

TEXTE

65/2021

Umweltzeichen Blauer Engel für Computer

Hintergrundbericht zur Überarbeitung der
Vergabekriterien DE-UZ 78a, Ausgabe Januar 2017

TEXTE 65/2021

Ressortforschungsplan des Bundesministerium für
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl 3715 37 327 0

FB000326/3

Umweltzeichen Blauer Engel für Computer

Hintergrundbericht zur Überarbeitung der
Vergabekriterien DE-UZ 78a, Ausgabe Januar 2017

von

Andreas R. Köhler, Jens Gröger

Öko-Institut e.V., Freiburg/Berlin

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 [/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

 [/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

Öko-Institut e.V.
Merzhauser Straße 173
79100 Freiburg

Abschlussdatum:

Oktober 2016

Redaktion:

Fachgebiet III 1.3 Ökodesign, Umweltkennzeichnung, umweltfreundliche Beschaffung
Vanessa Wagner

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Mai 2021

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Umweltzeichen Blauer Engel für Computer

Der vorliegende Hintergrundbericht dient der Information über aktuelle und zukünftig absehbare Entwicklungen im Marktsektor Computertechnologie im Jahr 2016. Außerdem werden aktuelle Entwicklungen im regulatorischen Umfeld sowie bei anderen Umweltzeichen für Computer, insbesondere beim Energy Star analysiert. Alle weiteren Anforderungen des Umweltzeichens Blauer Engel für Computer werden ebenfalls auf ihre Aktualität hin überprüft und gegebenenfalls auf den neuesten Stand gebracht. Die Aktualisierung dient auch der Prüfung, ob weitere Anforderungen in die Vergabegrundlage aufgenommen werden sollen. Dieser Hintergrundbericht unterstützt die Diskussion zur weiteren Anpassung des Blauen Engels für Computer, ohne selbst die Vergabeanforderungen des Blauen Engels für Computer zu ändern. Die überarbeiteten Anforderungen werden für das Umweltzeichen für Computer DE-UZ 78, Ausgabe Januar 2017 berücksichtigt.

Abstract: Blue Angel eco-label for computers

This background report is intended to provide information on current and foreseeable future developments in the market sector of computers and notebooks in the year 2016. In addition, current developments in the regulatory environment and in other computer eco-labels, in particular Energy Star, are analysed. All other requirements of the Blue Angel Ecolabel for Computers are also reviewed and updated if necessary. The update also serves to check whether further requirements should be included in the basis for awarding the Blue Angel sign for computers. This background report supports the discussion on the further adaptation of the Blue Angel for computers without changing the Blue Angel award requirements for computers themselves. The revised criteria will be taken into account for the Blue Angel Ecolabel for Computer DE-UZ 78, Edition January 2017.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	8
Tabellenverzeichnis	8
Abkürzungsverzeichnis.....	9
Zusammenfassung.....	10
Summary	10
1 Hintergrund	11
2 Definition und Geltungsbereich	11
3 Markt- und Umfeldanalyse.....	11
3.1 Trends bei Absatz von Computern und Umsatz in der IKT Branche	11
3.2 Preise.....	12
3.3 Reparatur- und Serviceleistungen.....	13
4 Technologietrends und Nutzungsarten für IKT	13
4.1 Hardwaretrends	13
4.2 Nutzungstrends.....	16
5 Trends bei anderen Ökolabels.....	16
5.1 Übersicht existierender Berechnungsmodelle.....	16
5.1.1 Ökodesign-Verordnung EU 617/2013.....	17
5.1.2 Energy Star v6.1 Computer	18
5.1.3 Vergleich von Anforderungen der Vergabegrundlagen Ökodesign-Verordnung EU 617/2013 versus Energy Star v6.1 Computer	19
5.1.4 Zusammenfassung und Auswertung.....	21
5.1.4.1 Definition von Betriebszuständen und zeitliche Verteilung der Betriebszustände.....	21
6 Umweltaspekte	23
6.1 Stromverbrauch	23
6.1.1 Desktop-PCs mit integrierter Grafikkarte (iGfx): Vergleich der TEC Werte von Energy-Star PCs mit den jeweils zulässigen Grenzwerten nach Ökodesign-VO	24
6.1.1.1 PC Kategorie A (iGfx).....	24
6.1.1.2 PC Kategorie B (iGfx).....	24
6.1.1.3 PC Kategorie C (iGfx)	24
6.1.1.4 PC Kategorie D (iGfx).....	24
6.1.2 Desktop-PCs mit diskreter Grafikkarte (dGfx): Vergleich der TEC Werte von Energy- Star PCs mit den jeweils zulässigen Grenzwerten nach Ökodesign-Verordnung	25
6.1.2.1 PC Kategorie A (dGfx).....	25

6.1.2.2	PC Kategorie B (dGfx).....	25
6.1.2.3	PC Kategorie C.....	26
6.1.2.4	PC Kategorie D	26
6.1.3	Notebooks mit interner Grafikkarte (iGfx): Vergleich der TEC Werte von Energy-Star PCs mit den jeweils zulässigen Grenzwerten nach Ökodesign-Verordnung	27
6.1.4	Notebooks mit diskreter Grafikkarte (dGfx): Vergleich der TEC Werte von Energy-Star PCs mit den jeweils zulässigen Grenzwerten nach Ökodesign-VO.....	27
6.1.4.1	Notebooks Kategorie A (dGfx)	27
6.1.4.2	Notebooks Kategorie B (dGfx)	27
6.1.4.3	Notebooks Kategorie C (dGfx)	28
6.1.5	Emissionen	28
7	Quellenverzeichnis	33

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Intels Innovationszyklen in der CMOS Fertigung.....	15
Abbildung 2:	Vergleich der durchschnittlichen TEC-Werte gemäß Energy Star 6.1 versus Ökodesign-Verordnung für PCs mit dGfX.....	20
Abbildung 3:	Vergleich des TEC _{max} bei PCs mit dGfX: EnergyStar 6.1 versus Ökodesign-Verordnung	21
Abbildung 4:	Vergleich der zeitlichen Gewichtung der Betriebszustände	22
Abbildung 5:	TEC Werte von Energy-Star PCs der Kategorie B (iGfx)	24
Abbildung 6:	TEC Werte von Energy-Star PCs der Kategorie D (iGfx).....	25
Abbildung 7:	TEC Werte von Energy-Star PCs der Kategorie B (dGfx).....	25
Abbildung 8:	TEC Werte von Energy-Star PCs der Kategorie C (dGfx).....	26
Abbildung 9:	TEC Werte von Energy-Star PCs der Kategorie D (dGfx).....	26
Abbildung 10:	TEC Werte von Energy-Star Notebooks ohne Kategorie (iGfx)	27
Abbildung 11:	Vergleich des gesamten Treibhausgaspotenzials (THG100) von Arbeitsplatzlösungen kumuliert über 10 Jahre (aufgeschlüsselt nach Lebenszyklusphasen mit Gutschriften für Recycling)	29
Abbildung 12:	Anteil der Lebenszyklusphasen am Treibhausgaspotenzial der drei Arbeitsplatzlösungen mit PC und Notebook (ohne Recyclinggutschriften)	29

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht der untersuchten Berechnungsmodelle	17
Tabelle 2:	Übersicht der untersuchten Berechnungsmodelle	18
Tabelle 3:	Gewichtung der Betriebszustände innerhalb des Energy Star v6	19
Tabelle 4:	Treibhausgaspotenzial (THG100) der Herstellung eines Computerarbeitsplatzes mit Desktop-PC	30
Tabelle 5:	Treibhausgaspotenzial (THG100) der Herstellung eines Computerarbeitsplatzes mit Notebook.....	30
Tabelle 6:	Treibhausgaspotenzial (THG100) der Nutzungsphase in kg CO ₂ e	31

Abkürzungsverzeichnis

CO₂e	Kohlenstoffdioxid-Äquivalent
CMOS	eine Bezeichnung für Halbleiterbauelemente (Complementary metal-oxide-semiconductor)
CPU	Prozessoren in Computern
DDR4 Slots	DRAM Speicherriegel mit 288 Kontakten
dGfx	diskrete Grafikeinheit
DIMM	Speicherriegel
DRAM	elektronischer Speicherbaustein (Dynamic Random Access Memory)
ECM	Enterprise Content Management
ECMA	Ein Industriestandard
EUV	Extreme Ultraviolett Lithografie
Gbps	Giga-Bit pro Sekunde
Gbyte	Giga-Byte
GPU	Grafikprozessor
HDD	magnetischer Datenspeicher (Festplatte)
IC	integrierte Schaltkreise
IDM	Chiphersteller (Integrated device manufacturers)
iGfx	integrierte Grafikkarte
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
LAN	lokales Netzwerk in der Computertechnik
ÖVO	Ökodesign-Verordnung
PC	Personal Computer
SSD	festkörperbasierte Massenspeicher (Solid State Drive)
TEC	jährlicher Gesamtenergieverbrauch eines Computers
THG	Treibhausgasemissionen
Z-NAND	Einen Typ von Flash-Speichern

Zusammenfassung

Der vorliegende Hintergrundbericht dient der Information über aktuelle und zukünftig absehbare Entwicklungen im Marktsektor Computertechnologie im Jahr 2016. Außerdem werden aktuelle Entwicklungen im regulatorischen Umfeld sowie bei anderen Umweltzeichen für Computer, insbesondere beim Energy Star analysiert. Alle weiteren Anforderungen des Umweltzeichens Blauer Engel für Computer werden ebenfalls auf ihre Aktualität hin überprüft und gegebenenfalls auf den neuesten Stand gebracht. Die Aktualisierung dient auch der Prüfung, ob weitere Anforderungen in die Vergabegrundlage aufgenommen werden sollen. Dieser Hintergrundbericht unterstützt die Diskussion zur weiteren Anpassung des Blauen Engels für Computer, ohne selbst die Vergabeanforderungen des Blauen Engels für Computer zu ändern. Die überarbeiteten Anforderungen fließen in das Umweltzeichen für Computer DE-UZ 78, Ausgabe Januar 2017 ein.

Summary

This background report is intended to provide information on current and foreseeable future developments in the market sector of computers and notebooks in the year 2016. In addition, current developments in the regulatory environment and in other computer eco-labels, in particular Energy Star, are analysed. All other requirements of the Blue Angel Ecolabel for Computer are also reviewed and updated if necessary. The update also serves to check whether further requirements should be included in the basis for awarding the Blue Angel sign for computers. This background report supports the discussion on the further adaptation of the Blue Angel for computers without changing the Blue Angel award requirements for computers themselves. The revised criteria will be taken into account for the Blue Angel Ecolabel for Computer DE-UZ 78, Edition January 2017.

1 Hintergrund

Die aktuell geltende Ausgabe der Vergabegrundlage des Blauen Engels für Computer RAL-UZ 78a (neu DE-UZ 78)¹ wurde in 2013 letztmalig überarbeitet. Die schnelllebigen Entwicklungen im Technologiebereich Informationstechnologie lassen es notwendig erscheinen die geltende Vergabegrundlage periodisch zu überprüfen und auf den aktuellen Stand zu bringen. Damit soll das Ziel umgesetzt werden den Blauen Engel für Computer als anspruchsvolles Umweltzeichen zu etablieren.

Der vorliegende Hintergrundbericht dient der Information über aktuelle und zukünftig absehbare Entwicklungen im Marktsektor Computertechnologie. Außerdem werden aktuelle Entwicklungen im regulatorischen Umfeld sowie bei anderen Umweltzeichen für Computer, insbesondere beim Energy Star analysiert. Alle weiteren Anforderungen werden ebenfalls auf ihre Aktualität hin überprüft und gegebenenfalls auf den neuesten Stand gebracht. Die Aktualisierung dient auch der Prüfung, ob weitere Anforderungen in die Vergabegrundlage aufgenommen werden sollen. Dieser Hintergrundbericht unterstützt die Diskussion zur weiteren Anpassung des Blauen Engels für Computer, ohne selbst die Vergabeanforderungen des Blauen Engels für Computer zu ändern.

2 Definition und Geltungsbereich

Die aktuelle Vergabegrundlage UZ 78a (Ausgabe November 2014) enthält folgende Definition:

„Computer: bezeichnet ein Gerät, das Logikoperationen ausführt und Daten verarbeitet, das in der Lage ist, Eingabegeräte zu nutzen und Informationen auf Anzeigegeräten auszugeben, und in der Regel eine Zentraleinheit (ZE) beinhaltet, die die Operationen ausführt. Ist keine ZE vorhanden, muss das Gerät als Client Gateway zu einem Computerserver fungieren, der als Computerverarbeitungseinheit dient. Der Begriff Computer umfasst sowohl Arbeitsplatzcomputer (Desktop Computer, integrierte Desktop Computer, Small-Scale-Server, Thin Clients und Workstations) als auch tragbare Computer (Notebooks, Tablet Computer, Slate Computer, Mobile Thin Clients u.a.).“ Diese Definition ist weiterhin aktuell und bedarf keiner Veränderung.

3 Markt- und Umfeldanalyse

3.1 Trends bei Absatz von Computern und Umsatz in der IKT Branche

Der Absatz für PCs und auch Notebooks in Deutschland entwickelte sich seit etwa 2010 rückläufig. Für stationäre Desktop Computer, Mobile PCs (Notebooks) und Tablets gingen die Verkaufszahlen in Deutschland von 14,4 Mio Stück in 2010 auf 10,3 Mio Stück in 2015 zurück². Für das Jahr 2016 prognostizierte Destatis einen Absatz 4,5 Millionen Stück stationäre Desktop PCs und 5,6 Millionen Stück mobile PCs auf dem deutschen Markt. Im selben Jahr wird ein Absatz von bis zu 8 Millionen Stück Tablets erwartet. Die Verdrängung stationärer Gerätetypen durch leichtere mobile Geräte wird sich auch in den kommenden Jahren anhalten. Das Marktsegment für private Konsumenten zeigt den rückläufigen Trend am deutlichsten. Als Gründe dafür wird die Transition zu leichten und mobilen Konsumenten-Endgeräten wie

¹ Der vorliegende Bericht stellt die Rahmenbedingungen im Jahr 2016 dar. Im Januar 2018 wurde die Bezeichnung von RAL-UZ 78 auf DE-UZ 78 geändert. Im folgenden Text wird daher die Kurzformen UZ 78a/UZ 78 genutzt.

² Statista (2016)

Tablets und Smartphones genannt. Im gewerblichen Anwendungskontext werden PCs hingegen durch die Nutzung von Thin Clients verdrängt obwohl sich auch dieses Marktsegment im letzten Jahr eher rückläufig entwickelt hat (IDC, 2016)³. Thin Clients bleiben auf absehbare Zeit weiter ein Nischenprodukt wobei durch eine zunehmende Adaption von Desktop-as-a-Service-Lösungen noch zusätzliche Impulse für diese Gerätetypen geben können. Allerdings wird ein Anstieg der Absatzzahlen erwartet. Eine ähnliche Entwicklung ist auch auf dem weltweiten Markt für IKT zu beobachten. Die Übersicht fasst die beiden Gerätetypen Desktop PCs und Notebooks zusammen⁴. Bis 2010 stieg der weltweite Absatz von PCs noch kontinuierlich an. Seit etwa 2011 weisen die jährlichen Verkaufszahlen der verkauften PCs und Notebooks jedoch einen rückläufigen Trend auf. In den Jahren 2011 bis 2015 sank der jährliche Absatz von PCs um fast 100 Millionen Stück. Die Prognose zeigt einen weiteren Rückgang von circa weiteren 20 Millionen Stück bis zum Jahr 2020.

Der Rückgang von PCs und Notebooks erklärt sich mit einem deutlichen Anstieg der Verkaufszahlen bei mobilen Geräten, insbesondere Smartphones. Der Informationsdienst IDC erwartet im Jahr 2020 weltweit einen Absatz von rund 250 Millionen Desktop und Notebook PCs während im selben Jahr eine siebenfach höhere Menge an Smartphones verkauft werden wird⁵. Auch das Marktsegment Tablets wird sich bis auf weiteres positiv entwickeln und laut Prognose im Zeitraum von 2014-2018 um bis zu 5,4 % wachsen⁶. Aus den beobachteten Markttrends lässt schlussfolgern, dass – zumindest im Marktsegment für private Konsumenten – die Bedeutung von stationären PCs und Notebooks zugunsten der mobilen Tablets und Smartphones weiter abnehmen wird. Allerdings wird das Marktsegment stationäre Desktop-PCs in absehbarer Zeit nicht weiter einbrechen oder gar verschwinden. Nach der gegenwärtigen Phase der Marktkorrektur ein etwas geschrumpfter aber relativ stabiler Markt erwartet. Notebooks werden auch zukünftig Veränderungen des Formfaktors erleben wobei sogenannte Convertibles noch zulegen könnten zu Lasten der klassischen Tablets.

3.2 Preise

Die Preise für PCs und Notebooks durchschnittlicher Ausstattung haben sich seit 2008 in etwa angeglichen und sind seitdem relativ stabil geblieben. Desktop-PCs kosteten in Deutschland im Jahr 2005 durchschnittlich 669 € und Notebooks 1053 €. Im Jahr 2015 hatten sich die Straßenpreise beider Gerätetypen nahezu angeglichen. Desktop-PCs kosteten in 2015 durchschnittlich 590 € und Notebooks 609 €. Die Preisentwicklung korreliert dabei nicht mit den sinkenden Verkaufszahlen für diese Gerätetypen. Als Hauptgründe für den Absatzrückgang werden stattdessen Schwankungen der Kaufkraft infolge der Aufwertung des Dollars gegenüber dem Euro genannt⁷. Außerdem spielte offensichtlich die wenig dynamische Innovationen bei Soft- und Hardware eine Rolle. Marktbeobachter vermuten, dass die Nutzer ihre vorhandenen Geräte länger nutzen und daher seltener ersetzen (reduzierte Obsoleszenz). Jedoch könnte die Umstellung auf Windows 10 ab 2015 zu einer Zunahme der Obsoleszenz im Hardwarebereich

³ IDC (2016): <http://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS41139816>, zuletzt abgerufen: Mai 2016

⁴ Es ist anzumerken, dass ab 2010 der zugrundeliegende Datensatz für PCs auch den Absatz von Workstations enthält. Deshalb ist der Wert für 2009 nur bedingt mit denen der Folgejahre vergleichbar.

⁵ Die Darstellung enthält keine Prognose für Tablet PCs in 2020, diese werden dann aber weiterhin am Markt sein.

⁶ Brandt, M. (2014) Ausblick für PCs trotz abflauendem Tablet-Boom düster. Statista. Online verfügbar: <https://de.statista.com/infografik/1973/weltweiter-absatz-von-tablets-und-pcs/> zuletzt abgerufen: Mai 2016

⁷ Tiefenthäler, R. (2015) PC-Hersteller verkaufen weniger Desktops <http://www.notebookcheck.com/Top-5-PC-Hersteller-verkaufen-weniger-Desktops-Notebooks-und-Ultramobiles.146222.0.html> zuletzt abgerufen im Mai 2016

führen und steigende Nachfrage nach sich ziehen. Diese Annahme hat sich jedoch bis zum zweiten Quartal 2016 nicht bestätigt⁸.

Die Preise der Hardware wird von den besonders teuren Bauteilen bestimmt. Dazu gehören bei Computern generell der Prozessor, der Grafikchip, die Art des Speichers (SSD oder Festplatte) und das Display. Bei Notebooks gehört auch der Akku zu den besonders preisrelevanten Komponenten. Letztere zeichnen sich durch deutliche Qualitätsunterschiede hinsichtlich Kapazität, Ladezyklen und Sicherheit aus.

3.3 Reparatur- und Serviceleistungen

Umsatz der Reparaturbranche für IKT Geräte stagniert seit einigen Jahren. Trotz der bis 2010 gestiegenen Verkaufszahlen von Desktop PCs und Notebooks hat diese Gerätegeneration nicht zu einem zeitlich verzögerten Anstieg des Umsatzes für Reparaturen geführt. In 2008 lag der Umsatz der Branche Reparatur von IKT und peripheren Geräten in Deutschland bei 653 Mio € und stieg bis 2015 auf 926 Mio €⁹. Die seit etwa 2011 zu beobachtende Stagnation des Absatzes für PCs und Notebooks gibt keinen Anlass für steigende Umsatzprognosen der Reparaturbranche IKT. Bei Notebooks ist zu beobachten, dass die mechanische Haltbarkeit bei professionellen Geräten in den letzten Jahren deutlich zugenommen hat. Dadurch könnte sich die Nutzungsdauer der Geräte auch ohne Reparatur verlängert haben¹⁰.

4 Technologietrends und Nutzungsarten für IKT

4.1 Hardwaretrends

Die technologischen Innovationen in der Halbleiterindustrie bestimmen nach wie vor die Entwicklungen auf den Marktsektoren der PCs und Notebooks. Die Industrie verfolgt eine seit einigen Jahren etablierte Roadmap zur weiteren Leistungssteigerung der aktiven Halbleiterbauelemente, insbesondere bei Prozessoren (CPU), Grafikprozessoren (GPU) und Systemspeichern (DRAM). Seit den frühen 70er Jahren folgt der Innovationspfad in der Halbleiter-Industrie dem sogenannten Moor'sche Gesetz (Moore's Law), welches besagt, dass sich die Anzahl der pro Flächeneinheit herstellbaren Transistoren bei integrierten Schaltkreisen (ICs) etwa alle zwei Jahre verdoppelt. Dies wird durch immer weitere Miniaturisierung der Strukturgrößen bei der Halbleiterfertigung erreicht wodurch bei ICs ein exponentielles Wachstum der Transistordichte erzielt wird. Zudem treten in den letzten Jahren verstärkt festkörperbasierte Massenspeicher (Solid State Drives, SSD) auf dem Markt in Erscheinung. Letztere bestehen aus Halbleitermaterialien und enthalten keine beweglichen Teile mehr. Dies bewirkt nicht nur die Steigerung der Leistungsfähigkeit von Computern sondern auch ein besseres Kosten - Leistung Verhältnis.

Durch das Moor'sche Gesetz hatten die Chiphersteller (Integrated device manufacturers, IDM) bisher die volle Kontrolle über das Tempo der technologischen Innovationen und konnten das

⁸ Schulte, S. (2016) Weltweiter PC-Absatz ist weiter rückläufig <http://www.crn.de/server-clients/artikel-110870.html> zuletzt abgerufen im Mai 2016

⁹ Statista; Eurostat (2016) Umsatz der Branche Reparatur von Computern <http://de.statista.com/prognosen/400550/reparatur-von-computern-und-zubehoer-in-deutschland---umsatzprognose> Zuletzt abgerufen im Mai 2016

¹⁰ ISG Research (2016): <http://www.experton-group.de/research/ict-news-dach/news/standpunkt-das-ende-des-end-user-computings-ist-nahe.html> Zuletzt abgerufen im Mai 2016

Marschtempo der Computer-Industrie vorgeben. Systemintegratoren (Computer Hersteller) hingegen bauten die jeweils neu auf den Markt kommenden Generationen von ICs in neue und immer leistungsfähigere Computersysteme ein. Allerdings hat die rasche Abfolge von neuen Generationen bei Prozessoren auch zur Folge, dass die Systemintegratoren kaum in der Lage waren bestehende Computersysteme zu optimieren bevor schon die nachfolgende IC Generationen auf den Markt kam (ITRS, 2015). Mittelfristig wird erwartet, dass SSDs die magnetischen Datenspeicher (HDDs) ablösen werden. Eine der Konsequenzen der raschen Abfolge neuer IC Generationen ist neben der progressiven Obsoleszenz¹¹ von Computerhardware auch der Mangel Aufwärtskompatibilität der angebotenen Computersysteme. So ist die Nachrüstbarkeit älterer Computer oftmals dadurch limitiert, dass die Systeme nur begrenzte Menge an DRAM adressieren können oder inkompatibel zu externen Schnittstellen werden.

Speicher und Speichermedien: Fortschritte bei der Entwicklung neuer Formen von nichtflüchtigen Speichern, die versprechen mehr Daten zu geringeren Kosten zu speichern und deutlich weniger Strom zu verbrauchen. Intel und Micron wollen in 2016 eine als "Optane" bezeichnete völlig neue Speichertechnologie basierend auf einem 20nm-Prozess auf den Markt bringen¹². Diese solid-state Technologie basiert auf einer sogenannten „3D Xpoint“ Architektur, bei welcher die einzelnen nichtflüchtigen Speicherzellen in einem dreidimensionalen Gitter angeordnet sind. 3D XPoint Speicher sollen eine Lese- und Schreibgeschwindigkeit von über 20 Gbps erreichen. Diese Geschwindigkeit erreicht Werte, welche bisher nur von flüchtigen Speichertechnologien (RAM) erreicht wurden. Intel zufolge wird Optane deshalb den Unterschied zwischen flüchtigen und nichtflüchtigen Speichern (DRAM und SSD) aufheben. Stattdessen werden zukünftige Computer die Optane Speicher sowohl als Arbeitsspeicher als auch als Massespeicher nutzen. Deshalb sollen Intel's Optane Speichermodule in Form von DDR4 DIMM Speicherriegeln auf den Markt kommen und elektronisch und physisch mit DDR4 Slots kompatibel sein. Damit wäre es durchaus möglich, dass typische Computer in einigen Jahren keine anderen Datenspeicher als ein 3D-XPoint Arbeitsspeicher haben werden.

Kurzfristig sollen 3D XPoint Produkte als separate SSDs und Speicher-DIMMs auf den Markt kommen, um abwärtskompatibel zu bestehenden Computersystemen zu sein. Intel bewirbt die Markteinführung von Optane DIMMs ab 2017, so dass die Technologie alsbald auch für Workstations, Gaming-PCs und Server zur Verfügung stehen könnte. Auch die Markteinführung von 3D XPoint Speichern im SSD-Formfaktor ist vor Ende 2016 angekündigt. Diese werden wahrscheinlich zunächst nur für Rechenzentren (Cloud-Anwendungen) zur Verfügung gestellt werden. Für Consumer-Geräte wird sich die 3D XPoint Technologie jedoch erst langfristig auf dem IKT Markt bemerkbar machen. Jedenfalls ist klar, dass diese 3D Xpoint Technologie nur dann ihre Potenziale voll ausschöpfen kann, wenn die Speicheradressierung im Computer komplett neu organisiert wird. Dies erfordert eine völlig neue Hardwarearchitektur (z.B. CPU) sowie neukonzipierte Betriebssysteme und Anwendungssoftware (Labs, 2016).

Zu erwarten ist die Verbreitung von nicht-flüchtigen Flash-Speichern auf Basis einer als 3D-NAND bezeichneten Technologie. Samsung beispielsweise hat die Markteinführung eines 3-dimensional aufgebauten SSD Massenspeichers angekündigt. Dieser enthält sogenannte „Z-

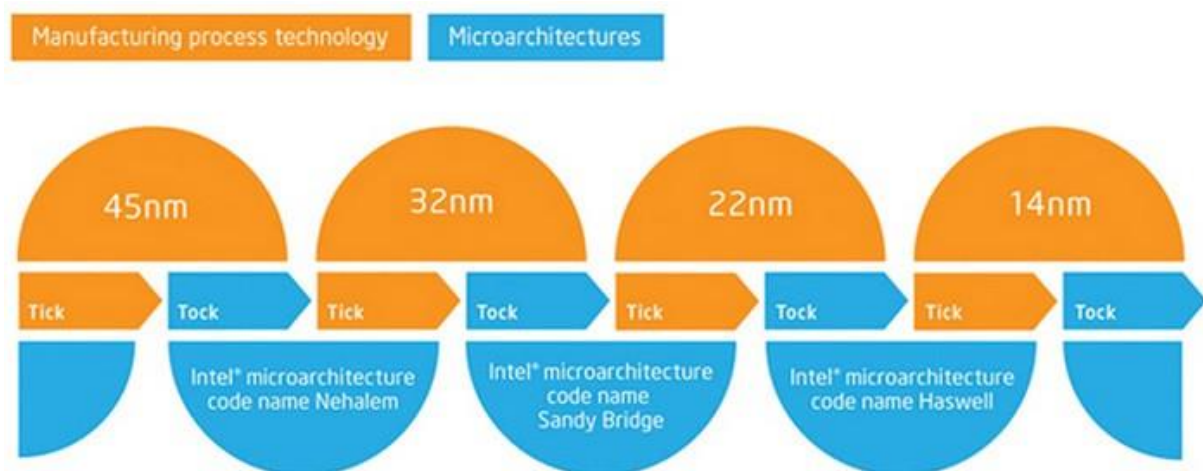
¹¹ Verkürzung der Hardwarelebensdauer durch relative Veralterung installierter Hardware im Vergleich zum aktuellen Stand der Technik.

¹² WTW Media LLC (2016): <http://www.scientificcomputing.com/news/2016/01/top-9-computing-technology-trends-2016>
Zuletzt abgerufen: Mai 2016

NAND“ Chips mit 64 übereinander liegenden Lagen von vertikal angeordneten NAND Zellen. Solche 3D-SSD Laufwerke weisen eine 10-fach höhere Lese- und Schreibgeschwindigkeit auf als heutige SSDs und werden weit mehr als ein Terabyte Kapazität haben. Wie die heutigen High-End-SSDs werden sie etwa 25W verbrauchen. Es zeichnet sich ab, dass sich Z-NAND SSDs wesentlich früher auf dem PC Markt verbreiten werden als Intel's noch weithin unbekannte Optane.

Logic ICs (CPU): Die bis vor einigen Jahren geltende Trajektorie der Innovationen im Halbleitersektor basierte auf der immer weiter voranschreitenden Miniaturisierung der Halbleiter Strukturen (Transistoren) auf CMOS Chips, zu denen die Hauptprozessoren sowie Grafikprozessoren gehören. Diese durch das Moor'sche Gesetz bestimmte Innovationsroadmap wird beim CPU Hersteller Intel seit einigen Jahren in Form eines sogenannten "Tick-Tack" Zyklus der Produktentwicklung realisiert (Abbildung 1). Dabei steht jeder „Tick“- Zyklus für die periodische Umstellung der Halbleiterfertigung („fab“) auf eine jeweils weiter miniaturisierte Dimension des Chip-Designs.

Abbildung 1: Intels Innovationszyklen in der CMOS Fertigung



Quelle: Quelle: (Mardi, 2016) ¹³

Der gegenwärtige noch immer den PC Markt dominierende Stand der Technik (Node) in der Halbleiterfertigung ist 22nm, das heißt, die Strukturbreite der Transistoren (half-pitch) liegt bei 22nm. Intel bezeichnet diese CPU Generation als „Haswell“ Prozessoren. Andere Hersteller blieben derweil bei der 28nm Fertigungstechnologie. Im aktuellen Tick-Zyklus wird diese Prozessorarchitektur auf 14nm skaliert. 14nm CPUs werden von Intel seit 2015 unter dem Namen „Broadwell“ auf den Markt angeboten und sind zunächst für high-end Anwendungen relevant. Der aktuelle „Tock Zyklus“ beinhaltet die Weiterentwicklung der Prozessorarchitektur unter den Codenamen „Skylake“ (Intel) bzw. „Zen Core“ (AMD). Der nächste Miniaturisierungszyklus („Tick“) auf 10nm (Codename „Cannonlake“) wird von Branchenkennern für das Jahr 2017 erwartet (Campbell, 2016). Intels derzeitige Pläne legen nahe, dass der 10nm Node unter der Bezeichnung „Icelake“ bis etwa 2020 genutzt werden wird und anschließend von einem 5nm Node ersetzt wird. Für die Halbleiterfertigung in Dimensionen unter 10 nm wird gegenwärtig die EUV-Lithografie (Extreme Ultraviolett Lithografie)

¹³ Mardi, S. (2016) Intel is going to release their 10nm CPUs in 2017. <https://www.teckknow.com/intel-is-going-to-release-their-10nm-cpus-in-2017/> Zuletzt abgerufen: 5/2016

entwickelt. Aus heutiger Perspektive ist unklar wie die Entwicklung der Computertechnologie danach weiter geht da die Miniaturisierung in Dimensionen unter 5nm auf physikalische Grenzen stößt.

4.2 Nutzungstrends

In Deutschland lag der Ausstattungsgrad von privaten Haushalten mit PCs im Jahr 2015 bei 86 Prozent (Statista 2016). Demnach werden Endgeräte wie PCs und Notebooks vom nahezu allen Computernutzern (99%) zum Surfen im Internet genutzt. 83% der Nutzer benutzen daneben auch das Smartphone bzw. Tablet-Computer als Internet Access Device. PCs und Notebooks sind nach wie vor die Gerätegruppen mit der größten Nutzungsintensität. Andere Gerätetypen wie Smartphones und Tablets kommen hingegen nur auf etwa die Hälfte dieser Nutzungsdauer.

Die zunehmende Nutzung von Anwendungssoftware und Datenspeicherung über das Internet dürfte für die ausgeprägte Intensität der Internetnutzung via PCs mitverantwortlich sein. 16 Prozent der Internetnutzer nutzen solche cloud-basierten Produktivtools, z.B. Office-Programme, zur Bearbeitung und Speicherung von Texten, Tabellenkalkulation, Präsentationen oder anderen Dokumenten (Bitkom, 2016)¹⁴. Cloud-basierte Software ermöglicht es zwar unabhängig von Gerätetyp und Ort zu arbeiten aber diese Funktionen lassen sich aus Gründen der Ergonomie nach wie vor besser an Geräten mit großem Display erledigen. Trotz dieser Vorteile verwenden aber die große Mehrheit der privaten Computerbesitzer bislang lokale Software und Datenspeicher.

Auch im gewerblichen Nutzungsumfeld ist die Digitalisierung der Geschäftsprozesse mittels „Enterprise Content Management“ (ECM) oder Software für das Prozess-Management noch nicht sehr weit fortgeschritten. Laut Bitkom¹⁵ setzen in Deutschland bisher nur 40 Prozent der Unternehmen aller Branchen auf eine Digitalisierungsstrategie. Dabei ist die Digitalisierung von Dokumenten der von 51 Prozent der Unternehmen bisher am häufigsten verwendete Nutzungszweck von ECM. Weitere 14 bis 25 % der Unternehmen haben demnach die Umstellung auf digitale Lösungen konkret geplant. Die Computernutzung in der öffentlichen Verwaltung ist vorrangig durch die Verwendung von stationären Arbeitsplatzlösungen (PCs) geprägt. In Deutschland sind im öffentlichen Dienst ca. 4,6 Millionen Personen beschäftigt. Hiervon ist ein großer Teil der Beschäftigten an Computerarbeitsplätzen tätig¹⁶.

5 Trends bei anderen Ökolabels

5.1 Übersicht existierender Berechnungsmodelle

Für die Analyse werden sechs unterschiedliche Berechnungsmodelle herangezogen. Die Auswahl dieser Berechnungsmodelle basiert auf deren aktueller Nutzung sowohl in Beschaffungs- und Energiekennzeichnungsrichtlinien als auch für lebenszyklusorientierte

¹⁴ Bitkom (2016) <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Jeder-Sechste-nutzt-Buerosoftware-in-der-Cloud.html>

¹⁵ Bitkom (2016) Der Weg zum digitalen Büro ist erst zur Hälfte geschafft <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Der-Weg-zum-digitalen-Buero-ist-erst-zur-Haelfte-geschafft.html>

¹⁶ Statistisches Bundesamt, 2013.

Umweltbewertungen. Die nachstehende Tabelle 1 zeigt die Berechnungsmodelle im Überblick. Im Anschluss werden die Berechnungsmodelle für Energy Star v6.1 detailliert vorgestellt.

Tabelle 1: Übersicht der untersuchten Berechnungsmodelle

Bezeichnung	Berechnungsformel (in kWh/Jahr)
Ökodesign-Verordnung EU 617/2013	$E = (P_{\text{off}} \cdot T_{\text{off}} + P_{\text{sleep}} \cdot T_{\text{sleep}} + P_{\text{idle}} \cdot T_{\text{idle}}) / 1000$
Energy Star v6.1 (final)	$ETEC = 8760/1000 \cdot (P_{\text{off}} \cdot T_{\text{off}} + P_{\text{sleep}} \cdot T_{\text{sleep}} + P_{\text{long_idle}} \cdot T_{\text{long_idle}} + P_{\text{short_idle}} \cdot T_{\text{short_idle}})$
ECMA 383	$TEC_{\text{estimate}} = 8760/1000 \cdot [P_{\text{off}} \cdot T_{\text{off}} + P_{\text{sleep}} \cdot T_{\text{sleep}} + P_{\text{idle}} \cdot T_{\text{idle}} + P_{\text{side}} \cdot (T_{\text{side}} + T_{\text{work}})]$
Fujitsu (Business Office)	Typical Annual Energy Consumption $AEC = [(T_{\text{on mode}} \cdot P_{\text{on mode}}) + (T_{\text{standby}} \cdot P_{\text{standby}}) + (T_{\text{min WoL}} \cdot P_{\text{min WoL}}) \cdot 260 \text{ d} + 105 \text{ d} \cdot P_{\text{min WoL}} \cdot 24 \text{ h}] / 1000$
PG GreenIT	$E = [203,27 \cdot (P_{\text{off}} \cdot T_{\text{off}} + P_{\text{sleep}} \cdot T_{\text{sleep}} + P_{\text{idle}} \cdot T_{\text{idle}} + T_{\text{netzgetrennt}} \cdot 0) + 161,73 \cdot (P_{\text{off}} \cdot T_{\text{off}} + T_{\text{netzgetrennt}} \cdot 0)] / 1000$

5.1.1 Ökodesign-Verordnung EU 617/2013

Die Nr. 617/2013 der Kommission¹⁷ vom 26.06.2013 stellt die Berechnungsgrundlage der aktuellen Vergabegrundlage UZ 78a dar.

Die EU Verordnung referenziert den Energy Star v5.2 und betrifft die folgenden Geräteklassen: Desktop-Computer, integrierte Desktop-Computer, Notebook-Computer (einschließlich Tablet-Computern¹⁸, Slates¹⁹ und mobiler Thin-Clients²⁰), Desktop-Thin-Clients, Workstations²¹, mobile Workstations, Small-Scale-Server und Computerserver²². In der Verordnung werden die folgenden Betriebszustände definiert: „Aus-Zustand“, „Niedrigstenergiezustand“, „Ruhezustand“, „Leerlaufzustand“. Die jeweiligen Spezifikationen sind in Tabelle 2 ersichtlich.

Die Bewertung der Geräte erfolgt nach dem Energy Star v5.2. Je nach Hardwarekonfiguration werden PCs in vier Kategorien A, B, C und D eingeteilt. Die festgelegten Grenzwerte für die Basisausstattung wurden jedoch im Gegensatz zum EnergyStar v5.2 herabgesetzt. Die Verordnung setzt somit höhere Anforderungen an die Energieeffizienz der Computer.

Zur Berechnung des jährlichen Gesamtenergieverbrauchs (TEC) werden im Rahmen der Verordnung die in Tabelle 2 aufgelisteten zeitlichen Gewichtungen für die Betriebszustände

¹⁷ Text der Verordnung siehe <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:175:0013:0033:DE:PDF>

¹⁸ Tablet Computer werden in der Verordnung 617/2013 als Notebookcomputer mit einem Touch-Display und einer damit verbundenen physischen Tastatur bezeichnet.

¹⁹ Als Slates werden Tablet-Computer bezeichnet, die ein Touch-Display ohne physische Tastatur enthalten.

²⁰ Mobile Thin Clients: Bezeichnet einen Notebook-Computer, welcher eine Verbindung zu einem Remote-Computer benötigt, um die primären Funktionen bereit zu stellen. Sie enthalten keine magnetischen Festplatten.

²¹ Workstation ist ein Hochperformance-PC für spezifische Anwendungen. Ausgeschlossen sind Spiele-PCs.

²² Sämtliche Server sind spezifische Computer, die verschiedene Ressourcen (Dienste, Applikationen, Speicher) anderen Nutzern über ein Netzwerk zur Verfügung stellen.

verwendet. Die Wahl der Gewichtungsfaktoren basiert dabei auf dem Energy Star v5.2 Nutzungsszenario „Conventional Profile“.

Tabelle 2: Übersicht der untersuchten Berechnungsmodelle

Modus	Gewichtung im „Conventional Profile“
T _{off}	55 %
T _{sleep}	5 %
T _{idle}	40 %

Zusätzlich werden „funktionsspezifische Anpassungen“ des jährlichen Gesamtenergieverbrauchs vorgenommen, wenn bestimmte Hardwarekriterien erfüllt sind. Zum Beispiel erhöht die Verwendung eines zusätzlichen internen Speichers den jährlichen Gesamtenergieverbrauch um 25 kWh/a. Für Grafikkarten gibt es eine komplexere Unterteilung mit zugeordneten TEC-Toleranzwerten für verschiedene Grafikkartenkonfigurationen.

Die Berechnung des jährlichen Gesamtenergieverbrauchs erfolgt mit folgender Formel:

$$E_{TEC} = (8760 / 1000) * (0,55 * P_{off} + 0,05 * P_{sleep} + 0,40 * P_{idle})$$

Für Geräte, die nicht die Möglichkeit bieten, einen Ruhemodus zu aktivieren und deren Energieverbrauch im Leerlaufzustand ≤ 10 W wird folgende Formel verwendet. Sie ergibt sich aus einer Gleichsetzung von P_{sleep} und P_{idle} .

$$E_{TEC} = (8760/1000) * (0,55 * P_{off} + 0,45 * P_{idle})$$

5.1.2 Energy Star v6.1 Computer

Der Energy Star v6 für Computer wurde am 02.06.2014 in Kraft gesetzt²³ und am 10.09.2014 mit der Version 6.1 ergänzt. Diese Fassung (6.1) ist mit Beschluss der EU-Kommission vom 15. August 2015 auch im Geltungsbereich des EU Rechts die gültige Version²⁴. Da Version v6 in weiten Teilen der in der Version Energy Star v5.2 entspricht, dessen Berechnungsmodell in der Ökodesign-Verordnung EU 617/2013 übernommen wurde (beschrieben in 5.1.1), wird im Folgenden nur auf Unterschiede und Neuerungen eingegangen.

Die Liste der betrachteten Geräteklassen wurde in v6.0 um „*Tablet Computers*“ und „*Slate Computing Devices*“ erweitert²⁵ und mit v6.1 nochmals um zwei neue Produkttypen „*Slates/Tablets*“ und „*Portable All-In-One Computers*“ ergänzt. Des Weiteren wurde die Unterteilung der Notebooks erweitert und ein neuer Sub-typ „*Two-In-One Notebooks*“ integriert. Notebooks mit integriertem Grafikchip unterscheiden sich jetzt in drei Unterkategorien, bemessen an der Prozessorleistung (Anzahl Kerne * Taktrate). In den Ruhezustand-Anforderungen wurden Thin Clients zu den adressierten Geräten hinzugefügt. Die Definition des

²³ Energystar (2016) https://www.energystar.gov/products/specs/computer_specification_version_6_0_pd, Zuletzt abgerufen: 27.09.2016

²⁴ Beschluss (EU) 2015/1402

²⁵ Die Produktkategorien Tablet/Slate sind im EnergyStar Version 6 in den Definitionen als „TBD“, also „to be determined“ aufgeführt. Die Definitionen sind also noch nicht vorhanden.

Betriebszustands Leerlauf (engl. „Idle State“) wurde modifiziert. Dieser teilt sich nun wie nach ECMA auf in „Short Idle“ und „Long Idle“.

Der „Short Idle“ wird in Energy Star v6 als Leerlaufzustand unmittelbar nach dem Hochfahren aus dem netzgetrennten Zustand oder dem Ruhezustand definiert. Direkt nach Bewältigen einer Arbeitslast befindet sich der Computer nach v6 ebenfalls im „Short Idle“ Leerlaufzustand. Weitere Energiesparmaßnahmen werden in diesem kurzzeitigen Übergangszustand nicht eingeschaltet.

Im „Long Idle“ Leerlaufzustand werden nach Energy Star v6 zusätzlich Energiesparfunktionen aktiviert. Dazu gehört das Abschalten des Monitors oder der Festplatten. Der „Long Idle“ Modus beginnt, wenn ein PC längere Zeit im „Short Idle“ Modus verbleibt, jedoch nicht in den Ruhezustand übergeht. Diese Unterteilung ermöglicht die Berücksichtigung der Verwendung von Energiesparfunktionen und deren Auswirkung auf die Leistungsaufnahme im TEC.

Tabelle 3: Gewichtung der Betriebszustände innerhalb des Energy Star v6

Mode Weight in g	Conventional	Full Network Connectivity			
		Base Capability	Remote Wake	Service Discovery/ Name Services	Full Capability
T _{OFF}	45%	40%	30%	25%	20%
T _{SLEEP}	5%	15%	28%	36%	45%
T _{LONG_IDLE}	15%	12%	10%	8%	5%
T _{SHORT_IDLE}	35%	33%	32%	31%	30%

Folglich wird in der TEC-Formel aus v6 auch „Short Idle State“ und „Long Idle State“ unterschieden und jeweils ein Gewichtungsanteil und Durchschnittsverbrauch verwertet.

$$E_{TEC} = 8760/1000 * (P_{off} * T_{off} + P_{sleep} * T_{sleep} + P_{long_idle} * T_{long_idle} + P_{short_idle} * T_{short_idle})$$

Abschließend ist zu bemerken, dass nach wie vor der Aktivzustand in der Berechnungsformel nicht verwendet wird. In der Gewichtung der Betriebsmodi werden Desktop PCs, integrierte Desktop PCs und Thin Clients nun unter einer Kategorie zusammengefasst.

5.1.3 Vergleich von Anforderungen der Vergabegrundlagen Ökodesign-Verordnung EU 617/2013 versus Energy Star v6.1 Computer

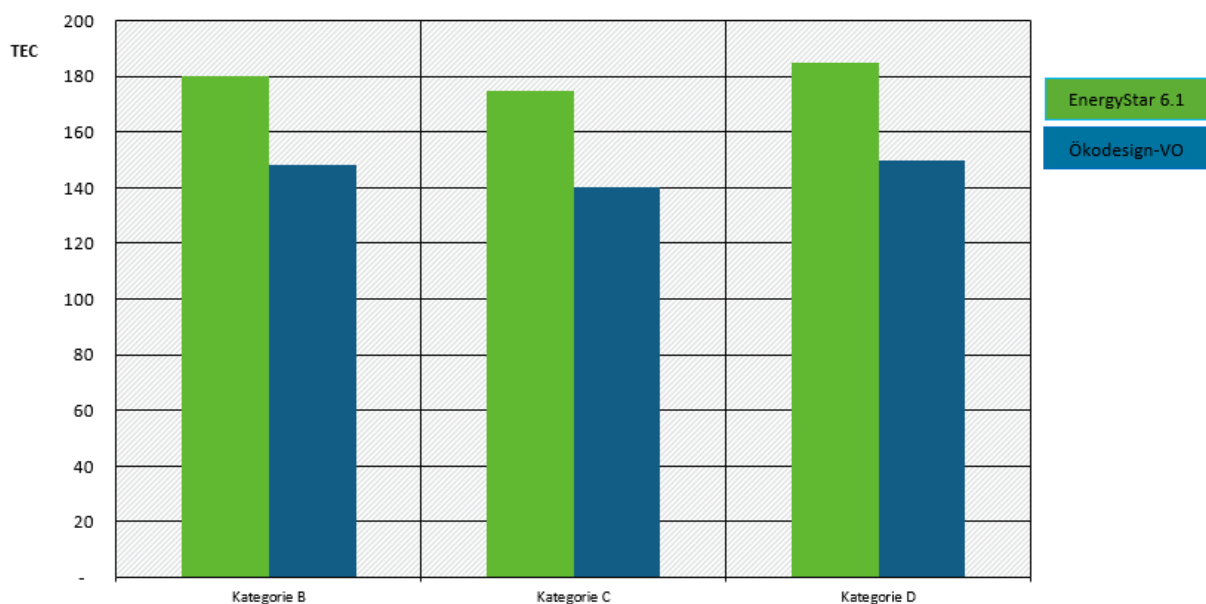
Die gegenwärtig gültige Ökodesign-Verordnung EU 617/2013 (mit den seit Januar 2016 geltenden Anpassungen) basiert auf der älteren Version des Energy Star v5.1 für Computer. Obwohl sich die Berechnungsmethodik der beiden Version unterscheidet ist ein Vergleich der Ergebnisse dieser Berechnungen für konkrete Computermodelle möglich. Die nachfolgend präsentierten Berechnungsergebnisse beruhen auf der Datengrundlage der von Energy Star (EU)²⁶ aggregierten Daten für alle nach Energy Star 6.1 zertifizierten Computermodelle in der

²⁶ Current product lists Computers 6.1 <http://www.eu-energystar.org/db-currentlists.htm> (heruntergeladen Mai 2016)

EU. Die Datengrundlage verzeichnet aktuell am Markt befindliche Gerätemodelle, die innerhalb des EU Marktes mit dem Energy Star v6.1 gekennzeichnet sind²⁷.

Exemplarisch wurden die TEC Werte der Gerätetypen Desktop Computer mit diskreter Grafikeinheit (dGfX) ausgewertet. Von den vier laut Ökodesign-Verordnung EU 617/2013 (ÖVO) unterschiedenen Leistungsklassen (Kategorien A; B; C; D) für PCs mit dGfX liegen nur für die Kategorien B; C und D Daten vor. Ein Vergleich der Mittelwerte aus der Berechnung der TEC Werte für die in den jeweiligen Kategorien verzeichneten Gerätemodelle zeigt (Abbildung 2), dass die nach Ökodesign-Verordnung (ÖVO) berechneten TEC Werte im Durchschnitt bei 81% der TEC Werte liegen, die nach der Berechnungsmethode des Energy Star v6.1 berechnet wurden (auf Basis der Daten für jeweils identische Produkte).

Abbildung 2: Vergleich der durchschnittlichen TEC-Werte gemäß Energy Star 6.1 versus Ökodesign-Verordnung für PCs mit dGfX



Quelle: eigene Darstellung auf Basis vorhandener Daten (Energy Star, 2016)

Die Vergabevorschriften der Ökodesign-Verordnung und des Energy Star 6.1 stellen diesen auf Messung beruhenden Energieverbräuchen der jeweiligen PCs in verschiedenen Betriebsmodi einen Grenzwert gegenüber, welchen der aktuelle TEC Wert nicht überschreiten darf. Dieser Grenzwert (TEC_{max}) errechnet sich auf Basis eines jeweils vorgegebenen Basiswerts zuzüglich der Zulagen für funktionspezifische Anpassungen. Diese Berechnungsmethoden unterscheiden sich erheblich.

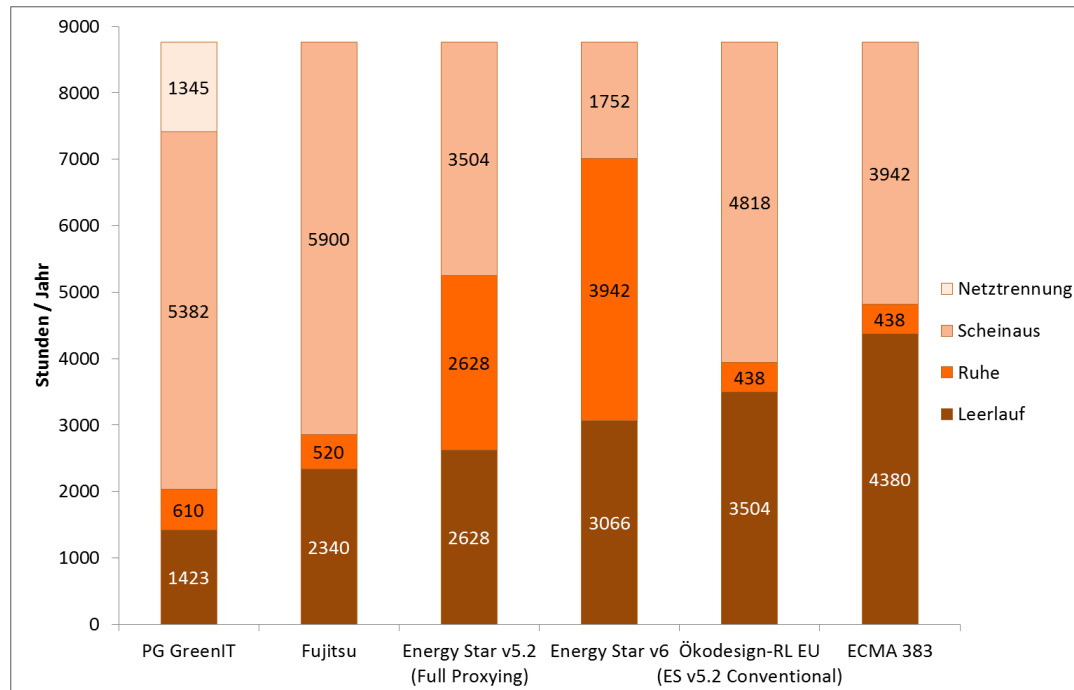
Abbildung 3 zeigt einen Vergleich der Berechnungsergebnisse für die maximal zulässigen Grenzwerte (TEC_{max}) der verschiedenen in der Datenbasis verzeichneten Computermodelle.

²⁷ Eine Vergleichbarkeit der Berechnungsgrundlagen ist gegeben, weil die Angaben für Geräteausstattung und Messvorschriften für die Ermittlung des Energieverbrauchs in den verschiedenen Betriebszuständen gleich sind.

durchschnittlichen Jahresenergiebedarfs (TEC) sowohl für Personal Computer im Arbeitsgebrauch als auch im Privatgebrauch. Folglich sind die Berechnungsmodelle von Fujitsu und PG Green IT für die Zielstellung dieses Projektes zu bevorzugen.

In der folgenden Abbildung 4 wird die zeitliche Verteilung der einzelnen Betriebszustände auf ein ganzes Jahr bezogen dargestellt. Dieser Vergleich zeigt die Gewichtung der Betriebszustände in den Berechnungsmodellen und gibt für die spätere Analyse wertvolle Hinweise, wenn den Betriebszuständen eine spezifische Leistungsaufnahme zugeordnet wird.

Abbildung 4: Vergleich der zeitlichen Gewichtung der Betriebszustände



Quelle: Schlösser, Proske et al, (2014)

Die Darstellung verdeutlicht die zeitlich insgesamt recht geringe aktive Nutzung des APCs im Berechnungsmodell nach PG Green IT. In diesem Modell wird von rund 203 Arbeitstagen und 162 Nichtarbeitstagen ausgegangen, was die Gesamtstundenzahl der aktiven Nutzung bzw. des Leerlaufzustandes auf 1423 Stunden oder 16,2 Prozent pro Jahr reduziert. Im Vergleich hierzu ist der Aktiv-/Leerlauf-Zustand im Standard ECMA 383 mit 4380 Stunden oder 50 Prozent des Gesamtzeitraums etwa dreimal so stark bewertet.

Ein zweiter Aspekt ist auffällig: Im Energy Star Programm ist die Dauer des Ruhezustandes weitaus stärker ausgeprägt als bei den anderen Berechnungsmodellen. Hierin wird der Annahme Rechnung getragen, dass moderne Computer im Durchschnitt weitaus länger in einem Ruhezustand mit Netzwerkbereitschaft (Wake-on- Standard ECMA) verbleiben und damit die Verfügbarkeit und Fernwartungsmöglichkeit (Remote Administration) erhöht wird. Es wäre zu prüfen, inwiefern ein sehr schnelles Absenken der Verfügbarkeit (gemessen an den Optionen und der Zeitdauer für eine Reaktivierung) durch die relativ schnelle Aktivierung des Schein-Aus-Zustandes bzw. sogar eine Netztrennung in der Praxis wirklich erfolgt.

6 Umweltaspekte

Die aktuell geltende Version der Vergabegrundlage des Blauen Engels UZ 78a für Computer berücksichtigt vor allem die Umweltaspekte der aus der Nutzungs- und Entsorgungsphase der Computerhardware jeweils resultierenden Umweltbelastungen. Dazu gehören vor allem der Energieverbrauch in Form von elektrischem Strom (mit mittelbaren Auswirkungen vor allem auf das Treibhauspotenzial) sowie das Inventar an problematischen Stoffen, welche in der Entsorgungsphase zu Umwelt und Gesundheitsproblemen führen können.

6.1 Stromverbrauch

Das wichtigste Kriterium zur Beurteilung der Klimaauswirkungen der Computernutzung ist das Treibhauspotenzial der Produkte. Der Blaue Engel für Computer berücksichtigt bisher lediglich eine indirekte Kenngröße für das Treibhauspotenzial, nämlich den Stromverbrauch der Geräte in der Nutzungsphase. Diese Regelung leitete sich in der Vergangenheit aus der heuristischen Annahme ab, dass die Nutzungsphase einen dominierenden Anteil am gesamten Treibhauspotenzial eines Computers über dessen Lebenszyklus trägt. Diese Annahme wird in Abschnitt 6.1.5 auf Aktualität überprüft. Zunächst werden jedoch die gegenwärtig geltenden Anforderungen an den Stromverbrauch der Geräte in der Nutzungsphase analysiert.

Zu diesem Zweck wurden die TEC Werte für eine Anzahl am Markt befindlicher Computer anhand der in der aktuellen Vergabegrundlage des Blauen Engels UZ 78a festgelegten Berechnungsmethode berechnet und verglichen. Diese Berechnungsmethode basiert auf die gegenwärtig gültigen Ökodesign-Verordnung EU 617/2013 (mit den seit Januar 2016 geltenden Anpassungen), welche ihrerseits von der Berechnungsmethode des inzwischen veralteten Energy Stars für Computer v5.1 abgeleitet ist.

Die Berechnungen erfolgten auf Grundlage der Datenzusammenstellung aller mit Energy Star V6.1²⁹ zertifizierten Computermodelle in der EU. Die Grundgesamtheit dieser Daten wurde aufgeschlüsselt entsprechend der einzelnen Gerätetypen und Kategorien gemäß den Vorgaben aus der Ökodesign-Verordnung EU 617/2013. Von den vier laut Ökodesign-Verordnung EU 617/2013 (ÖVO) unterschiedenen Leistungsklassen (Kategorien A; B; C; D) lagen für Desktop Computer jedoch nur Daten für die Kategorien B; C und D vor. Bei Notebooks existieren in der Datenbasis erhebliche Datenlücken, so dass eine Zuordnung nach Kategorien nicht möglich war. Für weitere relevante Gerätetypen (Workstations, Small-Scale-Server und Thin Clients) lagen keine Daten vor, so dass eine Analyse dieser Gerätetypen nicht möglich war.

Die folgenden Abschnitte zeigen jeweils die berechneten TEC Werte für Desktop Computer sowie Notebooks mit integrierter Grafikeinheit (iGfX) bzw. diskreter Grafikeinheit (dGfX) im Vergleich zu den nach Ökodesign-Verordnung (ÖVO) aktuell vorgegebenen Maximalwerten. Die Grafiken stellen die berechneten TEC-Werte der in der Datenbasis verzeichneten Gerätemodelle (je Typ und Kategorie) in fortlaufender Reihenfolge dar und ordnen diese anhand der maximal zulässigen Energieverbräuche (TEC_{max} roter Graph). Zudem enthalten die Grafiken die Ergebnisse einer Szenariorechnung (grüner Graph). Diese zeigt die Auswirkungen einer Verschärfung des TEC_{max} Grenzwertes, welche nur von 33% der energiesparsamsten Geräte je Kategorie erreicht wird.

²⁹ Current product lists Computers 6.1 <http://www.eu-energystar.org/db-currentlists.htm> (heruntergeladen Mai 2016)

6.1.1 Desktop-PCs mit integrierter Grafikkarte (iGfx): Vergleich der TEC Werte von Energy-Star PCs mit den jeweils zulässigen Grenzwerten nach Ökodesign-VO

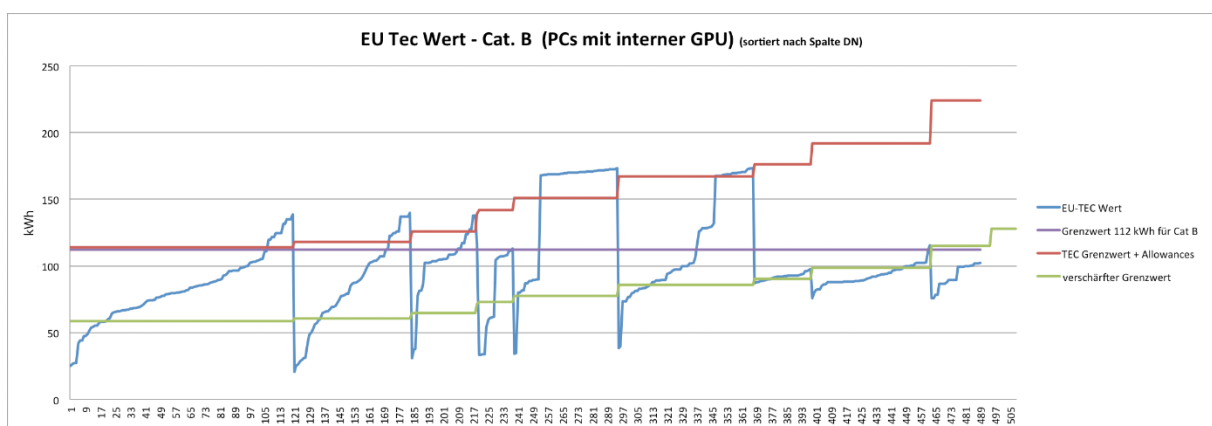
6.1.1.1 PC Kategorie A (iGfx)

Keiner der in der Energy-Star Datenbasis verzeichneten PCs lässt sich eindeutig dieser Kategorie A zuordnen. Die Gründe liegen im technischen Wandel zugunsten von Geräten mit mindestens 2 Prozessorkernen. Infolge der gestiegenen Hardwareanforderungen von aktuellen Betriebssystemen und Anwendungssoftware sind Single-core CPUs effektiv vom relevanten Computermarkt verschwunden.

6.1.1.2 PC Kategorie B (iGfx)

Aus der Grundgesamtheit der Energy-Star Datenbasis fallen 508 Geräte eindeutig unter Kategorie B dieser Gerätekategorie.

Abbildung 5: TEC Werte von Energy-Star PCs der Kategorie B (iGfx)



Quelle: eigene Darstellung auf Basis vorhandener Daten. (Energy Star, 2016)

Grüner Graph: Verschärfungsfaktor (Faktor zur Verringerung des zulässigen TEC Werts bei dem 33% der Geräte den verringerten TEC Wert noch einhalten). Dieser Faktor berechnet sich aus dem Basis-TEC Grenzwert zuzüglich der Summe aller jeweilig relevanten Allowances.

Verschärfungsfaktor: 0,514

170 von 508 Geräten in Kategorie B würden den verschärften TEC Wert einhalten

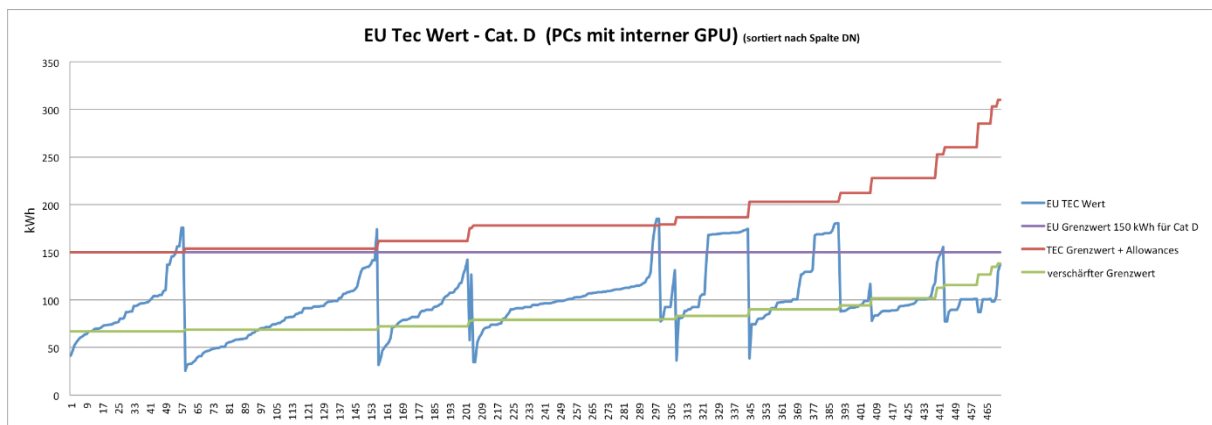
6.1.1.3 PC Kategorie C (iGfx)

Keiner der in der Energy-Star Datenbasis verzeichneten PCs lässt sich eindeutig dieser Kategorie C zuordnen.

6.1.1.4 PC Kategorie D (iGfx)

Aus der Grundgesamtheit der Energy-Star Datenbasis fallen 472 Geräte eindeutig unter Kategorie C dieser Gerätekategorie.

Abbildung 6: TEC Werte von Energy-Star PCs der Kategorie D (iGfx)



Quelle: eigene Darstellung auf Basis vorhandener Daten. (Energy Star, 2016)

Verschärfungsfaktor: 0,545

156 von 472 Geräten in Kategorie C würden den verschärften TEC Wert einhalten

6.1.2 Desktop-PCs mit diskreter Grafikkarte (dGfx): Vergleich der TEC Werte von Energy-Star PCs mit den jeweils zulässigen Grenzwerten nach Ökodesign-Verordnung

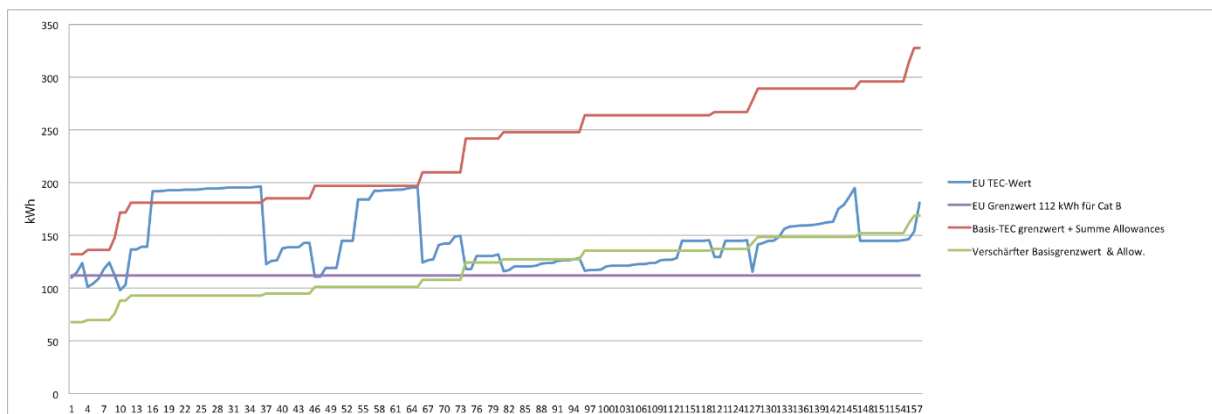
6.1.2.1 PC Kategorie A (dGfx)

Keiner der in der Energy-Star Datenbasis verzeichneten PCs fällt unter Kategorie A. Die Gründe liegen im technischen Wandel zugunsten von Geräten mit mindestens 2 Prozessorkernen. Infolge gestiegener Hardwareanforderungen von aktuellen Betriebssystemen und Anwendungssoftware sind Single-core CPUs effektiv vom relevanten Computermarkt verschwunden.

6.1.2.2 PC Kategorie B (dGfx)

Aus der Grundgesamtheit der Energy-Star Datenbasis fallen 158 Geräte unter Kategorie B.

Abbildung 7: TEC Werte von Energy-Star PCs der Kategorie B (dGfx)



Quelle: eigene Darstellung auf Basis vorhandener Daten. (Energy Star, 2016)

Grüner Graph: Verschärfungsfaktor (Faktor zur Verringerung des zulässigen TEC Werts bei dem 33% der Geräte den verringerten TEC Wert noch einhalten). Dieser Faktor berechnet sich aus dem Basis-TEC Grenzwert zuzüglich der Summe aller jeweilig relevanten Allowances.

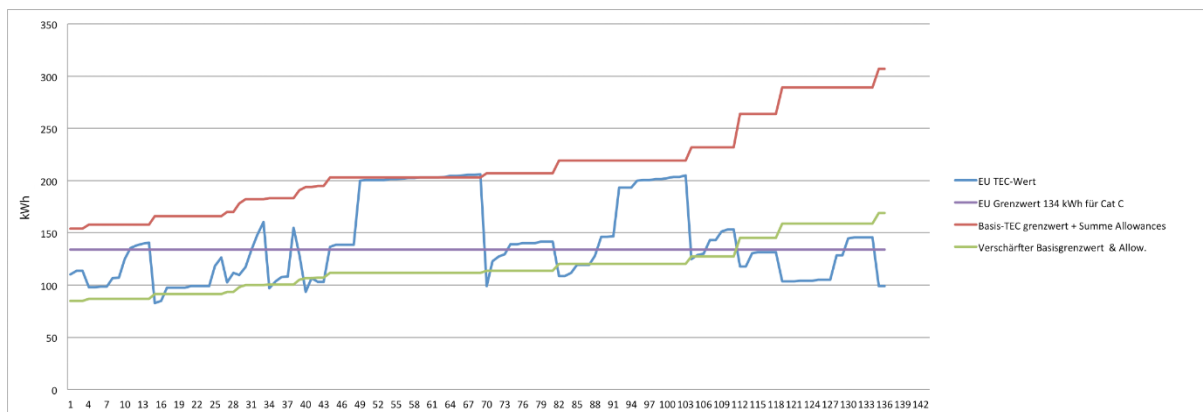
Verschärfungsfaktor: 0,514

52 von 158 Geräten in Kategorie B würden den verschärften TEC Wert einhalten.

6.1.2.3 PC Kategorie C

Aus der Grundgesamtheit der Energy-Star Datenbasis fallen 136 Geräte unter Kategorie C

Abbildung 8: TEC Werte von Energy-Star PCs der Kategorie C (dGfx)



Quelle: eigene Darstellung auf Basis vorhandener Daten. (Energy Star, 2016)

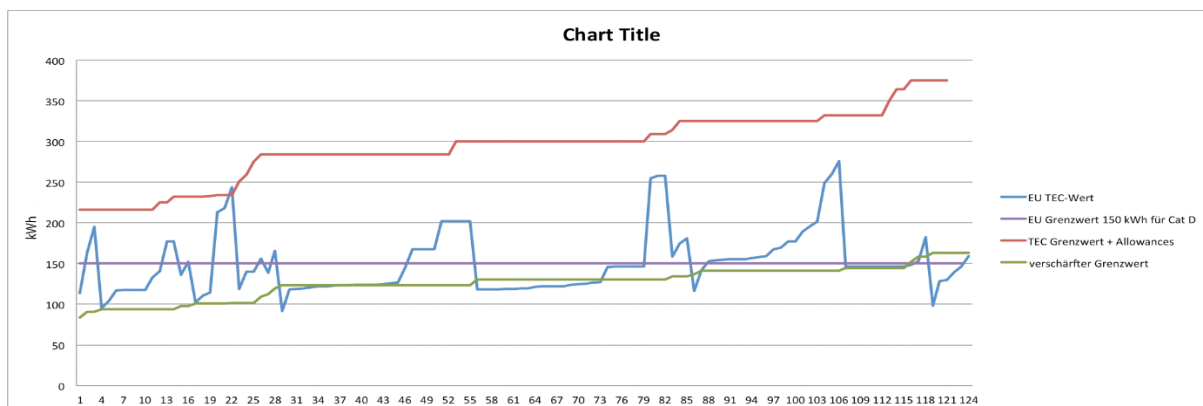
Verschärfungsfaktor: 0,588

44 von 136 Geräten in Kategorie C würden den verschärften TEC Wert einhalten.

6.1.2.4 PC Kategorie D

Aus der Grundgesamtheit der Energy-Star Datenbasis fallen 124 Geräte unter Kategorie D

Abbildung 9: TEC Werte von Energy-Star PCs der Kategorie D (dGfx)



Quelle: eigene Darstellung auf Basis vorhandener Daten. (Energy Star, 2016)

Verschärfungsfaktor: 0,437

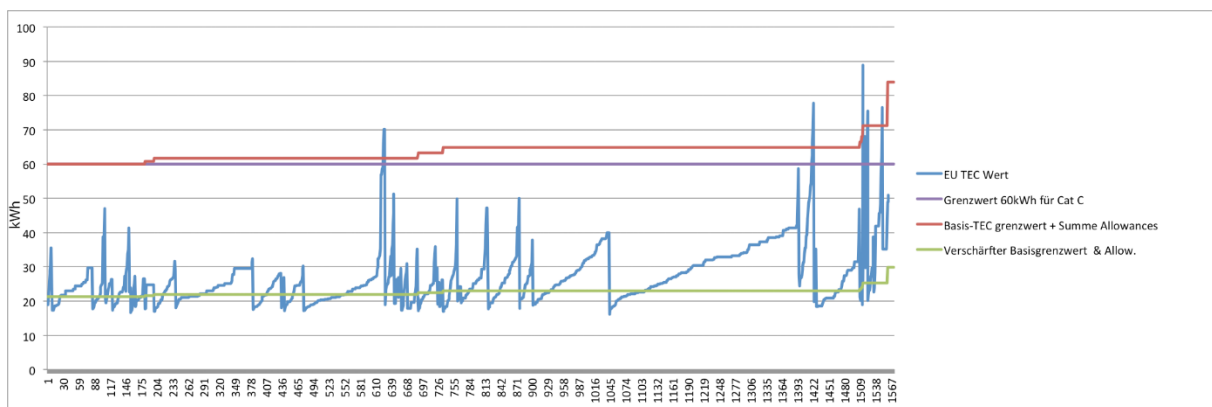
41 von 124 Geräten in Kategorie D würden den verschärften TEC Wert einhalten.

6.1.3 Notebooks mit interner Grafikkarte (iGfx): Vergleich der TEC Werte von Energy-Star PCs mit den jeweils zulässigen Grenzwerten nach Ökodesign-Verordnung

Aufgrund von Datenlücken ist eine eindeutige Zuordnung der in der Energy-Star Datenbasis verzeichneten Notebooks zu Kategorien nicht möglich.

343 Geräte fallen nicht unter die Ökodesign Verordnung, weil deren Stromverbrauch in Idle-Modus unter 6 W liegt. Die große Mehrheit (1572 Stück) der in der Grundgesamtheit der Energy-Star Datenbasis verzeichneten Notebooks lässt sich aufgrund von Datenlücken keiner der Kategorien zuordnen. Abbildung 10 zeigt die Auswertung nach TEC Werten unter der Annahme, dass diese Geräte eine interne Grafikkarte ohne Functional Adders für Grafik-Funktionen enthalten.

Abbildung 10: TEC Werte von Energy-Star Notebooks ohne Kategorie (iGfx)



Quelle: eigene Darstellung auf Basis vorhandener Daten. (Energy Star, 2016)

Verschärfungsfaktor: 0,355

514 von 1572 dieser Geräte würden den verschärften TEC Wert einhalten.

6.1.4 Notebooks mit diskreter Grafikkarte (dGfx): Vergleich der TEC Werte von Energy-Star PCs mit den jeweils zulässigen Grenzwerten nach Ökodesign-VO

6.1.4.1 Notebooks Kategorie A (dGfx)

Nur 14 der in der Energy-Star Datenbasis verzeichneten Notebooks lassen sich anhand der vorliegenden Daten eindeutig der Kategorie A zuordnen.

Verschärfungsfaktor: 0,81

6 von 14 Geräten in Kategorie A würden den verschärften TEC Wert einhalten.

6.1.4.2 Notebooks Kategorie B (dGfx)

Nur 5 der in der Energy-Star Datenbasis verzeichneten Notebooks lassen sich anhand der vorliegenden Daten eindeutig der Kategorie B zuordnen.

Verschärfungsfaktor: 0,45

2 von 5 Geräten in Kategorie C würden den verschärften TEC Wert einhalten.

6.1.4.3 Notebooks Kategorie C (dGfx)

Unzureichende Datengrundlage

6.1.5 Emissionen

Die in Kapitel 5.1 aufgeführten Kennzahlensysteme für die Vergabegrundlagen berücksichtigen mit ihrem Fokus auf den Stromverbrauch in der Nutzungsphase nur einen begrenzten Ausschnitt aus der Gesamtheit aller Umweltauswirkungen im Lebenszyklus von IKT Geräten. Neben dem direkten Energieverbrauch der Computernutzung spielen auch die Energieverbräuche der Hardwareherstellung eine wesentliche Rolle bei der Beurteilung des Treibhausgaspotenzials (THG100). Eine aktuelle Ökobilanzstudie (Prakash et al. 2016) hat die Umweltauswirkungen von Bürocomputern in Form des Treibhausgasemissionen (THG) detailliert untersucht. Die LCA-Studie berücksichtigt den gesamten Lebenszyklus von Computerhardware (Herstellungsphase (cradle-to-gate), Distributionsphase, Nutzungsphase, Entsorgungsphase). Es wurden zwei Varianten von Arbeitsplatzlösungen verglichen: (1) Computerarbeitsplatz mit Desktop-PC, Tischmonitor und Peripheriegeräten, (2) Computerarbeitsplatz mit Notebook, Tischmonitor und Peripheriegeräten. Alle nachfolgend präsentierten Ökobilanzresultate beziehen sich jeweils auf die in dieser Studie verwendete funktionelle Einheit:

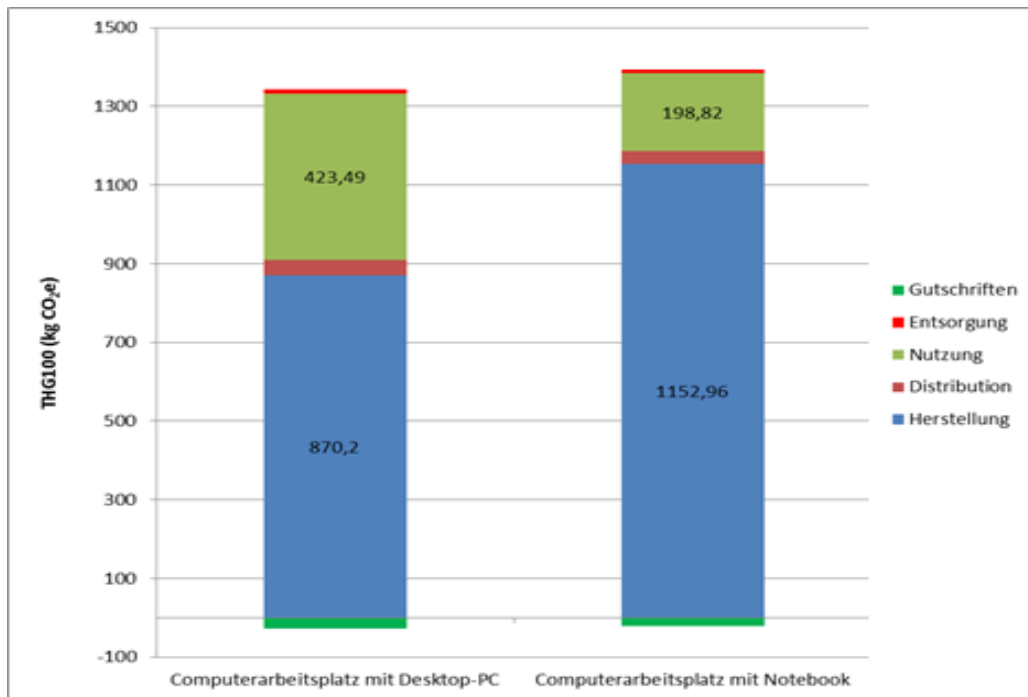
„Nutzung eines hauptsächlich stationären Arbeitsplatzcomputers für die Bearbeitung verwaltungstypischer Aufgaben für ein Jahr“

Die verschiedenen Gerätemodelle weisen im Kontext der zugrunde gelegten funktionellen Einheit eine äquivalente Ausstattung mit diesen Komponenten (je 4 Gbyte DRAM) auf. Allerdings haben Notebooks im angenommenen Szenario eine kürzere Nutzungsdauer (3 Jahre) als Desktop-PCs (5 Jahre) und müssen dementsprechend häufiger ersetzt werden. Zur Gewährleistung einer funktionellen Äquivalenz im gesamten Betrachtungszeitraum von 10 Jahren werden demnach 2,0 Desktop-PCs bzw. 3,3 Notebooks benötigt. Vereinfacht ausgedrückt benötigt der Computerarbeitsplatz mit Desktop-PC in 10 Jahren beispielsweise 8 Stück DRAM Speicherriegel von je 1 GByte, während der Computerarbeitsplatz mit Notebook im gleichen Zeitraum 13,3 Stück benötigt.

Das kumulierte Treibhausgaspotenzial aller Lebenszyklusphasen der jeweiligen Arbeitsplatzlösungen über den Betrachtungszeitraum von 10 Jahren ist in Abbildung 11 abgebildet. Entsprechend der Modellannahmen dieser Ökobilanzstudie stellt dieses Ergebnis die gesamte Emission von Treibhausgasen dar, welche der bestimmungsgemäßen Verwendung eines Computerarbeitsplatzes für Büroanwendungen über 10 Jahre zuzurechnen ist. Es zeigte sich, dass der größte Anteil der gesamten Treibhausgasemissionen auf die Hardwareherstellung zurückzuführen ist. Insbesondere die Bereitstellung von Elektrizität für die Herstellung der mikroelektronischen Hardwarebauteile sowie die Bereitstellung des in der Nutzungsphase verbrauchten Stroms tragen die größten Anteile am Treibhausgaspotenzial der Computerarbeitsplätze bei.

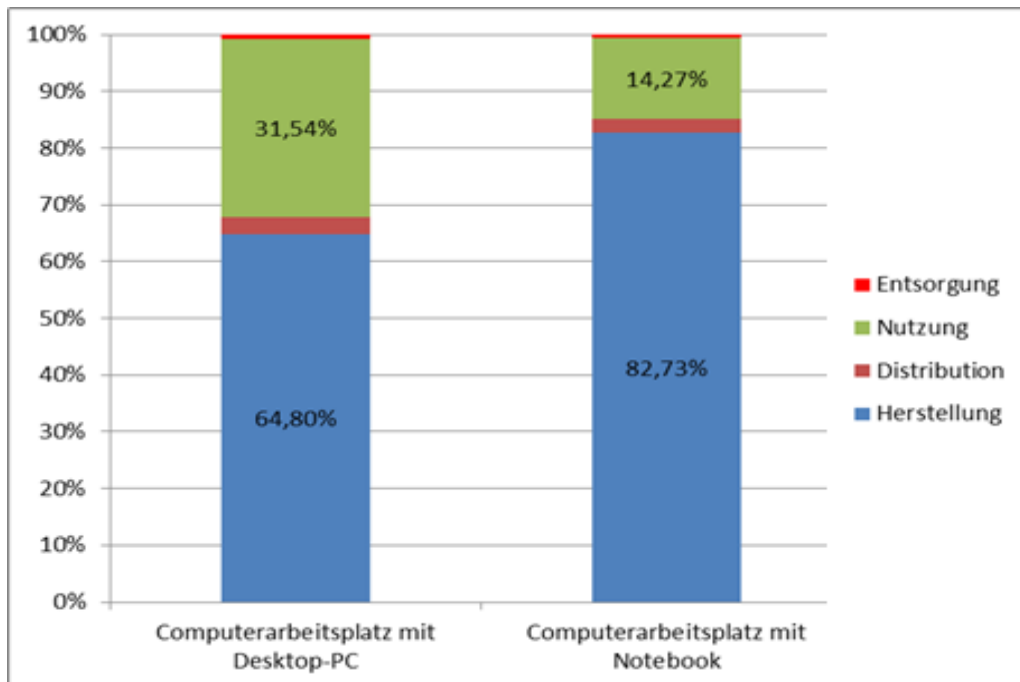
Die Ergebnisse verdeutlichen den Einfluss des Computertyps auf das gesamte THG-Potenzial eines Computerarbeitsplatzes. Beim Computerarbeitsplatz mit Notebook macht die Herstellungsphase über 82% der Gesamttreibhausgasemissionen dieser Arbeitsplatzlösung aus. Anders als in einigen Studien (wie z.B. EuP 2007 dargestellt, hat sogar bei einem Computerarbeitsplatz mit Desktop-PC die Herstellungsphase und nicht die Nutzungsphase den höchsten Anteil (64,80%) an Gesamttreibhausgasemissionen (Abbildung 12).

Abbildung 11: Vergleich des gesamten Treibhausgaspotenzials (THG100) von Arbeitsplatzlösungen kumuliert über 10 Jahre (aufgeschlüsselt nach Lebenszyklusphasen mit Gutschriften für Recycling)



Quelle: Prakash et al. (2016)

Abbildung 12: Anteil der Lebenszyklusphasen am Treibhausgaspotenzial der drei Arbeitsplatzlösungen mit PC und Notebook (ohne Recyclinggutschriften)



Quelle: Prakash et al. (2016)

Beim mit Notebook ausgestatteten Computerarbeitsplatz summiert sich das THG-Potenzial über den gesamten Betrachtungszeitraum (10 Jahre) auf 1.394 kg CO₂e (ohne Recyclinggutschriften)³⁰. Der Grund ist die mehrfach notwendige Herstellung der Hardware im infolge der im Vergleich zum PC kürzeren Lebensdauer der Notebooks.

Die größten Beiträge zum gesamten THG-Potenzial rühren in beiden Gerätetypen von der Herstellung der aktiven Mikroelektronikkomponenten her. Die nachfolgenden Ergebnisse der Beitragsanalyse verdeutlichen dies. Ein Desktop-PC verursacht in seiner Herstellung ein THG-Potenzial von 346,9 kg CO₂e (inkl. Mouse und Tastatur). Davon entfallen ca. 67% des THG auf Halbleiter ICs (z.B. DRAM, CPU) sowie die sonstigen auf dem 6 dm² großen Mainboard zu findenden Elektronik-Komponenten.

Tabelle 4: Treibhausgaspotenzial (THG100) der Herstellung eines Computerarbeitsplatzes mit Desktop-PC

Desktop-PC	THG (kg CO ₂ e)
DRAM-Speichermodule DDR3 DIMM 4 GByte	91,7
CPU	6,3
Festplatte 3,5"	24,8
Mainboard (6 dm ² bestückte Leiterplatte)	135
Gehäuse	25,3
Netzteil (intern)	39,7
DVD-Laufwerk	18,4
Mouse	1,8
Tastatur	3,9
Summe THG-Potenzial eines Desktop-PCs	346,9

Ein Notebook mit SSD verursacht in seiner Herstellung ein THG-Potenzial von 311,1 kg CO₂e. (inkl. Docking-Station, Mouse und Tastatur). Auch beim Notebook haben die DRAM-Module einen großen Anteil am gesamten THG-Potenzial (ca. 30%), während das 1,6 dm² große Mainboard mit seiner dichten Bestückung an sonstigen ICs den zweithöchsten Anteil (27%) am THG trägt.

Tabelle 5: Treibhausgaspotenzial (THG100) der Herstellung eines Computerarbeitsplatzes mit Notebook

Desktop-PC	THG (kg CO ₂ e)
DRAM-Speichermodule DDR3 DIMM 4 GByte	91,7
CPU	5,9
SSD 2,5"	65,6

³⁰ Die Ergebnisse gelten für die im Rahmen dieser LCA Studie getroffenen Annahmen zu Nutzungsdauer, Hardwareausstattung und Energieeffizienz der jeweiligen Gerätetypen gemäß Durchschnittswerten aus der Bundesverwaltung.

Desktop-PC	THG (kg CO ₂ e)
Mainboard (1,6 dm ² bestückte Leiterplatte mit Heatpipe)	84,4
Gehäuse	10,0
Display (15,4 Zoll)	13,9
Netzteil (extern)	4,0
DVD-Laufwerk	5,8
Akku	5,5
Dockingstation	18,6
Mouse (extern)	1,8
Tastatur (extern)	3,9
Summe THG-Potenzial eines Notebooks (mit SSD)	311,1

Die in Prakash et al (2016) ermittelten Ergebnisse zeigen, dass eine SSD ein höheres THG-Potenzial in der Herstellung aufweist als eine HDD vergleichbarer Kapazität. Die Herstellung einer 2,5“ SSD ist mit 65,6 kg CO₂e deutlich aufwändiger als die Herstellung einer 2,5“ HDD mit 6,2 kg CO₂e. Die Herstellung einer SSD macht etwa 21% des THG-Potenzials der Herstellung eines Computerarbeitsplatzes mit Notebook aus.

Während der Nutzungsphase entstehen die Treibhausgasemissionen der einzelnen Arbeitsplatzlösungen ausschließlich in den Vorketten der Stromerzeugung. Bei allen drei Arbeitsplatzlösungen ist das THG-Potenzial in der Nutzungsphase im Gesamtzeitraum von 10 Jahren geringer als in der Herstellungsphase. Die in Tabelle 6 verzeichneten Resultate beziehen sich auf eine jeweils verschiedene Nutzungsdauer von Geräten und lassen sich daher – mit Ausnahme der letzten Zeile, in der die Gesamtemissionen für zehn Jahre angegeben sind – nicht direkt miteinander vergleichen. Zudem wird dem jeweils letzten Ersatzgerät nur ein innerhalb des Betrachtungszeitraums liegender Anteil des Stromverbrauchs zugerechnet (Allokation).

Tabelle 6: Treibhausgaspotenzial (THG100) der Nutzungsphase in kg CO₂e

Desktop-PC	Computerarbeitsplatz mit Desktop-PC**	Computerarbeitsplatz mit Notebook**
Beschaffung 1	238,8	68,8
Beschaffung 2	184,7	61,6
Beschaffung 3	-	52,1
Beschaffung 4*	-	16,3
Summe (10 Jahre)	423,3	198,8

* Allokation für den 4. Beschaffungszeitraum beim Notebook; ** inkl. Desktop-Monitor, Tastatur und Mouse

Zusammenfassend zeigen die Ökobilanzergebnisse der Herstellungsphase, dass die größten THG-Beiträge aus der Herstellung aktiver Elektronikkomponenten stammen. Hingegen leisten passive Elektronikkomponenten und Supportmaterialien nur verhältnismäßig geringe Beiträge

zum THG-Potenzial der Hardware. Der hohe Herstellungsaufwand eines DRAM Speicherriegels und anderer mikroelektronischen Komponenten gekoppelt mit einer kürzeren Nutzungsdauer von Notebooks ist der Hauptgrund dafür, dass ein Computerarbeitsplatz mit Notebook - trotz vergleichsweise besserer Energieeffizienz insgesamt schlechter abschneidet als ein Computerarbeitsplatz mit Desktop-PC. Deshalb fällt die Masseersparnis des Notebooks in der THG-Bilanz kaum ins Gewicht obwohl diese Geräte deutlich leichter sind als Desktop-PCs.

Aus den oben diskutierten Ökobilanzergebnissen lässt sich zusammenfassend schlussfolgern, dass der Einsatz energiesparender Hardware nicht zwangsläufig zur Verringerung des THG-Potenzials im gesamten Lebenszyklus der IKT Geräte führt. Die kurze Nutzungsdauer von Notebooks resultiert sogar in höheren Treibhausgasemissionen im Vergleich zu den Computerarbeitsplätzen mit Desktop-PCs.

Infolge der hohen Umweltrelevanz der Hardwareherstellung wirkt sich die Nutzungsdauer der Geräte deutlich auf den gesamten Lebenszyklus aus. Dabei gilt die Regel: je kürzer die Nutzungsdauer der Geräte, desto mehr Hardware muss in einem gegebenen Zeitraum hergestellt werden. Ein häufiger Austausch der Hardware vergrößert also die Umweltauswirkungen auch dann, wenn die neuen Gerätegenerationen infolge technischer Verbesserungen energieeffizienter in der Nutzung sind.

7 Quellenverzeichnis

Arden, W.; Brillouët, M.; Cogez, P.; Graef, M.; Huizing, B.; Mahnkopf, R. (2012): "More-than-Moore" White Paper. International Technology Roadmap for Semiconductors

Campbell, M. (2016): Intel plan to release 10nm CPUs in 2017. OC3D.
http://www.overclock3d.net/news/cpu_mainboard/intel_plan_to_release_10nm_cpus_in_2017/1 zuletzt abgerufen: Mai 2016

ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors) [Hrsg.] (2015): International Technology Roadmap for Semiconductors - ITRS 2.0. <http://www.itrs2.net> zuletzt abgerufen: Mai 2016

Labs, L. (2016): Flash und seine Nachfolger. C't Heft 8/2016

Prakash, S.; Antony, F.; Köhler, A.R.; Liu, R. (2016): Ökologische und ökonomische Aspekte beim Vergleich von Arbeitsplatzcomputern für den Einsatz in Behörden unter Einbeziehung des Nutzerverhaltens (Öko-APC). Öko-Institut e.V.

Schlösser, A.; Proske, M.; Stobbe, L.; Zedel, H. (2014): Ökologische und ökonomische Aspekte beim Vergleich von Arbeitsplatzcomputern für den Einsatz in Behörden unter Einbeziehung des Nutzerverhaltens AP 2: Vorschlag einer geeigneten Methode zur Berechnung der Nutzung von ausgewählten IKT-Produkten als Grundlage für die Bestimmung deren Umweltwirkungen in der Nutzungsphase. Technische Universität Berlin

Schmidt, F. (2016): Hardware, Neuheiten und Trends <http://www.computerbild.de/artikel/cb-News-Notebooks-Netbooks-Convertible-Neuheiten-2016-11374235.html> zuletzt abgerufen: Mai 2016