

DIPLOMARBEIT

Evaluierung der Messmethoden zur Bestimmung der Energieeffizienz anhand der Produktgruppe Videospielekonsolen

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 Wilker B.Eng.

am

Institut für Computertechnik (E384)

der Technischen Universität Wien

durch

Cevdet Kilic, BSc

Matr.Nr. 0327103

Wien, im Jänner 2020

Kurzfassung

In vielen Haushalten werden Spielkonsolen für die tägliche Unterhaltung verwendet. Sie tragen wie alle Konsumgüter zur Entwicklung von Treibhausgasen bei, vor allem durch einen eventuell ineffizienten Energieverbrauch, sodass die Europäische Union die Richtlinie 2009/125/EG vorge-schrieben hat. Die Richtlinie legt die Anforderungen für eine umweltgerechte Gestaltung von energieverbrauchsrelevanten Produkten im gemeinsamen Binnenmarkt fest. Ausgehend von dieser EU-Verordnung ist das Ziel der vorliegenden Arbeit, die Evaluierung der Messmethoden zur Bestimmung der Energieeffizienz anhand der Produktgruppe von Videospielekonsolen. Sind die Ziele der EU in Bezug auf die Senkung des Energieverbrauches der aktuellen Spielkonsolen realisierbar? Können die Hersteller bei der Gestaltung der Messmethoden nachbessern, um die Energieeffizienz signifikant zu verbessern?

Um diese Fragen zu beantworten, werden als Grundlage die praktischen Ergebnisse bereits veröffentlichter Arbeiten und Studien der drei größten Produzenten Sony, Microsoft und Nintendo betrachtet und mit speziellen Messmethoden nach Verbesserungsmöglichkeiten gesucht. Dabei erfolgen die Messungen an den Spielkonsolen mit hochsensiblen Messgeräten, wobei hier die Messdaten der unterschiedlichen Messmethoden miteinander verglichen werden. Dadurch sollte auch herausgefunden werden, wieviel Einsparungspotential im Feld der Konsumgüter möglich ist. Um den Energieverbrauch der Videospielekonsolen besser zu verdeutlichen, werden die Daten dem Energieverbrauch anderer Elektrogeräte im Haushalt gegenübergestellt. Die Ergebnisse der Arbeit werden mit der Zielsetzung der EU-Richtlinie bewertet und dokumentiert.

Es wurde mit zwei Leistungsmessinstrumenten evaluiert: dem Chroma 66205 und dem „Energy Logger 4000“ von Voltcraft. Die Messungen mit dem Chroma erfolgten im Labor und mit dem Voltcraft im Haushalt. Dabei wurden die Messungen in drei Betriebszuständen durchgeführt: Aus, Standby und Aktiv. Für die in den einzelnen Betriebsmodi erfassten Datensätzen ist eine Wiederholbarkeit mit allen Methoden gewährleistet.

Die Chroma- und Voltcraft-Daten weisen in den Betriebszuständen Aus und Standby ähnliche Werte auf, wobei mit dem Voltcraft Langzeitmessungen durchgeführt werden müssen und die Chroma unabhängig von der Messdauer qualitative Daten liefert. Eine weitere Einschränkung bringt die Voltcraft beim genauen Erfassen der Leistungswerte im Player- und Streaming-Modus und vor allem im aktiven Spielbetrieb mit sich. Hier können nicht sämtliche Änderungen in der Leistungsaufnahme erfasst werden. Die Chroma hingegen ist in der Lage das dynamische Lastverhalten der Spielkonsolen zu erfassen und somit auch die passende Messdauer für den entsprechenden Betriebszustand der zu prüfenden Spielkonsolen zu evaluieren.

Diese Erkenntnisse versetzen uns in die Lage die Chroma bei der Beurteilung der Energieeffizienz der Spielkonsole in den zu betrachtenden Betriebszustände der Voltcraft vorzuziehen. Dennoch zeigen beide Messverfahren verglichen mit den Studiendaten der Konsolenhersteller einen größeren Energieverbrauch. Dabei können die Hersteller bei der Ermittlung der Messdaten sämtliche Stromspitzen in allen Betriebszuständen berücksichtigen und vor allem bei der Gestaltung im Standby-Betrieb nachbessern. Denn nur so sind die Ziele der EU für eine umweltgerechte Gestaltung und die damit verbundene Senkung des Energieverbrauches der aktuellen Spielkonsolen realisierbar.

Abstract

In many households, game consoles are used for daily entertainment. Like all consumer goods, they contribute to the emission of greenhouse gases, above all through possible inefficient energy consumption, so that the European Union has prescribed Directive 2009/125/EC. The guideline specifies the requirements for an environmentally friendly design of products relevant to energy consumption in the common internal market. Based on this EU regulation, the aim of this thesis is to evaluate the measurement methods for the determination of energy efficiency by means of the product group of video game consoles. Are the EU's goals in terms of reducing energy consumption of the current game consoles feasible? Can manufacturers improve the design of measurement methods to significantly improve energy efficiency?

In order to answer these questions, the practical results of already published works and studies of the three largest producers Sony, Microsoft and Nintendo are considered as a basis and special measures for improvement are sought. The measurements on the game consoles are made with highly sensitive measuring devices, whereby the measured data of the different measuring methods are compared with each other. This should also reveal how much savings potential in the field of consumer goods is possible. In order to better illustrate the energy consumption of video game consoles, the data are compared with the energy consumption of other household appliances. The results of the work are evaluated and documented with the objective of the EU Directive.

The evaluation was performed with two measuring instruments: the Chroma 66205 and the "Energy Logger 4000" from Voltcraft. The measurements with the Chroma took place in the laboratory and with the Voltcraft in the household. The measurements were carried out in three operating states: off, standby and active. The data records collected in the individual operating modes ensure repeatability using all methods.

The Chroma and Voltcraft data have similar values in the Off and Standby modes. With the Voltcraft, long-term measurements have to be carried out and the Chroma delivers qualitative data independent of the measuring duration. A further limitation of the Voltcraft is the not exact recording of performance in player and streaming mode and especially in active game operation. Not all changes in power consumption can be recorded here. The Chroma, on the other hand, is able to record the dynamic load behavior of the game consoles and, thus, to evaluate the appropriate measurement duration for the corresponding operating state of the gaming consoles tested.

These findings enable us to prefer the Chroma over Voltcraft for assessing the energy efficiency of the game console in the operating conditions under consideration. Nevertheless, compared to the study data of the console producers, both measurement methods yield a higher energy consumption. When determining the measured data, the manufacturers can take into account all current peaks in all operating states and improve the design in standby mode. Only in this way can the EU's goals for environmentally friendly design and the associated reduction in energy consumption from the current game consoles be realized.

Mein Dank an Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Hermann Kaindl, Univ.Ass. Dipl.-Ing. Stefan Wilker B.Eng., Dipl.-Ing. Marcus Meisel Bakk.techn. und allen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Besonders meinen Eltern, die nicht müde werden hinter mir zu stehen, für ihre lebenslange Unterstützung.

*Zähle das Zählbare, messe das Messbare,
und mache das Unmessbare messbar.*

Galileo Galilei

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	11
1.1 Problemstellung	16
1.2 Entwicklungsgeschichte der Videospielekonsolen	17
1.3 Zielsetzung	20
1.4 Aufbau der Arbeit	20
2. Messtheorie	22
2.1 Messkette	22
2.2 Ablauf der Messung	23
2.2.1 Interpretation der Messergebnisse	24
2.3 Messunsicherheit.....	24
2.3.1 Statistische Messunsicherheit	25
2.4 Leistungsaufnahme	25
2.4.1 Grundprinzip eines Wattmeters	26
3. Testmethoden	28
3.1 Energieeffizienz	30
3.2 Formeln	31
3.3 Normen	32
3.3.1 Spielkonsole	32
3.3.2 Haushaltsgeräte.....	34
3.4 Richtlinie	34
3.5 Studien	36
3.5.1 Microsoft	36
3.5.2 Sony	37
3.5.3 Nintendo	38
3.6 Prüfverfahren	38
3.7 Messplatz	40
3.8 Messplan	41
4. Energieeffizienzmessungen	43
4.1 Messumgebung	44
4.2 Messgeräte	45
4.2.1 Chroma-Messgerät	46
4.2.2 Voltcraft-Messgerät	47
4.3 Spielkonsolen.....	48
4.3.1 PlayStation 4 Pro	49
4.3.2 PlayStation 4 Slim	49
4.3.3 Xbox One X.....	50
4.3.4 Xbox One S	50
4.3.5 Nintendo SWITCH.....	51

4.4 Messungen	51
4.4.1 PlayStation 4 Pro-Messungen.....	53
4.4.2 PlayStation 4 Slim-Messungen.....	64
4.4.3 Xbox One X-Messungen	66
4.4.4 Xbox One S-Messungen.....	71
4.4.5 Nintendo SWITCH-Messungen.....	73
5. Datenauswertung der Spielkonsolen.....	75
5.1 Auswertung der Chroma- und Voltcraft-Messdaten	76
5.1.1 Datenauswertung der PlayStation 4 Pro	77
5.1.2 Datenauswertung der Xbox One X.....	79
5.2 Vergleich der Messdaten mit den Studiendaten der Spielkonsolen-Produzenten	82
5.2.1 PlayStation 4 Pro	83
5.2.2 PlayStation 4 Slim	84
5.2.3 Xbox One X.....	85
5.2.4 Xbox One S	87
5.2.5 Nintendo SWITCH	88
5.2.6 Erkenntnis	89
5.3 Jährlicher Energieverbrauch der Spielkonsolen.....	90
6. Evaluierung der Messmethode.....	94
6.1 Evaluierung der passenden Messeinrichtung	94
6.2 Messdaten Haushaltsgeräte	96
6.2.1 Smart-TV	96
6.2.2 Blu-ray-Player	97
6.2.3 Bügeleisen	98
6.2.4 Griller.....	98
6.2.5 Handmixer	99
6.2.6 Waschmaschine	99
6.3 Gegenüberstellung	100
6.4 Diskussion.....	104
7. Zusammenfassung und Ausblick	105
7.1 Zusammenfassung.....	105
7.2 Ausblick	107
Literaturverzeichnis.....	110
Abbildungsverzeichnis.....	116
Tabellenverzeichnis.....	119
Erklärung.....	122

Abkürzungen

DVD	Digital Versatile Disc
EU	Europäische Union
Full HD	Full High Definition
HDD	Hard Disc Drive
HD	High Definition
HDMI	High Definition Multimedia Interface
ICT	Institut für Computertechnik
LBNL	Lawrence Berkeley National Laboratory
LED	Leuchtdiode
NGO	Non-Governmental Organisation
NRDC	Natural Resources Defense Council
PC	Personal Computer
PS	PlayStation
SRI	Selbstregulierungsinitiative
TEC	Typical Energy Consumption
TV	Television
UHD	Ultra High Definition
VR	Virtual Reality

Anmerkung Gender: Um den Lesefluss in der Diplomarbeit nicht zu unterbrechen, wird bewusst auf die Anführung von femininen und maskulinen Formen verzichtet. Auch wenn nur eine maskuline Form in der Arbeit gelesen wird, sollen stets alle Geschlechter verstanden werden.



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.

1. Einleitung

Durch den ständigen technischen Fortschritt und den damit verbundenen Möglichkeiten, die sich für die Unterhaltungselektronik ergeben, ist im Lauf der letzten Jahrzehnte die Nachfrage nach immer leistungsstärkeren Spielkonsolen rasant angestiegen. Aufgrund der immer besseren Auflösungen, der realitätsnahen Darstellung der Spielabläufe und den zusätzlichen Funktionen, die die kompakten Spielkonsolen heutzutage bieten können, ist damit auch die Leistungsanforderung enorm gestiegen. Nach einer Studie von Hittinger¹ [1] betrug der gesamte Energieverbrauch von Videospielekonsolen in den USA im Jahr 2007 schätzungsweise um die 11 Terawattstunden (TWh). Innerhalb von nur drei Jahren stieg der Energieverbrauch der Konsolen gemessen im Jahr 2010 fast um 50% auf 16TWh an, was in etwa einem Prozent des Stromverbrauches der Haushalte in den USA entsprach. Der Energieverbrauch von Spielkonsolen in der EU hingegen lag in den Jahren 2010 bei 4,5TWh und 2015 bei 8,4TWh. Für das Jahr 2020 wird der Energieverbrauch der Spielkonsolen in der EU bei schätzungsweise 11TWh liegen [2].

Eine Möglichkeit den Energieverbrauch effektiv zu senken wäre bei den Konsolen aber leicht realisierbar, indem die Spielkonsole zum Beispiel mit Werkseinstellung nach einer festgelegten maximalen Dauer automatisch „herunterfährt“, wenn sie nicht verwendet wird. Durch diese Funktion könnte der Gesamtstromverbrauch erheblich reduziert werden. Nach Hittinger könnten Spielkonsolen dadurch den Stromverbrauch um 75% senken. Damit wäre rückblickend der Energieverbrauch im Jahre 2010 nur noch 10TWh in den USA gewesen. Das hätte den Konsumenten in den USA eine Einsparung von über eine Milliarde US-Dollar an Stromrechnungen eingebracht [1]. Die Spielkonsolenproduzenten könnten durch Systemupdates in der Lage sein, die Konsolen nachträglich durch Software zu optimieren, sodass mit der Funktion des automatischen Herunterfahrens – wenn mit der Konsole nicht gespielt wird – die Energieeffizienz erheblich verbessert wird.

Nicht nur der Stromverbrauch der Spielkonsolen ist gestiegen, sondern auch ihr Absatz, sodass ein rasches Handeln der Hersteller für einen effizienten Energieverbrauch unerlässlich ist. Laut einer Studie der Entertainment Software Association [1] hatten im Jahr 2009 68% der 115 Millionen amerikanischen Haushalte daheim Computer- oder Videospiele, wovon 42% über eine Videospielekonsole verfügten.

¹ Eric Hittinger, Energy Efficiency 2012 [1]

Im darauffolgenden Jahr waren es schon 75 Millionen Videospielekonsolen der drei größten Produzenten: Microsoft mit der Xbox 360, Nintendo mit der Wii und Sony mit der PlayStation 3. Bezogen auf die Hittinger-Studie hatten Ende 2010 viele Haushalte zwei oder mehrere Spielkonsolen der damals aktuellen Generation.

Die Lebensdauer einer Spielkonsole lässt sich nicht genau bestimmen, weil sie von mehreren Faktoren abhängig ist. Auf der einen Seite ist die Spielkonsole wie jedes andere elektronische Gerät von der qualitativen technischen Fertigung und den verwendeten Komponenten abhängig. Auf der anderen Seite hängt die Lebensdauer sehr stark von der Lagerung der Spielkonsole, ob sie Wärme oder Kälte, Feuchtigkeit oder Staub ausgesetzt ist. Auch das unterschiedliche Nutzungsverhalten der Konsumenten kann sich mitunter auf die Lebensdauer der Konsole auswirken. Unabhängig davon liegt der Entwicklungszyklus der Spielkonsole im Schnitt zwischen vier und acht Jahren, danach werden leistungsstärkere Konsolen mit neuer technischer Ausstattung vertrieben [1]. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass spätestens dann der Konsument sich eine leistungsstärkere Spielkonsole der aktuellen Generation kauft.

Die Abbildung 1.1 verdeutlicht anhand des Beispiels mit der PlayStation (PS) von Sony den sich wandelnden Leistungsverbrauch der unterschiedlichen Konsolengenerationen. Es ist ersichtlich, dass jeder Generationswechsel vorerst immer mit einem größeren Leistungsverbrauch verbunden war. Wobei innerhalb einer Konsolengeneration und den damit verbundenen Hardwareverbesserungen der Stromverbrauch der Konsolen geringer wurde [1] [3]. Eine Ausnahme ist die PS4. Hier wurde für das Jahr 2018 das aktive Spielen in Ultra High Definition mit der PS4 Pro berücksichtigt und somit ist auch eine höhere Leistungsaufnahme innerhalb der Konsolengeneration ersichtlich. In der Abbildung 1.1 sieht man anhand der Farbe die Konsolengeneration in Abhängigkeit von der Zeit.

Wirkleistungsverbrauch der PlayStation-Generationen

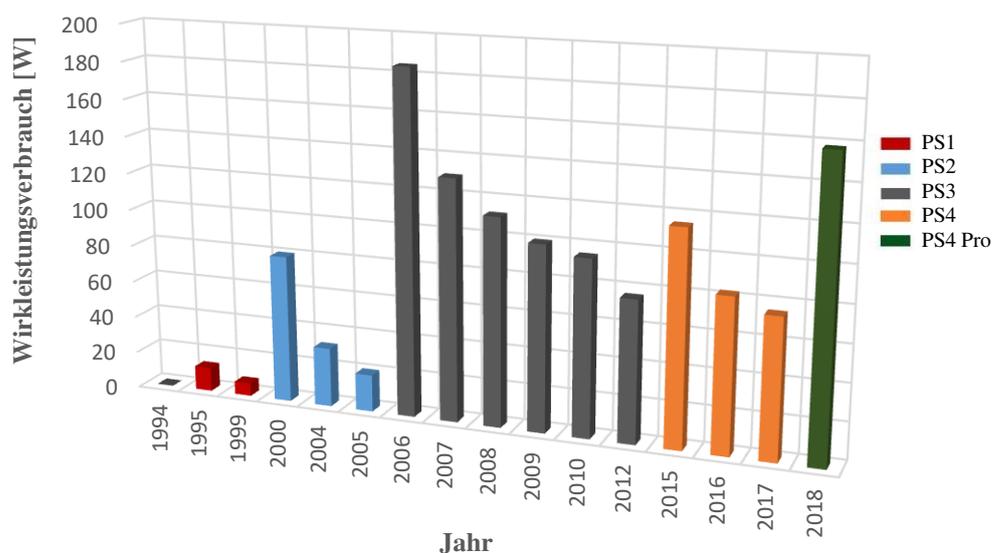


Abbildung 1.1: Wirkleistungsverbrauch der unterschiedlichen PlayStation-Generationen, eigene Darstellung nach [1, S. 533], [3]

Im Vergleich zu den USA besaßen laut dem statistischen Amt der EU (Eurostat) von 2007 [1] in Europa nur 18% der Haushalte Videospielekonsolen, wobei es innerhalb Europas sehr große Unterschiede gab. Während beispielsweise 38% der Haushalte in Island über Konsolen verfügten, besaßen hingegen in den osteuropäischen Ländern die Haushalte nahezu keine Spielkonsolen. Dagegen bevorzugten viele asiatische Länder den Personal Computer (PC) zum Spielen. Das folgt zum Teil aus der Tatsache, dass von 2000 bis 2014 der Verkauf von ausländischen Spielkonsolen in China verboten war. Einer der Gründe für das im Jahr 2000 beschlossene Verbot war, dass Eltern sich über die Spielsucht der Kinder beschwerten [4], wobei die Spielsucht mitunter ein globales Problem darstellt. Spieler beobachten auf ihre Eingaben eine direkte Reaktion der Computerspiele. So erleben sich die Spieler zum Beispiel als Fußballer oder Agenten, die einen Einfluss auf das Geschehen haben können. Sie sehen, welche Auswirkungen ihre Eingaben hervorrufen und ziehen Parallelen zum wirklichen Leben. Dieses Erlebnis wird als „Effectance“ bezeichnet und ist ein wichtiger Faktor des Spielspaßes [5]. Während mit PCs vor allem in Ein-Personen-Haushalten gespielt wird, sind Spielkonsolen in Haushalten mit drei oder mehreren Personen – insbesondere mit minderjährigen Kindern – weit verbreitet.

Die jährliche Nutzung von Spielkonsolen lag in der Vergangenheit in Deutschland bei 97 h/a. Das wurde in einer Studie von SevenOne Media im Jahr 2001 ermittelt. Zwar wurden dabei nur Personen zwischen 14 und 49 Jahren erfasst, diese gehören aber zu der am meisten mit der Spielkonsole spielenden Gruppe [6]. In der Abbildung 1.2 ist anhand des Beispiels Deutschland, der Absatz der Videospielekonsolen von 1998 bis 2010 anschaulich dargestellt. Sie stieg stetig an und betrug im Jahr 2010 11,3 Millionen, wobei sie aber nicht beinhaltet, dass gebrauchte Spielkonsolen immer häufiger weiterverkauft oder verschenkt werden und somit die Zahl der daraus resultierenden Konsumenten noch stärker steigt.

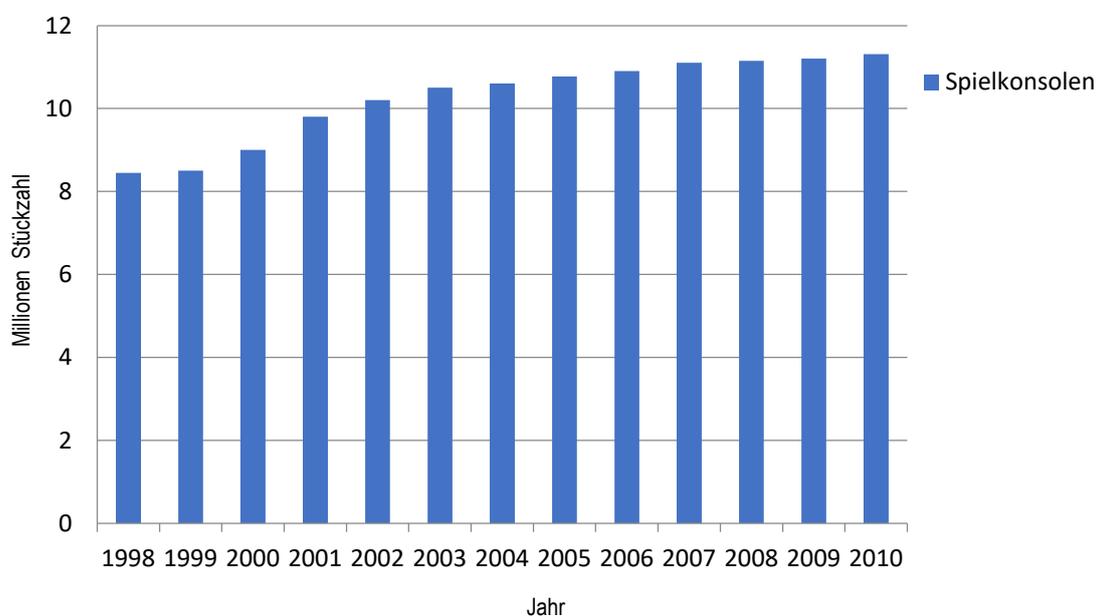


Abbildung 1.2: Die Entwicklung des Spielekonsolen-Absatzes in Deutschland bis 2010, eigene Darstellung nach [6, S. 43]

Den weltweiten Absatz der meistverkauften Spielkonsole bis Dezember 2018 führt die PlayStation 2 von Sony mit 157,68 Millionen, gefolgt von der Nintendo DS mit 154,9 Millionen Stück [7].

Die Tabelle 1.1 verdeutlicht, dass die Leistungsaufnahme der Spielkonsolen sich in den letzten 20 Jahren um mehr als das Zehnfache gesteigert hat. Im Durchschnitt hat der Normalbetrieb einer Spielkonsole im Jahr 2001 noch 15 Watt betragen, 2010 waren es schon 50 Watt [6]. Heutzutage liegt der Leistungsverbrauch im Spielbetrieb bei 170 Watt. Das wurde anhand eigener Messungen der aktuellen, leistungsstarken Konsolen mit der PlayStation 4 Pro und Xbox One X verifiziert. In der Tabelle 1.1 ist die Leistungsaufnahme der Xbox One X in Bereitschaft und im aktiven Spielbetrieb mit *Red Dead Redemption 2* berücksichtigt. Im Standby mit aktivierten Instant-On-Modus, nimmt die Xbox One X minimal 14 Watt und maximal 30 Watt auf – weniger, wenn nichts heruntergeladen wird und mehr, wenn sie Updates herunterlädt. So kann die Spielkonsole der aktuellen Generation in Bereitschaft um die 5 Watt oder mehr erreichen. Beim Aus-Zustand, darunter soll der Schein-Aus-Zustand verstanden werden, wenn das Netzgerät im „Leerlauf“ und die Spielkonsole ausgeschaltet ist, hat sich eine Verbesserung eingestellt, sodass $\leq 0,3$ Watt erreicht wurde.

Jahr	Leistungsaufnahme [W]		
	Aus	Standby (Instant-On)	aktiver Betrieb
2001	1,5	-	15
2005	2,0	-	40
2010	2,0	-	50
2019	0,3	5-14	170

Tabelle 1.1: Leistungsaufnahme der Videospielekonsole, [6] und eigene Messung

Der hohe Energieverbrauch der Spielkonsolen der aktuellen Generation lässt sich neben dem aktiven Spielen auch darauf zurückführen, dass Videospielekonsolen immer mehr als Media-Player und für das Streaming verwendet werden. Damit wollen die Konsolenhersteller möglichst alle Verbrauchergruppen ansprechen und den Markt für die Unterhaltungselektronik im Haushalt dominieren. Videospielekonsolen werden auch zum Abspielen von DVDs, Blu-rays und 4K UHD-Discs oder zum Streamen digitaler Medien gebaut und verwendet. Der daraus resultierte Nachteil ist mitunter ein hoher Leistungsverbrauch. Hatten klassische Video-Aufnahme- und Wiedergabegeräte sowie Videoprojektoren in der EU im Jahr 2015 einen Energieverbrauch von 1,5TWh beziehungsweise von 1,2TWh, kamen Videospielekonsolen auf 8,4TWh. Für das Jahr 2025 werden in der EU Video-Aufnahme- und Wiedergabegeräte für den Energieverbrauch nicht mehr berücksichtigt. Jener von Videoprojektoren wird verschwindend klein und kaum erwähnenswert sein. Hingegen wird der Energieverbrauch von Videospielegeräten im Jahr 2025 mit 13,5TWh prognostiziert [2].

Der Vorteil für die Benutzer liegt darin, dass mit einer einzigen Konsole sämtliche „Digitale-Unterhaltung“ bequem zu steuern ist. Für die Hersteller der Konsolen bringt es eine vorteilhafte Marktpositionierung mit sich. Der Stromverbrauch einer Xbox 360 von Microsoft zum Beispiel ist beim Abspielen einer DVD um 30% niedriger als der bei einem Videospiel. Und es wurde sogar festgestellt, dass der Stromverbrauch zwischen den verschiedenen Spielen, die in der gleichen Spielkonsole gespielt wurden, um 10% schwankte [1].

Trotz der bekannten Daten über Umsatz und Bestand an Videospielekonsolen sowie den Energieverbrauch gibt es nur wenige Informationen über das Verbraucherverhalten. Wann zum Beispiel wird die Konsole nicht verwendet aber läuft dennoch in Standby oder gar im aktiven Betrieb? Der Energieverbrauch hängt daher von vielen Faktoren ab:

- Ist die Konsole in Bereitschaft oder im Aus-Zustand?
- Die Anzahl der Betriebsstunden für jeden Konsolentyp und Benutzer.
- Die Energieverbraucheigenschaften, wenn die Konsole im aktiven, in Bereitschaft oder im Aus-Zustand ist.
- Ob die Spielekonsole mit dem Internet verbunden ist oder nicht.
- Media-Player der Konsole: DVD, Blu-ray, 4K Ultra HD oder Streaming.

Der größte Energieverbrauch tritt auf, wenn mit der Konsole aktiv gespielt wird und am kleinsten, wenn sie sich ständig im Aus-Zustand befindet.

Abbildung 1.3 zeigt anhand der Konsolen der drei größten Hersteller, mit der Xbox 360 von Microsoft, PS3 von Sony und Wii von Nintendo jenen Prozentsatz von Benutzern, die ihre Konsole ganz ausschalten, wenn sie nicht verwendet wird. Dementsprechend resultiert ein jährlicher Energieverbrauch, wobei die resultierenden Daten in der Abbildung 1.3, die Anzahl der Konsolen in den US-Privathaushalten und die Nutzungsstunden pro Woche berücksichtigt [1].

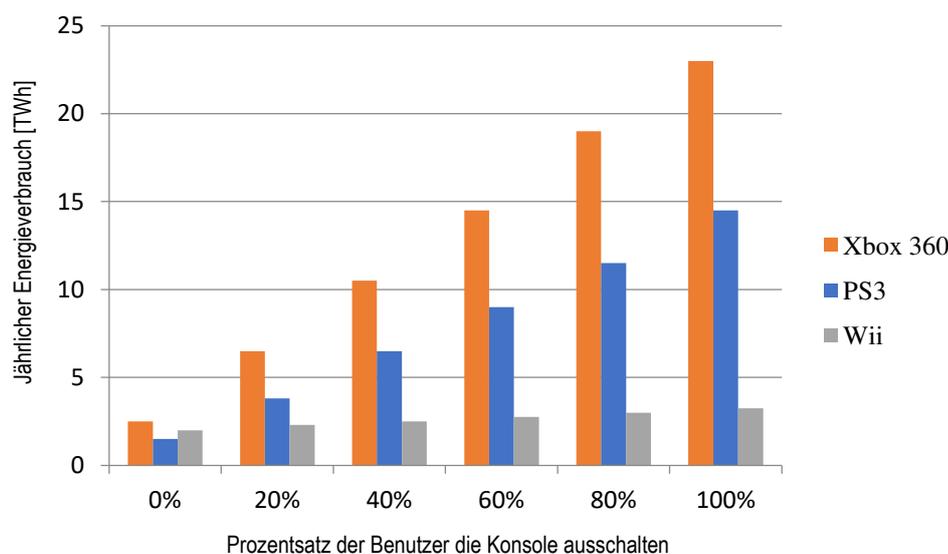


Abbildung 1.3: Energieverbrauch im Vergleich mit den Benutzern, die ihr Konsolen ausschalten, eigene Darstellung nach [1, S. 538]

Hinsichtlich der Energieeffizienz bei Spielkonsolen rückt das Problem durch Streaming mit großen Datenmengen immer mehr in den Fokus. Einer Schätzung des Energieversorgers E.on zufolge wird beim Streaming weltweit mehr Strom verbraucht als Deutschland Ökostrom im Jahr produziert [8]. Durch große Plattformen fallen beim Internetstreaming große Datenmengen an, sodass nicht nur bei der Verwaltung in den Rechenzentren, sondern vor allem beim Streaming mitunter von Filmen und Serien ein entsprechend hoher Stromverbrauch anfällt. Laut der Schätzung des Energieversorgers

E.on dürften dabei um die 200 Milliarden kWh Strom pro Jahr anfallen, genug Strom, um einige Länder in Europa für ein Jahr zu versorgen.

Hingegen zeigt eine Studie der University of Surrey [9], dass die Stromintensität von Benutzergeräten und Rechenzentren sehr unterschiedlich und weitgehend von den angebotenen Dienstleistungen abhängig sind. Dabei wird die Stromnutzung von Internetdiensten immer durch genaue Schätzungen der durchschnittlichen Stromintensität der Datenübertragung über das Internet beurteilt. Die durchschnittliche Stromintensität der Datenübertragung über das Internet variierte für die Jahre 2000 bis 2015 um bis zu 5 Größenordnungen und bewegte sich zwischen 92 bis 160kWh/GB für das Jahr 2000, 9 bis 16kWh/GB für das Jahr 2006 und für 2015 lag sie bei 0,023kWh/GB. Es zeigt sich, dass sich die Stromintensität der Datenübertragung seit dem Jahr 2000 etwa alle 2 Jahre um die Hälfte verringert hat [9]. Diese Änderungsrate lässt sich mitunter auf die effiziente Datenverarbeitung zurückführen.

Seit dem Jahr 2010 hat sich der weltweite Datenverkehr im Internet mehr als verfünffacht und wächst stetig weiter [9]. Insofern sind die Betrachtungen und Beurteilungen der Spielkonsolen im Standby- und aktiven Zustand mit ständiger Internetverbindung von Bedeutung. Aber nicht nur der Energieverbrauch und die damit verbundenen Kohlenstoffemissionen sollen den Spielkonsolen zugerechnet werden, sondern auch der positive Effekt, dass die kontinuierlich wachsende Anforderung der Software, die Auflösung der Spiele an die Geräte, ein wichtiger Treiber für die Leistungssteigerung der Technik war und immer noch die Entwicklung vorantreibt [6].

Eine Studie der Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) [10] zeigt, dass nicht nur die Wahl der Technologie, sondern vor allem das Nutzerverhalten einen starken Einfluss auf den Energieverbrauch hat. Der Auslastungsgrad und die Spielauswahl sind dabei von Bedeutung und, ob es sich dabei um einen Gelegenheitsspieler handelt, der durchschnittlich 15 Minuten oder einen „Intensiv-Spieler“, der bis zu sechs Stunden pro Tag spielt.

Diese Arbeit untersucht den Energieverbrauch der aktuellen achten Konsolengeneration der drei größten Hersteller: Microsoft, Nintendo und Sony, und verdeutlicht anhand der durchgeführten Messungen mögliche Einsparungspotentiale.

1.1 Problemstellung

Spielkonsolen sind in den meisten Haushalten gar nicht mehr wegzudenken. Sie unterhalten nicht nur, sondern helfen den Konsumenten sich zu entspannen und aus dem Alltag zu entfliehen. Aufgrund dieser Funktionsbandbreite muss bereits hier schon zwischen jenen Spielern unterschieden werden, die gelegentlich, einmal pro Woche, oder welche, die täglich viele Stunden spielen. Spielkonsolen, die mehrere Stunden täglich ohne Ausgleich über lange Zeit genutzt werden, können nicht nur der Gesundheit schaden, sondern der hohe Energieverbrauch der Konsolen macht sich auch in der Stromrechnung bemerkbar – unabhängig davon, dass sich die Konsolenhersteller an die vorgeschriebene EU Richtlinie 2009/125/EG [11] für einen umweltgerechten Energieverbrauch verpflichten, oder nicht.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, den drei größten Spielkonsolenherstellern einen möglichen ineffizienten Energieverbrauch vorzuführen und Verbesserungsmöglichkeiten für einen niedrigen Stromverbrauch zu unterbreiten. Daraus resultieren folgende Forschungsfragen, die in der vorliegenden Arbeit gelöst werden:

- Die Evaluierung der Messmethode muss der Norm DIN EN 50564 [12], der von der EU vorgegebenen Richtlinie 2009/125/EG für einen umweltgerechten Energieverbrauch, entsprechen.
- Welche Probleme treten bei den Messungen auf? Welche Verbesserungen können bei den Messungen erreicht werden?
- Welche Messmethoden müssen durchgeführt werden, um einerseits Messfehler auszuschließen und andererseits dadurch jene Messmethode zu evaluieren, die sich am besten für die Ermittlung der Energieeffizienz der Spielkonsole eignet?
- Kann mit der Gegenüberstellung der Datensätze von Videospielekonsolen und anderen Haushalts-Elektrogeräten, die mit einem bedienerfreundlichen, kalibrierten Messgerät gemessen werden, der Konsument selbst in der Lage sein, den ineffizienten Energieverbrauch zu erkennen?

Um die vorliegenden Fragen auszuarbeiten erfolgte eine ausführliche Literatur- und Internetrecherche. Gemessen wurde im Labor des Institutes für Computertechnik (ICT) der Technischen Universität Wien und im Haushalt mit dem kalibrierten „Energy Logger 4000“ von Voltcraft. Die Auswertung der Messdaten erfolgte mit den Programmen *Excel* und *MATLAB*.

1.2 Entwicklungsgeschichte der Videospielekonsolen

Um die vorliegende Arbeit besser zu verstehen, werden die wichtigsten Punkte über die Entstehungsgeschichte der Videospielekonsolen besprochen. Es soll auch die freiwillige Selbstregulierungsinitiative (SRI) der drei größten Spielkonsolenproduzenten Microsoft, Nintendo und Sony erwähnt werden.

Das erste elektronische Spiel wurde durch den Physiker William Higinbotham entwickelt. 1958 präsentierte er seine Arbeit, die er *Tennis for Two* nannte, auf einem Oszillographen. Die Besucher konnten mit Hilfe von zwei Reglern einen hellen Punkt, der als Ball fungierte, steuern. Eine vertikale Linie in der Mitte des Bildschirms symbolisierte das Netz. William Higinbotham meldete seine Erfindung nicht zum Patent an. 1961 und 1962 entwickelte eine Gruppe von Wissenschaftlern am Massachusetts Institute of Technology ein Spiel namens *Spaceware*, das erste Computer-Spiel. Zwei Raumschiffe beschossen einander, bis eines explodierte. Als Hardware wurde eine PDP-1² verwendet [13], [14]. Der gesetzlich anerkannte Vater der Videospiele wurde der deutsche R&D-

² Der PDP-1, Programmed Data Processor 1 war der erste Minicomputer, der 1959 von der Firma DEC (Digital Equipment Corporation) entwickelt wurde.

Manager Ralph Baer. Er entwickelte Golf- und Ballspiele und meldete diese 1966 zum Patent an. Die Elektronikfirma Philips brachte seine Erfindung als Ur-Konsole *Magnavox Odysse* im Jahre 1972 auf den Markt. Aber noch bevor 1972 *Magnavox Odysse* auf den Markt kam, wurde die vom Ingenieur Nolan Bushnell entwickelte Konsole *PONG* [14] vertrieben, die in ganz Nordamerika ein voller Erfolg war. Später gründete Nolan Bushnell die Firma Atari und legt damit das Fundament für einen neuen Industriezweig [13].

In Asien hatte bereits in der Mitte der 70er Jahre die japanische Firma Nintendo Interesse an dem neuen Medium entdeckt. Sie entwickelte neue Marktstrategien wie etwa für die Game & Watch Telespiele. So erschien 1980 das Spiel *Donkey Kong*. Der „Zimmermann Jumpman“, der später Mario genannt wurde, musste über etliche Hindernisse, um seine Freundin von einem Gorilla zu befreien. In wenigen Tagen wurde das Spiel zum Kassenmagneten und Nintendo verkaufte in den ersten zwei Jahren 60.000 *Donkey Kong*-Automaten [13]. Der Höhepunkt der Videospiele in den USA wurde 1982 mit einem Jahresumsatz von 3 Milliarden Dollar erreicht. In den USA wurde danach der Heimcomputer und in Japan die TV-gebundenen Modulsysteme bevorzugt. Amiga und Commodores C64 waren im Westen populär, für den Osten entwickelte Nintendo das Family Computer System und den Game Boy [13].

Der Hersteller Nintendo veröffentlichte im Juli 1983 die stationäre Spielkonsole Famicom (NES). Schon innerhalb von zwei Jahren wurden zehn Millionen Geräte verkauft. Das Famicom besitzt einen Antennenausgang und zwei nicht abnehmbare Joypads. In den folgenden Jahren wurde weiterentwickelt: 1984 kamen Tastatur und Basic, 1986 das Disk System und 1988 ein Network Adapter. Nintendo änderte den Namen Famicom in Entertainment System. Das neue Design sollte die Konsole für die westlichen Märkte attraktiv machen [14]. 1992 erschien die Konsole als Super Nintendo in Europa.

Der Konkurrent Sony brachte 1994 in Japan die PlayStation 1 auf den Markt und stieg mit vollem Erfolg in die Branche ein. Nur der Nachfolger, die PlayStation 2 (PS2), die Ende 2000 folgte, übertraf den Vorgänger. Sony verkaufte im ersten Jahr 20 Millionen Geräte. Die PS2 besaß im Gegensatz zum Vorgänger die Doppelfunktion neben dem Spielen auch DVDs abspielen zu können. Der Prozessor (CPU), der gemeinsam mit Toshiba entwickelt wurde, besitzt neben dem 128-Bit-RISC-Kern zwei Vektorprozessoren [14].

Microsoft, der dritte Marktführer neben Nintendo und Sony, brachte als Nachfolger für die Xbox die Xbox 360 auf den Markt. Microsoft verwendete statt Intels Pentium eine PowerPC-CPU (drei Kerne mit je 3,2GHz), ATI-Grafik-Chip und GDDR3-Speicher. Die Xbox 360 besaß als erste Konsole eine HD-Auflösung von 16:9-Breitbild mit 1280x720 Pixeln. Außerdem hatte die Konsole neben dem Multi-AV-Ausgang eigene Ethernet-Buchse, kabellose Funkpads, zwei Memory-Card-Schächte und drei USB-Ports, also viel mehr Anschlussmöglichkeiten als die Konkurrenten. Einerseits sind die kabellosen Funkpads sehr praktisch, aber andererseits sind das Laufwerk und die Lüfter sehr laut. Nicht nur die Lärmbelästigung, sondern auch die Sound- und Grafikfehler sind oft erwähnte Nachteile der Xbox 360. Aufgrund des niedrigen Preises fand das Gerät genug Käufer. Software bekam die Xbox 360 von allen US- und von vielen europäischen Spielkonsolen-Produzenten [14].

Die Abbildung 1.4 verdeutlicht den steigenden Energieverbrauch der Spielkonsolen in den Jahren 1995 bis 2013 – mit Ausnahme der Nintendo Wii. Außerdem ist anzumerken, dass die PlayStation 1 zwar ab dem Jahr 1994 in Japan vertrieben wurde, den weltweiten Absatz hat sie aber erst ab dem Jahr 1995. Der weltweite Absatz der Spielkonsolen in der Abbildung 1.4 wurde einschließlich bis Dezember 2018 berücksichtigt.

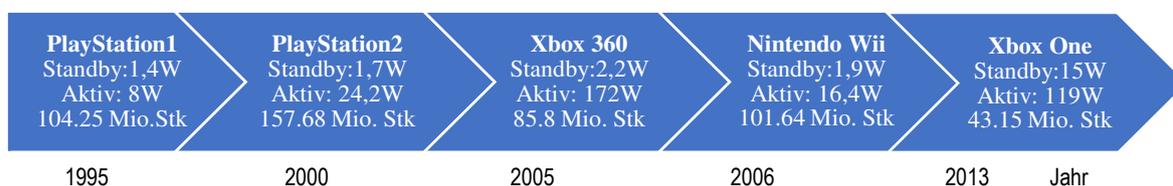


Abbildung 1.4: Energieverbrauch und verkaufte Stückzahl der beliebtesten Spielkonsolen der letzten Jahre, eigene Darstellung nach [7], [15], [16]

Die allerneueste Konsolengeneration von Microsoft, die Xbox One X, steht in direkter Konkurrenz mit der PlayStation 4 Pro von Sony. Im Rahmen dieser Arbeit wird die Leistungsaufnahme beider Konsolen miteinander verglichen. Aber auch Nintendo trumpft als potenter Konkurrent am anderen Ende des Leistungsspektrums mit der leistungsarmen SWITCH auf.

Um die Ziele der Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG zu erfüllen, haben sich im Jahr 2010 die drei größten Spielkonsolenproduzenten Microsoft, Nintendo und Sony zusammengeschlossen und begonnen eine freiwillige Vereinbarung zu formulieren, um sich damit auf eine Überprüfung durch die EU-Kommission vorzubereiten. Im November 2012 wurde der erste Entwurf des Freiwilligenabkommens der EU-Kommission und an Nichtregierungsorganisationen (NGOs) zur Prüfung und Erörterung vorgelegt [17]. Die freiwillige Vereinbarung wurde von den Spielkonsolenherstellern in Absprache mit der EU-Kommission und unter Einbeziehung verschiedener EU-Interessengruppen, einschließlich der Mitgliedsstaaten und NGOs, als freiwillige Verpflichtung zur weiteren Verbesserung der Energieeffizienz von Spielkonsolen ausgearbeitet. Die sogenannte Selbstregulierungsinitiative – Self-Regulatory Initiative (SRI).

Die SRI soll aus Sicht der Hersteller eine effektive Alternative zu den verbindlichen Rechtsvorschriften der EU bieten. Die Europäische Kommission hat die freiwillige Vereinbarung der Spielkonsolenhersteller am 22. April 2015 offiziell anerkannt. Die Vereinbarung wird kontinuierlich aktualisiert und auch durch die Konsolenproduzenten veröffentlicht. Die Unterzeichner und die EU-Kommission halten zweimal jährlich Sitzungen des Lenkungsausschusses ab, um die Einhaltung der Richtlinie 2009/125/EG neu zu bewerten und das Erreichen mögliche Ziele hinsichtlich des Energieverbrauches der Spielkonsolen anzuerkennen oder zu überarbeiten [17]. Laut den Spielkonsolenherstellern wurde ab dem Jahr 2016 damit begonnen, die Produktion den Anforderungen des freiwilligen Vertrages und damit unter Einhaltung der Richtlinie 2009/125/EG umzusetzen. Deswegen werden für die Evaluierung der Messmethoden nur die aktuellen Spielkonsolen der Marktführer herangezogen.

1.3 Zielsetzung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es die Videospielekonsolen der drei größten Konsolenhersteller: Microsoft, Nintendo und Sony mit unterschiedlichen Messmethoden auszumessen und den Energieverbrauch für die verschiedenen Betriebszustände zu ermitteln.

Der praktische Teil der Arbeit erfolgte durch Messungen im Labor des Institutes für Computertechnik an der Technischen Universität Wien und im Haushalt. Dabei erfolgen die Messungen anhand der für die Arbeit konzipierten Testmethoden. Daraus resultiert der Messplan, mit dem im Labor mit hochsensiblen Messgeräten gemessen wurde. Unter verschiedenen Bedingungen erfolgte dann das Austesten der Spielkonsolen.

Die Energieeffizienzmessungen bilden den Kern der Arbeit, um die Hauptfrage zu beantworten. Dabei erfolgen die Messungen stets unter Berücksichtigung der Norm DIN EN 50564 [12].

Es werden auch Vergleiche zwischen den Spielkonsolen und gewöhnlichen Haushaltsgeräten herangezogen, um den Energieverbrauch besser zu verdeutlichen. Dafür wurden die Geräte nach den jeweiligen Normen ausgemessen und die Ergebnisse dokumentiert.

Die Ergebnisse sollen dazu beitragen die Frage zu beantworten, ob die Spielkonsolenhersteller den Energieverbrauch noch senken können. Dabei soll den Herstellern Nachbesserungspotentiale aufgezeigt werden, um sich noch mehr mit der Energieeffizienz ihrer Produkte auseinanderzusetzen.

1.4 Aufbau der Arbeit

Die Diplomarbeit setzt sich aus einem theoretischen, einem praktischen und einem empirischen Teil zusammen. Sie gliedert sich in sieben Kapitel.

Die Einleitung beschäftigt sich eingehend mit der Thematik und der Problematik. Sie stellt die Grundlage für die Arbeit dar. Im Fokus liegen dabei immer die drei größten Spielkonsolenhersteller Nintendo, Microsoft und Sony.

Für den theoretischen Teil wurde neben der Bibliothek der Technischen Universität und der Hauptbücherei Wien auch das Internet herangezogen. Es wurde stets auf die Objektivität der Quellen geachtet. Der Beginn der Arbeit besteht aus einer theoretischen Betrachtung von Spielkonsolen. Dafür wird neben dem Verständnis für die Problemstellung der Arbeit auch der aktuelle Stand der Technik betrachtet.

Im Kapitel Messtheorie wird das erforderliche Grundwissen für die Messungen zusammengefasst. Danach wird im anschließenden Kapitel die Energieeffizienz im Rahmen der EU Richtlinie 2009/125/EG für einen umweltgerechten Energieverbrauch besprochen und die Arbeit zum Messen nach unterschiedlichen Normen erklärt, wobei jene Vorschriften kurz erwähnt werden, die für die Messungen an den Videospielekonsolen relevant sind. Es werden auch die Studiendaten der Spielkonsolenhersteller für den späteren Vergleich besprochen. Darauf folgen die Energieeffizienzmessungen mit den vorgestellten Messgeräten und Spielkonsolen.

Der Kern der Arbeit liegt im fünften Kapitel und beschäftigt sich mit der Auswertung der Messdaten. Dabei werden vor allem die Daten der leistungsstarken Spielkonsolen in allen Betriebszuständen betrachtet und im Vergleich mit den Herstellerangaben die Energieeffizienz besprochen. Durch diese Erkenntnisse erfolgt dann im sechsten Kapitel die Evaluierung der Messmethode. Hier werden im Weiteren die leistungsstarken Spielkonsolen den anderen Haushaltsgeräten gegenübergestellt, um den Energieverbrauch der Alltagselektronik besser zu verdeutlichen.

Am Ende der Arbeit werden die Ergebnisse analysiert und interpretiert. Abschließend wird ein möglicher Ausblick über das Thema gegeben.

2. Messtheorie

Das Ziel des vorliegenden Kapitels ist es Grundlegendes zur Messtheorie für die Energieeffizienz-messungen zusammenzufassen. Dabei sollen das Grundprinzip der Messeinrichtung und die resultierende Ausgangsgröße in Abhängigkeit des dynamischen Systemverhaltens betrachtet werden. Im Weiteren wird der Ablauf der Messung, die Interpretation der Messergebnisse und die Messunsicherheit besprochen. Um die eingesetzten Messgeräte besser zu verstehen, werden die Leistungsaufnahme und das Prinzip des Wattmeters kurz erläutert.

2.1 Messkette

Die Messkette in der Abbildung 2.1 besteht aus Komponenten, die eine Messung elektrischer beziehungsweise nicht-elektrischer Größen gewährleisten. Dabei wird im Einzelnen die Messgröße aufgenommen, weitergegeben, angepasst und das Messsignal verarbeitet. Anschließend wird der Messwert ausgegeben. Der Aufnehmer wandelt die Messgröße x_e entweder direkt oder über andere physikalische Größen in ein elektrisches Messsignal y_1 um. Die Anpasser bestehen aus Messgliedern, die gemeinsam mit Aufnehmer und Ausgeber die Messkette bilden [18]. Darunter sind unter anderem Messverstärker und elektronische Rechengenäte zu verstehen. Mit dem Ausgeber wird der Messwert x_a digital angezeigt und zur weiteren Verarbeitung abgespeichert. Das Hilfsgerät liefert für das Messgerät eventuell benötigte Hilfsenergie.

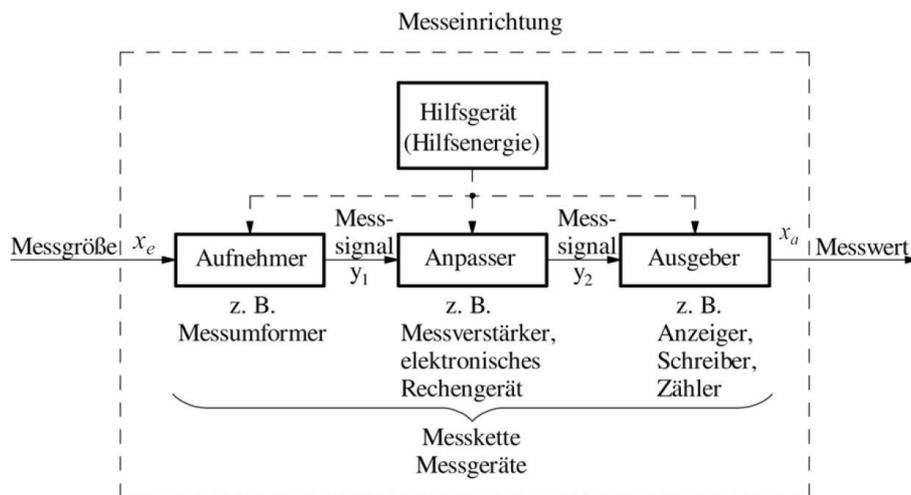


Abbildung 2.1: Messkette, Kopie aus [18, S. 6]

Zu berücksichtigen ist auch stets das dynamische Verhalten der Spielkonsole. Denn der Messwert einer Messeinrichtung kann nicht beliebig schnell der Messgröße folgen. Die Verzögerung und dynamische Änderung der Signale resultiert aufgrund von Umladungsvorgängen, Masseträgheiten, Reibungswiderständen und wegen Gegebenheiten, die physikalisch bedingt sind. In der Abbildung 2.2 ist die Veränderung der Eingangsgröße x_e und der daraus resultierende ideale und reale Verlauf der Ausgangsgröße x_a anschaulich dargestellt. Der ideale Verlauf, der in der Abbildung 2.2b gestrichelt ist, entspricht der unverzögerten und gleichförmigen Änderung der Ausgangsgröße [19]. Durch das reale dynamische Verhalten stellt sich eine zeitabhängige Differenz zwischen dem idealen und realen Verlauf der Ausgangsgröße ein, die erst nach dem Einschwingvorgang verschwindet. In der Abbildung 2.2b ist die dynamische Abweichung zu den Zeitpunkten t_1 und t_2 gekennzeichnet.

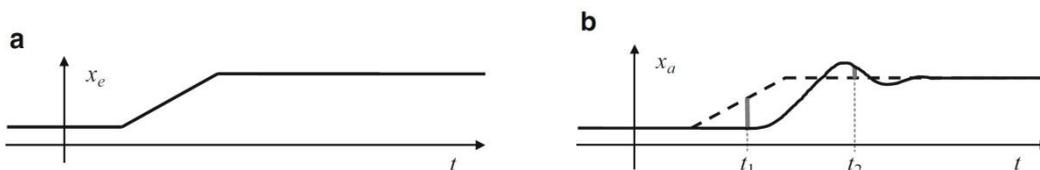


Abbildung 2.2a: Veränderung der Eingangsgröße

b: Idealer (gestrichelt) und realer Verlauf der Ausgangsgröße, Kopie aus [19, S. 42]

Das Prinzip der Messgeräte beruht darauf, dass das analoge Ausgangssignal mit der Messelektronik abgetastet und mittels des Analog-Digital-Wandlers quantisiert und in ein digital codiertes Datenwort umgewandelt wird. Dieses Bitmuster kann dann auf einen Träger aufmoduliert und übertragen werden. Letztendlich wird der Träger wieder am Empfangsort demoduliert, das Messergebnis angezeigt und dann für die weitere Verarbeitung abgespeichert [20]. Bei der Auslegung der einzelnen Elemente der Messkette sollte man darauf achten, dass zwischen der Messgröße und der Ergebnisgröße ein eindeutiger linearer Zusammenhang besteht. Dieser Zusammenhang wird als die Messcharakteristik bezeichnet.

2.2 Ablauf der Messung

Zuerst wird eine Reihe von Messwerten aufgenommen, die mitunter zufällige Schwankungen aufweisen können. Aus den einzelnen Messwerten wird dann der Mittelwert gebildet, wobei hierbei die statistische Schwankung bei mehrmaliger Wiederholung der Messreihe signifikant kleiner sein wird als die Schwankung der einzelnen Messwerte [20]. Eine Korrektur der unbekannt systematischen Fehler ist nicht möglich, sie lässt sich nur durch eine weitere Erhöhung der Unschärfe des Messergebnisses berücksichtigen. Das resultierende Endergebnis besteht somit aus dem Mittelwert und der kombinierten Unschärfe.

Der beste Schätzwert für eine endliche Anzahl N von Messungen ist der *arithmetische Mittelwert* \bar{x} [20]:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k$$

Der Messbereich wird durch die obere und untere Grenze, innerhalb derer die einzelnen Messwerte der Messreihe mit vorgegebener Sicherheit liegen, bestimmt [21]. Hierbei ist die obere und untere Grenze auf den arithmetischen Mittelwert der Messreihe bezogen.

2.2.1 Interpretation der Messergebnisse

Jede durchgeführte Messung muss ein Messergebnis liefern [22]. Die gewonnenen Messdaten müssen gespeichert und dokumentiert werden. Danach erfolgen die Auswertung und Darstellung der Messdaten. Durch einen ständigen Abgleich der zwischengespeicherten Messwerte mit den Daten der Konsolenhersteller kann während der Messungen auf mögliche Fehler im Messsystem geschlossen werden.

2.3 Messunsicherheit

Unter dem Begriff des Messfehlers wird jede bedingte oder zufällige Abweichung eines konkreten Messergebnisses von seinem Idealwert, mitunter auch wahrer Wert genannt, verstanden [20]. Das wiederum setzt voraus, dass ein wahrer Wert existiert, der nur durch Experimente und Messungen ermittelbar ist. Bei jeder Messung kann eine zufällige Schwankung des Messwertes auftreten und somit den wahren Messwert verfälschen. Durch möglichst viele idente und genaue Messungen kann der wahre Wert approximiert werden. Wie in der Abbildung 2.3 ersichtlich, wird zwischen systematischen und zufälligen Fehlern unterschieden.

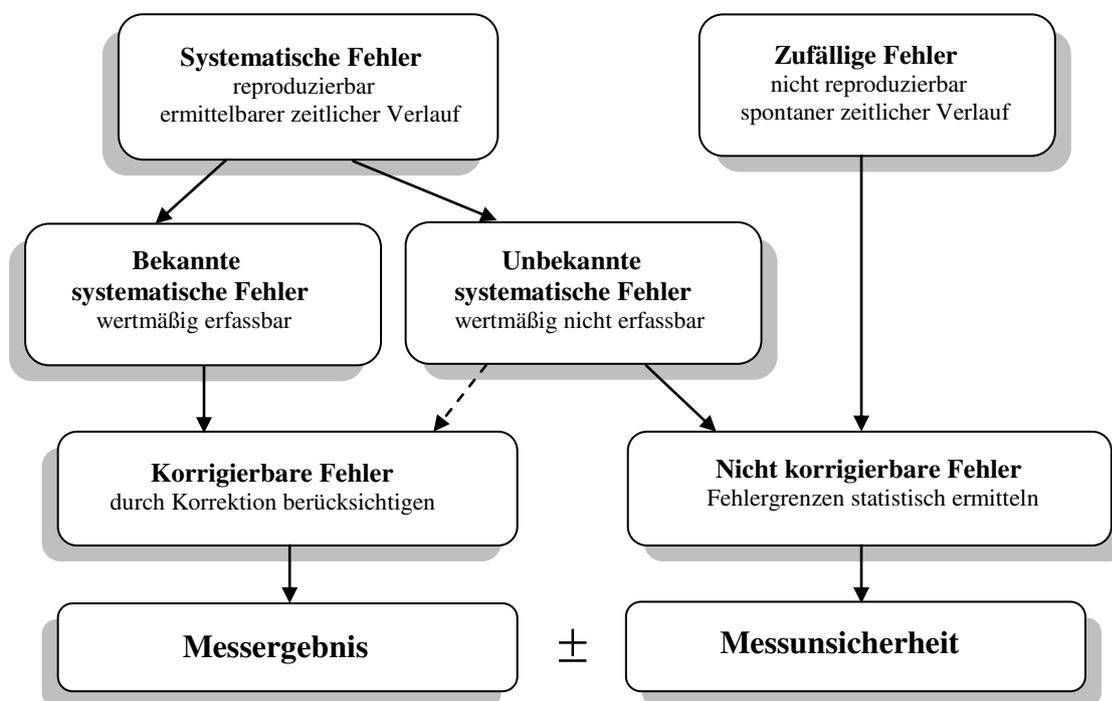


Abbildung 2.3: Erläuterung der Messfehler im ermittelten Messergebnis, eigene Darstellung nach [20]

Systematische Fehler entstehen mitunter durch grobe Messfehler, wie zum Beispiel eine fehlerhafte Anordnung, falsches Ablesen oder aber auch aufgrund der Umwelteinflüsse, frequenzabhängige Einstreuungen und Rückwirkung des Messgerätes auf die Messgröße. Dabei sind auch Übertragungsfehler zu berücksichtigen.

Der Vorteil von systematischen Fehlern ist, dass sie sich im Nachhinein korrigieren lassen. Sie müssen später bei der Datenauswertung im Messergebnis berücksichtigt werden. Im Gegensatz dazu ist es bei zufälligen Fehlern nicht so einfach, weil sie weder reproduzierbar sind noch ihr zeitlicher Verlauf vorhersehbar ist. Somit tragen unbekannte Fehler zur gesamten Messunsicherheit beziehungsweise Messunschärfe bei [20].

2.3.1 Statistische Messunsicherheit

Die Messergebnisse können sinnvoll interpretiert werden, wenn das Ausmaß der Messunsicherheit, wie in der Abbildung 2.3 gezeigt, ersichtlich ist. Statistische Methoden werden immer dann eingesetzt, um zufällig auftretende Messfehler zu ermitteln und damit die Unschärfe der Messdaten zu verringern. Ein Merkmal für das Vorliegen von zufällig auftretenden Messfehlern sind Abweichungen der Messergebnisse bei wiederholten Messungen unter identen Bedingungen. Im Weiteren kann die begrenzte Auflösung und Empfindlichkeit der verwendeten Messgeräte zur einer Messunsicherheit führen, die dann mittels statistischer Methoden behandelt werden kann [20].

Da bei der Durchführung der Energieeffizienzmessungen sämtliche Messdaten im Rahmen der Normen und Richtlinie liegen, sowie die Abweichungen der Messergebnisse bei mehrfachen Wiederholungen unter identen Bedingungen verschwindend gering sind, wird auf die statistischen Methoden in der vorliegenden Arbeit verzichtet.

2.4 Leistungsaufnahme

Die Leistungsabgabe ist immer kleiner als die Leistungsaufnahme der Spielkonsole. Von der zugeführten Energie wird nur ein Teil in die gewünschte Energieform umgewandelt, während der andere Teil als Verlust in unerwünschte Energieformen, in den meisten Fällen in Wärme, umgewandelt wird. Genau dieses Verhältnis von Nutzen zu Aufwand wird als Wirkungsgrad bezeichnet.

Wie in der Abbildung 2.4 ersichtlich, sind die zu betrachtende Spannung und der Strom in jedem Moment gleichzeitig positiv oder negativ. Die Momentanwerte der Leistung P sind nur positiv und die Leistung pulsiert im Gegensatz zur Spannung mit der doppelten Frequenz. Ihr Scheitelwert (Maximalwert) resultiert aus dem Produkt des Scheitelwertes von Spannung und Strom: $\hat{u} \cdot \hat{i}$ [23].

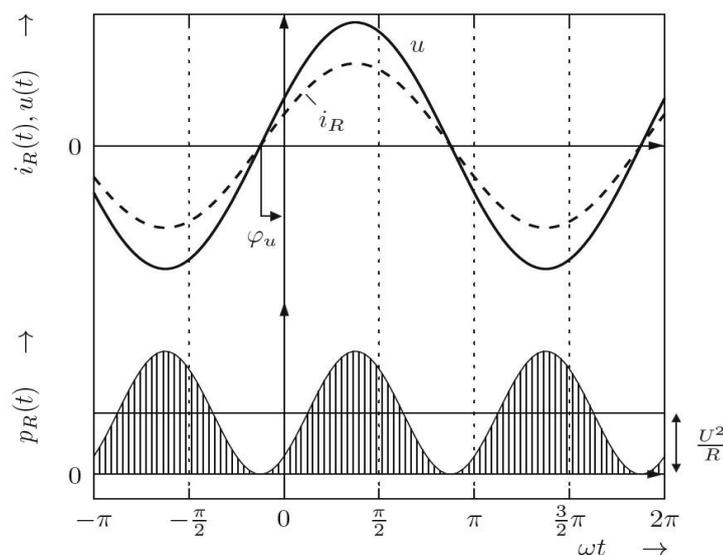


Abbildung 2.4: Strom, Spannung und Leistung an einem ohmschen Widerstand R, Kopie aus [24, S. 169]

Die Fläche unter der Leistungskurve entspricht der verrichteten Arbeit. Betrachtet man diese Fläche als ein flächengleiches Rechteck, so entspricht die Höhe des Rechtecks jener Leistung, die der Verbraucher aufnimmt. Man nennt diesen Mittelwert der Leistung die Wirkleistung. Sie entspricht der Hälfte des Scheitelwertes der Leistung [23]:

$$P = \frac{\hat{u} \cdot \hat{i}}{2} = \frac{U \cdot \sqrt{2} \cdot I \cdot \sqrt{2}}{2} = U \cdot I$$

In der Abbildung 2.4 ist bei der Leistungskurve von idealen Widerständen, Induktivitäten und Kapazitäten auszugehen. Dabei verbraucht der ideale Widerstand in jedem Augenblick Leistung und wandelt die zugeführte Leistung irreversibel in Wärme um [24].

2.4.1 Grundprinzip eines Wattmeters

Die Beziehungen zwischen der Leistungsaufnahme, der Stromlast, der anliegenden Spannung und der Spielkonsole als Verbraucher sind durch die triviale Betrachtung [21] mit dem Ohmschen Gesetz gegeben:

$$P = \frac{U^2}{R} = I^2 \cdot R$$

Auf Basis dieser Erkenntnis ist das direkte Messen der Leistung möglich. Im Allgemeinen werden solche Geräte als Wattmeter bezeichnet. In der Abbildung 2.5 ist das Grundprinzip eines Wattmeters mit einem elektromechanischen Messwerk dargestellt [21]. Dabei wird die Phasenverschiebung zwischen der Spannung und dem Strom für eine Wirkleistungsmessung berücksichtigt. Das elektrodynamische Messwerk in Abbildung 2.5 kann infolge seines Wirkprinzips diese Anforderung erfüllen. Der Zeigerausschlag erfolgt infolge der Krafteinwirkung, die durch die aufeinander wirkenden Magnetfelder der beiden Spulen verursacht werden. Die resultierende Anzeige am

Messgerät und somit die Größe des Zeigerausschlags in Abbildung 2.5 ist proportional zum Produkt der beiden Ströme I_1 und I_2 sowie dem eingeschlossenen Winkel ϕ .

Die verwendeten Messgeräte in Teilkapitel 4.2 bilden mit der Elektronik ausgestattet und der anschließenden Digitalisierung des gemessenen Wertes sowie der Möglichkeit der weiteren Verarbeitung die Funktion eines solchen Messwerkes nach.

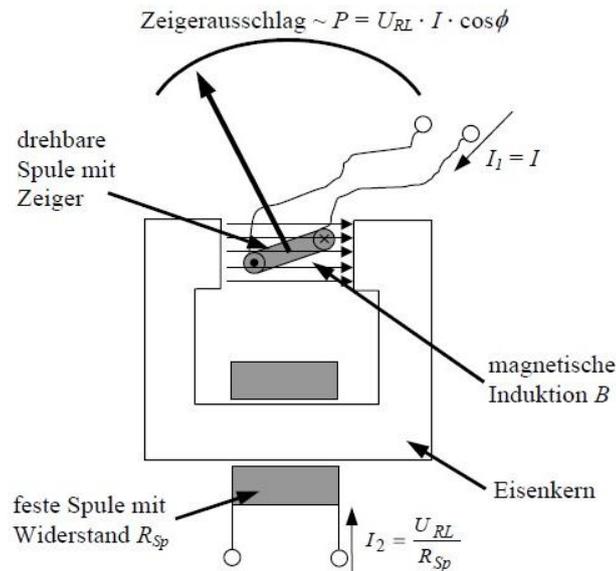


Abbildung 2.5: Vereinfachter Prinzipaufbau eines Elektrodynamischen Messwerks zur Wirkleistungsmessung, Kopie aus [21, S. 95]

Wenn einer der Ströme vom Spannungsabfall U_{RL} über die Verbraucherlast R_L abgeleitet und der zweite Strom über diese Last fließt, erfolgt eine Wirkleistungsanzeige. Zusätzlich muss in Abbildung 2.5 und Abbildung 2.6 $R_{Sp} \gg R_L$ gelten [21].

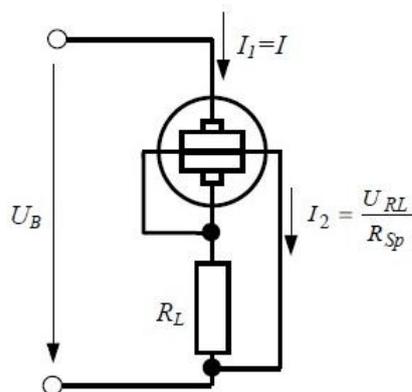


Abbildung 2.6: Messschaltung, Kopie aus [21, S. 95]

In der Abbildung 2.6 ist das Grundprinzip eines Messwerterfassungssystems mit dem Messwerk in der Messschaltung vereinfacht dargestellt. Hierbei kann die Last R_L als Spielkonsole betrachtet werden.

3. Testmethoden

In dem vorliegenden Kapitel werden die Methoden für die Durchführung des praktischen Teils der Arbeit besprochen. Als Erkenntnis ergeben sich die Rahmenbedingungen, um die Leistungsaufnahme der Videospielekonsolen in den zu betrachteten Zuständen zu messen und daraus die Energie zu ermitteln. Auf die Energieeffizienzmessungen wird im nächsten Kapitel eingegangen, doch vorab soll der Begriff Energieeffizienz im anschließenden Teilkapitel näher erläutert werden.

Die Testmethoden müssen sich beliebig oft wiederholen lassen, um die gesuchten Daten genau ermitteln zu können und letztendlich das angestrebte Ziel der Evaluierung des Messsystems zu gewährleisten. Für die Leistungsaufnahme der Spielkonsolen ist vor allem die Norm DIN EN 50564 zu berücksichtigen. Die Norm für elektrische und elektronische Haushalts- und Bürogeräte – Messung niedriger Leistungsaufnahmen [12] legt die Bedingung bei den Messungen der Spielkonsolen fest. Im Weiteren werden in diesem Kapitel der Messplan beschrieben und die geplanten Messungen besprochen, wobei hier einmal mit einem bedienerfreundlichen Datenlogger und einmal mit einer stationären Messeinrichtung im Labor mit besonderer Genauigkeit gemessen wird. Dabei soll evaluiert werden, welche Variante der Messung sich am besten für die gewünschte Erfassung der Daten eignet. Daraus resultierend soll auch ermittelt werden, ob sich das kalibrierte Messgerät von Voltcraft für verlässliche Aussagen bei Langzeitmessungen im Haushalt eignet.

Die drei größten Konsolenhersteller werden mit den kommerziell erfolgreichsten Spielen getestet. Hier wird nicht nur der Energieverbrauch der einzelnen Konsolen ermittelt, sondern die Konsolen werden untereinander verglichen und die Unterschiede aufgezeigt. Die Spielkonsolen werden im Teilkapitel 4.3 genauer vorgestellt. Um den Energieverbrauch der unterschiedlichen Spielkonsolen miteinander besser vergleichen zu können, werden Spiele verwendet, die für alle Konsolen ident konzipiert sind, sodass eine aussagekräftige Messung gewährleistet werden kann. Alle Spielkonsolen werden unter den gleichen Bedingungen getestet, sei es unter Einhaltung der Norm DIN EN 50564 [12] im Sinne der EU-Richtlinie 2009/125/EG [11] oder auch, dass die gleichen „Spieletitel“ mit den unterschiedlichen Konsolenmarken getestet und ausgemessen werden. Insgesamt sind 122 Tests in unterschiedlichen Testbereichen an den Spielkonsolen angesetzt, die im Teilkapitel 3.8 zusammengefasst sind. Darüber hinaus erfolgen 18 Tests an den Haushalts-Elektrogeräten, die im Teilkapitel 6.2 angeführt und mit jenen Energieeffizienzmessungen der Spielkonsolen verglichen und interpretiert werden.

Für die Ermittlung des Energieverbrauches werden bei der Leistungsaufnahme an den Spielkonsolen auch Energiespitzen mitberücksichtigt. Auch wenn die Konsolenhersteller sie durch die Selbstregulierungsinitiative [17] nicht berücksichtigen, werden für die Ermittlung des durchschnittlichen Energieverbrauches die Energiespitzen nach der Häufigkeit und der Dauer des Auftretens in den Messdaten dennoch berücksichtigt und dokumentiert.

Es wird auch die „Handheld-Konsole“ von Nintendo ausgemessen. Die Nintendo SWITCH ist sowohl eine stationäre Spielkonsole als auch eben ein mobiles Spielgerät mit integriertem Display. Die SWITCH wird dabei nur im „Angedockten-Zustand“ für die Arbeit betrachtet.

Bei der Ermittlung der Leistungsaufnahme an den Spielkonsolen wird auch stets die Internetverbindung mitberücksichtigt. Hier wird bei den Konsolen separat gemessen und die Daten werden mit und ohne Internetverbindung im Teilkapitel 4.4 einander gegenübergestellt und diskutiert. Der mögliche ineffiziente Energieverbrauch der Spielkonsolen ist vor allem im Standby-Zustand mit ständiger Internetverbindung von Bedeutung.

Da für die vorliegende Arbeit die DIN EN 50564 [12] die Rahmenbedingungen für die Ermittlung der Leistungsaufnahme an den Spielkonsolen vorgibt, sind für die Messungen drei Zustände von Bedeutung:

- Aus-Zustand
- Standby-Zustand
- Aktiv-Zustand

Dabei wird unter dem Aus-Zustand der Schein-Aus-Zustand der Spielkonsole verstanden. Von Bedeutung ist vor allem die Klarstellung des Standby-Zustandes: Hier werden bei den unterschiedlichen Spielkonsolen nicht die unterschiedlichen Modi im Standby berücksichtigt. Es wird beispielsweise der Instant-On-Modus der Xbox One von Microsoft in Bereitschaft bei der Datenauswertung erwähnt, aber es wird laut der DIN EN 50564 [12] stets ein Standby-Zustand als solcher berücksichtigt und dokumentiert. Das deckt sich auch mit der EU Verordnung (EG) Nr. 1275/2008 zur Umsetzung der Ökodesign-Anforderung [25] für den Stromverbrauch. Die Verordnung wird im Teilkapitel 3.4 näher erläutert.

Unter dem Begriff „Aktiv-Zustand“ werden sämtliche Nutzungsmöglichkeiten der Spielkonsole verstanden. Das beinhaltet die Menüführung beziehungsweise Navigation, Player- und Streaming-Modus und vor allem den aktiven Spielbetrieb. In den Energieeffizienzmessungen und der Datenauswertung werden die Nutzungsmöglichkeiten im Aktiv-Zustand zur besseren Unterscheidung mit „aktiven Menübetrieb“, „Player- und Streaming-Modus“ und „aktiven Spielbetrieb“ bezeichnet. Dabei werden nur die beliebtesten und bekanntesten Spiele herangezogen und die Konsole als Media-Player betrieben. Beim Austesten der Spielkonsole soll das Leistungsspektrum von der geringsten Leistungsaufnahme in der Menüführung bis hin zur höchsten Leistungsaufnahme im aktiven Spielbetrieb betrachtet werden. Es werden zwar die Ein- und Abschaltvorgänge einzelner Konsolen betrachtet, sie zählen aber nicht zu Beurteilung der Leistungsaufnahme. Da die geltende Norm DIN EN 50564 [12] alle Betriebszustände, die zwischen den drei Zuständen: Aus, Standby und Aktiv liegen, nicht als Betriebsart definieren, werden sie für die Evaluierung der Messmethode auch nicht berücksichtigt.

3.1 Energieeffizienz

Effizienz bedeutet das Verhältnis zwischen den eingesetzten Mitteln und der daraus resultierenden Wirkung [26]. Die Energieeffizienz lässt sich als effiziente Nutzung der zur Verfügung stehenden Energie definieren. Damit der Gesamtenergiebedarf optimal genutzt werden kann, müssen Maßnahmen zur Reduktion der Verluste getroffen werden, wobei die Verluste bei der Wandlung, durch den Transport und der Speicherung von Energie auftreten. Die Energieeffizienzmaßnahmen sollen bewirken, dass bei sinkender Primärenergie der gleiche Nutzen für den Verbraucher erreicht werden kann [27]. Das Verhältnis zwischen dem energetischen Nutzen und dem Aufwand ist durch den Wirkungsgrad definiert:

$$\eta = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}}$$

Anhand des Wirkungsgrades ist das Maß für die Energieeffizienz bei der Energieumwandlung ersichtlich [27]. Die Energieeffizienz ist gleich der Energieproduktivität zur aufgenommenen Leistung. Erst durch die aufgenommene Leistung P , die über die Zeit t betrachtet wird, resultiert die Energie E . So ist die zeitliche Ableitung der Energie wiederum die Leistung [26]:

$$P = \frac{dE}{dt}$$

Die Einheit für die Leistung wird in Watt angegeben. Daraus resultiert in Abhängigkeit von der Zeit die Energieeinheit in kWh:

$$1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kWs} = 3,6 \text{ Millionen J} = 3,6 \text{ MJ}$$

Um die elektrische Energie zu bestimmen, ist die Leistung über die Zeit zu betrachten [19]:

$$E(t) = \int_0^t P(\tau) d\tau = \int_0^t U \cdot I \cdot \cos\varphi \cdot d\tau$$

Die Messung der Energie erfolgt durch die Integration der Wirkleistung in einem Zeitintervall von 0 bis t . Anhand der anliegenden Spannung an der Spielkonsole und der sich zeitlich veränderten Stromstärke des dynamischen Systems erfolgt die Bestimmung der Leistungsaufnahme.

Um eine genaue Aussage über die Energieeffizienz zu treffen, ist auch stets eine qualitative Datenerhebung erforderlich, sodass die Leistungsaufnahme der Spielkonsolen ausreichend und genau mit den aktuellen Messgeräten erfasst werden muss. Durch die Messungen und Bestimmung der Energieeffizienz werden die relevanten Wechselwirkungen zwischen Ursachen, Entwicklung und Folgen des Energieverbrauches verdeutlicht [26].

3.2 Formeln

Wenn für das ganze Jahr eine konstante Leistung angenommen wird, lässt sich für die Spielkonsole mit der einen Betriebsart der jährliche Energieverbrauchswert hochrechnen. Dabei werden Schaltjahre nicht betrachtet, womit das Jahr 8760 Stunden hat. Somit errechnet sich der jährliche Energieverbrauch durch die Summe der Leistung multipliziert mit der Zeit – betrachtet in einem Zeitrahmen zwischen 1 Stunde bis 8760 Stunden [12]. Mit der TEC-Methode (Typical Electricity Consumption) wird der Energieverbrauch der Spielkonsole durch die Leistungsaufnahme $P_1 \dots P_n$ über einen bestimmten Zeitraum $T_1 \dots T_n$ ermittelt. Dabei wird der Stromverbrauch mit der in dem Modus verbrachten Zeit multipliziert. Zur Berechnung des TEC wird folgende Formel verwendet [28]:

$$TEC (Wh) = (P_1 * T_1) + (P_2 * T_2) + \dots + (P_n * T_n)$$

$\Sigma T = 8760$ Stunden/Jahr

Messunsicherheiten der Leistungsmessung

Bei der Messung ist die maximal zulässige Messunsicherheit zu beachten. Sie ist abhängig von der Größe und Eigenschaft der Last. Dabei ist die Haupteigenschaft der Last das maximale Stromverhältnis (MCR) [12]:

$$\text{max. Stromverhältnis} = \frac{\text{Scheitelfaktor}}{\text{Leistungsfaktor}}$$

MCR max. Stromverhältnis (Maximum Current Ratio)

CF Scheitelfaktor (Crest Factor)

PF Leistungsfaktor (Power Factor)

U_{pc} max. zulässige Messunsicherheit

Dabei ist der Scheitelfaktor der gemessene Spitzenstrom beziehungsweise die Spitzenspannung (aus dem Verhältnis von Spitzenwert und Effektivwert), der von der Konsole aufgenommen wird und der Leistungsfaktor eine Eigenschaft der von der Konsole aufgenommenen Leistung. Der Leistungsfaktor resultiert aus dem Verhältnis der gemessenen Wirkleistung zur gemessenen Scheinleistung.

$$MCR = \frac{CF}{PF}$$

Es wird bei der zulässigen Messunsicherheit U_{pc} , die durch das Messinstrument eingeführt wird, zwischen Werten von $MCR \leq 10$ und für Werte von $MCR > 10$ differenziert [12].

Bei der zulässigen Messunsicherheit für Werte von $MCR \leq 10$ ist zu berücksichtigen:

Sind die gemessenen Leistungswerte ≥ 1 Watt, muss die maximal zulässige relative Messunsicherheit kleiner oder gleich 2% des gemessenen Leistungswertes sein. Für die gemessenen Leistungswerte, die kleiner 1 Watt sind, muss die maximal zulässige absolute Messunsicherheit gleich 2% des gemessenen Leistungswertes sein [12].

Bei der zulässigen Messunsicherheit für Werte von $MCR > 10$ ist zu berücksichtigen:

Der Wert für die maximal zulässige relative Messunsicherheit U_{pc} muss mit der folgenden Gleichung bestimmt werden:

$$U_{pc} = 0,02 \times [1 + (0,08 \times \{MCR - 10\})]$$

3.3 Normen

Damit sowohl die Daten bei der Leistungsaufnahme der Videospielekonsolen als auch die der Haushaltsgeräte richtig erfasst werden können, müssen die Messbedingungen der jeweiligen Normen entsprechend eingehalten werden. In den folgenden Unterkapiteln werden die relevanten Normen und Rahmenbedingungen für die Spielkonsole genauer besprochen, während bei den Haushaltsgeräten auf die einzelnen Normen verwiesen wird.

3.3.1 Spielkonsole

Für die Leistungsaufnahme der Spielkonsolen ist die Norm DIN EN 50564 [12] zu berücksichtigen. Die Norm für elektrische und elektronische Haushalts- und Bürogeräte – Messung niedriger Leistungsaufnahmen, legt die Rahmenbedingung bei den Energieeffizienzmessungen der Spielkonsolen fest. Dabei werden mitunter die Bedingungen für das Abtastverfahren, den Prüfraum, die Prüfparameter und Messunsicherheiten der Leistungsmessung sowie dem Verfahren der direkten Ablesung vorgegeben. Zu berücksichtigen ist auch die Norm DIN EN 62087 für Audio-, Video- und verwandte Geräte-Messverfahren für die Leistungsaufnahme [29], die sich größtenteils mit der DIN EN 50564 [12] für die für uns relevanten Vorschriften deckt. Ausgehend von den beiden Normen sind die Rahmenbedingungen gewährleistet, um für die vorliegende Arbeit den praktischen Teil der Energieeffizienzmessungen durchzuführen. In den folgenden Unterpunkten sind die wichtigen Teile der Norm DIN EN 50564 [12] für die Messungen zusammengefasst.

Prüfraum

Die Prüfungen müssen in einem Raum durchgeführt werden, in dem die Luft in der Nähe der zu prüfenden Spielkonsole und Messgerätes mit einer Geschwindigkeit von $\leq 0,5\text{m/s}$ strömt. Während der gesamten Prüfung muss die Umgebungstemperatur zwischen 18°C und 28°C liegen.

Prüfparameter

Wenn sich die Daten während der Messung ändern, müssen die kleinsten und größten Werte in der Dokumentation der Energieeffizienzmessungen angegeben werden. Parameter, die einen Einfluss auf die Messungen haben, sind die Umgebungstemperatur ($^\circ\text{C}$) im Labor, die Prüfspannungen (V) und die Frequenzen (Hz). Es sollen auch jegliche Informationen und Dokumentation zur Messeinrichtung berücksichtigt werden.

Versorgungsspannung und -frequenz

Wenn auf diese Norm von einer Regulierung oder einer spezifischeren Produktnorm verwiesen wird, die eine Prüfspannung und -frequenz festlegt, müssen die so festgelegte Prüfspannung und -frequenz für alle Prüfungen verwendet werden. Die Prüfung erfolgt bei einem einphasigen Netz, sodass die Versorgungsspannung und -frequenz wie folgt sein müssen:

– $230V \pm 1 \%$,

– $50Hz \pm 1 \%$.

Darüber hinaus muss das Verhältnis von Scheitelwert und Effektivwert der Prüfspannung, das heißt der Scheitelfaktor beim Versorgen der zu prüfenden Spielkonsole, zwischen 1,34 und 1,49 liegen.

Abtastverfahren

Die zu prüfende Spielkonsole ist an die Energieversorgung und an die Messeinrichtung anzuschließen. Dabei ist die zu messende Betriebsart der Spielkonsole auszuwählen. Es ist abzuwarten, bis die Spielkonsole in den gewünschten Betriebszustand wechselt, bevor mit der Aufzeichnung der Leistungsaufnahme begonnen werden kann.

Die Messungen für die vorliegende Arbeit erfolgen alle in einer regelmäßigen Abfolge von Leistungsstadien, die über einige Minuten oder auch Stunden auftreten. In allen drei Betriebsarten: Aus, Standby und Aktiv, erfolgt die Angabe des Energieverbrauches in Wattstunden (Wh). Im Weiteren soll bei der Leistungsaufnahme das Ergebnis in Watt vorliegen.

Messunsicherheiten der Leistungsmessung

Die Bestimmung der Messunsicherheit wurde schon im Unterpunkt 2.3 besprochen. Es sollen hier kurz die wichtigen Erfordernisse beim Messen aufgezeigt werden.

Da das Leistungsmessgerät Chroma [30] im Labor des Institutes für Computertechnik (ICT) nach der DIN EN 50564 [12] ausgelegt ist, können jegliche Messunsicherheiten bei der Leistungsmessung vernachlässigt werden. Insofern braucht es bei der Dokumentation der Messdaten nicht berücksichtigt werden. Das betrifft auch Parameter, die beim Messen der Spielkonsole relevant sein könnten wie:

- Verdrahtung
- Spannung und gesamte harmonische Verzerrung der Energieversorgung
- Umgebungstemperatur der Spielkonsole

Da die Spielkonsolen beim Austesten unter identen Bedingungen wie von einem gewöhnlichen Konsumenten betrieben werden sollen, wird die Konsole nicht geöffnet, sondern muss als unversehrte, geschlossene Einheit ausgemessen werden, um die vorhin genannten Unsicherheiten zu vernachlässigen. Dabei muss die im vorherigen Unterpunkt „Prüfraum“ erwähnte Umgebungstemperatur von 18°C bis 28°C eingehalten werden. Dadurch ist gewährleistet, dass keine Veränderungen in der Konsole auftreten, die die Messdaten verfälschen könnten.

Da eine präzise geregelte Spannungsquelle bei der Messeinrichtung im Labor eingesetzt wird, kann bei der Leistungsmessung von einer sehr kleinen Messunsicherheit ausgegangen werden.

Verfahren der direkten Ablesung

Das Verfahren der direkten Ablesung darf nur dann angewendet werden, wenn sich die Betriebsart nicht ändert und der am Messgerät angezeigte Wert der Leistungsaufnahme stabil ist [12]. Für die Leistungsaufnahme nach dem Verfahren der direkten Ablesung muss die Konsole mindestens 30 Minuten betrieben werden. Bei stabiler Leistung kann der Wert am Leistungsmessinstrument abgelesen werden. Sollte sich der Leistungswert aber ständig verändern, muss die Dauer von 30 Minuten verlängert werden, bis Stabilität eintritt – wenn nicht, darf das Verfahren der direkten Ablesung nicht verwendet werden.

3.3.2 Haushaltsgeräte

Bei den Haushaltsgeräten sind folgende Normen für das Messverfahren und der Leistungsaufnahme zu beachten: Für den Smart-TV und den Blu-ray-Player ist die Norm DIN EN 62087 für Audio-, Video- und verwandte Geräte – Messverfahren für die Leistungsaufnahme [29] zu berücksichtigen. Wie schon in 3.3.1 erwähnt, deckt sich die Norm DIN EN 62087 größtenteils mit der DIN EN 50564 [12] für die für uns relevanten Vorschriften. Die Norm DIN EN 60456 [31] steht für das Verfahren zur Messung der Waschmaschine. Um elektrische Haushalt-Bügeleisen oder Prüfverfahren für ähnliche Zwecke zu berücksichtigen, ist die Norm DIN EN 60311 [32] zu beachten.

Weitere Küchengeräte, die für die Messung berücksichtigt werden, sind der Küchen-Handmixer mit der Norm DIN EN 12853 [33] und die Norm DIN EN 60350 [34] für Grillgeräte für den Hausgebrauch. Es wird nicht näher auf die einzelnen Normen eingegangen, sondern auf die Referenzen der Arbeit verwiesen.

3.4 Richtlinie

Durch die Europäische Richtlinie 2009/125/EG [11] wird den Mitgliedsstaaten die umweltgerechte Gestaltung für energieverbrauchsrelevante Produkte vorgegeben. Erst wenn ein Produkt alle Anforderungen erfüllt, ist ein Vertrieb im EU-Binnenmarkt mit der CE-Kennzeichnung erlaubt. Obwohl die Selbstregulierungsinitiative (SRI) offiziell eine freiwillige Vereinbarung mit der EU Kommission eingegangen ist, muss sie sich dennoch an die Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG halten und den verbindlichen Anforderungen zur weiteren Verbesserung der Energieeffizienz der Spielkonsolen nachkommen [17]. Für die vorliegende Arbeit kann davon ausgegangen werden, dass die SRI die Rahmenbedingungen der Richtlinie 2009/125/EG für die vertriebenen Spielkonsolen akzeptiert und einhält. Damit ist auch die Umsetzung der Verordnung (EG) Nr. 1275/2008 über die Ökodesign-Anforderung für den Stromverbrauch im Aus- und Standby-Zustand zu beachten, die in [25] wie folgt definiert ist:

- Im Aus-Zustand darf die Leistungsaufnahme der Spielkonsole 0,50 Watt nicht überschreiten.

- Im Standby-Zustand ohne Display: Die Leistungsaufnahme der Spielkonsole darf in einem Zustand, in dem nur eine Reaktivierungsfunktion mit der Anzeige für Aktivierung bereitgestellt wird, 0,50 Watt nicht überschreiten.
- Im Standby-Zustand mit Display: Die Leistungsaufnahme der Spielkonsole darf in einem Zustand, in dem nur Information oder eine Statusanzeige oder eine Reaktivierungsfunktion in Verbindung mit Information bereitgestellt wird, 1,00 Watt nicht überschreiten.

Die Messmethode muss zuverlässig, genau und reproduzierbar sein und dem Stand der Technik entsprechen. Die Überprüfungen für den Binnenmarkt konzentrieren sich vor allem auf den Energieverbrauch im Aus- und Standby-Zustand. Falls eine Verbrauchsminimierungsfunktion bei der Spielkonsole vorhanden ist, muss sie aktiviert werden.

Definitionen für den Aus- und den Standby-Zustand

Die Definitionen resultieren aus dem Artikel 2, Punkte 2-6 der Verordnungen (EG) Nr.1275/2008 der EU Kommission [25].

Aus-Zustand

Der Aus-Zustand definiert jenen Status, in dem die Spielkonsole an eine Netzstromquelle angeschlossen ist, aber keine Funktion bietet außer es erfolgt eine Aktion des Benutzers an einem „weichen“ Schalter, um die Spielkonsole zu aktivieren. Dadurch wird die Spielkonsole in einen energieverbrauchenden Zustand versetzt. Die Definition für den „Aus-Modus“ in der Verordnung gibt vor, welche Funktionen vorhanden sein können:

- Eine einfache Anzeige des Zustands, mit zum Beispiel einer Leuchtdiode (LED), wird nicht als Funktion gewertet. Im Aus-Zustand könnte im Sinne der Verordnung eine LED eingeschalten sein.
- Ein Filter für die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV), mit dem die Richtlinie 2004/108/EG erfüllt werden soll.

Es handelt sich nicht um den Aus-Zustand, wenn die Spielkonsole im Standby ist oder flüchtige Speichererhaltungsfunktionen aktiv sind, die eine sofortige Reaktivierung ermöglichen. Wenn die Spielkonsole eine zusätzliche Funktion zum „Einschalten über einen Hard- oder Soft-Schalter“ besitzt, weitere LED zur Anzeige des Aus-Zustands und noch einen EMV-Filter bereitstellt, ist der Zustand nicht mehr als Aus-Zustand zu betrachten.

Standby-Zustand

Der Standby-Zustand definiert jenen Status, in dem die Spielkonsole an eine Netzstromquelle angeschlossen ist und eine oder mehrere Funktionen wie folgt bieten kann:

- Die Erleichterung der Aktivierung der Konsole in den Aktiv-Zustand über den Controller oder internem Sensor und Timer
- Dauerfunktion Anzeige: Informations- oder Statusanzeigen einschließlich Uhren

Es handelt sich nicht um den Standby-Zustand, wenn die Spielkonsole in einer Funktion außerhalb der „Standby-Funktionen“ liegt. Beispiele hierzu sind mitunter der definierte Ruhemodus für die Bedingungen, wenn die Netzwerkkonnektivität aufrechterhalten oder die erweiterte Reaktivierungsfunktionen bereitzustellen sind, wie sie unter "Reaktivierungsfunktion" in der Verordnung definiert sind. Weitere Beispiele sind die Funktionen zum schnellen Neustart bei aktivem Betriebssystem, die Stromversorgungsfunktionen, die andere Geräte unterstützt, wenn die Controller der Konsole geladen werden, oder einen aktiven Download.

Die Liste der energiebetriebenen Produkte [25] umfasst neben der Videospielekonsole auch Haushaltsgeräte, deren Leistungsaufnahme im Rahmen der vorliegenden Arbeit bewertet wird. Im Falle von Fernsehern, darunter fällt auch der Smart-TV, wurden durch die Änderungsverordnung (EG) Nr. 801/2013 spezifische Anforderungen für die Netzbereitschaft in die Verordnung (EG) Nr. 642/2009 aufgenommen [35]. Es wird nicht näher auf die einzelnen Punkte der EU Richtlinie 2009/125/EG [11] eingegangen, sondern auf das Verzeichnis der Arbeit verwiesen. Die dazugehörigen einzelnen Verordnungen finden sich in den Referenzen [25], [36] wieder.

3.5 Studien

In der Tabelle 3.1 sind die veröffentlichten Daten zur Leistungsaufnahme der Spielkonsolen zusammengestellt. Dabei sind die durchschnittlichen Leistungswerte der verschiedenen Modelle im aktiven Betrieb anschaulich angeführt. Diese Daten werden im Teilkapitel 5.2 mit den gemessenen Datensätzen verglichen und ausgewertet.

Spielkonsole (Modell)	Menü [W]	DVD [W]	Blu-ray [W]	Streaming: 1080p [W]	Aktives Spiel [W]
Xbox One S (1681)	27	33	39	32	70
Xbox One X (1787)	46	51	54	53	108
PS4 Slim (CUH-22XX)	42,2	42,5	45,5	46,9	78,2
PS4 Pro (CUH-72XX)	HD:56,1 UHD:64,3	49,3	54,1	54,7	HD: 146,4 UHD:158,2
Nintendo Switch	11	-	-	11	11

Tabelle 3.1: Leistungsaufnahme der Videospielekonsolen im aktiven Betrieb [37], [3], [38]

In den folgenden Unterpunkten werden zur Ergänzung noch weitere Daten der Spielkonsolen besprochen.

3.5.1 Microsoft

Die Xbox One S und die Xbox One X, mit den Modellen 1681 beziehungsweise 1787, nehmen, während sie im Sofortmodus ausgeschaltet sind, eine Leistung von 12 Watt auf [37]. Wenn die

Konsolen im ausgeschalteten Zustand Updates erhalten sollen, muss zuvor im Menüpunkt „Einstellungen: Energie & Start“ die Option „Schnelles Hochfahren“ ausgewählt werden. Wählt man hingegen die Option „Energiesparmodus“ aus und verzichtet auf das „Schnelles Hochfahren“, wird das Gerät vollständig heruntergefahren. Dann nehmen die Konsolen Xbox One S und Xbox One X eine Leistung von 0,5 Watt im Aus-Zustand auf [37].

3.5.2 Sony

PS4 Slim

Zur Ergänzung der Daten aus Tabelle 3.1 sind wie folgt für den Aus-, Standby- und Aktiv-Zustand folgende Werte zu berücksichtigen [3]:

Aus-Zustand

Die PS4 Slim, Modell CUH-22XX, hat im Aus-Zustand einen Leistungsverbrauch von 0,2 Watt, sowie im herkömmlichen Fall, wenn die Konsole mit dem Internet verbunden ist, von 0,9 Watt. Beim Laden des Controllers mittels USB-Anschluss sind 4,1 Watt zu berücksichtigen.

Standby-Zustand

Im Standby-Zustand ist die Leistungsaufnahme mit 1,8 Watt angegeben.

Aktiv-Zustand

Die Daten aus der Tabelle 3.1 für die PS4 Slim ergeben sich im Aktiv-Zustand für das Abspielen der DVDs und Blu-rays, sowie für das Streamen durch den Leistungstest am 14.12.2018 mit jeweils folgendem Titel:

- DVD: Avatar
- Blu-ray Disc: Avatar
- HD Streaming: Friends (season 1, episode 1)
- Aktives spielen: God of War, Spider-Man, Red Dead Redemption 2

PS4 Pro

Zur Ergänzung der Daten aus Tabelle 3.1 sind wie folgt für den Aus-, Standby- und Aktiv-Zustand folgende Werte zu berücksichtigen [3]:

Aus-Zustand

Die PS4 Pro, Modell CUH-72XX, hat im Aus-Zustand einen Leistungsverbrauch von 0,2 Watt, sowie im herkömmlichen Fall, wenn die Konsole mit dem Internet verbunden ist, von 1,0 Watt. Beim Laden des Controllers mittels USB-Anschluss sind 5,0 Watt zu berücksichtigen.

Standby-Zustand

Im Standby-Zustand ist die Leistungsaufnahme mit 1,7 Watt angegeben.

Aktiv-Zustand

Die Daten aus der Tabelle 3.1 für die PS4 Pro, erfolgten im Aktiv-Zustand für das Abspielen der DVDs und Blu-rays sowie für das Streamen durch den Leistungstest am 14.12.2018 mit jeweils den gleichen Titeln wie bei der PS4 Slim.

Für beide Konsolen, PS4 Slim und PS4 Pro, ist bei 2,4GHz beziehungsweise 5GHz Wireless LAN&WAN folgendes zu beachten: Wenn die Konsolen mit dem Internet verbunden sind und im ausgeschalteten Zustand Updates und Downloads ermöglichen, ist eine Leistungsaufnahme von 2 Watt zu beachten [3].

3.5.3 Nintendo

Zu den angegebenen Referenzdaten aus Tabelle 3.1 ist bei diesem Konsolenproduzenten zu vermerken, dass die Nintendo SWITCH, wie zu Beginn des Kapitels beschrieben, nur im „Angedockten-Zustand“ für die Arbeit betrachtet wird. Interessant ist hierbei die Leistungsaufnahme im Standby-Zustand. Es ist im Weiteren zu beachten, dass die Konsole keine Medien wie DVDs oder Blu-rays abspielen kann. Neben dem aktiven Spielbetrieb erlaubt die SWITCH jedoch das Video-Streaming. Wie folgt sind für den Standby- und Aktiv-Zustand folgende Werte zu berücksichtigen [38]:

- Im Aktiv-Zustand und voll aufgeladenem Zustand beträgt die Leistungsaufnahme 11 Watt.
- Im Aktiv-Zustand und entladenen Zustand ist die Leistungsaufnahme mit 15,7 Watt zu berücksichtigen.
- Und im Standby-Zustand benötigt das Aufladen der Konsole eine Leistungsaufnahme von 9,8 Watt.

3.6 Prüfverfahren

Die zu prüfende Spielkonsole ist an die Energieversorgung und an das Leistungsmessinstrument anzuschließen. Dabei ist die relevante Betriebsart für die Messung auszuwählen. Die Leistungsaufnahme erfolgt an den Spielekonsolen in den Betriebszuständen: Aus, Standby und Aktiv.

Die Messungen müssen für alle Konsolenhersteller unter den gleichen Bedingungen stattfinden. Die Rahmenbedingungen beinhalten die gleiche Testumgebung mit denselben Messgeräten und Einstellungen. Für die Messungen werden Messgeräte verwendet, die eine Datenauswertung nach Norm gewährleisten. Dementsprechend wird bei den Messgeräten sowie den Spielkonsolen eine „Aufwärmphase“ von 30 Minuten berücksichtigt. Damit bei den Messungen der Energieverbrauch der Spielkonsolen untereinander verglichen werden kann, kommen stets die gleichen, aktuellen Spiele zum Einsatz. Trotz unterschiedlicher Systeme der Spielkonsolen sind die Spiele von der Menüführung bis hin zur Spielausführung ident und gewährleisten beim Messen ideale Bedingungen zum Vergleich des Energieverbrauches zwischen den Konsolen.

Bei der Leistungsmessung ist weder eine Obergrenze noch eine Untergrenze zu beachten. Der Übergang zwischen den Betriebszuständen wird laut Definition der Norm DIN EN 50564 [12] nicht als Betriebszustand gesehen. Dabei ist beim automatischen Wechsel von einem Betriebszustand zu einem anderen wichtig diesen Ablauf zu dokumentieren, um die gemessenen Messdaten dementsprechend auszuwerten. Um die Leistungsaufnahme über eine bestimmte Zeitdauer zu ermitteln, wird für die Leistungsmessung das Chroma Messgerät im Labor des Institutes für Computertechnik (ICT) eingesetzt.

Das Chroma Messgerät wird in 4.2.1 näher erläutert. Es zeichnet die Messdaten in den gewünschten Zeitintervallen in gleichmäßigen zeitlichen Abständen von mindestens einer Sekunde auf. Hierbei muss bei der Datenerfassung der kleinste Zeitraum bei 3,3 Minuten liegen [12]. Dementsprechend wird die kürzeste Messdauer mit 3,3 Minuten gewählt.

Beispielsweise wurden in der Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) Studie [39] die Konsolen im aktiven Spielbetrieb mit 15 bis 45 Minuten Sitzungen getestet. Durch die Erkenntnisse aus dieser Studie und durch das Austesten der Spielkonsole im Aus- und Standby-Zustand, kann anhand des dynamischen Lastenverhaltens der Spielkonsolen die Messdauer zwischen 3,3 Minuten bis 60 Minuten für die Messungen festgelegt werden.

Im Haushalt wird mit dem kalibrierten „Energy Logger 4000“ von Voltcraft gemessen. Das Messgerät wird in 4.2.2 genauer besprochen. Die Messungen mit dem Chroma-Messgerät ermöglichen ein feines Abtasten im Sekundentakt. Dem gegenüber ist mit dem „Energy Logger 4000“ von Voltcraft eine stabile Leistungsaufnahme über eine Messdauer von einigen Monaten möglich. Dabei soll auch die Genauigkeit vom „Energy Logger 4000“ von Voltcraft durch den direkten Vergleich mit dem Chroma-Messgerät ermittelt werden. Durch das Anbringen des kleinen Voltcraft-Messgerätes zwischen Spielkonsole und Steckdose sind die Konsumenten in der Lage die Leistungsaufnahme einfach am Display abzulesen.

Beide Messverfahren gewährleisten eine genaue, zeitlich begrenzte Leistungsmessung. Und mit beiden Messmethoden ist eine spätere Datenauswertung möglich. Es soll in dieser Arbeit die Messunsicherheit zwischen beiden Messmethoden ermittelt werden. Bei der Dokumentation der gemessenen Leistungswerte wird bei geringer Leistungsaufnahme auf zwei Dezimalstellen beziehungsweise bei einem Leistungsverbrauch von 10 Watt oder mehr sogar auf mindestens drei Dezimalstellen gerundet.

Im Weiteren werden für die vorliegende Arbeit keine indirekten Leistungsmessungen durchgeführt. Insofern wird auf klassische Messverfahren – mit dem Amperemeter und Voltmeter oder mit einem Oszilloskop – die Leistung an den Videospielekonsolen zu ermitteln, verzichtet. Denn die zu prüfenden Zustände des Produktes sollten verbraucherrelevant und repräsentativ für den üblichen Betrieb [12, Punkt 5.2] sein. Da die Videospielekonsole im geöffneten Zustand nicht die übliche Wärmeentwicklung besitzt und somit die Temperaturgrenzen der Bauelemente nicht unter den gewöhnlichen Einsatz betrieben und ausgelastet werden können. Das wäre vor allem im aktiven Spielbetrieb der Fall, wo sich nach einigen Stunden die Spielkonsole aufheizt und dementsprechend die Leistungsaufnahme und der resultierende Energieverbrauch ändern.

Darüber hinaus wäre die Grundlage für den praktischen Teil der Arbeit nicht gewährleistet, weil damit auch die Spielkonsolenhersteller einen viel größeren Spielraum hätten, um den ermittelten Energieverbrauch nach eigenem Ermessen zu interpretieren.

Insofern wird auch darauf verzichtet, die Speicherelemente oder andere Komponenten der Spielkonsolen auszutauschen, um so eine Steigerung der Energieeffizienz zu erzielen. Beispielsweise besitzen Spielkonsolen zur Speicherung von Daten überwiegend ein Hard Disk Drive (HDD)-Festplattenlaufwerk. Hier werden im Inneren des Gerätes rotierende Plattenteller verwendet, die einen zusätzlichen Energieverbrauch mit sich bringen. Dagegen verbrauchen Solid State Drive (SSD)-Laufwerke weniger Energie zur Speicherung der Daten. Ein Austausch der HDD- mit einer SSD-Festplatte würde zwar zu einer geringen Verbesserung des Energieverbrauches führen aber die Energiedifferenz wäre verschwindend klein [40].

Wie zu Beginn des Kapitels erwähnt, werden für die Ermittlung des Energieverbrauches bei der Leistungsaufnahme an den Spielkonsolen auch Energiespitzen mitberücksichtigt. Die Selbstregulierungsinitiative [17] berücksichtigt diese nicht. Auch die Norm DIN EN 50564 definiert, dass, wenn die Stromspitzen von sehr kurzer Dauer sind, es möglich ist sie zu ignorieren, da sie die Leistungsaufnahme unwesentlich beeinflussen [12]. In dieser Arbeit werden die Stromspitzen für die Ermittlung des durchschnittlichen Energieverbrauches je nach Häufigkeit und relevanter langer Dauer des Auftretens berücksichtigt.

Es werden unterschiedliche Messmethoden durchgeführt, um einerseits Messfehler auszuschließen und andererseits dadurch jene Messmethode zu ermitteln, die sich am besten dafür eignet, um den Energieverbrauch der Spielkonsole zu bestimmen.

3.7 Messplatz

Bei dem Messplatz in Abbildung 3.1 handelt es sich um das Labor des Institutes für Computertechnik (ICT) der Technischen Universität Wien (TU Wien). Für die erforderlichen Messungen wurden im Labor alle Spielkonsolen und Messgeräte aufgestellt.



Abbildung 3.1: Messplatz im Labor des ICT an der TU Wien, eigenes Foto

Der Messplatz muss der Norm DIN EN 50564 [12] der von der EU vorgegebenen Richtlinie 2009/125/EG [11] entsprechen. Dementsprechend wurde am Messplatz im Labor nur dann ge-

messen, wenn gewährleistet war, dass die Umgebungstemperatur zwischen 18°C und 28°C lag. Die Luftströmung in der Nähe der zu prüfenden Konsolen und des Messgerätes müssen $\leq 0,5\text{m/s}$ sein.

Die Bildausgabe der Spielkonsole erfolgte an verschiedenen Monitoren. Am Messplatz wurde mit den momentan aktuellsten Konsolen der drei größten Spielkonsolenherstellern gemessen. Die Leistungsaufnahme im Labor erfolgte mit der Chroma 66205, einem digitalen Messgerät, das eine Leistungsmessung mit einer Auflösung von 0,1 Milliwatt ermöglicht.

Für die Messungen im Haushalt stand der kalibrierte „Energy Logger 4000“ von Voltcraft zur Verfügung. Auch hier wurden am jeweiligen „Messplatz“ die besprochenen Vorschriften für das Ausmessen der Spielkonsolen und der Haushalts-Elektrogeräte eingehalten.

3.8 Messplan

Alle Spielsysteme wurden mit den aktuellen Spielen ausgemessen. Dabei handelt es sich um die beliebtesten Videospiele des vergangenen Jahres [41].

Die Messungen für die Videospielekonsolen erfolgten für jeden Betriebszustand in festgelegter Dauer und Folge. Die Messdauer betrug dabei 3,3min, 5min, 20min, 30min und 60min. Anzumerken ist hierbei, dass mit dem „Energy Logger 4000“ von Voltcraft im Betriebszustand Aus eine Langzeitmessung von bis zu einem Monat erfolgte. Im aktiven Spielbetrieb wurden Spiele mit unterschiedlicher Auflösung verwendet. Interessant ist der Energieverbrauch der Spielkonsole, wenn nur einer oder zwei Spieler aktiv spielen. Dabei wird das Spiel *FIFA 19* als Referenz herangezogen, um zu überprüfen, ob bei zwei aktiven Spielern der Energieverbrauch höher ausfällt. Ein weiterer interessanter Punkt ist mitunter, ob die Spielereinstellungen einen Einfluss auf einen höheren Energieverbrauch haben. Auch hier wurde mit dem Spiel *FIFA 19* in den drei Spielmodi „Anfänger“, „Profi“ und mit der Einstellung „Ultimativ“ gemessen.

Die Tabelle 3.2 zeigt den Messplan für die zu untersuchenden Spielkonsolen mit den zu prüfenden Betriebszuständen. Im Aktiv-Zustand wurde der jeweilige Verwendungsmodus angegeben. Zur Vereinfachung wird beim Messplan auf eine detaillierte Dokumentation verzichtet.

Spielkonsolen	Betriebsart: Aus	Betriebsart: Standby		Betriebsart: Aktiv			
		mit Internet	ohne Internet	Menü	Spiel	Stream	Player
PlayStation 4 Pro	X	X	X	X	X	X	X
PlayStation 4 Slim	X	X	X	X	X		
Xbox One X	X	X	X	X	X	X	X
Xbox One S	X	X	X	X	X	X	X
Nintendo Switch		X	X	X	X	X	

Tabelle 3.2: Messplan der Videospielekonsolen zur Ermittlung der Leistungsaufnahme, eigene Messung

Außerdem wurde der Energieverbrauch für den Spieldownload, die Spielinstallation und das Online-Spielen anhand der beiden leistungsstarken Spielkonsolen, der PlayStation 4 Pro und Xbox One X, dokumentiert.

Für den aktiven Spielbetrieb kamen folgende Spiele zum Einsatz:

- *FIFA19*
- *Need for Speed Payback*
- *Red Dead Redemption 2*

Als Online-Spiel wurde *World of tanks* verwendet.

Im Weiteren werden zum Austesten im Player-Modus beim Abspielen der DVD und Blu-ray der Film *Avatar* verwendet wie in der Herstellerangabe.

Im Player- und Streaming-Modus wurden das Full High Definition (Full HD), Ultra High Definition (UHD) und vereinzelt auch das High Definition (HD) Format verwendet, um die Leistungsaufnahme der Spielkonsolen besser zu verdeutlichen. Das aktive Spielen mit einer UHD-Auflösung unterstützen nur die PlayStation 4 Pro und die Xbox One X, während das Abspielen einer UHD-Disc nur die Xbox One X unterstützt.

4. Energieeffizienzmessungen

In diesem Kapitel erfolgt die Beschreibung der Leistungsmessung der Spielkonsolen auf die in den vorhergegangenen Kapiteln angesprochenen zwei Varianten. Und zwar stationär im Labor des Institutes für Computertechnik (ICT) und im Haushalt. Dabei wurde an den Spielkonsolen wechselspannungsseitig gemessen und die aufgenommene Leistung betrachtet. Der Stromverbrauch variiert vor allem im aktiven Spielbetrieb. In den folgenden Teilkapiteln werden die Messumgebung, beide Messgeräte, die Spielkonsolen und die gemessenen Daten vorgestellt.

Die Messungen fanden für alle Konsolen unter den gleichen Bedingungen statt und konnten beliebig oft wiederholt werden. Dabei war vor allem im aktiven Betrieb darauf zu achten, dass stets die Einstellungen mit der höchsten Leistungsaufnahme gewählt wurden, um einen hohen Energieverbrauch der Spielkonsolen zu ermitteln. Die Leistungsaufnahme und die damit resultierende Messgenauigkeit hängen nicht nur von der Wahl der Messgeräte ab, sondern auch von der passenden Messeinrichtung. Es kann durch die falsche Wahl der Energieversorgung zu anomalen Ergebnissen wie beispielsweise mit kapazitiven Lasten kommen, wenn bei der Energieversorgung hochfrequente Komponenten oberhalb der 13. Harmonischen resultieren [12].

Die Leistungsaufnahme an den Spielkonsolen erfolgte in den Betriebszuständen: Aus, Standby und Aktiv. Wobei im Fokus der Energieeffizienzmessungen der Aktiv-Zustand, besonders der aktive Spielbetrieb mit der größten Leistungsaufnahme stand. Bei der Leistungsmessung wurde weder eine Obergrenze noch eine Untergrenze beachtet. Der Übergang zwischen den Betriebszuständen wird laut Definition der Norm DIN EN 50564 [12] nicht als Betriebszustand gesehen. Dabei war beim automatischen Wechsel von einem Betriebszustand zu einem anderen wichtig diesen Ablauf zu dokumentieren, um die gemessenen Messdaten dementsprechend auszuwerten.

Alle ausgemessenen Spielkonsolen waren fabrikneu. Damit war für die Messungen gewährleistet, dass die Verluste wie unter anderem die Wärmebildung, nicht aus der vorangegangenen Lagerung der Konsolen resultierten und somit eine ideale Ausgangssituation zur Beurteilung der erfassten Daten gegeben sind. Die gemessenen Werte werden mit den Daten der Konsolenhersteller aus dem Teilkapitel 3.5 verglichen und für eine umweltgerechte Gestaltung nach der Richtlinie 2009/125/EG bewertet. Die Messungen erfolgten als Einzelmessungen, wobei die Aufnahme der Daten manuell gestartet und nach vorprogrammierter Dauer beendet wurde. Danach wurden die Messdaten für die spätere Auswertung auf einem Speichermedium abgespeichert. Die ermittelten Messdaten wurden mit dem Programm *Excel* ausgewertet, um anschließend mit Hilfe des Programmes *MATLAB* bearbeitet, dargestellt und analysiert zu werden.

4.1 Messumgebung

In den Abbildungen 4.1 und 4.2 sind die Messeinrichtungen mit der Spielkonsole dargestellt. Vom Prinzipbild ist der Aufbau beider Messeinrichtungen ähnlich, nur mit dem Unterschied, dass im Labor für das Messen mit der Chroma eine zusätzliche externe Prüfvorrichtung verwendet wurde.

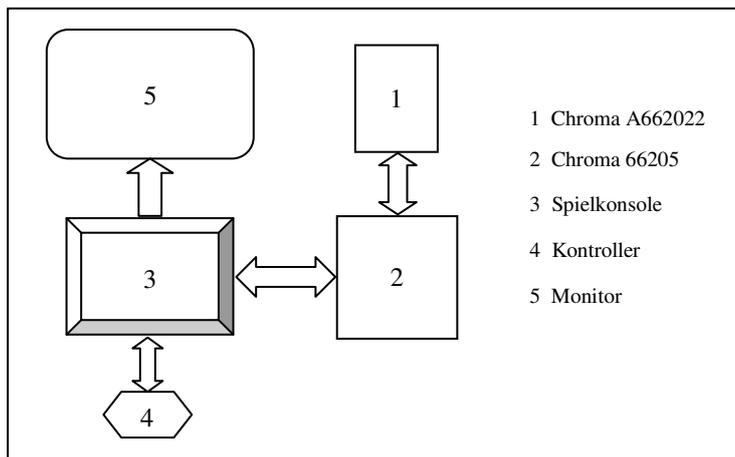


Abbildung 4.1: Schematischer Aufbau der Messeinrichtung im Labor mit der Chroma

Mit der Chroma Prüfvorrichtung A662022 ist es durch das Umschalten möglich, mit dem Chroma Leistungsmessgerät 66205 im Hochleistungs- oder Niederleistungsmodus zu messen. Durch das Umschalten auf verschiedene Stromkreise ist die Leistungsmessung genauer [42], weil ein geeigneter Stromkreis auf der Grundlage des Stromverbrauches der Spielkonsole gewählt wird. Je nachdem, ob der an der Spielkonsole mit dem Leistungsmesser aufgenommene Strom höher oder niedriger ausfällt, kann mit dem Schalter an der Prüfvorrichtung die Position des Amper- und Voltmeters geändert werden. Eine ausreichende Genauigkeit ist nach der Norm DIN EN 50564 [12, B.4.1] dann gewährleistet, wenn das Chroma-Messgerät in einer sich nicht veränderten Art und Weise angeschlossen wird. Dabei soll der Eingangswiderstand des Spannungsmesskreises des Messgerätes endlich und der Widerstand des Shunts des Strommesskreises ungleich Null werden: diese Faktoren müssen berücksichtigt werden, um den gewünschten Grad der Genauigkeit zu erreichen [12, B.4.1]. Damit soll der Einfluss des internen Leistungsverbrauches des Messgerätes und auch die Unterschiede bei Messungen in unterschiedlichen Laboren minimiert werden.

Die Verbindungsanordnung sollte nach Auslegung des Chroma-Herstellers [42] wie in den folgenden Formeln gestaltet werden:

$$\text{Hochleistungsmodus: } I_m \geq V_{in} \times \left(\frac{1}{R_{fuse} + \sqrt{(R_{switch} + R_{Isensor}) \times (R_{switch} + R_{Vsensor})}} \right)$$

$$\text{Niederleistungsmodus: } I_m < V_{in} \times \left(\frac{1}{R_{fuse} + \sqrt{(R_{switch} + R_{Isensor}) \times (R_{switch} + R_{Vsensor})}} \right)$$

I_m gemessener Effektivstrom der Spielkonsole [A]

V_{in} Versorgungsspannung [V]

R_{fuse} Sicherungswiderstand beträgt ca. $0,0045\Omega$

R_{switch} Schaltwiderstand beträgt ca. $0,03\Omega$

$R_{Isensor}$ Eingangsimpedanz des Amperemeters beträgt bei $500m\Omega$ zwischen $0,005A - 0,3A$,
bei $7m\Omega$ zwischen $0,5A - 30A$

$R_{Vsensormeter}$ Eingangsimpedanz des Voltmeters beträgt ca. $2M\Omega$

Das Messen mit der Voltcraft erfolgte einfach als „Verbindungsglied“ zwischen der Spielkonsole und der Spannungsversorgung mit einer herkömmlichen Steckdose.

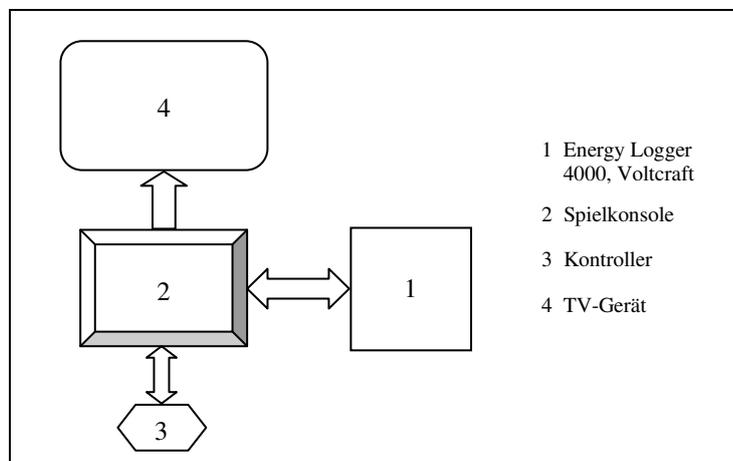


Abbildung 4.2: Schematischer Aufbau der Messeinrichtung im Haushalt mit dem Voltcraft

Das TV-Gerät beziehungsweise der Monitor wurden für alle Messungen nur über HDMI mit dem audiovisuellen-Anschluss der Spielkonsole angesteuert. Es ist im Weiteren anzumerken, dass mit beiden Messmethoden die Steuerung der Spielkonsolen stets über aufgeladene Controller und über Bluetooth erfolgte. Damit sollte gewährleistet werden, dass die Leistungsaufnahme der Spielkonsole nicht durch das Aufladen der Controller verfälscht wird.

4.2 Messgeräte

Es werden die für den praktischen Teil der Arbeit verwendeten Messgeräte vorgestellt. Wie im vorhergehenden Teilkapitel 3.6 besprochen, wurde auf das Durchführen einer indirekten Leistungsmessung verzichtet. Insofern konnten durch das Messen mittels der Chroma 66205 und dem Datenlogger von Voltcraft Schaltungsmessfehler und damit eine verfälschte Datenaufnahme ausgeschlossen werden. Im weiteren Verlauf der Arbeit werden die Messgeräte Chroma 66205 mit „Chroma“ und der Energy Logger 4000 von Voltcraft mit „Voltcraft“ abgekürzt.

Die Messgeräte sind in der Lage für die gewählte Messdauer die durchschnittliche Leistungsaufnahme der Spielkonsolen zu ermitteln. Dabei werden bei dem Chroma die Momentanwerte von Strom und Spannung im Intervall von einer Sekunde erfasst und multipliziert. Die daraus resultierende Energie wird dementsprechend aus der gemessenen Leistung für die betrachtete Zeitspanne berechnet. Zu berücksichtigen war auch während der Messung, dass der Bereich des Scheitelfaktors des Messgerätes größer war als der tatsächliche Scheitelfaktor der Last [12]. Ansonsten würde die Leistungsaufnahme während der Integration verfälscht, da die Stromspitzenwerte abgeschnitten würden.

Es mussten vor den Messungen stets die vom Hersteller angegebenen Aufwärmzeiten für die Messgeräte beachtet werden. Interessant war bei den Messgeräten, ob bei der stationären Messung im Labor mit dem Chroma bei Messungen von 1 Watt oder geringer aufgrund der Leitungen, Interferenzen verursacht werden. Während mit dem Datenlogger von Voltcraft sämtliche Zuleitungen wegfallen und keine Interferenzen verursacht werden können. Auf der anderen Seite ermöglicht das Chroma gegenüber dem Voltcraft mit einer viel besseren Auflösung die Möglichkeit das dynamische Lastverhalten der Spielkonsolen genauer zu ermitteln und analysieren.

Beide Leistungsmessgeräte gewährleisten, dass die Abtastwerte verarbeitet und mit den Algorithmen, die in 2.4 besprochen wurden, die Leistung berechnet und ausgegeben wird. Sowohl die Effektivwerte der Spannung und des Stromes als auch die Wirkleistung, die Blindleistung, die Scheinleistung und das $\cos(\varphi)$ lassen sich direkt am Display oder in der späteren Datenauswertung ablesen. Es ist anzumerken, dass beim Voltcraft-Messgerät nur der Effektivwert des Stromes, die Wirkleistung und die Scheinleistung zur weiteren Verarbeitung abgespeichert werden kann.

Die Messdaten wurden in Form von *.csv* - Dateien abgespeichert und danach in *Excel* gesichtet und ausgewertet. Später wurden die Messdaten in *MATLAB* analysiert und dokumentiert.

4.2.1 Chroma-Messgerät



Abbildung 4.3: Chroma-Messgerät am Arbeitsplatz, eigenes Foto

Der digitale Leistungsmesser nach dem Modell 66205 [30] in Abbildung 4.3 ist für eine Einzelkanalmessung konzipiert und dient zur Leistungsmessung und Analyse der wichtigsten Parameter bei Wechselspannungsgeräten nach den Vorgaben der Norm DIN EN 50564.

Das Messgerät bietet die Möglichkeit vor allem im unteren Leistungsspektrum genau zu messen. So ist der kleinste Strombereich 5mA und der größte 30A. Dabei wird im Mindeststrombereich von 5mA eine Auflösung zur Leistungsmessung von 0,1mW ermöglicht. Der Eingangsspannungsbereich reicht von 15Vrms bis 600Vrms. Optional lässt sich die zu messende Eingangsspannung bis auf 1,2kV erhöhen. Das Messgerät wählt automatisch einer der sechs Messbereiche aus, die für die Datenauswertung erforderlich sind. Die Smart-Range-Funktion ermöglicht die Leistungsintegration im gewählten Messbereich. Dabei werden Strom und Spannung im Intervall von bis zu einer Sekunde erfasst und multipliziert. Es wird automatisch jener Messbereich aus den sich ständig ändernden Strom- und Spannungsmesswerten ausgewählt, der Datenverluste bei der Leistungsintegration vermeidet. Im unteren Messbereich ist die Genauigkeit bei ca. 0,05% für die Leistungsmessung, die von 75mW bis 18kW in 60 Messbereichen gemessen werden kann. Besonders hervorzuheben ist, dass sich Harmonische bis zur 100sten Ordnung erfassen lassen. Ganz wichtig für die Erfassung der Daten und die spätere Auswertung ist die „STORE“-Funktion. Sie ermöglicht die Speicherung der Daten auf einem USB-Speichergerät in Form von .csv -Dateien.

Im Folgenden werden die mit dem Messgerät erfassten Daten stets zur Unterscheidung mit „Chroma-Messdaten“ bezeichnet.

4.2.2 Voltcraft-Messgerät

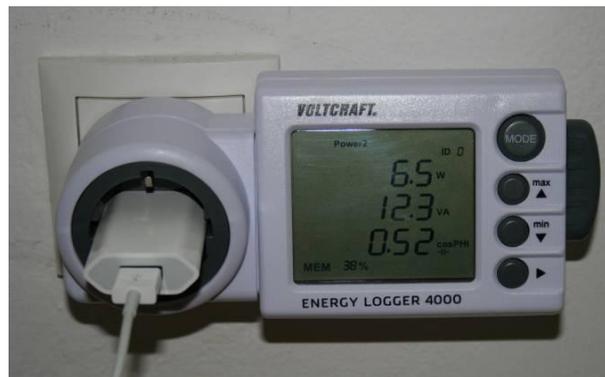


Abbildung 4.4: Energy Logger 4000 von Voltcraft, eigenes Foto

Der Energy Logger 4000 von Voltcraft [43] eignet sich vor allem für das mobile Messen. Wie in Abbildung 4.4 ersichtlich, ist der Datenlogger klein dimensioniert und qualifiziert sich somit ideal für Langzeitmessungen, um das Lastenbild der Spielkonsolen und anderer Elektrogeräte zu ermitteln. Dabei wird im Mindeststrombereich im Gegensatz zum Chroma-Messgerät eine Auflösung zur Leistungsmessung von nur 0,1W ermöglicht. Das resultiert aus der „gröberen“ Abtastung. Während bei der Chroma Strom und Spannung im Intervall von einer Sekunde erfasst und für die Ermittlung der Wirkleistung multipliziert werden, ist die Erfassung der Daten beim Voltcraft nur im Minutentakt möglich.

Die Messfunktionen gewährleisten die Erfassung der Wirk- und Scheinleistung, den Leistungsfaktor $\cos(\varphi)$, die Nennspannung und Strom sowie die Frequenz. Die Wirkleistung kann von 0,1W bis maximal 3500W gemessen werden. Der Strombereich liegt zwischen 0,01A bis 15A.

Im unteren Messbereich ist die Genauigkeit bei ca. 1% für die Leistungsmessung. Die Messausführung erfolgte über die Steckdose zu den Spielkonsolen beziehungsweise Haushaltsgeräten.

Das Messgerät ist durch die integrierte Backup-Batterie in der Lage auch im ausgeschalteten Zustand die gemessenen Daten bis zu sechs Monate im internen Speicher zu sichern und ermöglicht für die spätere Auswertung die Speicherung der Daten auf einer SD/SDHC-Speicherkarte. So konnten die gesammelten Messdaten mit Hilfe der geräteeigenen Software *Voltsoft Client* dargestellt werden. Für die weitere Verarbeitung wurden aber die einzelnen Messungen wieder in *.csv* – Dateien exportiert, um mit *Excel* gesichtet und ausgewertet zu werden. Danach erfolgte wieder die Analyse und Dokumentation mit *MATLAB*.

Im Folgenden werden die mit dem Messgerät erfassten Daten stets zu Unterscheidung mit „Voltcraft-Messdaten“ bezeichnet.

4.3 Spielkonsolen

Die Verordnung Nr. 617/2013 der EU-Kommission vom 26. Juni 2013 beschreibt die „Spielkonsole“ als ein eigenständiges funktionierendes Gerät, dessen Hauptfunktion das Spielen von Videospielen ist [44]. Die Spielkonsole ermöglicht durch ihre Ausgangsgrößen auf einem Fernseher, Monitor oder sonstiges Anzeigemedium die audiovisuelle Darstellung für das aktive Spielen. Durch eine Handsteuerung, einen „Kontroller“, lässt sich das Spiel steuern. Eine Spielkonsole besitzt Grafikprozessoren, optische Laufwerke, eine Festplatte oder auch die Möglichkeit einer externen Festplatte. Spielkonsolen haben ein eigenes Betriebssystem und sind nicht wie beim Personal Computer (PC) austauschbar. Im Gegensatz zum Betriebssystem eines PCs sind die Betriebssysteme von Spielkonsolen je nach Konsolenhersteller verschieden und können nicht vom Konsumenten erweitert oder geändert werden. Ebenfalls als Spielkonsole werden auch „Handheld-Spielkonsolen“ mit einem integrierten Anzeigegerät beschrieben, die über einen Akku oder eine tragbare Stromquelle und nicht über eine Wechselstromquelle betrieben werden [44].

Zu Beginn der Arbeit ist in der Einleitung und in dem Kapitel Testmethoden die Leistungsaufnahme der Spielkonsolen besprochen. Dementsprechend ist ersichtlich, dass Nintendo stets für einen geringen und Microsoft und Sony für eine hohe Leistungsaufnahme ausgelegt sind. Das resultiert aus der Strategie der Produzenten, dass Nintendo als ein familienfreundliches Unterhaltungsmedium ausgelegt ist, während bei Sony und Microsoft auf eine hohe Auflösung wertgelegt wird, um vor allem passionierte Spieler zu gewinnen. Dabei ermöglichen die leistungsstarken Spielkonsolen, die PlayStation 4 Pro von Sony und die Xbox One X von Microsoft einen aktiven Spielbetrieb in 4K Ultra HD. Die Xbox One X kann darüber hinaus als Player auch 4K Ultra HD-Discs abspielen.

In den folgenden Unterpunkten werden die ausgemessenen Spielkonsolen mit kurzen Fakten vorgestellt.

4.3.1 PlayStation 4 Pro

Marke: Sony | Modell: CUH-7216B | Typ: stationäre Spielkonsole

Seriennummer: 02-27452625-1356310



Abbildung 4.5: PlayStation 4 Pro am Labor-Messplatz, eigenes Foto

Produktbeschreibung: 4K (3840x2160)/HDR, Speicherkapazität: 1TB HDD, Ethernet/WLAN/Bluetooth 4.0(LE), max. Energieverbrauch 310W. Bemessungsspannung und -frequenz: 220-240V ~ 1.4-1.32A, 50/60Hz. Bedienungsanleitung: Hier wird auf die Referenz verwiesen [45].

4.3.2 PlayStation 4 Slim

Marke: Sony | Modell: CUH-2216A | Typ: stationäre Spielkonsole

Seriennummer: 02-27452574-1388918



Abbildung 4.6: PlayStation 4 Slim am Labor-Messplatz, eigenes Foto

Produktbeschreibung: Full-HD (1920x1080)/HDR, Speicherkapazität: 1TB HDD, Ethernet/WLAN/Bluetooth 4.0 (LE), max. Energieverbrauch 165W. Bemessungsspannung und -frequenz: 220-240V ~ 0.8A, 50/60Hz. Bedienungsanleitung: Hier wird auf die Referenz verwiesen [45].

4.3.3 Xbox One X

Marke: Microsoft | Modell: 1787 | Typ: stationäre Spielkonsole | Seriennummer: 003706183017



Abbildung 4.7: Xbox One X am Labor-Messplatz, eigenes Foto

Produktbeschreibung: 4K UHD (3840x2160), Speicherkapazität: 1TB HDD, Ethernet/WLAN/Bluetooth 4.0, max. Energieverbrauch 245W. Bemessungsspannung und -frequenz: 100-127V/200-240V ~ 2.75A/1.8A, 50/60Hz. Bedienungsanleitung: Hier wird auf die Referenz verwiesen [46].

4.3.4 Xbox One S

Marke: Microsoft | Modell: 1681 | Typ: stationäre Spielkonsole | Seriennummer: 044903183216



Abbildung 4.8: Xbox One S am Labor-Messplatz, eigenes Foto

Produktbeschreibung: 4K UHD (3840x2160), Speicherkapazität: 1TB HDD, Ethernet/WLAN/Bluetooth 2.1 (EDR), max. Energieverbrauch 120W. Bemessungsspannung und -frequenz: 100-240V ~ 1.8A, 50/60Hz. Bedienungsanleitung: Hier wird auf die Referenz verwiesen [46].

4.3.5 Nintendo SWITCH

Marke: Nintendo | Modell: HAC-001 (Handheld) / HAC-007 (Dock) | Typ: hybride Spielkonsole

Seriennummer: XAJ40058297960



Abbildung 4.9: Nintendo SWITCH am Labor-Messplatz, eigenes Foto

Produktbeschreibung: max. Auflösung: Full-HD (1920x1080), 60fps, Systemspeicher: 32GB HDD, WLAN/Bluetooth 4.1, Audio-Output: Lineares PCM 5.1, Anschluss: USB Type-C, microSD Card-Steckplatz, max. Energieverbrauch 39W. Bemessungsspannung und -frequenz: 15V = 2.6A. Bedienungsanleitung: Hier wird auf die Referenz verwiesen [47].

4.4 Messungen

Die Messungen erfolgten im Labor des Institutes für Computertechnik (ICT) mit dem Chroma und mit dem Voltcraft im Haushalt. Dabei fanden die Einzelmessungen an verschiedenen Tagen mit unterschiedlichen Messzeiten unter stets gleichen Bedingungen statt. Die Messungen erfolgten in drei Betriebszuständen: Aus, Standby und Aktiv. Dabei ist zu erwähnen, dass bei sämtlichen Spielkonsolen nicht die unterschiedlichen Modi im Standby-Zustand berücksichtigt werden. Wie bereits zu Beginn im Kapitel 3 und im Teilkapitel 3.4 erläutert, wurde stets ein Standby-Zustand als solcher berücksichtigt und dokumentiert.

Die Spielkonsolen wurden wie in 3.3 besprochen mindestens 30 Minuten vor der ersten Messung betrieben. Für die Messungen im aktiven Spielbetrieb wurden die beliebtesten Spiele [41] herangezogen. Um den Energieverbrauch der Spielkonsolen besser zu verdeutlichen, kamen dabei Spiele mit unterschiedlichen Auflösungen zum Einsatz. Diese Auswahl schränkte sich nochmals auf jene ein, von denen die Hersteller einen Referenzwert angeben. Im DVD- und Blu-ray-Modus wurde der Film *Avatar* herangezogen. Darüber hinaus ist die Xbox One von Microsoft in der Lage 4K UHD-Discs abzuspielen. Insofern wurde die leistungsstarke Konsole beim Abspielen der 4K UHD-Disc ausgemessen, um den höchstmöglichen Energieverbrauch im Player-Modus zu ermitteln. Als Spiele wurden *FIFA 19*, *Need for Speed Payback* und *Red Dead Redemption 2* verwendet.

Bei *FIFA 19* handelte es sich um das bekannteste Fußballsimulationsspiel im vergangenen Jahr 2019 der Messungen, mit „Fußballspielern“ aus aktuellen Vereinen und Ligen sowie Ländermannschaften und Stadien. In *Need for Speed Payback* ist der Spieler in der Lage mit einem Sportwagen – wobei leistungsstarke Autos im laufenden Spiel gewonnen oder gekauft werden können – an verschiedenen Rennen im Einzel- oder Mehrspieler-Modus teilzunehmen. *Red Dead Redemption 2* ist ein Abenteuerspiel, welches seine Charaktere im Wilden Westen ansiedelt. Das Streaming von Videos erfolgte in verschiedenen Auflösungen mit dem beliebten Videoportal *YouTube*. Darüber hinaus wurde zum anschaulichen Vergleich auch Audio mit dem Musik-Streamigdienst *Spotify* mit der PlayStation 4 Pro gestreamt.

Bei den Messungen standen die leistungsstarke PlayStation 4 Pro von Sony und die Xbox One X von Microsoft im Vordergrund. Hier wurden die Einzelmessungen in Abhängigkeit der Messdauer betrachtet, um später mit den Chroma- und Voltcraft-Datensätzen die beste Messmethode zu evaluieren. Die mit beiden Messmethoden ermittelten Daten der leistungsschwachen PlayStation 4 Slim von Sony und der Xbox One S von Microsoft, sowie die der „Handheld-Konsole“ SWITCH von Nintendo wurden für den späteren Vergleich im Teilkapitel 5.2 bewertet. Im Weiteren wurden die erfassten Datensätze zur Ermittlung des Gesamtenergieverbrauches verwendet. Sie resultierten durch die Leistungsaufnahme an den Spielkonsolen abhängig von der Messdauer. Dabei erfolgte die Steuerung der Konsolen über den Controller. Bei allen Messungen wurden die aufgeladenen Controller über Bluetooth betrieben.

Wie bereits in 3.3.1 erwähnt, war bei den Messungen auch stets die Raumtemperatur im Prüfraum zu beachten. Denn während der gesamten Prüfung musste die Umgebungstemperatur zwischen 18°C und 28°C liegen. Und im Weiteren musste gewährleistet werden, dass die Luft in der Nähe der zu prüfenden Spielkonsole und des Messgerätes mit einer Geschwindigkeit von $\leq 0,5\text{m/s}$ strömt. Insofern wurde stets nach der Norm DIN EN 50564 [12] gemessen. Während der Messungen zeigte sich, dass unabhängig vom Temperaturspektrum von 18°C bis 28°C die erfassten Daten im selben Messbereich lagen. Dabei ist anzumerken, dass diese Erkenntnis nicht für den aktiven Spielbetrieb gilt, weil hier aufgrund von verschiedenen Renderingsequenzen und dynamischen Spielabläufen stets kleine Schwankungen in der Leistungsaufnahme ersichtlich waren. Außerdem war mit zunehmender Betriebszeit auch die Wärmeentwicklung in der Spielkonsole zu berücksichtigen. Vor allem beim aktiven Spielbetrieb resultierte eine Leistungsaufnahme, die abhängig vom dynamischen Spielverlauf und der Renderingsequenzen des jeweiligen Spieles und vom Spielerverhalten abhängig war. Es wurden bewusst mit verschiedenen Messzeiten die gleichen Spielsequenzen mit dem gleichen Spielerverhalten getestet und gemessen. Dabei ist anzumerken, dass sich die Spielbedienungen während des Messens nicht ident, sondern sich hinreichend genau wiederholen ließen.

In 4.4.1 bis 4.4.5 erfolgt die Angabe des Energieverbrauches in Wattstunden nur für die gemessene Dauer der Konsolen. Insofern wurde nur der tatsächliche Energieverbrauch in der Stunde für den beobachteten Betriebszustand der Spielkonsole berechnet und dokumentiert. Im darauffolgenden Kapitel 5 ist in der Datenauswertung unter den gemessenen Messdaten die konstante Leistung evaluiert und der Energieverbrauch in der Stunde angegeben.

Wie zu Beginn der Arbeit erwähnt, hängt der Energieverbrauch der Spielkonsolen von mehreren Faktoren ab, mitunter ob sich die Konsole im Aus- oder Standby-Zustand befindet. Mit den gemessenen Datensätzen lässt sich sehr anschaulich zeigen, dass der Energieverbrauch der Spielkonsolen im Aus- und Standby-Zustand stark voneinander abweicht. Im Aus-Zustand liegt die Leistungsaufnahme bei 0,3 Watt, während sie im Standby-Zustand bis zu 14 Watt beträgt, ohne dabei im Standby-Zustand das Herunterladen von Daten zu berücksichtigen.

Die aufgenommenen Signale der einzelnen Spielkonsolen unterscheiden sich im zeitlichen Verlauf voneinander. Das lässt sich vor allem mit der genauen Auflösung der Chroma ermitteln. Zum Beispiel unterscheiden sich die PlayStation 4 Pro von Sony und die Xbox One X von Microsoft im Betriebszustand Aus oder im aktiven Menübetrieb durch die Kurvenform-Charakteristika voneinander. Somit ist ersichtlich, dass der zeitliche Verlauf bei der Leistungsaufnahme in Abhängigkeit zum dynamischen Verhalten der jeweiligen Spielkonsole steht. Interessant ist auch der Stromverbrauch zwischen den verschiedenen Spielen, die in der gleichen Spielkonsole gespielt werden. Wie in der Einleitung mit der Hittinger-Studie [1] erwähnt, schwankt hier die Leistung um mindestens 10% von Spiel zu Spiel. Das ist vor allem auf die Auflösung der Spiele zurückzuführen, dass anhand der folgenden Messungen bestätigt wird.

4.4.1 PlayStation 4 Pro-Messungen

Chroma Messdaten | Betriebszustand: Aus

Die Messungen im Betriebszustand Aus fanden erst dann statt, nachdem sich die Spielkonsole im Aus-Zustand befand oder vom Aktiv-Zustand durch die Menüführung in den Aus-Zustand versetzt wurde. Bei einem Wechsel vom aktiven Betrieb in den Aus-Zustand wurde die Messung erst dann ausgelöst, nachdem alle transiente Vorgänge in der Konsole abgeklungen waren. Das lässt sich anhand der immer geringer werdenden Stromaufnahme an der digitalen Anzeige des Messgerätes ablesen. Der Übergang vom Aktiv-Zustand in den Aus-Zustand erfolgte bei der PlayStation 4 Pro (PS4 Pro) zügig. Um den Einfluss der Wärmebildung in der Konsole auf den Energieverbrauch zu berücksichtigen, wurden auch Messungen durchgeführt, nachdem sich die Spielkonsole einige Stunden oder auch einen ganzen Tag im Aus-Zustand befand. Durch die vielen Einzelmessungen konnte ermittelt werden, dass sich die gemessenen Daten unabhängig von der gewählten Messdauer nicht sonderlich voneinander unterscheiden. In der Tabelle 4.1 sind exemplarisch drei unterschiedliche Messzeiten angegeben, die sich im Energieverbrauch nur durch die zufällig auftretenden Stromspitzen gering voneinander unterscheiden.

Chroma PS4 Pro im Aus-Zustand		
Betriebsdauer [min]	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [mW]	Energieverbrauch [Wh]
60	288	0,288
30	217	0,109
10	250	0,042

Tabelle 4.1: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Chroma im Aus-Zustand

Vergleicht man die Messzeiten von zehn und dreißig Minuten im Aus-Zustand miteinander, dann ist ersichtlich, dass trotz der kürzeren Messdauer von zehn Minuten der Wert mit 250 Milliwatt höher liegt. Der Effekt der zufällig auftretenden Stromspitzen ist anschaulich in der Abbildung 4.10 zu sehen.

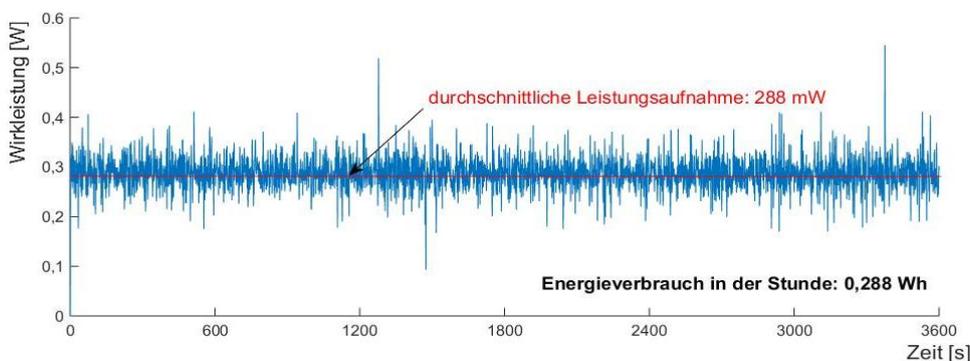


Abbildung 4.10: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Chroma im Aus-Zustand

Die Messwerte in der Abbildung 4.10 wurden über eine Dauer von einer Stunde ermittelt, wobei die durchschnittliche Leistungsaufnahme 288 Milliwatt mit einem Energieverbrauch von 0,29 Wattstunden betrug.

Voltcraft Messdaten | Betriebszustand: Aus

Die Messungen im Betriebszustand Aus begannen, nachdem die Spielkonsole vom Aktiv-Zustand durch die Menüführung, wie bei den Chroma Messungen, in den Aus-Zustand versetzt wurde. Erst nachdem alle transienten Vorgänge in der Konsole abgeklungen waren und sich am Messgerät mittels der digitalen Anzeige die geringe Stromaufnahme ablesen konnte, wurde die Messung gestartet. Beim Voltcraft wurde permanent gemessen und dementsprechend musste die beobachtete Zeit explizit dokumentiert werden, um später beim Auslesen der Daten die gewünschte Messdauer auswerten zu können. In der Tabelle 4.2 sind die Messungen mit unterschiedlichen Messzeiten aufgelistet. Dabei resultierte der größte Messwert mit 354 Milliwatt aus der am längsten beobachteten Betriebszeit von einem Messtag mit 1440 Einzelmessungen.

Voltcraft PS4 Pro im Aus-Zustand		
Betriebsdauer [min]	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [mW]	Energieverbrauch [Wh]
1440	354	8,50
60	292	0,292
30	293	0,147
15	292	0,073
10	264	0,044

Tabelle 4.2: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Voltcraft im Aus-Zustand

Die Messdaten ergaben sich aus den Einzelmessungen, die im Minutentakt mit dem Voltcraft erfasst wurden. Wie anhand der Abbildung 4.11 ersichtlich ist, erfolgte die Messung für die Messdauer von sechzig Minuten mit sechzig erfassten Messwerten.

Verglichen mit den Chroma-Messdaten aus Abbildung 4.10 mit 3600 Einzelmesswerten in sechzig Minuten, besitzt die Messmethode nach Voltcraft eine geringere Auflösung. Dennoch erreichte sie beim Ausmessen der PS4 Pro über eine lange Messdauer, weil auch kurzfristige Leistungsspitzen im Aus-Zustand über eine lange Zeitspanne erfasst werden konnten, einen ähnlich qualitativen Messwert wie die Chroma.

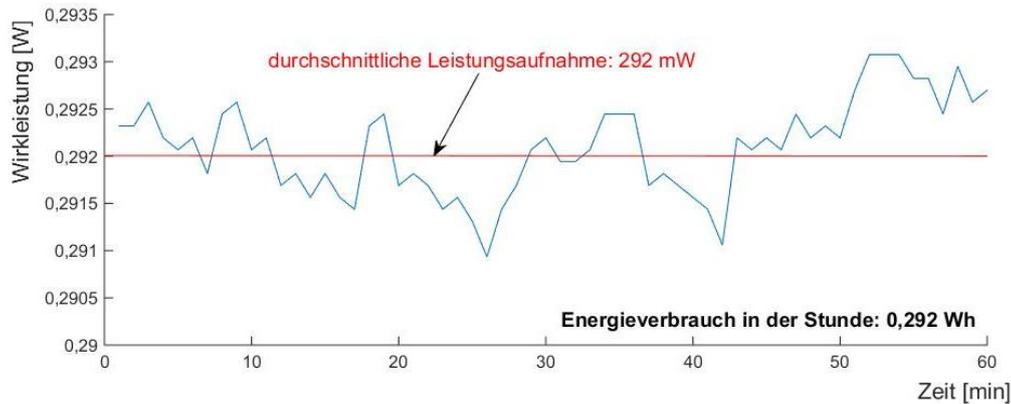


Abbildung 4.11: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Voltcraft im Aus-Zustand

Chroma Messdaten | Betriebszustand: Standby

Bei den Messungen in Bereitschaft wurden verschiedene Szenarien mit und ohne eine ständige Internetverbindung sowie das Herunterladen von Daten berücksichtigt. Wobei die Messungen sich auf Updates mit geringen Datenmengen beziehen. In der Tabelle 4.3 wird exemplarisch die Messung für die Dauer von zehn Minuten betrachtet. Dabei ist sehr gut ersichtlich, dass die Leistungsaufnahme im Standby-Zustand mit einer ständigen Internetverbindung und die Betriebsart mit Updates sich um vier Watt unterscheiden. Hingegen ist der durchschnittliche Energieverbrauch der Spielkonsole im Standby-Zustand mit und ohne eine ständige Internetverbindung vom Zahlenwert ähnlich. Wenn man aber den zeitlichen Verlauf der Leistungsaufnahme in der Abbildung 4.12 betrachtet, zeigt sich sehr deutlich, dass sich das dynamische Verhalten der Konsole mit und ohne eine Internetverbindung unterscheiden.

Chroma PS4 Pro im Standby-Zustand			
Betriebsdauer [min]	Betriebsart	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch [Wh]
10	ohne Internet	0,92	0,153
	mit Internet	1,03	0,172
	mit Internet & herunterladen	5,29	0,882

Tabelle 4.3: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Chroma im Standby-Zustand mit und ohne Internetverbindung sowie mit Daten zum Herunterladen

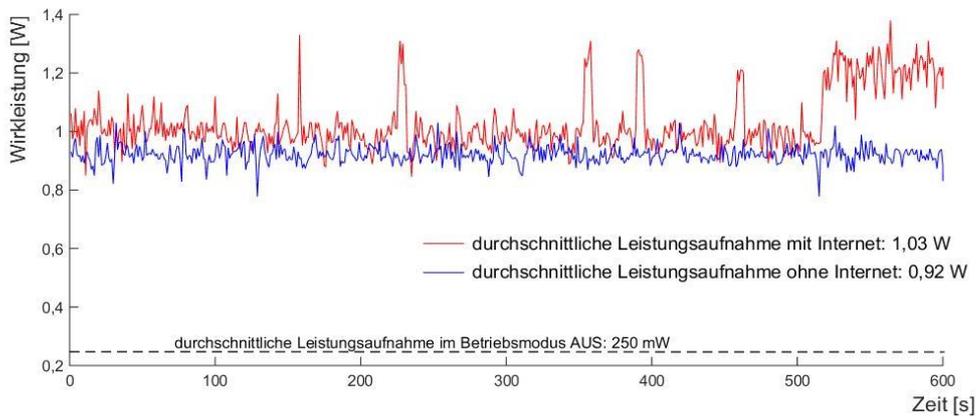


Abbildung 4.12: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Chroma im Standby-Zustand mit und ohne Internetverbindung

Die Abbildung 4.13 verdeutlicht die besprochenen Daten mit einer ständigen Internetverbindung und wenn Updates der Konsole erfolgten. Es ist auch deutlich der Unterschied der beiden Betriebszustände Aus und Standby ersichtlich. Der Aus-Zustand hatte eine Leistungsaufnahme von nur 0,250 Watt, während sie im Standby-Zustand 1,03 Watt und in Bereitschaft mit Updates sogar 5,29 Watt betrug.

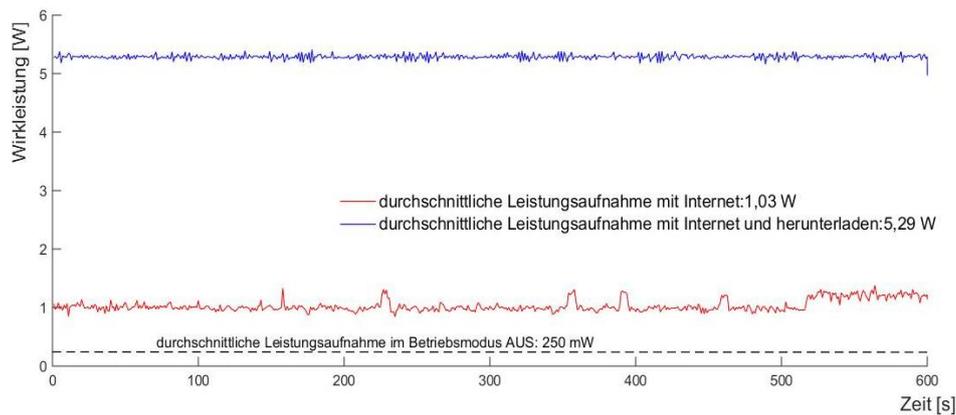


Abbildung 4.13: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Chroma im Standby-Zustand mit Daten zum Herunterladen

Durch weitere Einzelmessungen im Betriebszustand Standby ist ersichtlich, dass die Leistungsaufnahme mit zunehmender Beobachtungsdauer größer wurde. Das ist darauf zurückzuführen, dass mehr Leistungsspitzen berücksichtigt wurden.

Voltcraft Messdaten | Betriebszustand: Standby

Um einen direkten Vergleich zu den vorangegangenen Messungen mit der Chroma zu ziehen, wurde die PS4 Pro im Standby-Zustand mit ständiger Internetverbindung und beim Herunterladen einer geringen Datenmenge wieder für eine Messdauer von zehn Minuten betrachtet. Aus der Tabelle 4.4 ist durch die mehrfach durchgeführten Einzelmessungen ersichtlich, dass vor allem beim Herunterladen mit dem Voltcraft eine größere Leistungsaufnahme von 6,89 Watt festgestellt wurde. In der gleichen Ausgangssituation wurden mit der Chroma nur 5,29 Watt gemessen.

Volcraft PS4 Pro im Standby-Zustand			
Betriebsdauer [min]	Betriebsart	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch [Wh]
10	mit Internet	0,66	0,11
	mit Internet & herunterladen	6,89	1,15

Tabelle 4.4: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Volcraft im Standby-Zustand mit ständiger Internetverbindung und Daten zum Herunterladen

Chroma Messdaten | Betriebszustand: Aktiv

Da bei der PS4 Pro der Hersteller Sony auch den Referenzwert für die Videoeinstellung in High Definition (HD) angibt, wurde die Konsole im aktiven Menübetrieb auch in dieser Einstellung ausgemessen. Der Vergleich der Daten erfolgt im Teilkapitel 5.2. Aus der Tabelle 4.5 ist insofern nicht nur die Messung in HD ersichtlich, sondern vor allem die in Ultra High Definition (UHD). Es wurde für den Aktiv-Zustand stets die Einstellung mit der höchsten Leistungsaufnahme gewählt. Das ist bei der Beurteilung für einen umweltgerechten Einsatz der Spielkonsole von Bedeutung.

Chroma PS4 Pro im aktiven Menübetrieb		
Betriebsdauer [min]	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch [Wh]
60	HD: 53,991	53,991
20	UHD: 70,899	23,633
3,3	UHD: 65,697	3,65

Tabelle 4.5: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Chroma im aktiven Menübetrieb mit ständiger Internetverbindung

Eine anschauliche Darstellung der Messdaten im aktiven Menübetrieb für UHD ist in der Abbildung 4.14 gegeben. Dabei handelt es sich um Updates kleiner Datensätze. Das Herunterladen eines Online-Spieles, wie zum Beispiel *World of Tanks*, ergab im aktiven Menübetrieb eine durchschnittliche Leistungsaufnahme von 111,580 Watt.

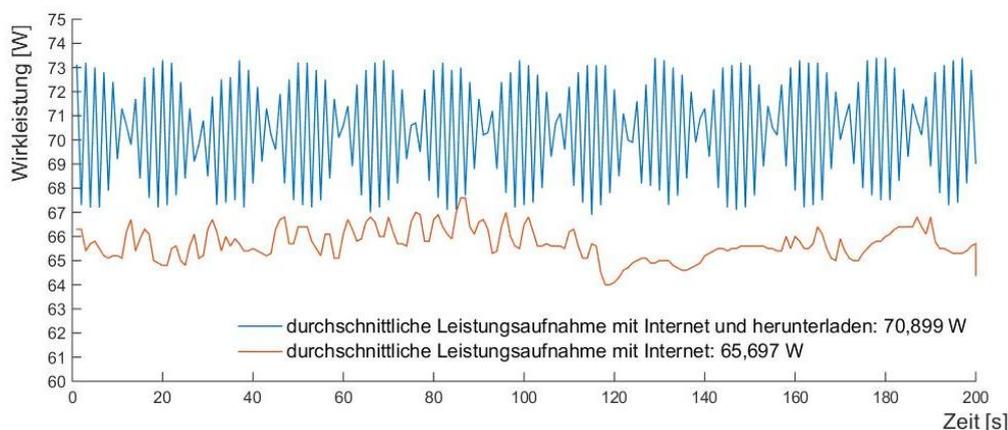


Abbildung 4.14: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Chroma im aktiven Menübetrieb mit ständiger Internetverbindung und Daten zum Herunterladen

Im aktiven Spielbetrieb wurden die Spiele *FIFA 19*, *Need for Speed Payback* und *Red Dead Redemption 2* im UHD-Betrieb ausgemessen. Dabei fanden die Einzelmessungen unter gleichen Spielbedienungen mit unterschiedlichen Messdauern statt. Anhand des Spieles *FIFA 19* soll verdeutlicht werden, dass der Energieverbrauch der Spielkonsole abhängig von der Spielereinstellung war. Die Tabelle 4.6 zeigt, dass mit der Spielereinstellung „Anfänger“ in *FIFA 19* unter gleicher Spielbedienung, mit unterschiedlichen Messdauern, stets ein annähernd gleicher Wert von 139 Watt gemessen wurde.

Chroma PS4 Pro im aktiven Spielbetrieb mit <i>FIFA 19</i> „Anfänger“		
Betriebsdauer [min]	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [mW]	Energieverbrauch [Wh]
60	138,724	138,724
30	139,882	69,941
20	138,237	46,079
5	139,065	11,589

Tabelle 4.6: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Chroma im aktiven Spielbetrieb mit *FIFA 19* und der Spielereinstellung „Anfänger“

Beim Austesten wurden stets ähnliche Rendering-Details gemessen und dabei hinreichend das Spiel im selben Tempo getestet. Der daraus resultierende Messfehler war verschwindend klein und lässt sich nur auf zufällig auftretende Stromspitzen zurückführen. Damit konnten durch weitere Einzelmessungen in den anderen Spielereinstellungen mit Profi, Ultimativ und im 2 Player-Modus unterschiedliche Werte in der Leistungsaufnahme erfasst werden. Die Daten sind in Tabelle 4.7 ersichtlich und verdeutlichen, dass sich die Leistungsaufnahme mit der Spielereinstellung ändert.

Chroma PS4 Pro im aktiven Spielbetrieb mit <i>FIFA 19</i> in unterschiedlichen Spielereinstellungen		
Betriebsart	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch [Wh]
Anfänger	138,237	46,079
Profi	136,843	45,614
Ultimativ	142,025	47,342
2 Spieler	141,447	47,149

Tabelle 4.7: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Chroma im aktiven Spielbetrieb mit *FIFA 19* in unterschiedlichen Spielereinstellungen

Interessant war beim Austesten von *FIFA 19* mit zwei Spielern, dass die Konsole eine höhere Leistung aufnahm, obwohl beide Controller über Bluetooth und nicht über ein USB-Kabel mit der Spielkonsole verbunden waren. Dadurch war zugleich auch gewährleistet, dass die Controller nicht aufgeladen und die Messdaten im aktiven Spielbetrieb nicht verfälscht werden konnten. Die durchschnittliche Leistungsaufnahme der PS4 Pro-Controller betrug 3,4 Watt im entladenen und 0,3 Watt im aufgeladenen-Zustand. In 5.1.1 wird näher auf die gemessenen Datensätze der Spielereinstellungen von *FIFA 19* eingegangen und die Unterschiede werden anschaulicher verdeutlicht. Für die weitere Betrachtung im aktiven Spielbetrieb wurde bei *FIFA 19* der Messwert mit der Spielereinstellung „Ultimativ“ berücksichtigt.

In der Tabelle 4.8 sind weitere Spiele für den aktiven Spielbetrieb aufgelistet. Es ist durch die Einzelmessungen ersichtlich, dass die durchschnittliche Leistungsaufnahme an der Konsole sich in Abhängigkeit der Messdauer nur unwesentlich änderte. Anhand der Messdaten aus Tabelle 4.8 zeigt sich, dass die PS4 Pro im aktiven Spielbetrieb mit *Red Dead Redemption 2* die größte Leistungsaufnahme besaß. Das Spiel in UHD unterscheidet sich von den anderen Spielen vor allem durch die während des Spielbetriebes ständig neu gerenderten realitätsnahen Darstellungen.

Chroma		PS4 Pro im aktiven Spielbetrieb	
Spiele	Betriebsdauer [min]	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [mW]	Energieverbrauch [Wh]
<i>Need for Speed Payback</i>	30	142,834	71,417
	20	138,863	46,288
	5	137,729	11,477
<i>Red Dead Redemption 2</i>	30	160,877	80,439
	20	160,773	53,591
	5	165,289	13,774
<i>Online: World of Tanks</i>	30	104,744	52,372
	20	104,537	34,915
	5	104,401	8,700

Tabelle 4.8: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Chroma im aktiven Spielbetrieb mit *Need for Speed Payback*, *Red Dead Redemption 2* und dem Online-Spiel *World of Tanks*

In der Tabelle 4.9 sind die durchschnittlichen Messwerte für *FIFA 19*, *Need for Speed Payback* und *Red Dead Redemption 2* nochmals zusammengefasst. Es verdeutlicht auf der einen Seite den hohen Energieverbrauch bei *Red Dead Redemption 2* aufgrund der hohen Auflösung und auf der anderen Seite den zu einem geringen Teil vordefinierten Kontroller-Muster bei *FIFA 19*.

Chroma		PS4 Pro im aktiven Spielbetrieb	
Spiele	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch [Wh]	
<i>Red Dead Redemption 2</i>	165,289	13,774	
<i>Need for Speed Payback</i>	137,729	11,477	
<i>FIFA 19</i>	142,511	11,876	

Tabelle 4.9: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Chroma im aktiven Spielbetrieb mit *Red Dead Redemption 2*, *Need for Speed Payback* und *FIFA 19*

Damit ließ sich ermitteln, dass die Leistungsaufnahme stets von der Spielaufklärung abhängig ist und sich von Spiel zu Spiel unterscheidet. In der Abbildung 4.15 wird die Spieldynamik der unterschiedlichen Spiele anschaulich verdeutlicht. Dabei resultierten die Leistungsspitzen bei *FIFA 19* immer dann, wenn sich die Auflösung aufgrund des Spielstandes oder der Spielhandlung mit einem Detail-Rendering der „Fußballer“ änderte.

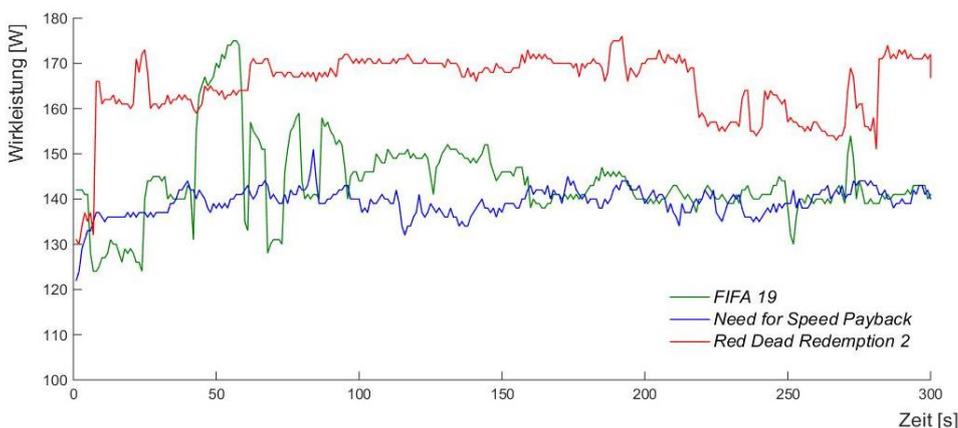


Abbildung 4.15: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Chroma im aktiven Spielbetrieb mit Red Dead Redemption 2, Need for Speed Payback und FIFA 19

In der Tabelle 4.10 ist das Streaming in *YouTube* mit Videos unterschiedlicher Auflösung aufgelistet. Die Daten werden in Abhängigkeit der Zeit in Abbildung 4.16 dargestellt. Es wird auch der Musik-Streamingdienst *Spotify* herangezogen, um im speziellen den Unterschied von Video- und Audio-Streaming beim Energieverbrauch besser zu verdeutlichen. Dabei ist sehr deutlich zu erkennen, dass die Leistungsaufnahme im *Spotify-Streaming* zwar geringer ausfällt, aber verglichen mit zum Beispiel dem Audio-Streaming mit einem Smartphone war der Energieverbrauch der Konsole immer noch viel zu hoch, wobei der Wert von nahezu 60 Watt beim *Spotify-Streaming* dem Leistungswert der Konsole im aktiven Menübetrieb entspricht.

Chroma PS4 Pro im aktiven Streaming-Modus			
Betriebsart Stream	Betriebsdauer [min]	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch [Wh]
YouTube: 4K	30	87,675	43,838
YouTube:1080p	30	80,863	40,432
Spotify	20	59,594	19,865

Tabelle 4.10: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Chroma im aktiven Streaming-Modus

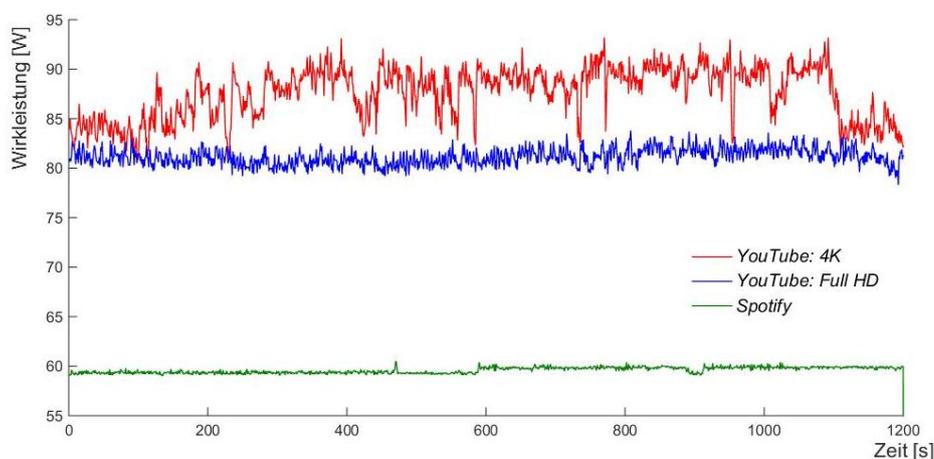


Abbildung 4.16: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Chroma im aktiven Streaming-Modus

Wichtig ist auch anzumerken, dass die Messungen in der Tabelle 4.10 unter der Konsolen-Einstellung „Automatisch“ stattfanden. Das bedeutet, wenn Videos mit *YouTube* oder mit anderen Streaming-Diensten gestreamt werden, dann ist für die Leistungsaufnahme vor allem die Einstellung der Videoausgabe der Spielkonsole von Bedeutung. Bei den Messungen von Videos in Full HD hat sich gezeigt, dass mit der Konsolen-Einstellung in „4K“ oder „Automatisch“ um ein bis zwei Watt mehr Leistung aufgenommen wird als im Streaming mit der Videoausgabe-Einstellung „1080p“. Das gleiche gilt auch für den Player-Modus.

In der Tabelle 4.11 sind die Unterschiede in der Leistungsaufnahme in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Einstellungen in der Videoausgabe ersichtlich. Die Abbildung 4.17 veranschaulicht diese Unterschiede. Anzumerken ist bei den Spielkonsolen der aktuellen Generation, dass die PS4 Pro von Sony im Gegensatz zum Konkurrenten Microsoft mit der Xbox One X, keine 4K UHD-Disc abspielen kann. Deshalb wird in der Tabelle 4.11 das Abspielen von Blu-rays und DVDs berücksichtigt. Aus den Messdaten ist sehr deutlich zu erkennen, dass beim Abspielen der Datenträgern mit der Einstellung „4K“ und „Automatisch“ aufgrund ähnlicher Leistungswerte davon ausgegangen werden kann, dass die Konsole im Player-Mode „Automatisch“ stets die höchste Auflösung „4K“ wählt. Das Gleiche resultierte auch aus der Erkenntnis der Einzelmessungen für „1080p“ und „720p“. Dabei wurde bei der Einstellung „720p“ stets die höhere Auflösung „1080p“ angewählt. Damit lässt sich im Player- und Streaming-Modus der PS4 Pro die Videoausgabe nur in „4K“ und Full HD mit „1080p“ einstellen.

Chroma PS4 Pro im aktiven Player-Modus			
Player-Einstellung	Betriebsdauer [min]	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch [Wh]
Blu-ray: 4K	5	73,048	6,09
DVD: 4K	5	82,786	6,90
Blu-ray: Automatisch	5	72,042	6,00
DVD: Automatisch	5	81,861	6,82
Blu-ray: 1080p	5	56,966	4,75
DVD:1080p	5	50,062	4,17
Blu-ray: 720p	5	56,816	4,73
DVD: 720p	5	50,222	4,19

Tabelle 4.11: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Chroma im aktiven Player-Modus

In der Abbildung 4.17 sind die Messdaten aus der Tabelle 4.11 in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt. Durch den Leistungsverlauf ist sehr gut ersichtlich, dass stets die gleiche Sequenz des Filmes *Avatar* mit der Blu-ray beziehungsweise der DVD abgespielt wurde. Dabei ist auch die unterschiedliche Leistungsaufnahme mit der eingestellten Videoausgabe in „4K“ und in Full HD mit „1080p“ deutlich zu erkennen. Interessant ist beim Abspielen einer Blu-ray-Disc in „4K“, dass der Energieverbrauch geringer ausfiel als mit einer DVD-Disc. Hingegen war das Abspielen einer DVD mit einer Full HD Einstellung (1080p) energieeffizienter als mit einer Blu-ray-Disc.

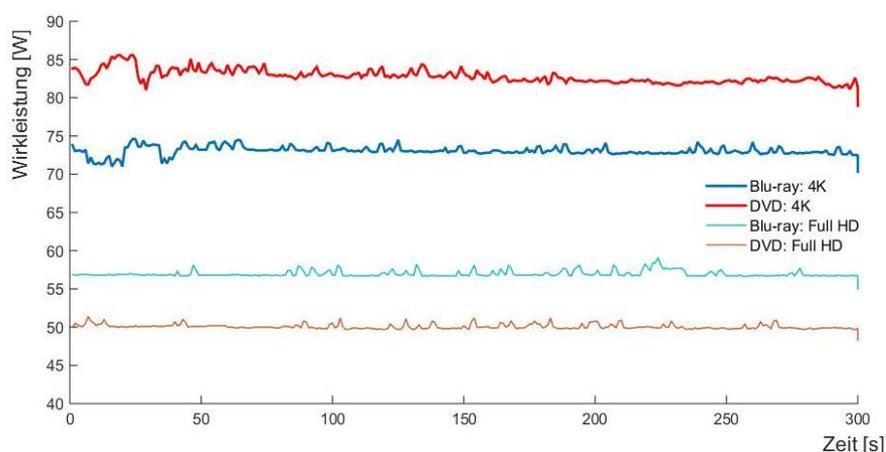


Abbildung 4.17: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Chroma im aktiven Player-Modus

Voltcraft Messdaten | Betriebszustand: Aktiv

Der Menübetrieb wurde für die Messdauer von fünf Minuten mit und ohne Internetverbindung betrachtet. In der Tabelle 4.12 ist deutlich zu erkennen, dass die Menüführung mit ständiger Internetverbindung einen größeren Energieverbrauch mit sich brachte als ohne eine Internetverbindung. Bei einem direkten Vergleich mit den Chroma-Messdaten aus Tabelle 4.5 ist ersichtlich, dass die Werte in einem ähnlichen Messbereich liegen.

Voltcraft PS4 Pro im aktiven Menübetrieb			
Betriebsart	Betriebsdauer [min]	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch [Wh]
mit Internet	5	UHD: 64,500	5,38
ohne Internet	5	UHD: 59,494	4,96

Tabelle 4.12: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Voltcraft im aktiven Menübetrieb mit und ohne ständige Internetverbindung

Im aktiven Spielbetrieb ist auch mit den Voltcraft-Messdaten aus der Tabelle 4.13 mit *FIFA 19* sehr deutlich zu erkennen, dass der Energieverbrauch stets von den Spielereinstellungen abhängig war. Und obwohl die Voltcraft-Messmethode nur einmal pro Minute misst und nicht alle Änderungen im Spiel erfassen kann, variieren dennoch die Leistungswerte in Abhängigkeit der Spielereinstellung voneinander. Damit die geringen Leistungsunterschiede ersichtlich sind, musste dementsprechend länger gemessen werden.

Voltcraft PS4 Pro im aktiven Spielbetrieb mit <i>FIFA 19</i> in unterschiedlichen Spielereinstellungen		
Betriebsart	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch [Wh]
Anfänger	132,067	66,034
Profi	133,312	66,656
2 Spieler	128,427	64,214

Tabelle 4.13: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Voltcraft im aktiven Spielbetrieb mit *FIFA 19* in unterschiedlichen Spielereinstellungen

Es wurde für die weitere Betrachtung bei *FIFA 19* der höchste Messwert bei der Einstellung „Profi“ für die Betriebsdauer von dreißig Minuten berücksichtigt. Wenn man die Messdaten aus der Tabelle 4.14 und der Abbildung 4.18 mit jenen der Chroma-Messdaten aus der Abbildung 4.15 vergleicht, ist ganz deutlich zu erkennen, dass die Voltcraft-Messmethode nicht das vollständige dynamische Verhalten der PS4 Pro erfasste. Insofern werden in Kapitel 5 diese Unterschiede anschaulich verdeutlicht.

Voltcraft PS4 Pro im aktiven Spielbetrieb		
Spiele	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch [Wh]
<i>Red Dead Redemption 2</i>	152,474	76,237
<i>FIFA 19</i>	133,312	66,656
<i>Online: World of Tanks</i>	107,186	53,593

Tabelle 4.14: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Voltcraft im aktiven Spielbetrieb mit den Spielen *FIFA 19*, *Red Dead Redemption 2* und dem Online-Spiel *World of Tanks*

In der Abbildung 4.18 ist deutlich zu erkennen, dass *World of Tanks* im Gegensatz zu den anderen Spielen einen geringeren Energieverbrauch aufweist. Insofern kann im aktiven Spielbetrieb mit der Voltcraft der Unterschied zwischen einem Online-Spiel und dem Abspielen einer Disc an der Spielkonsole differenziert werden.

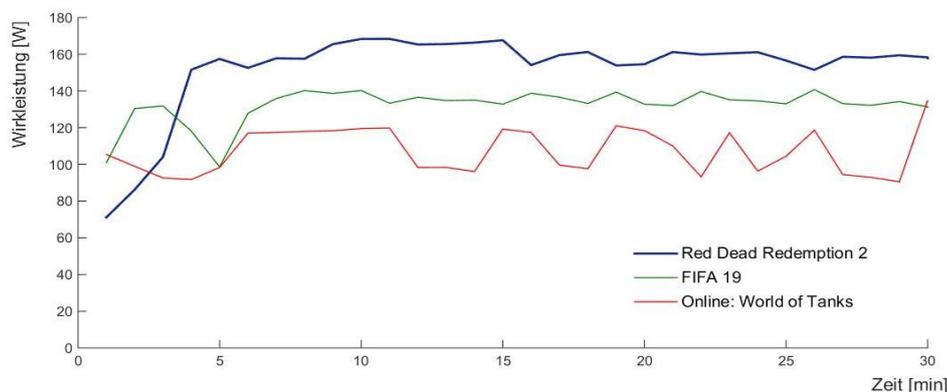


Abbildung 4.18: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Voltcraft im aktiven Spielbetrieb mit den Spielen *FIFA 19*, *Red Dead Redemption 2* und dem Online-Spiel *World of Tanks*

Anhand der Voltcraft-Daten aus Tabelle 4.15 sind bei der PS4 Pro im Player- und im Streaming-Modus keine Unterschiede in der Leistungsaufnahme zu bemerken.

Voltcraft PS4 Pro im aktiven Player- und Streaming-Modus			
Betriebsart	Betriebsdauer [min]	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch [Wh]
Player&Stream			
DVD	5	51,705	4,31
YouTube:1080p	5	51,410	4,28
Spotify	20	51,300	17,100

Tabelle 4.15: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Voltcraft im aktiven Player- und Streaming-Modus

Auch wenn die Videoausgabe der Konsole mit der Auflösung „1080p“ erfolgte, war die Voltcraft nicht in der Lage die kurzen Leistungsspitzen zu erfassen. Vergleicht man die Werte mit den Chroma-Messdaten aus Tabelle 4.10, dann fällt gleich der große Unterschied von etwa 30 Watt auf. Während mit dem Chroma bei einer Auflösung von „1080p“ im Streaming ein Wert von 80,86 Watt resultierte, sind es mit der Voltcraft nur 51,410 Watt. Auch wenn berücksichtigt wird, dass die Werte aus der Tabelle 4.15 mit der Videoausgabe-Einstellung „Automatisch“ resultierten, würde das im Gegensatz zur Einstellung „1080p“ nur einen geringen Unterschied von maximal zwei Watt ausmachen.

In der Abbildung 4.19 sind die Unterschiede zwischen dem DVD-abspielen, dem Videostreaming in *YouTube* und Audiostreaming mit *Spotify* anschaulich dargestellt. Obwohl beim DVD-abspielen sowie Video- und Audiostreaming die durchschnittliche Leistungsaufnahme bei 51 Watt lag, unterscheiden sie sich dennoch in der Leistungsaufnahme.

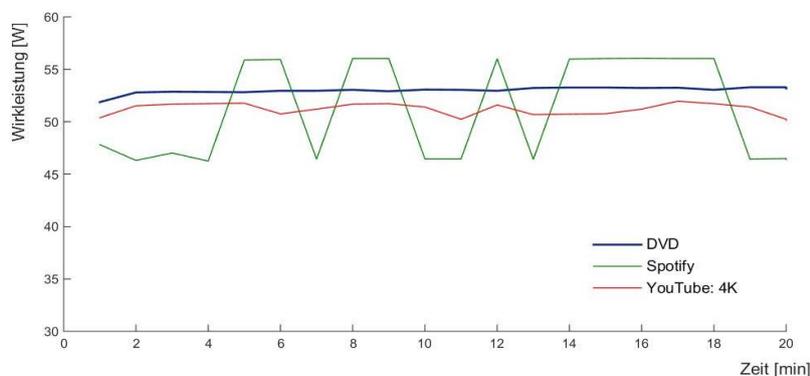


Abbildung 4.19: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Voltcraft im aktiven Player- und Streaming-Modus

4.4.2 PlayStation 4 Slim-Messungen

Betriebszustand: Aus

Bei einem direkten Vergleich der beiden Messmethoden zeigte sich bei einer Messdauer von sechzig Minuten, dass mit dem *Chroma* eine durchschnittliche Leistung von 257 Milliwatt mit einem Energieverbrauch von 0,257 Wattstunden erfasst wurde. Während die *Voltcraft* unter den gleichen Bedingungen eine Leistung von nur 176 Milliwatt mit einem Energieverbrauch von 0,176 Wattstunden bei der PlayStation 4 Slim (PS4 Slim) aufnahm. Die Abbildung 4.20 verdeutlicht den Unterschied beider Messmethoden. Dabei nimmt das *Chroma* 3600- und die *Voltcraft* nur 60- Einzelmessungen in der Stunde auf. Hingegen war es auch mit dem *Voltcraft* möglich mit zunehmender Messdauer einen ähnlich hohen Leistungswert wie mit der zu *Chroma* zu ermitteln. So konnte mit einer Messdauer von 28 Tagen mit dem *Voltcraft* bei der PS4 Slim eine Leistungsaufnahme von 236 Milliwatt gemessen werden.

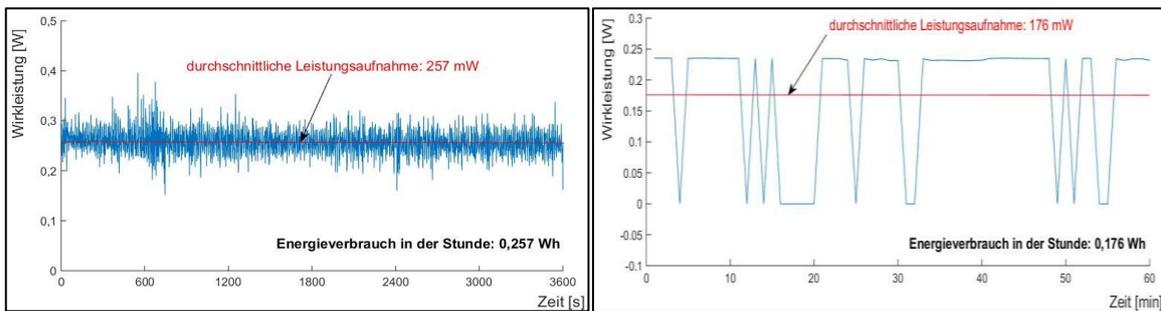


Abbildung 4.20: Leistungsaufnahme an der PS4 Slim im Aus-Zustand – im linken Bild mit der Chroma und im rechten Bild mit der Voltcraft

Betriebszustand: Standby

Für eine Messdauer von zehn Minuten wurde mit und ohne eine ständige Internetverbindung gemessen. In der Tabelle 4.16 ist mit den **Chroma-Daten** nur ein kleiner Zahlenunterschied zwischen beiden Modi zu erkennen. Betrachtet man hingegen den dynamischen Verlauf in der Abbildung 4.21, sind die Leistungsspitzen mit ständiger Internetverbindung ersichtlich.

Beim Ermitteln der Messdaten mit der Methode nach **Voltcraft** zeigte sich, dass nicht immer eine lange Messdauer den Nachweis einer hohen Leistungsaufnahme der Spielkonsole ergab. Bei einer **Voltcraft** Messung mit einer ständigen Internetverbindung wurde bei einer Messdauer von einer Stunde eine Leistung von 760 Milliwatt und mit einer Beobachtungsdauer von einem ganzen Tag nur 719 Milliwatt aufgenommen.

Chroma PS4 Slim im Standby-Zustand			
Betriebsdauer [min]	Betriebsart	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [mW]	Energieverbrauch [Wh]
10	ohne Internet	893	0,149
	mit Internet	964	0,161

Tabelle 4.16: Leistungsaufnahme an der PS4 Slim mit der Chroma im Standby-Zustand mit und ohne ständige Internetverbindung

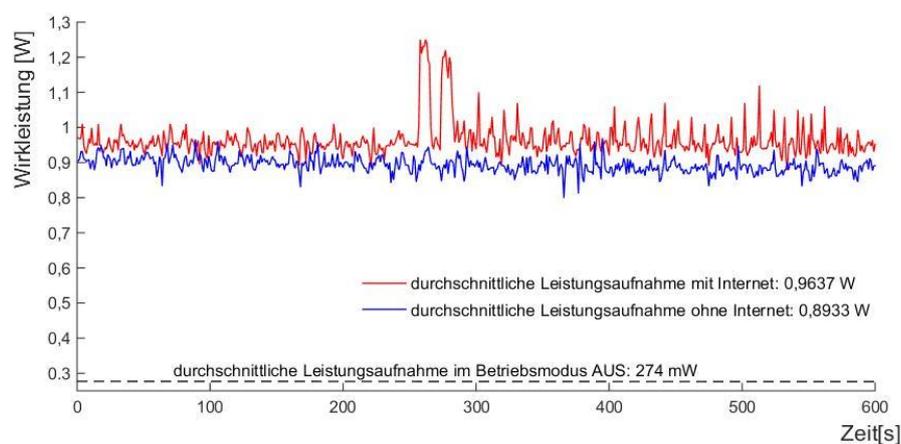


Abbildung 4.21: Leistungsaufnahme an der PS4 Slim mit der Chroma im Standby-Zustand mit und ohne ständige Internetverbindung

Betriebszustand: Aktiv

Bei der Betrachtung im passiven Spielbetrieb und in der Navigation, zeigten sich anhand der Tabelle 4.17 deutlich die Unterschiede zwischen beiden Messmethoden, wobei die *Chroma* eine Leistungsaufnahme von bis zu 30 Watt mehr maß als der „Energielogger“ von *Voltcraft*. Interessant ist aber, dass mit beiden Messmethoden festgestellt wurde, dass sich die Leistungsaufnahme mit und ohne eine Internetverbindung nicht sonderlich änderte.

PS4 Slim im aktiven Menübetrieb		
Messmethode	Betriebsart	Energieverbrauch [Wh]
Chroma	ohne Internet	71,317
	mit Internet	71,382
Voltcraft	ohne Internet	43,390
	mit Internet	43,662

Tabelle 4.17: Leistungsaufnahme an der PS4 Slim im aktiven Menübetrieb, mit und ohne ständige Internetverbindung, anhand beider Messmethoden.

4.4.3 Xbox One X-Messungen**Chroma Messdaten | Betriebszustand: Aus**

Für den Wechsel vom aktiven Betrieb in den Aus-Zustand ist die Menüführung der Xbox One X von Microsoft irreführend und aufwendig gestaltet. Denn durch die einfache Bedienung am Controller wird zwar gleich die Option „Konsole ausschalten“ aufgerufen, tatsächlich wird dabei die Spielkonsole in Bereitschaft versetzt und nicht ausgeschaltet. Die Spielkonsole lässt sich nur durch das umständlich Navigieren im Menü, in einem Unterpunkt in den Einstellungen, in den Aus-Zustand versetzen. Erst als alle transienten Vorgänge abgeklungen waren, wurde die Messung ausgelöst und mit unterschiedlicher Dauer gemessen. Dabei zeigt sich mit der Tabelle 4.18 deutlich, dass die Leistungsaufnahme um die 300 Milliwatt liegt. Interessant ist dabei das dynamische Verhalten der Konsole im Aus-Zustand. Die Abbildung 4.22 verdeutlicht mit einer Messdauer von 3,3 Minuten anschaulich die Leistungsspitzen.

Chroma Xbox One X im Aus-Zustand		
Betriebsdauer [min]	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [mW]	Energieverbrauch [Wh]
60	292	0,292
20	296	0,099
5	268	0,022
3,3	288	0,016

Tabelle 4.18: Leistungsaufnahme an der Xbox One X mit der Chroma im Aus-Zustand

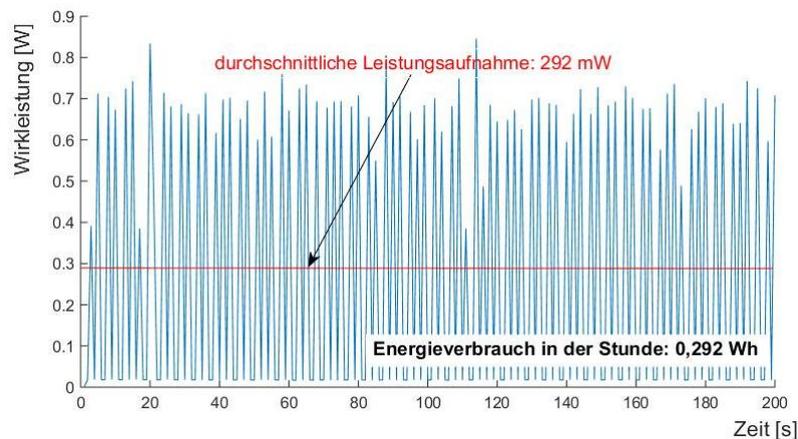


Abbildung 4.22: Leistungsaufnahme an der Xbox One X mit der Chroma im Aus-Zustand

Voltcraft Messdaten | Betriebszustand: Aus

Erst als alle transienten Vorgänge abgeklungen waren, konnte mit der Leistungsaufnahme zu unterschiedlichen Messzeiten begonnen werden. Dabei zeigte sich wie mit der vorangegangenen Messmethode nach Chroma, dass auch mit der Voltcraft unabhängig von der Messdauer stets ein ähnlicher Messwert gemessen wurde. In der Tabelle 4.19 ist sehr gut ersichtlich, dass mit der Xbox OneX von einer Betriebsdauer von fünf Minuten bis zu einem ganzen Tag mit 1440 Einzelmessungen die gemessene durchschnittliche Leistungsaufnahme bei 180 Milliwatt lag. Das ist ein geringerer Messwert als die Leistungsaufnahme von 300 Milliwatt, die mit dem Chroma erfasst wurde. Die Abbildung 4.23 verdeutlicht die geringe Auflösung mit den nur sechzig Einzelmessungen in der Stunde. Dabei wurde nicht das tatsächliche dynamische Verhalten der Konsole im Aus-Zustand wiedergegeben.

Voltcraft Xbox One X im Aus-Zustand		
Betriebsdauer [min]	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [mW]	Energieverbrauch [Wh]
1440	175	4,20
60	175	0,175
20	171	0,057
15	171	0,043
5	177	0,015

Tabelle 4.19: Leistungsaufnahme an der Xbox One X mit der Voltcraft im Aus-Zustand

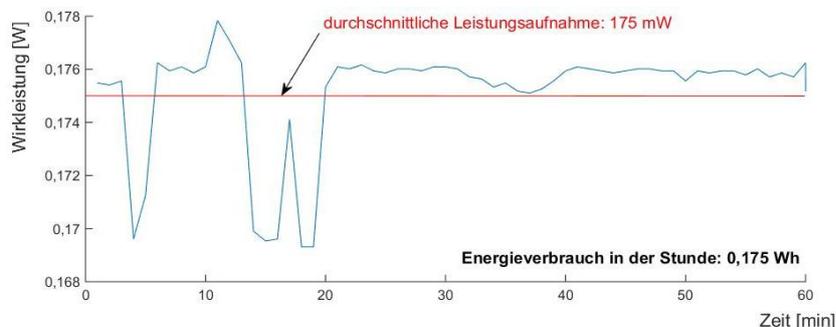


Abbildung 4.23: Leistungsaufnahme an der Xbox One X mit der Voltcraft im Aus-Zustand

Chroma Messdaten | Betriebszustand: Standby

Die Daten in den unterschiedlichen Betriebsmodi verdeutlichen in der Tabelle 4.20, dass die Spielkonsole im Standby-Zustand ohne eine Internetverbindung eine Leistung von 11,401 Watt besaß. Der Energieverbrauch fiel damit geringer aus als mit einer ständigen Internetverbindung oder wenn Daten heruntergeladen wurden. Dennoch wurde im Standby-Zustand ohne eine Internetverbindung um ein Vielfaches mehr an Leistung aufgenommen als im Aus-Zustand mit einer durchschnittlichen Leistungsaufnahme von nur 300 Milliwatt.

Chroma	Xbox One X im Standby-Zustand	
Betriebsart	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch [Wh]
ohne Internet	11,401	1,90
mit Internet	13,930	2,32
mit Internet & herunterladen	30,121	5,02

Tabelle 4.20: Leistungsaufnahme an der Xbox One X mit der Chroma im Standby-Zustand mit und ohne Internetverbindung sowie mit Daten zum Herunterladen

In der Abbildung 4.24 ist das Herunterladen der Daten durch die Leistungsaufnahme in Form von kurzen, sich wiederholenden Ladezyklen ersichtlich. Der Standby-Zustand mit einer ständigen Internetverbindung machte sich durch kurze auftretende Leistungsspitzen bemerkbar.

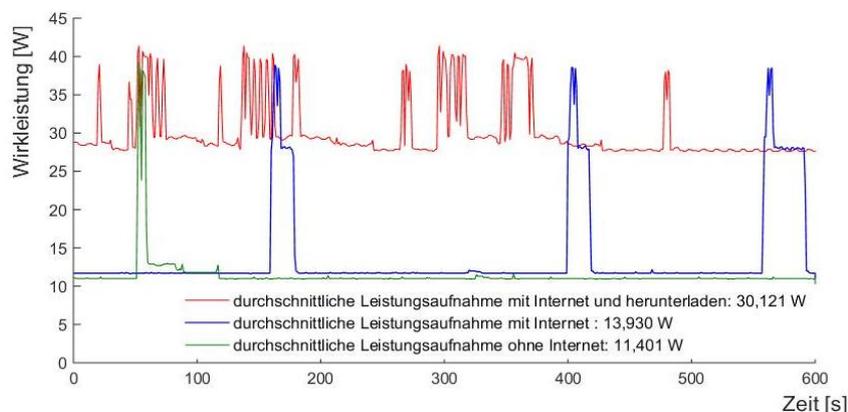


Abbildung 4.24: Leistungsaufnahme an der Xbox One X mit der Chroma im Standby-Zustand mit und ohne Internetverbindung sowie mit Daten zum Herunterladen

Voltcraft Messdaten

Bei der Messmethode nach *Voltcraft* wurden annähernd gleiche Werte gemessen und zwar mit einer ständigen Internetverbindung ein durchschnittlicher Leistungswert von 14,438 Watt und ohne eine Internetverbindung von 11,037 Watt.

Betriebszustand: Aktiv

Das Erfassen der Daten mit der *Chroma* im aktiven Menübetrieb mit einer ständigen Internetverbindung lag mit einer Leistungsaufnahme von 50,777 Watt im gleichen Messbereich wie mit der

Methode nach *Voltcraft* mit 51,342 Watt. Betrachtet man den aktiven Spielbetrieb, dann ist auch bei der Xbox One X genau wie bei der leistungsstarken PS4 Pro ersichtlich, dass die Leistungsaufnahme stets in Abhängigkeit zur Spielereinstellung stand. Dazu wird wieder das mit dem *Chroma* ausgemessene Spiel *FIFA 19* in der Tabelle 4.21 betrachtet. Dabei zeigt sich, dass auch hier genau wie bei der PS4 Pro die Spielereinstellung „Ultimativ“ in den unterschiedlich betrachteten Betriebsdauern die höchste Leistungsaufnahme bewirkte. Das ließ sich auch mit der Messmethode nach *Voltcraft* zeigen. Zwar weichen hier die *Voltcraft-Messdaten* aufgrund der ungenauen Auflösung gegenüber jenen von der *Chroma* um bis zu acht Watt ab, dennoch zeigten sich unterschiedliche Leistungsaufnahmen in Abhängigkeit zur Spielereinstellung.

Chroma Xbox One X im aktiven Spielbetrieb mit <i>FIFA 19</i> in unterschiedlichen Spielereinstellungen			
Betriebsdauer [min]	Betriebsart	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch [Wh]
30	Anfänger	128,013	64,007
	Profi	123,875	61,938
	Ultimativ	129,572	64,786
20	Anfänger	127,689	42,563
	Profi	125,003	41,668
	Ultimativ	130,748	43,583
5	Anfänger	129,556	10,796
	Profi	127,389	10,616
	Ultimativ	131,587	10,966

Tabelle 4.21: Leistungsaufnahme an der Xbox One X mit der Chroma im aktiven Spielbetrieb mit der *FIFA 19* mit verschiedenen Spieleinstellungen

Vergleicht man den durchschnittlichen Leistungswert von *FIFA 19* mit den anderen ausgetesteten Spielen, dann zeigt sich in der Tabelle 4.22 deutlich, dass *Red Dead Redemption 2* mit der höchsten Spielauflösung wieder den größten Energieverbrauch hatte. Die Spiele wurden wieder äquivalent mit dem *Voltcraft* ausgetestet und bestätigten die unterschiedliche Leistungsaufnahme der Spiele in Abhängigkeit von der Auflösung.

Chroma Xbox One X im aktiven Spielbetrieb		
Spiele	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch [Wh]
<i>Red Dead Redemption 2</i>	175,220	58,407
<i>Need for Speed Payback</i>	144,031	48,010
<i>FIFA 19</i>	130,748	43,583
<i>Online: World of Tanks</i>	134,907	44,969

Tabelle 4.22: Leistungsaufnahme an der Xbox One X mit der Chroma im aktiven Spielbetrieb mit *Red Dead Redemption 2*, *Need for Speed Payback*, *FIFA 19* und dem Online-Spiel *World of Tanks*

In der Abbildung 4.25 wird der Leistungsunterschied zwischen dem Spiel *Red Dead Redemption 2*, dass mit einer konventionellen Disc abgespielt wurde und dem Online-Spiel *World of Tanks*

verdeutlicht. Dabei wird das dynamische Verhalten der Xbox One X mit 1200 Einzelmessungen wiedergegeben.

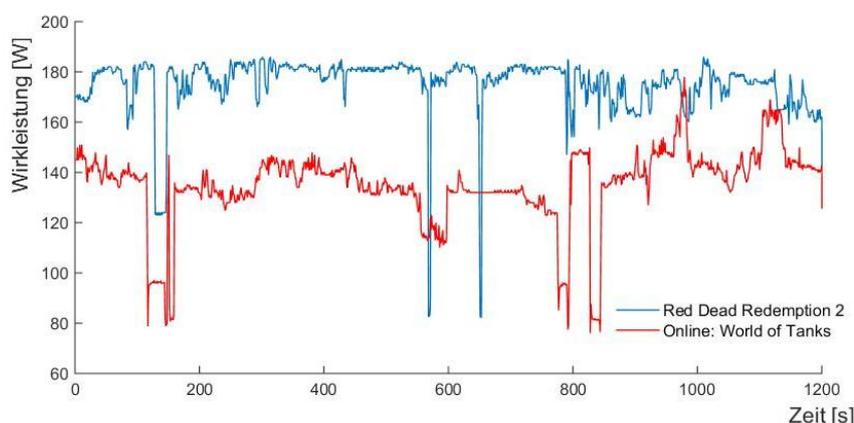


Abbildung 4.25: Leistungsaufnahme an der Xbox One X mit der Chroma im aktiven Spielbetrieb mit *Red Dead Redemption 2* und dem Online-Spiel *World of Tanks*

Bei den Messungen im Player-Modus wurde wieder stets die gleiche Sequenz aus dem Film *Avatar* mit der Blu-ray- beziehungsweise der DVD-Disc abgespielt. Dabei ist wie aus der Tabelle 4.23 ersichtlich, dass im Gegensatz zur PS4 Pro die Leistungsaufnahme beider Datenträger ähnlich groß war. Und der Energieverbrauch im Player- und Streaming-Modus war unabhängig von der Videoausgabe-Einstellung der Spielkonsole. Nur das Abspielen einer 4K UHD Disc hatte einen höheren Energieverbrauch. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Xbox One X im Player- und Streaming-Modus stets mit der höchsten Auflösung abgespielt wurde. Parallel dazu wurde unter den gleichen Bedingungen auch mit der *Voltcraft* gemessen. Bei einem direkten Vergleich beider Messmethoden resultierten stets Messwerte im selben Messbereich.

Chroma Xbox One X im aktiven Player-Modus			
Player-Einstellung	Betriebsdauer [min]	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch [Wh]
4K Ultra HD: beliebig	5	56,935	4,75
Blu-ray: 4K	5	53,999	4,50
DVD: 4K	5	53,896	4,49
Blu-ray: 1080p	5	53,932	4,49
DVD: 1080p	5	53,783	4,48
Blu-ray: 720p	5	54,874	4,57
DVD: 720p	5	54,001	4,50

Tabelle 4.23: Leistungsaufnahme an der Xbox One X mit der Chroma im aktiven Player-Modus

Betrachtet man noch die Xbox One X im Streaming, so ist wie aus der Tabelle 4.24 ersichtlich, dass die Leistungsaufnahme ähnlich hoch war wie im Player-Modus. Auch hier resultierte bei der Datenaufnahme nach *Voltcraft* eine annähernd gleiche Leistungsaufnahme mit einer geringen Abweichung.

Chroma Xbox One X im aktiven Streaming-Modus			
Betriebsart Stream	Betriebsdauer [min]	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch [Wh]
YouTube: 4K	30	55,034	27,517
YouTube:1080p	30	54,904	27,452

Tabelle 4.24: Leistungsaufnahme an der Xbox One X mit der Chroma im aktiven Streaming-Modus

4.4.4 Xbox One S-Messungen

Betriebszustand: Aus

Genau wie bei der Xbox One X ist auch hier die Menüführung irreführend. Der Wechsel vom Aktiv-Zustand in den Aus-Zustand ist erst durch das umständliche Navigieren im Menü möglich. Nur als alle transienten Vorgänge abgeklungen waren, konnte die Messung ausgelöst und mit unterschiedlichen Messzeiten gemessen werden. Bei einem direkten Vergleich der beiden Messmethoden zeigte sich, dass bei dem **Chroma** mit einer Messdauer von sechzig Minuten und 3600 Einzelmessungen eine durchschnittliche Leistung von 334 Milliwatt aufgenommen wurde, während die **Voltcraft** mit einer Messdauer von einem ganzen Tag und 1440 Einzelmessungen eine Leistung von 272 Milliwatt aufnahm.

Betriebszustand: Standby

Die Messungen in den unterschiedlichen Betriebsmodi werden in der Tabelle 4.25 verdeutlicht. Dabei zeigte sich, dass die Spielkonsole im Standby-Zustand ohne eine Internetverbindung die geringste Leistungsaufnahme besaß. Der Energieverbrauch war mit einer ständigen Internetverbindung nahezu doppelt so groß und die Leistungsaufnahme beim Herunterladen von Daten lag bei 16 Watt. Dabei ist auch ersichtlich, dass mit beiden Messmethoden nahezu idente Daten erfasst wurden.

Xbox One S im Standby-Zustand		
Messmethode	Betriebsart	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]
Chroma	ohne Internet	5,618
	mit Internet	9,449
	mit Internet & herunterladen	16,056
Voltcraft	ohne Internet	5,43
	mit Internet	10,340
	mit Internet & herunterladen	16,048

Tabelle 4.25: Leistungsaufnahme an der Xbox One S im Standby-Zustand mit und ohne Internetverbindung sowie mit Daten zum Herunterladen beider Messmethoden

In der Abbildung 4.26 ist das Herunterladen der Daten durch die Leistungsaufnahme in Form von kurzen, sich wiederholenden Ladezyklen ersichtlich. Der Standby-Zustand mit ständiger Internetverbindung machte sich durch immer wieder auftretende Leistungsspitzen bemerkbar, während beim Betrieb ohne eine Internetverbindung nur vereinzelt systembedingte Leistungsspitzen auftraten.

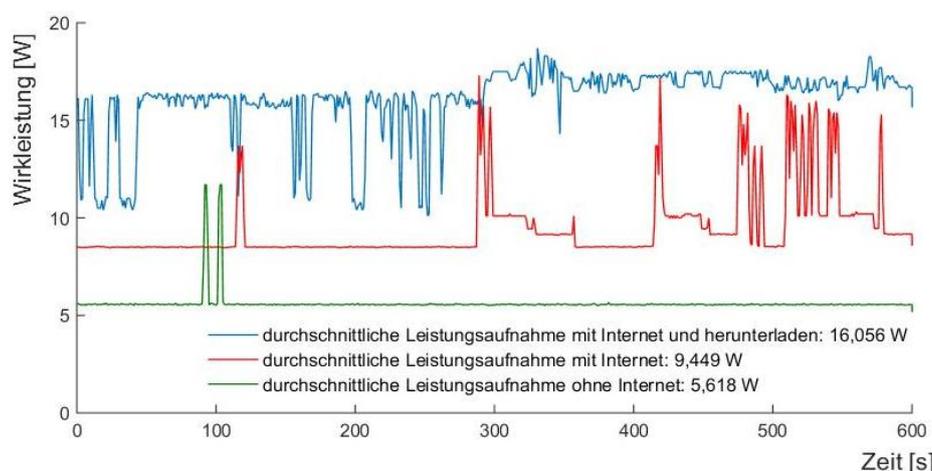


Abbildung 4.26: Leistungsaufnahme an der Xbox One S mit der Chroma im Standby-Zustand mit und ohne Internetverbindung sowie mit Daten zum Herunterladen

Durch den Vergleich der Abbildung 4.26 mit der Abbildung 4.24 zeigt sich bei der Leistungsaufnahme an den Spielkonsolen von Microsoft unabhängig vom Stromverbrauch ein stets ähnliches Bild der Kurvenform-Charakteristik, die sich mit dieser Genauigkeit nur mit der Chroma-Messmethode rekonstruieren ließ.

Betriebszustand: Aktiv

Die mit der Methode nach *Voltcraft* erfassten Daten im aktiven Menübetrieb mit ständiger Internetverbindung fielen mit einer Leistungsaufnahme von 29,238 Watt ein wenig höher aus als jene mit dem *Chroma* mit 27,724 Watt. Betrachtet man den aktiven Spielbetrieb so zeigte sich, dass die *Voltcraft* nicht alle Änderungen im Rendering während des Austestens erfassen konnte und somit die Leistungsaufnahme bis zu fünf Watt geringer ausfiel als nach der *Chroma-Messmethode*. In der Tabelle 4.26 ist der Energieverbrauch der Spiele in Abhängigkeit der Auflösung ersichtlich.

Chroma Xbox One S im aktiven Spielbetrieb		
Spiele	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch [Wh]
<i>Red Dead Redemption 2</i>	70,020	23,340
<i>Need for Speed Payback</i>	65,071	21,690
<i>FIFA 19</i>	60,005	20,002

Tabelle 4.26: Leistungsaufnahme an der Xbox One S mit der Chroma im aktiven Spielbetrieb mit *Red Dead Redemption 2*, *Need for Speed Payback* und *FIFA 19*

Eine anschauliche Darstellung im aktiven Spielbetrieb ist in der Abbildung 4.27 gegeben. Hier ist der Stromverbrauch der Xbox One S in Abhängigkeit von der Dynamik des Spieles zu sehen.

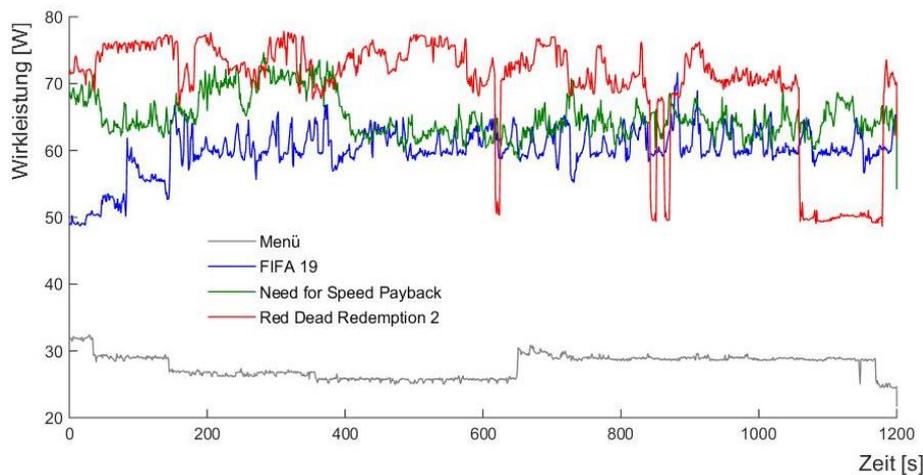


Abbildung 4.27: Leistungsaufnahme an der Xbox One S mit der Chroma im aktiven Menü- und Spielbetrieb mit *Red Dead Redemption 2*, *Need for Speed Payback* und *FIFA 19*

Bei den Messungen im Player-Modus wurde wieder die gleiche Sequenz aus dem Film *Avatar* mit der Blu-ray beziehungsweise der DVD abgespielt. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Xbox One S im Player- und Streaming-Modus immer mit der höchsten Auflösung in Full HD abgespielt wurde. Parallel dazu wurde unter den gleichen Bedingungen auch mit der *Voltcraft* gemessen. Bei einem direkten Vergleich beider Messmethoden resultieren bei der Xbox One S im Player- und Streaming-Modus stets Werte im selben Messbereich von 33 Watt.

4.4.5 Nintendo SWITCH-Messungen

Bei den Messungen im aktiven Spielbetrieb ist anzumerken, dass nur die Chroma die schnellen Änderungen im Spiel und somit die Leistungsspitzen erfassen konnte. Der Grund dafür liegt darin, dass die Voltcraft die schnellen Spielabläufe mit einem hohen Stromverbrauch nur sehr grob erfasst und nicht in der Lage ist, den tatsächlichen Lastvorgang der SWITCH nachzubilden. Die Voltcraft qualifiziert sich dennoch für Langzeitmessungen im Standby-Zustand mit einem absehbaren dynamischen Verhalten der SWITCH.

Betriebszustand: Standby

Bei den Messungen in Bereitschaft wurden verschiedene Betriebszeiten mit und ohne eine ständige Internetverbindung berücksichtigt. Dabei hatte die „Handheld-Konsole“ im Standby-Zustand nach der *Chroma-Messmethode* eine durchschnittliche Leistungsaufnahme von 265 Milliwatt. Beim Ermitteln der Messdaten mit der Methode nach *Voltcraft* zeigte sich, dass die durchschnittliche Leistungsaufnahme mit 223 Milliwatt geringer ausfiel.

Betriebszustand: Aktiv

Die Leistungsaufnahme im aktiven Menübetrieb mit einer ständigen Internetverbindung betrug 7,16 Watt. Betrachtet man den aktiven Spielbetrieb, dann lagen die Spiele mit unterschiedlichen Auflösungen alle im Schnitt bei 11 Watt und beim Streaming im Videoportal *YouTube* bei 10 Watt.

In der Abbildung 4.28 sind anhand der Chroma-Messdaten die Unterschiede in der Leistungsaufnahme zwischen dem aktiven Menübetrieb und dem Streaming sehr gut zu erkennen. Während die Leistungsaufnahme im Streaming konstant erfolgte, war im Menübetrieb die Leistungsaufnahme in kurzen Blöcken in Form von sich stets wiederholenden Ladezyklen ersichtlich. Der Spielbetrieb mit *Mario Kart Deluxe 8* war durch die dynamische Leistungsaufnahme mit den extremen Leistungsspitzen dementsprechend kennzeichnend.

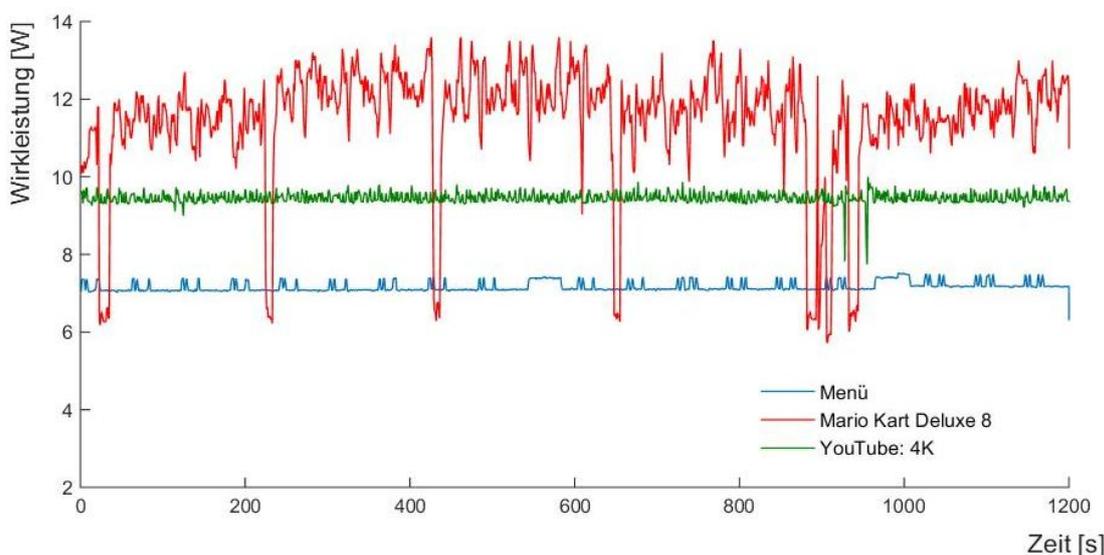


Abbildung 4.28: Leistungsaufnahme an der Nintendo SWITCH mit der Chroma im aktiven Menü- und Spielbetrieb mit *Red Dead Redemption 2*, *Need for Speed Payback* und *FIFA 19*

5. Datenauswertung der Spielkonsolen

Die mit den Chroma- und Voltcraft-Messgeräten ermittelten Datensätze wurden für die Auswertung visualisiert und analysiert. Wie schon im Teilkapitel 4.4 bei den Messungen festgestellt, trat der größte Energieverbrauch bei den Spielkonsolen im aktiven Spielbetrieb auf und die geringste Leistungsaufnahme im Aus-Zustand. Dabei war die Leistungsaufnahme stets von der Auflösung des jeweiligen Spieles abhängig. Die höchste Auflösung mit dem größten Energieverbrauch wurde durch das Austesten mit dem Spiel *Red Dead Redemption 2* an den Spielkonsolen ermittelt. Insofern wurde beim Auswerten im aktiven Spielbetrieb stets das Spiel *Red Dead Redemption 2* herangezogen.

Es werden im ersten Unterpunkt die gemessene Wirkleistung und Stromstärke in Abhängigkeit von der Spielkonsole als Last für die drei Betriebszustände betrachtet. Dabei sollen anhand der PlayStation 4 Pro beide Messmethoden in den Betriebszuständen Aus, Standby und Aktiv miteinander verglichen werden. Es wird der Energieverbrauch im aktiven Spielbetrieb in Abhängigkeit zur jeweiligen Spielereinstellung veranschaulicht und besprochen. Dabei wurde anhand des Spieles *FIFA 19*, mit den in unterschiedlichen Spielereinstellungen gemessenen Daten, beide Messmethoden miteinander verglichen. Mit der zweiten leistungsstarken Spielkonsole, der Xbox One X wurde vor allem der Standby-Zustand betrachtet. Dabei erfolgte die Auswertung beider Messmethoden einerseits durch die Beurteilung der Energieeffizienz mit dem Leistungsfaktor $\cos(\varphi)$ und andererseits wird die Bedeutung der Messdauer in der Leistungsaufnahme verdeutlicht. Das ist insofern von Bedeutung, weil die Chroma jede Sekunde eine Einzelmessung aufnimmt, während mit der Voltcraft aufgrund der groben Abtastung nicht alle Änderungen des Stromverlaufes erfasst werden können. Hier werden die Unterschiede beider Messmethoden in Abhängigkeit von der Messdauer betrachtet, um die passende Messmethode zu evaluieren.

Im zweiten Unterpunkt erfolgt zwischen den gemessenen Messwerten und jenen veröffentlichten Daten der Spielkonsolen-Herstellern ein direkter Vergleich. Dabei zeigt sich mit der zu evaluierenden Messmethode ein signifikant größerer Energieverbrauch als von den Herstellern angegeben. Neben den leistungsstarken Konsolen werden auch die Daten der Nintendo SWITCH betrachtet, die mit der Spieldauflösung der PlayStation 4 oder der Xbox One nicht mithalten kann und eine durchgehend ziemlich vordefiniertes „Kontroller-Muster“ besitzt. Anzumerken sind auch die beschränkten Handlungsspielräume der SWITCH, wobei die bespielte Hintergrundebene nicht während des Spielens gerendert wird. Dafür kann sie aber einen sehr geringen Energieverbrauch im aktiven Spielbetrieb und im Videostreaming vorweisen.

Für den jährlichen Energieverbrauch muss wie im Teilkapitel 3.2 bereits erläutert nach der Norm DIN EN 50564 [12] eine konstante Leistung hochgerechnet werden. Damit dann die Energieeffizienzmessungen der Spielkonsolen über das ganze Jahr interpretiert und miteinander verglichen werden können, muss das Nutzungsverhalten der Spieler berücksichtigt werden. Dazu wird die Studie der Natural Resources Defense Council ³ (NRDC) aus der Tabelle 5.1 herangezogen [48].

Aus der NRDC Studie geht hervor, dass in den USA der größte Teil der Konsumenten die Spielkonsole in den Standby-Zustand und nicht in den Aus-Zustand versetzen, wenn sie nicht verwendet wird. Laut dem Nutzungsszenario der NRDC verbleiben in etwa 90 Prozent der Spielkonsolen im Standby-Zustand mit ständiger Internetverbindung, während nur 10 Prozent in den Aus-Zustand wechseln. Demnach werden die Spielkonsolen 18 bis 19 Stunden am Tag im Standby-Zustand mit ständiger Internetverbindung betrieben und nur zwei Stunden am Tag in den Aus-Zustand heruntergefahren [48]. Die Leistungsaufnahme im Standby-Zustand macht sich dementsprechend mit einem hohen jährlichen Energieverbrauch bemerkbar.

Nutzungsszenario der PS4 und Xbox One		
Konsolen Modus	PS4 Nutzungsszenario [Stunden pro Tag]	Xbox One Nutzungsszenario [Stunden pro Tag]
Aus	2,11	2,00
Standby	18,98	17,96
Media	1,24	2,37
Menü / Navigation	0,23	0,23
Aktives Spielen	1,45	1,45

Tabelle 5.1: Tägliches Nutzungsszenario für die PlayStation 4 und die Xbox One, NRDC [48]

Beim Eruiere des jährlichen Energieverbrauches im Standby-Zustand wurden stets die ermittelten Messdaten mit ständiger Internetverbindung herangezogen, wie jene im Nutzungsszenario der NRDC-Studie. Es wird im Weiteren darauf verzichtet andere Studien heranzuziehen. Denn die daraus resultierenden Datensätze mit verschiedenen Nutzungsszenarien würden nicht mehr zum Informationsgehalt der Arbeit beitragen.

5.1 Auswertung der Chroma- und Voltcraft-Messdaten

Es werden in den Unterpunkten beide Messverfahren miteinander verglichen, wobei nur die leistungsstarken Spielkonsolen betrachtet werden. Dabei ist anzumerken, dass die gewonnenen Erkenntnisse für alle ausgemessenen Spielkonsolen gelten und hier nicht mehrfach dokumentiert werden. Insofern wird mit der PlayStation 4 Pro (PS4 Pro) die Wirkleistung in Abhängigkeit von der Stromstärke und damit die Widerstandskennlinie der Konsole in allen Betriebszuständen betrachtet. Im Weiteren wird mit der PS4 Pro die Leistungsaufnahme in Abhängigkeit von der Spielereinstellung am Beispiel *FIFA 19* verdeutlicht. Mit der Xbox One X werden die Unterschiede beider Mess-

³ Eine international tätige gemeinnützige Umweltorganisation [48]

verfahren durch die Beurteilung der Energieeffizienz mit dem Leistungsfaktor $\cos(\varphi)$ und in Abhängigkeit der Messdauer betrachtet und besprochen.

5.1.1 Datenauswertung der PlayStation 4 Pro

Spielkonsolen sind wie alle Elektrogeräte als Verbraucher zu betrachten. Insofern ist die PlayStation 4 Pro (PS4 Pro) eine Last, die Leistung aufnimmt. Die Wirkleistung resultiert dabei immer aufgrund der Wirkwiderstände [23]. Mit den Chroma- und Voltcraft-Messdaten aus 4.4.1 wird die Wirklast in den Betriebszuständen Aus, Standby und Aktiv betrachtet. Dabei ist in der Abbildung 5.1 durch die Widerstandskennlinie der Unterschied beider Messverfahren deutlich zu erkennen. Während mit der Messmethode nach Chroma durch die vielen Einzelmessungen das dynamische Lastverhalten der PS4 Pro sehr gut nachgebildet wird, ist hingegen mit der Voltcraft lediglich ein kleiner Auszug der Wirklast zu erkennen. Das macht sich vor allem im Standby-Zustand bemerkbar. Dabei werden bei einer Messdauer von zehn Minuten mit der Chroma 600 Punkte und mit dem Voltcraft nur zehn Punkte in der Abbildung 5.1 dargestellt. Die Chroma erfasste damit eine durchschnittliche Wirkleistungsaufnahme von 1,03 Watt und die Voltcraft von nur 660 Milliwatt.

Im Aus-Zustand konnte mit der Voltcraft-Messmethode eine viel größere Leistungsaufnahme mit 354 Milliwatt ermittelt werden als mit der Chroma mit 250 Milliwatt. Das resultierte aus der Tatsache, dass mit der Voltcraft den ganzen Tag gemessen wurde und mit der Chroma nur zehn Minuten. Und obwohl mit der Voltcraft 1440 Einzelmessungen stattfanden und die Daten mit 1440 Punkten aufgelöst werden, ist es in der Abbildung 5.1 grafisch kaum ersichtlich. Hingegen wurde mit der Chroma das dynamische Verhalten der Spielkonsole sehr gut erfasst. Das liegt daran, dass die Chroma aufgrund der guten Auflösung sämtliche Änderungen hinreichend genau erfassen kann.

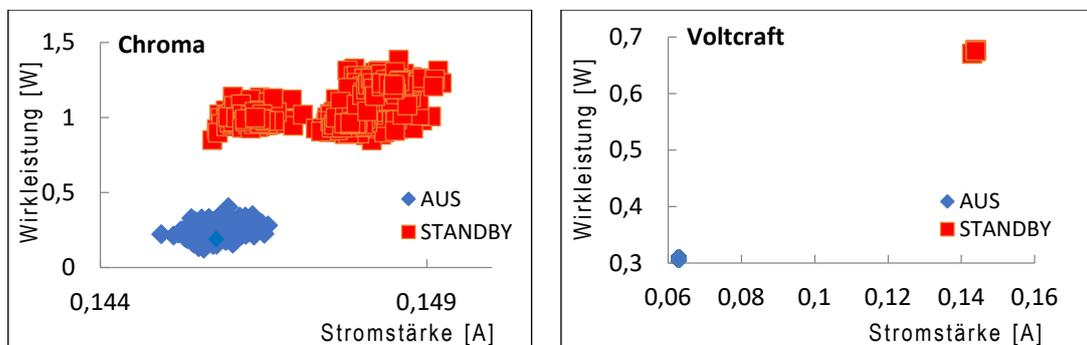


Abbildung 5.1: Gegenüberstellung der Chroma- und Voltcraft-Messdaten im Aus- und Standby-Zustand

Im aktiven Betrieb zeigt sich in der Abbildung 5.2 ein fast identes Bild beider Messmethoden. Die Leistungsaufnahme im aktiven Menü- und Spielbetrieb liegt im selben Messbereich. Sie unterscheiden sich nur durch die bessere Auflösung der Chroma, die im Gegensatz zum Voltcraft wieder das dynamische Lastverhalten der Spielkonsole anschaulich wiedergibt.

In der Abbildung 5.2 ist im aktiven Spielbetrieb mit *Red Dead Redemption 2* ersichtlich, dass die Voltcraft in der Lage ist auch Änderungen im Spielverlauf zu erfassen. Dabei resultiert die Änderung des Lastverhaltens stets aufgrund der sich ändernden Leistungsaufnahme in Abhängigkeit zur Spielauflösung.

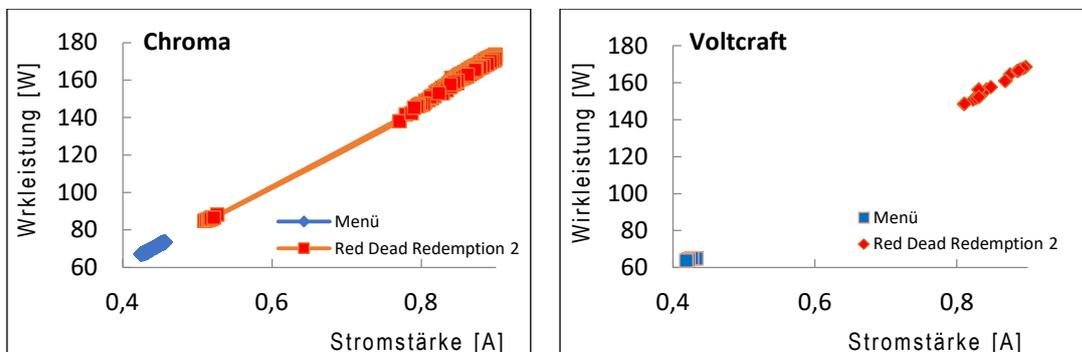


Abbildung 5.2: Gegenüberstellung der Chroma- und Voltcraft-Messdaten im Aktiv-Zustand

Neben dem Vergleich beider Messmethoden in unterschiedlichen Betriebszuständen, wird in der Abbildung 5.3 das Lastverhalten in Abhängigkeit zur Spielereinstellung am Beispiel *FIFA 19* betrachtet. Wie schon in den Messungen in 4.4.1 besprochen und anhand der Messwerte in der Tabelle 4.7 und Tabelle 4.13 gelistet, unterschieden sich die Leistungsaufnahme in Abhängigkeit von der Spielereinstellung.

Mit beiden Messmethoden konnte hier festgestellt werden, dass sich das Lastverhalten mit der Spielereinstellung änderte. Sogar die Voltcraft-Messmethode mit der „groben“ Abtastung war in der Lage die geringen Änderungen in der Leistungsaufnahme zu erfassen. Hier wurde in Abbildung 5.3, im rechten Bild bewusst bei der Voltcraft-Darstellung nur die Spielereinstellungen „Anfänger“ und „2 Spieler“ gewählt, um den Kontrast deutlicher zu veranschaulichen.

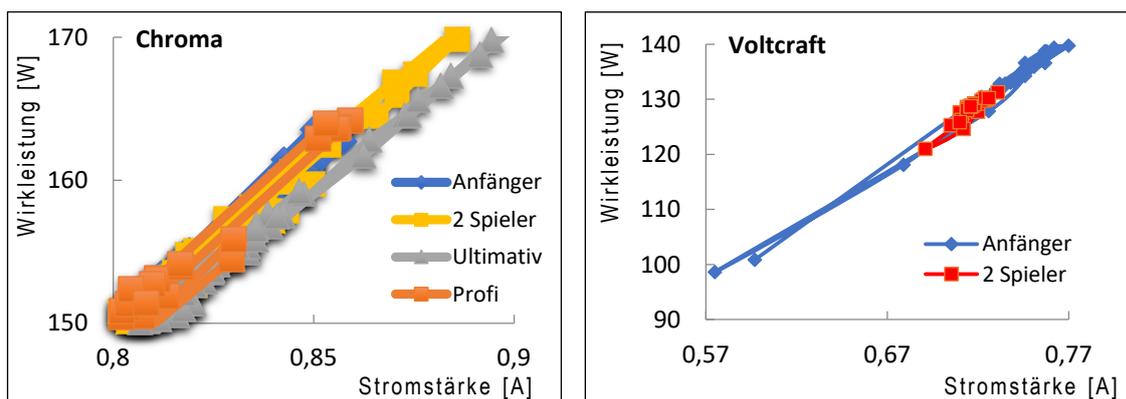


Abbildung 5.3: Gegenüberstellung der Chroma- und Voltcraft-Messdaten im aktiven Spielbetrieb mit *FIFA 19*

5.1.2 Datenauswertung der Xbox One X

Im vorhergegangenen Unterpunkt 5.1.1 sind beide Messmethoden bereits in allen drei Betriebszuständen betrachtet und das Lastverhalten in Abhängigkeit zur Spielereinstellung besprochen. Da der Energieverbrauch der Spielkonsolen in Bereitschaft eine wichtige Rolle spielt, wurden bei der zweiten leistungsstarken Spielkonsole beide Messmethoden im Standby-Zustand betrachtet. Damit eine qualitative Aussage beider Messmethoden hinsichtlich der Energieeffizienz getroffen werden kann, wird hier der Leistungsfaktor $\cos(\varphi)$ betrachtet. Außerdem wird die Bedeutung der Messdauer in der Leistungsaufnahme verdeutlicht. Das ist insofern von Bedeutung, weil die Chroma jede Sekunde eine Einzelmessung aufnimmt, während mit der Voltcraft aufgrund der groben Abtastung nicht alle Änderungen des Stromverbrauches erfasst werden können.

Wie schon zuvor besprochen ist die Leistungsmessung stets vom Lastverhalten, den Widerständen, Induktivitäten und Kapazitäten der Spielkonsole abhängig. Insofern sind bei der Leistungsaufnahme neben der Wirkleistung auch die Scheinleistung und Blindleistung zu beachten. Die Blindleistung Q ist ein Maß für die gespeicherte Leistung, die in der Spielkonsole gespeichert und wieder abgegeben wird. Dabei resultiert ein Strom, der für den Energieaustausch und damit für die Umladevorgänge verantwortlich ist [24]. Man spricht hier dann von einer induktiven und kapazitiven Blindleistung:

- Bei $Q = U \cdot I \cdot \sin(\varphi) > 0$ zeigt die Spielkonsole induktives Verhalten, wenn das Gerät Blindleistung aufnimmt.
- Bei $Q = U \cdot I \cdot \sin(\varphi) < 0$ zeigt die Spielkonsole kapazitives Verhalten, wenn das Gerät Blindleistung an die Quelle abgibt.

Die Blindleistung wurde in *Var* gemessen. Im Gegensatz zur Wirkleistung besitzt die Scheinleistung keine unmittelbare physikalische Bedeutung. Sie gibt aber die maximal mögliche Wirkleistung bei gegebener Spannung U , Strom I und variablem Phasenwinkel φ an. Damit charakterisiert die Scheinleistung die Grenzen der Funktionsfähigkeit der Spielkonsole [24]. Sie wurde in *VA* gemessen und angegeben. Dabei bestehen zwischen der Wirkleistung P , der Blindleistung Q und der Scheinleistung S folgende Beziehungen [24]:

$$P^2 + Q^2 = S^2 \quad P = S \cdot \cos(\varphi) \quad Q = P \cdot \tan(\varphi)$$

Diese Beziehungen, die Zusammenhänge zwischen den drei Leistungen lassen sich in Abhängigkeit der Phasenverschiebung in der Abbildung 5.4 im Leistungsdreieck verdeutlichen.

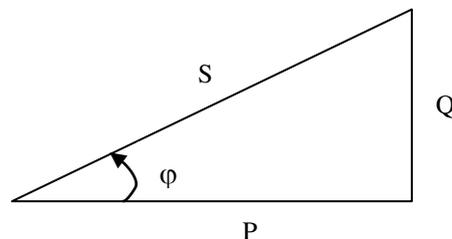


Abbildung 5.4: Leistungsdreieck, eigene Darstellung nach [24]

Der Phasenverschiebungswinkel φ im Leistungsdreieck ist auch ein Indikator für die Verluste. Je größer der Phasenverschiebungswinkel φ ist, umso kleiner sind die Verluste. Dabei ist das Verhältnis zwischen der Wirkleistung und Scheinleistung bei der Beurteilung der Energieeffizienz von großer Bedeutung:

$$\cos(\varphi) = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

Das Verhältnis wird als Leistungsfaktor $\cos(\varphi)$ bezeichnet. Aus der Formel [49] ist ersichtlich, dass eine Verbesserung des Leistungsfaktors $\cos(\varphi)$ durch die Verringerung der Blindleistung Q erfolgt. Der Leistungsfaktor $\cos(\varphi)$ ist bei der Beurteilung der Energieeffizienz insofern von Bedeutung, als zum Beispiel das Lastverhalten der Spielkonsole eine bestimmte Wirkleistung bei vorgegebener Spannung U benötigt, dann wird dementsprechend der Stromverbrauch I umso größer ausfallen, je kleiner der Leistungsfaktor $\cos(\varphi)$ ist [49]:

$$I = \frac{P}{U} \cdot \frac{1}{\cos(\varphi)}$$

Anhand des Leistungsfaktors ist es möglich abzuschätzen, in welchen Betriebszustand es sich bei der Spielkonsole um einen Blindleistungsverbraucher oder -erzeuger handelt. Denn der ermittelte Leistungsfaktor verrät zum Beispiel bei $\cos(\varphi) = 0,8$ ein induktives Verhalten und bei $\cos(\varphi) = 0,5$ ein kapazitives Verhalten [50].

In der Abbildung 5.5 ist das Leistungsdreieck der Xbox One X im Standby-Zustand dargestellt. Bei der Gegenüberstellung der beiden Messmethoden ist ersichtlich, dass die Chroma aufgrund der besseren Auflösung das dynamische Lastverhalten der Spielkonsole und somit die Zusammenhänge der Wirkleistung P , der Blindleistung Q und der Scheinleistung S genauer nachbildet. Dabei ist anzumerken, dass auch mit den Voltcraft-Messdaten ein ähnlicher Leistungsfaktor $\cos(\varphi)$ resultierte.

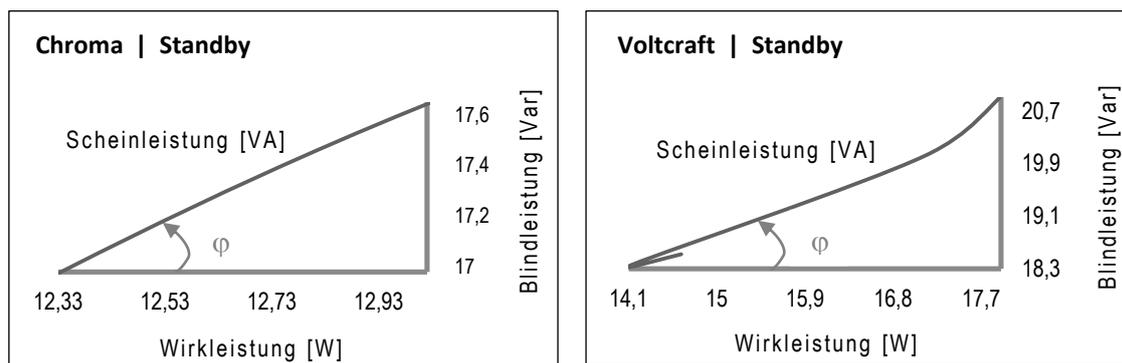


Abbildung 5.5: Gegenüberstellung vom Chroma- und Voltcraft-Leistungsfaktor im Standby-Zustand

Mit den ausgewerteten Messdaten zeigt sich, dass mit der Chroma ein Leistungsfaktor $\cos(\varphi) = 0,60$ und mit dem Voltcraft ein Leistungsfaktor $\cos(\varphi) = 0,63$ im Standby-Zustand resultierte.

Einen viel besseren Leistungsfaktor $\cos(\varphi)$ lieferten beide Messmethoden im aktiven Spielbetrieb. Dabei zeigt sich mit dem ausgetesteten Spiel *Red Dead Redemption 2* mit der Chroma ein Leistungsfaktor $\cos(\varphi) = 0,93$ und mit dem Voltcraft ein Leistungsfaktor $\cos(\varphi) = 0,91$. Damit hatte die Xbox One X im aktiven Spielbetrieb einen Leistungsfaktor $\cos(\varphi)$ von nahezu eins und wies vor allem bei der größten Leistungsaufnahme ein energieeffizientes Lastverhalten auf. Auf der anderen Seite zeigte sich, dass die Xbox One X vor allem im Standby-Zustand einen ineffizienten Energieverbrauch besitzt.

Im Teilkapitel 4.4 wurde beim Ausmessen der Spielkonsolen festgestellt, dass sich beide Messmethoden in der Datenerfassung in Abhängigkeit der Messdauer unterscheiden. Das resultierte mitunter dadurch, dass mit dem Chroma durch die vielen Einzelmessungen im selben Zeitraum genauer gemessen wurde als mit der Messmethode nach Voltcraft. In nur einer Minute standen dem Chroma sechzig Einzelmessungen zur Verfügung, während mit der Voltcraft nur eine Einzelmessung stattfand. Für ein genaues, aussagekräftiges Messergebnis sollten mindestens 200 Einzelmessungen herangezogen werden [21]. Unabhängig davon sollte aber die Leistung, wie im Falle nach der Chroma-Messmethode, mindestens einmal die Sekunde aufgenommen werden, um sämtliche Stromspitzen zu erfassen. So kann es aber mit der Messmethode nach Voltcraft passieren, dass genau in dem Moment der Leistungsaufnahme eine oder keine Stromspitze auftritt. Insofern kann in drei Minuten ein größerer oder kleinerer Leistungswert ermittelt werden als in zehn Minuten.

Das wird am Beispiel mit der Xbox One X im Standby-Zustand in der Abbildung 5.6 verdeutlicht. Hier ist deutlich zu erkennen, dass die aufgenommene Wirkleistung mit einer Messdauer von 3,3 Minuten größer ausfiel als in 10 Minuten.

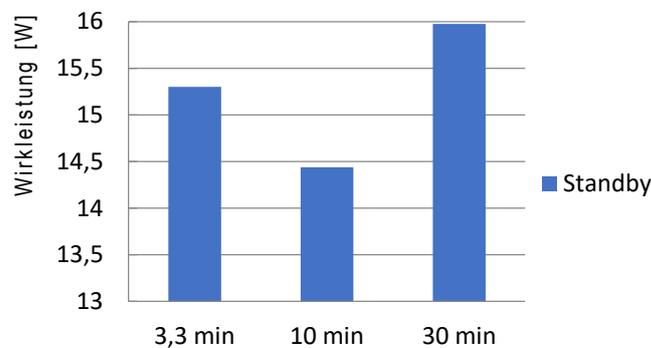


Abbildung 5.6: Wirkleistung in Abhängigkeit der Messdauer, im Standby-Zustand mit der Voltcraft ermittelt

Die ausgetestete Xbox One X weist im betrachteten Standby-Zustand keine unregelmäßigen Leistungsspitzen auf, sondern ein in sich wiederholendes dynamisches Systemverhalten. Insofern wurde die Leistungsaufnahme mit zunehmender Messdauer größer. Das bildet die ideale Ausgangssituation um beide Messmethoden miteinander zu vergleichen. So zeigt sich in der Abbildung 5.7 mit der Leistungsaufnahme nach der Chroma-Messmethode ein anderes Bild als zuvor in der Abbildung 5.6 mit der Voltcraft.

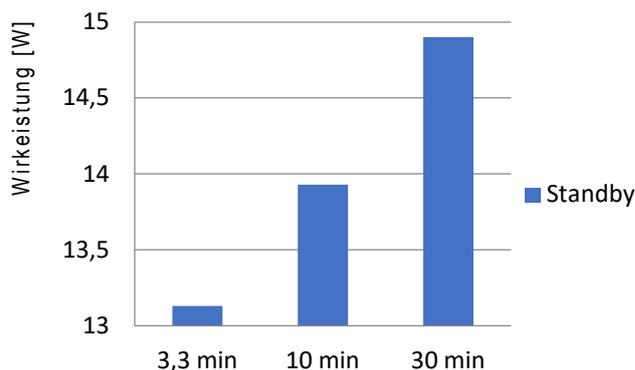


Abbildung 5.7: Wirkleistung in Abhängigkeit der Messdauer, im Standby-Zustand mit der Chroma ermittelt

Die Chroma erfasste mit zunehmender Messdauer die kurzfristig auftretenden Stromspitzen. Es ist wichtig anzumerken, dass nicht mit ständig wachsender Beobachtungsdauer auch die Leistungsaufnahme der Spielkonsole steigt. Im Falle der Xbox One X zeigte sich im Standby-Zustand, dass die Wirkleistung nach dreißig Minuten nicht größer wurde, sondern sich das dynamische Systemverhalten mit sämtlichen Stromspitzen wiederholte.

Bei mehrmaligen Wiederholungen der Chroma-Messungen an allen Spielkonsolen zeigte sich, dass sich die durchschnittliche Leistungsaufnahme bei einer Messdauer von bis zu sechzig Minuten in den Betriebszuständen Aus und Standby nicht sonderlich änderte. Im Falle der Voltcraft-Messmethode sollte aber eine lange Beobachtungsdauer gewählt werden.

5.2 Vergleich der Messdaten mit den Studiendaten der Spielkonsolen-Produzenten

Damit der Vergleich besser verdeutlicht wird, wurden die Messdaten aus dem Teilkapitel 4.4 wie jene der Herstellerangaben auf- und abgerundet. Dabei werden stets die höchsten, gemessenen Daten, die mit dem Chroma- und Voltcraft-Messgerät ermittelt wurden, herangezogen und auf zwei beziehungsweise drei Dezimalstellen gerundet. Auch hier stehen beim hohen Energieverbrauch die leistungsstarken Spielkonsolen, die PlayStation 4 Pro und Xbox One X, im Mittelpunkt. Dabei ist aber auch bei den leistungsschwachen Spielkonsolen eine höhere Wirkleistungsaufnahme als von den Herstellern angegeben ersichtlich. Interessant ist auch der Energieverbrauch der Nintendo SWITCH, einer „Handheld-Konsole“, deren angegebene Referenzwerte kurz besprochen werden. Für die Analyse im aktiven Spielbetrieb wird das Spiel *Red Dead Redemption 2* herangezogen, weil es einerseits von den getesteten Spielen die höchsten Leistungsaufnahmen berücksichtigt und andererseits die Konsolenhersteller einen Referenzwert für die Auswertung angeben.

5.2.1 PlayStation 4 Pro

In allen drei Betriebszuständen ließ sich bei der PlayStation 4 Pro (PS4 Pro) mit der Chroma-Messmethode ein größerer Energieverbrauch als vom Hersteller [3] angegeben ermitteln. Die hohe Leistungsaufnahme machte sich vor allem im aktiven Betrieb durch das dynamische Lastenverhalten der Konsole bemerkbar. Im Besonderen weichen die gemessenen Werte im Player- und Streaming-Modus von den Daten des Herstellers ab.

Betriebszustand: Aus

Bei der Messung im Aus-Zustand erfasste das Chroma bei einer Messdauer von zehn Minuten und das Voltcraft mit einer Langzeitmessung von einem Tag eine größere Leistungsaufnahme als der angegebene Referenzwert. Dabei ist in der Tabelle 5.2 ersichtlich, dass die Voltcraft-Messmethode mit 1440 Einzelmessungen eine durchschnittliche Wirkleistung von 0,40 Watt aufnahm.

PS4 Pro im Aus-Zustand		
Messdaten	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch in der Stunde [kWh]
Chroma	0,30	0,0003
Voltcraft	0,40	0,0004
Herstellerangabe	0,20	0,0002

Tabelle 5.2: Vergleich der PS4 Pro-Daten im Aus-Zustand

Betriebszustand: Standby

Auch in der Bereitschaft ließ sich bei der PS4 Pro ein größerer Energieverbrauch ermitteln als vom Hersteller angegeben. Dabei misste das Chroma eine Wirkleistung von 5,20 Watt.

PS4 Pro im Standby-Zustand		
Messdaten	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch in der Stunde [kWh]
Chroma	5,20	0,0052
Voltcraft	0,70	0,0007
Herstellerangabe	1,70	0,0017

Tabelle 5.3: Vergleich der PS4 Pro-Daten im Standby-Zustand

Betriebszustand: Aktiv

Bei der Ermittlung der Leistungsaufnahme im aktiven Menübetrieb mit einer Ultra High Definition (UHD) Auflösung wurde bewusst jener Messwert mit der kürzesten, erlaubten Messdauer von 3,3 Minuten herangezogen. Das ist insofern von Bedeutung, weil dadurch so wenig wie möglich Stromspitzen berücksichtigt wurden. Dennoch lag der resultierende Wert höher als der vom Hersteller angegebene Referenzwert. Weil es nicht anders in den Herstellerdaten angegeben ist, wurde beim Abspielen der Blu-ray- und DVD-Datenträger die Einstellung der Videoausgabe mit der Auflösung „Automatisch“ gewählt. In der Tabelle 5.4 ist ersichtlich, dass im Player- und Streaming-

Modus bis zu 30 Watt mehr Wirkleistung aufgenommen wurde. Und auch im aktiven Spielbetrieb wurde mit der Chroma ein viel größerer Energieverbrauch ermittelt.

PS4 Pro im Aktiv-Zustand			
Messdaten	Betriebsart	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch in der Stunde [kWh]
Chroma	Menü	HD: 53,990	HD: 0,0540
Voltcraft		UHD: 65,700	UHD: 0,0657
Herstellerangabe		UHD: 64,500	UHD: 0,0645
Chroma	Player	HD: 56,100	HD: 0,0561
Voltcraft		UHD: 64,300	UHD: 0,0643
Herstellerangabe	DVD: Avatar	81,860	0,0819
Chroma		51,710	0,0517
Voltcraft		49,300	0,0493
Herstellerangabe	Player	72,040	0,0720
Chroma		53,280	0,0533
Voltcraft		54,100	0,0541
Herstellerangabe	Blu-ray: Avatar	80,860	0,0809
Chroma		51,410	0,0514
Voltcraft		54,700	0,0547
Herstellerangabe	Streaming:1080p	UHD: 165,290	UHD: 0,1653
Chroma		UHD: 158,793	UHD: 0,1588
Voltcraft		UHD: 158,200	UHD: 0,1582
Herstellerangabe	Aktives Spiel	UHD: 165,290	UHD: 0,1653
Chroma		UHD: 158,793	UHD: 0,1588
Voltcraft		UHD: 158,200	UHD: 0,1582
Herstellerangabe	Red Dead Redemption 2	UHD: 158,200	UHD: 0,1582

Tabelle 5.4: Vergleich der PS4 Pro-Daten im Aktiv-Zustand

5.2.2 PlayStation 4 Slim

Mit beiden Messmethoden wies die PlayStation 4 Slim (PS4 Slim) im Standby-Zustand einen kleineren Leistungswert auf als vom Hersteller angegeben. Hingegen wurde mit den Chroma-Messdaten im Aktiv-Zustand ein viel größerer Energieverbrauch als von dem Hersteller [3] angegeben ermittelt.

Betriebszustand: Aus

Der Voltcraft-Messwert ist wie in der Tabelle 5.5 ersichtlich gleich hoch wie der Referenzwert. Hingegen konnte im gleichen Betriebszustand durch mehrmaliges Messen mit der Chroma ein größerer Datenwert gemessen werden. Anhand der Chroma-Messwerte in der Tabelle 5.2 und Tabelle 5.5 sowie aus der Abbildung 4.10 und Abbildung 4.20 ist ersichtlich, dass beide Spielkonsolen von Sony ein identes Lastenbild im Aus-Zustand besitzen.

PS4 Slim im Aus-Zustand		
Messdaten	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch in der Stunde [kWh]
Chroma	0,30	0,0003
Voltcraft	0,20	0,0002
Herstellerangabe	0,20	0,0002

Tabelle 5.5: Vergleich der PS4 Slim-Daten im Aus-Zustand

Betriebszustand: Standby

Die PS4 Slim wies in Bereitschaft eine deutlich geringere Leistungsaufnahme auf, als die leistungsstarke PS4 Pro. Es ist auch zu erkennen, dass die mit beiden Messmethoden ermittelten Datensätze geringer ausfallen als der Referenzwert.

PS4 Slim im Standby-Zustand		
Messdaten	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch in der Stunde [kWh]
Chroma	1,00	0,0001
Voltcraft	0,80	0,0008
Herstellerangabe	1,80	0,0018

Tabelle 5.6: Vergleich der PS4 Slim-Daten im Standby-Zustand

Betriebszustand: Aktiv

Im Gegensatz zu den vorhergegangenen Betriebszuständen wurde im Aktiv-Zustand bei der PS4 Slim ein viel größerer Energieverbrauch als vom Hersteller angegeben gemessen. In der Tabelle 5.7 ist vor allem die hohe Leistungsaufnahme im Menübetrieb auffällig. Dabei misste die Chroma mit bis zu 30 Watt und die Voltcraft um die 1,5 Watt mehr als der angegebene Referenzwert. Im aktiven Spielbetrieb erfasste nur die Chroma-Messmethode eine höhere Leistungsaufnahme.

PS4 Slim im Aktiv-Zustand			
Messdaten	Betriebsart	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch in der Stunde [kWh]
Chroma	Menü	71,380	0,0714
Voltcraft		43,660	0,0437
Herstellerangabe		42,200	0,0422
Chroma	Aktives Spiel <i>Red Dead Redemption 2</i>	81,380	0,0814
Voltcraft		77,565	0,0776
Herstellerangabe		78,200	0,0782

Tabelle 5.7: Vergleich der PS4 Slim-Daten im Aktiv-Zustand

5.2.3 Xbox One X

Resümiert man die drei Betriebszustände Aus, Standby und Aktiv der Xbox One X, dann stehen vor allem der Aus- und Aktiv-Zustand hervor. Im Aus-Zustand liegen die mit dem Chroma und Voltcraft ermittelten Daten weit unter dem Referenzwert. Im Kontrast dazu wurde im aktiven Spielbetrieb ein Vielfaches mehr an Wirkleistung gemessen als vom Hersteller [37] angegeben. Darüber hinaus konnten im Standby-Zustand aufgrund der ständigen Internetverbindung ein höherer Wert als angegeben gemessen werden.

Betriebszustand: Aus

Unter der Einhaltung sämtlicher Messbedingungen konnte mit beiden Messvarianten kein ineffizienter Energieverbrauch im Aus-Zustand ermittelt werden. Im Gegenteil, der Referenzwert ist um einiges geringer als mit der Chroma gemessen.

Xbox One X im Aus-Zustand		
Messdaten	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch in der Stunde [kWh]
Chroma	0,30	0,0003
Voltcraft	0,20	0,0002
Herstellerangabe	0,50	0,0005

Tabelle 5.8: Vergleich der Xbox One X-Daten im Aus-Zustand

Betriebszustand: Standby

Mit der Voltcraft-Messmethode konnte auch in kurzen Messintervallen ein großer Energieverbrauch ermittelt werden. Aber auch die mit der Chroma gemessenen Daten sind größer als der Referenzwert des Herstellers.

Xbox One X im Standby-Zustand		
Messdaten	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch in der Stunde [kWh]
Chroma	13,930	0,0140
Voltcraft	15,980	0,0160
Herstellerangabe	12,000	0,0120

Tabelle 5.9: Vergleich der Xbox One X-Daten im Standby-Zustand

Betriebszustand: Aktiv

Auf den ersten Blick ist in der Tabelle 5.10 im Menübetrieb ein größerer Energiewert als vom Hersteller angegeben zu erkennen. Hier wurde mit beiden Messverfahren eine um 5 Watt größere Wirkleistung eruiert.

Xbox One X im Aktiv-Zustand			
Messdaten	Betriebsart	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch in der Stunde [kWh]
Chroma	Menü	50,780	0,0508
Voltcraft		51,340	0,0513
Herstellerangabe		46,000	0,0460
Chroma	Player	53,900	0,0539
Voltcraft		53,000	0,0530
Herstellerangabe	DVD: <i>Avatar</i>	51,000	0,0510
Chroma	Player	54,000	0,0540
Voltcraft		53,090	0,0531
Herstellerangabe	Blu-ray: <i>Avatar</i>	54,000	0,0540
Chroma	Streaming: 1080p	54,900	0,0549
Voltcraft		51,340	0,0513
Herstellerangabe		53,000	0,0530
Chroma	Aktives Spiel <i>Red Dead Redemption 2</i>	175,220	0,1752
Voltcraft		166,650	0,1667
Herstellerangabe		108,000	0,1080

Tabelle 5.10: Vergleich der Xbox One X-Daten im Aktiv-Zustand

Bei genauer Betrachtung wird im aktiven Spielbetrieb der enorme Unterschied in der Leistungsaufnahme zwischen dem gemessenen und den vom Hersteller veröffentlichten Referenzwert ersichtlich. Sogar mit der Voltcraft-Messmethode, die nicht sämtliche Änderungen im aktiven Spielbetrieb erfassen kann, wurde ein Vielfaches mehr gemessen als mit dem Referenzwert angegeben. Lediglich im Player- und Streaming-Modus wurde ein geringer Leistungsunterschied gemessen.

5.2.4 Xbox One S

Die Xbox One S wies im Aus-Zustand genau wie ihr leistungsstarker Nachfolger, die Xbox One X, eine niedrige Leistungsaufnahme auf. Auch im Player- und Streaming-Modus lag die Leistungsaufnahme der Spielkonsole unter dem Referenzwert. Das gleiche gilt auch für den aktiven Spielbetrieb, wo mit beiden Messmethoden kein allzu großer Energieverbrauch ermittelt wurde.

Betriebszustand: Aus

Die leistungsschwache Konsole zeigte in den Messungen den identen Chroma-Leistungswert wie die Xbox One X mit 300 Milliwatt auf. Mit beiden Messvarianten konnten zudem ein effizienter Energieverbrauch im Aus-Zustand ermittelt werden. In der Tabelle 5.11 ist der Referenzwert mit 0,50 Watt großzügig angegeben.

Xbox One S im Aus-Zustand		
Messdaten	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch in der Stunde [kWh]
Chroma	0,30	0,0003
Voltcraft	0,30	0,0003
Herstellerangabe	0,50	0,0005

Tabelle 5.11: Vergleich der Xbox One S-Daten im Aus-Zustand

Betriebszustand: Standby

Beide Messvarianten konnten unter Berücksichtigung der Messbedingungen keinen größeren Leistungsverbrauch als angegeben messen. Die Leistungsaufnahme in Bereitschaft zeigt in der Tabelle 5.12 die deutlichen Unterschiede zwischen dem Chroma und der Voltcraft. Mit der Voltcraft-Langzeitmessung von einem Monat wurde ein größerer Energiewert ermittelt als durch die Kurzzeitmessungen im Labor mit der Chroma.

Xbox One S im Standby-Zustand		
Messdaten	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch in der Stunde [kWh]
Chroma	9,450	0,0095
Voltcraft	10,340	0,0107
Herstellerangabe	12,000	0,0120

Tabelle 5.12: Vergleich der Xbox One S-Daten im Standby-Zustand

Betriebszustand: Aktiv

In der Tabelle 5.13 ist ersichtlich, dass im aktiven Menübetrieb mit beiden Messmethoden ein geringer Leistungsunterschied als vom Hersteller [37] angegeben, ermittelt wurde. Im Gegensatz dazu konnte im Player- und Streaming-Modus weder mit der Chroma noch mit dem Voltcraft ein ineffizienter Energieverbrauch ermittelt werden. Auch im aktiven Spielbetrieb liegen die gemessenen Daten nur ein wenig über dem Referenzwert, sodass hier nicht zwingend von einem starken Lastverhalten gesprochen werden kann.

Xbox One S im Aktiv-Zustand			
Messdaten	Betriebsart	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch in der Stunde [kWh]
Chroma	Menü	27,720	0,0277
Voltcraft		29,240	0,0292
Herstellerangabe		27,000	0,0270
Chroma	Player DVD: <i>Avatar</i>	32,380	0,0324
Voltcraft		30,500	0,0310
Herstellerangabe		33,000	0,0330
Chroma	Player Blu-ray: <i>Avatar</i>	33,740	0,0337
Voltcraft		32,040	0,0320
Herstellerangabe		39,000	0,0390
Chroma	Streaming: 1080p	31,980	0,0320
Voltcraft		25,430	0,0254
Herstellerangabe		32,000	0,0320
Chroma	Aktives Spiel <i>Red Dead Redemption 2</i>	70,020	0,0700
Voltcraft		73,590	0,0736
Herstellerangabe		70,000	0,0700

Tabelle 5.13: Vergleich der Xbox One S-Daten im Aktiv-Zustand

5.2.5 Nintendo SWITCH

Neben den leistungsstarken Konsolen werden auch die Daten der Nintendo SWITCH betrachtet, die zwar mit der Spielaufklärung der PlayStation 4 oder der Xbox One nicht mithalten kann und „beschränkte Handlungsspielräume“ besitzt, dafür aber einen sehr geringen Energieverbrauch vorweisen kann. Die „Handheld-Konsole“ weist nicht nur im aktiven Spielbetrieb, sondern vor allem im Videostreaming eine geringe Leistungsaufnahme auf. Im Standby-Zustand konnte mit beiden Messmethoden eine geringe Leistungsaufnahme von 265 Milliwatt gemessen werden. Auch im Aktiv-Zustand konnte kein ineffizienter Energieverbrauch ermittelt werden. Nur mit der Chroma konnte im aktiven Spielbetrieb eine Leistungsdifferenz von 500 Milliwatt ermittelt werden. Anzumerken ist, dass die Voltcraft das Lastverhalten im Spielbetrieb nicht ausreichend erfassen konnte. Die Voltcraft qualifiziert sich somit nur für eine Langzeitmessung im Standby-Zustand mit einem absehbaren dynamischen Verhalten der SWITCH.

Betriebszustand: Aktiv

In der Tabelle 5.14 werden explizit nur die Chroma-Messdaten angeführt und mit den Referenzwerten [38] verglichen. Der Grund dafür liegt darin, dass die Voltcraft die schnellen Spielabläufe mit den kurzen Stromspitzen nur sehr grob erfasste und nicht in der Lage war, den tatsächlichen Lastvorgang der SWITCH nachzubilden. Hingegen schaffte es die Chroma zumindest im aktiven Spielbetrieb eine um 500 Milliwatt größere Wirkleistung zu messen.

Nintendo SWITCH im Aktiv-Zustand			
Messdaten	Betriebsart	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch in der Stunde [kWh]
Chroma	Menü	7,16	0,0072
Referenzwert		11,000	0,0110
Chroma	Streaming	9,55	0,0096
Referenzwert		11,000	0,0110
Chroma	Aktives Spiel <i>Mario Kart Deluxe 8</i>	11,500	0,0115
Referenzwert		11,000	0,0110

Tabelle 5.14: Vergleich der Nintendo SWITCH-Daten im Aktiv-Zustand

5.2.6 Erkenntnis

Es zeigte sich bei einem Vergleich beider Messmethoden, dass vor allem das Chroma bei mehrmaligen Wiederholungen stets einen ähnlichen Messwert ermittelte. So zeichnete das Chroma bei der PlayStation 4 Pro (PS4 Pro) und PlayStation 4 Slim (PS4 Slim) im Aus-Zustand stets ein identes Lastenbild auf. Das heißt, dass beide Spielkonsolen von Sony im Aus-Zustand stets die gleiche Wirkleistung aufnahmen. Äquivalent dazu maß die Chroma auch bei den beiden anderen Spielkonsolen von Microsoft das gleiche, markante Lastenbild, während die Messmethode nach Voltcraft beim Ausmessen der Sony-Konsolen im Aus-Zustand bei einer Messdauer von bis zu 28 Tagen eine kleine Abweichung von 200 Milliwatt ergab. Bei den Spielkonsolen von Microsoft ermittelte die Voltcraft ein unterschiedliches Lastenbild mit einer Abweichung von 100 Milliwatt. Dabei ist anzumerken, dass mit der Messmethode nach Voltcraft die Höhe der aufgenommenen Leistung in Abhängigkeit von der Messdauer variierte.

Beim aktiven Spielbetrieb schaffte es aber sogar die Voltcraft mit einer langen Messdauer Änderungen der Spielauflosung während des Spielablaufes zu erfassen. So konnte bei der Xbox One X beim Spiel *Red Dead Redemption 2* ein Vielfaches mehr an aufgenommener Wirkleistung gemessen werden als von Microsoft mit dem Referenzwert angegeben. Auf der anderen Seite zeigte sich bei der PS4 Pro im Player- und Streaming-Modus, dass die Voltcraft nicht in der Lage war, den hohen Energieverbrauch zu ermitteln. Hier war die Chroma-Messmethode unabhängig von der Beobachtungsdauer in der Lage, das dynamische Lastverhalten der Spielkonsole zu erfassen und ist der Voltcraft-Messmethode vorzuziehen. Beim Vergleich der gemessenen Daten mit jenen der Spielkonsolen-Hersteller zeigte sich ein deutlicher Unterschied. Auf der einen Seite berücksichtigen die Spielkonsolen-Hersteller bei einer geringen Leistungsaufnahme in den Betriebszuständen Aus und Standby die Stromspitzen und auf der anderen Seite werden im Aktiv-Zustand bei einer hohen Leistungsaufnahme die Stromspitzen offenbar ignoriert.

In der Abbildung 5.8 wird diese Vermutung durch die Gegenüberstellung der ermittelten Daten mit den Referenzdaten der Hersteller grafisch verdeutlicht.

Da die Spielkonsolen laut dem Nutzungsszenario der NRDC [48] die meiste Zeit im Standby-Zustand betrieben werden, zeichnet sich hier ein ineffizienter Energieverbrauch ab. In 5.1.2 wurde mit der leistungsstarken Xbox One X im Standby-Zustand anhand des Leistungsfaktors ein möglicher ineffizienter Energieverbrauch aufgezeigt. Aber auch der Betrieb in der Navigation beziehungsweise in der Menüführung der Spielkonsole war mit einem hohen gemessenen Energieverbrauch verbunden.

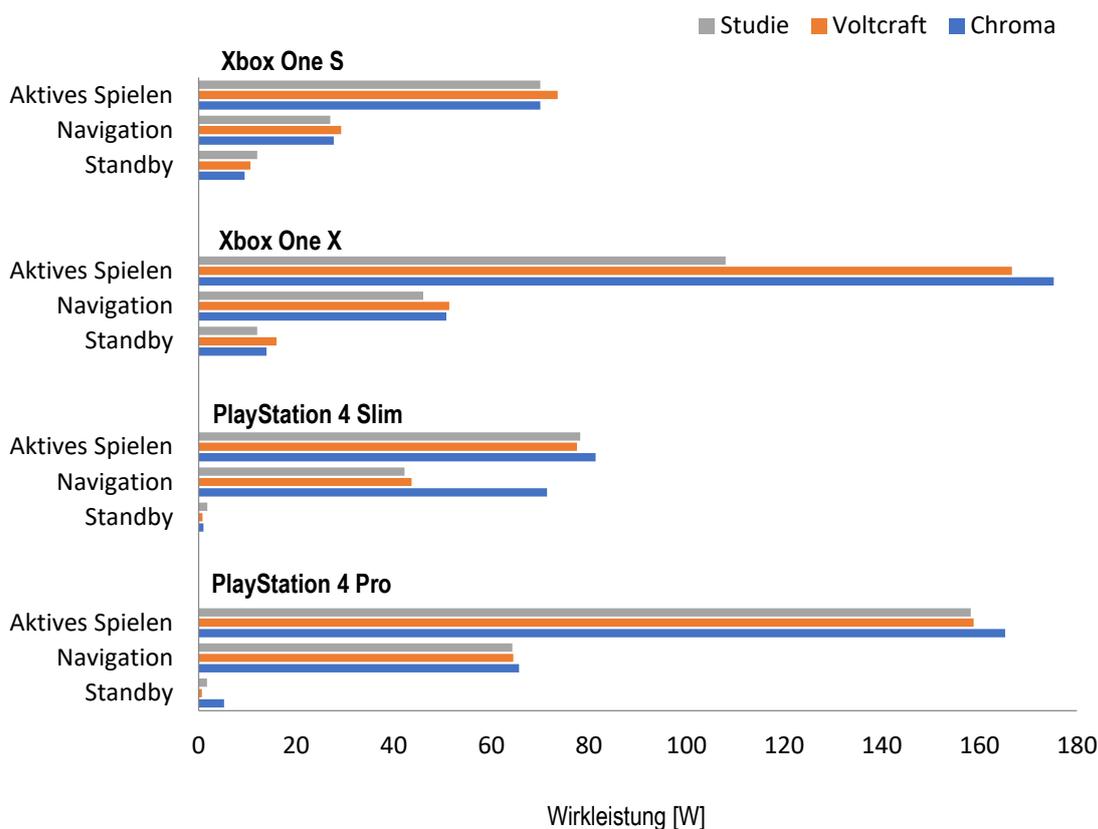


Abbildung 5.8: Wirkleistungsaufnahme der Spielkonsolen in verschiedenen Betriebszuständen, Gegenüberstellung der ermittelten Daten mit den Studiendaten der Hersteller

5.3 Jährlicher Energieverbrauch der Spielkonsolen

Für die Ermittlung des jährlichen Energieverbrauches wurden wieder die zwei leistungsstarken Spielkonsolen herangezogen. Dabei wurden die Chroma-Messdaten der PlayStation 4 Pro (PS4 Pro) und der Xbox One X mit der Videoausgabe-Einstellung „Automatisch“ oder in „Ultra High Definition“ für den Aktiv-Zustand berücksichtigt. Die Auswertung erfolgte insofern mit den Chroma-Datensätzen, weil sie wie zuvor besprochen das dynamische Lastverhalten der Spielkonsolen durch die genaue Auflösung am besten charakterisieren. Wie hoch der jährliche Energie-

verbrauch in den Betriebszuständen vergleichsweise ausfällt, lässt sich durch das Nutzungsszenario der Natural Resources Defense Council (NRDC) aus Tabelle 5.1 ermitteln. Es wird im Weiteren die TEC-Methode (Typical Electricity Consumption) verwendet, um den jährlichen Energieverbrauch der Spielkonsolen anhand der Leistungsaufnahme und der Nutzungsdaten abzuschätzen. Alle Daten, die für die Ermittlung des Jahresverbrauches herangezogen wurden, resultierten aus der durchschnittlichen gemessenen Leistungsaufnahme.

In der Tabelle 5.15 ist anhand des hochgerechneten jährlichen Energieverbrauches der Unterschied im Energieverbrauch zwischen dem Aus- und Standby-Zustand sehr gut ersichtlich. Aber auch im Media-Modus, wenn die PS4 Pro als Player und für das Streaming von Videos verwendet wurde, macht sich ein sehr hoher Energieverbrauch bemerkbar.

PS4 Pro - Jährlicher Energieverbrauch			
Modus	Nutzungsszenario [Stunden pro Tag]	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	TEC [kWh]
Aus	2,11	0,253	0,20
Standby	18,98	5,200	36,02
Media	1,24	87,675	39,68
Menü / Navigation	0,23	65,700	5,52
Aktives Spielen	1,45	165,290	87,48

Tabelle 5.15: Jährlicher Energieverbrauch der PS4 Pro, nach NRDC [48]

Die Abbildung 5.9 verdeutlicht sehr anschaulich, dass der Energieverbrauch in der Menüführung im Gegensatz zum Standby-Zustand verschwindend klein ist.

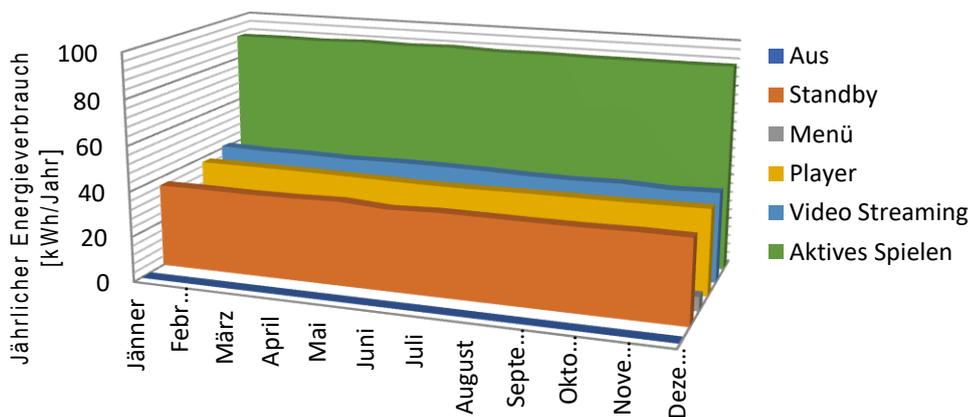


Abbildung 5.9: Jährlicher Energieverbrauch der PlayStation 4 Pro

Anzumerken ist, dass sowohl bei der PS4 Pro als auch bei der Xbox One X für den Standby-Zustand stets die Messdaten mit ständiger Internetverbindung herangezogen wurden. Beim Betrachten des Standby-Zustands über das ganze Jahr wurde auch das Herunterladen einer geringen Datenmenge, vor allem bei der Xbox One X im Instant-On-Modus, berücksichtigt.

Der Betriebszustand Standby ist insofern von Bedeutung, weil gerade hier der größte ineffiziente Energieverbrauch auftritt. Und genau in diesem Punkt könnte die EU, laut der Richtlinie 2009/125/EG [11] für energieverbrauchsrelevante Produkte, eine Senkung des ineffizienten Energieverbrauches verlangen. Dabei könnten die Spielkonsolenhersteller dazu gedrängt werden, die Konsolen so auszulegen, dass ein direkter Wechsel vom Aktiv-Zustand in den Aus-Zustand stattfindet. Klarerweise müsste man dafür auf einen Standby-Zustand mit dem Herunterladen von Daten verzichten.

In der Tabelle 5.16 ist der jährliche Energieverbrauch nach dem Nutzungsszenario der NRDC und auf der Basis der gemessenen Daten hochgerechnet. Dabei wurde bei der Xbox One X vor allem im Standby-Zustand ein sehr ineffizienter Energieverbrauch festgestellt.

Xbox One X - Jährlicher Energieverbrauch			
Modus	Nutzungsszenario [Stunden pro Tag]	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	TEC [kWh]
Aus	2,00	0,295	0,22
Standby (Instant-On)	17,96	13,930	91,32
Media	2,37	55,034	47,61
Menü / Navigation	0,23	50,780	4,26
Aktives Spielen	1,45	175,220	92,74

Tabelle 5.16: Jährlicher Energieverbrauch der Xbox One X, nach NRDC [48]

Im direkten Vergleich zwischen dem Standby-Zustand und dem aktiven Spielbetrieb unterscheiden sich beide nur gering voneinander. Das ist auch deutlich in der Abbildung 5.10 zu erkennen. Der Aus-Zustand ist dagegen verschwindend klein.

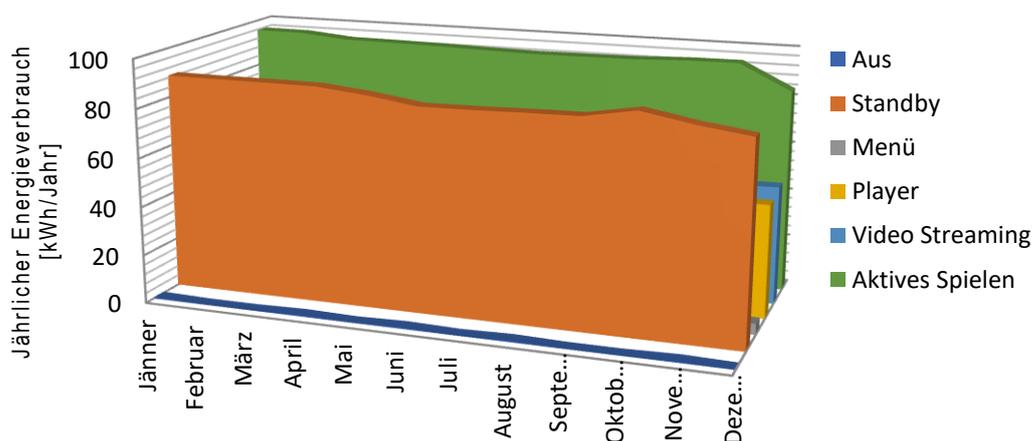


Abbildung 5.10: Jährlicher Energieverbrauch der Xbox One X

In 5.1.2 wurde bei der Xbox One X im Standby-Zustand ein ineffizienter Energieverbrauch mit einem Leistungsfaktor $\cos(\varphi) = 0,60$ festgestellt. Zugleich wurde für die Xbox One X im aktiven Spielbetrieb ein energieeffizientes Lastverhalten mit einem Leistungsfaktor von nahezu eins

ermittelt. Bedenkt man, dass die Videospielekonsolen zum Spielen konzipiert sind [44], aber in Bereitschaft beinahe genau so viel Energie verbrauchen wie im aktiven Spielbetrieb, sollten die Hersteller genau hier nachbessern. Das gilt vor allem für die Xbox One X, die sich nur mühsam durch das Navigieren im Menü in den Aus-Zustand versetzen lässt. Irreführend für Konsumenten ist bei der Xbox One, dass durch die einfache Bedienung am Controller die Option „Konsole ausschalten“ aufgerufen wird, die aber die Konsole nur in Bereitschaft versetzt.

6. Evaluierung der Messmethode

Durch die Energieeffizienzmessungen, die Datenauswertung und durch den Vergleich mit den Referenzwerten der Hersteller ist ersichtlich, dass beide Messgeräte Datensätze lieferten, die einen zum Teil ineffizienteren Energieverbrauch der Spielkonsolen ergaben.

Bei genauer Betrachtung des hochgerechneten jährlichen Energieverbrauches und dem direkten Vergleich beider Messmethoden kristallisiert sich das Chroma als die passende Messeinrichtung heraus. Denn das Chroma schneidet aufgrund der feineren Abtastung und der daraus resultierenden genaueren Auflösung der Messdaten besser ab. Im Weiteren lässt sich mit dem Chroma vor allem das dynamische Lastverhalten der Spielkonsolen besser nachbilden. Das ist für die Evaluierung der erforderlichen Messdauer von Bedeutung. Denn nur wenn sich das dynamische Verhalten der Spielkonsole rekonstruieren lässt, ist es auch möglich auftretende Stromspitzen zu erfassen. Das Voltcraft liefert ebenso genaue Datensätze, aber mit dem Unterschied, dass mit dem Voltcraft Langzeitmessungen durchgeführt werden müssen, um die Dynamik der Spielkonsole hinreichend nachbilden zu können.

Insofern wurden in dieser Arbeit die Haushaltsgeräte mit den bedienerfreundlichen, kalibrierten Voltcraft-Messgeräten über einen langen Zeitraum beobachtet. Die ermittelten Daten wurden dann mit den Chroma-Messdaten der leistungsstarken Spielkonsolen verglichen. Durch die Gegenüberstellung der Videospielekonsolen mit den täglich verwendeten Haushaltselektrogeräten soll das Ausmaß des Energieverbrauches der Spielkonsolen im Haushalt aufgezeigt werden. Zugleich soll aber verdeutlicht werden, dass der Konsument selbst in der Lage ist, seinen Energieverbrauch im Haushalt zu messen und vielleicht den ineffizienten Energieverbrauch zu erkennen.

6.1 Evaluierung der passenden Messeinrichtung

Durch die Datenauswertung beider Messvarianten und den daraus resultierenden Erkenntnissen lässt sich die passende Messeinrichtung zur Bestimmung der Energieeffizienz evaluieren. Um die Unterschiede besser zu verdeutlichen wird der jährliche Energieverbrauch der zwei leistungsstarken Spielkonsolen, der PlayStation 4 Pro (PS4 Pro) und der Xbox One X, betrachtet. In der Abbildung 6.1 ist deutlich zu erkennen, dass im Standby-Zustand und im aktiven Spielbetrieb mit der Chroma-Messeinrichtung ein viel größerer Energieverbrauch an der PS4 Pro ermittelt wurde als durch den Hersteller [3] veröffentlicht. Auch im Menübetrieb konnte mit der Chroma- und der Voltcraft-Messeinrichtung ein kaum ersichtlicher aber dennoch größerer Energieverbrauch ermittelt werden.

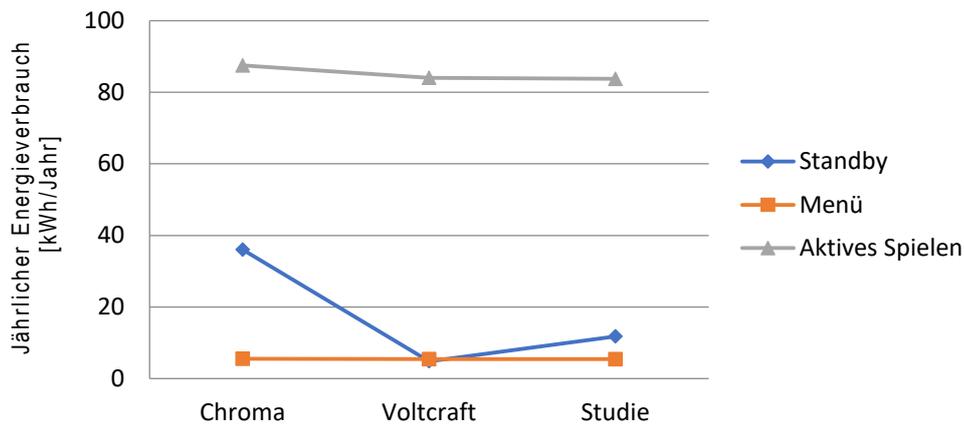


Abbildung 6.1: Evaluierung der Messmethode anhand des hochgerechneten jährlichen Energieverbrauches der PS4 Pro

Ein ähnlicher, hoher Energieverbrauch ist bei der Xbox One X in Abbildung 6.2 zu sehen. Im Menübetrieb konnte mit beiden Messeinrichtungen ein kleiner ineffizienter Energieverbrauch ermittelt werden.

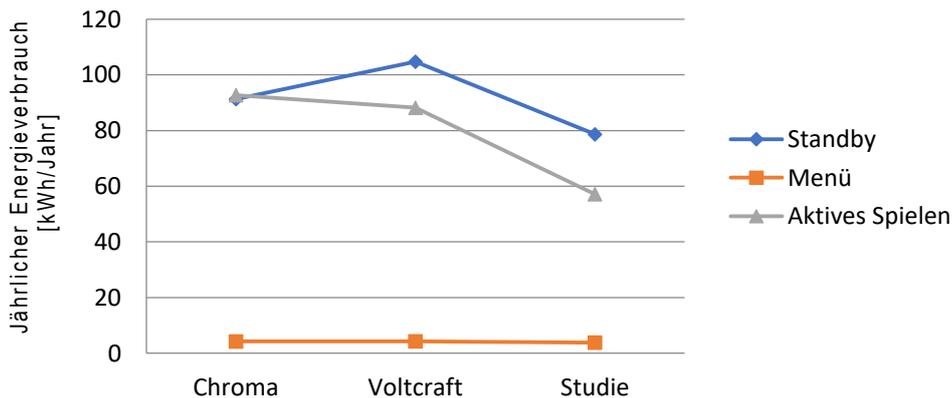


Abbildung 6.2: Evaluierung der Messmethode anhand des hochgerechneten jährlichen Energieverbrauches der Xbox One X

Interessant ist vor allem, dass mittels der Voltcraft das Lastverhalten der Xbox One X im Standby-Zustand sehr gut erfasst wurde. Dabei wies die Konsole nicht nur in Bereitschaft, sondern vor allem im aktiven Spielbetrieb einen großen Energieverbrauch auf. Mit der Chroma wurde ein Vielfaches mehr an jährlichem Energieverbrauch im aktiven Spielbetrieb ermittelt als vom Hersteller [37] angegeben.

Im Großen und Ganzen zeigt sich im direkten Vergleich, dass mit der Chroma-Messeinrichtung bei den Spielkonsolen ein stets anschaulicher, hoher und zum Teil ineffizienter Energieverbrauch ermittelt wurde. Bei Langzeitmessungen im Aus- und Standby-Zustand war auch die Voltcraft in der Lage bei der Leistungsaufnahme an den Spielkonsolen eine Abweichung zu den Studiendaten der Hersteller zu ermitteln.

6.2 Messdaten Haushaltsgeräte

Für die geprüften Haushaltsgeräte gelten die bereits in 3.3.2 besprochenen Normen. In den folgenden Unterpunkten werden mit den Messergebnissen auch die Standard-Messmethoden der jeweiligen Norm kurz besprochen. Dabei ist für den Prüfraum zu beachten, dass die Messungen in einem zugluftfreien Raum bei einer Raumtemperatur von $(20\pm 5)^\circ\text{C}$ durchgeführt werden müssen. Bei der Dokumentation werden neben den Messresultaten auch die Kenndaten der Elektrogeräte gelistet.

Die Haushaltsgeräte wurden alle mit dem Voltcraft ausgemessen und erfassten damit nicht alle Stromspitzen. Ähnlich wie im vorhergegangenen Teilkapitel 5.2 werden die vom Hersteller veröffentlichten Referenzwerte zum Vergleich herangezogen. Es wird dabei lediglich das Nutzungsverhalten des Fernsehschwerers für den jährlichen Energieverbrauch betrachtet. Interessant ist im Besonderen der Energieverbrauch im direkten Vergleich zwischen der Spielkonsole und dem Smart-TV im Streaming-Modus oder, wenn die Spielkonsole als Player verwendet wird. Denn auch wenn die Spielkonsole einen Monitor bespielte, war der Energieverbrauch im Player- und Streaming-Modus größer, als wenn mit einem Smart-TV gestreamt oder mit einem Blu-ray-Player ein Fernseher angesteuert wurde.

Im Weiteren sollen die durchschnittlichen Leistungswerte der Elektrogeräte mit jenen der Spielkonsolen in den verschiedenen Betriebszuständen verglichen werden.

6.2.1 Smart-TV

Marke: SAMSUNG | Modell: UE55H6290 | Typ: LED TV | Seriennummer: 0A3H3HNG103590N

Bemessungsspannung und Bemessungsfrequenz: 220-240V ~ 50/60Hz, 156W

Laut dem Hersteller [51] wird das Nutzungsverhalten mit vier Stunden am Tag angegeben. Den Rest der Zeit ist der Fernseher in Bereitschaft. Dadurch resultiert der jährliche Energieverbrauch wie in der Tabelle 6.1 angegeben. Anzumerken ist hier die irritierende Angabe des Herstellers [51] im TV-Betrieb. Dabei wird der Jahresverbrauch mit 98kWh angegeben, obwohl unter Berücksichtigung des Nutzungsverhaltens von vier Stunden am Tag und der angegebenen Wirkleistung von 71 Watt, dieser mit 103,660kWh höher ausfällt als der angegebene Referenzwert. Die Leistungsaufnahme im Streaming-Betrieb wird vom Gerätehersteller nicht angegeben, deswegen werden wieder die durchschnittlichen Leistungswerte herangezogen. Dabei wurde wie bei den Spielkonsolen das Videoportal *YouTube* zum Streaming verwendet, wobei hier mit Full HD-Auflösung gestreamt wurde. Die ermittelten Messdaten der einzelnen Betriebszustände sind in der Tabelle 6.1 zusammengefasst.

Smart-TV - Jährlicher Energieverbrauch					
Messdaten	Modus	Tägliche Betriebsdauer [min]	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch in der Stunde [kWh]	TEC [kWh]
Voltcraft	Standby	1200	0,148	0,0001	1,080
Herstellerangabe			0,300	0,0003	2,190
Voltcraft	TV-Betrieb	240	77,832	0,0778	113,635
Herstellerangabe			71,000	0,0710	98,000
Voltcraft	Streaming-Betrieb	240	117,259	0,1173	171,198
Herstellerangabe			71,000	0,0710	98,000

Tabelle 6.1: Jährlicher Energieverbrauch des Smart-TVs

In der Tabelle 6.1 ist deutlich zu erkennen, dass die Leistungsaufnahme und damit auch der jährliche Energieverbrauch des TV-Gerätes in Standby unter dem Grenzwert der Herstellerangabe [51] liegt. Dabei wurden mit dem Voltcraft Langzeitmessungen von über einen Monat am Gerät durchgeführt und auch zufällig auftretende Energiespitzen in der Datenauswertung mitberücksichtigt. Hingegen maß das Voltcraft-Messgerät im aktiven TV-Betrieb einen größeren Leistungswert als vom Hersteller angegeben.

6.2.2 Blu-ray-Player

Marke: SAMSUNG | Modell: HAT-H5500 | Typ: 3D Blu-ray-Heimkinosystem

Seriennummer: 057214FG100679L

Bemessungsspannung und Bemessungsfrequenz: 220-240V ~ 50/60Hz, 47W

Die Leistungsaufnahme am Blu-ray-Player erfolgte wie bei den Spielkonsolen im DVD- und Blu-ray-Modus mit dem Film *Avatar*. Dabei wurden für den späteren Vergleich stets die gleichen Sequenzen abgespielt und mit dem Voltcraft mehrmals ausgemessen. Auch der Menübetrieb wurde beim Einschalten des Gerätes über eine ähnlich lange Zeit wie bei den Konsolen beobachtet.

Bei der genauen Betrachtung der gemessenen Werte in der Tabelle 6.2 fällt sofort die hohe Leistungsaufnahme im Menübetrieb auf.

Blu-ray-Player – Energieverbrauch		
Modus	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch in der Stunde [kWh]
Standby	0,187	0,0002
Menü	13,382	0,0134
Blu-ray	6,757	0,0068
DVD	6,805	0,0068

Tabelle 6.2: Energieverbrauch des Blu-ray-Players in verschiedenen Betriebszuständen

6.2.3 Bügeleisen

Marke: Tefal | Modell: FV9788 Ultimate | Typ: Dampfbügeleisen | Seriennummer: 9120E00839

Bemessungsspannung und Bemessungsfrequenz: 220-240V ~ 50/60Hz, 3000W

Der vorgeschriebene Messvorgang nach der Norm [32] berücksichtigt die Messungen an einem Dampfbügeleisen. Darunter ist ein Bügeleisen zu verstehen, das mit Ausrüstungen zur Dampfbildung und Dampfverteilung ausgestattet ist. Vor der Prüfung wurde die Sohle des Bügeleisens nach Anleitung des Herstellers gereinigt. Beim Messen der Aufnahmeleistung war zu beachten, dass das Bügeleisen auf die drei metallenen Stützen des Bügelbrettes gestellt wird. Es wurde gemessen, sobald der Beharrungszustand erreicht wurde, dabei wurde auf die höchste Temperaturstufe eingestellt. Der Boiler des Bügeleisens wurde mit gereinigtem Wasser, das eine Temperatur von $(20\pm 2)^\circ\text{C}$ hatte, gefüllt. Es musste eine mittlere Sohlentemperatur von $(190\pm 10)^\circ\text{C}$ erreicht werden. Mit E_1 wird die Energie, die während des Aufheizens aufgenommen wurde, angegeben. Der Prüfstoff, der mit Streifen gekennzeichnet war, wurde auf den Bügeltisch gelegt. Ein Zyklus bestand aus zwanzig Sekunden bügeln und zehn Sekunden Pause. Dabei erfolgten fünf Sekunden Dampfausstoß und fünfzehn Sekunden ohne Dampf. Dieser Schritt wurde mit dem gleichen Stoff für fünf Streifen wiederholt. Diese Prüfung wurde genau für zehn Minuten durchgeführt. Die dabei aufgenommene Energie wird als E_2 bezeichnet. Die Energie, die das Bügeleisen während des Bügels in einer Stunde aufnahm, resultierte aus dem sechsfachen des Wertes, der nach zehn Minuten gemessen wurde: $E_3 = 6 * E_2$.

Die Gesamtenergieaufnahme, die während des Bügelns unter Berücksichtigung der Aufwärmphase resultierte, berechnet sich mit: $E_{total} = E_1 + E_3$. Beim Ausmessen des Dampfbügeleisens wurden folgende Daten ermittelt: $E_1 = 1,124\text{kWh}$, $E_2 = 1,220\text{kWh}$ und $E_3 = 7,320\text{kWh}$. Damit ergab sich während des Bügelns ein Energieverbrauch von $E_{total} = 8,444\text{kWh}$.

Aufgrund der kurzen, aber sehr hohen Leistungsspitzen, die das Bügeleisen während des Betriebes aufnahm um die Bügelsohle auf hohe Temperaturen zu bringen, fiel der Energieverbrauch wie aus den Messungen ersichtlich sehr hoch aus.

6.2.4 Griller

Marke: BOMANN | Modell: KG 1207 CB | Typ: Kontaktgrill | Erzeugungsnummer: 612071

Bemessungsspannung und Bemessungsfrequenz: 220-240V, 2000W, 50/60Hz

Bei dem ausgemessenen Griller handelte es sich um ein Gerät, in dem Lebensmittel mit Wärme gegart werden. Für die Messungen wurde ein Weißbrot verwendet, das zum Tosten geeignet ist. Dabei war mit mehr als einem Brotlaib zu beachten, dass dieselbe Charge verwendet wurde. Die zu prüfenden Scheiben mussten gleich groß, eine Dicke von $(12\pm 1)\text{mm}$ und ohne Kruste sein. Die gesamte Fläche des Grills wurde mit Brotscheiben belegt.

Zu Beginn musste das Gerät auf die höchste Stufe für fünf Minuten vorgeheizt werden. Der Rost wurde dabei unter dem Heizelement gemeinsam mit der Grillpfanne angeordnet. Die Scheiben wurden so verschoben, dass sich die Ränder mit den Rändern des Grills deckten. Die Brotscheiben

wurden gut gebräunt herausgenommen. Unter Berücksichtigung dieser Messvorgaben [34] resultierte eine durchschnittliche Leistungsaufnahme von 243,828 Watt.

Der Griller arbeitet nach dem gleichen Prinzip wie das im vorherigen Unterpunkt 6.2.3 besprochene Bügeleisen. Auch hier wurde nur in kurzen Intervallen sehr hohe Leistung aufgenommen, um die Grillplatte auf hohe Temperaturen zu bringen. Dabei fiel der Energieverbrauch zwar nicht so hoch aus wie beim Bügeleisen, dennoch wurde ein Großteil der aufgenommenen Leistung in Wärme umgesetzt.

6.2.5 Handmixer

Marke: Robert Bosch Hausgeräte GMBH | Modell: MSM87110 | Type: Stabmixer

Seriennummer: 023169

Bemessungsspannung und Bemessungsfrequenz: 220-240V, 750W, 50/60Hz

Für die Messung wurde eine freistehend arbeitende Maschine verwendet. Der Handmixer arbeitete dabei eingetaucht im Lebensmittel. Es wurde länger als dreißig Sekunden gemessen, ohne eine Stillstandzeit [33]. Dabei wurde für die Messung Milch mit einem Kakaopulver verrührt. Die aufgenommene durchschnittliche Leistung betrug 65,491 Watt.

Da die Leistungsaufnahme in dem erwähnten Beispiel kontinuierlich erfolgte und dabei keine Stromspitzen auftraten, war auch das Voltcraft-Messgerät in der Lage den Energieverbrauch des Handmixers sehr gut nachzubilden.

6.2.6 Waschmaschine

Marke: Robert Bosch Hausgeräte GMBH | Modell: WAE28426 | Typ: WLM40

Fertigungsnummer: 9411 600677

Bemessungsspannung und Bemessungsfrequenz: 220-240V ~ 10A, 2000-2300W, 50Hz

Am Anfang des Prüfungsvorganges musste die Temperatur der Waschmaschine der Lufttemperatur im Messraum entsprechen. Die Programmenergie besitzt dabei jene Energie, die während des Programmes verbraucht wird. Die Leistungsaufnahme im ausgeschalteten und im eingeschalteten Standby-Zustand wird vom Hersteller als Referenzwert angegeben und wurde mit jenen der Messungen verglichen. Der Energieverbrauch wird in kWh auf die nächsten 0,01kWh gerundet angegeben [31]. Vor einer Prüfreihe war ein Prüfungsvorgang ohne Beladung mit dem Referenzprogramm für Baumwolle bei 40°C auszuführen. Die Ergebnisse der Prüfung wurden mit den Werten der Referenzwaschmaschinen, die im Wartungs- und Programmierungshandbuch [52] festgelegt sind, verglichen.

Der Hersteller gibt im aktiven Betrieb nur die Programmenergie an. Dabei wurde der Stromverbrauch für das Programm: 40°C Schnell/Mix, mit einer Programmdauer von $1\frac{1}{4}$ Stunden, gemessen.

Anhand der Daten aus der Tabelle 6.3 sieht man, dass mit dem Voltcraft nicht alle Stromspitzen erfasst werden konnten, sodass der Referenzwert des Herstellers viel größer ist als die gemessene Programmenergie bei 40°C.

Waschmaschine in unterschiedlichen Betriebszuständen			
Messdaten	Modus	Durchschnittliche Leistungsaufnahme [W]	Energieverbrauch in der Stunde [kWh]
Voltcraft	Aus	0,117	0,0001
Herstellerangabe		0,200	0,0002
Voltcraft	Standby	2,197	0,0022
Herstellerangabe		1,900	0,0020
Voltcraft	Aktiv 40°C	173,122	0,1731
Herstellerangabe		-	0,4600

Tabelle 6.3: Energieverbrauch der Waschmaschine in unterschiedlichen Betriebszuständen

6.3 Gegenüberstellung

Durch die Gegenüberstellung von Videospielkonsolen und anderen Haushaltselektrogeräten sollte die Leistungsaufnahme und der jährliche Energieverbrauch im Haushalt verdeutlicht werden. Dabei wurden die Daten der leistungsstarken Spielkonsolen mit jenen der zuvor gemessenen Daten aus dem Teilkapitel 6.2 verglichen. Für den Vergleich wurde ein Monitor der Marke *BenQ* herangezogen. Dabei handelt es sich um ein UHD-fähiges Gerät, das im Standby-Zustand eine durchschnittliche Leistung von 0,148 Watt und im aktiven Betrieb 36,260 Watt aufnimmt. In der Abbildung 6.3 werden durch den Vergleich der PlayStation 4 Pro (PS4 Pro) mit dem „intelligenten“ Fernseher (Smart-TV) und dem Blu-ray-Player die Unterschiede im Player- und Streaming-Modus verdeutlicht.

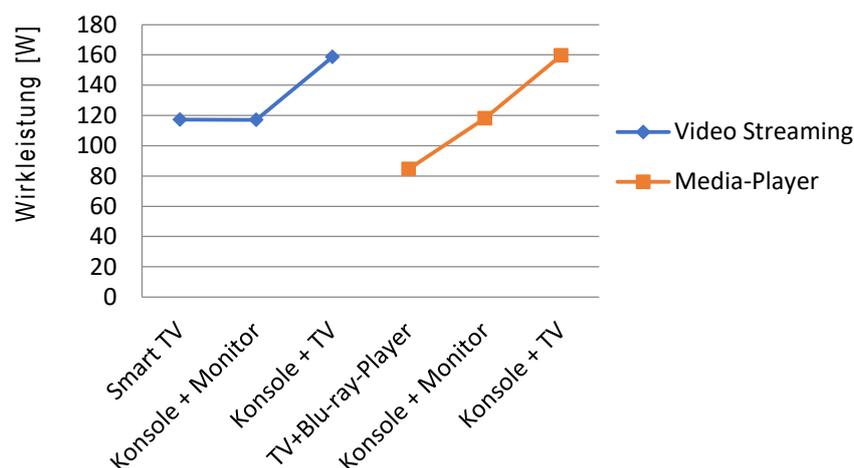


Abbildung 6.3: Leistungsaufnahme der PS4 Pro im Vergleich mit dem Smart-TV und Blu-ray-Player, im Videostreaming und als Media Player

Im Videoportal *YouTube* wurde der gleiche Inhalt wie in 4.4.1 in Full HD gestreamt. Dabei zeigte sich, dass die Leistungsaufnahme mit einem Smart-TV fast ident ausfiel wie das Streamen mit der

PS4 Pro auf einem Monitor. Dem gegenüber ist auch ersichtlich, dass beim Streaming der PS4 Pro mit einem Fernseher um 42 Watt mehr Leistung aufgenommen wurde. Im Gegensatz zur klassischen Variante mit einem Blu-ray-Player und einem Fernseher ist bei der Nutzung der Spielkonsole als Player ein steiler Anstieg in der Leistungsaufnahme deutlich in der Abbildung 6.3 zu erkennen. Dabei zeigte sich beim Abspielen von DVD- und Blu-ray-Discs mit dem Blu-ray-Player mit einem TV-Gerät eine fast um die Hälfte geringere Leistungsaufnahme mit 84,637 Watt als beim Abspielen mit der PS4 Pro auf einem TV-Gerät mit 159,692 Watt. Auch wenn mit der PS4 Pro auf einem Monitor abgespielt wird, nimmt sie immer noch 118,120 Watt auf. Der hochgerechnete jährliche Energieverbrauch in der Abbildung 6.4 ermittelt sich aus der Wirkleistungsaufnahme und unter Berücksichtigung des Nutzungsverhaltens der PS4 Pro aus Tabelle 5.1.

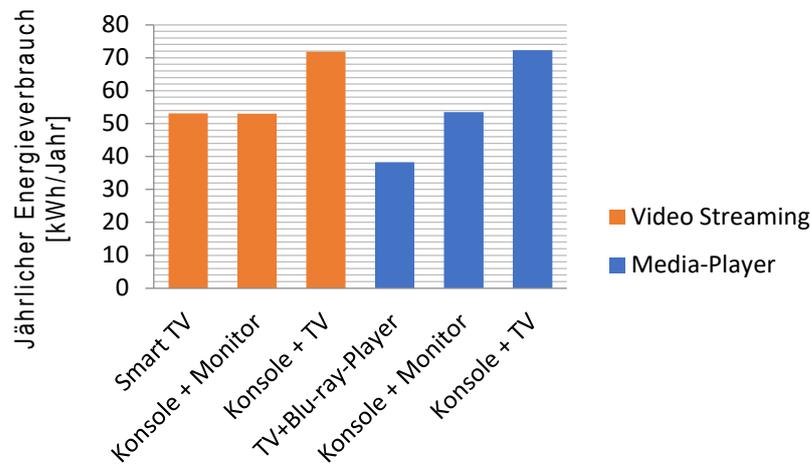


Abbildung 6.4: Jährlicher Energieverbrauch der PS4 Pro im Vergleich mit dem Smart-TV und Blu-ray-Player, im Videostreaming und als Media Player

Als zweite leistungsstarke Spielkonsole wird die Xbox One X in Abbildung 6.5 betrachtet. Dabei ist gleich ersichtlich, dass die Xbox One X eine geringere Leistung im Player- und Streaming-Modus aufnahm als die PS4 Pro.

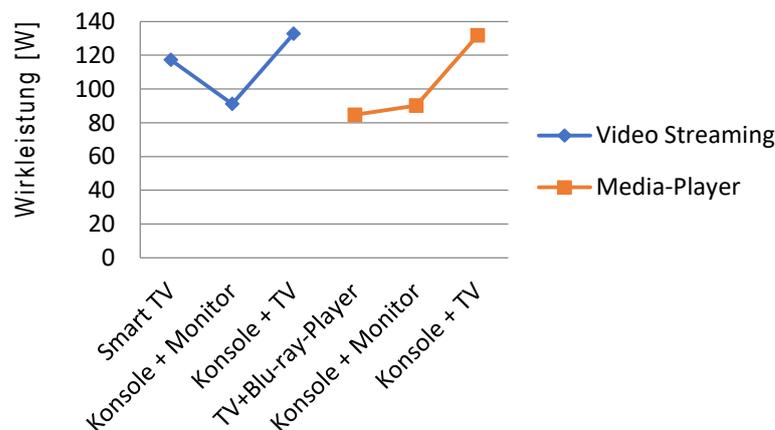


Abbildung 6.5: Leistungsaufnahme der Xbox One X im Vergleich mit dem Smart-TV und Blu-ray-Player, im Videostreaming und als Media Player

Im Video-Streaming nahm der Smart-TV eine geringere Leistung auf als beim indirekten Streaming auf den Fernseher mit der Xbox One X. Wobei in der Abbildung 6.5 auch ersichtlich ist, dass die Konsole beim Streaming auf den Monitor wiederum eine um 26 Watt geringere Leistung aufnahm als der Smart-TV. In der Abbildung 6.5 ist ein großer Anstieg der Leistungsaufnahme vom Blu-ray-Player zur Xbox One X als Player ersichtlich. Dabei zeigte sich beim Abspielen von DVD- und Blu-ray-Discs mit dem Blu-ray-Player auf einem TV-Gerät eine um 47 Watt geringere Leistungsaufnahme als beim Abspielen mit der Xbox One X auf einem TV-Gerät.

Der hochgerechnete jährliche Energieverbrauch der Xbox One X in der Abbildung 6.6 wurde mit den besprochenen Daten der Wirkleistungsaufnahme und unter Berücksichtigung des Nutzungsverhaltens der Xbox One X aus der Tabelle 5.1 ermittelt.

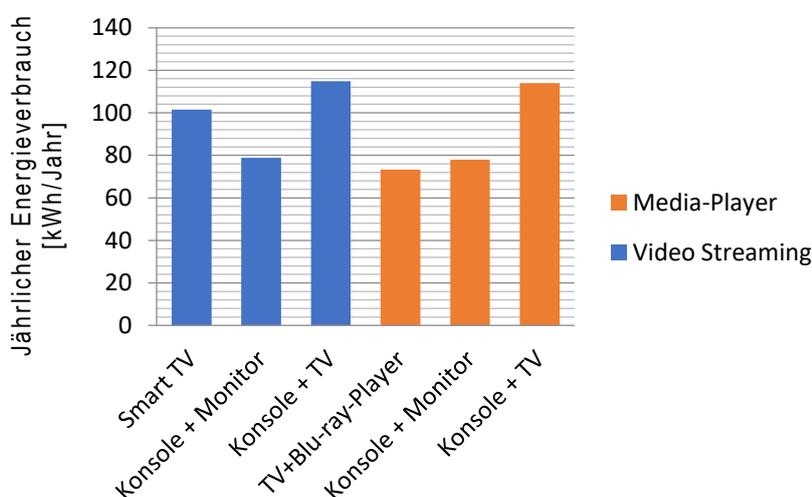


Abbildung 6.6: Jährlicher Energieverbrauch der Xbox One X im Vergleich mit dem Smart-TV und Blu-ray-Player, im Videostreaming und als Media Player

Obwohl die Leistungsaufnahme im Player- und Streaming-Modus bei der Xbox One X geringer ausfiel als bei der PS4 Pro, zeigt sich in der Abbildung 6.6 dennoch ein größerer jährlicher Energieverbrauch als zuvor bei der PS4 Pro in der Abbildung 6.4. Der Grund dafür liegt im Nutzungsverhalten der Konsumenten, dass die Xbox One X länger im Player- und Streaming-Modus betrieben wird als die PS4 Pro.

In der Abbildung 6.7 werden die ausgemessenen Haushaltsgeräte mit der PS4 Pro in unterschiedlichen Betriebszuständen verglichen. Dabei ist anzumerken, dass die geringe Wirkleistungsaufnahme der PS4 Pro mit 253 Milliwatt und die der Waschmaschine mit nur 117 Milliwatt im Aus-Zustand in der Grafik kaum zu erkennen ist. Eine nahezu gleiche Leistungsaufnahme von 65 Watt ist im Menübetrieb der PS4 Pro mit dem Handmixer gegeben. Hingegen ist in der Abbildung 6.7 deutlich zu erkennen, dass im aktiven Spielbetrieb mit *Red Dead Redemption 2* der Leistungswert deutlich geringer ausfiel als das Toasten von Brot im Griller.

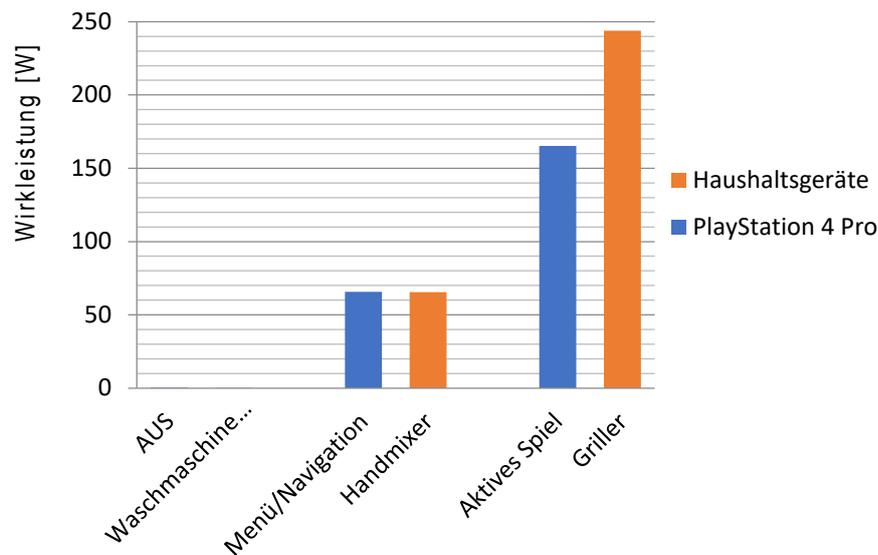


Abbildung 6.7: Gegenüberstellung der PlayStation 4 Pro mit den Haushaltsgeräten

Ein weiteres Beispiel zur Gegenüberstellung ist mit dem Dampfbügeleisen gegeben. Hier resultierte bei einer Messdauer von nur zehn Minuten ein Energieverbrauch von 8,444kWh. Vergleicht man diesen Wert mit dem im Menübetrieb einer Spielkonsole, dann liegt der hochgerechnete jährliche Energieverbrauch der PS4 Pro bei 5,516kWh und der von der Xbox One X bei sogar nur 4,263kWh. Auf der anderen Seite war die Leistungsaufnahme der PS4 Pro im passiven Spielbetrieb, wenn sich die Spielkonsole nur im Menübetrieb befindet, ähnlich hoch wie ein Handmixer im aktiven Betrieb.

Interessant ist auch der Vergleich der Spielkonsole mit der Waschmaschine im aktiven Betrieb. Dabei betrug der Energieverbrauch der Waschmaschine im aktiven Betrieb bei 40°C und ohne Beladung 0,1731kWh, was in etwa dem aktiven Betrieb der Xbox One X mit dem Spiel *Red Dead Redemption 2* mit 0,1752kWh entspricht.

Es werden im Folgenden einige anschauliche Beispiele zu den vorhin besprochenen Daten zusammengefasst:

- Der Energieverbrauch der PS4 Pro im Menübetrieb für eine Dauer von drei Minuten entspricht der Zubereitung von vier Tassen Pudding zu je 150 Milliliter mit dem Handmixer. Auf der anderen Seite ist der Energieverbrauch beim einmaligen Bügeln von drei Bettlaken zu je (200x200)cm um einiges größer als der jährliche Energieverbrauch der beiden leistungsstarken Spielkonsolen, der PS4 Pro und der Xbox One X, im Menübetrieb.
- Eine Stunde mit der PS4 Pro *Red Dead Redemption 2* spielen verbraucht in etwa die gleiche Energie wie das Toasten von zwölf Weißbrot-Scheiben im Griller. Und das Waschen von ein paar T-Shirts bei 40°C im Schnell/Mix-Programm benötigt um einiges mehr an Energie als das aktive Spielen mit den leistungsstarken Spielkonsolen für eine Dauer von zwei Stunden.

6.4 Diskussion

Die mit dem Voltcraft ermittelten Datensätze der Haushaltsgeräte wurden mit den Chroma-Messdaten der leistungsstarken Spielkonsolen verglichen. Dabei zeigte sich, dass die täglich verwendeten Haushaltsgeräte einen zum Teil viel größeren Energieverbrauch als die Spielkonsole besitzen. Das Toasten von Brot mit dem Griller nahm um 79 Watt mehr Leistung auf als das aktive Spielen in Ultra High Definition mit der PlayStation 4 Pro (PS4 Pro). Wiederrum nahm die PS4 Pro im Menübetrieb genauso viel Leistung auf wie ein Handmixer beim Pürieren.

Bei der Gegenüberstellung der leistungsstarken Spielkonsolen mit dem Smart TV und dem Blu-ray-Player zeigte sich deutlich, dass der Konsument durch die richtige Wahl im Video-Streaming und beim Abspielen von Datenträgern den Energieverbrauch deutlich senken kann. Denn das Abspielen von DVDs und Blu-rays mit dem Blu-ray-Player auf einem TV-Gerät benötigt fast nur die Hälfte der Energie als beim Abspielen mit der PS4 Pro auf einem TV-Gerät. Insofern können der Hersteller und auch der Konsument dem hohen Stromverbrauch nur dadurch entgegenwirken, indem die Inhalte mit Endgeräten gestreamt werden, die mit kleinen Leistungen betrieben werden.

Auf der anderen Seite würde man die Spielkonsole durch einen Blu-ray-Player für das Abspielen von Datenträgern und für das Spielen durch einen leistungsstarken PC ersetzen, dann müssten Konsumenten womöglich mit mehr finanziellen Kosten rechnen und die Umweltauswirkungen wären auch nicht vorhersehbar. Eine Studie der University of Surrey [53] verdeutlicht, dass dabei ein Rückpralleffekt auftreten würde. Und zwar würde sich der potenzielle Standby-Stromverbrauch verdoppeln und der Energieverbrauch während der Produktionsphase würde ebenfalls viel höher ausfallen.

Dennoch macht es einen Unterschied im Endverbrauch, ob mit einem Fernseher, Laptop, Tablet oder mit einem Smartphone gestreamt wird. Mit einem Smartphone streamen verbraucht weniger Energie als mit einem TV-Gerät. Vergleiche zwischen beiden zeigen, dass mit einem Smartphone vier kWh Strom, während mit einem TV-Gerät um die 50kWh pro Jahr erforderlich sind [8].

Zusammenfassend ist es mit dem einfach zu bedienenden Voltcraft-Messgerät nicht nur möglich den Energieverbrauch der Spielkonsole zu ermitteln, sondern auch andere Produktgruppen wie die eben besprochenen Haushaltsgeräte auszumessen. Damit ist der Konsument selbst in der Lage den ineffizienten Energieverbrauch zu erkennen.

7. Zusammenfassung und Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurden Messmethoden zur Ermittlung der Energieeffizienz von Spielkonsolen besprochen. Dabei konnten bei einigen Konsolen ein möglicher ineffizienter Energieverbrauch ermittelt und Verbesserungsmöglichkeiten für einen niedrigen Stromverbrauch evaluiert werden. Die Ergebnisse und Erkenntnisse werden zusammengefasst und analysiert. Abschließend werden ein möglicher Ausblick über das Thema gegeben und weitere Forschungsfragen aufgezeigt.

7.1 Zusammenfassung

Die Messungen und Datenauswertung mit beiden Messverfahren haben ergeben, dass an einigen getesteten Spielkonsolen ein größerer Energieverbrauch ermittelt wurde als von den Herstellern angegeben. Um einerseits Messfehler auszuschließen und andererseits die passende Messmethode zu evaluieren, müssen bei der Durchführung der Messungen neben dem mehrfachen Austesten und der Wahl der Messdauer auch die Einstellungen in der Videoausgabe und Spielereinstellungen im aktiven Spielbetrieb beachtet werden.

Der größte Energieverbrauch trat auf, wenn mit der Konsole aktiv gespielt wurde und am geringsten, wenn sie sich im Aus-Zustand befand. Dabei hatten die Spielkonsolen mit einer ständigen Internetverbindung, sei es im Standby- oder Aktiv-Zustand, stets einen höheren Energieverbrauch als ohne eine Internetverbindung. So nahm zum Beispiel die Xbox One X in Bereitschaft mit einer ständigen Internetverbindung um drei Watt mehr Leistung auf als ohne eine Internetverbindung.

Durch die Messungen im aktiven Spielbetrieb wurde ermittelt, dass die Leistungsaufnahme von Spiel zu Spiel variiert und stets in Abhängigkeit zur Spielauflösung steht. Kurzgefasst: „Je höher die Auflösung, desto höher der Energieverbrauch“. Beim Spiel *Red Dead Redemption 2* nahmen die Xbox One X und die PlayStation 4 Pro (PS4 Pro) im Schnitt eine Wirkleistung von 170 Watt auf. Während Sony die Durchschnittswerte von *Red Dead Redemption 2* zusammen mit zwei weiteren aktuellen Spielen der PS4 Pro für UHD mit 158,2 Watt angibt, fielen die angegebenen Durchschnittswerte der Xbox One X mit 108 Watt sehr bescheiden aus.

Interessant ist, dass die Selbstregulierungsinitiative (SRI) nach eigener Angabe beim Ermitteln des Energieverbrauches die Leistungsspitzen in den Messdaten nicht berücksichtigt. Dabei zeigte sich aber bei den ermittelten Daten beider Messvarianten ein Unterschied zu den veröffentlichten Studiendaten.

Durch das wiederholte Messen im aktiven Menübetrieb mit ständiger Internetverbindung und bei Systemupdates, zeigte sich, dass die Hersteller die Leistungsspitzen in der Leistungsaufnahme doch berücksichtigen. Im Teilkapitel 5.2 wurde bei einem direkten Vergleich mit den gemessenen Datensätzen diese Erkenntnis untermauert. Es wurde anhand der Messdaten festgestellt, dass im Player- und Streaming-Modus und vor allem im aktiven Spielbetrieb wiederum keine Leistungsspitzen berücksichtigt werden. Besonders bei den leistungsstarken Spielkonsolen, der PS4 Pro und der Xbox One X, wurde ein hoher Energieverbrauch ermittelt. Vor allem wurde bei der Xbox One X im Standby-Zustand anhand des Leistungsfaktors ein ineffizienter Energieverbrauch festgestellt. Auf der anderen Seite ist anzumerken, dass die leistungsstarken Spielkonsolen im Aus-Zustand den vorgeschriebenen Grenzwert der Richtlinie 2009/125/EG [11] von 0,50 Watt nicht überschreiten, obwohl mit beiden Messmethoden die Leistungsspitzen in den Messdaten berücksichtigt wurden.

In einigen Fällen könnten Spielkonsolenhersteller den ineffizienten Energieverbrauch sehr einfach senken. Beispielsweise bei der Xbox One von Microsoft, hier ist der Wechsel vom aktiven Betrieb in den Aus-Zustand in der Menüführung sehr irreführend und aufwendig gestaltet. Die Spielkonsole lässt sich nur durch umständliches Navigieren im Menü in den Aus-Zustand versetzen. Gerade bei der leistungsstarken Xbox One X liegt der jährliche Energieverbrauch im Standby fast gleich hoch wie im aktiven Spielbetrieb. Und genau hier könnte die EU in Bezug auf die Senkung des Energieverbrauches ansetzen und den Spielkonsolenhersteller Microsoft dazu verpflichten durch ein Systemupdate den erwähnten Punkt zu ändern. Auf der anderen Seite liefert gerade die Xbox One von Microsoft im Aus-Zustand Messdaten, die unter denen der Herstellerangabe liegen. Hier hat sich generell bei allen Spielkonsolen eine Verbesserung im Aus-Zustand eingestellt.

Wichtig ist bei der Evaluierung der Messmethoden, dass die Einstellungen der Spielkonsolen stets die höchste Leistungsaufnahme gewährleisten, um einen ineffizienten Energieverbrauch zu ermitteln. Das ist insofern für eine umweltgerechte Gestaltung der Spielkonsolen nach der Richtlinie 2009/125/EG [11] von Bedeutung. Allen voran, lässt sich mit der höchsten Videoausgabe-Einstellung die maximal zulässige Auflösung ermitteln. Bei den aktuellen Spielkonsolen ist die Videoausgabe in „UHD“ oder mit „Automatisch“ einzustellen.

Bei den Messungen im Betriebszustand Aus und Standby ist eine Messdauer von mindestens 30 Minuten bei der Chroma und noch viel länger mit der Voltcraft anzusetzen, um das dynamische Lastverhalten der Spielkonsolen zu erfassen. Die Datenerhebung mit der Voltcraft war zwar nicht so genau wie die mittels dem Chroma, aber dennoch lassen sich Unterschiede in der Leistungsaufnahme mit Spielen unterschiedlicher Auflösung bei einer längeren Messdauer ermitteln. Beispielsweise konnte auch mit der Voltcraft festgestellt werden, dass auch die Spielereinstellungen einen Einfluss auf den Energieverbrauch hat. Das zeigte sich mit dem ausgetesteten Spiel *FIFA 19*, wo mit denselben Spielabläufen aber mit unterschiedlichen Spielereinstellungen die Konsolen ausgemessen wurden. Wie bereits im Teilkapitel 4.4 erwähnt und anhand der unterschiedlichen Messungen erläutert, kann aufgrund des dynamischen Spielverlaufes und der Renderingsequenzen bei den wiederholten Messungen nicht von identen Spielbedienungen aber von hinreichend genauen Rahmenbedienungen ausgegangen werden. Und damit lässt sich auch ein deutlicher Unterschied in der Leistungsaufnahme in Abhängigkeit zur Spielereinstellung messen.

Beim Evaluieren der passenden Messmethoden zur Bestimmung der Energieeffizienz ist auch zu beachten, dass die Spielkonsolen ein unterschiedliches Lastverhalten zeigen. Die Chroma kann das dynamische Verhalten der Konsolen nachbilden. Mit der Chroma-Messmethode können unabhängig vom Lastverhalten der Spielkonsole und der Beobachtungsdauer sämtliche Daten für einen hohen Energieverbrauch erfasst werden. Diese Erkenntnis zeigt, dass das Chroma bei der Beurteilung der Energieeffizienz sämtlicher Betriebszustände der Spielkonsole der Voltcraft-Messmethode vorzuziehen ist.

7.2 Ausblick

In der Einleitung wurde bereits erläutert, dass der Energieverbrauch der älteren Konsolengenerationen im Standby- und Aktiv-Zustand viel geringer ausfallen als Spielkonsolen der aktuellen Generation. Diese Erkenntnis resultiert aus der Tatsache, dass die Spiele der aktuellen achten Konsolengeneration eine realitätsnahe Darstellung in hoher Auflösung gewährleisten. Im direkten Vergleich zeigt sich, dass die am meisten verkaufte Spielkonsole [7], die PlayStation 2 von Sony, im Standby eine Leistung von 1,7 Watt und im aktiven Betrieb von 24,2 Watt aufnimmt. Im Gegensatz dazu liegt die durchschnittliche Leistungsaufnahme der aktuellen PlayStation 4 Pro (PS4 Pro) wiederum im Standby-Zustand bei 5,2 Watt und im aktiven Spielbetrieb mit dem Spiel *Red Dead Redemption 2* bei 165 Watt. Auch wenn in der EU der Energieverbrauch von Videospielgeräten im Jahr 2025 auf über 13,5TWh prognostiziert wird [2], muss der Energieverbrauch nicht zwingend so hoch ausfallen. Insofern stellt sich die Frage, ob die kommende, neunte Konsolengeneration, die angekündigten Nachfolger der leistungsstarken Konsolen [54] mit der PlayStation 5 von Sony und der Xbox Scarlett von Microsoft, einen ähnlichen oder vielleicht größeren Energieverbrauch im Standby und aktiven Spielbetrieb besitzen werden.

Interessant wären Studien, mit denen Spielkonsolen mit ständiger Bereitschaft den Konsumenten nicht nur mit den aktuellsten Diensten informieren, sondern ob durch das Herunterladen von Spielen Energie eingespart werden könnte. Denn das Herunterladen eines Spieles könnte einen viel geringeren Energieaufwand erfordern als das Herstellen und Verteilen von Datenträgern. Insofern könnte das „Beschaffen“ eines Spieles über das Internet viel energieeffizienter sein. Dabei muss aber auch das Verhältnis der Nutzungsdauer von Datenträgern zu jenem von Downloads berücksichtigt werden.

In den vergangenen Jahren zeigte sich deutlich, dass die Anzahl der verkauften Videospiele in Form von Datenträgern stark rückläufig war, während in genau diesem Zeitraum der Anteil der Downloads für Konsolenspiele anstieg. Am Beispiel Deutschland zeigt sich, dass im Jahr 2012, 73,7 Millionen Stück Computer- und Videospiele verkauft wurden, während es im Jahr 2015 nur noch 45,5 Millionen Stück waren [55]. In selben Zeitrahmen lag der Anteil der Downloads von PC- und Konsolenspielen in Deutschland im Jahr 2012 bei 16%, das dann im Jahr 2017 auf 42% anstieg [56].

Der hohe Energieverbrauch der Spielkonsolen der aktuellen achten Generation lässt sich neben dem aktiven Spielen auch darauf zurückführen, dass Videospielkonsolen immer mehr zum Abspielen von DVDs, Blu-rays, 4K UHD-Discs oder zum Streaming digitaler Medien verwendet werden.

Der Konsument kann aber dem hohen Energieverbrauch durch Blu-ray-Player und Smart-TVs entgegenwirken. Es wurde mit den Messungen ermittelt, dass die Spielkonsole bis zu 20% mehr Energie für das Streaming benötigt als das direkte Streamen über einen Smart-TV. Dementsprechend macht es einen Unterschied im Energieverbrauch, ob mit einem Fernseher, Laptop, Tablet oder mit einem Smartphone gestreamt wird. Auf der anderen Seite stellt sich dabei die Frage, ob nicht gerade durch die vielen Nutzungsmöglichkeiten einer Spielkonsole sich ein effizienter Energieverbrauch einstellt. Denn mehrere Geräte für unterschiedliche Nutzungsaufgaben, wie beispielsweise ein Blu-ray-Player zum Abspielen von Datenträgern, würden letztendlich den potenziellen Standby-Stromverbrauch erhöhen und der Energieverbrauch während der Produktionsphase würde ebenfalls viel höher ausfallen [53]. Für das Jahr 2025 werden in der EU Video-Aufnahme- und Wiedergabegeräte für den Energieverbrauch nicht mehr berücksichtigt und jener von Videoprojektoren ist verschwindend klein und kaum erwähnenswert [2]. Insofern werden sich die Hersteller und Konsumenten Gedanken zum stromsparenden Streamen machen müssen.

Mit der PS4 Pro wurde auch der Energieverbrauch der Virtual Reality (VR)-Technologie ermittelt, wobei mit dem VR-Headset die Spielkonsole eine zusätzliche Leistung von nur 17 Watt aufnahm. Beachtet man die kommende Rolle im Entertainmentsektor, dann könnten neben den Spielaktivitäten durch das VR-System auch sportliche Aktivitäten für die tägliche Fitness durchgeführt werden. Insofern ist in den nächsten Jahren die Weiterentwicklung von „Exergaming“ zu beachten. Dabei erfolgt die Eingabe nicht nur über den Controller der Konsole, sondern der Spieler selbst steuert durch seine Bewegungen den Spielverlauf. Durch die Bildschirmsteuerung bekommt der Spieler einen Bewegungsfreiraum. Die Interaktion von Videospielen und körperlicher Bewegung kann insbesondere durch die Annahme der gesellschaftlichen Entwicklung von Kindern und Jugendlichen, die in den letzten Jahrzehnten mit der Technik aufgewachsen sind, als Sport aufgefasst werden [57]. Dabei muss in Zukunft unter Berücksichtigung der immer komplexer werdenden Systeme, die mit der Videospielekonsole in Interaktion stehen, auch eine passende Messmethode evaluiert werden.

Der Energieverbrauch der Spielkonsolen der aktuellen Generation lässt sich zwar mit Energiespar-Einstellungen ein wenig verbessern, dennoch stellt sich die Frage, wie viele der Konsumenten sich damit auseinandersetzen, damit sich die Spielkonsole nach einer festgelegten Zeit ausschaltet. Es stellt sich auch die Frage, ob nicht alle Konsumenten nach dem Spielen die Konsole „herunterfahren“ und dann im Aus-Zustand den Stecker ziehen könnten. Denn vor allem im Standby-Zustand findet ein ineffizienter Energieverbrauch statt.

Man sollte sich in den nächsten Jahren mit der Leistungsaufnahme im Standby-Zustand auseinandersetzen. Denn nicht nur bei den Spielkonsolen, sondern auch bei Büro- und Haushaltsgeräten sind ein großes Einsparpotential und damit ein effizienterer Energieverbrauch möglich.

Auch die Politik wird sich nicht nur mit der Energieeffizienz, sondern auch mit dem Nutzungsverhalten der Konsumenten und womöglich auch mit den Auswirkungen der Spielsucht auseinandersetzen müssen. Vielleicht regelt gerade das Zusammenspiel der Spieldauer und dem daraus resultierenden Einsparpotential die erforderliche Lösung.

Die Energieeffizienz ist deshalb von so großer Bedeutung, weil ein hoher Energieverbrauch nicht nur hohe ökonomische Kosten verursacht, sondern mit dem derzeitigen, mitunter fossilen Strommix zugleich auch der Ökologie schadet. Insofern setzte sich die vorliegende Arbeit gewissenhaft mit der Leistungsaufnahme der Videospielekonsolen auseinander und zeigt anhand der beiden Messverfahren und Methoden teilweise ineffizienten Energieverbrauch auf.

Literaturverzeichnis

- [1] E. Hittinger, K. A. Mullins und I. L. Azevedo, Electricity consumption and energy savings potential of video game consoles in the United States, Energy Efficiency, Print ISSN: 1570-646X, Online ISSN: 1570-6478, 2012.
- [2] Europäische Union, „Arbeitsunterlage der Kommissionsdienststellen: Bericht der Kommission an das Europäische Parlament und den Rat über die freiwillige Regelung zur umweltgerechten Geschalten von Videospiegelgeräten,“ 22 April 2015. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52015SC0088>. [Zugriff am 12 Mai 2019].
- [3] PlayStation, „Energieeffizienz-Wirkleistungsaufnahme,“ [Online]. Available: <https://www.playstation.com/en-gb/legal/energy-efficiency/>. [Zugriff am 17 Juni 2019].
- [4] Welt, „China hebt das Verkaufsverbot für Spielkonsolen,“ 7 Januar 2014. [Online]. Available: <https://www.welt.de/wirtschaft/webwelt/article123618479/China-hebt-das-Verkaufsverbot-fuer-Spielkonsolen-auf.html>. [Zugriff am 16 April 2019].
- [5] K. Mitgutsch und H. Rosenstingl, Faszination Computerspielen, Braumüller/Universitäts-Verlagsbuchhandlung Ges.m.b.H, ISBN 978-3-7003-1674-9, 2008.
- [6] CEPE und Fraunhofer Institut, „Der Einfluss moderner Gerätegenerationen der Informations- und Kommunikationstechnik auf den Energieverbrauch in Deutschland bis zum Jahr 2010 – Möglichkeiten zur Erhöhung der Energieeffizienz und zur Energieeinsparung in diesen Bereichen,“ Januar 2003. [Online]. Available: https://www.ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/mtec/cepe/cepe-dam/documents/people/baebischer/ISI_CEPE_IuK_Abschlussbericht.pdf. [Zugriff am 18 April 2019].
- [7] VGChartz, „Verkaufszahlen der weltweit meistverkauften Spielkonsolen bis Dezember 2018 (in Millionen Stück),“ zitiert nach de.statista.com, März 2019. [Online]. Available: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/160549/umfrage/anzahl-der-weltweit-verkauften-spielkonsolen-nach-konsolentypen/>. [Zugriff am 28 Mai 2019].
- [8] strom magazin, „So viel Strom verbraucht Streaming weltweit,“ 4 März 2019. [Online]. Available: <https://www.strom-magazin.de/strommarkt/so-viel-strom-verbraucht-streaming->

- weltweit_219295.html. [Zugriff am 15 April 2019].
- [9] J. Aslan, K. Mayers, J. G. Koomey und C. France, „Electricity Intensity of Internet Data Transmission, Untangling the Estimates, Journal of Industrial Ecology, 785-798,“ 7 November 2017. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1111/jiec.12630>. [Zugriff am 11 November 2019].
- [10] E. Mills, N. Bourassa, L. Rainer , J. Mai, I. Vaino , C. Curtin, A. Shehabi , L.-B. Desroches , N. Mills und Lawrence Berkeley National Laboratory , „A Plug-Loads Game Changer: Computer Gaming Energy Efficiency without Performance Compromise, California Energy Commission,“ April 2019. [Online]. Available: <https://ww2.energy.ca.gov/2019publications/CEC-500-2019-042/CEC-500-2019-042.pdf>. [Zugriff am 10 November 2019].
- [11] Europäische Union, „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,“ [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32009L0125>. [Zugriff am 27 Mai 2019].
- [12] Elektrische und elektronische Haushalts- und Bürogeräte-Messung niedriger Leistungsaufnahmen (IEC 62301:2011 modifiziert), Deutsche Fassung EN 50564:2011.
- [13] F. Magdans, Game Generations, Schüren Verlag, ISBN 978-3-89472-539-6, 2008.
- [14] W. Forster, Spielkonsolen und Heimcomputer 1972-2015, Gameplan, 5 Auflage, ISBN 978-3-00-048142-0, 2015.
- [15] Verivox, „Spielekonsolen als Stromfresser entlarvt,“ [Online]. Available: <https://www.verivox.de/ratgeber/spielekonsolen-als-stromfresser-entlarvt-38501/>. [Zugriff am 29 Mai 2019].
- [16] A. Frischholz, „Konsolen: Große Unterschiede beim Stromverbrauch,“ Computer Base, 26 November 2008. [Online]. Available: <https://www.computerbase.de/2008-11/konsolen-grosse-unterschiede-beim-stromverbrauch/>. [Zugriff am 29 Mai 2019].
- [17] Selbstregulierungsinitiative, „Games Consoles Voluntary Agreement, FAQ,“ [Online]. Available: <http://efficientgaming.eu/faq/>. [Zugriff am 29 Mai 2019].
- [18] R. Lerch, Elektrische Messtechnik, Analoge, digitale und computergestützte Verfahren, Springer Vieweg, 7.Auflage, ISBN 978-3-662-46940-8, 2016.
- [19] T. Mühl, Einführung in die elektrische Messtechnik, Springer Vieweg, 4.Auflage, ISBN 978-3-8348-0899-8, 2014.
- [20] G. Magerl, Messtechnik-Skriptum, Teil 1, Technische Universität Wien: Institut für elektrische Mess- und Schaltungstechnik, Version 5.0, 2005.

- [21] R. Parthier, Messtechnik, Grundlagen und Anwendungen der elektrischen Messtechnik für alle technischen Fachrichtungen und Wirtschaftsingenieure, Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag | GWV Fachverlage GmbH, 4. verbesserte Auflage, ISBN 978-3-8348-0336-8, 2008.
- [22] G. Magerl, Messtechnik-Skriptum, Teil 2, Technische Universität Wien: Institut für elektrische Mess- und Schaltungstechnik, Version 5.0, 2005.
- [23] G. Häberle, H. Häberle, T. Kleiber, H. Ruckriegel, B. Schiemann, W. Schleer, D. Schnell und D. Schmid, Elektronik Grundlagen, 42781 Haan-Gruiten: VERLAG EUROPA-LEHRMITTEL, Nourney, Vollmer GmbH & Co., 12. Auflage, ISBN 3-8085-3202-5, 1993.
- [24] M. Marinescu und J. Winter, Grundlagenwissen Elektrotechnik, Gleich-, Wechsel- und Drehstrom, Vieweg+Teubner Verlag, 3. Auflage, ISBN 978-3-8348-0555-3, 2011.
- [25] Europäische Union, „Verordnungen (EG) Nr.1275/2008 der EU Kommission vom 17.Dezember 2008 zur Umsetzung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates in Hinblick auf die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen für den Standby- und den Off-Modus,“ 17 Dezember 2008. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1548680267730&uri=CELEX:02008R1275-20170109>. [Zugriff am 13 Februar 2019].
- [26] M. Pehnt, Energieeffizienz, Ein Lehr- und Handbuch, 1 Auflage, Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, ISBN 978-3-642-14250-5, 2010.
- [27] T. Schabbach und V. Wesselak, Regenerative Energietechnik, Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, ISBN 978-3-540-95881-9, 2009.
- [28] A. Webb, K. Mayers, C. France und J. Koomey, „Estimating the energy use of high definition games consoles,“ Energy Policy, Volume 61, Pages 1412-1421, ELSEVIER, Oktober 2013. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421513003923>. [Zugriff am 15 Mai 2019].
- [29] Audio-, Video- und verwandte Geräte – Messverfahren für die Leistungsaufnahme (IEC 62087:2015), Deutsche Fassung EN 62087:2016.
- [30] Chroma, „Digitaler Leistungsmesser Model 66205,“ [Online]. Available: http://de.chromaate.com/product/digital_power_meter_66205.htm. [Zugriff am 14 März 2019].
- [31] Waschmaschinen für den Hausgebrauch – Verfahren zur Messung der Gebrauchseigenschaften, Deutsche Fassung EN 60456:2016.
- [32] Elektrische Bügeleisen für Haushalt und ähnliche Zwecke – Verfahren zur Messung der Gebrauchseigenschaften, Deutsche Fassung EN 60311:2003 + A1:2006 + A2:2009.
- [33] Nahrungsmittelmaschinen – Handmixer und Handrührer – Sicherheits- und Hygieneanforderungen, Deutsche Fassung EN 12853:2001+A1:2010.

- [34] Elektrische Kochgeräte für den Hausgebrauch –Teil 1: Herde, Backöfen, Dampfgarer und Grills –Verfahren zur Messung der Gebrauchseigenschaften, Deutsche Fassung EN 60350-1:2016.
- [35] Europäische Union, „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,“ 22 August 2013. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32013R0801>. [Zugriff am 11 Juni 2019].
- [36] Europäische Union, „Verordnung (EG) Nr. 278/2009 der Kommission vom 6. April 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen an die Leistungsaufnahme externer Netzteile,“ 6 April 2009. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32009R0278>. [Zugriff am 29 Mai 2019].
- [37] Microsoft Xbox Support, „About energy-saving and instant-on power modes,“ [Online]. Available: <https://support.xbox.com/en-GB/xbox-one/console/learn-about-power-modes>. [Zugriff am 17 Juni 2019].
- [38] R. Smith, „Playing with Power: A look at Nintendo Switch – Power Consumption,“ 6 März 2017. [Online]. Available: <https://www.anandtech.com/show/11181/a-look-at-nintendo-switch-power-consumption/2>. [Zugriff am 17 Juni 2019].
- [39] E. Mills, N. Bourassa, L. Rainer, J. Mai, A. Shehabi, N. Mills und Lawrence Berkeley National Laboratory, „Green Gaming:Energy Efficiency without Performance Compromise, Report to the California Energy Commission under Project # EPC-15-023 – Task 7,“ 16 Mai 2019. [Online]. Available: <https://docs.google.com/a/lbl.gov/viewer?a=v&pid=sites&srcid=bGJsLmdvdnxcnmlVlbmdhbWluZ3xneDo0ZDBmMTI1MTViZTViODY5>. [Zugriff am 10 November 2019].
- [40] ChannelPartner und T. Hafen, „Vor- und Nachteile von Flash Drives: Fünf Irrtümer über SSDs,“ 25 November 2016. [Online]. Available: <https://www.channelpartner.de/a/fuenf-irrtuemer-ueber-ssds,3048005>. [Zugriff am 22 Mai 2019].
- [41] VGChartz und zitiert nach de.statista.com, „Einzelhandelsabsatz der meistverkauften Computer- und Videospiele Weltweit im Jahr 2018 (in Millionen Stück),“ März 2019. [Online]. Available: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/985618/umfrage/absatz-der-meistverkauften-konsolenspiele/>. [Zugriff am 28 Mai 2019].
- [42] C. A. INC, „Chroma ATE INC.: Measurement Test Fixture (250V/10A) A662022 Quick Start Guide, Version 1.0, October 2017, P/N A11 001426,“ Oktober 2017. [Online]. Available: http://de.chromaate.com/product/digital_power_meter_66205.htm. [Zugriff am 9 Juni 2019].
- [43] Voltcraft, „Conrad,“ [Online]. Available: <https://www.conrad.at/de/p/voltcraft-energy-logger-4000-energiekosten-messgeraet-stromtarif-einstellbar-kostenprognose-125444.html>. [Zugriff

am 14 März 2019).

- [44] Europäische Union, „Verordnung (EU) Nr. 617/2013 der Kommission vom 26.Juni 2013 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Computern,“ 26 Juni 2013. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32013R0617>. [Zugriff am 29 Mai 2019].
- [45] P. Sony, „Benutzerhandbuch,“ [Online]. Available: <https://manuals.playstation.net/document/de/ps4/index.html>. [Zugriff am 2 Februar 2019].
- [46] Microsoft, „Einrichten der Xbox One Konsole,“ [Online]. Available: <https://support.xbox.com/de-AT/xbox-one/console/set-up-new-system-solution>. [Zugriff am 2 Februar 2019].
- [47] Nintendo, „Kundenservice: Anleitung & Dokumente,“ [Online]. Available: <https://www.nintendo.at/Hilfe/Nintendo-Switch/Anleitung-Dokumente/Anleitung-Dokumente-1200800.html>. [Zugriff am 3 Februar 2019].
- [48] P. Delforge und N. Horowitz, „The Latest-Generation Video Game Consoles, IP:14-04-B, NRDC,“ 2014. [Online]. Available: <https://www.nrdc.org/sites/default/files/video-game-consoles-IP.pdf>. [Zugriff am 6 Juli 2019].
- [49] W. Weißgerber, Elektrotechnik für Ingenieure 2; Wechselstromtechnik, Ortskurven, Transformator, Mehrphasensysteme. Ein Lehr- und Arbeitsbuch für das Grundstudium, Springer Vieweg, 8. durchgesehene Auflage, ISBN 978-3-8348-1031-1, 2013.
- [50] A. Prechtel, Vorlesungen über die Grundlagen der Elektrotechnik, Band 2, Wien: Springer-Verlag Wien New York, ISBN 3-211-82685-8, 1995.
- [51] Samsung, „LED TV, UE55H6290,“ in *user manual*, Samsung, BN68-05944M-03, 2014.
- [52] Bosch, „Waschmaschine, WAE28446,“ in *Gebrauchs- und Aufstellanleitung*, Bosch, 9001000625.
- [53] A. E. Webb, „Evaluating Games Console Electricity Use: Technologies and Policy Options to Improve Energy Efficiency, Volume 2: Progress Reports and Published Papers, Centre for Environmental Strategy Faculty of Engineering and Physical Sciences, University of Surrey,“ Juni 2014. [Online]. Available: <http://epubs.surrey.ac.uk/809999/>. [Zugriff am 4 Oktober 2019].
- [54] J. Repp, „GIGA, PS5 vs. Xbox Scarlett im Vergleich - wo liegen die Unterschiede?,“ 9 Oktober 2019. [Online]. Available: <https://www.giga.de/artikel/ps5-vs.-xbox-scarlett-der-vergleich-wo-liegen-die-unterschiede/>. [Zugriff am 10 November 2019].
- [55] BIU; GfK und zitiert nach de.statista.com, „Anzahl der verkauften Computer- und Videospiele in Deutschland von 2006 bis 2015 (in Millionen Stück),“ [Online]. Available:

<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/150673/umfrage/in-deutschland-verkaufte-computer-und-videospiele-seit-2006/>. [Zugriff am 2 Juni 2019].

- [56] game; Gfk und zitiert nach de.statista.com, „Anteil der Downloads am Absatz von PC- und Konsolenspielen in Deutschland von 2010 bis 2018,“ [Online]. Available: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/418754/umfrage/anteil-der-downloads-am-absatz-von-pc-und-konsolenspielen-in-deutschland/>. [Zugriff am 2 Juni 2019].
- [57] G. Schneider, Exergames: Bewegungsfördernde digitale Bildschirmspiele?, Wien: Institut für Sportwissenschaften in Fächerkombination Sportmanagement, Universität Wien, 2008.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Wirkleistungsverbrauch der unterschiedlichen PlayStation-Generationen, eigene Darstellung nach [1, S. 533], [3]	12
Abbildung 1.2: Die Entwicklung des Spielekonsolen-Absatzes in Deutschland bis 2010, eigene Darstellung nach [6, S. 43]	13
Abbildung 1.3: Energieverbrauch im Vergleich mit den Benutzern, die ihr Konsolen ausschalten, eigene Darstellung nach [1, S. 538]	15
Abbildung 1.4: Energieverbrauch und verkaufte Stückzahl der beliebtesten Spielkonsolen der letzten Jahre, eigene Darstellung nach [7], [15], [16]	19
Abbildung 2.1: Messkette, Kopie aus [18, S. 6]	22
Abbildung 2.2a: Veränderung der Eingangsgröße b : Idealer (<i>gestrichelt</i>) und realer Verlauf der Ausgangsgröße, Kopie aus [19, S. 42]	23
Abbildung 2.3: Erläuterung der Messfehler im ermittelten Messergebnis, eigene Darstellung nach [20]	24
Abbildung 2.4: Strom, Spannung und Leistung an einem ohmschen Widerstand R , Kopie aus [24, S. 169]	26
Abbildung 2.5: Vereinfachter Prinzipaufbau eines Elektrodynamischen Messwerks zur Wirkleistungsmessung, Kopie aus [21, S. 95]	27
Abbildung 2.6: Messschaltung, Kopie aus [21, S. 95]	27
Abbildung 3.1: Messplatz im Labor des ICT an der TU Wien, eigenes Foto	40
Abbildung 4.1: Schematischer Aufbau der Messeinrichtung im Labor mit der Chroma	44
Abbildung 4.2: Schematischer Aufbau der Messeinrichtung im Haushalt mit dem Voltcraft	45
Abbildung 4.3: Chroma-Messgerät am Laborplatz, eigenes Foto	46
Abbildung 4.4: Energy Logger 4000 von Voltcraft, eigenes Foto	47
Abbildung 4.5: PlayStation 4 Pro am Labor-Messplatz, eigenes Foto	49
Abbildung 4.6: PlayStation 4 Slim am Labor-Messplatz, eigenes Foto	49
Abbildung 4.7: Xbox One X am Labor-Messplatz, eigenes Foto	50

Abbildung 4.8: Xbox One S am Labor-Messplatz, eigenes Foto	50
Abbildung 4.9: Nintendo SWITCH am Labor-Messplatz, eigenes Foto	51
Abbildung 4.10: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Chroma im Aus-Zustand	54
Abbildung 4.11: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Voltcraft im Aus-Zustand	55
Abbildung 4.12: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Chroma im Standby-Zustand mit und ohne Internetverbindung	56
Abbildung 4.13: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Chroma im Standby-Zustand mit Daten zum Herunterladen	56
Abbildung 4.14: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Chroma im aktiven Menübetrieb mit ständiger Internetverbindung und Daten zum Herunterladen	57
Abbildung 4.15: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Chroma im aktiven Spielbetrieb mit <i>Red Dead Redemption 2</i> , <i>Need for Speed Payback</i> und <i>FIFA 19</i>	60
Abbildung 4.16: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Chroma, aktiven Streaming-Modus	60
Abbildung 4.17: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Chroma im aktiven Player-Modus	62
Abbildung 4.18: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Voltcraft im aktiven Spielbetrieb mit den Spielen <i>FIFA 19</i> , <i>Red Dead Redemption 2</i> und dem Online-Spiel <i>World of Tanks</i>	63
Abbildung 4.19: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Voltcraft im aktiven Player- und Streaming-Modus	64
Abbildung 4.20: Leistungsaufnahme an der PS4 Slim im Aus-Zustand im linken Bild mit der Chroma und im rechten Bild mit der Voltcraft	65
Abbildung 4.21: Leistungsaufnahme an der PS4 Slim mit der Chroma im Standby-Zustand mit und ohne ständige Internetverbindung	65
Abbildung 4.22: Leistungsaufnahme an der Xbox One X mit der Chroma im Aus-Zustand	67
Abbildung 4.23: Leistungsaufnahme an der Xbox One X mit der Voltcraft im Aus-Zustand	67
Abbildung 4.24: Leistungsaufnahme an der Xbox One X mit der Chroma im Standby-Zustand mit und ohne Internetverbindung sowie mit Daten zum Herunterladen	68
Abbildung 4.25: Leistungsaufnahme an der Xbox One X mit der Chroma im aktiven Spielbetrieb mit <i>Red Dead Redemption 2</i> und dem Online-Spiel <i>World of Tanks</i>	70
Abbildung 4.26: Leistungsaufnahme an der Xbox One S mit der Chroma im Standby-Zustand mit und ohne Internetverbindung sowie mit Daten zum Herunterladen	72
Abbildung 4.27: Leistungsaufnahme an der Xbox One S mit der Chroma im aktiven Menü- und Spielbetrieb mit <i>Red Dead Redemption 2</i> , <i>Need for Speed Payback</i> und <i>FIFA 19</i>	73
Abbildung 4.28: Leistungsaufnahme an der Nintendo SWITCH mit der Chroma im aktiven Menü- und Spielbetrieb mit <i>Red Dead Redemption 2</i> , <i>Need for Speed Payback</i> und <i>FIFA 19</i>	74

Abbildung 5.1: Gegenüberstellung der Chroma- und Voltcraft-Messdaten im Aus- und Standby-Zustand	77
Abbildung 5.2: Gegenüberstellung der Chroma- und Voltcraft-Messdaten im Aktiv-Zustand	78
Abbildung 5.3: Gegenüberstellung der Chroma- und Voltcraft-Messdaten im aktiven Spielbetrieb mit <i>FIFA 19</i>	78
Abbildung 5.4: Leistungsdreieck, eigene Darstellung nach [24]	79
Abbildung 5.5: Gegenüberstellung vom Chroma- und Voltcraft-Leistungsfaktor im Standby-Zustand	80
Abbildung 5.6: Wirkleistung in Abhängigkeit der Messdauer, im Standby-Zustand mit der Voltcraft ermittelt	81
Abbildung 5.7: Wirkleistung in Abhängigkeit der Messdauer, im Standby-Zustand mit der Chroma ermittelt	82
Abbildung 5.8: Wirkleistungsaufnahme der Spielkonsolen in verschiedenen Betriebszuständen, Gegenüberstellung der ermittelten Daten mit den Studiendaten der Hersteller	90
Abbildung 5.9: Jährlicher Energieverbrauch der PlayStation 4 Pro	91
Abbildung 5.10: Jährlicher Energieverbrauch der Xbox One X	92
Abbildung 6.1: Evaluierung der Messmethode anhand des hochgerechneten jährlichen Energieverbrauches der PS4 Pro	95
Abbildung 6.2: Evaluierung der Messmethode anhand des hochgerechneten jährlichen Energieverbrauches der Xbox One X	95
Abbildung 6.3: Leistungsaufnahme der PS4 Pro im Vergleich mit dem Smart-TV und Blu-ray-Player, im Videostreaming und als Media Player	100
Abbildung 6.4: Jährlicher Energieverbrauch der PS4 Pro im Vergleich mit dem Smart-TV und Blu-ray-Player, im Videostreaming und als Media Player	101
Abbildung 6.5: Leistungsaufnahme der Xbox One X im Vergleich mit dem Smart-TV und Blu-ray-Player, im Videostreaming und als Media Player	101
Abbildung 6.6: Jährlicher Energieverbrauch der Xbox One X im Vergleich mit dem Smart-TV und Blu-ray-Player, im Videostreaming und als Media Player	102
Abbildung 6.7: Gegenüberstellung der PlayStation 4 Pro mit den Haushaltsgeräten	103

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1: Leistungsaufnahme der Videospielekonsole, [6] und eigene Messung	14
Tabelle 3.1: Leistungsaufnahme der Videospielekonsolen im aktiven Betrieb [37], [3], [38]	36
Tabelle 3.2: Messplan der Videospielekonsolen zur Ermittlung der Leistungsaufnahme, eigene Messung	41
Tabelle 4.1: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Chroma im Aus-Zustand	53
Tabelle 4.2: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Voltcraft im Aus-Zustand	54
Tabelle 4.3: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Chroma im Standby-Zustand mit und ohne Internetverbindung sowie mit Daten zum Herunterladen	55
Tabelle 4.4: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Voltcraft im Standby-Zustand mit ständiger Internetverbindung und Daten zum Herunterladen	57
Tabelle 4.5: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Chroma im aktiven Menübetrieb mit ständiger Internetverbindung	57
Tabelle 4.6: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Chroma im aktiven Spielbetrieb mit <i>FIFA 19</i> und der Spielereinstellung „Anfänger“	58
Tabelle 4.7: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Chroma im aktiven Spielbetrieb mit <i>FIFA 19</i> in unterschiedlichen Spielereinstellungen	58
Tabelle 4.8: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Chroma im aktiven Spielbetrieb mit <i>Need for Speed Payback</i> , <i>Red Dead Redemption 2</i> und dem Online-Spiel <i>World of Tanks</i>	59
Tabelle 4.9: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Chroma im aktiven Spielbetrieb mit <i>Red Dead Redemption 2</i> , <i>Need for Speed Payback</i> und <i>FIFA 19</i>	59
Tabelle 4.10: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Chroma im aktiven Streaming-Modus	60
Tabelle 4.11: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Chroma im aktiven Player-Modus	61
Tabelle 4.12: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Voltcraft im aktiven Menübetrieb mit und ohne ständige Internetverbindung	62
Tabelle 4.13: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Voltcraft im aktiven Spielbetrieb mit <i>FIFA 19</i> in unterschiedlichen Spielereinstellungen	62

Tabelle 4.14: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Voltcraft im aktiven Spielbetrieb mit den Spielen <i>FIFA 19</i> , <i>Red Dead Redemption 2</i> und dem Online-Spiel <i>World of Tanks</i>	63
Tabelle 4.15: Leistungsaufnahme an der PS4 Pro mit der Voltcraft im aktiven Player- und Streaming-Modus	63
Tabelle 4.16: Leistungsaufnahme an der PS4 Slim mit der Chroma im Standby-Zustand mit und ohne ständige Internetverbindung	65
Tabelle 4.17: Leistungsaufnahme an der PS4 Slim im aktiven Menübetrieb, mit und ohne ständige Internetverbindung, anhand beider Messmethoden.	66
Tabelle 4.18: Leistungsaufnahme an der Xbox One X mit der Chroma im Aus-Zustand	66
Tabelle 4.19: Leistungsaufnahme an der Xbox One X mit der Voltcraft im Aus-Zustand	67
Tabelle 4.20: Leistungsaufnahme an der Xbox One X mit der Chroma im Standby-Zustand mit und ohne Internetverbindung sowie mit Daten zum Herunterladen	68
Tabelle 4.21: Leistungsaufnahme an der Xbox One X mit der Chroma im aktiven Spielbetrieb mit der <i>FIFA 19</i> mit verschiedenen Spieleinstellungen	69
Tabelle 4.22: Leistungsaufnahme an der Xbox One X mit der Chroma im aktiven Spielbetrieb mit <i>Red Dead Redemption 2</i> , <i>Need for Speed Payback</i> , <i>FIFA 19</i> und dem Online-Spiel <i>World of Tanks</i>	69
Tabelle 4.23: Leistungsaufnahme an der Xbox One X mit der Chroma im aktiven Player-Modus	70
Tabelle 4.24: Leistungsaufnahme an der Xbox One X mit der Chroma im aktiven Streaming-Modus	71
Tabelle 4.25: Leistungsaufnahme an der Xbox One S im Standby-Zustand mit und ohne Internetverbindung sowie mit Daten zum Herunterladen beider Messmethoden	71
Tabelle 4.26: Leistungsaufnahme an der Xbox One S mit der Chroma im aktiven Spielbetrieb mit <i>Red Dead Redemption 2</i> , <i>Need for Speed Payback</i> und <i>FIFA 19</i>	72
Tabelle 5.1: Tägliches Nutzungsszenario für die PlayStation 4 und die Xbox One, NRDC [48]	76
Tabelle 5.2: Vergleich der PS4 Pro-Daten im Aus-Zustand	83
Tabelle 5.3: Vergleich der PS4 Pro-Daten im Standby-Zustand	83
Tabelle 5.4: Vergleich der PS4 Pro-Daten im Aktiv-Zustand	84
Tabelle 5.5: Vergleich der PS4 Slim-Daten im Aus-Zustand	84
Tabelle 5.6: Vergleich der PS4 Slim-Daten im Standby-Zustand	85
Tabelle 5.7: Vergleich der PS4 Slim-Daten im Aktiv-Zustand	85
Tabelle 5.8: Vergleich der Xbox One X-Daten im Aus-Zustand	86
Tabelle 5.9: Vergleich der Xbox One X-Daten im Standby-Zustand	86

Tabelle 5.10: Vergleich der Xbox One X-Daten im Aktiv-Zustand	86
Tabelle 5.11: Vergleich der Xbox One S-Daten im Aus-Zustand	87
Tabelle 5.12: Vergleich der Xbox One S-Daten im Standby-Zustand	87
Tabelle 5.13: Vergleich der Xbox One S-Daten im Aktiv-Zustand	88
Tabelle 5.14: Vergleich der Nintendo SWITCH-Daten im Aktiv-Zustand	89
Tabelle 5.15: Jährlicher Energieverbrauch der PS4 Pro, nach NRDC [48]	91
Tabelle 5.16: Jährlicher Energieverbrauch der Xbox One X, nach NRDC [48]	92
Tabelle 6.1: Jährlicher Energieverbrauch des Smart-TVs	97
Tabelle 6.2: Energieverbrauch des Blu-ray-Players in verschiedenen Betriebszuständen	97
Tabelle 6.3: Energieverbrauch der Waschmaschine in unterschiedlichen Betriebszuständen	100

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 14. Jänner 2020

Cevdet Kilic