft*, Kurzformel für *Microcomputer-Software*. Im Jahr darauf verschwand der Bindestrich aus dem Namen, und *Microsoft* begann seine Expansion.

Anfang der 1980er Jahre richtete Microsoft den Fokus von Programmiersprachen auf Betriebssysteme und fand bei IBM seinen ersten Kunden [44]. Im Oktober 1980 entwickelte IBM seinen ersten PC und nachdem keine Einigung über die Lizenzierung von *Control Program/Monitor* (CP/M), zu dieser Zeit das erste plattformunabhängige Betriebssystem, gefunden wurde, wurde die Lizenz über Microsoft gekauft [35]. Dieser beschaffte das 86-DOS *Disk Operating System* von *Seattle Computer Products* (SCP) und entwickelte es weiter zu *Microsoft Disk Operating System 1.0* (MS-DOS 1.0), einem 16-Bit Betriebssystem.

Das Betriebssystem Windows verhalf Microsoft schlussendlich zum ganz großen Erfolg [44]. Am 24. August 1995 kam *Windows 95* auf den Markt [46], und es wurden in den ersten fünf Wochen sieben Millionen Exemplare davon verkauft [44]. Es folgten nun Jahre stetigen Wachstums, in denen Microsoft eine Monopolstellung erreichte und weltweit auf 80% aller Rechner ein Betriebssystem von Microsoft lief.

Neben den Betriebssystemen vertreibt Microsoft inzwischen auch Anwendungsprogramme wie das *Microsoft Office*, ein Paket von unterschiedlichen Büro-Anwendungen, Serverprodukte, wie den *Microsoft Structured Query Language* (SQL) *Datenbankserver* oder den *Microsoft Server*, Entwicklungsumgebungen sowie IT-Supportdienstleistungen und vieles mehr. Die Geschäfte von Microsoft sind in drei Bereiche unterteilt: *Productivity and Business Processes*, *Intelligent Cloud* und *More Personal Computing*, wobei das letzte Segment unter anderem auch *Gaming* beinhaltet [44].

Die Erfolge von Sony und Nintendo ermutigten Microsoft Ende der 1990er Jahre selbst in den Spielekonsolen Markt einzusteigen und am 15. November 2001 mit dem Verkauf seiner ersten Spielekonsole, der *Xbox*, zu starten [46]. Sie war die erste Spielekonsole, die auf leicht modifizierten PC-Komponenten basierte und all die Vorteile und die Flexibilität eines Gaming-PCs auf den Konsolenmarkt brachte. Die *Xbox* gehörte zur sechsten Konsolengeneration sowie ihre direkten Konkurrenten Sonys *PlayStation*[®] 2 und Nintendos *Game Cube*. Allerdings basierte ihr Betriebssystem auf dem Kernel des Betriebssystems *Microsoft Windows 2000* [47]. Dadurch war ihre Architektur von den damaligen PC-Spiele-Entwicklern von Beginn an leicht zu verstehen, um Spiele für die neue Spielekonsole entwerfen zu können. Bereits Ende des Jahres war die *Xbox* in Nord Amerika fast überall ausverkauft, und das exklusive und fesselnde Ego-Shooter Spiel *Halo* wurde damit ebenfalls zum Verkaufsschlager.

Es verkaufte sich 5 Millionen Mal bis zum Jahr 2005, was ein Riesenerfolg zu dieser Zeit war [47]. Allerdings verkaufte sich im Jahr 2011 das Spiel *Call of Duty: Modern Warfare 3* 6,5 Millionen Mal innerhalb von 24 Stunden, mit einem Umsatz von 400 Millionen US-Dollar [47] [48]. Dieser Verkaufsrekord wurde im Jahr darauf von dem Spiel *Call of Duty: Black Ops II* mit einem Umsatz von 500 Millionen US-Dollar am ersten Verkaufstag gebrochen [48]. Allein daraus lässt sich gut erkennen,

wie rasant dieses Marktsegment mit der Zeit wächst und wie das wirtschaftliche Gewicht großer und exklusiver Spieletitel in der Spielindustrie einzuordnen ist.

In Japan startete der Verkauf der *Xbox* am 22. Februar und in Europa am 14. März 2002, allerdings blieb der erwartete Erfolg aus [45]. Im November 2002 wurde das *Xbox Live Starter Kit* veröffentlicht, mit dem Spieler in der Lage waren, sich online mit anderen Spielern zu vernetzen und so gemeinsam zu spielen sowie neue Inhalte direkt auf die Spielekonsole herunterzuladen. Obwohl damit die Fangemeinde immer größer wurde, blieben die Gewinne aus dem Verkauf der *Xbox* niedriger als erwartet, was im Februar 2003 die Planung einer neuen Konsole mit sich brachte. Mit nur 24 Millionen insgesamt verkauften *Xbox* Exemplaren blieb Microsoft weit hinter Sony mit über 153 Millionen verkauften *PlayStation*[®] 2 Spielekonsolen.

Am 12. Mai 2005 stellte Microsoft die nächste Generation ihrer Spielekonsole vor, die *Xbox 360* [45]. Der Verkauf begann schon am 22. November 2005, rechtzeitig zum Weihnachtsgeschäft, ein Jahr vor dem Verkaufsstart der konkurrierenden Spielekonsolen *PlayStation*[®] 3 und der *Wii*. Bis Jänner 2010 wurden bereits mehr als 39 Millionen Spielekonsolen verkauft.

Am 18. Juni 2010 wurde eine schlankere Version der Spielekonsole, die *Xbox 360 S*, mit eingebautem Wi-Fi, verbesserten Komponenten und mit zusätzlichen USB-Anschlüssen auf den Markt gebracht [45]. Dieses Modell hatte außerdem einen eingebauten Überhitzungsschutz, der beim Erreichen einer kritischen Temperatur die Spielekonsole ausschaltete. Diese Schutzmaßnahme sollte dem bis dahin sehr verbreiteten *Red Ring of Death*, einem Überhitzungstod entgegenwirken, welcher Medienberichten zufolge durch das verwendete bleifreie Lot auftrat, das durch die häufigen Temperaturwechsel brüchig werden konnte [49]. Im November 2010 präsentierte Microsoft eine Erweiterung für die *Xbox*, die *Kinect*-Sensorleiste, mit der Spiele mit eigenen Bewegungen gesteuert werden konnten [45]. Ende des Jahres 2012 wurden bereits 75 Millionen Spielekonsolen verkauft, 5 Millionen mehr als *PlayStation*[®] 3 Exemplare. Allerdings wurden zur gleichen Zeit etwa 100 Millionen *Wii* Spielekonsolen verkauft.

Am 22. November 2013 startete Microsoft den Verkauf der neuen Spielekonsole *Xbox One*, die in direkter Konkurrenz zu *PlayStation*[®] 4 und später zu *Nintendo Switch* stand [46]. Mit der neuen Spielekonsole erschienen auch neue Innovationen, wie das *Xbox Play Anywhere*, bei dem das Spielen desselben Titels sowohl auf einem PC mit dem Betriebssystem *Windows 10* als auch auf der *Xbox One* möglich ist. Der *Xbox Game Pass* bietet Abonnenten Zugang zu zahlreichen älteren Spielen sowie Zugang zu den neuesten exklusiven Titeln am Tag ihrer Veröffentlichung. Die Bezeichnung *One* wurde gezielt gewählt, weil Microsoft nicht nur eine Spielekonsole ins Wohnzimmer bringen wollte, sondern eine *All-in-One*-Konsole, die den heimischen Fernseher mit Internet-Diensten und verschiedenen Applikationen erweitern sollte [75]. Deshalb ist eine Einhaltung der vereinbarten Ziele und Verpflichtungen bezüglich des Energieverbrauchs aus der SRI umso wichtiger. Wie man auch in Kapitel 6.8 anhand der messtechnischen Erhebung des automatischen Abschaltens sehen kann, existiert hier noch Verbesserungspotential. Im August 2016 wurde eine überarbeitete Version der *Xbox One*, die *Xbox One S*, herausgebracht. Sie brachte neben Erneuerungen in der Bildqualität auch die UHD Auflösung, allerdings nur für Bilder und Videos mit sich, für Spiele wird diese Auflösung hochskaliert.

Im November des Folgejahres wurde schließlich die leistungsstärkste Version der *Xbox One* auf den Markt gebracht, die *Xbox One X* [46]. Sie beinhaltet ein Upgrade der einzelnen Komponenten, eine native UHD Auflösung für das Spielen sowie eine Abwärtskompatibilität zu den Spielen der älteren Spielekonsolen, wie der *Xbox* und der *Xbox 360* [2]. Damit kann man bereits gekaufte ältere Spieletitel auf der neuen Spielekonsole wieder spielen. Neben der genannten Leistung beim UHD Spielen und der exklusiven Spieletitel ist die Abwärtskompatibilität eine weitere Besonderheit gegenüber der konkurrierenden Spielekonsolen der achten Generation.

Am 16. April 2019 wurde schließlich noch die letzte Spielekonsole der achten Generation herausgebracht, die *Xbox One S All-Digital Edition*, wobei es sich hier rein technisch um eine *Xbox One S* ohne das optische Laufwerk handelt [75].

3. Selbstregulierungsinitiative für Spielekonsolen

Um die Grundlage für ein besseres Verständnis des praktischen Teils dieser Diplomarbeit bieten zu können, ist es notwendig, zunächst auf die Rolle und Funktionsweise der *Ökodesign-Richtlinie* und anschließend auf die darauf beruhende *Selbstregulierungsinitiative* samt ihren Anforderungen an die Spielekonsolenhersteller, die sie unterzeichnet haben, einzugehen.

Die Ökodesign-Richtlinie (2009/125/EG) [7], auf die im folgenden Unterkapitel näher eingegangen wird, ist ein integraler Bestandteil der produktbezogenen Politik der Europäischen Union (EU). Ihr Ziel ist eine Verbesserung der Umwelteigenschaften von energiebezogenen Produkten innerhalb der Europäischen Union durch die Harmonisierung von Umwelanforderungen für diese Produkte [36]. Die Richtlinie trat am 20. November 2009 in Kraft und ersetzte die vorherige Ökodesign-Richtlinie 2005/32/EG [22]. Sie ist eng mit anderen europäischen Produktstrategien verknüpft, insbesondere mit der Energiekennzeichnungsverordnung 2017/1369 [6], und hat Verbindungen zu weiteren Instrumenten wie den Umweltzeichen und der umweltfreundlichen öffentlichen Beschaffung [32]. Man erkannte bereits 1992 auf den Konferenzen der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro und 2002 für nachhaltige Entwicklung in Johannesburg, welche ein wichtiges Instrument des produktbezogenen Umweltschutzes das Beschaffungswesen ist. Deshalb geht auch auf EU-Ebene die Tendenz dahin, das öffentliche Beschaffungswesen innovativer und umweltfreundlicher zu gestalten.

Ein großer Teil der Umweltauswirkungen von Produkten wird bereits in der Design- und Herstellungsphase festgelegt [36]. Daher ist es wichtig, bereits in der Produktionsphase mögliche Auswirkungen über den gesamten Lebenszyklus einzubeziehen. Die Ökodesign-Richtlinie [7] berücksichtigt im Prinzip alle Umweltauswirkungen von der Beschaffung der Rohstoffe, der Herstellung und dem Vertrieb der Produkte bis hin zur Nutzungsphase und der endgültigen Entsorgung. Nichtsdestoweniger hat die Richtlinie bestimmte ökologische Prioritäten. Ein wichtiges Ziel ist es, die Energieeffizienz von energiebezogenen Produkten zu verbessern, und damit zu den Maßnahmen für die Erreichung der europäischen Klimaschutzziele beizutragen. Darüber hinaus zielt sie darauf ab, andere bedeutende Umweltauswirkungen der in ihren Geltungsbereich fallenden Produkte zu verringern. Zu diesem Zweck strebt sie eine Harmonisierung des europäischen Binnenmarktes für energiebezogene Produkte an.

3.1 Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG

Es sind weltweit immer effizientere Produkte gefragt, um eine Reduktion des Verbrauchs von Ressourcen und Energie zu erreichen [13]. Die Rechtsvorschriften der EU zur umweltgerechten Gestaltung, dem sogenannten Ökodesign, sind dabei ein wirksames Instrument. Sie enthalten verbindliche Mindestnormen für die Energieeffizienz von Produkten, um deren Umweltverträglichkeit zu verbessern. So können Produkte, die erhebliche negative Auswirkungen auf die Umwelt haben, effizienter vom Markt verdrängt werden. Durch die Förderung einer besseren Umweltverträglichkeit von Produkten im gesamten Binnenmarkt werden darüber hinaus auch die Innovationen und Wettbewerbsfähigkeit der Industrie unterstützt.

Die Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 [7] ist eine europarechtliche Richtlinie zur Festlegung von Mindestanforderungen an das umweltgerechte Design energieverbrauchsrelevanter Produkte. Die ursprüngliche Ökodesign-Richtlinie aus dem Jahr 2005 [22] beschränkte sich dagegen auf energiebetriebene Produkte. Im Gegensatz zum energiebetriebenen Produkt wird als energieverbrauchsrelevantes Produkt ein Gegenstand bezeichnet, dessen Nutzung den Verbrauch von Energie in irgendeiner Weise beeinflusst. Das Ziel der Richtlinie ist die Gewährleistung des freien Verkehrs solcher Produkte im Binnenmarkt sowie deren Inbetriebnahme [7]. Außerdem verbessert sie die Sicherheit der Energieversorgung und trägt zugleich zur nachhaltigen Entwicklung bei, indem sie das Umweltschutzniveau und die Energieeffizienz erhöht. Diese Richtlinie gilt allerdings nicht für Verkehrsmittel zur Personen- oder Güterbeförderung.

Als Rahmenrichtlinie definiert die Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG [7] lediglich den Regelungsprozess zur Festlegung von Ökodesign-Anforderungen für bestimmte Produktgruppen und gibt grundlegende Kriterien für die Auswahl relevanter Produktgruppen vor [36]. Alle drei Jahre legt die Europäische Kommission einen Arbeitsplan fest, der eine Liste von Produktgruppen enthält, die bei der Umsetzung spezifischer Maßnahmen zur Verringerung ihrer Umweltauswirkungen als Prioritäten betrachtet werden. Der Arbeitsplan basiert auf einer Studie, die energiebezogene Produkte auf der Grundlage ihres Verkaufs- und Handelsvolumens, ihres Energie- und Ressourceneinsparungspotenzials und ihrer Eignung für die Regulierung untersucht.

Für jede im Arbeitsplan ausgewählte Produktgruppe beginnt der Umsetzungsprozess in der Regel mit einer umfassenden Vorstudie, die in sieben Schritten (Tasks bzw. Aufgaben) nach einer standardisierten Methodik, der *Methodology for the Ecodesign of Energy-related Products* (MEErP) [13], abläuft [36]. Im Rahmen der Studie werden der Produktumfang, relevante bestehende rechtliche Anforderungen und Normen, aktuelle Technologien und die erwartete technische Entwicklung, der Markt und die erwartete Marktentwicklung, das Verhalten typischer Nutzer des Produkts, Umweltaspekte und Verbesserungsmöglichkeiten, Lebenszykluskosten sowie mögliche politische Optionen analysiert. Solche vorbereitenden Studien werden während ihrer Ausarbeitung zu verschiedenen Zeitpunkten mit interessierten Interessengruppen diskutiert, bevor sie endgültig veröffentlicht werden.

Auf der Grundlage dieser Studien schlägt die Europäische Kommission in der Regel einen ersten Entwurf für eine Durchführungsverordnung (*Arbeitsdokument*) für jede Produktgruppe mit allgemeinen und spezifischen Ökodesign-Anforderungen vor [36]. Dieser Entwurf wird im Konsultationsforum diskutiert, das sich aus Interessenvertretern, wie Vertretern aus allen EU-Mitgliedstaaten, relevanten

Industrieverbänden und Unternehmen, Umwelt- und Verbraucherschutzverbänden sowie der Europäischen Kommission zusammensetzt. Der Weg zu so einer Durchführungsmaßnahme ist graphisch in Abbildung 3.1 dargestellt.

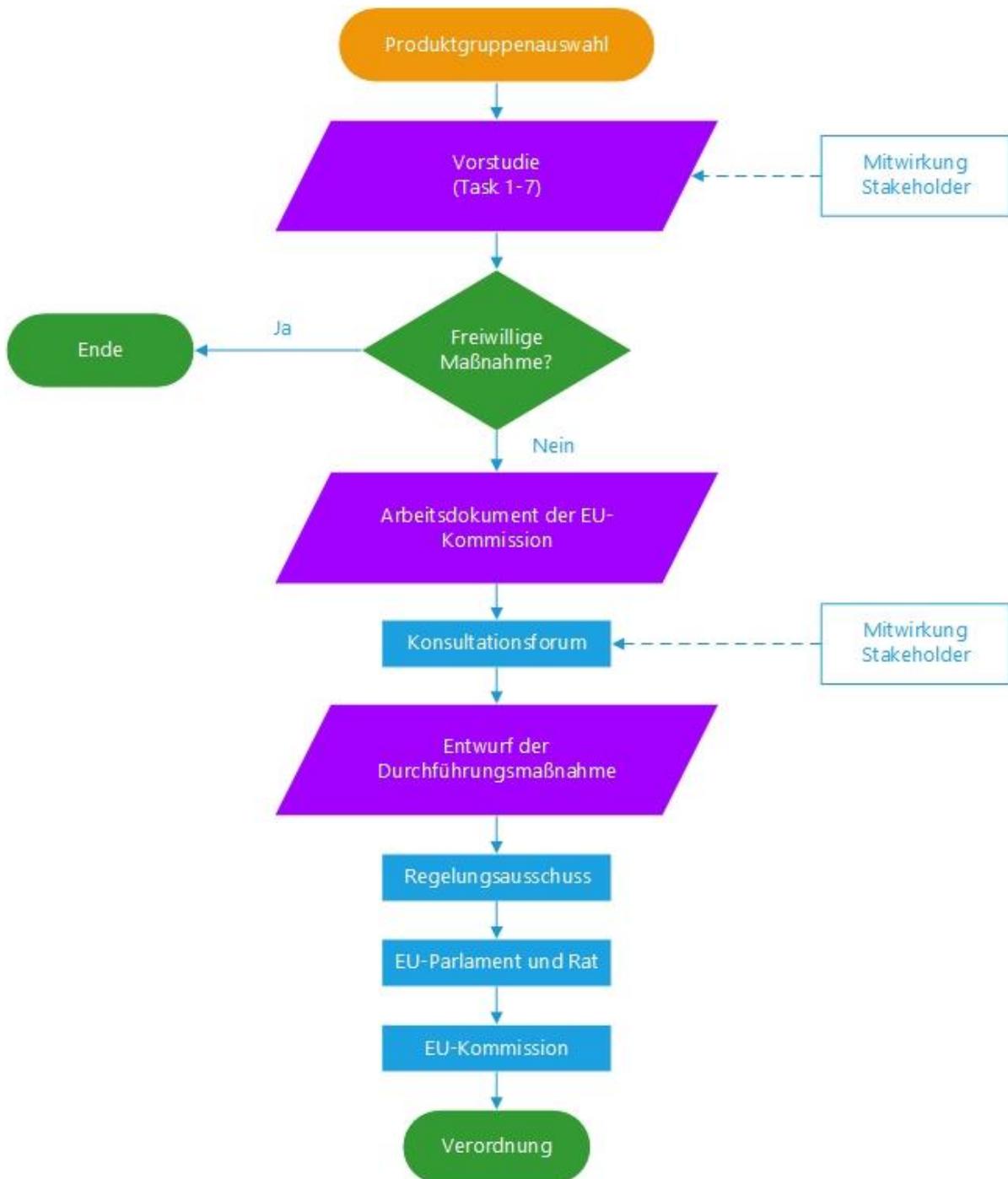


Abbildung 3.1 Der Weg zur Durchführungsmaßnahme, eigene Darstellung nach [9].

Im Anschluss an die Konsultationsphase wird in den meisten Fällen für jede Durchführungsmaßnahme eine Folgenabschätzung durchgeführt, und die Europäische Kommission erörtert die Maßnahme intern und benachrichtigt die Welthandelsorganisation [36]. Schließlich wird der Verordnungsentwurf einer Versammlung von Vertretern der EU-Mitgliedstaaten, dem so genannten Regelungsausschuss, zur Abstimmung vorgelegt. Das Europäische Parlament hat dann die Möglichkeit einzugreifen, bevor eine Durchführungsmaßnahme in Kraft tritt.

Bisher sind 27 Ökodesign-Verordnungen ohne Berücksichtigung der Änderungsverordnungen für ausgewählte Produktgruppen sowie einige bereichsübergreifende Regelungen, wie z.B. zum Energieverbrauch im Bereitschafts- und Aus-Zustand, auf der Grundlage der Ökodesign-Richtlinie in Kraft [36]. Die Hersteller bzw. Importeure sind dafür verantwortlich, die Konformität eines Produkts mit den Anforderungen sicherzustellen. Die nationalen Marktaufsichtsbehörden der Mitgliedstaaten überprüfen dann durch Stichproben die Konformität der von den Durchführungsmaßnahmen erfassten Produkte.

Die Verordnungen der Europäischen Kommission legen jene Ökodesign-Anforderungen fest, die im Rahmen der Produktentwicklung zu berücksichtigen sind und speziell für eine Warengruppe gelten. Sie definieren die, wie im Artikel 5 der Ökodesign-Richtlinie [7] beschrieben, für die CE-Kennzeichnung tolerierten Werte und sind für Waren, die in der Europäischen Union in Verkehr gebracht werden, verbindlich. Vor der Inbetriebnahme bzw. dem Inverkehrbringen eines von Durchführungsmaßnahmen erfassten Produkts ist eine EG-Konformitätserklärung für das Produkt auszustellen, mit der der Hersteller zusichert, dass das Produkt allen einschlägigen Bestimmungen der jeweils geltenden Maßnahme entspricht. Außerdem muss dieses mit der CE-Kennzeichnung markiert werden. Die Abkürzung *CE* steht für *Communautés Européennes*, den französischen Begriff für die *Europäischen Gemeinschaften*. Für die CE-Kennzeichnung ist der Hersteller eines Produktes selbst verantwortlich und muss dieses an kennzeichnungspflichtigen Produkten anbringen, bevor sie auf den EU-Markt gebracht oder in Betrieb genommen werden.

Eine Durchführungsmaßnahme ist also eine auf der Ökodesign-Richtlinie erlassene Verordnung der Europäischen Kommission zur Festlegung der Ökodesign-Anforderungen zu bestimmten Umweltaspekten oder für bestimmte Produkte. Für Hersteller und Importeure ergeben sich aus der Richtlinie bzw. aus der nationalen Umsetzung allein noch keine unmittelbaren Verpflichtungen, sondern erst, nachdem die Durchführungsmaßnahmen für bestimmte Produktkategorien erlassen wurden [9].

Alternativ zur Ökodesign-Richtlinie können die Wirtschaftszweige auch freiwillige Vereinbarungen zur Verringerung des Energieverbrauchs ihrer Produkte unterzeichnen. Wenn Vereinbarungen dieser Art kostengünstiger und schneller die politischen Ziele erreichen, wird diesen der Vorrang gegeben. Die Europäische Kommission erkennt solche Vereinbarungen förmlich an und überwacht auch deren Umsetzung [9].

Für folgende drei Produktgruppen sind bis zum Jahr 2020 freiwillige Vereinbarungen unter der Ökodesign-Richtlinie von der Europäischen Kommission anerkannt [10] [21]:

- Komplexe Set-Top Boxen
- Bildgebende Geräte (Kopiergeräte, Multifunktionsgeräte, Drucker und Faxgeräte)
- Spielekonsolen

Dabei sind *Bild- und tongebende Geräte* bereits im Arbeitsplan 2009-2011 für die Ökodesign-Richtlinie als eine Produktgruppe angeführt und haben sehr hohes Potenzial für eine kostengünstige Senkung der Treibhausgasemissionen. Die Europäische Kommission veröffentlichte im November 2010 eine vorbereitende Studie [12], die sich auch auf Spielekonsolen erstreckt und die bestätigt, dass die Produktgruppe die Kriterien des Artikels 15 der Ökodesign-Richtlinie erfüllt. Insbesondere weist sie erhebliche Umweltauswirkungen, ein großes Potenzial für Verbesserungen und ein sehr großes Verkaufsvolumen aus. Aus diesem Grund können auch Bild- und tongebende Geräte einer Selbstregulierung oder der Durchführungsmaßnahme unterliegen. Der Energieverbrauch von Videorecordern, Videoabspielgeräten und Videoprojektoren im ausgeschalteten Zustand und im Bereitschaftszustand ist bereits durch die Ökodesign-Verordnung der Europäischen Kommission Nr. 1275/2008 (Standby-Verordnung) [23] geregelt [11].

Da aber der Markt in den kommenden Jahren für diese Produkte kleiner wird und für die Wiedergabe von Bild- und Toninhalten zunehmend Streaming-Geräte genutzt werden, ist das einzige Segment dieser Produktgruppe, welches in den nächsten Jahren größer wird, das der Spielekonsolen. Deshalb schlugen die drei größten Hersteller von Spielekonsolen *Nintendo Co., Ltd.*, *Sony Interactive Entertainment Inc.* und *Microsoft Corporation* eine freiwillige Vereinbarung vor, die spezifische Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung dieser Produkte enthielt, die in der Europäischen Union in Verkehr gebracht werden und im aktiven Spielmodus mehr als zwanzig Watt verbrauchen [8]. Die von den Interessensgruppen vorgeschlagene freiwillige Regelung war anschließend Gegenstand einer umfassenden Folgenabschätzung der Europäischen Kommission mit dem Ergebnis, dass sich die politischen Ziele mit ihrer Hilfe kostengünstiger und schneller erreichen lassen als mit verbindlichen Vorschriften [11]. Zudem ergab sich, dass die vorgeschlagene Regelung gemäß Anhang VIII der Ökodesign-Richtlinie [7] internationalen Verpflichtungen der Europäischen Union, einschließlich der multilateralen Handelsbestimmungen, den Zielen der Ökodesign-Richtlinie sowie allen Bestimmungen des EU-Vertrags, insbesondere des Wettbewerbs- und Binnenmarktsrechts, entsprach und die spezifischen Bewertungskriterien erfüllte.

Im April 2014 wurde diese freiwillige Regelung schließlich von den Unterzeichnern angenommen [11]. Schätzungsweise wurden durch die eingegangenen Verpflichtungen Energieeinsparungen von einer TWh pro Jahr, entsprechend 0,494 Millionen Tonnen CO₂ Emissionen, bis zum Jahr 2020 erwartet. Tatsächlich wurden 14,2 TWh an Energie bis zum Juni 2019 gespart [74]. Die Spielekonsolenhersteller erwarten über den Lebenszeitraum der vier Spielekonsolen *PlayStation®4 (Slim)*, *PlayStation®4 Pro*, *Xbox One S* und *Xbox One X* Energieeinsparungen in der Höhe von 48,2 TWh, was der jährlichen Energieproduktion von Portugal entspricht. Das zeigt deutlich, dass die SRI ein wirksamer Motor für Energieeinsparungen ist.

3.2 Selbstregulierungsinitiative als Alternative zur Durchführungsmaßnahme

Bei der Selbstregulierung formulieren Unternehmens- oder Industriesektoren aus eigener Initiative Verhaltensregeln oder Betriebsbeschränkungen, für deren Durchsetzung sie selbst verantwortlich sind [26]. Reine Selbstregulierung ist auf EU-Ebene eigentlich unüblich, daher wird die Europäische

Kommission in der Regel in die Ausarbeitung der Selbstregulierungsmaßnahme einbezogen. Im Zusammenhang mit der EU-Agenda für bessere Rechtsetzung, betrachtet die Europäische Kommission gut durchdachte nicht-regulatorische Ansätze als alternative politische Lösungen.

Gemäß der Vorgabe der Ökodesign-Richtlinie vertreten die Unterzeichner der freiwilligen Regelung für Spielekonsolen, *Nintendo Co., Ltd.*, *Sony Interactive Entertainment Inc.* und *Microsoft Corporation*, eine breite Mehrheit des einschlägigen Wirtschaftszweigs [11]. Sie verpflichteten sich im Rahmen dieser Vereinbarung, mindestens 90% aller Videospiegelgeräte, die in Verkehr gebracht werden, den Mindestanforderungen an die Energieeffizienz anzupassen.

Die Unterzeichner verpflichteten sich zusätzlich, dem unabhängigen Inspektor die angeforderten Berichtsinformationen vorzulegen, da sie sonst den Unterzeichnerstatus verlieren würden [11]. Außerdem wird dem Lenkungsausschuss die Änderung der Bestimmungen der Vereinbarung, insbesondere die Anpassungen an die Marktsituation, ermöglicht. Dieser Lenkungsausschuss besteht aus Vertretern der Unterzeichner der Vereinbarung und Beobachtern sowie Repräsentanten der Europäischen Kommission, der EU-Mitgliedsstaaten und von Umwelt- und Verbraucherorganisationen. Die Europäische Kommission akzeptiert also, dass in der EU in Verkehr gebrachte Spielekonsolen der freiwilligen Regelung der Interessensgruppen zur umweltgerechten Gestaltung unterliegen sollen. Sie erfüllen somit alle im Anhang VIII der Ökodesign-Richtlinie [7] aufgeführten Kriterien. Außerdem lassen sich die politischen Ziele mit Hilfe der von den Interessensgruppen aus der Industrie vorgeschlagenen freiwilligen Regelung für Spielekonsolen kostengünstiger und schneller erreichen als mit verbindlichen Vorschriften.

Die im Anhang VIII der Ökodesign-Richtlinie genannten Kriterien sind hier vollständigshalber aufgezählt [7]:

1. Offenheit der Beteiligung
2. Mehrwert
3. Repräsentativität
4. Quantifizierte und abgestufte Ziele
5. Beteiligung der Zivilgesellschaft
6. Überwachung und Berichterstattung
7. Kostenwirksamkeit der Verwaltung einer Selbstregulierungsinitiative
8. Nachhaltigkeit
9. Kompatibilität von Anreizen

In der von den Interessensgruppen beschlossenen freiwilligen Vereinbarung wurden die Bedingungen der Regelung festgelegt [11]. Wie bereits erwähnt stellt nach Ansicht der Europäischen Kommission diese freiwillige Regelung eine vertretbare Alternative zum Erlass einer Ökodesign-Durchführungsmaßnahme dar. Solange die Europäische Kommission der Ansicht ist, dass die freiwillige Vereinbarung und etwaige künftige Fassungen im Rahmen dieser Regelung den allgemeinen Grundsätzen der Ökodesign-Richtlinie entsprechen und ihren Zweck erfüllen, wird sie keine verbindlichen Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Spielekonsolen, die in der EU auf den Markt gebracht werden, erlassen.

Gemäß des sechsten im Anhang VIII der Ökodesign-Richtlinie genannten Kriteriums, *Überwachung und Berichterstattung*, überwacht die Europäische Kommission mit Unterstützung des Ökodesign-Konsultationsforums und des in Artikel 19 Absatz 1 der Ökodesign-Richtlinie genannten Ausschusses die Anwendung der freiwilligen Regelung [11]. Dabei wird besonders auf die Angemessenheit der Ökodesign-Anforderungen in der freiwilligen Vereinbarung und in allen ihren späteren Fassungen sowie die Einhaltung der allgemeinen Grundsätze geachtet. Sie richtet dabei besonderes Augenmerk auf die Berichterstattungspflichten und die Regeln für die Überwachung, die in der Vereinbarung selbst, in der Ökodesign-Richtlinie und in bestehenden Leitlinien der Europäischen Kommission vorgesehen sind. Insbesondere prüft die Europäische Kommission, ob die Bestimmungen der Vereinbarung und deren Anwendung durch die Interessensgruppen es den Beteiligten ermöglichen, einschließlich der nationalen Behörden und der Europäischen Kommission selbst, die Zweckerfüllung der freiwilligen Vereinbarung und ihre Wirksamkeit effektiv zu überwachen.

Gelangt die Europäische Kommission zu der Erkenntnis, dass die allgemeinen Grundsätze der Ökodesign-Richtlinie [7] und die Ziele im Rahmen der freiwilligen Regelung nicht erfüllt werden, wird sie in einer verbindlichen Durchführungsmaßnahme Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Spielekonsolen festlegen [11]. Das heißt, um das zu verhindern, müssen die Unterzeichner der freiwilligen Vereinbarung die darin festgelegten Energieverbrauchsziele mit der Zeit stetig senken sowie andere relevante Umweltaspekte in spätere Fassungen aufnehmen oder die Anforderungen in Bezug auf nicht energieverbrauchsrelevante Aspekte im Sinne der freiwilligen Vereinbarung verbessern.

3.3 Geschichte der Selbstregulierungsinitiative

Als Teil des Ökodesign-Regulierungsprozesses der EU [13] gemäß der EU-Richtlinie 2009/125/EG [7] begann die Europäische Kommission im Jahr 2009 mit einer Überprüfung des Potenzials zur Verbesserung der Energieeffizienz von Spielekonsolen [14]. Zugleich initiierte sie eine vorbereitende Studie, um die Energieeffizienz von Spielekonsolen neben anderen Ton- und Bildgeräten zu untersuchen. Die vorbereitende Studie der Europäischen Kommission beinhaltete eine freiwillige Vereinbarung als mögliche politische Option, und die Europäische Kommission erklärte sich bereit, diesen Ansatz in Betracht zu ziehen, sofern er den Ambitionen der Ökodesign-Richtlinie gerecht werden kann. Nach Konsultationen mit Interessenvertretern und politischen Entscheidungsträgern begann im Jahr 2010 die Spielekonsolenindustrie mit der Formulierung der freiwilligen Vereinbarung und der Vorbereitung für die Überprüfung durch die Europäische Kommission.

Im November 2012 wurde der erste Entwurf dieser Vereinbarung auf einer Sitzung des Konsultationsforums der Europäischen Kommission zur Überprüfung und Diskussion vorgelegt [14]. An dieser Sitzung nahmen die Vertreter der Europäischen Kommission, der Mitgliedstaaten und der Nichtregierungsorganisationen teil. Ein Hersteller aus der Spielekonsolenindustrie schloss im Jahr 2013 seine eigene umfassende analytische Studie über die potenziellen Energieeinsparungen, welche die freiwillige Vereinbarung sichern würde, ab. Die Schlussfolgerungen der Studie betonten, dass die freiwillige Vereinbarung das Potenzial hat, bis 2020 bis zu einer TWh pro Jahr an Energie einzusparen. Die

Europäische Kommission erkannte zwar an, dass die Energieeinsparungen mit den Zielen der Ökodesign-Richtlinie in Einklang standen, forderte die Industrie jedoch auf, weitere Verpflichtungen zur Materialeffizienz hinzuzufügen. Danach wurde der Entwurf der freiwilligen Vereinbarung überarbeitet und diese Verpflichtungen wurden aufgenommen. Anschließend wurde er erneut intern von dem Ausschuss für Folgenabschätzung der Europäischen Kommission mit dem Ergebnis geprüft, dass im März desselben Jahres eine positive Stellungnahme abgegeben werden konnte.

Im Jahr 2014 wurde die freiwillige Vereinbarung von den Herstellern von Spielekonsolen geändert [14]. Berücksichtigt wurden der überarbeitete Richtlinienentwurf der Europäischen Kommission über Selbstregulierungsmaßnahmen sowie während der Sitzung des Konsultationsforums eingegangene und auch nachfolgende Kommentare der Europäischen Kommission.

Am 22. April 2015 genehmigte die Europäische Kommission offiziell die freiwillige Vereinbarung für Spielekonsolen Version 1.0 [15] [14]. Die Entscheidung der Europäischen Kommission bestätigte, dass mit der freiwilligen Vereinbarung die politischen Ziele der Ökodesign-Richtlinie der EU schneller und kosteneffizienter erreicht werden können als mit verbindlichen Verordnungen. Die erste Sitzung des Lenkungsausschusses fand im Dezember in Brüssel statt.

Die Hersteller von Spielekonsolen begannen im Jahr 2016 mit der Umsetzung der Produktberichterstattungsanforderungen der freiwilligen Vereinbarung [14]. Geringfügige und klarstellende Änderungen, wie z.B. grammatikalische und formale Fehler oder Klärung einiger Datenerfassungsverfahren, wurden an der freiwilligen Vereinbarung als Reaktion auf die auf der Sitzung des Lenkungsausschusses im Juni eingegangenen Kommentare von Interessenvertretern und dem unabhängigen Inspektor vorgenommen. Somit wurde eine überarbeitete Version der freiwilligen Vereinbarung über Spielekonsolen [16] von der Europäischen Kommission genehmigt.

Im Jahr 2017 fand ein Verfahren zur technischen Überprüfung der freiwilligen Vereinbarung statt, um ihre Wirksamkeit bei der Erreichung der Energieeffizienzziele zu bewerten [14]. Dabei wurden ebenfalls aktuelle und künftige Entwicklungen, die den Stromverbrauch von Spielekonsolen beeinflussen können, um gegebenenfalls künftige Ziele zur Steigerung der Energieeffizienz von Spielekonsolen festzulegen, bewertet. Darüber hinaus wurde die freiwillige Vereinbarung an die endgültigen Leitlinien der Europäischen Kommission für Selbstregulierungsmaßnahmen [17] angepasst. Die freiwillige Vereinbarung für Spielekonsolen Version 2.5 [18] wurde auf der Sitzung des Konsultationsforums im November 2017 vorgestellt.

Im Juni 2018 wurde die Version 2.6 [19] der freiwilligen Vereinbarung für Spielekonsolen dem Lenkungsausschuss vorgestellt [14]. Kleinere Änderungen wurden auf der Sitzung des Lenkungsausschusses im November bewilligt, was schließlich zur Genehmigung der Version 2.6.3 [20] führte. Diese Version der freiwilligen Vereinbarung wurde hier für die vorliegende Diplomarbeit sowie die Überprüfungsstudie „*Review Study of the Ecodesign Voluntary Agreement for the Product Group „Videogames Consoles“*“ [25] verwendet.

Im März 2020 wurde schließlich die Version 3.0 der freiwilligen Vereinbarung für Spielekonsolen veröffentlicht. Diese wird allerdings für die vorliegende Diplomarbeit nicht verwendet, weil sie während deren Verfassens und nach Veröffentlichung der bereits erwähnten Überprüfungsstudie [25] beschlossen wurde. Sie beinhaltet, abgesehen von kleineren stilistischen Textänderungen, eine

unvollständige Erweiterung der Definitionen und Anforderungen an die Spielekonsolen der neunten Generation. Zu dieser Generation gehören 8K-fähige Spielekonsolen, d.h. sie können zusätzlich zu den für ultrahochauflösende (Ultra-High-Definition UHD) Spielekonsolen definierten Fähigkeiten auch Videoausgaben mit Auflösungen größer oder gleich 8K (7680 Bildpunkten (Pixel) mal 4320 Zeilen) darstellen [52]. In dieser Version der Selbstregulierungsinitiative wird außerdem im Navigationsmodus bei der Anforderung bezüglich des Energieverbrauchs zwischen HD und UHD Auflösung, allerdings nur bei der neuen Generation von Spielekonsolen, ein Unterschied gemacht. Die restlichen energiebezogenen Vorgaben und Definitionen müssen noch für die neuen Spielekonsolen definiert werden. Alle nicht energieverbrauchsrelevanten Bestimmungen gelten nun ab 1. Jänner 2021 auch für Spielekonsolen, die im aktiven Spielmodus weniger als zwanzig Watt verbrauchen. Zusätzlich werden für die Messung des Energieverbrauchs, außer für die Messung im aktiven Spielmodus, neue Methoden definiert, die man in der Version 3.0 der Selbstregulierungsinitiative [52] nachschlagen kann. Darunter befindet sich im Annex A-1 unter dem Punkt 4.1 [52] auch die Mess-Methode, die in dieser Diplomarbeit verwendet wurde und mit der auch die Ergebnisse der bereits erwähnten Überprüfungsstudie [25] gemessen wurden. Dabei wurden Messungen mit einer Dauer von dreißig Minuten und jeweils einem Messwert pro Sekunde gemacht, woraus ein statistischer Mittelwert gebildet werden kann.

Um Informationen über die Selbstregulierungsinitiative zu veröffentlichen und zu verbreiten, wurde innerhalb von sechs Monaten nach deren Anerkennung durch die Europäische Kommission eine spezielle Webseite, <https://efficientgaming.eu/> [8], eingerichtet. Von dieser Webseite stammen die zuvor erläuterten geschichtlichen Daten [14] zur Selbstregulierungsinitiative. Außerdem enthält sie noch folgende Informationen [20]:

- Aktuelle Liste der Produkte, die von den Unterzeichnern als konform erklärt wurden; Produkte, die vom Unabhängigen Inspektor für nicht konform befunden wurden, sollten nicht aufgenommen werden.
- Für jede Sitzung des Lenkungsausschusses: Einladungen, Tagesordnungsentwürfe, Sitzungsunterlagen und Sitzungsprotokolle
- Bestätigung der gesamten Marktabdeckung der Selbstregulierungsvereinbarung, ohne Offenlegung der kommerziellen oder vertraulichen Daten der einzelnen Unterzeichner
- Die aktuellste Version der Berichtvorlage für die Produkt-Konformität
- Die jüngste und alle früheren Versionen der Selbstregulierungsinitiative
- Die vom unabhängigen Inspektor erstellten Berichte über die Einhaltung der Vorschriften
- Eine aktuelle Liste der Unterzeichner und Informationen über die jüngsten Austritte und Ausschlüsse von Unterzeichnern
- Eine Möglichkeit für Besucher dieser Webseite, Fragen über die Selbstregulierungsinitiative an die Unterzeichner und den unabhängigen Inspektor zu stellen, wobei die Antworten innerhalb eines Monats erfolgen sollten
- Eine aktuelle Liste der nicht regelkonformen Unterzeichner der Selbstregulierungsinitiative
- Informationen über den unabhängigen Inspektor, einschließlich seiner Kontaktdaten.

3.4 Definitionen nach der Selbstregulierungsinitiative

In diesem Kapitel werden Definitionen, wie sie in der Selbstregulierungsinitiative für Spielekonsolen, Version 2.6.3 [20], definiert sind, vorgestellt. Aufgrund der festgelegten Definitionen ist eine möglichst detailgetreue Übersetzung des Originals für die weitere Verwendung in dieser Diplomarbeit unerlässlich.

Eine **Spielekonsole** ist ein Computersystem, dessen Hauptfunktion darin besteht, Videospiele zu spielen [20]. Sie hat viele der Merkmale und Komponenten der Hardware-Architektur, die man in allgemeinen Personal Computern findet, wie z.B. Zentraleinheit(en), Systemspeicher, Videoarchitektur, optische Laufwerke und bzw. oder Festplatten, oder andere Formen des internen Speichers. Doch die von der genannten Selbstregulierungsinitiative abgedeckten Spielekonsolen haben strikt folgende Eigenschaften:

- Sie verwenden spezielle Konsolen-Betriebssysteme anstelle von herkömmlichen PC-Betriebssystemen.
- Sie sind netzbetriebene Geräte, die mehr als zwanzig Watt im aktiven Spielmodus mit entweder internen oder dedizierten externen Netzteilen verbrauchen.
- Sie verwenden entweder spezielle tragbare oder andere interaktive Spiel-Controller, die das Spielen von Spielen ermöglichen (anstelle von Maus und Tastatur, wie sie von Personal Computern verwendet werden).
- Sie sind mit Audio- und Videoausgängen zur Verwendung mit externen Fernsehgeräten oder Monitoren als Primäranzeige ausgestattet.
- Sie können andere sekundäre Funktionen enthalten, wie z.B. optische Disk-Player, digitale Video- und Bildanzeige, digitale Musikwiedergabe usw.

Eine **standardauflösende Spielekonsole** bietet Unterstützung für die Videoausgabe mit Auflösungen von weniger als 720p (p...Progressive Abtastung mit 1280 Bildpunkten mal 720 Zeilen) oder 1080i (i...Zeilensprungverfahren mit 1920 Bildpunkten mal 1080 Zeilen) [20].

Eine **hochauflösende** (High-Definition HD) **Spielekonsole** ist in der Lage, hochauflösende Videoausgabe mit Auflösungen größer oder gleich 720p (1280 Bildpunkte mal 720 Zeilen), 1080i (1920 Bildpunkten mal 1080 Zeilen) oder 1080p (1920 Bildpunkten mal 1080 Zeilen) über das High Definition Multimedia Interface HDMI wiederzugeben, jedoch mit Ausnahme von ultrahochauflösenden Spielekonsolen wie unten definiert [20].

Eine **ultrahochauflösende** (Ultra-High-Definition UHD) **Spielekonsole** hat die Möglichkeit, zusätzlich zu den für die hochauflösende Spielekonsole definierten Funktionen, Videoausgabe mit Auflösungen größer oder gleich 4K (3840 Bildpunkte mal 2160 Zeilen) wiederzugeben [20]. Sie wird weiter in zwei Untergruppen unterteilt, je nachdem, ob sie ultrahochauflösende Videoauflösungen für Medien und für Spiele beherrscht:

- Eine **ultrahochauflösende medienfähige Spielekonsole** hat die Fähigkeit, Videoausgabe mit Auflösungen von mindestens 4K (3840 Bildpunkte mal 2160 Zeilen) zusätzlich zu den für die hochauflösende Spielekonsole im reinen Medienmodus definierten Fähigkeiten zu rendern.

- Eine **ultrahochauflösende spielfähige Spielekonsole** hat zusätzlich zu den für die hochauflösende Spielekonsole im Medien- und Spielmodus definierten Fähigkeiten die Möglichkeit, Videoausgabe mit Auflösungen größer oder gleich 4K (3840 Bildpunkte mal 2160 Zeilen) darzustellen.

Die **natürliche Benutzeroberfläche für Gesten- und Spracherkennung (NUI)** ist eine Funktionalität, die es dem Benutzer ermöglicht, mit der Spielekonsole zu interagieren, ohne dass ein Game-Pad, ein externer Spiel-Controller oder ein anderes externes Gerät erforderlich sind [20]. Dies wird durch das Abtasten und Erkennen von physischen Gesten und bzw. oder Sprachbefehlen erreicht.

Die wichtigsten für Spielekonsolen geltenden Betriebsarten nach der Selbstregulierungsinitiative sind nachstehend definiert [20]. Es wird davon ausgegangen, dass nicht alle Spielekonsolen in allen definierten Modi arbeiten, und einige Spielekonsolen auch in nicht definierten Modi arbeiten können.

Aktives Spielen ist ein Modus, in dem die Spielekonsole ihre primäre Funktion des Spielens aktiv ausführt.

Medienwiedergabe ist eine Betriebsart, bei der Videodateien und Codecs bis hin zu ultrahochauflösenden Inhalten auf den eigenen optischen Discs der Spielekonsole und Streaming-Media-Playern dekodiert und abgespielt werden.

Navigation ist ein Modus, in dem keine andere Betriebsart aktiviert ist, und die Spielekonsole ein Funktionsmenü, das sogenannte *Home-Menü*, anzeigt, aus dem der Benutzer wählen kann.

Standby ist in der EU-Verordnung (EG) Nr. 1275/2008 (Anhang II) [23] wie folgt definiert: Eine Betriebsart, in der die Spielekonsole an das Stromnetz angeschlossen ist, die, um wie vorgesehen zu funktionieren, von der Energiezufuhr aus dem Stromnetz abhängt, und nur eine Reaktivierungsfunktion bietet, oder eine Reaktivierungsfunktion und nur eine Anzeige der aktivierten Reaktivierungsfunktion und bzw. oder Informations- oder Statusanzeigen [20]. Diese Funktionen können auf unbestimmte Zeit bestehen bleiben, und die Spielekonsole kann von jedem anderen Modus wieder in den Standby-Modus wechseln.

- Die Spielekonsole muss vom Benutzer eine Aufforderung erhalten, in den Standby-Modus zu wechseln, oder
- die Spielekonsole leitet eine automatische Abschaltung (*auto-power down* oder *APD*) in den Standby-Modus ein.

Die Spielekonsole kann den Standby-Modus zur Durchführung von Wartungsarbeiten verlassen, soll jedoch nach Abschluss der Wartungsaktivität in den vorherigen Standby-Modus zurückkehren.

Vernetztes Standby ist ein, wie in der EU-Verordnung (EU) Nr. 801/2013 [28] definierter Zustand, in dem das Gerät in der Lage ist, eine Funktion durch einen ferngesteuerten Auslöser von einer Netzwerkverbindung aus wieder aufzunehmen [20].

3.5 Anforderungen aus der Selbstregulierungsinitiative

Für die im Arbeitsplan ausgewählten Produktgruppen und mit einer abgeschlossenen vorbereitenden Studie sieht die Ökodesign-Richtlinie, wie bereits erwähnt, als Alternative zu verbindlichen Durchführungsmaßnahmen die Möglichkeit vor, dass die Industrie Selbstregulierungsmaßnahmen vorschlagen kann. Einige Akteure des Ökodesign-Prozesses, insbesondere Umwelt- und Verbraucherverbände, stehen dem Potenzial und dem Mehrwert der Selbstregulierungsinitiative zur Erzielung großer Energieeinsparungen und Verbesserungen im Hinblick auf die Ressourceneffizienz eher skeptisch gegenüber. Sie bezweifeln vor allem, dass die Industrie sich ausreichend ambitionierte Ziele setzen würde. Die in der Ökodesign-Richtlinie enthaltene Überprüfungs Klausel verpflichtet allerdings die Europäische Kommission unter anderem dazu, die Wirksamkeit der ergriffenen Selbstregulierungsmaßnahmen zu kontrollieren. Dies war ausschlaggebend für die Überprüfungsstudie „*Review Study of the Ecodesign Voluntary Agreement for the Product Group „Videogames Consoles“*“ [25], welche vom *Centre for Strategy and Evaluation Services (CSES)* koordiniert und in wesentlicher und detaillierter Zusammenarbeit mit dem *Institut für Computertechnik (ICT)* an der *Technischen Universität Wien* sowie dem *Ökopol Institut für Ökologie und Politik GmbH* durchgeführt wurde. Für diese Überprüfungsstudie haben die in den folgenden Kapiteln vorgestellten Messdaten und deren Interpretationen eine wesentliche Grundlage dargestellt.

Selbstregulierung und ähnliche Instrumente werden seit mehr als 25 Jahren in der europäischen und mitgliedstaatlichen Umweltpolitik eingesetzt [36]. Ein häufig verwendetes Instrument aus dem Bereich der Selbstregulierung ist die freiwillige Vereinbarung. Andere verwandte Begriffe und Instrumente der EU lauten: Umweltvereinbarung, ausgehandelte Vereinbarung, sektorale Vereinbarung, freiwillige sektorale Vereinbarung, Branchenvereinbarung sowie Ko-Regulierung, die zwischen rechtlichen Maßnahmen und Selbstregulierung angesiedelt ist. Die EU versucht seit langem, Kategorien und Regeln für solche Vereinbarungen mit der Industrie zu definieren. Insgesamt besteht die Tendenz, auf sogenannte *Gentlemen's Agreements* ohne konkrete Zielvorgaben zu verzichten und detailliertere Anforderungen an die Selbstregulierung zu entwickeln, die offiziell anerkannt werden. Dabei wird die Option des legislativen Weges als Anregung für die Industrie zur Einhaltung der gesetzten Ziele offengehalten. Für den Ökodesign-Kontext hat die Europäische Kommission vorgeschlagen, dass Selbstregulierung dann vorliegt, „*wenn Unternehmens- oder Industriesektoren aus eigener Initiative Verhaltenskodizes oder Betriebsbeschränkungen formulieren, für deren Durchsetzung sie verantwortlich sind*“ [26]. Auf EU-Ebene bedeutet dies in der Regel, wie bereits erwähnt, dass die Europäische Kommission die Ausarbeitung der Selbstregelungsmaßnahmen veranlasst oder unterstützt, da eine reine Selbstregulierung unüblich ist.

Die Ökodesign-Richtlinie erlaubt nicht nur die Selbstregulierung, sondern legt sogar fest, dass dieser unter bestimmten Umständen Vorrang eingeräumt werden sollte: „*Alternative Wege wie die Selbstregulierung durch die Industrie sollten Vorrang erhalten, wenn sich die politischen Ziele mit ihnen voraussichtlich schneller oder kostengünstiger erreichen lassen als mit Rechtsvorschriften. Rechtsvorschriften können erforderlich sein, wenn die Marktkräfte die Entwicklung nicht in die gewünschte Richtung lenken oder nicht rasch genug vorantreiben*“ [7].

Solche Initiativen sind zumindest auf der Grundlage vom Anhang VIII der Ökodesign-Richtlinie [7] zu bewerten, der eine ausführliche Liste von notwendigen Kriterien enthält, die bereits in Kapitel 3.2 erwähnt wurden. Wie bei den Durchführungsmaßnahmen hat das Konsultationsforum zur Bewertung von Selbstregulierungsmaßnahmen beizutragen [36]. Aber die Entscheidung über die Annahme einer Selbstregulierungsinitiative als Alternative zur verbindlichen Regulierung wird allein von der Europäischen Kommission getroffen. Um weitere Anleitungen und Mindestkriterien für die Entwicklung, Umsetzung und Überwachung von Selbstregulierungsmaßnahmen bereitzustellen, hat die Europäische Kommission im Rahmen der Richtlinie 2009/125/EG spezielle Leitlinien für Selbstregulierungsmaßnahmen der Industrie erstellt [26].

Die ersten von der Industrie vorgelegten Entwürfe für freiwillige Vereinbarungen im Rahmen des Ökodesigns wurden bereits 2009 mit den Interessengruppen diskutiert [36]. Dazu gehörten freiwillige Vereinbarungen über komplexe Set-Top-Boxen und Bildgebungsgeräte, gefolgt von freiwilligen Vereinbarungen über Werkzeugmaschinen und medizinische Bildgebungsgeräte. Die freiwilligen Vereinbarungen für Spielekonsolen wurden 2012, wie schon bereits in Kapitel 3.3 ausführlich beschrieben, zum ersten Mal mit den Beteiligten diskutiert. Die aktuelle freiwillige Vereinbarung für Spielekonsolen, die man seit dem Jahr 2014 als Selbstregulierungsinitiative bezeichnet, enthält Anforderungen in Bezug auf Energieeffizienz, Ressourceneffizienz und End-of-Life-Design sowie Benutzerinformationen. Weiters legt sie auch Verifizierungsmethoden fest. Sie enthält ferner Anforderungen an die Organisation und den Ablauf der freiwilligen Vereinbarung, die u.a. den Lenkungsausschuss, den Berichterstattungsprozess, den Überwachungsprozess und die Rolle des unabhängigen Inspektors sowie ein Verfahren zur Behandlung von Fällen der Nichteinhaltung betreffen.

Die Produktgruppe Spielekonsolen ist im Ecodesign-Prozess insofern ungewöhnlich, als nur drei Hersteller, *Nintendo Co., Ltd.*, *Sony Interactive Entertainment Inc.* und *Microsoft Corporation*, nahezu den gesamten Produktbereich repräsentieren und keiner von ihnen in Europa ansässig ist [36]. Darüber hinaus ist die Zahl der verschiedenen Produkte ebenfalls gering, da in den letzten zehn Jahren zwischen fünf und zehn verschiedene Produkte zu einem bestimmten Zeitpunkt auf dem Markt waren. Allerdings ist die geringe Anzahl von Herstellern im Prinzip eine günstige Voraussetzung für eine freiwillige Maßnahme, da jeder von ihnen einen relevanten Teil der Verantwortung für den Erfolg der Maßnahme trägt, und eine Nichteinhaltung weniger wahrscheinlich ist als bei Vereinbarungen mit vielen Beteiligten. Darüber hinaus ist die Tatsache außergewöhnlich, dass die Produktgruppe Spielekonsolen nach der Markteinführung in Bezug auf Energieeffizienz und Materialeinsatz weiter verbessert werden. So hat ein und dieselbe Konsole bei der Markteinführung einen relativ hohen Energieverbrauch und ein relativ hohes Produktgewicht, das im Laufe der Jahre kontinuierlich reduziert wird. Es ist beispielsweise das Gewicht der *PlayStation®4* seit ihrer Einführung im Jahr 2013 um 23% und der Energieverbrauch um 43% reduziert worden [27]. Der Grund dafür ist der hohe wirtschaftliche Druck auf die Hersteller. Sobald eine Konsole entwickelt ist, versucht der Hersteller sie auf den Markt zu bringen, ohne zusätzliche Zeit für die Optimierung des Energie- und Materialverbrauchs aufzuwenden.

Die Unterzeichner der Selbstregulierungsinitiative verpflichten sich angemessene Maßnahmen zu ergreifen, um folgende Verpflichtungen zu erfüllen [20]. Aufgrund der festgelegten Definitionen in der SRI-Version 2.6.3 ist wieder eine möglichst detailgetreue Übersetzung des Originals für die weitere Verwendung in dieser Diplomarbeit unerlässlich.

- Reduzierung des Stromverbrauchs von Spielekonsolen auf das zur Erfüllung der Betriebsspezifikationen erforderliche Minimum, ohne dabei die Möglichkeiten der Branche zur Innovation und zur Verbesserung der Funktionalität einzuschränken.
- Einhaltung von allgemeinen Grundsätzen für die Gestaltung von Spielekonsolen.
- Sicherstellung, dass die festgelegten Ziele für den maximalen Stromverbrauch nicht überschritten werden. Insbesondere:
 - Die aufgeführten Anforderungen dieser Selbstregulierungsinitiative gelten für mindestens 90% der von jedem Unterzeichner in Verkehr gebrachten und bzw. oder in Betrieb genommenen Spielekonsoleneinheiten;
 - Sollte ein Unterzeichner vor dem Inkrafttreten der festgelegten Ziele spätere Stromverbrauchsziele der Selbstregulierungsinitiative erfüllen, so ist er berechtigt, dieses Ergebnis zu veröffentlichen;
- Förderung des aktiven Engagements und der offenen Kommunikation mit der Europäischen Kommission, den Mitgliedstaaten und anderen relevanten Interessengruppen in Bezug auf die Energieeffizienz von Spielekonsolen. Dazu gehört der Austausch von Fachwissen, Informationen, Erfahrungen und bewährten Verfahren mit den Unterzeichnern anderer Ökodesign-Selbstregulierungsmaßnahmen.
- Spielekonsolen, die der Selbstregulierungsinitiative unterliegen, müssen vor dem Inverkehrbringen auf dem EU-Markt standardmäßig eine automatische Abschaltfunktion aktiviert haben. Diese Funktion muss die Spielekonsole auf einen niedrigen Leistungszustand versetzen gemäß den folgenden Parametern:
 - Die Dauer der Inaktivität, bevor eine Spielekonsole in einen Zustand mit niedriger Leistung heruntergefahren wird, wurde in Absprache mit den Interessenvertretern so gewählt, dass die Benutzererfahrung nicht gestört wird, was zur Deaktivierung der Funktion führen könnte. Die Anforderungen der automatischen Abschaltfunktion müssen auch mit denen übereinstimmen, die bereits für andere Produktgruppen, wie z.B. Fernsehgeräte, im Rahmen des Ökodesigns gelten.
 - Der Benutzer soll die Möglichkeit haben folgendes einstellen zu können:
 - Automatische Abschaltfunktion für alle Modi zu deaktivieren.
 - Die Zeiteinstellungen für die automatische Abschaltfunktion aus den Menüoptionen der Systemeinstellungen heraus, z.B. für die Anzeige im Einzelhandel oder für Vielspieler, zu verändern.
 - Im Medienwiedergabemodus wird die automatische Abschaltfunktion innerhalb von vier Stunden nach Beginn der Wiedergabe von Audio- oder Videomedien oder innerhalb von einer Stunde oder weniger nach Beendigung der Benutzerinaktivität ausgelöst.
 - Bei anderen Betriebsarten als der Medienwiedergabe ist die für die Auslösung der automatischen Abschaltfunktion erforderliche Inaktivitätszeit auf eine Stunde oder weniger ab dem Zeitpunkt der letzten Benutzereingabe einzustellen, wenn das Gerät in den regulären Bereitschaftsmodus oder den vernetzten Bereitschaftsmodus heruntergefahren wird.
 - Unter bestimmten Umständen können Benutzer aufgefordert werden, die automatische Abschaltfunktion vorübergehend auszuschalten, damit bestimmte Arten von Spielen oder Softwareanwendungen ohne Benutzereingabe ausgeführt werden können, z. B. Simulationsspiele und Videostreaming, die länger als eine Stunde ohne Benutzereingabe laufen. Einmal ausgewählt, kann die Sperre der automatischen Abschaltfunktion beim Neustart der Spielekonsole für die Wiedergabe solcher Spiele oder Medieninhalte aktiviert bleiben.

- Die automatische Abschaltfunktion kann vorübergehend ausgesetzt werden, um die ununterbrochene Durchführung von System-Updates, Software-Installationen, der Systemwartung, dem Herunter- bzw. Hochladen von Inhalten oder Datenübertragungen zu ermöglichen. Sie darf nicht während der Anzeige einer Fehlermeldung an Benutzer im Falle eines Systemfehlers auftreten.
 - Einzelne Hersteller von Spielekonsolen können neue und innovative Ansätze für die automatische Abschaltfunktion einführen, wenn die gleichen oder bessere Energieeinsparungen zusammen mit einer verbesserten Benutzererfahrung möglich sind. Die Selbstregulierungsinitiative wird deshalb bei Bedarf in regelmäßigen Abständen aktualisiert, um solche bedeutenden Innovationen zu berücksichtigen.
 - Nach einem automatischen Weck-Ereignis müssen sich die Spielekonsolen innerhalb von fünf Minuten nach Durchführung der erforderlichen Systemwartung und Downloads oder anderer Funktionen, die ein automatisches Aufwecken erfordern können, automatisch abschalten.
 - Die Betriebssysteme von Spielekonsolen müssen ein automatisches Abschaltvorgangereignis über eine programmierbare Anwendungsschnittstelle (API) oder andere Mittel kommunizieren.
 - Peripheriegeräte, die der Unterzeichner der Selbstregulierungsinitiative in die Spielekonsole integriert hat, die für den Betrieb der Konsole erforderlich sind und die die Spielekonsole als direkte Stromquelle verwenden, sollen sich ebenfalls automatisch abschalten. Sie werden in die Leistungsmessungen und -anforderungen der automatischen Abschaltfunktion einbezogen, während die Ladephase dieser Peripheriegeräte von den genannten Messungen ausgeschlossen wird.
 - Software, die für Spielekonsolen der aktuellen oder früheren Generation veröffentlicht wurde, ist zum Teil nicht unbedingt mit den in der Selbstregulierungsinitiative beschriebenen automatischen Abschaltfunktionen kompatibel. Die Hersteller von Spielekonsolen sollen sich in Zusammenarbeit mit der Videospieleindustrie in angemessener Weise darum bemühen, diese automatischen Abschaltfunktionen bei der Veröffentlichung von Software für Spielekonsolen, die unter die Selbstregulierungsinitiative fallen, zu integrieren.
- Die Selbstregulierungsinitiative verwendet modale Leistungsobergrenzen für die Modi Navigation und Medienwiedergabe, wie in den Tabellen 3.1 und 3.2 dargestellt, um die Energieeffizienz von Spielekonsolen weiter zu verbessern. In Fällen, in denen zusätzliche Funktionalität von einer Spielekonsole zur Verfügung gestellt wird, muss die entsprechende funktionspezifische Leistungsbegrenzung hinzugefügt werden, wie in Tabelle 3.3 angegeben. Die hier definierten Leistungsbegrenzungen basieren auf der Annahme der besten verfügbaren Technologien, die beträchtliche Energieeinsparungen ermöglichen, wie z.B. System auf einem Chip, Leistungsskalierung und effiziente Stromversorgungen. Diese Anforderungen basieren auf einer Reihe von Studien, allerdings gibt es bis heute keine endgültige Energy Star-Spezifikation¹ für die Spielekonsolen. Darüber hinaus verpflichten sich die Unterzeichner der Selbstregulierungsinitiative den Verbrauchern Informationen über den Stromverbrauch vom Navigations-, Medienwiedergabe-, Spiel- und dem Standby-Modus und zusätzliche, vom Benutzer aktivierbare, Funktionen für den stromsparenden Modus zur Verfügung zu stellen. Allerdings sind die Anforderungen für die Berichterstattung über den standardmäßigen

¹ENERGY STAR® ist ein von der US-Umweltschutzbehörde eingetragenes Symbol für Energieeffizienz [5]

Stromverbrauch im vernetzten Standby-Betrieb in der EU-Verordnung 801/2013 [28] gesondert festgelegt und fallen nicht in den Anwendungsbereich der Selbstregulierungsinitiative.

Tabelle 3.1: Maximaler Leistungsverbrauch für Spielekonsolen nach der Selbstregulierungsinitiative im Modus Navigation, Übersetzung nach [20].

Modus: Navigation	Hochauflösende Spielekonsolen	Ultrahochauflösende Spielekonsolen	
Stufe 1 Wirksam ab 01.01.2014	90 Watt bei HD Auflösung	90 Watt bei HD & UHD Auflösung	
Stufe 2 Wirksam ab 01.01.2016	-	-	
Stufe 3 Wirksam ab 01.01.2017	70 Watt bei HD Auflösung	70 Watt bei HD & UHD Auflösung	
Stufe 4 Wirksam ab 01.01.2019	Hochauflösende Spielekonsolen	Ultrahochauflösende medi- enfähige Spielekonsole	Ultrahochauflösende spielfähige Spielekonsole
	50 Watt bei HD Auflösung	50 Watt bei HD & UHD Auflösung	70 Watt bei HD & UHD Auflösung

Tabelle 3.2: Maximaler Leistungsverbrauch für Spielekonsolen nach der Selbstregulierungsinitiative im Modus Medienwiedergabe, Übersetzung nach [20].

Modus: Medienwiedergabe	Hochauflösende Spielekonsolen	Ultrahochauflösende Spielekonsolen	
Stufe 1 Wirksam ab 01.01.2014	90 Watt bei HD Auflösung	-	
Stufe 2 Wirksam ab 01.01.2016	-	90 Watt bei HD & UHD Auflösung	
Stufe 3 Wirksam ab 01.01.2017	70 Watt bei HD Auflösung	-	
Stufe 4 Wirksam ab 01.01.2019	Hochauflösende Spielekonsolen	Ultrahochauflösende medi- enfähige Spielekonsole	Ultrahochauflösende spielfähige Spielekonsole
	60 Watt bei HD Auflösung	60 Watt bei HD & UHD Auflösung	70 Watt bei HD Auflösung 110 Watt bei UHD Auflösung

Tabelle 3.3: Zusätzlich zum maximalen Leistungsverbrauch für Spielekonsolen nach der Selbstregulierungsinitiative erlaubter Mehrverbrauch von Leistung bei Verwendung der natürlichen Benutzeroberfläche für Gesten- und Spracherkennung (NUI), Übersetzung nach [20].

Spielekonsolen mit NUI	Hochauflösende Spielekonsolen	Ultrahochauflösende spielfähige Spielekonsole
Stufe 1 Wirksam ab 01.01.2014	+20 Watt	-
Stufe 2 Wirksam ab 01.01.2016	-	+20 Watt
Stufe 3 Wirksam ab 01.01.2017	+15 Watt	-
Stufe 4 Wirksam ab 01.01.2019	-	+15 Watt

- Jeder Unterzeichner der Selbstregulierungsinitiative muss Informationen zur Energieeffizienz für die Verbraucher in den Bedienungsanleitungen der Konsole bereitstellen, die entweder mit der Konsole selbst, auf dem Bildschirm, in Papierform oder online zur Verfügung gestellt werden. Die Gebrauchsanweisungen, die den Verbrauchern mit ihren Konsolen zur Verfügung gestellt werden, sind neutral zu formulieren, um die Benutzer nicht zu ermutigen, Energiesparfunktionen zu deaktivieren.
- Software-Downloads auf Spielekonsolen dürfen den Stromverbrauch der Konsole nicht über den anfänglichen Stromverbrauch für Medienwiedergabe und Navigation hinaus erhöhen.
- Jeder Unterzeichner der Selbstregulierungsinitiative muss Einzelheiten zu den technischen Spezifikationen und Merkmalen jeder Spielekonsole sowie alle damit verbundenen Umweltinformationen, die in dem Bericht über die Einhaltung der Produktkonformität, der auf der SRI-Website zur Verfügung gestellt wird, angeben.
- Unter Einhaltung des allgemeinen Prinzips, Produkte so zu gestalten, dass der Stromverbrauch reduziert wird, sollen die Hersteller von Spielekonsolen und Software-Anbieter ihre Produkte im Zuge der Entwicklung neuer Service-Konzepte und Technologien ständig weiterentwickeln. Um eine solche Innovation nicht zu behindern, sollte jede unvorhergesehene zusätzliche sekundäre oder neue Funktionalität, die zu einem inkrementellen Anstieg des Stromverbrauchs beiträgt, aber in der Selbstregulierungsinitiative nicht aufgeführt ist, während des Messvorgangs deaktiviert werden. Hier kann man aktuell die High Dynamic Range HDR Funktion als eine solche Innovation nennen. Diese neue Funktionalität wird bei der nächsten Überprüfung der Selbstregulierungsinitiative berücksichtigt werden. Sollte eine solche Deaktivierung jedoch entweder unangemessen oder unnötig sein, so ist diese Anforderung nicht obligatorisch. In den Testergebnissen müssen allerdings alle Funktionen, die während des Messvorgangs deaktiviert wurden, explizit aufgeführt werden.
- Der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, dass Spielekonsolen, die der Selbstregulierungsinitiative unterliegen und innerhalb jedes Berichtszeitraums in Verkehr gebracht werden, auch folgende Anforderungen an die Ressourcen-Effizienz und das End-of-Life-Design erfüllen müssen:
 - Um die Verlängerung der Produktlebensdauer zu unterstützen, müssen den Verbrauchern folgende Informationen entweder mit der Konsole selbst, auf dem Bildschirm, in Papierform oder online zur Verfügung gestellt werden:

- Erläuterung, wie die Konsolen in gutem Betriebszustand gehalten werden können. Beispiele könnten gegebenenfalls sein: wie das Produkt staubfrei gehalten werden kann, wie System-Updates installiert werden können, wie eingebaute Platten entfernt werden können usw.
- Wie man persönliche Daten löscht.
- Gegebenenfalls verfügbare Optionen für Verbraucher zur Leistungssteigerung ihrer Konsolen, wie z.B. Installation einer größeren Festplatte.
- Für jede Spielekonsole wird ein Überholungs- oder Reparaturservice außerhalb der Garantiezeit zur Verfügung gestellt, der durch die folgenden Anforderungen unterstützt wird:
 - Die technische Dokumentation wird den autorisierten Reparaturzentren zur Verfügung gestellt, um die Reparatur oder Überholung jeder Spielekonsole zu ermöglichen.
 - Für jede Spielekonsole werden Ersatzteile für autorisierte Reparatur- oder Wiederaufarbeitungszentren zur Verfügung gestellt.
 - Um sowohl das Recycling als auch die Wiederverwendung am Ende der Lebensdauer zu verbessern, müssen Wartung und Aufarbeitung jeder Spielekonsole durch zerstörungsfreie Demontage der folgenden Schlüsselkomponenten möglich sein: Hauptplatine, Festplatte, optisches Laufwerk und internes Netzteil. Darüber hinaus müssen die Unterzeichner der Selbstregulierungsinitiative sicherstellen, dass die Verbindungs- oder Versiegelungstechniken, sofern vorhanden, die Entfernung der Komponenten nicht verhindern, die in Punkt 1 vom Anhang VII der Richtlinie 2012/19/EU [29] aufgeführt sind. Ausnahmen gelten, wenn nicht entfernbare Verbindungs- und Abdichtungstechniken verwendet werden dürfen, um entweder die Sicherheit des Benutzers zu gewährleisten, die zur Einhaltung der sicherheitsbezogenen EU-Gesetzgebung erforderlich ist, oder um die Produktqualität zu gewährleisten, die erforderlich ist, um Verschleiß, der sonst die Lebensdauer des Produkts verkürzen würde, zu vermeiden. Für Batterien gelten die Ausnahmen in der Batterierichtlinie 2006/66/EG [30], die durch die Richtlinie 2013/56/EU [31] geändert wurde.
 - Der Zugang zu den Komponenten muss durch die Dokumentation der Demontagevorgänge ermöglicht werden, einschließlich der Vorgangsart, der Befestigungstechniken, die gelöst werden müssen und dem dafür erforderlichen Werkzeug.
 - Die Verbraucher werden in der Bedienungsanleitung jeder Spielekonsole über die Möglichkeiten der Verarbeitung, Aufarbeitung und Reparatur nach Ablauf der Garantiezeit informiert. Diese Anweisungen werden entweder mit der Konsole selbst, auf dem Bildschirm oder in Papierform oder online zur Verfügung gestellt.
- Um das Recycling am Ende der Lebensdauer zu verbessern, werden die Kunststoffteile der Konsole, die mehr als 25 Gramm wiegen, mit der Angabe ihrer Materialzusammensetzung gekennzeichnet, allerdings mit folgenden Ausnahmen:
 - Das Teil hat eine ebene Oberfläche kleiner als 1cm², die für die Markierung zur Verfügung steht.
 - Die Leistung oder Funktion eines Teils ist beeinträchtigt, z.B. bei Tasten mit taktilem Oberflächen, Kunststofflinsen oder Displayschirmen.
 - Äußere transparente Teile.

- Eine Kennzeichnung ist aufgrund des spezifischen Herstellungsverfahrens der im Teil verwendeten Kunststoffe, wie z.B. das Extrusionsverfahren, technisch nicht möglich.
- Darüber hinaus werden die Unterzeichner bei der nächsten Überprüfung der Selbstregulierungsinitiative prüfen, ob es möglich ist, sicherzustellen, dass alle Kunststoffkomponenten schwerer als 100 Gramm abnehmbar sind und aus recyclingfähigen Polymeren bestehen.
- Ab 01.01.2020 müssen folgende Informationen in den Anweisungen zur Produktzerlegung enthalten sein, die für Reparatur- und Recyclingverfahren bereitgestellt werden, um die Recyclingfähigkeit am Ende der Lebensdauer zu verbessern:
 - Ob das Kunststoffgehäuse bromierte Flammschutzmittel enthält.
 - Ob LCD-Bildschirme Quecksilber enthalten. Quecksilberfrei bezeichnet ein Produkt, bei dem die Konzentrationswerte von Quecksilber (Hg) nach Gewicht in homogenen Materialien 0,1% nicht überschreiten, wie in der Richtlinie 2011/65/EU vom 8. Juni 2011 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten [24] definiert.

Die Selbstregulierungsinitiative als Instrument zur weiteren Verbesserung der Energieeffizienz von Spielekonsolen ist ein Selbstregulierungsmechanismus [7], der als einseitige Verpflichtung der Unterzeichner angeboten wird [20]. Als solche ist diese Selbstregulierungsinitiative weder rechtlich bindend noch eine bereits erwähnte Ko-Regulierung. Jeder Hersteller von Spielekonsolen, der in den Geltungsbereich dieser Vereinbarung fällt, kann im eigenen Interesse der Selbstregulierungsinitiative als Unterzeichner beitreten. Momentan entfallen auf die Unterzeichner dieser Selbstregulierungsinitiative nahezu 100% der Verkaufseinheiten von Spielekonsolen in der Europäischen Union für den aktuellen Berichtszeitraum [50]. Die Selbstregulierungsinitiative darf keine kommerziellen Erwartungen oder Verpflichtungen zwischen den Unterzeichnern in Bezug auf die Erfüllung ihrer individuellen Verpflichtungen hervorrufen [20]. Jeder Unterzeichner teilt sich die Kosten, die zur Aufrechterhaltung und Verwaltung der Selbstregulierungsinitiative notwendig sind. Alle Unterzeichner der Selbstregulierungsinitiative werden gleichbehandelt, und es gibt keine besonderen Vereinbarungen für einzelne Unterzeichner.

4. Testaufbau und Einstellungen

Dieses und die folgenden Kapitel behandeln den empirischen Teil dieser Diplomarbeit, in dem unter anderem unterschiedliche Messungen, die an der Wechselstrom-Seite der Spielekonsolen durchgeführt wurden, und die daraus resultierten Ergebnisse präsentiert werden. Diese Art von Messungen erfassen die tatsächliche Stromaufnahme der einzelnen Spielekonsolen in unterschiedlichen Messszenarien, auf welche ebenfalls in den folgenden Kapiteln näher eingegangen wird. Abgesehen von der Vorstellung und Interpretation der zahlreichen Messergebnisse wird hier ebenso auf Verbesserungsvorschläge in Bezug auf das Messverfahren für die Selbstregulierungsinitiative und auf Auffälligkeiten der einzelnen Konsolen, die erst durch die in den folgenden Kapiteln vorgestellten Messszenarien sichtbar gemacht werden konnten, eingegangen.

Im Folgenden werden der Messaufbau sowie die einzelnen dafür verwendeten Komponenten vorgestellt und näher erläutert. Außerdem, um eine Reproduzierbarkeit der Messungen zu gewährleisten, werden sämtliche Einstellungen, die bei den vorgestellten Komponenten verwendet werden, tabelliert dargestellt. Abbildung 4.1 zeigt den Labor-Messplatz, der für die praktische Durchführung der Messungen verwendet wurde.



Abbildung 4.1: Der Labor-Messplatz am Institut für Computertechnik der TU Wien.

4.1 Messung an der Wechselstrom-Seite

Bei der Messung an der Wechselstrom-Seite wurde, wie bereits erwähnt, der tatsächliche Stromverbrauch der einzelnen Konsolen in unterschiedlichen Szenarien gemessen. Es wurden zum Beispiel unterschiedliche Spiele an den Spielekonsolen mit unterschiedlichen Grafikeinstellungen gespielt, und die dabei verbrauchte Energie ermittelt. Es wird auch unter anderem aufgezeigt, warum die Messdauer des aktiven Spielens von fünf Minuten, die von der Selbstregulierungsinitiative durch vorgeschriebene Messverfahren verlangt wird, nicht ausreichend ist und deshalb zumindest auf eine halbe Stunde erhöht werden sollte. Außerdem wird der Energiebedarf der Spielekonsolen in den unterschiedlichen Ruhemodi bzw. Energiesparmodi mit verschiedenen Einstellungen und ausgeführten Aufgaben im Hintergrund, wie zum Beispiel der Installation von Update-Dateien für die einzelnen Spiele oder dem Laden der kabellosen Controller, festgestellt. Neben den Messungen, die für die Selbstregulierungsinitiative verlangt werden, wurden hierfür noch weitere Szenarien entwickelt, um auf mögliche Lücken hinzuweisen und realisierbare Verbesserungen bezüglich Energieeinsparungsmaßnahmen aufzuzeigen. Es wurde auch die Upgrade Option von dem internen Festplattenlaufwerk (HDD) auf ein Solid State Drive (SSD) untersucht sowie deren Auswirkungen auf die Ladezeit beim Start eines Spieletitels.

4.2 Digital Power Meter 66205

Für die Messungen wurde das hochpräzise Energiemessgerät *Digital Power Meter 66205* der Firma Chroma verwendet. Dieses Messgerät wurde bewusst gewählt, weil es allen hier gestellten Messanforderungen entspricht und folgende Hauptmerkmale, die hier von der Hersteller-Webseite [3] direkt übernommen wurden, aufweist:

- Spannungsbereiche: 15/30/60/150/300/600 Voltage Root Mean Square (Vrms), 1200 Vrms (optional);
- Strombereiche: 0.005/0.02/0.05/0.2/0.3/0.5/2/5/20/30 Current Root Mean Square (Arms);
- Frequenzbereich: Direct Current (DC), 10 Hertz (Hz) – 10 Kilohertz (kHz);
- Integrierter Hochgeschwindigkeits-Digitaler Signalprozessor (DSP), 16 Bit Analog/Digital-Wandler mit maximaler Abtastrate bis zu 250 kHz;
- Erfüllt die Anforderungen der *International Electrotechnical Commission* (IEC) 61000-4-7 Norm für Oberwellenmessung.
- Die Smart Range-Funktion ermöglicht eine nahtlose Messung der Leistungsintegration im Autobereichsmodus.
- Unterstützt externen Shunt und Current Transformer (CT) für Anwendungen mit höheren Strömen.
- 5 Milliampere (mA) minimaler Strombereich & 0,1 Milliwatt (mW) Leistungsauflösung;
- Erfüllt die Anforderungen von ENERGY STAR/EN 50564 /IEC 62301/ *Energy-Related Products* (ErP).
- Benutzerdefinierte Kriterien bieten automatische PASS/FAIL-Anzeigen.
- Total Harmonic Distortion (THD) und Verzerrungsmessung mit benutzerdefinierter Ordnung;
- Einschaltstrom- und Energiemessungen;

- Spannungs-/Stromberschwingungsmessungen bis zu 100 Ordnungen;
- Die Universal Serial Bus (USB) (Host)-Schnittstelle bietet Datenlogging-Funktionen.
- Unterstützt General Purpose Interface Bus (GPIB), USB, Recommended Standard 232 (RS232), Local Area Network (LAN)-Schnittstelle.

Das Energiemessgerät 66205 von Chroma, das in Abbildung 4.2 zu sehen ist, wird speziell für Einzelkanalmessungen verwendet und kann präzise Leistungsmessungen gemäß den Vorgaben der IEC 62301/EN50564-Standards durchführen. Dank der Smart-Range-Funktion, deren Funktionsweise graphisch in Abbildung 4.3 dargestellt wird, ist der Leistungsintegrationsmodus in der Lage, aktive Leistungsmessungen im Auto-Modus durchzuführen. Diese Methode wählt automatisch den geeigneten Messbereich aus, basierend auf Änderungen der gemessenen Spannung und des Stroms, und gewährleistet so entsprechende Genauigkeit bei der Integration der Messungen über die Zeit. Messgeräte ohne eine solche Funktion schneiden, bedingt durch den fixen Messbereich, Teile vom sich verändernden Eingangssignal ab, was zu Ungenauigkeiten in der Messung führen kann. Dieses Feature ist sehr hilfreich bei Messungen während des aktiven Spielens, wo große Schwankungen beim Stromverbrauch, hervorgerufen durch die unterschiedlichen Spielsituationen, auftreten. Dabei passt das Energiemessgerät automatisch den Messbereich an und liefert so ein genaueres Messergebnis.

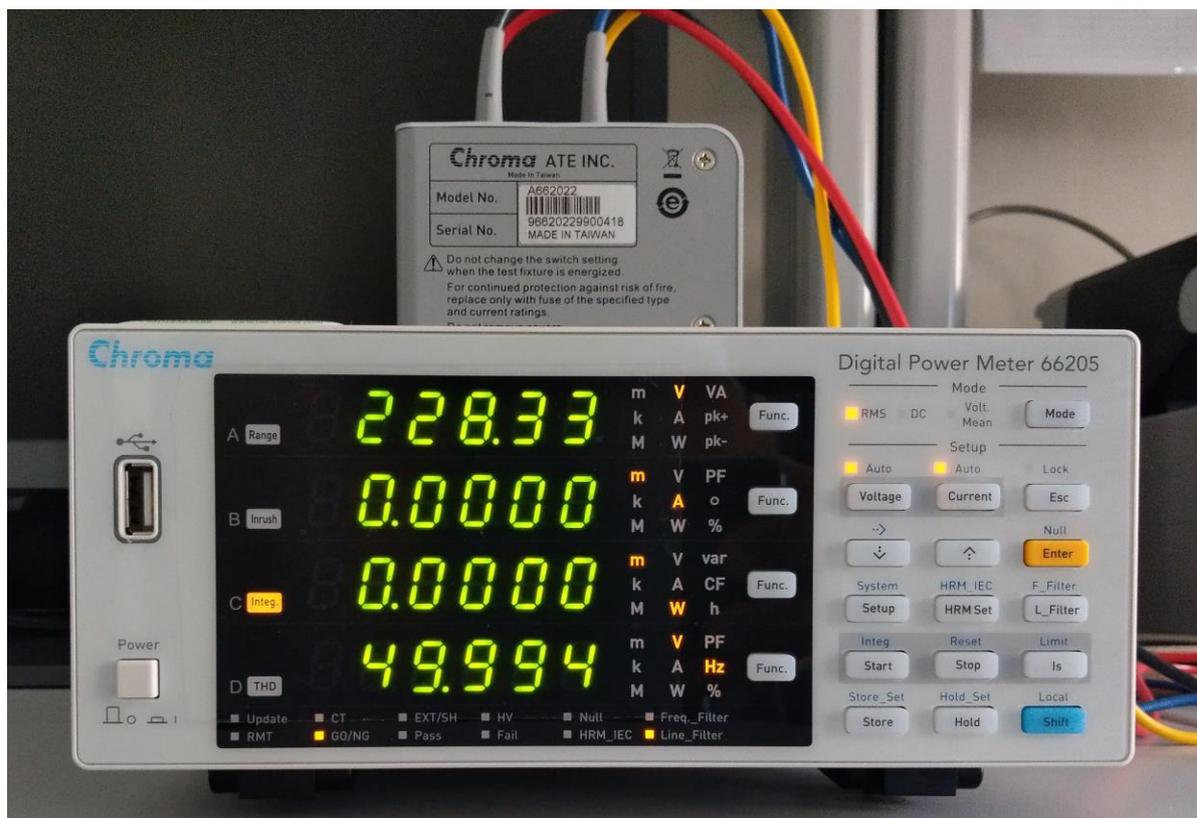


Abbildung 4.2: Das Energiemessgerät: *Digital Power Meter 66205*.

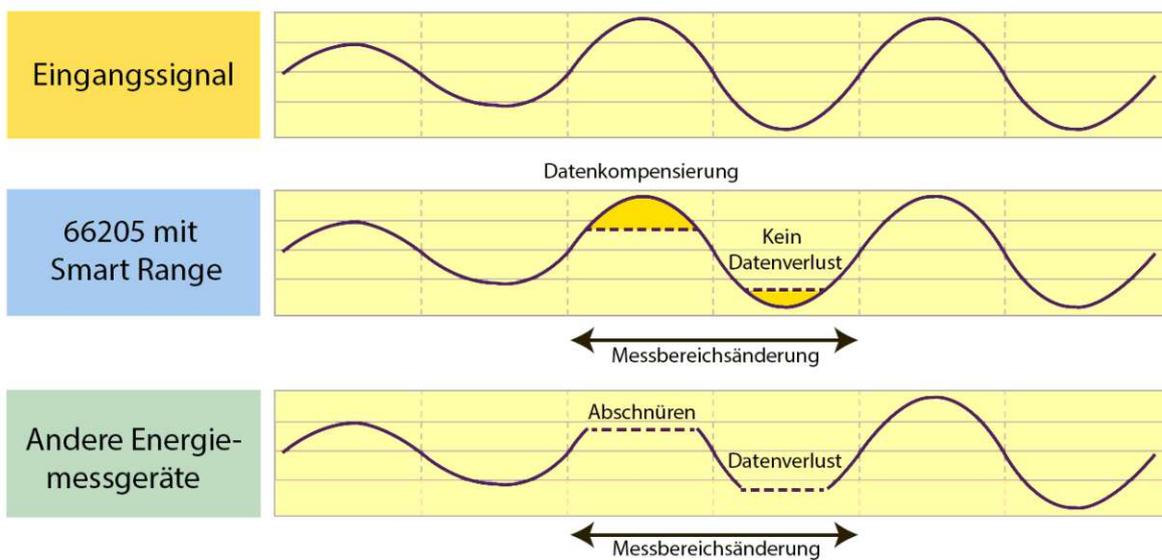


Abbildung 4.3: Smart-Range-Funktion, eigene Darstellung nach [3].

Das Energiemessgerät bietet zehn wählbare Strommessbereiche von 5 mA bis 30 Ampere (A), sechs wählbare Spannungsbereiche bis maximal 600 Volt (V) und außerdem einen geringen Messbereichsfehler von bis zu 0,05%, was für die Durchführung des praktischen Teils dieser Diplomarbeit absolut ausreichend ist.

Als besonders praktisch erweist sich die Möglichkeit, über die USB (Host)-Schnittstelle die gemessenen Daten direkt auf ein USB-Speichermedium zu übertragen. Diese werden, um nicht den Überblick zu verlieren, nach jeder Messung in *Microsoft Excel* importiert, gefiltert, entsprechend verarbeitet und anschließend je nach Bedarf mit *OriginPro* von *OriginLab* [34] geplottet und analysiert. Man kann bei diesem Messgerät leider nicht auswählen, welche Daten explizit exportiert werden sollen, d.h. es werden einfach alle gemessenen Daten aus einem Messvorgang in einer sogenannten *Comma-separated values* (CSV) Datei zusammengefasst, aus welcher dann die benötigten Werte gefiltert werden müssen.

Bei vorhandener Verzerrung des Eingangssignals kann man die Synchronisierung für die Messung entweder über die Spannung oder über den Strom, je nachdem wo die kleinere Verzerrung auftritt, durchführen. Hier wurde die Spannung für die Synchronisierung der zahlreichen Messungen gewählt.

Zusätzlich zum Energiemessgerät 66205 wurde eine messtechnische Prüfvorrichtung A662022 der Herstellerfirma Chroma, mit einem maximalen Spannungseingang von 250 V und einer maximalen Stromaufnahme von 10 A für die einzelnen Messungen verwendet. Diese bringt eine wesentliche Erleichterung für den Messvorgang an der Wechselstrom-Seite, da sie über einen eingebauten Schalter verfügt, der das Umschalten zwischen zwei unterschiedlichen Schaltkreisen für die Messung von niedrigen und hohen Strömen ermöglicht. Dadurch wird eine genauere Messung des Energieverbrauchs gewährleistet. Diese messtechnische Prüfvorrichtung kann man links unten in Abbildung 4.4 sehen, und die Kriterien für die unterschiedlichen Schaltkreise werden im folgenden Unterkapitel näher erläutert. Sie wird direkt mit dem Energiemessgerät verbunden und ermöglicht einen einfachen und vor

allem sicheren Stromanschluss für die einzelnen Spielekonsolen, welche direkt über sie während der Messung mit Strom versorgt werden. Der in Abbildung 4.4 dargestellte schematische Messaufbau ist nicht nur auf die PlayStation®4 Pro beschränkt, sondern kann auf die gleiche Weise auch für die anderen Spielekonsolen verwendet werden. Sie müssen lediglich an einen Monitor über das HDMI Kabel angeschlossen werden und über die Chroma-Energiemessgeräte-Kombination mit Strom versorgt werden.

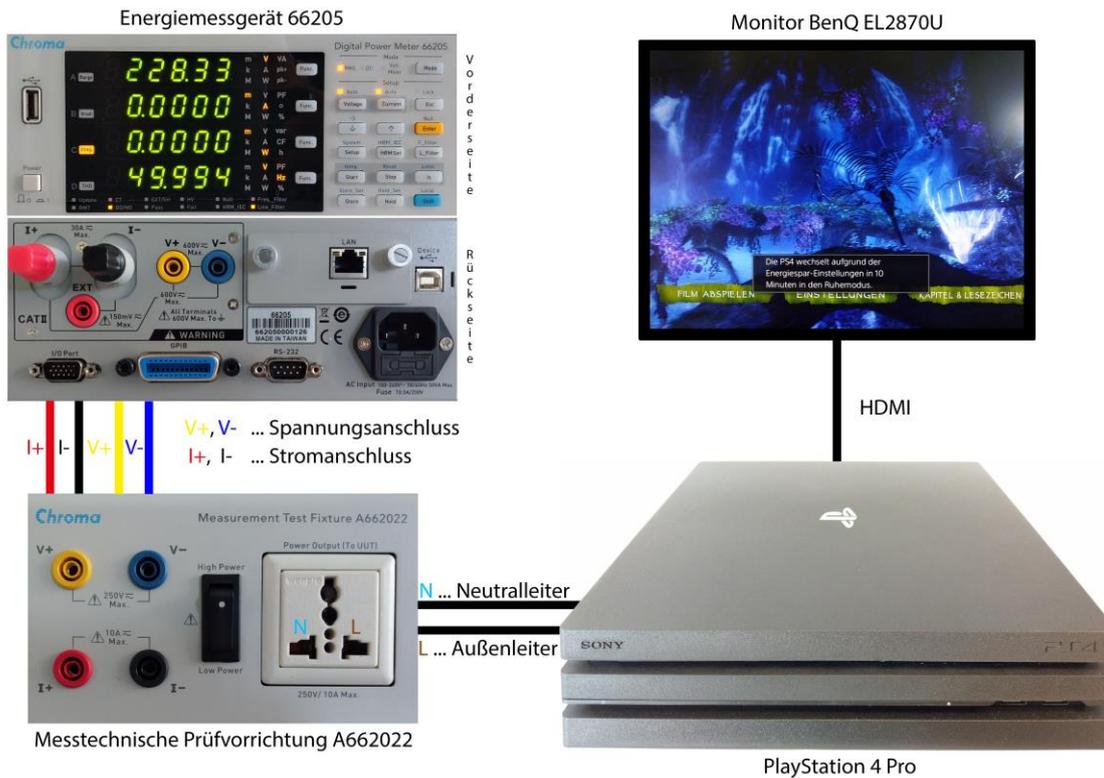


Abbildung 4.4: Schematischer Messaufbau für die PlayStation®4 Pro.

4.3 Testaufbau

Bei gleichzeitigen Messungen von Strömen und Spannungen können die Ergebnisse durch die Anordnung der Messpunkte des Voltmeters und des Amperemeters im Schaltkreis beeinträchtigt werden. Für niedrige Stromstärken wird das Voltmeter parallel und vor das Amperemeter, welches in Serie geschaltet wird, von der Spannungsquelle aus gesehen angeordnet. Bei hohen Stromstärken erfolgt die Anordnung in umgekehrter Reihenfolge. Sowohl das Amperemeter als auch das Voltmeter sind im Energiemessgerät 66205 direkt integriert.

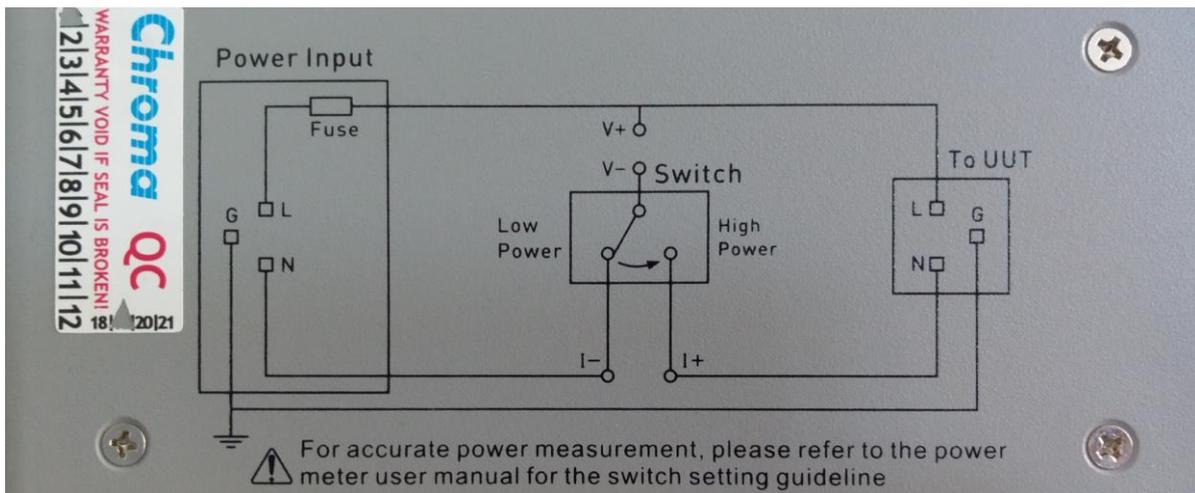


Abbildung 4.5: Schaltung für den Schalter der messtechnischen Prüfvorrichtung A662022.

Deshalb verfügt die messtechnische Prüfvorrichtung A662022 über einen Schalter, dessen Schaltbild in Abbildung 4.5 dargestellt wird, und der die Anordnung des Amperemeters und des Voltmeters in Abhängigkeit davon verändert, ob es sich um eine Messung mit hoher oder niedriger Stromstärke handelt. An der messtechnischen Prüfvorrichtung A662022 wird die Einstellung für niedrige Stromstärke verwendet, wenn das folgende Kriterium aus der Formel 4.1 erfüllt wird.

$$I_m < V_{in} \times \frac{1}{R_{fuse} + \sqrt{(R_{switch} + R_{I\ sensor}) \times (R_{switch} + R_{V\ sensor})}}$$

Formel 4.1: Bedingungsgleichung für die Messung von niedriger Stromstärke [64].

Sollte der gemessene Strom an der angehängten Last, in diesem Fall einer Spielekonsole, größer gleich der rechten Seite dieser Bedingungsgleichung sein, dann muss die Einstellung für hohe Stromstärke verwendet werden [64]. Das Kriterium dafür ist in der Formel 4.2 dargestellt.

$$I_m \geq V_{in} \times \frac{1}{R_{fuse} + \sqrt{(R_{switch} + R_{I\ sensor}) \times (R_{switch} + R_{V\ sensor})}}$$

Formel 4.2: Bedingungsgleichung für die Messung von hoher Stromstärke [64].

Im Folgenden wird die Definition der in den Formeln 4.1 und 4.2 verwendeten Abkürzungen vorgestellt [64]:

- I_m ist der gemessene Strom der angehängten Last,
- V_{in} ist die Spannungsversorgung,
- $R_{I\ sensor}$ ist die Eingangs-Impedanz des Amperemeters (~ 500 Milliohm ($m\Omega$) für 0,005 A / 0,02 A / 0,05 A / 0,2 A / 0,3 A Strom-Messbereiche, und ~ 7 $m\Omega$ für 0,5 A / 2 A / 5 A / 20 A / 30 A Strom-Messbereiche),
- $R_{V\ sensor}$ ist die Eingangs-Impedanz des Voltmeters (~ 2 Megaohm ($M\Omega$)),
- R_{fuse} ist der Widerstand der Sicherung ($\sim 0,0045$ Ohm (Ω)),
- R_{switch} ist der Widerstand des Schalters ($\sim 0,03$ Ω).

Für alle hier durchgeführten Messungen wurde das Kriterium aus der Formel 4.1 erfüllt und somit durchgehend die Einstellung an der messtechnischen Prüfvorrichtung für niedrige Stromstärke verwendet.

Einstellung des Energiemessgeräts 66205

Es wird vom Hersteller des Energiemessgeräts für einen möglichst reproduzierbaren und genauen Testablauf empfohlen, vor der ersten Messung am Tag jedes Mal die sogenannte *Auto-Null-Prozedur* durchzuführen [63]. Das sogenannte Zero-Offset, eine Veränderung der Null-Daten, kann durch Änderung des Messplatzes durch Temperaturunterschiede, Offset des externen Sensors oder Rauschen von gekoppelten externen Messdrähten entstehen. Die Auto-Null-Prozedur wird hier verwendet, um die Null-Daten zu ermitteln, damit sie dann bei der Berechnung der Messergebnisse durch das Messgerät abgezogen werden können. Folgende Schritte am Energiemessgerät sind dafür durchzuführen:

1. Drücke den Knopf *Null* (*Shift+Enter*) und *Enter*, um in das Menü der Auto-Null-Prozedur zu gelangen.
2. Trenne die angehängte Last vom Messgerät, falls nicht schon vorher getan. Bestätige den offenen Stromkreis mit *YES*. Drücke *Enter*, um weiter zu kommen.
3. Drücke *Enter*, um die *Auto-Null-Prozedur* zu starten. Der Fortschritt wird im Display *D* in Prozent angezeigt.
4. Wenn die 100 Prozent erreicht sind, zeigt das Display *D Done* an. Drücke *Enter*, um die Null-Daten zu kalibrieren und zum Haupt-Menü zurück zu kehren.

Für alle Messungen wurden, abgesehen vom Wert des Store-Counters, über den die Anzahl der durchgeführten Integrationen festgelegt wird, die eine Sekunde lang dauern, folgende Einstellungen aus Tabelle 4.1 an dem Energiemessgerät 66205 verwendet, wobei die rechte Spalte das jeweilige Untermenü repräsentiert:

Tabelle 4.1: Standard-Einstellungen des Energiemessgeräts 66205.

Setting Measurement Mode	RMS
Setting Measurement Range	Voltage Range: auto
	Current Range: auto
	External Input Range: auto
Setting Measurement Functions	Average: 8
	Display Update Rate: 0.05
	Setting Sync Source: volt
	Setting CT Radio: off
	Setting External Shunt Resistor: off
	Setting High Voltage Measurement: off
	Enable Null function (Zero-level Compensation): on
Setting the Filter	Line Filter: 5500
	Frequency Filter: on
Integration Function	Enable integration function: on
	Setup integration mode: Continuous
	Setup integration timer: 1 s
	Setup smart range: on & Auto
Inrush Current Measurement	Enable Inrush: off
	Setting trigger level: 1
Limit (GO/NG) Function	Setting parameter: off
Harmonic Measurement Function	IEC 61000-4-7 function: off
	Order: 40
Normal Harmonic Measurement Mode	Order: 40
	THD: total
	Cycle: 1
	Smooth: off
	Display: off
Hold Function	Definition of function: Stop
Storing Measured Data	Store Mode: Integ Sync
	Setting store count: 1
	Setting store interval: 1 s

Durchführung einer Messung

Um eine Reproduzierbarkeit der Messdaten zu gewährleisten, werden im Folgenden die einzelnen Schritte, die für die Durchführung einer Messung mit dem Energiemessgerät 66205 notwendig sind, vorgestellt:

1. Das Chroma Energiemessgerät einschalten und 30 Minuten lang eingeschaltet lassen, damit die Betriebstemperatur erreicht wird, um bestmögliche Messergebnisse zu erzielen. Dieser Schritt wird von dessen Hersteller empfohlen und ist nur vor dem ersten Messvorgang notwendig.

2. Die Einstellung des Counters auf dem Energiemessgerät entsprechend gewünschter Dauer für den Messvorgang vornehmen.
3. Einen USB-Stick in die USB-Host Schnittstelle des Energiemessgeräts stecken.
4. Das Stromkabel der Konsole in den dafür vorgesehen Steckplatz der messtechnischen Prüfvorrichtung *A662022* stecken, die Konsole einschalten und für 10 Minuten im Haupt-Menü warmlaufen lassen bzw., sollte die Spielekonsole vorher intensiv genutzt worden sein, abkühlen lassen.
5. Den Ablauf des jeweiligen Mess-Szenarios befolgen.
6. Die Spielekonsole samt angeschlossener Geräte entsprechend dem jeweiligen Mess-Szenario vorbereiten und die gewünschten Vorgaben für die Messung im Menü der Spielekonsole einstellen.
7. Starten der Messung auf dem Chroma Messgerät, durch Betätigung des Knopfes *Store* und anschließend des Knopfes *Start*. Die Integration beginnt und der *Start* Knopf leuchtet auf, während der Knopf *Store* blinkt.
8. Die Leistungsmesswerte werden so lange gespeichert, bis der Counter des Energiemessgeräts den eingestellten Wert runter gezählt hat. Der Knopf *Store* hört auf zu blinken.
9. Durch Drücken auf die Knöpfe *Shift+Reset* und anschließend auf *Stop* wird die Berechnung der Integration beendet und für den nächsten Messvorgang der letzte integrierte Messwert zurückgesetzt.
10. Betätigung der Knöpfe *Shift+Store_Set* ermöglicht über das Menü *Save-Data-to-USB* die Speicherung der gesammelten Messdaten auf den USB-Stick.

Monitor BenQ EL2870U

Der für die Messungen an die Konsolen angeschlossene Monitor EL2870U des Herstellers BenQ erfüllt alle notwendigen Anforderungen und besitzt folgende technische Daten. Die wichtigsten werden hier in Tabelle 4.2 direkt von der Hersteller-Webseite [33] übersetzt vorgestellt:

Tabelle 4.2: Technische Spezifikationen des Monitors *BenQ EL2870U* [33].

Bildschirmgröße	27,9 Zoll
Maximale Auflösung	3840 x 2160 Bildpunkte
Reaktionszeit	1 Millisekunde (ms)
FreeSync	Ja
Bildwiederholfrequenz	60 Hz
Bildformat	16:9
High Dynamik Range (HDR) Typ	HDR 10
Nativer Kontrast	1000:1
Dynamischer Kontrast	12000000:1
Anzeigefarben	1,07 Milliarden Farben
High-bandwidth Digital Content Protection (HDCP)	2.2
High Definition Multimedia Interface (HDMI)	2 x V2.0
TÜV-Zertifizierung	TÜV Flicker-Free, TÜV LBL
Eingebaute Lautsprecher	2 x 2 Watt
Stromverbrauch (eingeschaltet)	< 55 Watt

5. Sony PlayStation®4 Pro und PlayStation®4 (Slim)

In diesem Kapitel werden anhand unterschiedlicher Mess-Szenarien Untersuchungen und die daraus ermittelten Ergebnisse präsentiert, die an den beiden Spielekonsolen von *Sony Interactive Entertainment Inc.*, der *PlayStation®4 Pro* (PS4 Pro) und der *Playstation®4 (Slim)* (PS4 Slim), dargestellt in den Abbildungen 5.1 und 5.2, vorgenommen wurden. Wie bereits erwähnt, wird die letzte Version der *Playstation®4* vom Hersteller selbst nicht als *Slim* bezeichnet. Diese Bezeichnung hat sich durch ihren schmalen Aufbau in der Fangemeinde etabliert und wird deswegen auch in dieser Diplomarbeit zur Unterscheidung von den Vorgängerversionen verwendet. Die Leser bekommen hier sehr detaillierte Messdaten zu den unterschiedlichsten Szenarien und haben auch dadurch die Möglichkeit selbst zu erkennen, wie schwierig das Treffen einer verallgemeinerten Aussage über den durchschnittlichen Stromverbrauch einer Spielekonsole sein kann, wie zum Beispiel bei dem Mess-Szenario *Aktives Spielen*. Außerdem werden die gemessenen Energieverbrauchswerte präsentiert, die an der *PlayStation®VR*, einem Peripheriegerät für die Darstellung von Inhalten der virtuellen Realität, ermittelt wurden. Zum Schluss des Kapitels wird noch der spannenden Frage nachgegangen, wie sehr sich der Wechsel der internen Festplatte auf einen technisch weiter entwickelten Datenträger auswirken kann.



Abbildung 5.1: Sony PlayStation®4 Pro.



Abbildung 5.2: Sony PlayStation®4 (Slim).

Die technischen Spezifikationen der beiden Spielekonsolen werden hier, vor allem um die Reproduzierbarkeit aller Messungen zu gewährleisten, teilweise von der Hersteller-Webseite [1] direkt übernommen, in Tabelle 5.1 vorgestellt.

Tabelle 5.1: Technische Spezifikationen: PS4 Pro und PS4 Slim.

Produktname	PlayStation®4 Pro	PlayStation®4 (Slim)
Produktcode	CUH-7216B	CUH-2216A
Hauptprozessor	8-Core x86-64 AMD <i>Jaguar</i>	8-Core x86-64 AMD <i>Jaguar</i>
Grafikprozessor	4,20 TFLOPS ² , AMD Radeon™-Grafik-Engine	1,84 TFLOPS, AMD Radeon™-Grafik-Engine
Speicher	GDDR5 8 GB	GDDR5 8 GB
Speicherkapazität	1 TB	500 GB
Äußere Abmessungen	ca. 295 × 55 × 327 mm (Breite x Höhe x Länge ohne größtes vorstehendes Teil)	ca. 265 × 39 × 288 mm (Breite x Höhe x Länge ohne größtes hervorstehendes Teil)
Gewicht	ca. 3,3 kg	ca. 2,1 kg
BD-/DVD-Laufwerk (nur lesen)	BD × 6 CAV DVD × 8 CAV	BD × 6 CAV DVD × 8 CAV
Ein-/Ausgabe	3 x SuperSpeed-USB (USB 3.1 Gen 1) - Anschlüsse AUX-Port	2 x SuperSpeed-USB (USB 3.1 Gen 1) - Anschlüsse AUX-Port
Netzwerk	Ethernet (10BASE-T, 100BASE-TX, 1000BASE-T) IEEE 802.11 a/b/g/n/ac Bluetooth® 4.0 (LE)	Ethernet (10BASE-T, 100BASE-TX, 1000BASE-T) IEEE 802.11 a/b/g/n/ac Bluetooth® V4.0
Stromversorgung	AC 220-240 V, 50/60 Hz	AC 220-240 V, 50/60 Hz

² Die Einheit *TFLOPS* ist eine Bezeichnung für *Tera Floating Point Operations Per Second*, was auf Deutsch *Tera Gleitkomma-Operationen pro Sekunde* bedeutet, wobei Tera für eine Billion steht [73].

Energieverbrauch	Max. 310 W	Max. 165 W
Betriebstemperatur	5 °C–35 °C	5 °C–35 °C
AV-Ausgabe	HDMI™ OUT-Port (unterstützt 4K/HDR) DIGITAL OUT (OPTICAL)-Port	HDMI™ OUT-Port (HDR-Ausgabe unterstützt)
Systemsoftware	6.70 (Versionsstand bei der letzten Messung)	6.70 (Versionsstand bei der letzten Messung)

Kabelloser Spiel-Controller *Wireless-Controller DUALSHOCK®4*



Abbildung 5.3: Kabelloser Spiel-Controller (*DUALSHOCK®4*).

Um Sonys aktuelle Spielekonsolen bedienen zu können, wird standardmäßig ein Spiel-Controller benötigt, der mit einem USB-Kabel oder via Bluetooth mit der Konsole verbunden wird. In diesem Fall ist das der in Abbildung 5.3 dargestellte, kabellose Controller *DUALSHOCK®4*. In Tabelle 5.2 werden seine technisch relevanten Spezifikationen [1] vorgestellt.

Tabelle 5.2: Technische Spezifikationen: *Wireless-Controller (DUALSHOCK®4)*.

Produktname	Wireless-Controller (DUALSHOCK®4)
Produktcode	Serie CUH-ZCT2
Gewicht	Ca. 210 g
Touchpad	2-Punkt-Touchpad, Klickmechanismus, kapazitiv
Bewegungssensor	Sechs-Achsen-Sensoren-System (dreiachsiges Gyroskop, dreiachsiger Beschleunigungssensor)
Weitere Features	Leuchtleiste, Vibrationsfunktion, eingebaute Mono-Lautsprecher
Anschlüsse	USB (Micro-B), Erweiterungsport, Stereoheadset-Anschluss
Kommunikationsspezifikationen	Bluetooth® Ver. 2.1 + EDR USB-HID-Klasse, USB-Audio-Klasse
Akku	Integrierter Lithium-Ionen-Akku, DC 3,65 V, 1.000 mAh

Standard-MenüEinstellungen der PlayStation®4 Spielekonsolen

Da einige MenüEinstellungen im Betriebssystem der Spielekonsolen großen Einfluss auf die Leistung und somit auch auf deren Energieverbrauch haben können, werden hier für die Messungen relevante Standard-Einstellungen aufgelistet. Außerdem können durch Firmware Updates zusätzliche Funktionen ergänzt werden, die auch bei einer eventuellen Nachmessung zu einem späteren Zeitpunkt zu berücksichtigen sind. Für die einzelnen Mess-Szenarien notwendige Umstellungen werden in derer jeweiligen Beschreibung explizit angeführt. Die MenüEinstellungen der beiden Spielekonsolen von Sony sind bis auf einige wenige Optionen identisch, deshalb wird hier die folgende Tabelle 5.3 für beide Spielekonsolen als Standard verwendet. Der Farbcode der Schrift in Tabelle 5.3 ist nur eine optische Hilfestellung zur Unterscheidung zwischen dem Hauptmenü in der linken Spalte und den jeweiligen Untermenüs (blau und grün) der Spielekonsole.

Tabelle 5.3: Standard-MenüEinstellungen der PlayStation®4 Spielekonsolen.

Barrierefreiheit	Zoomen	Zoom aktivieren: Aus
	Farben invertieren: Aus	
	Größerer Text: Aus	
	Fettdruck: Aus	
	Starker Kontrast: Aus	
	Untertitel	Untertitel anzeigen: Aus
	Tastenzuweisung	Angepasste Tastenzuweisung aktivieren: Aus
	Geschwindigkeit für automatisches Blättern: Normal	
	Verzögerung für Gedrückthalten: Normal	
	In Schnellmenü aufnehmen: Aus	
Netzwerk	Mit dem Internet verbinden: Ein	
Mitteilungen	Popup-Mitteilungen	Pop-up-Mitteilungen anzeigen: Aus
	Popups während der Video-Wiedergabe deaktivieren: Ein	
	Popup-Farbe: Weiß	
	Nachricht in Mitteilung anzeigen: Ein	
	Mitteilungen, wenn Freunde online gehen: Aus	
Designs	Design auswählen: Fluss	
	Text mit unterlegtem Schatten: Standard	
Sound und Bildschirm	Videoausgabe-Einstellungen	Auflösung: Automatisch
		RGB-Bereich: Automatisch (empfohlen)
		HDR: Automatisch
		Deep Color-Ausgabe: Automatisch
		Supersampling-Modus: Aus (nur bei PS4 Pro)
	Bildschirmschoner starten: Nach 15 Minuten	

	Audioausgabe-Einstellungen	Primärer Ausgabeport: HDMI OUT (nur bei PS4 Pro)
		Audioformat (Priorität): Lineare PCM
	Systemmusik: Ein	
	Tastenton: Ein	
Remote-Play-Verbindungseinstellungen	Remote Play aktivieren: Ein	Direkt mit PS Vita/PS TV verbinden: Aus
Video-Wiedergabeeinstellungen	Ausgabe bei 1080p/24 Hz: Automatisch	
	Internetverbindung für BD-LIVE zulassen: Aus	
Energiespar-Einstellungen	Zeit bis zum Ausschalten der PS4 einstellen	Medienwiedergabe: Nicht ausschalten
		Allgemein (Anwendungen): Nicht ausschalten
	Im Ruhemodus verfügbare Funktionen einstellen	Stromversorgung der USB-Ports: Aus
		Mit dem Internet verbunden bleiben: Ein
		Einschalten der PS4 aus dem Netzwerk aktivieren: Aus
		Einschalten der PS4 aus Spotify aktivieren: Aus
		Anwendung anhalten: Aus
	Zeit bis zum Ausschalten der Controller einstellen: Nach 60 Minuten	
System	Automatische Downloads	Spotlight-Inhalte: Ein
		Update-Dateien für Systemsoftware: Ein
		Neustart zulassen: Aus
		Update-Dateien für Anwendungen: Ein
	Einstellungen für die Sprachsteuerung	PS4 sprachgesteuert bedienen: Aus
	Anzahl der Inhaltsobjekte auf dem Home-Bildschirm begrenzen: Ein	
	HDMI-Geräteverbindung aktivieren: Aus	
	HDCP aktivieren: Ein	
	Boost-Modus: Ein (nur bei PS4 Pro)	
	Systemsoftwarefehler automatisch melden: Aus	

Die Funktion *Mit dem Internet verbunden bleiben* wird hier mit Absicht bei beiden Spielekonsolen standardmäßig für den *Ruhemodus* eingeschaltet, damit alle aktuellen Spiele-Updates installiert werden können, während die Spielekonsolen im Messlabor über die Nacht nicht benutzt und in den *Ruhemodus* versetzt werden können. Um nämlich ein Spiel online spielen zu können, muss es auf die neueste Version aktualisiert sein. Die Systemfunktion *Boost-Modus* bei der PS4 Pro bleibt aktiviert, weil sie theoretisch auf die für die Messuntersuchungen gespielten Spiele keine Auswirkungen hat. Sie bringt nur bei älteren Spielen, die vor dem Erscheinen der PS4 Pro entwickelt und nicht durch einen Patch für diese optimiert wurden, eine Erhöhung der Bildwiederholfrequenz bzw. andere visuelle Leistungssteigerungen.

5.1 PlayStation®4 Mess-Szenario: Aktives Spielen

Das Szenario *Aktives Spielen* bezeichnet den Messablauf für das aktive Spielen auf der Spielekonsole in 4K Ultra High Definition (4K Ultra HD), d.h. einer Auflösung der Videoausgabe von 3840 mal 2160 Bildpunkten bzw. Pixeln, in Full HD, entsprechend einer Auflösung von 1920 mal 1080 Bildpunkten, und in HD ready, was einer Auflösung von 1280 mal 720 Bildpunkten entspricht [4]. Der kabellose Spiel-Controller *DUALSHOCK®4* ist über Bluetooth mit der Spielekonsole verbunden und wird nicht zum Aufladen an die Konsole mittels USB-Ladekabel angeschlossen. Es werden während der Messung weder Updates im Hintergrund aus dem Internet geladen noch installiert. Das WLAN ist eingeschaltet und verbindet die Spielekonsole während der Messung mit dem Internet. Die Konsole wird an den Monitor *BenQ EL2870U* über einen HDMI Version 2.0 Anschluss verbunden.

Folgende Menüeinstellungen auf der Spielekonsole sind, neben den bereits erwähnten Standard-Menüeinstellungen, hierfür notwendig:

Für das aktive Spielen in 4K Ultra HD:

Sound und Bildschirm	Videoausgabe-Einstellungen	Auflösung: 2160p
----------------------	--	----------------------------------

Für das aktive Spielen in Full HD:

Sound und Bildschirm	Videoausgabe-Einstellungen	Auflösung: 1080p
----------------------	--	----------------------------------

Für das aktive Spielen in HD ready:

Sound und Bildschirm	Videoausgabe-Einstellungen	Auflösung: 720p
----------------------	--	---------------------------------

Die Messungen mit dem Chroma Energiemessgerät sollten eine halbe Stunde lang dauern, wofür folgende Einstellung zusätzlich zu den bereits erwähnten Standard-Einstellungen notwendig ist:

Storing Measured Data	Setting store count: 1800
-----------------------	---

Der gesamte Messablauf wurde für die Spiele *Need for Speed Payback*, *Fortnite*, *FIFA 19*, *World of Tanks* und *Red Dead Redemption 2* für die bereits erwähnten drei unterschiedlichen Auflösungen auf der PS4 Pro Spielekonsole durchgeführt. Bei der etwas schwächeren PS4 Slim Spielekonsole wurde die 4K Ultra HD Auflösung der Videoausgabe ausgelassen, da diese von der Spielekonsole nicht unterstützt wird. Die Spiele wurden nach dem Starten mit dem Ziel weiter voranzukommen gespielt, und sie wurden während der Messung weder angehalten noch inaktiv gelassen. Das Ziel dieser Messaufgabe war die Ermittlung des Energieverbrauchs der PS4 Pro sowie der PS4 Slim während des aktiven Spielens von unterschiedlichen Spieletiteln. Es wurde dabei die Leistung in Watt in jeder Sekunde für die Dauer von dreißig Minuten vom Energiemessgerät aufgezeichnet und der daraus resultierende arithmetische Mittelwert für die in der 4K Ultra HD, Full HD und HD ready Auflösung der Videoausgabe spielbaren Spieletitel auf den Spielekonsolen berechnet. Die erhaltenen Messdaten über eine

Zeitachse dargestellt mit den zugehörigen arithmetischen Mittelwerten des Leistungsverbrauchs zeigen die Abbildungen 5.4 bis 5.13.

Interpretation der Messergebnisse

Beginnend mit Abbildung 5.4, in der das Messergebnis für das Spiel *Need for Speed Payback* präsentiert wird, kann man erkennen, dass mit höherer Auflösung auch der Energieverbrauch der PS4 Pro Spielekonsole ansteigt. Diese, wie auch die PS4 Slim, erkennt automatisch die höchst darstellbare Auflösung auf dem angeschlossenen Monitor bzw. Fernsehgerät und verwendet sie für die Bildausgabe. Will man die Spielekonsole nicht in der höchst möglichen Auflösung verwenden, kann man das in den Einstellungen manuell umstellen. So wurden auch hier die unterschiedlichen Auflösungen für die Messungen eingestellt. Bei diesem Spiel betrug der durchschnittliche Energieverbrauch pro Stunde, wie in Tabelle 5.4 dargestellt, beim aktiven Spielen in der 4K Ultra HD Auflösung (4K) 0,137 Kilowattstunden (kWh), was einer Leistungsaufnahme von 137 Wattstunden (Wh) innerhalb einer Stunde entspricht. Eine Wattstunde ist die Menge an Energie, die ein elektrisches Gerät mit einer Leistung von einem Watt innerhalb einer Stunde verbraucht. Entsprechend ist eine Kilowattstunde der tausendfache Wert einer Wattstunde.

Tabelle 5.4: Durchschnittlicher Energieverbrauch der PS4 Pro beim aktiven Spielen bei unterschiedlicher Auflösung der Videoausgabe.

Spieletitel	4K Ultra HD	Full HD	HD ready
Need for Speed Payback	0,137 kWh	0,121 kWh	0,115 kWh
Fortnite	0,149 kWh	0,136 kWh	0,134 kWh
FIFA 19	0,137 kWh	0,107 kWh	0,107 kWh
World of Tanks	0,116 kWh	0,107 kWh	0,109 kWh
Red Dead Redemption 2	0,161 kWh	0,128 kWh	0,127 kWh
Durchschnittswert	0,140 kWh	0,120 kWh	0,118 kWh

Die Werte in Tabelle 5.4 wurden aus der Summe der gemessenen Einzelwerte der Leistung von dreißig Minuten auf eine Stunde hochgerechnet und dann durch tausend dividiert, um die standardisierte Maßeinheit kWh zu ermitteln. Nimmt man nun an, dass ein moderater Spieler täglich zwei Stunden lang [53] dieses Spiel bei der höchsten Auflösung spielt, und dass eine kWh Strom 20 Cent kostet, ergibt das einen Jahresverbrauch von 100 kWh und einen Stromkostenanteil von 20 Euro pro Jahr. Noch interessanter werden solche Berechnungen bei den versteckten Energieverbräuchen, wie zum Beispiel im *Ruhemodus*, wenn man sie nahezu auf den ganzen Tag und auf die Gesamtzahl aller verkauften Spielekonsolen ausweitet.

Abbildung 5.5 zeigt die Messdaten der PS4 Slim während des aktiven Spielens des Spieletitels *Need For Speed Payback*. Hier sowie in den Abbildungen 5.7, 5.9, 5.11 und 5.13 ist klar ersichtlich, dass sich die Auflösungen Full HD (1080p) und HD ready (720p), bei der die Spiele gespielt werden, nur marginal auf den Energieverbrauch auswirkten. Zur gleichen Erkenntnis gelangt man, wenn man die

errechneten Verbrauchswerte in Tabelle 5.5 mit einander vergleicht. Diese Beobachtung kann auch bei der PS4 Pro in den Abbildungen 5.6, 5.8, 5.10 und 5.12 zwischen den Auflösungen Full HD und HD ready gemacht werden. Der Spieletitel *Need for Speed Payback*, präsentiert in Abbildung 5.4, zeigt die deutlichsten Unterschiede bei der Leistungsaufnahme durch die Verwendung unterschiedlicher Auflösungen, allerdings nur bei der PS4 Pro. Dasselbe Spiel auf der PS4 Slim, zu sehen in Abbildung 5.5, bewirkte fast keinen Unterschied beim Energieverbrauch während des aktiven Spielens in den beiden darstellbaren Auflösungen.

Tabelle 5.5: Durchschnittlicher Energieverbrauch der PS4 Slim beim aktiven Spielen bei unterschiedlicher Auflösung der Videoausgabe.

Spieletitel	Full HD	HD ready
Need for Speed Payback	0,074 kWh	0,075 kWh
Fortnite	0,079 kWh	0,079 kWh
FIFA 19	0,064 kWh	0,066 kWh
World of Tanks	0,065 kWh	0,067 kWh
Red Dead Redemption 2	0,083 kWh	0,080 kWh
Durchschnittswert	0,073 kWh	0,073 kWh

In Abbildung 5.6 wird zusätzlich darauf hingewiesen, dass das Spiel *Fortnite* während des Ladebildschirms des Spielmodus *Battle Royale Match* wesentlich weniger Leistung von der Spielekonsole abverlangte, und dadurch ihr Energieverbrauch auf einen Bereich zwischen 80 Wh und 90 Wh für diese kurze Ladezeit sank. Diese Energieverbrauchsabfälle sind auch bei der PS4 Slim in Abbildung 5.7 zu sehen. Das Spiel *FIFA 19*, dessen Messergebnis für die PS4 Pro in Abbildung 5.8 dargestellt wird, zeigte zwischen den Auflösungen Full HD und HD ready kaum einen nennenswerten Unterschied beim Energieverbrauch.

Das in den Abbildungen 5.10 und 5.11 gezeigte Spiel *World of Tanks* ist durchgehend durch sehr große Schwankungen bei der Leistungsaufnahme beider Spielekonsolen gekennzeichnet. Diese Beobachtung zeigt unter anderem, warum es schwierig ist, eine verallgemeinerte Aussage über den Stromverbrauch einer Spielekonsole beim aktiven Spielen zu treffen, und wieso man dafür auf errechnete arithmetische Mittelwerte zurückgreifen muss. Das wiederum liefert den Grund für eine allgemeine Erhöhung der Messdauer in den von der SRI-Version 2.6.3 vorgeschriebenen Mess-Szenarien, was man in der Folgeversion durch die Definition neuer Messverfahren für den Energieverbrauch auch zu berücksichtigen versucht.

Abbildung 5.12 präsentiert das Messergebnis für das Spiel *Red Dead Redemption 2*, welches durchschnittlich einen Energieverbrauch von 0,161 kWh bei der 4K Ultra HD Auflösung bewirkte. Dieser Spieletitel hat von den hier untersuchten bei dieser Auflösung die höchsten Hardware-Anforderungen an die PS4 Pro, was sich auch während des Messvorgangs durch das Hochdrehen des in der Spielekonsole verbauten Lüfters bemerkbar machte.

Beim Vergleich der einzelnen Messdaten kann man hier generell den Rückschluss ziehen, dass der Energieverbrauch der beiden Spielekonsolen von Sony beim aktiven Spielen nicht nur von der integrierten Hardware abhängt, sondern auch von der Leistung, die das installierte Spiel der Spielekonsole bei einer bestimmten Auflösung abverlangt. Um den Stromverbrauch zu reduzieren, kann man zum Beispiel die Auflösung, die bei der PS4 Pro Spielekonsole verwendet wird, selbst reduzieren, auch wenn der Monitor bzw. das Fernsehgerät eine höhere Auflösung darstellen kann. Im Fall von *Red Dead Redemption 2* entspricht eine Umstellung der Auflösung von 4K Ultra HD auf Full HD einer Reduktion des durchschnittlichen Stromverbrauchs um etwa 20%, während es bei *World of Tanks* etwa 8% sind. Diese Umstellung sollte allerdings nur dann durchgeführt werden, wenn man in entsprechender Entfernung zum Monitor bzw. Fernsehgerät sitzt und dieser auch eine entsprechende Größe hat [61] [62], in der der Unterschied zwischen den Auflösungen mit bloßen Augen nicht mehr wahrgenommen wird. Bei der PS4 Slim Spielekonsole bringt eine Umstellung auf eine niedrigere Auflösung allerdings keine nennenswerte Ersparnis des Energieverbrauchs.

Für die Messungen, die für die Berichterstattung der SRI-Version 2.6.3 verlangt werden, ist es notwendig, dass die HDR-Funktion, falls vorhanden, während der Messvorgänge deaktiviert wird. Um hier auf die Fragestellung einzugehen, ob das Einschalten der HDR-Unterstützung bei der PS4 Pro einen inkrementellen Anstieg des Energieverbrauchs bewirkt, kann man den Vergleich der Messergebnisse in Abbildung 5.12 heranziehen. Anhand der dargestellten Zeitverläufe des aktiven Spielens einmal mit und einmal ohne aktivierter HDR bei einer 4K Ultra HD Auflösung und den daraus ermittelten Mittelwerten des Energieverbrauchs sieht man kaum einen Unterschied und kann zumindest für diesen Spieletitel behaupten, dass diese Funktion beim aktiven Spielen von *Red Dead Redemption 2* keine besondere Auswirkung auf den Energieverbrauch hat.

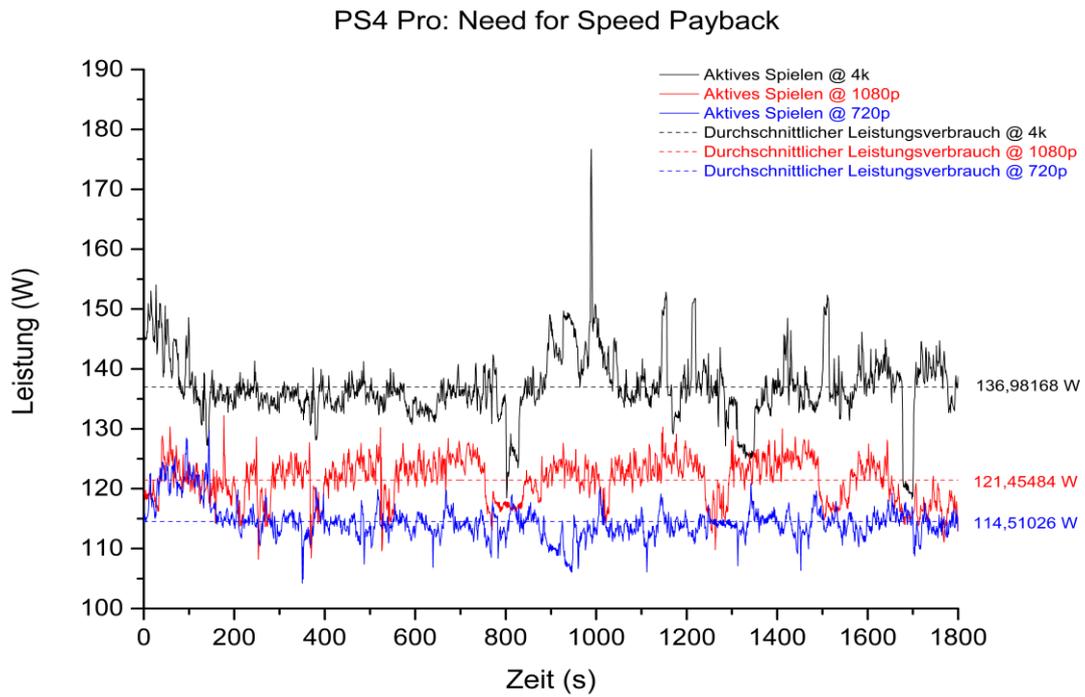


Abbildung 5.4: PS4 Pro, Aktives Spielen von *Need For Speed Payback*.

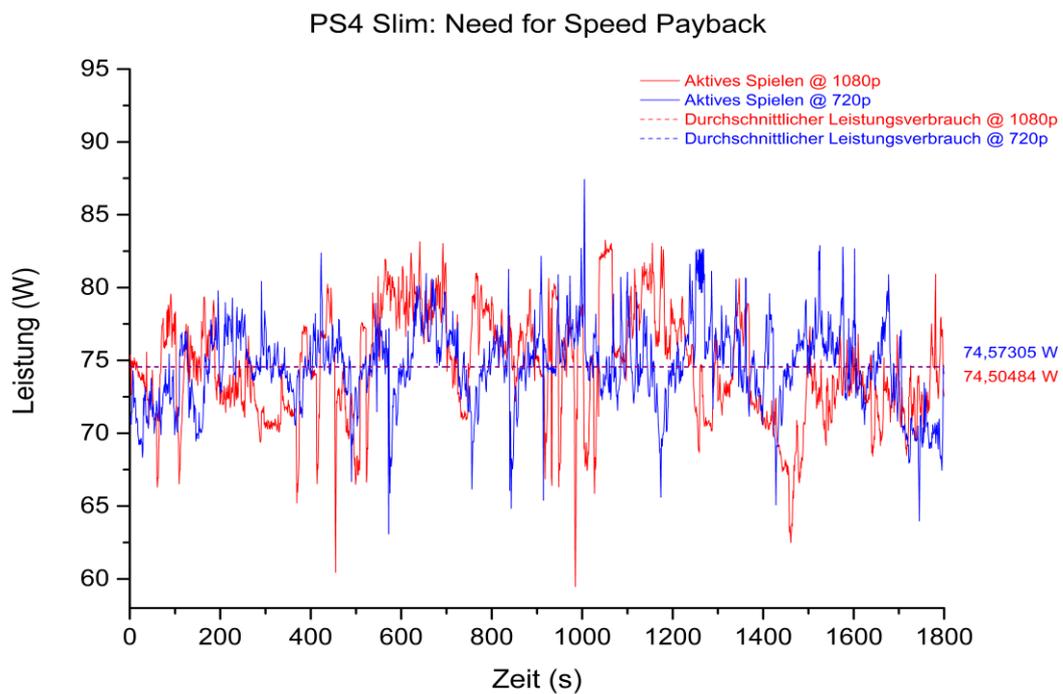


Abbildung 5.5: PS4 Slim, Aktives Spielen von *Need For Speed Payback*.

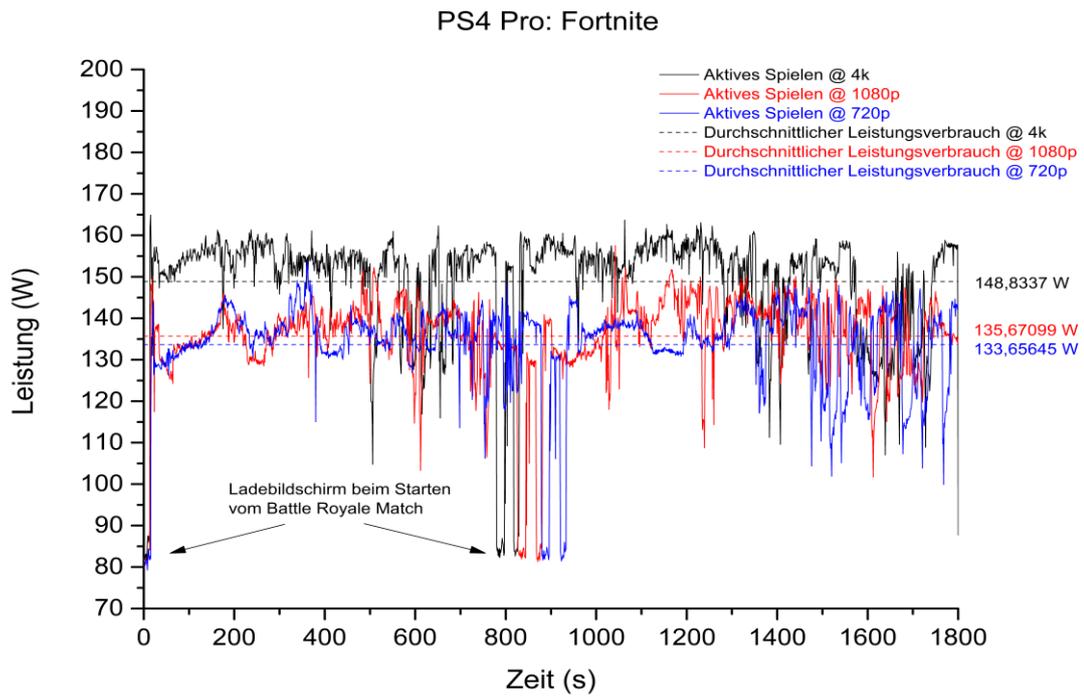


Abbildung 5.6: PS4 Pro, Aktives Spielen von *Fortnite*.

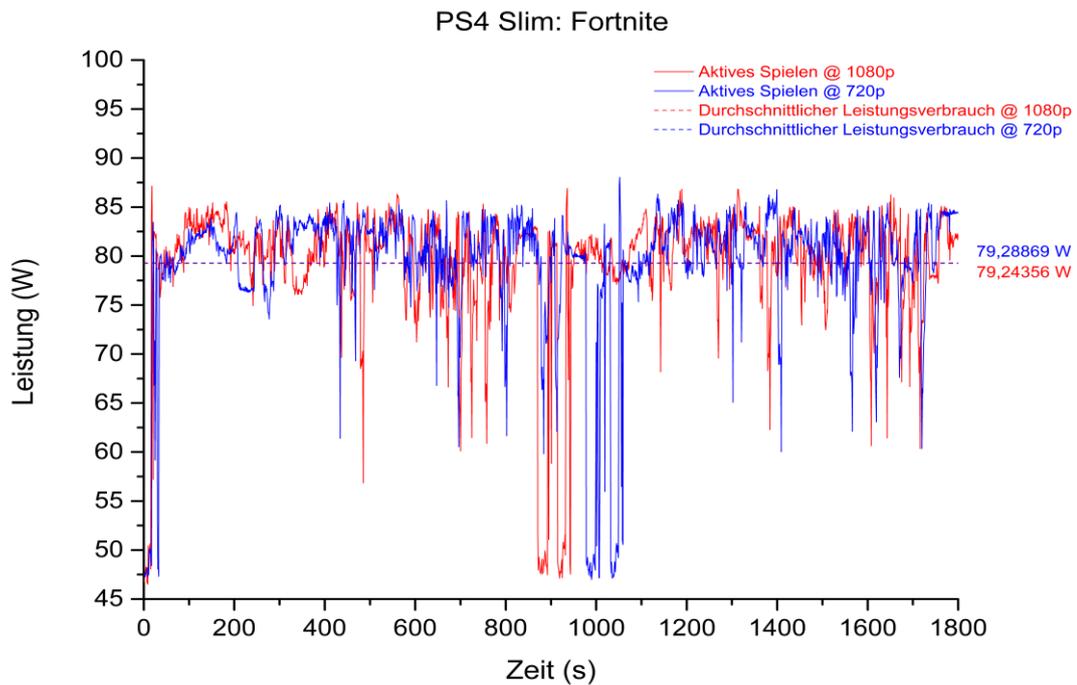


Abbildung 5.7: PS4 Slim, Aktives Spielen von *Fortnite*.

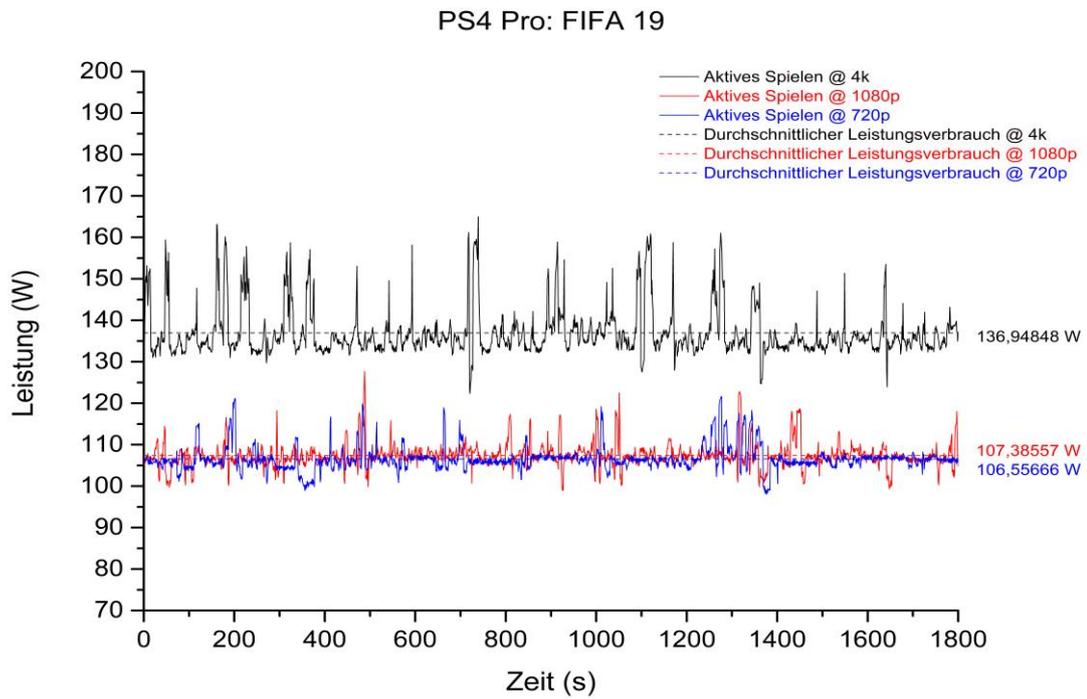


Abbildung 5.8: PS4 Pro, Aktives Spielen von *FIFA 19*.

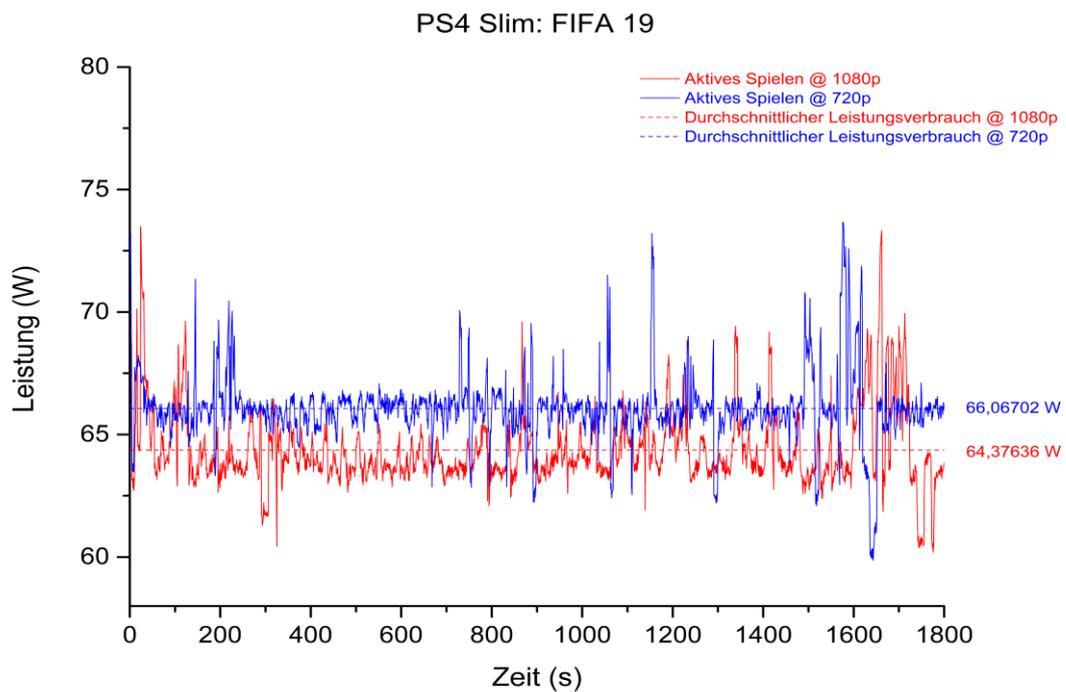


Abbildung 5.9: PS4 Slim, Aktives Spielen von *FIFA 19*.

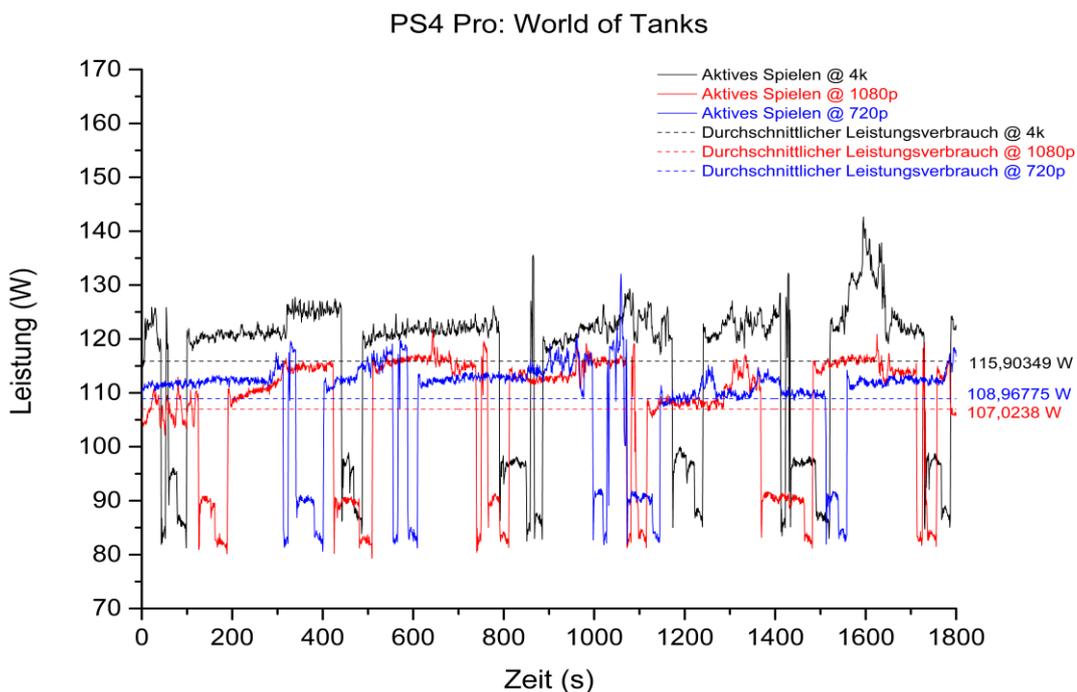


Abbildung 5.10: PS4 Pro, Aktives Spielen von *World of Tanks*.

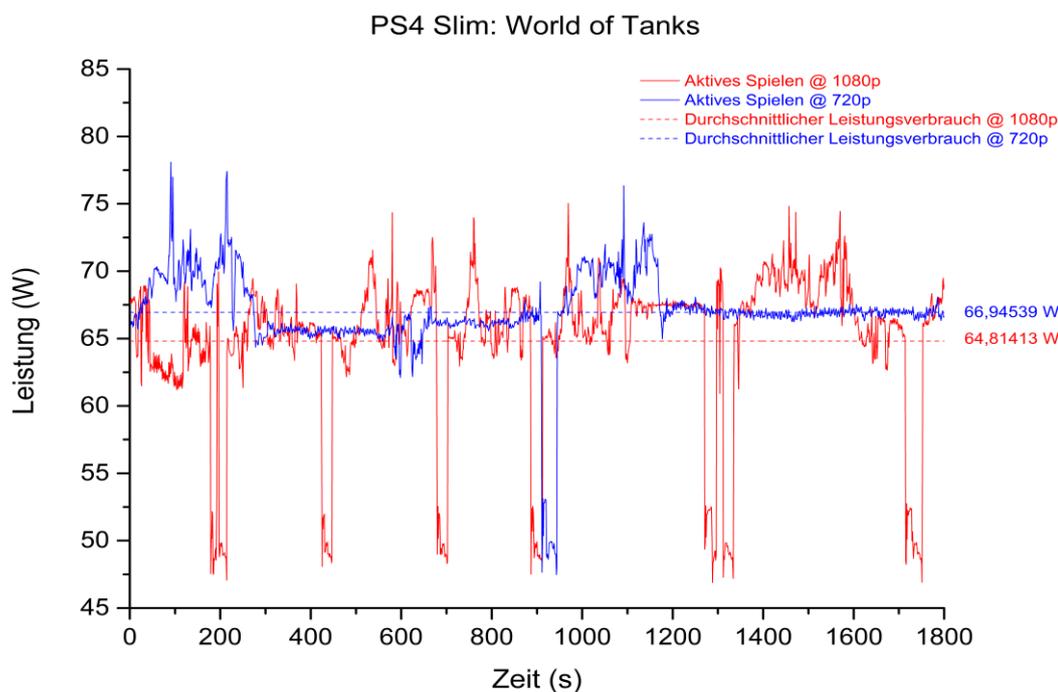


Abbildung 5.11: PS4 Slim, Aktives Spielen von *World of Tanks*.

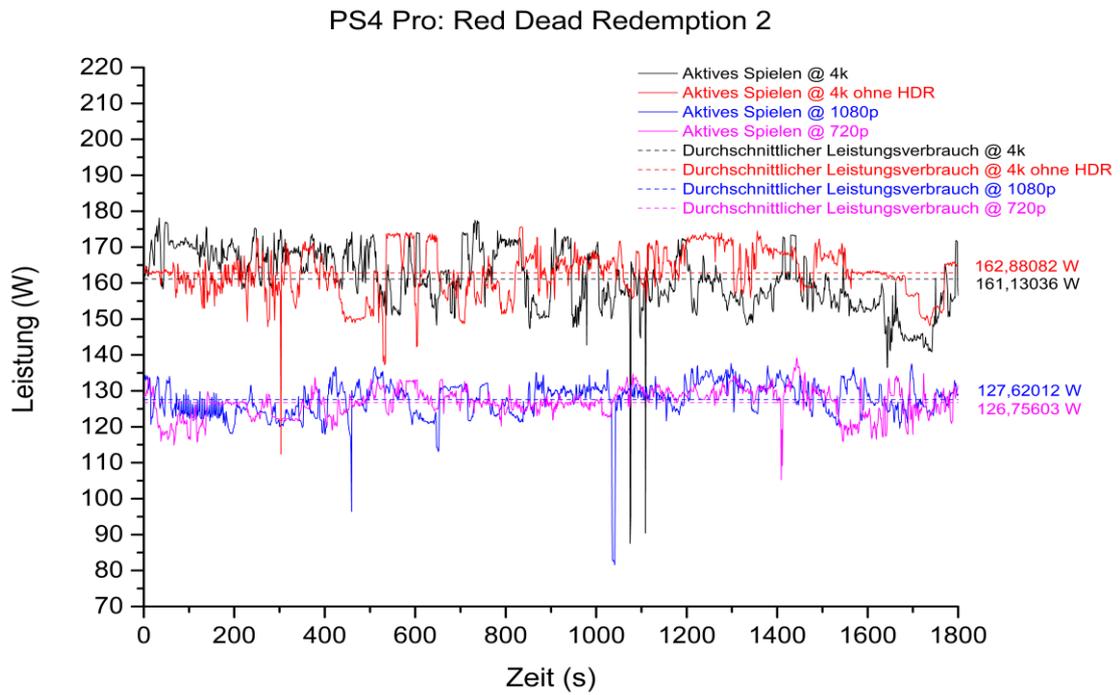


Abbildung 5.12: PS4 Pro, Aktives Spielen von *Red Dead Redemption 2*.

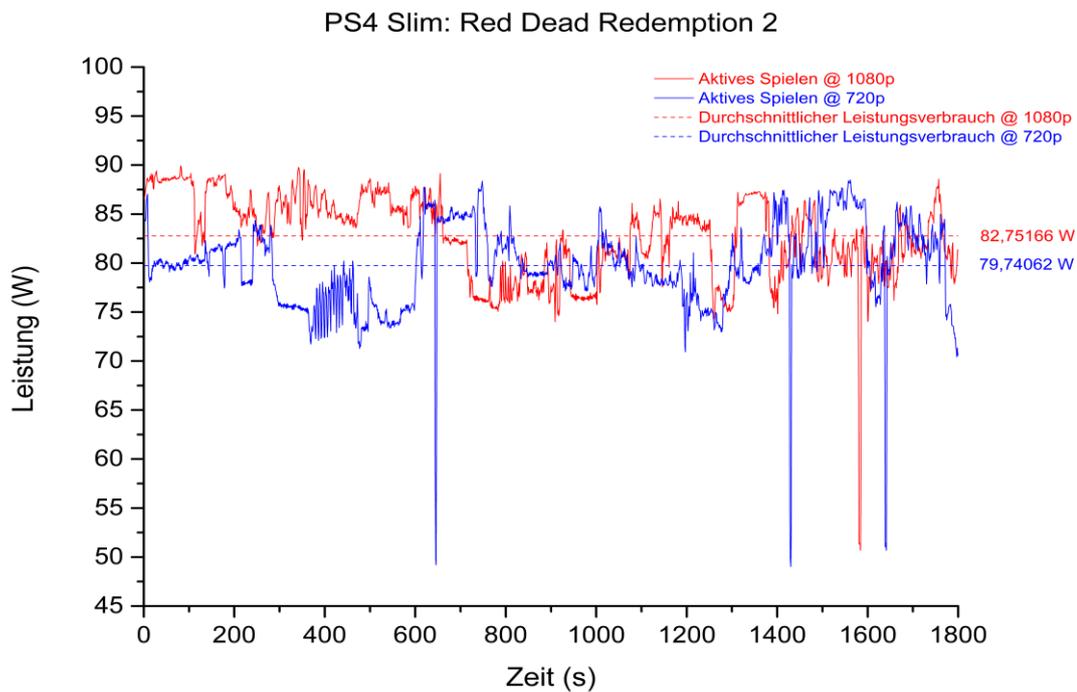


Abbildung 5.13: PS4 Slim, Aktives Spielen von *Red Dead Redemption 2*.

5.2 PlayStation®4 Mess-Szenario: Ruhemodus

Bei diesem Mess-Szenario wird der Fragestellung nachgegangen, wie hoch der Energieverbrauch der Spielekonsole im *Ruhemodus* ist. Dieser Bereitschaftsmodus ermöglicht es dem Benutzer unterschiedliche Funktionen ausführen zu lassen, während die Spielekonsole nicht aktiv genutzt wird. Der zusätzliche Energieverbrauch kann unter Umständen auftreten, wenn zum Beispiel die Option im Menü der Spielekonsole *Stromversorgung der USB-Ports: Immer* bzw. *3 Stunden* gewählt wird, obwohl kein Spiel-Controller über den USB-Anschluss aufgeladen wird. Es wird auch untersucht, ob nach drei Stunden diese Funktion automatisch abgeschaltet wird, damit eine weitere Leistungsaufnahme verhindert wird. Außerdem werden die anderen im *Ruhemodus* zur Verfügung stehenden Funktionen und der sich aus ihrer Aktivierung ergebende Energieverbrauch analysiert.

Ruhemodus: Stromversorgung der USB-Anschlüsse ohne angesteckten Spiel-Controller

Dieses Mess-Szenario beschreibt den *Ruhemodus*, bei dem die Option *Stromversorgung der USB-Ports* eingeschaltet ist, jedoch keine Spiel-Controller zum Aufladen an die Spielekonsole angesteckt werden. Die anderen verfügbaren Optionen für den *Ruhemodus* sind dabei ausgeschaltet.

Folgende Menüeinstellungen sind, neben den bereits erwähnten Standard-Menüeinstellungen, hierfür notwendig:

Energiespar-Einstellungen	Im Ruhemodus verfügbare Funktionen einstellen	Stromversorgung der USB-Ports: 3 Stunden
		Mit dem Internet verbunden bleiben: Aus

Da hier mit dem Chroma Energiemessgerät auch untersucht wurde, ob sich die Option *Stromversorgung der USB-Ports* selbst nach drei Stunden abschaltet und danach den Zustand nicht mehr ändert, sollte die Messung vier Stunden lang dauern, wofür folgende Einstellung zusätzlich zu den bereits erwähnten Standard-Einstellungen notwendig ist:

Storing Measured Data	Setting store count: 14400
-----------------------	----------------------------

Sobald die Spielekonsole mit den gewünschten Einstellungen in den Ruhezustand versetzt wurde, startete die Messung, deren Ergebnis in Abbildung 5.14 präsentiert wird. Man kann hier den Stromverbrauch beider Spielekonsolen im Vergleich beobachten und erkennt ganz deutlich, dass die USB-Ladefunktion nach drei Stunden beendet wird, um weiteren Energieverbrauch zu verhindern. Außerdem wird so eine mögliche Schädigung der in den Spiel-Controllern verbauten Akkus beim Aufladen durch eine eventuelle Überladung nach drei Stunden blockiert. Wählt man hingegen die Option im Menü der Spielekonsolen *Stromversorgung der USB-Ports: Immer*, dann bleibt der dargestellte Stromverbrauch während des gesamten *Ruhemodus* aufrecht, auch wenn keine Spiel-Controller aufgeladen werden.

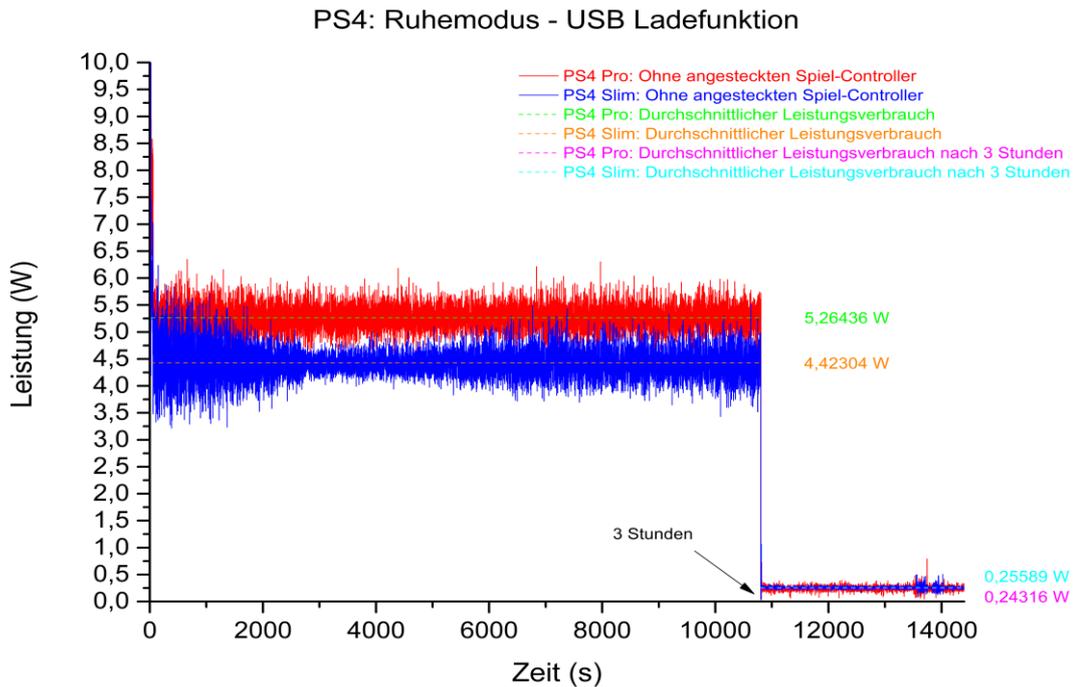


Abbildung 5.14: PS4 Pro und PS4 Slim, *Ruhemodus*: USB-Ladefunktion ohne angesteckten Spiel-Controller, nach drei Stunden drehte sich die Funktion automatisch ab.

Ruhemodus: Stromversorgung der USB-Ports mit angestecktem Spiel-Controller

Dieses Szenario beschreibt den *Ruhemodus*, bei dem die Option *Stromversorgung der USB-Ports* eingeschaltet und ein leerer Spiel-Controller an die Spielekonsole zum Aufladen angesteckt ist. Die anderen verfügbaren Optionen für den *Ruhemodus* sind dabei deaktiviert.

Folgende Menüeinstellungen sind, neben den bereits erwähnten Standard-Menüeinstellungen, hierfür notwendig:

Energiespar-Einstellungen	Im Ruhemodus verfügbare Funktionen einstellen	Stromversorgung der USB-Ports: Immer
		Mit dem Internet verbunden bleiben: Aus

Die Messungen mit dem Chroma Energiemessgerät sollten eine halbe Stunde lang dauern, wofür folgende Einstellung zusätzlich zu den bereits erwähnten Standard-Einstellungen notwendig ist:

Storing Measured Data	Setting store count: 1800
-----------------------	---------------------------

Die Messung wurde gestartet, nachdem sich die Spielekonsole bereits mit einem angesteckten Spiel-Controller 10 Minuten lang im *Ruhemodus* befand, und dauerte 30 Minuten lang. In Abbildung 5.15 ist ein kleiner Unterschied von etwa 0,8 Watt beim durchschnittlichen Energieverbrauch zwischen der

PS4 Pro und PS4 Slim ersichtlich. Dieser Unterschied kann bereits in Abbildung 5.14 beobachtet werden und rührt möglicherweise von den unterschiedlichen USB-Microcontrollern der beiden Spielekonsolen. Diese Annahme wird durch die Beobachtung gestützt, dass jener Unterschied im durchschnittlichen Energieverbrauch nach drei Stunden verschwindet, nachdem die beiden USB-Microcontroller abgeschaltet werden, wie in Abbildung 5.14 zu sehen ist.

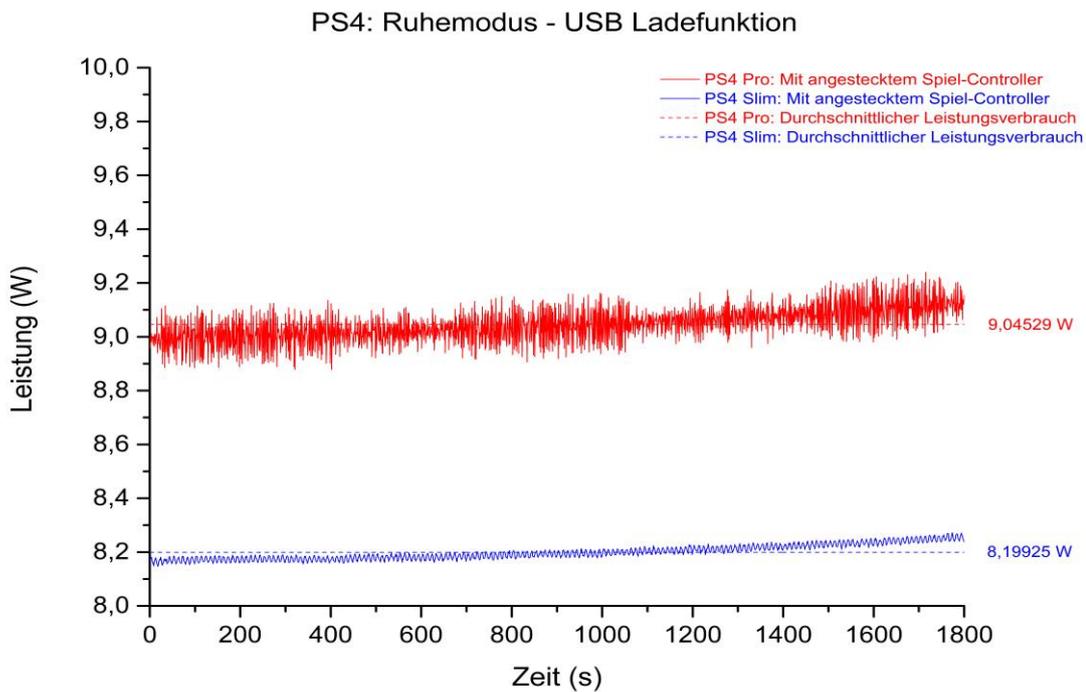


Abbildung 5.15: PS4 Pro und PS4 Slim, *Ruhemodus*: USB-Ladefunktion mit angestecktem Spiel-Controller.

Ruhemodus: Unterschiedliche Funktionen gleichzeitig eingeschaltet

Bei diesem Mess-Szenario wird ein Bündel an Messungen durchgeführt, bei denen der Energieverbrauch unterschiedlicher aktiver Funktionen im *Ruhemodus* untersucht wird. Dabei wird der maximal erzielbare durchschnittliche Energieverbrauch im *Ruhemodus* ermittelt, der durch das Installieren eines Updates und ein gleichzeitiges Aufladen eines leeren Spiel-Controllers hervorgerufen wird. Außerdem wird der Energieverbrauch ermittelt, der durch die aktiven Optionen *Mit dem Internet verbunden bleiben* bzw. *Anwendung anhalten* bewirkt wird. Zum Schluss wird noch gezeigt, wieviel Energie alle verfügbaren Funktionen im *Ruhemodus* verbrauchen, wenn sie aktiviert werden.

Folgende Menüeinstellungen sind, neben den bereits erwähnten Standard-Menüeinstellungen, hierfür notwendig:

Für das Anhalten eines Spieles im *Ruhemodus*:

Energiespar-Einstellungen	Im Ruhemodus verfügbare Funktionen einstellen	Anwendung Anhalten: Ein
---------------------------	---	-------------------------

Für das Installieren eines Spiel-Updates und das gleichzeitige Aufladen eines Spiel-Controllers im *Ruhemodus*:

Energiespar-Einstellungen	Im Ruhemodus verfügbare Funktionen einstellen	Stromversorgung der USB-Ports: Immer
---------------------------	---	--------------------------------------

Für das Aktivieren aller verfügbaren Funktionen im *Ruhemodus*:

Energiespar-Einstellungen	Im Ruhemodus verfügbare Funktionen einstellen	Stromversorgung der USB-Ports: Immer
		Anwendung Anhalten: Ein

Die Messungen mit dem Chroma Energiemessgerät sollten eine halbe Stunde lang dauern, wofür folgende Einstellung zusätzlich zu den bereits erwähnten Standard-Einstellungen notwendig ist:

Storing Measured Data	Setting store count: 1800
-----------------------	---------------------------

Nachdem sich die Spielekonsole bereits 10 Minuten lang im *Ruhemodus* befand, wurden die einzelnen Messungen gestartet und dauerten jeweils 30 Minuten lang. Die Ergebnisse dieses Mess-Szenarios werden für die PS4 Pro in Abbildung 5.16 und für die PS4 Slim in Abbildung 5.17 präsentiert. Man erkennt sowohl bei der PS4 Pro als auch bei der PS4 Slim den hohen Energieverbrauch beim Installieren eines Spiel-Updates im *Ruhemodus*, welcher nur noch durch zusätzliches Anschließen eines Spiel-Controllers zum Aufladen getoppt wird. Zum Vergleich betrug der gemessene durchschnittliche Mittelwert der verbrauchten Leistung beim standardmäßigen Installieren eines Spieles aus dem Navigationsmenü bei der eingeschalteten PS4 Pro bei einer 4K Ultra HD Auflösung 63,37 Watt und bei der eingeschalteten PS4 Slim bei einer Full HD Auflösung 49,1 Watt. Durch die Aktivierung der Funktionen *Mit dem Internet verbunden bleiben* und *Spiel anhalten* verbrauchten die beiden Spielekonsolen im *Ruhemodus* durchschnittlich 1,9 Watt bzw. 1 Watt.

Ein weiteres Ergebnis dieses Mess-Szenarios wird in Abbildung 5.18 präsentiert, in der alle im *Ruhemodus* verfügbaren Funktionen aktiviert werden. Aus dem gemessenen zeitlichen Verlauf des Energieverbrauchs wurde ein durchschnittlicher Mittelwert bei der PS4 Pro von 6,45 Wh und bei der PS4 Slim von 5,51 Wh errechnet.

Nimmt man nun an, wie in der LBNL-Studie gezeigt wurde [53], dass die Spielekonsolen im Durchschnitt 23,3 Stunden pro Tag bei leichten Spielern, das sind nur 15% aller Nutzer, 21,82 Stunden pro Tag bei moderaten Spielern, das sind 40% aller Nutzer, 19,64 Stunden bei intensiven Spielern, das sind ebenfalls 40% aller Nutzer, und 15,39 Stunden bei extremen Spielern, was nur 5% aller Nutzer sind, im *Ruhemodus* verbleiben, ergibt das einen jährlichen Energieverbrauch bei der PS4 Pro von 187,93 kWh und bei der PS4 Slim von 160,64 kWh, in Summe also 348,57 kWh. Die Gesamtanzahl

aller bis zum Jahr 2019 weltweit verkauften PlayStation®4 Spielekonsolen beläuft sich auf 90,97 Millionen [25]. Dies ergibt einen Energieverbrauch von 31,71 TWh³ für das Jahr 2019 nur durch die Aktivierung der verfügbaren Funktionen im *Ruhemodus*, ohne dass ein Verbraucher angeschlossen oder ein Spiel-Update installiert wird. Im Vergleich dazu belief sich der gesamte Stromverbrauch in Österreich im gleichen Jahr auf etwa 71,8 TWh [68].

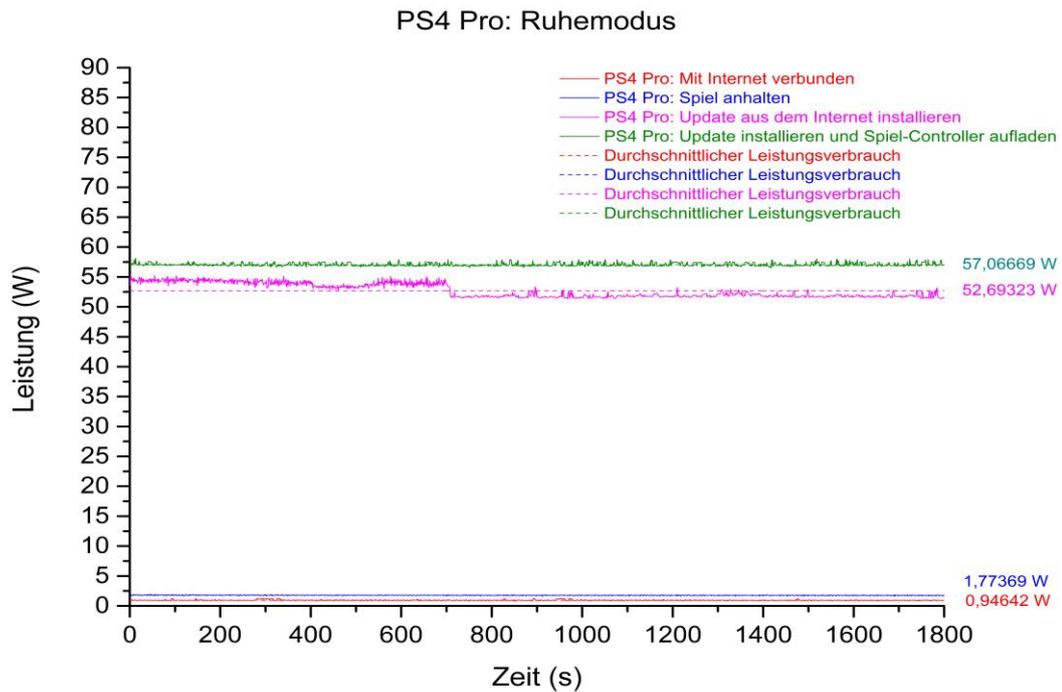


Abbildung 5.16: PS4 Pro, *Ruhemodus*: Diverse aktive Funktionen.

³ Eine TWh (Terawattstunde) entspricht einer Billion Wattstunden bzw. einer Milliarde Kilowattstunden

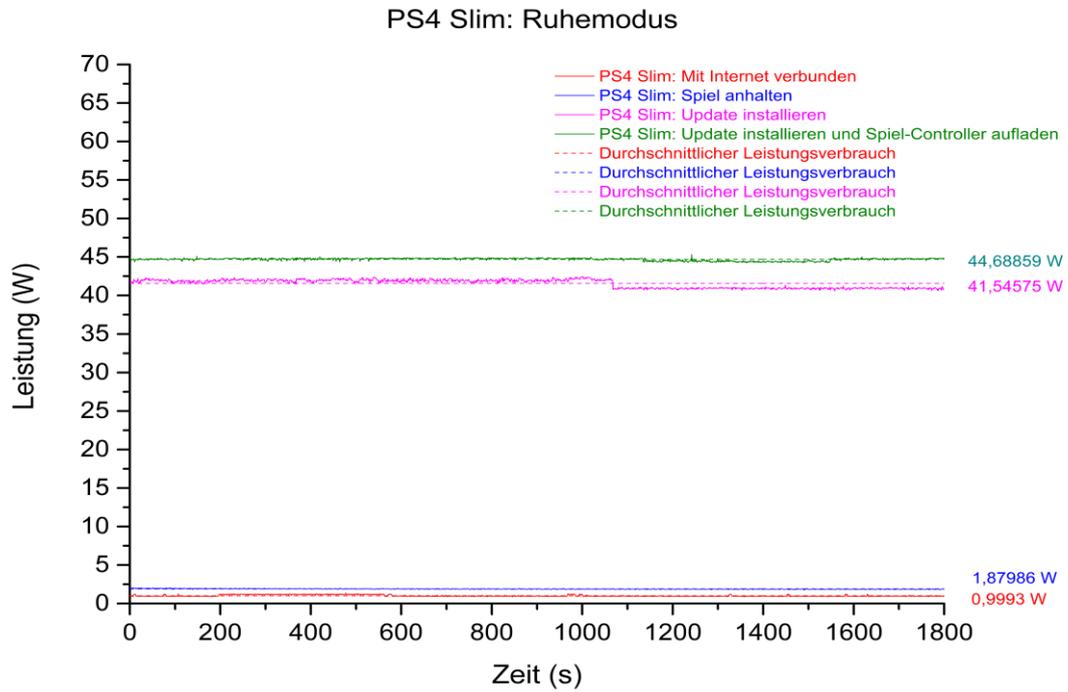


Abbildung 5.17: PS4 Slim, *Ruhemodus*: Diverse aktive Funktionen.

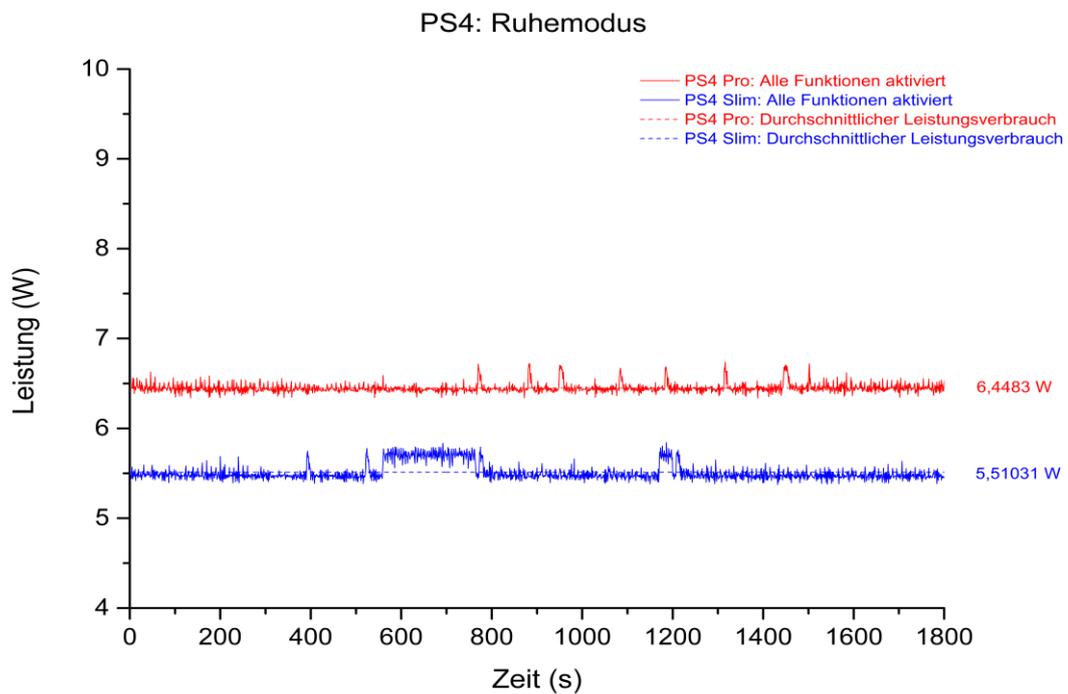


Abbildung 5.18: PS4 Pro und PS4 Slim, *Ruhemodus*: Alle verfügbaren Funktionen aktiviert.

5.3 PlayStation®4 Mess-Szenario: Disc-Wiedergabe

Bei diesem Mess-Szenario wird die Disc-Wiedergabe der PS4 Pro und der PS4 Slim bei unterschiedlichen Auflösungen der Videoausgabe und der sich daraus ergebende Energieverbrauch untersucht. Dabei werden eine Blu-Ray Disc mit dem Titel *Avatar - Aufbruch nach Pandora* und die DVDs *La vita è bella* und *Conan der Zerstörer* für jeweils eine halbe Stunde wiedergegeben.

Folgende Menüeinstellungen sind, neben den bereits erwähnten Standard-Menüeinstellungen, hierfür notwendig:

Für die Disc-Wiedergabe in 4K Ultra HD:

Sound und Bildschirm	Videoausgabe-Einstellungen	Auflösung: 2160p
----------------------	--	----------------------------------

Für die Disc-Wiedergabe in Full HD:

Sound und Bildschirm	Videoausgabe-Einstellungen	Auflösung: 1080p
----------------------	--	----------------------------------

Für die Disc-Wiedergabe in HD ready:

Sound und Bildschirm	Videoausgabe-Einstellungen	Auflösung: 720p
----------------------	--	---------------------------------

Die Messungen mit dem Chroma Energiemessgerät sollten eine halbe Stunde lang dauern, wofür folgende Einstellung zusätzlich zu den bereits erwähnten Standard-Einstellungen notwendig ist:

Storing Measured Data	Setting store count: 1800
-----------------------	---

Nachdem die für die Messung notwendige Videoausgabe-Einstellung auf der Spielekonsole gewählt wurde, wurde die jeweilige Disc in das dafür vorgesehenen Laufwerk geschoben und die Wiedergabe gestartet. Anschließend wurde die dreißigminütige Messung mit dem Chroma Energiemessgerät gestartet, deren Ergebnisse in den Abbildungen 5.19 bis 5.22 präsentiert werden.

Beginnend mit Abbildung 5.19 ist der unterschiedliche Energieverbrauch bei den drei verschiedenen Auflösungen der Videoausgabe klar ersichtlich. Dabei wurde die Blu-Ray *Avatar – Aufbruch nach Pandora* in 4K Ultra HD, Full HD und HD ready wiedergegeben. Überraschenderweise ist hier der ermittelte Mittelwert des Energieverbrauchs bei der HD ready Auflösung höher als bei der Full HD Auflösung. Gleiches ist auch in Abbildung 5.21 zu beobachten, in der die Messergebnisse der PS4 Slim Spielekonsole präsentiert werden. Dieser Umstand lässt sich durch das Hochskalieren des wiedergegebenen Inhalts auf die vorgegebene Videoausgabe-Einstellung durch den verwendeten Player der Spielekonsole plausibilisieren.

In den Abbildungen 5.20 und 5.22 wird das Messergebnis für die Wiedergabe der DVDs *La vita è bella* auf der PS4 Pro und *Conan der Zerstörer* auf der PS4 Slim präsentiert. Hier erkennt man in Abbildung 5.20 nur einen Unterschied zu der 4K Ultra HD Auflösung. Sowohl bei der PS4 Pro als auch bei der PS4 Slim gibt es bei der Full HD und HD ready Auflösung kaum einen Unterschied beim Energieverbrauch während der Wiedergabe einer DVD.

Eine Blu-Ray besitzt eine maximale Auflösung von 1920 Bildpunkten mal 1080 Zeilen, was einer Full HD Auflösung entspricht, während eine DVD eine Auflösung von 720 Bildpunkten mal 576 Zeilen hat. Beim Hochskalieren auf eine bestimmte Auflösung der Videoausgabe werden die fehlenden Bildpunkte und Zeilen von dem Player der Spielekonsole errechnet und zum ausgegebenen Bild hinzugefügt, was hier den unterschiedlichen Energieverbrauch der Spielekonsolen bei der Wiedergabe einer Blu-Ray bzw. einer DVD erklärt.

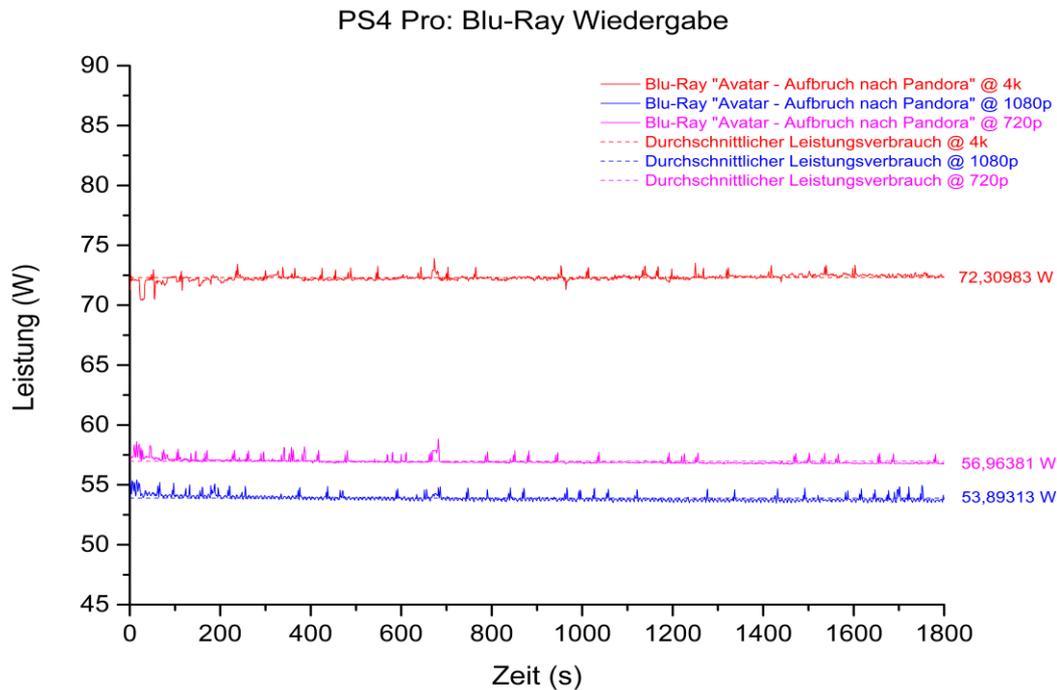


Abbildung 5.19: PS4 Pro, Blu-Ray Disc-Wiedergabe von *Avatar - Aufbruch nach Pandora*.

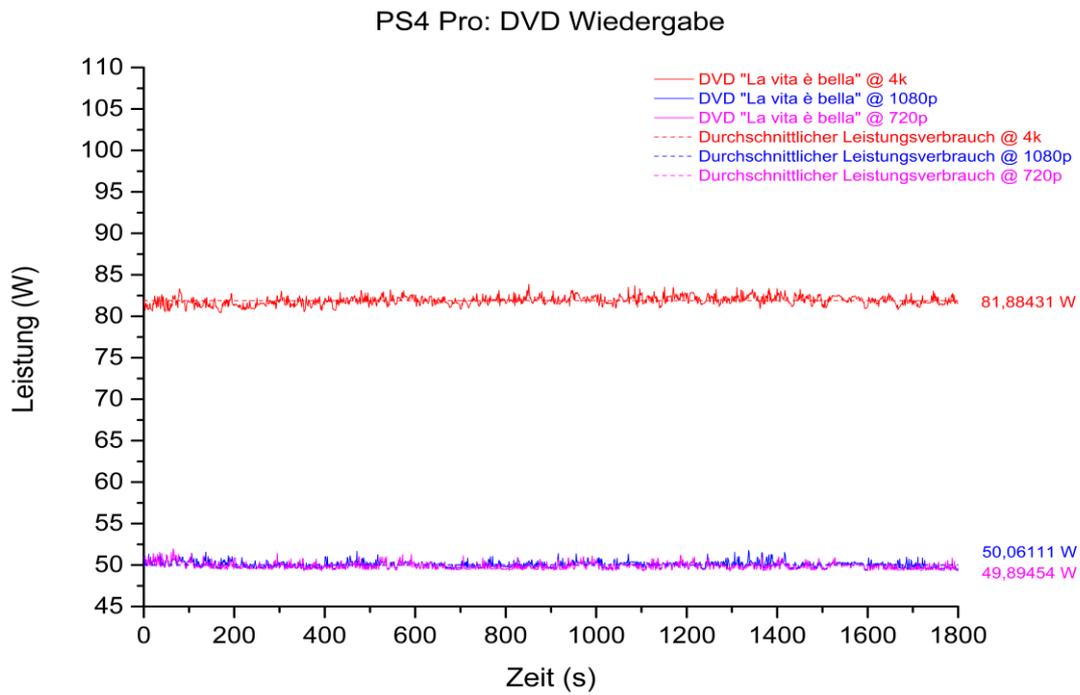


Abbildung 5.20: PS4 Pro, DVD-Wiedergabe von *La vita è bella*.

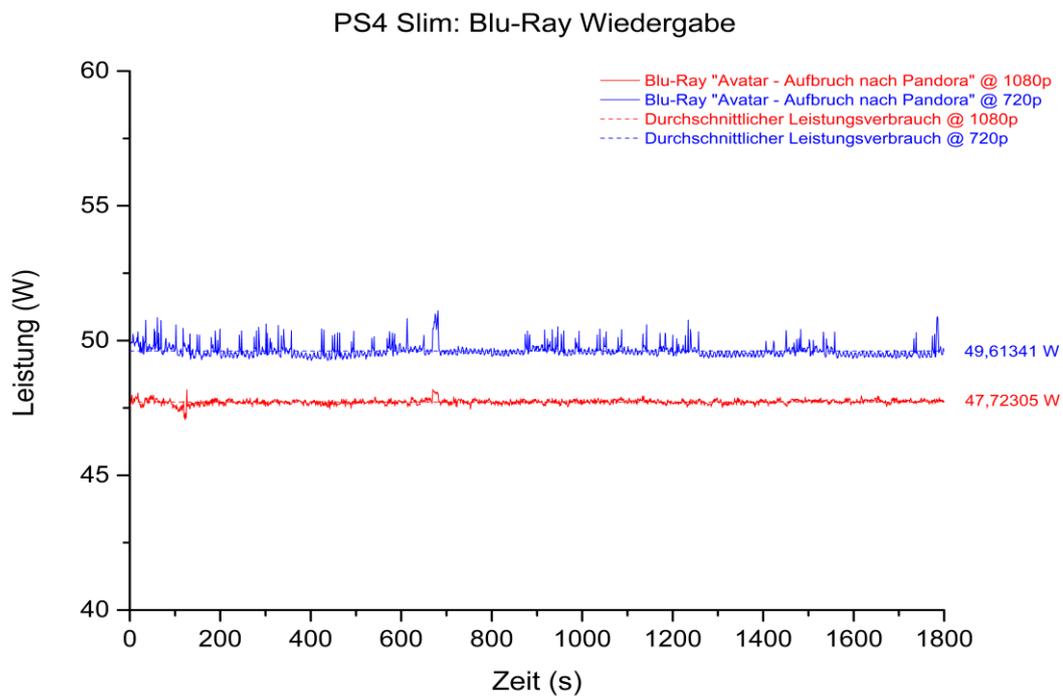


Abbildung 5.21: PS4 Slim, Blu-Ray Disc-Wiedergabe von *Avatar - Aufbruch nach Pandora*.

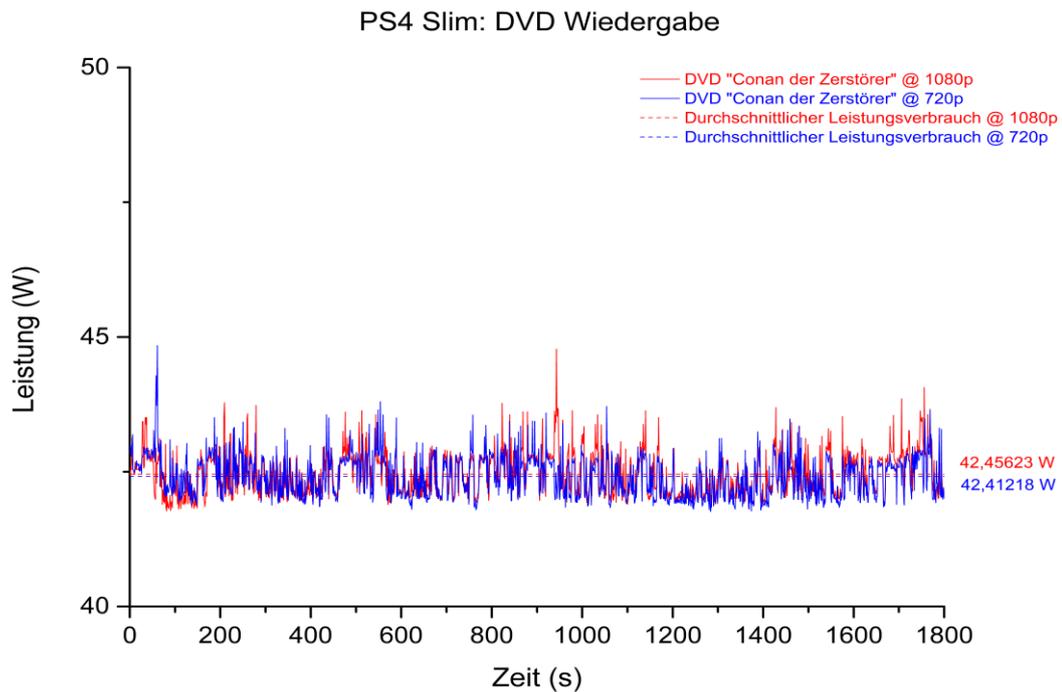


Abbildung 5.22: PS4 Slim, DVD-Wiedergabe von *Conan der Zerstörer*.

5.4 PlayStation®4 Mess-Szenario: Stream-Wiedergabe

Bei dem Mess-Szenario *Stream-Wiedergabe* werden die Video- und Audio-Stream-Wiedergabe auf der PS4 Pro und der PS4 Slim bei unterschiedlichen Auflösungen der Videoausgabe und der sich daraus ergebende Energieverbrauch untersucht. Dabei werden Video-Streams von *YouTube* und Audio-Streams von *Spotify*, beides installierte Programme auf den beiden Spielekonsolen, eine halbe Stunde lang wiedergegeben und der daraus resultierende Energieverbrauch ermittelt. Es wird auch noch gezeigt, wie sich die Wiedergabe eines Audio-Streams im Hintergrund, während ein Spiel im Vordergrund aktiv gespielt wird, auf den Energieverbrauch der Spielekonsole auswirkt.

Folgende Menüeinstellungen sind, neben den bereits erwähnten Standard-Menüeinstellungen, hierfür notwendig:

Für die Stream-Wiedergabe in 4K Ultra HD:

Sound und Bildschirm	Videoausgabe-Einstellungen	Auflösung: 2160p
----------------------	----------------------------	------------------

Für die Stream-Wiedergabe in Full HD:

Sound und Bildschirm	Videoausgabe-Einstellungen	Auflösung: 1080p
----------------------	----------------------------	------------------

Für die Stream-Wiedergabe in HD ready:

Sound und Bildschirm	Videoausgabe-Einstellungen	Auflösung: 720p
----------------------	----------------------------	-----------------

Die Messungen mit dem Chroma Energiemessgerät sollten eine halbe Stunde lang dauern, wofür folgende Einstellung zusätzlich zu den bereits erwähnten Standard-Einstellungen notwendig ist:

Storing Measured Data	Setting store count: 1800
-----------------------	---------------------------

Beginnend mit Abbildung 5.23, in der das Messergebnis eines Video-Streams von *YouTube*, der in den drei unterschiedlichen Auflösungen der Videoausgabe auf der PS4 Pro wiedergegeben wurde, präsentiert wird, erkennt man bei der Wiedergabe in der Full HD und HD ready Auflösung kaum einen Unterschied beim Energieverbrauch. Nur die Wiedergabe in der höchsten Auflösung zeigt auch hier einen erhöhten Energieverbrauch. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt man auch in Abbildung 5.26, in der das Messergebnis der Video-Stream-Wiedergabe auf der PS4 Slim präsentiert wird. In Abbildung 5.24 wird das Messergebnis eines Audio-Streams von *Spotify*, welcher auf der PS4 Pro bei unterschiedlichen Auflösungen der Videoausgabe wiedergegeben wurde, vorgestellt. Wie auch in Abbildung 5.27, in der das Messergebnis für die PS4 Slim vorgestellt wird, erkennt man auch hier keinen nennenswerten Unterschied beim Energieverbrauch zwischen den drei Auflösungen der Videoausgabe.

Die beiden Abbildungen 5.25 und 5.28 zeigen den Energieverbrauch der beiden Spielekonsolen, wenn während eines aktiven Spielens des Spielertitels *Red Dead Redemption 2* im Hintergrund ein Audio-Stream über *Spotify* abgespielt wird. Beim Vergleich mit den Messergebnissen des aktiven Spielens von diesem Spielertitel auf beiden Spielekonsolen ist ein kleiner Anstieg des Energieverbrauchs von 2,5% bei der PS4 Pro und 0,5% bei der PS4 Slim zu beobachten.

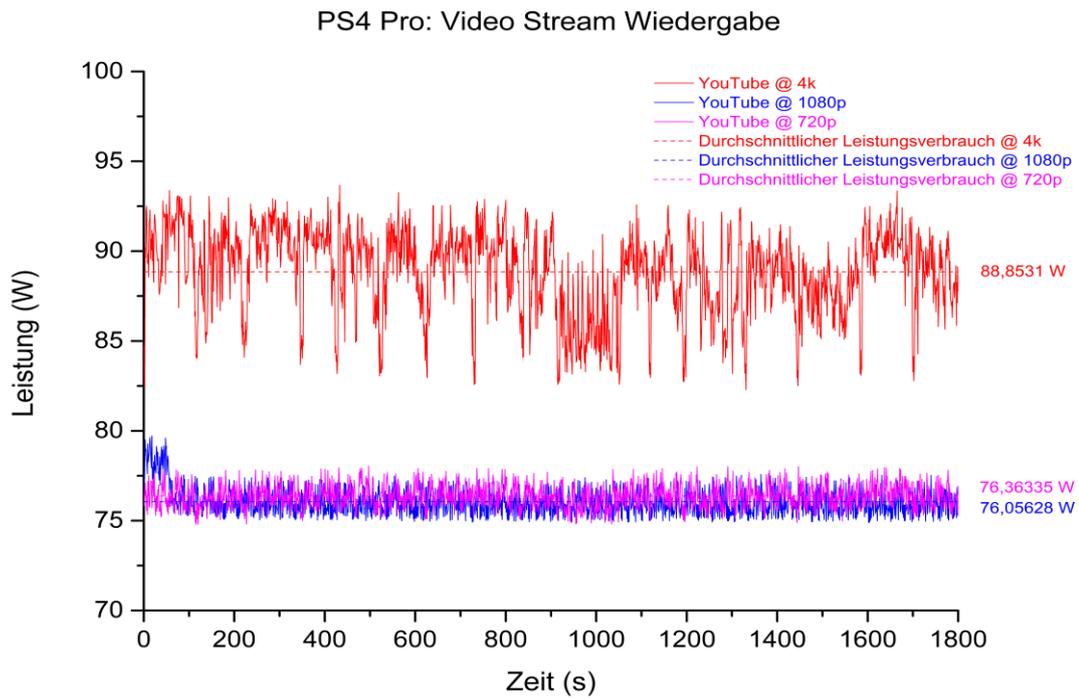


Abbildung 5.23: PS4 Pro, Video-Stream-Wiedergabe von *YouTube*.

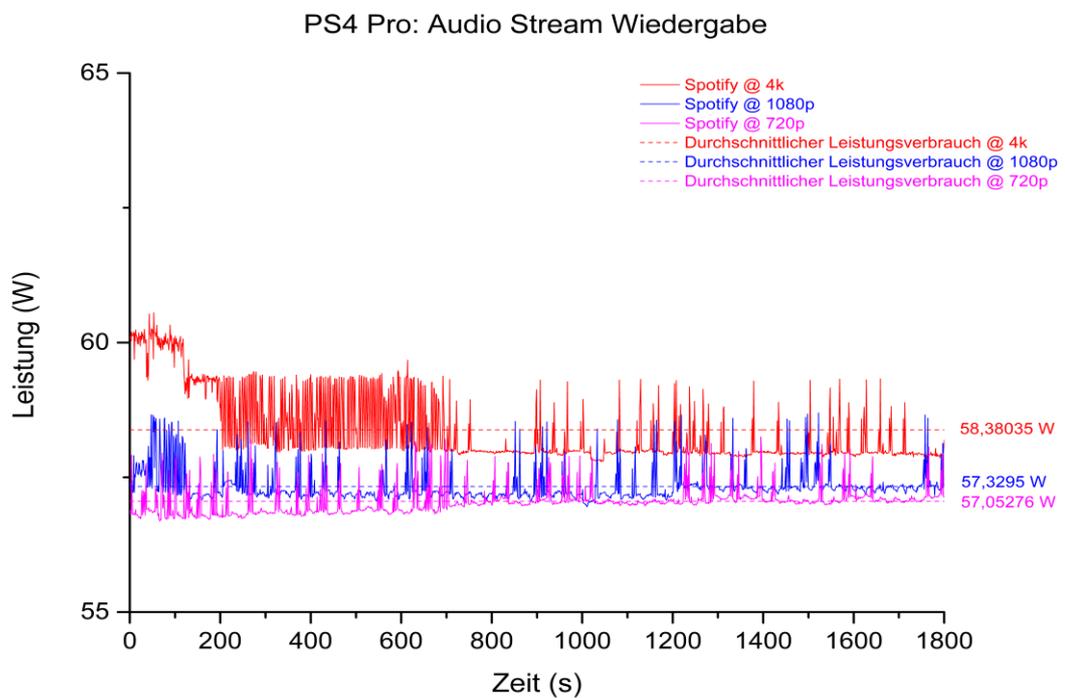


Abbildung 5.24: PS4 Pro, Audio-Stream-Wiedergabe von *Spotify*.

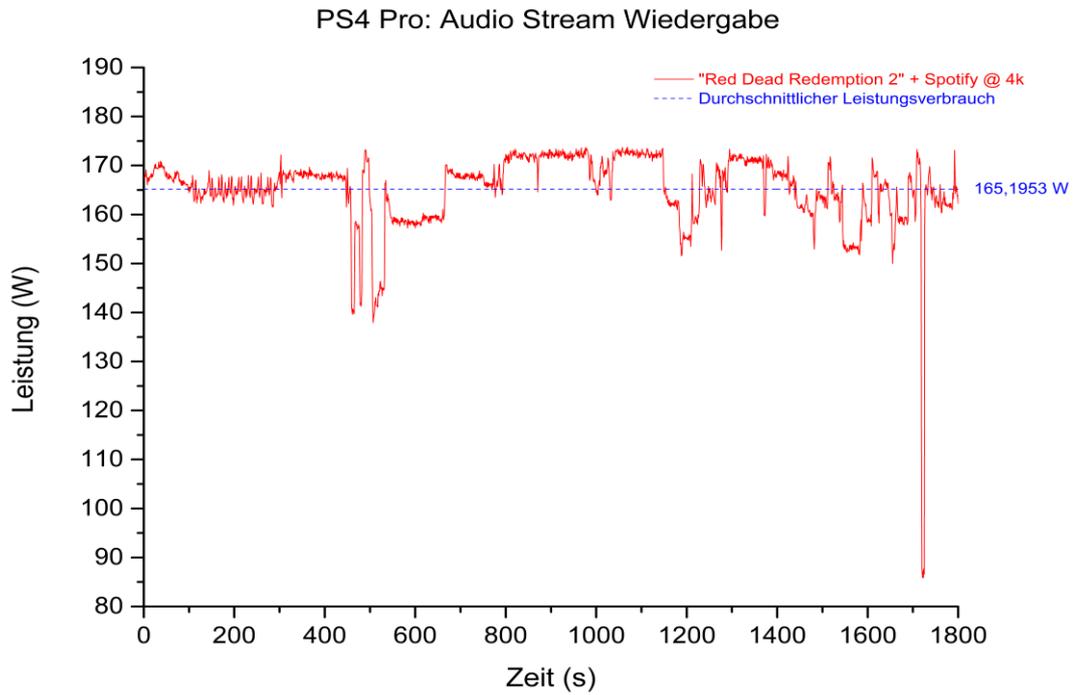


Abbildung 5.25: PS4 Pro, Audio-Stream-Wiedergabe von *Spotify* im Hintergrund, während das Spiel *Red Dead Redemption 2* aktiv gespielt wird.

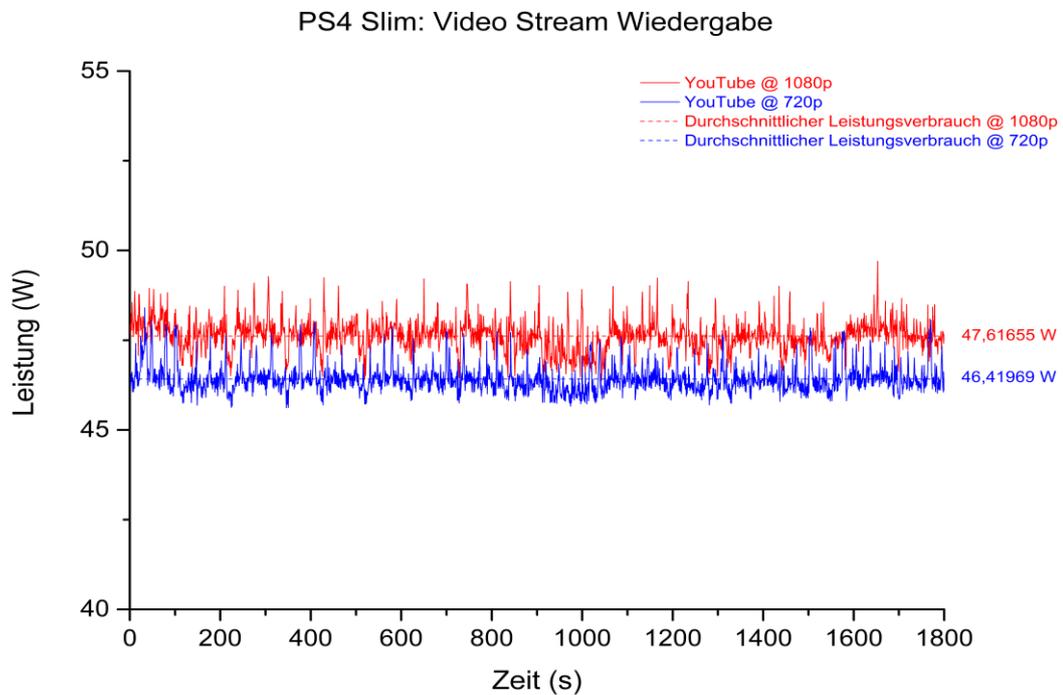


Abbildung 5.26: PS4 Slim, Video-Stream-Wiedergabe von *YouTube*.

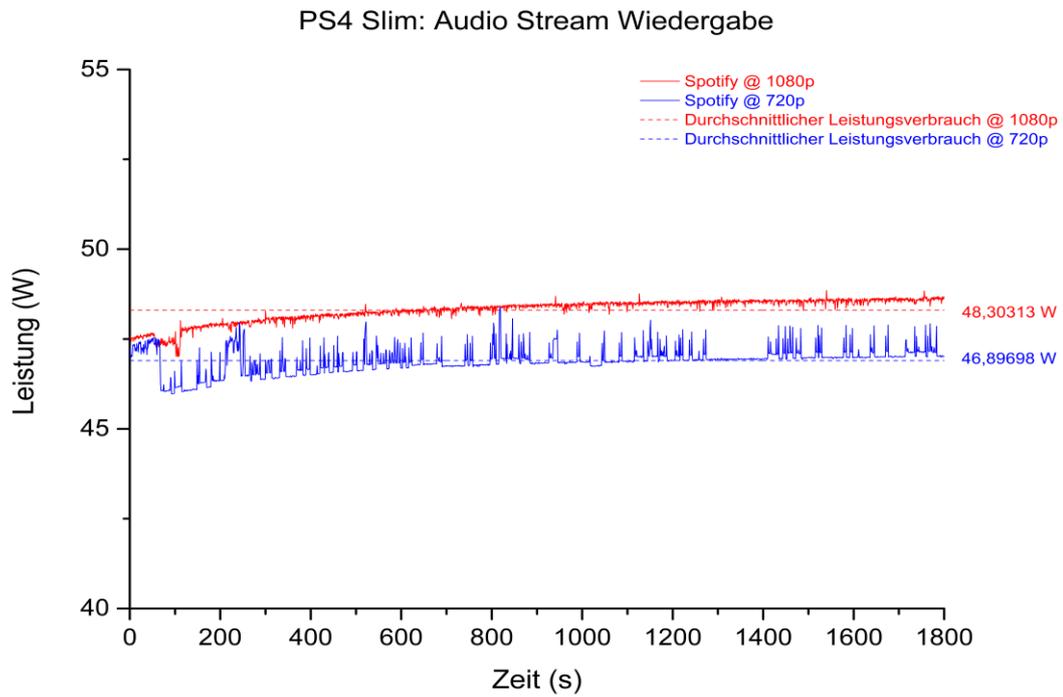


Abbildung 5.27: PS4 Slim, Audio-Stream-Wiedergabe von *Spotify*.

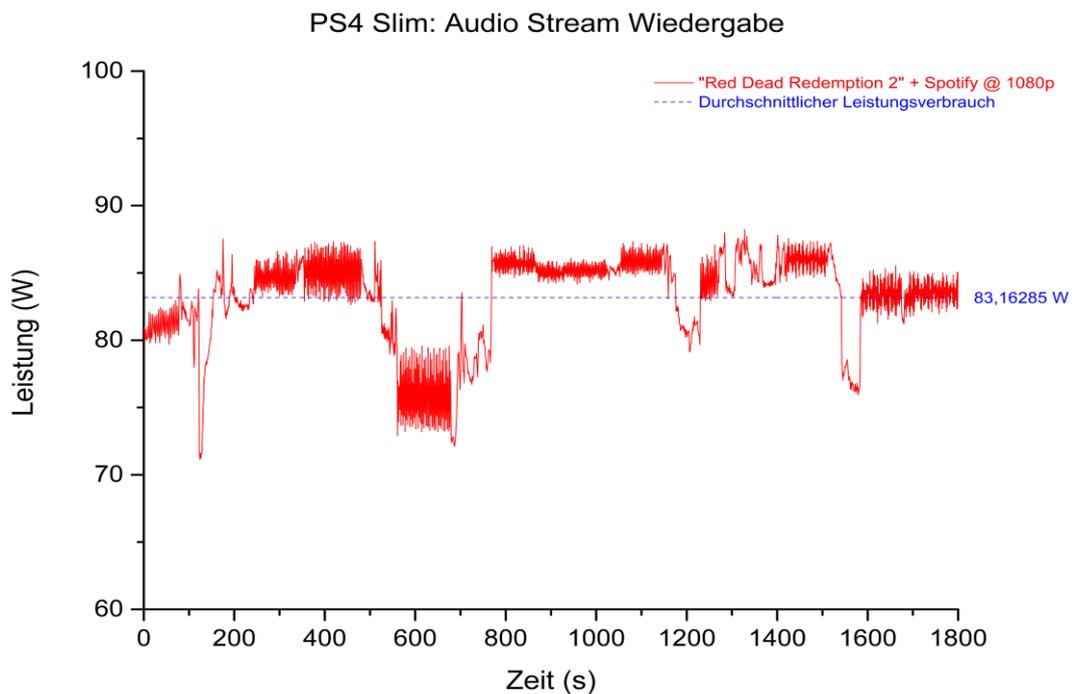


Abbildung 5.28: PS4 Slim, Audio-Stream-Wiedergabe von *Spotify* im Hintergrund, während das Spiel *Red Dead Redemption 2* aktiv gespielt wird.

5.5 PlayStation®4 Mess-Szenario: Navigation im Home-Menü

Dieses Mess-Szenario dient der Ermittlung des Energieverbrauchs der beiden Spielekonsolen PS4 Pro und PS4 Slim während der Navigation im Home-Menü. Dabei wurde jeweils bei unterschiedlichen Auflösungen der Videoausgabe das Home-Menü der Spielekonsole eine halbe Stunde lang durchstöbert. Es wird außerdem gezeigt, wie hoch der Energieverbrauch ist, wenn man vom aktiven Spielen ins Home-Menü wechselt und das Spiel im Hintergrund weiterlaufen lässt.

Folgende Menüeinstellungen sind, neben den bereits erwähnten Standard-Menüeinstellungen, hierfür notwendig:

Für die Auflösung in 4K Ultra HD:

Sound und Bildschirm	Videoausgabe-Einstellungen	Auflösung: 2160p
----------------------	----------------------------	------------------

Für die Auflösung in Full HD:

Sound und Bildschirm	Videoausgabe-Einstellungen	Auflösung: 1080p
----------------------	----------------------------	------------------

Für die Auflösung in HD ready:

Sound und Bildschirm	Videoausgabe-Einstellungen	Auflösung: 720p
----------------------	----------------------------	-----------------

Die Messungen mit dem Chroma Energiemessgerät sollten eine halbe Stunde lang dauern, wofür folgende Einstellung zusätzlich zu den bereits erwähnten Standard-Einstellungen notwendig ist:

Storing Measured Data	Setting store count: 1800
-----------------------	---------------------------

In den beiden Abbildungen 5.29 und 5.31 werden die Messergebnisse für den Energieverbrauch durch die Navigation im Home-Menü der PS4 Pro und der PS4 Slim präsentiert. Es ist ersichtlich, dass sich in Bezug auf den Energieverbrauch die Auflösungen Full HD und HD ready bei beiden Spielekonsolen kaum voneinander unterscheiden. Einzig die Navigation im Home-Menü bei der 4K Ultra HD Auflösung hebt sich durch den erhöhten Energieverbrauch etwas hervor.

In Abbildung 5.30 wird gezeigt, wie hoch der Energieverbrauch der PS4 Pro ist, wenn man vom aktiven Spielen von *Red Dead Redemption 2* bei der 4K Ultra HD Auflösung durch das Betätigen des PS-Knopfes auf dem Spiel-Controller zurück ins Home-Menü wechselt und das Spiel nicht beendet.

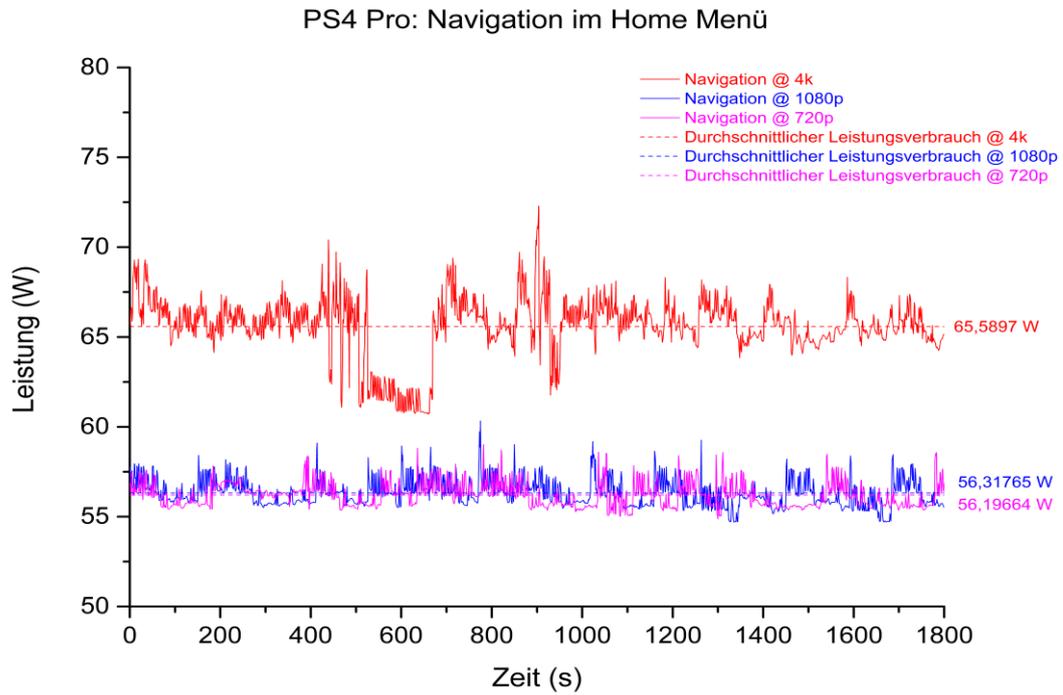


Abbildung 5.29: PS4 Pro, Navigation im Home-Menü.

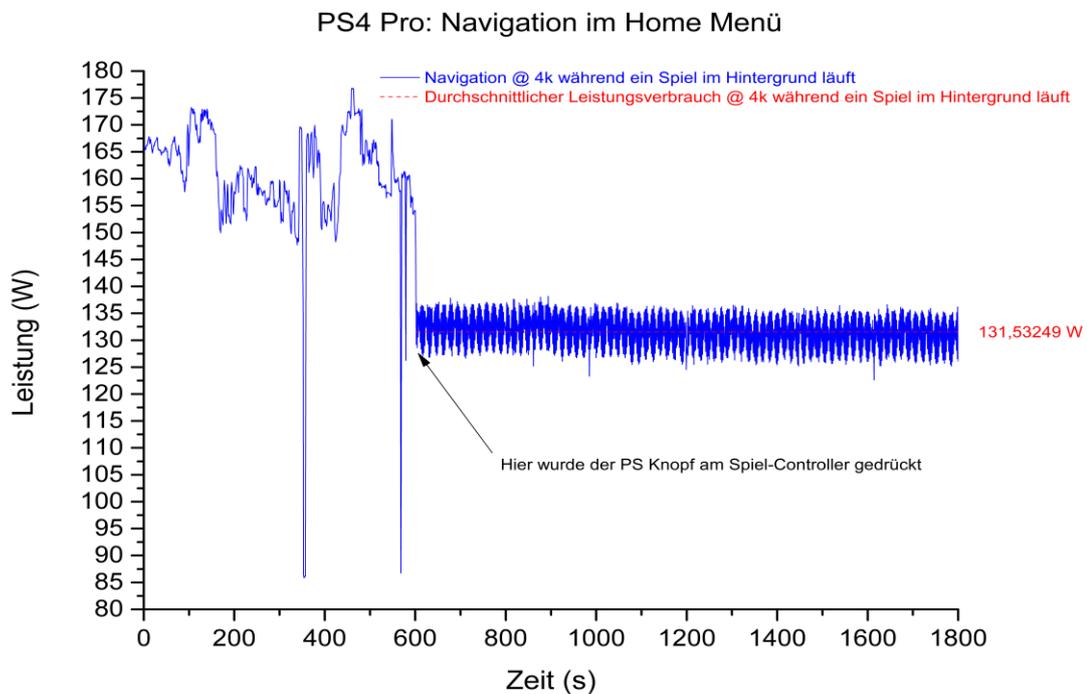


Abbildung 5.30: PS4 Pro, Navigation im Home-Menü, während das Spiel *Red Dead Redemption 2* im Hintergrund läuft.

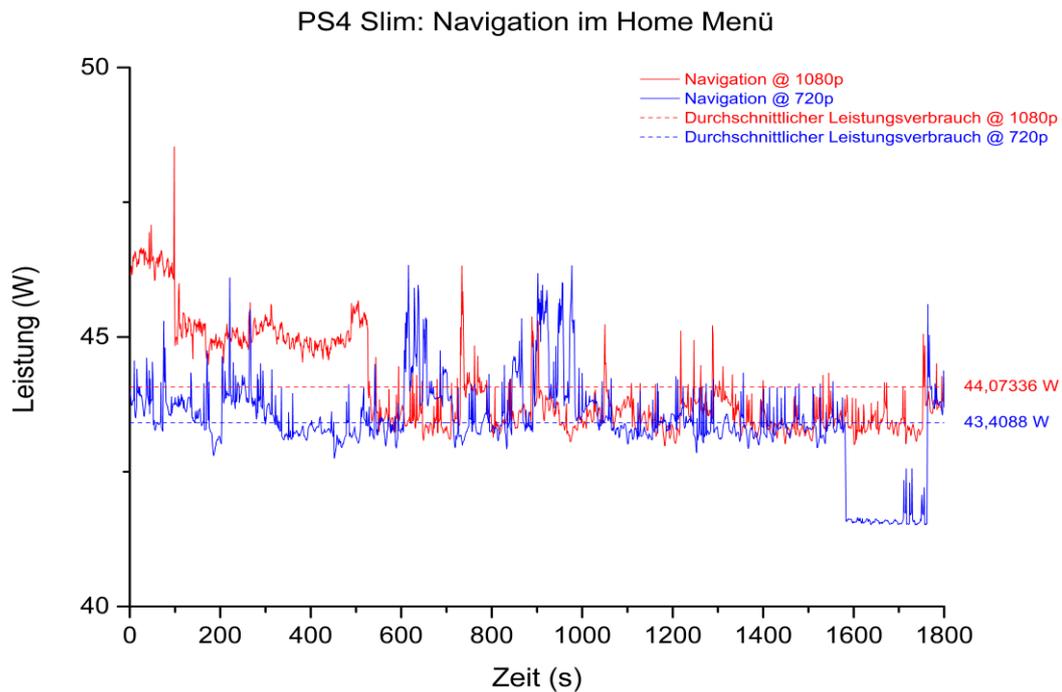


Abbildung 5.31: PS4 Slim, Navigation im Home-Menü

5.6 PlayStation®4 Mess-Szenario: PS Remote Play

PS Remote Play ist eine Funktion auf den *PlayStation®4* Spielekonsolen, die dem Benutzer ermöglicht, installierte Spiele auf andere Geräte wie Handys, Tablets, Laptops, PCs oder andere *PlayStation®4* Spielekonsolen zu streamen. Dafür muss die Spielekonsole eingeschaltet und mit dem anderen Gerät über das lokale Netzwerk oder das Internet verbunden sein, während das Spiel gestreamt wird.

Bei diesem Mess-Szenario wird das Spiel *Red Dead Redemption 2* auf einen Laptop mit Hilfe des Programms *PS4 Remote Play* eine halbe Stunde lang gestreamt und der dabei auftretende Energieverbrauch auf der jeweiligen Spielekonsole ermittelt. Die Spielekonsole und der Laptop sind hierfür über das lokale kabellose Netzwerk miteinander verbunden. Der Energieverbrauch des verwendeten Laptops wird hierbei nicht ermittelt, da dieser nicht Gegenstand der Untersuchung ist.

Folgende Menüeinstellungen auf den Spielekonsolen sind, neben den bereits erwähnten Standard-Menüeinstellungen, hierfür notwendig:

Für die Auflösung in 4K Ultra HD:

Sound und Bildschirm	Videoausgabe-Einstellungen	Auflösung: 2160p
----------------------	----------------------------	------------------

Für die Auflösung in Full HD:

Sound und Bildschirm	Videoausgabe-Einstellungen	Auflösung: 1080p
----------------------	----------------------------	------------------

Für die Auflösung in HD ready:

Sound und Bildschirm	Videoausgabe-Einstellungen	Auflösung: 720p
----------------------	----------------------------	-----------------

Die Messungen mit dem Chroma Energiemessgerät sollten eine halbe Stunde lang dauern, wofür folgende Einstellung zusätzlich zu den bereits erwähnten Standard-Einstellungen notwendig ist:

Storing Measured Data	Setting store count: 1800
-----------------------	---------------------------

Abbildung 5.32 zeigt das ermittelte Messergebnis der PS4 Pro während der Spieletitel *Red Dead Redemption 2* bei der 4K Ultra HD und der Full HD Auflösung auf einen Laptop gestreamt wurde. Es ist klar ersichtlich, dass hier wie beim aktiven Spielen der Energieverbrauch bei der höheren Auflösung höher ist. Allerdings wurde dabei auf dem Laptop das Spiel von der PS4 Pro höchstens in der Full HD Auflösung gestreamt. Hier kann man vor dem Starten der Funktion *PS Remote Play* auf die niedrigere Auflösung auf der Spielekonsole wechseln, um so den unnötigen Mehrverbrauch von Energie zu vermeiden. Abbildung 5.33 zeigt das Messergebnis der PS4 Slim, die den gleichen Spieletitel auf einen Laptop streamt. Hier wurde der Energieverbrauch bei den Auflösungen Full HD und HD ready ermittelt, während der Stream auf dem Laptop nur in HD ready zur Verfügung stand. Dabei war kein Unterschied in Bezug auf den Energieverbrauch zwischen den beiden Auflösungen zu verzeichnen.

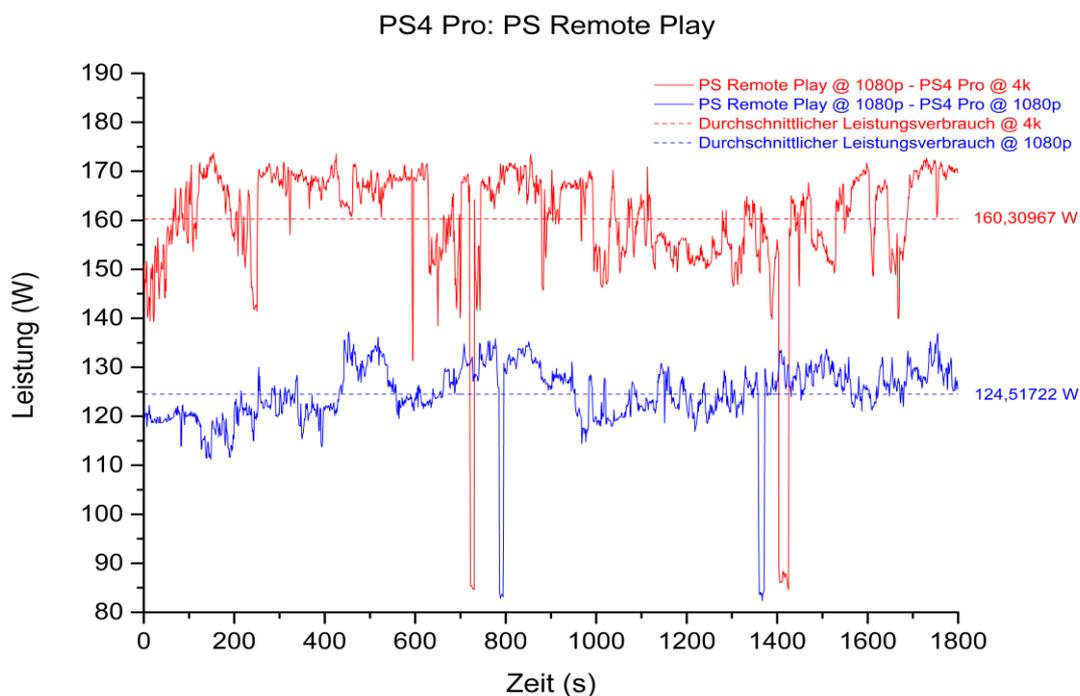


Abbildung 5.32: PS4 Pro, *PS Remote Play* von *Red Dead Redemption 2*.

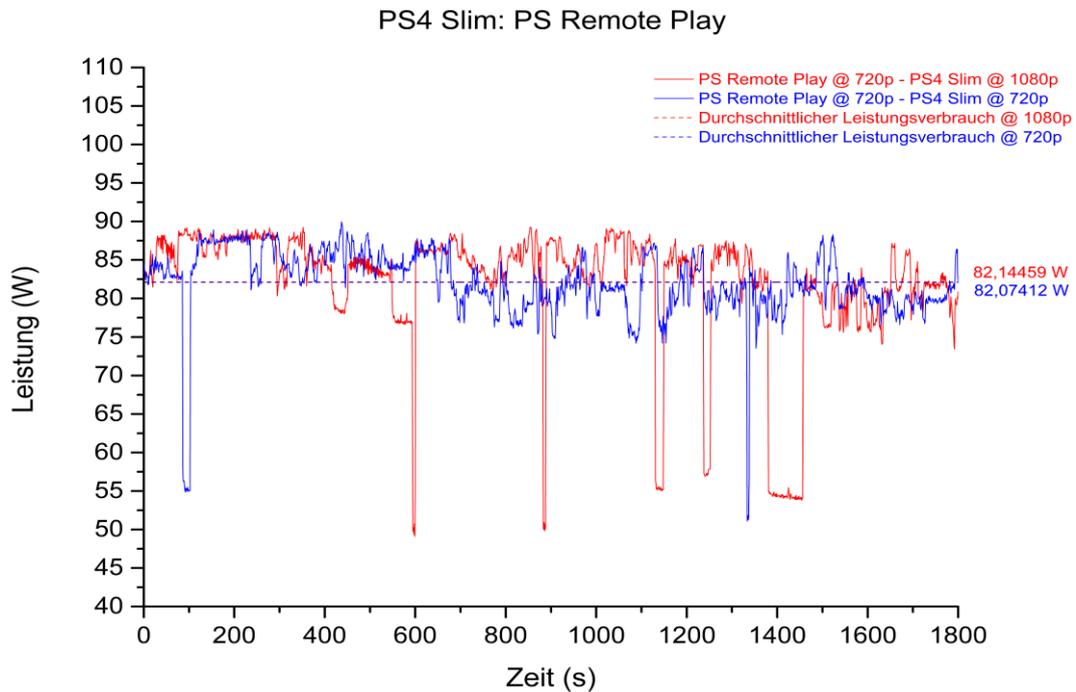


Abbildung 5.33: PS4 Slim, PS Remote Play von Red Dead Redemption 2.

5.7 Playstation®4 Mess-Szenario: Share Play

Bei diesem Mess-Szenario wird der Energieverbrauch der PS4 Pro und der PS4 Slim, der durch die Funktion *Share Play* entstehen kann, ermittelt. Diese Funktion ermöglicht es, im Party-Bereich des PS4 Home-Bildschirms einen Freund beim aktiven Spielen zuschauen zu lassen oder ihm die Kontrolle über ein aktives Spiel zu geben, auch wenn dieser das geteilte Spiel nicht besitzt. Hier gewährt die eine Spielekonsole der anderen die Kontrolle über das Spiel *Fortnite* eine halbe Stunde lang, und es wird der dabei entstehende Energieverbrauch der Hauptkonsole ermittelt.

Folgende Menüeinstellungen auf den Spielekonsolen sind, neben den bereits erwähnten Standard-Menüeinstellungen, hierfür notwendig:

Für die Auflösung in 4K Ultra HD:

Sound und Bildschirm	Videoausgabe-Einstellungen	Auflösung: 2160p
----------------------	--	------------------

Für die Auflösung in Full HD:

Sound und Bildschirm	Videoausgabe-Einstellungen	Auflösung: 1080p
----------------------	--	------------------

Für die Auflösung in HD ready:

Sound und Bildschirm	Videoausgabe-Einstellungen	Auflösung: 720p
----------------------	----------------------------	-----------------

Die Messungen mit dem Chroma Energiemessgerät sollten eine halbe Stunde lang dauern, wofür folgende Einstellung zusätzlich zu den bereits erwähnten Standard-Einstellungen notwendig ist:

Storing Measured Data	Setting store count: 1800
-----------------------	---------------------------

Die Abbildungen 5.34 und 5.35 zeigen die Messergebnisse für die PS4 Pro und PS4 Slim, während der Spieletitel *Fortnite* geteilt wurde, indem die komplette Kontrolle über das Spiel einem Spieler auf einer anderen Spielekonsole übergeben wurde. Man erkennt hier sofort die Ähnlichkeit beim Energieverbrauch zum aktiven Spielen. Die höhere Auflösung bewirkte auch hier den höheren Leistungsverbrauch. Zu diesem Energieverbrauch wurde allerdings nicht der Leistungsverbrauch der Spielekonsole mitberücksichtigt, mit der der Spieletitel geteilt wurde.

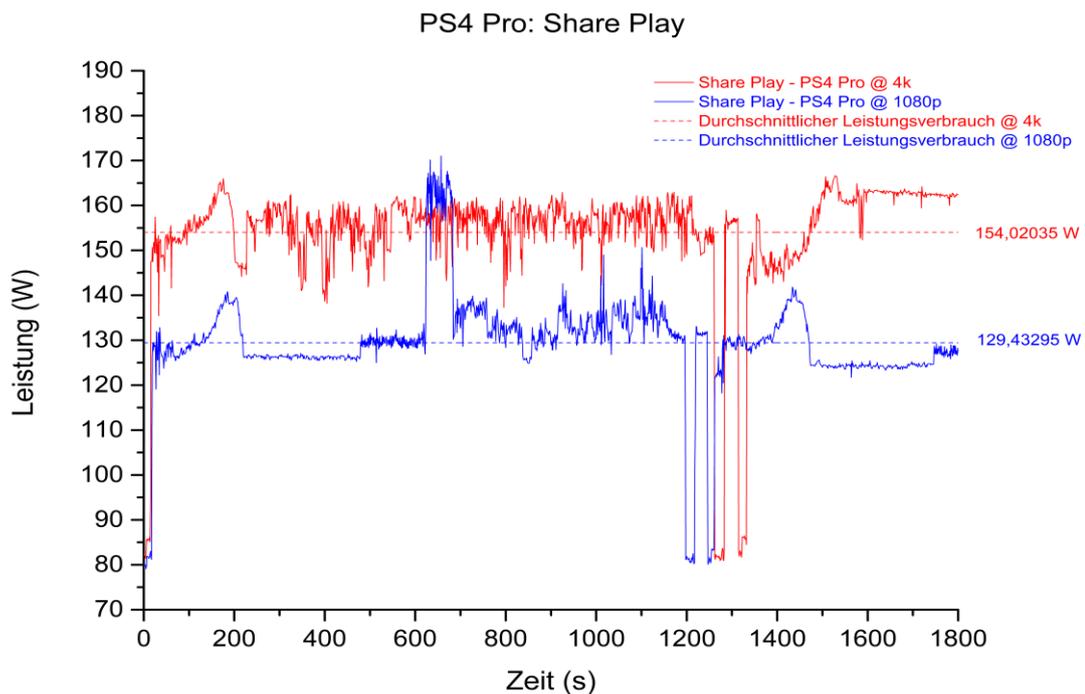
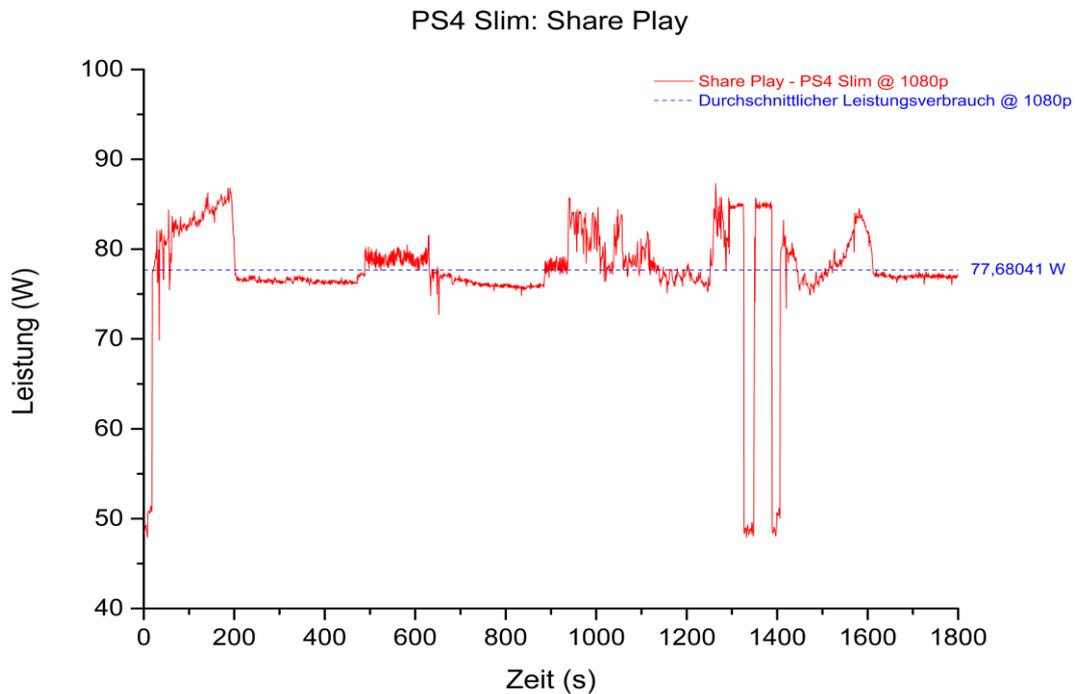


Abbildung 5.34: PS4 Pro, *Share Play* von *Fortnite*.

Abbildung 5.35: PS4 Slim, *Share Play* von *Fortnite*.

5.8 PlayStation®4 Mess-Szenario: PS Now

Die Funktion *PlayStation Now* (PS Now) ist ein abonnierbarer Online-Dienst, der dem Abonnenten die Möglichkeit bietet bestimmte *PlayStation*-Spiele zu streamen und lokal auf der eigenen Spielekonsole oder einem PC zu spielen. Dabei hängt die maximale Auflösung von Full HD vom jeweiligen Spieletitel ab. Manche Spieletitel können auch heruntergeladen und lokal gespeichert werden, um dann offline gespielt werden zu können. Bei diesem Mess-Szenario wird der Energieverbrauch ermittelt, der während des Spielens eines gestreamten Spieletitels auf der PS4 Pro und der PS4 Slim entsteht. Hier wird allerdings der Energieverbrauch, der durch den Streaming-Dienst selbst verursacht wird, nicht berücksichtigt.

Folgende Menüeinstellungen auf den Spielekonsolen sind, neben den bereits erwähnten Standard-Menüeinstellungen, hierfür notwendig:

Für die Auflösung in 4K Ultra HD:

Sound und Bildschirm	Videoausgabe-Einstellungen	Auflösung: 2160p
----------------------	--	------------------

Für die Auflösung in Full HD:

Sound und Bildschirm	Videoausgabe-Einstellungen	Auflösung: 1080p
----------------------	--	------------------

Die Messungen mit dem Chroma Energiemessgerät sollten eine halbe Stunde lang dauern, wofür folgende Einstellung zusätzlich zu den bereits erwähnten Standard-Einstellungen notwendig ist:

Storing Measured Data	Setting store count: 1800
-----------------------	---------------------------

Die Abbildungen 5.36 und 5.37 zeigen die Messergebnisse für den Energieverbrauch auf den Spielkonsolen PS4 Pro und PS4 Slim, während der Spielertitel *Mortal Kombat X* über PS Now gestreamt und im Story-Modus gespielt wurde. Man erkennt bei der PS4 Pro, dass zwischen den Auflösungen der Videoausgabe kein nennenswerter Unterschied besteht, während bei der PS4 Slim der durchschnittliche Leistungsverbrauch bei der Full HD Auflösung der Videoausgabe 58 Watt beträgt.

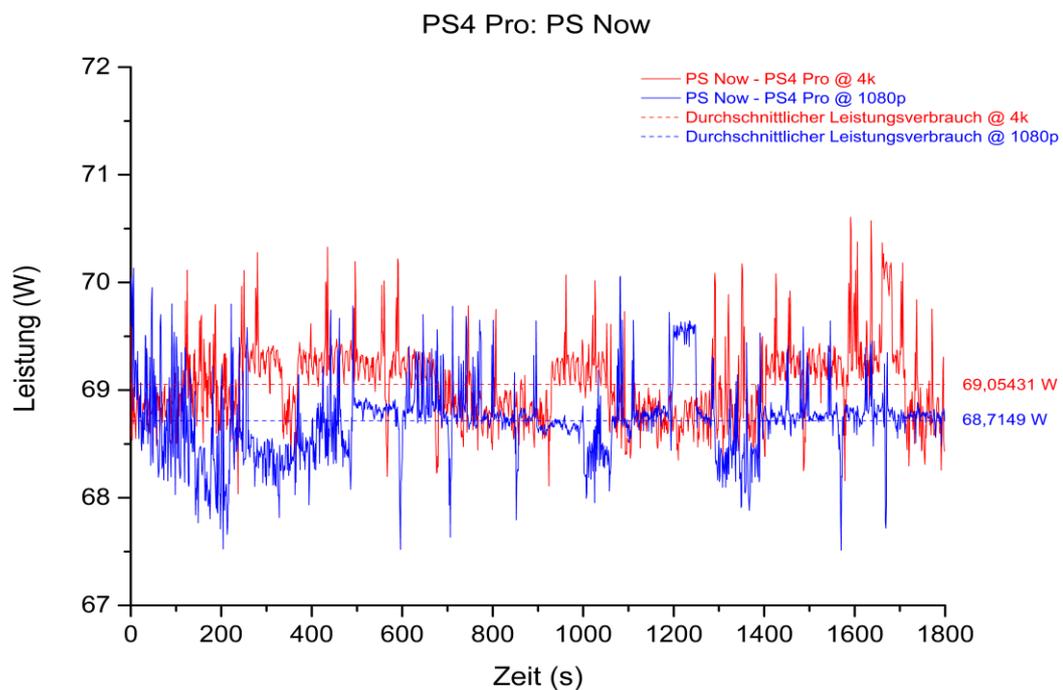
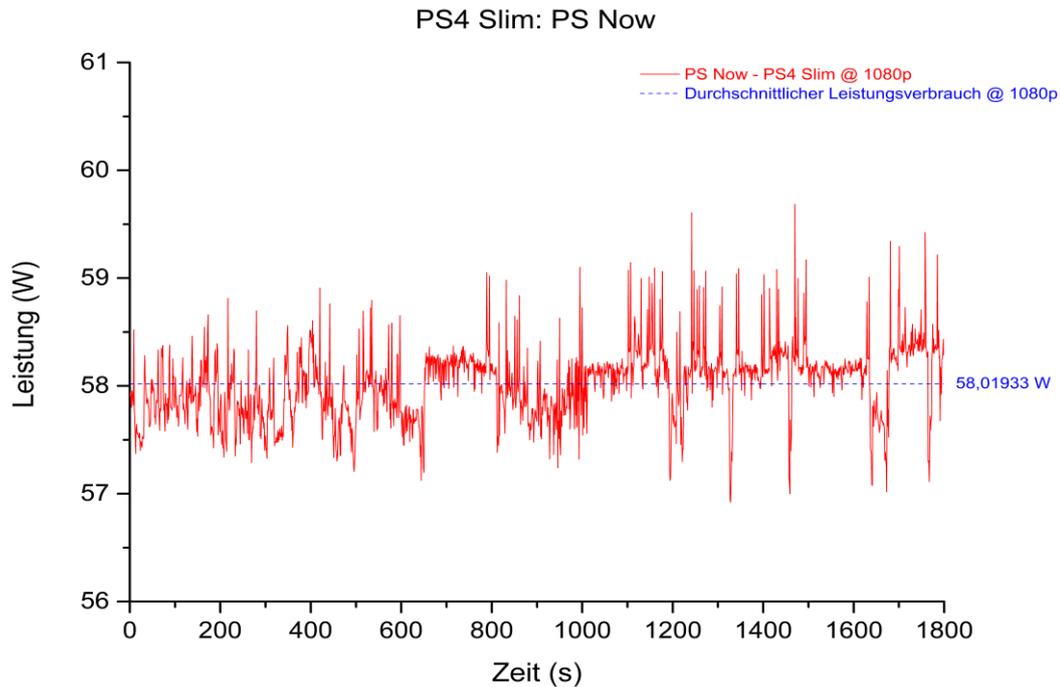


Abbildung 5.36: PS4 Pro, PS Now: *Mortal Kombat X*.

Abbildung 5.37: PS4 Slim, PS Now: *Mortal Kombat X*.

5.9 PlayStation®4 Mess-Szenario: HDD vs. SSD

Schon in der intensiven Vorbereitungsphase des empirischen Teils dieser Diplomarbeit und während der Durchführung der hier vorgestellten Mess-Szenarien kam immer wieder die Frage auf, was man als Endbenutzer an der Hardware der Spielekonsole selbst verändern kann, um Energie zu sparen bzw. um die langen Lade- und Installationszeiten von manchen Spieletiteln wie zum Beispiel *Red Dead Redemption 2* zu verkürzen. Die einzige Komponente, die man selbst durch eine technologisch weiter entwickelte austauschen kann, ist die interne Festplatte, auf der das Betriebssystem und die installierten Spiele gespeichert sind. Der Austausch der internen HDD durch eine neue SSD in der Spielekonsole wirkt sich allerdings weniger auf den Energieverbrauch als auf die teilweise sehr langen Ladezeiten von Spieletiteln aus. Genau dieser interessanten Fragestellung geht man in diesem Mess-Szenario nach, wobei nur die PS4 Pro Spielekonsole und die 4K Ultra HD Auflösung der Videoausgabe für die folgenden Messungen verwendet werden. Der Grund für die Wahl der stärkeren Spielekonsole liegt in der verbesserten Datenträger-Schnittstelle. Diese wurde nämlich von der SATA-II, die bei der ursprünglichen *PlayStation®4* verbaut war, auf die SATA-III Schnittstelle geändert. SATA steht hier für Serial ATA, während ATA das Übertragungsprotokoll *AT Attachment* kennzeichnet.

Es werden hier, im Gegensatz zu den in den vorigen Kapiteln vorgestellten Mess-Szenarien, die durch die SRI-Version 2.6.3 für die Ermittlung des Energieverbrauchs empfohlene Mess-Szenarien mit einer Dauer von fünf Minuten verwendet.

Das Modell der 1 Terabyte (TB) großen SSD, die hier für den Austausch verwendet wird, ist von dem Hersteller *Samsung* und trägt die Bezeichnung *850 PRO*. Ihre maximale sequentielle Lesegeschwindigkeit liegt bei 550 Megabyte (MB) pro Sekunde (s) [56], und die maximale sequentielle Schreibgeschwindigkeit bei 520 MB/s.

Folgende Menüeinstellungen auf der PS4 Pro sind, neben den bereits erwähnten Standard-Menüeinstellungen, hierfür notwendig:

Für die Auflösung in 4K Ultra HD:

Sound und Bildschirm	Videoausgabe-Einstellungen	Auflösung: 2160p
----------------------	----------------------------	------------------

Die Messungen mit dem Chroma Energiemessgerät sollten fünf Minuten lang dauern, wofür folgende Einstellung zusätzlich zu den bereits erwähnten Standard-Einstellungen notwendig ist:

Storing Measured Data	Setting store count: 300
-----------------------	--------------------------

Abbildung 5.38 zeigt die zeitlichen Verläufe der pro Sekunde aufgenommenen Leistung durch die PS4 Pro von dem Einschalten bis zum Home-Menü, einmal mit der originalen HDD und einmal mit der neuen SSD. Man erkennt, dass beim Vergleich zwischen dem durchschnittlichen Energieverbrauch durch die originale HDD und durch die neue SSD kaum ein Unterschied bei der Navigation im Home-Menü besteht. In Tabelle 5.6 werden auch andere Mess-Szenarien zum Vergleich vorgestellt, wobei man auch hier nur einen geringen bis gar keinen Unterschied beim Energieverbrauch zwischen den beiden Datenträgern in der Spielekonsole feststellen kann.

Wo sich allerdings ein Unterschied deutlich bemerkbar macht, wird in Abbildung 5.39 gezeigt. Darin wird der Start des Spieletitels *Red Dead Redemption 2* sowohl von der HDD als auch von der SSD gezeigt. Man erkennt deutlich, dass das Spiel, wenn es von der eingebauten SSD gestartet wird, etwa eine Minute früher zum Spielen bereit ist. Ebenso hat sich während des Mess-Szenarios gezeigt, dass die Ingame-Ladezeiten, also jene Zeiten die auftraten, wenn man zum Beispiel während des aktiven Spielens eine neue Mission gestartet hat, ebenso kürzer waren.

Wenn man bedenkt, dass die digitale Version des Spieletitels *Red Dead Redemption 2* auf den beiden *PlayStation®4* Spielekonsolen 149 GB Festplattenspeicher benötigt, ist klar ersichtlich, dass durch einen langsamen Datenträger der Installationsprozess dementsprechend sehr lange dauern kann.

Bei solchen großen Spieletiteln kommt noch hinzu, dass die Spieler mit langsamen Internetverbindungen eher dazu geneigt sind, den bereits vorgestellten *Ruhemodus* der Spielekonsole mit der Option *Mit dem Internet verbunden bleiben* immer aktiv zu lassen. Um sich die langen Ladezeiten der Spieletitel zu ersparen, wird man auch eher dann auf die Option im *Ruhemodus Anwendung Anhalten* zurückgreifen. Der Energieverbrauch dieser beiden Funktionen des *Ruhemodus* wurde bereits in den vorangehenden Mess-Szenarien vorgestellt.

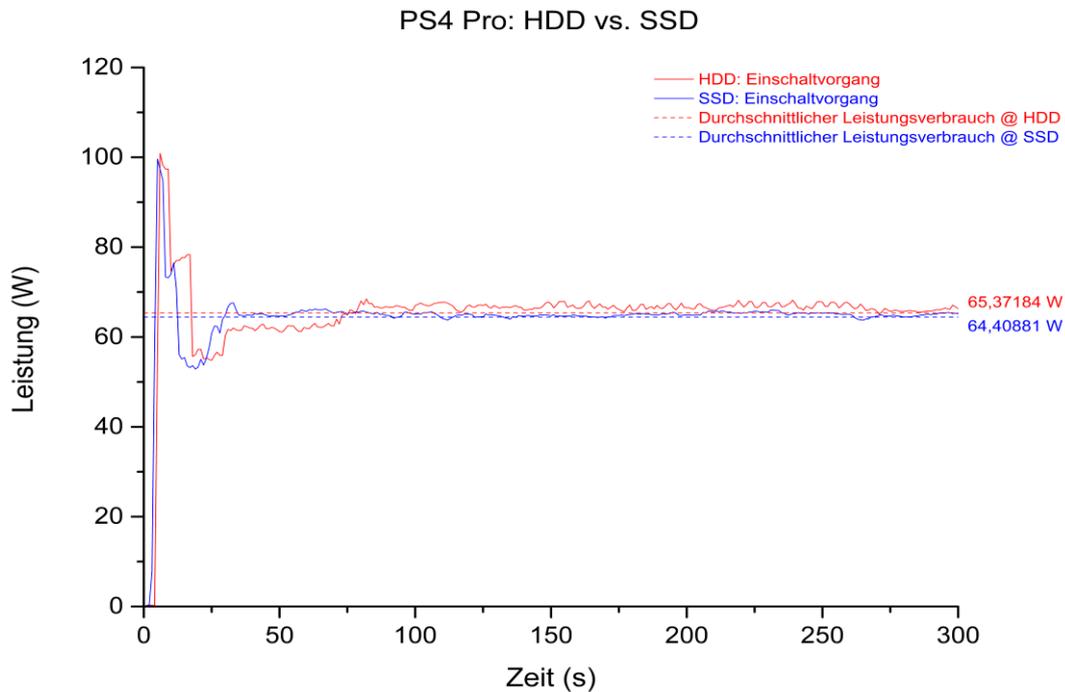


Abbildung 5.38: PS4 Pro, Vergleich des Einschaltvorgangs der Spielekonsole, einmal mit der originalen HDD und einmal mit der neuen SSD.

Tabelle 5.6: Vergleich des Energieverbrauchs pro Stunde der PS4 Pro zwischen der neuen SSD und der originalen HDD, Messungen gemäß der SRI-Version 2.6.3.

Mess-Szenario bei 4K Ultra HD	SSD	HDD
Aktives Spielen: <i>FIFA 19</i>	0,135 kWh	0,137 kWh
Aktives Spielen: <i>Need For Speed Payback</i>	0,137 kWh	0,137 kWh
Aktives Spielen: <i>Red Dead Redemption 2</i>	0,153 kWh	0,161 kWh
Aktives Spielen: Durchschnittswert	0,142 kWh	0,145 kWh
Navigation im Home-Menü	0,064 kWh	0,066 kWh
Blu-Ray Disc-Wiedergabe von <i>Avatar - Aufbruch nach Pandora</i>	0,071 kWh	0,072 kWh
DVD Wiedergabe von <i>Avatar - Aufbruch nach Pandora</i>	0,079 kWh	0,082 kWh
Video Stream Wiedergabe von <i>YouTube</i>	0,085 kWh	0,089 kWh
Video Stream Wiedergabe von <i>Game of Thrones</i>	0,083 kWh	0,086 kWh
Audio Stream Wiedergabe von <i>Spotify</i>	0,056 kWh	0,057 kWh
Ruhemodus mit Spiel-Controller aufladen	0,009 kWh	0,009 kWh
Ruhemodus mit aktiver Option <i>Stromversorgung der USB-Ports</i>	0,005 kWh	0,005 kWh
Ruhemodus mit einer Update-Installation	0,053 kWh	0,053 kWh
Ruhemodus mit aktiver Option <i>Mit dem Internet verbunden</i>	0,001 kWh	0,001 kWh
Ruhemodus mit aktiver Option <i>Anwendung anhalten</i>	0,002 kWh	0,002 kWh

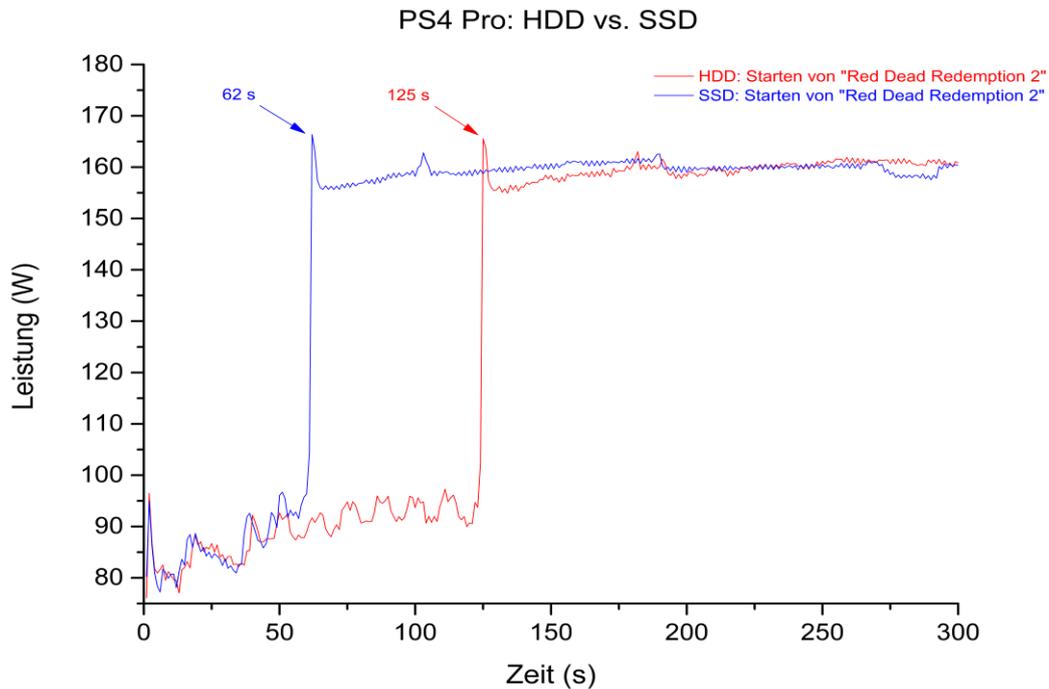


Abbildung 5.39: PS4 Pro, Starten des Spieletitels *Red Dead Redemption 2*, Vergleich zwischen der originalen HDD und der neuen SSD.

5.10 PlayStation®4 Mess-Szenario: PlayStation®VR

Die *PlayStation®VR* ist ein Bildwiedergabegerät, welches man an die Spielekonsole anschließen kann, um VR-Spiele und VR-Videos durch die Simulation einer virtuellen Realität (VR) erleben zu können. Das Headset der *PlayStation®VR*, rechts in Abbildung 5.40 zu sehen, wird über die sogenannte *Prozessoreinheit*, die kleine Box links in Abbildung 5.40 zu sehen, mit der Spielekonsole und dem Fernseher gleichzeitig verbunden und vom Spieler auf dem Kopf getragen. Die *PlayStation®VR* besitzt eine maximale Auflösung von Full HD mit einer maximalen Bildwiederholrate von 120 Hz und bewirkt, wenn sie eingeschaltet wird, auch wenn vorher die 4K Ultra HD Auflösung auf der PS4 Pro eingestellt war, eine Adaptierung der Auflösung auf die Spielekonsole mit folgender Mitteilung: „*Solange du das VR-Headset verwendest, ist diese Einstellung auf 1920x1080 beschränkt.*“. Die beiden Spielekonsolen passen immer, wie bereits erwähnt, ihre Auflösung der Videoausgabe automatisch der maximal möglichen Auflösung des angeschlossenen Bildwiedergabegeräts an.



Abbildung 5.40: *PlayStation®VR*, Produktserie CUH-ZVR2.

Auch wenn die *PlayStation®VR* nicht explizit in der SRI-Version 2.6.3 erwähnt wird, kann ihr Energieverbrauch, der bei ihrer Verwendung entsteht, zum bereits vorgestellten Energieverbrauch der beiden Spielekonsolen dazu addiert werden, wodurch im Endeffekt der gesamte Energieverbrauch höher ausfällt. In Tabelle 5.7 werden die Mess-Ergebnisse dieses Mess-Szenarios vorgestellt und sie zeigen den Energieverbrauch der *PlayStation®VR* in unterschiedlichen Situationen. Wird das Headset zum Beispiel eingeschaltet, aber nicht aufgesetzt, dann schalten sich die zwei internen Displays automatisch ab. Der Hersteller hat hierfür einen Sensor verbaut, der überprüft, ob das Headset nach dem Einschalten aufgesetzt wird oder nicht, um unnötigen Energieverbrauch zu vermeiden. Beim aktiven Spielen wurde bei der PS4 Pro ein durchschnittlicher Mittelwert von 138,47 W als Energieverbrauch ermittelt, während bei der PS4 Slim 72,74 W gemessen wurden.

Die Messungen dauerten jeweils eine halbe Stunde, wofür folgende Einstellung auf dem Energiemessgerät zusätzlich zu den bereits erwähnten Standard-Einstellungen notwendig ist:

Storing Measured Data

Setting store count: 1800

Tabelle 5.7: Arithmetische Mittelwerte der gemessenen Leistung in Watt der Sony PlayStation®VR.

Mess-Szenario	PlayStation®VR
Aktives Spielen mit der PS VR: <i>The Playroom VR</i> auf der PS4 Pro	16,97 W
Box und Headset sind an und aufgesetzt, Spielekonsole ist an	18,84 W
Box und Headset sind an und nicht aufgesetzt, Spielekonsole ist an	15,78 W
Box ist an und Headset ist aus und nicht aufgesetzt, Spielekonsole ist an	11,49 W
Box & Headset sind an und nicht aufgesetzt, Spielekonsole ist aus	3,66 W
PS VR ist im Standby, Spielekonsole ist aus	0,11 W

5.11 PlayStation®4 Messwerte nach den Vorgaben der SRI

In diesem Unterkapitel werden die Messwerte für die PS4 Pro und die PS4 Slim, die nach den Vorgaben der SRI-Version 2.6.3 für die Überprüfungsstudie „*Review Study of the Ecodesign Voluntary Agreement for the Product Group „Videogames Consoles“*“ [25] ermittelt wurden, zusammen mit den in den vorangehenden Kapiteln bereits vorgestellten Messwerten in den Tabellen 5.10 bis 5.14 präsentiert. Der Unterschied der beiden liegt einerseits in der Messdauer und andererseits in der Vorbereitungsphase der einzelnen Mess-Szenarien. Zum Vergleich stehen in den Tabellen 5.8 und 5.9 die von *Sony Interactive Entertainment Inc.* im Bericht zur Produkt-Konformität für das Jahr 2017 vorgestellten Messwerte [54] für die beiden *PlayStation®4* Spielekonsolen zur Verfügung. Auf der Homepage von *Sony Interactive Entertainment Inc.* [55] sind abgesehen von diesen mittlerweile auch weitere Messwerte in Bezug auf den Energieverbrauch zu finden, die allerdings erst nach der Veröffentlichung der Überprüfungsstudie aktualisiert und erweitert wurden.

Die beiden Tabellen 5.8 und 5.9 enthalten die Werte für den Energieverbrauch zwei unterschiedlicher Modelle der beiden Spielekonsolen PS4 Pro und PS4 Slim, die *Sony Interactive Entertainment Inc.* in ihrem Bericht zur Produkt-Konformität für das Jahr 2017 abgeliefert hat. Man erkennt sofort, dass die fünf Messwerte zwar die Vorgaben für den maximalen Energieverbrauch der SRI-Version 2.6.3 erfüllen, wenn man sie allerdings mit den Werten in den Tabellen 5.10 bis 5.14 vergleicht, erkennt man, dass einige Mess-Werte weit auseinander liegen. In den vorangehenden Kapiteln wurden die Messergebnisse übersichtshalber in Graphen präsentiert, damit die Leser auch die vielen Schwankungen beim Energieverbrauch während eines Mess-Szenarios zu sehen bekommen. Denn eine Zahl alleine, die den arithmetischen Mittelwert des Energieverbrauchs darstellt, ist inhaltlich bei Weitem nicht so aussagekräftig. Das wird besonders bei dem Mess-Szenario *Aktives Spielen* verdeutlicht. Auf dieser Tatsache beruhend lassen sich die Unterschiede bei den Messwerten in den Tabellen 5.8, 5.10, 5.11 und 5.12 für das aktive Spielen erklären. Wie bereits beschrieben, wurden hier unterschiedliche Spiele verwendet, die je nach Situation im Spiel, Auflösung oder Bildwiederholrate unterschiedlichen Energieverbrauch auf den Spielekonsolen bewirken können.

Was allerdings mit Skepsis betrachtet werden sollte, sind die Messergebnisse für die Disc-Wiedergabe in Tabelle 5.8. Wie bereits präsentiert sind bei diesen beiden Mess-Szenarien die Schwankungen beim Energieverbrauch eher gering einzuschätzen. Die Messwerte in Tabelle 5.8 entsprechen eher denen, die bei der Full HD Auflösung ermittelt wurden, als denen, die bei der 4K Ultra HD Auflösung

gemessen wurden. Gleiches gilt auch für die beiden Messergebnisse für die *Navigation* und das *Streaming HD (1080p)*.

Das volle Spektrum der möglichen Mess-Szenarien, die in dieser Diplomarbeit präsentiert werden, übersteigt bei Weitem die von der SRI-Version 2.6.3 vorgeschriebenen Vorgaben, die die Spielekonsolen Hersteller erfüllen müssen. Daher sollte in den nächsten SRI-Versionen für die neue Konsolengeneration zumindest der Energieverbrauch im *Ruhemodus* mit den unterschiedlichen Funktionen, wie das sogenannte *vernetzte Standby*, berücksichtigt werden, bei dem sich ein großer Energieverbrauch einstellen kann, ohne dass der Benutzer Kenntnis davon hat.

Tabelle 5.8: Messwerte des Energieverbrauchs der PS4 Pro, übernommen aus dem Bericht von Sony Interactive Entertainment Inc. zur Produkt-Konformität für das Jahr 2017 [54]. APD steht hier für Automatic Power Down, also für das automatische Ausschalten.

Mess-Szenario	PS4 Pro (CUH-7116A)	PS4 Pro (CUH-7016A)
Navigation	57,9 W	60,4 W
Media Playback DVD	50,8 W	54,1 W
Media Playback Blu-Ray Disc	55,4 W	59,5 W
Streaming HD (1080p)	56,5 W	59,3 W
Aktives Spielen	139,0 W	126,1 W
Navigation APD	Innerhalb 20 Minuten	Innerhalb 20 Minuten
Aktives Spielen APD	Innerhalb 20 Minuten	Innerhalb 20 Minuten
Disc-Wiedergabe APD	Innerhalb 240 Minuten	Innerhalb 240 Minuten
Stream-Wiedergabe APD	Innerhalb 240 Minuten	Innerhalb 240 Minuten

Tabelle 5.9: Messwerte des Energieverbrauchs der PS4 Slim, übernommen aus dem Bericht von Sony Interactive Entertainment Inc. zur Produkt-Konformität für das Jahr 2017 [54]. APD steht hier für Automatic Power Down, also für das automatische Ausschalten.

Mess-Szenario	PS4 Slim (CUH-2116A)	PS4 Slim (CUH-2016A)
Navigation	41,8 W	44,0 W
Media Playback DVD	42,1 W	43,8 W
Media Playback Blu-Ray Disc	45,8 W	48,5 W
Streaming HD (1080p)	47,0 W	48,4 W
Aktives Spielen	75,2 W	78,9 W
Navigation APD	Innerhalb 20 Minuten	Innerhalb 20 Minuten
Aktives Spielen APD	Innerhalb 20 Minuten	Innerhalb 20 Minuten
Disc-Wiedergabe APD	Innerhalb 240 Minuten	Innerhalb 240 Minuten
Stream-Wiedergabe APD	Innerhalb 240 Minuten	Innerhalb 240 Minuten

Tabelle 5.10: Arithmetische Mittelwerte in Watt der ermittelten Messwerte des Energieverbrauchs der Sony PlayStation®4 Pro mit der 4K Ultra HD Auflösung der Videoausgabe. Die rechte Spalte enthält die nach den Vorgaben der SRI-Version 2.6.3 ermittelten Messwerte. Die blau hinterlegten Messwerte sind die Vergleichswerte für Tabelle 5.8. APD in den letzten vier Zeilen steht für Automatisches Abschalten und ist in Sekunden (s) gemessen.

PS4 Pro Mess-Szenario	Medium	4K Ultra HD	nach SRI
Navigation im Home-Menü	N/A	65,5897	65,5998
Navigation + Passives Spielen	Red Dead Redemption 2	131,7586	
Spiel Installation	Red Dead Redemption 2	63,3650	
Disc-Wiedergabe Blu-Ray	Avatar	72,3098	72,2318
Disc-Wiedergabe DVD	Avatar / SRI: Conan der Zerstörer	81,6906	81,1065
Stream-Wiedergabe in HD	Game of Thrones S1E1	86,3842	86,3175
Stream-Wiedergabe in UHD	YouTube	88,8531	90,4948
Stream-Wiedergabe: Audio	Spotify	58,3804	58,1222
Aktives Spielen:	Red Dead Redemption 2	161,1304	162,8491
	FIFA 19	136,9485	135,8709
	Need for Speed Payback	136,9817	139,0097
	World of Tanks	115,9035	
	Fortnite	148,8337	
Aktives Spielen:	Durchschnittswert	139,9595	145,9099
Aktives Spielen + Audio Streaming	Red Dead Redemption 2 + Spotify	165,1953	
Stream-Wiedergabe + Passives Spielen	YouTube + Red Dead Redemption 2	87,4953	
PS Remote Play	Red Dead Redemption 2	160,3097	
PS Now	Mortal Kombat X	69,0543	
Share Play	Fortnite	154,0203	
Standby: Ausgeschaltet	N/A	0,2462	
Ruhemodus (Stromversorgung der USB Ports)	N/A	5,2476	
Ruhemodus (Mit dem Internet verbunden bleiben)	N/A	0,9464	
Ruhemodus (Anwendung Anhalten)	Red Dead Redemption 2	1,7737	
Ruhemodus (Alle Optionen aktiv)	N/A	6,4483	
Ruhemodus (Update-Installation)	Fortnite	52,6932	
Ruhemodus (Controller Aufladen)	N/A	9,0453	
Ruhemodus (Update-Installation + Controller Aufladen)	Red Dead Redemption 2	57,0667	
Navigation APD	N/A		1206 s
Aktives Spielen APD	Need for Speed Payback		1211 s
Disc-Wiedergabe APD	Blu-Ray: Avatar		14402 s
Stream-Wiedergabe APD	Game of Thrones S1E1		14415 s

Tabelle 5.11: Arithmetische Mittelwerte in Watt der ermittelten Messwerte des Energieverbrauchs der Sony PlayStation®4 Pro mit der Full HD Auflösung der Videoausgabe. Die rechte Spalte enthält die nach den Vorgaben der SRI-Version 2.6.3 ermittelten Messwerte. Die blau hinterlegten Messwerte sind die Vergleichswerte für Tabelle 5.8.

PS4 Pro Mess-Szenario	Medium	1080p	nach SRI
Navigation im Home-Menü	N/A	56,3177	56,1811
Navigation + Passives Spielen	Red Dead Redemption 2	112,5848	
Disc-Wiedergabe Blu-Ray	Avatar	53,7485	53,6556
Disc-Wiedergabe DVD	Avatar / SRI: Conan der Zerstörer	50,0182	50,1658
Stream-Wiedergabe in HD	Game of Thrones S1E1	54,3520	54,2315
Stream-Wiedergabe: Audio	Spotify	57,3295	57,6494
Aktives Spielen:	Red Dead Redemption 2	127,6201	128,5122
	FIFA 19	107,3856	106,6419
	Need for Speed Payback	121,4548	116,8763
	World of Tanks	107,0238	
	Fortnite	135,6710	
Aktives Spielen:	Durchschnittswert	119,8311	117,3435
PS Remote Play	Red Dead Redemption 2	124,5172	
PS Now	Mortal Kombat X	68,7149	
Share Play	Fortnite	129,4330	
Aktives Spielen Playstation®VR	The Playroom VR	138,4658	

Tabelle 5.12: Arithmetische Mittelwerte in Watt der ermittelten Messwerte des Energieverbrauchs der Sony PlayStation®4 Pro mit der HD ready Auflösung der Videoausgabe. Die rechte Spalte enthält die nach den Vorgaben der SRI-Version 2.6.3 ermittelten Messwerte. Die blau hinterlegten Messwerte sind die Vergleichswerte für Tabelle 5.8.

PS4 Pro Mess-Szenario	Medium	720p	nach SRI
Navigation im Home-Menü	N/A	56,1966	55,9422
Navigation + Passives Spielen	Red Dead Redemption 2	112,8682	
Disc-Wiedergabe Blu-Ray	Avatar	56,8389	56,8583
Disc-Wiedergabe DVD	Avatar / SRI: Conan der Zerstörer	49,8832	49,8658
Stream-Wiedergabe in SD	YouTube	76,3634	
Stream-Wiedergabe: Audio	Spotify	57,0528	57,7460
Aktives Spielen:	Red Dead Redemption 2	126,7560	128,7478
	FIFA 19	106,5567	106,4952
	Need for Speed Payback	114,5103	115,8039
	World of Tanks	108,9678	
	Fortnite	133,6565	
Aktives Spielen:	Durchschnittswert	118,0894	117,0156

Tabelle 5.13: Arithmetische Mittelwerte in Watt der ermittelten Messwerte des Energieverbrauchs der Sony PlayStation®4 (Slim) mit der Full HD Auflösung der Videoausgabe. Die rechte Spalte enthält die nach den Vorgaben der SRI-Version 2.6.3 ermittelten Messwerte. Die grün hinterlegten Messwerte sind die Vergleichswerte für Tabelle 5.9. APD in den letzten vier Zeilen steht für Automatisches Abschalten und ist in Sekunden (s) gemessen.

PS4 Slim Mess-Szenario	Medium	Full HD	nach SRI
Navigation im Home-Menü	N/A	44,0734	43,5771
Navigation + Passives Spielen	Red Dead Redemption 2	66,1849	
Spiel Installation	Red Dead Redemption 2	49,0973	
Disc-Wiedergabe Blu-Ray	Avatar	47,7231	47,4958
Disc-Wiedergabe DVD	Avatar / SRI: Conan der Zerstörer	42,4562	44,2416
Stream-Wiedergabe in HD	Game of Thrones S1E1	47,3605	47,7443
Stream-Wiedergabe: Audio	Spotify	48,3031	48,5433
Aktives Spielen:	Red Dead Redemption 2	82,7517	84,6962
	FIFA 19	64,3764	65,3729
	Need for Speed Payback	74,5048	75,2725
	World of Tanks	64,8141	
	Fortnite	79,2436	
Aktives Spielen:	Durchschnittswert	73,1381	75,1138
Aktives Spielen + Audio Streaming	Red Dead Redemption 2 + Spotify	83,1628	
Stream-Wiedergabe + Passives Spielen	YouTube + Red Dead Redemption 2	47,7642	
PS Remote Play	Red Dead Redemption 2	82,1446	
PS Now	Mortal Kombat X	58,0193	
Share Play	Fortnite	77,6804	
Aktives Spielen Playstation®VR	The Playroom VR	72,7439	
Standby: Ausgeschaltet	N/A	0,2436	
Ruhemodus (Stromversorgung der USB Ports)	N/A	4,4342	
Ruhemodus (Mit dem Internet verbunden bleiben)	N/A	0,9993	
Ruhemodus (Anwendung Anhalten)	Red Dead Redemption 2	1,8799	
Ruhemodus (Alle Optionen aktiv)	N/A	5,5103	
Ruhemodus (Update-Installation)	Fortnite	41,5458	
Ruhemodus (Controller Aufladen)	N/A	8,1993	
Ruhemodus (Update-Installation + Controller Aufladen)	Red Dead Redemption 2	44,6886	
Navigation APD	N/A		1230 s
Aktives Spielen APD	Need for Speed Pay-back		1211 s
Disc-Wiedergabe APD	Blu-Ray: Avatar		14423 s
Stream-Wiedergabe APD	Game of Thrones S1E1		14421 s

Tabelle 5.14: Arithmetische Mittelwerte in Watt der ermittelten Messwerte des Energieverbrauchs der Sony PlayStation®4 (Slim) mit der HD ready Auflösung der Videoausgabe. Die rechte Spalte enthält die nach den Vorgaben der SRI-Version 2.6.3 ermittelten Messwerte. Die grün hinterlegten Messwerte sind die Vergleichswerte für Tabelle 5.9.

PS4 Slim Mess-Szenario	Medium	HD ready	nach SRI
Navigation im Home-Menü	N/A	43,4088	43,5833
Navigation + Passives Spielen	Red Dead Redemption 2	66,2403	
Disc-Wiedergabe Blu-Ray	Avatar	49,6134	51,2553
Disc-Wiedergabe DVD	Avatar / SRI: Conan der Zerstörer	42,4122	44,1936
Stream-Wiedergabe in SD	YouTube	46,4197	
Stream-Wiedergabe: Audio	Spotify	46,8970	48,3436
Aktives Spielen:	Red Dead Redemption 2	79,7406	84,6309
	FIFA 19	66,0670	63,6606
	Need for Speed Payback	74,5731	76,6953
	World of Tanks	66,9454	
	Fortnite	79,2887	
Aktives Spielen:	Durchschnittswert	73,3230	74,9956
PS Remote Play	Red Dead Redemption 2	82,0741	

6. Microsoft Xbox One X und Xbox One S

In diesem Kapitel werden die beiden Spielekonsolen der *Microsoft Corporation* anhand unterschiedlicher Mess-Szenarien in Bezug auf ihren Energieverbrauch untersucht. Die leistungsstärkste Spielekonsole der achten Generation, die *Xbox One X*, ist in Abbildung 6.1, und das schwächere Modell, die *Xbox One S*, in Abbildung 6.2 zu sehen. Für die Mess-Szenarien wurden unter anderem unterschiedliche Spiele bei unterschiedlichen Auflösungen der Videoausgabe auf beiden Spielekonsolen gespielt, und der sich daraus ergebende Energieverbrauch gemessen. Ausgehend von den bisherigen Erkenntnissen, die aus den Messergebnissen der *PlayStation®4* Spielekonsolen gewonnen wurden, wurde hier ähnliches Verhalten in Bezug auf den Energieverbrauch und dessen Abhängigkeit von der Auflösung der Videoausgabe erwartet. Doch die erzielten Messergebnisse offenbarten überraschende Unterschiede. Neben der Navigation im Home-Menü und der unterschiedlichen Medien-Wiedergabe wurden die zwei Energiesparmodi der beiden Spielekonsolen ebenfalls in Bezug auf versteckten Energieverbrauch untersucht. Den Lesern werden sehr detaillierte Auswertungen der Messergebnisse geboten, damit sie selbst unter anderem auch Vergleiche zwischen den Spielekonsolen der anderen beiden Hersteller anstellen können. Zum Schluss wird auch hier das optionale Aufrüsten auf einen technologisch weiter entwickelten SSD-Datenträger einem Mess-Szenario unterzogen und die dabei gewonnenen und sehr interessanten Erkenntnisse präsentiert.



Abbildung 6.1: *Microsoft Xbox One X*.



Abbildung 6.2: Microsoft Xbox One S.

In Tabelle 6.1 werden die technischen Spezifikationen beider Spielekonsolen von Microsoft präsentiert, die zum Teil aus der Überprüfungsstudie „*Review Study of the Ecodesign Voluntary Agreement for the Product Group „Videogames Consoles“*“ [25] und teils von der Hersteller-Webseite [57] direkt übernommen wurden.

Tabelle 6.1: Technische Spezifikationen: Xbox One X und Xbox One S.

Produktname	Xbox One X	Xbox One S
Modellnummer	1787	1681
Hauptprozessor	AMD <i>Jaguar</i> 8 Kerne, bis zu 2.3 Ghz, 2 MiB L2 Cache, 16nm Prozess	AMD <i>Jaguar</i> 8 Kerne, bis zu 1.75 Ghz, 2 MiB L2 Cache, 16nm Prozess
Grafikprozessor	6 TFLOPS 40 Comp. Units, 1172Mhz AMD FreeSync	1.4 TFLOPS 12 Comp.-Units 914Mhz AMD Radeon™
Speicher	12 GB GDDR5 (9 verfügbar) (326 GByte/s)	8 GB DDR3 (68 GByte/s), 32MB ESRAM (218 GByte/s)
Speicherkapazität	1 TB	1 TB
Äußere Abmessungen	ca. 300 x 60 x 240 mm (Breite x Höhe x Länge)	ca. 295 x 65 x 230 mm (Breite x Höhe x Länge)
Gewicht	ca. 3,8 kg	ca. 2,9 kg
BD-/DVD-Laufwerk (nur lesen)	4K Blu-ray	4K Blu-ray
Ein-/Ausgabe	3 x USB 3.0 Infrarotausgang	3 x USB 3.0 Infrarotausgang
Netzwerk	Ethernet (10BASE-T, 100BASE-TX, 1000BASE-T) IEEE 802.11 a/b/g/n/ac Bluetooth® 4.0	Ethernet (10BASE-T, 100BASE-TX, 1000BASE-T) IEEE 802.11 a/b/g/n/ac Bluetooth® 2.1 +EDR
Stromversorgung	AC 100-127/200-240V 50/60Hz	AC 100-240V 50/60Hz

Energieverbrauch	Max. 245 W	Max. 120 W
AV-Ausgabe	HDMI 2.0b HDR (out), 1.4b (in) DIGITAL OUT (OPTICAL)-Port	HDMI 2.0 (out) 1.4b (in) DIGITAL OUT (OPTICAL)-Port
Systemsoftware (letzte Messung)	10.0.18362.5047 (19h1_re- lease_xbox_dev_1907.190628-1920)	10.0.18362.3055 (19h1_re- lease_xbox_dev_1905.190510-1845)

Kabelloser Spiel-Controller *Xbox Wireless Controller*

Die beiden Spielekonsolen werden standardmäßig mit dem in Abbildung 6.3 präsentierten *Xbox Wireless Controller* bedient. Der Spiel-Controller kann über ein USB-Kabel aufgeladen werden, wenn man den als optionales Zubehör erhältlichen *Xbox-Akku* im sogenannten *Xbox One Spiel- & Ladekit* erwirbt. Sonst wird er von zwei AA-Batterien mit Strom versorgt. Die Konnektivität mit der Spielekonsole erfolgt via Bluetooth. Alternativ kann man auch den *Xbox Elite Wireless Controller* erwerben, der dem Benutzer mit seinen Möglichkeiten zur Anpassung eine viel bessere Spielerfahrung verspricht. Für die Mess-Szenarien in dieser Diplomarbeit wurde der mit der Spielekonsole mitgelieferte Spiel-Controller mit der Firmware-Version 3.1.1221.0 und zusammen mit dem *Xbox-Akku* verwendet.



Abbildung 6.3: *Xbox Wireless Controller*.

Standard-Menüeinstellungen der *Xbox One* Spielekonsolen

Bei den beiden Spielekonsolen von Microsoft spielen einige Menüeinstellungen eine wesentliche Rolle bei der Ermittlung des Energieverbrauchs. Aus diesem Grund, und um eine Reproduzierbarkeit aller Mess-Szenarien zu gewährleisten, werden die wichtigsten und für die Mess-Szenarien als Standard definierten Menüeinstellungen in Tabelle 6.2 vorgestellt. Die für die einzelnen Messungen notwendigen Einstellungen werden in der jeweiligen Beschreibung des Mess-Szenarios explizit hervorgehoben. Der Farbcode der Schrift in Tabelle 6.2 dient nur einer optischen Hilfestellung zur Unterscheidung zwischen den einzelnen Menü-Ebenen.

Tabelle 6.2: Standard-MenüEinstellungen der Xbox One Spielekonsolen.

Anpassung	Design & Bewegung	Systemdesign: Dunkel	
		Fließende Übergänge: Ein	
System	Updates & Downloads	Meine Konsole immer aktualisieren: Ein	
		Meine Spiele & Apps immer aktualisieren: Ein	
		Remoteinstallationen zulassen: Aus	
		Remotestatus anzeigen: Aus	
	Cortana Einstellungen	Dienst nicht verfügbar in Österreich	
Anzeige & Sound	Videoausgabe	Auflösung: 4K UHD	
		Videomodi	50Hz zulassen: Ein
			24Hz zulassen: Ein
			Modus mit geringer Latenz zulassen: Aus
			Variable Aktualisierungsrate: Aus
			3D zulassen: Aus
			YCC 4:2:2 zulassen: Aus
			4K zulassen: Ein
			HDR10 zulassen: Ein
			Dolby Vision zulassen: Aus
		Videoqualität & Overscan	Anzeige: Auto-Erkennung (empfohlen)
			Farbtiefe: 24 Bits pro Pixel (8-Bit)
			Farbraum: Standard (empfohlen)
			Apps können einen Rahmen hinzufügen: Ein
Energie & Start	Energiemodus & Start	Ausschalten nach: Nicht automatisch ausschalten	
		TV- & A/V-Energieoptionen: nichts konfiguriert	
		Sound beim Start: Ein	
		Energiemodus: Schnelles Hochfahren	Speicher mit der Xbox ausschalten: Aus
			Beim Starten zu TV gehen: Aus
Voreinstellungen	Benachrichtigungen	Benachrichtigungsbanner ein: Ein	
		Timing für Benachrichtigungen	Timing für Popups: Standard

	Leerlaufoptionen	Dinge im Leerlauf anzeigen: Ein	
		Bildschirm verdunkeln nach: 10 Minuten	
TV & OneGuide	Gerätesteuerung	Geräte: Nichts festgelegt	
		Energie	Energieoptionen für Geräte: Alles auf Nichts

Wie in Abbildung 6.4 gezeigt, werden beim Einrichten der jeweiligen Spielekonsole sowohl der *Xbox One X* als auch der *Xbox One S* dem Benutzer zwei Optionen für die Zeit, in der sie nicht verwendet wird, zur Auswahl angeboten. Für die hier vorgestellten Messergebnisse wird standardmäßig die Option *Schnelles Hochfahren* gewählt, um das Installieren der Spiele-, App- und System-Updates in der Zeit, in der die Spielekonsolen nicht für die Mess-Szenarien benutzt werden, zu ermöglichen. Ein Vergleich zwischen den beiden Modi in Bezug auf Energieverbrauch wird in Kapitel 6.2 vorgestellt.

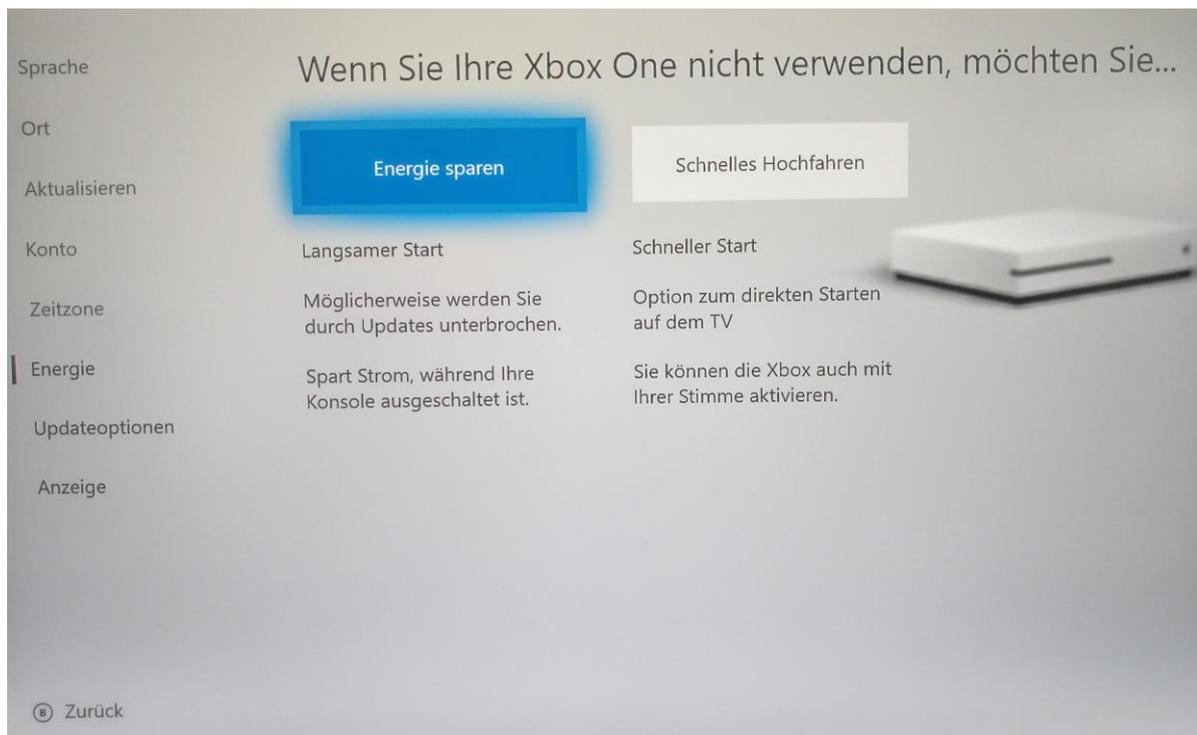


Abbildung 6.4: Einrichtung des Energiemodus auf der *Xbox One* Spielekonsole: *Energie sparen* oder *Schnelles Hochfahren*.

6.1 Xbox One Mess-Szenario: Aktives Spielen

Dieses Mess-Szenario definiert den Messablauf für die Ermittlung des Energieverbrauchs während des aktiven Spielens unterschiedlicher Spieletitel auf den beiden Spielekonsolen *Xbox One X* und *Xbox One S* bei unterschiedlichen Auflösungen ihrer Videoausgabe. Im Unterschied zu den Spielekonsolen von Sony bieten die Spielekonsolen von Microsoft zusätzlich die Unterstützung für die Videoausgabe in der 1440p Auflösung. Diese 1440p Auflösung, auch Wide Quad High Definition (WQHD) genannt, befindet sich mit ihren 2560 mal 1440 Bildpunkten [59] zwischen der Full HD und der 4K Ultra HD Auflösung. Die untersuchten Spielekonsolen werden für das Mess-Szenario über das WLAN mit dem Internet verbunden. Der kabellose Controller aus Abbildung 6.3 ist vollgeladen und kommuniziert über Bluetooth mit der Spielekonsole. Während der Messung werden weder Spiel-, App- oder System-Updates im Hintergrund heruntergeladen noch installiert. Für die Videoausgabe wird der bereits in Kapitel 4.3 vorgestellte Monitor *BenQ EL2870U*, der über den HDMI Anschluss mit der Spielekonsole verbunden ist, verwendet.

Folgende Menüeinstellungen auf den Spielekonsolen sind, neben den bereits erwähnten Standard-Menüeinstellungen für die Mess-Szenarien, hierfür notwendig:

Für die Auflösung in 1440p:

Anzeige & Sound	Videoausgabe	Auflösung: 1440p
-----------------	--------------	------------------

Für die Auflösung in Full HD:

Anzeige & Sound	Videoausgabe	Auflösung: 1080p
-----------------	--------------	------------------

Die Messungen mit dem Chroma Energiemessgerät sollten eine halbe Stunde lang dauern, wofür folgende Einstellung zusätzlich zu den bereits erwähnten Standard-Einstellungen notwendig ist:

Storing Measured Data	Setting store count: 1800
-----------------------	---------------------------

Die Spiele *Need for Speed Payback*, *Fortnite*, *FIFA 19*, *World of Tanks* und *Red Dead Redemption 2* wurden nach dem Starten mit dem Ziel, im Spiel weiter voranzukommen, gespielt. Sie wurden während des Messvorgangs weder pausiert noch inaktiv gelassen. Die bei dem Messvorgang ermittelte Leistung und der aus ihr errechnete arithmetische Mittelwert für die in der 4K Ultra HD, WQHD und Full HD Auflösung spielbaren Spieletitel werden in den Abbildungen 6.5 bis 6.14 graphisch dargestellt. Die *Xbox One S* ist nicht in der Lage, Spiele beim aktiven Spielen nativ in der 4K Ultra HD Auflösung der Videoausgabe darzustellen, weshalb die Spieletitel bei dieser Spielekonsole auf die 4K Ultra HD Auflösung hochskaliert wurden.

Interpretation der Messergebnisse

Wie am Anfang des Kapitels erwähnt, wird hier die Annahme über die Abhängigkeit des Energieverbrauchs der beiden Spielekonsolen von der Auflösung ihrer Videoausgabe widerlegt. Man kann in den

Abbildungen 6.5 bis 6.14, wie auch in den Tabellen 6.3 und 6.4, deutlich erkennen, dass die Unterschiede beim Energieverbrauch sowohl bei der *Xbox One X* als auch bei der *Xbox One S* während des aktiven Spielens bei den drei unterschiedlichen Auflösungen sehr gering ausfielen.

Tabelle 6.3: Durchschnittlicher Energieverbrauch der Xbox One X beim aktiven Spielen bei unterschiedlicher Auflösung der Videoausgabe.

Spieletitel	4K Ultra HD	WQHD	Full HD
Need for Speed Payback	0,143 kWh	0,150 kWh	0,145 kWh
Fortnite	0,160 kWh	0,160 kWh	0,160 kWh
FIFA 19	0,125 kWh	0,127 kWh	0,124 kWh
World of Tanks	0,131 kWh	0,137 kWh	0,136 kWh
Red Dead Redemption 2	0,166 kWh	0,172 kWh	0,171 kWh
Durchschnittswert	0,145 kWh	0,149 kWh	0,147 kWh

Tabelle 6.4: Durchschnittlicher Energieverbrauch der Xbox One S beim aktiven Spielen bei unterschiedlicher Auflösung der Videoausgabe

Spieletitel	4K Ultra HD	WQHD	Full HD
Need for Speed Payback	0,065 kWh	0,063 kWh	0,064 kWh
Fortnite	0,070 kWh	0,069 kWh	0,069 kWh
FIFA 19	0,061 kWh	0,061 kWh	0,061 kWh
World of Tanks	0,056 kWh	0,060 kWh	0,059 kWh
Red Dead Redemption 2	0,075 kWh	0,073 kWh	0,074 kWh
Durchschnittswert	0,065 kWh	0,065 kWh	0,065 kWh

Hier kann die Schlussfolgerung getroffen werden, dass die Auflösung der Videoausgabe beim aktiven Spielen keine nennenswerte Auswirkung auf den Energieverbrauch der Microsoft Spielekonsolen hat. Vielmehr bekommt man den Eindruck, dass die beiden Spielekonsolen immer bei voller Ausnutzung ihrer Rechenleistung arbeiten, unabhängig davon, an welchen Monitor oder Fernseher sie angeschlossen werden.

Das wird auch zum Teil durch die Antwort auf die Frage „*Was ist Supersampling?*“ durch Mike Nelson, den Herausgeber der *Xbox Wire* bestätigt: „...*Deine Spiele sehen auf Xbox One X immer noch besser aus als auf jeder anderen Konsole, und zwar unabhängig davon, welchen Fernseher Du hast – genau das ist Supersampling zu verdanken. Supersampling trägt auch dazu bei, dass die Kanten von Objekten weniger „fransig“ wirken und reduziert auch andere treppenähnliche Effekte. Stell Dir Supersampling als den Cousin von Upscaling bzw. Hochskalierung vor. Anstatt ein Bild mit niedriger Auflösung hochzuskalieren (und damit Bildverzerrungen zu erzeugen), nutzt Supersampling ein Bild mit hoher Auflösung und skaliert es herunter auf die Auflösung Deines Fernsehers (720p oder 1080p). So erscheinen alle Bildinformationen, die von Xbox One X ausgegeben werden, auch auf dem Bildschirm...*“ [60].

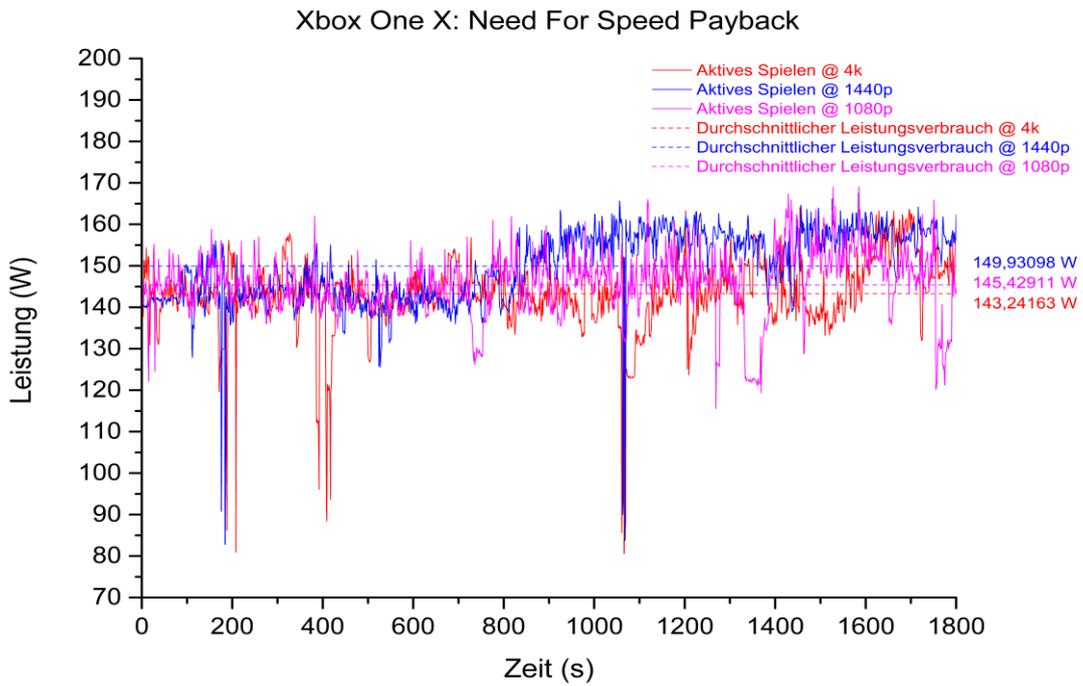


Abbildung 6.5: Xbox One X, Aktives Spielen von *Need For Speed Payback*.

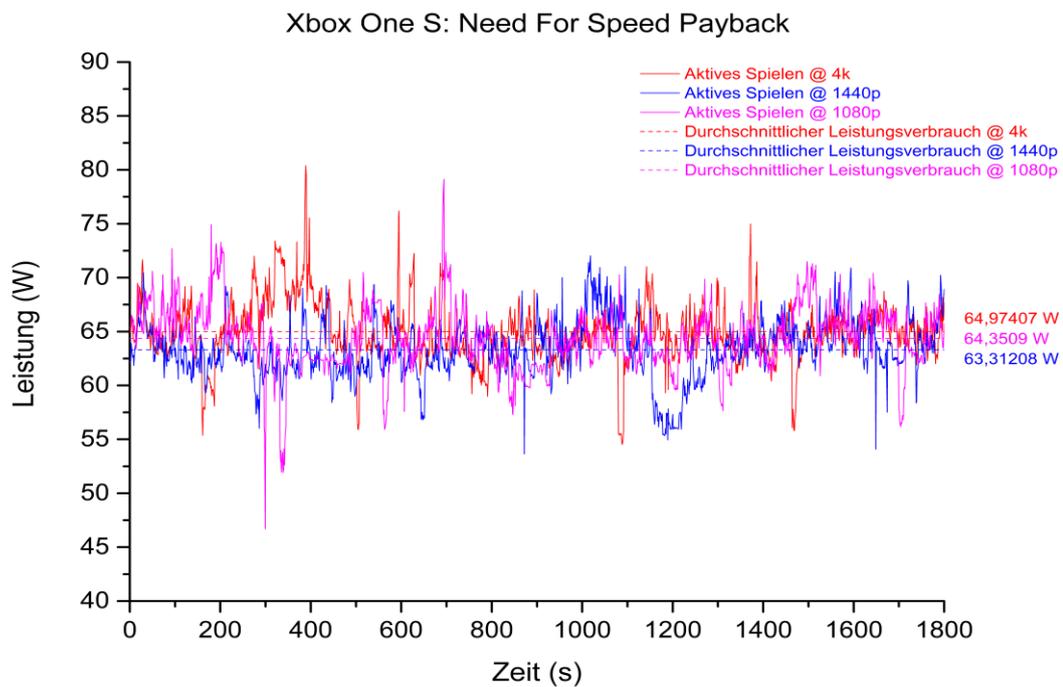


Abbildung 6.6: Xbox One S, Aktives Spielen von *Need For Speed Payback*.

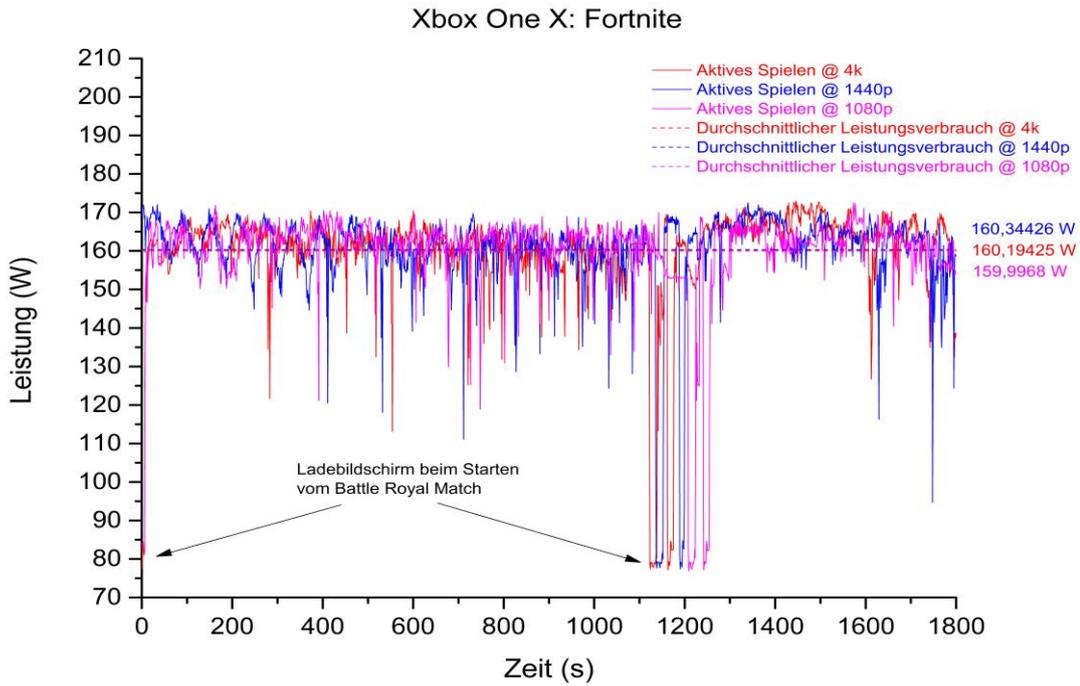


Abbildung 6.7: Xbox One X, Aktives Spielen von *Fortnite*. Vergleichbar mit Abbildung 5.6 sind auch hier die Ladebildschirme des Spielmodus *Battle Royal Match* ersichtlich.

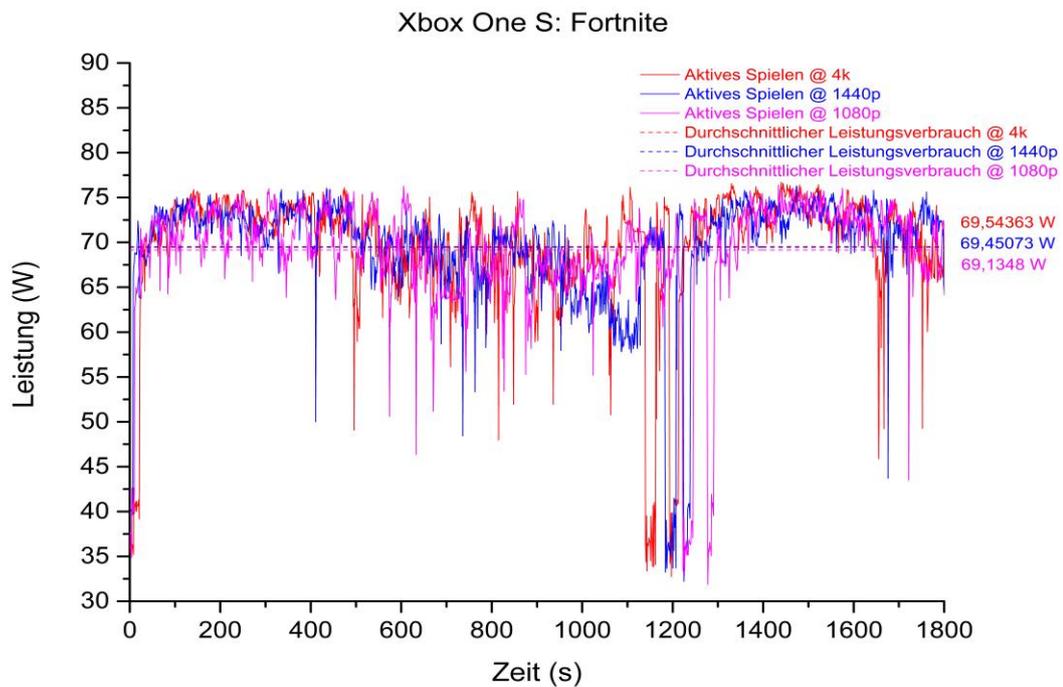


Abbildung 6.8: Xbox One S, Aktives Spielen von *Fortnite*.

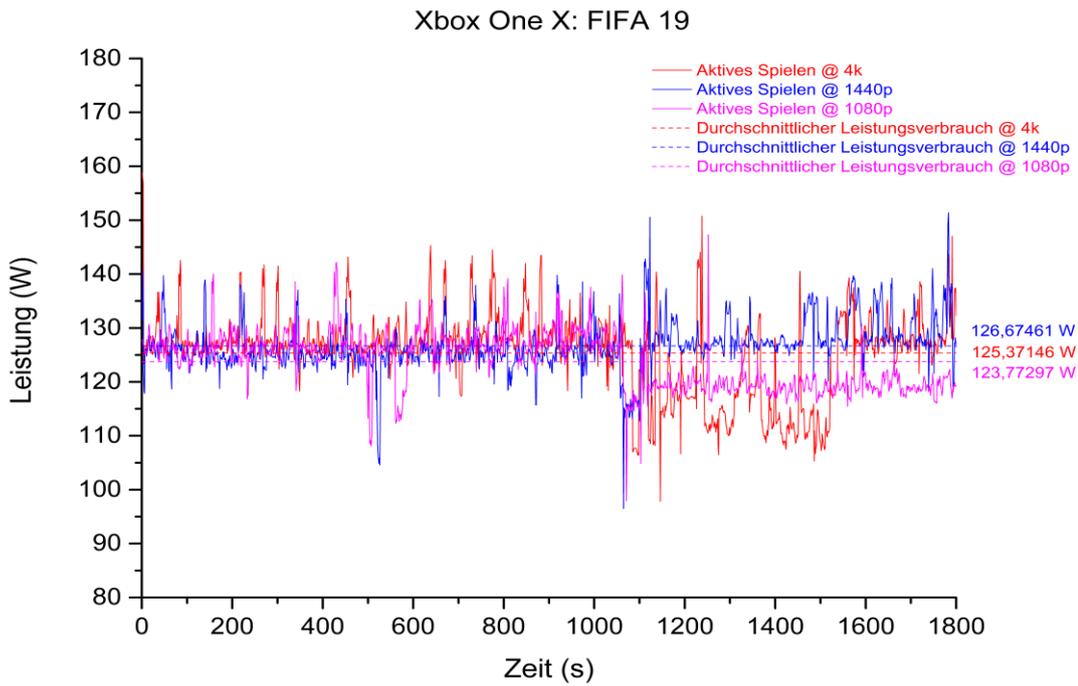


Abbildung 6.9: Xbox One X, Aktives Spielen von FIFA 19.

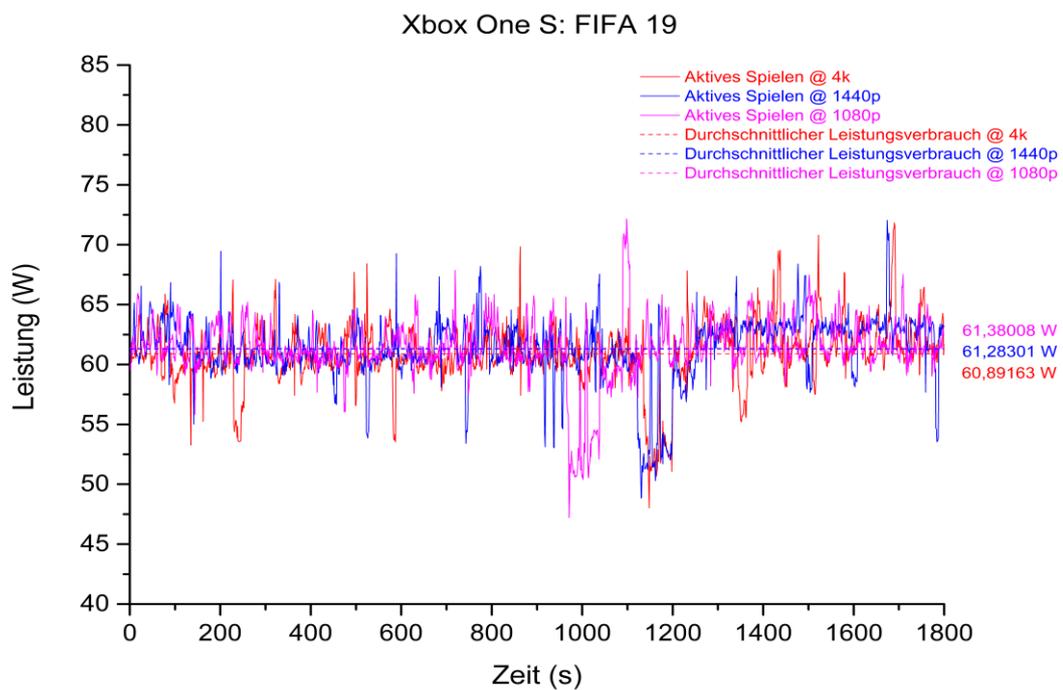


Abbildung 6.10: Xbox One S, Aktives Spielen von FIFA 19.

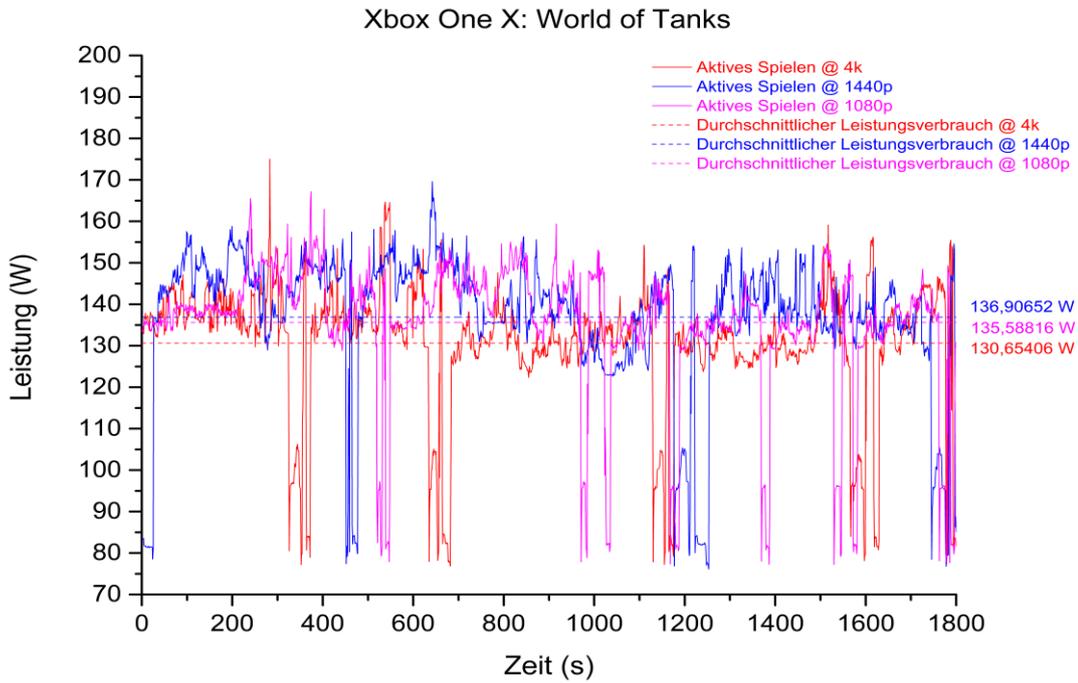


Abbildung 6.11: Xbox One X, Aktives Spielen von *World of Tanks*.

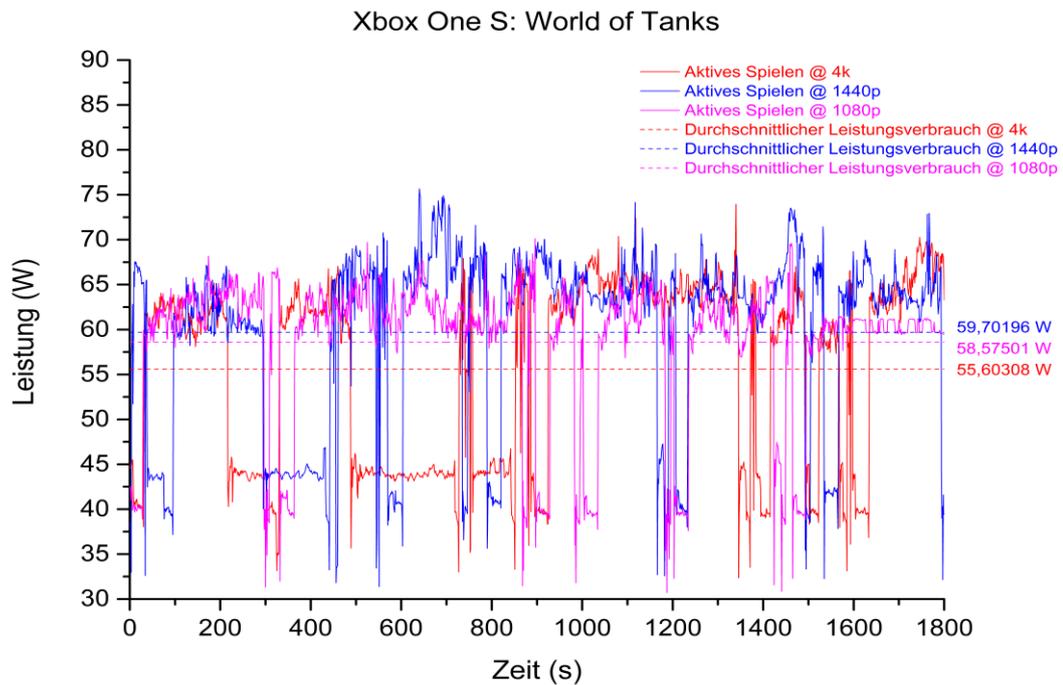


Abbildung 6.12: Xbox One S, Aktives Spielen von *World of Tanks*.

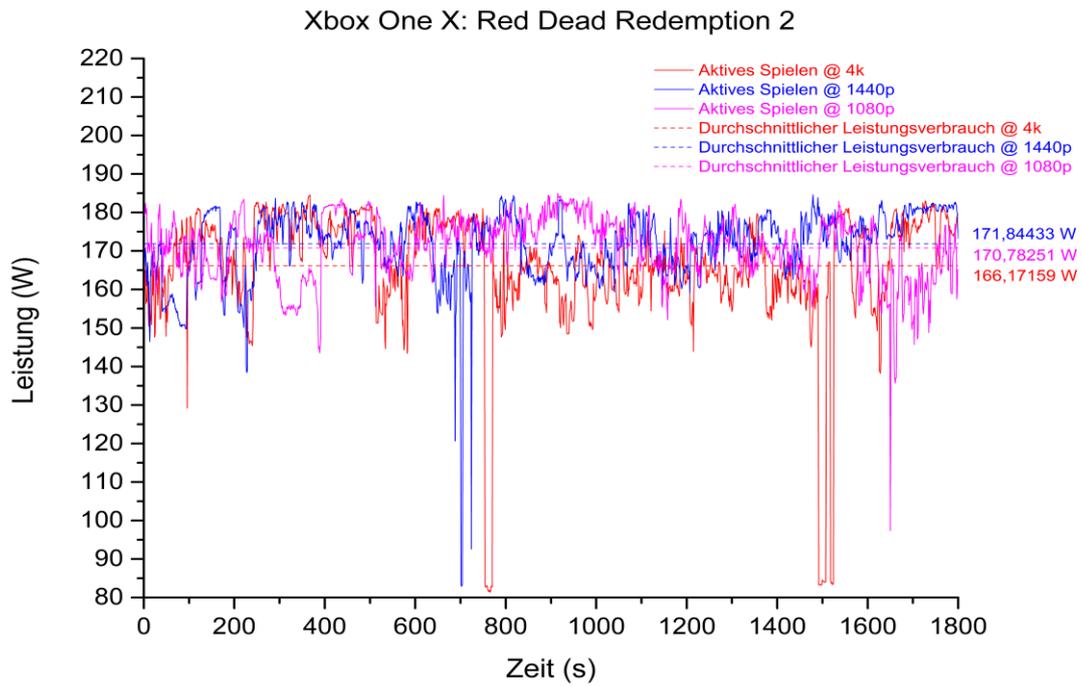


Abbildung 6.13: Xbox One X, Aktives Spielen von *Red Dead Redemption 2*.

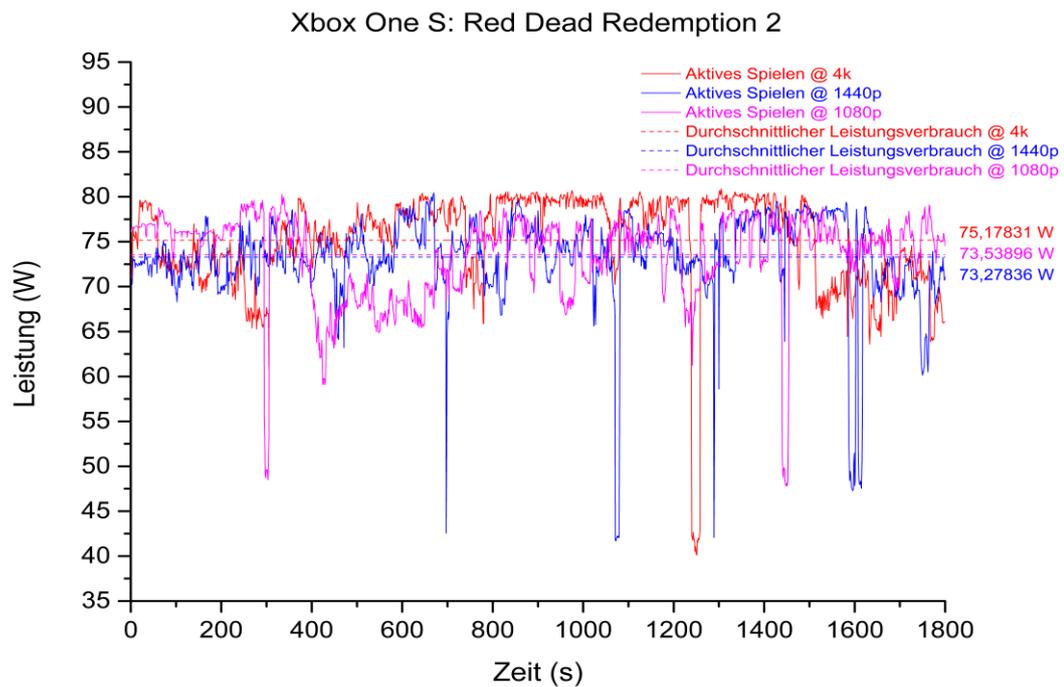


Abbildung 6.14: Xbox One S, Aktives Spielen von *Red Dead Redemption 2*.

6.2 Xbox One Mess-Szenario: Energie Sparen bzw. Schnelles Hochfahren

Wie bereits erwähnt, stehen dem Benutzer zwei Modi zur Auswahl, *Energie sparen* und *Schnelles Hochfahren*, von denen einer, während die Spielekonsole heruntergefahren ist, aktiv ist. Beim Modus *Energie sparen* kann man nur die Spiel-Controller aufladen, sonst sind keine Zusatzfunktionen aktiv. *Schnelles Hochfahren* hingegen ermöglicht neben der Stromversorgung der USB-Anschlüsse, App-, Spiele- und System-Updates, einen schnellen Start der Spielekonsole, die Aktivierung mit der Stimme des Benutzers und die Option zum direkten Starten auf dem angeschlossenen Fernsehgerät.

In diesem Mess-Szenario werden diese beiden Energiemodi mit den verfügbaren Zusatzoptionen auf den Energieverbrauch untersucht, der, während die Spielekonsolen heruntergefahren sind, auftritt. Die Messungen werden mit dem Chroma Energiemessgerät durchgeführt. Nach dem Herunterfahren der Spielekonsolen wird fünf Minuten gewartet, bevor der halbstündige Messvorgang gestartet wird.

Folgende Menüeinstellungen auf den Spielekonsolen sind, neben den bereits erwähnten Standard-Menüeinstellungen für die Mess-Szenarien, hierfür notwendig:

Für den Energiemodus *Energie sparen*:

Energie & Start	Energiemodus & Start	Energiemodus: Energie sparen
-----------------	----------------------	------------------------------

Für das Ausschalten des Speichers mit der Spielekonsole:

Energie & Start	Energiemodus & Start	Energiemodus:	Speicher mit der Xbox ausschalten: Ein
-----------------	----------------------	---------------	--

Für das zu TV-Gehen beim Starten der Spielekonsole:

Energie & Start	Energiemodus & Start	Energiemodus:	Beim Starten zu TV gehen: Ein
-----------------	----------------------	---------------	-------------------------------

Die Messungen mit dem Chroma Energiemessgerät sollten eine halbe Stunde lang dauern, wofür folgende Einstellung zusätzlich zu den bereits erwähnten Standard-Einstellungen notwendig ist:

Storing Measured Data	Setting store count: 1800
-----------------------	---------------------------

Interpretation der Messergebnisse

Der Energieverbrauch der beiden Spielekonsolen im Energiemodus *Energie sparen* wird in den Abbildungen 6.15 und 6.16 präsentiert. Darin werden jeweils zwei Ergebnisse der Messungen mit den zugehörigen arithmetischen Mittelwerten, einmal mit einem an den USB-Anschluss zum Aufladen angesteckten Spiel-Controller und einmal ohne, gezeigt. Bei den beiden Spielekonsolen gibt es keine Einstellungsmöglichkeit bezüglich des Ladens der Spiel-Controller. Obwohl die Ladefunktion immer verfügbar war, verbrauchte sie in dem Energiesparmodus keinen zusätzlichen Strom, wenn nichts zum Laden an die Spielekonsole angesteckt war.

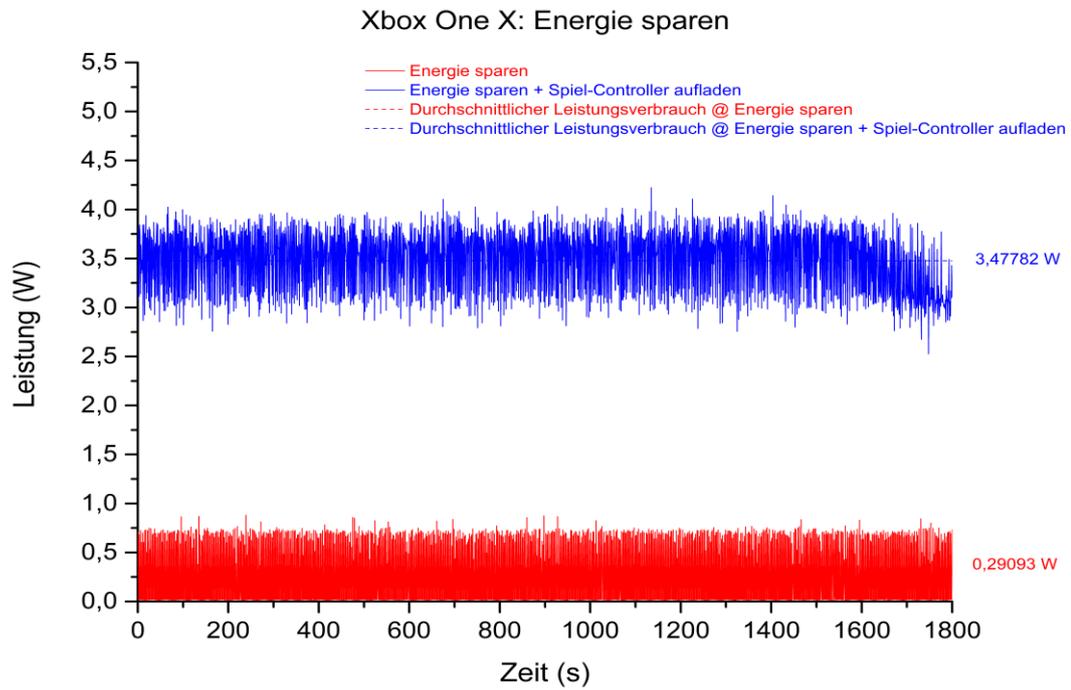


Abbildung 6.15: Xbox One X, Energie sparen mit und ohne Spiel-Controller zum Aufladen.

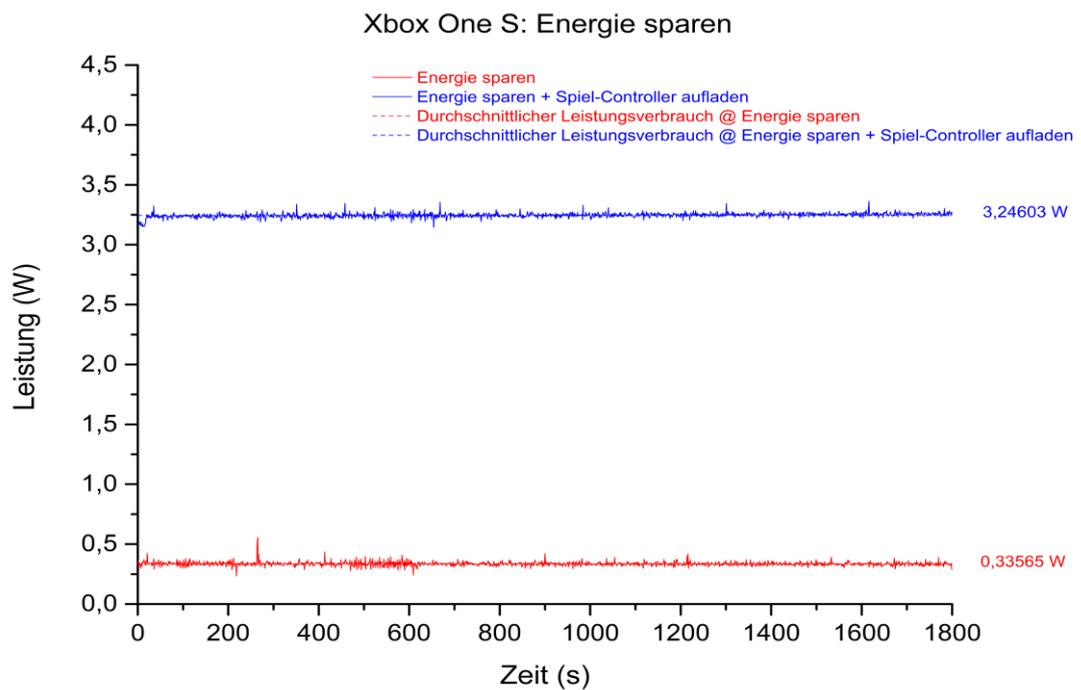


Abbildung 6.16: Xbox One S, Energie sparen mit und ohne Spiel-Controller zum Aufladen.

In den Abbildungen 6.17 bis 6.20 werden Messergebnisse für die beiden Spielekonsolen *Xbox One X* und *Xbox One S* im Energiemodus *Schnelles Hochfahren* präsentiert. Es werden hier unterschiedliche Mess-Szenarien zusammen gezeigt. In den Abbildungen 6.17 und 6.19 sieht man den ermittelten Energieverbrauch während der Installation eines Spiel-Updates, sowie des reinen Energiemodus ohne zusätzliche aktive Optionen und während des Aufladens eines Spiel-Controllers. Besonders auffällig sind die einzelnen Spitzenwerte, die sich in regelmäßigen Abständen wiederholen. Sie resultieren vermutlich aus den beiden Einstellungen für die Updates *Meine Konsole immer aktualisieren* und *Meine Spiele & Apps immer aktualisieren*, doch diese Annahme wurde hier durch keine Messung bestätigt.

Die Aktivierung der beiden zusätzlichen Optionen *Speicher mit der Xbox ausschalten* und *Beim Starten zu TV gehen*, und den daraus ermittelten Energieverbrauch für die *Xbox One X* und die *Xbox One S* sieht man in den Abbildungen 6.18 und 6.20.

Abbildung 6.21 präsentiert anhand einer Messung im Energiemodus *Schnelles Hochfahren* zwei Beispiele für die fünfminütige Messdauer. Man erkennt ganz gut, was passiert, wenn man die fünfminütige Messung an zwei unterschiedlichen Stellen durchführt. Wie erwartet, liegen die beiden Ergebnisse und die ermittelten arithmetischen Mittelwerte weit auseinander. Das untermauert die Entscheidung in dieser Diplomarbeit, die Messdauer für alle Mess-Szenarien auf dreißig Minuten zu setzen, sowie den Vorschlag, die fünfminütigen Mess-Szenarien in der SRI-Version 2.6.3 durch dreißigminütige zu ersetzen, um die Genauigkeit der einzelnen Messungen zu erhöhen.

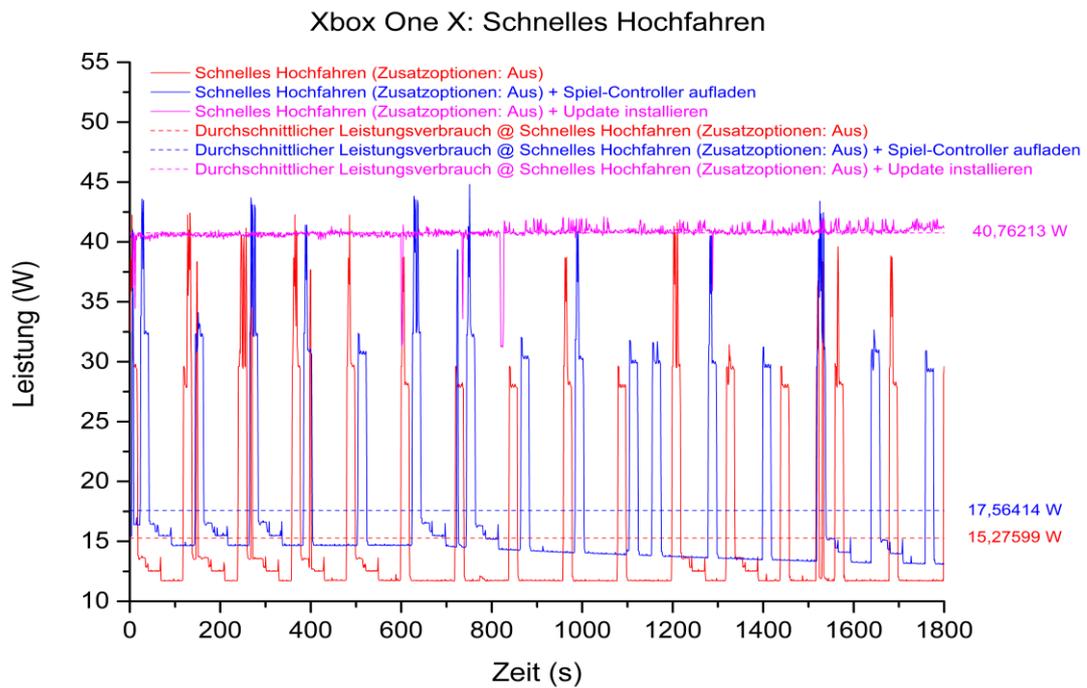


Abbildung 6.17: *Xbox One X*, *Schnelles Hochfahren*, die beiden Zusatzoptionen sind ausgeschaltet.

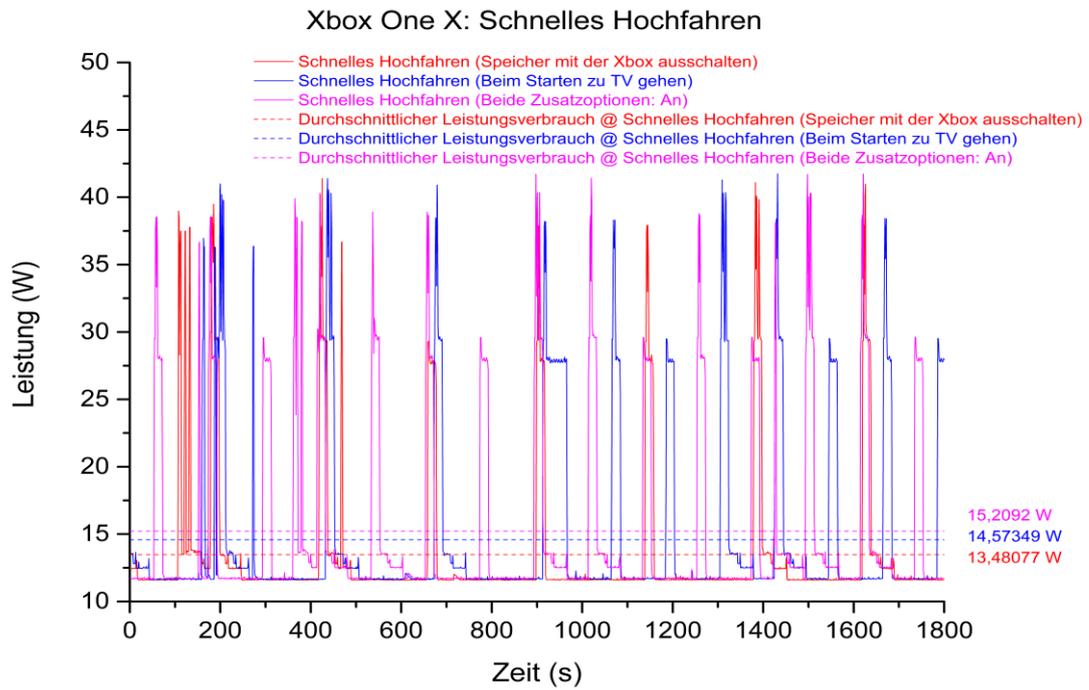


Abbildung 6.18: Xbox One X, Schnelles Hochfahren, die beiden Zusatzoptionen sind eingeschaltet.

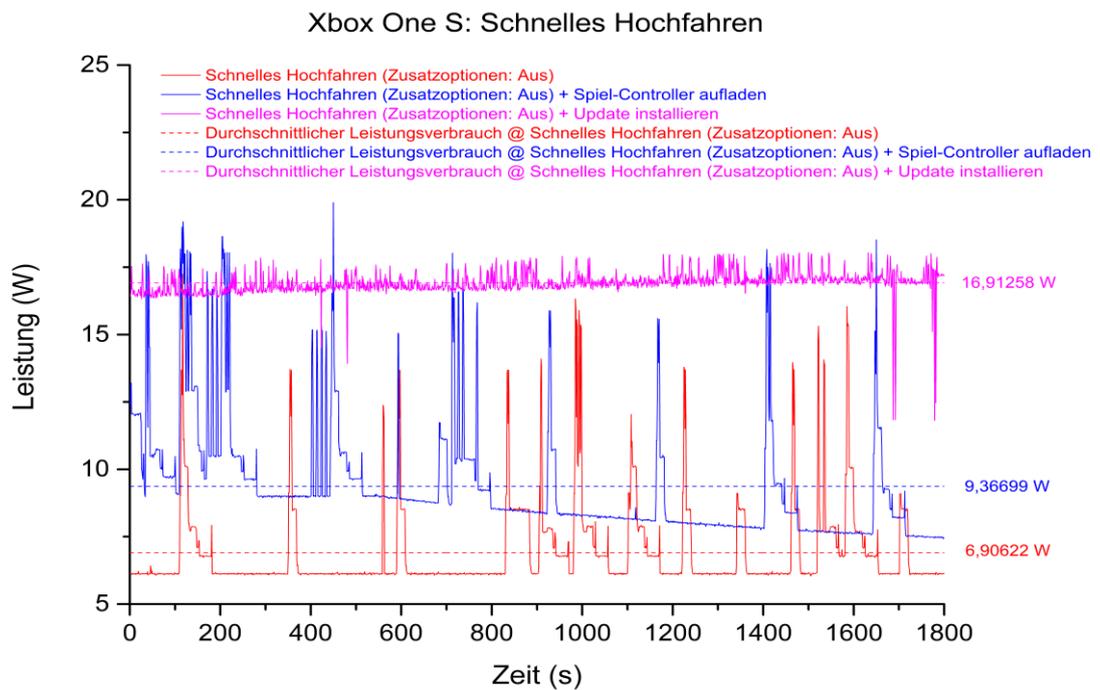


Abbildung 6.19: Xbox One S, Schnelles Hochfahren, die beiden Zusatzoptionen sind ausgeschaltet.

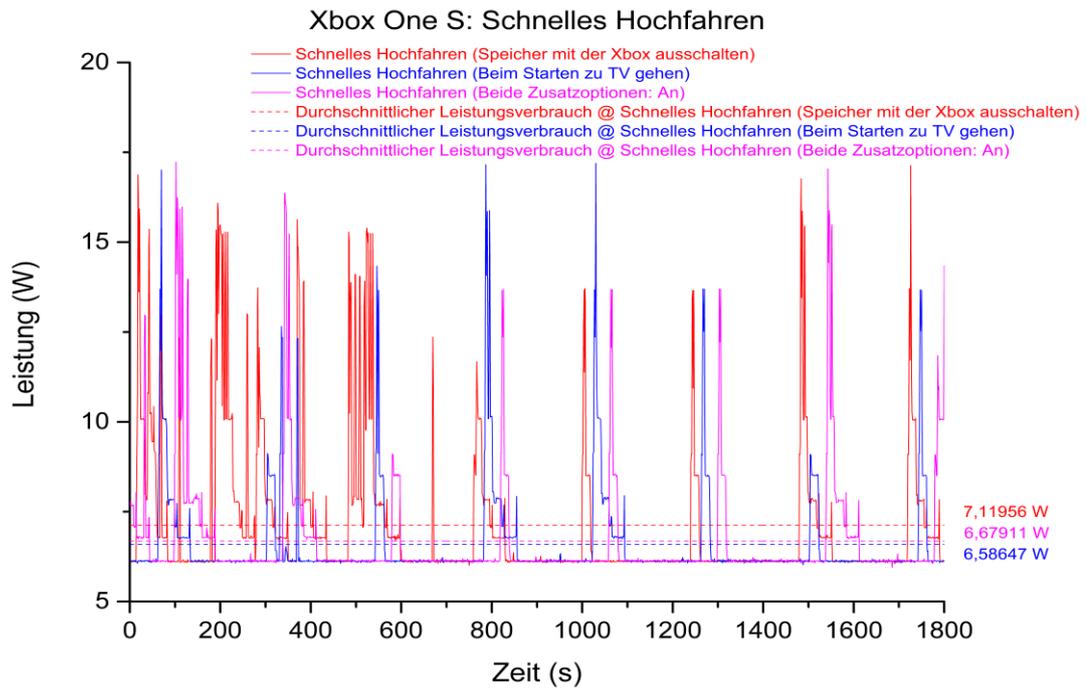


Abbildung 6.20: Xbox One S, Schnelles Hochfahren, die beiden Zusatzoptionen sind eingeschaltet.

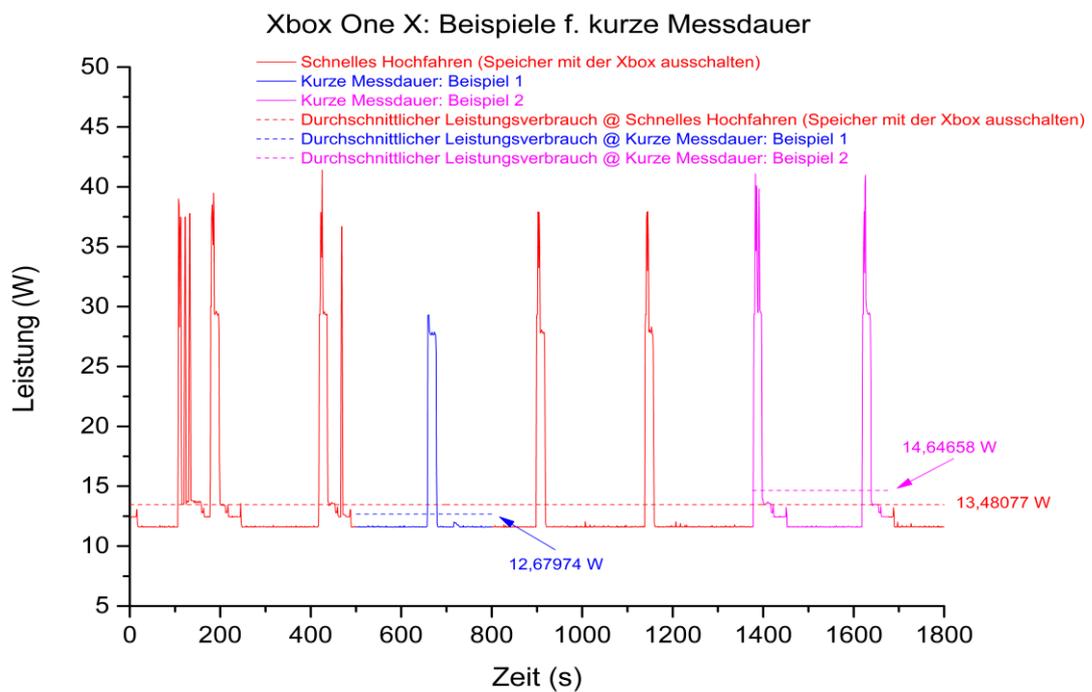


Abbildung 6.21: Xbox One X, Schnelles Hochfahren, zwei Beispiele für zu kurze Messdauer.

6.3 Xbox One Mess-Szenario: Disc-Wiedergabe

Dieses Mess-Szenario beschreibt die Ermittlung des Energieverbrauchs der beiden Spielekonsolen während der Wiedergabe von unterschiedlichen optischen Datenspeichern für Filme. Es werden bei unterschiedlichen Auflösungen der Videoausgabe die 4K Ultra HD Blu-Ray Disc *Unsere Erde 2*, sowie die DVD und die Blu-Ray mit dem gleichnamigen Titel *Avatar – Aufbruch nach Pandora* dreißig Minuten lang auf den Spielekonsolen wiedergegeben, und der dabei entstandene Leistungsverbrauch aufgezeichnet.

Folgende Menüeinstellungen auf den Spielekonsolen sind, neben den bereits erwähnten Standard-Menüeinstellungen für die Mess-Szenarien, hierfür notwendig:

Für die Wiedergabe in der 1440p Auflösung:

Anzeige & Sound	Videoausgabe	Auflösung: 1440p
-----------------	--------------	------------------

Für die Wiedergabe in der Full HD Auflösung:

Anzeige & Sound	Videoausgabe	Auflösung: 1080p
-----------------	--------------	------------------

Die Messungen mit dem Chroma Energiemessgerät sollten eine halbe Stunde lang dauern, wofür folgende Einstellung zusätzlich zu den bereits erwähnten Standard-Einstellungen notwendig ist:

Storing Measured Data	Setting store count: 1800
-----------------------	---------------------------

Interpretation der Messergebnisse

Die Messung mit dem Energiemessgerät begann, sobald die jeweilige Disc in das Laufwerk der Spielekonsole hineingeschoben und die Disc-Wiedergabe gestartet wurde.

Die Ergebnisse für die *Xbox One X* werden in den Abbildungen 6.22 bis 6.24 und für die *Xbox One S* in den Abbildungen 6.25 bis 6.27 präsentiert. Während bei der *Xbox One S* die Auflösung der Videoausgabe keinen Einfluss auf den Energieverbrauch bei der Wiedergabe von den unterschiedlichen optischen Datenträgern hatte, fiel dieser bei der *Xbox One X* bei der 1440p Auflösung deutlich höher aus, als bei den anderen beiden Auflösungen der Videoausgabe.

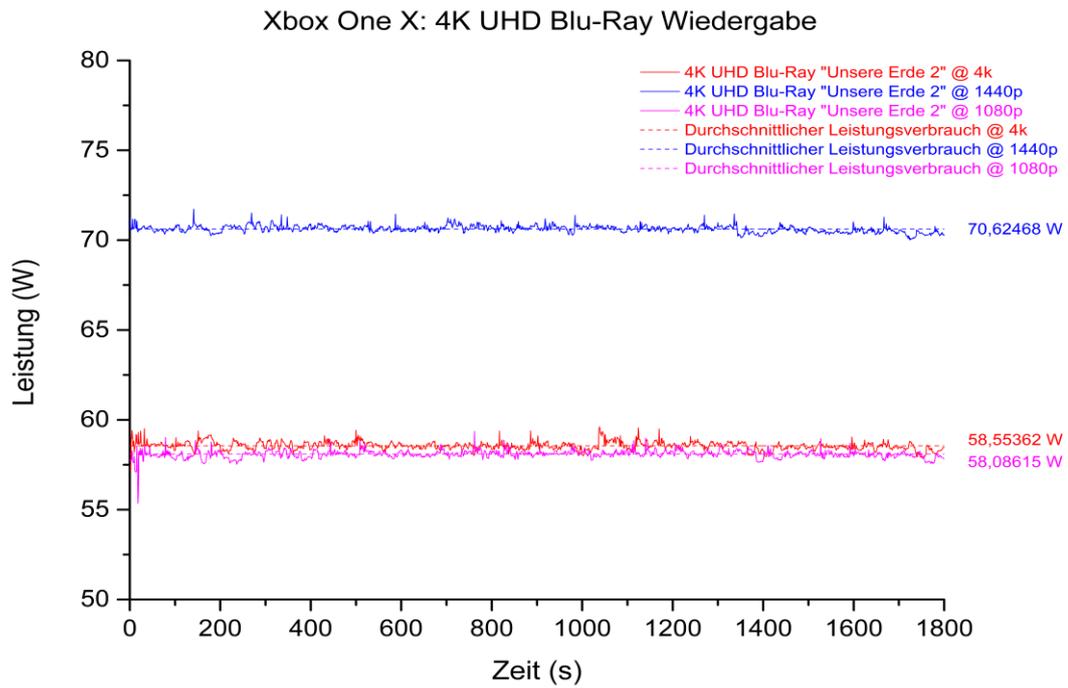


Abbildung 6.22: Xbox One X, 4K UHD Blu-Ray Disc-Wiedergabe von *Unsere Erde 2*.

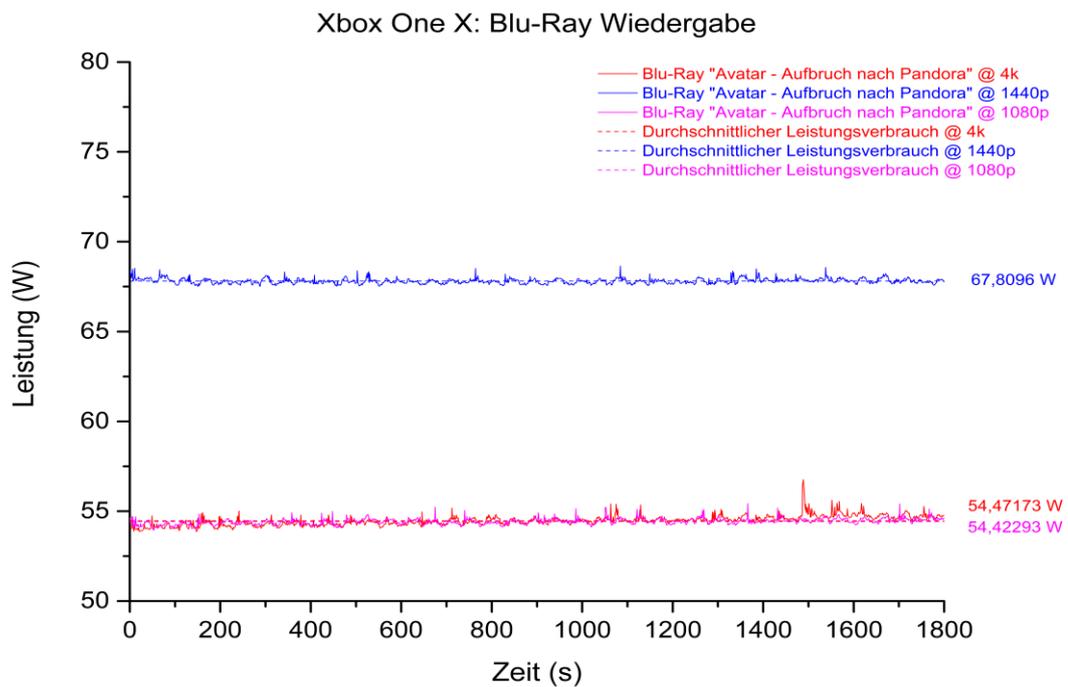


Abbildung 6.23: Xbox One X, Blu-Ray Disc-Wiedergabe von *Avatar – Aufbruch nach Pandora*.

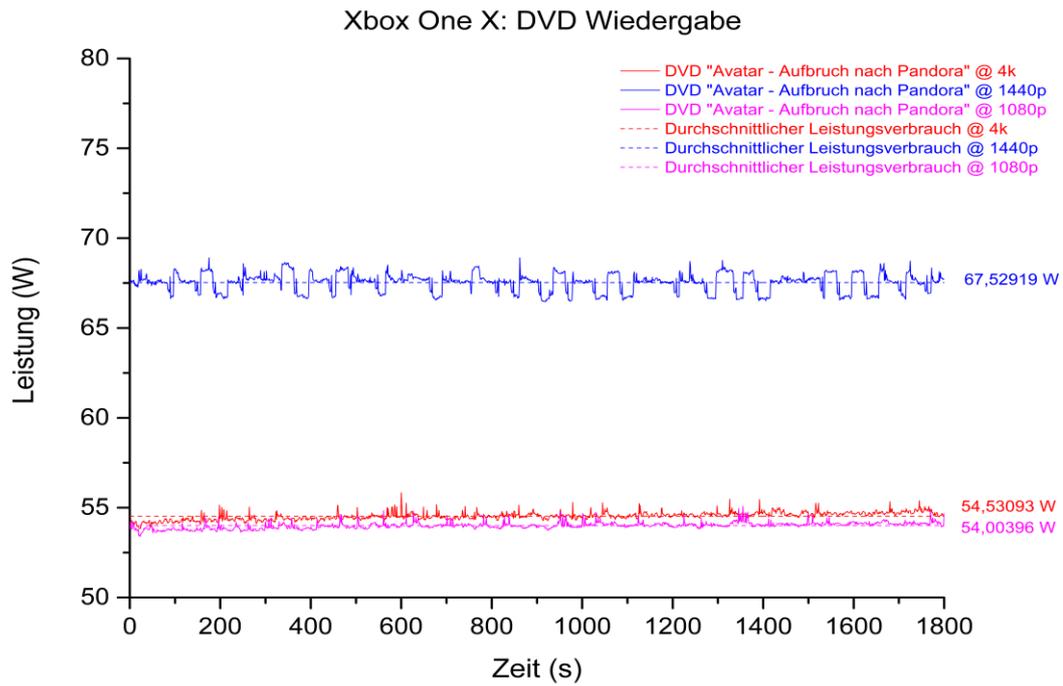


Abbildung 6.24: Xbox One X, DVD-Wiedergabe von *Avatar – Aufbruch nach Pandora*.

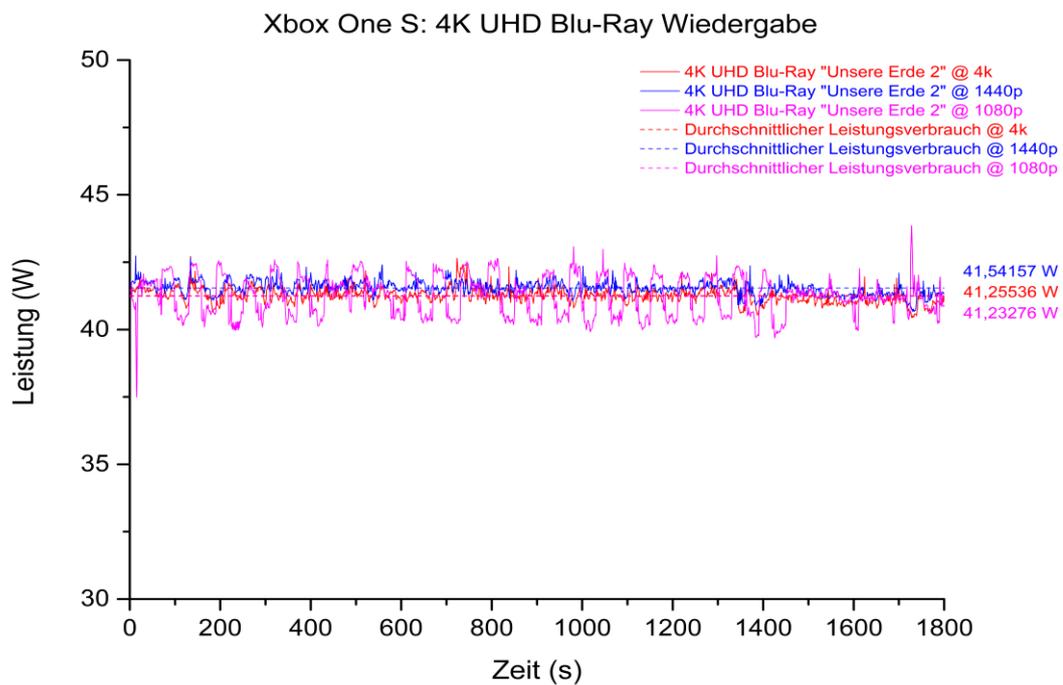


Abbildung 6.25: Xbox One S, 4K UHD Blu-Ray Disc-Wiedergabe von *Unsere Erde 2*.

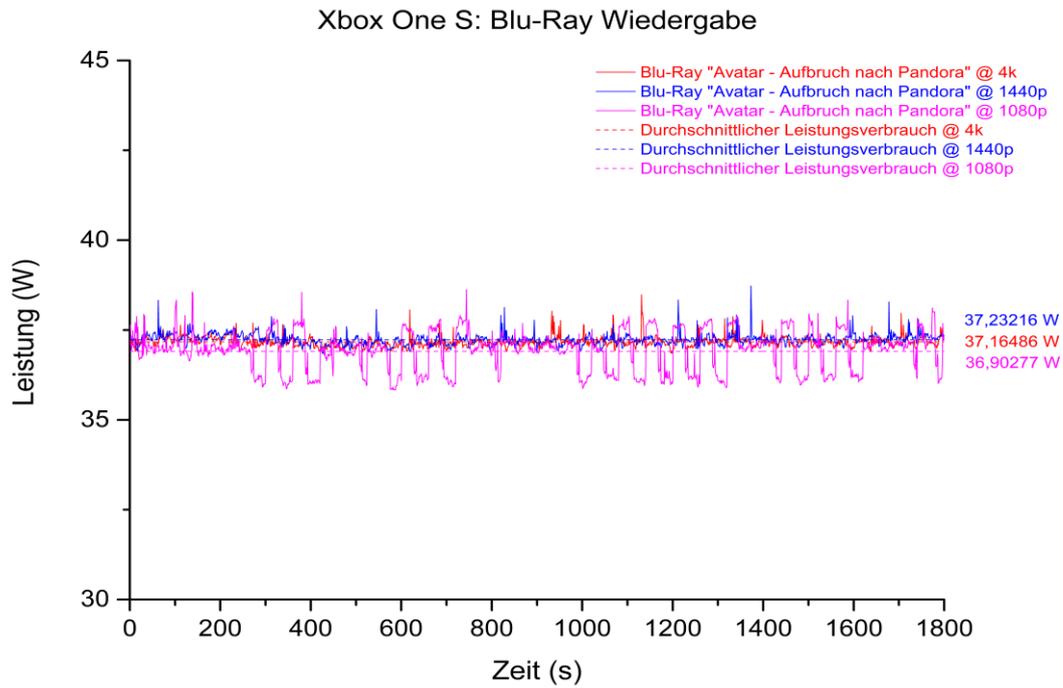


Abbildung 6.26: Xbox One S, Blu-Ray Disc-Wiedergabe von Avatar – Aufbruch nach Pandora.

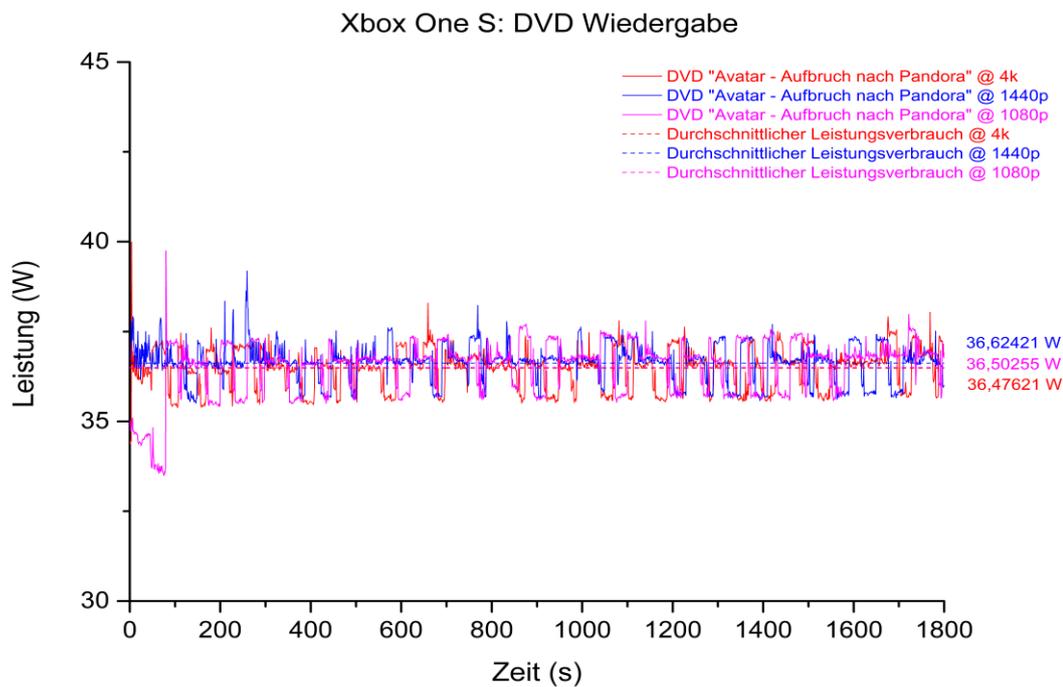


Abbildung 6.27: Xbox One S, DVD-Wiedergabe von Avatar – Aufbruch nach Pandora.

6.4 Xbox One Mess-Szenario: Stream-Wiedergabe

Bei diesem Mess-Szenario werden die Audio- und Video-Stream-Wiedergabe auf den beiden Spielekonsolen *Xbox One X* und *Xbox One S* untersucht, und der dabei auftretende Energieverbrauch mit dem Energiemessgerät ermittelt. Es werden dabei Audio-Streams von *Spotify*, Video-Streams von *YouTube* und eine Folge *Game of Thrones: Der Winter naht*, als HD-Stream vom *Microsoft Store*, dreißig Minuten lang bei unterschiedlichen Auflösungen der Videoausgabe wiedergegeben.

Folgende Menüeinstellungen auf den Spielekonsolen sind, neben den bereits erwähnten Standard-Menüeinstellungen für die Mess-Szenarien, hierfür notwendig:

Für die Wiedergabe in der 1440p Auflösung:

Anzeige & Sound	Videoausgabe	Auflösung: 1440p
-----------------	--------------	------------------

Für die Wiedergabe in der Full HD Auflösung:

Anzeige & Sound	Videoausgabe	Auflösung: 1080p
-----------------	--------------	------------------

Die Messungen mit dem Chroma Energiemessgerät sollten eine halbe Stunde lang dauern, wofür folgende Einstellung zusätzlich zu den bereits erwähnten Standard-Einstellungen notwendig ist:

Storing Measured Data	Setting store count: 1800
-----------------------	---------------------------

Interpretation der Messergebnisse

Die beiden Abbildungen 6.28 und 6.29 präsentieren die Messergebnisse für die Audio-Streams, die bei den drei unterschiedlichen Auflösungen der Videoausgabe auf den beiden Spielekonsolen wiedergegeben wurden. Man erkennt deutlich bei der *Xbox One X*, dass sich die Auflösung der Videoausgabe auf den Energieverbrauch direkt auswirkte, wobei die Wiedergabe bei der 1440p Auflösung der Videoausgabe den höchsten Verbrauch bewirkte. Bei der *Xbox One S* war die Full HD Auflösung jene, die den geringsten Energieverbrauch zur Folge hatte. Gleiches Verhalten wurde bei den Video-Stream-Wiedergaben von *Game of Thrones: Der Winter naht* beobachtet, was in den beiden Abbildungen 6.30 und 6.32 präsentiert wird.

Manchmal kommt es vor, dass man beim aktiven Spielen im Spielverlauf nicht weiter vorankommt. Dann kann man auf *YouTube* nach einer passenden Lösung suchen, während das Spiel weiter im Hintergrund läuft. Das Messergebnis dieses Mess-Szenarios wird in den beiden Abbildungen 6.31 und 6.33 für das Spiel *Red Dead Redemption 2* für die beiden Spielekonsolen präsentiert. Dabei wurde während des aktiven Spielens zum Startmenü gewechselt, und ein Video auf *YouTube* gestartet. Anschließend wurde der Messvorgang während der Video-Stream-Wiedergabe gestartet. Zum Vergleich wurde auch der Energieverbrauch, der bei der Wiedergabe eines gewöhnlichen Video-Streams von *YouTube* ohne einem laufenden Spiel im Hintergrund entstand, ermittelt. Ebenso interessant ist der wesentlich höhere Energieverbrauch der *Xbox One S* während der *YouTube*-Wiedergabe bei der 4K Ultra HD Auflösung im Vergleich zur Wiedergabe eines HD Streams bei gleicher Auflösung.

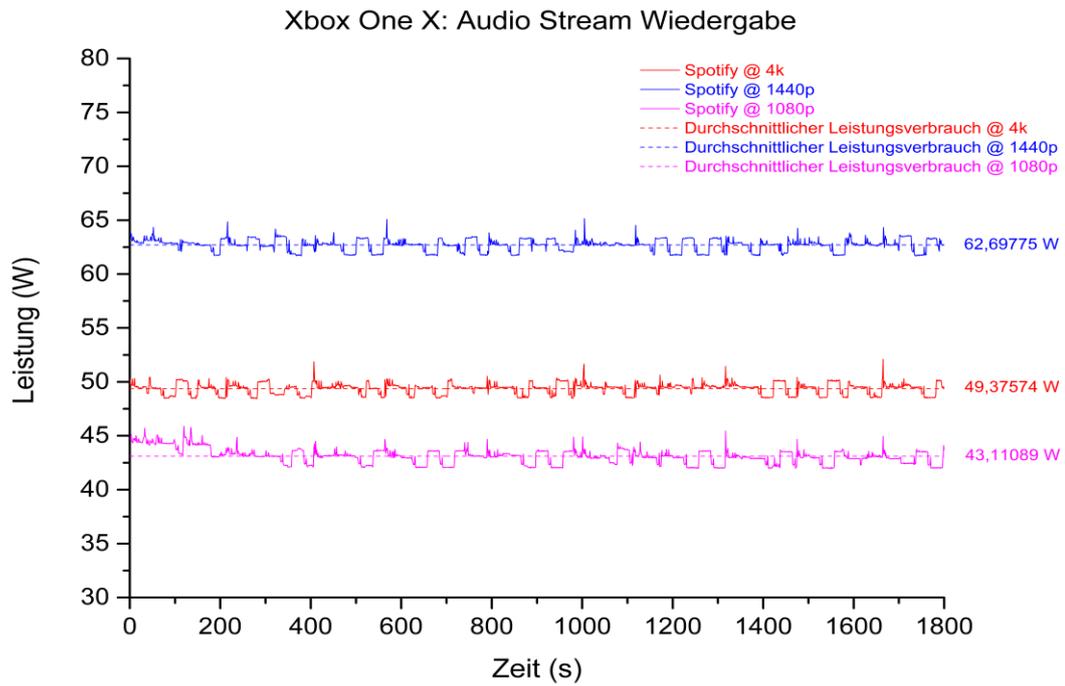


Abbildung 6.28: Xbox One X, Audio-Stream-Wiedergabe von Spotify.

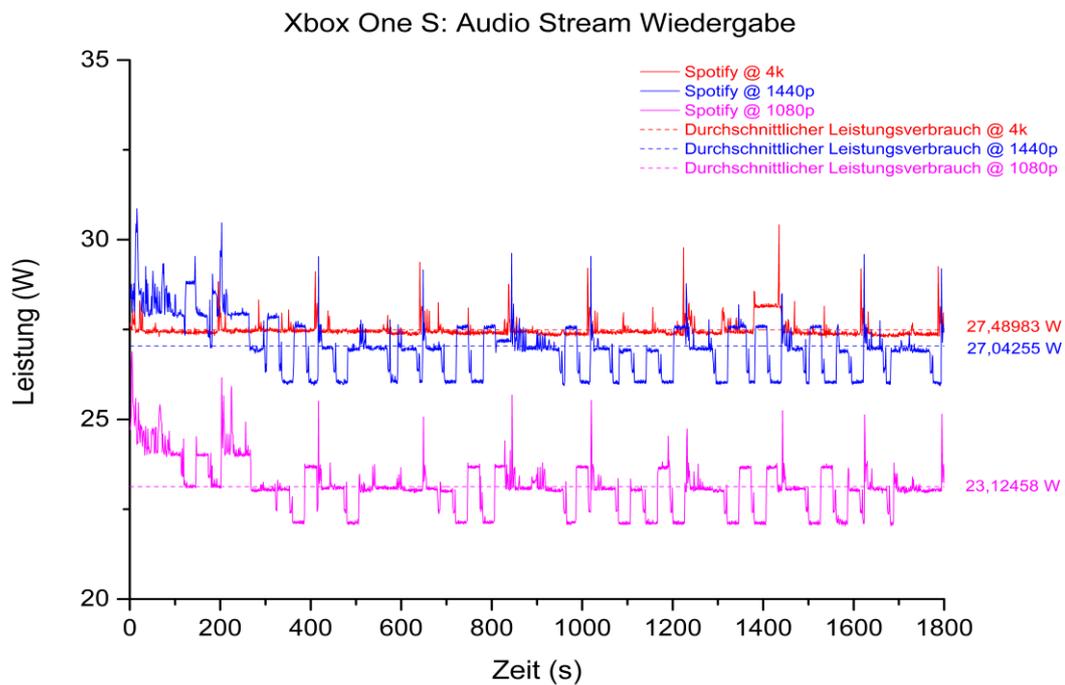


Abbildung 6.29: Xbox One S, Audio-Stream-Wiedergabe von Spotify.

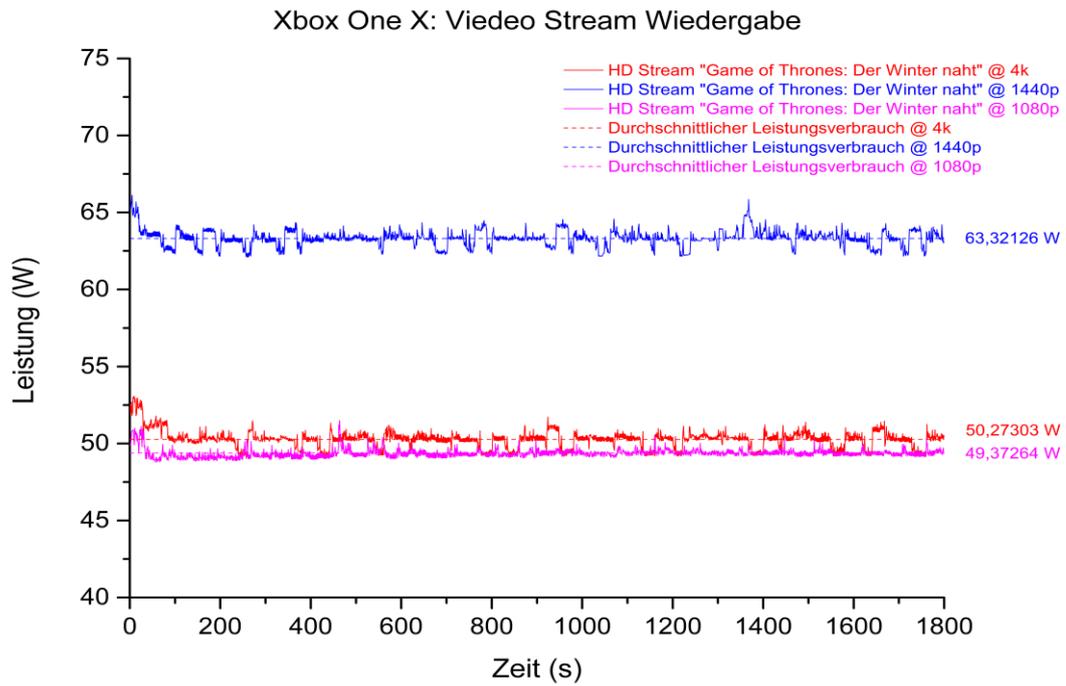


Abbildung 6.30: Xbox One X, Video-Stream-Wiedergabe von *Game of Thrones: Der Winter naht*.

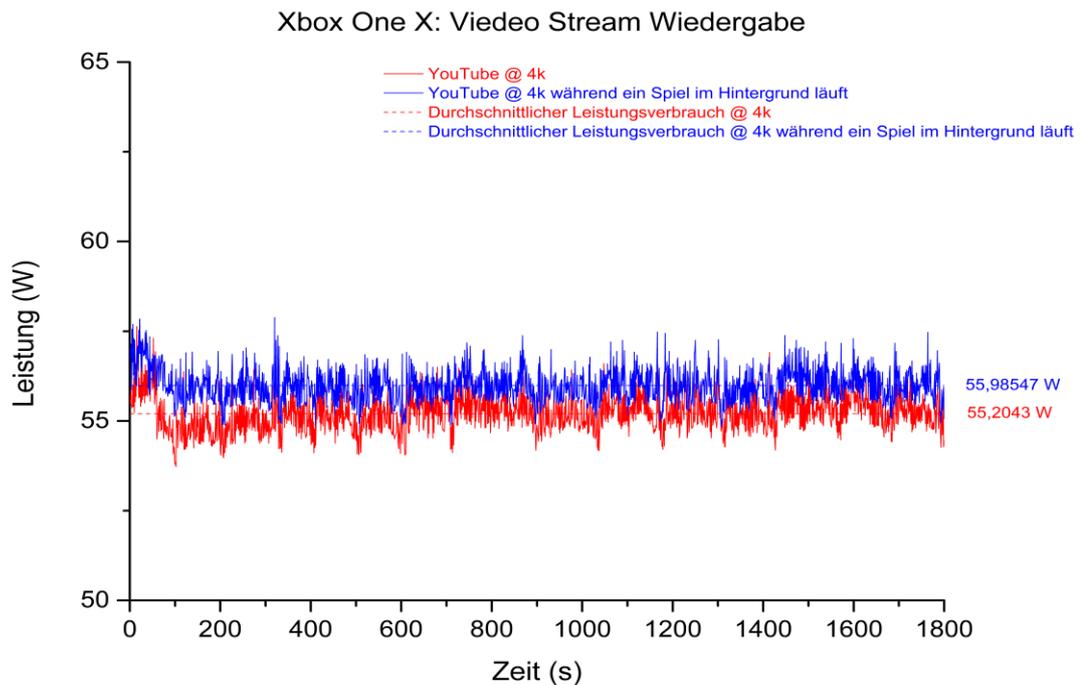


Abbildung 6.31: Xbox One X, Video-Stream-Wiedergabe von *YouTube*, im Hintergrund läuft das Spiel *Red Dead Redemption 2*.

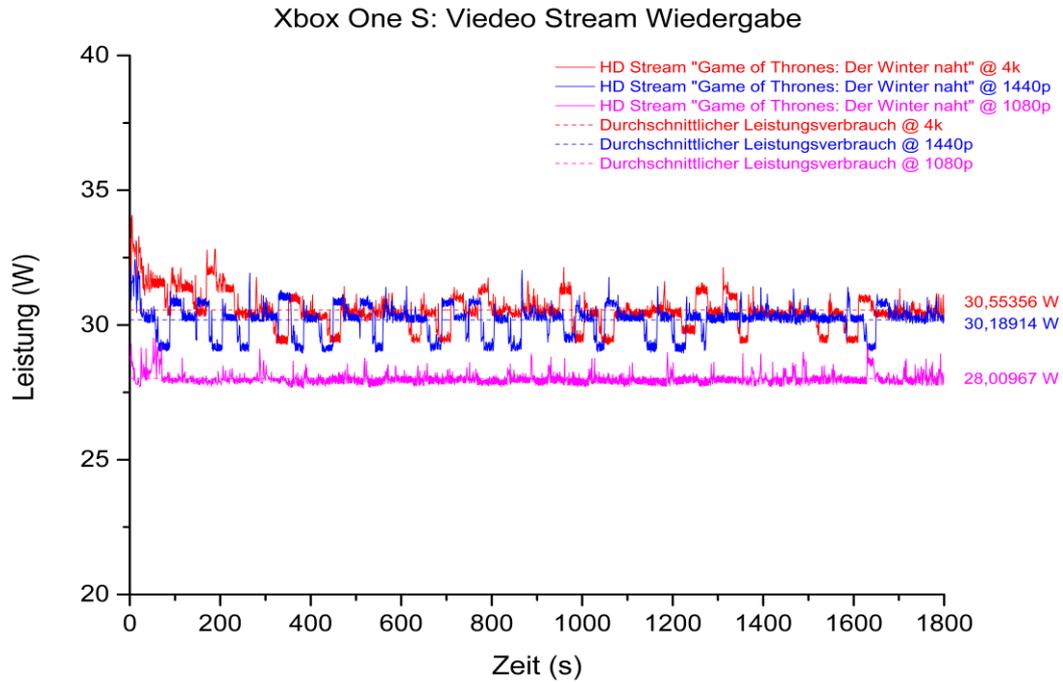


Abbildung 6.32: Xbox One S, Video-Stream-Wiedergabe von *Game of Thrones: Der Winter naht*.

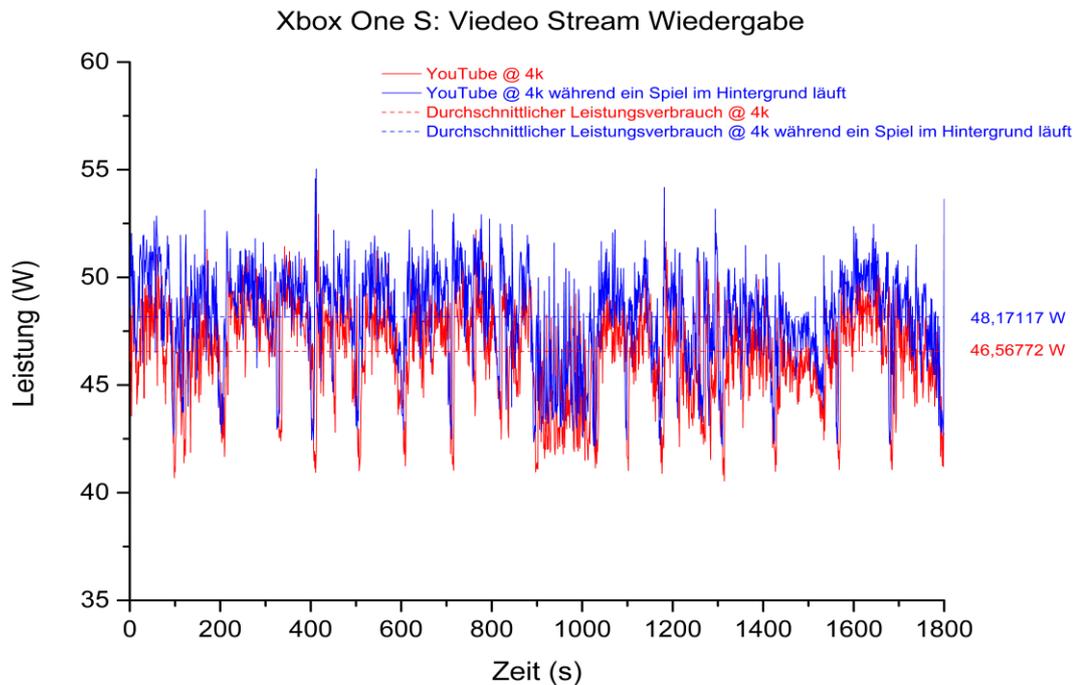


Abbildung 6.33: Xbox One S, Video-Stream-Wiedergabe von *YouTube*, im Hintergrund läuft das Spiel *Red Dead Redemption 2*.

6.5 Xbox One Mess-Szenario: Navigation im Home-Menü

Dieses Mess-Szenario dient der Untersuchung des Energieverbrauchs der beiden Spielekonsolen während der Navigation im Home-Menü, bei den drei unterschiedlichen Auflösungen der Videoausgabe. Dabei wird nur die Startseite des sogenannten *Dashboards* beobachtet, ohne mit dem Spiel-Controller im Menü herumzublättern. Nach etwa 10 Minuten, wie in den Standard-Einstellungen festgelegt, schaltet sich der dynamische Bildschirmschoner ein, der den Bildschirm etwas verdunkelt und dem Benutzer unterschiedliche Informationen präsentiert. Es wird außerdem der Energieverbrauch, der während des passiven Spielens auftritt, ebenfalls in den drei unterschiedlichen Auflösungen der Videoausgabe ermittelt. Beim passiven Spielen wechselt der Benutzer während des aktiven Spielens in das Hauptmenü der Spielekonsole, ohne vorher das Spiel beendet zu haben, und kann so das Spiel zu einem späteren Zeitpunkt wieder an der gleichen Stelle fortsetzen, ohne es noch einmal starten zu müssen.

Folgende Menüeinstellungen auf den Spielekonsolen sind, neben den bereits erwähnten Standard-Menüeinstellungen für die Mess-Szenarien, hierfür notwendig:

Für die Navigation bei der 1440p Auflösung:

Anzeige & Sound	Videoausgabe	Auflösung: 1440p
-----------------	--------------	------------------

Für die Navigation bei der Full HD Auflösung:

Anzeige & Sound	Videoausgabe	Auflösung: 1080p
-----------------	--------------	------------------

Die Messungen mit dem Chroma Energiemessgerät sollten eine halbe Stunde lang dauern, wofür folgende Einstellung zusätzlich zu den bereits erwähnten Standard-Einstellungen notwendig ist:

Storing Measured Data	Setting store count: 1800
-----------------------	---------------------------

Interpretation der Messergebnisse

Beginnend mit den Abbildungen 6.34 und 6.36, in denen die Messergebnisse für die *Xbox One X* und die *Xbox One S* für den Energieverbrauch im Home-Menü präsentiert werden, ist klar ersichtlich, dass dieser bei der stärkeren Spielekonsole von der Auflösung der Videoausgabe abhängt. Man erkennt auch deutlich nach etwa zehn Minuten bei beiden Spielekonsolen einen leichten Anstieg des Leistungsverbrauchs, sobald der dynamische Bildschirmschoner aktiviert wird.

In den Abbildungen 6.35 und 6.37 wird der Energieverbrauch der beiden Spielekonsolen präsentiert, der während der Navigation im Home-Menü entstand, während das Spiel *Red Dead Redemption 2* im Hintergrund weiterlief. Das Spiel wurde im Story-Modus gestartet, danach wurde ins Home-Menü der Spielekonsole gewechselt, und anschließend der Messvorgang gestartet. Es ist hier ersichtlich, dass nach etwa zehn Minuten bei beiden Spielekonsolen der Energieverbrauch deutlich absank.

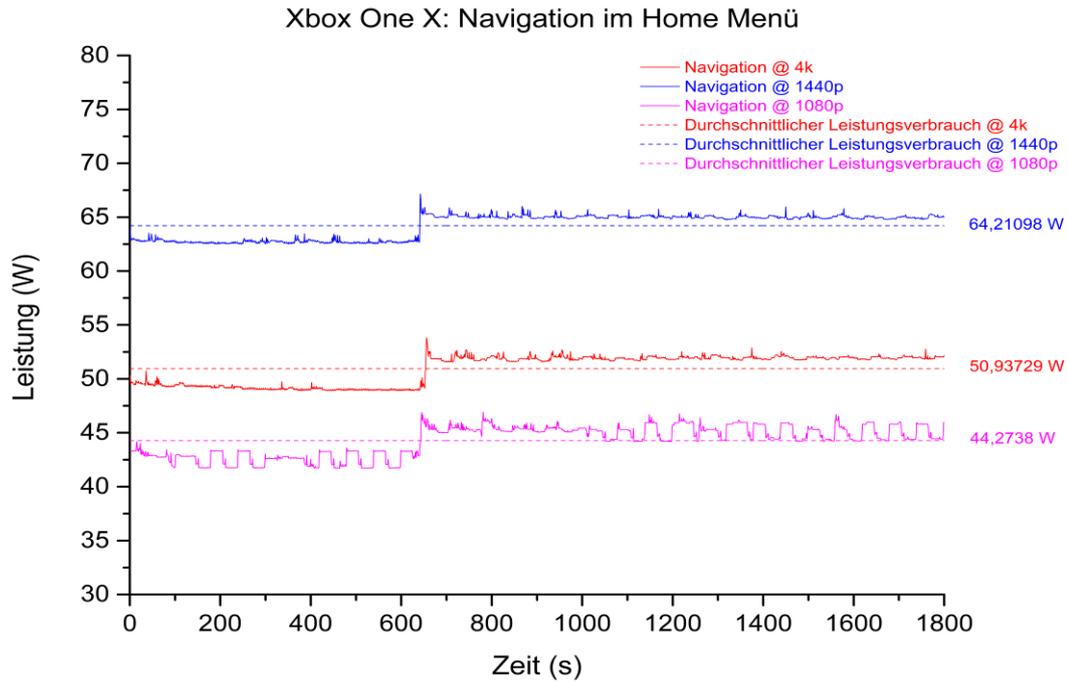


Abbildung 6.34: Xbox One X, Navigation im Home-Menü.

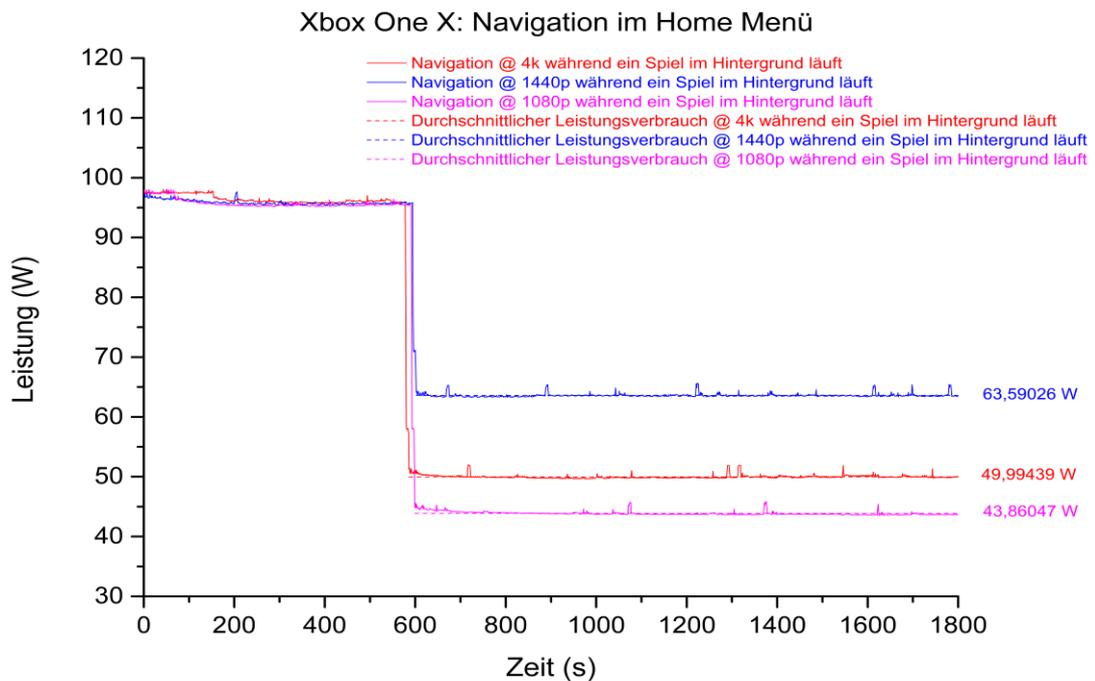


Abbildung 6.35: Xbox One X, Navigation im Home-Menü, während das Spiel Red Dead Redemption 2 im Hintergrund läuft.

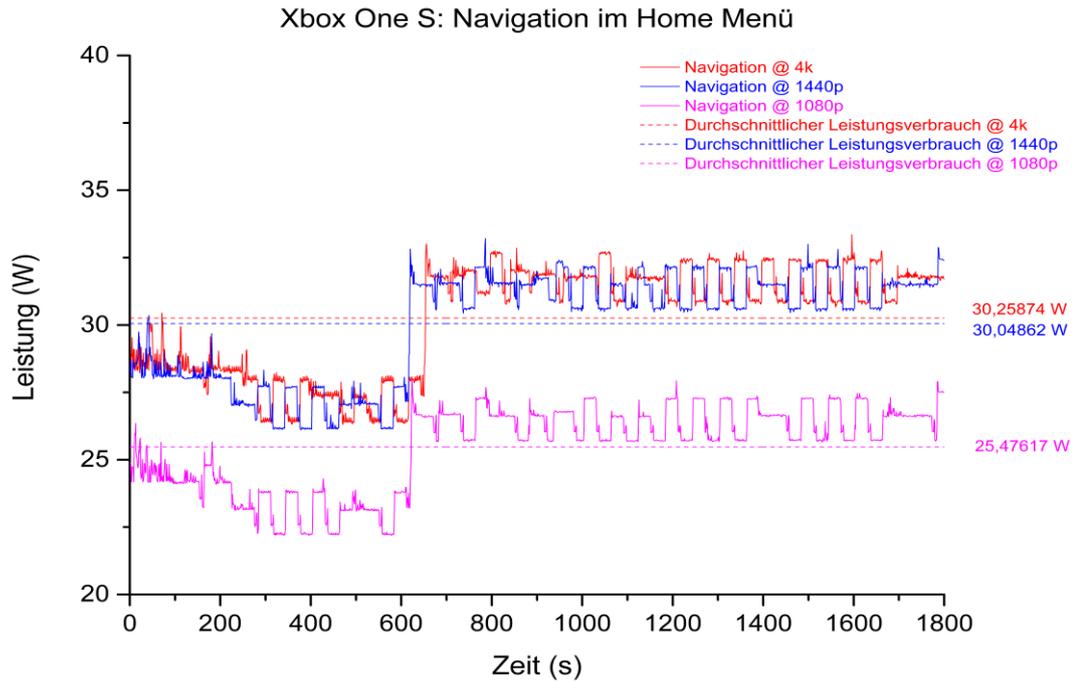


Abbildung 6.36: Xbox One S, Navigation im Home-Menü.

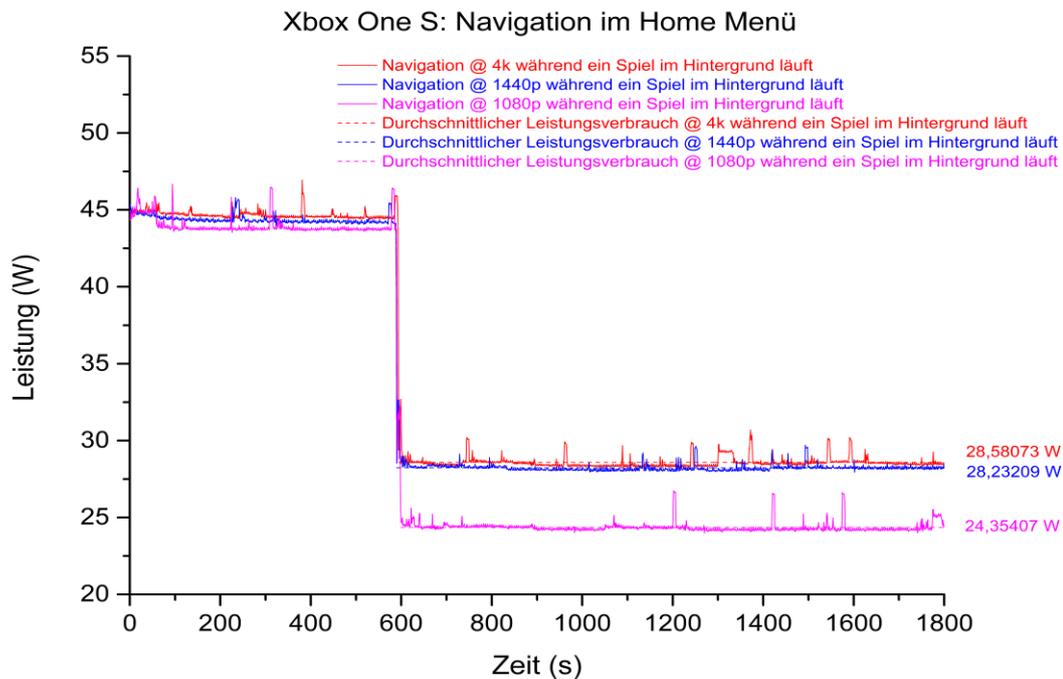


Abbildung 6.37: Xbox One X, Navigation im Home-Menü, während das Spiel Red Dead Redemption 2 im Hintergrund läuft.

6.6 Xbox One Mess-Szenario: Xbox Game-Streaming

In diesem Mess-Szenario werden Messungen durchgeführt, anhand welcher der Energieverbrauch der beiden Spielekonsolen während des Game-Streamings in den drei unterschiedlichen Auflösungen der Videoausgabe ermittelt wird. Dabei wird das Spiel *Red Dead Redemption 2* von einer der beiden Spielekonsolen über die *Xbox App*, Version 48.53.29001.00000, an einen Laptop mit dem Betriebssystem Windows 10 bei sehr hoher Qualität und einer Latenz von 168 ms gestreamt. Die Spielekonsole und der Laptop werden hierfür über das lokale kabellose Netzwerk miteinander verbunden.

Folgende Menüeinstellungen auf den Spielekonsolen sind, neben den bereits erwähnten Standard-Menüeinstellungen für die Mess-Szenarien, hierfür notwendig:

Für das Spielen bei der 1440p Auflösung:

Anzeige & Sound	Videoausgabe	Auflösung: 1440p
-----------------	--------------	------------------

Für das Spielen bei der Full HD Auflösung:

Anzeige & Sound	Videoausgabe	Auflösung: 1080p
-----------------	--------------	------------------

Die Messungen mit dem Chroma Energiemessgerät sollten eine halbe Stunde lang dauern, wofür folgende Einstellung zusätzlich zu den bereits erwähnten Standard-Einstellungen notwendig ist:

Storing Measured Data	Setting store count: 1800
-----------------------	---------------------------

Interpretation der Messergebnisse

Die beiden Abbildungen 6.38 und 6.39 präsentieren die Messergebnisse dieses Mess-Szenarios für die *Xbox One X* und die *Xbox One S*. Der Windows 10 Laptop diente der Spielekonsole nur als zweiter Remote-Bildschirm, während das Spiel *Red Dead Redemption 2* mit einer Full HD Auflösung und 60 Bildern pro Sekunde auf diesen über das lokale kabellose Netzwerk gestreamt wurde. Auf den Spielekonsolen selbst war der gleiche Energieverbrauch zu beobachten, wie beim aktiven Spielen dieses Spieletitels bei unterschiedlichen Auflösungen der Videoausgabe. Nachdem die beiden Spielekonsolen beim aktiven Spielen keinen Unterschied zwischen den eingestellten Auflösungen der Videoausgabe in Bezug auf Energieverbrauch machen, ist das Einsparungspotenzial auch beim Streamen von Spielen nicht vorhanden. Der Energieverbrauch des Laptops wurde hier nicht berücksichtigt.

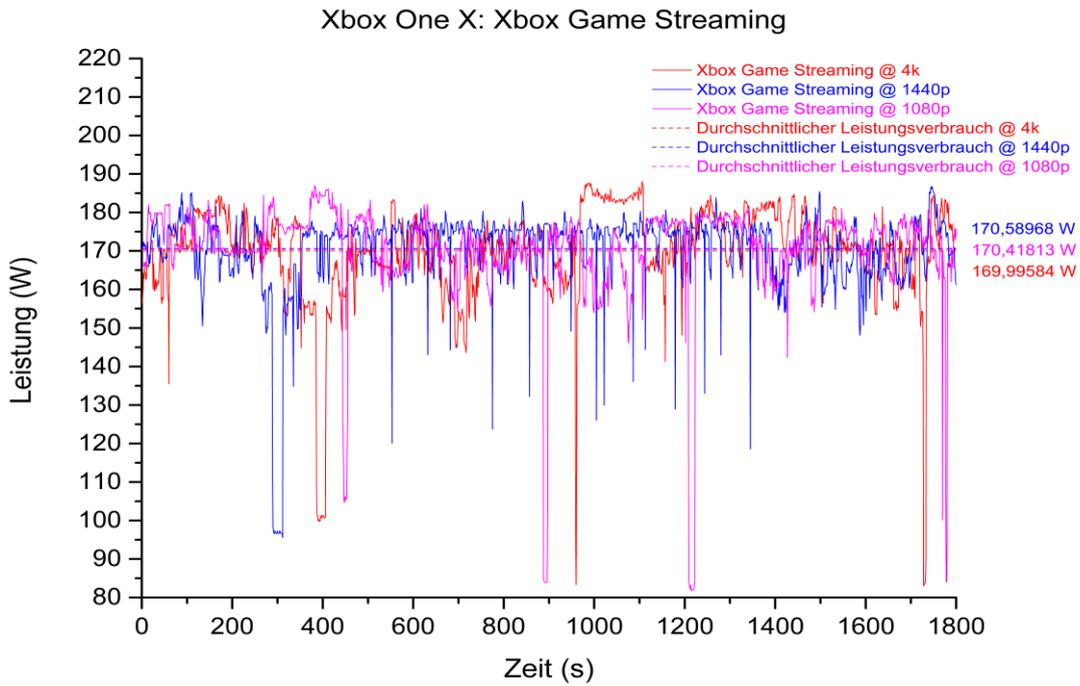


Abbildung 6.38: Xbox One X, Xbox Game-Streaming von *Red Dead Redemption 2*.

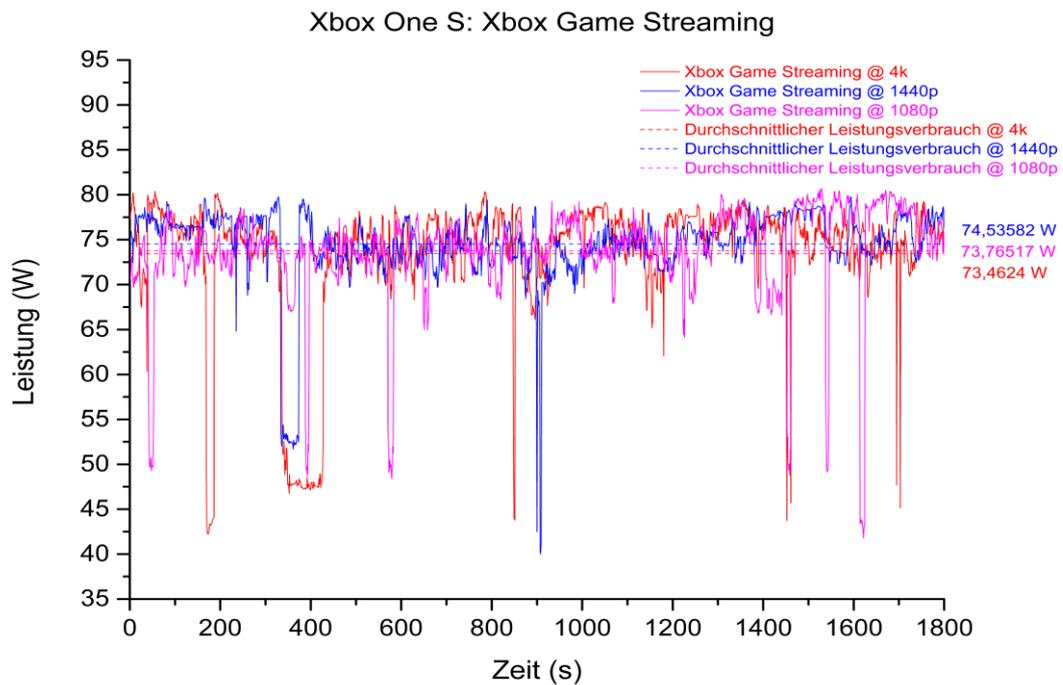


Abbildung 6.39: Xbox One S, Xbox Game-Streaming von *Red Dead Redemption 2*.

6.7 Xbox One Mess-Szenario: HDD vs. SSD

Die beiden Spielekonsolen von Microsoft *Xbox One X* und *Xbox One S* sind nicht dafür konzipiert, dass der Benutzer selbst den internen Datenträger durch einen technologisch weiterentwickelten, wie eine SSD, austauscht. Wie bei den beiden Spielekonsolen von Sony hat der Benutzer auch hier die Möglichkeit, einen externen Datenträger über einen USB-Anschluss mit der Spielekonsole zu verbinden und diesen als erweiterten Speicherplatz zu verwenden.

Obwohl man die Spielekonsolen komplett zerlegen muss, um bis zum Datenträger zu kommen, wird in diesem Mess-Szenario genau das bei der leistungsstärksten Spielekonsole der achten Generation gemacht. Der Inhalt des internen Datenträgers wird auf eine neue SSD, die auch schon bei der PS4 Pro im gleichnamigen Mess-Szenario zum Einsatz kam, geklont und anschließend wird diese SSD eingebaut. Es werden hier in unterschiedlichen Mess-Szenarien Vergleiche zwischen den beiden Datenträgern in Bezug auf den Energieverbrauch und vor allen auf Ladezeiten präsentiert. Zu diesem Zweck wird die durch die SRI-Version 2.6.3 empfohlene Mindestdauer von fünf Minuten für die Messungen verwendet, weil sie hier vollkommen ausreichend ist, um die Unterschiede zwischen den beiden Datenträgern aufzuzeigen.

Dafür ist die folgende Einstellung zusätzlich zu den bereits erwähnten Standard-Einstellungen auf dem Chroma Energiemessgerät notwendig:

Storing Measured Data	Setting store count: 300
-----------------------	--------------------------

In Abbildung 6.40 werden die zeitlichen Verläufe der pro Sekunde aufgenommenen Leistung gezeigt, die von der *Xbox One X* während des Einschaltvorgangs bis zum Hauptmenü des Dashboards einmal mit der originalen HDD und einmal mit der neuen SSD verbraucht wurde. Es ist ersichtlich, dass der Unterschied zwischen den beiden Zeitverläufen beim gemittelten Wert des Energieverbrauchs sehr gering ist. Tabelle 6.5 enthält die Ergebnisse weiterer vergleichender Mess-Szenarien, die allesamt keinen großen Unterschied beim Energieverbrauch der *Xbox One X* während der Verwendung der beiden Datenträger zeigen. Somit bietet der Austausch des Datenträgers durch einen technologisch weiterentwickelten keinen besonderen Vorteil in Bezug auf Energiesparmaßnahmen.

Der größte Gewinn allerdings durch den Wechsel auf einen neuen SSD Datenträger wird in den beiden Abbildungen 6.40 und 6.41. präsentiert. Beim Start der Spieletitel *Red Dead Redemption 2* und *Star Wars Battlefront 2* erfolgte der Start von der SSD um etwa 40 Sekunden schneller als von der originalen HDD. Es war bei der Messung auch aufgefallen, dass die Ladezeiten während des aktiven Spielens ebenso kürzer waren. Man kann aus diesem Mess-Szenario schlussfolgern, dass der Vorteil der neuen SSD gegenüber der originalen HDD in der *Xbox One X* eindeutig in der viel höheren Schreib- und Lesegeschwindigkeit liegt.

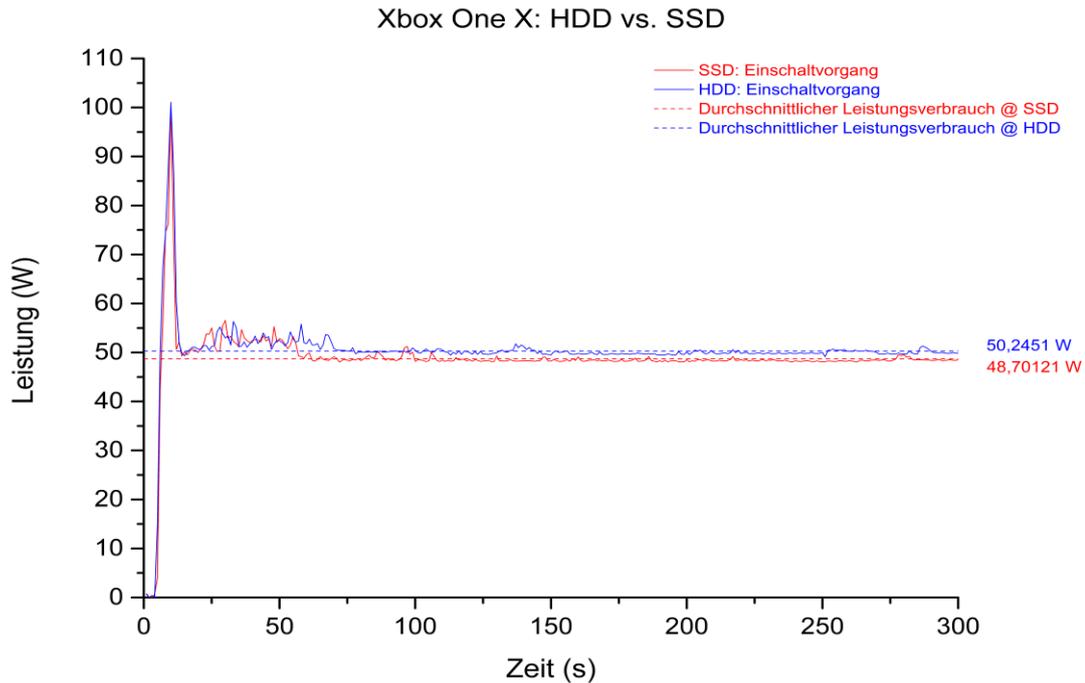


Abbildung 6.40: *Xbox One X*, Vergleich des Einschaltvorgangs der Spielekonsole, einmal mit der originalen HDD und einmal mit der neuen SSD.

Tabelle 6.5: Vergleich des Energieverbrauchs von der *Xbox One X* pro Stunde zwischen der neuen SSD und der originalen HDD, Messungen gemäß der SRI-Version 2.6.3.

Mess-Szenario bei 4K Ultra HD	SSD	HDD
Aktives Spielen: <i>FIFA 19</i>	0,120 kWh	0,127 kWh
Aktives Spielen: <i>Need For Speed Payback</i>	0,159 kWh	0,145 kWh
Aktives Spielen: <i>Red Dead Redemption 2</i>	0,171 kWh	0,174 kWh
Aktives Spielen: Durchschnittswert	0,150 kWh	0,149 kWh
4K UHD Blu-Ray Disc-Wiedergabe von <i>Unsere Erde 2</i>	0,057 kWh	0,058 kWh
Blu-Ray Disc-Wiedergabe von <i>Avatar - Aufbruch nach Pandora</i>	0,053 kWh	0,054 kWh
DVD Wiedergabe von <i>Avatar - Aufbruch nach Pandora</i>	0,053 kWh	0,054 kWh

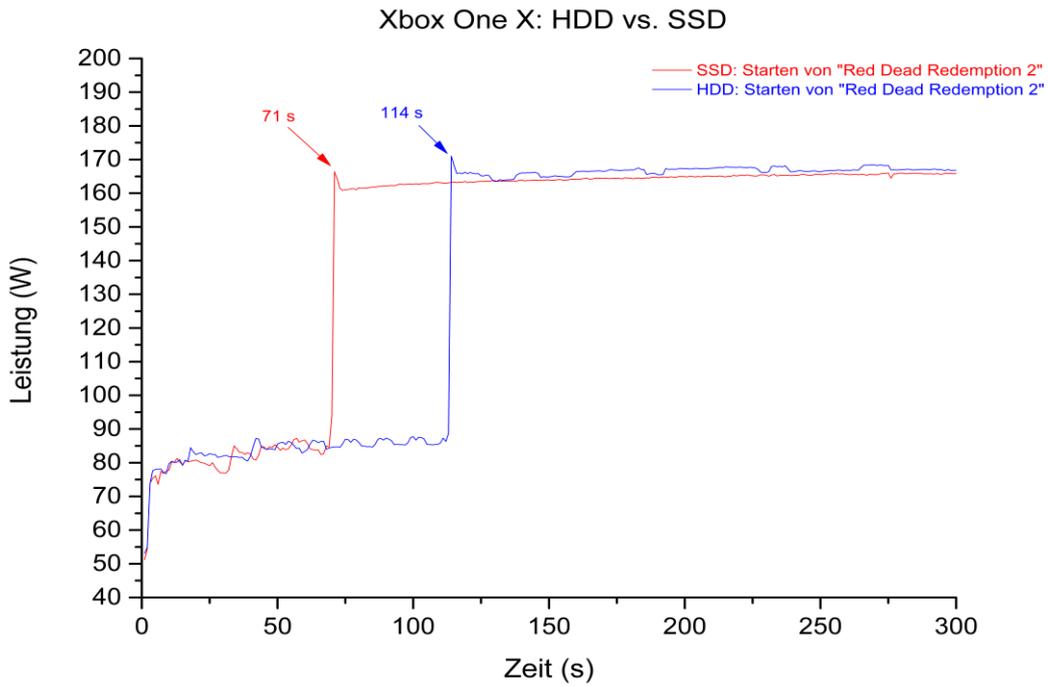


Abbildung 6.41: Xbox One X, Starten von *Red Dead Redemption 2*, Vergleich zw. der HDD und der SSD.

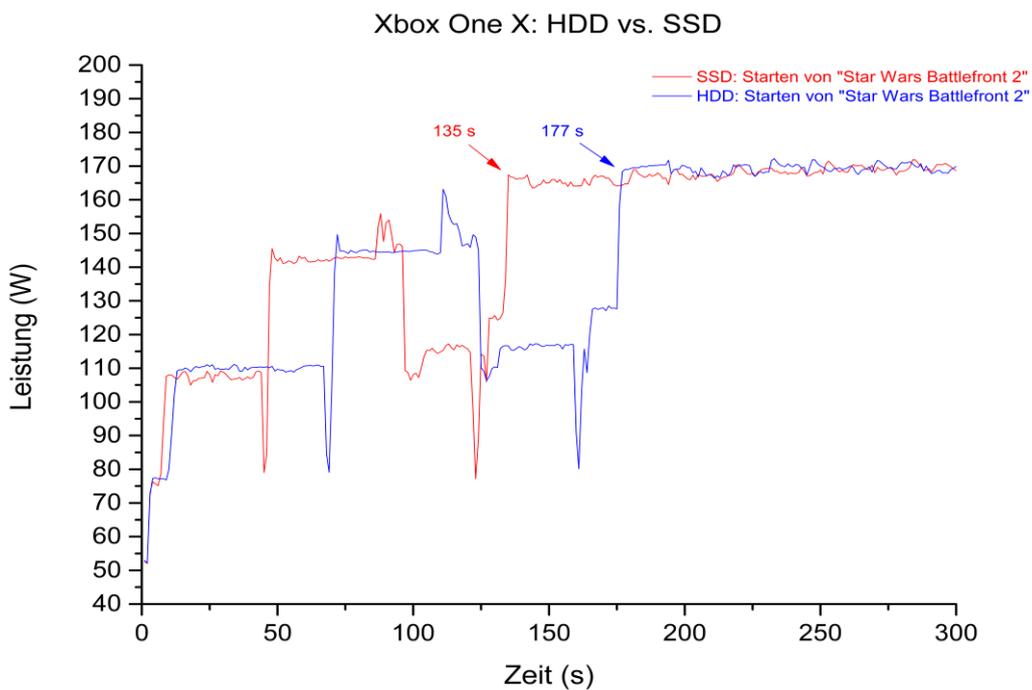


Abbildung 6.42: Xbox One X, Starten von *Star Wars Battlefront 2*, Vergleich zw. der HDD und der SSD.

6.8 Xbox One Messwerte nach den Vorgaben der SRI

In diesem Unterkapitel werden alle ermittelten Messwerte in den Tabellen 6.9 bis 6.15, die nach den Vorgaben der SRI-Version 2.6.3 für die Überprüfungsstudie [25] für die *Xbox One X* und die *Xbox One S* ermittelt wurden, zusammen mit den bisher in den Mess-Szenarien vorgestellten Messwerten präsentiert. Es sind einerseits die Messdauer und andererseits der Ablauf in den einzelnen Mess-Szenarien, die den Unterschied zwischen den beiden ausmachen. Tabelle 6.12 enthält die Messwerte für die *Xbox One X*, die für die HD ready Auflösung der Videoausgabe ermittelt wurden. Beim Vergleich mit den Messwerten für die Full HD Auflösung der Videoausgabe aus Tabelle 6.11 erkennt man, dass zwischen den beiden Auflösungen auch bei dieser Spielekonsole kein nennenswerter Unterschied in Bezug auf den Energieverbrauch besteht. Das liefert auch den Grund für die Beschränkung auf die drei Auflösungen der Videoausgaben der beiden Spielekonsolen in den bereits vorgestellten Mess-Szenarien.

Mit den hier vorgestellten Tabellen können die Leser auch selbst Vergleiche zwischen den einzelnen Mess-Szenarien und den daraus gewonnenen Messwerten anstellen, sowie Unterschiede zu den anderen in dieser Diplomarbeit vorgestellten Spielekonsolen der achten Generation betrachten. Besonders interessant sind die Messwerte in den Tabellen 6.6 bis 6.8, die von der *Microsoft Corporation* veröffentlicht wurden. Einerseits sind es Verbrauchswerte von der *Xbox One S*, die man auf der Hersteller-Webseite findet, und andererseits sind es Energieverbrauchswerte, die die *Microsoft Corporation* für den Bericht zur Produkt-Konformität für das Jahr 2017 für die beiden Spielekonsolen präsentiert hat. Es ist ersichtlich, dass die Messwerte in den Tabellen 6.7 und 6.8 zwar unter den maximal zulässigen Verbrauchswerten nach den Vorgaben der SRI-Version 2.6.3 liegen, allerdings existieren auch hier teils große Unterschiede zu den Messwerten, die in den Tabellen 6.9 bis 6.15 zu finden sind.

Der Wert für den Energieverbrauch während des aktiven Spielens auf der *Xbox One X* weicht um etwa 40 Watt von den in dieser Diplomarbeit ermittelten Durchschnittswerten ab.

Auch die Zeit für das automatische Ausschalten (APD) während der Navigation, präsentiert in den Abbildungen 6.43 und 6.45, wird bei beiden Spielekonsolen um etwa 12 Minuten überschritten. In diesen beiden Abbildungen ist der gesamte Zeitverlauf des Leistungsverbrauchs der beiden Spielekonsolen, vom Weglegen des Spiel-Controllers bis hin zum Erreichen des Energiemodus *Schnelles Hochfahren*, präsentiert. Man erkennt hier auch das Aktivieren des dynamischen Bildschirmschoners nach 10 Minuten, was möglicherweise der Grund für den verzögerten APD ist. Diese Annahme wurde allerdings durch keine Messung in dieser Diplomarbeit bestätigt. In den Abbildungen 6.44 und 6.46 wird der ebenfalls um etwa 12 Minuten verzögerte APD während des aktiven Spielens präsentiert. Die Messungen wurden bei allen in den Abbildungen 6.43 bis 6.46 präsentierten Mess-Szenarien mit dem Weglegen des Spiel-Controllers gestartet und dauerten 80 Minuten.

Durch regelmäßige System-Updates erhalten Spielekonsolen in den meisten Fällen auch Leistungsverbesserungen, die sich auch auf den Energieverbrauch der Spielekonsole auswirken können. Deshalb sollten die Spielekonsolen Hersteller für ihre jährlichen Berichte zur Produkt-Konformität in Zukunft, anstatt einmal veröffentlichte Messwerte immer wieder zu referenzieren, neue Messwerte für den Leistungsverbrauch ermitteln, die auch den aktuellen Modellen und Software-Ständen der Spielekonsolen entsprechen.

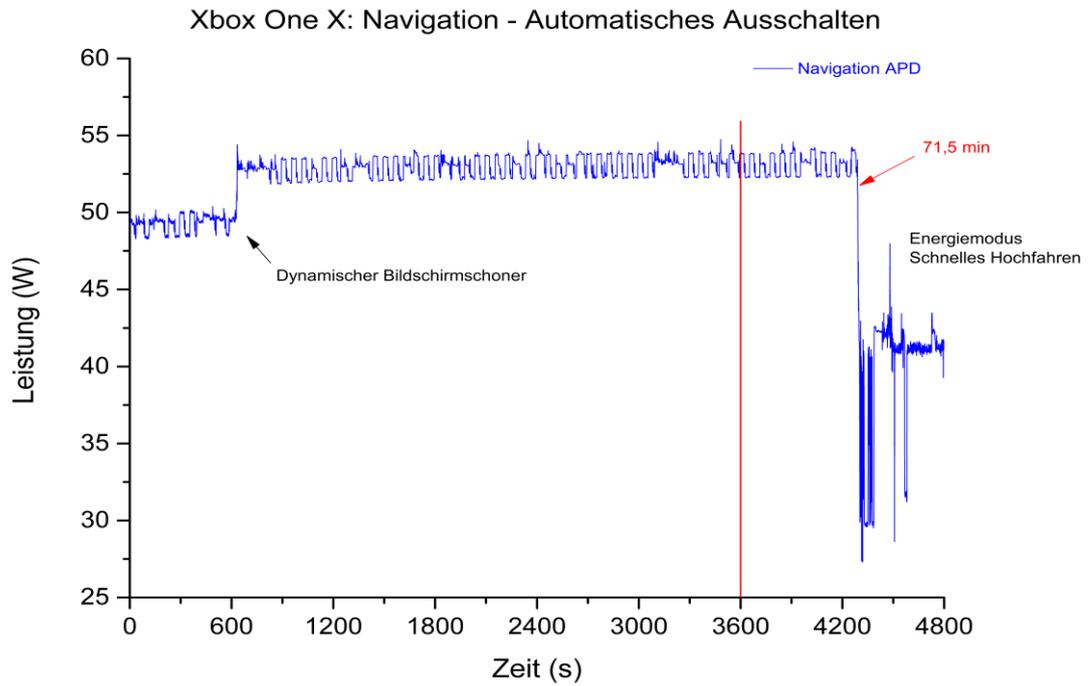


Abbildung 6.43: Xbox One X, Automatisches Ausschalten während der Navigation im Dashboard.

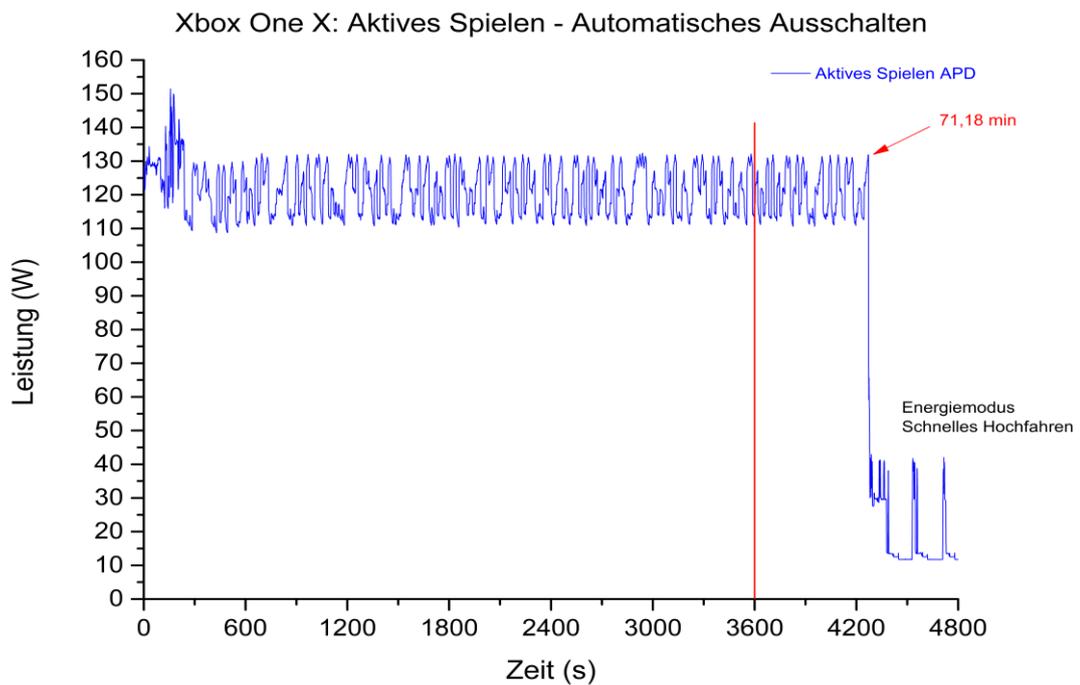


Abbildung 6.44: Xbox One X, Automatisches Ausschalten während des aktiven Spielens.

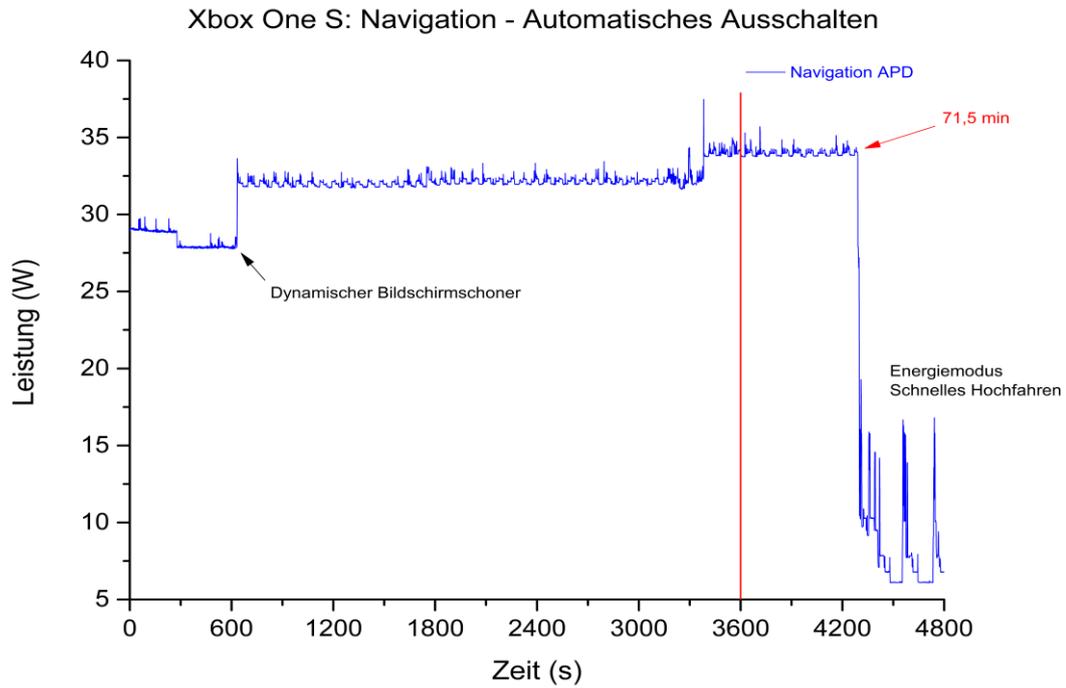


Abbildung 6.45: Xbox One S, Automatisches Ausschalten während der Navigation im Dashboard.

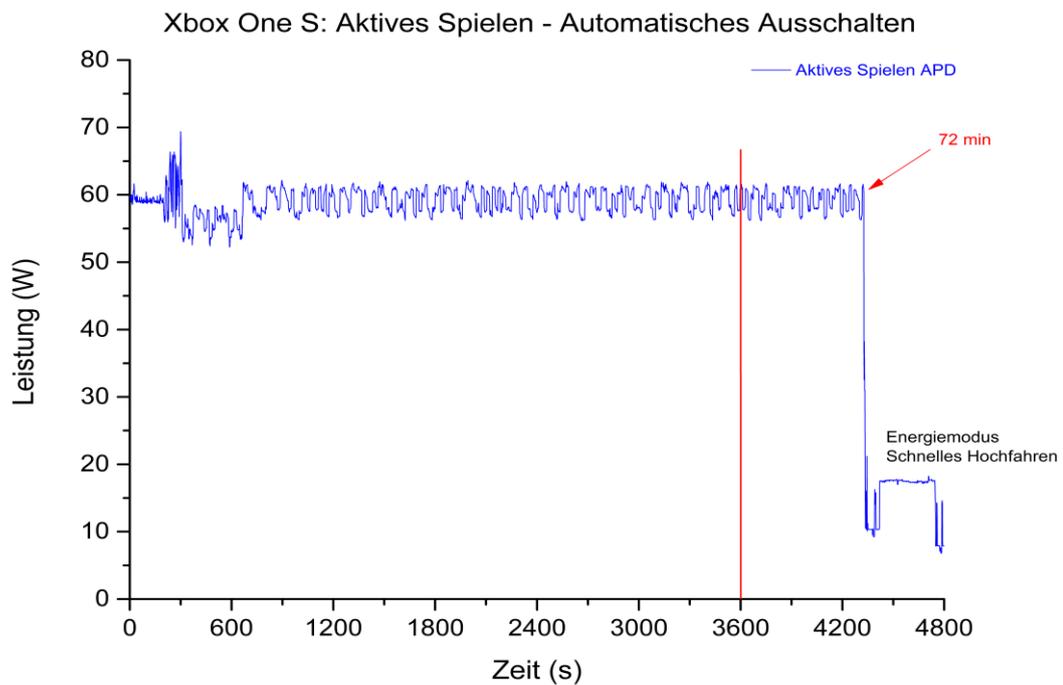


Abbildung 6.46: Xbox One S, Automatisches Ausschalten während des aktiven Spielens.

Tabelle 6.6: Energieverbrauchsangaben in Watt für die Xbox One S, direkt übernommen von der Hersteller-Webseite [58].

Mess-Szenario	Xbox One S
Regulatorischer Standby-Modus	0,5 W
Schnelles Hochfahren	11 W
Navigationsmodus	27 W
DVD-Wiedergabe	33 W
Blu-ray-Wiedergabe	39 W
HD streamen	33 W
UHD streamen	36 W
Aktives Spielen	62 W

Tabelle 6.7: Messwerte des Energieverbrauchs der Xbox One X, übernommen aus dem Bericht der Microsoft Corporation zur Produkt-Konformität für das Jahr 2017 [54]. APD steht hier für *Automatic Power Down*, also für das automatische Ausschalten, angegeben in Minuten (min).

Mess-Szenario	Xbox One X (1787)
Navigation	46,4 W
Media Playback DVD	51,4 W
Media Playback Blu-Ray Disc	54,2 W
Streaming HD (1080p)	52,9 W
Aktives Spielen	107,6 W
Navigation APD	60 min
Aktives Spielen APD	60 min
Disc-Wiedergabe APD	216 min
Stream-Wiedergabe APD	189 min

Tabelle 6.8: Messwerte des Energieverbrauchs der Xbox One S, übernommen aus dem Bericht der Microsoft Corporation zur Produkt-Konformität für das Jahr 2017 [54]. APD steht hier für *Automatic Power Down*, also für das automatische Ausschalten, angegeben in Minuten (min).

Mess-Szenario	Xbox One S (1681)
Navigation	27,1 W
Media Playback DVD	33,2 W
Media Playback Blu-Ray Disc	38,8 W
Streaming HD (1080p)	32,4 W
Aktives Spielen	62 W
Navigation APD	60 min
Aktives Spielen APD	60 min
Disc-Wiedergabe APD	189 min
Stream-Wiedergabe APD	170 min

Tabelle 6.9: Arithmetische Mittelwerte in Watt der ermittelten Messwerte des Energieverbrauchs der Microsoft Xbox One X. Die rechte Spalte enthält die nach den Vorgaben der SRI-Version 2.6.3 ermittelten Messwerte. Die blau akzentuierten Messwerte sind die Vergleichswerte für Tabelle 6.7. APD in den letzten vier Zeilen steht für automatisches Ausschalten und wurde in Sekunden (s) gemessen.

Xbox One X Mess-Szenario	Medium	4K Ultra HD	nach SRI
Navigation im Home-Menü	N/A	50,9373	49,3573
Navigation + Passives Spielen	Red Dead Redemption 2	64,9492	
Spiel Installation	Red Dead Redemption 2	55,2354	
Disc-Wiedergabe Blu-Ray	Avatar	54,4717	54,3269
Disc-Wiedergabe Blu-Ray in UHD	Unsere Erde 2 (4K UHD)	58,5536	57,9839
Disc-Wiedergabe DVD	Avatar / SRI: Conan der Zerstörer	54,5309	54,3312
Stream-Wiedergabe in HD	Game of Thrones S1E1	50,2730	49,8186
Stream-Wiedergabe in UHD	YouTube	55,2043	55,3049
Stream-Wiedergabe: Audio	Spotify	49,3757	49,4282
Aktives Spielen:	Red Dead Redemption 2	166,1716	174,3200
	FIFA 19	125,3715	127,0547
	Need for Speed Payback	143,2416	145,0328
	World of Tanks	130,6541	
	Fortnite	160,1943	
Aktives Spielen:	Durchschnittswert	145,1266	148,8025
Aktives Spielen + Audio Streaming	RDR2 + Spotify	172,1428	
Stream-Wiedergabe + Passives Spielen	YouTube + RDR2	55,9855	
Microsoft Game Streaming	Red Dead Redemption 2	169,9958	
Standby: Ausgeschaltet	N/A	0,2891	
Energiemodus: Energie sparen	N/A	0,2909	
Energie sparen: Controller aufladen	N/A	3,4778	
Schnelles Hochfahren: Speicher mir der Xbox ausschalten.	N/A	13,4808	
Schnelles Hochfahren: Beim Starten zu TV gehen.	N/A	14,5735	
Schnelles Hochfahren: (Alle beiden Optionen eingeschaltet)	N/A	15,2092	
Schnelles Hochfahren: (Keine Option eingeschaltet)	N/A	15,2760	
Schnelles Hochfahren: (Keine Option eingeschaltet): Update installieren	Star Wars Battlefront 2	40,7621	
Schnelles Hochfahren: (Keine Option eingeschaltet): Controller aufladen	N/A	17,5641	
Navigation APD	N/A		4290 s
Aktives Spielen APD	Need for Speed Pay-back		4271 s
Disc-Wiedergabe APD	Blu-Ray: Avatar		14142 s
Stream-Wiedergabe APD	Game of Thrones S1E1		7979 s

Tabelle 6.10: Arithmetische Mittelwerte in Watt der gemessenen Messwerte des Energieverbrauchs der Microsoft Xbox One X mit der 1440p Auflösung der Videoausgabe. Die blau akzentuierten Messwerte sind die Vergleichswerte für Tabelle 6.7.

Xbox One X Mess-Szenario	Medium	1440p
Navigation im Home-Menü	N/A	64,2110
Navigation + Passives Spielen	Red Dead Redemption 2	74,2758
Disc-Wiedergabe Blu-Ray	Avatar	67,8096
Disc-Wiedergabe Blu-Ray in UHD	Unsere Erde 2 in 4K UHD	70,6247
Disc-Wiedergabe DVD	Avatar	67,5292
Stream-Wiedergabe in HD	Game of Thrones S1E1	63,3213
Stream-Wiedergabe: Audio	Spotify	62,6977
Aktives Spielen:	Red Dead Redemption 2	171,8443
	FIFA 19	126,6746
	Need for Speed Payback	149,9310
	World of Tanks	136,9065
	Fortnite	160,3443
Aktives Spielen:	Durchschnittswert	149,1401
Microsoft Game Streaming	Red Dead Redemption 2	170,5897

Tabelle 6.11: Arithmetische Mittelwerte in Watt der gemessenen Messwerte des Energieverbrauchs der Microsoft Xbox One X mit der Full HD Auflösung der Videoausgabe. Die rechte Spalte enthält die nach den Vorgaben der SRI-Version 2.6.3 ermittelten Messwerte. Die blau akzentuierten Messwerte sind die Vergleichswerte für Tabelle 6.7.

Xbox One X Mess-Szenario	Medium	1080p	nach SRI
Navigation im Home-Menü	N/A	44,2738	43,9460
Navigation + Passives Spielen	Red Dead Redemption 2	60,9531	
Disc-Wiedergabe Blu-Ray	Avatar	54,4229	55,0707
Disc-Wiedergabe Blu-Ray in UHD	Unsere Erde 2 in 4K UHD	58,0861	58,2653
Disc-Wiedergabe DVD	Avatar / SRI: Conan der Zerstörer	54,0040	54,7417
Stream-Wiedergabe in HD	Game of Thrones S1E1	49,3726	48,8494
Stream-Wiedergabe: Audio	Spotify	43,1109	42,9901
Aktives Spielen:	Red Dead Redemption 2	170,7825	172,0533
	FIFA 19	123,7730	128,3393
	Need for Speed Payback	145,4291	144,2569
	World of Tanks	135,5882	
	Fortnite	159,9968	
Aktives Spielen:	Durchschnittswert	147,1139	148,2165
Microsoft Game Streaming	Red Dead Redemption 2	170,4181	

Tabelle 6.12: Arithmetische Mittelwerte in Watt der nach den Vorgaben der SRI-Version 2.6.3 ermittelten Messwerte des Energieverbrauchs der *Microsoft Xbox One X* mit der HD ready Auflösung der Videoausgabe. Die blau akzentuierten Messwerte sind die Vergleichswerte für Tabelle 6.7.

Xbox One X Mess-Szenario	Medium	720p nach SRI
Navigation im Home-Menü	N/A	42,7885
Disc-Wiedergabe Blu-Ray	Avatar	54,8055
Disc-Wiedergabe Blu-Ray in UHD	Unsere Erde 2 in 4K UHD	58,5835
Disc-Wiedergabe DVD	Conan der Zerstörer	54,6922
Stream-Wiedergabe in HD	Game of Thrones S1E1	50,0112
Stream-Wiedergabe: Audio	Spotify	44,0751
Aktives Spielen:	Red Dead Redemption 2	173,5474
	FIFA 19	127,1828
	Need for Speed Payback	146,1100
Aktives Spielen:	Durchschnittswert	148,9467

Tabelle 6.13: Arithmetische Mittelwerte in Watt der gemessenen Messwerte des Energieverbrauchs der *Microsoft Xbox One S*. Die rechte Spalte enthält die nach den Vorgaben der SRI-Version 2.6.3 ermittelten Messwerte. Die grün akzentuierten Messwerte sind die Vergleichswerte für Tabelle 6.8. APD in den letzten vier Zeilen steht für automatisches Ausschalten und wurde in Sekunden (s) gemessen.

Xbox One S Mess-Szenario	Medium	4K Ultra HD	nach SRI
Navigation im Home-Menü	N/A	30,2587	28,5117
Navigation + Passives Spielen	Red Dead Redemption 2	33,8835	
Spiel Installation	Red Dead Redemption 2	33,8316	
Disc-Wiedergabe Blu-Ray	Avatar	37,1649	36,8861
Disc-Wiedergabe Blu-Ray in UHD	Unsere Erde 2 (4K UHD)	41,2554	42,2783
Disc-Wiedergabe DVD	Avatar / SRI: Conan der Zerstörer	36,4762	37,4975
Stream-Wiedergabe in HD	Game of Thrones S1E1	30,5536	31,2425
Stream-Wiedergabe in UHD	YouTube	46,5677	49,5249
Stream-Wiedergabe: Audio	Spotify	27,4898	27,6552
Aktives Spielen:	Red Dead Redemption 2	75,1783	74,1861
	FIFA 19	60,8916	60,6466
	Need for Speed Payback	64,9741	65,5134
	World of Tanks	55,6031	
	Fortnite	69,5436	
Aktives Spielen:	Durchschnittswert	65,2381	66,7820
Aktives Spielen + Audio Streaming	RDR 2 + Spotify	75,6755	
Stream-Wiedergabe + Passives Spielen	YouTube + RDR2	48,1712	
Microsoft Game Streaming	Red Dead Redemption 2	73,4624	
Standby: Ausgeschaltet	N/A	0,3332	
Energiemodus: Energie sparen	N/A	0,3357	

Energie sparen: Controller aufladen	N/A	3,2460	
Schnelles Hochfahren: Speicher mit der Xbox ausschalten.	N/A	7,1196	
Schnelles Hochfahren: Beim Starten zu TV gehen.	N/A	6,5865	
Schnelles Hochfahren: (Alle beiden Optionen eingeschaltet)	N/A	6,6791	
Schnelles Hochfahren: (Keine Option eingeschaltet)	N/A	6,9062	
Schnelles Hochfahren: (Keine Option eingeschaltet): Update installieren	Star Wars Battlefront 2	16,9126	
Schnelles Hochfahren: (Keine Option eingeschaltet): Controller aufladen	N/A	9,3670	
Navigation APD	N/A		4291 s
Aktives Spielen APD	Need for Speed Pay-back		4326 s
Disc-Wiedergabe APD	Blu-Ray: Avatar		14071 s
Stream-Wiedergabe APD	Game of Thrones S1E1		7991 s

Tabelle 6.14: Arithmetische Mittelwerte in Watt der gemessenen Messwerte des Energieverbrauchs der Microsoft Xbox One S mit der 1440p Auflösung der Videoausgabe. Die grün akzentuierten Messwerte sind die Vergleichswerte für Tabelle 6.8.

Xbox One S Mess-Szenario	Medium	1440p
Navigation im Home-Menü	N/A	30,0486
Navigation + Passives Spielen	Red Dead Redemption 2	33,5084
Disc-Wiedergabe Blu-Ray	Avatar	37,2322
Disc-Wiedergabe Blu-Ray in UHD	Unsere Erde 2 in 4K UHD	41,5416
Disc-Wiedergabe DVD	Avatar / SRI: Conan der Zerstörer	36,6242
Stream-Wiedergabe in HD	Game of Thrones S1E1	30,1891
Stream-Wiedergabe: Audio	Spotify	27,0426
Aktives Spielen:	Red Dead Redemption 2	73,2784
	FIFA 19	61,2830
	Need for Speed Payback	63,3121
	World of Tanks	59,7020
	Fortnite	69,4507
Aktives Spielen:	Durchschnittswert	65,4052
Microsoft Game Streaming	Red Dead Redemption 2	74,5358

Tabelle 6.15: Arithmetische Mittelwerte in Watt der gemessenen Messwerte des Energieverbrauchs der Microsoft Xbox One S mit der Full HD Auflösung der Videoausgabe. Die rechte Spalte enthält die nach den Vorgaben der SRI-Version 2.6.3 ermittelten Messwerte. Die grün akzentuierten Messwerte sind die Vergleichswerte für Tabelle 6.8.

Xbox One S Mess-Szenario	Medium	1080p	nach SRI
Navigation im Home-Menü	N/A	25,4762	23,2381
Navigation + Passives Spielen	Red Dead Redemption 2	30,8092	
Disc-Wiedergabe Blu-Ray	Avatar	36,9028	38,0644
Disc-Wiedergabe Blu-Ray in UHD	Unsere Erde 2 in 4K UHD	41,2328	41,8167
Disc-Wiedergabe DVD	Avatar / SRI: Conan der Zerstörer	36,5026	37,0685
Stream-Wiedergabe in HD	Game of Thrones S1E1	28,0097	27,6789
Stream-Wiedergabe: Audio	Spotify	23,1246	23,3369
Aktives Spielen:	Red Dead Redemption 2	73,5390	73,7742
	FIFA 19	61,3801	59,4557
	Need for Speed Payback	64,3509	64,2876
	World of Tanks	58,5750	
	Fortnite	69,1348	
Aktives Spielen:	Durchschnittswert	65,3960	65,8391
Microsoft Game Streaming	Red Dead Redemption 2	73,7652	

7. Nintendo Switch

Die *Nintendo Switch* bietet im Gegensatz zu den bisher analysierten Spielekonsolen drei unterschiedliche Spielmodi, in denen sie verwendet werden kann. Im *TV-Modus* wird sie über die Station, zu sehen in Abbildung 7.1, mit dem Fernseher verbunden und wie eine gewöhnliche stationäre Spielekonsole verwendet. Die anderen beiden sind der *Tisch-Modus* und der *Handheld-Modus*, bei denen sie als portable Spielekonsole bzw. Handheld verwendet wird. Die Spielekonsole hat die Möglichkeit, als Handheld seitlich jeweils einen Spiel-Controller, auch *Joy-Con* genannt, anzuschließen.



Abbildung 7.1: Die *Nintendo Switch*, eine Station und vier Joy-Con Spiel-Controller.

Diese Spiel-Controller können auch abgenommen und separat voneinander, waagrecht oder senkrecht, verwendet werden. Man kann sie allerdings auch zusammen in der Joy-Con-Halterung verwenden. Bei dem Tisch-Modus wird das Handheld einfach am Tisch aufgestellt und die Joy-Cons abgenommen und unabhängig voneinander verwendet. Je nach Verwendung und gespielterem Spiel nutzt die *Nintendo Switch* unterschiedliche Auflösungen. Als Handheld ist es maximal die HD ready Auflösung und im *TV-Modus*, d.h. wenn sie in der Station betrieben wird, verwendet sie maximal die Full HD Auflösung.

Nintendo Co., Ltd. ist, wie bereits erwähnt, Mitunterzeichner der SRI-Version 2.6.3. Da die *Nintendo Switch* mit ihrem Energieverbrauch unterhalb der 20 Watt im aktiven Spielbetrieb liegt, ist für diese Spielekonsole kein jährlicher Bericht zur Produkt-Konformität abzuliefern. Die *Nintendo Switch*, zu sehen in Abbildung 7.1, wurde in dieser Diplomarbeit dennoch, wie die anderen vier Spielekonsolen der achten Generation, auf ihren Energieverbrauch im *TV-Modus* in den unterschiedlichen Mess-Szenarien untersucht. In diesem Kapitel werden die Messergebnisse dieser Untersuchung zusammengefasst in Tabelle 7.1 präsentiert. Die gemessenen Einzelwerte der aufgenommen Leistung pro Sekunde in den einzelnen Mess-Szenarien boten auch hier die Grundlage für die Berechnung arithmetischer Mittelwerte. Für die Messungen wurde das Chroma Energiemessgerät verwendet, während die Messdauer auf eine halbe Stunde festgelegt war. Für die Messwerte nach der SRI-Version 2.6.3, präsentiert in der Spalte ganz rechts in Tabelle 7.1, wurden die von der SRI-Version 2.6.3 vorgeschriebenen Mess-Szenarien verwendet. Da die Spielekonsole im *TV-Modus* nur eine Auflösung unterstützt, wurden die Messungen auch nur für die Full HD Auflösung der Videoausgabe durchgeführt.

Tabelle 7.1: Arithmetische Mittelwerte in Watt der ermittelten Messwerte des Energieverbrauchs der *Nintendo Switch* mit der Full HD Auflösung der Videoausgabe. Die rechte Spalte enthält die nach den Vorgaben der SRI-Version 2.6.3 ermittelten Messwerte. APD in den letzten drei Zeilen steht für automatisches Abschalten und wurde in Sekunden (s) gemessen.

Nintendo Switch Mess-Szenario	Media	1080p	Nach SRI
Navigation im Home-Menü	N/A	5,0196	6,1930
Navigation + Passives Spielen	Super Smash Bros. Ultimate	5,0617	
Stream-Wiedergabe in HD	YouTube	8,1022	7,8148
Aktives Spielen:	MarioKart 8 Deluxe	11,6024	11,4387
	FIFA 19	11,0536	12,0231
	Super Smash Bros. Ultimate	12,0405	12,1557
	Carnival Games	9,1039	
	NBA2K Playgrounds 2	13,2898	
Aktives Spielen:	Durchschnittswert	11,4180	11,8725
Handheld (Heruntergefahren): Aufladen	N/A	12,4526	
Handheld (Heruntergefahren) + 2 Controller zum Aufladen angesteckt	N/A	12,0842	
Handheld (Standby): Aufladen	N/A	11,0385	
Handheld (Standby) + 2 Controller zum Aufladen angesteckt	N/A	13,8471	
Handheld Aufladen + Aktives Spielen	Super Smash Bros. Ultimate	12,4256	
Handheld + 2 Controller zum Aufladen angesteckt + Aktives Spielen mit 2 zus. Controllern	Super Smash Bros. Ultimate	16,5993	
Docking-Station ohne Handheld	N/A	0,2586	
Handheld (Voll geladen und heruntergefahren) in der Docking-Station	N/A	0,3523	0,3551
Handheld (Voll geladen und im Standby) in der Docking-Station	N/A	0,2846	0,2758

Handheld (Voll geladen und im Standby mit USB-Network Adapter) in der Docking-Station	N/A	3,1930	
Navigation APD	N/A		3600 s
Aktives Spielen APD	MarioKart 8 Deluxe		3604 s
Stream-Wiedergabe APD	YouTube		14400 s

Bei dem Mess-Szenario *Aktives Spielen*, dessen Ergebnisse in Abbildung 7.2 präsentiert werden, wurde das Handheld vor dem Messen vollständig geladen und über die Station mit dem Monitor verbunden. Es wurden fünf Spiele *Carnival Games*, *FIFA 19*, *MarioKart 8 Deluxe*, *NBA2K Playgrounds 2* und *Super Smash Bros. Ultimate* auf der Spielekonsole, mit der Software-Version 8.0.1, gespielt. Man erkennt sofort, dass der Energieverbrauch allgemein sehr niedrig war, im Vergleich zu den anderen in dieser Diplomarbeit untersuchten Spielekonsolen der achten Generation. Außerdem ist ersichtlich, dass dieser beim aktiven Spielen auch bei dieser Spielekonsole sehr von dem gespielten Spielertitel abhängt.

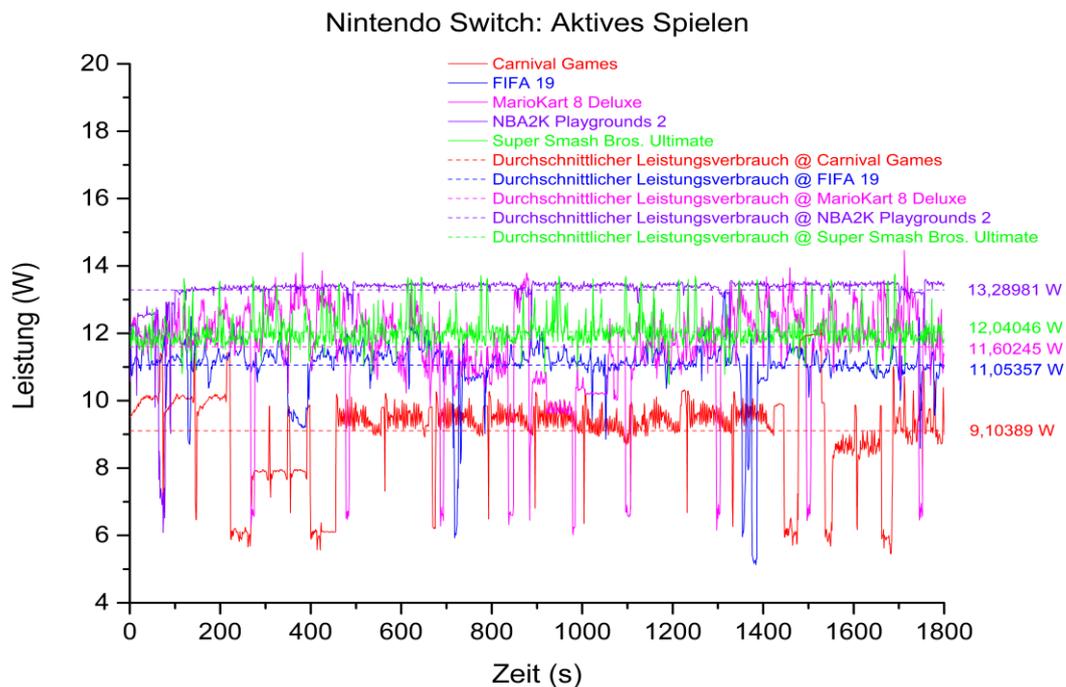


Abbildung 7.2: *Nintendo Switch*, Aktives Spielen unterschiedlicher Spielertitel im *TV-Modus*.

8. Zusammenfassung und Conclusio

In dieser Diplomarbeit, die im Zuge der Überprüfungsstudie „*Review Study of the Ecodesign Voluntary Agreement for the Product Group „Videogames Consoles“*“ [25] entstanden ist, wurde der Energieverbrauch der fünf aktuellen und meistverkauften Spielekonsolen der achten Generation evaluiert. Dabei wurden Messungen an der Wechselstrom-Seite der Spielekonsole durchgeführt, um so ihre gesamte Stromaufnahme zu erfassen. Nach der Analyse der gesammelten Daten aus den zahlreichen Mess-Szenarien für die in den vorigen drei Kapiteln vorgestellten fünf Spielekonsolen werden hier die daraus gewonnenen Erkenntnisse zusammengefasst präsentiert.

Beim aktiven Spielen auf der *PlayStation®4 Pro* fiel auf, dass der Energieverbrauch nicht nur vom gespielten Spiel, sondern vor allem von der Auflösung der Videoausgabe und damit auch von dem angeschlossenen Fernsehapparat bzw. Monitor abhängt. Bei der *PlayStation®4 (Slim)* fiel dagegen der Unterschied nicht so hoch aus, da diese nur die Full HD und HD ready Auflösungen der Videoausgabe unterstützt. Obwohl sich die Anzahl der Bildpunkte zwischen diesen beiden Auflösungen mehr als verdoppelt, ist der Unterschied beim Energieverbrauch zwischen ihnen auch bei der *PlayStation®4 Pro* kaum vorhanden. Ein ähnlicher Mehrverbrauch durch die 4K Ultra HD Auflösung der Videoausgabe hat sich auch bei den anderen Mess-Szenarien für die *PlayStation®4 Pro* bemerkbar gemacht. Man kann hier annehmen, dass die verwendeten Spiele für eine Full HD Auflösung konzipiert waren, und die höhere 4K Ultra HD Auflösung bei Bedarf durch das Schachbrett-Rendering [70], ein einzigartiges benutzerdefiniertes Grafik-Rendering-Verfahren, hochskaliert wurde. Für das aktive Spielen in der nativen 4K Ultra HD Auflösung mit 30 Bildern pro Sekunde werden nämlich 7,4 TFLOPS Rechenleistung benötigt [72], was 7,4 Billionen Berechnungen von Gleitkomma-Operationen pro Sekunde entspricht, und keine der hier untersuchten Spielekonsolen bietet so viel Leistung. Sowohl die *Xbox One X* als auch die *Xbox One S* haben beim aktiven Spielen die volle Leistung der Spielekonsole genutzt, unabhängig von der eingestellten Auflösung der Videoausgabe. Hier arbeitet die *Xbox One X* mit Supersampling und skaliert eher das Bild von einer höheren auf eine niedrigere Auflösung des angeschlossenen Fernsehapparats oder Monitors [60], anstatt gleich mit dessen Auflösung energieeffizienter zu arbeiten. Die *Nintendo Switch* hingegen unterstützt nur die Full HD Auflösung als stationäre Spielekonsole. Beim aktiven Spielen hat man auch bei ihr einen unterschiedlichen Energieverbrauch zwischen den gespielten Spieletiteln beobachtet. Bei allen fünf Spielekonsolen wurde festgestellt, dass der Energieverbrauch vor allem vom gespielten Spiel und dessen Anforderungen an die jeweilige Spielekonsole abhängig ist.

Besonders entbehrlich ist der Mehrverbrauch, der in Kapitel 5.6 erhoben wurde. Dabei wurde ein Spiel auf der *PlayStation®4 Pro* in der 4K Ultra HD Auflösung gestartet, obwohl das Spiele-Streamen über

das Netzwerk auf einen Laptop maximal in einer Full HD Auflösung möglich ist. Hier könnte man ohne viel Aufwand eine Senkung des Energieverbrauchs um 15% bewirken, indem man vor dem Starten der Funktion *PS Remote Play* auf die Full HD oder HD ready Auflösung wechselt, je nachdem, welche maximale Auflösung das verwendete Netzwerk für eine fehlerfreie Übertragung zulässt.

Video Streaming ist bei allen fünf Spielekonsolen möglich, allerdings in unterschiedlichen Auflösungen. Der durchschnittliche Stromverbrauch der *Xbox One X* bei der Video-Stream-Wiedergabe eines *YouTube*-Videos in der 4K Ultra HD Auflösung ist im Vergleich zu einem *Amazon Fire TV Stick 4K*, der in der gleichen Auflösung streamen kann und dabei nur 2,3 Watt verbraucht [69], mit 55 Watt viel zu hoch. Die *PlayStation®4 Pro* verbraucht durchschnittlich bei der Wiedergabe eines *YouTube*-Streams in der 4K Ultra HD Auflösung der Videoausgabe etwa 89 Watt. Diese Werte sind zwar unter dem maximal erlaubten Energieverbrauch, den die Selbstregulierungsinitiative vorgibt, allerdings weit über dem allgemein akzeptablen Energieverbrauchswert für diese bestimmte Funktion der Spielekonsolen, vor allem dann, wenn man in Betracht zieht, dass die Spielekonsolen immer mehr auch zur Wiedergabe von Video-Streams genutzt werden. Die *Nintendo Switch* kann zwar nur in Full HD streamen, allerdings verbraucht sie dabei auch nur etwa 8 Watt im Durchschnitt.

Eine ähnliche Erkenntnis wurde auch bei der Evaluierung des Stromverbrauchs bei der Wiedergabe von DVDs und Blu-Ray Discs gewonnen. Hier spielt wieder die Auflösung eine große Rolle beim Energieverbrauch der Spielekonsolen. Bei der *PlayStation®4 Pro* ist es wieder die 4K Ultra HD Auflösung, die bei der DVD-Wiedergabe um bis zu 60% mehr Energieverbrauch bewirkt, als die anderen beiden Auflösungen der Videoausgabe Full HD und HD ready. Bei der *Xbox One X* ist es die WQHD Auflösung, die während der Disc-Wiedergabe um 20% Mehrverbrauch bewirkt, im Vergleich zu den beiden Auflösungen der Videoausgabe 4K Ultra HD und Full HD.

Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die Hardware-Architektur der untersuchten Spielekonsolen nicht für die Video-Stream-Wiedergabe oder die Wiedergabe von unterschiedlichen Discs optimiert ist. Eine alternative Lösung wäre eine hybride Architektur mit einem eigenen Prozessor für solche Aufgaben sowie eine leistungseffizientere App, die für die Wiedergabe zuständig ist und die Leistung der vorhandenen Hardware optimal ausnutzt.

Beim Evaluieren des Energieverbrauchs im *Ruhemodus* der *PlayStation®4* Spielekonsolen fiel gleich ein bereits beim ersten Modell der *PlayStation®4* bekannter Umstand auf [65], der noch immer nicht behoben wurde. Es handelt sich dabei um den zusätzlichen Energieverbrauch für die Aktivierung der USB-Ladefunktion im *Ruhemodus*. Die Spielekonsolen verbrauchen im *vernetzten Standby*, d.h. im *Ruhemodus* mit aktivierter Internetverbindung, durchschnittlich etwa 5 Watt mehr, ohne dass ein Spiel-Controller überhaupt geladen wird. Dass man das besser lösen kann, ist bei den *Xbox One* Spielekonsolen ersichtlich. Da wird kein zusätzlicher Strom für die mögliche Ladefunktion über die USB-Ports verbraucht. Es ist sicherlich gut, dass es die Möglichkeit gibt, weil so die Nutzer nicht dazu verleitet werden, ihre Spielekonsole nach dem Benutzen eingeschaltet zu lassen, um die Spiel-Controller aufzuladen. Wenn man allerdings alle verfügbaren Funktionen im *Ruhemodus* der *PlayStation®4* Spielekonsolen aktiviert, wie in Abbildung 5.18 ersichtlich, ergibt sich aus dem gemessenen zeitlichen Verlauf des Energieverbrauchs ein durchschnittlicher Mittelwert bei der *PlayStation®4 Pro* von 6,45 Wh und bei der *PlayStation®4 (Slim)* von 5,51 Wh. Nimmt man nun an, wie in der LBNL-Studie präsentiert wurde [53], dass die Spielekonsolen im Durchschnitt 23,3 Stunden pro Tag bei

leichten Spielern, das sind nur 15% aller Nutzer, 21,82 Stunden pro Tag bei moderaten Spielern, das sind 40% aller Nutzer, 19,64 Stunden bei intensiven Spielern, das sind ebenfalls 40% aller Nutzer, und 15,39 Stunden bei extremen Spielern, was nur 5% aller Nutzer sind, im *Ruhemodus* verbleiben, ergibt das einen jährlichen Energieverbrauch bei der *PS4 Pro* von 187,93 kWh und bei der *PS4 Slim* von 160,64 kWh, in Summe also 348,57 kWh. Die Gesamtanzahl aller bis zum Jahr 2019 weltweit verkauften *PlayStation*[®]4 Spielekonsolen beläuft sich auf 90,97 Millionen [25]. Dies ergibt einen Energieverbrauch von 31,71 TWh für das Jahr 2019 nur durch die Aktivierung der verfügbaren Funktionen im *Ruhemodus*, ohne dass ein Verbraucher angeschlossen oder ein Spiel-Update installiert wird. Im Vergleich dazu belief sich der gesamte Stromverbrauch in Österreich im gleichen Jahr auf etwa 71,8 TWh [68]. Die *Xbox One X* Spielekonsole verbraucht dagegen im Energiemodus *Schnelles Hochfahren*, wenn beide verfügbaren Zusatzoptionen (*Speicher mit der Xbox ausschalten* und *beim Starten zu TV gehen*) aktiviert sind, durchschnittlich 15,2 Watt. Dabei wird ebenfalls kein Spiel-Controller aufgeladen oder ein Spiel-, App- oder System-Update heruntergeladen bzw. installiert. Bei der ersten *Xbox One* Spielekonsole hat man vor Jahren den Wert von 15,7 Watt ermittelt [65], allerdings hat der Hersteller seit damals nichts unternommen, um diesen hohen Wert des Energieverbrauchs im *vernetzten Standby* zu senken.

Dank der Standby-Regulierung der Europäischen Union sind die zusätzlichen Funktionen im *Ruhemodus* bzw. dem Energiemodus *Schnelles Hochfahren* standardmäßig deaktiviert [65]. Es wird dem Benutzer bei der Einrichtung der Spielekonsole die Möglichkeit geboten, selbst zu entscheiden, ob diese aktiviert werden sollen oder nicht. Allerdings fehlt hier immer noch ein Hinweis auf die Höhe des energetischen Mehrverbrauchs, was man auch in Abbildung 6.4 sehen kann.

Die *Xbox One* Spielekonsolen haben einen dynamischen Bildschirmschoner, der sich nach einer festgelegten Dauer der Inaktivität einschaltet und das Bild verdunkelt, um den Energieverbrauch des angeschlossenen Fernsehapparats bzw. Monitors zu senken. Dabei wurde allerdings ein geringer Mehrverbrauch an Energie, wie in den Abbildungen 6.34 und 6.36 ersichtlich, auf den Spielekonsolen selbst festgestellt.

Alle fünf Spielekonsolen, deren Energieverbrauch hier erhoben wurde, verfügen über ein automatisches Ausschalten nach einer festgelegten Zeit. Nur bei den beiden *Xbox One* Spielekonsolen fiel auf, dass das Ausschalten bei der Navigation und beim aktiven Spielen um etwa 11,5 Minuten zu spät aktiviert wurde. Das ließe sich sehr leicht durch ein kleines System-Update beheben.

In Bezug auf die Messdauer von fünf Minuten, für die Durchführung der Messungen nach der Selbstregulierungsinitiative (SRI) Version 2.6.3, wurde anhand einer Messung (siehe Abbildung 6.21) gezeigt, dass je nachdem, wo man das Zeitfenster positioniert, unterschiedliche Messergebnisse erhoben werden können. Deshalb wurde auch ein Vorschlag an die SRI gemacht, die Messungen für den jährlichen Report in Zukunft von mindestens dreißigminütiger Dauer festzulegen. Außerdem wäre es auch sinnvoll, die Spielekonsolen-Hersteller jedes Jahr neue Messungen durchführen zu lassen, anstatt immer auf die allerersten Messungen zu referenzieren, weil die Spielekonsolen mit der Zeit durch System-Updates auch energieeffizienter werden können.

Im April 2014 wurde die freiwillige Selbstregulierungsinitiative von den Unterzeichnern angenommen [11]. Schätzungsweise wurden durch die eingegangenen Verpflichtungen Energieeinsparungen von einer TWh pro Jahr bis zum Jahr 2020 erwartet. Tatsächlich wurden 14,2 TWh an Energie bis

zum Juni 2019 gespart [74]. Die Spielekonsolenhersteller erwarten über den Lebenszeitraum der vier Spielekonsolen *PlayStation*[®] 4 (*Slim*), *PlayStation*[®] 4 *Pro*, *Xbox One S* und *Xbox One X* Energieeinsparungen in der Höhe von 48,2 TWh, was der jährlichen Energieproduktion von Portugal entspricht. Das zeigt deutlich, dass die SRI ein wirksamer Motor für Energieeinsparungen ist. Es ist beispielsweise auch das Gewicht der *PlayStation*[®] 4 seit ihrer Einführung im Jahr 2013 um 23% und der Energieverbrauch um 43% reduziert worden [27]. Der Grund dafür ist der hohe wirtschaftliche Druck auf die Hersteller. Sobald eine Konsole entwickelt ist, versuchen die Hersteller sie auf den Markt zu bringen, ohne zusätzliche Zeit für die Optimierung des Energie- und Materialverbrauchs aufzuwenden.

In der vorliegenden Diplomarbeit wurden einige Optionen präsentiert, die zur Senkung des Energieverbrauchs führen können. Doch die Hersteller sind verständlicherweise in erster Linie bemüht, die Leistung, die den Nutzern versprochen wird, bereitzustellen und dabei mit den mittelklassigen Spiele-PCs und auch unter einander konkurrenzfähig zu bleiben. Es wäre jedoch wichtig, dass, wenn man eine Spielekonsole produziert und ihre Funktionalität erweitert, diese erweiterten Funktionen auch energietechnisch zu optimieren. Die Effizienz der Halbleiter, die Optimierung der Hardware-Architektur, die Software-Optimierung und die System-On-Chip-Optimierung sowie das Energiemanagement der Systemkomponenten sind weitere Möglichkeiten, um die Energieverschwendung zu reduzieren [65]. Das sind die Hauptgründe dafür, dass Mobiltelefone, Tablets und Laptops so viel energieeffizienter arbeiten als noch vor einigen Jahren. Je früher die oben genannten Verbesserungen umgesetzt werden, desto früher könnte auch der globale Energieverbrauch der Spielekonsolen gesenkt werden. Auch versteckte Software-Fehler, wie z.B. beim bereits erwähnten dynamischen Bildschirm der *Xbox One* Spielekonsolen oder bei deren verspäteten automatischen Ausschalten, zeigten, dass im Bereich der Betriebssystementwicklung für Spielekonsolen noch viel Optimierungspotential vorhanden ist. In Zukunft wäre es auch sinnvoll die kommenden Generationen von Spielekonsolen mit der hier präsentierten Methodik auf ihren Energieverbrauch zu untersuchen, um so weitere Einsparungspotenziale aufzuzeigen.

Referenzen

- [1] Technische Spezifikationen | PS4 | PlayStation
<https://www.playstation.com/de-at/explore/ps4/tech-specs/> [16.02.2020]
- [2] Xbox One X | The World's Most Powerful Console
<https://www.xbox.com/de-DE/xbox-one-x?xr=shellnav#techSpecs> [16.02.2020]
- [3] Digital Power Meter | Chroma ATE Inc.
http://www.chromaate.com/product/digital_power_meter_66205.htm [16.02.2020]
- [4] Ultra HD - Wikipedia
https://de.wikipedia.org/wiki/Ultra_HD [16.02.2020]
- [5] Energy Star | The Simple Choice for Energy Efficiency
<https://www.energystar.gov/> [16.02.2020]
- [6] Verordnung (EU) 2017/1369 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2017 zur Festlegung eines Rahmens für die Energieverbrauchskennzeichnung und zur Aufhebung der Richtlinie 2010/30/EU, AB L 198/1, 28.7.2017
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=uri-serv%3Aojl_l_2017.198.01.0001.01.DEU [16.02.2020]
- [7] Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte (Neufassung), AB L 283/10, 31.10.2009,
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32009L0125> [10.10.2019]
- [8] EG Efficient Gaming EU
<https://www.efficientgaming.info/eu.html> [20.08.2021]
- [9] Grundlagen zur Ökodesign-Richtlinie – WKO.at,
https://www.wko.at/service/umwelt-energie/Grundlagen_zur_Oekodesign-Richtlinie.html
[02.02.2020]
- [10] Voluntary Agreements under the Eco-design legislation, 20.12.2016
https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/list_eco-design-voluntary_agreements.pdf [02.02.2019]
- [11] Bericht der Kommission an das Europäische Parlament und den Rat über die freiwillige Regelung zur umweltgerechten Gestaltung von Videospiegelgeräten, COM 178 final, 22.04.2015
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?qid=1432808656922&uri=CELEX%3A52015DC0178> [03.02.2020]

- [12] Building on the Eco-design Directive, EuP Group Analysis (I) ENTR Lot 3 Sound and Imaging Equipment Task 1–7 Report, Nov. 2010
https://www.eup-network.de/fileadmin/user_upload/Produktgruppen/Lots/Final_Documents/Final-Report-EuP-Lot-3-17-Nov.pdf [20.08.2021]
- [13] Ecodesign | Binnenmarkt, Industrie, Unternehmertum und KMU
https://ec.europa.eu/growth/industry/sustainability/product-policy-and-ecodesign_en
[19.08.2021]
- [14] EG Efficient Gaming | History
<https://www.efficientgaming.info/eu/organisation/history.html> [19.08.2021]
- [15] Energy Efficiency of Games Consoles: Self-Regulatory Initiative to further improve the energy efficiency of Games Consoles, Version 1.0, 22.04.2015
https://efficientgaming.eu/fileadmin/user_upload/VA_1.0_22_April_2015_.pdf
[08.02.2020]
- [16] Energy Efficiency of Games Consoles: Self-Regulatory Initiative to further improve the energy efficiency of Games Consoles, Revised Version, 2016
https://efficientgaming.eu/fileadmin/user_upload/FINAL_Games_Consoles_Self-Regulatory_Initiative.pdf [08.02.2020]
- [17] ANNEX to the COMMISSION RECOMMENDATION on guidelines for self-regulation measures concluded by industry under Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council, C (2016) 7770 final, 30.11.2016
https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/c_2016_7770.annexe.en_.pdf
[08.02.2020]
- [18] Energy Efficiency of Games Consoles: Self-Regulatory Initiative to further improve the energy efficiency of Games Consoles, Draft Version 2.12540, 2017
https://efficientgaming.eu/fileadmin/user_upload/Draft_Games_Consoles_SRI_-_v2.5.pdf
[08.02.2020]
- [19] Energy Efficiency of Games Consoles: Self-Regulatory Initiative to further improve the energy efficiency of Games Consoles, Version 2.6, 2018
https://efficientgaming.eu/fileadmin/user_upload/2018_SCM/Final_Games_Consoles_SRI_-_v2.6_clean_.pdf [08.02.2020]
- [20] Energy Efficiency of Games Consoles: Self-Regulatory Initiative to further improve the energy efficiency of Games Consoles, Version 2.6.3, 2018
https://efficientgaming.eu/fileadmin/user_upload/2018_SCM/Final_Games_Consoles_SRI_v2.6.3_20181115.pdf [08.02.2020]
- [21] Recognised voluntary agreements under the ecodesign legislation
https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/energy-label-and-ecodesign/energy-efficient-products/voluntary-agreements-under-eco-design-legislation_de [08.02.2020]
- [22] Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. Juli 2005 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte und zur Änderung der Richtlinie 92/42/EWG des Rates sowie der Richtlinien 96/57/EG und 2000/55/EG des Europäischen Parlaments und des Rates, AB L 191/29, 22.07.2005,
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32005L0032> [08.02.2020]

- [23] Verordnung (EG) Nr. 1275/2008 der Kommission vom 17. Dezember 2008 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen an den Stromverbrauch elektrischer und elektronischer Haushalts- und Bürogeräte im Bereitschafts- und im Aus-Zustand, AB L 339/45, 18.12.2008,
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32008R1275> [08.02.2020]
- [24] Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Juni 2011 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten, AB L 174/88, 01.07.2011
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32011L0065> [15.02.2020]
- [25] CSES, Ökopol und TU Wien, Review Study of the Ecodesign Voluntary Agreement for the Product Group „Videogames Consoles“, Finaler Report, August 2019
<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/b29e4799-e4bd-11e9-9c4e-01aa75ed71a1/language-en> [01.10.2019]
- [26] Commission Recommendation (EU) 2016/2125 of 30 November 2016 on guidelines for self-regulation measures concluded by industry under Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council, OJ L 329/109, 03.12.2016,
https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2016.329.01.0109.01.ENG&toc=OJ:L:2016:329:TOC [09.02.2020]
- [27] PlayStation und die Umwelt | PlayStation,
<https://www.playstation.com/de-de/footer/about-us/playstation-and-the-environment/>
[09.02.2020]
- [28] Verordnung (EU) Nr. 801/2013 der Kommission vom 22. August 2013 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1275/2008 im Hinblick auf die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen an den Stromverbrauch elektrischer und elektronischer Haushalts- und Bürogeräte im Bereitschafts- und im Aus-Zustand und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 642/2009 im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Fernsehgeräten, AB L 225/1, 23.08.2013,
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32013R0801> [11.02.2020]
- [29] Richtlinie 2012/19/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2012 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte, AB L 197/38, 24.07.2012
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32012L0019> [15.02.2020]
- [30] Richtlinie 2006/66/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. September 2006 über Batterien und Akkumulatoren sowie Altbatterien und Altakkumulatoren und zur Aufhebung der Richtlinie 91/157/EWG, AB L 266/1, 26.09.2006
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32006L0066> [15.02.2020]
- [31] Richtlinie 2013/56/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. November 2013 zur Änderung der Richtlinie 2006/66/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Batterien und Akkumulatoren sowie Altbatterien und Altakkumulatoren hinsichtlich des Inverkehrbringens von Cadmium enthaltenden Gerätebatterien und -akkumulatoren, die zur Verwendung in schnurlosen Elektrowerkzeugen bestimmt sind, und von Knopfzellen mit geringem Quecksilbergehalt sowie zur Aufhebung der Entscheidung 2009/603/EG der Kommission, AB L 329/5, 10.12.2013
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex%3A32013L0056> [15.02.2020]

- [32] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, Umweltfreundliche öffentliche Beschaffung | BMU
<https://www.bmu.de/themen/wirtschaft-produkte-ressourcen-tourismus/produkte-und-konsum/umweltfreundliche-beschaffung/> [02.05.2020]
- [33] EL2870U – Technische Daten | BenQ
<https://www.benq.eu/de-at/monitor/gaming-monitore/el2870u/specifications.html>
[05.06.2020]
- [34] OriginLab – Origin and OriginPro – Data Analysis and Graphing Software
<https://www.originlab.com/> [19.06.2020]
- [35] The History of DOS – Remi’s Classic Computers
<https://rclassiccomputers.com/dos/> [09.08.2021]
- [36] CSES, Review Study of the Ecodesign Voluntary Agreement for the Product Group „Video-games Consoles“, A Proposal to Directorate General for Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs, European Commission, 31.Aug.2018
- [37] Spielkonsole – Wikipedia
<https://de.wikipedia.org/wiki/Spielkonsole> [29.09.2020]
- [38] Nintendo-Geschichte | Unternehmen | Nintendo
<https://www.nintendo.at/Unternehmen/Unternehmensgeschichte/Nintendo-Geschichte-625945.html> [29.09.2020]
- [39] Sony Global - History
<https://www.sony.net/SonyInfo/CorporateInfo/History/> [07.10.2020]
- [40] History of Sony Interactive Entertainment
<https://www.sie.com/en/corporate/history.html> [07.10.2020]
- [41] 25 Jahre Playstation: Wie aus einem Streit ein Welterfolg wurde - ...
<https://www.derstandard.at/story/2000111774782/25-jahre-playstation-wie-aus-einem-streit-ein-welterfolg-wurde> [07.10.2020]
- [42] IBM100 – The Cell Broadband Engine
<https://www.ibm.com/ibm/history/ibm100/us/en/icons/cellengine/> [24.10.2020]
- [43] PlayStation®Plus | Monatliche Spiele, Online-Multiplayer, Rabatte ...
<https://www.playstation.com/de-at/ps-plus/> [25.10.2020]
- [44] IfM – Microsoft Corporation
<https://www.mediadb.eu/datenbanken/intern-medienkonzerne-2019/microsoft-corporation.html> [18.02.2021]
- [45] The History of the Xbox | Digital Trends
<https://www.digitaltrends.com/gaming/the-history-of-the-xbox/> [18.02.2021]
- [46] Facts About Microsoft - Stories
<https://news.microsoft.com/facts-about-microsoft/> [19.02.2021]
- [47] The Life and Death of the Original Xbox - IGN
<https://www.ign.com/articles/2011/11/23/the-life-and-death-of-the-original-xbox>
[19.02.2021]

- [48] Videospiel erlöst halbe Milliarde Dollar am ersten Tag | heise online
<https://www.heise.de/newsticker/meldung/Videospiel-erloest-halbe-Milliarde-Dollar-am-ersten-Tag-1751973.html> [20.02.2021]
- [49] 65-nm-Chips sollen Ausfallrate der Xbox 360 verringern | heise online
<https://www.heise.de/newsticker/meldung/65-nm-Chips-sollen-Ausfallrate-der-Xbox-360-verringern-149352.html> [20.02.2021]
- [50] Efficient Gaming | Documents – Independent Inspector’s presentation
https://efficientgaming.eu/fileadmin/user_upload/2020_SCM/ACR_presentation_July_2020_Intertek_v1.0.pdf [23.02.2021]
- [51] 8. Konsolengeneration - RetrogamingWiki
https://retrogamingwiki.de/wiki/8._Konsolengeneration [23.02.2021]
- [52] Energy Efficiency of Games Consoles: Self-Regulatory Initiative to further improve the energy efficiency of Games Consoles, Version 3.0, 2020
https://efficientgaming.eu/fileadmin/user_upload/Games_Consoles_SRI_v3.0_March_2020.pdf [03.03.2021]
- [53] Green Gaming: Energy Efficiency without Performance Compromise, Lawrence Berkeley National Laboratory, Evan Mills, Norm Bourassa, Leo Rainer, Jimmy Mai, Nathaniel Mills, and Arman Shehabi, 2018
<https://sites.google.com/site/greeningthebeast/energy/green-gaming-energy-efficiency-without-performance-compromise> [09.04.2021]
- [54] Efficient Gaming | 2017 Products Compliance Reports
<https://www.efficientgaming.info/eu/docs/2017-products-compliance-reports.html>
[20.08.2021]
- [55] Energieeffizienz | Rechtliche Hinweise | PlayStation.com
<https://www.playstation.com/de-at/legal/ecodesign/> [25.04.2021]
- [56] 850 PRO SATA III 2.5zoll SSD (1TB) | Samsung Deutschland
<https://www.samsung.com/de/memory-storage/sata-ssd/850-pro-sata-3-2-5-inch-ssd-1tb-mz-7ke1t0bw/> [11.06.2021]
- [57] Verwendung der USB-Anschlüsse Ihrer Xbox Konsole | Xbox Support
<https://support.xbox.com/de-AT/help/hardware-network/accessories/usb-port-use>
[02.07.2021]
- [58] Informationen zu den Energieeinstellungen auf Xbox One...
<https://support.xbox.com/de-AT/help/hardware-network/power/learn-about-power-modes>
[04.07.2021]
- [59] Bildschirm-Auflösung im Vergleich: Größe von VGA, XGA, HD-TV, 4K...
<https://www.computerhilfen.de/info/aufloesungen-im-vergleich-gross-sind-vga-xga-svga-720p-1080p.html> [08.07.2021]
- [60] Xbox One X erklärt: Was sind eigentlich 4K, HDR und ...
<https://news.xbox.com/de-de/2017/11/07/xbox-one-x-supersampling/> [09.07.2021]
- [61] Masaki Emoto, Masayuki Sugawara, Viewers’ optimization of preferred viewing distance by spatial resolution of TV display, ScienceDirect, Displays, Vol. 45, Dez. 2016. S. 1–5
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141938215300251> [17.07.2021]

- [62] Der-Song Lee, Preferred viewing distance of liquid crystal high-definition television, Science-Direct, Applied Ergonomics, Vol. 43, Issue 1, Jan. 2012, S. 151-156
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000368701100055X> [17.07.2021]
- [63] Chroma ATE INC., User's Manual - Digital Power Meter 66205, Ver. 1.0, July 2017, Kap. 5.3.7
- [64] Chroma ATE INC., Measurement Test Fixture (250V/10A) A662022 Quick Start Guide, Ver. 1.0, October 2017, Seite 5
- [65] Pierre Delforge, Noah Horowitz, The Latest-Generation Video Game Consoles. How Much Energy Do They Waste When You're Not Playing?, NRDC Issue Paper IP: 14-04-B, Mai 2014
<https://www.nrdc.org/sites/default/files/video-game-consoles-IP.pdf> [28.07.2021]
- [66] A. Webb, K. Mayers, C. France, J. Koomey, Estimating the energy use of high definition games consoles, Energy Policy 61, Jul. 2013, S.1412-1421
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421513003923> [29.07.2021]
- [67] Vintage Video Game Consoles 1970-1976
<http://www.thegameconsole.com/videogames70.htm> [31.07.2021]
- [68] Österreich – Inlandstromverbrauch 2019 | Statista
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/325788/umfrage/stromverbrauch-in-oesterreich/> [21.08.2021]
- [69] Amazon Fire TV Stick 4K – Was taugt der Streaming-Stick für UHD-Filme...
<https://www.test.de/Amazon-Fire-TV-Stick-4k-Was-taugt-der-Streaming-Stick-fuer-UHD-Filme-5440930-0/> [03.08.2021]
- [70] Was ist Schachbrett-Rendering? Wie funktioniert das auf Xbox One X und ...
<https://gadget-info.com/41066-what-is-checkerboard-rendering-how-it-works-on-xbox-one-x-and-ps4-pro> [05.08.2021]
- [71] Cevdet Kilic, Evaluierung der Messmethoden zur Bestimmung der Energieeffizienz anhand der Produkt-gruppe Videospielekonsolen, Institut für Computertechnik der Technischen Universität Wien, Diplomarbeit, 2020
- [72] 4K-Gaming: Für natives 4K, PS4-Grafik und 30 Fps braucht es 7,4 ...
<https://www.pcgameshardware.de/Spiele-Thema-239104/News/Fuer-natives-4K-PS4-Grafik-und-30-Fps-braucht-es-7-4-TFLOPS-1260851/> [05.08.2021]
- [73] Was ist ein TeraFLOP? – Einfach erklärt - CHIP
https://praxistipps.chip.de/was-ist-ein-teraflop-einfach-erklart_48572 [05.08.2021]
- [74] Report on the 2019 review of the game console self-regulatory initiative
https://www.efficientgaming.info/fileadmin/user_upload/2019_CForum/2019_SRI_Review_Report_Draft_v20_Clean.pdf [07.08.2021]
- [75] Xbox One - Wikipedia
https://de.wikipedia.org/wiki/Xbox_One [18.08.2021]



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt wurde. Die aus anderen Quellen oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet.

Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder in ähnlicher Form in anderen Prüfungsverfahren vorgelegt.

Wien, am 16.12.2021

Mirsad Karat