Öko-Institut e.V.
Institut für angewandte Ökologie
Institute for Applied Ecology

Senatsverwaltung
für Stadtentwicklung
und Umwelt

be Berlin

Umwelt- und Kostenentlastung durch eine umweltverträgliche Beschaffung

Langfassung

Eine Studie des Öko-Instituts e.V. im Auftrag der
Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt

Berlin, September 2015

Impressum

Herausgeber

Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt

Referat umweltfreundliche Beschaffung

Thomas Schwilling / Heidelinde Mehner

Brückenstr. 6

10179 Berlin

http://www.stadtentwicklung.berlin.de/service/gesetzestexte/de/beschaffung

Externe wissenschaftliche Bearbeitung

Öko-Institut e.V.

Merzhauser Straße 173

79100 Freiburg

Telefon +49 761 45295-0

info@oeko.de

www.oeko.de

Autorinnen und Autoren

Dipl.-Ing. Jens Gröger

Dipl.-Biol. Britta Stratmann

Dipl.-Betrw. Eva Brommer

Gröger, Jens; Stratmann, Britta; Brommer, Eva; Umwelt- und Kostenentlastung durch eine umweltverträgliche Beschaffung; im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin; Öko-Institut e.V. Freiburg/Berlin; September 2015

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis 4

Tabellenverzeichnis 6

1. Zusammenfassung 9

2. Einleitung 11

3. Methodische Grundlagen 12

3.1. Berechnung von Lebenszykluskosten 13

3.2. Berechnung von Umweltwirkungen 18

3.3. Treibhausgas-Vermeidungskosten 19

4. Produktauswahl 21

5. Ermittlung Umweltentlastungen und Kosten 23

5.1. Computer 23

5.2. Multifunktionsgeräte 26

5.3. Kopierpapier 31

5.4. Kühl- und Gefriergeräte 34

5.5. Geschirrspülmaschinen 38

5.6. Büroleuchten 42

5.7. Textilien 45

5.8. Reinigungsmittel 50

5.9. Gebäude 54

5.10. Bodenbeläge 58

5.11. Elektrische Energie 62

5.12. Straßenbeleuchtung 66

5.13. Gewerbeabfall 70

5.14. PKWs 74

5.15. Baumaschinen 78

6. Hochrechnung der Umweltwirkungen und Kosten auf das Land Berlin 85

6.1. Bestand an Produkten und Beschaffungsmengen 86

6.2. Ergebnisse 87

6.3. Bewertung der Ergebnisse 94

Literaturverzeichnis 96

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1: CO_2e-Vermeidungskosten ausgewählter Maßnahmen für das Jahr 2020 (Literaturwerte) 20

Abbildung 5-1: Jährliche Lebenszykluskosten für konventionelle und energieeffiziente Arbeitsplatz-Computer über einen Betrachtungszeitraum von 3 Jahren 25

Abbildung 5-2: Jährliches Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) durch Energieverbrauch für konventionelle und energieeffiziente Arbeitsplatzcomputer 26

Abbildung 5-3: Jährliche Lebenszykluskosten für konventionelle und energieeffiziente Multifunktionsgeräte über einen Betrachtungszeitraum von 3 Jahren 29

Abbildung 5-4: Jährliches Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) durch Energieverbrauch für konventionelle und energieeffiziente Multifunktionsgeräte 30

Abbildung 5-5: Beschaffungskosten für 100.000 Blatt konventionelles und umweltverträgliches Kopierpapier (Betrachtungszeitraum 1 Jahr) 33

Abbildung 5-6: Jährliche Umweltwirkungen von 100.000 Blatt konventionellem und umweltverträglichem Kopierpapier 34

Abbildung 5-7: Jährliche Lebenszykluskosten für konventionelle und energieeffiziente Kühlgeräte über einen Betrachtungszeitraum von 10 Jahren 36

Abbildung 5-8: Jährliches Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) durch Energieverbrauch für konventionelle und energieeffiziente Kühlgeräte 37

Abbildung 5-9: Jährliche Lebenszykluskosten für konventionelle und energieeffiziente Geschirrspülmaschinen über einen Betrachtungszeitraum von 7 Jahren 40

Abbildung 5-10: Jährliches Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) durch Energieverbrauch für konventionelle und energieeffiziente Geschirrspülmaschinen 41

Abbildung 5-11: Jährliche Lebenszykluskosten für konventionelle und energieeffiziente Büroleuchten über einen Betrachtungszeitraum von 15 Jahren 44

Abbildung 5-12: Jährliches Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) durch Energieverbrauch für konventionelle und energieeffiziente Büroleuchten 45

Abbildung 5-13: Jährliche Lebenszykluskosten eines Bettwäsche-Sets aus konventioneller und Bio-Baumwolle über einen Betrachtungszeitraum von 3 Jahren 48

Abbildung 5-14: Jährliches Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) der Baumwollfaserherstellung für ein Bettwäsche-Set aus konventioneller und Bio-Baumwolle (Nutzungsdauer: 3 Jahre) 49

Abbildung 5-15: Jährliche Lebenszykluskosten für 1.000 Liter Anwendungslösung konventioneller und umweltverträglicher Allzweckreiniger über einen Betrachtungszeitraum von 1 Jahr 52

Abbildung 5-16: Kritisches Verdünnungsvolumen (KVV) für 1.000 Liter Anwendungslösung konventioneller und umweltverträglicher Allzweckreiniger über einen Betrachtungszeitraum von 1 Jahr 53

Abbildung 5-17: Jährliche Lebenszykluskosten für konventionelle und für energieeffiziente Gebäude über einen Betrachtungszeitraum von 40 Jahren 56
Abbildung 5-18: Jährliches Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) durch Energieverbrauch für konventionelles und energieeffizientes Schulgebäude 57
Abbildung 5-19: Jährliche Lebenszykluskosten für 1.000 m² konventionelle und umweltverträgliche Bodenbeläge über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren 60
Abbildung 5-20: Jährliches Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) für 1.000 m² konventionelle und umweltverträgliche Bodenbeläge über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren 61
Abbildung 5-21: Beschaffungskosten für 100.000 kWh konventionelle und umweltverträgliche elektrische Energie (Bezugszeitraum 1 Jahr) 64
Abbildung 5-22: Jährliches Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) von 100.000 kWh konventioneller und umweltverträglicher elektrischer Energie (Bezugszeitraum 1 Jahr) 65
Abbildung 5-23: Jährliche Lebenszykluskosten für konventionelle und energieeffiziente Straßenbeleuchtung über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren 68
Abbildung 5-24: Jährliches Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) durch den Energieverbrauch einer konventionellen und energieeffizienten Straßenbeleuchtung 69
Abbildung 5-25: Entsorgungskosten für konventionelle und umweltverträgliche Entsorgung von 5 Tonnen Gewerbeabfall (Betrachtungszeitraum 1 Jahr) 72
Abbildung 5-26: Jährliches Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) durch konventionelle und umweltverträgliche Entsorgung von 5 Tonnen Gewerbeabfall 73
Abbildung 5-27: Jährliche Lebenszykluskosten für Benzin und Erdgas betriebene PKWs über einen Betrachtungszeitraum von 4 Jahren und 15.000 km/Jahr 76
Abbildung 5-28: Jährliche Kohlendioxidemissionen (CO_2) durch Treibstoffverbrauch für Benzin und Erdgas betriebene PKWs bei 15.000 km/Jahr 77
Abbildung 5-29: Jährliche Lebenszykluskosten konventionelle und umweltverträgliche Baumaschinen über einen Betrachtungszeitraum von 10 Jahren 81
Abbildung 5-30: Jährliches Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) sowie Rußpartikelemissionen für konventionelle und umweltverträgliche Baumaschinen 83
Abbildung 6-1: Beitrag der Produkte und Dienstleistungen zur Kosteneinsparung 88
Abbildung 6-2: Hochrechnung der Treibhausgasminderung durch die Beschaffung umweltverträglicher Produkte gegenüber konventioneller Produkten im Land Berlin 89
Abbildung 6-3: Beitrag der energieeffizienten Elektrogeräte zur Treibhausgasminderung 91
Abbildung 6-4: Beitrag der Sanierung von Gebäuden auf Passivhausniveau statt auf konventionelles Niveau zur Treibhausgasminderung 92

Abbildung 6-5: Beitrag der sonstigen umweltverträglichen Beschaffungsmaßnahmen zur Treibhausgasminderung gegenüber konventioneller Beschaffung 93

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Preise von Energie und Wasser 16
Tabelle 3-2: Zinssätze und Preissteigerungsraten 17
Tabelle 4-1: Produktgruppen und Verweis auf Kapitelnummern der vorliegenden Untersuchung 22
Tabelle 5-1: Leistungsmerkmale eines für die tägliche Büroarbeit ausgestatteten Arbeitsplatzcomputers 23
Tabelle 5-2: Produkteigenschaften konventioneller und energieeffizienter Arbeitsplatz-Computer 24
Tabelle 5-3: Übersicht über die Leistungsmerkmale eines Laser-Multifunktionsgeräts (farbig) für den Einsatz in größeren Büros / Abteilungen 27
Tabelle 5-4: Produkteigenschaften konventionelles und energieeffizientes Multifunktionsgeräts 28
Tabelle 5-5: Übersicht über die Leistungsmerkmale eines Kopierpapiers für alltägliche Büroanwendungen 31
Tabelle 5-6: Produkteigenschaften konventionelles und umweltverträgliches Kopierpapier 32
Tabelle 5-7: Leistungsmerkmale eines Kühlgerätes für den Einsatz in Büroküchen 35
Tabelle 5-8: Produkteigenschaften konventionelles und energieeffizientes Kühlgerät 36
Tabelle 5-9: Leistungsmerkmale einer Geschirrspülmaschine für den Einsatz in Büroküchen 38
Tabelle 5-10: Produkteigenschaften konventionelle und energieeffiziente Geschirrspülmaschinen 39
Tabelle 5-11: Leistungsmerkmale einer Büroleuchte für die Beleuchtung von Arbeitsstätten 42
Tabelle 5-12: Produkteigenschaften konventionelle und energieeffiziente Büroleuchte 43
Tabelle 5-13: Leistungsmerkmale eines Bettwäsche-Sets aus Baumwollfasern 46
Tabelle 5-14: Produkteigenschaften konventionelles und umweltverträgliches Bettwäsche-Set 47
Tabelle 5-15: Produkteigenschaften konventioneller und umweltverträglicher Allzweckreiniger 51
Tabelle 5-16: Leistungsmerkmale eines beispielhaften Gebäudes 54
Tabelle 5-17: Produkteigenschaften konventionelles und energieeffizientes Gebäude 55
Tabelle 5-18: Produkteigenschaften konventioneller und umweltverträglicher Bodenbelag 59
Tabelle 5-19: Leistungsmerkmale elektrische Energie 62
Tabelle 5-20: Produkteigenschaften konventionelle und umweltverträgliche elektrische Energie 63

Tabelle 5-21: Produkteigenschaften konventionelle und energieeffiziente Straßenbeleuchtung 67
Tabelle 5-22: Leistungsmerkmale der Dienstleistung Gewerbeabfallentsorgung 70
Tabelle 5-23: Eigenschaften der Dienstleistung zur konventionellen und umweltverträglichen Entsorgung von Gewerbeabfall 72
Tabelle 5-24: Leistungsmerkmale eines PKWs für Fahrten innerhalb der Stadt 75
Tabelle 5-25: Produkteigenschaften konventionelle und umweltverträgliche PKWs 75
Tabelle 5-26: Leistungsmerkmale einer Baumaschine am Beispiel Radlader 79
Tabelle 5-27: Produkteigenschaften konventionelle und umweltverträgliche Baumaschine 80
Tabelle 6-1: Geschätzter Bestand und Jahresmengen im Land Berlin 86
Tabelle 6-2: Hochrechnung Kosteneinsparung und Umweltentlastung durch umweltverträgliche Beschaffung 87

1. Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie werden die Umwelt- und Kostenentlastung einer umweltverträglichen Beschaffung gegenüber einer konventionellen Beschaffung untersucht. Die Ergebnisse der Untersuchung werden auf das Einkaufsvolumen der öffentlichen Haushalte im Land Berlin hochgerechnet.

Zur Durchführung der Untersuchung findet in Kapitel 4 zunächst eine Einschränkung auf 15 Produktgruppen und Dienstleistungen statt, die bei der öffentlichen Hand häufig und in größeren Mengen beschafft werden. Diese 15 Beschaffungsgüter kommen aus den Bereichen Bürogeräte, Verbrauchsmaterialien, Beleuchtung, Gebäude, Verkehr und Abfallentsorgung.

Für jede dieser 15 Produktgruppen und Dienstleistungen werden in Kapitel 5 die Kosten und Umweltwirkungen der Beschaffung eines marktüblichen, konventionellen Produktes mit denen eines umweltverträglichen (beispielsweise eines energieeffizienten) Produktes verglichen. Für die Kosten werden dazu jährliche Lebenszykluskosten berechnet, die sowohl die Anschaffung als auch die verbrauchsbedingten Energie- oder Materialkosten sowie, bei gegebener Relevanz, die Entsorgungskosten berücksichtigen. Als Umweltwirkung werden für die meisten Produkte, die mit dem Produkt verbundenen Treibhausgasemissionen berechnet. Für einzelne Produkte werden darüber hinaus weitere negative Umweltwirkungen aufgezeigt (beispielsweise Dieselrußemissionen, Wasserverbrauch, Holzverbrauch).

Bei der Auswertung der Kosten zeigt sich, dass die umweltverträglichen Beschaffungsvarianten in 10 von 15 Produktgruppen in ihren Lebenszykluskosten günstiger sind, als die konventionellen Beschaffungsvarianten. Die Produktgruppen, die zu einer Kostenentlastung führen, sind PKWs, Büroleuchten, Straßenbeleuchtung, Bodenbeläge, Gebäude, Multifunktionsgeräte, Computer, Kühl- und Gefriergeräte, Kopierpapier und Reinigungsmittel. Trotz des teilweise höheren Anschaffungspreises werden bei diesen Produktgruppen über die geringeren Verbräuche insgesamt Kosten eingespart. Bei Produktgruppen, wie Kopierpapier und Reinigungsmittel, ist das umweltverträgliche Produkt bereits bei der Anschaffung günstiger als das konventionelle Produkt.

Bei den übrigen 5 Produktgruppen und Dienstleistungen liegen die Lebenszykluskosten der umweltverträglichen Beschaffungsvarianten oberhalb der Kosten der konventionellen Variante. Darunter fallen die Entsorgung von Gewerbeabfall, Beschaffung von elektrischer Energie, Baumaschinen, Geschirrspülmaschinen und Textilien. Die drei zuerst genannten Produktgruppen weisen jedoch einen besonders hohen Umweltentlastungseffekt auf, der durch ein hohes Potenzial zur Treibhausgasminderung und im Fall der Baumaschinen durch eine hohe Reduzierung der Dieselrußemissionen quantifiziert wird. Bei den Geschirrspülmaschinen sind die Mehrkosten durch die umweltverträgliche Variante nur gering. Bei den Textilien bedingen es die hier berücksichtigten Kostenpositionen der Lebenszykluskostenrechnung, dass externe Kosten der Textilherstellung (beispielsweise Umweltbelastung durch konventionellen Landbau, Chemikalieneinsatz für das Färben und die Veredlung) nicht quantifiziert wurden.

Die Hochrechnung auf das öffentliche Beschaffungsvolumen des Landes Berlin in Kapitel 6 zeigt, dass die Einsparungen der 10 Produktgruppen die Mehrausgaben der weiteren 5 Produktgruppen und Dienstleistungen deutlich überwiegen. Die Summe der umweltverträglich beschafften Produkte und Dienstleistungen führt zu einer berechneten Kostenentlastung der Berliner Landeshaushalte von 38 Mio. Euro pro Jahr. Bezogen auf das Beschaffungsvolumen der untersuchten 15 Produktgruppen und Dienstleistungen von rund 1 Mrd. Euro pro Jahr, stellt dies eine Kosteneinsparung von 3,8 Prozent dar.

Die jährlichen Treibhausgasemissionen der untersuchten Produktgruppen und Dienstleistungen sinken gemäß der Hochrechnung - ausgehend von rund 757.000 Tonnen CO_2-Äquivalenten - um einen Betrag von rund 355.000 Tonnen. Durch die umweltverträgliche Beschaffung können die Treibhausgasemissionen bezogen auf die untersuchten Produkte und Dienstleistungen im Land Berlin um rund 47 Prozent gegenüber der konventionellen Beschaffung gesenkt werden. Zur Einordnung der Emissionsminderung wird darauf verwiesen, dass dies in etwa den Treibhausgasemissionen entspricht, die durch den Verbrauch von Erdgas und Fernwärme in allen landeseigenen Einrichtungen verursacht werden.

Die vorliegende Studie dokumentiert, dass durch die umweltverträgliche Beschaffung im Land Berlin sowohl relevante ökologische als auch deutliche ökonomische Einspareffekte erzielt werden können.

2. Einleitung

Nach § 7 *Berliner Ausschreibungs- und Vergabegesetz (BerlAVG)* sind öffentliche Auftraggeber in Berlin dazu verpflichtet, bei der Vergabe von Aufträgen ökologische Kriterien zu berücksichtigen. Zusätzlich muss die Wirtschaftlichkeit der Angebote anhand deren Lebenszykluskosten bewertet werden. Um die Vergabestellen bei der Umsetzung des Gesetzes zu unterstützen, wurde vom Berliner Senat die *Verwaltungsvorschrift Beschaffung und Umwelt (VwVBU)* - ergänzend zu dem Gesetz - verabschiedet, die seit dem 1. Januar 2013 Gültigkeit hat.

Mit der umweltverträglichen Beschaffung können mehrere umwelt- und gesellschaftspolitische Ziele umgesetzt werden: Der Einkauf umweltverträglicher Produkte und Dienstleistungen führt zu einer Verminderung der unmittelbaren Umweltwirkungen des Berliner Verwaltungshandelns und schützt die Gesundheit von Beschäftigten sowie Bürgerinnen und Bürgern. Öffentliche Gelder werden gezielt in umweltverträgliche Produkte und Dienstleistungen investiert, sodass nachhaltigere und zukunftsfähigere Wirtschaftsstrukturen gestärkt werden. Mit der Berücksichtigung von Lebenszykluskosten, also sowohl Anschaffungskosten als auch Folgekosten, kann die Anwendung der Verwaltungsvorschrift zur nachhaltigen Haushaltskonsolidierung beitragen.

Die Verwaltungsvorschrift gilt für die Vergabe von Liefer-, Bau-und Dienstleistungsaufträgen ab einem geschätzten Nettoauftragswert von 10.000 Euro und ist für unmittelbare und mittelbare Landesverwaltungen verpflichtend. Zu diesen Landesverwaltungen gehören insbesondere die Senatsverwaltungen, die ihnen nachgeordneten Behörden, die Bezirksverwaltungen sowie die landesunmittelbaren Körperschaften, Anstalten und Stiftungen des öffentlichen Rechts. Einzelne Dienststellen wie die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt sowie die Senatsverwaltung für Wirtschaft, Technologie und Forschung haben sich darüber hinaus dazu verpflichtet, die ökologischen Einkaufskriterien bereits ab einem Auftragswert von 500 Euro anzuwenden.

Das öffentliche Auftragswesen in Deutschland ist von den Grundsätzen der Sparsamkeit und Wirtschaftlichkeit geprägt (vgl. § 7 Bundeshaushaltsordnung sowie Haushaltsordnungen der Länder). Beim öffentlichen Einkauf muss der Mitteleinsatz zur Beschaffung einer bestimmten Leistung begrenzt werden oder bei gleichem finanziellem Aufwand ein höherer Ertrag erbracht werden. Der Aufwand für die Beschaffung geht dabei in der Regel über den reinen Einkaufspreis hinaus. Im Sinne einer weitergehenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtung müssen vielmehr alle Kosten eines Produktes oder einer Dienstleistung über den gesamten Anschaffungs- und Nutzungszeitraum einbezogen werden, insbesondere auch „versteckte" Folgekosten. Ein Instrument für die Wirtschaftlichkeitsrechnung ist die Lebenszykluskostenrechnung. Sie berücksichtigt (aus der Perspektive des öffentlichen Auftraggebers) alle Kosten, die während der Beschaffung, Nutzung und Entsorgung eines Produktes anfallen. Dabei zeigt sich häufig, dass höherwertige Produkte und Dienstleistungen in der Regel zwar teurer in der Anschaffung, über einen längeren Zeitraum betrachtet aber wirtschaftlicher sind.

Noch weitergehender ist die Analyse von Umwelteffekten mit Hilfe einer Ökobilanz. Dabei werden alle relevanten Material- und Energieströme, die mit dem Produkt oder der Dienstleistung zusammenhängen, bilanziert und anhand von Wirkungskategorien dargestellt. Typische Wirkungskategorien der Ökobilanz sind dabei der kumulierte Energieaufwand, das Treibhausgaspotenzial und schadstoffbezogene Kategorien wie das Versauerungspotential, Eutrophierungspotential und das Potenzial zur photochemischen Oxidantienbildung. Diese Umweltbelastungen führen auch zu externen Kosten, die von der Allgemeinheit getragen werden

müssen. Eine nachhaltige Beschaffung, die diese Umweltbelastungen senkt, führt daher immer auch zu einer Reduzierung der externen Kosten.

Mit der vorliegenden Untersuchung „Umwelt- und Kostenentlastung durch eine umweltverträgliche Beschaffung“ sollen die Effekte einer umweltverträglichen Beschaffung transparenter gemacht werden. Die Studie wurde im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin vom Öko-Institut e.V. erstellt und durch einen fachlichen Austausch durch das Umweltbundesamt begleitet.

Diese Untersuchung gliedert sich in die Methodenbeschreibung (Kapitel 3), die Produktauswahl (Kapitel 4), die Ermittlung von Umweltentlastungen und Kosten der jeweiligen Produktgruppe oder Dienstleistung (Kapitel 5) sowie in die Hochrechnung der Ergebnisse für das Land Berlin (Kapitel 6).

Es werden insgesamt 15 für die öffentliche Beschaffung relevante Produktgruppen und Dienstleistungen untersucht. Dabei wird jeweils die Beschaffung einer konventionellen Variante der Beschaffung einer umweltverträglichen Variante gegenüber gestellt. Für die jeweilige Produktgruppe oder Dienstleistung wird dargestellt, in welchem Umfang die ökologische Variante zur Umweltentlastung beitragen kann, in der Regel anhand des Umweltindikators Treibhausgaspotenzial. Zusätzlich wird anhand der Lebenszykluskosten berechnet, mit welchen Mehr- oder Minderkosten die umweltverträgliche Beschaffung verbunden ist. Die Ergebnisse dieses Vergleiches sind grundsätzlich auf alle Beschaffungsstellen auf kommunaler, Landes- oder Bundesebene übertragbar.

Auf der Basis des abgeschätzten Gesamtbestandes der ausgewählten Produkte sowie der jährlich beschafften Produkte und Dienstleistungen in Berliner Landeseinrichtungen wird ein Gesamtpotenzial abgeschätzt, in welcher Höhe die umweltverträgliche Beschaffung im Land Berlin zu einer Umwelt- und Kostenentlastung beitragen kann. Dabei kann die Untersuchung aufgrund der Aufgabenstellung keine Aussage darüber machen, inwieweit dieses Potenzial in Berlin bereits ausgeschöpft ist und inwieweit die Berliner Verwaltungsvorschrift Beschaffung und Umwelt (VwVBU 2012) in der Praxis angewendet wird. Vielmehr zeigen die Ergebnisse, welchen zusätzlichen Effekt die umweltverträgliche Beschaffung gegenüber der konventionellen Beschaffung leisten kann.

3. Methodische Grundlagen

Zur Ermittlung der Mehr- oder Minderkosten einer umweltverträglichen gegenüber einer herkömmlichen Beschaffung wird die Lebenszykluskostenrechnung herangezogen, deren methodische Grundlagen in Kapitel 3.1 dargestellt werden.

Für die Ermittlung der Umweltentlastungseffekte werden unterschiedliche Umweltwirkungen, je nach untersuchtem Produkt oder Dienstleistung, berechnet. Die Berechnungsmethode wird in Kapitel 3.2 dargestellt.

Verknüpft man den Kostenaufwand mit den erreichten Umweltentlastungen, so erhält man Vermeidungskosten. Dies wird exemplarisch in Kapitel 3.3 anhand der Kosten zur Treibhausgasminderung, den sogenannten Treibhausgas-Vermeidungskosten, dargestellt.

3.1. Berechnung von Lebenszykluskosten

3.1.1. Hintergrund

Umweltverträgliche Produkte führen nur dann zu einer realen Umweltentlastung, wenn sich diese auf dem Markt auch tatsächlich etablieren können. Mit der Lebenszykluskostenrechnung (englisch: ‚Life Cycle Costing', LCC) können alle relevanten Kosten ermittelt werden, die ein Produkt entlang seines gesamten Produktlebenszyklus verursacht. Auch die Folgekosten, wie beispielsweise Verbrauchs- und Entsorgungskosten, werden hierbei systematisch erfasst. So kann bei einem direkten Vergleich unterschiedlicher Varianten, beispielsweise zwischen einem konventionellen und einem umweltverträglichen Produkt, festgestellt werden, ob und in welchem Umfang die umweltverträgliche Variante auch aus ökonomischer Sicht insgesamt besser abschneidet als die konventionelle.

LCC ist allgemein definiert als die Berechnung und Bewertung aller Kosten, die mit einem Produkt verbunden sind und die direkt durch einen oder mehrere Akteure im Lebenszyklus dieses Produkts getragen werden. Eine Lebenszykluskostenrechnung ist – im Gegensatz zur isolierten Betrachtung des Anschaffungspreises – insbesondere bei Produkten sinnvoll, bei denen ein bedeutender Anteil der Kosten während der Nutzungsphase oder Entsorgung auftritt.

Auch im Kontext des öffentlichen Beschaffungswesens wird LCC als ein bedeutendes Mittel zur Förderung umweltverträglicher Produkte angesehen. Nicht selten sind die Anschaffungspreise solcher Produkte höher. Es entstehen jedoch in vielen Fällen geringere Folgekosten aufgrund eines geringeren Energie- und/oder Wasserverbrauchs und/oder geringerer Kosten für die Entsorgung und/oder Instandhaltung. Mit Hilfe der Lebenszykluskostenrechnung kann bei der Angebotsbewertung die unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten vorteilhafteste Variante identifiziert werden.

Die methodischen Grundlagen für die Durchführung von Lebenszykluskostenanalysen sind für unterschiedliche Anwendungen in verschiedenen internationalen und nationalen Standards und Richtlinien verankert.

Im Folgenden werden die allgemein gültigen Prinzipien, die bei der Durchführung einer Lebenszykluskostenrechnung für ein bestimmtes Produkt im Bereich der Beschaffung berücksichtigt werden sollten, dargestellt.

1. Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus

Der gesamte Lebenszyklus eines betrachteten Produkts umfasst im Wesentlichen die Phasen Herstellung, Nutzung, Entsorgung und gegebenenfalls Transporte. Dementsprechend sollten bei der Kostenrechnung die Kostenelemente der Herstellung beziehungsweise der Anschaffung, der Nutzung sowie der Entsorgung berücksichtigt werden.

2. Festlegung der Systemgrenzen

Bei den Systemgrenzen handelt es sich um eine Festlegung, welche Lebenswegabschnitte des Produkts, welche Prozesse und welche damit verbunden Kosten bei der Untersuchung zu berücksichtigen sind. Diese müssen bei der Lebenszykluskostenbetrachtung zu Beginn der Untersuchung eindeutig definiert werden. Ähnlich wie dem zu erfüllende Nutzen (siehe unten), müssen die Systemgrenzen für alle zu analysierenden Varianten des zu betrachtenden Produkts identisch sein. Beispielsweise sollten bei einem Multifunktionsgerät, das ist ein Bürogerät, das sowohl Drucken, Kopieren als auch Scannen kann, die Systemgrenzen

sinnvollerweise neben dem Einkauf auch den Gebrauch des Geräts und die damit verbundenen Kosten für Strom, Papier und Toner umfassen.

3. Berücksichtigung relevanter Kostenelemente

Als relevante Kostenelemente werden Kosten verstanden, die sich innerhalb einer Produktgruppe von Variante zu Variante unterscheiden. So können Kostenelemente ignoriert werden, die bei unterschiedlichen Produkten in gleicher Höhe auftreten, wie beispielsweise Software-Kosten unterschiedlich energieeffizienter Arbeitsplatzcomputer. Außerdem werden nur Kosten berücksichtigt, die einen relevanten Anteil an den Gesamtkosten eines Produkts oder einer Dienstleistung ausmachen. Bei allen untersuchten Varianten müssen die gleichen Kostenelemente betrachtet werden.

4. Akteursspezifische Kostenerfassung

Lebenszykluskosten müssen immer akteursspezifisch berechnet werden. Das bedeutet, es werden beispielsweise alle Kosten erfasst, die für den Produzenten relevant sind oder alle Kosten, die für den Konsumenten beziehungsweise Nutzer des Produkts relevant sind. Für Lebenszykluskostenrechnungen im öffentlichen Beschaffungswesen bedeutet das, dass diese stets unter dem Blickwinkel des öffentlichen Auftraggebers durchgeführt werden: Alle relevanten Kosten, die mit dem Produkt zusammenhängen und von der verantwortlichen Behörde tatsächlich getragen werden, müssen bei der Analyse berücksichtigt werden. Hierzu können zum Teil auch sogenannte externe Kosten zählen. Diese werden nicht vom Verursacher, sondern von der Allgemeinheit getragen, wie beispielsweise als Folge von Schadstoffemissionen. Teilweise ist die Berücksichtigung externer Kosten gesetzlich bereits festgelegt. Im Bereich der öffentlichen Verkehrsdienste wurde von der Europäischen Kommission beispielsweise eine Richtlinie über die Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge (Richtlinie 2009/33/EG) erlassen. Hiernach sind als Vorgaben in der Leistungsbeschreibung und/oder im Rahmen der Angebotswertung die CO_2-Emissionen und die Schadstoffemissionen zu berücksichtigen. Optional kann dies über eine Lebenszykluskostenanalyse erfolgen. In der Richtlinie wird dazu eine detaillierte Methodik zur finanziellen Bewertung und Berechnung der CO_2-Emissionen sowie der Schadstoffemissionen festgelegt (vgl. hierzu auch „Rechtsgutachten Umweltfreundliche öffentliche Beschaffung“, Umweltbundesamt 2012).

5. Orientierung am zu erfüllenden Nutzen

Eine Lebenszykluskostenrechnung muss immer für einen bestimmten zu erfüllenden Nutzen durchgeführt werden, der benannt werden muss. Dieser Nutzen ist die Größe, auf die alle Kostenelemente bezogen werden. Werden zwei oder mehrere Varianten untersucht, beispielsweise ein konventionelles und ein umweltverträgliches Produkt, so muss jede der betrachteten Varianten denselben Nutzen liefern. Dieses Prinzip ist sehr wichtig, da sonst Varianten untersucht und bewertet würden, die nicht vergleichbar sind. So macht es beispielsweise keinen Sinn, einen kleinen Pkw, der meist nur eine Person mit wenigen Gütern über kurze Distanzen transportiert, mit einem leistungsstärkeren Mittelklassewagen zu vergleichen, der für längere Dienstfahrten inklusive Chauffeur genutzt wird. Der Nutzen des Untersuchungsgegenstandes muss daher festgelegt werden. Bei einem Drucker wäre der zu erfüllende Nutzen beispielswiese der jährliche Druck von 10.000 Seiten in Schwarzweiß.

3.1.2. Betrachtete Lebenszyklusphasen

Der Lebenszyklus eines Produkts lässt sich in unterschiedliche Phasen unterteilen, in denen relevante Kosten anfallen. Für die Berechnung der Lebenszykluskosten in der vorliegenden Untersuchung werden die drei folgenden Lebenszyklusphasen betrachtet:

- Einmalzahlungen zur Beschaffung des Produktes: Hierunter fallen der Einkaufspreis des jeweiligen Produkts sowie die Kosten der Installation.
- Berechnung von verbrauchsbedingten Kosten: Verbrauchsbedingte Kosten sind alle Kosten, die während der Nutzung des Produkts anfallen. Sie werden auf Basis des tatsächlichen Verbrauchs (bspw. Stromverbrauch in kWh multipliziert mit dem Strompreis in €/kWh) berechnet. Hierzu zählen beispielsweise Stromkosten, Wasserkosten, Kosten für weitere Betriebsmittel, wie Papier oder Toner, Reinigungskosten, Reparatur- und Wartungskosten, etc.
- Einmalzahlungen zum Nutzungsende: Fallen für das Produkt Kosten für die Entsorgung an, so werden diese den Einmalzahlungen am Nutzungsende zugeordnet. Hierzu zählen Kosten für den Ausbau oder Abriss, Transport zur Entsorgungsanlage sowie für die Abfallbehandlung. Hat das Produkt noch einen Restwert (bspw. ein PKW, der nach Nutzungsende verkauft wird), wird dieser als negativer Kostenanteil (d. h. als Einnahme) berücksichtigt.

3.1.3. Energie- und Wasserpreise

Ein wichtiger Bestandteil bei der Berechnung der Lebenszykluskosten sind die Kosten, die durch den Verbrauch von elektrischer Energie, Brenn- und Kraftstoffen und Wasser- und Abwasser während der Nutzungsdauer verursacht werden. Diese Energie- und Wasserpreise wurden für diese Untersuchung für das Jahr 2014 anhand von statistischen Angaben ermittelt und bei den jeweiligen Berechnungen einheitlich angesetzt. Dabei wurden keine spezifischen Preise für das Land Berlin sondern bundesdeutsche Durchschnittspreise verwendet. Dadurch sind die Ergebnisse der Lebenszykluskostenrechnung auch auf andere Bundesländer übertragbar.

Die verwendeten Energie- und Wasserpreise sind in Tabelle 3-1 dokumentiert.

Tabelle 3-1: Preise von Energie und Wasser

Bezeichnung	Preis	Quelle / Annahme[1]
Strompreis	26,01 Ct/kWh	Mittlerer Strompreis Gewerbekunde (inkl. Umsatzsteuer) zum 1. April 2014, Jahresverbrauch 50 MWh, Niederspannung (0,4 kV), Quelle: Bundesnetzagentur, Bundeskartellamt, Monitoringbericht 2014; November 2014 (BNetzA 2014)
Wasserpreis	3,97€/m³	Durchschnittlicher Wasserpreis laut BDEW: 1,93€/m³ plus Abwassergebühr Schmutzwasser laut DWA: 2,04 €/m³ (2011) DWA - Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., BDEW - Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (DWA 2011)
Erdgaspreis	6,78 Ct/kWh	Statistisches Bundesamt; Daten zur Energiepreisentwicklung; Lange Reihen von Januar 2000 bis Oktober 2014; Erdgaspreis, Abgabe an private Haushalte, 20 Gigajoule bis unter 200 Gigajoule; alle Steuern inbegriffen (Destatis 2014)
Kraftstoffkosten Superbenzin	1,55 €/Liter	ADAC Autokosten 2014 - Kostenübersicht für über 1.800 aktuelle Neuwagen-Modelle. Stand April 2014. Die Angaben beziehen sich auf den ermittelten Kraftstoffverbrauch nach dem EU-Fahrzyklus sowie den zum Zeitpunkt der Erstellung aktuellen, durchschnittlichen Kraftstoffkosten. (ADAC 2014)
Kraftstoffkosten Erdgas (CNG)	1,05 €/kg	
Kraftstoffkosten Diesel	1,40 €/Liter	

Quelle: Öko-Institut, verschiedene Statistiken

3.1.4. Preissteigerungsrate und Diskontsatz

Die Berechnung der Lebenszykluskosten erfolgt nach einem dynamischen Verfahren. Das bedeutet, dass der zeitliche Anfall von Einnahmen und Ausgaben berücksichtigt wird[2] und alle Geldflüsse[3] während der gesamten Nutzungsdauer erfasst werden. Die zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallenden Geldflüsse werden mit Hilfe eines bestimmten Zinsfaktors (Diskontsatz) auf einen einheitlichen Vergleichszeitpunkt ab oder aufgezinst (diskontiert). Für die Beschaffung bedeutet dies, dass der Wert aller Kosten zum Investitionszeitpunkt t_0 bestimmt wird und alle zukünftigen Geldflüsse wie beispielsweise Stromkosten dann auf den sogenannten Barwert[4]

[1] Außer beim Strom wurden die Preise und Preissteigerungsraten für private Haushalte angesetzt, da die Werte für öffentliche Auftraggeber oder vergleichbare Abnehmer in der Statistik nicht verfügbar waren.

[2] Bei statischen Verfahren hingegen wird der zeitliche Anfall von Einnahmen und Ausgaben nicht berücksichtigt, d. h. unabhängig vom Zeitpunkt, wann bestimmte Ausgaben, beispielsweise Energiekosten, anfallen, gehen diese ohne Umrechnung in das Ergebnis ein. Gegenüber der Realität ist dies eine wesentliche Vereinfachung, da aufgrund von Zinseffekten der zeitliche Anfall durchaus einen finanziellen Unterschied machen kann.

[3] Unter Geldflüssen werden hier Einnahmen und Ausgaben verstanden. In der Regel werden bei Lebenszykluskostenrechnungen innerhalb des Beschaffungswesens und hierzu anwendbaren Rechentools nur Ausgaben berücksichtigt.

[4] Der Barwert ist der Wert einer Zahlung in der Zukunft bezogen auf den heutigen Zeitpunkt. Er wird durch Abzinsung der zukünftigen Zahlungen und anschließendes Summieren ermittelt.

abgezinst werden. Hierdurch wird berücksichtigt, dass das nicht verwendete Geld, falls die Anschaffung zum Zeitpunkt t_0 nicht getätigt würde, verzinst angelegt werden könnte.

Die zukünftige Preisentwicklung kann in der Regel nicht exakt prognostiziert werden, sondern ist eine Abschätzung, die mit Unsicherheiten behaftet ist. Sie basiert auf der vergangenen Entwicklung und wichtigen zukünftigen Einflüssen auf die Preisbildung. Für die nachfolgenden Berechnungen wurden die in Tabelle 3-2 dargestellten Zinssätze und Preissteigerungsraten angesetzt. Für die Preissteigerungsraten wurde jeweils der Durchschnitt der Jahre 2011 bis 2013 gebildet.

Tabelle 3-2: Zinssätze und Preissteigerungsraten

Bezeichnung	Wert	Quelle / Annahme
Preissteigerungsrate allgemein	1,87 %	Statistisches Bundesamt, Fachserie 17 Reihe 7, Verbraucherpreisindizes für Deutschland, Mai 2014, Verbraucherpreisindex insgesamt, Durchschnitt 2011-2013
Preissteigerungsrate Haushaltsenergie (Strom, Gas u.a. Brennstoffe)	6,47 %	Statistisches Bundesamt, Fachserie 17 Reihe 7, Verbraucherpreisindizes für Deutschland, Mai 2014, Sondergliederung, Durchschnitt 2011-2013
Preissteigerungsrate Heizöl und Kraftstoffe	5,53 %	Statistisches Bundesamt, Fachserie 17 Reihe 7, Verbraucherpreisindizes für Deutschland, Mai 2014, Verbraucherpreisindex insgesamt, Durchschnitt 2011-2013
Diskontsatz / Kalkulationszinssatz	1,7 %	Durchschnittszinssatz Bundesfinanzministerium "Personal- und Sachkosten für Kostenberechnungen/ Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen (PKS)"

Quelle: Eigene Berechnungen Öko-Institut nach Statistisches Bundesamt, Bundesfinanzministerium

3.1.5. Berechnung von Barwerten

Der Barwert rechnet Kosten, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen, auf einen bestimmten Zeitpunkt um, indem er den Zeitwert des Geldes berücksichtigt. Dies erfolgt durch die Diskontierung/Abzinsung der zukünftigen Kosten. Gewöhnlich werden alle Kosten auf den aktuellen Zeitpunkt, meist den Zeitpunkt des Beschaffungsvorgangs t_0, bezogen. Mit Hilfe dieser Methode kann berechnet werden, wie hoch die Zahlungen über die gesamte Nutzungsdauer einer Beschaffungsvariante sind. Die Investitionskosten müssen nicht diskontiert werden, da sie sofort – also zum Zeitpunkt t_0 – anfallen. Die Berechnung der Barwerte erfolgt für jedes Jahr, indem ein Produkt genutzt oder eine Dienstleistung in Anspruch genommen wird. Dafür werden alle Kosten, die in einem Jahr anfallen, durch Multiplikation mit dem Barwertfaktor[5] auf den heutigen Barwert umgerechnet. Die Summe aller jährlichen Barwerte entspricht dann den Lebenszykluskosten.

Durch die Diskontierung der zukünftigen Kosten wird im Rahmen der Lebenszykluskostenrechnung dem Umstand Rechnung getragen, dass zu Beginn einer Beschaffung eventuell höhere Kosten anfallen können. Dies ist insbesondere bei der Beschaffung von umweltverträglichen Produkten und Dienstleistungen der Fall, die oft höhere

[5] Der Barwertfaktor ist $1/(1+i)^n$, i=Diskontsatz, n=Periode, in der die Kosten anfallen

Anschaffungskosten haben, im Gegenzug aber geringere Betriebskosten aufweisen. Bei gegebenem Jahresbudget kann dies bei den Beschaffungsstellen gegebenenfalls zu Liquiditätsengpässen führen, da das zusätzlich benötigte Kapital vom Kapitalmarkt aufgenommen werden muss. Durch die dynamische Lebenszykluskostenrechnung wird der hierfür aufzubringende Zins und Zinseszins mitberücksichtigt. Die Ergebnisse der Lebenszykluskostenrechnung sind somit trotz einer eventuell notwendigen Kreditaufnahme gültig.

3.2. Berechnung von Umweltwirkungen

Der Vergleich von Umweltwirkungen verschiedener Produkte mit äquivalentem Produktnutzen kann prinzipiell mit der Methodik der Ökobilanz nach den Standards ISO 14040 und ISO 14044 durchgeführt werden. Ökobilanzen umfassen die Umweltwirkungen entlang des gesamten Lebensweges von Produkten, von der Rohstoffgewinnung und Herstellung über die Nutzungsphase bis zur Entsorgung. Die Erstellung von Ökobilanzen ist jedoch sehr aufwändig und würde für die hier untersuchten Produkte und Dienstleistungen den Umfang der vorliegenden Studie sprengen. Deshalb beschränkt sich diese Untersuchung im Wesentlichen auf die Umweltwirkungen, die während der Nutzungsphase auftreten. Dies sind insbesondere das Treibhausgaspotenzial für die Herstellung der elektrischen Energie, die von den Produkten verbraucht wird und die Treibhausgasemissionen, die bei der Verbrennung von Kraft- und Brennstoffen freigesetzt werden. Bei ausgewählten Produkten werden außerdem existierende Ökobilanzen herangezogen, um deren Umweltwirkungen bei der Herstellung zu bewerten.

Das **Treibhausgaspotenzial** setzt sich aus den Emissionen an klimarelevanten Gasen (z.B. Kohlendioxid, Methan, Lachgas) zusammen, die anhand eines Umrechnungsfaktors (GWP-Wert) auf die Klimawirksamkeit von Kohlendioxid umgerechnet wurden. Das Treibhausgaspotenzial wird in CO_2-Äquivalenten ausgedrückt. Die Einheit ist CO_2e, wobei „e“ für „equivalent“ steht.

Bei den strombetriebenen Geräten wurde der Fokus bei der Berechnung der Umweltwirkungen auf das Treibhausgaspotenzial in der Nutzungsphase gelegt. Dafür wurde der Emissionsfaktor für Niederspannungsstrom in Deutschland zugrunde gelegt. Dieser wird in CO_2-Äquivalenten dargestellt und beträgt 655 g CO_2e/kWh Strom[6]. Multipliziert man den jeweiligen Stromverbrauch eines Geräts mit dem Emissionsfaktor, so erhält man als Ergebnis die CO_2-Äquvalente, die mit dem Energieverbrauch verbunden sind.

Für Produkte, die in ihrer Nutzungsphase fossile Energieträger verbrauchen, wurden die Umweltwirkungen ebenfalls als **Treibhausgaspotenzial** ausgedrückt. Bei Gebäudeheizungen (siehe Kapitel 5.9) wird mit einem Emissionsfaktor von 251 g CO_2e/kWh Erdgas gerechnet[7], bei den Baumaschinen (siehe Kapitel 5.15) wird für den dort eingesetzten Dieselkraftstoff ein Emissionsfaktor von 3.083 g CO_2e/Liter$_{Kraftstoff}$ verwendet[8] und bei Kraftfahrzeugen (siehe Kapitel 5.14) kommen die Herstellerangaben zu CO_2-Emissionen pro Kilometer Fahrstrecke[9] zum Ansatz. Bei den Angaben zu Kraftfahrzeugen handelt es sich abweichend von der sonstigen Systematik um reine Kohlendioxidemissionen bei der Verbrennung im Motor, ohne die Berücksichtigung der

[6] CO_2-Äquivalente pro kWh Strom (Niederspannung, DE): 655g, Quelle: EcoInvent 3.01

[7] CO_2-Äquivalente pro kWh Erdgas (frei Haus, verbrannt): 251 g, Quelle: GEMIS 4.6, März 2011; 1. Szenario: Energie: Wärme – endenergiebezogen 2010 [kWh]

[8] CO_2-Äquivalente pro Liter Dieselkraftstoff: 3.083 g/l, Quelle: GEMIS-Version 4.6, März 2011; Szenario: Energie: hilfreiche Kennzahlen 2010, Diesel, je Liter in Fahrzeug genutzt

[9] gemäß Verordnung über Verbraucherinformationen zu Kraftstoffverbrauch, CO_2-Emissionen und Stromverbrauch neuer Personenkraftwagen (Pkw-Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung - Pkw-EnVKV)

Herstellung der Kraftstoffe sowie weiterer klimarelevanter Emissionen der Fahrzeuge. Das Treibhausgaspotenzial der Nutzung von Fahrzeugen ist dadurch tendenziell zu niedrig angesetzt.

Bei nicht energieverbrauchenden Produkten wurden existierende Ökobilanz-Studien herangezogen, um deren Umweltwirkungen darzustellen. Bei der Produktgruppe Kopierpapier (siehe Kapitel 5.3) wurden beispielsweise als Indikatoren für die Umweltwirkungen der **Wasser- und Holzverbrauch** betrachtet. Holzverbrauch ist vor allem bei konventionellem Papier aus Frischfaser relevant, da der für die Papierherstellung verwendete Zellstoff direkt aus dem pflanzlichen Ausgangsmaterial (meistens Holz) gewonnen wird. Auch der Wasserverbrauch ist bei der Papierherstellung eine relevante Größe. Die Umweltwirkungen des Holz- und Wasserverbrauchs wurden einschlägigen Ökobilanz-Studien entnommen und auf die entsprechende funktionelle Einheit (Beschaffungsmenge) hochgerechnet.

Bei der Produktgruppe Reinigungsmittel wurde als Umweltindikator das **kritische Verdünnungsvolumen** (KVV) herangezogen. Dieser Indikator macht Angaben zur Aquatoxizität (Toxizität gegenüber Wasserorganismen) des Reinigungsmittels und besagt wieviel Wasser pro Liter der Anwendungslösung zugesetzt werden muss, damit es für die Umwelt unschädlich ist. Dieser Indikator wurde ebenfalls einschlägigen Studien entnommen und auf die entsprechende funktionelle Einheit (Beschaffungsmenge) hochgerechnet.

Als weiterer Indikator für Umweltwirkungen werden bei der Produktgruppe Baumaschinen (siehe Kapitel 5.15) die **Emissionen an Dieselrußpartikel** heran gezogen. Dieselruß entsteht bei der Verbrennung von Dieselkraftstoff. Es gilt nach Angaben der Weltgesundheitsorganisation als krebserregend und trägt zur Feinstaubbelastung in Städten bei.

3.3. Treibhausgas-Vermeidungskosten

Treibhausgas-Vermeidungskosten (kurz: CO_2e-Vermeidungskosten) bezeichnen die spezifischen Kosten bei der Vermeidung einer Einheit (z.B. 1 Tonne) an Treibhausgasemissionen entstehen. Die CO_2e-Vermeidungskosten werden berechnet als Quotient aus den Mehraufwendungen für eine umweltverträgliche (z.B. energiesparende) Beschaffungsvariante und den gegenüber dem Referenzfall eingesparten CO_2e-Emissionen:

$$VK_{eco} = \frac{K_{eco} - K_{konv}}{E_{konv} - E_{eco}} \left[\frac{€}{t_{CO2e}}\right]$$

mit:

VK_{eco} *Vermeidungskosten einer Beschaffungsvariante*

K_{eco} *Kosten der umweltverträglichen Beschaffungsvariante*

K_{konv} *Kosten der konventionellen Beschaffungsvariante*

E_{eco} *Treibhausgasemissionen der umweltverträglichen Beschaffungsvariante*

E_{konv} *Treibhausgasemissionen der konventionellen Beschaffungsvariante*

Der errechnete Wert der CO_2e-Vermeidungskosten kann sowohl positiv als auch negativ sein.

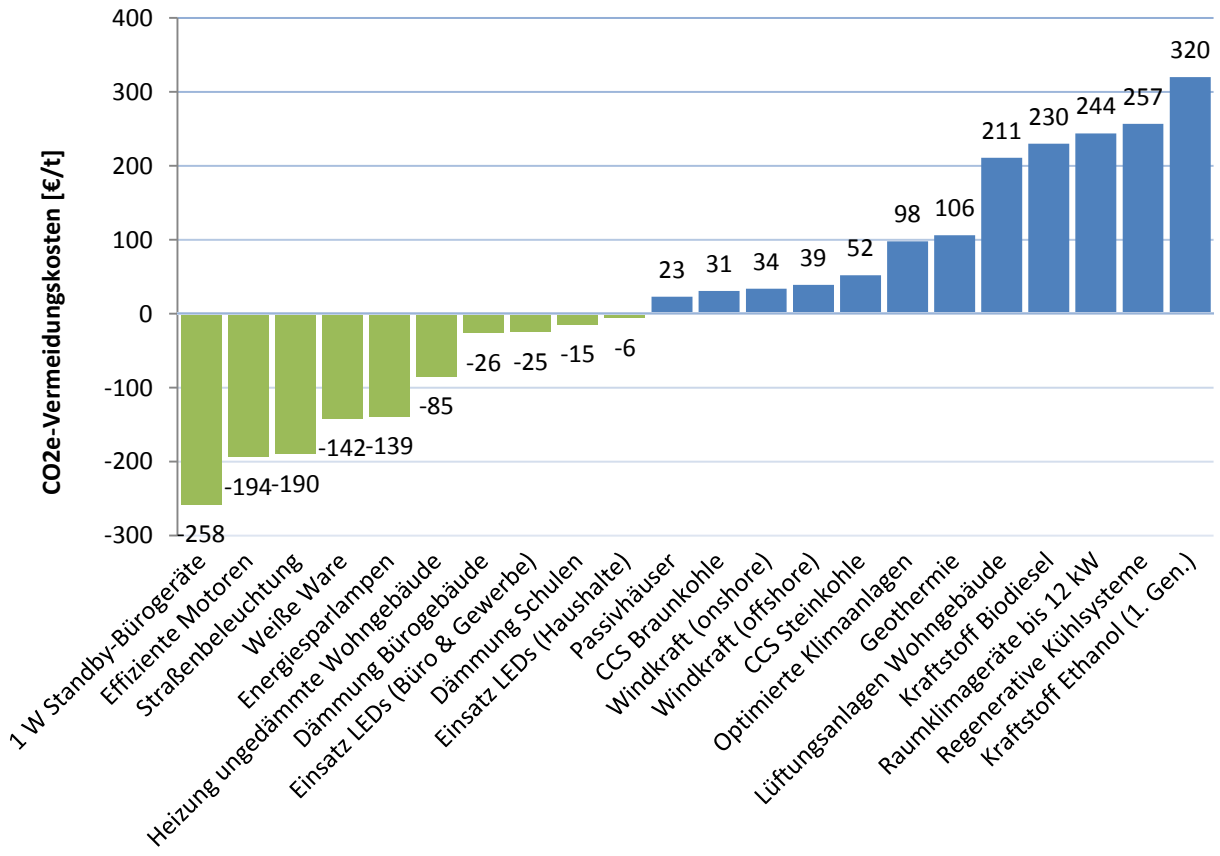
Positive Werte beschreiben die Mehrkosten der umweltverträglichen Beschaffungsvariante pro eingesparter Tonne CO_2e gegenüber der konventionellen Beschaffungsvariante. Die Treibhausgasminderung ist in diesem Fall mit Kosten verbunden. Die Vermeidungskosten können dann beispielsweise dazu herangezogen werden, die wirtschaftlichste Handlungsoption zur

Treibhausgasminderung zu identifizieren oder die Gesamtkosten für ein mengenmäßiges Minderungsziel zu berechnen. Anhand der CO_2e-Vermeidungskosten kann entschieden werden, in welche Anlage zur regenerativen Energieerzeugung (beispielsweise Photovoltaik, Biogasanlage oder Holzhackschnitzel-Heizkraftwerk) investiert werden soll, um den höchsten CO_2e-Einsparerfolg bei gleicher Investitionssumme zu erzielen.

Negative Werte der CO_2e-Vermeidungskosten sind dagegen Gutschriften. Die jeweilige Treibhausgasminderung durch ein umweltverträgliches Produkt ist nicht mit Kosten verbunden, sondern führt über die Nutzungsphase zu einer Kostenentlastung. Die Beschaffung solcher umweltverträglicher Varianten ist sowohl aus ökonomischer als auch als ökologischer Sicht sinnvoll. Im Rahmen dieser Studie werden nur positive Vermeidungskosten (d. h. Mehrkosten) zahlenmäßig ausgewiesen.

Zur Einordnung der Zahlenwerte der im Rahmen dieser Untersuchung berechneten CO_2e-Vermeidungskosten werden in nachfolgender Abbildung 3-1 die Kosten ausgewählter Klimaschutzmaßnahmen dargestellt. Bei den Werten handelt es sich um Literaturwerte, die die Unternehmensberatung McKinsey zusammen mit dem Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI) für eine Studie zu Kosten und Potenzialen der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland für das Jahr 2020 berechnet hat (McKinsey 2007).

Abbildung 3-1: CO_2e-Vermeidungskosten ausgewählter Maßnahmen für das Jahr 2020 (Literaturwerte)



Quelle: McKinsey 2007, eigene Darstellung Öko-Institut

Die in der Abbildung dargestellten CO_2e-Vermeidungskosten aus der genannten McKinsey-Studie differenzieren sich in negative und positive Kosten. Bei den Maßnahmen mit *negativen* Vermeidungskosten (in der Abbildung *grün* hinterlegt) handelt es sich um Maßnahmen, die sowohl wirtschaftlich sind, als auch zu einer Treibhausgasminderung führen.

Mit einer Gutschrift von 258 Euro pro Tonne CO_2-Äquivalent ist die Einführung einer maximalen Standby-Leistungsaufnahme von 1 Watt bei Bürogeräten die wirtschaftlichste der hier dargestellten Maßnahmen. Auf diesen Umstand hat die europäische Standby-Verordnung (1275/2008/EG bzw. 801/2013/EU) bereits reagiert und schreibt eine maximale Standby-Leistungsaufnahme von 1 Watt ab 2010 und von 0,5 Watt ab 2013 vor.

Bei der Nutzung von LED-Leuchten in Haushalten liegt die Gutschrift noch bei 6 Euro pro eingesparter Tonne CO_2-Äquivalent. Die Maßnahmen mit *positiven* Vermeidungskosten (in der Abbildung *blau* hinterlegt) umfassen Kosten zwischen 23 Euro pro eingesparter Tonne CO_2-Äquivalent für den Neubau von Passivhäusern bis zu 320 Euro für die Verwendung von Ethanol aus Pflanzenzucker als Kraftstoff. Die Studie von McKinsey nennt als teuerste Maßnahme die Nutzung von PKWs mit Plug-in-Hybrid-Technologie mit 4.570 Euro pro eingesparter Tonne CO_2-Äuivalent (nicht im Diagramm eingezeichnet). Bei dieser Maßnahme besteht ein sehr hoher ökonomischer Aufwand, um Treibhausgasemissionen zu reduzieren.

4. Produktauswahl

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde eine Auswahl an 15 verschiedenen Produkten vorgenommen, die repräsentativ für die öffentliche Beschaffung sind und zugleich eine hohe Relevanz in Bezug auf Umweltentlastungen aufweisen. Die Grundlage für die Auswahl bilden die rund 100 verschiedenen Produktgruppen und Dienstleistungen, die in der Verwaltungsvorschrift Beschaffung und Umwelt (VwVBU 2012) genannt sind, die vom Berliner Senat im Jahr 2012 verabschiedet wurde und seit Januar 2013 Gültigkeit hat. Für diese Beschaffungsgüter wurde eine Abschätzung des Beschaffungsvolumens, des Umweltentlastungspotenzials und des Kostenentlastungspotenzials vorgenommen. Die hierdurch entstandene erste Priorisierung der Produktgruppen wurde in einem weiteren Schritt im Hinblick auf die zur Verfügung stehenden Daten bewertet. Aus dieser Vorauswahl wurden mit dem Auftraggeber die in diesem vorliegenden Bericht untersuchten Produktgruppen festgelegt und mit dem Umweltbundesamt abgestimmt.

Die zur Untersuchung ausgewählten Produktgruppen sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt:

Tabelle 4-1: Produktgruppen und Verweis auf Kapitelnummern der vorliegenden Untersuchung

Produktgruppe	Kapitel
Computer	5.1
Multifunktionsgeräte	5.2
Kopierpapier	5.3
Kühl- und Gefriergeräte	5.4
Geschirrspülmaschinen	5.5
Büroleuchten	5.6
Textilien	5.7
Reinigungsmittel	5.8
Gebäude	5.9
Bodenbeläge	5.10
Elektrische Energie	5.11
Straßenbeleuchtung	5.12
Gewerbeabfall	5.13
PKWs	5.14
Baumaschinen	5.15

Quelle: Öko-Institut

Für die Betrachtung der relevanten Produktgruppen wurde jeweils ein konventionelles Produkt als Referenzprodukt festgelegt und diesem ein umweltverträgliches Produkt gegenüber gestellt. Beide Produkte erfüllen dabei im Sinne der Lebenszykluskostenrechnung den gleichen Nutzen (vgl. Punkt 5 Orientierung am zu erfüllenden Nutzen in Kapitel 3.1.1). Die gemeinsamen Eigenschaften der Produkte wurden hierzu genau definiert, z.B. Kühlschrank-Modell der Kategorie „ohne Gefrierfach, ein- bzw. unterbaufähig“ mit einem festgelegten Nutzinhalt. Für die Auswahl der konventionellen Produkte wurde ein Neuprodukt gewählt, das dem aktuellen Stand der Technik entspricht. Zur Definition der konventionellen Referenzprodukte wurden verschiedene Quellen herangezogen, beispielsweise Marktübersichten, Ökodesign-Richtlinien oder auch Verbraucherportale im Internet. Bei der umweltverträglichen Alternative wurde in der Regel das umweltfreundlichste am Markt verfügbare Produkt gewählt und sofern möglich, auf die jeweils gültigen Kriterien des Umweltzeichens „Blauer Engel“ Bezug genommen. Wenn dies nicht möglich war, wurden weitere Quellen zur Beschreibung von ökologischen Spitzenprodukten herangezogen, beispielsweise bei Bürobeleuchtung, PKWs oder Textilien. Die Datenquelle wird im jeweiligen Kapitel benannt.

Die Ermittlung der Beschaffungskosten wurde, soweit sinnvoll, über eine Internet-Preissuchmaschine (idealo.de) durchgeführt. Hierzu wurde unter Berücksichtigung der spezifizierten Produkteigenschaften der Medianwert aller dort aufgeführten Produkte ermittelt. Die Nutzungsdauer der Produkte wurde, soweit möglich, der VwVBU entnommen und entspricht damit in der Regel der Abschreibungsdauer nach AfA-Tabelle (AfA 2000).

Alle Abweichungen von der hier beschriebenen Vorgehensweise sind im jeweiligen Kapitel dieses Berichts dokumentiert.

5. Ermittlung Umweltentlastungen und Kosten

5.1. Computer

5.1.1. Anforderungen

Es soll ein Arbeitsplatz-Computer für die tägliche Büroarbeit beschafft werden. Der Computer wurde so definiert, dass er ein aktuelles Betriebssystem (z.B. Microsoft Windows 7 Enterprise) unterstützt sowie technisch so ausgestattet ist, dass Bürosoftware für die tägliche Büroarbeit (Textverarbeitung, Tabellenkalkulation, Bildschirmpräsentation, E-Mail, Internet-Browser usw.) darauf genutzt werden kann. Hierzu erfüllt der Computer die in Tabelle 5-1 genannten Leistungsmerkmale.

Tabelle 5-1: Leistungsmerkmale eines für die tägliche Büroarbeit ausgestatteten Arbeitsplatzcomputers

Komponenten	Eigenschaften
Formfaktor	Mini-ITX (kompakter Desktop-PC)
Prozessor	Doppelkern (≥ 3.0 GHz Taktfrequenz)
Grafikkarte	diskrete Grafikkarte; dGfx-Kategorie: G1[10]
Hauptspeicher (RAM)	4 GByte
Festplatte	500 GB, 2,5“

Quelle: Öko-Institut

5.1.2. Produkteigenschaften

Als konventionelles Produkt wird ein Arbeitsplatz-Computer mit einem Intel Core i3-4130-Prozessor und einem Formfaktor Mini-ITX (kompakter Desktop-PC) ausgewählt. Sein jährlicher Stromverbrauch entspricht den Mindestanforderungen der Ökodesign Richtlinie für Computer und Computerserver im Jahr 2014 (Verordnung (EU) Nr. 617/2013).

Als umweltverträgliches Produkt wird ein Arbeitsplatz-Computer mit den gleichen Leistungsmerkmalen, jedoch mit einem energiesparenden Prozessor (Intel Core i3-4130T) ausgewählt. Der Energieverbrauch des energiesparenden Geräts wird durch die Anforderungen des Umweltzeichens Blauer Engel für Computer (Ausgabe November 2014)[11] festgelegt. Der Preisunterschied zwischen den beiden Prozessor-Varianten beträgt gemäß Marktrecherchen bei einer Internet-Preissuchmaschine (idealo.de) 13 Euro.

[10] Die dGfx-Kategorien beschreiben nach Verordnung (EU) Nr. 617/2013 der Kommission vom 26. Juni 2013 die Performanz der diskreten Grafikkarte. Die Kategorie G1 stellt dabei die niedrigste Performanz dar.

[11] Vergabegrundlage für Umweltzeichen; Computer; RAL UZ 78a; Ausgabe November 2014; https://www.blauer-engel.de/sites/default/files/raluz-downloads/vergabegrundlagen_de/UZ-078a-2014.zip (Zugriff: 1.12.2014)

In Tabelle 5-2 sind die wirtschaftlichen und technischen Produkteigenschaften des konventionellen und des energieeffizienten Arbeitsplatzcomputers dokumentiert.

Tabelle 5-2: Produkteigenschaften konventioneller und energieeffizienter Arbeitsplatz-Computer

Wirtschaftliche und technische Produkteigenschaften	*Einheit*	**Computer konventionell**	**Computer energieeffizient**
Einmalzahlungen zur Beschaffung des Produkts			
Einkaufspreis	€	390	403
Angaben zur Berechnung von verbrauchsbedingten Kosten			
Jährlicher Energieverbrauch Basisgerät (E_{TEC_Basis})	kWh/a	158	112
Jährlicher Energieverbrauch Grafikkarte (E_{TEC_Grafik})	kWh/a	34	18
Nutzungsdauer	a	3	3

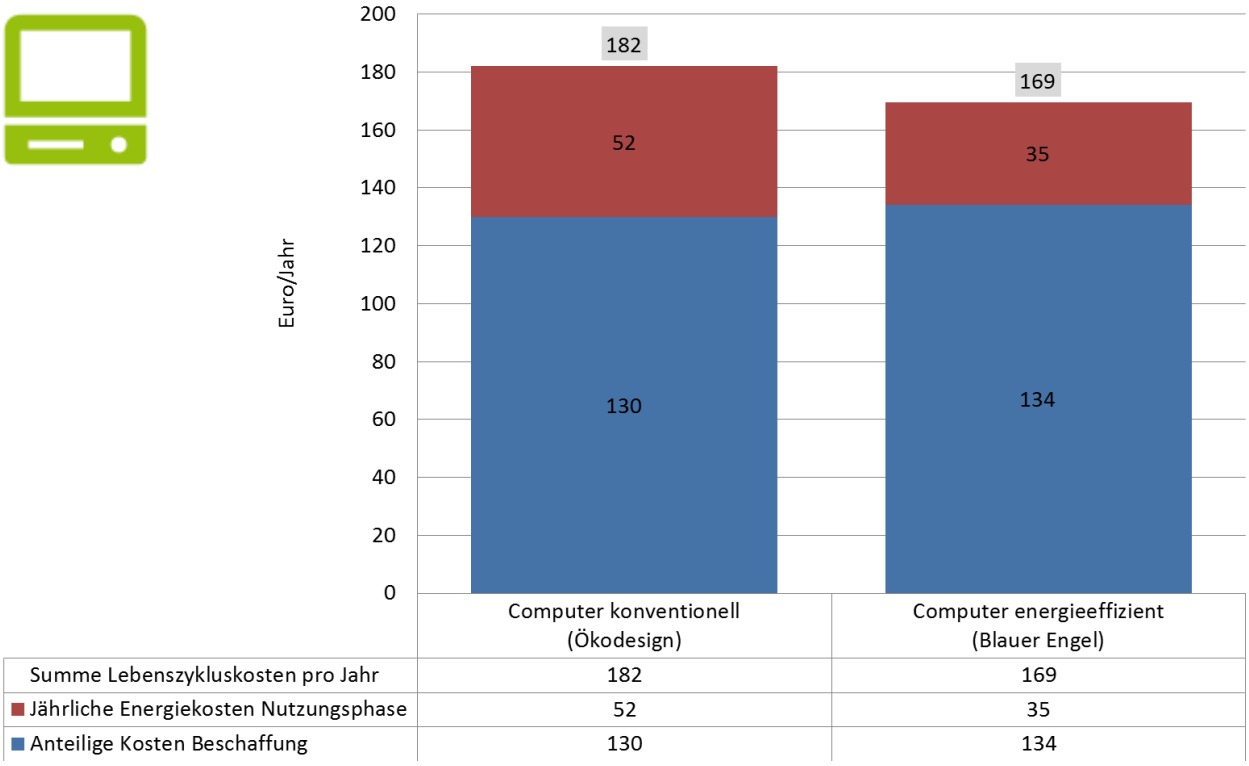
Quelle: Verordnung (EU) Nr. 617/2013 der Kommission vom 26. Juni 2013, Vergabegrundlage für Umweltzeichen; Computer; RAL UZ 78a; Ausgabe November 2014; Preise entsprechend Marktrecherche idealo.de, AfA-Tabelle

5.1.3. Lebenszykluskosten

Die Berechnung der Lebenszykluskosten erfolgt für Arbeitsplatz-Computer über einen Zeitraum von 3 Jahren. Die jährlichen Kosten teilen sich auf in anteilige Kosten für die Beschaffung der Geräte und in jährliche verbrauchsbedingte Kosten, die sich aus dem Stromverbrauch der Computer berechnen.

In Abbildung 5-1 werden die Barwerte (siehe Kapitel 3.1.5) der jährlichen Kostenpositionen dargestellt.

Abbildung 5-1: Jährliche Lebenszykluskosten für konventionelle und energieeffiziente Arbeitsplatz-Computer über einen Betrachtungszeitraum von 3 Jahren



	Computer konventionell (Ökodesign)	Computer energieeffizient (Blauer Engel)
Summe Lebenszykluskosten pro Jahr	182	169
Jährliche Energiekosten Nutzungsphase	52	35
Anteilige Kosten Beschaffung	130	134

Quelle: Öko-Institut

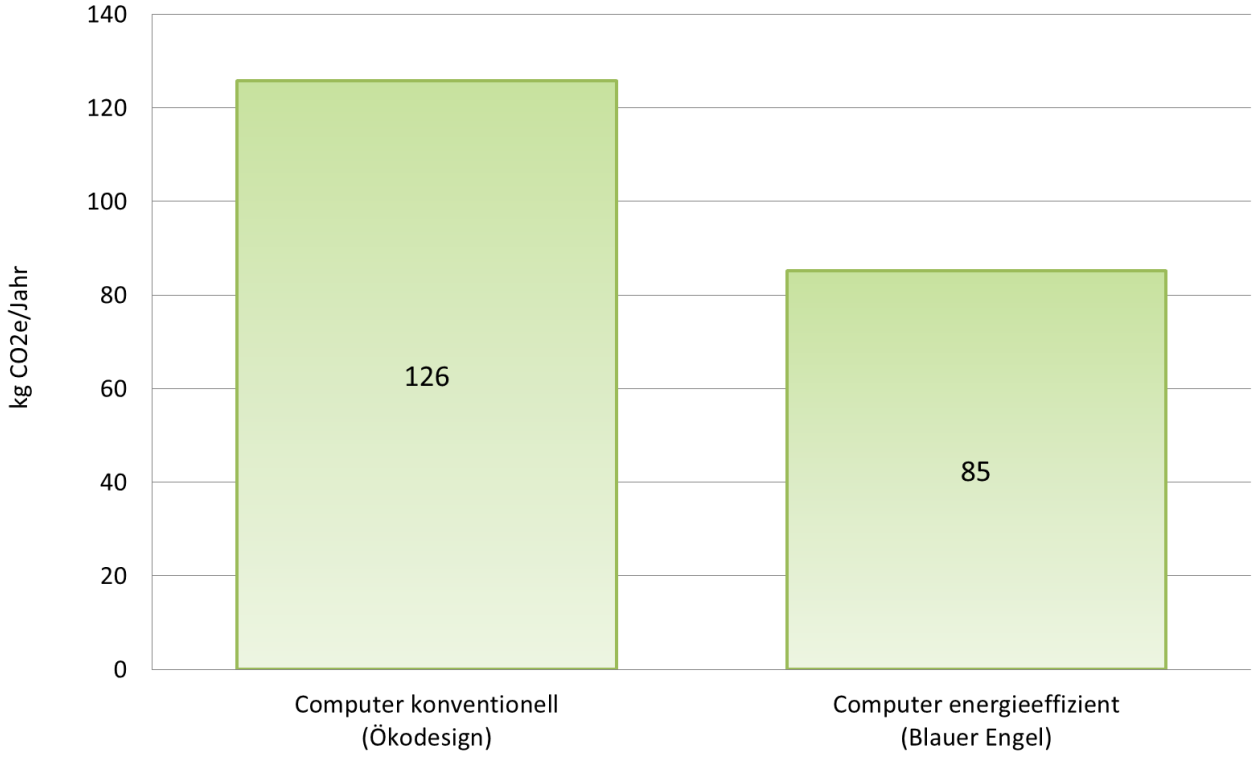
Der konventionelle Computer weist anteilige Beschaffungskosten von 130 Euro pro Jahr auf und jährliche Energiekosten in Höhe von 52 Euro. Die gesamten Lebenszykluskosten des konventionellen Computers betragen 182 Euro pro Jahr.

Der energieeffiziente Computer hat einen etwas höheren Anschaffungspreis von jährlich 134 Euro. Die jährlichen Energiekosten betragen dagegen nur 35 Euro. Die gesamten Lebenszykluskosten des umweltverträglichen Computers betragen 169 Euro pro Jahr und liegen damit 13 Euro (rund 7 Prozent) unterhalb der Kosten der konventionellen Variante.

5.1.4. Umweltwirkungen

Als Indikator für die Umweltwirkungen von Computern wird in dieser Untersuchung das Treibhausgaspotenzial für die Nutzung der Geräte während eines Jahres angesetzt. Das jährliche Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) berechnet sich dabei aus dem jährlichen Stromverbrauch der Computer. Die Herstellung der Computer wurde nicht berücksichtigt, da für den Vergleich beider Beschaffungsvarianten davon ausgegangen werden kann, dass die Umweltbelastung bei der Herstellung für beide Computer identisch ist.

Abbildung 5-2: Jährliches Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) durch Energieverbrauch für konventionelle und energieeffiziente Arbeitsplatzcomputer



Quelle: Öko-Institut

Die Nutzung des konventionellen Computers führt zu einem jährlichen Treibhausgaspotenzial in Höhe von 126 Kilogramm CO_2-Äquivalenten. Wird dagegen ein energieeffizientes Gerät genutzt, so liegt das jährliche Treibhausgaspotenzial bei 85 Kilogramm CO_2-Äquivalente und spart damit gegenüber der konventionellen Variante 41 Kilogramm CO_2-Äquivalente pro Jahr (32 Prozent) ein.

5.1.5. Fazit

Die Beschaffung von energieeffizienten Computern ist um rund 7 Prozent kostengünstiger als die von konventionellen Computern. Die leicht höheren Einkaufskosten werden über eingesparte Energiekosten bereits im ersten Jahr ausgeglichen und führen während der Nutzungsdauer von 3 Jahren zu Kosteneinsparungen. Die Nutzung des energieeffizienten Computers ist zudem mit 32 Prozent weniger Treibhausgasemissionen verbunden und spart damit 41 Kilogramm CO_2-Äquivalente pro Jahr ein.

5.2. Multifunktionsgeräte

5.2.1. Anforderungen

Multifunktionsgeräte vereinen die Funktionen mehrerer, ansonsten getrennt zu beschaffender Geräte in einem Gehäuse: Drucker, Scanner und Kopierer. Da Drucker häufig auch im lokalen Computer-Netzwerk eingesetzt werden, lassen sich bei Multifunktionsgeräten die verschiedenen Gerätetypen effizienter auslasten und zentral für Teams oder Abteilungen bereitstellen. Zusätzlich

wird der Standby-Verbrauch mehrerer Einzelgeräte vermieden, welche die höchsten Stromkosten während der Betriebsbereitschaft (Standby) verursachen[12]. Darüber hinaus ist ihr Anschaffungspreis in der Regel niedriger, als wenn alle Komponenten einzeln gekauft werden und es kann Platz gespart werden. Multifunktionsgeräte werden daher in öffentlichen Verwaltungen für die Ausstattung von größeren Büros bzw. Abteilungen beschafft. Ausgewählt wurde ein Laser-Multifunktionsgerät. Ein solches Gerät ist im Vergleich zu Tintenstrahldruckern (Inkjekt) dafür geeignet[13]:

- oft und viel zu drucken,
- extra hohe Druckgeschwindigkeiten aufzuweisen, zum Beispiel für den Ausdruck von großen oder vielen Dokumenten,
- überwiegend Textdokumente, Grafiken und Tabellen auszudrucken,
- ein besonders scharfes Schriftbild aufzuweisen,
- wisch- und kratzfeste Ausdrucke zu erzeugen.

In Tabelle 5-3 werden die erforderlichen Leistungsmerkmale dokumentiert.

Tabelle 5-3: Übersicht über die Leistungsmerkmale eines Laser-Multifunktionsgeräts (farbig) für den Einsatz in größeren Büros / Abteilungen

Anforderungen	Eigenschaften
Funktionsumfang	Multifunktionsgerät (Drucker, Scanner, Kopierer)
Drucktechnik	Laser, farbig
Seiten / Minute (A4, farbig)	21-40[14]

Quelle: Öko-Institut

5.2.2. Produkteigenschaften

Um die Energieeffizienz von Multifunktionsgeräten miteinander vergleichen zu können, kann man den sogenannten TEC-Wert („Typical Electricity Consumption“) heranziehen. Er entspricht einem nach den Standards des Umweltzeichens Energy Star gemessenem Wert für den typischen Stromverbrauch eines Multifunktionsgeräts über einen Zeitraum von 1 Woche. Für die Erlangung eines Energy Star Labels muss der TEC-Wert unter einer bestimmten Grenze liegen.

Als konventionelles Gerät wurde ein Multifunktionsgerät gewählt, das den Grenzwert des von Januar 2009 bis Ende des Jahres 2013 gültigen Energy Star Version 1.2 für bildgebende Geräte[15] einhält. Damit erfüllt das konventionelle Gerät die Effizienzanforderungen, die bis vor wenigen

[12] Laut topten.ch zeigte eine Studie des Schweizer Bundesamtes für Energie (BFE) das Ausdrucken nur 8 Prozent des Stromverbrauchs benötigt. 92 Prozent verbrauchen Drucker im Standby- oder im Aus-Zustand (49 Prozent Standby-Modus, 43 Prozent Aus-Zustand).(http://www.topten.ch/?page=rg_drucker_multifunktion&fromid, aufgerufen am 15.10.2014)

[13] EcoTopTen: http://www.ecotopten.de/computer-buero/drucker/kauftipps-fuer-drucker, aufgerufen am 01.12.2014

[14] Die Leistung des Ausdrucks von 21 bis 40 Seiten (farbig) ist für größere Arbeitsgruppen geeignet.

[15] ENERGY STAR Program Requirements for Imaging Equipment Version 1.2; http://www.energystar.gov/ia/partners/product_specs/program_reqs/Imaging_Equipment_Program_Requirements.pdf, aufgerufen am 16.10.2014.

Jahren guter Stand der Technik waren. Das konventionelle Gerät weist einen TEC-Wert von 7,5 kWh pro Woche auf. Hochgerechnet auf ein Jahr mit 52 Wochen verbraucht ein solches konventionelles Multifunktionsgerät 390 kWh/a.

Als umweltverträgliches Gerät wurde ein Multifunktionsgerät ausgewählt, das den Anforderungen des neusten Energy Star Version 2.0 (gültig seit 01.01.2014) entspricht. Ein solches Laser-Multifunktionsgerät weist einen TEC-Wert von maximal 3,95 kWh pro Woche auf. Hochgerechnet auf ein Jahr mit 52 Wochen verbraucht ein solches umweltverträgliches Multifunktionsgerät 205 kWh/a.

In Tabelle 5-4 sind die wirtschaftlichen und technischen Produkteigenschaften des konventionellen und des energieeffizienten Multifunktionsgeräts dokumentiert. Basierend auf vorliegenden Informationen wird angenommen, dass sich die beiden Geräte in ihren Anschaffungskosten nicht voneinander unterscheiden.

Tabelle 5-4: Produkteigenschaften konventionelles und energieeffizientes Multifunktionsgeräts

Wirtschaftliche und technische Produkteigenschaften	Einheit	**Multifunktionsgerät konventionell (Energy Star 1.2)**	**Multifunktionsgerät energieeffizient (Energy Star 2.0)**
Kosten zur Bereitstellung des Produkts			
Bereitstellungskosten[16]	€	2.032	2.032
Angaben zur Berechnung von verbrauchsbedingten Kosten			
Stromverbrauch	kWh/a	390	205
Nutzungsdauer	a	3	3

Quelle: ITDZ Berlin, Energy Star Datenbank, Energy Star Version 2.0

5.2.3. Lebenszykluskosten

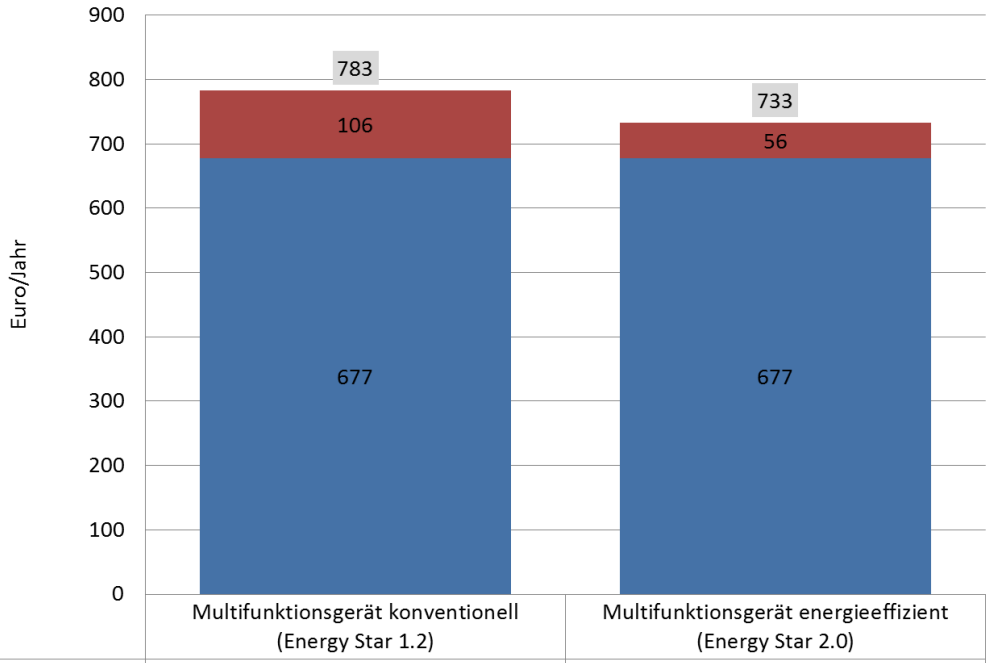
Die hier für die Berechnung der Lebenszykluskosten zugrunde gelegten Mietverträge zur Beschaffung von Multifunktionsgeräten (ITDZ Berlin) haben eine Laufzeit von drei Jahren. Dieser Zeitraum wird als Nutzungsdauer der Geräte angesetzt und für die Berechnung der jährlichen Lebenszykluskosten angesetzt. Als Kostenpositionen treten jährliche Energiekosten und jährliche anteilige Bereitstellungskosten auf. Letztere werden hier in Form eines monatlichen Basismietpreises, in dem nur die Beschaffung und Bereitstellung des Gerätes sowie die Kosten für allgemeine Serviceeinsätze enthalten sind, berücksichtigt. Verbrauchsmaterialien (Toner und Heftklammern) werden ab der ersten Seite mit einem Seitenpreis in Rechnung gestellt. Diese

[16] Die Kosten berechnen sich hier auf Grundlage eines sogenannten „Basismietpreis Pay per Page“. Das bedeutet, die zu beschaffende Stelle schließt einen Mietvertrag für das Gerät und zahlt einen monatlichen Basismietpreis und zusätzlich eine Pauschale für die gedruckten Seiten. Annahmen sind hier eine Vertragslaufzeit über 36 Monate (= Nutzungsdauer) und ein monatlicher Basismietpreis von 56,45 Euro. In dem Preis sind nur die Beschaffung und Bereitstellung des Gerätes sowie die Kosten für allgemeine Serviceeinsätze enthalten. Verbrauchsmaterialien (Toner und Heftklammern) werden ab der ersten Seite mit einem Seitenpreis in Rechnung gestellt. (Quelle: ITDZ Berlin "Infoblatt Multifunktionsgeräte für Kunden mit Basismietpreis Pay per Page (s/w und Farbe)")

Kosten werden hier nicht weiter betrachtet, da angenommen wird, dass sie sich zwischen einem konventionellen und effizienten Gerät nicht unterscheiden

In Abbildung 5-3 werden die Barwerte der jährlichen Kostenpositionen dargestellt.

Abbildung 5-3: Jährliche Lebenszykluskosten für konventionelle und energieeffiziente Multifunktionsgeräte über einen Betrachtungszeitraum von 3 Jahren



	Multifunktionsgerät konventionell (Energy Star 1.2)	Multifunktionsgerät energieeffizient (Energy Star 2.0)
Summe Lebenszykluskosten	783	733
Jährliche Energiekosten Nutzungsphase	106	56
Anteilige Kosten Beschaffung pro Jahr	677	677

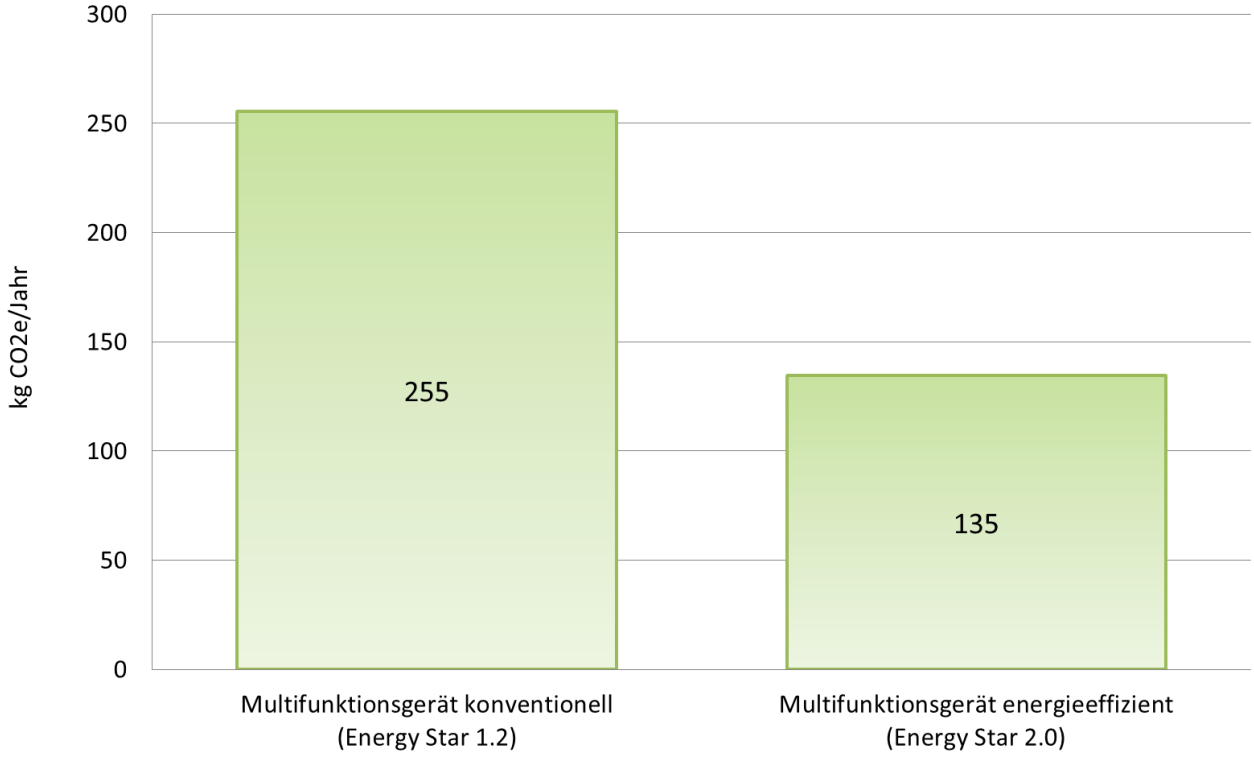
Quelle: Öko-Institut

Die Beschaffungskosten der Multifunktionsgeräte liegen bei 677 Euro pro Jahr. Die Energiekosten beim konventionellen Gerät liegen mit 106 Euro deutlich höher als die der umweltverträglichen Alternative mit 56 Euro pro Jahr. Die Summe der jährlichen Lebenszykluskosten beträgt beim konventionellen Multifunktionsgerät 783 Euro pro Jahr. Beim energieeffizienten Gerät betragen die Lebenszykluskosten 733 Euro pro Jahr und liegen damit 50 Euro (6 Prozent) unterhalb des konventionellen Geräts.

5.2.4. Umweltwirkungen

Als Indikator für die Umweltwirkungen von Multifunktionsgeräten wird in dieser Untersuchung das Treibhausgaspotenzial für die Nutzung der Geräte während eines Jahres angesetzt. Das jährliche Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) berechnet sich dabei aus dem jährlichen Stromverbrauch der Geräte. Die Herstellung, Transport und Entsorgung von Multifunktionsgeräten wurden auch hier nicht berücksichtigt, da für den Vergleich beider Beschaffungsvarianten davon ausgegangen werden kann, dass die Umweltbelastungen für beide Geräte identisch sind.

Abbildung 5-4: Jährliches Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) durch Energieverbrauch für konventionelle und energieeffiziente Multifunktionsgeräte



Quelle: Öko-Institut

Abbildung 5-4 stellt das jährliche Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) durch den Energieverbrauch für konventionelle und energieeffiziente Multifunktionsgeräte dar. Die Nutzung des konventionellen Multifunktionsgeräts führt zu einem jährlichen Treibhausgaspotenzial in Höhe von 255 Kilogramm CO_2-Äquivalenten. Wird dagegen ein energieeffizientes Gerät genutzt, so liegt das jährliche Treibhausgaspotenzial bei 135 Kilogramm CO_2-Äquivalente und spart damit gegenüber der konventionellen Variante 120 Kilogramm CO_2-Äquivalente pro Jahr (47 Prozent) ein.

5.2.5. Fazit

Die Bereitstellungskosten von energieeffizienten Multifunktionsgeräten unterscheiden sich nicht von denen eines konventionellen Geräts. Die jährlichen Energiekosten der energieeffizienten Variante sind hingegen um 47 Prozent geringer. Die jährlichen Lebenszykluskosten energieeffizienter Multifunktionsgeräte liegen damit 50 Euro (6 Prozent) unter denen konventioneller Geräte. Im Vergleich zu konventionellen Multifunktionsgeräten verursachen energiesparende Geräte durch den reduzierten Stromverbrauch 47 Prozent weniger Treibhausgasemissionen.

5.3. Kopierpapier

5.3.1. Anforderungen

Im Folgenden liegt der Fokus auf Kopier- und Druckpapier mit einer Qualität von 80 g/m^2, sogenanntes Multifunktionspapier. Es ist davon auszugehen, dass diese Papierart in öffentlichen Verwaltungen in sehr großem Umfang beschafft wird. Multifunktionspapier zeichnet sich dadurch aus, dass es sowohl für Laser- und Tintenstrahl-Drucker, als auch für Kopieranwendungen geeignet ist.

In Tabelle 5-5 werden die erforderlichen Leistungsmerkmale dokumentiert.

Tabelle 5-5: Übersicht über die Leistungsmerkmale eines Kopierpapiers für alltägliche Büroanwendungen

Anforderungen	Eigenschaften
Einsatzzweck	Drucken und Kopieren
Papierqualität	80 g / m^2
Größe	DIN A4
Bezugsgröße pro Packung	500 Blatt

Quelle: Öko-Institut

5.3.2. Produkteigenschaften

Als konventionelles Kopierpapier wurde Papier aus Frischfasern ausgewählt, das ohne Verwendung von Altpapier hergestellt wird. Das bedeutet, der für die Papierherstellung verwendete Zellstoff wurde direkt aus dem pflanzlichen Ausgangsmaterial (meistens Holz) gewonnen.

Als umweltverträgliches Produkt wurde ein Papier aus 100 % Altpapier gewählt, das mit dem Umweltzeichen „Blauer Engel“ gekennzeichnet ist[17]. Papier, das zu 100% aus Altpapier hergestellt wird, wird auch als Recyclingpapier bezeichnet.

In Tabelle 5-6 sind die wirtschaftlichen und ökologischen Produkteigenschaften des konventionellen und des umweltverträglichen Papiers dokumentiert.

[17] RAL UZ 14, Januar 2013

Tabelle 5-6: Produkteigenschaften konventionelles und umweltverträgliches Kopierpapier

Wirtschaftliche und ökologische Produkteigenschaften	Einheit	Kopierpapier konventionell (Frischfaserpapier)	Kopierpapier umweltverträglich (Recyclingpapier "Blauer Engel")
Einmalzahlungen zur Beschaffung des Produkts			
Einkaufspreis 100.000 Blatt	€	1.092	950
Umwelteigenschaften des Produkts			
Emissionsfaktor Papier (CO_2-Äquivalente)	kg/500 Blatt	2,60	2,20
Wasserverbrauch	l/500 Blatt	130,20	51,10
Holzverbrauch	kg/500 Blatt	7,50	0,00

Quelle: Printus.de, Memo.de, ifeu 2006

Auf Grund der sehr differenzierten Preisgestaltung von Kopierpapieren auf der Internet-Plattform idealo.de wurde an dieser Stelle von der in Kapitel 4 geschilderten Methode abgewichen. Es wurden die Medianpreise unterschiedlicher Anbieter ermittelt. Für konventionelles Papier wurde ein konventioneller Bürobedarfs-Versandhandel ausgewählt und für das umweltverträgliche Papier ein Versandhandel, der auf nachhaltige Produkte spezialisiert ist. Die in Tabelle 5-6 dargestellten Einkaufspreise setzen sich demnach aus folgenden Hochrechnungen zusammen:

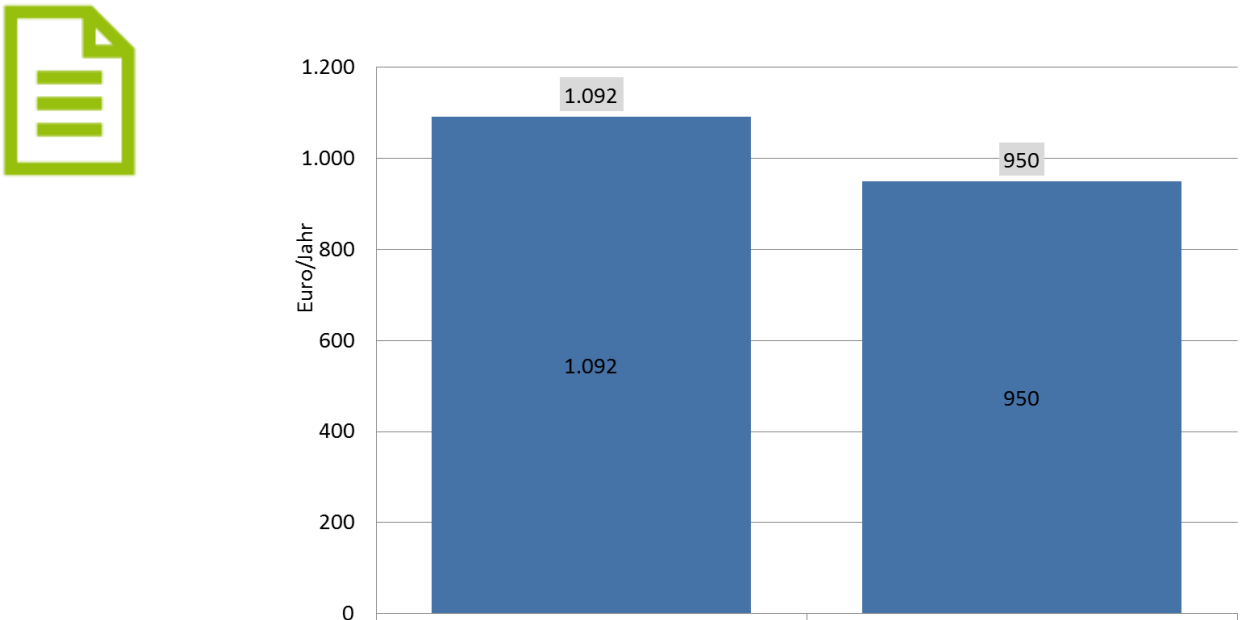
- Kopierpapier konventionell: Median-Preise des Versandhandel für Bürobedarf Printus.de für eine Packung Kopierpapier à 500 Blatt, ab einer Bestellmenge von 50 Packungen, zzgl. MwSt.
- Kopierpapier umweltverträglich: Median-Preise des Versandhandel für Bürobedarf Memo.de für eine Packung Kopierpapier à 500 Blatt, ab einer Bestellmenge von 50 Packungen, zzgl. MwSt.

5.3.3. Lebenszykluskosten

Die Berechnung der jährlichen Lebenszykluskosten erfolgt für die Bereitstellung von 100.000 Blatt Kopierpapier. Dies entspricht nach Schätzungen des Öko-Instituts dem Jahrespapierverbrauch eines Büros bzw. einer Abteilung von etwa 50 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern[18]. Als Kostenpositionen treten hierbei nur die Beschaffungskosten auf. Diese sind in Abbildung 5-5 dargestellt.

[18] Die Schätzung (2.000 Blatt pro Mitarbeiter und Jahr) beruht auf dem Papierverbrauch des Landes Berlin im Jahr 2014 und der Anzahl der Mitarbeiter im Landesdienst sowie aus Öko-Instituts internen Erhebungen. Der Recyclingpapier-Report 2015 (http://papiernetz.de/wp-content/uploads/IPR-Report2014_A4_PRINT.pdf) zitiert eine niederländische Studie nach der pro deutschen Arbeitnehmer jährlich 5.700 Blatt Papier verbraucht werden, also knapp dreimal so viel. Um bessere Potenzialabschätzungen zu bekommen, sollten die Ergebnisse für 100.000 Blatt Papier daher anhand der tatsächlichen Papiermenge hochgerechnet werden und nicht anhand der Mitarbeiterzahl.

Abbildung 5-5: Beschaffungskosten für 100.000 Blatt konventionelles und umweltverträgliches Kopierpapier (Betrachtungszeitraum 1 Jahr)



	Kopierpapier konventionell (Frischfaserpapier)	Kopierpapier umweltfreundlich (Recyclingpapier "Blauer Engel")
Summe Lebenszykluskosten	1.092	950
Anteilige Kosten Beschaffung pro Jahr	1.092	950

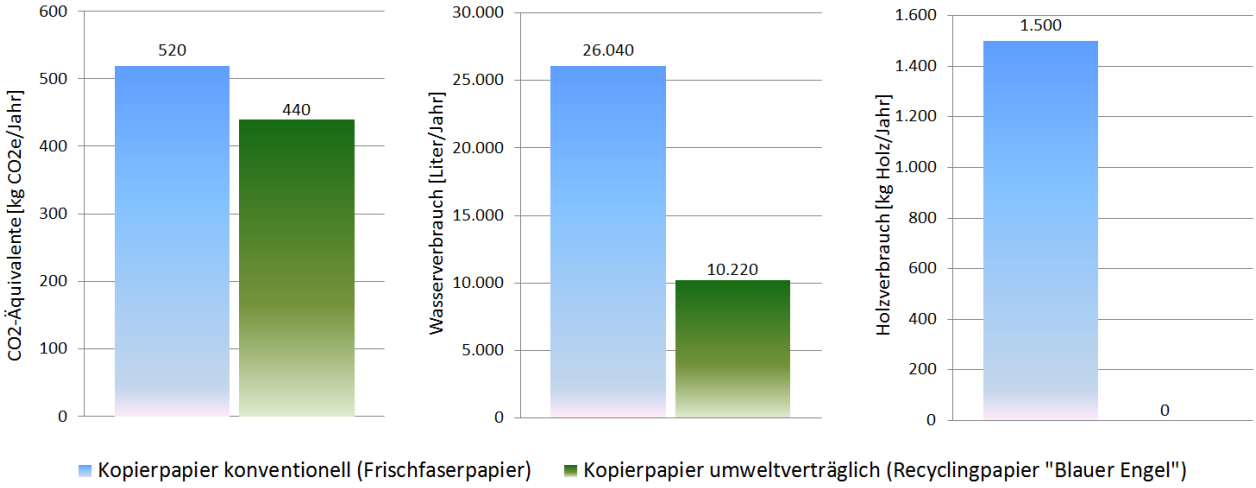
Quelle: Öko-Institut

Die Beschaffungskosten, die in diesem Fall identisch mit den Lebenszykluskosten sind, liegen beim konventionellen Kopierpapier mit 1.092 Euro pro Jahr über den Beschaffungskosten des umweltverträglichen Kopierpapiers mit 950 Euro pro Jahr. Die Kosten für das konventionelle Kopierpapier liegen damit 13 Prozent über den Kosten für das umweltverträgliche Kopierpapier.

5.3.4. Umweltwirkungen

Als Indikator für die Umweltwirkungen von Kopierpapier wird in dieser Untersuchung sowohl das Treibhausgaspotenzial in CO_2-Äquivalenten, als auch der Wasser- und Holzverbrauch betrachtet (vgl. Kapitel 3.2).

Abbildung 5-6: Jährliche Umweltwirkungen von 100.000 Blatt konventionellem und umweltverträglichem Kopierpapier



Quelle: Öko-Institut

Abbildung 5-6 stellt sowohl das jährliche Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente), als auch den Wasser- und Holzverbrauch für konventionelles und umweltverträgliches Kopierpapier dar. Die Nutzung von 100.000 Blatt konventionellem Kopierpapier führt zu einem jährlichen Treibhausgaspotenzial in Höhe von 520 Kilogramm CO_2-Äquivalenten. Wird dagegen umweltverträgliches Kopierpapier genutzt, so liegt das jährliche Treibhausgaspotenzial bei 440 Kilogramm CO_2-Äquivalenten und spart damit gegenüber der konventionellen Variante 80 Kilogramm CO_2-Äquivalente pro Jahr (15 Prozent) ein. Darüber hinaus führt die Nutzung des konventionellen Kopierpapiers zu einem jährlichen Wasserverbrauch in Höhe von 26.040 Litern. Wird dagegen umweltverträgliches Kopierpapier genutzt, so liegt der Wasserverbrauch bei 10.220 Litern und spart damit gegenüber der konventionellen Variante 15.820 Liter Wasser pro Jahr (61 Prozent) ein. Der Holzverbrauch liegt bei der Nutzung von konventionellem Kopierpapier bei 1.500 kg pro Jahr. Umweltverträglichem Kopierpapier wird kein Holzverbrauch zugeordnet, da es zu 100 Prozent aus Altpapier besteht.

5.3.5. Fazit

Die Beschaffung umweltverträglichen Kopierpapiers ist um 13 Prozent kostengünstiger als die von konventionellem Kopierpapier. Bei einem angenommenen jährlichen Bedarf von 100.000 Blatt entspricht dies einer Kostenminderung von 142 Euro. Hinzu kommt die jährliche Einsparung von 80 Kilogramm CO_2-Äquivalenten (15 Prozent) und 15.820 Litern Wasser (61 Prozent). Darüber hinaus müssen für umweltverträgliches Kopierpapier keine Bäume gefällt werden, da es ausschließlich aus Altpapier hergestellt wird.

5.4. Kühl- und Gefriergeräte

5.4.1. Anforderungen

Kühl- und Gefriergeräte werden in öffentlichen Verwaltungen insbesondere für die Ausstattung von Büroküchen (Teeküchen) beschafft. Ausgewählt wurde daher ein einfaches Kühlgerät ohne

Gefrierfach. Es soll innerhalb der bestehenden Einbauküche verbaut werden und ist deshalb unterbaufähig.

In Tabelle 5-7 werden die erforderlichen Leistungsmerkmale dokumentiert.

Tabelle 5-7: Leistungsmerkmale eines Kühlgerätes für den Einsatz in Büroküchen

Anforderungen	Eigenschaften
Gefrierfach	nein
Ein- oder unterbaufähig	ja
Höhe (cm)	87- 88 cm
Breite (cm)	54 – 56 cm
Tiefe (cm)	54 – 55 cm
Nutzinhalt (Liter)	141 – 154

Quelle: Öko-Institut

5.4.2. Produkteigenschaften

Für Kühlgeräte gilt die Ökodesign-Verordnung für Haushaltskühlgeräte[19], die festlegt, dass seit Juli 2012 in Europa nur noch Kühlgeräte verkauft werden dürfen, deren Energieeffizienzklasse A+ oder effizienter ist.

Als konventionelles Gerät wurde daher ein Kühlgerät mit der Energieeffizienzklasse A+ gewählt, was derzeit auch die häufigsten am Markt angebotenen Geräte repräsentiert.

Als umweltverträgliches Gerät wurde ein Kühlgerät mit der Energieeffizienzklasse A+++ gewählt, was derzeit der höchsten verfügbaren Energieeffizienzklasse entspricht. Dies entspricht den energiebezogenen Anforderungen der VwVBU und ist Mindestkriterium für die Vergabe des Umweltzeichens Blauer Engel für Kühl- und Gefriergeräte, RAL UZ 138 von Juli 2009[20].

In Tabelle 5-8 sind die wirtschaftlichen und technischen Produkteigenschaften des konventionellen und des energieeffizienten Kühlgerätes dokumentiert.

[19] Delegierte Verordnung (EU) Nr. 1060/2010 der Kommission vom 28. September 2010 zur Ergänzung der Richtlinie 2010/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Kennzeichnung von Haushaltskühlgeräten in Bezug auf den Energieverbrauch.

[20] Aktuell liegt keine gültige Fassung der RAL UZ 138 für Kühl- und Gefriergeräte vor.

Tabelle 5-8: Produkteigenschaften konventionelles und energieeffizientes Kühlgerät

Wirtschaftliche und technische Produkteigenschaften	Einheit	Kühlschrank konventionell (A+)	Kühlschrank energieeffizient (A+++)
Einmalzahlungen zur Beschaffung des Produkts			
Einkaufspreis	€	447	581
Angaben zur Berechnung von verbrauchsbedingten Kosten			
Stromverbrauch	kWh/a	126	65
Nutzungsdauer	a	10	10

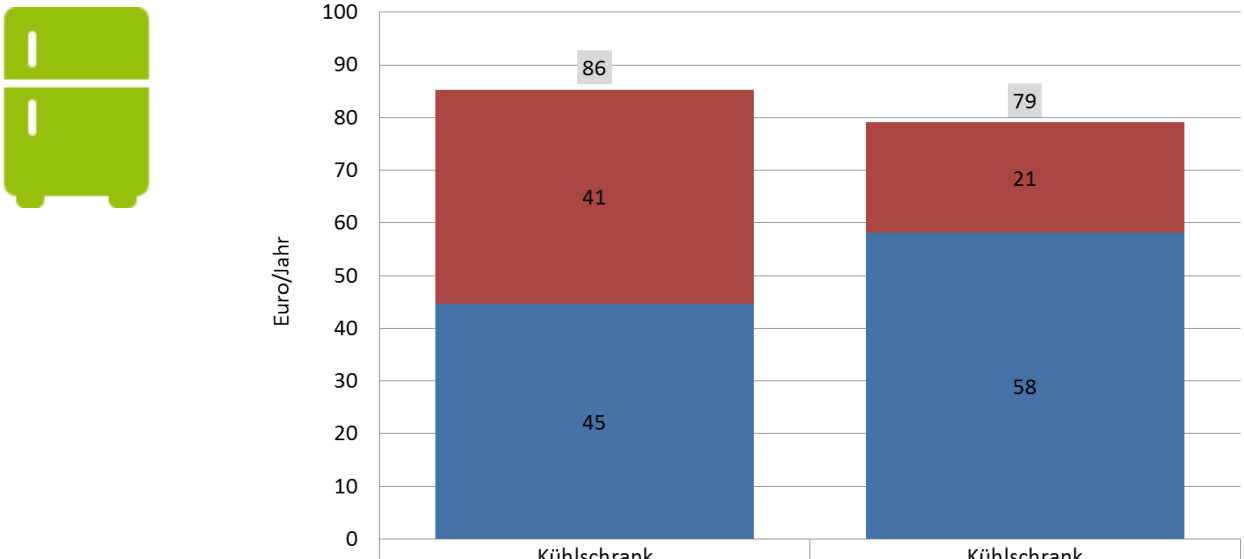
Quelle: idealo.de, NEI 2014, AfA-Tabelle

5.4.3. Lebenszykluskosten

Kühlschränke haben eine Nutzungsdauer von 10 Jahren. Die Berechnung der jährlichen Lebenszykluskosten erfolgt daher über diesen Zeitraum. Als Kostenpositionen treten jährliche Energiekosten und jährliche anteilige Beschaffungskosten auf. Es wird nicht davon ausgegangen, dass die Kühlschränke Installations- oder Reparaturkosten verursachen.

In Abbildung 5-7 werden die Barwerte der jährlichen Kostenpositionen dargestellt.

Abbildung 5-7: Jährliche Lebenszykluskosten für konventionelle und energieeffiziente Kühlgeräte über einen Betrachtungszeitraum von 10 Jahren



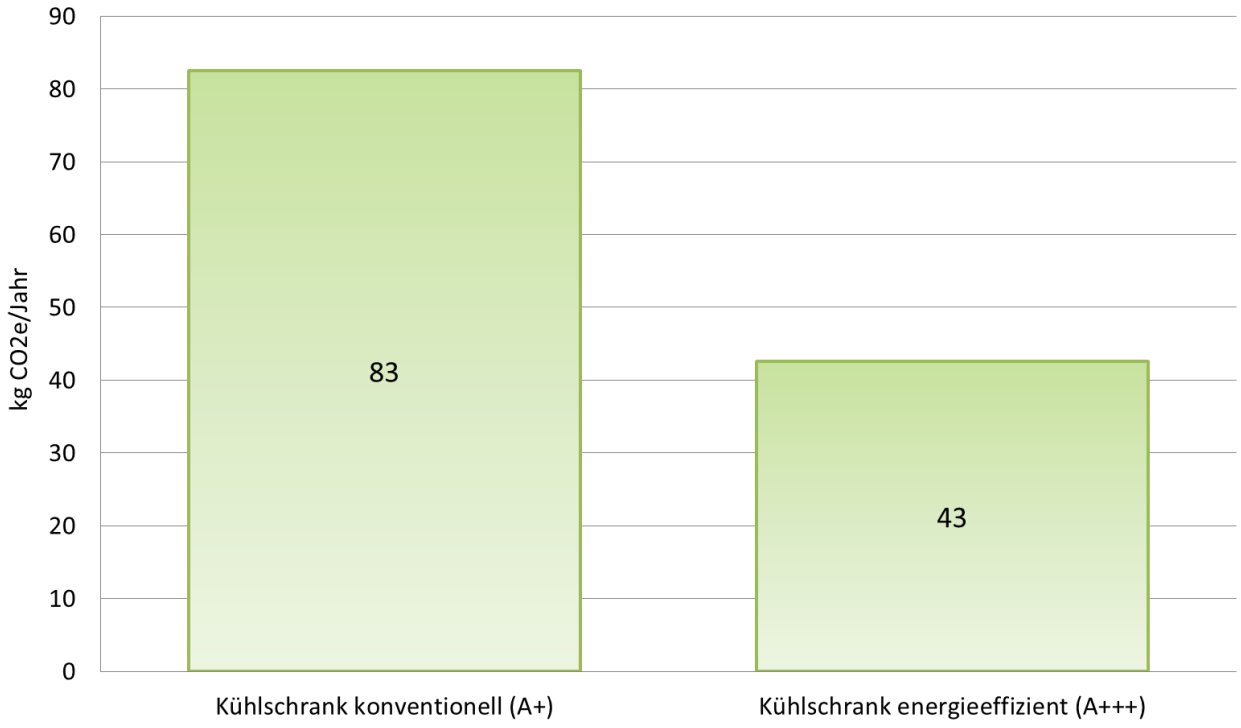
Quelle: Öko-Institut

Die Beschaffungskosten des konventionellen Kühlschranks liegen mit 45 Euro pro Jahr unter den Beschaffungskosten des energieeffizienten Geräts mit 58 Euro pro Jahr. Demgegenüber sind die Energiekosten beim konventionellen Gerät mit 41 Euro doppelt so hoch als die der umweltverträglichen Alternative mit 21 Euro pro Jahr. Die Summe der jährlichen Lebenszykluskosten beträgt beim konventionellen Kühlschrank 86 Euro pro Jahr. Beim energieeffizienten Kühlschrank betragen die Lebenszykluskosten 79 Euro pro Jahr und liegen damit 8 Prozent unterhalb des konventionellen Geräts.

5.4.4. Umweltwirkungen

Als Indikator für die Umweltwirkungen von Kühlschränken wird in dieser Untersuchung das Treibhausgaspotenzial für die Nutzung der Geräte während eines Jahres angesetzt. Das jährliche Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) berechnet sich dabei aus dem jährlichen Stromverbrauch der Geräte. Herstellung, Transport und Entsorgung der Kühlschränke wurde auch hier nicht berücksichtigt, da für den Vergleich beider Beschaffungsvarianten davon ausgegangen werden kann, dass die Umweltbelastungen für beide Kühlschränke identisch sind.

Abbildung 5-8: Jährliches Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) durch Energieverbrauch für konventionelle und energieeffiziente Kühlgeräte



Quelle: Öko-Institut

Abbildung 5-8 stellt das jährliche Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) durch den Energieverbrauch für konventionelle und energieeffiziente Kühlgeräte dar. Die Nutzung des konventionellen Kühlschranks führt zu einem jährlichen Treibhausgaspotenzial in Höhe von 83 Kilogramm CO_2-Äquivalenten. Wird dagegen ein energieeffizientes Gerät genutzt, so liegt das jährliche Treibhausgaspotenzial bei 43 Kilogramm CO_2-Äquivalente und spart damit gegenüber der konventionellen Variante 40 Kilogramm CO_2-Äquivalente pro Jahr (48 Prozent) ein.

5.4.5. Fazit

Die Lebenszykluskosten von energieeffizienten Kühlgeräten sind um rund 8 Prozent geringer als die von konventionellen Kühlgeräten. Die höheren Anschaffungskosten werden über die eingesparten Energiekosten innerhalb einer Nutzungsdauer von sieben Jahren kompensiert. Die Nutzung des energieeffizienten Kühlgeräts ist mit 48 Prozent weniger Treibhausgasemissionen verbunden und spart damit 40 Kilogramm CO_2-Äquivalente pro Jahr ein.

5.5. Geschirrspülmaschinen

5.5.1. Anforderungen

Bei der Produktgruppe Geschirrspülmaschinen wird davon ausgegangen, dass von den öffentlichen Verwaltungen vorwiegend Geräte für Büroküchen (Teeküchen) beschafft werden. Zu ihrem vorwiegenden Einsatzzweck dort zählt das Reinigen des im Büroalltag anfallenden Geschirrs (Tee- und Kaffeetassen, Teller, etc.). Zum Einbau in vorhandene Einbauküchen sollten Geschirrspüler für Büroküchen idealerweise ein- bzw. unterbaufähig sein.

Das bedeutet, die Geräte müssen eine Höhe von ≤ 88 cm aufweisen. Um genügend Platz für das tägliche anfallende Geschirr in den Büroküchen bieten zu können, sollte das Gerät ein Fassungsvermögen von 12 bis 15 Maßgedecken aufweisen. Geschirrspüler dieser Größenordnung sind 60 cm breit.

In Tabelle 5-9 werden die erforderlichen Leistungsmerkmale dokumentiert.

Tabelle 5-9: Leistungsmerkmale einer Geschirrspülmaschine für den Einsatz in Büroküchen

Anforderungen	Eigenschaften
Ein- oder unterbaufähig	ja
Fassungsvermögen	12 – 15 Maßgedecke
Breite	60 cm
Höhe	≤ 88 cm

Quelle: Öko-Institut

5.5.2. Produkteigenschaften

Geschirrspülmaschinen werden gemäß der Verordnung der EU-Kommission zur Energieverbrauchskennzeichnung von Geschirrspülern[21] mit Energieeffizienzklassen gekennzeichnet.

Ein konventionelles Gerät weist die Energieeffizienzklasse A+ auf. Sein jährlicher Stromverbrauch sowie sein Wasserverbrauch berechnen sich aus den Anforderungen der EU-Verordnung.

Ein umweltverträgliches Geschirrspülgerät weist die Energieeffizienzklasse A+++ auf und erfüllt so die Anforderungen der VwVBU (höchste verfügbare Energieeffizienzklasse) und die

[21] Delegierte Verordnung (EU) Nr. 1059/2010 der Kommission vom 28. September 2010; http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:314:0001:0016:DE:PDF, aufgerufen am 29.10.2014.

Mindestkriterien des Umweltzeichens Blauer Engel für Geschirrspülmaschinen für den Hausgebrauch, RAL UZ 152 von Februar 2013[22]. Der Wasserverbrauch im Standardreinigungszyklus des umweltverträglichen Geräts beträgt maximal 2.800 Liter pro Jahr. Dies entspricht den bei der Berechnung zugrunde gelegten 280 Standard-Zyklen mit 10 Liter pro Spülgang.

In Tabelle 5-10 sind die wirtschaftlichen und technischen Produkteigenschaften der konventionellen und der energieeffizienten Geschirrspülmaschine dokumentiert.

Tabelle 5-10: Produkteigenschaften konventionelle und energieeffiziente Geschirrspülmaschinen

Wirtschaftliche und technische Produkteigenschaften	Einheit	**Geschirrspülmaschine konventionell (A+)**	**Geschirrspülmaschine energieeffizient (A+++)**
Einmalzahlungen zur Beschaffung des Produkts			
Einkaufspreis	€	398	649
Angaben zur Berechnung von verbrauchsbedingten Kosten			
Stromverbrauch	kWh/a	299	237
Wasserverbrauch	l/a	3.517	2.800
Nutzungsdauer	a	7	7

Quelle: idealo.de, EcoTopTen 2014, AfA-Tabelle

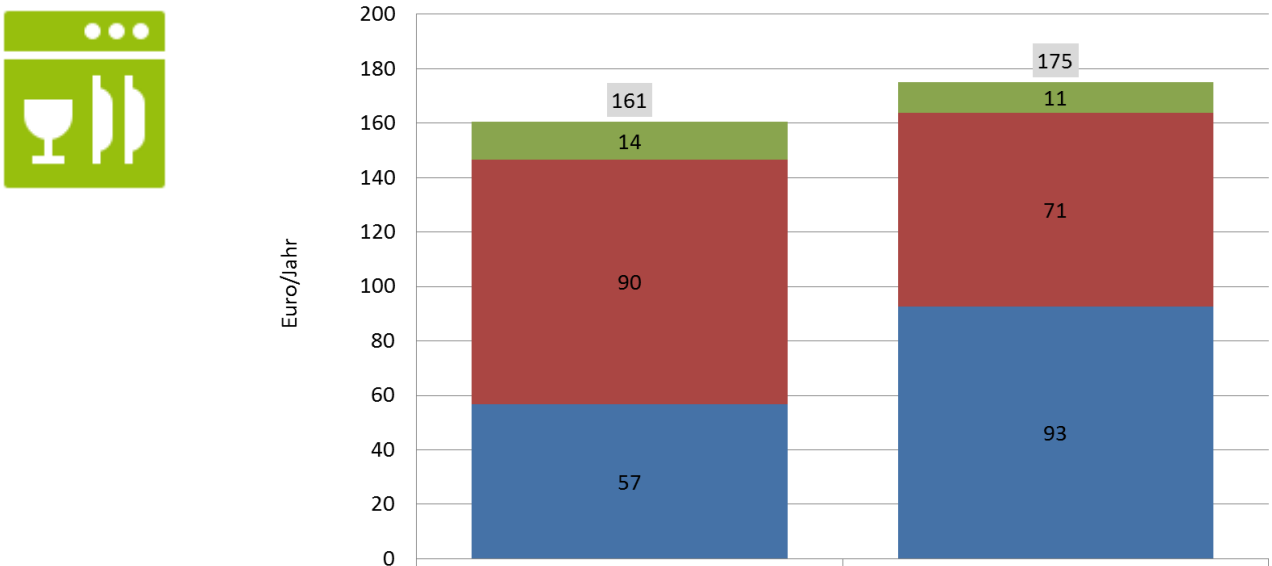
5.5.3. Lebenszykluskosten

Die Berliner Verwaltungsvorschrift Beschaffung und Umwelt (VwVBU) weist die Nutzungsdauer von Geschirrspülmaschinen in Anlehnung an die AfA-Tabelle des Bundesfinanzministeriums mit 7 Jahren aus. Die Berechnung der jährlichen Lebenszykluskosten erfolgt daher über diesen Zeitraum. Als Kostenpositionen treten jährliche Energiekosten, jährliche Wasserkosten und jährliche anteilige Beschaffungskosten auf. Weitere Kostenpositionen (z.B. Installations- oder Reparaturkosten) wurden nicht berücksichtigt, da sie bei beiden Produktvarianten identisch sind.

In Abbildung 5-9 werden die Barwerte der jährlichen Kostenpositionen dargestellt.

[22] http://www.blauer-engel.de/produktwelt/elektrogerate/geschirrsp-lmaschinen-f-r-den-hausgebrauch, aufgerufen am 29.10.2014.

Abbildung 5-9: Jährliche Lebenszykluskosten für konventionelle und energieeffiziente Geschirrspülmaschinen über einen Betrachtungszeitraum von 7 Jahren



	Geschirrspülmaschine konventionell (A+)	Geschirrspülmaschine energieeffizient (A+++)
Summe Lebenszykluskosten pro Jahr	161	175
Jährliche Wasserkosten Nutzungsphase	14	11
Jährliche Energiekosten Nutzungsphase	90	71
Anteilige Kosten Beschaffung	57	93

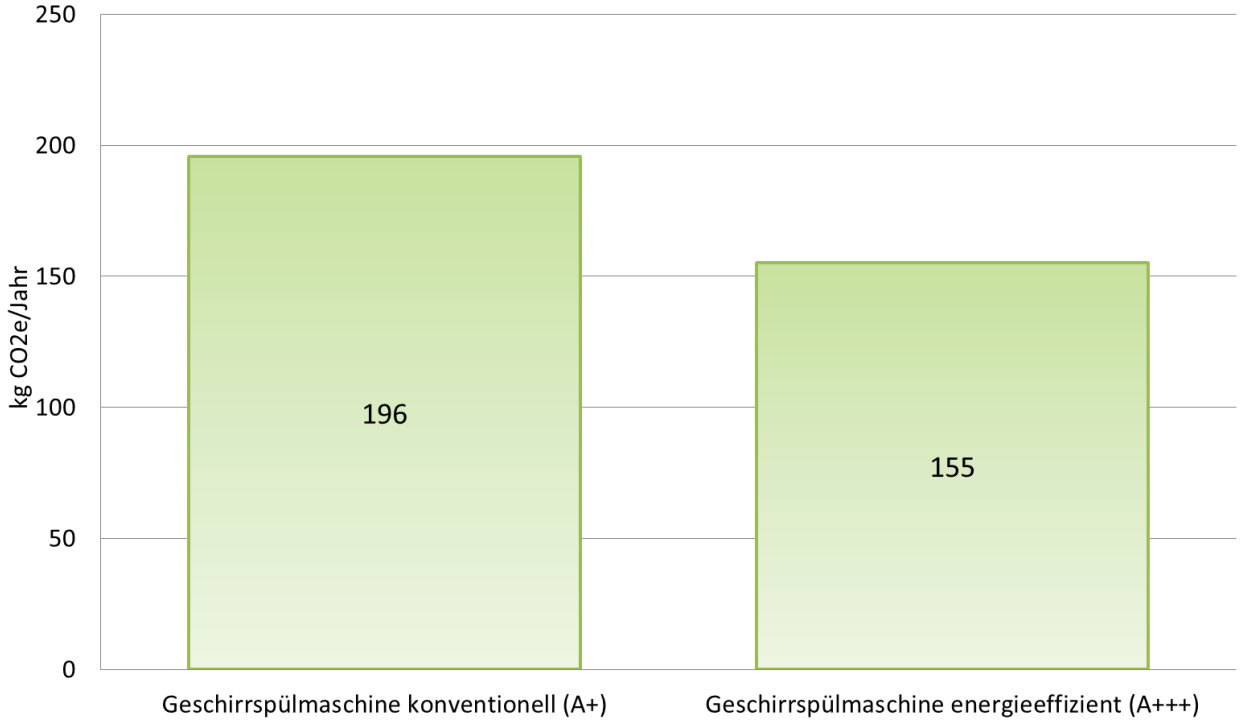
Quelle: Öko-Institut

Der Vergleich der Lebenszykluskosten von Geschirrspülmaschinen zeigt, dass die umweltverträgliche Variante in ihren Gesamtkosten mit 175 Euro pro Jahr um jährlich 14 Euro teurer ist, als die konventionelle Geschirrspülmaschine mit 161 Euro (plus 9 Prozent). Trotz geringerer Strom- und Wasserkosten überwiegt hier der Mehrpreis für die Anschaffung. Die konventionelle Maschine schlägt mit Beschaffungskosten von 57 Euro pro Jahr zu Buche, während die energieeffiziente Geschirrspülmaschine anteilige jährliche Beschaffungskosten in Höhe von 93 Euro aufweist.

5.5.4. Umweltwirkungen

Für die Umweltwirkungen wird auch bei den Geschirrspülgeräten das Treibhausgaspotenzial für die Nutzung der Geräte während eines Jahres angesetzt. Das jährliche Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) berechnet sich dabei aus dem jährlichen Stromverbrauch der Geräte. Die Herstellung, Transport und Entsorgung der Geräte wurde auch hier nicht berücksichtigt, da für den Vergleich beider Beschaffungsvarianten davon ausgegangen werden kann, dass die Umweltbelastungen für beide Geschirrspüler identisch sind. Als weitere Umweltwirkung wäre auch der Wasserverbrauch denkbar. Aus den Produkteigenschaften geht hervor, dass die energieeffiziente Maschine jährlich 717 Liter weniger Wasser verbraucht (minus 20 Prozent). Auch die Aufbereitung und Verteilung von Trinkwasser sowie die Entsorgung von Schmutzwasser ist mit Energie- und Ressourcenaufwendungen verbunden. Dennoch kann nicht uneingeschränkt empfohlen werden, Trinkwasser einzusparen, da die vorhandene Infrastruktur auf bestimmte Förder- und Abwassermengen ausgelegt ist (Umweltbundesamt 2014). Bei der Untersuchung von Geschirrspülmaschinen wird daher die Einsparung von Trinkwasser nicht als Umweltwirkung berücksichtigt.

Abbildung 5-10: Jährliches Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) durch Energieverbrauch für konventionelle und energieeffiziente Geschirrspülmaschinen



Quelle: Öko-Institut

Abbildung 5-10 stellt das jährliche Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) durch den Energieverbrauch für konventionelle und energieeffiziente Geschirrspülmaschinen dar. Die Nutzung eines konventionellen Geschirrspülers führt zu einem jährlichen Treibhausgaspotenzial in Höhe von 196 Kilogramm CO_2-Äquivalenten. Wird dagegen ein energieeffizientes Gerät genutzt, so liegt das jährliche Treibhausgaspotenzial bei 155 Kilogramm CO_2-Äquivalenten und spart damit gegenüber der konventionellen Variante 41 Kilogramm CO_2-Äquivalente pro Jahr ein (minus 21 Prozent). Setzt man diese Treibhausgaspotenzial-Einsparung mit den Mehrkosten für energieeffiziente Geschirrspülmaschinen ins Verhältnis, so erhält man CO_2e-Vermeidungskosten (vgl. Kapitel 3.3) in Höhe von rund 345 Euro pro Tonne eingesparten CO_2-Äquivalenten. Verglichen mit anderen Maßnahmen zur Treibhausgasminderung, ist der finanzielle Aufwand für energieeffiziente Geschirrspülmaschinen daher vergleichsweise hoch.

5.5.5. Fazit

Der Vergleich der Lebenszykluskosten von Geschirrspülmaschinen zeigt, dass die umweltverträgliche Variante um 9 Prozent teurer ist, als die konventionelle Geschirrspülmaschine. Trotz geringerer Strom- und Wasserkosten (minus 21 Euro jährlich) überwiegt hier der jährliche Mehrpreis für die Anschaffung mit plus 36 Euro (63 Prozent). Innerhalb der angenommenen Nutzungsdauer von sieben Jahren können die eingesparten Betriebskosten die höheren Anschaffungskosten nicht ausgleichen. Eine Amortisierung der höheren Anschaffungskosten durch die eingesparten Energie- und Wasserkosten könnte erst nach einer Nutzungsdauer von 12 Jahren erreicht werden. Zumindest in privaten Haushalten liegt die durchschnittliche (Erst-)

Nutzungsdauer von Geschirrspülmaschinen gemäß einer Umfrage der Gesellschaft für Konsumforschung (GfK) aus dem Jahr 2013 bei rund 12,5 Jahren (Prakash et al. 2015). Nach Möglichkeit sollten energieeffiziente Geschirrspülmaschinen in öffentlichen Einrichtungen daher ebenfalls mindestens 12 Jahre genutzt werden, um die Mehrkosten gegenüber konventionellen Maschinen auszugleichen.

Bezogen auf die Umweltentlastungseffekte ist die Nutzung der energieeffizienten Geschirrspülmaschine mit 21 Prozent weniger Treibhausgasemissionen verbunden und spart damit 41 Kilogramm CO_2-Äquivalente pro Jahr ein. Daraus ergeben sich bei einer Nutzungsdauer von 7 Jahren CO_2e-Vermeidungskosten in Höhe von rund 345 Euro pro Tonne eingesparten CO_2-Äquivalenten. Bei einer Nutzungsdauer von 12 Jahren sinken die CO_2e-Vermeidungskosten auf null.

5.6. Büroleuchten

5.6.1. Anforderungen

Für die Beleuchtung von Büroarbeitsplätzen, Gemeinschaftsräumen, Klassen- und Seminarräumen werden in Gebäuden der öffentlichen Hand in der Regel Deckeneinbau- oder Deckenanbauleuchten verwendet. Die klassische Ausführung solcher Leuchten sind Deckenleuchten mit ein oder zwei Leuchtstoffröhren und Blendschutzgitter.

Für diese Untersuchung wird davon ausgegangen, dass Deckenleuchten mit einem Lichtstrom von 3.600 Lumen beschafft werden sollen, die eine Ausleuchtung einer Arbeitsfläche von 7,2 m² mit einer Beleuchtungsstärke von 500 Lux gewährleisten. Vereinfachend wird davon ausgegangen, dass *eine* solche Leuchte pro Büroarbeitsplatz (Bildschirmarbeit, Lesen, Schreiben) erforderlich ist.

In Tabelle 5-11 werden die erforderlichen Leistungsmerkmale dokumentiert.

Tabelle 5-11: Leistungsmerkmale einer Büroleuchte für die Beleuchtung von Arbeitsstätten

Anforderungen	Eigenschaften
Lichtstrom	3.600 Lumen
Leuchtentyp	Deckeneinbauleuchte
Nutzungsdauer pro Tag	10 h/d
Nutzungstage pro Jahr	260 d/a

Quelle: Öko-Institut

5.6.2. Produkteigenschaften

Die klassische Ausführung einer Büroleuchte wird als Rasterleuchte mit Blendschutz realisiert, die mit linearen Leuchtstofflampen ausgestattet ist. Die zwischenzeitlich weit verbreiteten linearen Leuchtstofflampen sind sogenannte T5-Lampen mit einem Durchmesser von 16 mm. Diese Leuchtstoffröhren sind, verglichen mit früheren Beleuchtungstechnologien, bereits sehr energieeffizient. Für die Leuchtenlichtausbeute wurde ein Wert von 67 lm/W angesetzt, der als Durchschnittswert der Leuchtstofflampen-Rasterleuchten mit dem Energieeffizienzlabel Minergie (www.toplicht.ch) bestimmt wurde. Zur Erfüllung der Anforderungen an die Beleuchtungsstärke wird mit einer Rasterleuchte mit drei Leuchtstofflampen à 18 Watt Nennleistung gerechnet.

Als energieeffiziente Beleuchtung wurde eine Rasterleuchte mit Blendschutz gewählt, die mit LED-Leuchtmitteln ausgestattet ist. Die Leuchtenlichtausbeute von LED-Leuchten wurde analog als Durchschnitt der LED-Rasterleuchten mit dem Minergie-Label bestimmt und beträgt 86 lm/W. Da die technische Entwicklung im Bereich LED-Leuchtmittel sehr schnell fortschreitet, sind zukünftig noch deutlich effizientere Werte von bis zu 120 lm/W zu erwarten. Auch die Preise von LED-Leuchten unterliegen einer dynamischen Entwicklung und sinken zukünftig immer weiter in Richtung des Preisniveaus von Leuchtstofflampen-Leuchten. Auf Grundlage von Preisrecherchen bei Leuchten-Herstellern wurde für die Berechnung davon ausgegangen, dass LED-Leuchten derzeit um 50% teurer sind, als konventionelle Leuchtstofflampen-Leuchten.

In Tabelle 5-12 sind die wirtschaftlichen und technischen Produkteigenschaften der konventionellen und energieeffizienten Büroleuchte dokumentiert.

Tabelle 5-12: Produkteigenschaften konventionelle und energieeffiziente Büroleuchte

Wirtschaftliche und technische Produkteigenschaften	Einheit	Büroleuchte mit linearen Leuchtstofflampen	Büroleuchte mit LED-Leuchtmittel
Einmalzahlungen zur Beschaffung des Produkts			
Einkaufspreis	€	264	396
Angaben zur Berechnung von verbrauchsbedingten Kosten			
Leuchtenlichtausbeute	lm/W	67	86
Leistungsaufnahme	W	54	42
Nutzlebensdauer der Leuchtmittel	h	18.000	40.000
Anzahl der austauschbaren Leuchtmittel	Stück	3	nicht entnehmbar
Wartungskosten pro Leuchtmittel	€	50	Leuchtmittel nicht entnehmbar
Nutzungsdauer der Leuchte	a	15	15

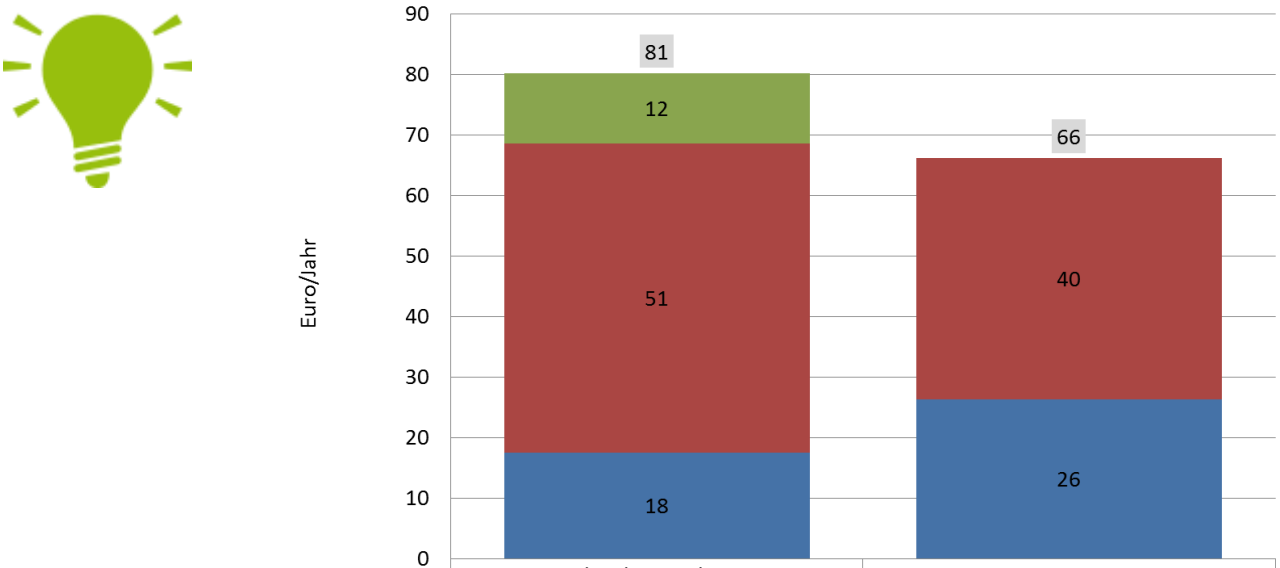
Quelle: Schleicher et al., PROSA Leuchten für die Anwendung in Büros und verwandten Einsatzbereichen, Öko-Institut, Freiburg 2013; sowie eigene Annahmen zu Preisen und Leuchtenlichtausbeute auf Grundlage von Marktrecherchen

5.6.3. Lebenszykluskosten

Für Büroleuchten wird angenommen, dass sie eine Nutzungsdauer von 15 Jahren aufweisen. Die Berechnung der Lebenszykluskosten der Leuchte erfolgt über eine tägliche Nutzung von 10 Stunden und 260 Tagen pro Jahr, d. h. über insgesamt 39.000 Betriebsstunden. Als Kostenpositionen treten jährliche Energie- und Wartungskosten und jährliche anteilige Beschaffungskosten auf. Die Wartungskosten umfassen das Auswechseln der Leuchtmittel beim Erreichen des Endes der Nutzlebensdauer der Leuchtmittel. Dies betritt nur die Büroleuchten mit linearen Leuchtstofflampen, bei der die drei enthaltenen Leuchtstofflampen alle 7 Jahre wegen Defekts ausgetauscht werden müssen. Bei der LED-Leuchte überdauert die Lebensdauer des LED-Leuchtmittels die Nutzungszeit der Leuchte. Es treten bei der LED-Leuchte daher keine Wartungskosten auf. Die erstmaligen Installationskosten von Büroleuchten wurden nicht berücksichtigt, da diese für alle Leuchten gleich hoch sind.

In Abbildung 5-11 werden die Barwerte der jährlichen Kostenpositionen dargestellt.

Abbildung 5-11: Jährliche Lebenszykluskosten für konventionelle und energieeffiziente Büroleuchten über einen Betrachtungszeitraum von 15 Jahren



	Büroleuchte mit linearen Leuchtstofflampen	Büroleuchte mit LED-Leuchtmittel
Summe Lebenszykluskosten pro Jahr	81	66
Jährliche Wartungskosten Nutzungsphase	12	0
Jährliche Energiekosten Nutzungsphase	51	40
Anteilige Kosten Beschaffung pro Jahr	18	26

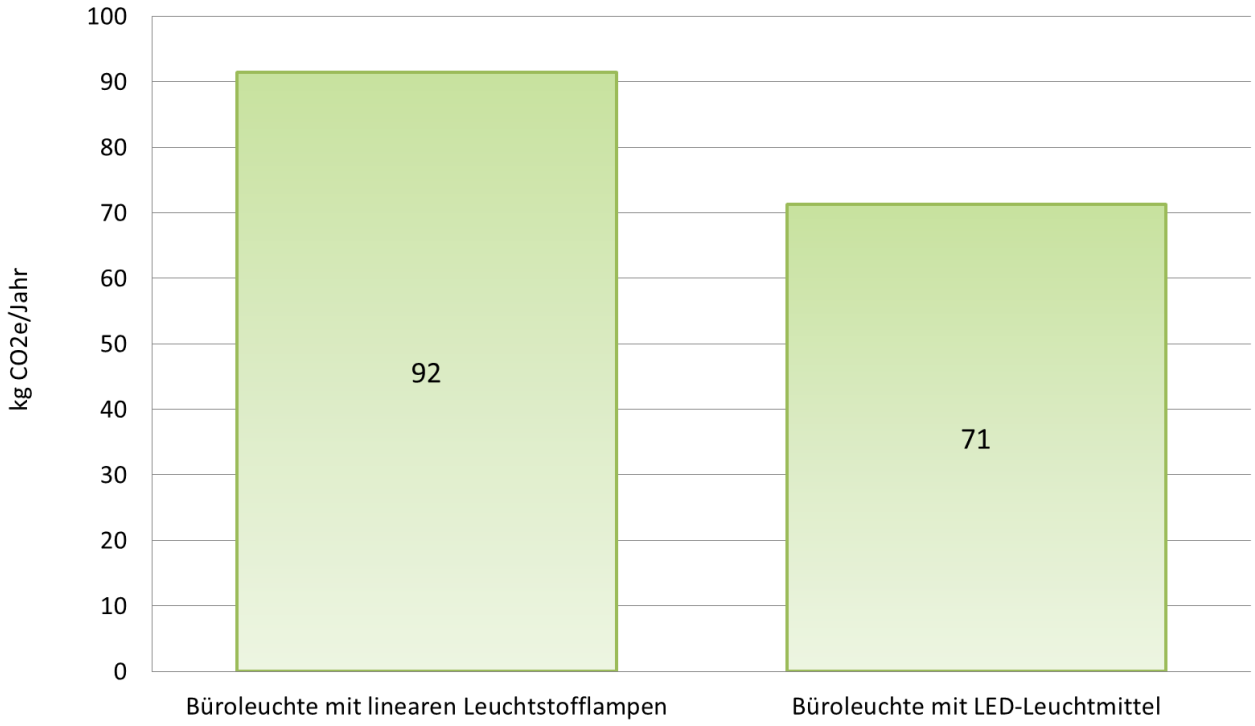
Quelle: Öko-Institut

Die Beschaffungskosten einer konventionellen Büroleuchte liegen mit 18 Euro pro Jahr unter den Beschaffungskosten der energieeffizienten Alternative mit 26 Euro pro Jahr. Die jährlichen Kosten, die mit der Nutzung der Büroleuchte entstehen (Energiekosten und Wartungskosten) liegen aber bei der konventionellen Büroleuchte mit 63 Euro (51 Euro + 12 Euro) deutlich über den Kosten der energieeffizienten Büroleuchte mit 40 Euro Energiekosten. Die jährlichen Gesamtkosten für eine energieeffiziente Büroleuchte sind somit um 15 Euro geringer (minus 19 Prozent).

5.6.4. Umweltwirkungen

Als Indikator für die Umweltwirkungen von Büroleuchten wird in dieser Untersuchung das Treibhausgaspotenzial für die Nutzung der Leuchten während eines Jahres angesetzt. Das jährliche Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) berechnet sich dabei aus dem jährlichen Stromverbrauch der Büroleuchte. Die Herstellung, Transport und Entsorgung von Büroleuchten wurde hier nicht berücksichtigt, da für den Vergleich beider Beschaffungsvarianten davon ausgegangen werden kann, dass die Umweltbelastungen für beide Varianten in ähnlicher Größenordnung liegen. Orientierende Ökobilanzen haben darüber hinaus gezeigt, dass die Umweltwirkungen von Büroleuchten während der Nutzungsphase die Umweltwirkungen der anderen Lebenszyklusphasen deutlich überwiegen (Schleicher et al. 2013).

Abbildung 5-12: Jährliches Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) durch Energieverbrauch für konventionelle und energieeffiziente Büroleuchten



Quelle: Öko-Institut

Abbildung 5-12 stellt das jährliche Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) durch den Energieverbrauch für konventionelle und energieeffiziente Büroleuchten dar. Die Nutzung der konventionellen Büroleuchte mit modernen Leuchtstofflampen führt zu einem jährlichen Treibhausgaspotenzial in Höhe von 92 Kilogramm CO_2-Äquivalenten. Wird dagegen eine Büroleuchte mit LED-Leuchtmittel genutzt, so liegt das jährliche Treibhausgaspotenzial bei nur 71 Kilogramm CO_2-Äquivalente und spart damit gegenüber der konventionellen Variante 21 Kilogramm CO_2-Äquivalente pro Jahr ein (minus 22 Prozent).

5.6.5. Fazit

Die Beschaffung von energieeffizienten Büroleuchten ist um 22 Prozent kostengünstiger als die von konventionellen Büroleuchten. Die höheren Einkaufskosten von 44 Prozent werden über eingesparte Energiekosten und entfallende Wartungskosten bereits innerhalb von sechs Jahren amortisiert. Die Nutzung energieeffizienter Büroleuchten ist mit 22 Prozent weniger Treibhausgasemissionen verbunden und spart damit 20 Kilogramm CO_2-Äquivalente pro Büroarbeitsplatz und Jahr ein.

5.7. Textilien

5.7.1. Anforderungen

Exemplarisch für die Beschaffung von Textilien wurde in dieser Untersuchung ein Bettwäsche-Set aus Baumwollfasern bestehend aus einem Bett- und Kissenbezug und einem Spannbettlaken für

den Einsatz in Krankenhäusern ausgewählt. Die Ergebnisse lassen sich prinzipiell auch auf andere Textilien aus Baumwolle übertragen, wie Oberhemden, Laborbekleidung, Krankenhausbekleidung, Handtücher usw.

In Tabelle 5-13 werden die erforderlichen Leistungsmerkmale dokumentiert.

Tabelle 5-13: Leistungsmerkmale eines Bettwäsche-Sets aus Baumwollfasern

Anforderungen	Eigenschaften
Kissenbezug	80 cm x 80 cm + 20 cm Hotelverschluss (entsprechend DIN G11/TB 26)
Bettbezug	140 cm x 210 cm + 30 cm Hotelverschluss (entsprechend DIN G11/TB 26)
Spannbettlaken	90 cm x 190-200 cm mit Gummizug unten und oben (entsprechend einer Standardware für den Objektbereich)
Gewicht des Bettwäsche-Sets	1,48 kg

Quelle: RB-Gross, Cotton Incorporated 2012

5.7.2. Produkteigenschaften

Als konventionelles Produkt wurde ein Bettwäsche-Set aus Baumwollfasern aus konventionellem Anbau gewählt. Als umweltverträgliche Alternative wurde ein Bettwäsche-Set aus Baumwollfasern ausgewählt, die aus kontrolliert biologischem Anbau (kbA) stammen[23].

Für den konventionellen Baumwollanbau werden nach Recherchen des Pestizids-Aktions-Netzwerkes e.V. PAN etwa 25 Prozent aller weltweit verwendeten Insektizide und elf Prozent aller Pestizide eingesetzt, obwohl der Anteil von Baumwolle nur 2,4 Prozent an der gesamten globalen Agrarnutzfläche ausmacht. Bio-Baumwolle hingegen wird nach strengen ökologischen Richtlinien angebaut. Auf Pestizide und chemische Düngemittel wird verzichtet. Beim Anbau von Bio-Baumwolle ist zudem auch der Wasserverbrauch im Vergleich zum herkömmlichen Baumwoll-Anbau erheblich geringer, da unter Berücksichtigung der klimatischen Gegebenheiten gepflanzt wird.

In Tabelle 5-14 sind die wirtschaftlichen und ökologischen Produkteigenschaften des konventionellen und des umweltverträglichen Bettwäsche-Sets dokumentiert.

[23] Anders als bei Biolebensmitteln, sind bei Textilien Aussagen wie „bio“, „öko“ oder „organic“ nicht geschützt. Gesetzlich geschützt und kontrolliert ist nur der Begriff „kbA“ für den „kontrolliert biologischen Anbau“ der Rohstoffe, wie z.B. Baumwolle, und Leinen oder „kbT“ für die „kontrolliert biologische Tierhaltung“ bei Schaf- bzw. Schurwolle.

Tabelle 5-14: Produkteigenschaften konventionelles und umweltverträgliches Bettwäsche-Set

Wirtschaftliche und ökologische Produkteigenschaften	Einheit	Bettwäsche-Set konventionelle Baumwolle	Bettwäsche-Set kbA-Baumwolle
Einmalzahlungen zur Beschaffung des Produkts			
Einkaufspreis	€	21,2	26,0[24]
Angaben zur Berechnung / Umwelteigenschaften des Produkts			
Gewicht des Bettwäsche-Sets	kg	1,48	1,48
Benötigte Menge Baumwollfasern pro Kilogramm Baumwollstoff[25]	kg/kg	1,086	1,086
Emissionsfaktor Baumwollfasern (CO_2-Äquivalente)	kg/kg	1,808	0,978
Nutzungsdauer	a	3	3

Quelle: Persönliche Auskunft von Dibella GmbH, RB-Gross, Cotton Incorporated 2012, Textile Exchange 2014

5.7.3. Lebenszykluskosten

Bettwäsche für den Einsatz in Krankenhäusern hat ein Nutzungszyklus von etwa 50 bis 100 Wäschen. Dies entspricht einer Nutzungsdauer von drei Jahren[26]. Die Berechnung der jährlichen Lebenszykluskosten erfolgt daher über diesen Zeitraum. Als Kostenpositionen treten hierbei nur jährliche anteilige Beschaffungskosten auf, da sich die Kosten für die Wäscherei bei den beiden Alternativen nicht unterscheiden.

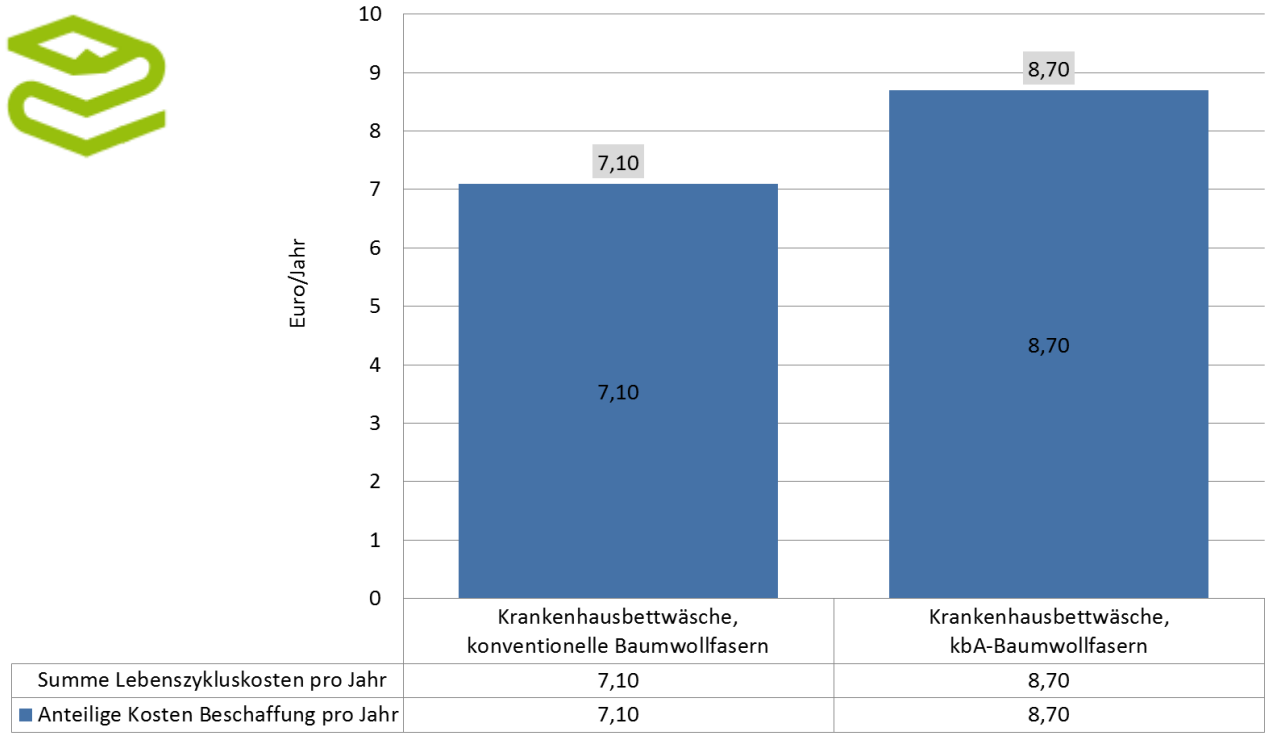
In Abbildung 5-13 werden die Lebenszykluskosten der Bettwäsche-Sets als jährliche Kostenpositionen dargestellt.

[24] Nach Angabe von Herrn Ralf Hellmann von dem Textilhandelsunternehmen Dibella GmbH in einem Telefoninterview am 24.02.2015 beträgt der Mehrpreis für Bio-Baumwolle bei Krankenhaus-Bettwäsche zwischen 20 und 25 Prozent. Bei der Dibella GmbH ist hier noch ein Fairtrade-Aufpreis von 2 Prozent enthalten. Da der Gegenstand der vorliegenden Untersuchung nur Bio-Baumwolle und nicht Bio- und Fairtrade-Baumwolle ist, wird hier ein Preisaufschlag von 23 Prozent angenommen.

[25] Auf Grund von Verlusten während der Produktion, werden für die Herstellung von einem Kilogramm gewebtem Baumwoll-Stoff 1.086 kg Baumwollfasern benötigt. (Cotton Incorporated 2012).

[26] Angabe von Herrn Ralf Hellmann von der Dibella GmbH in einem Telefoninterview am 24.02.2015

Abbildung 5-13: Jährliche Lebenszykluskosten eines Bettwäsche-Sets aus konventioneller und Bio-Baumwolle über einen Betrachtungszeitraum von 3 Jahren



	Krankenhausbettwäsche, konventionelle Baumwollfasern	Krankenhausbettwäsche, kbA-Baumwollfasern
Summe Lebenszykluskosten pro Jahr	7,10	8,70
Anteilige Kosten Beschaffung pro Jahr	7,10	8,70

Quelle: Öko-Institut

Die Beschaffungskosten der konventionellen Bettwäsche liegen mit 7,10 Euro pro Jahr unter den Beschaffungskosten des umweltverträglichen Bettwäsche-Sets mit 8,70 Euro pro Jahr. Die Kosten für ein konventionelles Bettwäsche-Set liegen somit 23 Prozent unterhalb der umweltverträglichen Alternative.

5.7.4. Umweltwirkungen

Als Indikator für die Umweltwirkungen von Textilien aus Baumwolle wird in dieser Untersuchung das Treibhausgaspotenzial für die Produktion der benötigten Baumwollfasern angesetzt. Die Daten basieren auf einer vergleichenden Ökobilanz zur Baumwollfaserherstellung (Textile Exchange 2014). Die weiteren Lebenszyklusschritte Veredlung, Transport, Stoffherstellung, Konfektion und Nutzung von Bettwäsche konnten nicht berücksichtigt werden, da für diese keine vergleichenden Ökobilanzen vorliegen. Dies bedeutet, dass im Rahmen dieser Untersuchung lediglich der Faseranbau betrachtet werden konnte.

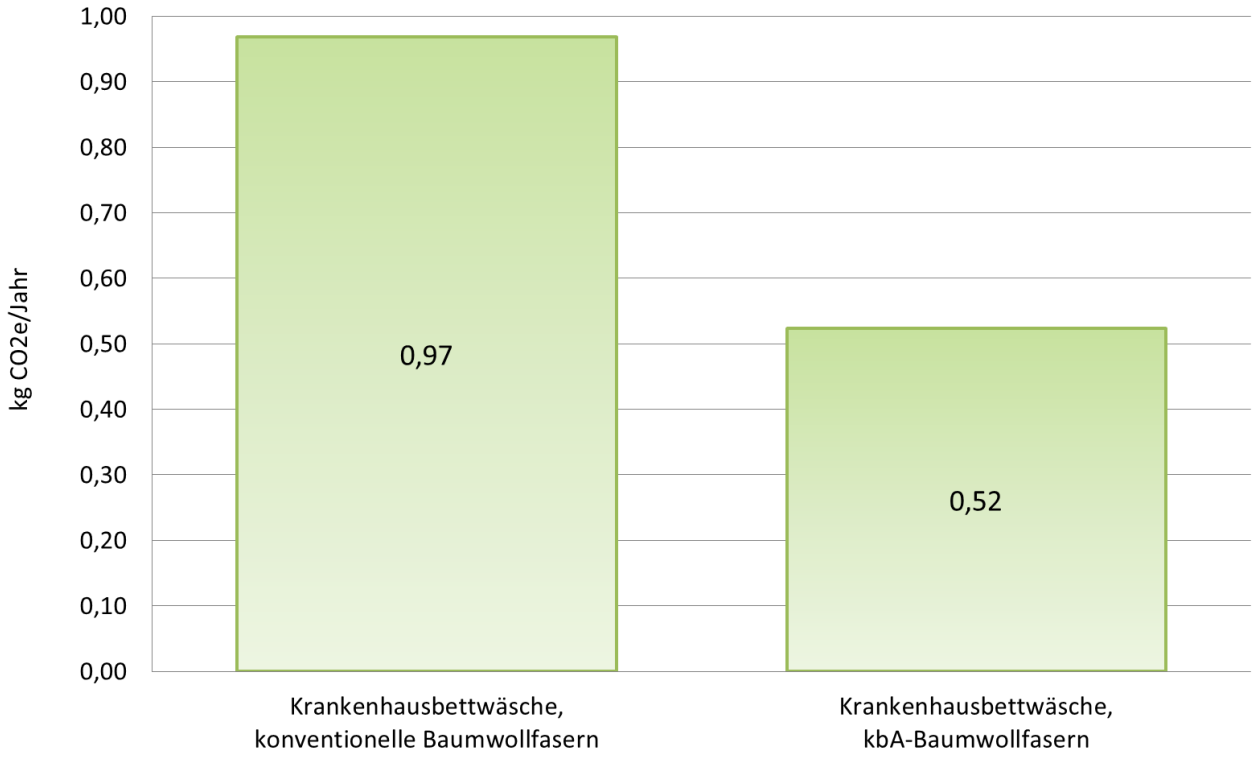
Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass die Weiterverarbeitung der Fasern zu Stoff mit weiteren Umweltbelastungen verbunden ist. Werden auch in diesen Verarbeitungsschritten umweltverträgliche Verfahren angewendet, so bietet dies weitere Vorteile für die Beschäftigten und die Umwelt. Auf solch eine umweltverträgliche Veredlung der Textilien durch verringerten Einsatz von Textilchemikalien setzt beispielsweise das GOTS-Siegel[27]. Chemische Zusätze wie Farbstoffe, Hilfsmittel und Prozesschemikalien müssen, bei den mit dem Siegel gekennzeichneten Textilien, Anforderungen bezüglich ihrer Toxizität und biologischer Abbaubarkeit erfüllen. Der Einsatz

[27] Global Organic Textile Standard, http://www.global-standard.org/de/, aufgerufen am 26.05.2015.

problematischer Zusätze, wie beispielsweise Schwermetalle, Formaldehyd und aromatische Lösungsmittel, ist verboten.

Bei der Interpretation der nachfolgend dargestellten Ergebnisse ist deshalb zu berücksichtigen, dass es sich hierbei lediglich um das Treibhausgaspotenzial bei der Baumwollfaserherstellung handelt. Dies ist eine starke Vereinfachung zugunsten der konventionellen Variante, da auch die Prozessschritte Veredelung und Stoffherstellung sehr energie- und chemikalienintensiv sind.

Abbildung 5-14: Jährliches Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) der Baumwollfaserherstellung für ein Bettwäsche-Set aus konventioneller und Bio-Baumwolle (Nutzungsdauer: 3 Jahre)



Quelle: Öko-Institut

Abbildung 5-14 stellt das jährliche Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) dar, das durch den Einsatz von konventioneller und umweltverträglicher Baumwollfasern für die Produktion eines Bettwäsche-Sets verursacht wird. Ein Set aus konventionell hergestellten Baumwollfasern führt über seine dreijährige Nutzungszeit zu einem jährlichen Treibhausgaspotenzial in Höhe von 0,97 Kilogramm CO_2-Äquivalenten. Bei einem Bettwäsche-Set aus Bio-Baumwollfasern hingegen liegt das jährliche Treibhausgaspotenzial bei 0,52 Kilogramm CO_2-Äquivalente und spart damit gegenüber der konventionellen Variante 0,45 Kilogramm CO_2-Äquivalente pro Jahr ein (minus 46 Prozent).

Setzt man diese Treibhausgaspotenzial-Einsparung mit den Mehrkosten für Bettwäsche-Sets aus Bio-Baumwolle ins Verhältnis, so erhält man CO_2e-Vermeidungskosten (vgl. Kapitel 3.3) in Höhe von rund 3.600 Euro pro Tonne eingesparten CO_2-Äquivalenten. Bei diesen Vermeidungskosten handelt es sich um einen sehr hohen Wert, d. h. es muss ein sehr hoher ökonomischer Aufwand getrieben werden, um Treibhausgasemissionen zu reduzieren.

Analog zu den Ausführungen oben, ist auch die Zahl zu den Vermeidungskosten nur bedingt aussagekräftig, da sie sich nur auf die eingesparten Treibhausgasemissionen bezieht, die mit dem Baumwollfaseranbau verbunden sind. Die Treibhausgasemissionen aus der Verarbeitung der Fasern zu Stoffen (Veredlung) werden darin nicht berücksichtigt. Es ist daher anzunehmen, dass unter Einbeziehung der weiteren Veredlungsschritte, die CO_2e-Vermeidungskosten geringer sind.

5.7.5. Fazit

Die Beschaffung umweltverträglicher Bettwäsche aus Baumwollfasern aus kontrolliert biologischem Anbau ist um 23 Prozent teurer als die aus konventionellem Anbau. Bei den Treibhausgasemissionen spart die Beschaffung umweltverträglicher Bettwäsche 46 Prozent CO_2-Äquivalente ein. Pro Bettwäsche-Set entspricht dies einer Einsparung von 0,45 kg CO_2-Äquivalenten. Die CO_2e-Vermeidungskosten liegen bei rund 3.600 Euro pro Tonne eingesparten CO_2-Äquivalenten und sind damit sehr hoch. Die Erzeugung von Textilprodukten aus Bio-Baumwolle ist mit weiteren Vorteilen für die Umwelt verbunden, die im Rahmen dieser Studie nicht weitergehend quantifiziert wurden.

5.8. Reinigungsmittel

5.8.1. Anforderungen

Reinigungsmittel werden in öffentlichen Verwaltungen vor allem für die Reinigung von Fußböden, Glas- und Sanitärflächen beschafft. Ausgewählt wurde daher ein Allzweckreiniger.

5.8.2. Produkteigenschaften

Als konventioneller Allzweckreiniger wurde ein Produkt ausgewählt, das nicht mit einem Umweltzeichen gekennzeichnet ist. Beide Produkte sind Reinigungskonzentrate, die vom Reinigungspersonal mit Wasser zur Anwendungslösung gemischt werden.

Als umweltverträgliche Alternative wurde ein Allzweckreiniger gewählt, der mit dem Umweltzeichen Blauer Engel (RAL-UZ 194) gekennzeichnet ist. Ein solcher Allzweckreiniger darf einen bestimmten Grenzwert für das kritische Verdünnungsvolumen nicht überschreiten (Erläuterung siehe Kapitel 5.8.4).

In Tabelle 5-15 sind die wirtschaftlichen und ökologischen Produkteigenschaften des konventionellen und des umweltverträglichen Allzweckreinigers dokumentiert.

Tabelle 5-15: Produkteigenschaften konventioneller und umweltverträglicher Allzweckreiniger

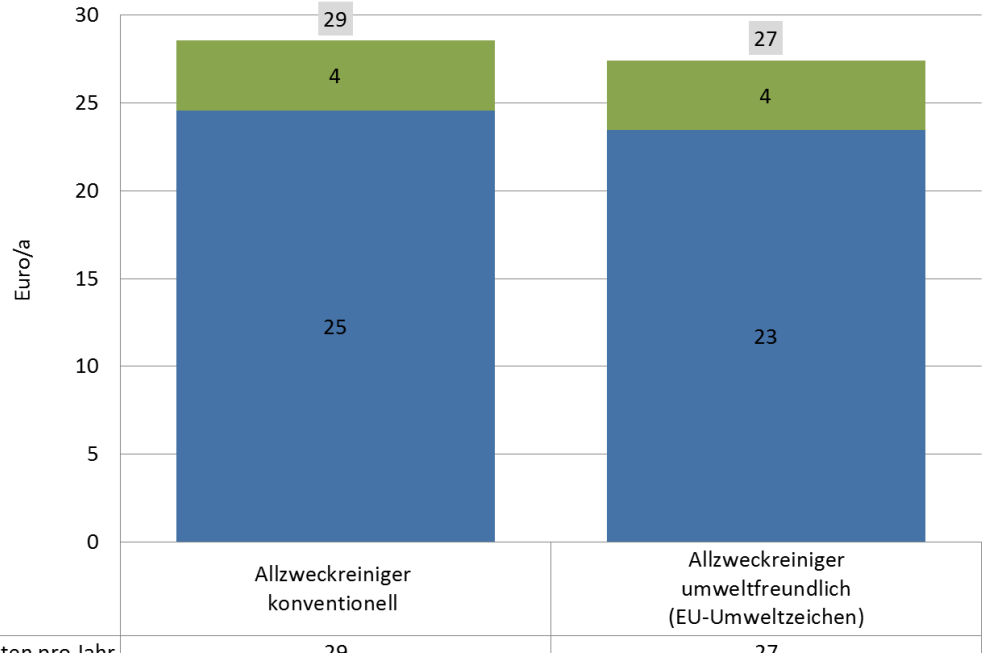
Wirtschaftliche und ökologische Produkteigenschaften	Einheit	Allzweckreiniger konventionell	Allzweckreiniger umweltverträglich (EU-Umweltzeichen)
Einmalzahlungen zur Beschaffung des Produkts			
Einkaufspreis Konzentrat für 1m³ Anwendungslösung	€	25	23
Umwelteigenschaften des Produkts			
Frischwasserbedarf für Anwendungslösung	m³	1	1
Kritisches Verdünnungsvolumen (KVV)	m³/l	28	18
Betrachtungszeitraum	a	1	1

Quelle: Eigene Berechnungen Öko-Institut (Kostenanpassung) auf Grundlage von Umweltbundesamt 2008, RAL UZ 194

5.8.3. Lebenszykluskosten

Die Berechnung der jährlichen Lebenszykluskosten erfolgt über einen Zeitraum von einem Jahr und der Bereitstellung von 1.000 Litern Anwendungslösung des Allzweckreinigers. Als Kostenpositionen treten daher jährliche Beschaffungskosten auf (vgl. Abbildung 5-15).

Abbildung 5-15: Jährliche Lebenszykluskosten für 1.000 Liter Anwendungslösung konventioneller und umweltverträglicher Allzweckreiniger über einen Betrachtungszeitraum von 1 Jahr



	Allzweckreiniger konventionell	Allzweckreiniger umweltfreundlich (EU-Umweltzeichen)
Summe Lebenszykluskosten pro Jahr	29	27
Wasserkosten Nutzungsphase	4	4
Kosten Beschaffung	25	23

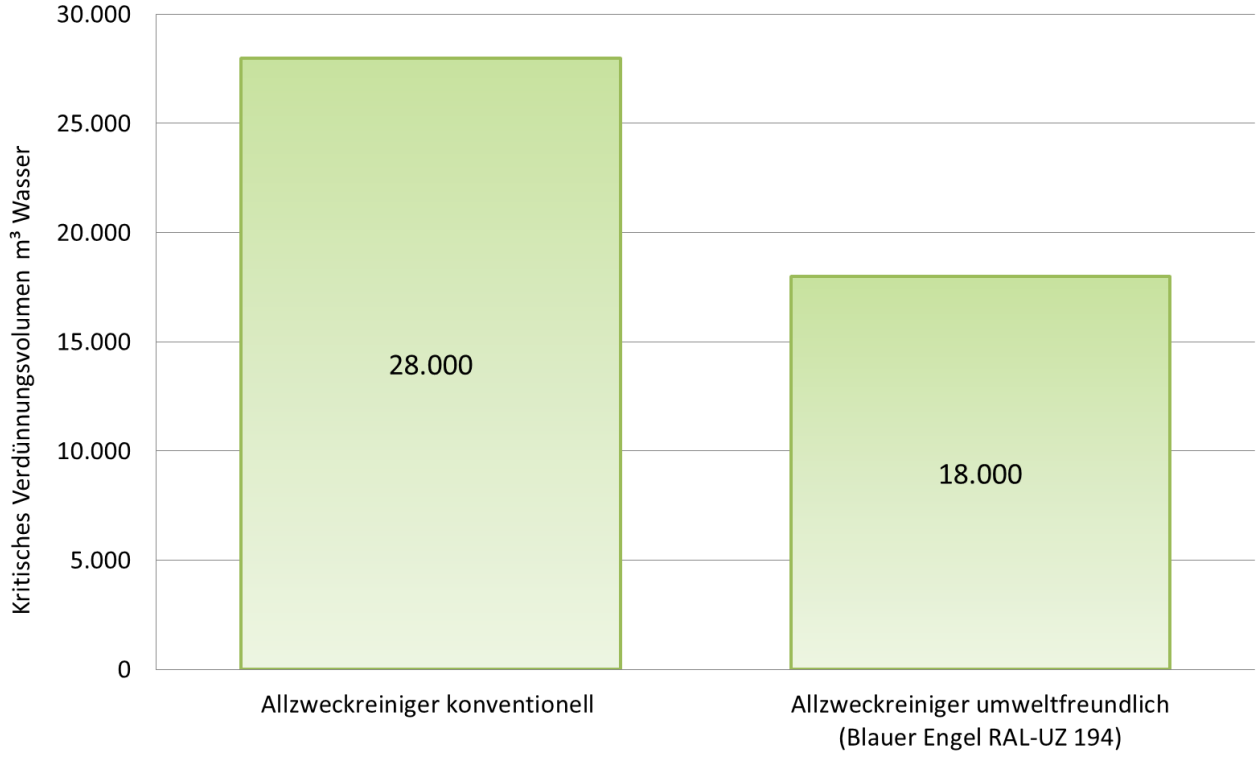
Quelle: Öko-Institut

Die Beschaffungskosten des konventionellen Allzweckreinigers liegen mit 25 Euro pro Jahr über den Beschaffungskosten des umweltverträglichen Reinigers mit 23 Euro pro Jahr. Hinzu kommen bei beiden Varianten die Kosten zum Ansatz der Anwendungslösung in Höhe von 4 Euro pro Jahr. Durch den Einsatz eines umweltverträglichen Reinigers können demnach 2 Euro pro 1000 Liter Anwendungslösung eingespart werden (minus 7 Prozent).

5.8.4. Umweltwirkungen

Als Indikator für die Umweltwirkungen von Allzweckreinigern wird in dieser Untersuchung die Aquatoxizität mit Hilfe des Indikators „Kritisches Verdünnungsvolumen“ (KVV) angesetzt. Dieser gibt an, mit welcher Menge Wasser ein Liter Anwendungslösung in der Kläranlage verdünnt werden müsste, um eine aquatoxische Wirkung der Lösung zu verhindern.

Abbildung 5-16: Kritisches Verdünnungsvolumen (KVV) für 1.000 Liter Anwendungslösung konventioneller und umweltverträglicher Allzweckreiniger über einen Betrachtungszeitraum von 1 Jahr



Quelle: Öko-Institut

Abbildung 5-16 stellt das kritische Verdünnungsvolumen für konventionelle und umweltverträgliche Allzweckreiniger dar. Eine Menge von 1.000 Litern konventionellem Allzweckreiniger weist ein kritisches Verdünnungsvolumen von 28.000 m^3 auf. Ein umweltverträglicher Allzweckreiniger hingegen weist ein kritisches Verdünnungsvolumen von 18.000 m^3 auf. Das bedeutet, dass ein umweltverträglicher Allzweckreiniger im Vergleich zu einem konventionellen Allzweckreiniger 10.000 m^3 weniger Wasser benötigt, um *keine* toxische Wirkung auf Wasserorganismen (Aquatoxizität) auszuüben (minus 36 Prozent).

5.8.5. Fazit

Die Beschaffung von umweltverträglichen Reinigungsmitteln ist um rund 7 Prozent kostengünstiger als die von konventionellen Reinigungsmitteln. Bei den Umweltauswirkungen ist die Verwendung von umweltverträglichem Reinigungsmittel ebenfalls günstiger, da es ein um 36 Prozent geringeres kritisches Verdünnungsvolumen (KVV) aufweist (vgl. 5.8.4). Bei der Verwendung von 1.000 Litern Anwendungslösung mit umweltverträglichem Allzweckreiniger benötigt man auf der Entsorgungsseite demnach, im Vergleich zu einem konventionellen Allzweckreiniger, 10.000 m^3 weniger Wasser, um das Reinigungsmittel soweit zu verdünnen, dass es auf Wasserorganismen nicht toxisch wirkt.

5.9. Gebäude

5.9.1. Anforderungen

Auf Grund der Komplexität des Beschaffungsgegenstandes Gebäude wird an dieser Stelle von der bei den anderen Produktgruppen verwendeten Methodik abgewichen. Die Berechnungen beziehen sich an dieser Stelle auf Daten des Hochbauamts der Stadt Frankfurt am Main, das im Bereich des nachhaltigen Bauens bereits valide Daten für den Vergleich der konventionellen Bauweise gemäß EnEV-Standard und dem Passivhaus-Standard ermittelt hat (Stadt Frankfurt am Main, 2013).

Als beispielhaftes Gebäude wird die Sanierung und Erweiterung eines Schulgebäudes gewählt. Schulgebäude stellen eine sehr anspruchsvolle Nutzung dar, da hier ein sehr viele Personen in vergleichsweise großen Räumen untergebracht werden. Die Luftwechselraten im Gebäude, die Einfluss auf den Energieverbrauch haben, und die Anforderungen an vandalismussichere Konstruktionen, die ebenfalls preistreibend wirken, sind hier sehr hoch. Es wird im Rahmen dieser Untersuchung davon ausgegangen, dass die Sanierungskosten für Verwaltungsgebäude, d. h. Gebäude, die überwiegend als Bürogebäude genutzt werden, nicht höher liegen. Bei der Hochrechnung in Kapitel 6 wird daher vereinfachend angesetzt, dass die Sanierungskosten und die Energieeinsparpotenziale pro Flächeneinheit für alle Gebäude auf gleichem Niveau liegen.

Die hier aufgeführten Daten für die Sanierung von Gebäuden beziehen sich auf die Ludwig-Börne-Schule in Frankfurt. Hierbei handelt es sich um einen Neubau bei dessen Konzeption Teile des in den frühen 60er Jahren errichteten viergeschossigen Vorgängerbaus erhalten und so in die Neubaumaßnahme integriert wurden. Diese Schule bietet Platz für 400 Schülerinnen und Schüler und hat eine beheizte Nettogrundfläche von 5.277 m^2 (u.a. 36 Klassen, Fachräume für Arbeitslehre und Naturwissenschaften, EDV-Räume, Schulbibliothek und eine Kantine mit angegliederter Lehrküche (Stadt Frankfurt am Main, 2013).

In Tabelle 5-7 werden die erforderlichen Leistungsmerkmale dokumentiert.

Tabelle 5-16: Leistungsmerkmale eines beispielhaften Gebäudes

Gebäude	
beheizte Nettogrundfläche	5.277 m^2

Quelle: Stadt Frankfurt am Main, 2013.

5.9.2. Produkteigenschaften

Für die Sanierung und Errichtung von Gebäuden gilt bis zum 31.12.2015 die Energieeinsparverordnung 2009 (EnEV 2009), danach greift die EnEV 2014.

Als *konventionelles* Gebäude wurde ein beispielhaftes Gebäude ausgewählt, das dem Energiestandard EnEV 2009 entspricht. Zusätzlich wurde bei dem Variantenvergleich auch das Szenario „EnEV 2009 minus 30 Prozent“ berücksichtigt. Die EnEV 2009 wurde im Jahr 2014 novelliert und der erforderliche Energiestandard um etwa 30 Prozent verschärft. Die EnEV 2014 gilt für Gebäude, die ab dem 01.01.2016 errichtetet werden. Mit der Variante „EnEV 2009 minus 30 Prozent“ gemäß der VwVBU wird das mit der EnEV-Novellierung gültige Mindestniveau vorweggenommen.

Als *umweltverträgliches* Gebäude wurde ein beispielhaftes Gebäude aus Frankfurt am Main ausgewählt, das dem Passivhaus-Standard entspricht.

In Tabelle 5-17 sind die wirtschaftlichen und technischen Produkteigenschaften der beiden konventionellen Varianten und des energieeffizienten Gebäudes dokumentiert.

Tabelle 5-17: Produkteigenschaften konventionelles und energieeffizientes Gebäude

Wirtschaftliche und technische Produkteigenschaften	Einheit	Gebäude konventionell A (EnEV 2009)	Gebäude konventionell B (EnEV 2009 -30%)	Gebäude energieeffizient (Passivhaus-Standard)
	Einmalzahlungen zur Sanierung und Errichtung des Gebäudes			
Baukosten	€	12.789.489	12.820.275	13.348.030
	Angaben zur Berechnung von verbrauchsbedingten Kosten			
Stromverbrauch	kWh/m^{2}a	23	23	18
Heizenergiebedarf (Erdgas)	kWh/m^{2}a	58	47	22
Instandhaltungskosten	€/a	100.050	99.675	112.238
Nutzungsdauer	a	40	40	40

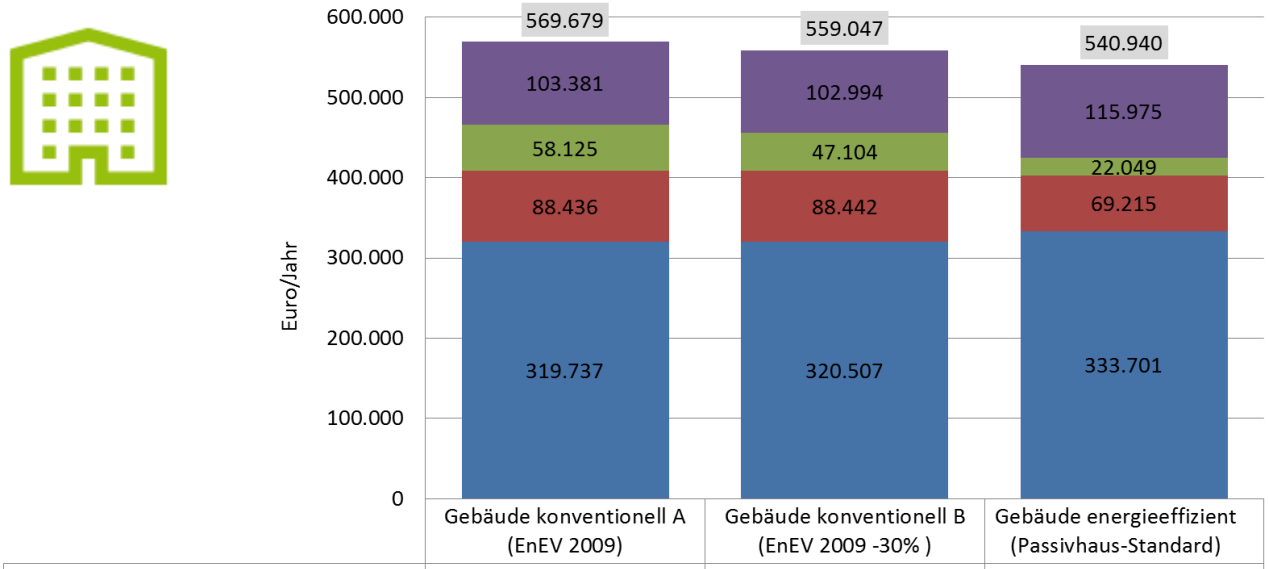
Quelle: Stadt Frankfurt am Main, 2013.

5.9.3. Lebenszykluskosten

Für Gebäude kann eine Nutzungsdauer von 40 Jahren angenommen werden. Die Berechnung der jährlichen Lebenszykluskosten erfolgt daher über diesen Zeitraum. Als Kostenpositionen treten jährliche Energiekosten (Strom- und Heizenergiebedarf), Instandhaltungskosten und jährliche anteilige Baukosten auf.

In Abbildung 5-17 werden die Barwerte der jährlichen Kostenpositionen dargestellt.

Abbildung 5-17: Jährliche Lebenszykluskosten für konventionelle und für energieeffiziente Gebäude über einen Betrachtungszeitraum von 40 Jahren



	Gebäude konventionell A (EnEV 2009)	Gebäude konventionell B (EnEV 2009 -30%)	Gebäude energieeffizient (Passivhaus-Standard)
Summe Lebenszykluskosten pro Jahr	569.679	559.047	540.940
Jährliche Instandhaltungskosten Nutzungsphase	103.381	102.994	115.975
Jährliche Heizungskosten Nutzungsphase	58.125	47.104	22.049
Jährliche Stromkosten Nutzungsphase	88.436	88.442	69.215
Anteilige Baukosten pro Jahr	319.737	320.507	333.701

Quelle: Öko-Institut

Die Baukosten der beiden konventionellen Gebäude liegen mit 319.737 und 320.507 Euro pro Jahr zwischen rund 14.000 und 13.000 Euro unter den Beschaffungskosten des energieeffizienten Gebäudes mit 333.701 Euro pro Jahr. Demgegenüber sind die Energiekosten (Strom und Heizung) bei den konventionellen Gebäuden deutlich höher. So liegen sie bei der Variante „EnEV 2009“ mit insgesamt 146.561 Euro und bei der Variante „EnEV 2009 -30%“ mit 135.546 Euro pro Jahr deutlich über denen der energieeffizienten Alternative mit 91.264 Euro. Die jährlichen Instandhaltungskosten hingegen liegen bei den konventionellen Gebäuden mit 103.381 bzw. 102.994 Euro unter den Instandhaltungskosten für das energieeffiziente Gebäude mit 115.975 Euro.

Insgesamt beträgt die Summe der jährlichen Lebenszykluskosten bei den konventionellen Gebäuden rund 570.000 Euro pro Jahr bei der Variante „EnEV 2009“ und rund 559.000 Euro bei der Variante „EnEV 2009 -30%“. Beim energieeffizienten Gebäude betragen die Lebenszykluskosten rund 541.000 Euro pro Jahr.

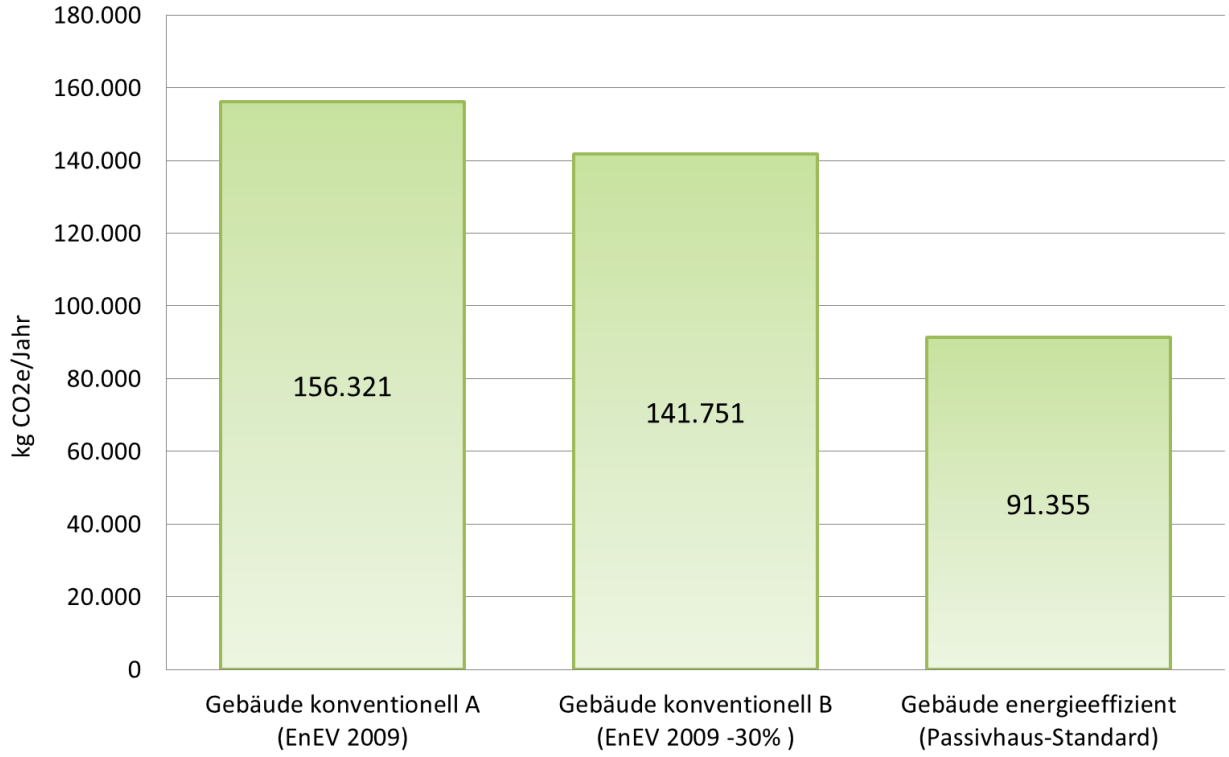
Hiermit liegen die jährlichen Kosten bei den konventionellen Varianten rund 29.000 bzw. 18.000 Euro oberhalb des energieeffizienten Gebäudes. Prozentual gesehen entspricht dies 5 bzw. 3 Prozent der jährlichen Kosten.

5.9.4. Umweltwirkungen

Als Indikator für die Umweltwirkungen von Gebäuden wird in dieser Untersuchung das Treibhausgaspotenzial für die Nutzung der Gebäude während eines Jahres angesetzt. Das jährliche Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) berechnet sich dabei aus dem jährlichen

Strom- und Gasverbrauch der Gebäude. Die Herstellung und Entsorgung der Gebäude wurde hier nicht berücksichtigt, da hier zum einen Datenlücken bestehen und zum anderen die Nutzungsphase von Gebäuden über den langen Zeitraum von 40 Jahren die Umweltwirkungen stark dominiert.

Abbildung 5-18: Jährliches Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) durch Energieverbrauch für konventionelles und energieeffizientes Schulgebäude



Quelle: Öko-Institut

Abbildung 5-18 stellt das jährliche Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) durch den Energieverbrauch (Strom und Heizung) der beiden konventionellen Gebäudevarianten und eines energieeffizienten Gebäudes dar. Die Nutzung der konventionellen Gebäude-Variante „EnEV 2009“ führt zu einem jährlichen Treibhausgaspotenzial in Höhe von rund 156 Tonnen CO_2-Äquivalenten. Die Variante „EnEV 2009 -30%“ führt zu einem jährlichen Treibhausgaspotenzial in Höhe von rund 142 Tonnen CO2-Äquivalenten. Wird dagegen ein energieeffizientes Gebäude betrieben, so liegt das jährliche Treibhausgaspotenzial bei rund 91 Tonnen CO_2-Äquivalente und spart damit gegenüber der konventionellen Variante „EnEV 2009“ rund 65 Tonnen bzw. rund 50 Tonnen CO_2-Äquivalente pro Jahr bei der Variante „EnEV 2009 -30%“ ein (minus 42 bzw. 36 Prozent).

5.9.5. Fazit

Die Sanierung, die Nutzung und die Instandhaltung eines energieeffizienten Gebäudes (Passivhaus-Standard) ist um drei Prozent gegenüber der Variante B (EnEV 2009 –30%) bis fünf Prozent gegenüber der Variante A (EnEV 2009) kostengünstiger als die eines konventionellen Gebäudes. Die leicht höheren Baukosten von rund vier Prozent und die höheren

Instandhaltungskosten von 12 bis 13 Prozent werden über eingesparte Energiekosten nach einer Nutzungsdauer von 19 Jahren gegenüber der Variante A (EnEV 2009) beziehungsweise 23 Jahren gegenüber der Variante B (EnEV 2009 –30%) amortisiert. Die Nutzung des energieeffizienten Gebäudes ist mit 42 Prozent weniger Treibhausgasemissionen gegenüber der konventionellen Variante A (EnEV 2009) verbunden und spart damit rund 65 Tonnen CO_2-Äquivalente pro Jahr ein. Gegenüber der etwas effizienteren Gebäudevariante B (EnEV 2009 –30%) spart das energieeffiziente Gebäude in Passivhaus-Standard immerhin noch 36 Prozent an Treibhausgasemissionen ein und reduziert die CO_2-Äquivalente um 50 Tonnen pro Jahr.

5.10. Bodenbeläge

5.10.1. Anforderungen

Bodenbeläge werden in öffentlichen Verwaltungen für die Ausstattung von Bürogebäuden, Schulen, Krankenhäusern etc. beschafft. Ausgewählt wurden daher Bodenbeläge, die den starken Beanspruchungen in diesen Gebäuden gerecht werden.

5.10.2. Produkteigenschaften

Als konventioneller Bodenbelag wurde die Bereitstellung eines 1.000 m^2 großen PVC-Bodenbelags in einem Verwaltungsgebäude gewählt. Es wird angenommen, dass dieser in Bahnenware mit einer Dicke von 2,0 bis 2,5 mm vorliegt (Lutz 2010).

Als umweltverträglicher Bodenbelag wurde die Bereitstellung einer gleichgroßen Fläche mit Linoleum-Bodenbelag gewählt. Linoleum gilt als umweltverträgliche Alternative zu PVC, da es mit erneuerbaren und mineralischen Rohstoffen, insbesondere Leinöl, Holzmehl, Korkmehl, Kalkstein, Jute und Harz, hergestellt wird. Es wird für den Produktvergleich angenommen, dass ein Linoleum-Bodenbelag in Bahnenware mit einer Dicke von 2,5 mm verwendet wird (Lutz 2010).

Weiterhin wird angenommen, dass beide Böden eine werkseitige Polyurethanvergütung (PUR-Vergütung) aufweisen, die sich nachträglich versiegeln lässt (d. h. die Böden sind sanierbar). Bei solchen Böden fallen die Reinigungs- und Pflegekosten im Vergleich zu anderen elastischen Böden im Allgemeinen günstiger aus. Andererseits müssen sie zur Erhaltung ihrer technischen Lebensdauer nach den ersten fünf Jahren einer vollflächigen Sanierung durch Auftrag einer erneuten Polyurethanversiegelung unterzogen werden und anschließend alle 5 Jahre eine partielle Sanierung durchlaufen (vgl. Tabelle 5-18). (Lutz 2010)

In Tabelle 5-18 sind die wirtschaftlichen und technischen Produkteigenschaften des konventionellen und des umweltverträglichen Bodenbelags dokumentiert.

Tabelle 5-18: Produkteigenschaften konventioneller und umweltverträglicher Bodenbelag

Wirtschaftliche und technische Produkteigenschaften	Einheit	Bodenbelag konventionell (PVC, PUR-vergütet, sanierbar)	Bodenbelag umweltverträglich (Linoleum, PUR-vergütet, sanierbar)
Einmalzahlungen zur Beschaffung des Produkts			
Beschaffungskosten Bodenbelag[28]	€/m²	27	26
Angaben zur Berechnung von verbrauchsbedingten Kosten[29]			
Reinigungskosten[30]	€/m²/a	18,68	18,68
Sanierungskosten I[31]	€/m²	10,00	10,00
Sanierungskosten II	€/m²	3,50	3,50
Versiegelungsintervall[32]	a	5	5
Entsorgungskosten am Nutzungsende, zukünftiger Preis[33]	€/m²	35	34
CO_2-Äquivalente zur Herstellung und Entsorgung des Bodenbelags	kg/m²	6,50	2,90
Nutzungsdauer	a	20	20

Quelle: Lutz 2010 und BMUB Oekobaudat.de

5.10.3. Lebenszykluskosten

Die oben beschriebenen Bodenbeläge haben gemäß Lutz 2010 bei einer hohen Beanspruchung eine Nutzungsdauer von 20 Jahren. Die Berechnung der jährlichen Lebenszykluskosten erfolgt daher über diesen Zeitraum. Als Kostenpositionen treten jährliche Reinigungskosten und jährliche

[28] Bei den hier ausgewiesenen Beschaffungskosten wurden folgende Kosten berücksichtigt: Materialkosten, Kosten für die Untergrundvorbereitung für die Verlegung, Verschnitt, Kleber und ggf. Nahtausbildung, inkl. der Lohn- und Lohnnebenkosten für die Verlegung (Lutz 2010).

[29] Abweichend von der sonstigen Systematik der Lebenszykluskostenberechnung werden hier mit den Reinigungs- und Sanierungskosten auch Kosten aufgeführt, die bei beiden Varianten identisch sind. Auf Grund der besonderen Relevanz der Reinigungskosten (auch im Vergleich zu anderen Bodenbelagsstoffen), werden diese Kosten als ergänzende Information mitgeliefert, auch wenn sie den konkreten Kostenvergleich nicht beeinflussen.

[30] Bei den Reinigungskosten wird ein staubbindendes Wischen und 2-stufiges Nasswischen in hoher Reinigungsqualität berücksichtigt. (Lutz 2010)

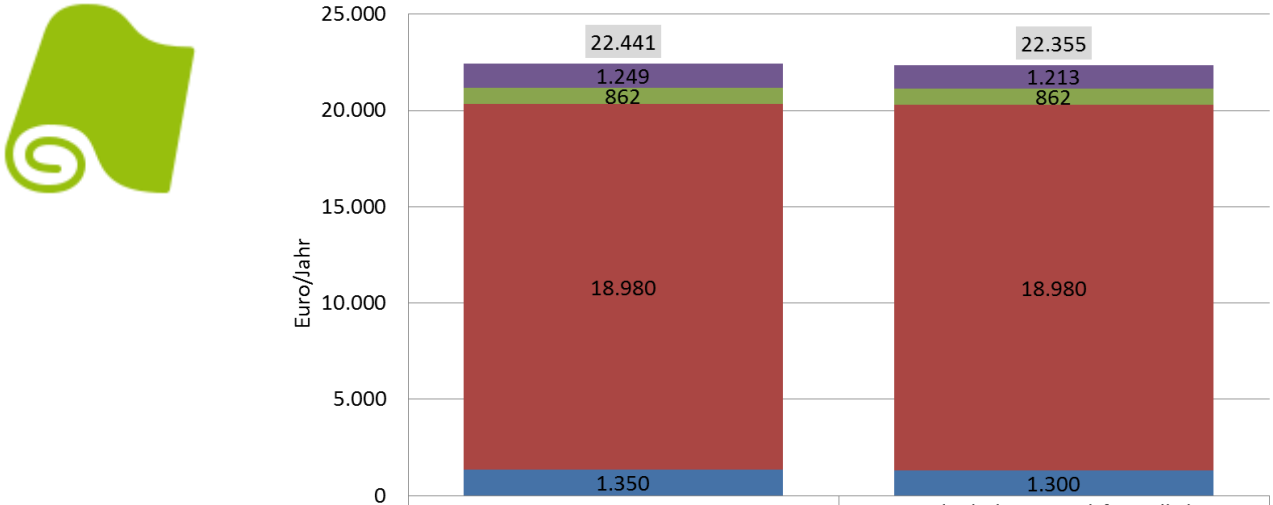
[31] Die hier aufgeführten Sanierungskosten beziehen sich auf eine vollflächige Sanierung nach den ersten 5 Jahren, die bei sanierbaren PUR-Vergütungen so üblich ist. Anschließend erfolgt alle 5 Jahre eine partielle Sanierung (vgl. Sanierungskosten II). (Lutz 2010)

[32] Vgl. hierzu Fußnote zu „Sanierungskosten I“.

[33] Bei den Entsorgungskosten wurden alle nach Ablauf der techn. Lebensdauer entstehenden Personal- und Materialkosten zur Wiederherstellung bzw. Austausch abgenutzter oder gealterter Beläge berücksichtigt. D. h. die Entsorgungskosten des Altbelags und die Kosten zur Vorbereitung des Untergrunds für den neuen Belag. (Lutz 2010)

anteilige Beschaffungs- und Entsorgungskosten auf, sowie auf die einzelnen Jahre herunter gerechneten Sanierungskosten. In Abbildung 5-7 werden die Barwerte der jährlichen Kostenpositionen dargestellt.

Abbildung 5-19: Jährliche Lebenszykluskosten für 1.000 m² konventionelle und umweltverträgliche Bodenbeläge über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren



	Bodenbelag konventionell (PVC)	Bodenbelag umweltfreundlich (Linoleum)
Summe Lebenszykluskosten pro Jahr	22.441	22.355
Jährliche Kosten Nutzungsende	1.249	1.213
Sanierungskosten Nutzungsphase	862	862
Jährliche Reinigungskosten Nutzungsphase	18.980	18.980
Anteilige Kosten Beschaffung pro Jahr	1.350	1.300

Quelle: Öko-Institut

Die Beschaffungskosten des konventionellen Bodenbelags liegen mit 1.350 Euro pro Jahr über den Beschaffungskosten der umweltverträglichen Alternative mit 1.300 Euro pro Jahr. Die jährlichen Reinigungs- und Sanierungskosten sind bei beiden Varianten identisch, 862 Euro für die anteilige Sanierung und 18.980 Euro für die Reinigung. Bei den Entsorgungskosten am Nutzungsende liegen die konventionellen Bodenbeläge mit 1.249 Euro über den Entsorgungskosten für die umweltverträgliche Variante mit 1.213 Euro. Die Summe der jährlichen Lebenszykluskosten beträgt beim konventionellen Bodenbelag somit 22.401 Euro pro Jahr und liegt damit 0,4 Prozent oberhalb des umweltverträglichen Bodenbelags mit 22.355 Euro pro Jahr.

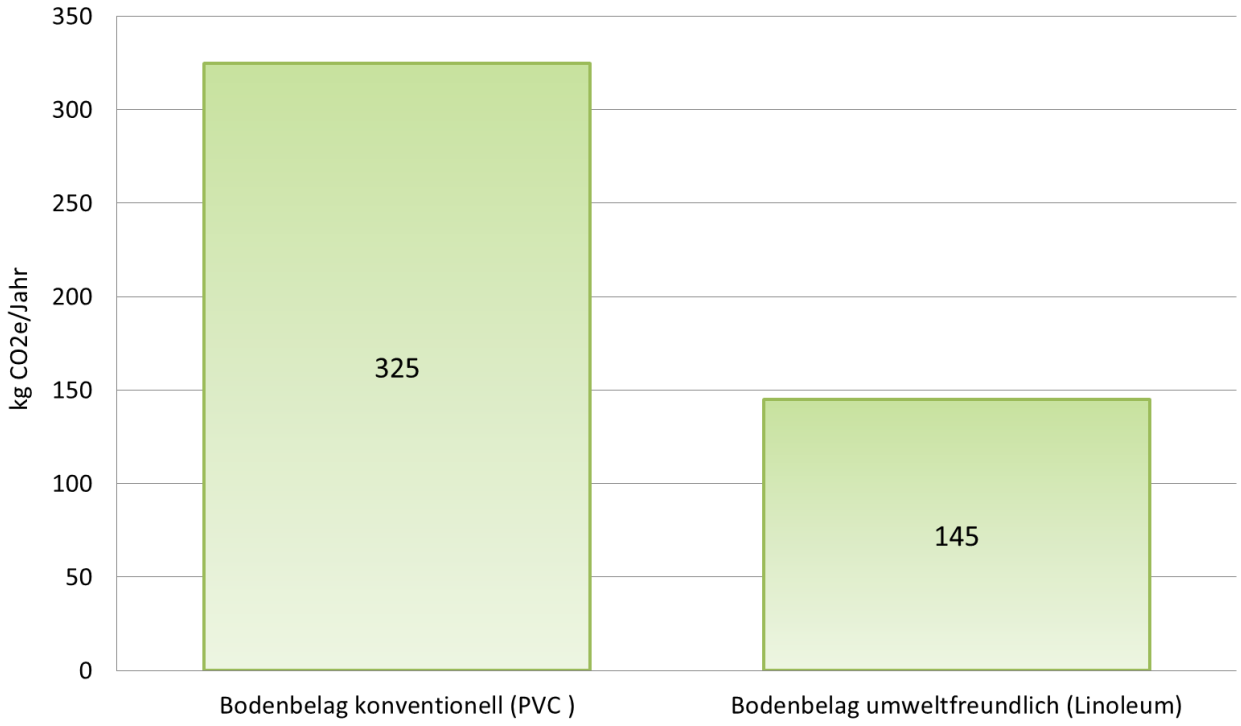
Die Ergebnisse werden von den gleich hohen Reinigungskosten bei beiden Bodenvarianten dominiert. Lässt man die Reinigungskosten außerhalb der Lebenszykluskosten-Betrachtung, so unterscheiden sich die Kosten wie folgt: Die konventionelle Variante weist jährliche Gesamtkosten (Beschaffung, Sanierung und Nutzungsende) von 3.461 Euro auf, die umweltverträgliche Variante 3.375 Euro (minus 2,5 Prozent).

5.10.4. Umweltwirkungen

Als Indikator für die Umweltwirkungen von Bodenbelägen wird in dieser Untersuchung das Treibhausgaspotenzial für Herstellung, Einbau, Instandhaltung und Entsorgung berücksichtigt. Für

die Entsorgung wurde von einer Verbrennung zu 100 Prozent ausgegangen. Die Daten zum Treibhausgaspotenzial sind Umweltproduktdeklarationen der jeweiligen Bodenbeläge entnommen, die durch die Datenbank des BMUB Ökobaudat[34] im Rahmen des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude (BNB) als verbindliche Datenbasis bereitgestellt werden. Für den konventionellen PVC-Boden wurde der Datensatz für „*Homogene Polyvinylchlorid-Bodenbeläge nach EN 649 und ISO 10581 - ERFMI; 1m ² homogene Polyvinylchlorid Bodenbelag installiert*“ herangezogen und für den Linoleum-Bodenbelag der Datensatz „*Linoleum Bodenbeläge mit und ohne Muster nach EN ISO 24011 - ERFMI; 1m ² Linoleum Bodenbeläge mit und ohne Muster, installiert*“.

Abbildung 5-20: Jährliches Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) für 1.000 m² konventionelle und umweltverträgliche Bodenbeläge über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren



Quelle: Öko-Institut

Abbildung 5-20 stellt das jährliche Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) durch die Summe aus Herstellung, Einbau, Instandhaltung und Recycling (100% Verbrennung) für konventionelle und umweltverträgliche Bodenbeläge dar. Der konventionelle Bodenbelag verursacht für 1.000 m² Fläche ein jährliches Treibhausgaspotenzial in Höhe von 325 Kilogramm CO_2-Äquivalenten. Wird dagegen ein umweltverträglicher Bodenbelag gewählt, so liegt das jährliche Treibhausgaspotenzial bei 145 Kilogramm CO_2-Äquivalente und spart damit gegenüber der konventionellen Variante 180 Kilogramm CO_2-Äquivalente pro Jahr (55 Prozent) ein.

[34] BMUB, http://www.oekobaudat.de/datenbank/browser-oekobaudat/daten/6.2/Kunststoffe/Bodenbel%C3%A4ge.html, Zugriff 1. Dezember 2014.

5.10.5. Fazit

Die Beschaffung umweltverträglicher Bodenbeläge aus Linoleum ist um 0,4 Prozent kostengünstiger als die von konventionellen Böden aus PVC. Die konventionelle Variante ist mit rund vier Prozent höheren Einkaufs- und drei Prozent höheren Entsorgungskosten verbunden. Die Gesamtkosten werden von den jährlichen Reinigungskosten dominiert, die sich bei beiden Varianten nicht unterscheiden. Ebenso unterscheiden sich nicht die Sanierungskosten (Polyurethanversiegelung) bei beiden Varianten. Die Nutzung der hier angenommenen Boden-Fläche von 1.000 m^2 ist bei der Verwendung eines umweltverträglichen Bodenbelags mit 55 Prozent weniger Treibhausgasemissionen verbunden und spart damit 180 Kilogramm CO_2-Äquivalente pro Jahr ein.

5.11. Elektrische Energie

5.11.1. Anforderungen

Elektrische Energie wird in öffentlichen Gebäuden zum Betrieb der technischen Gebäudeausrüstung (Beleuchtung, Klimaanlagen, Heizungspumpen, Aufzüge usw.), der Informations- und Kommunikationstechnik (Telefonanlagen, Computer, Drucker, Server und Rechenzentren usw.) sowie der sonstigen elektrischen Infrastruktur (Küche, Kantine, Sicherheitstechnik, Müllpressen, Maschinen, Laborgeräte usw.) benötigt. Die Spannungsebene des Stroms in Verwaltungen ist in der Regel Niederspannung (0,4 kV) und der überwiegende Verbrauch findet während der Kernarbeitszeiten statt. Für die Berechnung wird eine Stromabnahme von 100.000 kWh pro Jahr angenommen. Dies entspricht dem jährlichen Strombedarf eines Bürogebäudes mit einer Nettogrundfläche von 2.500 m², bei einem spezifischen Stromverbrauch von 40 kWh/m^2_{NGF}/a (Böttcher et al. 2012).

In Tabelle 5-7 werden die erforderlichen Leistungsmerkmale des beschafften Stroms dokumentiert.

Tabelle 5-19: Leistungsmerkmale elektrische Energie

Anforderungen	Eigenschaften
Strom Abnahmemenge	100.000 kWh pro Jahr
Spannungsebene	Niederspannung (0,4 kV)
Überwiegende Verbrauchszeiten	8 bis 18 Uhr
Verbrauchsprofil	Gewerbe / Büros

Quelle: Öko-Institut

5.11.2. Produkteigenschaften

Als konventionelles Produkt wurde die Bereitstellung von elektrischer Energie eines konventionellen Stromanbieters für Gewerbekunden gewählt. Die spezifischen Treibhausgasemissionen dieses Stroms pro Kilowattstunde entsprechen denen des Strommixes Deutschland.

Als umweltverträgliche Alternative wurde die Bereitstellung von Strom aus 100% erneuerbaren Energien, der mit dem ok-Power-Label[35] oder TÜV Süd Zertifikat EE01[36] jeweils mit einer Neuanlagenquote zertifiziert ist. Diese Gütezeichen verlangen einen Mindestanteil der Strommenge aus Erzeugungsanlagen, die nicht älter als 3, 6 bzw. 12 Jahre sind. So wird sichergestellt, dass es nicht nur zu einer buchhalterischen Verschiebung der Strommengen innerhalb des europäischen Verbundnetzes kommt, indem beispielsweise Strom aus längst bestehenden skandinavischen Wasserkraftwerken geliefert wird. Die Neuanlagenquote setzt einen Ausbau von Erzeugungsanlagen mit erneuerbaren Energien voraus und führt mittelfristig zu einer Verdrängung von konventionellen (fossilen) Kraftwerken. In Kapitel 5.11.4 wird thematisiert, wie hoch die Treibhausgas-Einsparungen sind, die durch die Neuanlagenquote realisiert werden können.

In Tabelle 5-8 sind die wirtschaftlichen und ökologischen Produkteigenschaften der konventionellen und der umweltverträglichen elektrischen Energie dokumentiert. Als Preis für konventionellen Strom wurde der Strompreis für Gewerbestrom aus Kapitel 3.1.3 angesetzt, der auch in der übrigen Untersuchung verwendet wurde. Reichmuth et al. (2014) haben im Auftrag des Umweltbundesamtes eine Marktanalyse von Ökostrom durchgeführt. Als Preisaufschläge für Ökostrom, der nach dem Fonds- oder (dem hier angesetzten) Händlermodell gekennzeichnet ist, nennt Reichmuth eine Preisspanne von 0,3 bis 1 Ct/kWh. Als Mehrpreis für Ökostrom wurde nachfolgend der Mittelwert der Preisspanne, 0,65 Ct/kWh, angesetzt.

Tabelle 5-20: Produkteigenschaften konventionelle und umweltverträgliche elektrische Energie

Wirtschaftliche und ökologische Produkteigenschaften	Einheit	Strom konventionell	Ökostrom zertifiziert
Angaben zur Berechnung von verbrauchsbedingten Kosten			
Preis elektrische Energie (Gewerbestrom)	€/kWh	0,2601	0,2666
Umwelteigenschaften des Produkts			
Emissionsfaktor unter Berücksichtigung des Verdrängungseffekts (CO_2-Äquivalente)	g CO_2e/kWh	655	345

Quelle: BNetzA 2014, Preisdifferenz nach Reichmuth et al 2014, EcoInvent 3.01, Pehnt et al. 2008

5.11.3. Lebenszykluskosten

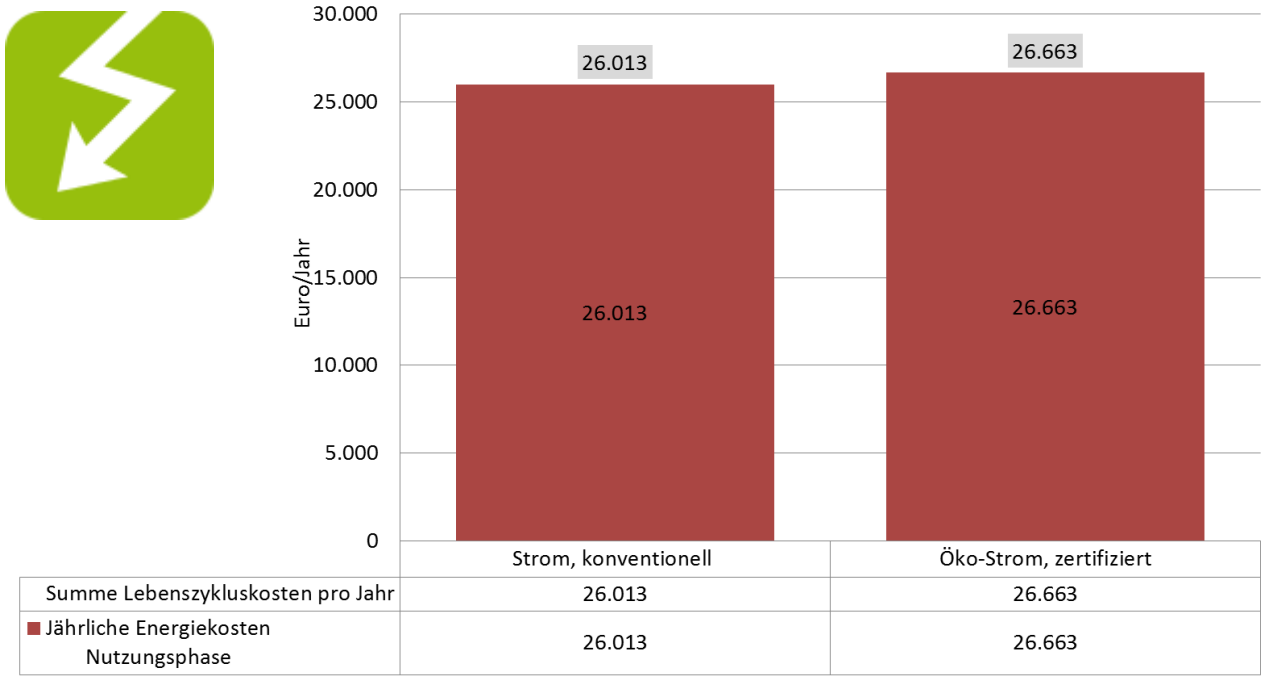
Die Berechnung der jährlichen Lebenszykluskosten für die Bereitstellung von elektrischer Energie für den Einsatz in Büros erfolgt über einen Zeitraum von einem Jahr und berücksichtigt eine Bezugsmenge von 100.000 kWh pro Jahr.

In Abbildung 5-21 werden die Beschaffungskosten für diese Strommenge dargestellt.

[35] Ok-power ist ein Gütesiegel für Ökostrom-Tarife, die nachweislich zum Ausbau erneuerbarer Energien führen. Mindestens ein Drittel des Ökostroms muss aus Anlagen kommen, die nicht älter sind als sechs Jahre. Ein weiteres Drittel aus Anlagen, die nicht älter sind als zwölf Jahre.(http://www.ok-power.de)

[36] Der TÜV Süd bietet mehrere Ökostrom-Zertifizierungen an. Das Zertifikat EE01 garantiert, dass mindestens 30% der Erzeugungskapazitäten aus Anlagen stammen, die nicht älter sind als 3 Jahre (http://www.tuev-sued.de/anlagen_bau_industrietechnik/technikfelder/umwelttechnik/energie-zertifizierung/oekostrom-zertifizierung)

Abbildung 5-21: Beschaffungskosten für 100.000 kWh konventionelle und umweltverträgliche elektrische Energie (Bezugszeitraum 1 Jahr)



	Strom, konventionell	Öko-Strom, zertifiziert
Summe Lebenszykluskosten pro Jahr	26.013	26.663
Jährliche Energiekosten Nutzungsphase	26.013	26.663

Quelle: Öko-Institut

Die jährlichen Lebenszykluskosten der umweltverträglichen elektrischen Energie liegen mit 26.663 Euro pro Jahr 650 Euro oberhalb der jährlichen Lebenszykluskosten der konventionellen Variante mit 26.013 Euro pro Jahr (plus 2 Prozent).

5.11.4. Umweltwirkungen

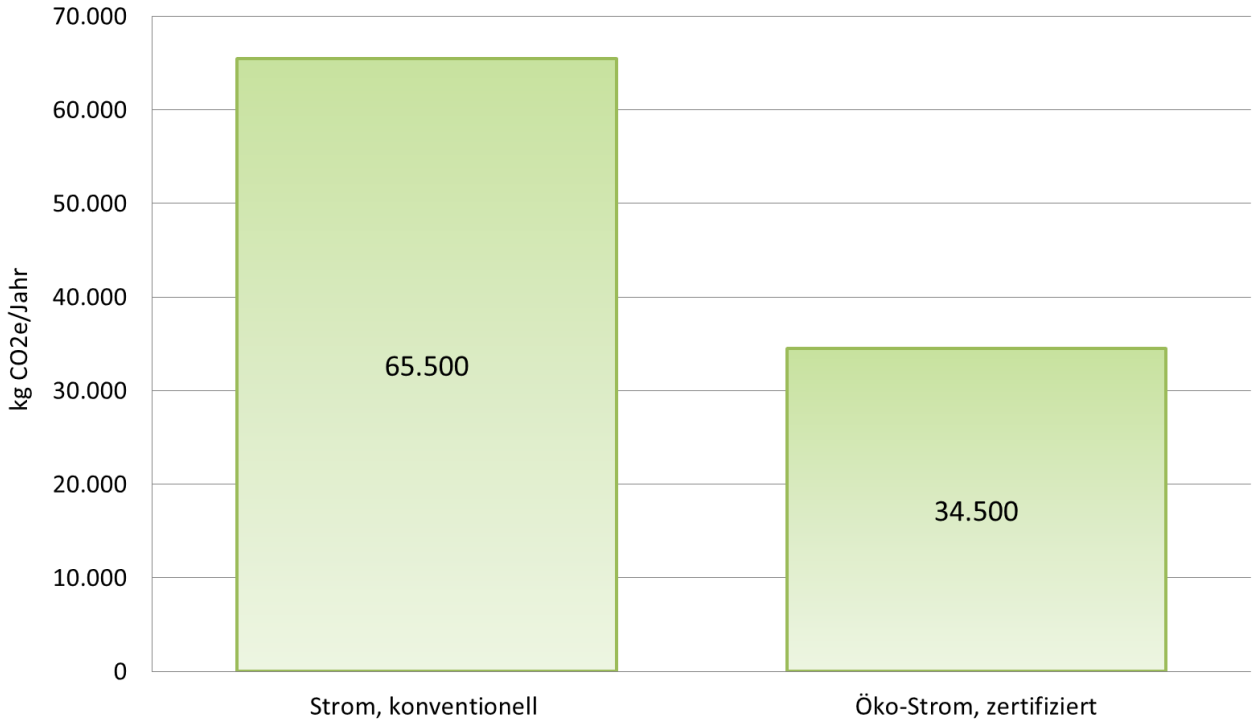
Der Umstieg auf erneuerbare Energien stellt eine der Säulen der Energiewende dar. Mit der Stromerzeugung aus Windkraft, Solarenergie, Biomasse und Wasserkraft können die Treibhausgasemissionen erheblich reduziert werden. Der überwiegende Teil des in Deutschland erzeugten Ökostroms wird nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) gefördert und von allen Stromkunden über die EEG-Umlage finanziert. Dieser EEG-Strom steht aufgrund des Doppelvermarktungsverbots (§ 80 EEG 2014) nicht für den Ökostrom-Handel zur Verfügung. Reichmuth et al. (2014) stellt in einer Marktanalyse zu Ökostrom dar, dass im Jahr 2012 in Deutschland 136 TWh Strom aus erneuerbaren Energien erzeugt wurden, wovon nur 26 TWh für den Handel zur Verfügung standen. Im Jahr 2013 lag die Nachfrage nach Ökostrom bereits bei 48 TWh (BNetzA 2014), weshalb ein erheblicher Teil des Ökostroms aus dem europäischen Ausland, meist aus bestehenden skandinavischen Wasserkraftwerken, zugekauft wurde. Dieser Zukauf an Strom aus erneuerbaren Energien aus Altanlagen führt letztlich nur zu bilanziellen Verschiebung der Strommengen innerhalb Europas und hat nahezu keinen Effekt auf die Klimabilanz der Stromerzeugung insgesamt (Reichmuth et al. 2014).

Vor diesem Hintergrund kann die Umweltwirkung der Ökostrom-Beschaffung nicht dadurch bewertet werden, dass die spezifischen Treibhausgasemissionen, die bei der Erzeugung des Stroms entstehen, mit denen der Stromerzeugung durch konventionelle Anlagen ins Verhältnis gesetzt werden. Vielmehr muss der Verdrängungseffekt des Ökostroms berücksichtigt werden, d. h. der Einfluss, den der eingekaufte Strom darauf hat, dass andere Kraftwerke stillgelegt werden

oder ihre Produktion drosseln. Im Rahmen dieser Untersuchung wird der Emissionsfaktor von Ökostrom unter Berücksichtigung des Verdrängungseffekts nach der Methodik von Pehnt et al. 2008 festgelegt. Die Methodik geht davon aus, dass der Ökostrom entsprechend den Anforderungen des ok-Power-Labels zu einem Drittel aus Anlagen stammt, die nicht älter sind als 6 Jahre (volle Emissionsminderung), zu einem weiteren Drittel aus Anlagen, die nicht älter sind als 12 Jahre (halbe Emissionsminderung) und zu einem weiteren Drittel aus noch älteren Anlagen (keine Emissionsminderung).

Als Emissionsfaktor unter Berücksichtigung des Verdrängungseffekts ergibt sich für das oben beschriebene Ökostrom-Produkt der Wert von 345 g CO_2e/kWh$_{el}$ gegenüber dem Emissionsfaktor von Strom aus dem deutschen Strommix in Höhe von 655 g CO_2e/kWh$_{el}$.

Abbildung 5-22: Jährliches Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) von 100.000 kWh konventioneller und umweltverträglicher elektrischer Energie (Bezugszeitraum 1 Jahr)



Quelle: Öko-Institut

Abbildung 5-22 stellt das jährliche Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) für die Nutzung von 100.000 kWh konventionell erzeugter elektrischer Energie und umweltverträglich erzeugter elektrischer Energie dar. Die Nutzung konventionellen Stroms führt zu einem jährlichen Treibhausgaspotenzial in Höhe von 65.500 Kilogramm CO_2-Äquivalenten. Wird dagegen zertifizierter Ökostrom eingesetzt, so liegt das jährliche Treibhausgaspotenzial bei 34.500 Kilogramm CO_2-Äquivalenten und reduziert damit die Treibhausgasemissionen gegenüber der konventionellen Variante um 31.000 Kilogramm pro Jahr (47 Prozent) ein.

Setzt man die Einsparung an Treibhausgasemissionen mit den Mehrkosten für den beschafften Ökostrom ins Verhältnis, so erhält man CO_2e-Vermeidungskosten (vgl. Kapitel 3.3) in Höhe von rund 21 Euro pro Tonne eingesparten CO_2-Äquivalenten. Dies stellt einen vergleichsweise

günstigen Wert dar und zeigt, dass die Ökostrom-Beschaffung eine vergleichsweise kostengünstige Maßnahme ist, Treibhausgasemissionen zu senken.

5.11.5. Fazit

Die Beschaffung umweltverträglicher elektrischer Energie in Form von zertifiziertem Ökostrom ist für eine angenommene Bezugsmenge von 100.000 kWh jährlich um rund 2 Prozent teurer als die von konventionellem Strom. Bezogen auf die Umweltwirkung führt der Einsatz von Ökostrom im Vergleich zu konventioneller elektrischer Energie entsprechend dem deutschen Kraftswerksmix zu einer Minderung der Treibhausgasemissionen von 47 Prozent. Dies bedeutet für 100.000 kWh Strom eine Einsparung von 31.000 Kilogramm CO_2-Äquivalenten pro Jahr. Die CO_2e-Vermeidungskosten liegen für Ökostrom bei rund 21 Euro pro Tonne eingesparten CO_2-Äquivalenten. Die Beschaffung von Ökostrom stellt damit eine vergleichsweise kostengünstige und einfach realisierbare Maßnahme dar, Treibhausgasemissionen zu senken.

5.12. Straßenbeleuchtung

5.12.1. Anforderungen

Die Beleuchtung von Straßen und Plätzen stellt für die öffentliche Hand eine anspruchsvolle Aufgabe mit erheblichen Investitions- und Betriebskosten dar. So ergab eine Untersuchung der Deutschen Energie-Agentur aus dem Jahr 2014, dass in Deutschland für Straßenbeleuchtung zirka 840 Millionen Euro für Personal, Wartung, Instandhaltung und Energiekosten aufgewendet werden (Dena 2014a). Den Großteil der Kosten machen dabei die Stromkosten zwischen 40 und 70 Prozent aus.

In dieser Untersuchung wird die Ausrüstung eines Straßenbeleuchtungssystems mit unterschiedlichen Leuchtentypen untersucht. Dabei wird davon ausgegangen, dass bestehende Trägersysteme, i.d.R. Laternenmasten, umgerüstet werden können. Die Masten selbst werden nicht berücksichtigt, da angenommen wird, dass sie für die unterschiedlichen Leuchtentypen identisch sind.

5.12.2. Produkteigenschaften

Als Produkt wird eine einzelne Straßenleuchte („Straßenlaterne“) untersucht, die täglich durchschnittlich 11 Stunden in Betrieb ist. Der bestehende Mast wird bei einem konventionellen Produkt mit einer Leuchte mit Natriumdampf-Hochdrucklampe ausgestattet, was eine weit verbreitete und bereits sehr energieeffiziente Lampentechnologie bei der Straßenbeleuchtung darstellt. Als energieeffizientes Straßenbeleuchtungs-Produkt wird eine Leuchte mit LED-Leuchtmittel eingesetzt. Das energieeffiziente Produkt ist zusätzlich noch mit einer Steuerung ausgestattet, die die Helligkeit der Leuchte entsprechend dem Bedarf (Umgebungslicht, Verkehrsaufkommen, Uhrzeit) für täglich 6 Stunden reduziert.

In Tabelle 5-8 sind die wirtschaftlichen und technischen Produkteigenschaften einer konventionellen und einer energieeffizienten Straßenbeleuchtung dokumentiert.

Tabelle 5-21: Produkteigenschaften konventionelle und energieeffiziente Straßenbeleuchtung

Wirtschaftliche und technische Produkteigenschaften	Einheit	Straßenbeleuchtung konventionell (Natriumdampf)	Straßenbeleuchtung energieeffizient (LED)
Einmalzahlungen zur Beschaffung des Produkts			
Anschaffungskosten pro Leuchte	€	2.000	4.000
Installationskosten pro Leuchte	€	1.000	1.000
Angaben zur Berechnung von verbrauchsbedingten Kosten			
Elektrische Leistung	W	800	600
Wartungskosten pro Wartungsintervall	€	500	1000
Wartungsintervalle in Jahren	a	4	10
Elektrische Leistung (Helligkeitsabsenkung)	W	800	300
Tägliche Betriebszeit	h/d	11	11
Tägliche Helligkeitsabsenkung	h/d	-	6
Nutzungsdauer	a	20	20

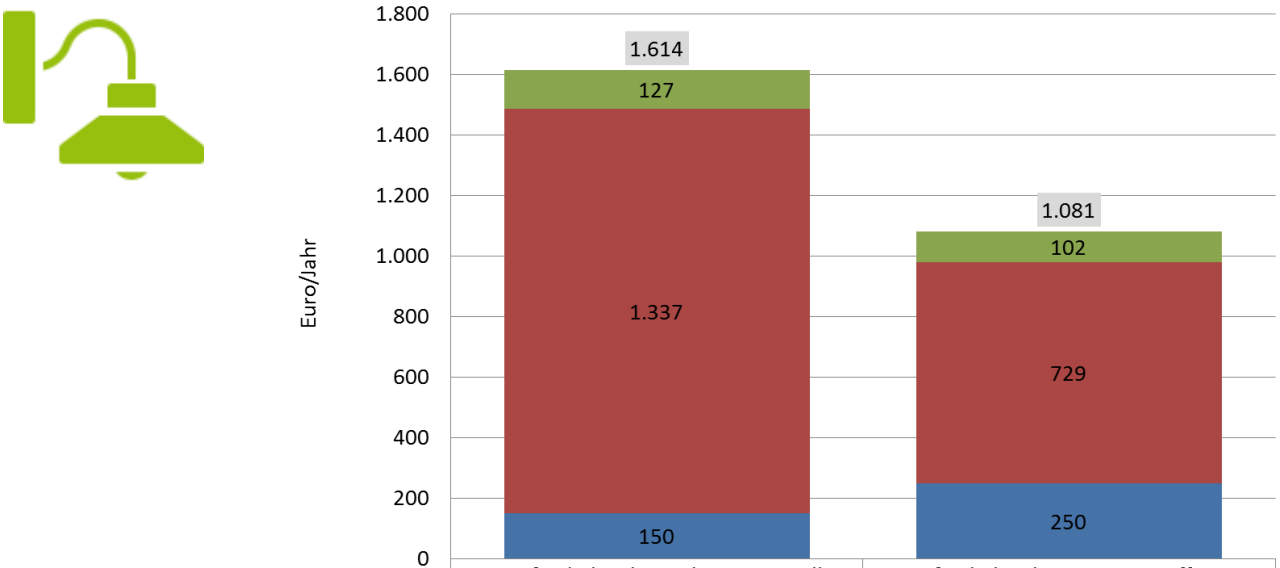
Quelle Lebenszykluskostenrechner Straßenbeleuchtung, Dena 2014b

5.12.3. Lebenszykluskosten

Die Lebenszykluskosten werden über einen Zeitraum von 20 Jahren (Nutzungsdauer) bestimmt. Innerhalb dieses Zeitraums müssen die Leuchtmittel mehrfach ausgetauscht werden (siehe Wartungsintervall). Als Kostenpositionen treten jährliche Energiekosten, jährliche Wartungskosten zum Tausch der Leuchtmittel und jährliche anteilige Beschaffungskosten auf. Wie oben beschrieben, ist die Wartung des Laternenmasten oder Befestigungssystems in der Berechnung nicht enthalten, da diese Kosten für beide Beleuchtungssysteme in gleicher Höhe auftreten.

In Abbildung 5-7 werden die Barwerte der jährlichen Kostenpositionen dargestellt.

Abbildung 5-23: Jährliche Lebenszykluskosten für konventionelle und energieeffiziente Straßenbeleuchtung über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren



	Straßenbeleuchtung konventionell (Natriumdampf)	Straßenbeleuchtung energieeffizient (LED)
Summe Lebenszykluskosten pro Jahr	1.614	1.081
Jährliche Wartungskosten Nutzungsphase	127	102
Jährliche Energiekosten Nutzungsphase	1.337	729
Anteilige Kosten Beschaffung pro Jahr	150	250

Quelle: Öko-Institut

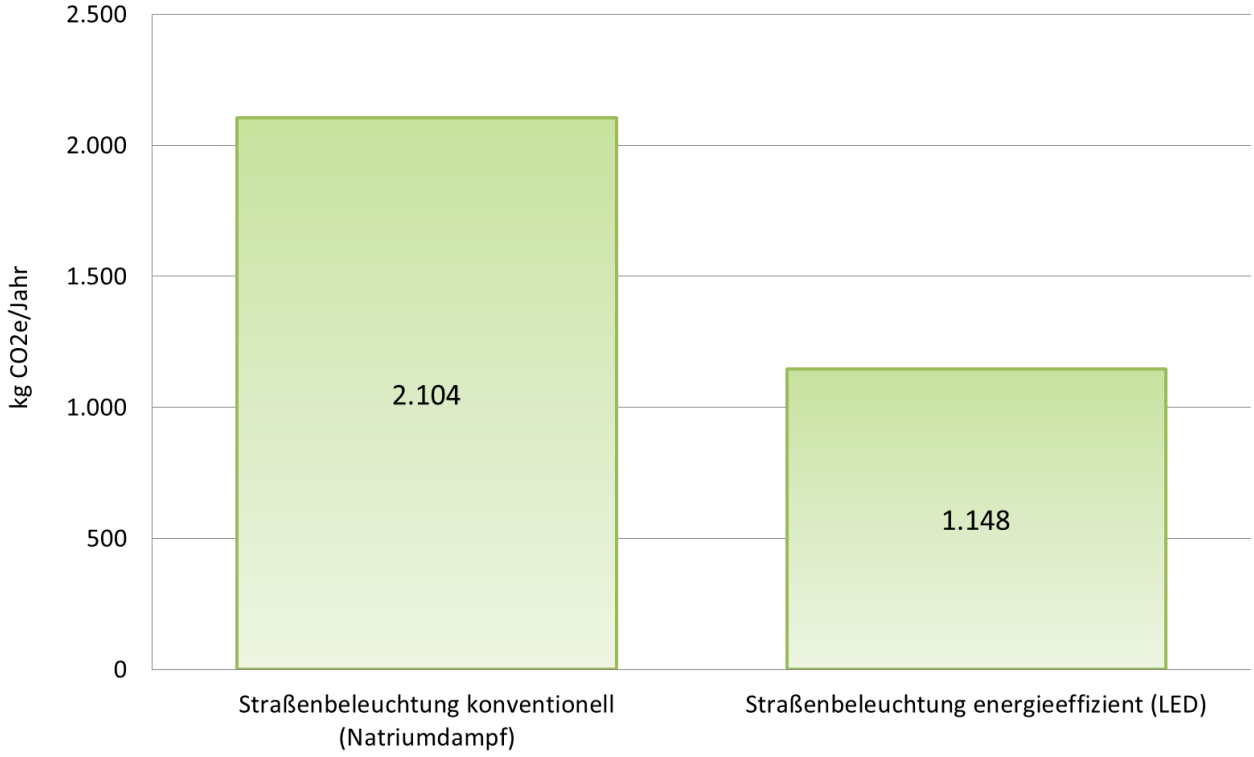
Die Beschaffungskosten konventioneller Straßenbeleuchtung liegen mit 150 Euro pro Jahr unter den Beschaffungskosten der energieeffizienten Variante mit 250 Euro pro Jahr. Demgegenüber sind die Energiekosten bei der konventionellen Straßenbeleuchtung mit 1.337 Euro deutlich höher als die der umweltverträglichen Variante mit 729 Euro pro Jahr. Die jährlichen Wartungskosten hingegen liegen bei der konventionellen Straßenbeleuchtung mit 127 Euro über den Wartungskosten der umweltverträglichen Variante mit 102 Euro. Von den drei Kostenpositionen dominieren deutlich die Energiekosten, weshalb eine höhere Energieeffizienz der Straßenbeleuchtung die Gesamtkosten wesentlich senken kann.

Die jährlichen Lebenszykluskosten betragen bei der konventionellen Straßenbeleuchtung 1.614 Euro pro Jahr. Bei der energieeffizienten Straßenbeleuchtung betragen die Lebenszykluskosten 1.081 Euro pro Jahr und liegen damit 533 Euro bzw. 33 Prozent unterhalb der konventionellen Beleuchtung.

5.12.4. Umweltwirkungen

Als Indikator für die Umweltwirkungen von Straßenbeleuchtungen wird in dieser Untersuchung das Treibhausgaspotenzial für die Nutzung der Beleuchtung während eines Jahres angesetzt. Das jährliche Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) berechnet sich dabei aus dem jährlichen Stromverbrauch. Die Umweltwirkungen zur Herstellung beider Leuchtmittel wurden vernachlässigt, da auch hier davon ausgegangen werden kann, dass der Energieverbrauch in der Nutzungsphase deutlich dominiert.

Abbildung 5-24: Jährliches Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) durch den Energieverbrauch einer konventionellen und energieeffizienten Straßenbeleuchtung



Quelle: Öko-Institut

Abbildung 5-24 stellt das jährliche Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) durch den Energieverbrauch einer einzelnen konventionellen und energieeffizienten Straßenleuchte dar. Die Nutzung einer konventionellen Straßenbeleuchtung führt zu einem jährlichen Treibhausgaspotenzial in Höhe von 2.104 Kilogramm CO_2-Äquivalenten. Wird dagegen eine energieeffiziente Straßenbeleuchtung eingesetzt, so liegt das jährliche Treibhausgaspotenzial bei 1.148 Kilogramm CO_2-Äquivalenten und spart damit gegenüber der konventionellen Variante 956 Kilogramm CO_2-Äquivalente pro Jahr (45 Prozent) ein.

5.12.5. Fazit

Die Beschaffung energieeffizienter Straßenbeleuchtung ist um 49 Prozent kostengünstiger als die von konventioneller Straßenbeleuchtung. Die höheren Anschaffungskosten werden über die eingesparten Energiekosten bereits innerhalb einer Nutzungsdauer von knapp drei Jahren amortisiert. Der Betrieb einer energieeffizienten „Straßenlaterne“ von täglich elf Stunden ist mit 45 Prozent weniger Treibhausgasemissionen verbunden und spart damit 956 Kilogramm CO_2-Äquivalente pro Jahr ein.

5.13. Gewerbeabfall

5.13.1. Anforderungen

Abfälle, die in Verwaltungen, Schulen und Hochschulen und anderen öffentlichen Einrichtungen anfallen, werden als gemischte gewerbliche Siedlungsabfälle bezeichnet. Solche Gewerbeabfälle enthalten gemäß einer Studie des Umweltbundesamtes (Dehne et al. 2015) erhebliche Mengen an Sekundärrohstoffen, wie Kunststoffe, Papierprodukte, Textilien, Holz, Organik und Metalle. Das Kreislaufwirtschaftsgesetzes legt in der sogenannten Abfallhierarchie (§6 KrWG) fest, dass bei der Abfallbewirtschaftung in folgender Rangfolge vorgegangen werden muss:

1. Vermeidung,
2. Vorbereitung zur Wiederverwendung,
3. Recycling,
4. sonstige Verwertung, insbesondere energetische Verwertung und Verfüllung,
5. Beseitigung.

Das Recycling von Abfällen (Punkt 3) muss nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz also der energetischen Verwertung, also beispielsweise der Verbrennung in einer Müllverbrennungsanlage mit energetischer Verwertung (Punkt 4), vorgezogen werden. So können die in Gewerbeabfällen enthaltenen Sekundärrohstoffe zu einem relevanten Anteil dem Recycling zugeführt werden, was sowohl Ressourcen schont als auch nachhaltig zum Klimaschutz beiträgt.

Die Entsorgung von Gewerbeabfall erfolgt bei öffentlichen Verwaltungen über Verträge mit einem Abfallentsorger. Ausgeschrieben wird die Entleerung von Müllcontainern in einem bestimmten Intervall über eine definierte Laufzeit. In der Praxis erfolgt dies in der Regel über Müllcontainer mit einem Fassungsvermögen von 1.100 Litern, die ein durchschnittliches Abfallgewicht von 100 Kilogramm aufnehmen können und wöchentlich geleert werden.

In dieser Untersuchung wird die Entsorgung von 5.000 Kilogramm gemischter gewerblicher Siedlungsabfälle als Beschaffungsgegenstand angenommen. Dies entspricht in etwa der wöchentlichen Leerung eines 1.100 Liter-Müllcontainers über den Zeitraum eines Jahres.

Tabelle 5-22: Leistungsmerkmale der Dienstleistung Gewerbeabfallentsorgung

Anforderungen	Eigenschaften
Behältergröße	1.100 Liter
Abfallgewicht pro Behälter	100 kg
Abfallart	Hausmüllähnlicher Gewerbeabfall
Leerungshäufigkeit	1 mal pro Woche
Leerungen pro Jahr	50
Abfallmenge (berechnet)	5.000 kg pro Jahr

Quelle: Öko-Institut, Berliner Stadtreinigung (BSR)

5.13.2. Eigenschaften der Dienstleistung

Als konventionelle Variante wird davon ausgegangen, dass die Abfallentsorgung über die Verbrennung in einer Müllverbrennungsanlage (MVA) eines öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgers erfolgt. Der Müll wird nicht getrennt oder vorbehandelt, sondern komplett energetisch verwertet, d.h. in einem Müllheizkraftwerk verbrannt und in Strom und Wärme umgewandelt. In der umweltverträglichen Entsorgungsvariante wird der Abfall dagegen getrennt und soweit wie möglich einer stofflichen Verwertung (Recycling) zugeführt.

Beide Entsorgungsvarianten führen nach abfallwirtschaftlichen Berechnungen zu einer Gutschrift an CO_2-Äquivalenten, da sowohl die energetische als auch die stoffliche Nutzung des Abfalls als positiver Umweltnutzen gewertet wird. Die Höhe der Treibhausgas-Gutschriften für die jeweilige Entsorgungsvariante wurde auf Grundlage der Ergebnisse der im Rahmen der Studie des Umweltbundesamtes (Dehne et al. 2015) durchgeführten Ökobilanzen berechnet.

Die Entsorgungskosten für die konventionelle Entsorgung über die Müllverbrennungsanlage wurden aus Behandlungspreisen für Gewerbeabfall berechnet, die der Branchendienst EUWID im Oktober 2014 bei Entsorgern ermittelt hat (EUWID 2014). Die Preise können dabei regional deutlich variieren, abhängig davon wie stark die jeweiligen Müllverbrennungsanlagen nachgefragt sind. Eine stärkere Nachfrage entsteht beispielsweise durch den Import von Abfall aus Großbritannien. So waren im Jahr 2014 Müllverbrennungsanlagen in Norddeutschland stark nachgefragt und damit vergleichsweise teuer (80 bis 130 Euro/Tonne$_{Abfall}$), wohingegen die Abfallverbrennung in Süddeutschland bei weniger stark belieferten MVAs vergleichsweise günstig war (mit 55 bis 100 Euro/Tonne$_{Abfall}$). Mit der Durchschnittsbildung über alle von EUWID erfassten Regionen (87 Euro/Tonne$_{Abfall}$) wird ein Entsorgungspreis gewählt, der den bundesweiten Durchschnitt repräsentiert.

Die stoffliche Verwertung von Abfall ist derzeit noch teurer als die Verbrennung, da zusätzlich Investitionen in Sortieranlagen und Personalkosten anfallen, die nur zum Teil durch den Verkauf der Sekundärrohstoffe aufgewogen werden. Da beide Entsorgungskonzepte jedoch in Konkurrenz zueinander stehen und die nicht verwertbaren Reststoffe wiederum in die Verbrennung gehen, gibt es einen preislichen Zusammenhang zwischen MVA und Recycling. In der Studie des Umweltbundesamtes (Dehne et al. 2015) wird der Zusammenhang zwischen Verbrennungspreisen und Gesamtkosten von Sortieranlagen mit 40-prozentiger Wertstoffausbeute dargestellt. Aus den für die vorliegende Untersuchung angesetzten durchschnittlichen Verbrennungspreisen von 87 Euro pro Tonne Abfall ergeben sich Gesamtkosten für die stoffliche Verwertung, die abhängig von der Erlössituation für die aussortierten Wertstoffe zwischen 87 und 103 Euro variieren. Für diese Untersuchung wird ein Mittelwert der Recyclingkosten von 95 Euro pro Tonne Abfall angesetzt.

In Tabelle 5-23 sind die wirtschaftlichen und ökologischen Eigenschaften der Dienstleistung zur konventionellen und umweltverträglichen Entsorgung von Gewerbeabfall dokumentiert.

Tabelle 5-23: Eigenschaften der Dienstleistung zur konventionellen und umweltverträglichen Entsorgung von Gewerbeabfall

Wirtschaftliche und technische Produkteigenschaften	Einheit	Gewerbeabfall konventionell entsorgt (energetische Verwertung)	Gewerbeabfall umweltverträglich entsorgt (Recycling)
Angaben zur Berechnung der Entsorgungskosten			
Entsorgungskosten Gewerbeabfall	€/t	87	95
Gutschrift Treibhausgaspotenzial Entsorgung	kg CO_2e/t	19	603

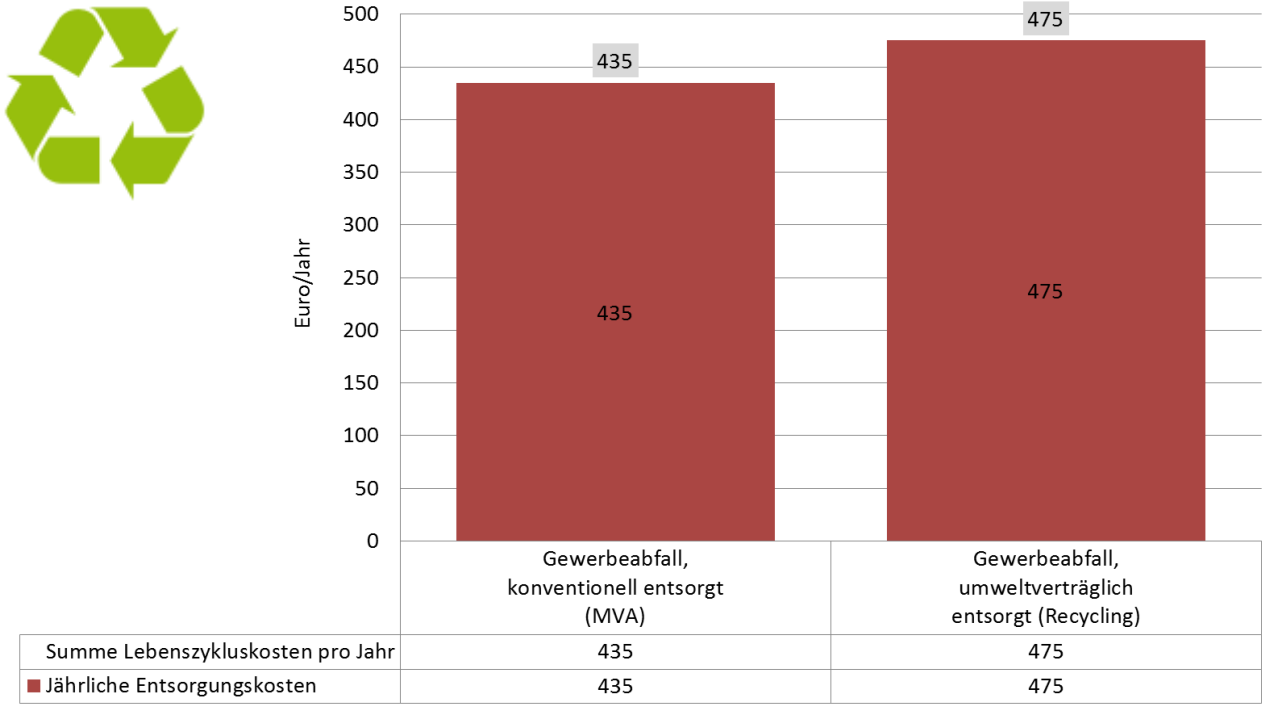
Quelle: Eigene Berechnungen nach EUWID 2014, Dehne et al. 2015

5.13.3. Lebenszykluskosten

Die Berechnung der Lebenszykluskosten erfolgt über einen Betrachtungszeitraum von einem Jahr. Als Kostenpositionen treten in diesem Fall nur die Entsorgungskosten auf.

In Abbildung 5-25 werden die Kosten zur Leerung und Entsorgung von 50 Behältern Gewerbeabfall pro Jahr dargestellt. Dies entspricht einer entsorgten Menge von 5 Tonnen Gewerbeabfall pro Jahr.

Abbildung 5-25: Entsorgungskosten für konventionelle und umweltverträgliche Entsorgung von 5 Tonnen Gewerbeabfall (Betrachtungszeitraum 1 Jahr)



Quelle: Öko-Institut

Die Entsorgungskosten für konventionelle Entsorgung von Gewerbeabfall in einer Müllverbrennungsanlage (MVA) liegen bei 435 Euro pro Jahr. Die Kosten für das umweltverträglichere Sortieren und das Recycling von Gewerbeabfall liegen bei 475 Euro pro Jahr und damit um 40 Euro bzw. 9% höher als die konventionelle Entsorgungsvariante.

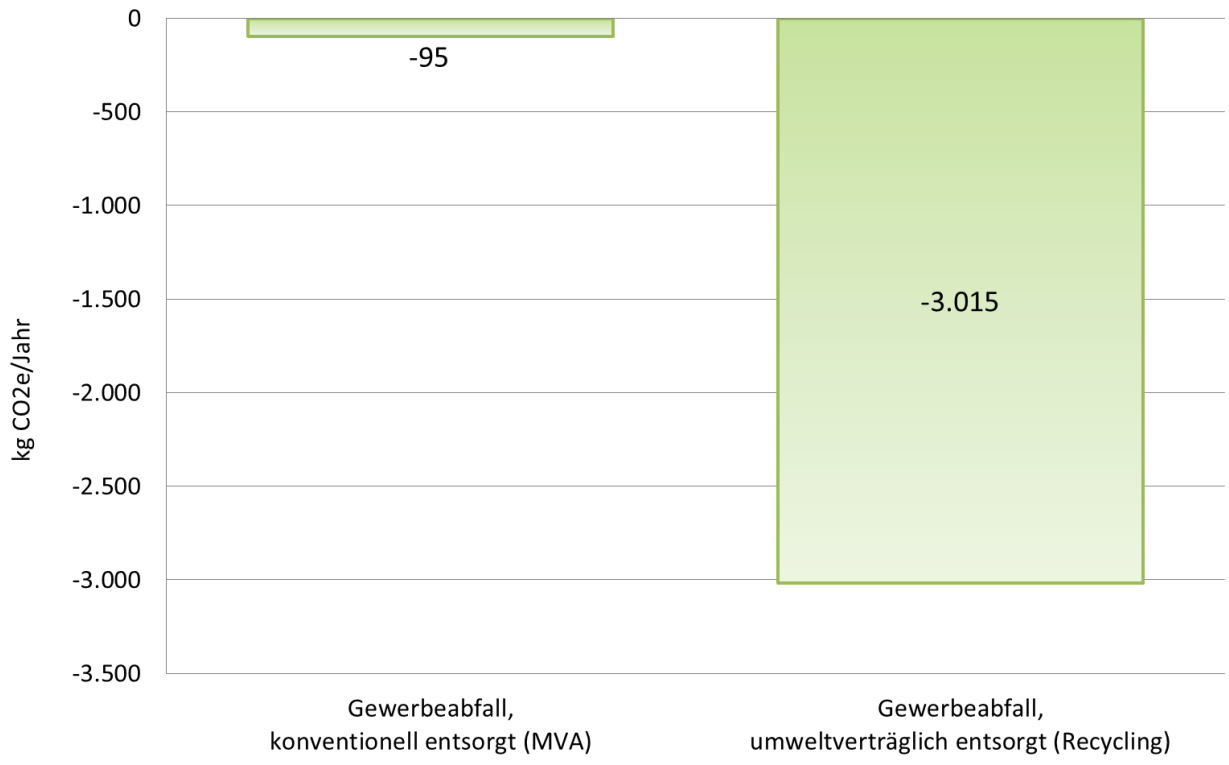
5.13.4. Umweltwirkungen

Bei der konventionellen Entsorgungsvariante, der Verbrennung von Abfall in Müllheizkraftwerken, wird die erzeugte Wärme durch Kraft-Wärme-Kopplung sowohl zur Stromerzeugung als auch zur Einspeisung in Fernwärmenetze genutzt. Dadurch reduziert sich der Einsatz an Erdgas und Kohle in fossil befeuerten Heizkraftwerken. Durch die Verbrennung von Abfällen wird demnach indirekt fossiler Brennstoff eingespart. Dies macht sich in der Umweltwirkung von Müllverbrennung als Gutschrift an Treibhausgaspotenzial bemerkbar.

Bei der umweltverträglichen Entsorgung (Recycling) werden dagegen Sekundärrohstoffe, wie beispielsweise Kunststoffe, Metalle und Papier gewonnen, die den Ressourcen- und Energieeinsatz für deren Neuproduktion reduzieren. Auch dies führt zu einer Einsparung an Treibhausgaspotenzial gegenüber der Neuproduktion dieser Materialien, was sich als Gutschrift bemerkbar macht.

Als gemeinsamer Indikator für die Umweltwirkungen bei der Entsorgung von Gewerbeabfällen wird in dieser Untersuchung daher die Gutschrift an Treibhausgaspotenzial angesetzt. Die Gutschriften stellen sich in Abbildung 5-26 als negatives Treibhausgaspotenzial dar.

Abbildung 5-26: Jährliches Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) durch konventionelle und umweltverträgliche Entsorgung von 5 Tonnen Gewerbeabfall



Quelle: Öko-Institut

Abbildung 5-26 stellt das jährliche Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) durch die konventionelle und umweltverträgliche Entsorgung von 5 Tonnen Gewerbeabfall dar. Die konventionelle Entsorgung über die Müllverbrennungsanlage führt zu einem jährlichen Treibhausgaspotenzial in Höhe von -95 Kilogramm CO_2-Äquivalenten, d. h. zu einer Gutschrift in Höhe von 95 Kilogramm. Wird der Gewerbeabfall dagegen umweltverträglich entsorgt (recycelt), so liegt die Gutschrift des jährlichen Treibhausgaspotenzials durch erzeugte Sekundärrohstoffe bei 3.015 Kilogramm CO_2-Äquivalenten. Durch das Recycling von Gewerbeabfall kann eine um 2.920 Kilogramm höhere Treibhausgas-Gutschrift pro Jahr erreicht werden, als bei der konventionellen Entsorgungsvariante 31-mal mehr). Berechnet man aus dem Verhältnis der Mehrkosten für die umweltverträgliche Entsorgung zu den damit eingesparten Treibhausgasemissionen die CO_2e-Vermeidungskosten (vgl. Kapitel 3.3), so erhält man Vermeidungskosten in Höhe von rund 14 Euro pro Tonne eingesparten CO_2-Äquivalenten, was die geringsten (positiven) CO_2e-Vermeidungskosten innerhalb dieser Untersuchung darstellt.

5.13.5. Fazit

Die Kosten für eine umweltverträgliche Entsorgung von gewerblichen Abfällen (Recycling) liegen um 9 Prozent höher als die konventionelle Entsorgung in einer Müllverbrennungsanlage. Die umweltverträgliche Entsorgung ist im Vergleich zur konventionellen Entsorgung mit einer um den Faktor 31 höheren Treibhausgas-Gutschrift verbunden. Bei einer Menge von fünf Tonnen Gewerbeabfall entspricht dies einer zusätzlichen Treibhausgas-Gutschrift von rund 3 Tonnen CO_2-Äquivalenten pro Jahr. Die CO_2e-Vermeidungskosten von rund 14 Euro pro Tonne eingesparten CO_2-Äquivalenten stellen einen sehr günstigen Wert dar. Die umweltverträgliche Entsorgung von Gewerbeabfall ist daher ebenfalls eine kostengünstige und einfach realisierbare Maßnahme, um Treibhausgasemissionen zu senken.

5.14. PKWs

5.14.1. Anforderungen

Als Fahrzeug wird in dieser Untersuchung ein Personenkraftwagen (PKW) der Größenklasse „Mini“ gewählt. Diese Kategorie bzw. diesem Segment werden vom Kraftfahrt-Bundesamt Personenwagen zugeordnet, die unterhalb der Größe von Kleinwagen eingestuft werden.

Der verwaltungstypische Einsatzzweck eines solchen PKWs ist es, Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zum Beispiel für Außenbesichtigungen innerhalb der Stadt und näheren Umgebung von der festen Arbeitsstätte zum variablen Einsatzort zu bringen.

In Tabelle 5-24 werden die erforderlichen Leistungsmerkmale dokumentiert.

Tabelle 5-24: Leistungsmerkmale eines PKWs für Fahrten innerhalb der Stadt

Fahrzeugsegment[37]	Beispielhafte Modelle
Kleinstwagen / Mini	VW up!, Fiat 500, Renault Twingo, Hyundai i10
Nutzungsdauer	4 Jahre

Quelle: KBA 2014

5.14.2. Produkteigenschaften

Für Personenkraftwagen gilt die PKW-Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung (PKW-EnVKV)[38], die am 01.12.2011 in Kraft getreten ist. Sie dient der Bewertung und Kennzeichnung der Energieeffizienz von Kraftfahrzeugen innerhalb der jeweiligen Fahrzeugklasse.

Als konventioneller PKW wurde ein benzinbetriebenes Fahrzeug mit der Effizienzklasse B gewählt.

Als umweltverträglicher PKW wurde aus der gleichen Modellreihe eines mit Erdgasantrieb und der Effizienzklasse A+ gewählt. Dies entspricht derzeit der höchsten verfügbaren Effizienzklasse.

In Tabelle 5-25 sind die wirtschaftlichen, technischen und ökologischen Produkteigenschaften des konventionellen und des umweltverträglichen PKWs dokumentiert.

Tabelle 5-25: Produkteigenschaften konventionelle und umweltverträgliche PKWs

Wirtschaftliche und technische Produkteigenschaften	Einheit	PKW konventionell (Benzin, B)	PKW umweltverträglich (Erdgas, A+)
Einmalzahlungen zur Beschaffung des Produkts			
Einkaufspreis	€	10.375	12.950
Angaben zur Berechnung / Umwelteigenschaften des Produkts			
Kraftstoffverbrauch (kombiniert)	l bzw. kg/100 km	4,10	2,90
Werkstattkosten	€/a	468	492
Wertverlust	€/Monat	167	190
Effizienzklasse	-	B	A+
CO_2-Emissionsfaktor	g_{CO2}/km	95	79

Quelle: www.volkswagen.de, ADAC 2014

[37] Eine verbindliche „Formel“ für die Zuordnung der Segmente des Kraftfahrt-Bundesamts gibt es nicht. Neben dem optischen Erscheinungsbild dienen diverse Merkmale als Abgrenzungskriterien, die gegebenenfalls mit herangezogen werden. Daher werden hier exemplarisch Modelle aus dem Segment „Mini“ aufgeführt. (KBA 2011).

[38] Verordnung über Verbraucherinformationen zu Kraftstoffverbrauch, CO2-Emissionen und Stromverbrauch neuer Personenkraftwagen (PKW-Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung – PKW-EnVKV): http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/pkw-envkv/gesamt.pdf

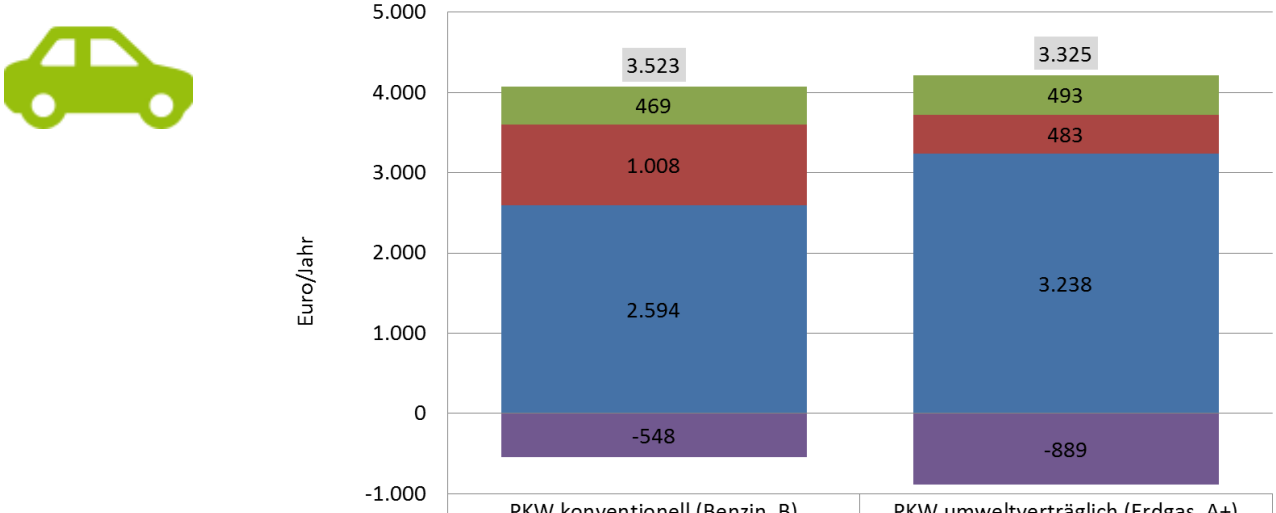
5.14.3. Lebenszykluskosten

Die Berechnung der Lebenszykluskosten erfolgt in Anlehnung an die Annahmen des ADAC zur Berechnung der Autokosten 2014. Hier wird angenommen, dass das Auto vier Jahre gefahren wird und in dieser Zeit 60.000 Kilometer zurücklegt. Dies entspricht einer jährlichen Fahrleistung von 15.000 Kilometern (ADAC 2014) und einer täglichen Fahrleistung von rund 60 Kilometer pro Arbeitstag.

Als Kostenpositionen treten jährliche Kraftstoff- und Werkstattkosten und jährliche anteilige Beschaffungskosten auf. Darüber hinaus findet ein monatlicher Wertverlust statt, der nach der Nutzungszeit von 4 Jahren in einem Restwert (Wiederverkaufswert) des Fahrzeugs mündet. Zur Berechnung der Lebenszykluskosten wurde der Restwert am Ende der Nutzungsdauer in jährliche Gutschriften zurück gerechnet. Die Summe der jährlichen Gutschriften entspricht dabei dem diskontierten Restwert.

In Abbildung 5-27 werden die Barwerte der jährlichen Kostenpositionen dargestellt.

Abbildung 5-27: Jährliche Lebenszykluskosten für Benzin und Erdgas betriebene PKWs über einen Betrachtungszeitraum von 4 Jahren und 15.000 km/Jahr



	PKW konventionell (Benzin, B)	PKW umweltverträglich (Erdgas, A+)
Summe Lebenszykluskosten pro Jahr	3.523	3.325
Gutschrift Fahrzeugverkauf am Nutzungsende pro Jahr	-548	-889
Jährliche Werkstattkosten Nutzungsphase	469	493
Jährliche Kraftstoffkosten Nutzungsphase	1.008	483
Anteilige Kosten Beschaffung pro Jahr	2.594	3.238

Quelle: Öko-Institut

Die Beschaffungskosten des konventionellen PKWs liegen mit 2.594 Euro pro Jahr unter den Beschaffungskosten des umweltverträglichen Erdgas-PKWs mit 3.238 Euro pro Jahr. Demgegenüber sind die Kraftstoffkosten beim konventionellen PKW mit 1.008 Euro deutlich höher als die der umweltverträglichen Variante mit 483 Euro pro Jahr. Die jährlichen Werkstattkosten unterscheiden sich mit 469 Euro bei dem konventionellen PKW im Vergleich zu 493°Euro bei der umweltverträglichen Erdgas-Variante nur geringfügig. Der Restwert beider Fahrzeuge, der hier durch jährliche Gutschriften für den Fahrzeugverkauf am Nutzungsende repräsentiert wird, unterscheidet sich ebenfalls. Das Benzin-Fahrzeug hat eine jährliche Gutschrift von 548 Euro,

während die Gutschrift des Erdgas-Fahrzeugs mit 889 Euro pro Jahr um den Betrag 341 Euro höher liegt.

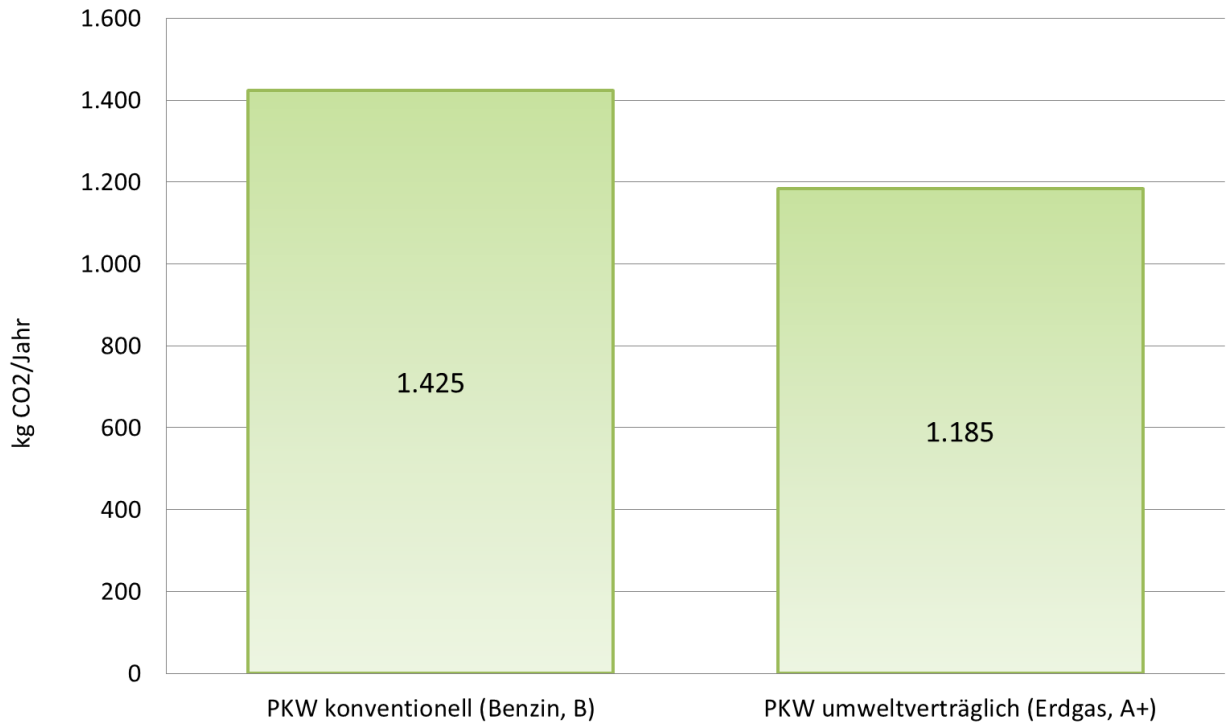
Die Summe der jährlichen Lebenszykluskosten beträgt beim konventionellen PKW 3.523 Euro pro Jahr. Beim umweltverträglichen PKW betragen die Lebenszykluskosten 3.325 Euro pro Jahr und liegen damit 198 Euro unterhalb des konventionellen PKWs (minus 6 Prozent).

5.14.4. Umweltwirkungen

Als Indikator für die Umweltwirkungen werden bei den PKWs abweichend von der übrigen Untersuchung die jährlichen Kohlendioxidemissionen bei der Verbrennung der Treibstoffe gemäß Pkw-Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung (vgl. Kapitel 3.2) angesetzt. Die Emissionen bei der Herstellung der Treibstoffe und die Entstehung anderer klimarelevanter Gase bei der Verbrennung im Motor, werden vernachlässigt. Die jährlichen Kohlendioxidemissionen (CO_2) berechnen sich aus der jährlichen Fahrleistung multipliziert mit dem vom Hersteller angegebenen CO_2-Emissionsfaktor. Es muss davon ausgegangen werden, dass die CO_2-Äquivalenzemissionen beider Fahrzeuge etwas höher als der reine CO_2-Wert liegen.

Die Herstellung und Entsorgung der Fahrzeuge wurde nicht berücksichtigt, da für den Vergleich beider Beschaffungsvarianten davon ausgegangen werden kann, dass die Umweltbelastungen für beide identisch sind.

Abbildung 5-28: Jährliche Kohlendioxidemissionen (CO_2) durch Treibstoffverbrauch für Benzin und Erdgas betriebene PKWs bei 15.000 km/Jahr



Quelle: Öko-Institut

Abbildung 5-28 stellt die jährlichen Treibhausgasemissionen (CO_2) durch die Nutzung eines konventionellen und umweltverträglichen PKWs dar. Die Nutzung des konventionellen PKWs führt

bei einer jährlichen Fahrleistung von 15.000 Kilometern zu jährlichen Treibhausemissionen in Höhe von 1.425 Kilogramm CO_2. Wird dagegen ein umweltverträglicher Erdgas-PKW genutzt, so liegen die jährlichen Treibhausgasemissionen bei 1.185 Kilogramm CO_2. Der umweltverträgliche PKW spart gegenüber der konventionellen Variante 240 Kilogramm CO_2 pro Jahr (minus 17 Prozent) ein.

5.14.5. Fazit

Die Lebenszykluskosten der Beschaffung eines umweltverträglichen Erdgas-PKWs sind um rund sechs Prozent geringer als die der Beschaffung eines konventionellen Benzin-PKWs. Die um 20 Prozent höheren Anschaffungs- und leicht höheren Werkstattkosten während der Nutzung werden über eingesparte Kraftstoffkosten und die jährliche Gutschrift für den Fahrzeugverkauf am Nutzungsende innerhalb von knapp drei Jahren amortisiert. Die Nutzung des umweltverträglichen Erdgas-PKWs ist mit 17 Prozent weniger Treibhausgasemissionen verbunden und spart damit bei einer jährlichen Fahrleistung von 15.000 Kilometern 240 Kilogramm CO_2 pro Jahr ein.

5.15. Baumaschinen

5.15.1. Anforderungen

Die meisten Baumaschinen werden mit Verbrennungsmotoren betrieben, die dabei im erheblichen Maße Geräusche, Abgase und Partikel erzeugen. Allein in Berlin werden pro Jahr zwischen 90 bis 170 Tonnen Rußpartikel durch Baumaschinen emittiert (SenStadtUm 2015a). Damit liegen die Rußpartikelemissionen aus Baumaschinen in der gleichen Größenordnung wie die Rußpartikelemissionen aus dem gesamten Berliner Kfz-Verkehr (142 Tonnen). Baumaschinen und deren Partikelemissionen stellen daher einen wichtigen Ansatzpunkt dar, die Feinstaubbelastung in Städten wie Berlin zu reduzieren.

Es gibt eine Vielzahl von Typen von Baumaschinen, die vor allem in der Land-, Bau- und Forstwirtschaft eingesetzt werden. Der Fokus wird hier auf einen Radlader gelegt, der in den verschiedenen Sektoren häufig zum Einsatz kommt. Ein Radlader ist ein Fahrbagger mit wechselbaren Schaufeln zum Laden, Lösen und Transportieren von Erdreich und Schüttgütern über kurze Strecken, wie er bei öffentlichen Bauvorhaben im Landschaftsbau, bei Erdarbeiten im Hochbau sowie im Straßenbau häufig eingesetzt wird.

Baumaschinen werden durch die öffentliche Hand (beispielsweise von Gartenbauämtern und Stadtreinigung) teilweise selbst beschafft. Die häufigere Anwendung von Baumaschinen ist jedoch die Beschaffung von Baudienstleistungen, die durch private Unternehmen ausgeführt werden. Für diese Untersuchung wird daher die Beschaffung der Nutzung von Baumaschinen als Dienstleistung angesetzt. Bei der Ausschreibung von Bauleistungen können die Anforderungen an die eingesetzten Maschinen vom Auftraggeber in den Auftragsdurchführungsklauseln festgeschrieben werden.

Vereinfachend werden Baumaschinen mit den oben beschriebenen Radladern gleichgesetzt, ungeachtet dessen, ob auch andere Baumaschinen, wie Krane, Kompressoren, Betonmischer, Rüttler usw., zum Einsatz kommen. Für Baumaschinen exemplarischer Beschaffungsgegenstand ist die Nutzung eines Radladers im Rahmen eines Bauvorhabens über einen Zeitraum von 1 Jahr.

In Tabelle 5-7 werden die erforderlichen Leistungsmerkmale dokumentiert.

Tabelle 5-26: Leistungsmerkmale einer Baumaschine am Beispiel Radlader

Anforderungen	Eigenschaften
Baumaschinentyp	Radlader
Motorleistung	56 kW
Nutzungsdauer	10 Jahre

Quelle: Öko-Institut

5.15.2. Produkteigenschaften

Die Schadstoffemissionen mobiler Baumaschinen werden über die EU-Richtlinie 97/68/EG begrenzt. Für neue Baumaschinen gelten in dem hier betrachteten Leistungsbereich (37 – 56 kW) seit dem Jahr 2013 die Grenzwerte der Emissionsstufe III B. Die zulässigen Partikelemissionen liegen in dieser Emissionsstufe bei 0,025 g/kWh.

Nach Auskunft des Referats Immissionsschutz der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin kommen auf Berliner Baustellen jedoch überwiegend Maschinen zum Einsatz, die vor dem Jahr 2013 in Verkehr gebracht wurden. Für diese Maschinen gilt noch der alte Grenzwert der Emissionsstufe III A in Höhe von 0,4 g/kWh.

Als konventionelle Baumaschine wurde daher im Rahmen dieser Untersuchung die Nutzung einer Baumaschine gewählt, die der Emissionsstufe III A der Richtlinie entspricht und die gerade diesen Grenzwert erreicht. Der konventionelle Radlader ist nicht mit einem Partikelfilter ausgestattet.

Als umweltverträgliche Baumaschine wurde ein Radlader gewählt, der ausgehend von der Emissionsstufe III A mit einem Partikelfilter nachgerüstet wurde. Der Filter hält 90 Prozent der Partikelemissionen zurück. Die Nachrüstung und Instandhaltung des Filters ist mit Kosten verbunden, die auf die Nutzungskosten umgelegt werden.

In Tabelle 5-8 sind die wirtschaftlichen und technischen Produkteigenschaften des konventionellen und des energieeffizienten Radladers dokumentiert. Die beiden Maschinen unterscheiden sich nur dadurch, dass die umweltverträgliche Baumaschine mit einem Partikelfilter nachgerüstet wurde, was wiederum Einfluss auf die laufenden Kosten hat. Die Höhe des Einkaufspreises des Radladers wurde vereinfachend aus Literaturwerten (Helms & Heidt 2014) ermittelt. Da für beide Maschinen der gleiche Einkaufspreis angesetzt wurde, heben sich Unsicherheiten des Preises beim Vergleich beider Maschinen auf.

Tabelle 5-27: Produkteigenschaften konventionelle und umweltverträgliche Baumaschine

Wirtschaftliche und technische Produkteigenschaften	Einheit	Radlader konventionell	Radlader umweltverträglich
Einmalzahlungen zur Beschaffung des Produkts			
Einkaufspreis	€	160.000	160.000
Preis Partikelfilter inkl. Montage	€	-	6.000
Angaben zur Berechnung von verbrauchsbedingten Kosten und Emissionen			
Betriebsstunden pro Jahr	h/a	834	834
Lastfaktor	-	0,33	0,33
Laufende Kosten für Filter (im 1. Jahr)	€/a	-	450
Emissionsstufe (EU-Richtlinie 97/68/EG)	-	III A (37..75 kW)	III A (37..75 kW) – 90%
Emissionswert Partikelemissionen (PM)	g/kWh	0,40	0,04
Treibhausgaspotenzial Dieselruß (GWP100)	kg CO_2e/kg	680	680
Jährlicher Kraftstoffverbrauch	l/a	1.545	1.576

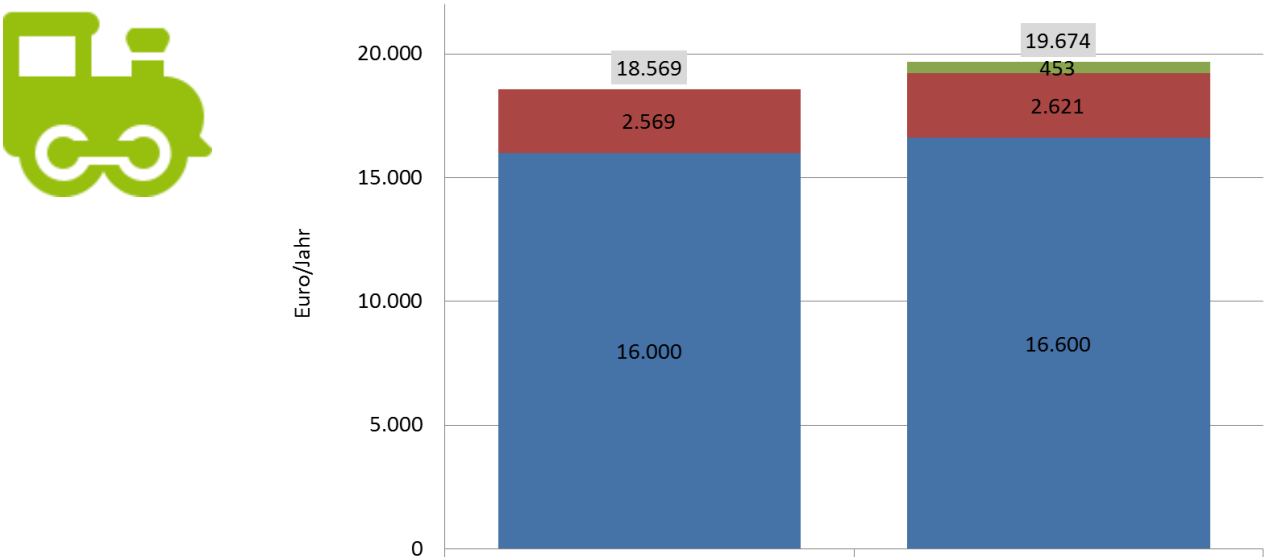
Quellen: Helms & Heidt 2014, Richtlinie 97/68/EG, Bond & Sun 2005, SenStadtUm 2015

5.15.3. Lebenszykluskosten

Radlader haben eine Nutzungsdauer von rund 10 Jahren. Die Berechnung der jährlichen Lebenszykluskosten erfolgt über diesen Zeitraum. Als Kostenpositionen treten jährliche Kosten für den Partikelfilter, jährliche Kraftstoffkosten und jährliche anteilige Beschaffungskosten auf.

In Abbildung 5-7 werden die Barwerte der jährlichen Kostenpositionen dargestellt.

Abbildung 5-29: Jährliche Lebenszykluskosten konventionelle und umweltverträgliche Baumaschinen über einen Betrachtungszeitraum von 10 Jahren



	Baumaschine konventionell (Emissionsstufe IIIA)	Baumaschine umweltverträglich (mit Partikelfilter)
Summe Lebenszykluskosten pro Jahr	18.569	19.674
Jährliche Filterkosten Nutzungsphase	0	453
Jährliche Kraftstoffkosten Nutzungsphase	2.569	2.621
Anteilige Kosten Beschaffung	16.000	16.600

Quelle: Öko-Institut

Da der umweltverträgliche Radlader nachträglich mit einem Dieselruß-Partikelfilter ausgestattet wird, sind die Beschaffungskosten des umweltverträglichen Radladers mit 16.600 Euro etwas höher als die des konventionellen mit 16.000 Euro pro Jahr. In der Nutzungsphase fallen für den umweltverträglichen Radlader für die Wartung und Regeneration des Filters Kosten in Höhe von 453 Euro pro Jahr an. Die Kraftstoffkosten sind bei dem umweltverträglichen Radlader aufgrund des Gegendrucks, den der Partikelfilter im Abgasweg erzeugt, um 2 Prozent erhöht. Sie liegen bei der Baumaschine mit Partikelfilter bei 2.621 Euro pro Jahr gegenüber 2.569 Euro pro Jahr bei der Baumaschine ohne Filter (Mehrkosten 52 Euro pro Jahr). Die Summe der jährlichen Lebenszykluskosten beträgt beim konventionellen Radlader 18.569 Euro pro Jahr. Beim umweltverträglichen Radlader betragen die Lebenszykluskosten 19.674 Euro pro Jahr und liegen damit 1.105 Euro (6 Prozent) oberhalb des konventionellen Radladers.

In der Berechnung der jährlichen Lebenszykluskosten wurden die externen Umweltkosten, die durch die Partikelemissionen für die Allgemeinheit entstehen, nicht berücksichtigt. Der im Rahmen dieser Untersuchung verwendete Berechnungsansatz für Lebenszykluskosten (vgl. Kapitel 3.1.1 Punkt 4 Akteursspezifische Kostenerfassung) betrachtet lediglich die Kosten, die für den Beschaffer bzw. die öffentliche Hand entstehen. Würde man zusätzlich die Umweltkosten[39] der Partikelemissionen berücksichtigen, so verursacht der konventionelle Radlader zusätzliche Kosten in Höhe von rund 2.200 Euro pro Jahr. Der umweltverträgliche Radlader weist dem gegenüber Umweltkosten für Partikelemissionen von nur 220 Euro pro Jahr auf (minus 1.980 Euro). In

[39] Eine Methodenkonvention des Umweltbundesamtes zur Schätzung von Umweltkosten beziffert die durchschnittlichen Umweltkosten von lungengängigem Feinstaub ($PM_{2.5}$) innerorts in Deutschland mit 364,10 €/kg (Schwermer 2012)

Summe liegen die Kosten der umweltverträglichen Baumaschine inklusive Umweltkosten um 4 Prozent unterhalb der Gesamtkosten der konventionellen Baumaschine.

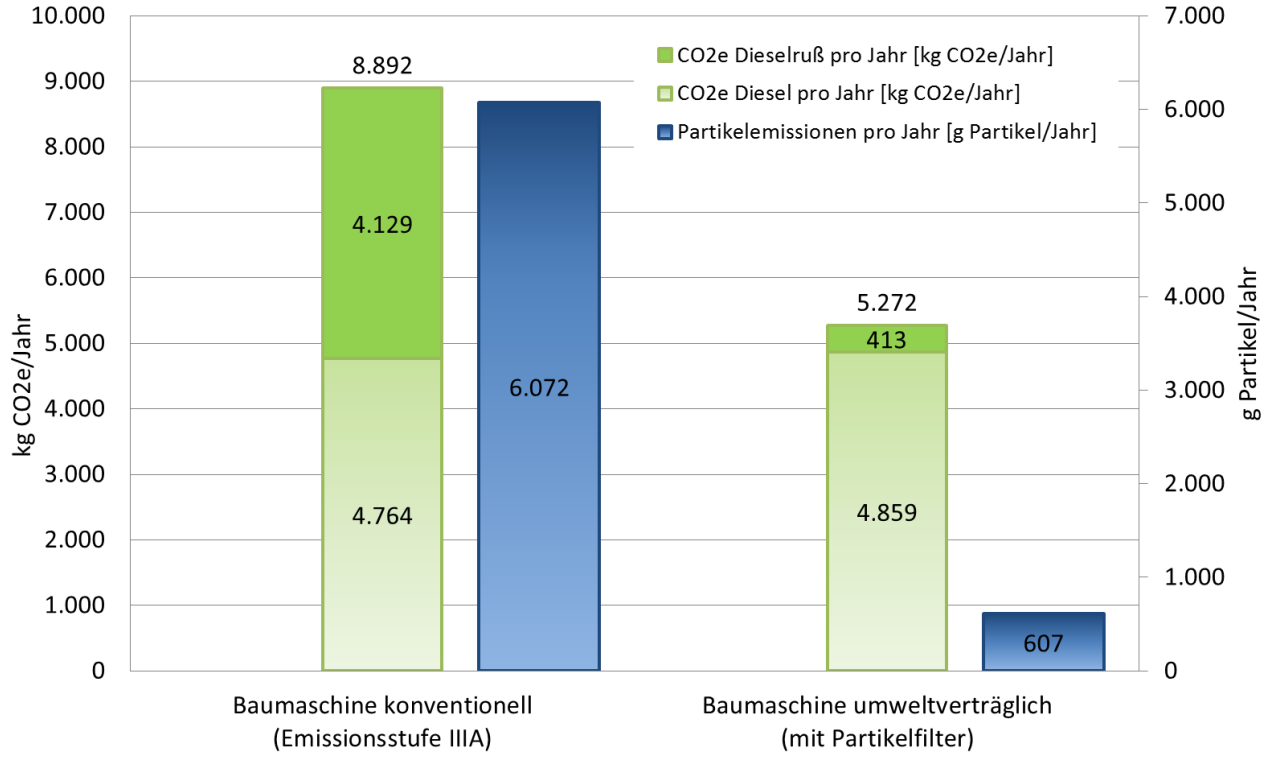
5.15.4. Umweltwirkungen

Der wesentliche Umweltentlastungseffekt, der durch Einsatz des Partikelfilters erreicht werden soll, ist die Reduzierung von Rußpartikeln. Als Indikator für die Umweltwirkungen von Baumaschinen werden in dieser Untersuchung daher die Rußpartikelemissionen für die Nutzung der Maschinen während eines Jahres angesetzt.

Ein Nebeneffekt des Filtereinsatzes ist der erhöhte Treibstoffverbrauch der umweltverträglichen Baumaschine, der insgesamt zu höheren Treibhausgasemissionen führen könnte. Dieselruß hat ebenfalls ein Treibhausgaspotenzial, weshalb die Verringerung von Dieselrußemissionen positiv auf die Klimabilanz der Baumaschine mit Partikelfilter wirkt. Der Einfluss von Dieselruß auf den Treibhauseffekt ist bislang noch Gegenstand der Forschung. In der Literatur gibt es deshalb eine größere Bandbreite an Emissionsfaktoren für Dieselruß. Für die vorliegende orientierende Berechnung wird mit einem auf 100 Jahre bezogenen Emissionsfaktor von 680 Kilogramm CO_2-Äquivalenten pro Kilogramm Dieselruß (Bond & Sun 2005) gerechnet. Dieser Wert stellt einen eher unteren Wert dar, der von anderen Untersuchungen deutlich höher angesetzt wird. Die hier getroffene Annahme führt daher zu einer konservativen Berechnung des Treibhausgaspotenzials zugunsten der konventionellen Variante, die den Einfluss des Dieselrußes auf den Treibhauseffekt eher unter- als überschätzt.

Bei der Berechnung der Umweltwirkungen wurden die Herstellung, der Transport und die Entsorgung der Baumaschinen nicht berücksichtigt, da für den Vergleich beider Beschaffungsvarianten davon ausgegangen werden kann, dass die Umweltbelastungen für beide nahezu identisch sind.

Abbildung 5-30: Jährliches Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) sowie Rußpartikelemissionen für konventionelle und umweltverträgliche Baumaschinen



Quelle: Öko-Institut

Abbildung 5-30 stellt das jährliche Treibhausgaspotenzial (CO_2-Äquivalente) sowie die Rußpartikelemissionen für konventionelle und umweltverträgliche Radlader dar. Der Betrieb des konventionellen Radladers führt zu jährlichen Partikelemissionen von 6.072 Gramm Rußpartikel. Wird dagegen ein umweltverträglicher Radlader mit eingebautem Partikelfilter genutzt, so reduzieren sich die Partikelemissionen auf 607 Gramm Rußpartikel pro Jahr (minus 90%).

Setzt man die Partikelreduktion mit den Mehrkosten der umweltverträglichen Radlader ins Verhältnis, so erhält man Partikel-Vermeidungskosten in Höhe von rund 202 Euro pro eingespartem Kilogramm Rußpartikel. Wie oben bei den Lebenszykluskosten dargestellt, sind dies nur die Kosten, die dem Beschaffer entstehen. Durch die Reduktion der Partikelemissionen werden zusätzlich Umweltkosten (Kosten für die Allgemeinheit) in Höhe von 364 Euro pro Kilogramm Rußpartikel eingespart (Schwermer 2012).

Beim Treibhausgaspotenzial verringern sich die CO_2-Äquivalenten Emissionen durch den Einsatz eines Partikelfilters von 8.892 Kilogramm bei der konventionellen Baumaschine auf 5.272 Kilogramm CO_2-Äquivalenten pro Jahr (minus 42%). Dieses Treibhauspotenzial setzt sich zusammen aus den CO_2-Äquivalenten aus der Verbrennung des Dieseltreibstoffs (in Abbildung 5-30 hellgrün dargestellt) und dem Treibhauspotenzial, das vom emittierten Dieselruß ausgeht (dunkelgrün dargestellt). Bei der Verbrennung von Dieseltreibstoff liegen die CO_2-Äquivalenten der umweltverträglichen Baumaschine mit 4.859 Kilogramm CO_2-Äquivalente pro Jahr um einen

Betrag von 95 Kilogramm höher als die der der konventionellen Variante mit 4.764 Kilogramm CO_2-Äquivalente (plus 2 Prozent). Dagegen reduziert sich das jährliche Treibhausgaspotenzial, das vom Dieselruß ausgeht, durch die Partikelfilterung von 4.129 Kilogramm auf 413 Kilogramm, also um einen Betrag von 3.716 Kilogramm CO_2-Äquivalente pro Jahr (minus 90 Prozent). Trotz des höheren Treibstoffverbrauchs und des konservativen Berechnungsansatzes für die Treibhausgaswirkung der Rußpartikel leistet der Einsatz eines Partikelfilters deshalb auch einen erheblichen Beitrag zum Klimaschutz.

5.15.5. Fazit

Die Lebenszykluskosten von umweltverträglichen Baumaschinen und damit auch die Kosten für die Beschaffung der jeweiligen Dienstleistung (z.B. Erdarbeiten) liegen um 6 Prozent höher als die Kosten einer konventionellen Baumaschine. Diese Mehrkosten beziehen sich nur auf die Kosten, die dem Beschaffer bzw. der öffentlichen Hand entstehen. Wenn man zusätzlich dazu auch die externen Umweltkosten einbezieht, führt die Beschaffung von umweltverträglichen Baumaschinen zu einer Kostensenkung von rund 4 Prozent.

Die Umweltentlastungseffekte durch die umweltverträgliche Beschaffung sind erheblich. Der Einsatz von umweltverträglichen Baumaschinen reduziert die Dieselrußemissionen um 90 Prozent, von 6.072 Gramm auf 607 Gramm Rußpartikel pro Jahr. Darüber hinaus führt der Einsatz umweltverträglicher Baumaschinen zu einer Reduktion des Treibhausgaspotenzials um jährlich rund 3,6 Tonnen CO_2-Äquivalente pro Baumaschine bzw. 41 Prozent.

6. Hochrechnung der Umweltwirkungen und Kosten auf das Land Berlin

In den vorangegangenen Kapiteln wurde das Potenzial zur Umweltentlastungen durch die Beschaffung umweltverträglicher Produkte und Dienstleistungen dargestellt sowie die Mehr- oder Minderkosten dieser Beschaffungsgüter berechnet. Darauf aufbauend, wird nachfolgend eine Abschätzung vorgenommen, welche Umweltentlastungspotentiale und Kosteneffekte bei der Hochrechnung auf das Beschaffungsvolumen des Landes Berlin entstehen.

Die zentralen Rahmenbedingungen bei dieser Hochrechnung sind, dass

- sich die Hochrechnung auf die im Rahmen dieser Untersuchung betrachteten 15 Produktgruppen und Dienstleistungen beschränkt,
- der gesamte Bestand an Produkten komplett und ohne Zeitverzug ausgetauscht wird,
- beim Austausch jeweils die umweltverträgliche Variante statt einer konventionellen Variante eingesetzt wird,
- die umweltverträglichen Varianten den technischen Entwicklungsstand des Jahres 2014 (gemäß den in Kapitel 5 getroffenen Annahmen) aufweisen; zukünftige noch umweltverträglichere Varianten werden daher nicht berücksichtigt,
- das Umweltentlastungspotenzial den Unterschied zwischen umweltverträglicher und konventioneller Variante beschreibt,
- keine Aussage zur Umweltentlastung gegenüber dem derzeitigen Bestand an Produkten und Dienstleistungen getroffen werden kann, da die Produkte, Gebäude oder Dienstleistungen im Bestand teilweise noch deutlich höhere Umweltbelastungen aufweisen, als eine neue, konventionelle Variante (z.B. Straßenbeleuchtung, Gebäude).

Die Hochrechnung dient dazu, aufzuzeigen, welche zusätzlichen Umweltentlastungen durch eine umweltverträgliche öffentliche Beschaffung im Land Berlin erreicht werden können und welche Auswirkungen dies auf die Mehr- oder Minderkosten dieser Beschaffungsmaßnahmen hat. Weiterhin kann die Hochrechnung aufzeigen, in welchen Bereichen die größten Umweltentlastungen erzielt werden können und wo daher die wichtigsten Ansatzpunkte für eine umweltverträgliche öffentliche Beschaffung sind.

Sowohl die Umweltentlastung als auch die Kosten werden in der Darstellung grundsätzlich auf den Zeitraum von *einem* Jahr bezogen. Für Produkte, die eine Nutzungsdauer von mehr als einem Jahr aufweisen, werden die Anschaffungskosten dabei entsprechend der Systematik der Lebenszykluskostenrechnung (vgl. Kapitel 3.1) auf die Nutzungszeit aufgeteilt und als jährliche Zahlungen berechnet.

Das Umweltentlastungspotenzial wird nur für die mit der Nutzung der Produkte verbundenen Treibhausgasemissionen dargestellt. In Ausnahmefällen erfolgt zusätzlich die Darstellung der Wassereinsparung (Papier, Reinigungsmittel) sowie Reduktion an Partikelemissionen (Baumaschinen). Tatsächlich weisen umweltverträgliche Produkte noch weitere Umweltvorteile auf (z.B. Ressourcenschutz durch Langlebigkeit und Reparierbarkeit, Gesundheitsschutz durch Verzicht auf gesundheitlich bedenkliche Chemikalien, Naturschutz durch umweltverträgliche Produktionsverfahren oder Anbaumethoden). Diese weiteren Umweltvorteile wurden im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nicht ermittelt.

6.1. Bestand an Produkten und Beschaffungsmengen

Für den Gesamtbestand der untersuchten Produkte und die Beschaffungsmengen der untersuchten Verbrauchsgüter und Dienstleistungen in unmittelbaren und mittelbaren Landesverwaltungen in Berlin liegen keine statistischen Daten vor. Daher musste anhand von Kennzahlen abgeschätzt werden, wie viele Produkte der jeweiligen Produktgruppe in den Berliner Verwaltungen vorhanden sind und welche Mengen jährlich beschafft werden. Die Abschätzung erfolgt nur für die hier untersuchten 15 Produktgruppen und Dienstleistungen.

Maßgebliche Kenngrößen zur Hochrechnung sind die Beschäftigten im Landesdienst Berlin (ca. 110.000 Mitarbeiter im Januar 2014, SenFin 2014) sowie die Nettogrundfläche der Landes- und Bezirksliegenschaften (ca. 12 Mio. m^2_{NGF}, BIM 2014). Weitere Bestandskennzahlen und Beschaffungsmengen wurden durch die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt für dieses Vorhaben zur Verfügung gestellt, ergänzend wurden durch das Öko-Institut eigene Annahmen getroffen (siehe Tabelle 6-1).

Die nachfolgende Tabelle 6-1 stellt den geschätzten Bestand (Produkte, Gebäude) bzw. den jährlichen Bedarf (Verbrauchsgüter, Dienstleistungen) an den untersuchten Produktgruppen und Dienstleistungen (DL) bei Berliner Landes- und Bezirkseinrichtungen dar. Bei Verbrauchsgütern (VG) wird der geschätzte jährliche Verbrauch genannt.

Tabelle 6-1: Geschätzter Bestand und Jahresmengen im Land Berlin

Produktgruppe	Bestand / Verbrauchsmenge	Annahme Datenquelle
Computer	80.000 Stück	Anzahl Computer-Arbeitsplätze, ITDZ 2014
Multifunktionsgeräte	1.600 Stück	1 Kopierer pro 50 Computer
Papier (VG)	620 Mio. Blatt/Jahr	Papieratlas 2014
Kühlschränke	2.230 Stück	1 Kühlschrank pro 50 Mitarbeiter
Geschirrspülmaschinen	1.115 Stück	1 Geschirrspülmaschine pro 100 Mitarbeiter
Büroleuchten	240.000 Stück	20% der Gebäudefläche (NGF) mit 360 Lux
Bettwäsche-Sets	67.131 Stück	3 Sets pro Krankenhausbett, SenGesSoz 2015
Reinigungsmittel (VG)	12.000 m^3/Jahr	1 Liter Anwendungslösung pro m^2 Gebäudefläche (NGF)
Gebäude	4.800.000 m^2_{NGF}	Annahme: 40% aller Gebäudeflächen
Bodenbeläge	6.000.000 m^2	50% der Gebäudefläche (NGF)
Stromlieferung (DL)	770 GWh/Jahr	Lieferumfang Rahmenvertrag Berliner Verwaltungen
Straßenbeleuchtung	25.000 Stück (der angenommenen Leistung)	Generische Stückzahl berechnet auf Grundlage des realen Energieverbrauchs der Straßenbeleuchtung von 80 GWh/a im Jahr 2014 (SenStadtUm)
Entsorgung Gewerbeabfall (DL)	65.000 Tonnen/Jahr	Summe aus Annahmen für hausmüllähnlicher Gewerbeabfall in Verwaltungen, Schulen, Kitas, Grünflächenpflege, öffentliche Abfalleimer
PKWs	1.000 Stück	Annahme: ca. 1 PKW pro 100 Mitarbeiter
Baumaschinen	2.200 Stück im täglichen Einsatz (DL)	Annahme: öffentliche Bauvorhaben machen ca. 10% der gesamten Baumaschinen bedingten Partikelemissionen (ca. 130 t/a) in Berlin aus

Quelle: Öko-Institut, verschiedene Quellen, SenStadtUm Legende: DL = Dienstleistung, VG = Verbrauchsgüter

6.2. Ergebnisse

Die Ergebnisse der Hochrechnung der Umweltentlastung sowie der Kosten von relevanten Produkten sowie Bau- und Dienstleistungen bei einer nachhaltigen Beschaffung gegenüber einer herkömmlichen Beschaffung im Land Berlin werden nachfolgend dargestellt. Die Berechnung erfolgt ausgehend von den jährlichen Lebenszykluskosten und jährlichen Umweltwirkungen einzelner Produkte und Dienstleistungen (vgl. Kapitel 5) durch Hochskalierung anhand des Bestands im Land Berlin. Wie oben beschrieben, ist diese Hochrechnung mit einigen Unsicherheiten behaftet und dient deshalb nur zur Orientierung.

6.2.1. Übersicht

Als Ergebnisse werden die möglichen Kosteneffekte und das Potenzial zur Minderung von Treibhausgasemissionen (und teilweise weiterer Umweltwirkungen) jeweils bezogen auf den Zeitraum eines Betrachtungsjahres in der nachfolgenden Tabelle 6-2 zahlenmäßig dargestellt.

Tabelle 6-2: Hochrechnung Kosteneinsparung und Umweltentlastung durch umweltverträgliche Beschaffung

Produktgruppe	Hochrechnung Kosteneinsparung (Mehrkosten rot gekennzeichnet)	Hochrechnung Umweltentlastung
Computer	1.040.000 €/a	3.249 t CO_2e/a
Multifunktionsgeräte	80.000 €/a	193 t CO_2e/a
Papier	880.000 €/a	496 t CO_2e/a 98.084 m³ Wasser/a 9.300 t Holz/a
Kühlschränke	16.000 €/a	89 t CO_2e/a
Geschirrspülmaschinen	-16.000 €/a	45 t CO_2e/a
Büroleuchten	3.600.000 €/a	4.852 t CO_2e/a
Bettwäsche-Sets	-107.000 €/a	30 t CO_2e/a
Reinigungsmittel	24.000 €/a	120 Mio. m^3_{Wasser}/a
Gebäude	26.142.000 €/a	Elektronergie:15.720 t CO_2e/a Heizenergie: 43.373 t CO_2e/a
Bodenbeläge	516.000 €/a	1.080 t CO_2e/a
Stromlieferung	-5.005.000 €/a	238.700 t CO_2e/a
Straßenbeleuchtung	13.325.000 €/a	23.908 t CO_2e/a
Entsorgung Gewerbeabfall	-520.000 €/a	37.960 t CO_2e/a
PKWs	198.000 €/a	240 t CO_2e/a
Baumaschinen	-2.431.000 €/a	7.965 t CO_2e/a 12 t Dieselruß/a

Quelle: Öko-Institut

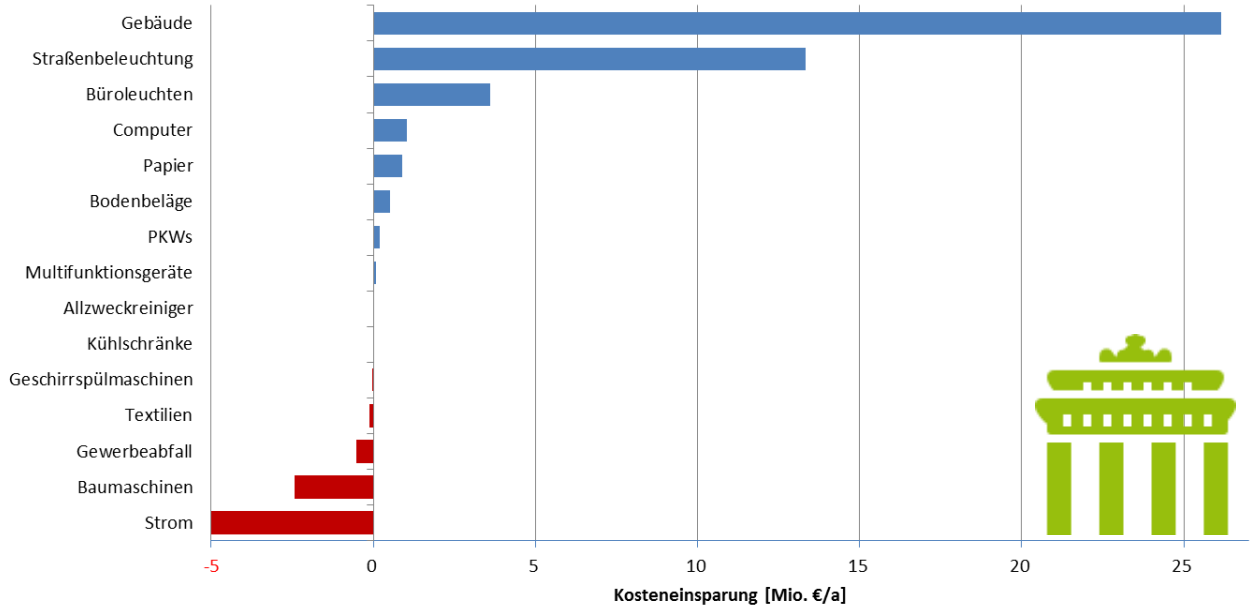
6.2.2. Auswertung der Kosten

Die Hochrechnung basiert auf dem Vergleich der Beschaffung konventioneller Produkte mit der Beschaffung umweltverträglicher Produkte. Für konventionelle Produkte ergibt sich durch die Hochrechnung ein jährliches Beschaffungsvolumen von rund 987.000 Euro. Die umweltverträglichen Produkte und Dienstleistungen haben dem gegenüber jährliche Kosten in Höhe von rund 949.000 Euro. Das gesamte Beschaffungsvolumen der öffentlichen Hand in Berlin wurde im Rahmen dieser Untersuchung nicht quantifiziert. Es wird gemäß des Vergabeberichts 2014 der Senatsverwaltung für Wirtschaft, Technologie und Forschung (SenWTF 2015) auf 4 bis 5 Milliarden Euro pro Jahr geschätzt. Damit sind durch die Hochrechnung rund 20 bis 25 Prozent des Beschaffungsvolumens des Landes Berlin und seiner landeseigenen Unternehmen abgedeckt.

Der überwiegende Teil der umweltverträglich beschafften Produkte und Dienstleistungen führt zu einer Kosteneinsparung gegenüber der konventionellen Variante. Das heißt, trotz ggf. höheren Anschaffungspreisen führt die Nutzung der Produkte aufgrund geringerer Verbrauchskosten zu einer Nettoeinsparung. Die durch diese Produkte realisierbaren Einsparungen liegen in Summe bei knapp 46 Mio. Euro pro Jahr. Dem stehen einzelne Produkte und Dienstleistungen gegenüber, die mit Mehrkosten verbunden sind (in Tabelle 6-2 rot gekennzeichnet). Die Summe der Mehrkosten beträgt rund 8 Mio. Euro pro Jahr. Würden alle untersuchten Produkte und Dienstleistungen in Berliner Verwaltungen umweltverträglich beschafft, so könnten (als Summe der Mehr- und Minderkosten) bis zu rund 38 Mio. Euro pro Jahr an Kosten eingespart werden.

Der Beitrag der einzelnen Produkte und Dienstleistungen zu dieser Kosteneinsparung wird nachfolgend in Abbildung 6-1 noch einmal grafisch mit einer aufsteigenden Sortierung dargestellt.

Abbildung 6-1: Beitrag der Produkte und Dienstleistungen zur Kosteneinsparung



Quelle: Öko-Institut

Den größten Beitrag zur Kosteneinsparung mit rund 26 Mio. Euro pro Jahr bietet die Sanierung von Gebäuden auf Passivhaus-Standard statt auf den Standard EnEV 2009 (gemäß Variante „Gebäude konventionell A“ in Kapitel 5.9.2).

Einen sehr großen Beitrag zur Kostensenkung (13 Mio. Euro/Jahr) kann außerdem die Sanierung der Straßenbeleuchtung leisten. Als drittgrößter Beitrag kann der Einsatz von hocheffizienter Bürobeleuchtung (3,6 Mio. Euro/Jahr) genannt werden.

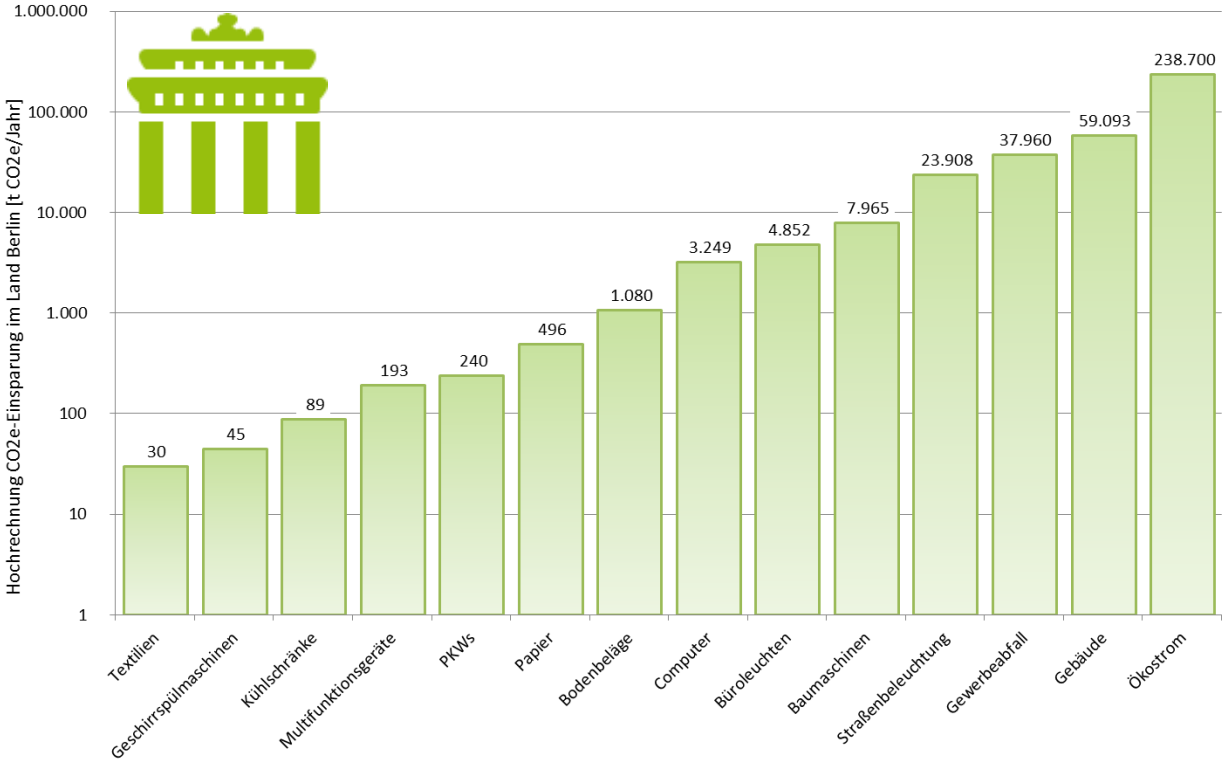
Auf der Seite der Mehrkosten liegt die Beschaffung von Ökostrom mit zusätzlichen Kosten von 5 Mio. Euro pro Jahr vorn, gefolgt von den Baumaschinen mit Mehrkosten von 2,4 Mio. Euro pro Jahr. Der Beitrag der übrigen Produktgruppen und Dienstleistungen zur Kosteneinsparung oder zu den Mehrkosten ist vergleichsweise untergeordnet.

6.2.3. Auswertung der Treibhausgasminderung

Alle der hier untersuchten umweltverträglicheren Beschaffungsvarianten führen per definitionem zu einer Umweltentlastung gegenüber einer konventionellen Variante. Der Beitrag der verschiedenen Produkte und Dienstleistungen unterscheidet sich jedoch deutlich, da sowohl der Einzelbeitrag verschieden ist, als auch der Gesamtbeitrag von der beschafften Menge abhängt.

Die Werte der Treibhausgasminderung aus Tabelle 6-2 werden nachfolgend noch einmal grafisch mit aufsteigenden Werten dargestellt. Der minimale und der maximale Wert der Treibhausgasminderung unterscheiden sich zirka um den Faktor 8.000, weshalb die Ergebnisse nicht in einer linearen Skala dargestellt werden können. Die Darstellung in Abbildung 6-2 nutzt daher auf der y-Achse (CO_2e-Einsparung) eine logarithmische Skalierung.

Abbildung 6-2: Hochrechnung der Treibhausgasminderung durch die Beschaffung umweltverträglicher Produkte gegenüber konventioneller Produkten im Land Berlin



Quelle: Öko-Institut; **Hinweis: y-Achse ist logarithmisch skaliert**

Bei der Umweltentlastung im Bereich der Treibhausgasminderung sticht besonders die Beschaffung von Strom aus erneuerbaren Energien (Ökostrom) mit einer Einsparung von 238.700 Tonnen CO_2-Äquivalente pro Jahr heraus.

Die Summe aller übrigen Treibhausgasminderungen liegt gegenüber der Minderung durch Ökostrom mit rund 139.200 Tonnen eingesparter CO_2-Äquivalente pro Jahr bei 58%. Beide Treibhausgasminderungen sind jedoch nur bedingt miteinander vergleichbar und können nicht direkt addiert werden.

Zum einen handelt es sich bei der Treibhausgasminderung durch den Einkauf von Ökostrom um einen *indirekten* Effekt, der daraus resultiert, dass mehr Anlagen zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien errichtet werden und damit konventionelle Kraftwerke verdrängen. Der tatsächliche Treibhausgas-Einspareffekt von Ökostrom kann nur anhand eines Verdrängungsmodells abgeschätzt werden (vgl. Kapitel 5.11.2). Anders verhalten sich *direkte* Einsparungen, die sich aus der Verringerung des Verbrauchs an elektrischer oder thermischer Energie ergeben. Der Einsatz effizienterer Geräte, Gebäude oder Fahrzeuge ist daher grundsätzlich vorteilhaft und der Effekt lässt sich vergleichsweise eindeutig berechnen.

Zum anderen lassen sich die Treibhausgasminderungen nicht addieren, denn sofern Ökostrom eingesetzt wird, verringern sich die Treibhausgaseinsparungen von effizienten Elektrogeräten, da sie nun nicht konventionellen Strom vermeiden, sondern Ökostrom mit geringerem Treibhausgaspotenzial. Die einfache Addition würde zu einer Doppelzählung der Effekte führen. Wird Ökostrom verwendet, so verringert sich die Einsparung an Treibhausgasemissionen durch effiziente Elektrogeräte und geringeren Stromverbrauch von Gebäuden von rund 48.056 Tonnen CO_2-Äquivalente pro Jahr auf 25.312 Tonnen pro Jahr (minus 47%, vgl. Umweltwirkung Ökostrom Kapitel 5.11.4).

In der Summe können durch die umweltverträgliche Beschaffung allein bei den untersuchten 15 Produkten und Dienstleistungen unter Vermeidung der Doppelzählungen **Treibhausgasminderungen von rund 355.000 Tonnen CO_2-Äquivalente pro Jahr** gegenüber der konventionellen Beschaffung erreicht werden. Dies ergibt sich aus einer Reduzierung der Treibhausgasemissionen konventioneller Produkte und Dienstleistungen in Höhe von 757.000 auf 402.000 Tonnen CO_2-Äquivalente pro Jahr.

Zur Einordnung dieser Größenordnung in den Verbrauch der öffentlichen Einrichtungen in Berlin wird auf das Monitoring der CO_2-Emissionen des Landes Berlin verwiesen, das von der Energiewirtschaftsstelle Da.V.i.D. GmbH durchgeführt wird. Nach Auskunft der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt wurden in den landeseigenen Einrichtungen im Jahr 2013 durch den Verbrauch von Erdgas und Fernwärme rund 360.000 Tonnen CO_2 emittiert (David 2015). Die hochgerechneten Einsparungen durch umweltverträgliche Beschaffung liegen demnach etwa in der gleichen Größenordnung wie die gesamten Treibhausgasemissionen durch Erdgas- und Fernwärmelieferung.

Nachfolgend erfolgt die weitere Auswertung des Potenzials zur Treibhausgasminderung separat für Elektrogeräte, Gebäude und sonstige Beschaffungsmaßnahmen.

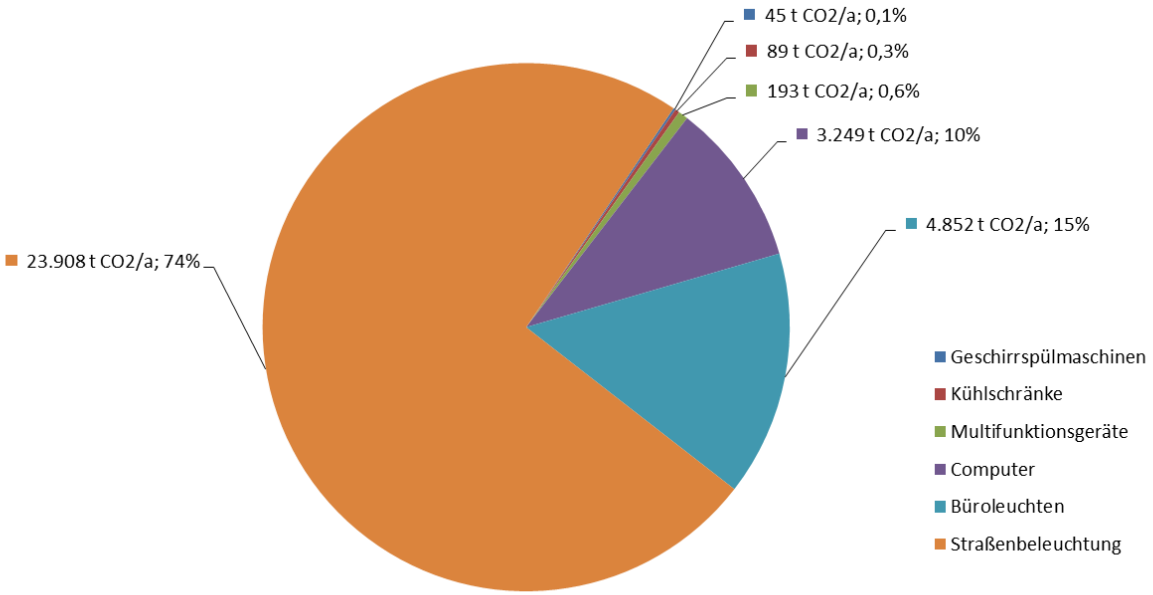
Elektrogeräte

Unter den 15 untersuchten Produktgruppen und Dienstleistungen sind 6 Elektrogeräte und elektrische Beleuchtungseinrichtungen, die bei der öffentlichen Hand häufig beschafft werden. Diese sind Computer (vgl. Kapitel 5.1), Multifunktionsgeräte (vgl. Kapitel 5.2), Kühl- und Gefriergeräte (vgl. Kapitel 5.4), Geschirrspülmaschinen (vgl. Kapitel 5.5), Büroleuchten (vgl.

Kapitel 5.6) sowie Straßenbeleuchtung (vgl. Kapitel 5.12). Die Hochrechnung anhand der im Land Berlin beschafften Mengen dieser Geräte zeigt, dass auch hier das Potenzial zur Treibhausgasminderung durch den Einkauf energieeffizienter Geräte sehr unterschiedlich ist.

In Abbildung 6-3 wird der jeweilige Beitrag dieser Elektrogeräte zur Treibhausgasminderung im Beschaffungsvolumen des Landes Berlin dargestellt. Auch hier gilt, dass es sich bei diesem Beitrag um eine einfache Hochrechnung handelt und dass nur der Umweltvorteil der energieeffizienten Geräte gegenüber den konventionellen Geräten dargestellt wird. Das Treibhausgasminderungspotenzial gegenüber dem teilweise veralteten Bestand an Geräten ist dementsprechend höher.

Abbildung 6-3: Beitrag der energieeffizienten Elektrogeräte zur Treibhausgasminderung



Quelle: Öko-Institut

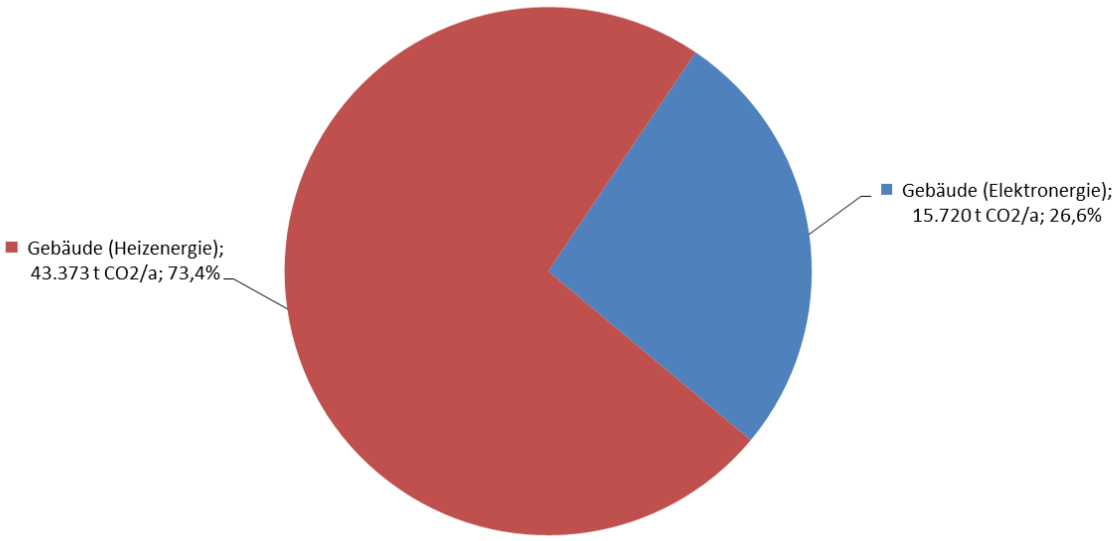
Die höchsten Einsparungen an Treibhausgasemissionen mit knapp 24 Tausend Tonnen CO_2-Äquivalente pro Jahr lassen sich bei den Elektrogeräten durch den Einsatz energieeffizienter Straßenleuchten erreichen. Ebenfalls merkliche Beiträge sind durch den Einsatz energieeffizienter Büroleuchten (knapp 5 Tausend Tonnen CO_2-Äquivalente pro Jahr) und durch effiziente Computer rund 3 Tausend Tonnen CO_2-Äquivalente pro Jahr) möglich. Die übrigen untersuchten Geräte leisten dagegen einen untergeordneten Beitrag. Zu beachten ist jedoch, dass die dargestellte Liste an stromverbrauchenden Produkten im Einsatz der öffentlichen Hand nicht abschließend ist. So ist es durchaus denkbar, dass beispielsweise Klimaanlagen, Personenaufzüge, Telefonanlagen, Heizungspumpen, Rechenzentren, Ampelanlagen, Sportplatzbeleuchtung usw. ebenfalls ein hohes Einsparpotenzial aufweisen, das hier nicht quantifiziert wurde.

Gebäude

Bei den Gebäuden wurde in Kapitel 5.9 mit Kennzahlen zur Sanierung eines Schulgebäudes auf Passivhausstandard statt auf den geltenden Standard der Energieeinsparverordnung (EnEV 2009) gerechnet. Diese Kennzahlen wurden entsprechend der in Tabelle 6-1 getroffenen Annahmen auf

40% des Gebäudebestandes des Landes Berlin hochgerechnet. Dies stellt ebenfalls eine starke Vereinfachung dar. Im Land Berlin sind viele der öffentlichen Einrichtungen in historischen Gebäuden untergebracht, bei denen eine Sanierung auf Passivhausstandard mit zusätzlichen baulichen Problemen und weiteren Kosten verbunden ist. Die hier genannte Zahl der Treibhausgasminderung durch Sanierung ist daher nur als Orientierung zu verstehen. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass der Gebäudebestand noch längst nicht dem Energieverbrauchsniveau der EnEV 2009 entspricht. In der Regel weisen die bestehenden Gebäude einen deutlich höheren Energieverbrauch pro Quadratmeter Gebäudefläche auf. In der Hochrechnung werden, entsprechend der Ausführungen oben, nicht die Verbesserungen gegenüber dem Bestand dargestellt, sondern die Differenz der möglichen Treibhausgasminderungen der konventionellen Sanierung gegenüber der hocheffizienten Sanierung.

Abbildung 6-4: Beitrag der Sanierung von Gebäuden auf Passivhausniveau statt auf konventionelles Niveau zur Treibhausgasminderung



Quelle: Öko-Institut

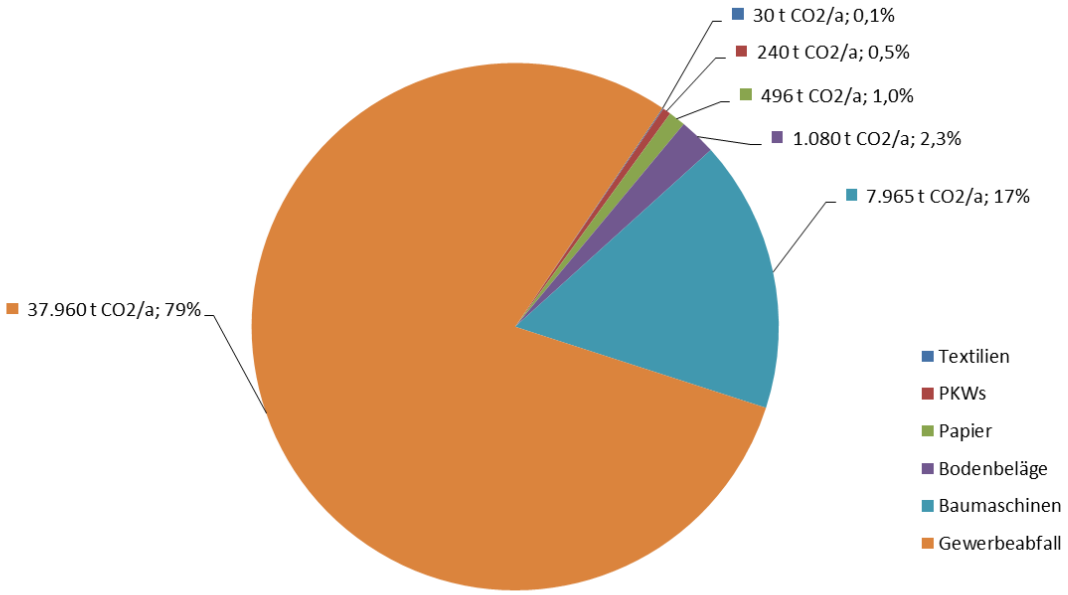
Von den untersuchten Produktgruppen (ausgenommen der Umstellung auf Ökostrom) leistet die Sanierung von Gebäuden auf Passivhausniveau mit einer Minderung von rund 59.000 Tonnen CO_2-Äquivalenten pro Jahr den größten Beitrag. Diese Minderung geht im Wesentlichen auf die Einsparung von Heizenergie zurück. Durch den geringeren Heizenergieeinsatz werden rund 43 Tausend Tonnen CO_2-Äquivalente pro Jahr eingespart. Auf der Seite des Elektroenergieverbrauchs liegt die Einsparung bei knapp 16.000 Tonnen CO_2-Äquivalente pro Jahr. Hier ist, genau wie bei den Elektrogeräten, zu berücksichtigen, dass sich die Einsparung auf der Stromseite auf den Bezug von konventionellem Strom bezieht und nicht auf den Bezug von Ökostrom. Das eingesparte Treibhausgaspotenzial der Elektroenergie reduziert sich um 47 Prozent, sofern Ökostrom bezogen wird.

Sonstige Beschaffungsmaßnahmen

Von den insgesamt 15 Produkten und Dienstleistungen führen neben dem Ökostrom, den Gebäuden und den 6 Elektrogeräten weitere 6 Produkte und Dienstleistungen zu einer Minderung von Treibhausgasemissionen. Lediglich für die Reinigungsmittel (vgl. Kapitel 5.8) wurden als Umweltwirkungen nicht die Treibhausgasemissionen berechnet, sondern das kritische Verdünnungsvolumen (KVV). Nachfolgend werden nur die Ergebnisse bezogen auf Treibhausgasemissionen vergleichend dargestellt. Die anderen Umweltwirkungen können der Übersicht in Tabelle 6-2 entnommen werden.

Die Abbildung 6-5 zeigt den Beitrag zur Treibhausgasminderung der sonstigen Beschaffungsmaßnahmen.

Abbildung 6-5: Beitrag der sonstigen umweltverträglichen Beschaffungsmaßnahmen zur Treibhausgasminderung gegenüber konventioneller Beschaffung



Quelle: Öko-Institut

Bei der Auswertung der sonstigen Beschaffungsmaßnahmen fällt auf, dass das umweltverträgliche, stoffliche Verwerten (Recycling) von Gewerbeabfall mit einer Treibhausgasminderung von rund 38.000 Tonnen CO_2-Äquivalenten einen erheblichen Beitrag leistet. Dieser Beitrag ist der dritthöchste Minderungsbetrag der untersuchten 15 Produkte und Dienstleistungen, im Wert noch oberhalb der Beschaffung energieeffizienter Straßenbeleuchtung (rund 24 Tausend Tonnen) und unterhalb der Sanierung der Gebäude auf Passivhausniveau (59 Tausend Tonnen). Dies ist insofern bemerkenswert, als dass die Abfallentsorgung in der allgemeinen Klimaschutzdiskussion bislang nicht als vorrangige Maßnahme erkannt wird.

Bei den hier dargestellten sonstigen Beschaffungsmaßnahmen leisten außerdem die Baumaschinen mit einer Treibhausgasminderung von knapp 8.000 Tonnen CO_2-Äquivalenten pro Jahr einen erheblichen Beitrag. Auch dies ist zunächst überraschend, da die Reduktion von Rußpartikelemissionen, die mit Partikelfiltern erreicht wird, vorrangig zum Schutz der Gesundheit

beitragen soll. Die damit einhergehende deutliche Verringerung des Treibhausgaspotenzials ist ein erfreulicher Nebeneffekt.

Die übrigen sonstigen Maßnahmen weisen ein vergleichsweise geringes Potenzial zur Treibhausgasminderung auf. Überraschend ist dies insbesondere bei den PKWs. Die bei der Hochrechnung angesetzte Anzahl an 1.000 PKWs der untersuchten Leistungsklasse im Bestand des Landes Berlin stellt nur einen Ausschnitt aus dem öffentlichen Fuhrpark dar. Bezieht man in die Untersuchung auch die Fahrzeuge der Berliner Verkehrsbetriebe, der Stadtreinigung, Grünflächenämter sowie die Einsatzfahrzeuge der Krankenhäuser, Polizei und Feuerwehr mit ein, so kann davon ausgegangen werden, dass das Potenzial bei den Fahrzeugen deutlich höher liegt.

6.3. Bewertung der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Hochrechnung können, vorbehaltlich der oben beschriebenen Datenunsicherheiten und der daraus folgenden Ungenauigkeiten, wie folgt bewertet werden:

- Bei den hier untersuchten 15 Produktgruppen und Dienstleistungen führt die umweltverträgliche öffentliche Beschaffung im Land Berlin zu einer Kostenentlastung der öffentlichen Haushalte von rund 38 Mio. Euro pro Jahr (minus 3,8 Prozent). Dieser Wert berechnet sich als Differenz aus den Kosten der konventionellen Beschaffung von rund 987 Mio. €/a zu den Kosten der umweltverträglichen Beschaffung von rund 949 Mio. €/a. Wenn auch einzelne umweltverträgliche Produkte mit Mehrkosten verbunden sind, so ist die Summe der umweltverträglich beschafften Produkte doch wirtschaftlich vorteilhafter als die Beschaffung konventioneller Produkte. Allein schon aus Gründen der Haushaltskonsolidierung sollte daher eine umweltverträgliche Beschaffung Vorrang haben.
- Die jährlichen Treibhausgasemissionen der untersuchten Produktgruppen und Dienstleistungen sinken um einen Betrag von rund 355.000 Tonnen CO_2-Äquivalente. Durch die umweltverträgliche Beschaffung können die Treibhausgasemissionen um rund 47 Prozent gegenüber der konventionellen Beschaffung gesenkt werden. Im Rahmen dieser Untersuchung konnte gezeigt werden, dass die umweltverträgliche Beschaffung einen hohen Beitrag zur Treibhausgasminderung leisten kann.
- Die Maßnahmen mit dem größten Potenzial zur Treibhausgasminderung sind die Beschaffung von Ökostrom, die Sanierung von Gebäuden auf Passivhausstandard, die stoffliche Verwertung von Gewerbeabfall sowie die Sanierung der Straßenbeleuchtung durch hocheffiziente LED-Leuchten. Diese Maßnahmen sollten im besonderen Fokus der Klimaschutzmaßnahmen stehen. Da die umweltverträgliche Beschaffung der übrigen Produkte aber in der Regel wirtschaftlich ist, sollte auch das übrige Potenzial ausgeschöpft werden.
- Das hohe Einsparpotenzial, das durch die Beschaffung von Ökostrom gegeben ist, sollte nicht dazu verleiten, die Anstrengungen zur tatsächlichen Einsparung von Energie und zur Erhöhung von Energieeffizienz zu vernachlässigen. Beide Maßnahmen sind sinnvoll und notwendig, um ambitionierte Klimaschutzziele zu erreichen.
- Viele der hier untersuchten Produktgruppen und Dienstleistungen haben einen Auftragswert von kleiner als 10.000 Euro. Die Untersuchung zeigt, dass auch bei diesen Beschaffungsgütern eine relevante Kosteneinsparung durch umweltverträglichere Produkte gegeben ist sowie auch diese erkennbar zur Umweltentlastung beitragen. Eine

Beschränkung der umweltverträglichen Beschaffung auf Auftragswerte oberhalb von 10.000 Euro, wie es das Berliner Ausschreibungs- und Vergabegesetz (BerlAVG, §1 Abs. 6) vorsieht, scheint vor diesem Hintergrund nicht sinnvoll. Stattdessen wird eine freiwillige Anwendung der Verwaltungsvorschrift Beschaffung und Umwelt (VwVBU) auch bei kleineren Auftragswerten empfohlen.

- Die vorliegende Untersuchung stellt nur einen Ausschnitt aus den öffentlich beschafften Produkten und Dienstleistungen dar. Bezogen auf das Beschaffungsvolumen des Landes Berlin und der landeseigenen Unternehmen in Höhe von 4 bis 5 Milliarden Euro pro Jahr (SenWTF 2015) wurden hier nur rund 20 bis 25 Prozent abgedeckt. Es kann davon ausgegangen werden, dass auch bei den übrigen Produktgruppen und Dienstleistungen ein relevantes Umwelt- und Kostenentlastungspotenzial gegeben ist, das den Effekt der umweltverträglichen Beschaffung noch weiter verstärkt.
- Da im Rahmen dieser Untersuchung schwerpunktmäßig nur die Umwelteffekte bezogen auf das Potenzial zur Treibhausgasminderung quantifiziert wurden, konnten keine Aussagen zu sonstigen Umweltentlastungen, Schutz der Gesundheit von Bevölkerung und Beschäftigten oder Einsparung von Ressourcen gemacht werden. Da die Vergabekriterien für umweltverträgliche Produkte auch solche weitergehende Anforderungen beinhalten, kann davon ausgegangen werden, dass der positive Effekt der umweltverträglichen Beschaffung noch deutlich höher ist.

Literaturverzeichnis

ADAC 2014 — ADAC (Hrsg.); ADAC Autokosten 2014 – Kostenübersicht für über 1.800 aktuelle Neuwagen-Modelle. Stand April 2014; http://www.adac.de/_mmm/pdf/autokostenuebersicht_47085.pdf, aufgerufen am 11.11.2014.

AfA 2000 — Bundesministerium der Finanzen; BStBl I 2000, S. 1532, AfA-Tabelle für die allgemein verwendbaren Anlagegüter (AfA-Tabelle "AV"); Berlin 15.Dezember 2000.

BerlAVG — Berliner Ausschreibungs- und Vergabegesetz (BerlAVG) vom 8.7.2010 (GVBl. S. 399 vom 22.07.2010), zuletzt geändert durch das Erste Gesetz zur Änderung des Berliner Ausschreibungs- und Vergabegesetzes vom 5.6.2012 (GVBl. S. 159 vom 16.06.2012).

BIM 2014 — Berliner Immobilienmanagement GmbH (BIM); Betriebskostenreport für das Jahr 2013; Berlin 2014.

BNetzA 2014 — Bundesnetzagentur, Bundeskartellamt; Monitoringbericht 2014, Monitoringbericht gemäß § 63 Abs. 3 i. V. m. § 35 EnWG und § 48 Abs. 3 i. V. m. § 53 Abs. 3 GWB, Stand: 14.11.2014; http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Bundesnetzagentur/Publikationen/Berichte/2014/Monitoringbericht_2014_BF.pdf, aufgerufen am 24.02.2015.

Bond & Sun 2005 — Bond, T. C.; Sun, H.; Can Reducing Black Carbon Emissions Counteract Global Warming? Department of Civil and Environmental Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, Illinois 61801; Environ. Sci. Technol., 2005, 39 (16), pp 5921–5926, http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es0480421, aufgerufen am 27.05.2015

Böttcher et al. 2012 — Böttcher, O.; Tschirner, T.; Speelmanns, K.; Energie- und CO_2-Bericht Bundesliegenschaften 2012; Studie im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung; 2012; http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Bauwesen/EnergieKlima/Energiebeauftragter/Berichte/ Energiebericht2012.pdf, aufgerufen am 24.02.2014.

BSR 2015 — Berliner Stadtreinigungsbetriebe (BSR); Tarife und Leistungsbedingungen vom 1. Januar 2015, http://www.bsr.de/assets/downloads/aktuelle_Leistungsbedingungen.pdf, aufgerufen am 24.02.2015.

Cotton Incorporated 2012 — Cotton Incorporated – America's Cotton Producers and Importers (Hrsg.); The Life Cycle Inventory & Life Cycle Assessment of Cotton Fiber & Fabric. Executive Summary, 2012; http://cottontoday.cottoninc.com/Sustainability-About/Cotton-LCI-LCA-Executive-Summary/Cotton-LCI-LCA-Executive-Summary.pdf, aufgerufen am 24.02.2015.

David 2015 — Da.V.i.D. GmbH; CO_2-Emissionen 2013 Land Berlin und sonstige Einrichtungen Lieferverträge Strom Gas Fernwärme; internes Dokument; Berlin 2015.

Dehne et al. 2015	Dehne, I.; Oetjen-Dehne, R.; Siegmund, N. (UEC GmbH Berlin) unter Mitarbeit von Dehoust, G., Möck, A. (Öko-Institut e.V.); Stoffstromorientierte Lösungsansätze für eine hochwertige Verwertung von gemischten gewerblichen Siedlungsabfällen; Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA Texte 18/2015).
dena 2014a	Deutsche Energie-Agentur (dena) (Hrsg.), Initiative Energieeffizienz, Energieeffiziente Straßenbeleuchtung. Berlin 2014; http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Stromnutzung/Dokumente/1430_Broschuere_Energieeffiziente-Strassenbeleuchtung.pdf, aufgerufen am 01.12.2014
dena 2014b	Deutsche Energie-Agentur (dena); Lebenszykluskostenrechner Straßenbeleuchtung, Berlin 2014; lotse-strassenbeleuchtung.de/uploads/media/LZKl_Aussenbeleuchtung.xlsx, aufgerufen am 01.12.2014.
Destatis 2014	Statistisches Bundesamt Destatis (Hrsg.); Daten zur Energiepreisentwicklung; Lange Reihen von Januar 2000 bis Oktober 2014; https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Preise/Energiepreise/Energiepreisentwicklung.html , aufgerufen am 10.11.2014.
DWA 2011	DWA (Hrsg.); Wirtschaftsdaten der Abwasserbeseitigung 2011 – Ergebnisse einer gemeinsamen Umfrage der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) und des Deutschen Städtetages sowie des Deutschen Städte- und Gemeindebundes; Hennef 2011, http://de.dwa.de/tl_files/_media/content/PDFs/Abteilung_WAW/Wirtschaftsdaten2011%20%283%29.pdf, aufgerufen am 10.11.2014.
EcoTopTen 2014	ecotopten.de; Produktübersicht 'Geschirrspülmaschinen', Stand Sept. 2014, http://www.ecotopten.de/grosse-haushaltsgeraete/geschirrspuelmaschinen?field_10418_tid[0]=2546&field_10418_tid[1]=2547&&&&order=field_30&sort=asc, aufgerufen am 29.10.2014.
EUWID 2014	Branchendient EUWID Recycling und Entsorgung (Hrsg.); Entsorgungsmarkt für Siedlungsabfälle Okt. 2014; www.euwid-recycling.de
Helms & Heidt 2014	Helms, H.; Heidt, C.; Erarbeitung eines Konzepts zur Minderung der Umweltbelastung aus NRMM (non road mobile machinery) unter Berücksichtigung aktueller Emissionsfaktoren und Emissionsverminderungsoptionen für den Bestand; ifeu-Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg; UBA-Texte 24/2014; Dessau 2014.
ifeu 2006	Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu); Ökologischer Vergleich von Büropapieren in Abhängigkeit vom Faserrohstoff. Studie im Auftrag der „Initiative Pro Recyclingpapier"; August 2006.
ITDZ 2014	IT-Dienstleistungszentrum (ITDZ) Berlin (Hrsg.); Profil ITDZ Berlin, 4. Quartal 2014; http://itdz-berlin.de/dokumente/flyer/profil.pdf, aufgerufen am 20.02.2015.
KBA 2011	Kraftfahrtbundesamt (KBA) (Hrsg.); Wir punkten mit Verkehrssicherheit - Statistik -Fachartikel: Marken und Modelle. Stand: 15.05.2011.

KBA 2014	Kraftfahrtbundesamt (KBA) (Hrsg.); Neuzulassungen von Personenkraftwagen nach Segmenten und Modellreihen im November 2014.
Lutz 2010	Lutz, M.; Lebenszykluskosten von Fußbodenbelägen; FIGR-Bericht Nr. 2, 8. Auflage, 2010.
Lutz 2014	Lutz, M.; Erfahrungen bei der Festlegung und praktischen Umsetzung von Vergabekriterien in Berlin; Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt, Fachtagung „Emissionsminderung bei Baumaschinen in Luftreinhalteplangebieten“; Stuttgart 2014; https://mvi.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/dateien/PDF/Baumaschinen-Fachtagung-MVI_Erfahrungen-Berlin.pdf, aufgerufen am 24.02.2015.
McKinsey 2007	McKinsey (Hrsg.); Costs and potentials of greenhouse gas abatement in Germany; Berlin 2007; http://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/dotcom/client_service/Sustainability/cost%20curve%20PDFs/costs_and_potentials_of_greenhouse_gas_full_report.ashx, aufgerufen am 18.02.2015
NEI 2014	Niedrig-Energie-Institut (NEI) (Hrsg.); Besonders sparsame Haushaltsgeräte – Eine Verbraucherinformation 2013/14.
Papieratlas 2014	Papieratlas (Hrsg.); Einzelergebnis der Städte; Recyclingpapierfreundlichste Stadt Deutschlands; http://www.papieratlas.de/index.php?article_id=121, aufgerufen am 15.11.2014;
Pehnt et al. 2008	Pehnt, M.; Seebach, D.; Irrek, W.; Seifried, D.; Umweltnutzen von Ökostrom. Vorschlag zur Berücksichtigung in Klimaschutzkonzepten – Diskussionspapier in Zusammenarbeit von IFEU, Öko-Institut, WI, Ö-Quadrat.
Prakash et al. 2015	Prakash, S.; Dehoust, G.; Gsell, M.; Schleicher, T.; Stamminger, R.; Einfluss der Nutzungsdauer von Produkten auf ihre Umweltwirkung: Schaffung einer Informationsgrundlage und Entwicklung von Strategien gegen Obsoleszenz; Öko-Institut e.V. in Zusammenarbeit mit der Universität Bonn, Institut für Landtechnik; Umweltbundesamt Texte 10/2015; Dessau-Roßlau 2015
RB-Gross	RB-Gross Objektausstattung & Großhandel; http://www.rb-gross.de/shop/index.php/heimtextilien-bettwaren-matratzen/bettwasche.html, aufgerufen am 24.02.2015.
Reichmuth et al. 2014	Reichmuth, M.; Lorenz, C.; Beestermöller, C.; Nabe, C.; Markgraf, C.; Schließer, J.; Gerstenberg, J.; Kramer, A.; Megyesi, A.; Neumann, R.; Marktanalyse Ökostrom – Endbericht, IE Leipzig, Ecofys Germany, GET AG im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dessau-Roßlau 2014
Schleicher et al. 2013	Schleicher, T.; Liu, J.; Gröger, J.; PROSA Leuchten für die Anwendung in Büros und verwandten Einsatzbereichen – Entwicklung der Vergabekriterien für ein klimaschutzbezogenes Umweltzeichen. Studie im Rahmen des Projekts „Top 100 – Umweltzeichen für klimarelevante Produkte“; Freiburg 2013.

Schwermer 2012	Schwermer, S.; Methodenkonvention 2.0 zur Schätzung von Umweltkosten; Ökonomische Bewertung von Umweltschäden; Anhang B; Umweltbundesamt, Dessau 2012; http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/methodenkonvention-20-zur-schaetzung-von-1, aufgerufen am 17.06.2015
SenFin 2014	Statistikstelle Personal bei der Senatsverwaltung für Finanzen (Hrsg.); Beschäftigte im unmittelbaren Landesdienst Berlin im Januar 2014. Berlin 2014.
SenGesSoz 2015	Senatsverwaltung für Gesundheit und Soziales (Hrsg.); Bettenangebot in den Berliner Krankenhäusern; https://www.berlin.de/sen/gesundheit/themen/stationaere-versorgung/krankenhaus-bettenangebot/ aufgerufen am 24.02.2015.
SenStadtUm 2015	Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt (Hrsg.); Beratungsleitfaden für die Partikelfilternachrüstung – Umweltstandards für Baumaschinen im Hoch- und Tiefbau im Rahmen öffentlicher Aufträge; Berlin 2015, http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/ luft-qualitaet/de/baumaschinen/downloads/leitfaden_partikelfilternachruestung.pdf, aufgerufen am 24.02.2015.
SenWTF 2015	Berliner Senatsverwaltung für Wirtschaft, Technologie und Forschung (Hrsg.); Vergabebericht 2014; http://pardok.parlament-berlin.de/starweb/adis/citat/VT/17/DruckSachen/d17-2206.pdf; aufgerufen am 24.04.2015
Stadt Frankfurt am Main 2013	Stadt Frankfurt am Main (Hrsg.); Passivhäuser in Frankfurt am Main – Bauen für die Zukunft, https://www.frankfurt.de/sixcms/media.php/738/ER_PHT2013_final_klein.pdf, aufgerufen am 15.12.2014.
Textile Exchange 2014	Textile Exchange (Hrsg.); The Life Cycle Assessment of Organic Cotton Fiber. Summary of findings – a global average; November 2014.
Umweltbundesamt 2008	Hartmann, D.; Kase, D.; Steingrübner, E.; Umweltfreundliche Beschaffung – ökologische und wirtschaftliche Potenziale rechtlich zulässig nutzen; Studie im Auftrag des Umweltbundesamts, 2008.
Umweltbundesamt 2012	Umweltbundesamt (Hrsg.); Hermann, A.; Rechtsgutachten Umweltfreundliche öffentliche Beschaffung; UBA-Texte 35/2012; Dessau 2012.
Umweltbundesamt 2014	Umweltbundesamt (Hrsg.); Wassersparen in Privathaushalten: sinnvoll, ausgereizt, übertrieben?; Dessau 2014
VwVBU 2012	Verwaltungsvorschrift für die Anwendung von Umweltschutzanforderungen bei der Beschaffung von Liefer-, Bau- und Dienstleistungen (Verwaltungsvorschrift Beschaffung und Umwelt – VwVBU); Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt; Berlin 23. Oktober 2012.