

# Materialbestand der Rechen- zentren in Deutschland

Eine Bestandsaufnahme zur Ermittlung  
von Ressourcen- und Energieeinsatz



UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES  
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,  
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Förderkennzeichen 370 893 302  
UBA-FB 001420

## **Materialbestand der Rechenzentren in Deutschland**

**Eine Bestandsaufnahme zur Ermittlung von  
Ressourcen- und Energieeinsatz**

von

**Dr. Ralph Hintemann, Prof. Dr. Klaus Fichter**  
Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit  
gemeinnützige GmbH, Berlin

unter Mitarbeit von

**Dr. Lutz Stobbe**  
Fraunhofer Institut für Zuverlässigkeit und  
Mikrointegration (IZM), Berlin

sowie in Zusammenarbeit mit dem

Bundesverband Informationstechnik,  
Telekommunikation und Neue Medien (BITKOM) e.V.,  
Berlin

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

**UMWELTBUNDESAMT**

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter <http://www.uba.de/uba-info-medien/4037.html> verfügbar.

Die in der Studie geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

ISSN 1862-4804

Herausgeber: Umweltbundesamt  
Postfach 14 06  
06813 Dessau-Roßlau  
Tel.: 0340/2103-0  
Telefax: 0340/2103 2285  
E-Mail: [info@umweltbundesamt.de](mailto:info@umweltbundesamt.de)  
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>  
<http://fuer-mensch-und-umwelt.de/>

Redaktion: Fachgebiet III 1.1 Übergreifende Aspekte des  
Produktbez. Umweltschutzes, Nachhaltige  
Konsumstrukturen, Innovationsprogramm  
Dr. Heidrun Moser

Dessau-Roßlau, November 2010

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	2
Berichts-Kennblatt.....	4
Report Cover Sheet.....	5
Abbildungsverzeichnis.....	6
Tabellenverzeichnis.....	7
1 Einleitung.....	10
2 Anzahl, Größe und Typen von Rechenzentren in Deutschland.....	13
2.1 Überblick und Definitionen.....	13
2.2 Herausforderungen bei der Typologisierung von Rechenzentren.....	14
2.3 Ansatzpunkte zur Typologisierung von Rechenzentren.....	16
2.4 Kriterien für die Auswahl des Typologierungsansatzes.....	19
2.5 Ausgewählter Ansatz für eine Rechenzentrumstypologie.....	23
2.6 Anzahl der verschiedenen Rechenzentrumstypen in Deutschland.....	24
2.7 Durchschnittliche Ausstattung der Rechenzentren im Jahr 2008.....	26
2.7.1 Methodisches Vorgehen.....	26
2.7.2 Serverschrank.....	27
2.7.3 Serverraum.....	28
2.7.4 Kleines Rechenzentrum.....	29
2.7.5 Mittleres Rechenzentrum.....	30
2.7.6 Großes Rechenzentrum.....	32
3 Materialbestand IT: Server, Speicher und Netzinfrastruktur.....	33
3.1 Zielstellung und methodisches Vorgehen.....	33
3.2 Definition von Referenzprodukten.....	35
3.3 Definition von Referenzeinheiten.....	36
3.3.1 Referenz-Server-Einheiten (Average Server Unit).....	36
3.3.2 Referenz-Modul-Einheiten (AMU).....	39
3.4 Berechnung des Mengengerüsts.....	49
3.4.1 Referenzeinheit Tower-Server (Stand-Alone).....	49
3.4.2 Referenzeinheit Tower-Server (Rechenzentrum).....	50
3.4.3 Referenzeinheit Blades.....	51
3.4.4 Referenzeinheit Rack-Server.....	52
3.4.5 Referenzeinheit Unix-Server.....	53
3.4.6 Referenzeinheit Mainframes.....	54
3.4.7 Referenzeinheit 2,5" Netzwerkspeicher.....	55
3.4.8 Referenzeinheit 3,5" Netzwerkspeicher.....	56
3.4.9 Referenzeinheit Netzwerktechnik.....	57
3.5 Auswertung des Mengengerüsts.....	58
4 Materialbestand Elektrik (USV, Stromverteilung, Notstromaggregate).....	60
4.1 Unterbrechungsfreie Stromversorgung und Batterien.....	60
4.2 Stromverteilung und Generatoren.....	64
5 Materialien Racks und Einhausungen.....	66
5.1 Abgrenzung und Zielsetzung.....	66
5.2 Methodisches Vorgehen.....	66
5.3 Materialien in Server- und Netzwerkracks.....	67
5.4 Materialien für die Einhausung von Kalt- und Warmgängen.....	69
6 Materialien Kühlung und Klimatisierung.....	71
6.1 Zielsetzung und Vorgehensweise.....	71
6.2 Bestimmung der installierten Kühlleistung in Rechenzentren.....	71
6.3 Einsatz von Kältemitteln.....	74
7 Materialbezogene Trends in der Informationstechnik.....	76

7.1	Zielsetzung und Vorgehensweise.....	76
7.2	Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Trendanalyse.....	76
7.2.1	Generelle IT-Trends .....	76
7.2.2	Server-, Speicher- und Netzwerkinfrastruktur .....	79
7.2.3	Stromversorgung.....	81
7.2.4	Racks und Einhausungen.....	82
7.2.5	Klimatisierung.....	83
8	Szenario-Analyse.....	85
8.1	Eckpunkte für die Szenarien .....	85
8.2	Darstellung der Szenarien.....	85
8.2.1	Szenario „Business as usual“ .....	85
8.2.2	Szenario „Green IT“ .....	87
8.3	Ergebnisse der Szenario-Analyse .....	89
8.3.1	Entwicklung des Energieverbrauchs von Rechenzentren .....	89
8.3.2	Entwicklung des Materialbestandes der IT in Rechenzentren.....	92
8.3.3	Entwicklung des Materialbestandes der Stromversorgung .....	97
8.3.4	Entwicklung des Materialsbestands bei Racks und Einhausungen.....	99
8.3.5	Entwicklung des Materialbestandes der Klimatisierung .....	100
9	Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Analysen .....	102
9.1	Überblick.....	102
9.2	Entwicklung des Einsatzes von Massenmaterialien in deutschen Rechenzentren	102
9.3	Entwicklungen des Einsatzes von Edelmetallen in deutschen Rechenzentren ....	107
9.4	Zusammenhang von Rechenleistung, Energieverbrauch und Materialeinsatz.....	110
10	Handlungsoptionen und Empfehlungen .....	115
11	Glossar .....	119
12	Fragebogen zur Ermittlung der Trends.....	128
13	Literatur .....	134

# Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB 001420	2.	3.
4. Titel des Berichts Materialbestand der Rechenzentren in Deutschland		
5. Autor(en), Name(n), Vornamen(n) Dr. Ralph Hintemann Prof. Dr. Klaus Fichter		8. Abschlussdatum Februar 2010
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gemeinnützige GmbH Clayallee 323 14169 Berlin		9. Veröffentlichungsdatum November 2010
		10. UFOPLAN-Nr. 370 893 302
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt Postfach 1406 06813 Dessau-Roßlau		11. Seitenzahl 140
		12. Literaturangaben 66
		13. Tabellen und Diagramme 71
		14. Abbildungen 18
15. Zusätzliche Angaben		
16. Zusammenfassung		
<p>Die Untersuchung ermittelt erstmalig die Ausstattungen und Materialbestände der deutschen Rechenzentren für das Bezugsjahr 2008 und prognostiziert ihre Entwicklung bis zum Jahr 2015 in zwei Szenarien („Business as usual“ und „Green IT“). Vergleichbare Studien für andere Länder oder Regionen liegen bislang nicht vor. In der Untersuchung wird eine Methodik entwickelt, mit der die Zahl der Rechenzentren in unterschiedlichen Größenklassen und ihre durchschnittlichen Ausstattungen mit IT-Geräten und Infrastrukturelementen wie Klimatisierung und Stromversorgung ermittelt werden kann. Weiterhin wurde anhand von Referenzprodukten eine detaillierte Bestimmung der Materialzusammensetzung einzelner Komponenten in Rechenzentren vorgenommen. Auf dieser Basis werden in der Studie detaillierte Aussagen zur materiellen Ausstattung der rund 53.000 Rechenzentren in Deutschland gemacht.</p> <p>In deutschen Rechenzentren sind im Jahr 2008 ca.12.000 t Elektronik, 17.000 t Kupfer, 7.000 t Aluminium, 11.000 t Kunststoffe und 58.000 t Eisen eingesetzt. In der Elektronik sind ca. 1,8 t Gold, 7,5 t Silber und 0,8 t Palladium enthalten. Knapp 30% der Materialien sind in den rund 50 großen Rechenzentren gebunden.</p> <p>Die Elektronikmenge in den deutschen Rechenzentren wird im Szenario „Business as usual“ von 2008 bis zum Jahr 2015 um über 60 % auf 20.000 t zunehmen. Darin enthalten sind dann fast 3 t Gold, 21 t Silber und 1,8 t Palladium. Auch die Mengen an Kupfer, Aluminium und Eisen werden um über 50 % zunehmen. Selbst im Szenario „Green IT“, in dem der Energiebedarf der Rechenzentren in Deutschland um 40 % sinken wird, ist keine Absenkung des Materialbestandes in den Rechenzentren zu erwarten; die Elektronikmenge wird auch dann mit mehr als 20 % deutlich ansteigen.</p> <p>Die Studie zeigt erheblichen weiteren Forschungsbedarf auf, der insbesondere in der Erhebung detaillierter Daten zur Materialzusammensetzung von IT-Produkten (Server etc.) liegt. Die Untersuchung unterstreicht, dass in Zukunft neben dem Energieverbrauch verstärkt auch Fragen der Materialeffizienz von Rechenzentren betrachtet werden müssen sowie geeignete Produktdesign- und Recyclingstrategien für Server, Speicher und weitere Rechenzentrumskomponenten zu entwickeln sind.</p>		
17. Schlagwörter Green IT, Materialbestand, Materialeffizienz, Energieverbrauch, Energieeffizienz, Rechenzentren, Elektronik, Server, Speicher, Netzwerk, Klimatisierung, Stromversorgung, Unterbrechungsfreie Stromversorgung, seltene Metalle, Gold, Silber, Palladium, Kupfer, Aluminium		
18. Preis	19.	20.

# Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB 001420	2.	3.
4. Report Title Material Stock in German Datacenters		
5. Autor(s), Family Name(s), First Name(s) Dr. Ralph Hintemann Prof. Dr. Klaus Fichter		8. Report Date February 2010
6. Performing Organisation (Name, Address) Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gemeinnützige GmbH Clayallee 323 D-14169 Berlin		9. Publication Date November 2010
		10. UFOPLAN-Ref, No. 370 893 302
7. Funding Agency (Name, Address) Umweltbundesamt (Federal Environmental Agency) Postfach 1406 D-06813 Dessau-Roßlau		11. No. of Pages 140
		12. No. of Reference 66
		13. No. of Tables, Diagrams 71
		14. No. of Figures 18
15. Supplementary Notes		
16. Abstract <p>The study ascertains the equipment and material resources of German data centres for the reference year 2008 and predicts its development until the year 2015 in two scenarios ("business as usual" and "Green IT"). Similar studies for other countries or regions are not known so far. In the study a methodology is developed, which allows to calculate the number of data centres in different size classes and their average equipment with IT components and infrastructure elements such as air conditioning systems and power supplies. Reference products are defined and on this basis a detailed determination of the material composition of data centre components is made. This allows to make detailed statements on the material equipment of approximately 53,000 data centres in Germany.</p> <p>In the year 2008 in German Data centres approx.12.000 tonnes of electronics, 17,000 tonnes of copper, 7,000 tonnes of aluminium, 11,000 tonnes of plastics and 58 000 tonnes of iron were used. The electronic material contains 1.8 tonnes of gold, 7.5 tonnes of silver and 0.8 tonnes of palladium. Nearly 30% of the materials are bound in almost 50 major data centres.</p> <p>In the scenario "business as usual" the amount of electronics in the German data centres increases from 2008 to 2015 by about 60% up to 20,000 tonnes. This includes almost 3 tonnes of gold, 21 tonnes of silver and 1.8 tonnes of palladium. The amounts of copper, aluminium and iron will increase by over 50%. Even in the scenario "Green IT" when the energy needs of data centres in Germany decreases by 40%, the material stock in the data centres would not reduce, especially the electronic material will increase significantly by more than 20%.</p> <p>The study points to significant further research. In particular there is a need to ascertain detailed data on the material composition of IT products (servers, etc.). The study stresses that in the future in addition to the issues of energy efficiency the questions of material efficiency of data centres should be regarded. Additionally the development of appropriate product design and recycling strategies for servers, storage and other data centre components should be enforced.</p>		
17. Keywords Green IT, material stock, material efficiency, energy consumption, energy efficiency, data centre, electronic material, server, storage, network, climate , power supply, uninterruptable power supply, rare metal, gold, silver, palladium, copper, aluminium		
18. Price	19.	20.



# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Der Untersuchung zugrundeliegende Struktur eines Rechenzentrums .....	12
Abbildung 2: Befragungsergebnisse zur Einschätzung der Eignung verschiedener Größenkriterien für eine Typologie von Rechenzentren. ....	22
Abbildung 3: Befragungsergebnisse zur Einschätzung der Eignung verschiedener qualitativer Kriterien für eine Typologie von Rechenzentren .....	22
Abbildung 4: Anteile der Server in verschiedenen Serverclustern.....	24
Abbildung 5: Vorgehen zur Bestimmung des Mengengerüsts .....	34
Abbildung 6: Vergleich der gewichtbezogenen Zusammensetzung von PCs in verschiedenen Studien .....	38
Abbildung 7: Durchschnittliche Materialzusammensetzung des Referenz-PC .....	39
Abbildung 8: Leiterplattenfraktion vor der Entstückung (Fujitsu Recycling Center) .....	42
Abbildung 9: Materialbestand IT in Rechenzentren nach Stoffgruppen.....	59
Abbildung 10: Ergebnisse der Expertenbefragung zu Struktur der Rechenzentren in Deutschland im Zeitraum 2008 bis 2015.....	79
Abbildung 11: Entwicklung des Energiebedarfs der Server und Rechenzentren in Deutschland.....	90
Abbildung 12: Materialbestand IT in deutschen Rechenzentren nach Stoffgruppen im Szenario Business as usual 2015.....	95
Abbildung 13: Materialbestand IT in deutschen Rechenzentren im Szenario „Business as usual“ .....	96
Abbildung 14: Entwicklung der Massenmaterialien in deutschen Rechenzentren von 2008 bis 2015 .....	103
Abbildung 15: Entwicklung der Summe der Massenmaterialien in den verschiedenen Bereichen von Rechenzentren in Deutschland von 2008 bis 2015.....	105
Abbildung 16: Materialgewicht und Marktwert von Metallen in deutschen Rechenzentren im Jahr 2008 .....	109
Abbildung 17: Materialgewicht und ökonomischer Wert von Metallen in deutschen Rechenzentren im Jahr 2015 (Szenario „Business as usual“).....	110
Abbildung 18: Entwicklung des spezifischen Stromverbrauchs von Computern .....	113

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Praxisbeispiele zur Materialeinsparung durch Virtualisierung in Rechenzentren.....	14
Tabelle 2: Unterschiedliche Servertypen.....	15
Tabelle 3: Typische Ausstattungsvarianten von Klimatisierung und USV (Auswahl) .....	15
Tabelle 4: Rechenzentrums-Typen nach US-EPA .....	17
Tabelle 5: Rechenzentrums-Typologie zur Verfügbarkeit von Rechenzentren nach BITKOM .....	18
Tabelle 6: Verfügbarkeitsklassen von Rechenzentren nach Uptime-Institut .....	18
Tabelle 7: Mögliche Kriterien für eine Rechenzentrumstypologie .....	21
Tabelle 8: Typologie von Rechenzentren .....	23
Tabelle 9: Rechenzentren in Deutschland nach Größenklassen in 2008.....	25
Tabelle 10: Durchschnittliche Ausstattung eines „Serverschranks“ .....	28
Tabelle 11: Durchschnittliche Ausstattung eines „Serverraums“ .....	29
Tabelle 12: Durchschnittliche Ausstattung eines „Kleinen Rechenzentrums“ .....	30
Tabelle 13: Durchschnittliche Ausstattung eines „Mittleren Rechenzentrums“ .....	31
Tabelle 14: Durchschnittliche Ausstattung eines „Großen Rechenzentrums“ .....	32
Tabelle 15: Referenzproduktgruppen und Bestanzahlen.....	36
Tabelle 16: Referenz-Server-Einheiten (ASU) .....	37
Tabelle 17: Vergleich der gewichtbezogenen Zusammensetzung von PCs .....	38
Tabelle 18: Verwendete Begriffe und Abkürzungen für Referenz-Modul-Einheiten (AMU) ..	40
Tabelle 19: Leiterplatten-Referenzdaten und Ableitung eines Referenzmoduls (AMU 1) ....	41
Tabelle 20: Vergleich Beprobung durch Fujitsu Recycling Center Paderborn und Referenzdatensatz Edelmetalle Leiterplatte .....	42
Tabelle 21: Materialzusammensetzung Referenzmodul Netzteil (Power Supply Unit) (AMU2).....	44
Tabelle 22: Materialzusammensetzung des Referenzmoduls Kühlung (AMU 3) .....	45
Tabelle 23: Annahmen Referenzmodul Gehäuse (AMU 4) .....	46
Tabelle 24: Materialzusammensetzung 2,5" Festplatte (AMU 5) .....	46
Tabelle 25: Materialzusammensetzung 3,5"-Festplatte (AMU 6).....	46
Tabelle 26: Materialzusammensetzung Referenzeinheit Tower-Server (Stand-Alone) (ASU 1a) .....	49
Tabelle 27: Materialzusammensetzung Referenzeinheit Tower-Server in Rechenzentren (ASU 1b) .....	50
Tabelle 28: Materialzusammensetzung der Referenzeinheit Blades (ASU 2).....	51
Tabelle 29: Materialzusammensetzung der Referenzeinheit Rack-Server (ASU 3).....	52
Tabelle 30: Materialzusammensetzung der Referenzeinheit Unix-Server (ASU 4).....	53

Tabelle 31: Materialzusammensetzung der Referenzeinheit Mainframes (ASU 5).....	54
Tabelle 32: Materialzusammensetzung der Referenzeinheit 2,5" Netzwerkspeicher (NS) (ASU 6) .....	55
Tabelle 33: Materialzusammensetzung der Referenzeinheit 3,5" Netzwerkspeicher (NS) (ASU 7) .....	56
Tabelle 34: Materialzusammensetzung Referenzeinheit Netzwerktechnik (ASU 8).....	57
Tabelle 35: Gesamtbestand der Materialien als Summe der Referenzeinheiten (ASU).....	58
Tabelle 36: Bestandszahlen für USV im Referenzjahr 2008 (Modellannahmen) .....	61
Tabelle 37: Gewichte und Materialzusammensetzungen von typischen batteriebetriebenen USVen .....	62
Tabelle 38: Materialien batteriebetriebener USVen in deutschen Rechenzentren im Jahr 2008 .....	62
Tabelle 39: Materialzusammensetzung USV Leiterplatten (Referenzjahr 2008).....	63
Tabelle 40: Durchschnittliche Materialzusammensetzung von Altbatterien .....	64
Tabelle 41: Materialbestand Back-up-Batterien .....	64
Tabelle 42: Bestand Stromkabel, Generatoren und Transformatoren .....	64
Tabelle 43: Abschätzung Materialbestand Generatoren und Transformatoren.....	65
Tabelle 44: Durchschnittliche Zahl der Server pro Rack für unterschiedliche Serverarten...	67
Tabelle 45: Anzahl von Serrerracks in verschiedenen Rechenzentrumskategorien.....	68
Tabelle 46: Zahl der Netzwerkracks pro Rechenzentrumskategorie.....	68
Tabelle 47: Materialzusammensetzung eines durchschnittlichen Racks und Gesamtmasse der Rack-Materialien in deutschen Rechenzentren .....	69
Tabelle 48: Abschätzung der für Einhausungen verwendete Materialmenge .....	70
Tabelle 49: Abschätzung der Materialzusammensetzung von Einhausungen .....	70
Tabelle 50: Berechnung der Klimatisierungsleistungen in deutschen Rechenzentren.....	72
Tabelle 51: Kühlleistungen von Splitgeräten/Rackkühlungen und Umluftklimasystemen.....	73
Tabelle 52: Leistungen und spezifisches Gewicht von Kaltwassererzeugern (90 Produkte verschiedener Hersteller) .....	73
Tabelle 53: Materialeinsatz für Kühlung in deutschen Rechenzentren .....	74
Tabelle 54: Generelle IT-Trends mit Einfluss auf den Materialbedarf von Rechenzentren ..	78
Tabelle 55: Entwicklung der Rechenzentrumsstruktur im Szenario „Business as usual“ .....	86
Tabelle 56: Entwicklung der Rechenzentrumsstruktur im Szenario „Green IT“ .....	88
Tabelle 57: Entwicklung der PUE-Werte im Szenario „Green IT“ .....	89
Tabelle 58: Anteile der Server-, Netzwerk- und Speicherinfrastruktur am Energieverbrauch der Informationstechnik in Rechenzentren in den Jahren 2008 und 2015 .....	91
Tabelle 59: Referenzproduktgruppen und Bestandszahlen deutscher Rechenzentren (Annahmen 2008, 2015 Szenarien) .....	93
Tabelle 60: Materialbestand IT in deutschen Rechenzentren Szenario Business-as-usual 2015.....	94

Tabelle 61: Materialbestand IT in deutschen Rechenzentren Szenario Green IT 2015 .....	94
Tabelle 62: Entwicklung der unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) in deutschen Rechenzentren bis 2015.....	97
Tabelle 63: Materialbestand batteriebetriebener USVen in deutschen Rechenzentren im Jahr 2008 und im Jahr 2015.....	98
Tabelle 64: Batteriematerialien in deutschen Rechenzentren in den Jahren 2008 und 2015.....	98
Tabelle 65: Bestand an Kupferkabeln in deutschen Rechenzentren in den Jahren 2008 und 2015 .....	99
Tabelle 66: Stahl- und Kupfereinsatz in Generatoren und Transformatoren deutscher Rechenzentren in den Jahren 2008 und 2015 .....	99
Tabelle 67: Materialmasse von Racks insgesamt in deutschen Rechenzentren in den Jahren 2008 und 2015 .....	100
Tabelle 68: Abschätzung der Materialzusammensetzung von Einhausungen in den Jahren 2008 und 2015 .....	100
Tabelle 69: Materialeinsatz für Kühlung in deutschen Rechenzentren in den Jahren 2008 und 2015 .....	101
Tabelle 70: Massenmaterialien in den Rechenzentren in Deutschland in den Jahren 2008 und 2015 .....	104
Tabelle 71: Summe der Massenmaterialien in den verschiedenen Bereichen der Rechenzentren in Deutschland in den Jahren 2008 und 2015.....	106

# 1 Einleitung

Der Einsatz von IKT in Unternehmen, Behörden und Haushalten steigt ständig an. Damit nahmen in der Vergangenheit auch die Umweltwirkungen zu. So ist der IKT-bedingte Stromverbrauch in Deutschland von rund 38 TWh in 2001 (Cremer et al. 2003) auf rund 55 TWh in 2007 gestiegen (Fraunhofer IZM/ISI 2009). Dies entspricht rund 10,5 % des deutschen Stromverbrauchs. Das stärkste Wachstum ist dabei bei den IKT-Infrastrukturen, d.h. bei den Servern und Rechenzentren zu verzeichnen. Der Stromverbrauch von Rechenzentren in Deutschland lag im Jahr 2008 bei 10,1 TWh (BMU 2008, 8). Damit verursachten sie CO<sub>2</sub>-Emissionen in Höhe von 6,4 Mio. Tonnen. Ca. 50 % dieses Energieverbrauchs und damit auch der CO<sub>2</sub>-Emissionen sind nicht auf die eigentliche Informationstechnik, sondern auf die sonstige Infrastruktur wie Klimatisierung und Stromversorgung zurückzuführen.

Während zum Energieverbrauch von Servern und Rechenzentren insgesamt bereits Daten und Prognosen vorliegen, ist über die Struktur, die durchschnittliche Ausstattung und den Aufbau der Rechenzentren bislang wenig bekannt. Informationen zum Materialbestand und den Materialbedarf der in Rechenzentren eingesetzten Technik sind bis dato nicht verfügbar. Dies ist vor allem auch dadurch begründet, dass Rechenzentren ein sehr komplexes und heterogenes Konstrukt sind, zu dem bislang nicht einmal ein einheitliches Begriffsverständnis existiert. Wird in einigen Unternehmen bereits beim Vorhandensein von wenigen Servern von einem Rechenzentrum gesprochen, so definieren andere Unternehmen ein eigenes Gebäude mit Klimatisierung, Notstromversorgung und Zutrittskontrolle als grundlegende (Mindest-)Voraussetzung für ein Rechenzentrum. Bei einer relativ weit gefassten Definition – wie sie auch dieser Untersuchung zugrunde liegt (siehe Kapitel 2) – lassen sich mehr als 50.000 Rechenzentren in Deutschland ermitteln.

Allein aufgrund der Vielzahl von Einzelkomponenten (Server, Netzwerktechnik, Speichertechnik, Klimatisierung, Stromversorgung, Sicherheitstechnik, Brandschutz, etc.) von größeren Rechenzentren, gestaltet sich die Ermittlung der eingesetzten Materialien als sehr schwierig. Hinzu kommt die strategisch hohe Bedeutung der Unternehmens-IT, die dazu führt, dass sich die Unternehmen in der Regel nicht darüber äußern wollen, wie ihre Rechenzentren aufgebaut sind. Eine leistungsfähige und effiziente IT stellt einen wesentlichen Wettbewerbsfaktor dar. Der Sicherheit der IT wird – zu Recht – eine hohe Bedeutung beigemessen. Ein Ausfall, z.B. durch Sabotage, hat in fast jedem Fall direkte und erhebliche wirtschaftliche Konsequenzen – längere Ausfälle gefährden in vielen Fällen sogar die Existenz des Unternehmens (Hintemann 2007).

Eine weitere erhebliche Herausforderung bei der Ermittlung des Materialbestandes in Rechenzentren liegt darin, dass bislang fast keine Informationen zur konkreten Materialzusammensetzung der Rechenzentrums-Komponenten verfügbar sind. Die wenigen vorhandenen Informationen geben darüber hinaus zumeist nur Auskunft über die grobe Zusammensetzung (z.B. Eisen, Nicht-Eisen-Metalle, Kunststoffe, Glas/Keramiken, Elektronik). Liegen detaillierte Materialzusammensetzungen vor, so sind sie häufig schon älteren Datums. Bei der hohen Entwicklungsgeschwindigkeit der IT und den kurzen Produktzyklen ist ihre Anwendbarkeit daher nur bedingt gegeben.

Aufgrund der genannten Schwierigkeiten bei der Datenerhebung steht diese Untersuchung zunächst einmal vor der Herausforderung, ein geeignetes methodisches Vorgehen zur Ermittlung des Materialbestandes in Rechenzentren zu entwickeln. Mithilfe der zu entwickelnden Methode soll eine erste Abschätzung der in Rechenzentren gebundenen Materialien erfolgen. Die Methode sollte dabei so aufgebaut sein, dass bei Verfügbarkeit weiterer Informationen, z.B. zur Anzahl und Ausstattung der Rechenzentren oder zur Materialzusammensetzung der Einzelkomponenten, diese in die Abschätzung aufgenommen werden können. Außerdem sollte sie sich dazu eignen, auf Basis einer Trendanalyse Aussagen zum zukünftigen Materialbestand von Rechenzentren zu ermöglichen.

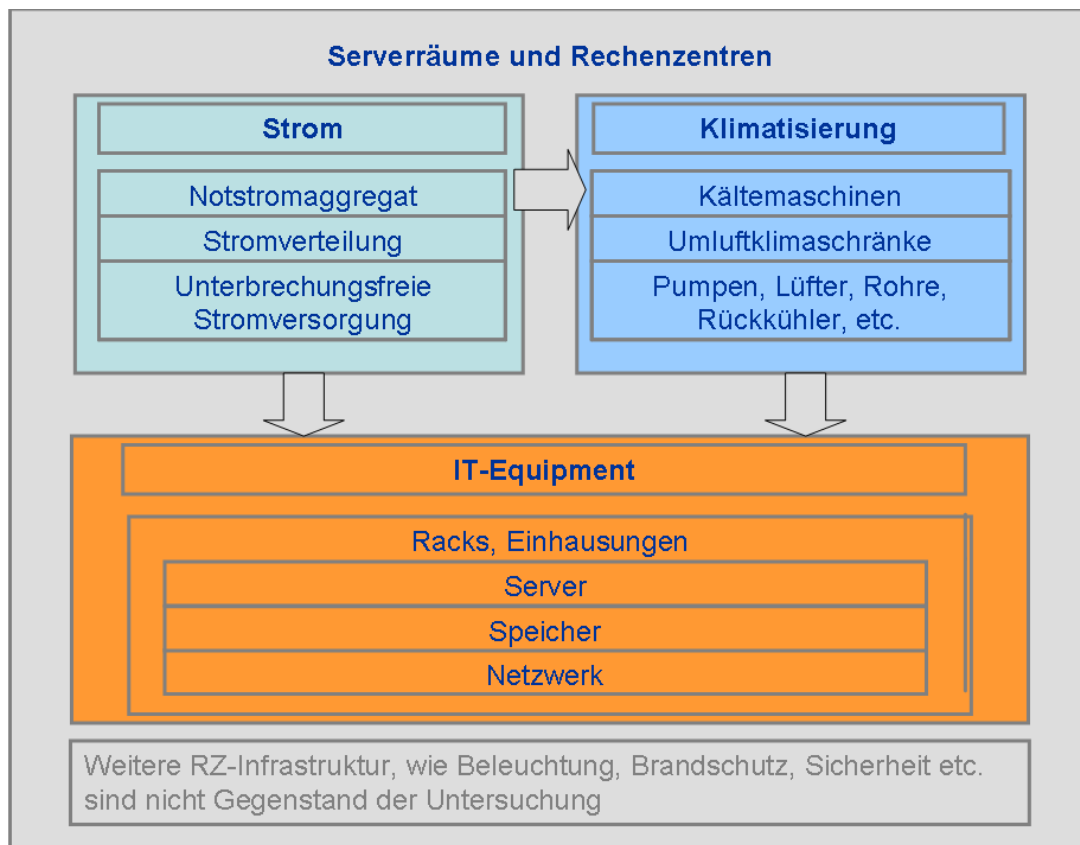
Vor dem skizzierten Hintergrund verfolgt diese Untersuchung im Einzelnen folgende Ziele:

- Entwicklung eines methodischen Vorgehens zur Bestimmung des Materialbestandes in Rechenzentren
- Erfassung der Struktur und des Aufbaus der Rechenzentren in Deutschland sowie Bestandsaufnahme der in Rechenzentren festgelegten Materialien (Bezugsjahr 2008)
- Prognose der in den Rechenzentren festgelegten Materialien bis zum Jahr 2015 unter Berücksichtigung anwendungsspezifischer und technologiebezogener Trends
- Darstellung des Zusammenhangs von Rechenleistung, Energieverbrauch, Materialeinsatz – ggf. aufzeigen von Zielkonflikten bezüglich der Steigerung der Materialeffizienz
- Darstellung von Ressourcenschonungspotentialen und alternativen Entwicklungspfaden zur Materialeinsparung
- Erarbeitung von Handlungsoptionen und Empfehlungen zur Steigerung der Materialeffizienz für Forschung, Industrie und Politik unter Abwägung der Aspekte der Rechenleistung, des Energieverbrauchs und des Materialeinsatzes.

Um diese Ziele zu erreichen werden in den folgenden Kapiteln zunächst die in Deutschland vorhandenen Rechenzentren in verschiedene Typen eingeteilt, für die jeweils eine typische Ausstattung ermittelt wird. Auf dieser Basis werden dann die in den deutschen Rechenzentren vorhandenen Materialien berechnet.

Untersuchungsgegenstand sind Rechenzentren, d.h. es werden Geräte, Anlagen und Materialien betrachtet, die sich innerhalb des baulichen Abschnittes „Rechenzentrum“ befinden. Die Gebäude- und Raumhülle von Rechenzentren wird nicht mit erfasst. Auch werden IT-Geräte und Ausstattungen, die sich in Unternehmen und Behörden außerhalb von Rechenzentren befinden – wie Arbeitsplatz-Computer oder auch Netzwerktechnik – nicht mit betrachtet. In Abstimmung mit dem Auftraggeber der Studie wird die in Abbildung 1 dargestellte Grobstruktur einer Rechenzentrumsausstattung verwendet.

**Abbildung 1: Der Untersuchung zugrundeliegende Struktur eines Rechenzentrums**



**Quelle: Eigene Darstellung.**

Basierend auf dieser Grundstruktur werden in den Kapiteln drei bis sechs die aktuellen Materialbestände für folgende Elemente der Rechenzentren in Deutschland ermittelt:

- (1) Informations- und Kommunikationstechnik: Server, Speicher und Netzinfrastruktur
- (2) Elektrik: Unterbrechungsfreie Stromversorgung, Stromverteilung, Notstromaggregate
- (3) Computer-Einhausungen: Racks etc.
- (4) Kühlungs- und Klimatisierungssysteme

Im Anschluss daran werden aktuelle Materialtrends in Rechenzentren beschrieben und Szenarien für die künftige Entwicklung abgeleitet. Darauf aufbauend werden die Einsparpotenziale quantifiziert und Handlungsoptionen und Empfehlungen für Politik, Unternehmen und Wissenschaft aufgezeigt.

Die Untersuchung wurde während der gesamten Laufzeit durch den Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (BITKOM) begleitet. Dazu wurde in insgesamt 5 Sitzungen der Arbeitskreise Server- und Betriebskonzepte und Rechenzentrum & Infrastruktur die Untersuchung vorgestellt, die Systematik und Typologisierung von Rechenzentren diskutiert. Es wurde eine Online-Umfrage zur Ausstattung der Rechenzentren, zahlreiche Einzelinterviews sowie ein fragebogengestützte Expertenumfrage zu Entwicklungstrends bezüglich der Materialeffizienz in Rechenzentren durchgeführt.

## 2 Anzahl, Größe und Typen von Rechenzentren in Deutschland

### 2.1 Überblick und Definitionen

Um Aussagen über den Materialbestand und zukünftigen Materialbedarf von Rechenzentren in Deutschland treffen zu können, ist es zunächst notwendig zu klären, was unter dem Begriff verstanden werden soll und wie viele Rechenzentren welcher Größe und welchen Typs es in Deutschland gibt. Bislang gibt es keine allgemein gültige Definition des Begriffs „Rechenzentrum“ bzw. „data centre“ (Cremer et al. 2003, 18). Je nach Verwendungszweck werden unterschiedliche Abgrenzungen vorgenommen (Fichter 2007, 5 f.). Angesichts der Heterogenität der Begriffsauslegung gilt es für die vorliegende Arbeit eine Festlegung zu treffen. Danach soll der Terminus „Rechenzentrum“ wie folgt definiert werden:

*Mit „Rechenzentrum“ soll hier ein Gebäude bzw. sollen hier Räumlichkeiten bezeichnet werden, in denen die zentrale Rechentechnik (Server, aber auch die zum Betrieb notwendige Infrastruktur) einer oder mehrerer Firmen oder Organisationen untergebracht sind. Dabei muss es sich zumindest um einen eigenständigen Raum mit sicherer Stromversorgung und Klimatisierung handeln.*

Nach Berechnungen der Borderstep Instituts auf Basis von Zahlen des Marktforschungsunternehmens Techconsult (Techconsult 2009) werden 52 % der Server in deutschen Unternehmen und Behörden in solchen Rechenzentren betrieben. Allerdings sind auch über 1.000.000 Server (48 %) als Einzelrechner oder in kleineren „Serverschränken“ installiert. Dass diese Installationen begrifflich von „Rechenzentren“ abgegrenzt werden, steht im Einklang mit den Abgrenzungen, die vom BITKOM-Arbeitskreis „Betriebssicheres Rechenzentrum & Infrastruktur“ vorgenommen werden, der zwischen „Serverschränken“ und „Rechenzentren“ unterscheidet. Der Großteil der Server, die nicht in Rechenzentren betrieben werden, sind Einzelservers in Unternehmen und Behörden. Dies sind ca. 650.000 Server. Weitere 250.000 Server sind in Installationen mit 2 Servern vorhanden. Ca. 160.000 Geräten (7 % aller Server) sind in Serverschränken (3 bis 10 Server) untergebracht.

Auch wenn der Gegenstand dieser Untersuchung der Materialbestand und –bedarf in Rechenzentren ist, werden diese kleineren Installationen wie folgt in dieser Untersuchung berücksichtigt. Zum einen werden die „Serverschränke“ als eine Kategorie von Rechenzentren aufgefasst. Dies ist aus methodischer Sicht zu begründen, da in Serverschränken neben den eigentlichen Servern auch weitere Infrastrukturen und Materialien (Rack, Stromversorgung, teilweise USV und Klimatisierung) vorhanden sind. Aus Gründen der sprachlichen Vereinfachung soll im Folgenden nur von „Rechenzentren“ die Rede sein, darin eingeschlossen sind aber auch „Serverschränke“. Server, die allein oder in Installationen zu zwei Geräten betrieben werden, werden im Rahmen dieser Untersuchung insofern erfasst, als dass die ihre Materialzusammensetzung (ohne sonstiges Equipment) in Kapitel 3 gesondert ausgewiesen wird. Außerdem wird diese Kategorie bei der Berechnung der Energieverbräuche von Servern und Rechenzentren in Deutschland berücksichtigt.



Bislang ist eine Präzisierung und Differenzierung der Gesamtanzahl von Rechenzentren nach verschiedenen Typen und Größenklassen für Deutschland, die EU und weltweit nicht verfügbar. Daher wird sie im Rahmen dieser Untersuchung für Deutschland erarbeitet. Dazu wird folgendes Vorgehen gewählt:

- Strukturierung des Gesamtbestandes an Rechenzentren nach Größe und Raumtypen
- Verteilung der Gesamtanzahl von in Deutschland installierten Servern und Servertypen nach Rechenzentrumstypen.
- Erstellung von Profilen für die verschiedenen Rechenzentrumstypen, d.h. Darstellung der typischen Ausstattung je Rechenzentrumstyp.
- Überprüfung der ermittelten Ergebnisse mit Hilfe von Expertenbefragungen und -interviews sowie anhand von Plausibilitätsüberlegungen und vorhandener Daten aus anderen Untersuchungen.

## 2.2 Herausforderungen bei der Typologisierung von Rechenzentren

Beim Untersuchungsgegenstand Rechenzentren handelt es sich um eine bisher nicht standardisiertes Konstrukt aus IT-Geräten, Gebäuden, Stromversorgungs- und Klimatisierungsinfrastruktur sowie sonstigen Geräten und Installationen wie Leitstände, Brandschutz, Zugangskontrollen, usw. Rechenzentren werden jeweils individuell für den konkreten Betreiber und die erforderlichen Anwendungen geplant und aufgebaut. Sie sind insbesondere aufgrund der raschen technologischen Entwicklung in der Computertechnik einer ständigen Weiterentwicklung unterworfen. Der Bereich der IT-Geräte ist durch ständige Neuanschaffungen, Ausbauten, Aufrüstungen und Ersatzbeschaffungen gekennzeichnet. Aus diesen Gründen ist jedes Rechenzentrum individuell.

Selbst Rechenzentren, die für die gleichen Anwendungen, die gleiche Branche und die gleichen Anforderungen an Rechen-, Netzwerk- und Speicherleistungen geplant werden, sind häufig in der realisierten Umsetzung grundverschieden. Die kann z.B. durch den Zeitpunkt der Planung oder durch die Philosophie des Planers begründet sein. Einen besonders großen Einfluss auf die physikalische Ausstattung von Rechenzentren hat hier insbesondere der Einsatz von Virtualisierungstechnik und dessen Ausmaß. Wie Praxisbeispiele zeigen, kann durch Virtualisierung der Materialeinsatz in Rechenzentren um Größenordnungen verändert werden (Tabelle 1). Diese Beispiele zeigen deutlich, dass ein Rechenzentrum, das für ein und denselben Zweck verwendet wird, je nach Umfang der Virtualisierung und nach Art der Serversysteme sehr unterschiedlich aufgebaut sein kann und damit auch sehr unterschiedliche Ressourcenverbräuche aufweisen kann. Eine „Standardlösung“ für ein Rechenzentrum existiert nicht.

**Tabelle 1: Praxisbeispiele zur Materialeinsparung durch Virtualisierung in Rechenzentren**

Fallbeispiel	Altes System	Neues System
Stadt Bad Soden/Taunus	30 Serversysteme (Jahr 2006)	2 Server mit Virtualisierung (Jahr 2008)
Endress + Hausser	220 Server (Jahr 2003)	20 Server und 4 Bladecenter (Jahr 2008)
BMU	25 Server (2007)	2 Server (2008)

**Quellen: eServer (2008), Billich (2008).**

Es können drei verschiedene Typen von Servern unterschieden werden, die in Rechenzentren Anwendung finden: Volume-Server, Midrange-Server und High-End-Server (Vgl. Glossar). Eine einheitliche definitorische Abgrenzung zwischen diesen drei Servertypen existiert nicht. So werden z.B. Systeme, die bei einem Hersteller als High-End-Server gelten, bei einem anderen Hersteller als Midrange-Systeme geführt. In Tabelle 2 sind zwei Ansätze zur Unterscheidung der Servertypen nach Preis und nach Leistungsaufnahme aufgeführt. Technisch ist es vielfach möglich, für eine gewünschte Anwendung zwischen den verschiedenen Serverklassen auszuwählen. Dabei kann z.B. ein einzelnes System der High-End-Klasse mehrere hundert oder sogar tausend Volume-Server ersetzen.

**Tabelle 2: Unterschiedliche Servertypen**

	<b>Preis (nach IDC)</b>	<b>Elektrische Leistung (nach Koomey 2007)</b>
Volume Server	< \$25.000	225 W
Mid-Range Server	\$25.000 - \$500.000	675 W
High-End Server	> \$500.000	8.163 W

**Quellen: IDC, Koomey (2007).**

Moderne Rechenzentren, die neu geplant werden und im Wesentlichen für einen Anwendungszweck dienen, wie z.B. Rechenzentren von Hosting-Unternehmen, haben teilweise einen sehr homogenen und strukturierten Aufbau. Häufig wird nur eine Serverbauart verwendet und die Serverracks werden symmetrisch bestückt und in gerade Reihen (Kalt-/Warmgangprinzip – Vgl. Glossar) im Raum angeordnet. Sie unterscheiden sich damit sehr deutlich von historisch gewachsenen Rechenzentren mit vielen unterschiedlichen Anwendungen.

Ebenso wie sich die IT-Ausstattung von Rechenzentren sehr deutlich unterscheiden kann, sind auch die Ausstattungsvarianten der Stromversorgungs- und Klimatisierungsinfrastruktur sehr unterschiedlich. Tabelle 3 zeigt eine Auswahl möglicher Technologien. Die in der Praxis anzutreffenden Ausstattungsvarianten und Kombinationen der Varianten sind deutlich vielfältiger.

**Tabelle 3: Typische Ausstattungsvarianten von Klimatisierung und USV (Auswahl)**

<b>Klimatisierung</b>	<b>USV</b>
Splitgeräte	Standalone-USV
Wassergekühlte Racks	Rack-USV
Klimaanlage mit Direktverdampfer	Modulare USV
Klimaanlage mit zentraler Kaltwassererzeugung	Zentral-USV mit Batterien
Indirektes Freikühlsystem	Zentral-USV – dynamisch mit Generator
Kombiniertes Umluft- und Kaltwassersystem	Zentral-USV – dynamisch mit Schwungrad und Generator

**Quelle: Eigene Zusammenstellung.**

Wie die in diesem Abschnitt gemachten Ausführungen zeigen, stellt die Einteilung von Rechenzentren in verschiedene Typen mit jeweils typischen Ausstattungen eine große Herausforderung dar. Daher ist es auch nicht verwunderlich, dass bis dato ein solcher Ansatz, der sich für die in dieser Untersuchung zugrundeliegende Fragestellung eignet, nicht existiert. Diese Untersuchung stellt sich dieser Herausforderung und definiert im Folgenden verschiedene Kategorien „typischer“ Rechenzentren und beschreibt sie in ihrer durchschnittlichen Ausstattung. Dabei wird diese Typologisierung so vorgenommen, dass eine möglichst große Anzahl existierender Rechenzentren von ihr erfasst wird. Eine „allumfassende“ Typologisierung ist, wie die Ausführungen gezeigt haben, nicht möglich.

## 2.3 Ansatzpunkte zur Typologisierung von Rechenzentren

Die Einteilung von Rechenzentren in verschiedene Typen wird von verschiedenen Autoren und Organisationen vorgenommen. Dabei existiert bislang aber weder national noch weltweit ein einheitliches System. Die bestehenden Ansätze können insbesondere hinsichtlich des Zwecks unterschieden werden. Im Wesentlichen lassen sich hier vier Zwecke unterscheiden.

(1) **Typologien für statistische Zwecke** (im weiteren Sinne). Zweck dieser Typologien ist es, für statistische Zwecke Aussagen zu Rechenzentren machen zu können. Bislang wurden diese Typologisierungen hauptsächlich vorgenommen, um Aussagen hinsichtlich des Energieverbrauchs von Rechenzentren machen zu können (US-EPA 2007, TU Berlin 2008). Ein Beispiel dafür ist die in Tabelle 4 skizzierte Kategorisierung nach Bailey et al. (2007). Neben der dargestellten IT-Ausstattung machen Bailey et al. auch Aussagen zur Infrastrukturausstattung. Vom Grundsatz ist diese Kategorisierung auch für den vorliegenden Untersuchungsansatz geeignet. Allerdings sind die Aussagen zur IT- und Infrastrukturausstattung sehr vage und wenig konkret. Außerdem betrachten Bailey et al. auch Installationen mit 1 und 2 Servern, bei denen – auch bei weitester Fassung des Begriffs – nicht von Rechenzentren die Rede sein kann. Die Wahl der Fläche als Hauptmerkmal für die Größeneinteilung der Rechenzentren steht zudem nur in einem losen Zusammenhang mit dem Materialbedarf in Rechenzentren.

**Tabelle 4: Rechenzentrums-Typen nach US-EPA**

Rechenzentrums Typ	Typische Größe	Typische IT Ausstattung
Server closet	<200 ft2 (ca. 18,6 m <sup>2</sup> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1-2 Server</li> <li>• keine externen Speichersysteme</li> </ul>
Server room	<500 ft2 (ca. 46,5 m <sup>2</sup> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wenige bis Dutzende von Servern</li> <li>• keine externen Speichersysteme</li> </ul>
Localized data center	<1,000 ft2 (ca. 92,9 m <sup>2</sup> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dutzende bis hunderte Server</li> <li>• mäßige Nutzung von externen Speichersystemen</li> </ul>
Mid-tier data center	<5,000 ft2 (ca. 464,5 m <sup>2</sup> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hunderte von Servern</li> <li>• intensive Nutzung von externen Speichersystemen</li> </ul>
Enterprise-class data	>5,000 ft2 (ca. 464,5 m <sup>2</sup> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hunderte bis tausende von Servern</li> <li>• intensive Nutzung von externen Speichersysteme</li> </ul>

Quelle: US EPA 2007, 34 (Auszug, teilweise übersetzt und um m2-Angaben ergänzt).

(2) **Typologien zur Verfügbarkeit von Rechenzentren:** Die Ausfallsicherheit bzw. die Verfügbarkeit stellt eines der wesentlichen Qualitätsmerkmale eines Rechenzentrums dar. Um verschiedene Verfügbarkeitsgrade von Rechenzentren zu definieren, gibt es eine Reihe von Rechenzentrumsklassifizierungen, die dieses Kriterium zum Gegenstand haben (Uptime Institute 2006, BITKOM 2009, BSI 2009). Zumeist orientieren sich diese Typologien an der maximal zulässigen Ausfallzeit eines Rechenzentrums. Beispielhaft ist in Tabelle 5 die Rechenzentrumstypologie des BITKOM (BITKOM 2009) dargestellt. Diese – als Matrix konzipierte – Einteilung von Rechenzentren umfasst neben der zulässigen Ausfallzeit pro Jahr auch ein Kriterium, das sich auf die Größe und Leistungsaufnahme des Rechenzentrums bezieht. Hier wird zwischen „Serverschränken“ mit niedriger und hoher Leistungsaufnahme sowie Rechenzentren (inkl. „Serverräumen“) unterschieden. Für die einzelnen Kategorien definiert die Matrix dann jeweils die minimal notwendige Ausstattung der Rechenzentrumsinfrastruktur (Klimatisierung, USV, Notstromversorgung, Stromverteilung, Brandschutz), die erforderlich ist, um die angestrebte Ausfallsicherheit zu erreichen. Diese Matrix ergänzt damit existierende Standards und Vorschriften zur Ausstattung von Rechenzentren, die in ihren Forderungen oft sehr allgemein gehalten sind. Die BITKOM-Klassifizierung geht weiter und gibt konkrete Hinweise für die Gestaltung eines Rechenzentrums. Neben dieser BITKOM-Typologie ist international insbesondere auch die TIER-Klassifizierung des Uptime-Instituts für die Ausfallsicherheit von Rechenzentren bekannt (Tabelle 6). Auch diese Klassifizierung bezieht sich insbesondere auf die Infrastruktur der Rechenzentren.

**Tabelle 5: Rechenzentrums-Typologie zur Verfügbarkeit von Rechenzentren nach BITKOM**

Rechenzentrums-Kategorie (zulässige Ausfallzeit pro Jahr)	Infrastruktur (Klima, USV, Notstrom, Verteilung, Brandschutz)	Serverschrank bis 5 kW	Serverschrank 5 bis 30 kW	Rechenzentrum/ Serverraum 500 bis 2.500 Watt/qm
A (72 h)				
B (24 h)				
C (1 h)				
D (10 min)				
E (0 min)				

Quelle: BITKOM 2009.

**Tabelle 6: Verfügbarkeitsklassen von Rechenzentren nach Uptime-Institut**

Tier-Klassen	Einführung	Erklärung
Tier I	60er Jahre	einfacher Stromversorgungspfad, einfache Kälteversorgung, keine redundanten Komponenten 99,671 % Verfügbarkeit
Tier II	70er Jahre	einfacher Stromversorgungspfad, einfache Kälteversorgung, redundante Komponenten 99,741 % Verfügbarkeit
Tier III	Ende der 80er	mehrere Pfade vorhanden, aber nur einer aktiv redundante Komponenten Wartung ohne Unterbrechung möglich 99,982 % Verfügbarkeit
Tier IV	1994	mehrere aktive Strom- u. Kaltwasserverteilungspfade, redundante Komponenten fehlertolerant 99,995 % Verfügbarkeit

Quelle: US Uptime Institut: Industry Standards Tier Classification, zitiert in BITKOM 2010, 4.

Für das Ziel der vorliegenden Untersuchung sind die Typologien zur Verfügbarkeit der Rechenzentren nicht direkt geeignet. Sie geben zwar Auskunft über die Infrastrukturausstattung der verschiedenen Rechenzentren, aber wenig bis gar keine Hilfestellung zur IT-Ausstattung, zur eigentlichen Größe und damit zum Materialbestand der Rechenzentren. Außerdem sind

die jeweiligen Ausstattungsangaben als Sollvorgaben zu verstehen und daher nur bedingt geeignet, die tatsächlich vorhandene Infrastruktur und Materialien zu beschreiben.

(3) **Typologie nach Zweck der Rechenzentren:** Für spezielle Zwecke werden Rechenzentren auch oft hinsichtlich ihres eigentlichen Zweckes typologisiert. Dies können z.B. die Art der Anwendung oder das zugrundeliegende Geschäftsmodell sein (Housing/Co-Location-Rechenzentrum, High Performance Rechenzentrum). Der eco – Verband der deutschen Internetwirtschaft e.V. teilt die Rechenzentren in einer seiner Untersuchungen (eco 2008) z.B. hinsichtlich folgender Kriterien ein:

- Verwendung für mehrere Zwecke (Anteil 50 % )
- Zu einem exklusiven Businesszweck (Anteil 50 %), z.B.
- 27 % exklusiv für Interne IT (ERP, Warenwirtschaft etc.)
- 8 % exklusiv für Hosting (Dedicated Server, Application Hosting, Webhosting)
- 2 % exklusiv für HPC (High Performance Computing) eingesetzt

Eine solche Typologie von Rechenzentren ist für die vorliegende Untersuchung wenig geeignet, da sie keinen direkten Bezug zum eingesetzten Material aufweist. Sie fokussiert sehr stark auf die eingesetzte Informationstechnik – und hier vor allem auf der Softwareebene - und lässt die im Rechenzentrum vorhandene Infrastruktur unberücksichtigt.

(4) **Typologie nach Art des Betreibers:** Insbesondere von Rechenzentrumsausstattern (IT und Infrastruktur) werden Rechenzentren auch häufig hinsichtlich der Art des Betreibers beschrieben. Dies kann z.B. die Branche (Banken, Automobil, Telekommunikation, Forschung, etc.) sein, oder die Unterscheidung zwischen Behörden und Unternehmen. Da sich die Anforderungen, Anwendungen und gesetzlichen und sonstigen Rahmenbedingungen an Rechenzentren bei ähnlichen Betreibern häufig sehr gleichen, werden Rechenzentren aus Sicht eines IT-Ausrüstungsanbieters häufig nach diesem Kriterium unterschieden.

Für die auf Materialbestand fokussierte vorliegende Untersuchung ist eine Typologisierung der Rechenzentren nach Art des Betreibers wenig geeignet, da sie zu wenige Informationen zur eigentlichen Hardware-Ausstattung beinhaltet.

## 2.4 Kriterien für die Auswahl des Typologierungsansatzes

Im vorigen Abschnitt wurden verschiedene Ansätze zur Typologisierung von Rechenzentren vorgestellt. Die existierenden Ansätze sind jedoch - wie beschrieben – für den vorliegenden Untersuchungszweck nicht bzw. nur ansatzweise geeignet. Im Folgenden wird daher eine neue Typologie für die Rechenzentren in Deutschland abgeleitet und vorgestellt. Ein solcher Ansatz sollte vor allem **vier Kriterien** erfüllen:

(1) **Zielsetzung der Untersuchung:** Der zu wählenden Ansatz der Typologisierung von Rechenzentren sollte die Zielsetzung der Untersuchung, den Materialbestand in deutschen Rechenzentren zu bestimmen – unterstützen. Daher ist es sinnvoll, ein primäres Kriterium für die Typologisierung auszuwählen, das eine Materialkomponente hat. Aufgrund des hohen Elektronikanteils in den IT-Komponenten des Rechenzentrums – und insbesondere in den

Servern – ist zu erwarten, dass diese die höchste Umweltrelevanz hinsichtlich der Material-effizienz haben. Daher erscheint es sinnvoll, dass die Typologisierung sich primär an den Servern ausrichtet.

(2) **Datenlage:** Aus pragmatischen Gründen sollte sich die Typologisierung der Rechenzentren auch daran orientieren, für welche Rechenzentrumselemente ausreichend Daten zur Verfügung stehen. Bislang wird die Ausstattung in Rechenzentren in wissenschaftlichen Untersuchungen und auch im Rahmen der Marktforschung vor allem unter dem Gesichtspunkt vorgenommen, welche und wie viele Server in den Rechenzentren vorhanden sind. Zu anderen IT-Komponenten oder Infrastrukturkomponenten liegen kaum Daten vor. So wird beispielsweise für die Ermittlung des Energiebedarfs von Rechenzentren in der Regel die Leistung der vorhandenen Server dezidiert berechnet, die Stromaufnahme der Netzwerk- und Speicherinfrastruktur dagegen nur als prozentuale Anteil der Serverstromleistung berechnet (z.B. Koomey 2007, BMWi 2009). Auch bei Marktforschungsunternehmen sind zum Netzwerk- und Speichermarkt zwar Umsatzzahlen verfügbar (Techconsult 2009, EITO 2009) aber – im Gegensatz zum Servermarkt – keine Angaben zu den Stückzahlen der Geräte.

(3) **Vergleichbarkeit mit anderen Ansätzen:** Auch wenn bislang weltweit keine Untersuchungen zum Materialeinsatz von Rechenzentren existieren, bietet es sich an, einen Ansatz zur Typologisierung zu wählen, der mit bestehenden Ansätzen – vor allem zum Thema Energieeffizienz – vergleichbar ist. Damit können zumindest ansatzweise die Plausibilität und Konsistenz der Ergebnisse dieser Untersuchung über Vergleiche bewertet werden.

(4) **Ausgewogenheit zwischen Vereinfachung und Komplexität:** Wie in Abschnitt 2.2 dargestellt, ist der Untersuchungsgegenstand Rechenzentren sehr komplex und inhomogen. Aufgrund der Vielzahl der möglichen Technologievarianten bei Servern, Speicher- und Netzwerktechnik sowie bei der Stromversorgungs- und Klimatisierungsinfrastruktur wird bereits die Beschreibung weniger Rechenzentrumstypen mit ihren durchschnittlichen Ausstattungen sehr komplex. Der Typologierungsansatz sollte daher so gewählt werden, dass eine Ausgewogenheit zwischen der Komplexität des Ansatzes und der notwendigen Vereinfachung bei der Beschreibung der Ausstattung von Rechenzentren erreicht wird.

### **Expertenmeinungen zu Kriterien für einen Rechenzentrumstypologisierung**

Um die Einschätzung von Experten zu Kriterien für eine geeignete Rechenzentrumstypologie zu erhalten, wurde das folgende Vorgehen gewählt. Aus den in der Literatur und Unternehmenspraxis bestehenden Ansätzen (BITKOM 2007, Uptime Institute 2006, Bailey 2007, Koomey 2007, EPA 2007, TU Berlin 2008, eco 2008) sowie Diskussionen und Befragungen innerhalb der fachlich relevanten Arbeitskreise wurden Kriterien ermittelt, die sich grundsätzlich zur Typologisierung von Rechenzentren eignen. Dabei wurde zwischen Kriterien unterschieden, welche die Größe eines Rechenzentrums beschreiben und Kriterien, die andere Eigenschaften eines Rechenzentrums beinhalten (Tabelle 7).

**Tabelle 7: Mögliche Kriterien für eine Rechenzentrumstypologie**

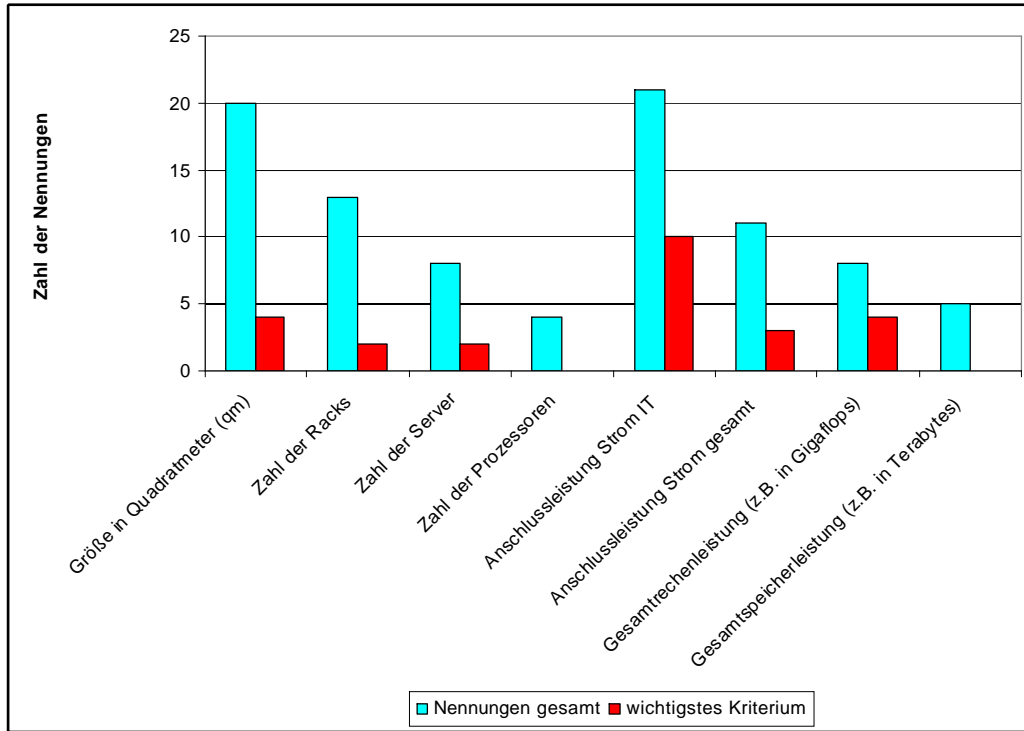
Größenkriterien für Rechenzentren	Sonstige Kriterien zur Einteilung von Rechenzentren
Größe in Quadratmeter (qm)	Art der Anwendungen
Zahl der Racks	Housing Rechenzentrum oder autonom betriebenes Rechenzentrum
Zahl der Server	Ausfallsicherheit/Verfügbarkeit
Zahl der Prozessoren	Art (und Struktur) der Server (x86, Midrange, Mainframe)
Anschlussleistung Strom IT	Branche
Anschlussleistung Strom gesamt	
Gesamtrechenleistung (z.B. in Gigaflops)	
Gesamtspeicherleistung (z.B. in Terabytes)	

**Quelle: Eigene Zusammenstellung.**

In einer Online-Befragung von Rechenzentrumsexperten aus Mitgliedsunternehmen des Branchenverbandes BITKOM e.V. im Sommer 2009 wurde die Einschätzung der Eignung dieser Kriterien als Grundlage für eine Typologisierung der Rechenzentren mit dem Untersuchungsgegenstand Materialbestand abgefragt. An dieser Umfrage haben insgesamt 28 Personen teilgenommen, zum großen Teil Hersteller von IT-Hardware und Infrastrukturhardware (17 Personen). Unter den Befragten waren aber auch sieben Rechenzentrumsbetreiber sowie fünf Systemhäuser und Distributoren. In Abbildung 2 und Abbildung 3 sind die Ergebnisse dieser Befragung dargestellt.

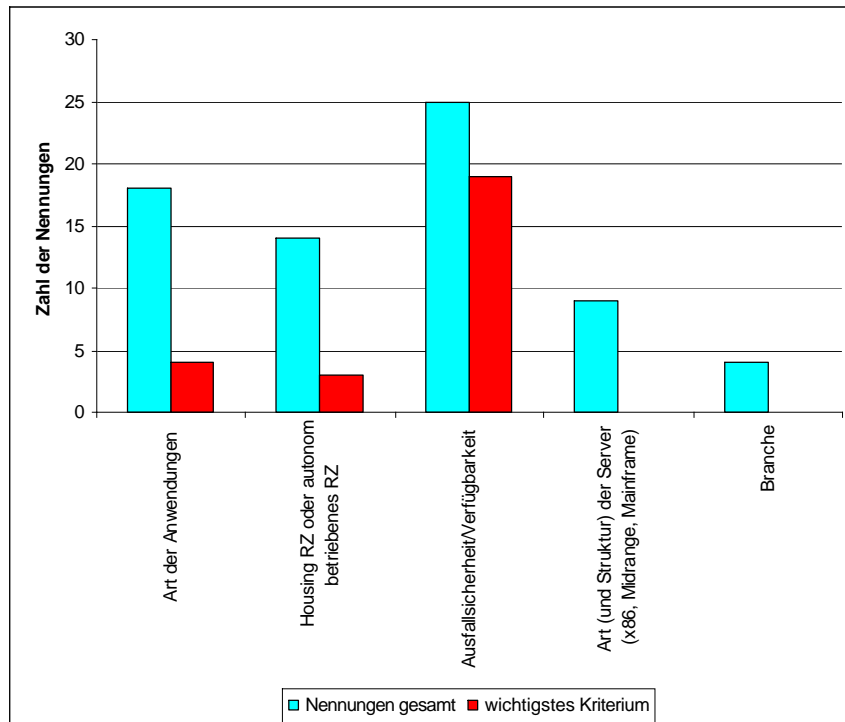


**Abbildung 2: Befragungsergebnisse zur Einschätzung der Eignung verschiedener Größenkriterien für eine Typologie von Rechenzentren.**



Quelle: Eigene Darstellung.

**Abbildung 3: Befragungsergebnisse zur Einschätzung der Eignung verschiedener qualitativer Kriterien für eine Typologie von Rechenzentren**



Quelle: Eigene Darstellung.

Bei den Größenkriterien werden insbesondere die IT-Anschlussleistung sowie die Größe der Rechenzentren in Quadratmeter als geeignete Kenngrößen angesehen. Bezüglich der qualitativen Angaben wird insbesondere die Ausfallsicherheit bzw. die Verfügbarkeit der Rechenzentren als bedeutsam angesehen. Dies ist insbesondere mit Blick auf die Rechenzentrums-Infrastruktur gut nachvollziehbar, da eine höhere Ausfallsicherheit zunehmenden Redundanz und damit zunehmenden Materialbestand bedeutet.

## 2.5 Ausgewählter Ansatz für eine Rechenzentrumstypologie

Unter Berücksichtigung der im vorangegangenen Abschnitt genannten Kriterien für eine geeignete Typologie von Rechenzentren und der Ergebnisse einer Expertenbefragung wurde der in Tabelle 8 dargestellte Ansatz zur Typologisierung gewählt.

**Tabelle 8: Typologie von Rechenzentren**

Rechenzentrumstyp	Serverzahl	Ø Anschlussleistung IT	Ø Fläche
Serverschrank	3-10 (Ø 4,8)	1,5 kW	5 m <sup>2</sup>
Serverraum	11-100 (Ø 19)	6 kW	20 m <sup>2</sup>
Kleines Rechenzentrum	101-500 (Ø 150)	50 kW	150 m <sup>2</sup>
Mittleres Rechenzentrum	501-5.000 (Ø 600)	240 kW	600 m <sup>2</sup>
Großes Rechenzentrum	Über 5.000 (Ø 6.000)	2.500 kW	6.000 m <sup>2</sup>

**Quelle: Eigene Darstellung.**

Dieser Ansatz orientiert sich in erster Linie an der Anzahl der in den Rechenzentren vorhandenen Server. Außerdem werden die durchschnittliche Anschlussleistung der IT sowie die Rechenzentrumsgröße als Einteilungskriterium mit angegeben. Für den gewählten Ansatz sprechen insbesondere folgende Argumente:

**Die Datenbasis ist vorhanden:** Für die gewählte Strukturierung der Rechenzentren nach Anzahl der Server sind Angaben des Marktforschungsunternehmens Techconsult (2009) verfügbar, die als Basis für die Ermittlung der Anzahl der in Deutschland vorhandenen Zahl von Rechenzentren dienen können.

**Die Typologisierung orientiert sich primär am Materialbestand der IT:** Damit ist eine enge Verknüpfung des Untersuchungsgegenstand mit dem Ansatz der Typologisierung gegeben.

**Die gewählten Typen sind vergleichbar mit anderen Ansätzen und Studien:** Insbesondere Untersuchungen von Bailey et al. (2007) bzw. der US-EPA (2007) und der TU Berlin (2008) haben ähnliche Ansätze zur Typologisierung gewählt, so dass die Ergebnisse vergleichbar sind.

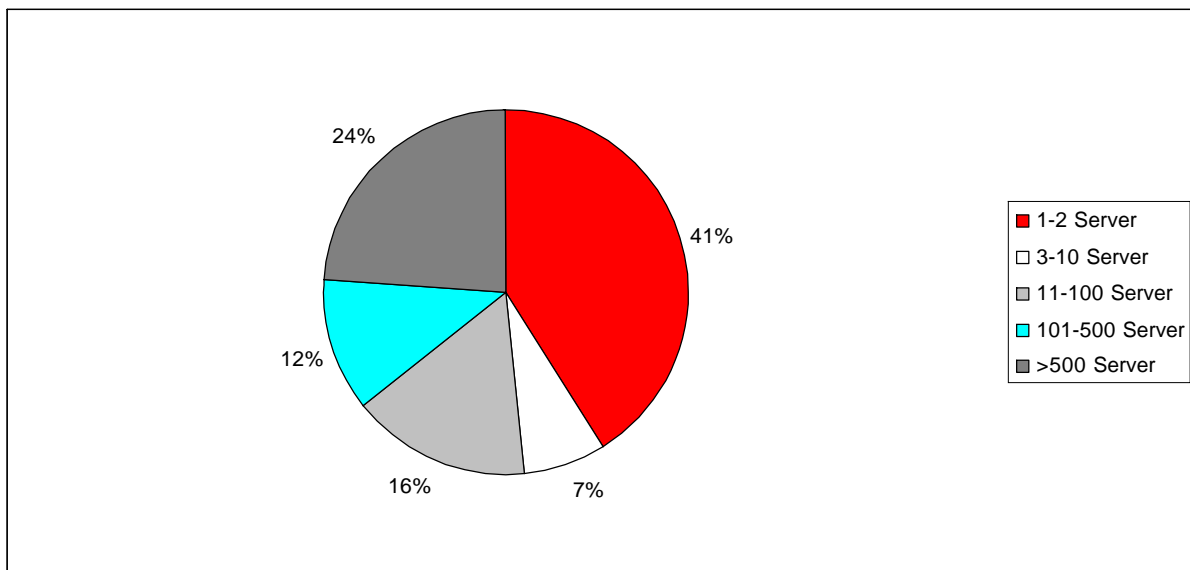
Das Kriterium der Ausfallsicherheit ist in dieser Kurzbeschreibung der Typologie noch nicht aufgeführt. In Abschnitt 2.6 werden bei der Beschreibung der durchschnittlichen Ausstattungen dieser Rechenzentren auch die Fragen der Redundanz von Anlagen und damit ihrer Ausfallsicherheit behandelt.

## 2.6 Anzahl der verschiedenen Rechenzentrumstypen in Deutschland

Auf Basis der gewählten Rechenzentrumstypologie kann die Zahl der Rechenzentren in den verschiedenen Größenklassen ermittelt werden. Dazu stehen die Ergebnisse einer Umfrage des Unternehmens Techconsult zur Verfügung. In dieser Umfrage wurden 3.000 Anwender-Unternehmen und Behörden verschiedener Größenklassen befragt, wie viele Server in ihrem Unternehmen installiert sind. Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse dieser Befragung. Mit Hilfe dieser Ergebnisse wird die Zahl der Rechenzentren in Deutschland wie folgt bestimmt.

Wird der prozentuale Anteil der Server in den verschiedenen Serverclustern mit der Gesamtzahl der Server multipliziert, so erhält man die Anzahl der Server in den Serverclustern. Die Gesamtzahl der Server in Deutschland im Jahr 2008 beträgt nach Berechnungen des Borderstep-Instituts auf Basis von Techconsult (2009) ca. 2.180.000 Stück. Diese Zahl errechnet sich aus den Serververkäufen unter Berücksichtigung einer durchschnittlichen Nutzungsdauer je nach Unternehmensgröße von fünf bis sechs Jahren. Dabei wird unterstellt, dass die Server in kleineren Unternehmen etwas länger genutzt werden. Diese Einschätzung wurde in mehreren Experteninterviews bestätigt.

**Abbildung 4: Anteile der Server in verschiedenen Serverclustern**



**Quelle: Techconsult (2009) (eigene Darstellung).**

Dividiert man die Zahl der Server pro Servercluster durch die durchschnittliche Anzahl der Server in den jeweiligen Clustern, so erhält man jeweils die Zahl der Unternehmen, die über diese Anzahl von Servern verfügen. Die durchschnittliche Anzahl der Server pro Cluster konnte aus den von Techconsult zur Verfügung gestellten Zahlen abgeleitet werden, da für die einzelnen Cluster unterhalb von 500 Servern noch weitere Unterteilungen vorliegen.

Näherungsweise kann die Zahl der Unternehmen in den einzelnen Serverclustern mit der Zahl der jeweiligen Rechenzentren gleichgesetzt werden. Zwar gibt es eine Anzahl von Unternehmen – insbesondere größere Unternehmen – die über mehrere Rechenzentren verfü-

gen. Dies würde die Zahl der Rechenzentren erhöhen – aber die Durchschnittsgröße senken. Allerdings gibt es auch eine gewisse Anzahl von Unternehmen, die ihre Server nicht in eigenen Lokationen installiert haben, sondern in sogenannten Colocation Rechenzentren. Dieser Effekt reduziert die Anzahl der Rechenzentren und erhöht die Durchschnittsgröße. Für diese Untersuchung wird angenommen, dass sich die beiden Effekte ausgleichen.<sup>1</sup> Damit ergibt sich die Zahl der Rechenzentren in den einzelnen Serverclustern also aus der Division der Serverzahl durch die durchschnittliche Serverzahl der in Tabelle 9 dargestellten Rechenzentrumstypen.

Die Zahlen des Marktforschungsunternehmens Techconsult erlauben keine Unterscheidung zwischen den Typen „Mittleres Rechenzentrum“ und „Großes Rechenzentrum“. In den durchgeführten Experteninterviews und Diskussionen auf Sitzungen der BITKOM-Arbeitskreise wurde von den Fachleuten aber wiederholt darauf hingewiesen, dass eine solche Unterscheidung sinnvoll ist. Die Abschätzung der Zahl der „Großen Rechenzentren“ wird daher auf Basis der durchgeführten Online-Abfrage bei Rechenzentrumsexperten vorgenommen. Diese Abfrage ergab eine Anzahl von ca. 50 Rechenzentren in der Größenordnung von mehr als 5.000 Servern. Tabelle 9 stellt die Ergebnisse dieser Berechnung dar.

**Tabelle 9: Rechenzentren in Deutschland nach Größenklassen in 2008**

Rechenzentrumstyp	Server-schrank	Server-raum	Kleines Rechenzentrum	Mittleres Rechenzentrum	Großes Rechenzentrum	Gesamt
<b>Insgesamt installierte Server</b>	160.000	340.000	260.000	220.000	300.000	1.280.000
<b>Anteil Servercluster an Gesamtanzahl Server in Rechenzentren</b>	12,5%	26,6%	20,3%	17,2%	23,4%	100,0%
<b>Anzahl Rechenzentren</b>	33.000	18.000	1.750	370	50	53.170
<b>Anteil an Gesamtanzahl der Rechenzentren</b>	62,1%	33,9%	3,3%	0,7%	0,1%	100,0

**Quelle: Eigene Berechnung (Zahlen gerundet).**

Für Deutschland ergibt sich somit insgesamt eine Anzahl von rund 53.000 Rechenzentren. Die ermittelten Ergebnisse lassen sich in ihrer Größenordnung gut durch andere Untersuchungen und Plausibilitätsüberlegungen belegen. So ist beispielsweise der Einsatz von ERP-

---

<sup>1</sup> Diese Annahme wurde den Experten in den BITKOM Arbeitskreisen Rechenzentrum und Infrastruktur sowie Server- und Betriebskonzepte vorgestellt und diskutiert. Aus Sicht dieser Experten erscheint sie akzeptabel. Auch die TU Berlin (2008), die mit den gleichen Basiszahlen von Techconsult arbeitet, berechnet die Zahl der Rechenzentrum auf die gleiche Weise, auch wenn die Annahme in der Untersuchung nicht explizit erwähnt wird.

Software (Enterprise-Resource-Planning - siehe Glossar) in Unternehmen an eine Serverumgebung gekoppelt. Auch für eine CRM-Software (Customer Relationship Management – siehe Glossar) werden in der Regel Server eingesetzt. Betrachtet man die Daten des Statistischen Bundesamtes (2008) zum Einsatz von ERP-Software und CRM-Software, so lässt sich daraus die Zahl der Rechenzentren in Deutschland abschätzen. Betrachtet man nur die Unternehmen mit mehr als 20 Mitarbeitern, so setzen je nach Größenklasse zwischen 43 % und 57 % von Ihnen CRM-Software ein. Der Einsatz von ERP-Software liegt zwischen 16 % und 44 %. Hieraus ergeben sich Größenordnungen von 35.000 bis 70.000 Unternehmen, die über Serverumgebungen verfügen, um CRM-Software und/oder ERP-Software zu betreiben.

Die in dieser Untersuchung ermittelten Zahlen lassen sich auch mit einer Untersuchung der TU Berlin (2008) vergleichen. Diese kommt zu dem Schluss, dass es in Deutschland ca. 30.000 Rechenzentren gibt. Die Untersuchung basiert ebenfalls auf Zahlen des Marktforschungsunternehmens Techconsult. Allerdings werden darin zwei Annahmen getroffen, die zu einer niedrigeren Abschätzung führen als in der vorliegenden Untersuchung. Zum einen wird für die jeweiligen Rechenzentrumstypen davon ausgegangen, dass die Anzahl über das betrachtete Intervall der Serverzahlen gleich verteilt ist. Damit ergeben sich durchschnittliche Serverzahlen pro Rechenzentrum, die deutlich höher sind als die hier angenommen. Die Annahme einer Gleichverteilung über die Intervalle erscheint allerdings sehr unrealistisch, da die Zahl der Rechenzentren mit der Größe sehr deutlich – sogar exponentiell – abnimmt. Zum anderen geht die TU Berlin von den Serverbestandszahlen von Techconsult aus, die eine durchschnittliche Servernutzungsdauer von gut vier Jahren unterstellen. Borderstep geht – wie oben beschrieben – von durchschnittlichen Nutzungsdauern zwischen fünf und sechs Jahren aus. Unter Berücksichtigung dieser beiden Annahmen ist die Abweichung der Schätzung der TU Berlin nach unten zu erklären.

## 2.7 Durchschnittliche Ausstattung der Rechenzentren im Jahr 2008

### 2.7.1 Methodisches Vorgehen

Aufbauend auf die Typologisierung der Rechenzentren in Deutschland wird im Folgenden dargestellt, wie diese Rechenzentrums-Typen durchschnittlich mit IT-Geräten und sonstiger Infrastruktur ausgestattet sind. Zur Ermittlung dieser durchschnittlichen Ausstattungen wurde folgendes Vorgehen gewählt:

(1) Basierend auf einer Literaturrecherche zur Ausstattung von Rechenzentren (z.B. BMU 2008, BITKOM 2008, eServer 2008, EPA 2007) wurde zunächst ein Entwurf für die IT-Ausstattungen der Rechenzentrumstypen entwickelt. Hier wird zwischen den Kategorien Server, Storage und Netzwerk unterschieden. Die einzelnen Geräte werden zu Referenztypen zusammengefasst, so dass auf dieser Basis in den folgenden Kapiteln eine Abschätzung des Materialbestandes erfolgen kann. Als Servertypen werden Towerserver, Bladeserver, Rackserver sowie Unix- und Mainframeserver betrachtet (Vgl. Glossar). Während Tower-, Blade- und Rackserver den Volume-Servern zuzurechnen sind, handelt es sich bei Unix-Servern um Midrange-Server und bei Mainframe-Servern um Highend-Systeme. Dieser Entwurf wurde in

zehn ausführlichen Interviews (jeweils ca. 60 Minuten) mit IT-Experten aus BITKOM-Arbeitskreisen diskutiert.

(2) Auf Basis der durchgeführten Interviews wurde die durchschnittliche IT-Struktur der fünf Rechenzentrumstypen detailliert und wurde mit den vorhandenen Marktdaten zu Rechenzentren (Technconsult 2009, Fichter 2008b) abgeglichen.

(3) Das Ergebnis der IT-Ausstattung von Rechenzentren wurde an alle Experten (ca. 60 Personen) des BITKOM-Arbeitskreises Server- und Betriebskonzepte zur Kommentierung verteilt.

(4) Auf Basis der IT-Ausstattung wurde unter Berücksichtigung der aus der Literatur vorhandenen Daten ein Entwurf für eine typische Ausstattung mit Infrastruktur (Klimatisierung, Stromversorgung) entwickelt und dieser durch ausführliche Interviews mit Experten aus dem BITKOM-Arbeitskreis Rechenzentrum & Infrastruktur konsolidiert.

(5) Das so ermittelte Ergebnis wird mit Hilfe eine Online-Befragung an BITKOM-Experten und sonstigen Rechenzentrums-Fachleute (insbesondere Anwender) zu Diskussion gestellt, überprüft und auf Basis der Kommentare angepasst.

(6) Auf einem Workshop mit 40 Fachexperten am 14. Januar 2010 wurden die Vorgehensweise und die Ergebnisse der Analyse vorgestellt und diskutiert. Die Vorgehensweise wurde als geeignet und die Ergebnisse als plausibel bewertet.

Die Ergebnisse zur Ausstattung der verschiedenen Rechenzentrumstypen im Jahr 2008 sind in den folgenden Abschnitten dargestellt.

### 2.7.2 Serverschrank

In Deutschland existieren ca. 33.000 Rechenzentren der Kategorie Serverschrank (3 bis 10 Server). Darin sind mit fast 160.000 Servern gut 12 % der in Rechenzentren vorhandenen Server installiert. Innerhalb dieser Kategorie sind die Server zu einem großen Teil Geräte mit einem Towergehäuse (Towerserver). Insbesondere bei Lokationen mit wenigen Servern ist diese Bauform Standard. Bei Lokationen mit fünf oder mehr Servern sind zunehmend Rackserver im Einsatz. In Tabelle 10 ist die Verteilung der Serverarten, die durchschnittliche Ausstattung mit Speicher- und Netzwerktechnik sowie Infrastruktur für Klimatisierung und Stromversorgung dargestellt.

**Tabelle 10: Durchschnittliche Ausstattung eines „Serverschranks“**

<b>Serverschrank (3 bis 10 Server) Ø 4,8 Server, 5 m<sup>2</sup>, 1,5 kW IT-Strom ca. 33.000 Lokationen</b>	
<b>Informations- und Kommunikationstechnik</b>	
<b>Server</b>	Stand-Alone-Server (Tower Server): 50 %
	Blade-Server: 5 %
	Rack-Server: 45 %
<b>Storage</b>	Ø Speicherkapazität: 5 TB
	Anteil zentraler Speicher (NAS): 50 %
<b>Netzwerk</b>	1 DSL-Router, 1 Switch (24 Port)
	Ø 10 Serverports
	Ø 30 m Kupferkabel
<b>Infrastruktur</b>	
<b>Gesamtleistung</b>	1-8 kW (Durchschnitt 1,9 kW)
<b>Klima</b>	30 %, einfache Split-Geräte, teilweise über Raumklimatisierung
<b>Stromversorgung</b>	USV-Anteil: 50 % (Batteriebetrieben), in der Regel Standalone-USV

**Quelle: Eigene Zusammenstellung gemäß Vorgehensbeschreibung in Abschnitt 2.7.1**

Ein Rechenzentrum dieser Kategorie verfügt durchschnittlich über 5 Terabyte an Festplattenspeicher. 50 % dieses Speichers sind in den Servern selbst eingebaut oder als sogenannter Direct Attached Storage (DAS - vgl. Glossar) direkt an einen Server angeschlossen. Die anderen 50 % des Speichers stehen als Network Attached Storage (NAS - vgl. Glossar) über das Netzwerk allen Servern zur Verfügung. Die unter dem Begriff Serverschrank zusammengefassten Lokationen sind in der Regel über DSL an das Internet angeschlossen. Für die Netzwerkinfrastruktur wird hier durchschnittlich von einem DSL-Router (vgl. Glossar), einem 24-Port Switch (vgl. Glossar) und 30 m Kupferverkabelung ausgegangen.

„Serverschränke“ sind nur teilweise (zu 30 %) durch gesonderte Geräte klimatisiert. Oft erfolgt die Klimatisierung über die sowieso vorhandene Raumklimatisierung oder es ist aufgrund der relativ geringen Abwärme keine Klimatisierung notwendig. 50 % der IT-Geräte in „Serverschränken“ sind über eine USV abgesichert. In der Regel handelt es sich hierbei über Einzelgeräte (Standalone-USV).

### 2.7.3 Serverraum

Ca. 18.000 Rechenzentren in Deutschland fallen in die Kategorie „Serverraum“. Mit über 340.000 Servern, das sind 27 % aller in Rechenzentren vorhandenen Server, ist dies der Rechenzentrumstyp mit der größten Serverzahl.

Tabelle 11 zeigt die durchschnittliche Ausstattung dieses Rechenzentrumstyps. Insbesondere in kleineren „Serverräumen“ wird eine große Zahl an Towerservern eingesetzt. Auch Blade-Server kommen in diesem Rechenzentrumstyp häufig vor. Mit 40 % der Server sind hier aber Rack-Server die dominierende Serverart. Vereinzelt werden auch größere Serversysteme – vor allem Unix-Systeme – eingesetzt.

**Tabelle 11: Durchschnittliche Ausstattung eines „Serverraums“**

<b>Serverraum (11 bis 100 Server) Ø 19 Server, 20 m<sup>2</sup>, 6 kW IT-Strom ca. 18.000 Lokationen</b>	
<b>Informations- und Kommunikationstechnik</b>	
<b>Server</b>	Stand-Alone-Server (Tower Server): 25 %
	Blade-Server: 25 %
	Rack-Server: 40 %
	Mainframe/Unix: 10 %
<b>Storage</b>	Ø Speicherkapazität: 20 TB
	Anteil zentraler Speicher 70 % (60 % NAS, 10 % SAN)
<b>Netzwerk</b>	1 Gateway, 2-3 Switche (48 Port) – 1 Rack Netzwerktechnik
	Ø 60 Serverports
	Ø 180 m Kabel (95 % Kupferkabel, 5 % Glasfaserkabel)
<b>Infrastruktur</b>	
<b>Gesamtleistung</b>	8-100 kW - Durchschnitt 11 kW
<b>Klima</b>	90 % klimatisiert, i.d.R. einfache Split-Geräte, teilweise Rackklima, bei größeren Lokationen auch Doppelboden (Anteil 30 %), 30 % redundant
<b>Stromversorgung</b>	USV-Anteil: 70 % (Rack- oder Zentral-USV, Batteriebetrieben) - 25 % davon redundant, in 5 % der RZ Notstrom-Generatoren

**Quelle: Eigene Zusammenstellung gemäß Vorgehensbeschreibung in Abschnitt 2.7.1**

In „Serverräumen“ wird von einer durchschnittlichen Speicherkapazität von 20 Terabyte ausgegangen. Davon sind 70 % über das Netzwerk verfügbar (60 % NAS-Systeme, 10 % Storage Area Network (SAN) Systeme (vgl. Glossar)).

Hinsichtlich der im Rechenzentrum vorhandenen Netzwerkinfrastruktur kann durchschnittlich von 2-3 Switchen und 180 m Kabel ausgegangen werden. 5 % der Verkabelung sind Glasfaserkabel, die für die SAN-Technologie eingesetzt werden. Für die Netzwerktechnik wird ein Rack eingesetzt.

In Lokationen mit mehr als 10 Servern ist fast immer eine gesonderte Klimatisierung erforderlich. In der Regel werden hierzu einfache Split-Klimageräte eingesetzt. Bei „Serverräumen“ mit größerer Serveranzahl wird teilweise auch über einen vorhandenen Doppelboden klimatisiert. 30 % der Klimaanlage in diesem Rechenzentrumstyp sind redundant ausgeführt.

70 % der IT-Geräte in „Serverräumen“ sind über USV abgesichert. Davon ist ein Viertel redundant ausgelegt. In 5 % solcher Rechenzentren existiert ein Generator zur Notstromversorgung.

## 2.7.4 Kleines Rechenzentrum

In Deutschland gibt es ca. 1.800 Rechenzentren des Typs „Kleines Rechenzentrum“. Mit 260.000 Servern sind ca. 20 % aller in Rechenzentren installierten Server in dieser Kategorie vorhanden. Der Großteil der Server sind Rack-Server (45 %), außerdem sind ca. 30 % der Server als Blade-Server ausgeführt. Vereinzelt sind auch noch Towerserver vorhanden.



Unix- und Mainframe-Systeme werden zu 15 % eingesetzt, wobei hier der deutlich über-  
wiegende Anteil als Unix-Systeme ausgeführt ist (siehe Tabelle 12).

**Tabelle 12: Durchschnittliche Ausstattung eines „Kleinen Rechenzentrums“**

<b>Kleines Rechenzentrum (101 bis 500 Server) Ø 150 Server, 150 m<sup>2</sup>, 50 kW IT-Strom ca. 1.800 Lokationen</b>	
<b>Informations- und Kommunikationstechnik</b>	
<b>Server</b>	Stand-Alone-Server (Tower Server): 10 %
	Blade-Server: 30 %
	Rack-Server: 45 %
	Mainframe/Unix: 15 %
<b>Storage</b>	Ø Speicherkapazität: 150 TB
	Anteil zentraler Speicher: 83 % (50 % NAS, 33 % SAN)
<b>Netzwerk</b>	2 größere modulare Netzwerksysteme, insgesamt 4 Racks Netzwerktechnik
	Ø 450 Serverports, strukturierte Verkabelung, modularer end-of-row-Ansatz
	1 Rack SAN-Storage, 100 FC-Ports,
	Ø 6750 m Kabel (Kupfer), 1.500 m Glasfaser-Kabel
<b>Infrastruktur</b>	
<b>Gesamtleistung</b>	80-500 kW - Durchschnitt 105 kW
<b>Klima</b>	100 % klimatisiert, 60 % über Doppelboden, 40 % über Split oder Rackklima, 60 % redundant
<b>Stromversorgung</b>	USV-Anteil: 100 % (meist Zentral-USV, 20 (10) % Rack-USV, Batteriebetrieben) - 60 % davon redundant, in 10 % der RZ Notstrom-Generatoren, in 50 % der RZ gibt es eine 2. Hauseinspeisung

**Quelle: Eigene Zusammenstellung gemäß Vorgehensbeschreibung in Abschnitt 2.7.1**

In „Kleinen Rechenzentren“ sind durchschnittlich ca. 150 Terabyte an Festplattenspeicher-  
kapazität vorhanden, wobei 50 % des Speichers in NAS-Systemen und ein Drittel des Spei-  
chers in SAN-Systemen installiert sind. Für das Speichernetzwerk wird durchschnittlich ein  
Rack mit Netzwerktechnik und 1.500 m Glasfaserkabel benötigt. Die Serververnetzung im  
Rechenzentrum erfordert 4 Racks an Netzwerktechnik und durchschnittlich 6.750 m an Kup-  
ferkabel.

Die „Kleinen Rechenzentren“ sind zu 100 % klimatisiert. Auch ist bei diesem Rechenzent-  
rumstyp davon auszugehen, dass die IT-Geräte vollständig durch USV-Systeme abgesichert  
sind. Klimatisierung und USV-Systeme sind jeweils zu 60 % redundant ausgelegt. 50 % der  
Rechenzentren verfügen über eine zweite Hauseinspeisung und in 10 % dieser Rechenzent-  
ren ist ein Generator zur Notstromversorgung vorhanden.

## 2.7.5 Mittleres Rechenzentrum

In ca. 350 Rechenzentren des Typ „Mittleres Rechenzentrum“ sind 220.000 Server installiert  
(17 % an allen Servern in Rechenzentren) – vorwiegend als Rackserver ausgeführt. Der An-  
teil der Blade-Server ist in dieser Kategorie wieder geringer als bei „Kleinen Rechenzentren“;

Tower-Server werden hier nicht eingesetzt. Dafür existieren in „Mittleren Rechenzentren“ zunehmend Unix- und Mainframesysteme (Tabelle 13)

**Tabelle 13: Durchschnittliche Ausstattung eines „Mittleren Rechenzentrums“**

<b>Mittleres Rechenzentrum (501 bis 5000 Server) Ø 600 Server, 600 m<sup>2</sup>, 250 kW IT-Strom ca. 350 Lokationen</b>	
<b>Informations- und Kommunikationstechnik</b>	
<b>Server</b>	Stand-Alone-Server (Tower Server): 0 %
	Blade-Server: 15 %
	Rack-Server: 60 %
	Mainframe/Unix: 25 %
<b>Storage</b>	Ø Speicherkapazität: 600 TB
	Anteil zentraler Speicher (SAN/NAS): 80 % (60 % in SAN)
<b>Netzwerk</b>	18 Switche (Ø 100 Ports), 9 Racks
	1.800 Serverports, strukturierte Verkabelung, modularer end-of-row-Ansatz
	2.400 SAN Ports, 50 Switche (48 Port) für Serveranschlüsse (4 Racks), 4 Switche (120 Ports) storageseitig (2 Racks)
	Ø 90.000 m Kupferkabel, Ø 12.000 m Glasfaserkabel
<b>Infrastruktur</b>	
<b>Gesamtleistung</b>	300-5.000 kW - Durchschnitt 550 kW
<b>Klima</b>	100 % klimatisiert, über Doppelboden, 60 % redundant, 30 % Freie Kühlung
<b>Stromversorgung</b>	USV-Anteil: 100 % (Zentral-USV, zu 95 % Batteriebetrieben (Überbrückung 15 Minuten)) - 80 % davon redundant, in 70 % der RZ Notstrom-Generatoren (Überbrückung 48 bis 72 Stunden), in 90 % der RZ gibt es eine 2. Hauseinspeisung

**Quelle: Eigene Zusammenstellung gemäß Vorgehensbeschreibung in Abschnitt 2.7.1**

Rechenzentren dieses Typs verfügen über durchschnittlich 60 Terabyte an Festplatten-speicher. Davon ist mehr als die Hälfte in Storage Area Networks installiert (60 %). Für den Netzwerkspeicher werden 6 Racks an Netzwerktechnik eingesetzt und 12.000 m Glasfaserkabel benötigt. Für die Serververnetzung im Rechenzentrum werden 90.000 m Kupferkabel und 9 Racks Netzwerktechnik eingesetzt.

In „Mittleren Rechenzentren“ werden häufig Anwendungen betrieben, die eine hohe Verfügbarkeit erfordern. Daher ist hier davon auszugehen, dass ein hoher Anteil der Infrastruktur redundant ausgelegt ist und insbesondere die Stromversorgung hohen Verfügbarkeitsanforderungen genügt. In „Mittleren Rechenzentren“ wird durchgängig über Doppelboden klimatisiert. Zu 30 % wird freie Kühlung eingesetzt. 60 % der Klimaanlage sind redundant ausgelegt. Die IT-Geräte sind vollständig über eine USV abgesichert, wobei 80 % der Anlagen redundant ausgelegt sind. Vereinzelt werden auch dynamische USVen mit Schwungrad eingesetzt. In 70 % der Rechenzentren sind Generatoren für die Notstromversorgung vorhanden; in 90 % gibt es eine zweite Hauseinspeisung.

## 2.7.6 Großes Rechenzentrum

Auch wenn es nur ca. 50 Rechenzentren des Typs „Großes Rechenzentrum“ in Deutschland gibt, so sind doch 23 % der Server in diesen Lokationen installiert. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um Rackserver. Auch Unix- und Mainframe-Systeme werden vielfach eingesetzt. Die durchschnittlich installierte Speicherkapazität der Festplatten beträgt 6000 Terabyte, wobei davon 80 % als NAS und SAN über das Netzwerk verfügbar sind (Tabelle 14).

**Tabelle 14: Durchschnittliche Ausstattung eines „Großen Rechenzentrums“**

<b>Großes Rechenzentrum (5001 und mehr Server) Ø 6000 Server, 6000 m<sup>2</sup>, 2500 kW IT-Strom ca. 50 Lokationen</b>	
<b>Informations- und Kommunikationstechnik</b>	
<b>Server</b>	Stand-Alone-Server (Tower Server): 0 %
	Blade-Server: 10 %
	Rack-Server: 60 %
	Mainframe/Unix: 30 %
<b>Storage</b>	Ø Speicherkapazität: 6000 TB
	Anteil zentraler Speicher (SAN/NAS): 80 %
<b>Netzwerk</b>	180 Switche (Ø 100 Ports), 90 Racks
	18.000 Serverports, strukturierte Verkabelung, modularer end-of-row-Ansatz
	24.000 SAN Ports, 500 Switche (48 Ports) für Serveranschlüsse (40 Racks), 40 Switche (12 Ports) storageseitig (20 Racks)
	Ø 900.000 m Kupferkabel, Ø 120.000 m Glasfaserkabel
<b>Infrastruktur</b>	
<b>Gesamtleistung</b>	Über 3000 kW - Durchschnitt 5700 kW
<b>Klima</b>	100 % klimatisiert, über Doppelboden, 100 % redundant, 100 % Freie Kühlung
<b>Stromversorgung</b>	USV-Anteil: 100 % (Zentral-USV, zu 70 % Batteriebetrieben (Überbrückung 15 Minuten)) - 100 % davon redundant, in 100 % der RZ Notstrom-Generatoren (Überbrückung 48 bis 72 Stunden) , in 100 % der RZ gibt es eine 2. Hauseinspeisung

**Quelle: Eigene Zusammenstellung gemäß Vorgehensbeschreibung in Abschnitt 2.7.1**

Durchschnittlich sind in „Großen Rechenzentren“ insgesamt 150 Racks mit Netzwerktechnik ausgestattet, 90 davon für die Serververnetzung und 60 davon für das SAN. Rund 900 km Kupferkabel und über 100 km Glasfaserkabel werden für die Vernetzung benötigt.

Die Infrastruktur erfüllt hohe Anforderungen an die Verfügbarkeit. Sowohl die Klimatisierung als auch die USV sind vollständig redundant ausgeführt, außerdem ist in allen Rechenzentren eine zweite Hauseinspeisung vorhanden. Alle Rechenzentren dieses Typs verfügen über einen bzw. mehrere Generatoren zur Notstromversorgung. 30 % der USV-Anlagen sind dynamische USVen mit Schwungradspeicher.

## 3 Materialbestand IT: Server, Speicher und Netzinfrastruktur

### 3.1 Zielstellung und methodisches Vorgehen

Dieses Kapitel hat die Ermittlung der materialbezogenen Zusammensetzung der Informations- und Kommunikationstechnik in deutschen Rechenzentren zum Gegenstand. Ziel ist es, ein vereinfachtes Mengengerüst der verbauten Materialien für die Server-, Speicher- und Netzwerktechnik zu erstellen.

Diese Abschätzung des Materialbestandes IT ist durch die Herausforderung gekennzeichnet, die bestehende Produktvielfalt in Größenordnungen angemessen abzubilden. Zudem ist die zu erfassende Technik aufgrund der bestückten Leiterplatten durch einen hohen Materialmix gekennzeichnet. Es ist anzunehmen, dass die zu erfassende Elektronik nicht nur in Bauform und Funktion sondern auch materialbezogene Unterschiede aufweist. Das Mengengerüst wird daher neben den in größeren Mengen verbauten Basismaterialien auch eine Vielzahl von in geringeren Mengen vorkommenden Materialien wie Edelmetalle ausweisen.

Für das Mengengerüst werden sogenannte Basismaterialien (engl. bulk materials) wie Eisenmetalle, Glas, Keramik, Inertstoffe und verschiedene Kunststoffe erfasst. Diese Materialien haben einen hohen Gewichtsanteil bei den betrachteten Produkten. Sie werden als Werkstoffe für Gehäuse und Substrate verwendet. Des Weiteren werden in diesem Zusammenhang auch Kupfer und Aluminium erfasst. Beide Metalle sind funktionale Werkstoffe und kommen in Leiterbahnen, Wicklungen, Drähten und Kabeln sowie in Kühlelementen zur Anwendung.

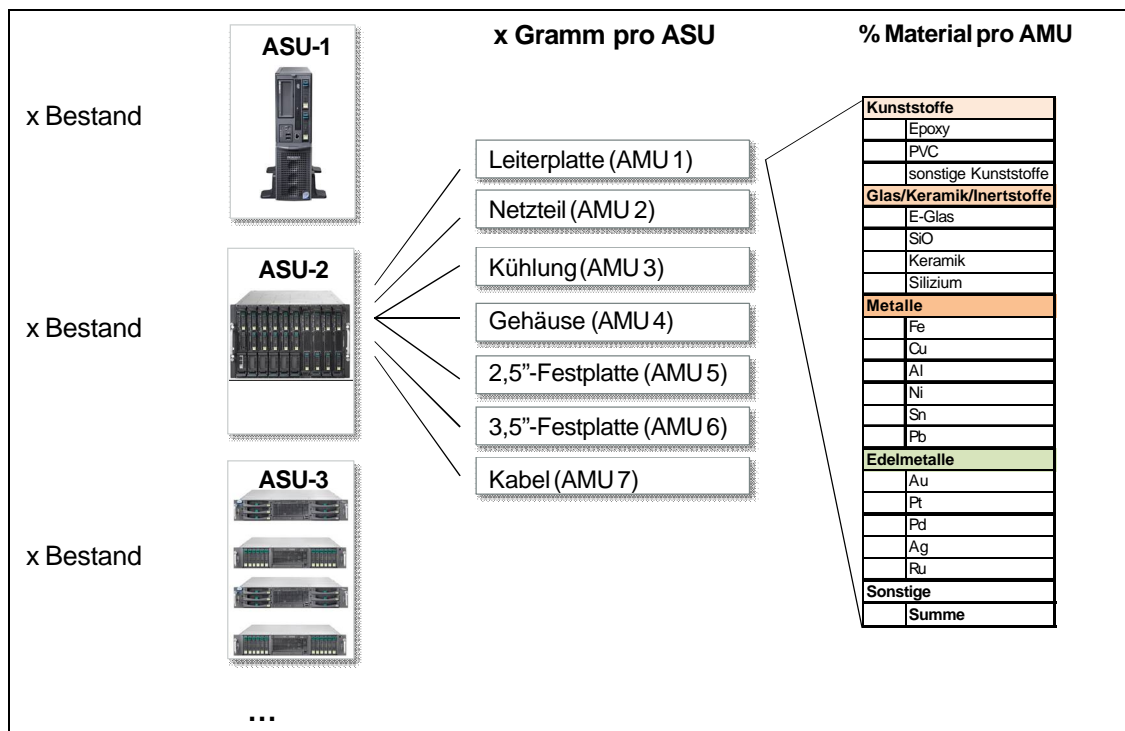
Neben diesen in größeren Mengen vorkommenden Basismaterialien fokussiert die Untersuchung auf die quantitative Erfassung von klassischen Edelmetallen wie Gold und Silber sowie Platinmetalle wie Platin, Palladium und Ruthenium. Edelmetalle werden in elektronischen Komponenten, der Aufbau- und Verbindungstechnik sowie für Kontaktflächen verwendet. Der Mengenanteil differiert durchaus in Abhängigkeit einer spezifischen Technologie und Leistungsanforderung. So können Drahtbonds zur Kontaktierung von Halbleiterbauelementen (Chips) aus Gold (Goldlegierungen) oder Aluminium (Aluminium-Silizium) bestehen. Schließlich werden weitere Metalle und Halbmetalle wie Nickel, Zinn, Zink, Antimon, Selen, Germanium und Gallium erfasst, die in sehr unterschiedlichen Mengen in elektronischen und optischen Bauelementen, Loten oder Kontakten vorkommen.

Die angestrebte Abschätzung des Materialbestandes der Informationstechnik steht primär vor der Herausforderung, die Produktvielfalt in Größenordnungen zu erfassen. Dies ist für eine realistische Quantifizierung der Gesamtmenge von großer Bedeutung. In diesem Zusammenhang muss auch festgestellt werden, dass bei einer Literaturrecherche keine materialbezogenen Studien bzw. Daten identifiziert werden konnten, die zur Orientierung hätten herangezogen werden können. Somit musste ein methodischer Ansatz zur Strukturierung der notwendigen Sachbilanz und der darauf aufbauenden Datenermittlung erst entwickelt werden. Für die Bestimmung des materialbezogenen Mengengerüsts von Servern und Speichertechnik in deutschen Rechenzentren wurde das folgende Vorgehen gewählt:

- **Definition von Referenzprodukten:** Strukturierte Erfassung der existierenden Produktvielfalt nach technischen und ökonomischen Gesichtspunkten sowie eine Auswahl von Referenzprodukten für Server und Speicher.
- **Definition von Referenzeinheiten:** Technische Charakterisierung eines repräsentativen Durchschnitts für die gewählten Referenzprodukte erfolgt auf Basis von sogenannten Referenz-Server-Einheiten (Average Server Unit, ASU) und Referenz-Module-Einheiten (Average Module Unit, AMU).
- **Ermittlung von Materialdaten für die Referenzeinheiten:** Erfassung von Materialdaten aus Literaturquellen und spezifischen Analysen. Ableitung von Referenzdatensätzen für die einzelnen Technikmodule wie beispielsweise die Leiterplatten.
- **Ermittlung des Gesamtbestandes:** Allokation und Hochrechnung der kumulierten Materialdaten auf den Gesamtbestand der Referenzprodukte.

Die nachstehende Abbildung veranschaulicht dieses Vorgehen.

**Abbildung 5: Vorgehen zur Bestimmung des Mengengerüsts**



Quelle: Eigene Darstellung.

**Anmerkung:** Dieser Ansatz wurde in den ersten Schritten auch prinzipiell für die Netzwerktechnik verfolgt. Im Verlauf der Studie wurde aber deutlich, dass die zu erfassende Vielzahl von Produkten und Systemkonfigurationen zu groß ist und eine entsprechende Detaillierung im Rahmen der vorliegenden Untersuchung nicht möglich ist. Daher wird in der Untersuchung nur die Server- und Speichertechnik nach dem gewählten Ansatz genauer erfasst. Um die Netzwerktechnik dennoch in die Gesamtbilanz zu integrieren, wurde mit dem Auftraggeber (Umweltbundesamt) ein pragmatisches Vorgehen vereinbart. Auf Basis der Marktanalyse und Expertengespräche wird die Annahme getroffen, dass der Materialbestand der Netzwerktechnik in Rechenzentren etwa 10 % der Servertechnik entspricht. Diese Annahme

deckt sich auch durch das erfasste Produktvolumen von rund 140.000 Netzwerktechnik-Einheiten im Verhältnis zu den 1.280.000 Server-Einheiten.

### 3.2 Definition von Referenzprodukten

Für die Auswahl von Referenzprodukten im Bereich Server, muss zunächst das Marktangebot genauer bestimmt werden. Am deutschen Markt ist eine nicht unerhebliche Anzahl von global operierenden Herstellern vertreten. Hierzu gehören insbesondere Hewlett-Packard (HP), IBM, Dell, Fujitsu und Sun Microsystems. Es sind aber auch Server von stärker spezialisierten Herstellern wie NEC, Hitachi, Google, Cisco, Unisys, Supermicro und anderen anzutreffen. Die großen Hersteller verfügen über ein weit gefächertes Produktportfolio an Servern, welche Bauform und typische Prozessorarten unterscheiden.

Das hieraus resultierende Marktangebot an Tower-, Rack- und Blade-Servern kann zwar nicht genau beziffert werden, wird aber in einer Größenordnung von weit über 100 Produkten liegen. Darüber hinaus gibt es eine erhebliche Anzahl an individuell ausgelegten Serversystemen wie z.B. Mainframe-Servern, die teilweise sehr spezifischen Anforderungen angepasst wurden und technisch nicht direkt vergleichbar sind. Technische, ökonomische und anwendungsbezogene Faktoren führen nicht nur zu schnellen Produktwechseln in bestehenden Plattformen, auch die Verbleibdauer im Feld reduziert sich und beträgt heute etwa fünf bis sechs Jahre. Die technologischen Fortschritte generieren auch stetig neue Produktsegmente wie kleinere Kombigeräte, die Server, Speicher und Router in sich vereinigen.

Eine repräsentative Auswahl von Referenzprodukten muss zum einen die technische Vielfalt der am Markt befindlichen Serversysteme sowie zum anderen ihren jeweiligen Mengenanteil wiedergeben. Gleichzeitig ist es für die Gesamtbilanzierung notwendig, für die gewählten Referenzprodukte entsprechende Bestandszahlen zu besitzen. Dabei wird auf der durchgeführten Ermittlung des Bestandes an Servern in Rechenzentren in Deutschland (vgl. Kapitel 2) aufgesetzt. Diese unterscheidet eine begrenzte Anzahl von Servertypen und orientiert sich hierbei an typischen Klassifizierungen von Servern, die zu einem gewissen Maße auch Bauform und Leistungsparameter widerspiegeln.

In der Marktanalyse wurden Tower-Server, Server-Blades, Rack-Server, Unix-Server, Mainframe-Server als Bestand in Einzelanwendungen (Stand-Alone, SA) und als Bestand in Rechenzentren (RZ) erfasst. Neben den Servern wurde in der Marktanalyse ebenfalls der Bestand an über das Netzwerk verfügbaren Festplattenspeicher (Netzwerksspeicher – NS, vgl. Glossar) ermittelt. Sie werden in der Untersuchung als eigenständige Referenzproduktgruppen behandelt. Hinsichtlich der verwendeten Festplatten wird zwischen 3,5“ und 2,5“ Festplatten unterschieden.

**Tabelle 15: Referenzproduktgruppen und Bestandszahlen**

Referenzprodukte Server und Speicher	Bestand Deutschland Referenzjahr 2008
Tower (Stand-Alone)	900.000
Tower (Rechenzentrum)	190.000
Blades	240.000
Rack	640.000
Unix	210.000
Mainframe	4.000
2,5" Netzwerkspeicher (NS)	50.000
3,5" Netzwerkspeicher (NS)	480.000

**Quelle: eigene Berechnungen aus Annahmen in Kapitel 2.**

Die Anzahl und Einteilung der Referenzproduktgruppen wurde mit dem Auftraggeber abgestimmt. Die einzelnen Referenzproduktgruppen umfassen eine bedeutsame Anzahl an Produkttypen, die sich von technischen Leistungsparametern wie der Art und Anzahl der installierten Prozessoren, der Speicherkapazität, Netzwerkschnittstellen und damit auch der Auslegung von Stromversorgung, Kühlung und Gehäuse unterscheiden. Ohne Zweifel wirken sich diese technischen Spezifikationen auf das Mengengerüst der einzelnen Materialien aus.

Aus diesem Grund werden für die Untersuchung so genannte **Referenz-Server-Einheiten** (Average Server Unit, **ASU**) und **Referenz-Modul-Einheiten** (Average Module Unit, **AMU**) definiert, die in der Größenordnung den Durchschnitt der Referenzproduktgruppe abbilden.

### 3.3 Definition von Referenzeinheiten

#### 3.3.1 Referenz-Server-Einheiten (Average Server Unit)

Zur ersten Charakterisierung der Referenzprodukte wird zunächst eine pragmatische Abschätzung für das Gesamtgewicht der Average Server Unit (ASU) anhand einer durchschnittlichen Ausstattungskonfiguration getroffen. Da für die Studie auf keine realen Produktbeispiele zurückgegriffen werden konnte, wurden im Internet verfügbare technische Datenblätter einzelner Hersteller zur Charakterisierung der ASUs herangezogen. Tabelle 16 zeigt die gewählten Referenzprodukte und ASUs einschließlich einiger Spezifikationen, des angenommenen Gewichtes und der zugeordneten Bestandszahl.

**Tabelle 16: Referenz-Server-Einheiten (ASU)**

Referenzprodukte	ASU	ASU-Spezifikation	Gewicht (g)	Bestand 2008
Tower (Stand-Alone)	ASU 1a	1xUnit/Chassis	10.000	900.000
Tower (Rechenzentrum)	ASU 1b	1xUnit/Chassis	10.000	190.000
Blades	ASU 2	1xBlades/Chassis	15.000	240.000
Rack	ASU 3	1x2 Rack Units/Chassis	20.000	640.000
Unix	ASU 4	2x2 Rack Units/Chassis	40.000	210.000
Mainframe	ASU 5	10x2 Rack Units/Chassis	160.000	4.000
2,5" Netzwerkspeicher (NS)	ASU 6	12 Festplatten/Chassis	10.000	50.000
3,5" Netzwerkspeicher (NS)	ASU 7	12xFestplatten/Chassis	15.000	480.000

**Quelle: Eigene Zusammenstellung.**

- Die ASU 1 ist ein mittelgroßer Tower-Server bestückt mit einem Prozessor
- Die ASU 2 ist ein mittelgroßes Server-Blade bestückt mit zwei Prozessoren.
- Die ASU 3 ist ein 2 Rack Unit (2U, vgl. Glossar) Server bestückt mit vier Prozessoren.
- Die ASU 4 (Unix) und 5 (Mainframes) werden über die ASU 3 (2U Rack Server) skaliert.
- Die ASU 4 ist ein 2 x 2U Rack Server bestückt mit 8 Prozessoren.
- Die ASU 5 ist ein 10 x 2U Rack Server bestückt mit 20 Prozessoren.
- Die ASU 6 ist ein separater Netzwerkspeicher mit insgesamt 12 x 2,5" Festplatten einschließlich aller Referenz-Module-Einheiten (Average Module Unit, AMU).
- Die ASU 7 ist ein separater Netzwerkspeicher mit insgesamt 12 x 3,5" Festplatten einschließlich aller Referenz-Module-Einheiten (AMU).

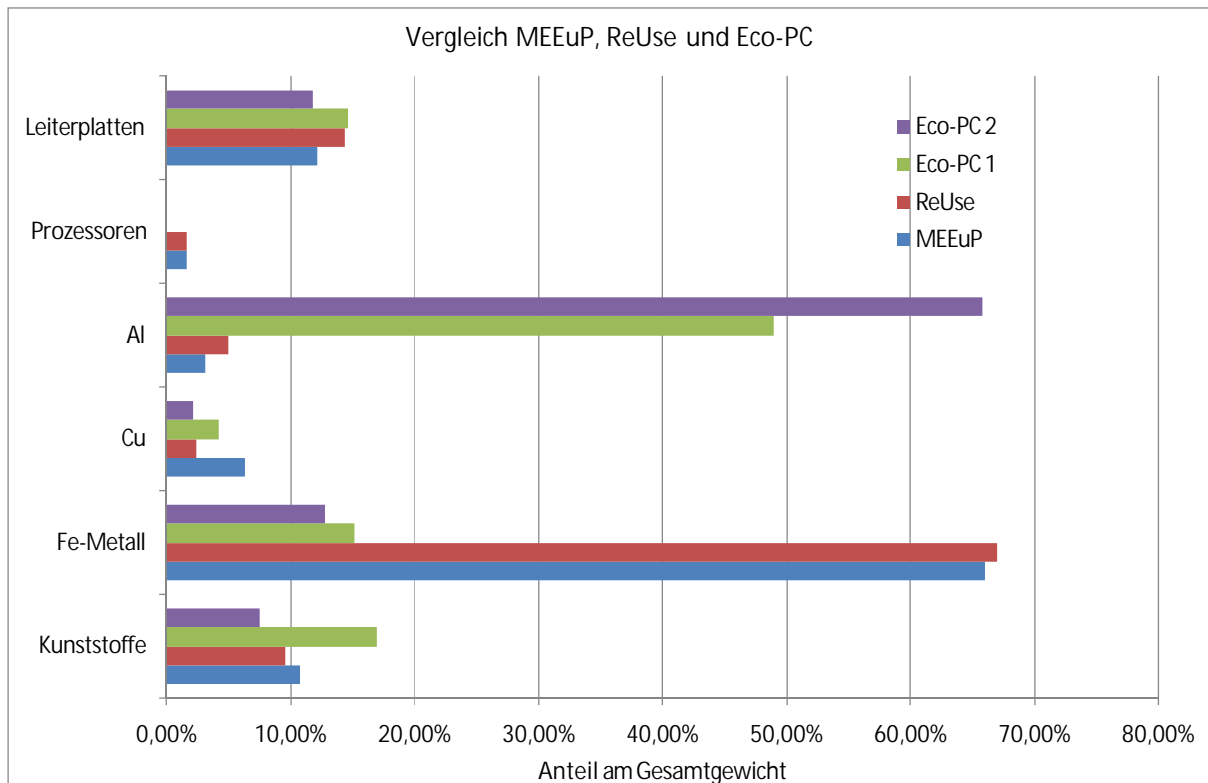
Die genauen Spezifikationen der ASUs sind in Abschnitt 3.5 aufgeführt.

In einer vom Fraunhofer IZM durchgeführten Literaturrecherche konnten keine quantitativen Daten zu Materialzusammensetzungen von Servern ermittelt werden. Vor diesem Hintergrund wurden alternativ zunächst Beispielprodukte von Tower-, Blade- und Rack-Servern anhand von Produktdatenblättern und einer einfachen optischen Betrachtung untersucht und mit existierenden Analysen von Desktop-PCs [z.B. ReUse 2004], [EuP Lot 3] verglichen. Der Vergleich der Analyse-Ergebnisse zu Desktop-PCs zeigt eine gute Übereinstimmung der durchschnittlichen Zusammensetzung mit Bezug auf das Gewicht der Leiterplatte, den Kupfer- und Kunststoffanteil. Die deutlichen Unterschiede zwischen Aluminium und Eisenmetall ist auf die verschiedene Gehäusekonfigurationen zurückzuführen. Teilweise verfügten die Desktop-PCs über Aluminiumgehäuse.

Aus der Literatur ist erkennbar, dass umweltrelevante Stoffe zunächst bezüglich ihrer gesundheitlichen / toxischen Eigenschaften beurteilt werden und erst im Anschluss die werthaltigen Edelmetalle adressiert werden. Der Einsatz von bromierten Flammehemmern, die Dioxine und Furane freisetzen können, ist vor dem Hintergrund der heutigen Umweltgesetzgebung besonders kritisch. In diesem Zusammenhang werden natürlich auch die RoHS-relevanten Stoffe wie u.a. Blei und Cadmium genannt. Mit der anstehenden Novellierung der RoHS werden aktuell potentiell toxische Materialien benannt.



**Abbildung 6: Vergleich der gewichtbezogenen Zusammensetzung von PCs in verschiedenen Studien**



Quelle: Zusammenstellung Fraunhofer IZM.

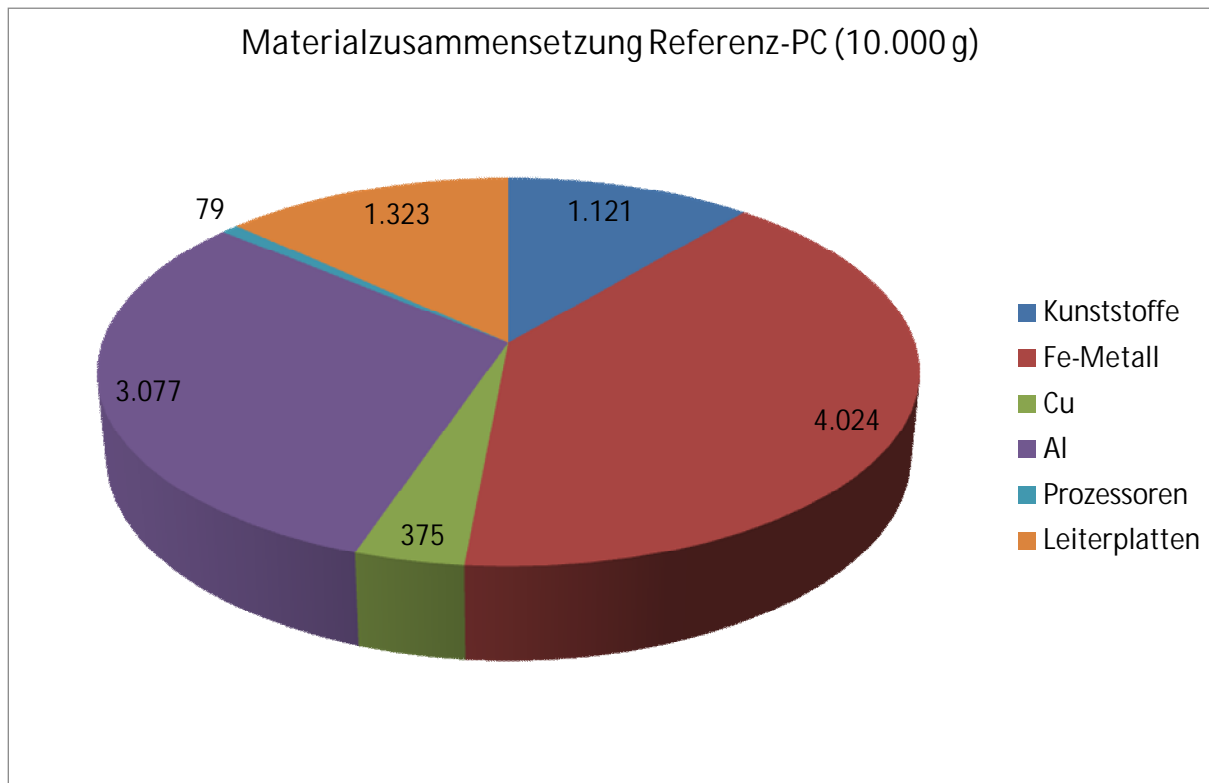
Die nachstehende Tabelle und Abbildung zeigt nochmals die gewichtsbezogene Materialzusammensetzung der Desktop-PCs mit Ableitung eines durchschnittlichen Referenz-PCs mit einem Gesamtgewicht von 10.000 Gramm. Dieser Referenz-PC bildet die Basis für die mengenbezogene Zusammensetzung der Referenzserveinheit (ASU) einschließlich der Referenzmodule für Leiterplatten, integrierte Festplatten, Kühlung, Netzteil und Gehäuse.

**Tabelle 17: Vergleich der gewichtbezogenen Zusammensetzung von PCs**

PCs	MEEuP Lot 3 PC		ReUse PC		Eco PC 1		Eco PC 2		Referenz-PC	
	Gewicht [g]	Anteil [%]	Gewicht [g]	Anteil [%]	Gewicht [g]	Anteil [%]	Gewicht [g]	Anteil [%]	Gewicht [g]	Anteil [%]
Kunststoffe	1.129,00	11%	886,00	10%	912,50	17%	868,00	8%	1.121,49	11%
Fe-Metall	6.912,00	66%	6.184,00	67%	814,50	15%	1.479,00	13%	4.024,27	40%
Cu	658,00	6%	222,00	2%	228,00	4%	241,00	2%	375,37	4%
Al	330,00	3%	466,00	5%	2.638,00	49%	7.601,00	66%	3.076,59	31%
Prozessoren	165,00	2%	148,00	2%		0%		0%	79,49	1%
Leiterplatten	1.276,00	12%	1.323,00	14%	788,00	15%	1.356,00	12%	1.322,80	13%
Summe	10.470,00	100%	9.229,00	100%	5.381,00	100%	11.545,00	100%	10.000,00	100%

Quelle: Zusammenstellung Fraunhofer IZM.

**Abbildung 7: Durchschnittliche Materialzusammensetzung des Referenz-PC**



**Quelle: Eigene Darstellung.**

Aufgrund der vereinfachten Annahmen wird für die wesentlichen Leiterplatten in allen Server-Referenzprodukten die gleiche Materialzusammensetzung angenommen. Der massenbezogene Anteil der Leiterplatten unterscheidet sich jedoch in den unterschiedlichen Servertypen. Diesbezüglich wurden auf Basis ausgewählter Produktbeispiele die folgenden pragmatischen Annahmen getroffen. Die angenommenen Massenanteile der Leiterplatte und das resultierende Gewicht betragen:

- Tower: 13 %, 1.300 g
- Blade: 27 %, 4.000 g
- Rack: 20 %, 4.000 g
- Unix/Mainframe (anteilig Rack-Unit)

### 3.3.2 Referenz-Modul-Einheiten (AMU)

Die Referenz-Server-Einheit (ASU) beschreibt ein durchschnittliches Referenzprodukt einschließlich einer definierten Ausstattung. Mit den Referenz-Modul-Einheiten (AMU) werden die Basiseinheiten für die Ausstattungsconfiguration der betreffenden Referenz-Server-Einheiten beschrieben. Tabelle 18 zeigt die gewählten Referenz-Modul-Einheiten (AMU) im Überblick.

**Tabelle 18: Verwendete Begriffe und Abkürzungen für Referenz-Modul-Einheiten (AMU)**

<b>Module</b>	Leiterplatten	Netzteil	Kühlung	Gehäuse	Festplatten	Kabel
<b>AMU</b>	Printed Circuit Board (PCB)	Power Supply Unit (PSU)	Cooling	Chassis	Hard Disk Drive (HDD)	Cable

Quelle: Eigene Darstellung.

### **Leiterplatten (Printed Circuit Board PCB)**

Leiterplatten sind grundsätzlich durch eine sehr hohe Materialvielfalt gekennzeichnet. Der Anteil an Metallen, Edelmetallen und anderen seltenen Materialien wird von der individuellen Bestückung und Komplexität der Baugruppen bestimmt, die wiederum von der Funktionalität der Platine abhängen. Entsprechend unterscheidet sich die Leiterplatte eines Netzteils von der einer Hauptplatine eines Servers durch die Art des Substratmaterials, Lagenanzahl, Lotsystem, Baugröße und Komplexität der passiven und aktiven (Halbleiter) Bauelemente. Für die vorliegende Untersuchung muss diese Vielfalt pragmatisch reduziert werden. Folgende Annahmen wurden getroffen:

- Die Leiterplatten in Servern (z.B. Mainboard, Memory, Network, Backplane) sind relativ hochwertig und hinsichtlich ihrer Komplexität vergleichbar.
- Der Gewichtsanteil der Leiterplatten unterscheidet sich jedoch in den unterschiedlichen Referenzprodukten (ASU).
- Das Gewicht und die Materialzusammensetzung der Serverplatinen werden insbesondere durch die Anzahl der bestückten Prozessoren (CPU), Memory (DIMM) und Netzwerkanschlüsse (Ports) bestimmt. Die ASU muss diese durchschnittliche Bestückung abbilden.
- Leiterplatten der Netzteile sind gesondert zu betrachten.

Es wurden zwei Ansätze zur Ermittlung des durchschnittlichen Materialgehaltes von Leiterplatten gewählt:

1. Erstellung eines Referenzdatensatzes auf Basis von Literaturangaben
2. Erstellung eines Referenzdatensatzes auf Basis der Beprobung einer serverspezifischen Leiterplattenfraktion aus Altgeräten

Für den ersten Ansatz wurden zunächst die Abbildung 6 dargestellten Analysen von Desktop-PCs sowie eine Aufschlüsselung von Desktop-PC-Leiterplatten von [Hagelücken 2006] herangezogen. Die entsprechenden Daten wurden – wenn nicht schon erfolgt – auf 1.000 g gemittelt. Sie sind in der nachstehenden Tabelle 19 ausgewiesen.

Tabelle 19: Leiterplatten-Referenzdaten und Ableitung eines Referenzmoduls (AMU 1)

PCB							PCB
Leiterplatte		Hagelücken (2006)	Eco-PCs (2006)*	EuP Lot 3 (2007)	Mormann (2009)	Durchschnitt	AMU
		[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]
<b>Kunststoffe</b>		230,00	130,65	228,77		196,47	
	Epoxy		130,65				130,00
	PVC						0,00
	sonstige						60,00
<b>Glas/Keramik/Inertstoffe</b>		400,00	475,95	396,83		424,26	
	E-Glas	180,00		179,04			180,00
	SiO						40,00
	Keramik	220,00		218,83			200,00
	Silizium						4,00
<b>Metalle</b>							
	Fe	70,00	78,39	69,63		72,67	71,00
	Cu	200,00	220,24	198,93	200,00	204,79	200,00
	Al	50,00	48,53	49,73		49,42	50,00
	Ni	10,00	18,66	9,95		12,87	13,00
	Sn	29,00		28,85		28,93	29,00
	Zn		6,61			6,61	6,00
	Pb	15,00	17,73	14,92		15,88	15,00
<b>Edelmetalle</b>							
	Au	0,25	0,93	0,25	0,19	0,41	0,25
	Pt						0,00
	Pd	0,11	0,19	0,11	0,04	0,11	0,11
	Ag	1,00	1,10	0,99	0,72	0,95	1,00
	Ru						0,00
	sonstige		1,02				0,64
	<b>Summe</b>	1.005,36	1.000,00	1.000,00			1.000,00

\* Daten für PCB-complex referenziert nach [Atlantic Consulting et al 1998]

Quelle: Zusammenstellung Fraunhofer IZM.

Diese Gegenüberstellung zeigt, dass die durchschnittliche Leiterplattenzusammensetzung durchaus vergleichbar ist. Dass es in einzelnen Fällen Unterschiede gibt, überrascht kaum, bedenkt man, dass hier Platinen aus unterschiedlichen Produkten und Produktionsjahren verglichen wurden. In der letzten Spalte wurde vom Fraunhofer IZM eine pragmatische Ableitung für das Leiterplatten-Referenzmodul vorgenommen. Darin wurden weitere Annahmen insbesondere der Verteilung der Kategorie „Glas/Keramik/Inertstoffe“ vorgenommen, wobei von einem etwas höheren Anteil CMOS-Chips (Si) und Keramikvielschicht-Chipkondensatoren (z.B. BaTiO<sub>3</sub> modifiziert durch Beimengungen von Zr, Nb, Mg, Co und Sr) ausgegangen wurde. Bei den (Bulk-)Metallen ist eine erfreuliche Übereinstimmung festzustellen. Entsprechend dieser Materialzusammensetzung ist für den Bestand noch von einem großen Anteil von Bleilöten auszugehen. In den kommenden Jahren wird der Anteil von Blei zugunsten von Zinn, Zink, Kupfer und Silber abnehmen.

Hinsichtlich des Edelmetallgehaltes werden in den Datensätzen größere Schwankungen deutlich. Insbesondere der Goldgehalt wird in der älteren Literaturquelle sehr hoch bemessen. Erfahrungsgemäß nimmt der Goldgehalt in Chip-Packages und Finishes in den letzten

Jahren aber zugunsten von billigeren Legierungen (Al, Pd, Ni) ab, sodass hier ein Wert von 0,25 g als realistisch eingeschätzt wurde.

In diesem Zusammenhang wurde der oben erwähnte zweite Ansatz parallel verfolgt. Zur Überprüfung der Literaturwerte wurde die Beprobung einer spezifischen Server-Leiterplatten-Recyclingfraktion angestrebt. Freiwillige Industriepartner in diesem Zusammenhang waren Fujitsu Technology Solutions in Augsburg und das Fujitsu Recycling Center in Paderborn. Letztgenanntes Unternehmen sammelte zunächst zwei etwa 250 kg schwere Leiterplattenfraktionen aus Altgeräten von Fujitsu (FSC) und Wincor-Nixdorf wie Server, Bankautomaten, Notebooks und Desktop-PCs. Eine grobe Sortierung nach hochwertigen Server-spezifischen und weniger werthaltigen Leiterplatten wurde vorgenommen. Die beiden Recyclingfraktionen sollten zwecks einer präzisen Beprobung durch die Firma Umicore Precious Metals Refining nach Hoboken (Belgien) geschickt werden.

**Abbildung 8: Leiterplattenfraktion vor der Entstückung (Fujitsu Recycling Center)**



**Quelle: Fraunhofer IZM.**

Hierzu kam es jedoch nicht, da für die Beprobung eine Entstückung von Bauelementen mit einer Kantenlänge von >5 cm notwendig wurde. Hierdurch entstand ein Mehraufwand, der von den Praxispartnern als ökonomisch nicht vertretbar bewertet wurde. Das Fujitsu Recycling Center Paderborn machte daraufhin den Vorschlag, die Daten der letzten drei eigenen, weniger umfassenden Beprobungsergebnisse zur Verfügung zu stellen. Diese Ergebnisse sind in der Größenordnung vergleichbar mit den aus Literaturquellen und eigenen Untersuchungen ermittelten Datensätzen für die Untersuchung (siehe nachstehende Tabelle).

**Tabelle 20: Vergleich Beprobung durch Fujitsu Recycling Center Paderborn und Referenzdatensatz Edelmetalle Leiterplatte**

	Ag [g/t]	Au [g/t]	Pd [g/t]	Cu [%]
Durchschnitt von drei Beprobungen (Leiterplattenfraktion) (Fujitsu Recycling Center Paderborn)	716	200	42	21
Für Untersuchung ermittelter Referenzdatensatz	1000	250	110	20

**Quelle: Fraunhofer IZM auf Basis von Fujitsu-Angaben.**

Die Daten aus der Beprobung des Fujitsu Recycling Centers in Paderborn zeigen gegenüber dem vom Fraunhofer IZM ermittelten Referenzdatensatz Schwankungen in den Einzelergebnissen um etwa 15 %. Nach Einschätzung des Fraunhofer IZM entsprechen diese Abweichungen den üblichen Schwankungen bei Beprobungen dieser Art und können daher als akzeptabel gelten. Der in der Beprobung ermittelte Edelmetallgehalt ist gegenüber dem Referenzdatensatz durchschnittlich etwas geringer, wobei der größte Unterschied mit über 50 % beim Palladium festzustellen ist. Dies kann auf die Hersteller- und produktspezifische Zusammensetzung der beprobten Leiterplattenfraktion zurückgeführt werden. Die für den Referenzdatensatz etwas höher angenommenen Mengen an Silber, Gold und Palladium sind nach Einschätzung des Fraunhofer IZM dennoch gerechtfertigt, da mit Bezug auf Silber bleifreie Lote und mit Bezug auf Gold und Palladium bei Servern hochwertige Chip-Packages diese Werte begründen.

### **Netzteil**

Wie bei den Servern gibt es auch bei den Netzteilen eine große Produktvielfalt. Netzteile sind in vielen Größen und Leistungsklassen erhältlich. Oft wird das Netzteil auf den maximalen Leistungsbedarf eines Servers oder eines Blade-Chassis ausgelegt. Es sind aber auch Geräte am Markt, in dem mehrere Netzteile parallel geschaltet werden, um die erforderliche Leistung zu realisieren. Zur Abschätzung des Materialbestandes in Netzteilen wird in dieser Untersuchung ein Standardnetzteil mit 400 W definiert, für das ein Referenzdatensatz ermittelt wird. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Materialmenge eines Netzteils proportional mit der maximalen Leistungsaufnahme des Netzteils ansteigt. Jedem Server-Referenzprodukt (ASU) wird eine bestimmte Anzahl an Netzteilen zugewiesen bzw. eine anteilige Materialzusammensetzung (Menge) hochgerechnet. Der Referenzdatensatz wurde vom Fraunhofer IZM aus Literaturquellen und durch die Demontage von Beispielprodukten ermittelt. Die Netzteil-Leiterplatte wurde auf Basis einer älteren Untersuchung des Fraunhofer IZM [Nissen 2000] und auf ein Gewicht von 700 g skaliert.

**Tabelle 21: Materialzusammensetzung Referenzmodul Netzteil (Power Supply Unit) (AMU2)**

		Power Supply Unit			400 W	
	Modul					
	Funktion	PCB	Chassis	Lüfter	Kabel	<b>Summe</b>
	Anzahl					
		[g]	[g]	[g]	[g]	[g]
<b>Kunststoffe</b>						
	Epoxy	70				70
	PVC	10			150	160
	sonstige Kunststoffe	150	45	150		345
<b>Glas/Keramik/Inertstoffe</b>						
	E-Glas	150				150
	SiO	30				30
	Keramik	50				50
	Silizium	0,40				0,40
<b>Metalle</b>						
	Fe	40	860	45		945
	Cu	140			225	365
	Al	90				90
	Ni	7				7
	Sn	7				7
	Zn	3,5				3,5
	Pb	1				1
<b>Edelmetalle</b>						
	Au	0				0
	Pt	0				0
	Pd	0				0
	Ag	1				1
	Ru	0				0
	Sonstige	0				0
	<b>Summe</b>	<b>750</b>	<b>905</b>	<b>195</b>	<b>375</b>	<b>2.225</b>

Quelle: Eigene Berechnungen.

## Kühlung

Dieses Referenzmodul (AMU) umfasst passive Kühlelemente wie Kühlkörper (Heat Sinks) und Wärmeableitungen (Heat Pipes) sowie aktive Kühlelemente wie Lüfter (Fans) und größere Gebläse (Blower Units). Die individuelle Auslegung der Kühlung ist an die Leistungsaufnahme und Bestückung der Hauptbaugruppen gekoppelt. Für das Referenzmodul wird eine Kombination aktiver und passiver Kühlelemente angenommen. Der Referenzdatensatz der „AMU Cooling“ setzt sich aus Kühlkörper (100 g Cu, 300 g Al) sowie Lüfter (200 g Kunststoff, 50 g Fe) zusammen. Jedem Referenzprodukt (ASU) wird eine bestimmte Anzahl an Kühlung zugewiesen bzw. eine anteilige Materialzusammensetzung (Menge) hochgerechnet.

**Tabelle 22: Materialzusammensetzung des Referenzmoduls Kühlung (AMU 3)**

		Cooling			
	Modul				
	Funktion	Kühlkörper	Fan	Chassis	Summe
	Anzahl	1	1	1	
		[g]	[g]	[g]	[g]
<b>Kunststoffe</b>					
	Epoxy				0
	PVC				0
	sonstige Kunststoffe		200		200
<b>Glas/Keramik/Inertstoffe</b>					
	E-Glas				0
	SiO				0
	Keramik				0
	Silizium				0
<b>Metalle</b>					
	Fe			50	50
	Cu	100			100
	Al	300			300
	Ni				0
	Sn				0
	Zn				0
	Pb				0
<b>Edelmetalle</b>					
	Au				0
	Pt				0
	Pd				0
	Ag				0
	Ru				0
	Sonstige				0
	<b>Summe</b>	<b>400</b>	<b>200</b>	<b>50</b>	<b>650</b>

Quelle: Eigene Berechnungen.

### Gehäuse (Chassis)

Bezüglich der Gehäuse wurde angenommen, dass sie bei allen Referenzprodukten hauptsächlich aus Stahlblech bestehen. Trotz des gelegentlichen Einsatzes von Aluminium für Gehäuse, wurde in der Studie Aluminium als Gehäusematerial nicht berücksichtigt, da die Mengen vernachlässigbar sind. Nach Recherchen des Fraunhofer IZM bestätigten Hersteller, dass Aluminium derzeit aus Kostengründen bei Servergehäusen nicht zu Einsatz kommt. Basierend auf den Abmessungen der Produkte und einer durchschnittlichen Dicke des Stahlblechs wurde das Gewicht des Gehäuses abgeschätzt. Zusätzlich wurde ein Anteil Kunststoff für Griffe, Blenden o. ä. mit einbezogen.



**Tabelle 23: Annahmen Referenzmodul Gehäuse (AMU 4)**

Server Module	Unit Faktor	Tower (SA)	Tower (RZ)	Blade	Rack	Unix	Main-frame
Gehäuse/Unit (Gewicht in g)		4.200	4.200	3.700	5.400	10.800	54.000
Gehäuse Abmessungen (in cm)			55,9x22,9x55,9	4,2x35,5x70,0	8,9x48,2x70,0		
Kabel	500	500	500	500	500	1.000	10.000

Quelle: Eigene Zusammenstellung.

### Festplatten (HDD)

Ausgehend von der Marktanalyse werden 2,5" und 3,5" Hybrid Hard Disks (HDD, vgl. Glossar) unterschieden. Die Gesamtzahl ist jedoch nicht direkt einer Ausstattung der einzelnen Referenzprodukte zuzuordnen, sondern unterscheidet in Summe separate Netzwerkspeicher (NS) (ASU 6 und ASU 7) und integrierte Speichermodule (AMU HDD). Daher werden den Referenzprodukten anteilig integrierte Speichermodule zugerechnet. Der Referenzdatensatz für die 500 g schwere 3,5" HDD basiert auf einer Analyse von Mohite [2005]. Der Referenzdatensatz für die 400 g schwere 2,5" HDD wurde über das Gewicht skaliert von Mohite [2005] abgeleitet, wobei die Größe der integrierten Leiterplatte leicht verändert wurde.

**Tabelle 24: Materialzusammensetzung 2,5" Festplatte (AMU 5)**

Modul Funktion Anzahl	HDD		2,5"		Summe
	AMU 5 PCB	Chassis	4 Plater	Sonstige	
	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]
<b>Kunststoffe</b>					
Epoxy	3				3
PVC	0				0
sonstige Kunststoffe	2	20			22
<b>Glas/Keramik/Inertstoffe</b>					
E-Glas	4				4
SiO	1				1
Keramik	4,5				4,5
Silizium	0,1				0,1
<b>Metalle</b>					
Fe	2	80	75		157
Cu	5				5
Al	1,5	200			201,5
Ni	0,25				0,25
Sn	1,5				1,5
Zn	0				0
Pb	0,1				0,1
<b>Edelmetalle</b>					
Au	0,01				0,01
Pt	0		0,002		0,002
Pd	0				0
Ag	0,04				0,04
Ru	0		0,002		0,002
Sonstige	0				0
<b>Summe</b>	<b>25</b>	<b>300</b>	<b>75</b>	<b>0</b>	<b>400</b>

Quelle: Eigene Berechnungen.

**Tabelle 25: Materialzusammensetzung 3,5"-Festplatte (AMU 6)**

		HDD		3,5"		
	Modul	AMU 6				
	Funktion	PCB	Chassis	4 Plater	Sonstige	<b>Summe</b>
	Anzahl					
		[g]	[g]	[g]	[g]	[g]
<b>Kunststoffe</b>						
	Epoxy	5,5				5,5
	PVC	0				0
	sonstige Kunststoffe	3,5			1	4,5
<b>Glas/Keramik/Inertstoffe</b>						
	E-Glas	7,5				7,5
	SiO	1,7				1,7
	Keramik	8				8
	Silizium	0,2				0,2
<b>Metalle</b>						
	Fe	3	80	70		153
	Cu	8				8
	Al	2	260	40	7	309
	Ni	0,5				0,5
	Sn	1,5				1,5
	Zn	0				0
	Pb	0,5				0,5
<b>Edelmetalle</b>						
	Au	0,01				0,01
	Pt	0		0,002		0,002
	Pd	0,				0
	Ag	0,05				0,05
	Ru	0		0,002		0,002
	Sonstige	0,035				0,035
	<b>Summe</b>	<b>42</b>	<b>340</b>	<b>110</b>	<b>8</b>	<b>500</b>

Quelle: Eigene Berechnungen.

### Kabel

Hinsichtlich der Kabel wurde folgende durchschnittliche Materialzusammensetzung ermittelt: 60 % Cu, 40 % PVC. Für die Referenzprodukte wurde ein mengenmäßiger Anteil abgeschätzt.

### Netzwerktechnik

Entgegen der ursprünglichen Planung wurden vom Fraunhofer IZM keine Referenzprodukte und deren Materialzusammensetzung im Bereich der Netzwerktechnik ermittelt. Um relevante Materialaspekte trotzdem in der vorliegenden Studie berücksichtigen zu können, wurde vom Fraunhofer IZM eine vereinfachende Alternativberechnung vorgenommen. Dabei wurde angenommen, dass die Netzwerktechnik in ihrer Materialzusammensetzung näherungsweise der von Servern entspricht. Die Netzwerktechnik wurde auf dieser Basis mit 10% der Server angesetzt.

Unabhängig von der ermittelten Ausstattung können für die materialbezogene Abschätzung folgende Aussagen getroffen werden:

- Bestückte Leiterplatten bestimmen auch in der Netzwerktechnik (z.B. Router, Switches) den Edelmetallgehalt. Die Fläche und Bestückung der verbauten Leiterplatten variieren entsprechend der Anzahl und Art der unterstützten Ports. Eine dezidierte Untersuchung dieser Leiterplatten war im Rahmen der Untersuchung nicht möglich. Für eine genauere Bestimmung sind Referenzprodukte zu definieren.
- Gehäuse, Kühlung und Stromversorgung (inkl. Leiterplatten und Kabel) sind auch bei den Netzwerkprodukten anteilig zu berücksichtigen. Die hauptsächlichsten Materialien sind hierbei Stahlblech (Fe), Kupfer (Cu) und Aluminium (Al).
- Telekommunikationskabel (Kupfer und Glasfaserkabel) haben einen sehr geringen Querschnitt mit einem hohen Anteil an Kunststoffummantelung. Interessant in diesem Zusammenhang sind Glasfaserkabel, die in geringen Mengen Germanium enthalten.

### 3.4 Berechnung des Mengengerüsts

#### 3.4.1 Referenzeinheit Tower-Server (Stand-Alone)

Folgende Annahmen wurden für ASU 1a: Tower-Server (Stand-Alone) getroffen:

- Leiterplatten: 1.300 g PCB (AMU)
- Netzteil: 1,5 x PSU (AMU)
- Kühlung: 1,0 x Cooling (AMU)
- Gehäuse: 4.000 g Stahlblech
- Festplatten: 0,2 x 2,5" HDD (AMU) und 1,1 x 3,5" HDD (AMU)
- Kabel: 500 g
- Bestand: 900.000 Einheiten in Einzelanwendungen

Folgende Tabelle zeigt alle Eingangsgrößen sowie die detaillierte Berechnung des Mengengerüsts pro Referenzeinheit und für den Gesamtbestand des Referenzproduktes.

**Tabelle 26: Materialzusammensetzung Referenzeinheit Tower-Server (Stand-Alone) (ASU 1a)**

	2008	Tower SA								900.000
	Modul	AMU 1	AMU2	AMU 3	AMU 4	AMU 5	AMU 6	AMU 7	ASU	Bestand
	Funktion	PCB	PSU	Cooling	Chassis	2,5" HDD	3,5" HDD	Kabel	Summe	Summe
	Anzahl	1,3	1,5	1		0,2	1,1			
		[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[kg]
<b>Kunststoffe</b>										
	Epoxy	169	105	0		0,6	6,05		280,65	250.000
	PVC	0	240	0		0	0	200	440	390.000
	sonstige Kunststoffe	78	517,5	200	200	4,4	4,95		1.004,85	900.000
<b>Glas/Keramik /Inertstoffe</b>										
	E-Glas	234	225	0		0,8	8,25		468,05	420.000
	SiO	52	45	0		0,2	1,87		99,07	90.000
	Keramik	260	75	0		0,9	8,8		344,7	310.000
	Silizium	5,2	0,6	0		0,02	0,22		6,04	5.400
<b>Metalle</b>										
	Fe	92,3	1.417,5	50	4.000	31,4	168,3		5.759,5	5.150.000
	Cu	260	547,5	100		1	8,8	300	1.217,3	1.100.000
	Al	65	135	300		40,3	339,9		880,2	790.000
	Ni	16,9	10,5	0		0,05	0,55		28	25.000
	Sn	37,7	3	0		0,3	1,65		42,65	38.000
	Zn	7,8	4,5	0		0	0		12,3	11.000
	Pb	19,5	12	0		0,02	0,55		32,07	29.000
<b>Edelmetalle</b>										
	Au	0,33	0	0		0	0,01		0,34	300
	Pt	0	0	0		0	0		0	2
	Pd	0,14	0	0		0	0,01		0,15	130
	Ag	1,3	0,08	0		0,01	0,06		1,44	1.300
	Ru	0	0	0		0	0		0	2
	Sonstige	0,83	0	0		0	0,04		0,87	780
	<b>Summe</b>	1.300	3.338	650	4.200	80	550	500	10.618	9.500.000

Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).

### 3.4.2 Referenzeinheit Tower-Server (Rechenzentrum)

Folgende Annahmen wurden für ASU 1b: Tower-Server (Rechenzentrum) getroffen:

- Leiterplatten: 1.300 g PCB (AMU)
- Netzteil: 1,5 x PSU (AMU)
- Kühlung: 1,0 x Cooling (AMU)
- Gehäuse: 4.000 g Stahlblech
- Festplatten: 0,2 x 2,5" HDD (AMU) und 1,0 x 3,5" HDD (AMU)
- Kabel: 500 g
- Bestand: 190.000 Einheiten in Einzelanwendungen

Folgende Tabelle zeigt alle Eingangsgrößen sowie die detaillierte Berechnung des Mengenrüssts pro Referenzeinheit und für den Gesamtbestand des Referenzproduktes.

**Tabelle 27: Materialzusammensetzung Referenzeinheit Tower-Server in Rechenzentren (ASU 1b)**

	2008	Tower RZ							ASU	190.000
Modul		AMU 1	AMU 2	AMU 3	AMU 4	AMU 5	AMU 6	AMU 7	ASU	Bestand
Funktion		PCB	PSU	Cooling	Chassis	2,5" HDD	3,5" HDD	Kabel	Summe	Summe
Anzahl		1,3	1,5	1		0,2	1			
		[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[kg]
<b>Kunststoffe</b>										
Epoxy		169	105	0		0,6	5,5		280,1	54.000
PVC		0	240	0		0	0	200	440	85.000
sonstige Kunststoffe		78	517,5	200	200	4,4	4,5		1.004,4	193.000
<b>Glas/Keramik /Inertstoffe</b>										
E-Glas		234	225	0		0,8	7,5		467,3	90.000
SiO		52	45	0		0,2	1,7		98,9	19.000
Keramik		260	75	0		0,9	8		343,9	66.000
Silizium		5,2	0,6	0		0,02	0,2		6,02	1.200
<b>Metalle</b>										
Fe		92,3	1.417,5	50	4.000	31,4	153		5.744,2	1.100.000
Cu		260	547,5	100		1	8	300	1.216,5	230.000
Al		65	135	300		40,3	309		849,3	163.000
Ni		16,9	10,5	0		0,05	0,5		27,95	5.400
Sn		37,7	3	0		0,3	1,5		42,5	8.200
Zn		7,8	4,5	0		0	0		12,3	2.400
Pb		19,5	12	0		0,02	0,5		32,02	6.100
<b>Edelmetalle</b>										
Au		0,33	0	0		0	0,01		0,34	65
Pt		0	0	0		0	0		0	0
Pd		0,14	0	0		0	0		0,15	28
Ag		1,3	0,08	0		0,01	0,05		1,43	275
Ru		0	0	0		0	0		0	0,5
Sonstige		0,83	0	0		0	0,04		0,87	170
<b>Summe</b>		<b>1.300</b>	<b>3.338</b>	<b>650</b>	<b>4.200</b>	<b>80</b>	<b>500</b>	<b>500</b>	<b>10.568</b>	<b>2.030.000</b>

Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).

### 3.4.3 Referenzeinheit Blades

Folgende Annahmen wurden für ASU 2: Blades getroffen:

- Leiterplatten: 4.000 g PCB (AMU)
- Netzteil: 1,2 x PSU (AMU)
- Kühlung: 2,0 x Cooling (AMU)
- Gehäuse: 3.500 g Stahlblech
- Festplatten: 0,9 x 2,5" HDD (AMU) und 1,0 x 3,5" HDD (AMU)
- Kabel: 500 g
- Bestand: 240.000 Einheiten

Folgende Tabelle zeigt alle Eingangsgrößen sowie die detaillierte Berechnung des Mengenrüsts pro Referenzeinheit und für den Gesamtbestand des Referenzproduktes.

**Tabelle 28: Materialzusammensetzung der Referenzeinheit Blades (ASU 2)**

	2008	Blade							ASU	240.000
	Modul	AMU 1	AMU 2	AMU 3	AMU 4	AMU 5	AMU 6	AMU 7	ASU	Bestand
	Funktion	PCB	PSU	Cooling	Chassis	2,5" HDD	3,5" HDD	Kabel	Summe	Summe
	Anzahl	4	1,2	2		0,9	1			
		[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[kg]
<b>Kunststoffe</b>										
	Epoxy	520	84	0,		2,7	5,5		612,2	145.000
	PVC	0	192	0		0	0	200	392	90.000
	sonstige Kunststoffe	240	414	400	200	19,8	4,5		1.278,3	300.000
<b>Glas/Keramik/Inertstoffe</b>										
	E-Glas	720	180	0		3,6	7,5		911,1	215.000
	SiO	160	36	0		0,9	1,7		198,6	50.000
	Keramik	800	60	0		4,05	8		872,05	205.000
	Silizium	16	0,48	0		0,09	0,2		16,77	4.000
<b>Metalle</b>										
	Fe	284	1.134	100	3.500	141,3	153		5.312,3	1.250.000
	Cu	800	438	200		4,5	8	300	1.750,5	410.000
	Al	200	108	600		181,35	309		1.398,35	330.000
	Ni	52	8,4	0		0,23	0,5		61,13	14.000
	Sn	116	2,4	0		1,35	1,5		121,25	29.000
	Zn	24	3,6	0		0	0		27,6	6.500
	Pb	60	9,6	0		0,09	0,5		70,19	17.000
<b>Edelmetalle</b>										
	Au	1	0	0		0,01	0,01		1,02	240
	Pt	0	0	0		0	0		0	1
	Pd	0,44	0	0		0	0		0,44	105
	Ag	4	0,06	0		0,04	0,05		4,15	977
	Ru	0	0	0		0	0		0	1
	Sonstige	2,57	0	0		0	0,04		2,6	613
	<b>Summe</b>	4.000	2.671	1.300	3.700	360	500	500	13.031	<b>3.070.000</b>

Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).

### 3.4.4 Referenzeinheit Rack-Server

Folgende Annahmen wurden für ASU 3: Rack-Server getroffen:

- Leiterplatten: 4.000 g PCB (AMU)
- Netzteil: 2,0 x PSU (AMU)
- Kühlung: 4,0 x Cooling (AMU)
- Gehäuse: 5.000 g Stahlblech
- Festplatten: 0,9 x 2,5" HDD (AMU) und 1,5 x 3,5" HDD (AMU)
- Kabel: 500 g
- Bestand: 640.000 Einheiten in Einzelanwendungen

Folgende Tabelle zeigt alle Eingangsgrößen sowie die detaillierte Berechnung des Mengenrührs pro Referenzeinheit und für den Gesamtbestand des Referenzproduktes.

**Tabelle 29: Materialzusammensetzung der Referenzeinheit Rack-Server (ASU 3)**

	2008	Rack								640.000
	Modul	AMU 1	AMU 2	AMU 3	AMU 4	AMU 5	AMU 6	AMU 7	ASU	Bestand
	Funktion	PCB	PSU	Cooling	Chassis	2,5" HDD	3,5" HDD	Kabel	Summe	Summe
	Anzahl	4	2	4		0,9	1,5			
		[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[kg]
<b>Kunststoffe</b>										
	Epoxy	520	140	0		2,7	8,25		670,95	430.000
	PVC	0	320	0		0	0	200	520	330.000
	sonstige Kunststoffe	240	690	800	400	19,8	6,75		2.156,55	1.400.000
<b>Glas/Keramik /Inertstoffe</b>										
	E-Glas	720	300	0		3,6	11,25		1.034,85	660.000
	SiO	160	60	0		0,9	2,55		223,45	140.000
	Keramik	800	100	0		4,05	12		916,05	580.000
	Silizium	16	0,8	0		0,09	0,3		17,19	11.000
<b>Metalle</b>										
	Fe	284	1.890	200	5.000	141,3	229,5		7.744,80	5.000.000
	Cu	800	730	400		4,5	12	300	2.246,50	1.400.000
	Al	200	180	1.200		181,35	463,5		2.224,85	1.400.000
	Ni	52,	14	0		0,23	0,75		66,98	43.000
	Sn	116	4	0		1,35	2,25		123,60	80.000
	Zn	24	6	0		0	0		30	20.000
	Pb	60	16	0		0,09	0,75		76,84	50.000
<b>Edelmetalle</b>										
	Au	1		0		0,01	0,02		1,02	650
	Pt	0		0		0	0		0	3
	Pd	0,44		0		0	0,01		0,45	285
	Ag	4	0,1	0		0,04	0,08		4,21	2.700
	Ru	0	0	0		0	0		0	3,1
	Sonstige	2,57	0	0		0	0,05		2,62	1.700
	<b>Summe</b>	4.000	4.451	2.600	5.400	360	750	500	18.061	<b>11.500.000</b>

Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).

### 3.4.5 Referenzeinheit Unix-Server

Folgende Annahmen wurden für ASU 4: Unix-Server getroffen:

- Leiterplatten: 8.000 g PCB (AMU)
- Netzteil: 3,0 x PSU (AMU)
- Kühlung: 8,0 x Cooling (AMU)
- Gehäuse: 10.000 g Stahlblech (2,0 Rack-Gehäuse)
- Festplatten: 0,2 x 2,5" HDD (AMU) und 0,5 x 3,5" HDD (AMU)
- Kabel: 1.000 g
- Bestand: 210.000 Einheiten in Einzelanwendungen

Folgende Tabelle zeigt alle Eingangsgrößen sowie die detaillierte Berechnung des Mengenrüsts pro Referenzeinheit und für den Gesamtbestand des Referenzproduktes.

**Tabelle 30: Materialzusammensetzung der Referenzeinheit Unix-Server (ASU 4)**

	2008	Unix								210.000
	Modul	AMU 1	AMU 2	AMU 3	AMU 4	AMU 5	AMU 6	AMU 7	ASU	Bestand
	Funktion	PCB	PSU	Cooling	Chassis	2,5" HDD	3,5" HDD	Kabel	Summe	Summe
	Anzahl	8	3	8		0,2	0,5			
		[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[kg]
<b>Kunststoffe</b>										
	Epoxy	1.040	210,	0		0,6	2,75		1.253,35	270.000
	PVC	0	480	0		0	0	400	880	190.000
	sonstige Kunststoffe	480	1.035	1.600	800	4,4	2,25		3.921,65	840.000
<b>Glas/Keramik /Inertstoffe</b>										
	E-Glas	1.440	450	0		0,8	3,75		1.894,55	410.000
	SiO	320	90	0		0,2	0,85		411,05	90.000
	Keramik	1.600	150	0		0,9	4		1.754,90	380.000
	Silizium	32	1,2	0		0,02	0,1		33,32	7.000
<b>Metalle</b>										
	Fe	568	2.835	400	10.000	31,4	76,5		13.910,9	3.000.000
	Cu	1.60	1.095	800		1	4	600	4.100	880.000
	Al	400	270	2.400		40,3	154,5		3.264,8	700.000
	Ni	104	21	0		0,05	0,25		125,3	26.000
	Sn	232	6	0		0,3	0,75		239,05	51.000
	Zn	48	9	0		0	0		57	12.000
	Pb	120	24	0		0,02	0,25		144,27	31.000
<b>Edelmetalle</b>										
	Au	2	0	0		0	0,01		2,01	430
	Pt	0	0	0		0	0		0	0,3
	Pd	0,88	0	0		0	0		0,88	190
	Ag	8	0,15	0		0,01	0,03		8,18	1.750
	Ru	0	0	0		0	0		0	0,3
	Sonstige	5,14	0	0		0	0,02		5,15	1.100
	<b>Summe</b>	8.000	6.676	5.200	10.800	80	250	1.000	32.006	<b>6.900.000</b>

Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).



### 3.4.6 Referenzeinheit Mainframes

Folgende Annahmen wurden für ASU 5: Mainframes getroffen:

- Leiterplatten: 40.000 g PCB (AMU)
- Netzteil: 14,0 x PSU (AMU)
- Kühlung: 20,0 x Cooling (AMU)
- Gehäuse: 50.000 g Stahlblech (10,0 Rack-Gehäuse)
- Festplatten: 0,0 x 2,5" HDD (AMU) und 0,0 x 3,5" HDD (AMU)
- Kabel: 10.000 g
- Bestand: 4.000 Einheiten in Einzelanwendungen

Folgende Tabelle zeigt alle Eingangsgrößen sowie die detaillierte Berechnung des Mengenrüsts pro Referenzeinheit und für den Gesamtbestand des Referenzproduktes.

**Tabelle 31: Materialzusammensetzung der Referenzeinheit Mainframes (ASU 5)**

	2008	Mainframe								4.000
	Modul	AMU 1	AMU 2	AMU 3	AMU 4	AMU 5	AMU 6	AMU 7	ASU	Bestand
	Funktion	PCB	PSU	Cooling	Chassis	2,5" HDD	3,5" HDD	Kabel	Summe	Summe
	Anzahl	40	14	20		0	0			
		[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[kg]
<b>Kunststoffe</b>										
	Epoxy	5.200	980	0		0	0		6.180	24.000
	PVC	0	2.240	0		0	0	4.000	6.240	24.000
	sonstige Kunststoffe	2.400	4.830	4.000	4.000	0	0		15.230	58.000
<b>Glas/Keramik /Inertstoffe</b>										
	E-Glas	7.200	2.100	0		0	0		9.300	35.000
	SiO	1.600	420	0		0	0		2.020	8.000
	Keramik	8.000	700	0		0	0		8.700	33.000
	Silizium	160	5,6	0		0	0		165,6	600
<b>Metalle</b>										
	Fe	2.840	13.230	1.000	50.000	0	0		67.070	250.000
	Cu	8.000	5.110	2.000		0	0	6.000	21.110	80.000
	Al	2.000	1.260	6.000		0	0		9.260	35.000
	Ni	520	98	0		0	0		618	2.300
	Sn	1.160	28	0		0	0		1.188	4.500
	Zn	240	42	0		0	0		282	1.100
	Pb	600	112	0		0	0		712	2.700
<b>Edelmetalle</b>										
	Au	10	0	0		0	0		10	38
	Pt	0	0	0		0	0		0	0
	Pd	4,4	0	0		0	0		4,4	17
	Ag	40	0,7	0		0	0		40,7	155
	Ru	0	0	0		0	0		0	0
	Sonstige	25,68	0	0		0	0		25,68	98
	<b>Summe</b>	40.000	31.156	13.000	54.000	0	0	10.000	148.156	<b>563.000</b>

Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).

### 3.4.7 Referenzeinheit 2,5“ Netzwerkspeicher

Folgende Annahmen wurden für ASU 6: 2,5“ Netzwerkspeicher (NS) getroffen:

- Leiterplatten: 1.300 g PCB (AMU)
- Netzteil: 2,0 x PSU (AMU)
- Kühlung: 4,0 x Cooling (AMU)
- Gehäuse: 5.000 g Stahlblech (1,0 Rack-Gehäuse)
- Festplatten: 12,0 x 2,5“ HDD (AMU) und 0,0 x 3,5“ HDD (AMU)
- Kabel: 1.000 g
- Bestand: 50.000 Einheiten in Einzelanwendungen

Folgende Tabelle zeigt alle Eingangsgrößen sowie die detaillierte Berechnung des Mengenrüsts pro Referenzeinheit und für den Gesamtbestand des Referenzproduktes.

**Tabelle 32: Materialzusammensetzung der Referenzeinheit 2,5" Netzwerkspeicher (NS) (ASU 6)**

	2008	2,5" NS							ASU	50.000
	Modul	AMU 1	AMU 2	AMU 3	AMU 4	AMU 5	AMU 6	AMU 7	ASU	Bestand
	Funktion	PCB	PSU	Cooling	Chassis	2,5" HDD	3,5" HDD	Kabel	Summe	Summe
	Anzahl	1,3	2	4		12	0			
		[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[kg]
<b>Kunststoffe</b>										
	Epoxy	169	140	0		36	0		345	18.000
	PVC	0	320	0		0	0	400	720	36.000
	sonstige Kunststoffe	78	690	800	400	264	0		2.232	115.000
<b>Glas/Keramik /Inertstoffe</b>										
	E-Glas	234	300	0		48	0		582	30.000
	SiO	52	60	0		12	0		124	6.000
	Keramik	260	100	0		54	0		414	21.000
	Silizium	5,2	0,8	0		1,2	0		7,2	400
<b>Metalle</b>										
	Fe	92,3	1.890	200	5.000	1.884	0		9.066,3	460.000
	Cu	260	730	400		60	0	600	2.050	105.000
	Al	65	180	1.200		2.418	0		3.863	198.000
	Ni	16,9	14	0		3	0		33,9	1.700
	Sn	37,7	4	0		18	0		59,7	3.100
	Zn	7,8	6	0		0	0		13,8	700
	Pb	19,5	16	0		1,2	0		36,7	1.900
<b>Edelmetalle</b>										
	Au	0,33	0	0		0,12	0		0,45	23
	Pt	0	0	0		0,02	0		0,02	1
	Pd	0,14	0	0		0	0		0,14	7
	Ag	1,3	0,1	0		0,48	0		1,88	96
	Ru	0	0	0		0,02	0		0,02	1
	Sonstige	0,83	0	0		0	0		0,83	43
	<b>Summe</b>	1.300	4.451	2.600	5.400	4.800	0	1.000	19.551	<b>1.000.000</b>

Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).

### 3.4.8 Referenzeinheit 3,5“ Netzwerkspeicher

Folgende Annahmen wurden für ASU 7: 3,5“ Netzwerkspeicher (NS) getroffen:

- Leiterplatten: 1.300 g PCB (AMU)
- Netzteil: 2,0 x PSU (AMU)
- Kühlung: 4,0 x Cooling (AMU)
- Gehäuse: 5.000 g Stahlblech (1,0 Rack-Gehäuse)
- Festplatten: 0,0 x 2,5“ HDD (AMU) und 12,0 x 3,5“ HDD (AMU)
- Kabel: 1.000 g
- Bestand: 480.000 Einheiten in Einzelanwendungen

Folgende Tabelle zeigt alle Eingangsgrößen sowie die detaillierte Berechnung des Mengenrüsts pro Referenzeinheit und für den Gesamtbestand des Referenzproduktes.

**Tabelle 33: Materialzusammensetzung der Referenzeinheit 3,5" Netzwerkspeicher (NS) (ASU 7)**

	2008	3,5" NS		Networked Storage							480.000
	Modul	AMU 1	AMU 2	AMU 3	AMU 4	AMU 5	AMU 6	AMU 7	ASU		
	Funktion	PCB	PSU	Cooling	Chassis	2,5" HDD	3,5" HDD	Kabel	Summe	Summe	
	Anzahl	1,3	2	4		0	12				
		[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[kg]	
<b>Kunststoffe</b>											
	Epoxy	169	140	0		0	66		375	180.000	
	PVC	0	320	0		0	0	400	720	350.000	
	sonstige Kunststoffe	78	690	800	400	0	54		2.022	975.000	
<b>Glas/Keramik/Inertstoffe</b>											
	E-Glas	234	300	0		0	90		624	300.000	
	SiO	52	60	0		0	20		132	64.000	
	Keramik	260	100	0		0	96		456	220.000	
	Silizium	5	0,8	0		0	2		8	4.000	
<b>Metalle</b>											
	Fe	92	1.890	200	5.000	0	1.836		9.018	4.400.000	
	Cu	260	730	400		0	96	600	2.086	1.000.000	
	Al	65	180	1.200		0	3.708		5.153	2.500.000	
	Ni	17	14	0		0	6		37	18.000	
	Sn	38	4	0		0	18		60	29.000	
	Zn	8	6	0		0	0		14	6.700	
	Pb	20	16	0		0	6		42	20.000	
<b>Edelmetalle</b>											
	Au	0,3	0	0		0	0,1		0,4	215	
	Pt	0	0	0		0	0,02		0,02	12	
	Pd	0,1	0	0		0	0,1		0,2	96	
	Ag	1,3	0	0		0	0,6		2,0	965	
	Ru	0	0	0		0	0,02		0,02	12	
	Sonstige	1	0	0		0	0		1	606	
	<b>Summe</b>	1.300	4.451	2.600	5.400	0	6.000	1.000	20.751	<b>10.000.000</b>	

Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).

### 3.4.9 Referenzeinheit Netzwerktechnik

Folgende Annahmen wurden für ASU 8: Netzwerktechnik getroffen:

- 10 % der Gesamtmenge der in Rechenzentren bestehenden Server (ASU2 - ASU 6)

Folgende Tabelle zeigt alle Eingangsgrößen sowie die detaillierte Berechnung des Mengenrüssts pro Referenzeinheit und für den Gesamtbestand des Referenzproduktes.

**Tabelle 34: Materialzusammensetzung Referenzeinheit Netzwerktechnik (ASU 8)**

	2008	Tower RZ	Blade	Rack	Unix	Mainframe	Network
		[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
<b>Kunststoffe</b>							10% der Summe ASU 2 - 6
	Epoxy	54.000	145.000	430.000	270.000	24.000	92.000
	PVC	85.000	90.000	330.000	190.000	24.000	72.000
	sonstige Kunststoffe	193.000	300.000	1.400.000	840.000	58.000	280.000
<b>Glas/Keramik /Inertstoffe</b>							
	E-Glas	90.000	215.000	660.000	410.000	35.000	140.000
	SiO	19.000	50.000	140.000	90.000	8.000	30.000
	Keramik	66.000	205.000	580.000	380.000	33.000	130.000
	Silizium	1.200	4.000	11.000	7.000	600	2.400
<b>Metalle</b>							
	Fe	1.100.000	1.250.000	5.000.000	3.000.000	250.000	1.100.000
	Cu	230.000	410.000	1.400.000	880.000	80.000	300.000
	Al	163.000	330.000	1.400.000	700.000	35.000	260.000
	Ni	5.400	14.000	43.000	26.000	2.300	9.000
	Sn	8.200	29.000	80.000	51.000	4.500	17.000
	Zn	2.400	6.500	20.000	12.000	1.100	4.100
	Pb	6.100	17.000	50.000	31.000	2.700	10.500
<b>Edelmetalle</b>							
	Au	65	240	650	430	38	143
	Pt	0	1	3	0,3	0	0
	Pd	28	105	285	190	17	62
	Ag	275	977	2.700	1.750	155	585
	Ru	0,5	1	3,1	0,3	0	0
	Sonstige	170	613	1.700	1.100	98	366
	<b>Summe</b>	<b>2.030.000</b>	<b>3.070.000</b>	<b>11.500.000</b>	<b>6.900.000</b>	<b>563.000</b>	<b>2.400.000</b>

Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).

### 3.5 Auswertung des Mengengerüsts

Mit dieser Untersuchung ist ein methodischer Ansatz zur Erstellung eines materialbezogenen Mengengerüsts für Server, Speicher und Netzwerktechnik in Rechenzentren entwickelt worden. Das gesamte Mengengerüst basiert auf stark gemittelten Annahmen und ist auf wesentliche Elemente begrenzt. Tabelle 35 zeigt den Gesamtbestand der einzelnen Materialien pro Referenzeinheit (ASU) und in Summe.<sup>2</sup>

**Tabelle 35: Gesamtbestand der Materialien als Summe der Referenzeinheiten (ASU)**

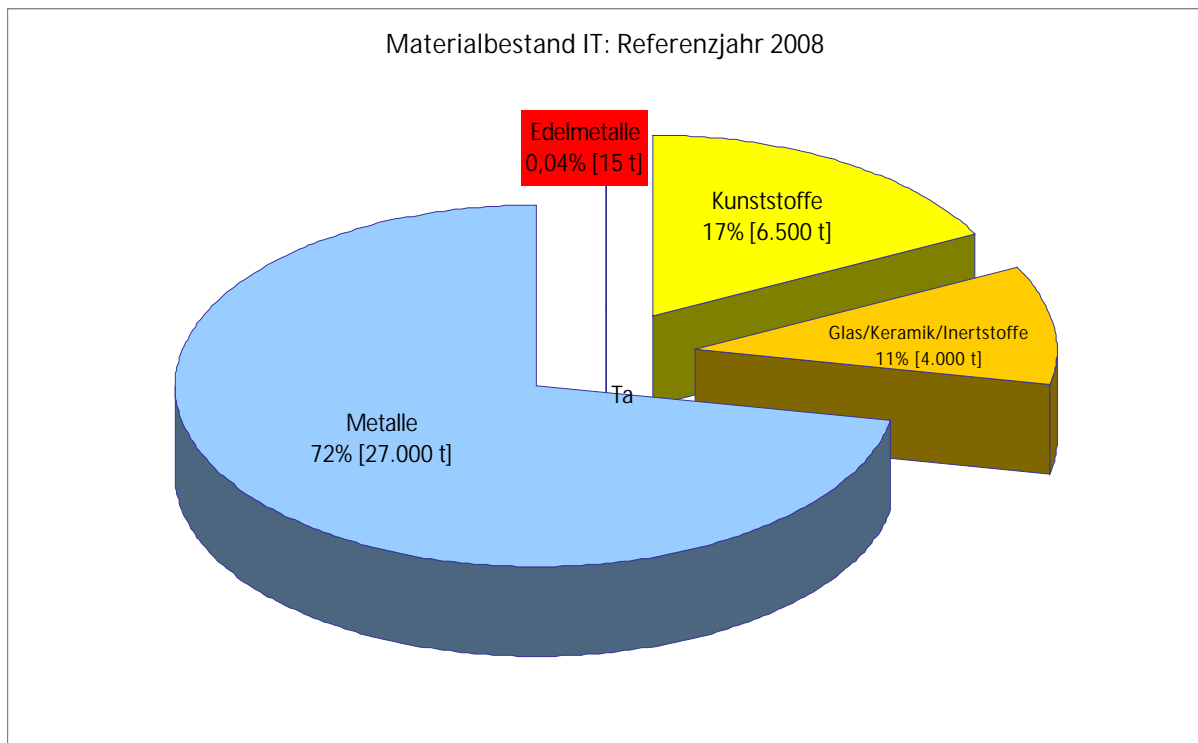
Materialbestand der IT der Rechenzentren in Deutschland										
2008	Tower RZ	Blade	Rack	Unix	Mainframe	Network	2,5" NS	3,5" NS	Summe RZ	
	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
<b>Kunststoffe</b>										
Epoxy	54.000	145.000	430.000	270.000	24.000	92.000	18.000	180.000	<b>1.213.000</b>	
PVC	85.000	90.000	330.000	190.000	24.000	72.000	36.000	350.000	<b>1.177.000</b>	
sonstige Kunststoffe	193.000	300.000	1.400.000	840.000	58.000	280.000	115.000	975.000	<b>4.161.000</b>	
<b>Glas/Keramik/Inertstoffe</b>										
E-Glas	90.000	215.000	660.000	410.000	35.000	140.000	30.000	300.000	<b>1.880.000</b>	
SiO	19.000	50.000	140.000	90.000	8.000	30.000	6.000	64.000	<b>407.000</b>	
Keramik	66.000	205.000	580.000	380.000	33.000	130.000	21.000	220.000	<b>1.635.000</b>	
Silizium	1.200	4.000	11.000	7.000	600	2.400	400	4.000	<b>30.600</b>	
<b>Metalle</b>										
Fe	1.100.000	1.250.000	5.000.000	3.000.000	250.000	1.100.000	460.000	4.400.000	<b>16.560.000</b>	
Cu	230.000	410.000	1.400.000	880.000	80.000	300.000	105.000	1.000.000	<b>4.405.000</b>	
Al	163.000	330.000	1.400.000	700.000	35.000	260.000	198.000	2.500.000	<b>5.586.000</b>	
Ni	5.400	14.000	43.000	26.000	2.300	9.000	1.700	18.000	<b>119.400</b>	
Sn	8.200	29.000	80.000	51.000	4.500	17.000	3.100	29.000	<b>221.800</b>	
Zn	2.400	6.500	20.000	12.000	1.100	4.100	700	6.700	<b>53.500</b>	
Pb	6.100	17.000	50.000	31.000	2.700	10.500	1.900	20.000	<b>139.200</b>	
<b>Edelmetalle</b>										
Au	65	240	650	430	38	143	23	215	<b>1.804</b>	
Pt	0	1	3	0,3	0	0	1	12	<b>17</b>	
Pd	28	105	285	190	17	62	7	96	<b>790</b>	
Ag	275	977	2.700	1.750	155	585	96	965	<b>7.503</b>	
Ru	0,5	1	3,1	0,3	0	0	1	12	<b>18</b>	
Sonstige	170	613	1.700	1.100	98	366	43	606	<b>4.696</b>	
<b>Summe</b>	<b>2.030.000</b>	<b>3.070.000</b>	<b>11.500.000</b>	<b>6.900.000</b>	<b>563.000</b>	<b>2.400.000</b>	<b>1.000.000</b>	<b>10.000.000</b>	<b>37.463.000</b>	

Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).

Die Gesamtmenge beträgt für das Referenzjahr 2008 rund 37.500 t. Mit gut 16.500 t hat Eisen (meist leicht veredeltes Stahlblech) den größten Anteil, gefolgt von Aluminium mit 5.600 t (anteilig größte Menge ist Aluguss aus den Gehäusen der Festplatten), Kunststoffen mit 6.500 t (Leiterplatten und Gehäuse), sowie Kupfer mit 4.400 t (Kühlkörper und Kabel). Glas, Keramik und Inertstoffe machen in Summe etwa 4.000 t aus. Der Hauptanteil ist Glas (Glasmatte in Leiterplatten). Von der prozentualen Verteilung entfallen mehr als 72 % auf Metalle, 17 % Kunststoffe, 10 % Glas, Keramik, Inertstoffe und lediglich 0,04 % auf Edelmetalle (vgl. Abbildung 9).

<sup>2</sup> Stand-Alone Server (ASU 1a), die nicht in Rechenzentren stehen, sind in dieser Zusammenfassung nicht berücksichtigt. Die Materialmengen dieser ASU sind der Tabelle 26 zu entnehmen.

**Abbildung 9: Materialbestand IT in Rechenzentren nach Stoffgruppen**



**Quelle: Eigene Darstellung.**

Betrachtet man den ökonomischen bzw. monetären Wert der Materialien ergibt sich ein deutlich anderes Bild. Bezüglich des Materialwertes haben Edelmetalle den höchsten Anteil. Die 1,8 t Gold, 0,8 t Palladium 0,02 t Platin und die 7,5 t Silber haben einen Gesamtgewichtsanteil von lediglich 0,04 %, stellen aber einen Wert von fast 52 Millionen Euro dar. Gold allein hat einen Rohstoffwert von 43 Millionen Euro.<sup>3</sup> Die restlichen Metalle mit einem Mengenanteil von 72 % haben hingegen einen monetären Wert von nur 36 Millionen Euro, wobei Kupfer mit fast 22 Millionen Euro bereits an zweiter Stelle hinter Gold und Aluminium mit 10 Millionen Euro an dritter Stelle steht.

Die 139 t Blei ergeben sich aus der Annahme, dass viele der Leiterplatten noch mit Zinn-Blei-Loten gefertigt sind. In Zukunft wird dieser Anteil zu Gunsten von Zinn, Silber und Kupfer abnehmen. Schon jetzt fällt auf, dass Zinn und Silber einen relativ hohen Wertanteil besitzen.

<sup>3</sup> Zur Ermittlung durchschnittlicher Rohstoffpreise wurden Histogramme der Preisentwicklung einzelner Metalle über die letzten fünf Jahre von folgenden Webportalen herangezogen:  
<http://www.metalprices.com>; <http://www.ebullionguide.com>; <http://www.kitcometals.com>

Die Umrechnung der Rohstoffpreise von US Dollar in Euro erfolgte auf der Annahme, dass der durchschnittliche Wechselkurs 1 US\$ = 0.74 € betrug.

## 4 Materialbestand Elektrik (USV, Stromverteilung, Notstromaggregate)

Abweichend von der im Angebot vorgesehenen Vorgehensweise zur Ermittlung der materialbezogenen Zusammensetzung der elektrischen Anlagen zur Stromversorgung in Rechenzentren wurde im Bereich Elektrik eine andere Herleitung von Materialbestandsdaten gewählt. Ursprünglich war geplant, die Materialbestandsdaten – analog zur Vorgehensweise bei der IT (vgl. Kapitel 3) – auf Basis von Referenzprodukten zu errechnen. Die Untersuchung hat aber gezeigt, dass die in der Realität vorhandene Vielfalt an Produkten und Produktkonfigurationen im Bereich der Unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV), stromführende Leitungen, Verteiler und Notstromversorgungsaggregate (Generatoren) so hoch ist, dass es im Rahmen des gegebenen Zeit- und Budgetrahmens nicht möglich war, valide Referenzprodukte abzuleiten. Mit dem Auftraggeber wurde daher vereinbart, alternativ grundlegende Eckdaten zum Materialbestand der Elektrik in Rechenzentren zusammenzustellen.

### 4.1 Unterbrechungsfreie Stromversorgung und Batterien

Im Rahmen der Analyse der Rechenzentrumsausstattung wurden vom Borderstep Institut die insgesamt installierten USV-Leistungen in Tabelle 36 dargestellten Bestandszahlen für deutschen Rechenzentren ermittelt. Um auf dieser Basis eine Abschätzung des Materialbedarfs vornehmen zu können, werden in dem dieser Untersuchung zugrundeliegenden Rechenmodell zwei durchschnittliche Klassen der unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) definiert. Dabei wurde die Vielzahl der verschiedenen USV-Produkte stark vereinfachend auf zwei „typische“ batteriebetriebene Produkte reduziert. Insbesondere in kleineren Lokationen (Serverschränke und Serverräume) werden einphasige USVen eingesetzt. In größeren Lokationen ist vom Einsatz dreiphasiger Geräte auszugehen. Die durchschnittlichen Leistungen von 3 kVA und 60 kVA stellen typische Größenordnungen dar. In Tabelle 36 sind die sich so errechneten Bestandszahlen für diese USV-Klassen dargestellt. Es wird davon ausgegangen, dass der Materialbedarf von Geräten anderer Leistungsklassen relativ stark mit der Leistung korreliert. Eine detaillierte technische Charakterisierung (Parametrisierung) entsprechender Referenzprodukte konnte vom Fraunhofer IZM aus den o. g. Gründen nicht vorgenommen werden. Die vom Borderstep Institut ermittelten Daten liefern jedoch Ansatzpunkte für eine grobe Abschätzung sowie zukünftigen Forschungsbedarfe.

Für die insgesamt in deutschen Rechenzentren installierte Batteriemasse wurde ein Gewicht von 3.800 t ermittelt. Dynamische USVen konnten aufgrund nicht verfügbarer Daten vom Fraunhofer IZM nicht berücksichtigt werden. Sie werden insbesondere in größeren Lokationen eingesetzt. Für das Jahr 2008 wurde ermittelt, dass der Anteil der über dynamischen USVen abgesicherten Leistung in deutschen Rechenzentren 12 % beträgt.

**Tabelle 36: Bestandszahlen für USV im Referenzjahr 2008 (Modellannahmen)**

	<b>Einphasige USV mit einer Ø Leistung von 3 kVA</b>	<b>Dreiphasige USV mit einer Ø Leistung von 60 kVA</b>
Bestand	41.500	8.500
Anteil an der insgesamt installierten Leistung (in %)	17 %	71 %

**Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).**

Eine batteriebetriebene USV besteht aus Akkumulatoren, Stromrichtern, einer elektronischen Steuerung und Regelung sowie Netzwerkanschlüssen. Gewicht und Grad der Ausstattung variieren stark. Das Gehäuse der USV besteht aus Stahlblech. Am Markt sind selbst für gleiche Leistungsklassen unterschiedliche Bauformen (z.B. Rack-fähig, Stand-Alone) vertreten, was mit dem Gewicht des Gehäuses korreliert.

Die Batterien sind über Kabel mit der Steuerplatine (Leiterplatte) verbunden. Der Stromrichter und die Steuerung bestehen aus einem größeren Transformator und weiterer Leistungselektronik (Schaltransistoren, Mikrocontroller). Art, Größe und Bestückung der Leiterplatte variieren in Abhängigkeit der Leistungsparameter und Qualität des Produktes.

Für eine Abschätzung des Materialbedarfs der USVen liegen nur wenige Daten der Materialzusammensetzung von Beispiel-Produkten vor. Zwei Hersteller haben dem Borderstep Institut für wenige Produkte Zusammensetzungen nach Bulk-Materialien zur Verfügung gestellt. Aus diesen Daten konnten die in Tabelle 37 dargestellten Materialzusammensetzungen ermittelt werden.



**Tabelle 37: Gewichte und Materialzusammensetzungen von typischen batteriebetriebenen USVen**

Materialart	einphasige USV	dreiphasige USV
	3kVA	60 kVA
Gesamtgewicht ohne Batterien	18 kg	400 kg
Batteriegewicht <sup>4</sup>	20 kg	550 kg
<b>Gewichtsanteile ohne Batterien</b>		
Stahl	35 %	55 %
Aluminium	3 %	5 %
Kupfer	10 %	8 %
Sonstige Elektrik/Elektronik	35 %	27 %
Kunststoff	15 %	3 %
Sonstiges	2 %	2 %

**Quelle: Eigene Zusammenstellung.**

Auf Basis dieser Werte ergeben sich die in Tabelle 38 dargestellten Abschätzungen für die eingesetzten Materialien in deutschen Rechenzentren.

**Tabelle 38: Materialien batteriebetriebener USVen in deutschen Rechenzentren im Jahr 2008**

Materialart	Gewicht einphasige USVen	Gewicht dreiphasige USVen	Gewicht USVen gesamt
	(Referenzprodukt 3kVA – theoretischer Bestand 41.500 Stück)	(Referenzprodukt 60kVA – theoretischer Bestand 8.500 Stück)	
	(in t)	(in t)	(in t)
Stahl	260	1.860	2.120
Aluminium	20	170	190
Kupfer	70	270	340
Sonstige Elektrik/Elektronik	260	910	1.170
Kunststoff	110	100	210
Sonstiges	15	65	80
Gesamt	735	3375	4.110

**Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).**

<sup>4</sup> Die Angabe des Batteriegewichts dient nur zur Information, nicht zur Ermittlung des Gesamtbatteriegewichts. Dieses wurde in Tabelle 36 ausgewiesen. Dabei wurde berücksichtigt, dass die Redundanz bei USVen in der Regel über zusätzliche USV-Geräte, aber nicht über äquivalent höhere Vorhaltung von Batterien realisiert wird. Ein Ausfall einzelner Batteriezellen verringert ja nur geringfügig die maximale Überbrückungszeit.

Um neben dieser Betrachtung der Bulk-Materialien eine ungefähre Hochrechnung möglicher Wertstoffe in der USV zu bekommen, wird der Materialmix der Netzteil-Leiterplatte als Basis verwendet. Für eine 3 kVA USV wird eine 750 g Leiterplatte und für eine 60 kVA USV eine mit dem Faktor 10 skalierte 750 g Leiterplatte angenommen. Das Ergebnis dieser Abschätzung ist in folgender Tabelle 39 dargestellt. Wie bereits oben erwähnt, besteht die Notwendigkeit in weiteren Untersuchungen dieses Abschätzungsergebnis kritisch zu prüfen. Allerdings ist anzumerken, dass das so ermittelte Gewicht aller Leiterplatten in USVen mit ca. 95 t im Vergleich zu ca. 13.000 t Leiterplatten in IT-Geräten sehr gering ist.

**Tabelle 39: Materialzusammensetzung USV Leiterplatten (Referenzjahr 2008)**

		2008			
Modul	PCB	3 kVA	60 kVA	Summe	
Skalierung		1	10		
Bestand	Bestand	41.500	8.500		
	[g]	[kg]	[kg]	[kg]	
<b>Kunststoffe</b>					
	Epoxy	70	2.900	6.000	8.900
	PVC	10	400	850	1.250
	sonstige Kunststoffe	150	6.200	12.800	19.000
<b>Glas/Keramik/Inertstoffe</b>					
	E-Glas	150	6.200	12.800	19.000
	SiO	30	1.250	2.550	3.800
	Keramik	50	2.100	4.200	6.300
	Silizium	0	17	34	51
<b>Metalle</b>					
	Fe	40	1.700	3.400	5.100
	Cu	140	5.800	11.900	17.700
	Al	90	3.700	7.700	11.400
	Ni	7	290	600	890
	Sn	2	80	170	250
	Zn	3	125	255	380
	Pb	8	330	680	1.010
<b>Edelmetalle</b>					
	Au	0,02	0,83	1,70	2,53
	Pt	0,00	0,00	0,00	0,00
	Pd	0,00	0,00	0,00	0,00
	Ag	0,05	2,08	4,25	6,33
	Ru	0,00	0,00	0,00	0,00
	Sonstige	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>Summe</b>	<b>750</b>	<b>31.100</b>	<b>63.800</b>	<b>94.900</b>

Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).

Ein Kernelement in USVen sind wie angedeutet die Batterien. Es werden zumeist Blei-Gel-Akkus verbaut. Aus der Literatur sind durchschnittliche Materialzusammensetzungen von Blei-Gel-Akkus bekannt. Tabelle 40 zeigt die durchschnittliche Materialzusammensetzung von Altbatterien (Bleiakku) nach [Trueb 1997]. Der Gesamtanteil an Blei bzw. bleihaltigen Verbindungen beträgt ca. 70 %, Kunststoffe (PP, PVC) ca. 10 % und Schwefelsäure ca. 20 % der Gesamtzusammensetzung.

**Tabelle 40: Durchschnittliche Materialzusammensetzung von Altbatterien**

Material	Anteil [%]
Blei und Bleilegierungen	28 %
Bleioxid	22 %
Bleisulfat	17 %
Schwefelsäure	21 %
Polypropylen	6 %
PVC	4 %
Sonstiges (vor allem Kupfer)	2 %

Quelle: Trueb 1997.

**Tabelle 41: Materialbestand Back-up-Batterien**

Blei bzw. bleihaltige Verbindungen ca. 70 % (in t)	Kunststoffe (PP, PVC) ca. 10 % (in t)	Schwefelsäure ca. 20 % (in t)
2.700	400	1.150

Quelle: eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).

## 4.2 Stromverteilung und Generatoren

Auf Basis der Struktur und durchschnittlichen Ausstattung von Rechenzentren wurden vom Borderstep Institut die in Tabelle 42 dargestellten Bestandszahlen für stromführende Kupferkabel sowie für Notstromaggregate (Generatoren) und Transformatoren abgeschätzt. Für die Ermittlung der stromführenden Verkabelung wurde hierzu ein Durchschnittswert von 11 kg/kW Anschlussleistung für alle Rechenzentren angesetzt. Dieser wurde aus einer detaillierten Materialerhebung in einem Rechenzentrum mit einer Anschlussleistung 10 MW ermittelt, in dem ca. 110 t für die Verkabelung eingesetzt wurden. Weitere Daten waren bislang nicht zu ermitteln. Auch hier besteht die Notwendigkeit für weitere Untersuchungen.

**Tabelle 42: Bestand Stromkabel, Generatoren und Transformatoren im Jahr 2008 (Referenz)**

Kupferkabel (in t)	Bestand an Generatoren	Bestand an Transformatoren
gesamt: 10.200 Kupfer: 7.700 (Ø Gewichtsanteil 75 %, Recherche IZM) PVC: 2.500	1.500	9.000

Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).

Die zur Stromversorgung in deutschen Rechenzentren verbaute Menge an Kupfer in Stromkabeln ist bedeutsam und hat bei 4,90 €/kg für das Referenzjahr 2008 einen monetären Wert von 38 Millionen Euro.

### **Generatoren und Transformatoren**

Generatoren und Transformatoren bestehen aus Bulk-Materialien wie veredeltem Stahl, Kupfer und Aluminium sowie anderen Metallen in geringeren Mengen. Die Baugrößen reichen dabei von kleinen Anlagen mit Leistungswerten von wenigen kW bis hin zu Großgeräten, die im MW-Bereich liegen. Der zeitliche und finanzielle Rahmen der Studie erlaubt keine detaillierte Untersuchung der Materialzusammensetzung von Referenzprodukten.

Zur vereinfachten groben Abschätzung wird angenommen, dass 35 % des Gesamtgewichtes der Generatoren (ohne Dieselaggregat) und Transformatoren aus Kupfer besteht. Der Rest der Geräte besteht zum größten Anteil aus Stahl. Des Weiteren wird für einen durchschnittlichen Generator wird auf Basis der Ergebnisse aus Kapitel 2 ein Gewicht von 3 t (inklusive Dieselaggregat) angenommen. Für Transformatoren wird hier ein durchschnittliches Gewicht von 0,8 t angenommen. Mit diesen Annahmen ergibt sich für das Referenzjahr 2008 der in Tabelle 43 dargestellte Materialbestand.

**Tabelle 43: Abschätzung Materialbestand Generatoren und Transformatoren**

	<b>Generatoren</b>	<b>Transformatoren</b>	<b>Gesamt</b>
Stahl (in t)	3.800	4.700	8.500
Kupfer (in t)	800	2.500	3.300

**Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).**

## 5 Materialien Racks und Einhausungen

### 5.1 Abgrenzung und Zielsetzung

Die Server- und Netzwerkschränke (Racks) stellen einen gewichtigen Materialanteil in Rechenzentren dar. Nach Auskunft von Schaltschrankherstellern sind diese nach der Automobilindustrie der zweitgrößte Stahlblechverbraucher in Deutschland.

In diesem Kapitel wird die Zahl der Racks sowie der in Racks festgelegten Materialien abgeschätzt. Dabei werden folgende Racks berücksichtigt:

- Racks, in denen Server eingebaut sind, ggf. auch einzelne Netzwerkkomponenten (Router, Switches) (Serracks)
- Racks, in denen Netzwerktechnik eingebaut ist und die in Rechenzentren stehen (Netzwerkcracks)

Netzwerkcracks, die in anderen Räumen des Unternehmens stehen und die zur Vernetzung der Endgeräte (Arbeitsplatzcomputer, Telefonanlagen) dienen, zählen nicht zum Untersuchungsgegenstand „Rechenzentrum“ und werden daher nicht mit in die Ermittlung des Materialbestandes einbezogen.

Neben der Betrachtung des Materialbestandes in Racks wird in diesem Kapitel auch eine Abschätzung der Materialien, die für die Einhausung von Kalt- oder Warmgängen verwendet werden, vorgenommen.

Sowohl Racks als auch Einhausungen bestehen zum deutlich überwiegenden Anteil aus Stahl (zum Teil verzinkt oder veredelte Stähle). Weitere Materialien, die in verhältnismäßig geringen Anteilen verwendet werden, sind Kunststoffe (insbesondere Acrylglas), Keramiken, Glas, Aluminium und sonstige Materialien (z.B. Farbe).<sup>5</sup> Je nach Bauart und Hersteller sind die verwendeten Materialien unterschiedlich. So verwenden z.B. einige Hersteller Aluminiumprofile, um Gewicht zu sparen. In diesem Kapitel wird mit geschätzten Durchschnittswerten für die Materialzusammensetzung der Racks gearbeitet, die aus Interviews und Informationen von verschiedenen Rackherstellern abgeleitet wurden.

### 5.2 Methodisches Vorgehen

Zur Abschätzung des Materialsbestandes von Racks und Einhausungen wird folgendes Vorgehen gewählt:

(1) Zunächst wird für die in der Untersuchung betrachteten Serverkategorien geschätzt, wie viele der Server jeweils durchschnittlich pro Rack installiert sind. Diese Schätzung ergibt sich

---

<sup>5</sup> Würde man die Erdungskabel der Racks mit in die Betrachtung einbeziehen, so wäre auch noch Kupfer zu berücksichtigen. Die Erdungskabel sind aber bereits im Kapitel 4 unter Elektrik erfasst.

aus Experteninterviews. Über die in Kapitel 2 ermittelte Ausstattung der verschiedenen Rechenzentrumstypen mit den unterschiedlichen Serverarten kann daraus dann die Gesamtzahl der Serverracks pro Rechenzentrumskategorie bestimmt werden.

(2) Die Zahl der Netzwerkracks wird über die in Kapitel 2 dargestellte Ausstattung der verschiedenen Rechenzentrumstypen mit Netzwerktechnik ermittelt. (Kapitel 2)

(3) Die Summe aus Serverracks und Netzwerkracks ergibt den Gesamtbestand der Racks in deutschen Rechenzentren.

(4) Aus Experteninterviews wird die durchschnittliche Materialzusammensetzung pro Rack sowie das durchschnittliche Gewicht eines Racks ermittelt.

(5) Eine Abschätzung für die in Racks gebundenen Materialien errechnet sich dann aus dem Bestand und der durchschnittliche Materialzusammensetzung eines Racks.

(6) Die Abschätzung der für Kalt- und Warmgangeinhausungen verwendeten Materialien erfolgt über eine Abschätzung des prozentualen Anteils von Einhausungen in den einzelnen Rechenzentrumskategorien.

### 5.3 Materialien in Server- und Netzwerkracks

Die ungefähre Zahl der in deutschen Rechenzentren vorhandenen Serverracks lässt sich über die Zahl der insgesamt vorhandenen Server und eine Abschätzung der durchschnittlich pro Rack installierten Server ermitteln. Dazu wird für die verschiedenen Serverarten auf Basis von Experteninterviews jeweils die durchschnittliche Serverzahl angenommen (Tabelle 44). Für Towerserver wird zwar nicht unbedingt ein Rack benötigt, allerdings werden diese Server dennoch häufiger auch in Serverracks eingebaut.

**Tabelle 44: Durchschnittliche Zahl der Server pro Rack für unterschiedliche Serverarten**

Servertyp	Ø Server pro Rack
Towerserver	3
Bladeserver	15
Rackserver	8
Unix/Mainframe	2

**Quelle: Eigene Zusammenstellung auf Basis von Experteninterviews.**

Dividiert man die in den verschiedenen Rechenzentrumskategorien vorhandenen Zahlen der verschiedenen Servertypen durch die jeweils durchschnittliche Serveranzahl pro Rack so ergeben sich jeweils die Zahlen der Serverracks pro Rechenzentrumskategorie und Servertyp. Werden die Zahlen der Racks für die einzelnen Servertypen innerhalb der Rechenzentrumskategorien addiert, so ergeben sich die in Tabelle 45 dargestellten Bestände von

Serverracks.<sup>6</sup> Danach sind insgesamt ca. 266.000 Serverracks in deutschen Rechenzentren vorhanden. Mit jeweils ungefähr 70.000 Racks sind die meisten der Racks in den Kategorien „Serverraum“ und „Großes Rechenzentrum“ installiert. Die durchschnittliche Anzahl der Server pro Rack, gemittelt über alle Servertypen, ist in „Kleinen Rechenzentren“ am höchsten. Dies ist dadurch begründet, dass hier der Anteil der Blade und Rackserver verhältnismäßig am höchsten ist.

**Tabelle 45: Anzahl von Serverracks in verschiedenen Rechenzentrumskategorien**

Rechenzentrums-Kategorie	Anzahl Rechenzentren	Anzahl Server	Anzahl Server-racks	Ø Server/Rack
Serverschrank	33.000	160.000	33.000	4,8
Serverraum	18.000	340.000	68.000	5,0
Kleines Rechenzentrum	1.750	260.000	49.000	5,4
Mittleres Rechenzentrum	370	220.000	46.000	4,8
Großes Rechenzentrum	50	300.000	70.000	4,3
<b>Insgesamt in Rechenzentren</b>			<b>266.000</b>	

**Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).**

Zur Ermittlung der Zahl der Netzwerkracks werden die Angaben zur Netzwerktechnik in den verschiedenen Rechenzentrumskategorien herangezogen. Dabei wird zwischen LAN-Netzwerktechnik und SAN-Netzwerktechnik unterschieden. In Tabelle 46 ist die so ermittelte Zahl der Netzwerkracks dargestellt. Insgesamt errechnet sich so eine Zahl von ca. 36.000 Netzwerkracks in deutschen Rechenzentren. Die Summe aus Server- und Netzwerkracks ist also ca. 300.000.

**Tabelle 46: Zahl der Netzwerkracks pro Rechenzentrumskategorie**

Rechenzentrums-Kategorie	Anzahl Rechenzentren	LAN-Netzwerk-Racks pro Rechenzentrum	SAN-Netzwerk-Racks pro Rechenzentrum	Netzwerk-Racks insgesamt
Serverschrank	33.000			0
Serverraum	18.000	1		18.000
Kleines Rechenzentrum	1.750	4	1	8.750
Mittleres Rechenzentrum	370	9	2	4.070
Großes Rechenzentrum	50	90	20	5.500
<b>Insgesamt in Rechenzentren</b>				<b>36.320</b>

**Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).**

<sup>6</sup> In der Kategorie Serverschrank wird von einem Rack pro Rechenzentrum ausgegangen.

Aus Expertenbefragungen und zur Verfügung gestellten Herstellerinformationen zur Materialzusammensetzung durchschnittlicher Racks lässt sich die in der zweiten Spalte der Tabelle 47 dargestellte Materialzusammensetzung eines durchschnittlichen Racks abschätzen. Multipliziert mit der Gesamtzahl an Racks, ergeben sich die dargestellten Gesamtmassen. Insgesamt sind ca. 26.000 Tonnen Stahl in den Racks der deutschen Rechenzentren verbaut. Nach Angaben ausgewählter Hersteller und Expertenschätzungen kann davon ausgegangen werden, dass ca. 1/3 – also gut 8.000 Tonnen – davon verzinkter Stahl sind. Außerdem sind ca. 900 Tonnen Aluminium eingesetzt, ca. 1.000 Tonnen Kunststoffe und Keramiken sowie sonstiges Stoffe, vor allem Glas und Farbe.

**Tabelle 47: Materialzusammensetzung eines durchschnittlichen Racks und Gesamtmasse der Rack-Materialien in deutschen Rechenzentren**

	<b>Masse pro Rack (in kg)</b>	<b>Materialmasse insgesamt (in t)</b>
<b>Stahl</b>	87	26.000
<b>Aluminium</b>	3	900
<b>Kunststoffe und Keramiken</b>	5	1.500
<b>Sonstiges (insbesondere Glas, Farbe)</b>	5	1.500

Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).

## 5.4 Materialien für die Einhausung von Kalt- und Warmgängen

Um die in Kalt- und Warmgangeinhausungen gebundenen Materialien abzuschätzen, wird zunächst für die verschiedenen Rechenzentrumstypen eine auf Experteninterviews basierende Schätzung des durchschnittlichen Anteils von Einhausungen vorgenommen. Damit lässt sich die Zahl der eingehausten Racks ermitteln. Über eine Abschätzung der pro Rack für die Einhausung verwendeten Materialien ergibt sich dann die Schätzung für die insgesamt für die Einhausungen eingesetzte Materialmenge. Das Vorgehen ist in Tabelle 48 dokumentiert. Diese Schätzung ist relativ grob. Allerdings zeigt sie, dass die Gesamtmasse für die Einhausungen um ungefähr zwei Größenordnungen (Faktor 100) unterhalb der Materialmenge der Racks liegt.



**Tabelle 48: Abschätzung der für Einhausungen verwendete Materialmenge**

Rechenzentrums-Kategorie	Gesamtzahl Racks	Anteil Racks, die eingehaust sind	eingehauste Racks	Material für Einhausungen pro eingehaustes Rack (kg)	Material für Einhausungen (in t)
Serverschrank	33.000	0%	0	20	0
Serverraum	86.000	5%	4.300	20	90
Kleines Rechenzentrum	57.000	10%	5.700	20	110
Mittleres Rechenzentrum	49.000	10%	4.900	20	100
Großes Rechenzentrum	75.000	5%	3.750	20	80
<b>Insgesamt in Rechenzentren</b>	<b>300.000</b>		<b>18.650</b>		<b>380</b>

Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).

Für Einhausungen wird im Wesentlichen Stahl verwendet. Auch Acrylglas und Glas kommen zum Einsatz. Die Zusammensetzung variiert sehr stark je nach Ausführung der Einhausungen. Teilweise werden die Einhausungen auch in Eigenregie der Rechenzentrumsbetreiber mit den verfügbaren Materialien vorgenommen. In Tabelle 49 ist eine Abschätzung der Materialzusammensetzung einer durchschnittlichen Einhausung dargestellt und die sich daraus ergeben Materialmengen berechnet. Im Vergleich zum Materialeinsatz in Racks sind die Zahlen relativ niedrig.

**Tabelle 49: Abschätzung der Materialzusammensetzung von Einhausungen**

	Massenanteil	Masse für Einhausungen in deutschen Rechenzentren (in t)
<b>Stahl</b>	50 %	190
<b>Acrylglas</b>	25 %	90
<b>Glas</b>	15 %	60
<b>Sonstige Kunststoffe</b>	5 %	20
<b>Sonstiges</b>	5 %	20

Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).

## 6 Materialien Kühlung und Klimatisierung

### 6.1 Zielsetzung und Vorgehensweise

Der größte Anteil der Rechenzentren in Deutschland ist mit Kompressionskühlaggregaten ausgerüstet. Je nach ihrer Leistung repräsentieren diese Aggregate ein Gewicht zwischen einigen 10 kg und vielen Tonnen. Darüber hinaus erfordert die Kühlung Leitungsnetze, Rückkühler, Lüfter und Pumpen. Kühlanlagen setzen sich zwar prinzipiell immer aus ähnlichen Baugruppen zusammen, jedoch ist die konkrete Installation in Rechenzentren in aller Regel eine auf den konkreten Anwendungsfall ausgelegte Projektleistung. Auch gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Aggregate in verschiedenen Größen und Leistungsklassen (siehe Tabelle 2). Um eine Abschätzung der für Kühlung und Klimatisierung in Rechenzentren eingesetzten Materialien durchführen zu können, wird folgender Ansatz verfolgt:

- (1) Zunächst wird die installierte Kühlleistung der Rechenzentren über die Leistungsaufnahme der IT berechnet.
- (2) Im Folgenden wird das durchschnittliche Gewicht pro installierte Leistung (kg/kW) der Kühlsysteme ermittelt. Hier kann auf Daten der EuP Vorstudien zum Lot 10 „Luftkühlung und Lüftung“ (EuP Lot 10) zurückgegriffen werden. Außerdem sind hierzu eine Recherche der Gewichte der Kühlsysteme verschiedener Hersteller sowie Experteninterviews durchgeführt worden. Bei der Berechnung wird zwischen einfachen Splitgeräten, Rackkühlung und einer Raumklimatisierung mit Umluftklimaschränken unterschieden.
- (3) Mit Hilfe der so ermittelten Daten kann das Materialgewicht für die Klimasysteme in Rechenzentren abgeschätzt werden. Aufbauend auf Daten der EuP Vorstudien zur Materialzusammensetzung können damit für die Materialarten Kunststoffe, Technische Kunststoffe, Eisen, Nicht-Eisen-Metalle, Beschichtungen und Elektronik bestimmt werden.

### 6.2 Bestimmung der installierten Kühlleistung in Rechenzentren

Auf Basis der in Kapitel 2 ermittelten Daten zu den durchschnittlichen IT-Leistungsaufnahmen in den verschiedenen Rechenzentrumskategorien können zunächst die benötigten Kühlleistungen berechnet werden. Da die Leistungsaufnahme der IT-Geräte vollständig in Wärme umgesetzt wird, muss ein entsprechendes Äquivalent an Kühlleistung aufgebracht werden. Nur bei kleinen Lokationen kann ggf. auf eine Kühlung verzichtet werden.

Über diesen Ansatz kann die Bedarfsleistung der Klimaanlage in den Rechenzentren für die Kühlung der IT ermittelt werden. In der Regel sind die Klimaanlage jedoch etwas größer ausgelegt. Dies ist zum einen durch die hohe Dynamik der IT-Ausstattung in Rechenzentren begründet. Ein weiterer Ausbau der IT-Geräte sollte in bestimmten Umfang ermöglicht werden, ohne dass dazu die Klimaanlage erweitert werden muss. Außerdem gibt die etwas größere Auslegung eine zusätzliche „Sicherheitsreserve“. Aufgrund von Experteninterviews und Daten von existierenden Rechenzentren kann mit einem Aufschlag der installierten Kühlleistung

tung auf den Kühlleistungsbedarf der IT von ca. 20 % gerechnet werden. Mit diesem Aufschlag ist auch die teilweise notwendige Kühlung der Batterien für die USV berücksichtigt.

Neben dieser „Ausbaureserve“ bei der Auslegung der Klimaanlage in Rechenzentren muss weiterhin noch die teilweise vorhandene Redundanz der Klimatisierungsausstattung berücksichtigt werden. Hierzu wird von einer n+1 Redundanz mit durchschnittlich n=4 ausgegangen, d.h. jeweils auf 4 Klimageräte wird ein zusätzliches Gerät als Ausfallsicherung installiert.

Die über diesen Ansatz ermittelte Kühlleistung in den verschiedenen Rechenzentrums-kategorien ist in Tabelle 50 dargestellt. Insgesamt sind nach dieser Abschätzung knapp 600 MW an Kühlleistungen in deutschen Rechenzentren installiert.

**Tabelle 50: Berechnung der Klimatisierungsleistungen in deutschen Rechenzentren**

Rechen-zentrums-Kategorie	Ø IT-Strom (in kW)	Anteil Klima-tisierung	Ø Kühl-leistung (in kW)	Kühl-leistung insg. benö-tigt (in kW)	Kühl-leistung ausgelegt (in kW)	Redun-danz (n+1)	Installierte Kühlleistung mit Redun-danz (in kW)
Server-schrank	1,9	50 %	1,15	24.000	30.000		30.000
Server-raum	7	90 %	6,3	100.000	120.000	30%	129.000
Kleines Rechen-zentrum	50	100 %	50	86.000	104.000	60%	119.000
Mittleres Rechen-zentrum	240	100 %	240	90.000	108.000	60%	124.000
Großes Rechen-zentrum	2500	100 %	2500	130.000	155.000	100%	194.000
Insg. in Rechen-zentren				430.000	517.000		596.000

Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).

In Kapitel 2 wurde ermittelt, wie hoch die Anteile der Klimatisierung über einfache Splitgeräte und Rackkühlung sowie Raumklimatisierung sind. Einfache Splitgeräte werden vor allem in kleineren Lokationen eingesetzt, während eine Raumklimatisierung über Umluftkühlsysteme in größeren Rechenzentren Standard ist. In Tabelle 51 ist auf Basis der Ergebnisse aus Kapitel 2 die insgesamt installierte Kühlleistung auf diese zwei Kategorien aufgeteilt. Danach wird ca. 30 % der Kühlleistung in deutschen Rechenzentren über Splitgeräte und Rackkühlungen realisiert – ca. 70 % über eine Umluftklimatisierung.

**Tabelle 51: Kühlleistungen von Splitgeräten/Rackkühlungen und Umluftklimasystemen**

Rechenzentrums-Kategorie	Installierte Kühlleistung mit Redundanz (in kW)	Anteil Splitgeräte, Rackkühlung	Anteil über Umluftkühlung	Leistung Splitgeräte, Rackkühlung in Rechenzentren (in kW)	Leistung Umluftkühlung in Rechenzentren (in kW)
Serverschrank	30.000	100 %	0 %	30.000	0
Serverraum	129.000	70 %	30 %	90.000	39.000
Kleines Rechenzentrum	119.000	40 %	60 %	48.000	72.000
Mittleres Rechenzentrum	124.000	2 %	98 %	3.000	120.000
Großes Rechenzentrum	194.000	2 %	98 %	4.000	190.000
<b>Insgesamt in Rechenzentren</b>	<b>596.000</b>			<b>175.000</b>	<b>421.000</b>

Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).

Aus den bisherigen Entwürfen zu den EUP Vorstudien zum Lot 10 ist zu entnehmen, dass für Splitgeräte mit einem durchschnittlichen Gewicht von 14 kg pro installiertem Kilowatt Leistung gerechnet werden kann. Die anteilige Materialzusammensetzung von Splitgeräten ist dabei nahezu unabhängig von der Leistungsklasse (EUP Lot 10, 18).

Wie die Betrachtung von Beispiel-Rechenzentren mit Umluftklimatisierung sowie die Analyse von Datenblättern zu den einzelnen Geräten (Umluftklimaschränke, Pumpen, Ventilatoren, etc.) ergibt, ist dieses spezifische Gewicht näherungsweise auch bei Umluftklimatisierung anzusetzen, wobei hier allerdings nicht die oft verhältnismäßig schweren Kaltwassererzeuger einbezogen sind. Eine Markanalyse von Kaltwassererzeugern in den Leistungsklassen von 4,0 kW bis 1,4 MW zeigt, dass allein hierfür durchschnittlich mit fast 10 kg/kW spezifischen Gewicht gerechnet werden muss (Tabelle 52). Dabei ist die Spannweite der spezifischen Gewichte relativ gering und liegt zwischen 5,7 und 14,6 kg/kW.

**Tabelle 52: Leistungen und spezifisches Gewicht von Kaltwassererzeugern (90 Produkte verschiedener Hersteller)**

	Minimum	Maximum	Mittelwert
Leistung (in kW)	4,3	1.411	308
Gewicht (in kg)	58	9.687	2.398
Gewicht/Leistung (in kg/kW)	5,7	14,6	9,1

Quelle: eigene Recherchen.

Auf Basis der vorhandenen Informationen werden daher für die Raumklimatisierung zusätzlich für die Kaltwassererzeugung 9 kg/kW berechnet. Damit ergeben sich folgende Gesamtgewichte für die Klimatisierung in deutschen Rechenzentren:

- Splitgeräte/Rackkühlung: 2.800 t
- Raumklimatisierung: 9.600 t

Für die Berechnung der einzelnen Materialarten wird auf die Ergebnisse der EuP Lot 10 Vorstudien für den anteiligen Materialbestand von Split-Klimageräten in Europa zurückgegriffen. Die prozentualen Anteile für Splitgeräte, die in dieser Untersuchung explizit berücksichtigt sind, können direkt übernommen werden. Für Umluftklimatisierung wurden die Werte in Abstimmung mit Fachexperten etwas angepasst. Hier liegt ein etwas höherer Anteil von Nicht-eisen-Metallen, insbesondere durch die Kaltwassererzeuger, und ein aufgrund der Größe niedrigerer Kunststoff- und Elektronikanteil vor. Tabelle 53 stellt die prozentualen Anteile der verschiedenen Materialkategorien sowie die sich daraus ergebenden Materialgewichte dar.

**Tabelle 53: Materialeinsatz für Kühlung in deutschen Rechenzentren**

Materialtyp	Splitgeräte/Rackkühlung		Raumkühlung		insgesamt
	Anteil in %	Gewicht in t	Anteil in %	Gewicht in t	Gewicht in t
Kunststoffe	16	390	15	1.460	1.850
technische Kunststoffe	2	50	2	190	240
Eisen	45	1.100	40	3.900	5.000
Nicht-Eisen-Metalle	24	600	30	2.900	3.500
Elektronik	3	70	2	190	260
Sonstiges	11	270	11	1.070	1.340

**Quelle: Eup Lot 10, 25, eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).**

Den höchsten Gewichtsanteil mit 5.000 t stellt Eisen dar. Aber auch 3.500 t Nicht-Eisen-Metalle (vor allem Aluminium und Kupfer) sind an Material eingesetzt. Die Elektronikmasse ist mit 260 t im Vergleich zu der Elektronikmasse in USVen (1.170 t) verhältnismäßig gering.

Aufgrund der Datenlage ist keine Unterscheidung zwischen Kupfer und Aluminium in der Kategorie Nicht-Eisen-Metalle möglich. Die Untersuchungen im Rahmen der EuP Lot 10 Vorstudien unterscheiden diese Materialien nicht. Um dennoch eine grobe Abschätzung der jeweiligen Anteile zu erhalten, wurden die von einem Hersteller zur Verfügung gestellten Daten von einigen ausgewählten Klimaanlage zur Raumkühlung herangezogen. Danach beträgt der Kupfergewichtsanteil ca. 80 %. Überträgt man diesen Anteil auf den gesamten Einsatz an Nicht-Eisen-Metallen in Rechenzentren, so ergeben sich eine Kupfermenge von ca. 2.800 t und eine Aluminiummenge von ca. 700 t.

### 6.3 Einsatz von Kältemitteln

In Rechenzentren sind aktuell vor allem vier verschiedene Kältemittel im Einsatz (BITKOM 2008 b, 23f.). In vielen Anlagen war in 2009 noch das Kältemittel R22 im Einsatz. Dieses Mittel durfte noch bis 31.12.2009 für Service und Wartung verkauft werden. Bis zum 31.12.2014 darf dann noch mit rezyklierter Ware der Service weiter durchgeführt werden. Es ist damit zu rechnen, dass die letzten Anlagen mit R22 im Jahr 2010 stillgelegt oder zumindest auf ein anderes Kältemittel ohne Ozonabbaupotenzial umgestellt werden müssen.

Als Nachfolger von R22 ist R407C am weitesten verbreitet. Es handelt sich dabei um ein Gemisch aus drei Einzelstoffen. R22 kann gegen R407C mit relativ geringem Aufwand ausgetauscht werden. R407C hat kein Ozonabbaupotenzial, aber ein hohes Treibhauspotenzial.

Eine weitere Alternative, die auch relativ häufig verwendet wird, ist R 410A. Dies ist ebenfalls ein Gemisch aus Einzelstoffen. Ein Austausch gegen R22 in bestehenden Anlagen ist aber nicht möglich, da die Drücke im Kältekreis bei R410A wesentlich höher sind. Das Treibhauspotenzial ist etwas geringer als das von R407C.

Teilweise kommt auch R134A als Kältemittel zum Einsatz. R134A ist ein Reinstoff. Da die volumetrische Kälteleistung je nach Einsatzbedingungen nur ca. 50 bis 70 Prozent von R22 beträgt, haben Anlagen bei gleicher Größe eine entsprechend geringere Leistung. Die Umweltbelastungen bzgl. Treibhauseffekt sind bei ausschließlicher Betrachtung der Kältemittel-emissionen etwas geringer als bei R407C oder R410A.

Daten zur genauen Aufteilung der Kältemittel liegen nicht vor. Die EuP Vorstudie zu Klimageräten (EuP Lot 10b, 16) geht von einem etwas höheren Anteil von Anlagen mit R410A im Markt für Splitanlagen aus. Im Bereich der Rechenzentrums-klimatisierung ist allerdings nach Angaben des BITKOM das Kältemittel R407C am meisten verbreitet (BITKOM 2008b, 24).

Auch wenn eine genaue Aufteilung der verwendeten Kältemittelarten zum momentanen Zeitpunkt nicht möglich ist, so lässt sich doch auf Basis der Untersuchungen der EuP Vorstudien für Splitgeräte eine erste Abschätzung für die Gesamtmenge an Kältemittel in deutschen Rechenzentren vornehmen. Für R407C wird darin von einer spezifischen Kältemittelmenge von 0,34 kg/kW ausgegangen, für R410A von einer spezifischen Kältemittelmenge von 0,31 kg/kW (EuP Lot 10b, 16). Nach Expertenaussagen von Klimaanlagenherstellern kann davon ausgegangen werden, dass sich diese spezifischen Kältemittelmengen auch bei größeren Anlagen nicht wesentlich ändern. Zur Abschätzung der Kältemittelmenge wird mit der etwas höheren spezifischen Kältemittelmenge von R407C gerechnet. Damit ergeben sich als grobe Abschätzung für die Kältemittelmenge insgesamt in deutschen Rechenzentren ca. 200 t.

## 7 Materialbezogene Trends in der Informationstechnik

### 7.1 Zielsetzung und Vorgehensweise

In diesem Kapitel werden die Trends in der Informationstechnik, die einen Einfluss auf den Materialbedarf von Rechenzentren haben, skizziert und vorgestellt. Die Darstellung der Trends beruht im Wesentlichen auf den Ergebnissen der im Rahmen dieser Untersuchung durchgeführten Experteninterviews und Marktbeobachtungen. In einem Workshop am 14. Januar 2010 in Berlin mit 40 Fachexperten wurden die so ermittelten vorläufigen Ergebnisse diskutiert und gemeinsam erörtert. Im Rahmen des Workshops wurde eine fragebogen-gestützte Expertenbefragung durchgeführt, um die Einschätzungen zu den beobachteten Trends zu erheben und die Trends in ihrer quantitativen Ausprägung näher zu bestimmen. Der Fragebogen sowie die zusammengefassten Ergebnisse befinden sich im Anhang dieser Studie. Er besteht aus insgesamt 40 Fragen und gliedert sich in fünf Teile:

- Generelle IT Trends
- IT (Server, Speicher und Netzwerkinfrastruktur)
- Stromversorgung
- Racks und Einhausungen
- Klimatisierung

Die Experten wurden aufgefordert, immer nur zu den Themengebieten Aussagen zu treffen, zu denen sie sich selbst als aussagefähig ansehen. Insgesamt wurden 22 ausgefüllte Fragebögen zurückgegeben. In den folgenden Abschnitten sind die materialbezogenen Trends in der Informationstechnik als Ergebnisse der Marktanalyse, der Experteninterviews und der Fragebogenauswertung zusammenfassend dargestellt.

### 7.2 Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Trendanalyse

#### 7.2.1 Generelle IT-Trends

Die generelle Entwicklung der Informationstechnik hat einen erheblichen Einfluss auf den Materialbedarf und auch auf die Materialstruktur in deutschen Rechenzentren. Es ist davon auszugehen, dass auch in Zukunft der Bedarf an IT-Leistung in Rechenzentren weiter deutlich ansteigen wird. Hier waren sich die Teilnehmer der Expertenbefragung einig. 19 Personen stimmten der Aussage voll zu, drei Personen stimmten teilweise zu. Immer mehr Unternehmensprozesse werden mit Hilfe von IT-Unterstützung durchgeführt. Die Nutzung des Internets wird weiter stark ansteigen. Eine Untersuchung des Netzwerkausrüsters Cisco geht davon aus, dass der globale IP-basierte Datenverkehr in den Jahren 2008 bis 2012 jährlich um fast 50 % ansteigen wird. Getrieben wird diese Entwicklung vor allem auch durch die

zunehmende Anwendung multimedialer Dienste im Internet. Weltweit werden immer mehr Daten automatisiert erfasst, verarbeitet und gespeichert. Auch durch den absehbaren Umstieg auf das Internetprotokoll IPv6 (Internetprotokoll, Version 6) und der damit möglichen Zunahmen der kommunikationsfähigen Produkte im Internet werden der Datenverkehr und die Datenmenge weiter steigen.

Der Trend zur zunehmenden Bereitstellung von Software und Anwendungen über das Internet (Software as a Service, Cloud Computing) führt dazu, dass Rechenleistung insbesondere in größeren Rechenzentren konzentriert wird. Die US-Bank Goldman Sachs rechnet damit, dass auf dem Markt für Cloud Computing bis 2013 ein Jahresumsatz von mehr als 44 Mrd. US-Dollar erzielt wird. Der größte Teil des Umsatzes soll mit Speicherlösungen generiert werden (IT Times 2009).

Der schon im letzten Jahrzehnt deutlich festzustellende Trend zur Konsolidierung der Informationstechnik wird weiter anhalten. Mit Konsolidierung ist die Vereinheitlichung und Vereinfachung der IT-Prozesse, der Hard- und Software gemeint. Server- und Speichersysteme werden konzentriert, um die Ressourcen effizienter zu nutzen. Es wird eine Vereinheitlichung der Betriebssysteme und die Nutzung von Standards und Standardkomponenten angestrebt. Mit der Konsolidierung einher geht oft auch eine Zentralisierung der IT-Infrastrukturen. Die Konsolidierung wird durch Virtualisierung unterstützt.

Auch der Trend zur Virtualisierung (Server-, Speicher-, Netzwerk- und Desktopvirtualisierung) fördert die Zentralisierung von Rechenleistungen in Rechenzentren, da hier die Effizienzgewinne am größten sind. Nach Angaben von Marktforschungsunternehmen wuchs der Softwaremarkt im Virtualisierungsbereich selbst im Krisenjahr 2009 mit insgesamt sinkenden Umsätzen (IDC 2009). Im Bereich der Arbeitsplatzsysteme wird davon ausgegangen, dass der weltweite Umsatz von Softwarelösungen zur Desktopvirtualisierung im Zeitraum von 2008 bis 2013 um jährlich fast 100 % steigt (Gartner 2009). Damit ist eine Verschiebung der Rechenleistung vom Arbeitsplatz-PC ins Rechenzentrum verbunden.

Trotz Effizienzverbesserungen durch Konsolidierung und Virtualisierung ist aufgrund deutlicher Zunahme des Bedarfs an Rechenleistung der Bestand an IT-Geräten in den deutschen Rechenzentren in der Vergangenheit kontinuierlich angestiegen. Ein Indiz hierfür ist der Anstieg des Stromverbrauchs von Server- und Rechenzentren in Deutschland von ca. 4 TWh auf 10 TWh im Zeitraum von 2000 bis 2008 (BMU 2008, 8).

Aufgrund der steigenden Bedeutung der Energiekosten in Rechenzentren könnte sich diese Entwicklung in Zukunft möglicherweise ändern. Energieeffizientere Hardware, kleinere Bauart und Virtualisierung könnten den Trend zur immer mehr Material in Rechenzentren bremsen. Es ist allerdings nicht damit zu rechnen, dass sich der Trend umdreht. Im Rahmen der Expertenbefragung waren 2/3 der Teilnehmer der Meinung, dass die Effizienzverbesserungen die Zunahmen des Bedarfs an Rechenleistung nicht kompensieren würden und somit insgesamt der Materialbestand in Rechenzentren weiter ansteigt.

Effizienzsteigerungen der Hardware und Virtualisierung werden dazu führen, dass der Leistungsbedarf der IT im Zeitverlauf künftig stärker schwankt. Viele aktuell noch verwendete Server verbrauchen auch im Leerlauf mehr als 70 % des Stromes, den sie bei Volllast benötigen (BITKOM 2008b, 10). Dies wird sich in Zukunft ändern – über Effizienzverbesserungen.



serungen im Teillastbereich sowie über die Möglichkeit, Server automatisiert herunterzufahren, wird der Energieverbrauch der Hardware stärker mit der benötigten IT-Leistung schwanken. Diese Aussage bestätigten 18 der 19 aussagefähigen Teilnehmer der Expertenbefragung voll oder zumindest teilweise. Der innerhalb des Rechenzentrums sowohl zeitlich als auch räumlich stärker schwankende Energieverbrauch der IT stellt auch höhere Anforderungen an die Klimatisierungs- und Stromversorgungsinfrastruktur. Um sich diesen Anforderungen anzupassen, könnten z.B. zunehmend modulare Systeme eingesetzt werden.

In Tabelle 54 sind die generellen IT-Trends überblickartig dargestellt.

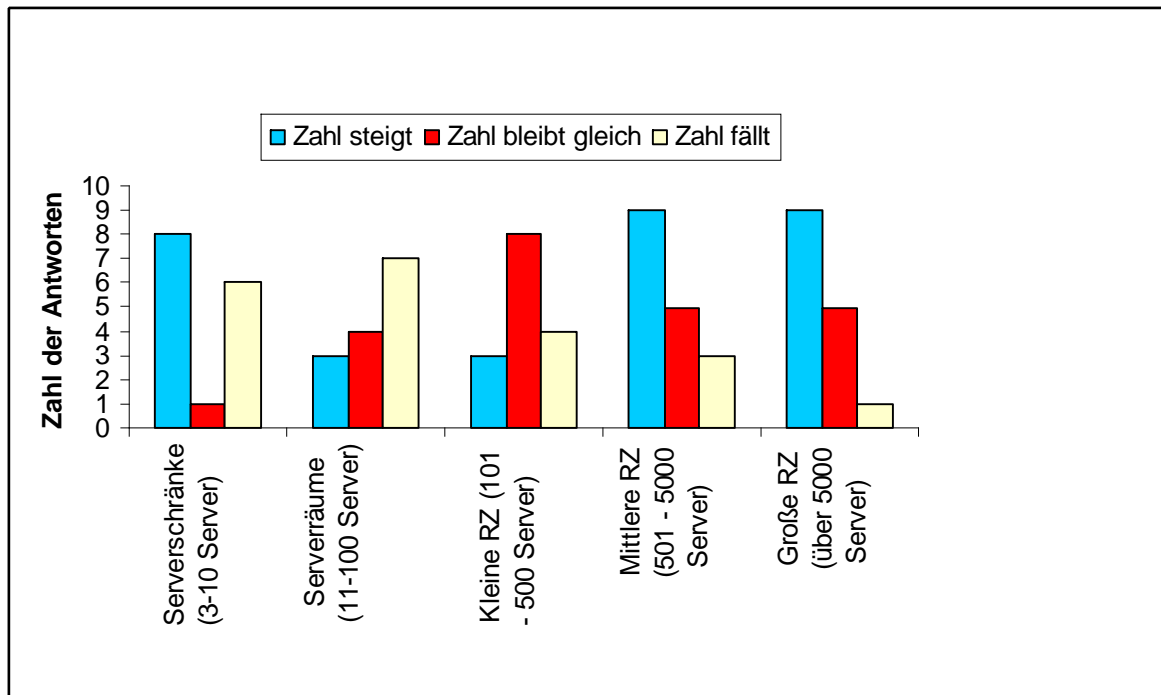
**Tabelle 54: Generelle IT-Trends mit Einfluss auf den Materialbedarf von Rechenzentren**

Anwendungsbezogene Trends	Techniktrends
Weiterhin stark steigende Nutzung des Internets (Video, Photo, Anzahl von E-Mails, Websites etc.)	Konsolidierung von Rechenzentren
Steigende Daten und Speichermengen	Virtualisierung von Servern, Storage und Netzwerk
Zunahme der IT-Unterstützung in fast allen Geschäftsprozessen	Dynamisierung des Stromverbrauchs der IT durch Verbesserungen des Wirkungsgrads im niedrigen IT-Last-Bereich (z.B. Heruntertakten von Prozessoren, Abschalten nicht benötigter Server)
Zentralisierung von Rechenleistung und Datenspeicherung vom Arbeitsplatz in Rechenzentren (Verbreitung von Thin Client & Server Based Computing, Desktop-virtualisierung, Hosted Virtual Desktop usw.)	
Zunehmende Bereitstellung von Software as a Service, Cloud Computing	

**Quelle: Eigene Zusammenstellung auf Basis einer Expertenbefragung.**

Die beschriebenen IT-Trends werden auch Auswirkungen auf die Struktur der Rechenzentren in Deutschland haben. Es ist davon auszugehen, dass die Zahl der größeren Rechenzentren steigen wird. In Abbildung 11 sind die Ergebnisse der Expertenbefragung zu dieser Thematik dargestellt. Die Experten sind sich weitgehend einig, dass die Zahl der Rechenzentren der Kategorien „Mittleres Rechenzentrum“ und „Großes Rechenzentrum“ zunehmen. Die Zahl der Lokationen in der Kategorie „Kleines Rechenzentrum“ wird nach Einschätzung der Mehrheit voraussichtlich konstant bleiben, während die Zahl der „Serverräume“ abnehmen wird. Im Bereich der ganz kleinen Lokationen („Serverschränke“) gehen die Meinungen auseinander. Eine geringe Mehrheit rechnet mit einer Zunahme der Anzahl in dieser Kategorie. Dies lässt sich dadurch begründen, dass von den insgesamt ca. 3,5 Millionen Unternehmen in Deutschland (Statistisches Bundesamt 2010) zunehmend mehr über ein eigenes „Rechenzentrum“ in dieser Kategorie verfügen werden.

**Abbildung 10: Ergebnisse der Expertenbefragung zu Struktur der Rechenzentren in Deutschland im Zeitraum 2008 bis 2015**



Quelle: Eigene Darstellung.

## 7.2.2 Server-, Speicher- und Netzwerkinfrastruktur

Das hohe Materialgewicht der Gehäuse wird durch die Verwendung von Stahlblech und bei den Festplattenspeichern durch Aluminiumguss bestimmt. Es kommen auch unterschiedlichste Kunststoffe zur Anwendung (Blenden, Bedienelemente, Stecker). Dieser Anteil wird in Zukunft durch kleinere Formfaktoren abnehmen. In der Expertenbefragung wurde eine Reduktion des Anteils des Gehäuses am Gesamtgewicht von derzeit ca. 40 % auf durchschnittlich 30 % angenommen. Ein Trend in diesem Zusammenhang sind kleinere und effizientere Netzteile und Gebläse. Netzteile sind häufig redundant ausgelegt. Nur wenige Hersteller verwenden hoch zuverlässige Netzteile, um Redundanz abzubauen. Im Durchschnitt gehen die Experten von einer Absenkung des Gewichtsanteils der Netzteile von derzeit ca. 25 bis 30 % auf unter 20 % im Jahr 2015 aus. Der Anteil der Server mit redundanten Netzteilen wird dahingegen nach der Expertenschätzung im gleichen Zeitraum von 75 % auf über 80 % steigen.

Auch die Entwicklung bei Kühlkörpern hat potentielle Auswirkungen auf die Materialzusammensetzung. Das am häufigsten verwendete Material ist Aluminium. Aufgrund geringer Kosten, des leichten Gewichts und guter Verarbeitungsmöglichkeiten wird Aluminium für passive Kühlkörper verwendet. Ein Nachteil von Aluminium ist gegenüber Kupfer die geringere Wärmeleitfähigkeit. Daher wird Kupfer bei kompakteren Bauformen (z.B. Blades) zur Kühlung von Prozessoren, Chipsätzen und anderen leistungsstarken Halbleiterbaugruppen verwendet. Aufgrund des zunehmend kompakteren Aufbaus der Elektronik (hohe Bestück-

ungsdichte mit aktiven Bauelementen) kommt eine aktive Wärmeableitung über Kupfer-Rohre (Heatpipes) vermehrt zum Einsatz. Diese Trends werden voraussichtlich zu einem zunehmenden Bedarf an Kupfer führen. Die Expertenbefragung ergab eine Steigerung von derzeit ca. 25 % auf 33 % im Jahr 2015. Eine weitere mögliche Entwicklung sind Kühlkörper aus keramischen Werkstoffen, da sie gute Eigenschaften bezüglich Wärmeleitfähigkeit, Kompaktheit und Stabilität aufweisen. Die Expertenbefragung ergab keine verwertbaren Ergebnisse zu diesem Trend. Nur sieben Personen sahen sich selbst überhaupt als aussagefähig an. Drei von Ihnen stimmten der Aussage voll zu, dass der Keramikanteil steigen wird. Zwei Experten quantifizierten den Keramikanteil bei Kühlkörpern bis 2015 auf 10 bzw. 15 %.

Der in der Industrie kontrovers diskutierte Einsatz von Festkörperlaufwerken (Solid State Drives, SSD) und Hybridfestplatten (Hybrid Hard Disk, HHD) könnte sich (unabhängig von technischen Parametern wie Kapazität, Zugriffsgeschwindigkeit und Leistungsaufnahme) in zweierlei Hinsicht auswirken. Einerseits sind SSD kleiner im Formfaktor, was in einer Reduktion des Gehäuse-Materials (Aluminiumguss bei herkömmlichen magnetischen HDD-Festplatten) resultiert. Andererseits steigt der elektronikspezifische Materialanteil durch die Verwendung von deutlich mehr Halbleiterbauelementen (Chips) und die entsprechende Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT). Positiv könnte sich der Trend zu SSD bezüglich des Bedarfs an Ruthenium bzw. Platin auswirken. Diese Materialien werden in geringen Mengen (auf den ermittelten Bestand gerechnet ca. 40 kg) in der Beschichtung der eigentlichen Platten eingesetzt. Laut Expertenbefragung wird der Anteil von SSD-Festplatten an der Gesamtzahl der Festplatten im Jahr 2015 ca. 20 % betragen.

Die Fortschritte in der Halbleiterindustrie bzw. die generelle Miniaturisierung bei den Elektronikbaugruppen wirken sich auf den Materialbedarf in unterschiedlicher Weise aus. Hier sind mehrere gegenläufige Entwicklungen zu beobachten, die nicht genau quantifiziert werden können. Ein wichtiger Treiber der Entwicklung ist neben dem technischen Fortschritt auch der Kostendruck. Auffällig ist beispielsweise, dass bei der Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) nach kostengünstigen Lösungen gesucht wird. In einfachen Chip-Packages werden hochwertige Materialien wie Gold und Palladium (z.B. bei Drahtbonds) teilweise durch Aluminium ersetzt. Auch bei Oberflächenfinishes wird gespart, was sich in der Material-Bilanz positiv auswirkt.

Gleichzeitig nehmen bei komplexeren Baugruppen (Multi-Chip-Module) die Anforderungen an die Verdrahtung/Kontaktierung wieder zu. Des Weiteren steigt die Lagenzahl und Bestückung der Platine mit aktiven Bauelementen bzw. die Erweiterung über Speicherkartensockel. Gerade die Kontaktflächen weisen hauchdünne Goldbeschichtungen auf. Der künftige Bedarf an Gold, Silber, Palladium und anderen Materialien für die Aufbau- und Verbindungstechnik ist nicht genau zu bestimmen und sollte in weiterführenden Studien untersucht werden.

Schwer zu beurteilen sind auch die materialbezogenen Auswirkungen der immer leistungsfähigeren Halbleiterbauelemente. Hier besteht ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen Performanceaspekten und Materialzusammensetzung. Es ist davon auszugehen, dass die Anzahl der Prozessorkerne pro Server weiter ansteigen wird. Insbesondere die kleineren Strukturen und gestiegenen thermischen Anforderungen könnten den Einsatz hochwertiger

Materialien wieder befördern. Probleme bestehen bezüglich der Stabilität und Alterung der Chips. Infolge könnte es zu kürzeren Nutzungszyklen und damit einer erhöhten Nachfrage an Halbleiterbauelementen kommen. Noch sind aber die meisten Halbleiterbauelemente von diesen Problemen nicht betroffen.

Im Rahmen der Expertenbefragung wurden die Trends zur Kosteneinsparung und zu komplexeren Baugruppen mit der Anforderung an hochwertige Materialien bestätigt. In Summe werden sich die Auswirkungen möglicherweise ausgleichen, so dass sich die Materialzusammensetzung der Elektronikkomponenten in den nächsten fünf Jahren voraussichtlich nicht grundsätzlich ändern wird. Auch eine Änderung der durchschnittlichen Nutzungsdauer von Servern bis 2015 wurde von der Mehrzahl der Experten nicht angenommen.

Im Bereich komplexer Halbleiterbauelemente (Mikroprozessoren) hat das Bestreben nach kleineren Strukturgrößen (Moore'sches Gesetz) zur Folge, dass beispielsweise das seltene Hafnium (Hafnium-Oxid) zur Verringerung der problematisch werdenden Leckströme das bislang verwendete Siliciumdioxid ablöst. Die benötigten Mengen des technisch sehr hilfreichen Hafniums sind in der Halbleiterindustrie bislang gering. Die Beschichtungen liegen im Bereich von wenigen Nanometern. Einer ersten Abschätzung zufolge würde dies eine „verbaute Menge“ von 1 bis 2 kg entsprechen. In diesem Zusammenhang sollte man aber den Bedarf an Hafnium auch an den Fertigungsprozessen bzw. daran gebundene Materialverluste messen.

Ein weiterer Trend im Bereich der elektronischen Baugruppen sind die höheren Signal- bzw. Datenübertragungsgeschwindigkeiten, welche eine Integration von Lichtwellenleitern und entsprechenden optischen Bauelementen längerfristig erwarten lässt. Elektro-optische Baugruppen sind durch die Verwendung von Materialien wie Gallium, Germanium und Indium gekennzeichnet. Die in Zukunft ggf. benötigten Mengen dieser Materialien in Servern konnten nicht abgeschätzt werden – laut Expertenbefragung wird sich dieser Trend in den nächsten fünf Jahren nicht signifikant auswirken. Allerdings wird aufgrund des Trends zur Virtualisierung von Servern von einem steigenden Bedarf an Netzwerktechnik insgesamt ausgegangen. Es wird zunehmend 10 GBit-Ethernet in der Netzwerkverkabelung eingesetzt, wobei der Anteil der optischen Verkabelung zunehmen wird – im Durchschnitt gehen die Experten von einem Anstieg der Glasfaserverkabelung von 12 % im Jahr 2008 auf über 20 % im Jahr 2015 aus.

Seltene Metalle wie Tantal und Niob, welche für besonders kleine Kondensatoren zum Beispiel bei mobilen Endgeräten verwendet wird, sind im Bereich der Server kein Thema.

### 7.2.3 Stromversorgung

Im Bereich der Stromversorgung von Rechenzentren ist – wie bei den anderen Infrastrukturelementen auch – nicht mit einem grundlegenden Wandel des Materialbestandes zu rechnen. Stromversorgungs-Installationen werden oft für eine Lebensdauer von 15 Jahren und mehr geplant.

Bei Geräten und Anlagen der Stromversorgungsinfrastruktur gab es in der Vergangenheit – und voraussichtlich auch in der Zukunft – eine Reihe von Innovationen vor allem zur Verbesserung der Energieeffizienz. So wurde in der USV-Technik die Entwicklung bei Leistungs-

Halbleitern und Steuerungstechnik vorangetrieben. Kennzeichnend war hier insbesondere der Übergang vom Thyristor zum Transistor und weiter zum IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) für die Leistungsbaulemente der Wechselrichter (BITKOM 2008b, 30).

Die grundsätzliche Materialzusammensetzung der Stromversorgungsinfrastruktur wird sich bis zum Jahr 2015 aber voraussichtlich wenig ändern – vor allem aufgrund der längeren Geräte- und Anlagennutzungsdauer im Vergleich zu IT-Technik. Die geringfügigen möglichen Änderungen der Materialzusammensetzungen im Bereich der Elektronik werden sich in der Gesamtbilanz im Vergleich zu den Elektronikmaterialmengen der IT-Technik nicht spürbar auswirken. Auch bei den verwendeten Energiespeichern für USV-Anlagen ist in den kommenden Jahren nicht mit grundlegenden Änderungen zu rechnen: Von einigen Teilnehmern der Expertenbefragung ist bis zum Jahr 2015 die Verwendung von Brennstoffzellen und alternativen Batteriesystemen im einstelligen Prozentbereich prognostiziert.

Eine deutliche Auswirkung auf den Materialbedarf der Stromversorgung in Rechenzentren hätte ein vermehrter Einsatz von Gleichstromversorgung der IT. Bis zum Jahr 2015 ist hiermit aber nicht zu rechnen. Diese Annahme wurde sowohl auf dem durchgeführten Expertenworkshop als auch in der Expertenbefragung bestätigt.

Der Materialbedarf der Stromversorgungsinfrastruktur wird sich vor allem durch Änderungen des Ausstattungsgrades der Rechenzentren mit USVen sowie über die Verschiebung der Rechenzentrumsstruktur hin zu größeren Lokationen ändern. Die deutliche Mehrheit der Teilnehmer der Expertenbefragung ging von höheren Verfügbarkeitsanforderungen im Jahr 2015 und damit verbunden von einem höheren Anteil der über USVen abgesicherten IT-Geräte aus. Im Durchschnitt wird angenommen, dass 90 % der IT im Jahr 2015 über USVen abgesichert sind. Auch ein Anstieg der Verwendung modularer Systeme wird von den Experten angenommen.

#### 7.2.4 Racks und Einhausungen

Server- und Netzwerkracks sind hinsichtlich der Konstruktion und Materialzusammensetzung Gebilde, bei denen in den nächsten Jahren mit dem Zeithorizont 2015 keine bahnbrechenden Entwicklungen zu erwarten sind. Da Racks – ähnlich wie andere Elemente der Infrastruktur von Rechenzentren in der Regel auch – wesentlich länger verwendet werden als die IT-Komponenten, sind auch aus diesem Grunde keine deutlichen Änderungen im Materialbestand zu erwarten.

Im Bereich der Veredelung des Stahls, der Beschichtungen und des Korrosionsschutzes sind gewisse Verbesserungen bei der Produktion von Racks zu erwarten. Hochfeste Stähle werden eingesetzt, um die Bauhöhe und Packungsdichte der IT bei besonderen Anforderungen zu erhöhen. Die Anzahl solcher Racks wird aber im Vergleich zur Gesamtzahl der Racks in den kommenden fünf Jahren vergleichsweise niedrig bleiben. Auch im Bereich des verbesserten Korrosionsschutzes ist nicht damit zu rechnen, dass sich deutliche Änderungen im Materialbestand ergeben. Die Umgebung in Rechenzentren ist wenig aggressiv, so dass der Korrosionsschutz eher eine untergeordnete Rolle spielt. Verbesserungspotenziale werden hier vermutlich eher zur Realisierung von Kosten- und Materialeinsparungen bei den Beschichtungen genutzt werden.

Um die IT-Ausstattung in den Racks zu erfassen, werden künftig verstärkt Racks eingesetzt, die mit Hilfe von RFID (Radio Frequency Identification) eine automatische Erfassung des vorhandenen Equipments ermöglichen. Damit werden auch im Bereich der Server- und Netzwerkracks künftig Elektronikbestandteile im Materialbestand vorhanden sein. Laut Expertenbefragung ist dieser Trend eindeutig festzustellen. Im Jahr 2015 werden ca. 20 % der Racks mit RFID-Erfassung ausgestattet sein. Aufgrund des mit wenigen Gramm vergleichsweise minimalen Elektronikanteils der RFID-Ausstattung wird sich hierdurch jedoch keine nennenswerte Änderung der Materialmengen in Gänze ergeben.

Die weiter steigende Leistungsdichte in Rechenzentren und der steigende Einsatz von Bladeservern wird dazu führen, dass der Anteil direkt gekühlter Racks ansteigen wird. Die befragten Experten rechnen im Jahr 2015 mit einem Anteil von direkt gekühlten Racks an der Gesamtzahl von Racks von durchschnittlich 20 %. Die Realisierung kann zum einen über Add-On-Lösungen erfolgen, die z.B. seitlich an vorhandene Racks angebaut werden. Zum anderen werden auch zunehmend Racks eingesetzt, bei denen der Wärmetauscher schon im Rack integriert ist.

Aufgrund der steigenden Bedeutung der Energieeffizienz in Rechenzentren und den im Vergleich zu den Investitionskosten großen Einsparmöglichkeiten durch Kalt- und Warmgangeinhausungen wird der Anteil der Einhausungen in den kommenden Jahren weiterhin deutlich zunehmen. Es ist laut Expertenbefragung damit zu rechnen, dass ca. 20 % der Racks im Jahr 2015 eingehaust sein werden.

## 7.2.5 Klimatisierung

Der Klimatisierung wird durch ihrem hohen Anteil am Energieverbrauch der Rechenzentren auch in Zukunft eine hohe Aufmerksamkeit bei Planung, Bau und Modernisierung von Rechenzentren zugemessen werden. Dies führt zu technischen Entwicklungen, die einen Einfluss auf die Materialzusammensetzung von Klimatisierungslösungen haben werden.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass der Anteil der energieeffizienten Klimageräte ansteigen wird. Dies ist ein eindeutiges Ergebnis der Expertenbefragung. Von 19 Experten, die sich selbst zu dieser Thematik als aussagefähig ansehen, stimmen 17 voll zu und 2 zumindest teilweise zu. Durch Maßnahmen wie höhere Temperaturen in Rechenzentren, verbesserte Luftführung, Kalt- oder Warmgangeinhausungen, elektronische Leistungsregelungen etc. wird sich die Effizienz der Klimatisierung erhöhen. Auch bei den Einzelelementen der Klimasysteme (Pumpen, Verdichter, Verteilung) sind weitere Effizienzverbesserungen zu erwarten. Dies führt dazu, dass der spezifische Materialeinsatz pro Kühlleistung sinken wird. Auch bei kleineren Lokationen wird es zu Verbesserungen bei der Energieeffizienz kommen. Die Verwendung einfacher Splitgeräte wird zurückgehen. Auch hinsichtlich dieser Aussage sind sich die Experten weitgehend einig. Alle 14 Experten, die sich äußerten, stimmen voll oder zumindest teilweise zu. Im Durchschnitt wird davon ausgegangen, dass der Anteil der Klimatisierungsleistung von Splitgeräten von ca. 30 % in 2008 auf ca. 20 % im Jahr 2015 sinkt.

Die Nutzung neuer Kühltechnologien (Absorptionskältemaschinen, Solares Kühlen) wird in den kommenden Jahren insbesondere in Pilotvorhaben zunehmen. Dieser Aussage stimmen

80 % teilweise zu. Eine massive Auswirkung auf den Materialbestand wird sich hierdurch voraussichtlich nicht ergeben. Abwärmenutzung wird eine gewisse Verbreitung in deutschen Rechenzentren erfahren. 95 % stimmen dieser Aussage ganz oder teilweise zu – wobei 2/3 davon nur teilweise zustimmen. Im Durchschnitt wird davon ausgegangen, dass in 15 % der Rechenzentren solche Lösungen angewendet werden.

Insbesondere abhängig von möglich gesetzgeberischen Maßnahmen wird es sein, welche Kältemittel künftig in Rechenzentren verwendet werden. Erste Pilotvorhaben mit CO<sub>2</sub> als Kältemittel werden bereits realisiert. Allerdings wird diese Technologie bis zum Jahre 2015 kaum Verbreitung finden. Nur ein Experte stimmte der Aussage zu, dass CO<sub>2</sub> in den kommenden Jahren zunehmend Verbreitung als Kühlmittel in Rechenzentren haben wird.

Aufgrund des steigenden Einsatzes von freier Kühlung wird zwar der Energiebedarf der Rechenzentren sinken, vermutlich aber der Materialbedarf durch die zusätzlich notwendigen Rückkühler und Kühlmittleitungen ansteigen. Die Kälteerzeuger müssen für den Fall des maximalen Kühlungsbedarfs ausgelegt werden. Dieser tritt in der Regel im Sommer bei hohen Außentemperaturen auf, bei denen nicht mit freier Kühlung gearbeitet werden kann. Eine kleinere Auslegung der Kälteerzeuger durch die freie Kühlung ist also nicht möglich. Dass der Anteil von freier Kühlung deutlich zunehmen wird, ist auch ein klares Ergebnis der Expertenbefragung. Alle aussagefähigen Experten stimmen dieser These zu, wobei 2/3 voll zustimmen. Es wird im Durchschnitt davon ausgegangen, dass im Jahr 2015 über 40 % der insgesamt benötigten Klimaleistung zumindest zeitweise über freie Kühlung abgedeckt werden kann. Im Jahr 2008 war der Anteil 30 %.

Im Markt ist auch ein Trend zur verstärkten Einsatz von modularen Klimälösungen festzustellen, die es ermöglichen, die benötigte Kälteleistung dem aktuellen Bedarf anzupassen. Auch dieser Aussage stimmen alle Experten voll oder teilweise zu. Damit kann vermieden werden, dass Klimaanlage zunächst einmal überdimensioniert werden, weil angenommen wird, dass in Zukunft ein höherer Leistungsbedarf erforderlich sei. Die Modularisierung hat also einen Material sparenden Effekt.

## 8 Szenario-Analyse

### 8.1 Eckpunkte für die Szenarien

Auf Basis der im vorherigen Kapitel beschriebenen anwendungsbezogenen und technologischen Trends werden in diesem Kapitel zwei unterschiedliche Szenarien für die Entwicklung des Energieverbrauchs und Materialbedarfes in Rechenzentren in Deutschland bis 2015 entwickelt. Die Szenarien legen unterschiedliche Annahmen über die umwelt- und innovationspolitischen Rahmenbedingungen, den Umfang von Initiativen durch Verbände und Unternehmen sowie die Erschließungs- und Verbreitungsgeschwindigkeit von Best-Practice-Lösungen zu Grunde.

Die Definition der Szenarien erfolgte in Abstimmung mit dem Auftraggeber. Zum einen wurde ein Szenario „Business-as-usual“ entwickelt, das im Wesentlichen eine Trendextrapolation bisheriger Entwicklungen beinhaltet. In einem zweiten Szenario werden deutlich verstärkte Maßnahmen und Initiativen unterstellt, die Energie- und Materialeffizienz in deutschen Rechenzentren zu verbessern. Diese Maßnahmen gehen erheblich über das hinaus, was zurzeit an Anstrengungen zur Effizienzerhöhung unternommen wird. Die beiden Szenarien stellen die voraussichtlichen Ober- bzw. Untergrenzen der Entwicklungen des Energie- und Materialbedarfs dar.

Zum einen führt die steigende Orientierung der Anwender am Kostenfaktor Energiebedarf sowie der starke Trend zur Virtualisierung dazu, dass ein stärkerer Anstieg des Serverbestandes als in der Vergangenheit in Zukunft äußerst unwahrscheinlich ist. Zum anderen sind die im Abschnitt 8.2.2 dargestellten Annahmen des Szenarios „Green IT“ so weitgehend, dass ein noch weiter gehender Rückgang des Energiebedarfs und des Materialbestandes in den deutschen Rechenzentren wohl kaum erreicht werden kann.

Die dargestellten Szenarien fokussieren auf die Entwicklung zwischen den Jahren 2008 und 2015. Einige Eckpunkte auch für das Jahr 2010 dargestellt.

### 8.2 Darstellung der Szenarien

#### 8.2.1 Szenario „Business as usual“

Das Szenario „Business as usual“ stellt eine Weiterentwicklung der in der Vergangenheit beobachteten Trends dar. Dabei werden aktuelle Entwicklungen wie z.B. die Investitionszurückhaltung durch die wirtschaftliche Krise in den Jahren 2009/2010 sowie die absehbaren Verbesserungen der Energieeffizienz in Rechenzentren berücksichtigt. Außerdem werden die Ergebnisse der im Kapitel 7 dargestellten Trendanalyse in die Entwicklung des Szenarios einbezogen. Im Einzelnen werden die folgenden Annahmen getroffen:

(1) Die in der Vergangenheit festzustellende Zunahme der Gesamtzahl an physischen Servern wird sich auch in Zukunft fortsetzen. Die krisenbedingten Absatzzurückgänge in den Jahren 2009 und 2010 bewirken, dass der Bestand nur in geringem Umfang ansteigt (+1 % pro



Jahr). Ein Rückgang im Bestand ist nicht zu erwarten, da die vorhandenen Server länger genutzt werden, statt durch neue Server ersetzt zu werden. Ab 2011 wird mit einer Steigerungsrate von 4 % pro Jahr im Serverbestand gerechnet. Der Serverbestand wird sich daher bis zum Jahr 2015 auf insgesamt 2,7 Millionen Server erhöhen.

(2) Der Trend zu größeren Rechenzentren wird sich fortsetzen (Tabelle 55). Insbesondere die Zahl der „Großen Rechenzentren“ (über 5.000 Server) wird sich von 50 auf 90 erhöhen. Auch die Zahl der „Mittleren Rechenzentren“ wird von 360 auf 680 in einer ähnlichen Größenordnung ansteigen. Und auch die Zahl der „Kleinen Rechenzentren“ steigt um 400 auf 2.150 an. Die Zahl der „Serverräume“ nimmt um 1.000 auf 17.000 ab, während die Zahl der „Serverschränke“ um 1.000 auf 34.000 leicht zunehmen wird. Die Gesamtzahl der Rechenzentren ändert sich mit 54.000 kaum.

**Tabelle 55: Entwicklung der Rechenzentrumsstruktur im Szenario „Business as usual“**

Rechenzentrumstyp	2008	2015
Serverschrank	33.000	34.000
Serverraum	18.000	17.000
Kleines Rechenzentrum	1.750	2.150
Mittleres Rechenzentrum	370	680
Großes Rechenzentrum	50	90

**Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).**

(3) Der Trend zum verstärkten Einsatz von Blade-Servern wird sich fortsetzen. Sie ersetzen in kleineren Lokationen vor allem Stand Alone-Server, in größeren Lokationen werden weniger Rackserver eingesetzt. Die Zahl der Mainframe-Systeme wird um ca. 1.000 Einheiten auf 5.000 Systeme ansteigen.

(4) Der Stromverbrauch der IT-Geräte wird als konstant angenommen. Damit wird der Trend der Vergangenheit, in dem der Stromverbrauch der einzelnen Geräte deutlich zunahm, gestoppt.

(5) Im Bereich der Datenspeicherung wird von einer jährlichen Zunahme des zu speichernden Datenvolumens in Rechenzentren von ca. 70 % ausgegangen. Der technische Fortschritt im Bereich der Festplatten führt wie in der Vergangenheit zu einer Steigerung der durchschnittlichen Festplattenkapazität pro Jahr von 60 %, so dass eine Festplatte im Jahr 2015 durchschnittlich über eine Kapazität von vier Terabyte verfügt. Der Anteil der in zentralen Speichersystemen gespeicherten Daten wird in allen Rechenzentrumstypen zunehmen und wird im Jahr 2015 im Durchschnitt über 80 % liegen. Es werden deutlich verstärkt 2,5“ Festplatten eingesetzt. Im Bereich des Netzwerk-Speichers wird davon ausgegangen, dass sie im Jahr 2015 im gleichen Umfang eingesetzt werden wie 3,5“ Festplatten. Der Anteil der SSD-Festplatten wird bei ca. 20 % liegen, wobei diese insbesondere in Blade- und Rackservern eingesetzt werden. Im Bereich der Netzwerk-Speichersysteme beträgt der Anteil der SSD-Festplatten ca. 10 %.

(6) Die Virtualisierung der Netzwerkinfrastruktur wird bis zum Jahr 2015 nicht in dem Maße erfolgen, um die gestiegenen Anforderungen durch die Servervirtualisierung auszugleichen.

Aus diesem Grund wird im Jahr 2015 mehr Netzwerk-Hardware eingesetzt. Die Zahl der Switche steigt daher mit über 50 % deutlich stärker als die Zahl der Server (Anstieg um 28 %). Auch die Verkabelung nimmt deutlich zu. Die durchschnittliche Kabellänge der Kupferverkabelung in den fünf Rechenzentrumstypen erhöht sich um 30 %; die durchschnittliche Länge der Glasfaserkabel wird um 100 % zunehmen.

(7) Die Verbesserungen der Energieeffizienz der Rechenzentrumsinfrastruktur werden durch die Trends zu mehr Verfügbarkeit und zu mehr Redundanz in den Rechenzentren ausgeglichen. Der Anteil der über USVen abgesicherten IT-Geräte wird sich in „Serverschränken“ auf 60 % und in „Serverräumen“ auf 80 % erhöhen. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Redundanz der Stromversorgung und der Klimatisierung in den Rechenzentrums-kategorien „Serverräume“, „Kleines Rechenzentrum“ und „Mittleres Rechenzentrum“ um jeweils fünf Prozent erhöht. Die durchschnittliche Power Usage Effectivness (PUE) wird sich bis zum Jahr 2015 nicht verändern.

(8) Im Bereich der Klimatisierung der Rechenzentren wird davon ausgegangen, dass die Zahl der eingehausten Racks im Durchschnitt auf ca. 20 % ansteigen wird. Der Anteil der Klimatisierung mit Splitgeräten in „Serverräumen“ und „Kleinen Rechenzentren“ wird sich bis zum Jahr 2015 halbieren und die Zahl der wassergekühlten Racks auf 20 % der Racks ansteigen. Aufgrund des höheren Materialaufwandes durch mehr freie Kühlung sowie mehr Systeme der Abwärmenutzung in Rechenzentren werden die Gewinne der Materialeffizienz bei der Klimatisierung ausgeglichen. Das Materialgewicht pro installierter Klimaleistung bleibt also konstant.

### 8.2.2 Szenario „Green IT“

Im Szenario „Green IT“ wird davon ausgegangen, dass die besten heute verfügbaren Technologien und Lösungen zur Verbesserung der Energie- und Materialeffizienz durch massive Anstrengungen auf breiter Front angewendet werden. Im Einzelnen werden folgende Annahmen getroffen:

(1) Auch im Szenario „Green IT“ wird von einem deutlich steigenden Bedarf an Rechenleistung ausgegangen. Allerdings kann hier erreicht werden, dass durch einen starken Einsatz von Virtualisierung und weitere Konsolidierung in Rechenzentren der Bestand an physikalischen Servern bis zum Jahr 2015 nicht weiter ansteigen wird. Dies bedeutet sinkende Absatzzahlen, da die ständig angestiegenen Absätze der vorausgehenden Jahre bei konstantem Absatz zunächst einmal zu einem weiteren Anstieg im Bestand führen würden.

(2) Die Anstrengungen in Richtung „Green IT“ haben insbesondere eine deutliche Absenkung der durchschnittlichen Energieverbräuche der Geräte im Bereich Server, Speicher und Netzwerkinfrastruktur zur Folge. Es wird von einer Absenkung des Energiebedarfs (in kWh/a) der Geräte um jeweils 30 % ausgegangen.

(3) Die Verteilung der Server auf die verschiedenen Servertypen wird sich ähnlich wie im Szenario „Business as usual“ entwickeln. Es werden verstärkt Blade-Server eingesetzt, die Stand Alone Server und Rackserver ersetzen. Die Rechenleistung konzentriert sich weiter in Rechenzentren. Die Zahl der Stand Alone Server sinkt um 15 %. Die Zahl der Mainframe-Systeme wird um ca. 1.000 Einheiten auf 5.000 Systeme ansteigen.

(4) Der Trend zu größeren Rechenzentren wird sich auch im Szenario „Green IT“ fortsetzen (Tabelle 56). Die Zahl der „Großen Rechenzentren“ und der „Mittleren Rechenzentren“ wird sich jeweils um ca. 50 % erhöhen. Dafür sinkt die Zahl der „Serverschränke“ und „Serverräume“ um jeweils ca. 20 % deutlich. Aufgrund der Verschiebung zu größeren Lokationen und der gleichbleibenden Gesamtzahl an Servern sinkt die Gesamtzahl der Rechenzentren um ca. 10.000 auf 43.000.

**Tabelle 56: Entwicklung der Rechenzentrumsstruktur im Szenario „Green IT“**

Rechenzentrumstyp	2008	2015
Serverschrank	33.000	27.000
Serverraum	18.000	14.000
Kleines Rechenzentrum	1.750	1.750
Mittleres Rechenzentrum	370	540
Großes Rechenzentrum	50	75

(Quelle: Eigene Berechnungen).

(5) Im Bereich der Datenspeicherung wird auch im Szenario „Green IT“ von einer deutlichen Zunahme des zu speichernden Datenvolumens in Rechenzentren ausgegangen. Allerdings wird dieser Zuwachs durch eine im Vergleich zum Szenario „Business as usual“ stärkere Nutzung von Techniken zur Datenreduzierung und Speichervirtualisierung mit jährlich etwa 60 % geringer ausfallen. Aufgrund des stärkeren Fokus auf energieeffiziente Speicherlösungen wird auch die Steigerung der durchschnittlichen Festplattenkapazität pro Jahr mit 50 % niedriger als im Business-as-usual-Szenario ausfallen.<sup>7</sup> Im Green IT-Szenario wird eine Festplatte im Jahr 2015 durchschnittlich über eine Kapazität von etwa 2,5 Terabyte verfügen. Der Anteil der in zentralen Speichersystemen gespeicherten Daten wird auch in diesem Szenario in allen Rechenzentrumstypen zunehmen und wird im Jahr 2015 im Durchschnitt über 80 % liegen. Der Einsatz von 2,5“ Festplatten wird deutlich zunehmen und auch im Bereich des Netzwerkspeichers auf gleichem Niveau wie der Einsatz von 3,5“ Festplatten liegen. Der Anteil der SSD-Festplatten liegt bei ca. 20 %. Diese werden insbesondere in Blade- und Rackservern eingesetzt. Im Bereich des Netzwerkspeichers wird der Anteil der SSD-Festplatten ca. 10 % betragen.

(6) Im Green-IT-Szenario werden verstärkt Anstrengungen zur Virtualisierung der Netzwerkinfrastruktur erfolgen. Somit können die steigenden Netzwerkanforderungen durch die Servervirtualisierung weitgehend ausgeglichen werden und die Zahl der Netzwerkswitche wird bis zum Jahr 2015 fast unverändert bleiben. Im Bereich der Netzwerkverkabelung wird die durchschnittliche Länge der Kupferverkabelung pro Rechenzentrum konstant bleiben. Die

<sup>7</sup> Diese Annahme bedeutet, dass eine durchschnittliche Festplatte im Jahr 2015 eine um fast 40 % geringere Kapazität als im Business-as-usual-Szenario hat. Für die Rechenzentren insgesamt ergibt sich im Green IT Szenario eine um 50 % geringere Speicherkapazität der Festplatten. Diese muss durch Mechanismen wie Datenkompression, etc. ausgeglichen werden.

steigenden Anforderungen werden durch einen deutlich verstärkten Einsatz von Glasfaserkabeln (+ 100 %) ausgeglichen.

(7) Die durchschnittliche Power Usage Effectivness (PUE) wird sich bis zum Jahr 2015 deutlich verbessern (Tabelle 57), auch wenn die Effizienzsteigerungen durch die Verbesserung der Technologie und des Rechenzentrumsmanagements durch die Trends zu mehr Verfügbarkeit in den Rechenzentren teilweise ausgeglichen werden. Der Anteil der über USVen abgesicherten IT-Geräte wird sich in „Serverschränken“ auf 60 % und in „Serverräumen“ auf 80 % erhöhen. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Redundanz der Stromversorgung und der Klimatisierung nicht ändert. Hier äußern sich die gestiegenen Verfügbarkeitsanforderungen allein in dem Trend zu größeren Lokationen, die über eine höhere Redundanz und Ausfallsicherheit verfügen.

**Tabelle 57: Entwicklung der PUE-Werte im Szenario „Green IT“**

Rechenzentrumstyp	Ø PUE 2008	Ø PUE 2015 Green IT
Serverschrank	1,3	1,2
Serverraum	1,8	1,5
Kleines Rechenzentrum	2,1	1,5
Mittleres Rechenzentrum	2,2	1,6
Großes Rechenzentrum	2,2	1,6

**Quelle: Eigene Zusammenstellung.**

(8) Im Bereich der Klimatisierung der Rechenzentren wird davon ausgegangen, dass die Zahl der eingehausten Racks stark ansteigt. Ein Drittel der Racks im Jahr 2015 werden eingehaust sein. Der Anteil der Klimatisierung mit Splitgeräten wird deutlich abnehmen. Im Vergleich zum Szenario „Business as usual“ ist die insgesamt in Splitgeräten installierte Leistung nur halb so hoch. Die Zahl der wassergekühlten Racks wird auf 20 % der insgesamt installierten Racks ansteigen. Aufgrund des höheren Materialaufwandes durch noch mehr freie Kühlung sowie mehr Systeme der Abwärmenutzung in Rechenzentren werden die Gewinne der Materialeffizienz bei der Klimatisierung ausgeglichen. Das Materialgewicht pro installierter Klimaleistung bleibt also konstant.

## 8.3 Ergebnisse der Szenario-Analyse

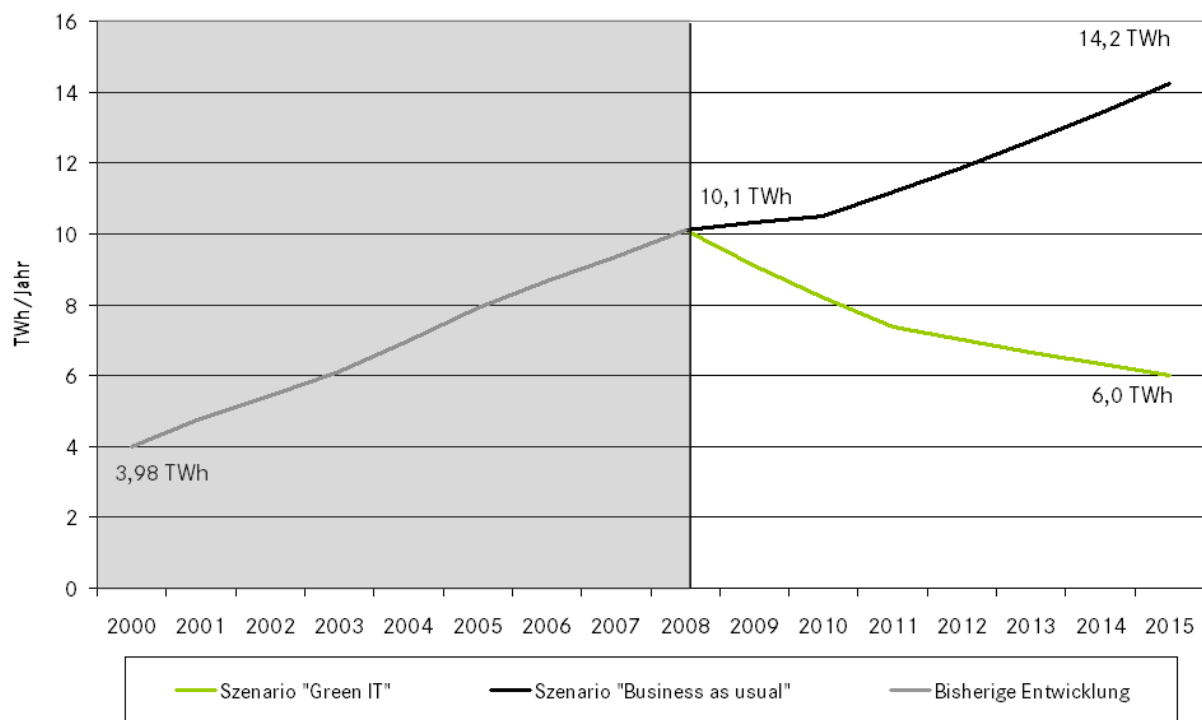
### 8.3.1 Entwicklung des Energieverbrauchs von Rechenzentren

Die hohe Dynamik der Entwicklungen im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnik und die relativ kurzen Produktnutzungszyklen führen dazu, dass sich der Energieverbrauch und Materialbestand in den deutschen Rechenzentren in den kommenden Jahren je nach betrachtetem Szenario sehr unterschiedlich entwickelt. Mit Blick auf die Ressourceneffizienz ist die hohe Dynamik als sehr ambivalent anzusehen. Zum einen ermöglicht sie eine

schnelle Reduzierung des Energiebedarfs und auch des Materialbestandes in Rechenzentren innerhalb weniger Jahre. Zum anderen führen kurze Phasen der Produktnutzung möglicherweise zu einem Anstieg des Rohstoff- und Materialbedarfs, zumindest wenn keine deutlichen Effizienzverbesserungen in den anderen Produktlebensphasen erreicht werden. Diese Untersuchung fokussiert auf die Ermittlung des Materialbestandes in deutschen Rechenzentren. Zum Material- und Ressourcenbedarf während der Herstellungs- und Entsorgungs-/Recyclingphasen der Produkte besteht weiterer Forschungsbedarf.

Sehr anschaulich wird die Spannweite der möglichen Entwicklungen in der Nutzungsphase am Energieverbrauch der Server und Rechenzentren in Deutschland (Abbildung 12) deutlich (inklusive Stand Alone-Server). Während der Energieverbrauch im Szenario „Business as usual“ von 2008 bis 2015 um ca. 40 % auf über 14 TWh im Jahr steigt, sinkt der jährliche Energieverbrauch im Szenario „Green IT“ im gleichen Zeitraum um mehr als 40 % auf 6 TWh.

**Abbildung 11: Entwicklung des Energiebedarfs der Server und Rechenzentren in Deutschland**



**Quelle: Eigene Darstellung.**

In den Verläufen ist erkennbar, dass es im Szenario „Business as usual“ durch die wirtschaftliche Krise in den Jahren 2009/2010 zu einer zeitweisen Abschwächung des Wachstums des Energiebedarfs kommen wird. Im Szenario „Green IT“ werden durch die sogenannten „Low Hanging Fruits“, d.h. die relativ einfach zu erreichenden Energieeinsparungen in Rechenzentren z.B. durch eine Optimierung der Klimatisierung, die größten Energieeinsparpotenziale in den ersten Jahren erreicht.

Wird nur der Energiebedarf der Rechenzentren betrachtet, d.h. ohne die Stand Alone-Server, so entwickeln sich die Energiebedarfe wie folgt. Ausgehend von einem Energieverbrauch

von 8,1 TWh steigt dieser auf 12,1 TWh (plus 50 %) im Szenario „Business as usual“ bzw. sinkt auf 4,8 TWh (minus 40 %) im Szenario „Green IT“.

Das in dieser Untersuchung aufgestellte Modell zur Ausstattung der Rechenzentren in Deutschland erlaubt auch eine detailliertere Betrachtung des Anteils der einzelnen Bestandteile eines Rechenzentrums am Energieverbrauch. So wird in beiden Szenarien der Anteil der Server am Stromverbrauch der Informationstechnik abnehmen und der Anteil der Netzwerksysteme zunehmen (Tabelle 58).

**Tabelle 58: Anteile der Server-, Netzwerk- und Speicherinfrastruktur am Energieverbrauch der der Informationstechnik in Rechenzentren in den Jahren 2008 und 2015**

	Server	Netzwerk	Speicher
Anteil am IT-Strom 2008	81,2 %	8,6 %	10,2 %
Anteil am IT-Strom 2015 Business as usual	76,3 %	13,6 %	10,1 %
Anteil am IT-Strom 2015 Green IT	79,2 %	9,7 %	11,1 %

**Quelle: Eigene Berechnungen.**

Dabei steigt der Anteil der Netzwerkinfrastruktur im Szenario „Business as usual“ sehr deutlich um 5 Prozentpunkte von 8,6 % auf 13,6 %. Dies ist insbesondere durch die stark steigenden Datenvolumen sowie die hohen Anforderungen an Netzwerktechnik durch Virtualisierung der Server begründet, die hier – zumindest in den nächsten Jahren – nicht durch Netzwerkvirtualisierung kompensiert werden. Im Green IT-Szenario wird dieser Anstieg im Netzwerkbereich durch die verstärkten Anstrengungen im Bereich der Netzwerkvirtualisierung und die geringeren Energiebedarfe der Netzwerktechnik weitgehend kompensiert.

Der relative Anteil der Speicherinfrastruktur am Energiebedarf bleibt in beiden Szenarien fast konstant. Dies ist vor allem durch die auch in Zukunft zu erwartende Erhöhung der Speicherkapazitäten der Festplatten sowie dem vermehrten Einsatz von energiesparenden SSD-Festplatten begründet.

Insbesondere im Szenario „Green IT“ wird sich der Anteil der Rechenzentrumsinfrastruktur am Gesamtenergieverbrauch der Rechenzentren bis zum Jahr 2015 deutlich ändern. Aufgrund der unterstellten Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz im Bereich der Klimatisierung und der Stromversorgung wird dieser Anteil von ca. 50 % im Jahr 2008 auf 35 % im Jahr 2015 sinken. Im Szenario „Business as usual“ ist dahingehend mit einem leichten Anstieg des Anteils der Rechenzentrumsinfrastruktur am Energieverbrauch auf ca. 51 % zu rechnen. Dieser Anstieg ist durch die höheren Verfügbarkeitsanforderungen und den Trend zu größeren Rechenzentren mit mehr Redundanzen begründet. Diese Entwicklungen gleichen die erreichbaren Energieeffizienzgewinne wieder aus.

Schon im Jahr 2010 können signifikante Unterschiede hinsichtlich des Energieverbrauchs der Server und Rechenzentren in Deutschland auftreten. Im Szenario „Business as usual“ wird der Energiebedarf mit 10,5 TWh ca. 4 % über dem Energieverbrauch des Jahres 2008 liegen. Im Szenario „Green IT“ würde der Energieverbrauch um fast 20 % auf 8,2 TWh sinken.

Der Blick auf den Energiebedarf der Rechenzentren gibt nur einen ersten Eindruck auf die unterschiedlichen Entwicklungen in den betrachteten Szenarien. Welchen Einfluss die Entwicklungen auf die Materialbedarfe der einzelnen Elemente der Rechenzentren haben, wird in den folgenden Abschnitten dargestellt. Hier ist allerdings nicht zu erwarten, dass bereits im Jahr 2010 deutliche Unterschiede in den beiden Szenarien festzustellen sind. Zum einen werden aufgrund der längeren Produktlebenszyklen die durch den geringeren Energiebedarf in Szenario „Green IT“ möglichen Materialeinsparungen an der Rechenzentrumsinfrastruktur sich erst in den Folgejahren deutlich auswirken. Zum anderen werden sich zusätzliche Materialbedarfe im Szenario „Business as usual“ vor allem nach Beendigung der Wirtschaftskrise sehr deutlich manifestieren. Aus diesem Grunde konzentrieren sich die Betrachtungen in den folgenden Kapiteln auf die Veränderungen bis zum Jahr 2015.

### 8.3.2 Entwicklung des Materialbestandes der IT in Rechenzentren

Ausgangspunkt für die modellbasierte Ermittlung des künftigen Materialbedarfs der IT-Technik in deutschen Rechenzentren waren Annahmen für den Gerätebestand im Bezugsjahr 2015. Diese Annahmen sind in der Tabelle 59 für beide Szenarien „Business as usual“ und „Green IT“ dokumentiert. Das Szenario „Green IT“ zeichnet sich durch einen vergleichsweise höheren Grad der Hardware-Konsolidierungen aus, so dass insgesamt weniger Geräte installiert sind. Bei der materialbezogenen Zusammensetzung wurde in beiden Szenarien von einer fast vollständigen Umsetzung bleifreier Aufbau- und Verbindungstechnik (AVT) zugunsten von Zinn-Silber-Kupfer ausgegangen. Des Weiteren werden hinsichtlich der Hauptplatine von einer leichten Zunahme aktiver Halbleiterbauelemente mit entsprechender AVT ausgegangen.

Aufgrund der Einführung von SSD-Festplatten wurde eine neue AMU sowie für die Netzwerkspeicher eine weitere ASU definiert. Hierzu ist anzumerken, dass vom Fraunhofer IZM keine Materialzusammensetzung für diese Einheiten ermittelt werden konnten. Aus diesem Grunde wurde stark vereinfachend angenommen, dass eine SSD-Festplatte (Gesamtgewicht ca. 80 g) aus ca. 40 g PCB und 40 g Aluminiumgehäuse besteht. Die Referenz Server Einheit „SSD NS“ ist äquivalent wie die Referenz Server Einheit „2,5“ NS“ aufgebaut, nur das SSD Festplatten statt rotierenden Festplatten verwendet werden.

**Tabelle 59: Referenzproduktgruppen und Bestandszahlen deutscher Rechenzentren  
(Annahmen 2008, 2015 Szenarien)**

Referenzprodukt	Bestand Deutschland Referenzjahr 2008	Business-as-usual Szenario 2015	Green IT Szenario 2015
Tower (SA)	900.000	950.000	760.000
Tower (Rechenzentrum)	190.000	140.000	90.000
Blades	240.000	420.000	410.000
Rack	640.000	850.000	640.000
Unix	210.000	340.000	270.000
Mainframe	4.000	5.000	5.000
2,5“ NS	50.000	560.000	470.000
3,5“ NS	480.000	560.000	470.000
SSD NS	-	125.000	100.000

**Quelle: Eigene Berechnungen.**

Im Folgenden werden die Ergebnisse beide Szenarien parallel dargestellt und diskutiert.

Die Tabelle 60 und Tabelle 61 zeigen den Gesamtbestand der einzelnen Materialien pro Referenzeinheit und in Summe.<sup>8</sup> Zunächst kann festgestellt werden, dass in beiden Szenarien das resultierende Gesamtgewicht der IT-Geräte zugenommen hat. Durch den deutlich höheren Gerätebestand im Szenario „Business as usual“ erhöht sich das resultierende Gesamtgewicht auf fast 62.000 t gegenüber 37.000 t im Referenzjahr 2008. Dies entspricht einer Steigerung von 68 %. Auch im Green-IT-Szenario nimmt das Gesamtgewicht um über 30 % auf 49.000 t zu. Dies ist insbesondere durch den deutlichen Anstieg bei der Speichertechnik begründet.

---

<sup>8</sup> Stand Alone Server, die nicht in Rechenzentren stehen (ASU 1a) sind in dieser Zusammenfassung nicht berücksichtigt.



**Tabelle 60: Materialbestand IT in deutschen Rechenzentren Szenario Business-as-usual 2015**

	Materialbestand Rechenzentren in Deutschland im Jahr 2015 (Szenario Business as usual)									
	Tower RZ	Blade	Rack	Unix	Mainframe	Network	2,5" NS	3,5" NS	SSD NS	Summe RZ
	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
<b>Kunststoffe</b>						15% ASU 2-6				
Epoxy	40.000	260.000	570.000	430.000	30.000	200.000	190.000	210.000	50.000	<b>1.980.000</b>
PVC	60.000	170.000	440.000	300.000	30.000	150.000	400.000	400.000	90.000	<b>2.040.000</b>
sonstige Kunststoffe	140.000	540.000	1.850.000	1.330.000	80.000	590.000	1.250.000	1.140.000	250.000	<b>7.170.000</b>
<b>Glas/Keramik/Inertstoffe</b>										
E-Glas	60.000	380.000	880.000	640.000	50.000	300.000	330.000	350.000	80.000	<b>3.070.000</b>
SiO	10.000	80.000	190.000	140.000	10.000	60.000	70.000	70.000	20.000	<b>650.000</b>
Keramik	50.000	370.000	780.000	600.000	40.000	280.000	230.000	260.000	60.000	<b>2.670.000</b>
Silizium	1.000	8.700	18.000	14.000	1.000	6.400	4.800	5.500	1.200	<b>60.600</b>
<b>Metalle</b>										
Fe	790.000	2.180.000	6.490.000	4.710.000	340.000	2.180.000	5.090.000	5.070.000	900.000	<b>27.750.000</b>
Cu	170.000	750.000	1.930.000	1.400.000	110.000	650.000	1.160.000	1.180.000	260.000	<b>7.610.000</b>
Al	100.000	480.000	1.640.000	1.080.000	50.000	500.000	2.170.000	2.900.000	240.000	<b>9.160.000</b>
Ni	4.200	29.100	63.800	47.900	3.500	22.300	20.500	22.200	4.900	<b>218.400</b>
Sn	7.100	55.300	117.300	88.900	6.500	41.300	39.900	39.900	8.900	<b>405.100</b>
Zn	1.800	11.900	26.400	19.900	1.400	9.200	8.300	8.300	1.800	<b>89.000</b>
Pb	400	2.400	5.600	3.800	300	1.900	2.500	5.200	1.200	<b>23.300</b>
<b>Edelmetalle</b>										
Au	46	429	873	681	50	312	250	250	56	<b>2.948</b>
Pt	0	1	3	0	0	1	13	13	0	<b>32</b>
Pd	29	271	549	435	32	197	117	148	33	<b>1.811</b>
Ag	428	2.564	5.885	4.287	310	2.021	2.270	2.338	519	<b>20.623</b>
Ru	0	1	3	0	0	1	13	13	0	<b>32</b>
Sonstige	71	671	1.356	1.061	78	486	285	521	116	<b>4.645</b>
<b>Summe</b>	<b>1.430.000</b>	<b>5.330.000</b>	<b>15.020.000</b>	<b>10.820.000</b>	<b>740.000</b>	<b>5.000.000</b>	<b>10.980.000</b>	<b>11.660.000</b>	<b>1.960.000</b>	<b>62.940.000</b>

Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).

**Tabelle 61: Materialbestand IT in deutschen Rechenzentren Szenario Green IT 2015**

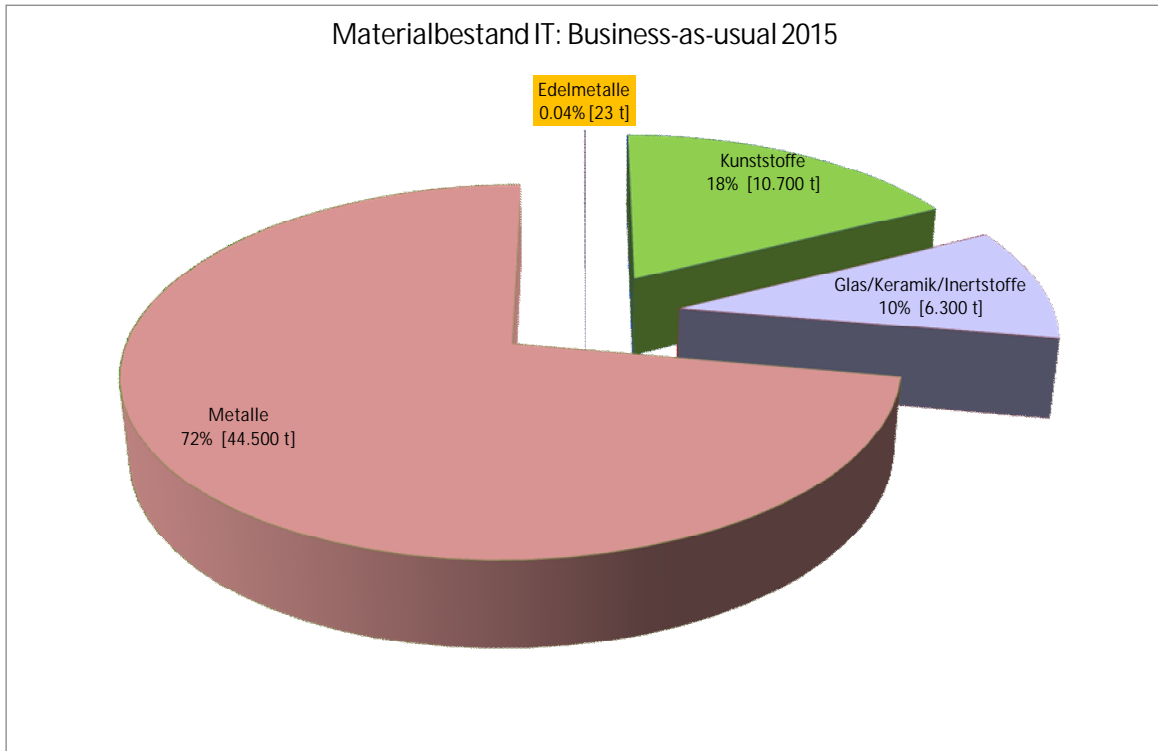
	Materialbestand Rechenzentren in Deutschland im Jahr 2015 (Szenario Green IT)									
	Tower RZ	Blade	Rack	Unix	Mainframe	Network	2,5" NS	3,5" NS	SSD NS	Summe RZ
	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
<b>Kunststoffe</b>						10% ASU 2-6				
Epoxy	30.000	250.000	430.000	340.000	30.000	110.000	160.000	170.000	40.000	<b>1.560.000</b>
PVC	40.000	160.000	330.000	240.000	30.000	80.000	340.000	340.000	70.000	<b>1.630.000</b>
sonstige Kunststoffe	90.000	520.000	1.380.000	1.070.000	80.000	310.000	1.040.000	940.000	210.000	<b>5.640.000</b>
<b>Glas/Keramik/Inertstoffe</b>										
E-Glas	40.000	370.000	660.000	520.000	50.000	160.000	270.000	290.000	60.000	<b>2.420.000</b>
SiO	10.000	80.000	140.000	110.000	10.000	40.000	60.000	60.000	10.000	<b>520.000</b>
Keramik	30.000	360.000	580.000	480.000	40.000	150.000	190.000	210.000	50.000	<b>2.090.000</b>
Silizium	700	8.500	13.400	11.300	1.000	3.500	4.000	4.500	1.000	<b>47.900</b>
<b>Metalle</b>										
Fe	520.000	2.120.000	4.840.000	3.780.000	340.000	1.160.000	4.220.000	4.200.000	750.000	<b>21.930.000</b>
Cu	110.000	730.000	1.440.000	1.130.000	110.000	350.000	960.000	970.000	220.000	<b>6.020.000</b>
Al	60.000	470.000	1.220.000	870.000	50.000	270.000	1.800.000	2.400.000	200.000	<b>7.340.000</b>
Ni	2.800	28.400	47.600	38.500	3.500	12.100	17.000	18.400	4.100	<b>172.400</b>
Sn	4.700	53.900	87.500	71.400	6.500	22.400	33.000	33.000	7.300	<b>319.700</b>
Zn	1.200	11.600	19.700	15.900	1.400	5.000	6.900	6.900	1.500	<b>70.100</b>
Pb	300	2.400	4.200	3.000	300	1.000	2.100	4.300	1.000	<b>18.600</b>
<b>Edelmetalle</b>										
Au	31	418	651	547	50	170	207	207	46	<b>2.327</b>
Pt	0	1	2	0	0	0	11	11	0	<b>26</b>
Pd	19	264	409	349	32	107	97	123	27	<b>1.428</b>
Ag	284	2.497	4.389	3.442	310	1.092	1.880	1.936	430	<b>16.260</b>
Ru	0	1	2	0	0	0	11	11	0	<b>26</b>
Sonstige	47	653	1.012	852	78	264	236	431	96	<b>3.669</b>
<b>Summe</b>	<b>950.000</b>	<b>5.190.000</b>	<b>11.200.000</b>	<b>8.690.000</b>	<b>740.000</b>	<b>2.680.000</b>	<b>9.090.000</b>	<b>9.660.000</b>	<b>1.630.000</b>	<b>49.830.000</b>

Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).

Die prozentuale Verteilung der Materialien bleibt in beiden Szenarien unverändert und entspricht noch immer der Verteilung wie im Referenzjahr 2008. So entfallen mehr als 72 % auf

Metalle, 18 % Kunststoffe, 10 % Glas, Keramik, Inertstoffe und lediglich 0,04 % auf Edelmetalle (vgl. Abbildung 12).

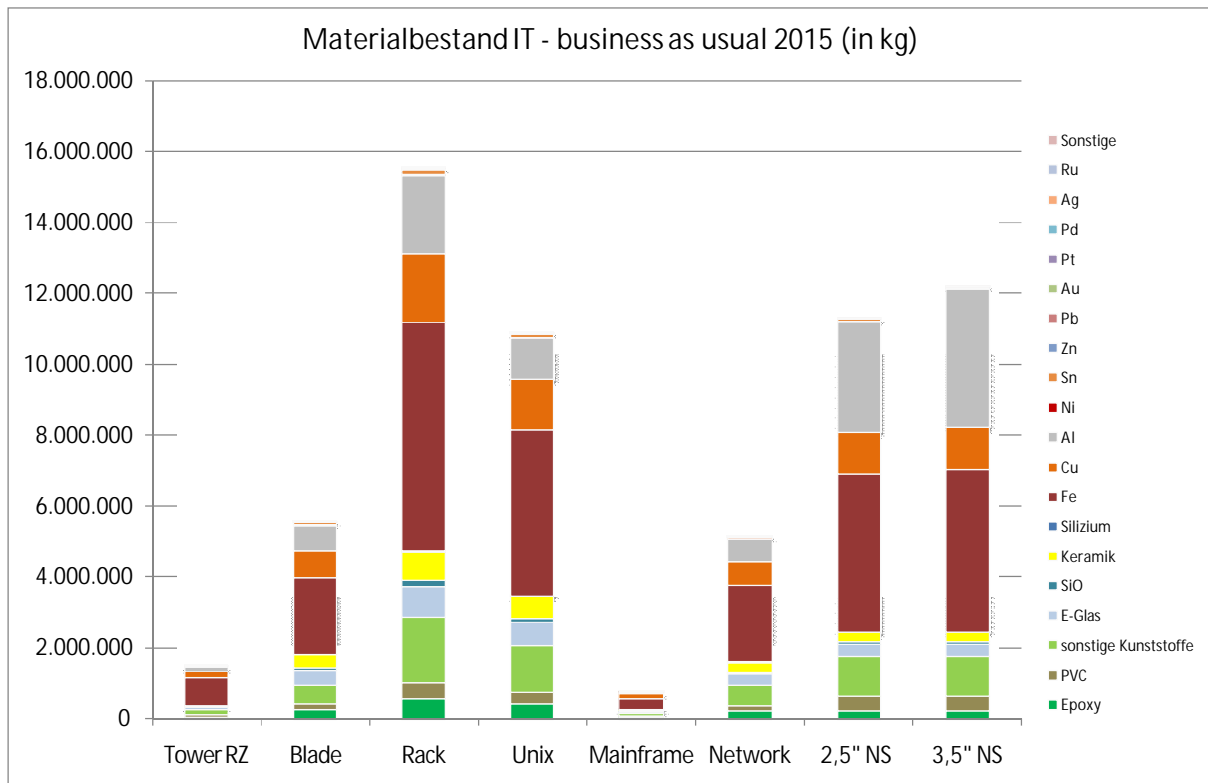
**Abbildung 12: Materialbestand IT in deutschen Rechenzentren nach Stoffgruppen im Szenario Business as usual 2015**



**Quelle: eigene Darstellung.**

Abbildung 13 zeigt die materialbezogene Verteilung pro Servereinheit (ASU). Dieser Vergleich macht deutlich, dass die größere Bauform der Rack- und Unix-Systeme sich in den Bulk-Materialien niederschlagen. Bei den technischen Metallen bzw. Edelmetallen wird dieser Unterschied kaum deutlich. Gegenüber dem Referenzjahr 2008 verdoppelt sich im Szenario „Business-as-usual“ 2015 fast die Menge an Aluminium und Kupfer. Diese Entwicklung ist insbesondere auch hinsichtlich der Edelmetalle festzustellen.

**Abbildung 13: Materialbestand IT in deutschen Rechenzentren im Szenario „Business as usual“**



**Quelle: Eigene Darstellung.**

Zur besseren Verdeutlichung dieser Entwicklung kann an dieser Stelle der monetäre Wert der Materialien herangezogen werden. Die im Szenario „Business-as-usual“ von 1,8 t (Referenzjahr 2008) auf 2,9 t zunehmende Menge an Gold hat einen Marktwert von fast 69 Millionen Euro. Auch Palladium, Silber und Zinn gewinnen an Bedeutung und haben zusammen einen Wert von über 22 Millionen Euro.

Diese erste, sehr stark vereinfachte Abschätzung des Materialbestandes der IT in deutschen Rechenzentren verdeutlicht unserer Meinung nach die Notwendigkeit einer weitaus genaueren Untersuchung der Materialzusammensetzung insbesondere der elektronischen Baugruppen (bestückte Leiterplatten), aber auch der integrierten Kühlungs- und Stromversorgungstechnik. Hintergrund dieser Aussage ist die Erkenntnis, dass der Edelmetallgehalt einen sehr hohen Wertanteil hat und mit der Anzahl der aktiven Bauelemente (Halbleiterchips) sowie der zur Anwendung kommenden Technologien in der Aufbau- und Verbindungstechnik korreliert. Anderes ausgedrückt, die zunehmende Leistungsfähigkeit der Server-, Speicher- und Netzwerktechnik führt zu komplexeren aktiven Baugruppen (Multichip-Module), die eine hohe Materialvielfalt und hohen Materialwert aufweisen.

Es erscheint daher wichtig, diese technische Entwicklung aus Rohstoff- und Ressourcensicht detaillierter zu untersuchen, damit Anreize zum wertstofflichen Recycling bzw. auch „Design for recycling“ geschaffen werden. So wäre beispielsweise die gezielte Trennung von Aluminium und Kupfer für das Recycling wichtig. Doch es besteht noch ein zweiter Grund sich eingehender mit der materialbezogenen Entwicklung der Server-, Speicher- und Netzwerk-

technik zu beschäftigen. Die hier vorliegende Studie konnte aufgrund des begrenzten finanziellen Rahmens nur einen sehr kleinen Ausschnitt der Material- und Technikvielfalt analysieren. Der Ausbau der Optoelektronik für schnellere Datenkommunikation, neue Leiterplatten- und Kühlkonzepte (Halogenfrei, Wasserkühlung) sind Entwicklungen die sich auf die Materialzusammensetzung auswirken werden. Die Erarbeitung von gut quantifizierten Referenzdatensätzen für typische Leiterplatten und Baugruppen erscheint daher sehr hilfreich, um gezielte Handlungsempfehlungen für die Industrie zu erarbeiten.

### 8.3.3 Entwicklung des Materialbestandes der Stromversorgung

Wie die Ausführungen in Abschnitt 8.3.1 gezeigt haben, unterscheidet sich die Entwicklung des Energieverbrauchs der Rechenzentren in den Szenarien „Business as usual“ und „Green IT“ erheblich. Da die Stromversorgung eng an den Energieverbrauch gekoppelt ist, verändert sich auch diese Infrastruktur in ähnlichen Größenordnungen. Dabei hat die Verschiebung der Rechenzentrumstruktur zu größeren Lokationen auch eine gewisse Auswirkung auf den Materialbestand der Stromversorgung. In dem in dieser Untersuchung aufgestellten Modell wird dies beispielsweise an der Verteilung der Referenz-USVen erkennbar, der Anteil der einphasigen USVen an der insgesamt installierten Leistung nimmt in beiden Szenarien von 17 % im Jahr 2008 auf 13 % ab (Tabelle 62). Dafür nimmt der Anteil der dreiphasigen USVen entsprechend zu. Auch der Anteil der dynamischen USVen nimmt leicht zu, von 12 % im Jahr 2008 auf 13 % im Szenario „Business as usual“ und 14 % im Green-IT-Szenario im Jahr 2015. In absoluten Zahlen ist insbesondere im Business-as-usual-Szenario ein sehr deutlicher Anstieg der dreiphasigen USVen um 55 % festzustellen.

**Tabelle 62: Entwicklung der unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) in deutschen Rechenzentren bis 2015**

		<b>Einphasige USV mit einer Ø Leistung von 3 kVA</b>	<b>Dreiphasige USV mit einer Ø Leistung von 60 kVA</b>
2008	Anzahl	41.500	8.500
	Anteil an der insgesamt installierten Leistung (in %)	17%	71 %
2015 Business as usual	Anzahl	49.000	14.000
	Anteil an der insgesamt installierten Leistung (in %)	13 %	74 %
2015 Green IT	Anzahl	26.000	7.300
	Anteil an der insgesamt installierten Leistung (in %)	13 %	73 %

**Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).**

Betrachtet man die Entwicklung der eingesetzten Bulk-Materialien für batteriebetriebene USVen bis zum Jahr 2015, so ist festzustellen, dass im Szenario „Business as usual“ ein Anstieg von fast 60 % festzustellen ist, während im Green-IT-Szenario ca. ein Viertel weniger Material eingesetzt wird (Tabelle 63). Zum Vergleich: Der Energieverbrauch der

Rechenzentren steigt um ca. 50 % im „Business as usual“-Szenario und sinkt um ca. 40 % im Green-IT-Szenario. Da die Energieverbrauchsänderungen sich nicht direkt proportional in Materialbedarfsänderungen auswirken, liegt insbesondere am Trend zur Erhöhung der Ausfallsicherheit und Redundanz.

**Tabelle 63: Materialbestand batteriebetriebener USVen in deutschen Rechenzentren im Jahr 2008 und im Jahr 2015**

<b>Materialart</b>	<b>2008 (Gewicht in t)</b>	<b>2015 Business as usual (Gewicht in t)</b>	<b>2015 Green IT (Gewicht in t)</b>
Stahl	2.120	3.370	1.760
Aluminium	190	300	160
Kupfer	340	540	280
Sonstige Elektrik/Elektronik	1.170	1.810	940
Kunststoff	210	300	160
Sonstiges	80	130	70
<b>Gesamt</b>	<b>4.110</b>	<b>6.450</b>	<b>3.370</b>

**Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).**

Die Entwicklung der insgesamt in deutschen Rechenzentren installierten Batteriemasse ist ähnlich wie die Zahl der USVen (Tabelle 64). Im Szenario „Business as usual“ steigt sie bis zum Jahr 2015 um insgesamt 55 % von 3.800 t auf 5.900 t, während sie im Green-IT-Szenario um 21 % auf 3.100 t abnimmt.

**Tabelle 64: Batteriematerialien in deutschen Rechenzentren in den Jahren 2008 und 2015**

	<b>Blei bzw. bleihaltige Verbindungen (in t)</b>	<b>Kunststoffe (PP, PVC) (in t)</b>	<b>Schwefelsäure (in t)</b>
2008	2.700	400	1.150
2015 Business as usual	4.100	600	1.800
2015 Green IT	2.200	300	900

**Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).**

Die Masse des insgesamt installierten Kupferkabels zur Stromversorgung steigt um ca. 50 % von 10.200 t auf 15.200 t im Jahr 2015 (Szenario „Business as usual“) bzw. sinkt um ca. 40 % auf 6.000 t im Szenario Green IT. Danach wird die allein in der Stromversorgungsverkabelung deutscher Rechenzentren gebundene Kupfermasse im Business-as-usual-Szenario 11.400 t betragen. Mit dem Kupferpreis von 4,90 €/kg des Referenzjahres 2008 bewertet entspricht dies einem Gegenwert von 56 Millionen Euro.

**Tabelle 65: Bestand an Kupferkabeln in deutschen Rechenzentren in den Jahren 2008 und 2015**

	Kupferkabel gesamt (in t)	Kupfer (in t)	PVC (in t)
2008 (Referenz)	10.200	7.700	2.500
2015 Business as usual	15.200	11.400	3.800
2015 Green IT	6.000	4.500	1.500

**Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).**

Auch in Generatoren und Transformatoren sind nicht unerhebliche Mengen an Kupfer gebunden. Im Jahr 2008 waren es bereits 3.300 t. Diese Menge steigt im Szenario „Business as usual“ auf 5.000 t und im Szenario „Green IT“ auf 3.800 t an (Tabelle 66). Auffällig ist, dass selbst im Szenario „Green IT“ ein Anstieg festzustellen ist. Dies ist durch den deutlichen Trend zu größeren Rechenzentren zu begründen, die sowohl über deutlich mehr und größere Generatoren als auch Transformatoren verfügen.

**Tabelle 66: Stahl- und Kupfereinsatz in Generatoren und Transformatoren deutscher Rechenzentren in den Jahren 2008 und 2015**

		Generatoren	Transformatoren	Gesamt
2008 (Referenz)	Stahl (in t)	3.800	4.700	8.500
	Kupfer (in t)	800	2.500	3.300
2015 Business as usual	Stahl (in t)	6.400	6.200	12.600
	Kupfer (in t)	1.400	3.300	5.000
2015 Green IT	Stahl (in t)	5.200	5.000	10.200
	Kupfer (in t)	1.100	2.700	3.800

**Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).**

### 8.3.4 Entwicklung des Materialsbestands bei Racks und Einhausungen

Die Zahl der Racks in Rechenzentren in Deutschland wird sich ähnlich wie die Zahl der Server- und Netzwerkinfrastruktur entwickeln. Im Szenario „Business as usual“ wird die Zahl der Racks um ca. 35 % von 300.000 auf 410.000 Stück ansteigen. Im GreenIT-Szenario steigt die Zahl nur wenig um ca. 10.000 Stück. Dieser geringe Anstieg ist vor allem durch die geänderte Rechenzentrums- und Serverstruktur mit einem geringeren Anteil von Stand-Alone-Servern begründet. Da sich die Materialzusammensetzung der Racks in den Jahren 2008 bis 2015 voraussichtlich nicht ändern wird, ändern sich die Materialmassen von Racks in deutschen Rechenzentren proportional zur Anzahl der Racks (Tabelle 67).

**Tabelle 67: Materialmasse von Racks insgesamt in deutschen Rechenzentren in den Jahren 2008 und 2015**

	<b>2008</b> <b>(in t)</b>	<b>2015</b> <b>Business as usual</b> <b>(in t)</b>	<b>2015</b> <b>Green IT</b> <b>(in t)</b>
<b>Stahl</b>	26.000	35.000	27.000
<b>Aluminium</b>	900	1.200	900
<b>Kunststoffe und Keramiken</b>	1.500	2.000	1.600
<b>Sonstiges (insbesondere Glas, Farbe)</b>	1.500	2.000	1.600

**Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).**

Die Zahl der eingehausten Racks wird im Szenario „Green IT“ sehr deutlich zunehmen und sich im Vergleich zum Jahr 2008 auf ca. 105.000 mehr als verfünffachen. Auch im Szenario „Business as usual“ ist ein deutlicher Anstieg der Zahl der eingehausten Racks auf ca. 80.000 vorhanden. Die Materialzusammensetzungen der Einhausungen werden sich voraussichtlich nicht ändern, so dass die Materialbestände proportional zur Anzahl der eingehausten Racks ansteigen (Tabelle 68). Auch im Jahr 2015 ist der relative Materialbedarf der Einhausungen im Vergleich zum Materialbedarf für die Racks vergleichsweise gering, allerdings deutlich höher als im Jahr 2008. Dies gilt vor allem für Materialien wie Acrylglas und Glas.

**Tabelle 68: Abschätzung der Materialzusammensetzung von Einhausungen in den Jahren 2008 und 2015**

	<b>2008</b> <b>(in t)</b>	<b>2015</b> <b>Business as usual</b> <b>(in t)</b>	<b>2015</b> <b>Green IT</b> <b>(in t)</b>
<b>Stahl</b>	190	840	1.050
<b>Acrylglas</b>	90	420	530
<b>Glas</b>	60	250	320
<b>Sonstige Kunststoffe</b>	20	80	110
<b>Sonstiges</b>	20	80	110

**Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).**

### 8.3.5 Entwicklung des Materialbestandes der Klimatisierung

Im Bereich des Materialbestandes für Klimatisierungsinfrastruktur ergeben sich deutliche Unterschiede in den beiden betrachteten Szenarien. Diese sind insbesondere auf die Unterschiede im Energieverbrauch der IT zurückzuführen, da dieser als Wärme wieder aus den Rechenzentren abgeführt werden muss.

Im Szenario „Business as usual“ steigt die insgesamt in deutschen Rechenzentren installierte Klimaleistung von 600 MW auf über 900 MW. Der relative Anstieg ist mit 50 % damit höher als der relative Anstieg des Energieverbrauchs der IT in den Rechenzentren (plus 45 %). Dies ist zu einem kleinen Teil durch den Trend zu größeren Rechenzentren und höherer

Redundanz zu erklären. Ein weiterer Grund für den stärkeren Anstieg ist, dass es erforderlich ist, die Klimaleistung auf die Maximallast auszulegen. Verbesserungen der Energieeffizienz bei niedrigen IT-Lasten führen somit zu einem geringeren Stromverbrauch, aber nicht zu einer geringeren installierten Kühlleistung.

Im Szenario „Green IT“ sinkt die in deutschen Rechenzentren installierte Kühlleistung um 20 % auf 475 MW. Auch hier führt die Notwendigkeit zur Auslegung auf die Maximallast dazu, dass diese Veränderung nicht proportional zur Verringerung des IT-Energiebedarfs erfolgt (minus 25 %).

In Tabelle 69 sind die Materialbedarfe für Klimatisierung in den deutschen Rechenzentren für das Jahr 2015 in den beiden betrachteten Szenarien im Vergleich zum Jahr 2008 dargestellt. Im Szenario „Business as usual“ erhöhen sich die Bestände der einzelnen Materialtypen jeweils um ca. 55 %. Der Anstieg liegt also noch etwas höher als der Anstieg der ausgelegten Klimaleistung. Dies ist durch die verminderte Verwendung von Splitgeräten und die stärkere Verwendung materialintensiverer Präzisionsklimaanlagen zu begründen. Durch vermehrte freie Kühlung und Abwärmenutzung werden die Verbesserungen der Effizienz bei diesen Anlagen wie oben beschrieben voraussichtlich kompensiert.

**Tabelle 69: Materialeinsatz für Kühlung in deutschen Rechenzentren in den Jahren 2008 und 2015**

<b>Materialtyp</b>	<b>2008 (in t)</b>	<b>2015 Business as usual (in t)</b>	<b>2015 Green IT (in t)</b>
Kunststoffe	1.850	2.900	1.500
techn. Kunststoffe	240	380	200
Eisen	5.000	7.700	4.000
Kupfer	2.800	4.400	2.300
Aluminium	700	1.100	600
Elektronik	260	410	210
Anderes	1.340	2.100	1.100

**Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).**

Im Szenario „Green IT“ wird im Jahr 2015 in allen Kategorien knapp 20 % weniger Material benötigt als im Jahr 2008. Auch hier werden die Effizienzverbesserungen der Einzelgeräte dadurch ausgeglichen, dass mehr Präzisionsklimaanlagen, mehr freie Kühlung und mehr Systeme der Abwärmenutzung mit jeweils höheren Materialbedarfen verwendet werden.

Eine Abschätzung der Kältemittelmenge kann relativ grob über die Veränderungen der ausgelegten Kühlleistungen erfolgen. Geht man davon aus, dass sich die spezifische Kältemittelmenge nicht ändert, so steigt die Kältemittelmenge im Szenario „Business as usual“ um 50 % und sinkt im Szenario „Green IT“ um 20 %.



## 9 Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Analysen

### 9.1 Überblick

In dieser Untersuchung sind erstmalig die Ausstattungen und Materialbestände der deutschen Rechenzentren ermittelt und in ihrer Entwicklung bis zum Jahr 2015 prognostiziert worden. Weltweit sind bisher keine vergleichbaren Untersuchungen bekannt. Aufgrund des neuartigen Untersuchungsgegenstandes wurde zunächst eine Methodik entwickelt, mit der die Zahl der Rechenzentren in unterschiedlichen Größenklassen und ihre durchschnittlichen Ausstattungen mit IT-Geräten und Infrastrukturelementen wie Klimatisierung und Stromversorgung erhoben werden konnten. Auf dieser Basis konnte ein Modell aufgestellt werden, mit dem detaillierte Aussagen zur materiellen Ausstattung der Rechenzentren in Deutschland gemacht werden können. Das Modell erlaubt auch die Berechnung des Energiebedarfs der Rechenzentren sowie ihrer Komponenten.

In diesem Kapitel werden die zentralen Ergebnisse der Bestandsaufnahme der Materialien im Jahr 2008 sowie ihre möglichen Entwicklungen bis zum Jahr 2015 in den zwei Szenarien „Business as usual“ und „Green IT“ zusammenfassend dargestellt. Dazu wird in Abschnitt 9.2 zunächst ein Überblick über die Bulk-Materialien gegeben. Abschnitt 9.3 zeigt dann die Entwicklung bei Edelmetallen auf. In Abschnitt 9.4 werden zusammenfassend die festgestellten Zusammenhänge zwischen Rechenleistung, Energieverbrauch, und Materialeinsatz in Rechenzentren dargestellt und erläutert.

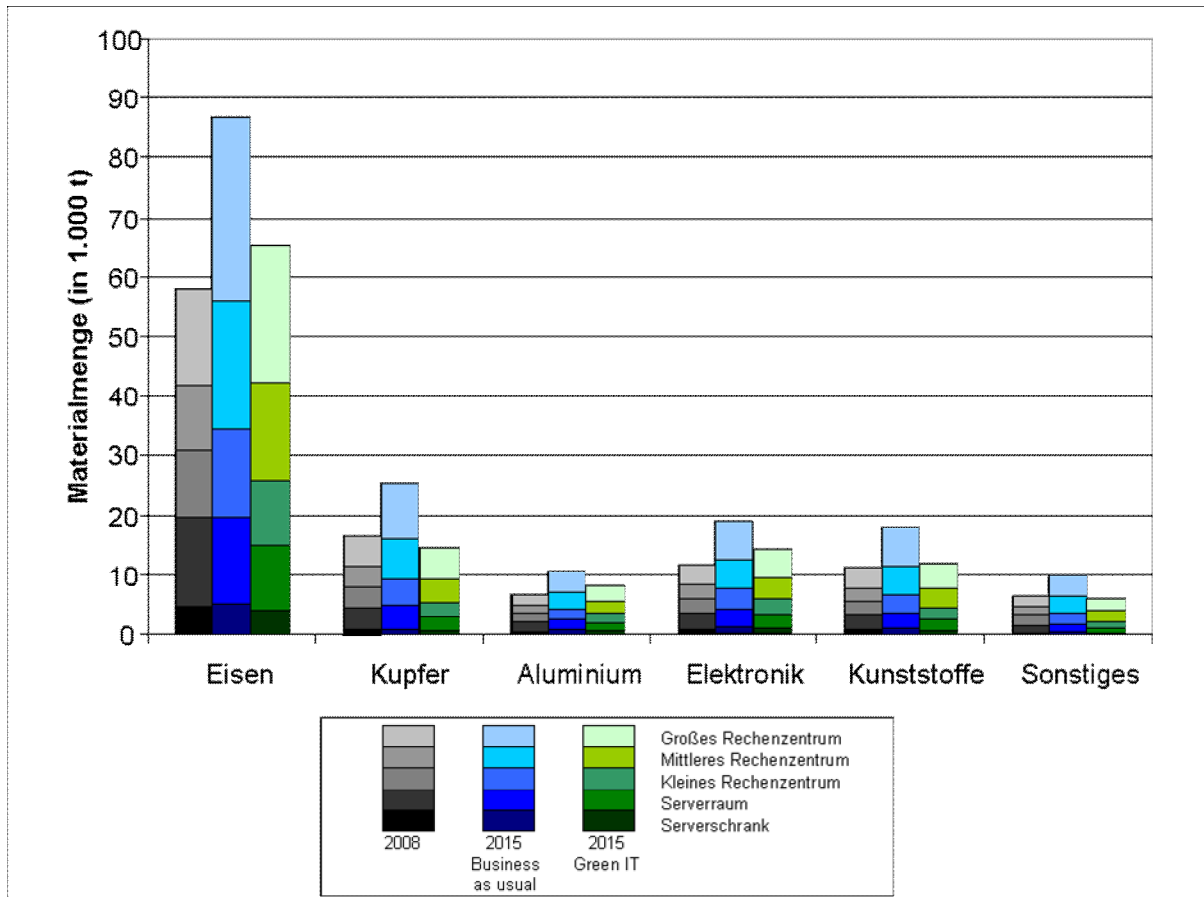
### 9.2 Entwicklung des Einsatzes von Massenmaterialien in deutschen Rechenzentren

In einer zusammenfassenden Betrachtung der Entwicklung der verwendeten Materialien in den deutschen Rechenzentren ergibt sich das in Abbildung 14 dargestellte Bild. In Tabelle 70 sind die entsprechenden Zahlenwerte dargestellt. Im Szenario „Business as usual“ ist in allen Kategorien von Massenmaterialien mit einem deutlichen Anstieg bis zum Jahr 2015 zu rechnen, im Durchschnitt zwischen 50 % und 60 %. Die verhältnismäßig wertvollen Materialien Kupfer und Aluminium nehmen um 53 % bzw. 58 % zu, der Elektronikanteil steigt um 62 %. Damit steigen die Materialmengen stärker als der Energiebedarf der Rechenzentren (+ 50 %). Die Graphik zeigt auch eine Verschiebung der Materialmengen in den verschiedenen Rechenzentrumskategorien. Sind im Jahr 2008 noch knapp 50 % der Materialien in mittleren und großen Rechenzentren gebunden, so sind dies im Jahr 2015 bereits 60 % und mehr. Einen besonders hohen Anteil werden die 90 großen Rechenzentren ausmachen. Je nach Materialart liegt der Anteil zwischen 34 und 37 %.

Im Szenario „Green IT“ liegen die Materialbestände in den verschiedenen Kategorien im Jahr 2015 insgesamt in einer ähnlichen Größenordnungen wie im Jahr 2008. Die Elektronikmenge steigt deutlich um ca. 22 % auf 14.200 t. Ansteigend sind auch die Mengen von Eisen

(+13 %), Aluminium (+20 %) und Kunststoffen (+ 6 %). Die Kupfermenge sinkt um 14 % auf 14.300 t. Dies kann im Wesentlichen dadurch begründet werden, dass aufgrund des stark sinkenden Energiebedarfs weniger Kupferverkabelung notwendig sein wird. Auch die sonstigen Materialien sinken um ca. 10 %. Auch im Szenario Green IT nimmt der Anteil der mittleren und großen Rechenzentren am Materialbestand deutlich zu und liegt ebenfalls in allen Materialarten bei ca. 60 % und mehr. Allein die 75 großen Rechenzentren werden im Jahr 2015 ca. 35 % des Materials binden.

**Abbildung 14: Entwicklung der Massenmaterialien in den Rechenzentren in Deutschland von 2008 bis 2015**



Quelle: Eigene Berechnung.

**Tabelle 70: Massenmaterialien in den Rechenzentren in Deutschland in den Jahren 2008 und 2015**

2008	Eisen		Kupfer		Aluminium		Elektronik		Kunststoffe		Sonstiges	
	in t	in (%)	in t	in (%)	in t	in (%)	in t	in (%)	in t	in (%)	in t	in (%)
Serverschrank	4.700	8%	800	5%	600	8%	900	8%	800	8%	300	5%
Serverraum	14.900	26%	3.800	23%	1.600	24%	2.700	23%	2.500	23%	1.200	19%
Kleines Rechenzentrum	11.300	19%	3.400	20%	1.400	21%	2.400	21%	2.300	20%	1.700	26%
Mittleres Rechenzentrum	11.000	19%	3.600	22%	1.300	19%	2.300	20%	2.300	20%	1.400	22%
Großes Rechenzentrum	16.000	28%	5.000	30%	1.900	28%	3.200	28%	3.200	29%	1.800	28%
<b>Summe</b>	<b>57.800</b>	<b>100%</b>	<b>16.600</b>	<b>100%</b>	<b>6.700</b>	<b>100%</b>	<b>11.600</b>	<b>100%</b>	<b>11.100</b>	<b>100%</b>	<b>6.500</b>	<b>100%</b>

2015 Business as usual	Eisen		Kupfer		Aluminium		Elektronik		Kunststoffe		Sonstiges	
	in t	in (%)	in t	in (%)	in t	in (%)	in t	in (%)	in t	in (%)	in t	in (%)
Serverschrank	5.300	6%	1.000	4%	700	7%	1.200	6%	1.000	6%	400	4%
Serverraum	14.300	17%	3.800	15%	1.800	17%	3.100	16%	2.700	15%	1.200	12%
Kleines Rechenzentrum	14.700	17%	4.300	17%	1.900	18%	3.300	18%	3.100	17%	2.100	21%
Mittleres Rechenzentrum	21.900	25%	6.900	27%	2.600	25%	4.800	26%	4.700	26%	2.800	29%
Großes Rechenzentrum	30.600	35%	9.300	37%	3.600	34%	6.400	34%	6.500	36%	3.400	34%
<b>Summe</b>	<b>86.700</b>	<b>100%</b>	<b>25.400</b>	<b>100%</b>	<b>10.600</b>	<b>100%</b>	<b>18.800</b>	<b>100%</b>	<b>17.900</b>	<b>100%</b>	<b>9.900</b>	<b>100%</b>

2015 Green IT	Eisen		Kupfer		Aluminium		Elektronik		Kunststoffe		Sonstiges	
	in t	in (%)	in t	in (%)	in t	in (%)	in t	in (%)	in t	in (%)	in t	in (%)
Serverschrank	4.100	6%	600	4%	600	7%	900	7%	700	6%	200	4%
Serverraum	10.900	17%	2.400	17%	1.400	17%	2.400	17%	1.800	16%	800	13%
Kleines Rechenzentrum	11.000	17%	2.500	17%	1.400	18%	2.500	18%	2.000	17%	1.300	21%
Mittleres Rechenzentrum	16.400	25%	3.800	27%	2.000	25%	3.600	25%	3.000	26%	1.700	28%
Großes Rechenzentrum	23.000	35%	5.100	35%	2.700	34%	4.800	34%	4.100	35%	2.000	34%
<b>Summe</b>	<b>65.400</b>	<b>100%</b>	<b>14.300</b>	<b>100%</b>	<b>8.100</b>	<b>100%</b>	<b>14.200</b>	<b>100%</b>	<b>11.800</b>	<b>100%</b>	<b>5.900</b>	<b>100%</b>

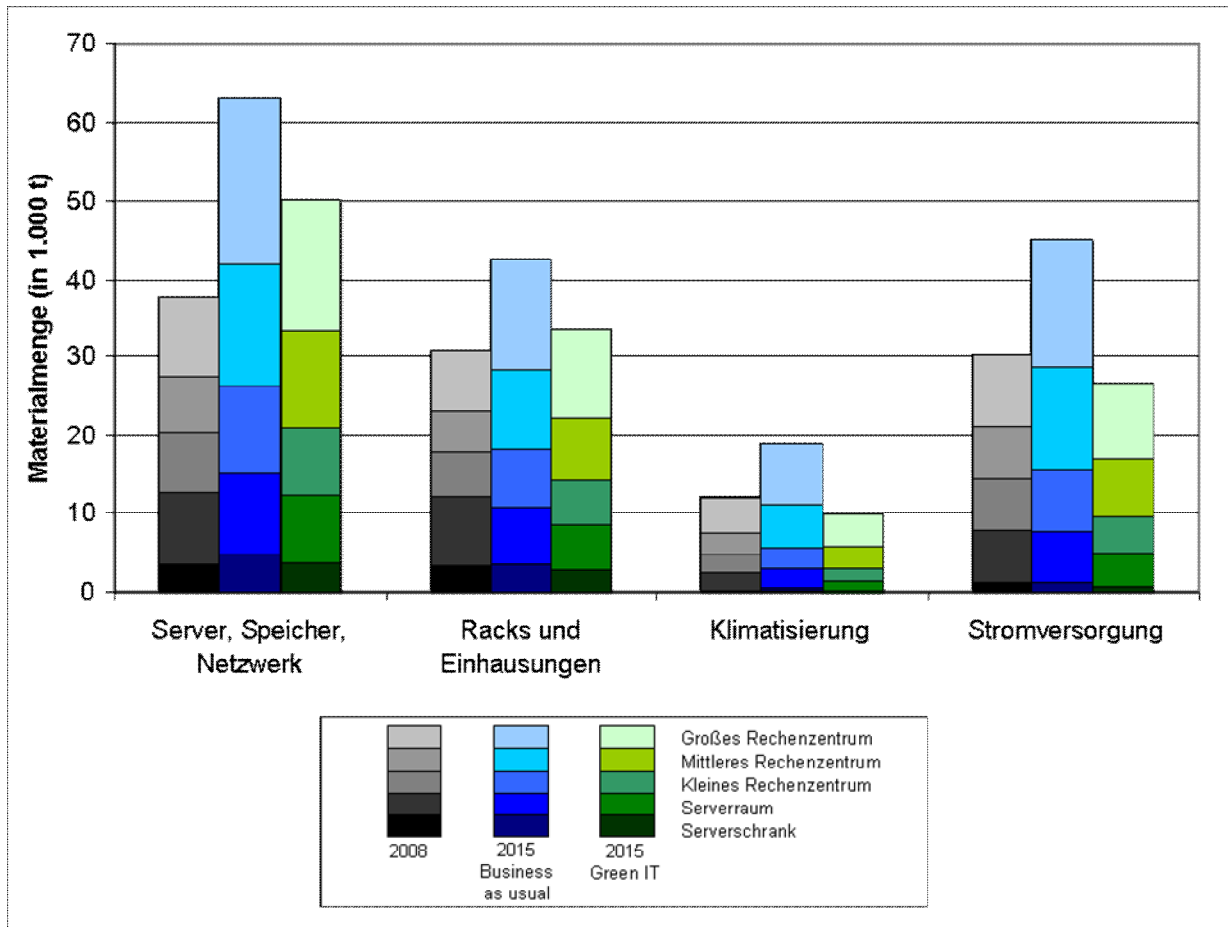
**Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).**

In Abbildung 15 ist die Summe der in dieser Untersuchung betrachteten Massenmaterialien für das Jahr 2008 sowie das Jahr 2015 in den Szenarien „Business as usual“ und „Green IT“ dargestellt. Die Tabelle 71 stellt die entsprechenden Zahlenwerte dar. Daran ist zu erkennen, dass auch im Szenario Green IT die Gesamtmaterialmengen in den Bereichen „Server, Speicher, Netzwerk“ und „Racks und Einhausungen“ wachsen. Dieses Wachstum verursacht auch die ansteigenden Mengen an Elektronik und Eisen. Die Gesamtmaterialmengen für Klimatisierung und Stromversorgung sinken im Szenario „Green IT“. Diese Art der Darstellung zeigt ebenfalls, dass in beiden Szenarien der Anteil der mittleren und großen Rechenzentren am Materialbedarf zunimmt. Im Bereich der Klimatisierungsinfrastruktur sind im Jahr 2015 allein in den 90 („Business as usual“) bzw. 75 („Green IT“) großen Rechenzentren über 40 % der Materialien gebunden.

Auch wenn die stark vereinfachende Aufsummierung aller Materialien nur einen groben Überblick liefert, so lässt sich doch folgender Zusammenhang feststellen. Die Erfolge, die hinsichtlich der Absenkung des Energieverbrauchs der deutschen Rechenzentren möglich

sind, führen insgesamt nicht zu einer Verringerung des Materialbedarfs. Zwar können bestimmte Materialien wie Kupfer insbesondere im Bereich der Stromversorgungs- und Klimatisierungsinfrastruktur eingespart werden, dafür wird aber z.B. der Elektronikanteil weiter ansteigen – selbst wenn es gelingt, den Energieverbrauch sehr deutlich um 40 % abzusenken. Der Entwicklung des Materialbedarfs in deutschen Rechenzentren ist jedoch nicht unabhängig von der Entwicklung des Energieverbrauchs. Steigt der Energieverbrauch weiter an, so ist sogar mit einem überproportionalen Anstieg des Materialbestandes zu rechnen.

**Abbildung 15: Entwicklung der Summe der Massenmaterialien in den verschiedenen Bereichen von Rechenzentren in Deutschland von 2008 bis 2015**



Quelle: Eigene Darstellung.

Tabelle 71: Summe der Massenmaterialien in den verschiedenen Bereichen der Rechenzentren in Deutschland in den Jahren 2008 und 2015

2008	Server, Speicher, Netzwerk		Racks und Einhausungen		Klimatisierung		Stromversorgung	
	in t	in (%)	in t	in (%)	in t	in (%)	in t	in (%)
Serverschrank	3.400	9%	3.300	11%	400	3%	1.000	3%
Serverraum	9.100	24%	8.800	29%	2.200	18%	6.700	22%
Kleines Rechenzentrum	7.600	20%	5.900	19%	2.300	19%	6.600	22%
Mittleres Rechenzentrum	7.200	19%	5.100	17%	2.800	23%	6.800	23%
Großes Rechenzentrum	10.200	27%	7.600	25%	4.400	36%	8.900	30%
<b>Summe</b>	<b>37.500</b>	<b>100%</b>	<b>30.600</b>	<b>100%</b>	<b>12.200</b>	<b>100%</b>	<b>29.900</b>	<b>100%</b>

2015 Business as usual	Server, Speicher, Netzwerk		Racks und Einhausungen		Klimatisierung		Stromversorgung	
	in t	in (%)	in t	in (%)	in t	in (%)	in t	in (%)
Serverschrank	4.600	7%	3.400	8%	400	2%	1.100	3%
Serverraum	10.600	17%	7.500	18%	2.300	12%	6.500	15%
Kleines Rechenzentrum	11.100	18%	7.400	17%	2.800	15%	8.000	18%
Mittleres Rechenzentrum	15.500	25%	10.000	24%	5.300	28%	12.900	29%
Großes Rechenzentrum	21.200	34%	14.300	34%	8.000	42%	16.300	36%
<b>Summe</b>	<b>63.000</b>	<b>100%</b>	<b>42.500</b>	<b>100%</b>	<b>18.900</b>	<b>100%</b>	<b>44.900</b>	<b>100%</b>

2015 Green IT	Server, Speicher, Netzwerk		Racks und Einhausungen		Klimatisierung		Stromversorgung	
	in t	in (%)	in t	in (%)	in t	in (%)	in t	in (%)
Serverschrank	3.600	7%	2.700	8%	200	2%	600	2%
Serverraum	8.500	17%	5.800	17%	1.200	12%	4.100	16%
Kleines Rechenzentrum	8.700	18%	5.700	17%	1.500	15%	4.700	18%
Mittleres Rechenzentrum	12.300	25%	8.000	24%	2.800	28%	7.500	28%
Großes Rechenzentrum	16.700	34%	11.300	34%	4.200	42%	9.500	36%
<b>Summe</b>	<b>49.800</b>	<b>100%</b>	<b>33.500</b>	<b>100%</b>	<b>9.900</b>	<b>100%</b>	<b>26.500</b>	<b>100%</b>

Quelle: Eigene Berechnungen (Zahlen gerundet).

### 9.3 Entwicklungen des Einsatzes von Edelmetallen in deutschen Rechenzentren

Ein besonderes Augenmerk wurde in dieser Untersuchung auf den Materialbestand von Edelmetallen in deutschen Rechenzentren gelegt. Diese sind insbesondere in den Elektronikbestandteilen der Server, Speichertechnik und Netzwerkinfrastruktur vorhanden. In geringem Umfang werden diese Metalle auch in der Elektronik der unterbrechungsfreien Stromversorgung und der Klimatisierung vorkommen. Wie die Abschätzungen in den Kapiteln 4 und 6 aber gezeigt haben, sind diese Mengen im Vergleich zu den in den IT-Geräten gebundenen Edelmetallen jedoch vernachlässigbar.

Die Knappheit von seltenen Metallen und Edelmetallen stellt sich insgesamt als eine komplexe Thematik dar. Derzeit existieren sehr unterschiedliche Ansätze und Methoden zur Beurteilung der Rohstoffverknappung. Die steigende Nachfrage aus spezifischen Technologiebereichen führt sowohl zu technischen Alternativen als auch einer verstärkten Suche nach neuen Rohstoffvorkommen. An dieser Stelle kann daher nur auf grundsätzliche Stoffe eingegangen werden, die aktuell im Bereich der IKT stark nachgefragt werden und gleichzeitig auf der Liste der kritischen Materialien der Europäischen Union stehen. Die folgende Auflistung ist das Ergebnis einer Bewertung durch das Fraunhofer IZM und umfasst Metalle, die innerhalb der Elektronik mit Blick auf ihre Knappheit als kritisch zu beurteilen sind:

- Antimon
- Beryllium
- Rare earth metals (Yttrium, Scandium, Neodym)
- Niob
- Wolfram
- Gallium
- Germanium
- Hafnium
- Kobalt
- Indium
- Tantal
- Barium
- Klassische Edelmetalle (Gold, Platin, Silber)
- Magnesium

Zur Verwendung der meisten dieser knappen Metalle in der Elektronik der Rechenzentren liegen bislang keine Daten vor und konnten – wie im Kapitel 3 dargestellt – auch vom Fraunhofer IZM nicht ermittelt werden. Hier existiert weiterer Forschungsbedarf. Die folgende Erläuterungen der zu erwartenden Entwicklungen beziehen sich daher vor allem auf die Metalle, deren in Rechenzentren eingesetzte Mengen auf Basis der vorhandenen Daten abgeschätzt werden können.

Gold, Silber und Palladium sind funktionale Werkstoffe in der elektronischen Aufbau- und Verbindungstechnik der IT-Geräte. Ihr Einsatz pro IT-Gerät wird trotz höherer Integration (Miniaturisierung) aufgrund der Zunahme von aktiven Halbleiterbauelementen vermutlich in den nächsten Jahren weiter zunehmen. Aufgrund der steigenden Zahl der IT-Geräte selbst im Szenario „Green IT“ ist in der Gesamtmaterialbilanz auf jeden Fall mit einem deutlichen Anstieg der Menge an Edelmetallen zu rechnen. Edelmetalle haben anteilig den höchsten Materialwert, gleichwohl sie einen extrem geringen Gewichtsanteil haben. Seltene Materialien wie Germanium, Gallium, Indium oder Hafnium werden mittelfristig an Bedeutung für die Elektronik gewinnen und sollten in detaillierten Studien untersucht werden. Tantal spielt auf der anderen Seite für den Bereich der IT-Technik in Rechenzentren keine Rolle, da der Miniaturisierungsgrad hier nicht so hoch ist wie beispielsweise bei mobilen Endgeräten.

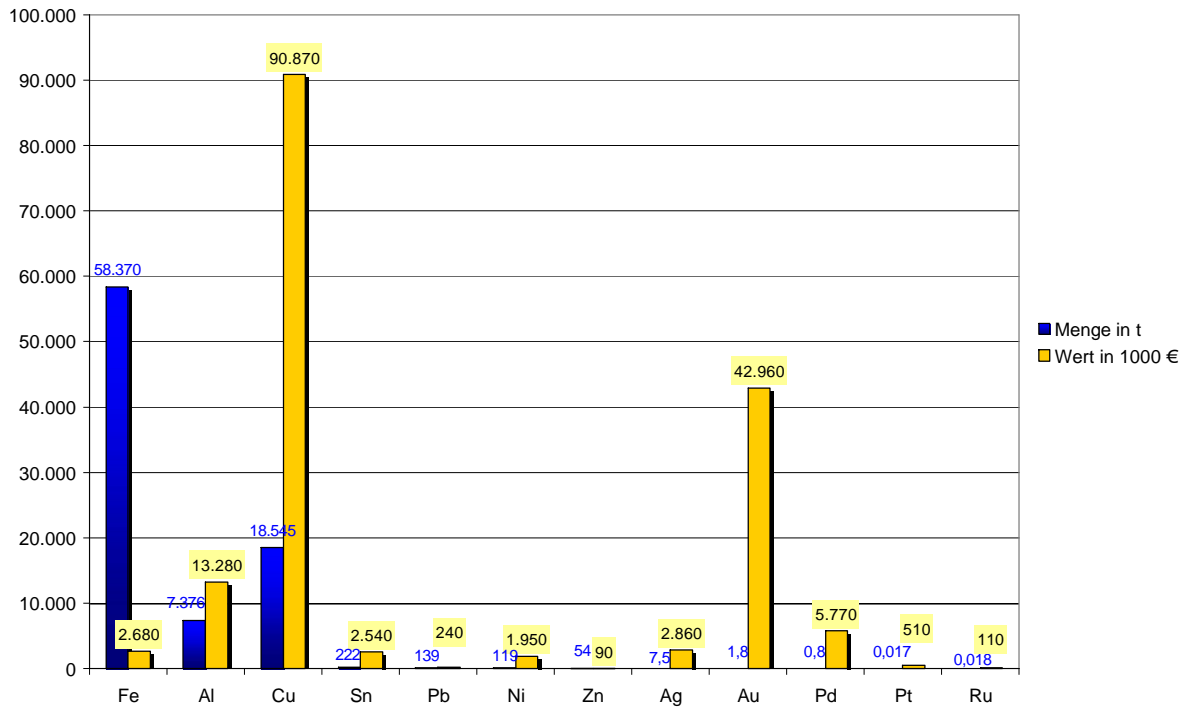
In Abbildung 16 ist das Materialgewicht und der Marktwert der untersuchten Edelmetalle in deutschen Rechenzentren sowie der Metalle Kupfer, Eisen und Aluminium dargestellt<sup>9</sup>. Insgesamt stellt Kupfer den höchsten Wert dar. Im Jahr 2008 sind ca. 18.500 t Kupfer eingesetzt, was einem Wert von etwa 90 Millionen Euro entspricht.<sup>10</sup> An zweiter Stelle der Wertskala liegt aber bereits Gold. Die 1,8 t Gold stellen einen Wert von ca. 43 Millionen Euro dar.

---

<sup>9</sup> Die herangezogenen Metallpreise und die Quellen dafür werden in Kapitel 3.5 erläutert.

<sup>10</sup> Die Unterschiede in den Mengenangaben in Abbildung 16 und Abbildung 17 von Eisen, Aluminium und Kupfer zu den Angaben in Abbildung 14 und Tabelle 70 sind dadurch zu begründen, dass hier auch die Metallmengen hinzugerechnet wurden, die in der Elektronik gebunden sind.

**Abbildung 16: Materialgewicht und Marktwert von Metallen in deutschen Rechenzentren im Jahr 2008**



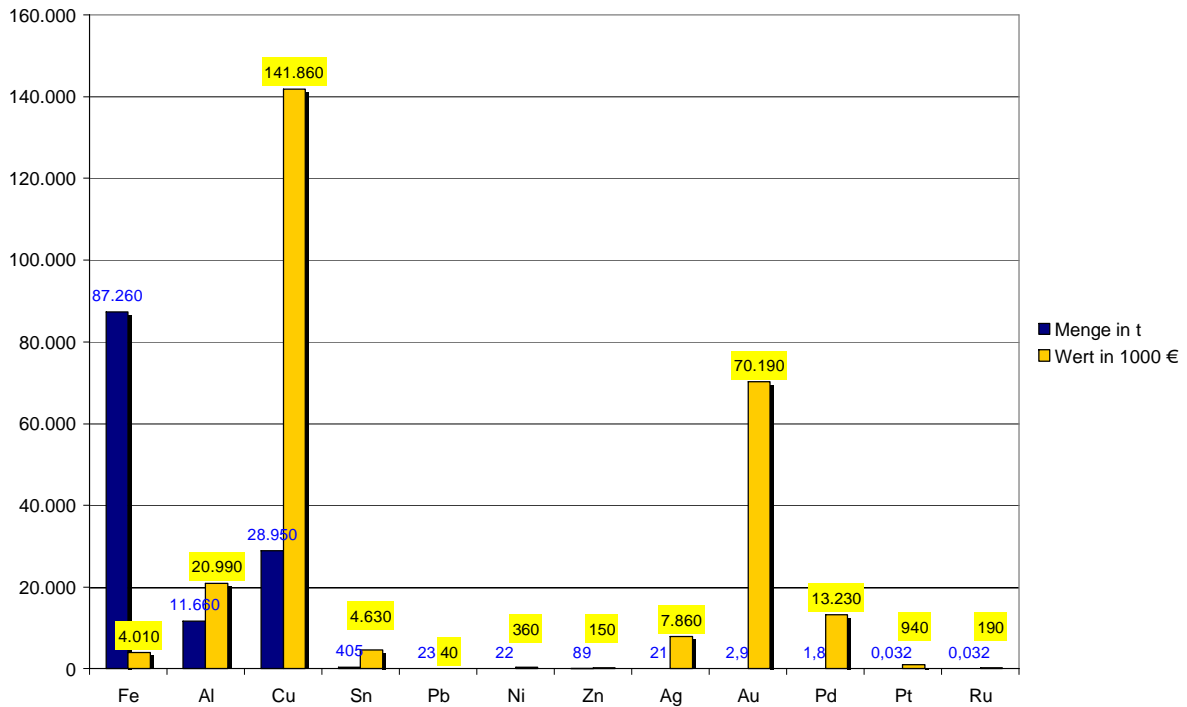
**Quelle: Eigene Berechnungen.**

Wie bereits in Kapitel 8 dargestellt, nehmen die Mengen an Edelmetallen sowohl im Szenario „Business as usual“ als auch im Szenario „Green IT“ zu. In Abbildung 17 sind für das Szenario „Business as usual“ die Mengen und mit heutigen Durchschnittspreisen berechneten Werte der untersuchten Metalle für das Jahr 2015 dargestellt<sup>11</sup>. Die Menge und der Wert von Kupfer steigen in diesem Szenario um über 55 %. Das in deutschen Rechenzentren vorhandene Kupfer kann im Jahr 2015 einen Wert von über 140 Millionen Euro darstellen. Auch der Wert von Gold steigt erheblich um über 60 % auf 70 Millionen Euro an. Bemerkenswert sind auch die Mengen- und Wertanstiege bei Silber und Palladium. Der Silberwert steigt um 175 % auf fast 8 Millionen Euro, der Wert des Palladium steigt um 130 % auf über 13 Millionen Euro.

<sup>11</sup> Die herangezogenen Metallpreise und die Quellen dafür werden in Kapitel 3.5 erläutert.



**Abbildung 17: Materialgewicht und ökonomischer Wert von Metallen in deutschen Rechenzentren im Jahr 2015 (Szenario „Business as usual“)**



Quelle: Eigene Berechnungen.

## 9.4 Zusammenhang von Rechenleistung, Energieverbrauch und Materialeinsatz

Die Entwicklung der Rechenleistung in der Informationstechnik ist enorm. Seit Jahrzehnten gilt das sogenannte Mooresche Gesetz, nachdem sich die Zahl Anzahl an Transistoren – und damit die Rechenleistung – auf einem handelsüblichen Prozessor alle achtzehn Monate verdoppelt. Die Ursache für diese Gesetzmäßigkeit ist vermutlich nicht physikalisch-technisch begründet. Im Gegenteil, schon seit den 1970er Jahren werden von Experten immer wieder die Grenzen der Technik als Begründung für ein Ende der Gesetzmäßigkeit herangezogen. Vermutlich handelt es sich eher um eine Art „selbst erfüllende Prophezeiung“. Da den Forschern und Entwicklern die Gesetzmäßigkeit bekannt ist, forcieren sie ihre Anstrengungen jeweils so, dass sie die Leistungssteigerungen erreichen.

Die Prozessorleistung ist allerdings nicht die einzige Größe, die die Leistungsfähigkeit der Informationstechnik bestimmt. Die Bestimmung der Leistungsfähigkeit eines Computersystems hängt noch von vielen anderen Faktoren ab. Auf Seiten der Hardware sind insbesondere auch die anderen Komponenten eines Servers, aber auch die Speicher- und Netzwerktechnik für die erreichbare Performance verantwortlich. Im Rahmen der Datenspeicherung kommt es auch nicht allein auf die Kapazität der Speicherelemente, sondern insbesondere auch auf die Zugriffszeit an. Während sich die Kapazitäten der Festplatten jährlich in ähnlichen Größenordnungen steigern wie die Zahl der Transistoren auf einem Prozessor, gilt das

für die Zugriffsgeschwindigkeit nicht. Besteht bei einer der Hardwarekomponenten ein Engpass, so mindert das die Leistungsfähigkeit des ganzen Systems. Neben der Hardware ist aber auch die verwendete Software ganz entscheidend dafür verantwortlich, welche Systemleistungen erbracht werden. Zum einen spielen hier die Betriebssysteme und die betriebs-systemnahen Softwarekomponenten wie Virtualisierungssoftware eine große Rolle. Je nach Art der Software sind ganz unterschiedliche Performanceergebnisse und Auslastungen der Hardware möglich. Auch die Anwendungssoftware ist entscheidend für die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems. Zum einen haben unterschiedliche Anwendungen ganz unterschiedliche Anforderungen an die vorhandene Hardware. Während im High-Performance-Computing vor allem die Rechenleistung der Prozessoren von Bedeutung ist, ist bei datenbankorientierten Anwendungen häufig die Zugriffsgeschwindigkeit auf die Datenspeicher der entscheidende Leistungsfaktor.

Um einen Zusammenhang zwischen Rechenleistung, Energie- und Materialverbrauch in deutschen Rechenzentren herzustellen, kann daher nicht auf etablierte Kennzahlen wie z. B. Energieverbrauch pro Rechenleistung zurückgegriffen werden. Es gibt zwar Anstrengungen zur Bestimmung von solchen Messgrößen (z.B. im Rahmen der Initiative „The Green Grid“ – siehe Glossar), umfassende Maßzahlen liegen bis dato aber nicht vor. Für grundlegende Aussagen zu dieser Thematik ist dies auch gar nicht nötig. Man kann näherungsweise von einer sich im Zeitablauf relativ konstanten Entwicklung der maximalen Rechenleistungen der einzelnen Geräte ausgehen – die sich ähnlich wie das Mooresche Gesetz entwickeln. Der Material- und Energiebedarf in Deutschland hängt davon ab, wie viele Geräte verwendet werden, und in welchem Umfang die jeweils verfügbaren Einzelkomponenten eingesetzt werden. So können z.B. „High-End-Prozessoren“ eingesetzt werden, die die aktuell maximal verfügbare Leistung zur Verfügung stellen, oder energieeffiziente Prozessoren, die ein optimales Verhältnis von Rechenleistung zu Energieverbrauch ermöglichen.

In den zwei entwickelten Szenarien „Business as usual“ und „Green IT“ wurde der eigentliche Output der Rechenzentren in Deutschland – die Leistung der Anwendungssoftware – nicht variiert. In beiden Szenarien wird von der gleichen Rechenleistung ausgegangen, die jedoch über eine unterschiedliche Auswahl von Einzelkomponenten, über ein unterschiedliches Ausmaß von Virtualisierung und Konsolidierung sowie über eine unterschiedliche Verwendung energieeffizienter Komponenten realisiert wurde. Wie die Ergebnisse zeigen, sind die realisierbaren Unterschiede im Bereich des Energie- und Materialeinsatzes erheblich. Der Zusammenhang zwischen dem Output der Rechenzentren und dem notwendigen Input ist also variabel und abhängig von der jeweiligen konkreten Umsetzung.

Interessant ist vor allem auch der Blick auf den Zusammenhang von Material- und Energieeinsatz. Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen, dass zwar generell davon ausgegangen werden kann, dass ein Zusammenhang zwischen Energiebedarf in Rechenzentren und dem Materialbestand in Rechenzentren besteht. Anstrengungen zur Verringerung des Energiebedarfs werden in der Regel dazu führen, dass der Materialbedarf zumindest nicht weiter ansteigt. Allerdings werden die möglichen Energieeinsparungen in Rechenzentren aller Voraussicht nach selbst im Szenario „Green IT“ keine Verringerung des Materialbestandes zur Folge haben. Steigt der Energiebedarf dagegen wie im Szenario „Business as usual“ angenommen weiter an, so steigt der Materialbedarf im Verhältnis dazu überproportional.

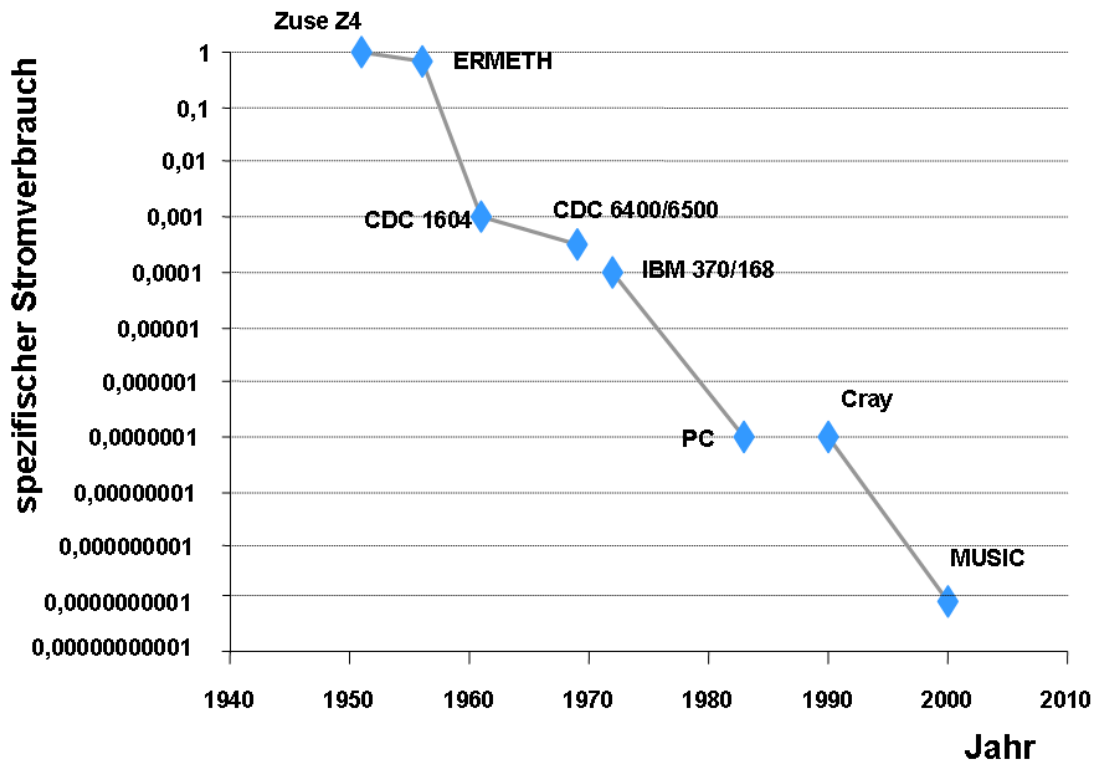
Außerdem ist der festgestellte Zusammenhang zwischen dem gesamten Materialbedarf und dem Energiebedarf bei der Nutzung der Rechenzentren beschränkt. Um Aussagen über das Verhältnis von Energie- und Materialbedarf über alle Lebensphasen der Geräte tätigen zu können, sind weitere Untersuchungen notwendig. Im Extremfall würde z.B. ein jährlicher Austausch der IT-Geräte aufgrund der Verbesserung der Energieeffizienz in der Nutzungsphase zu einer deutlichen Erhöhung des Rohstoffverbrauchs führen.

Die dargestellten Zusammenhänge lassen sich wie folgt begründen:

(1) Große Potenziale zur Verbesserung der Energieeffizienz der Informationstechnik bestehen in den nächsten Jahren insbesondere durch Virtualisierung und Konsolidierung. Damit ist eine Verbesserung der Auslastung der vorhandenen Systeme möglich. Dies führt neben einer Einsparung von Energie gleichzeitig auch zu geringeren Materialbedarfen.

(2) Die generellen Entwicklungstrends in der Informationstechnik führen zu einer immer höheren Rechenleistung und zur stärkeren Miniaturisierung der Elemente. Der Energieverbrauch und die Materialmenge pro Rechenleistung nehmen ab. Beim Ersatz von alten Geräten durch neue Geräte wird daher sowohl Energie gespart als auch die im Rechenzentrum installierte Materialmenge reduziert. In Abbildung 18 ist die Entwicklung des spezifischen Stromverbrauchs von Computern bezogen auf die Rechenleistung nach einer Erhebung der ETH Zürich dargestellt. Zur Beurteilung der Rechenleistungen wurden hier die Anzahl der Rechenoperationen der Prozessoren pro Sekunde herangezogen. Dies ist zwar kein exaktes Maß für die Leistungsfähigkeit eines Systems, erlaubt aber zumindest eine Abschätzung der langfristigen Entwicklung. Im Durchschnitt verbessert sich der spezifische Stromverbrauch um den Faktor 100 pro Jahrzehnt. Auch wenn bislang keine Zahlen dazu verfügbar sind, kann davon ausgegangen werden, dass sich der Materialbestand pro Rechenleistung in der Tendenz sehr ähnlich entwickelt hat.

Abbildung 18: Entwicklung des spezifischen Stromverbrauchs von Computern



Quelle: nach Aebischer et al 1994, eigene Darstellung.

(3) Eine Konzentration der Rechenleistung in großen Lokationen führt in der Regel ebenfalls zu einer Verbesserung der Auslastung der Informationstechnik. Dies liegt vor allem darin begründet, dass das Management vereinfacht und besser automatisiert werden kann und dass weniger „Sicherheitsreserven“ für Leistungsspitzen vorgehalten werden müssen. Außerdem ist hier eine weitergehende Optimierung der Hardware möglich. In großen Rechenzentren werden beispielsweise speziell für den Anwendungsfall konzipierte Server eingesetzt (z.B. Google/Strato). Diese sind sowohl energie- als auch materialeffizienter.

(4) Große Potenziale zur Energieeinsparung existieren auch darin, dass der Energiebedarf der IT-Geräte bei geringer Auslastung reduziert wird. Dies kann z.B. durch verbesserte Wirkungsgrade der Komponenten im Teillastbereich (z.B. Netzteile, Prozessoren) oder durch vollständige Abschaltung einzelner Server erreicht werden. Damit wird zwar der Energiebedarf verringert, der Materialbedarf jedoch nicht.

(5) Wird der Energiebedarf der Informationstechnik abgesenkt, so sind in der Regel kleinere Netzteile, weniger Infrastruktur für die Stromversorgung und weniger Infrastruktur für die Klimatisierung erforderlich. Dieser Zusammenhang wird eingeschränkt durch die Tatsache, dass die genannten Systeme auf die Maximallast der Informationstechnik ausgelegt werden müssen. Eine Absenkung des Energieverbrauchs im Teillastbereich führt daher nicht zu einer Absenkung des Materialbedarfs.

(6) In einigen Bereichen ist eine Absenkung des Energiebedarfs mit mehr Materialeinsatz verbunden. Dies gilt z.B. für die Einhausung von Kalt- oder Warmgängen, für die Nutzung von freier Kühlung oder für Systeme der Abwärmenutzung. Die erreichbaren Energieeinsparungen sind hier allerdings so hoch, dass der erhöhte Materialbedarf in Kauf genommen werden kann, insbesondere unter dem Aspekt, dass es sich hier im Wesentlichen um gut recycelbare Massenmaterialien wie Stahl, Kupfer und Aluminium handelt.

Über das Jahr 2015 hinaus ist es schwer, Aussagen zum Zusammenhang zwischen Energieeffizienz und Materialeinsatz zu treffen. Es ist davon auszugehen, dass die Einsparungen durch eine Erhöhung der Auslastung dann aufgrund des erreichten Standards nicht mehr zu weiteren deutlichen Absenkungen des Energieverbrauchs und des Materialbestandes führen werden. Welche Auswirkungen der mögliche Einsatz neuer Technologien wie z.B. optische Datenverarbeitung und Signalübertragung in Servern auf die Entwicklung des Energiebedarfs und des Materialbestandes haben werden, ist vom heutigen Standpunkt aus nur sehr schwer abzuschätzen. Eine weitere erhebliche Verbesserung des Materialbestandes und des Energiebedarfs pro Rechenleistung während der Nutzungsphase ist auf jeden Fall zu erwarten.

## 10 Handlungsoptionen und Empfehlungen

Mit der vorliegenden Untersuchung wurde weltweit erstmalig eine Berechnung des Materialbestandes in Rechenzentren vorgenommen. Zu diesem Zweck wurde ein Modell entwickelt, welches markt- und einsatzbezogene Kenngrößen wie den Gerätebestand mit technischen und umweltbezogenen Referenzdaten kombiniert und damit eine transparente Berechnung des Materialbestandes ermöglicht. Der gewählte methodische Ansatz erlaubt eine detaillierte Analyse und Verortung der in Rechenzentren verbauten Materialien. Er kombiniert einen hohen materialbezogenen Detaillierungsgrad mit technischen bzw. gerätespezifischen Bezugsgrößen. Dies ermöglicht die bessere Identifizierung von Veränderungen des Materialbestandes durch technischen Fortschritt und Marktentwicklung.

Es muss festgestellt werden, dass für den gewählten methodischen Ansatz eine Fülle von (spezifischen) Datensätzen notwendig sind. Die Erstellung dieser Datensätze setzt eine dezidierte Untersuchung von Referenzprodukten bzw. Referenzkomponenten voraus. An dieser Stelle entsteht ein hoher Untersuchungsaufwand, der jedoch für die Qualität des Ergebnisses von großer Bedeutung ist. Es ist zu betonen, dass die Ermittlung neuer Datensätze zwar kostenintensiv aber für realistische Abschätzungen eine Grundvoraussetzung ist. Wie die vorliegenden Studienergebnisse zeigen, haben die geringen Mengen an Edelmetallen sowie anderen seltenen Materialien eine höhere ökonomische und ökologische Bedeutung als die in großen Mengen zum Einsatz kommenden Massenmaterialien. Eine Ausnahme bildet Kupfer, dessen ökonomischer und ökologischer Wert durch erhöhte globale Nachfrage stetig steigt. Um nun die Größenordnung der in Rechenzentren oder auch in der Telekommunikationstechnik verbauten Wertstoffe (Edelmetalle, andere Übergangsmetalle und seltene Erden) weitaus genauer zu bestimmen, müssen neue und detaillierte Materialanalysen (Sachbilanzen) insbesondere der Elektronikbaugruppen (bestückte Leiterplatten) vorgenommen werden. Sie bildet damit eine Grundlage zu einer umfassenden ökologischen Bewertung der Nutzung von Informationstechnik in Rechenzentren.

### **Datenlage weiter verbessern**

Die vorliegende Untersuchung gibt erstmals einen Überblick über die Größenordnungen der in Rechenzentren verwendeten Materialien. Allerdings ist der Detaillierungsgrad im Bereich der kleinen aber bedeutsamen Mengen an Wertstoffen noch deutlich zu verbessern. In einzelnen Punkten sollte durch weitere Untersuchungen die Datenlage überprüft und verbessert werden:

- Materialien in den Elektronikbauteilen zum Einstück kommen (bestückte Leiterplatten, SSD, neue Kühlungssysteme wie Wasserkühlung auf der Platine etc.).
- Netzwerktechnik (insbesondere elektro-optische Interfaces von Routern und Switches, Glasfaserkabel unterschiedlicher Qualität etc.).
- Stromversorgung (Baugruppen der Leistungselektronik, alternative Batterie-Systeme, Stromschienen, Direkte Gleichstromversorgung)
- Klimatisierung.

Die entwickelte Methodik und das aufgestellte Mengenmodell zur Anzahl, Struktur und Ausstattung der Rechenzentren in Deutschland ermöglichen es, weitere Detaillierungen oder Veränderungen der Materialzusammensetzung in Einzelkomponenten zu berücksichtigen. So können beispielsweise beim Vorliegen von Daten zum Einsatz bestimmter seltener Metalle in den Einzelkomponenten die Gesamtmengen dieser Elemente im Bestand der deutschen Rechenzentren ermittelt werden.

Zur Verbesserung der Datenlage könnte außerdem gemeinsam mit Betreibern und Herstellern für die verschiedenen Typen von Rechenzentrum eine Erhebung der tatsächlichen Materialien vorgenommen werden, um diese mit den hier zugrunde gelegten Annahmen zu vergleichen.

### **Weiterer Forschungsbedarf**

Der ermittelte Bestand der Materialien in den deutschen Rechenzentren kann als Basis für eine umfassende Bewertung des Ressourcenbedarfs der Rechenzentren genutzt werden. Hierzu wären auch die Rohstoff- und Energiebedarfe über den gesamten Produktlebenszyklus von der Produktion bis hin zur Entsorgung/Verwertung der Geräte und Anlagen zu erheben und zu bewerten. Neben der Menge der einzelnen Materialien und Rohstoffe ist es auch von Bedeutung, wo und in welcher Form sie jeweils vorliegen und inwieweit sie für Recycling-Prozesse geeignet sind.

Eine Methodik, um die ökologischen Wirkungen des Materialeinsatzes in Rechenzentren umfassend zu bewerten, ist die Berechnung des kumulierten Rohstoffaufwandes (KRA) und die Berechnung des kumulierten Primärenergieaufwandes (KEA). Bisher liegen die hierzu erforderlichen Daten bezüglich in Rechenzentren eingesetzten Materialien nur lückenhaft vor. Insbesondere fehlen detaillierte und wissenschaftlich fundierte Zahlen bei Elektronikbauteilen sowie Daten über den Rohstoffverbrauch im Herstellungsprozess.

Zur Bewertung des Ressourcenbedarfs der Informationstechnik ist es weiterhin sinnvoll, nicht nur den Materialeinsatz in Rechenzentren, sondern auch die Geräte in Haushalten und Büros zu berücksichtigen. Die vorliegende Untersuchung hat ergeben, dass im Jahr 2008 ca. 14.000 t Elektronik in Servern, Netzwerk und Speichertechnologie der Rechenzentren verbaut sind. Demgegenüber stehen allein ca. 60 Mio. PCs und Notebooks in Haushalten und Unternehmen (BMW 2009, 117ff.). Nimmt man pro Gerät nur einen Elektronikanteil von 1 kg an, so käme man schon auf die mehr als vierfache Menge an Elektronik in diesen Geräten. Die Berücksichtigung von Endgeräten wie PCs und Notebooks hat eine besondere Relevanz, das ein deutlicher Trend zur Zentralisierung von Rechenleistung in Rechenzentren aber auch zu neuen, leistungsfähigeren Telekommunikationsnetzen mit entsprechender Vermittlungstechnik festzustellen ist – verbunden mit weniger leistungsstarken Geräten an den Arbeitsplätzen (z.B. Thin Clients – vgl. Glossar). Um die verschiedenen Alternativen ökologisch bewerten zu können, müsste die entsprechende Datenlage geschaffen werden.

### **Chancen materialeffizienter IKT nutzen**

Für die Politik und die IKT-Wirtschaft stellt sich vor allem die Herausforderung, einen Bewusstseinswandel zu erreichen und das Thema Materialeffizienz in den Köpfen von Herstel-

lern, Händlern und Anwendern zu verankern. Im Endgerätebereich bieten materialeffiziente IKT-Geräte wesentliche Vorteile für den Nutzer: Sie sind leichter und oftmals eleganter. Oft sind auch weitere Vorteile wie z.B. der Verzicht auf einen Lüfter und ein niedrigerer Energieverbrauch mit dem niedrigen Materialeinsatz verbunden. Diese Vorteile, die für Verbraucher die Attraktivität der Produkte erhöhen, sind im Rechenzentrum oft nicht gegeben. Für den Rechenzentrumsbetreiber ist der Materialeinsatz – im Gegensatz zum Energieeinsatz – noch von untergeordneter Bedeutung. Wie diese Untersuchung gezeigt hat, können deutliche Verbesserungen der Energieeffizienz zwar dazu führen, dass der Materialbedarf nicht weiter ansteigt, ein Absenkung der Materialbedarfe in Rechenzentren ist aber nicht zu erwarten. Ein Beibehalten der bereits erfolgten Anstrengungen von Politik und IKT-Wirtschaft, die Energieeffizienz zu verbessern, ist daher sinnvoll. Diese Anstrengungen reichen aber nicht aus, um auch den Materialbedarf in Rechenzentren abzusenken. Hier sind zusätzliche Maßnahmen und Anreize erforderlich. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf den Trend zu kürzeren Produkteinsatzzyklen (bei Servern ca. 3 bis 4 Jahre) als auch in Hinblick auf die stetig wachsende Rechen- und Speicherbedarfe. Beides führt zu einem wachsenden Durchsatz an Equipment mit wertvollen Materialien (IT-Technik). Geht man davon aus, dass ca. ein Fünftel der im Feld aktiven IT-Technik (Server, Speicher, Netzwerktechnik) pro Jahr in der Rücknahme anfällt, so ist das eine durchaus beachtliche Größenordnung an Wertstoffen. Das wertstoffliche Recycling sollte vor diesem Hintergrund durch Design-for-Recycling und optimierten Recyclingprozessen verbessert werden.

Offen ist noch immer, an welchen Stellen ggf. Anreize für Hersteller und Entsorger zur Verbesserung bestehen. Auch diese Situation sollte eingehend analysiert werden. Eine besondere Herausforderung für die Politik besteht also in der Schaffung von Rahmenbedingungen, die das Schließen von Stoffkreisläufen ermöglichen und den Export potenzieller Rohstofffraktionen des Elektronikschrotts mindern bzw. die Recyclingprozesse in den Exportländern auf den Stand der Technik anheben.

Die Untersuchung hat gezeigt, dass ein großer Anteil der Materialien in großen und mittleren Rechenzentren gebunden ist und dieser Anteil in den kommenden Jahren deutlich ansteigen wird. Im Jahr 2015 werden mehr als ein Drittel der Materialien in „Großen Rechenzentren“ gebunden sein. Diese – je nach Szenario – 75 bis 90 Rechenzentren bieten einen guten Ansatzpunkt für gezielte Maßnahmen in mehrfacher Hinsicht. Zum einen eignet sich diese Anwendergruppe als Zielgruppe für gezielte Informations- und Kommunikationsmaßnahmen. Außerdem kann über die gezielte Recherche in dieser überschaubaren Zielgruppe die Datenlage weiter verbessert werden. Durch den insgesamt hohen Marktanteil können diese Anwender ggf. Einfluss auf das Angebot der Hersteller ausüben.

Von besonderem Interesse sind auch die wirtschaftlichen Auswirkungen der Green-IT-Bemühungen. Wie die verschiedenen Szenarien in dieser Untersuchung gezeigt haben, kann die erforderliche Rechenleistung mit deutlich unterschiedlichen Energieverbräuchen und Rechenzentrumsausstattungen realisiert werden. Dies kann erhebliche Auswirkungen auf die Anbieter von Produkten und Lösungen haben. Ein Weniger an Hardware würde z.B. ein Mehr an Virtualisierungs- und Managementsoftware bedeuten sowie höhere Beratungs- und Planungsaufwendungen. Diese Verschiebungen in der Wertschöpfung sollten genauer



untersucht werden, um auch mögliche wirtschaftliche Chancen und Risiken der verschiedenen Entwicklungspfade abschätzen zu können.

### **Aktivitäten bündeln – wirtschaftliche Chancen nutzen**

Diese Untersuchung hat gezeigt, dass über den intelligenten Einsatz von IKT in erheblichem Umfang neben Energieeinsparungen auch die Materialeffizienz in Rechenzentren verbessert werden kann. Politisch geht es vor allem darum, die aufgezeigten Potenziale auch tatsächlich zu realisieren. Die bislang vorhandenen Förder- und Entwicklungsaktivitäten müssen ausgebaut und besser aufeinander abgestimmt werden, z.B. im Rahmen eines nationalen Masterplans „Green IT 2020“. Dieser sollte die Potenziale für Deutschland quantifizieren, klare langfristige Einsparziele setzen, diese mit konkreten Umsetzungsprogrammen und Meilensteinen untersetzen und in einem kontinuierlichen Monitoringprozess für die Erreichung der Ziele und für Abstimmung zwischen Politik, IKT-Wirtschaft und Anwendern sorgen.

# 11 Glossar

## **2U**

Eine Rack Unit (U) ist ein Maß zur Beschreibung von Höheneinheiten in einem Serverrack. Eine Rack Unit ist 1.75" (44.45 mm) hoch. 2U bedeutet zwei Rack Units, also 88,9 mm.

## **10 GBase-T**

10 GBase-T ist ein Standard für Kupferverkabelung in einem 10 Gigabit-Ethernet.

## **Blade Server**

Sehr flache Serverbauweise, bei der die einzelnen Server (Blades) in der Regel nur eine eigene Hauptplatine mit Mikroprozessoren und Arbeitsspeicher besitzen. Mehrere Blades werden in einem gemeinsamen Baugruppenträger (Blade-Center oder Blade-Enclosure) betrieben, der ihnen Stromversorgung, Lüftung, Laufwerke, Netzwerkanschlüsse etc. bereitstellt.

## **Brennstoffzelle**

Eine Brennstoffzelle ist ein Energiewandler, der die chemische Reaktionsenergie eines kontinuierlich zugeführten Brennstoffes und eines Oxidationsmittels direkt in elektrische Energie wandelt. Damit ist die Brennstoffzelle potenziell energieeffizienter als andere – heute typischerweise verwendete – Energiewandler, die chemische Energie zunächst in mechanische Energie und dann in elektrische Energie wandeln. Im IKT-Bereich ist die Brennstoffzelle insbesondere für den Einsatz als energieeffizientes Notstromaggregat oder für mobile Rechenzentren geeignet.

## **Cloud Computing**

Cloud Computing bezeichnet einen neuen Ansatz für IT-Lösungen, in dem die Computeranwender die Software und die dazu notwendige Hardware nicht mehr selbst betreiben, sondern hierzu auf einen Dienstleister zurückgreifen. Anwendungen und Daten befinden sich dabei nicht mehr auf dem lokalen Rechner. Sie werden über ein leistungsfähiges Netzwerk von einer Anzahl von entfernten Systemen bereitgestellt.

## **Colocation Rechenzentren**

Rechenzentrum, in dem ein Anbieter seinen Kunden Rechenzentrumsfläche und Versorgungsinfrastruktur bereit stellt. Die IT-Geräte sind aber im Besitz des Kunden. Siehe Housing.

## **CRM**

CRM (Customer Relationship Management) Software unterstützt ein Unternehmen bei der systematischen Gestaltung der Kundenbeziehungs-Prozesse. Sie liefert für die Kommunikation im Kundenprozess verlässliche Zahlen, Daten und Fakten.

## **Data Centre Infrastructure Efficiency (DCiE)**

Data Center Infrastructure Efficiency. Die DCiE gibt das Verhältnis des Energieverbrauchs der IT zum Gesamtenergieverbrauch eines Rechenzentrums in Prozent an.

## **Desktopvirtualisierung (VDI – Virtual Desktop Infrastructure)**

Bei diesem Konzept erfolgt eine Virtualisierung des individuellen PC-Desktops im Rechenzentrum. Die Anwender können über Endgeräte (Terminals), z.B. Thin Clients, ihren persönlichen virtuellen Einzelrechner im Rechenzentrum zugreifen. Dabei bleibt ihnen der individuelle „Personal Computer“ mit seinen Einstellungen und Programmen erhalten.

## **Direct Attached Storage (DAS)**

Direct Attached Storage bezeichnet an einen einzelnen Server angeschlossene Festplatten, die sich in einem separaten Gehäuse befinden.

## **DSL-Router**

Ein DSL-Router stellt ein System zum Zugang zum Internet dar und ist eine Kombination aus DSL-Modem, Switch und Router.

## **Dual Core**

Prozessor mit zwei Prozessorkernen. Dual Core Prozessoren wurden entwickelt, weil mit ihnen eine weitere Steigerung der Prozessorleistung möglich war, ohne die Taktfrequenz weiter zu erhöhen oder mehrere Prozessoren im Parallelbetrieb zu nutzen. Da der Energieverbrauch eines Prozessors exponentiell mit der Taktfrequenz steigt, sind Dual Core Prozessoren verhältnismäßig energieeffizient.

## **ERP-Software**

ERP (Enterprise-Resource-Planning) Software ist ein Unternehmens-Informationssystem, womit alle geschäftsrelevanten Bereiche eines Unternehmens im Zusammenhang betrachtet werden können.

## **Flash-Speicher**

Digitale Speicherchips, bei denen auch ohne Stromzuführung die Daten erhalten bleiben. Flash-Speicher sind sehr energieeffizient.

## **Floting Point Operations per Second (Flops)**

Flops ist eine Maßeinheit für die Geschwindigkeit von Computersystemen. Die Größe gibt an, wie viele Gleitkommazahl-Operationen (Additionen oder Multiplikationen) pro Sekunde von dem Computersystem bzw. von dem Prozessor ausgeführt werden können.

## **Freikühlungssystem**

Bei Freikühlungssystemen wird bei entsprechend niedrigen Temperaturen die Außenluft zur Kühlung genutzt. Bei der Direkten Freien Kühlung wird die Außenluft direkt in den zu kühlenden Raum geleitet. Bei der Indirekten Freien Kühlung werden Wärmetauscher zur indirekten Kühlung der Raumluft über die Außenluft genutzt.

## **Gleich- und Wechselstromversorgung in Rechenzentren**

Typischerweise sind Rechenzentren mit Wechselstrom versorgt. Die erforderlichen Stromwandlungen (z.B. Doppelwandlung in der USV, Wandlung auf die verschiedenen Spannungsniveaus in Servern) führen jeweils zu Stromwandlungsverlusten. Daher bietet eine zentrale Stromversorgung von Rechenzentren mit Gleichstrom ein erhebliches Effizienzpotenzial. Versuche zeigen, dass durch die Reduktion von Wandlungsverlusten sowie den Einsatz gleichstromfähiger Komponenten (Server, USV, etc.) in Rechenzentren mindestens 10 % Energie im Vergleich zum effizienten Betrieb mit Wechselstrom eingespart werden können. Aufgrund der für die Energieeffizienz ungünstigeren Spannungsversorgung in den USA im Mittel- und Niederspannungsbereich sind dort die Energieeffizienzvorteile, die durch Gleichstromversorgung erreicht werden können, besonders hoch.

## **Global Area Network**

Ein Global Area Network ist ein Datennetz, das über unbegrenzte geographische Entfernungen mehrere Wide Area Networks (WAN) verbinden kann.

## **Green Grid**

Die Initiative "The green Grid" ist ein weltweites Konsortium von Unternehmen aus dem IKT-Bereich mit dem Ziel, die Energieeffizienz in Rechenzentren zu fördern. Die Initiative soll den Austausch von IT-Profis über das Thema Energiesparen erleichtern, Tipps und Richtlinien zur optimalen Energienutzung in Rechenzentren ausarbeiten und mit anderen Organisationen kooperieren, um bessere Messmethoden zur Charakterisierung des Energiebedarfs von IT-Systemen zu erarbeiten.

## **Grid-Computing**

Grid-Computing ist ein Verbund von lose gekoppelten Computern. Dieser in seiner Zusammensetzung teilweise sehr heterogene Verbund simuliert einen virtuellen Computer, der seine Rechenleistung und Speicherkapazitäten einer Anwendung zur Verfügung stellt. Ein „Grid“ (Netz) wird meist für ganz bestimmte Tätigkeit ausgelegt z.B. zum Ausrechnen von sehr aufwendigen mathematischen Gleichungen.

## **Hard Disk Drive (HDD)**

Festplatte

## **Highend Server**

Siehe Mainframe Server.

## **Hosted Virtual Desktop (HVD)**

Hosted Virtual Desktop: Bei einem Hosted Virtual Desktop handelt es sich um eine auf der Technologie der Virtualisierung aufbauende Methode, PC-Software in Serverumgebungen zu nutzen. Hierzu wird auf einem Server ein virtueller PC eingerichtet, dem Speicherplatz und Festplattenkapazität zur Verfügung stehen. Auf diesem virtuellen PC werden das gewünschte Betriebssystem und die nötigen Anwendungen installiert. Der Zugriff auf diesen virtuellen PC erfolgt über ein Endgerät, welches aber selbst über keine großen Ressourcen verfügen muss.

## **Housing**

Unter Housing bzw. Serverhousing versteht man die Unterbringung von Servern bei einem Dienstleister. Dieser stellt die Netzanbindung und in der Regel auch sichere Infrastruktur wie USV, Klimatisierung, Brandschutz, Bewachung etc. zur Verfügung.

## **Hybrid Hard Drive (HHD)**

Bei der Hybridfestplatte (Hybrid Hard Disk) wird eine herkömmliche Festplatte mit einem Solid-State-Speicher (SSD) kombiniert. Da Solid State Speicher bislang noch relativ teurer sind, sollen mit HHD kostengünstig die Vorteile einer Solid State Disk (SSD) erreicht werden (schnellerer Zugriff, energieeffizienter).

## **IKT**

Informations- und Kommunikationstechnik

## **Komfortklimaanlage**

Klimaanlage, die auf Luftbedingungen ausgelegt ist, die für Menschen komfortabel sind. Im Gegensatz zu Präzisionsklimaanlagen entfeuchten die Geräte die Raumluft, haben einen geringen Luftvolumenstrom und sind nicht für den Ganzjahresbetrieb ausgelegt.

## **Konsolidierung**

Mit Konsolidierung ist der Prozess der Vereinheitlichung und Zusammenführung von Systemen, Applikationen, Datenbeständen oder Strategien gemeint. Ziel ist hier meist die Vereinfachung und Flexibilisierung der Infrastruktur. Damit einher geht in der Regel auch eine erhebliche Absenkung des Energieverbrauchs.

## **LAN - Local Area Network**

Lokales Datennetz in der Computertechnik.

## **Mainframe Server**

Großrechner (Highend Server), der auf Zuverlässigkeit und hohen Datendurchsatz ausgelegt ist. Die typischen Anwendungen eines Mainframes sind in Banken, Versicherungen, großen Unternehmen und in der öffentlichen Verwaltung gegeben. Das Marktforschungsunternehmen IDC definiert Mainframe Server über die Preisklasse größer 500.000 \$.

## **Midrange Sever**

Ein Midrange Server ist ein Server mittlerer Größe und Rechenleistung. Das Marktforschungsunternehmen IDC definiert Midrange Server über die Preisklasse zwischen 25.000 und 500.000 \$.

## **Network Attached Storage (NAS)**

Ein NAS-System ist ein Dateiserver (Fileserver) der Dateisysteme oder einen Teil eines Dateisystems in einem Rechnernetz zur Verfügung stellt.

## **Netzwerkspeicher (NS)**

Unter Netzwerkspeicher wird in dieser Untersuchung Festplattenspeicher verstanden, der den Servern über das Netzwerk zur Verfügung gestellt wird, also Network Attached Storage und Storage Area Network Speichersysteme.

## **Präzisionsklimaanlage**

Klimaanlage, die sowohl die Temperatur als auch die Luftfeuchtigkeit konstant halten kann.

## **PUE**

Power Usage Effectivness. Die PUE gibt das Verhältnis des Gesamtenergieverbrauchs eines Rechenzentrums zum Energieverbrauch der IT im Rechenzentrum an.

## **Quad Core**

Quad Core Prozessoren sind wie Dual Core Prozessoren mit mehreren Prozessorkernen, in diesem Fall vier Prozessorkernen. Sie sind noch leistungsfähiger und energieeffizienter als Dual Core Prozessoren.

## **Rack**

Unter einem Rack wird ein Gestell zum Einbau von Elektrogeräten/IT-Geräten (Server, Netzwerkgeräte, etc.) mit einer genormten Breite von 19 Zoll verstanden.

## **Rackserver**

Serverbauart, die insbesondere in Rechenzentren eingesetzt wird. Es haben sich Rack-Server im 19-Zoll-Standardformat etabliert (siehe Rack). Rackserver werden in unterschiedlichen Bauhöhen realisiert. In die flachsten Systeme mit 1 HE (Höheneinheit der Height Unit/HU, 1,75 Zoll, etwa 4,5 Zentimeter) Bauhöhe passen bis zu zwei (selten vier) Prozessoren.

## **Rebound**

Mit Rebound wird der Umstand bezeichnet, dass das theoretische Einsparpotenzial von Effizienzsteigerungen nur teilweise oder gar nicht realisiert wird. Dies kann z.B. dadurch begründet sein, dass die Effizienzsteigerung zu einer Preissenkung führt, wodurch die Nachfrage ansteigt. Ein anderer Effekt wäre, dass die eingesparten Mittel an anderer Stelle verwendet werden.

## **RFID**

Radio Frequency Identification (Identifizierung mit Hilfe von elektromagnetischen Wellen).

## **RoHS**

Restriction of the use of certain hazardous substances - EG-Richtlinie 2002/95/EG zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten.

## **SATA – Serial ATA**

SATA (Serial Advanced Technology Attachment) bezeichnet eine Datenbustechnik, die zum Datenaustausch zwischen Prozessor und Festplatte verwendet wird. SATA ist eine Weiterentwicklung des ATA-Standards, bei dem die Daten parallel über 16 Leitungen übertragen werden.

## **Server Based Computing/Server Centric Computing (SBC/SCC)**

Zentrale Bereitstellung von Anwendungen auf leistungsfähigen Servern. SBC ermöglicht es, mit Thin Clients oder anderen Endgeräten Anwendungen zu nutzen, die in einem zentralen Application Server ablaufen. Die Thin Clients/PCs werden dabei als Endgeräte (Terminals) verwendet, welche im Wesentlichen der Eingabe und Ausgabe von Daten (über Tastatur, Maus und Monitor) dienen.

## **Serverfarm**

Eine Serverfarm ist eine Gruppe von gleichartigen, vernetzten Servern, die zu einem logischen System verbunden sind.

### **Solid State Disk (SSD)**

Speichermedium, das wie eine herkömmliche Festplatte eingebaut und genutzt werden kann, aber zur Speicherung Halbleiterspeicherbausteine mit großer Kapazität verwendet. SSD sind kleiner, leichter, schneller im Zugriff und energieeffizienter als herkömmliche Festplatten.

### **Split-Klimagerät**

Mit Split-Klimageräten werden solche Klimaanlage bezeichnet, die über eine Außeneinheit (Kondensator/Kompressor) sowie eine mit dieser verbundenen Inneneinheit (Verdampfer) verfügen. In Multi-Splitanlagen sind mehrere Inneneinheiten mit einer Außeneinheit verbunden.

### **Standard Performance Evaluation Corporation (SPEC)**

SPEC ist eine Non-Profit-Organisation, die Benchmarks zur Leistungsbewertung von Hardware und Software entwickelt. Der Benchmark-Test SPECpower\_ssj2008 gibt Auskunft über das Verhältnis von Rechenleistung zu Energieverbrauch eines Servers.

### **Storage Area Network (SAN)**

Ein SAN ist ein Netzwerk zwischen Servern und von ihnen genutzten externen Speicherressourcen (Festplattensysteme, Magnetbandlaufwerke, etc.).

### **Supercomputer**

Ein Supercomputer Rechner, der zum Zeitpunkt seiner Einführung im obersten realisierbaren Leistungsbereich arbeitet. Moderne Supercomputer sind Parallelrechner, in denen die Rechenoperationen auf mehrere – meist sehr viele – Prozessoren verteilt werden.

### **Switch**

Ein Switch (engl. Schalter) ist ein Netzwerk-Gerät zur Verbindung mehrerer Computer bzw. Netz-Segmente in einem lokalen Netzwerk (LAN). Switches sind intelligente Netzwerkgeräte, die den Netzwerkverkehr analysieren und logische Entscheidungen treffen.

### **Thin Client**

Computerendgerät, dessen Hardwareausstattung im Vergleich zum PC bewusst reduziert ist und das im Wesentlichen zur Ein- und Ausgabe von Daten dient. Die eigentliche Datenverarbeitung erfolgt auf einem zentralen Server, auf welchen der Thin Client zugreift.

### **TIER**

Das US-amerikanische Uptime-Institut ([www.uptimeinstitute.org](http://www.uptimeinstitute.org)) hat eine Spezifizierung von Verfügbarkeit im Rechenzentrum für bauliche Strukturen und betriebstechnische Anlagen herausgegeben (Uptime 2006). Hierin werden die Verfügbarkeitsklassen TIER I (Verfügbarkeit



99,671%) bis TIER IV (Verfügbarkeit 99,99%) unterschieden, wobei TIER I einpfadige Versorgung ohne Redundanz bedeutet, während bei TIER IV eine zweipfadige Versorgung gefordert ist und in jedem Pfad eine n+1-Redundanz (siehe Glossar) gefordert ist.

### **Towerserver**

Serverbauart mit Towergehäuse. Diese Stand-Alone-Variante von Servern wird insbesondere in kleinen und mittleren Unternehmen verwendet.

### **Unix-Server**

Mittelgroße Serverkategorie (vgl. Midrange Server), die mit dem Betriebssystem Unix arbeitet.

### **USV**

Unterbrechungsfreie Stromversorgung

### **VLAN - Virtual Local Area Network**

Ein VLAN ist ein logisches Teilnetz innerhalb eines physikalischen Computernetzes (LAN).

### **VoIP – Voice over IP**

VoIP bezeichnet das Telefonieren über Computernetzwerke, die nach Internetstandards aufgebaut sind.

### **Voltage and Frequency Independent – sinusoidal under all kind of loads (VFI-S)**

VFI-S ist ein USV-Typ mit einem relativ hohen Absicherungsstandard. Dieser USV-Typ wird auch als "Online"-, "Double-Conversion"-, "Dauerbetriebs"- oder "Doppelwandler"-USV bezeichnet. VFI-USV schützen nicht nur vor den Folgen eines Stromausfalls, Unterspannung und Überspannung, sondern auch vor Schwankungen der Frequenz und vor Oberschwingungen.

### **Virtualisierung**

Mit Virtualisierung können Computerressourcen zusammengefasst oder aufgeteilt werden. Virtualisierung abstrahiert von der tatsächlich vorhandenen Hardware und stellt logische Systeme zur Verfügung. Ein typisches Anwendungsgebiet ist die Servervirtualisierung, bei der ein Hardwareserver so aufgeteilt wird, dass dem Anwender mehrere logische Server zur Verfügung gestellt werden, auf denen z.B. verschiedene Betriebssysteme installiert werden können.

### **Volume Server**

Kleinere Server meist mit sogenannter Intel-Architektur. Das Marktforschungsunternehmen IDC definiert Volume-Server über die Preisklasse kleiner 25.000 \$.

## **WEEE**

WEEE-Richtlinie (Waste Electrical and Electronic Equipment): EG-Richtlinie 2002/96/EG

## **Wide Area Network (WAN)**

Weitverkehrsnetz: Ein Datennetz, das sich über große geographische Bereiche (Regionen, Länder, Kontinente) erstreckt.

## **WLAN – Wireless Local Area Network**

Ein WLAN ist ein lokales Datennetz (LAN) das über Funk arbeitet.

## 12 Fragebogen zur Ermittlung der Trends



Borderstep Institut

### Materialbestand der Rechenzentren in Deutschland

#### Fragekatalog für den Expertenworkshop am 14. Januar 2010

(Ergebnisse sind in blau eingetragen)

Im Folgenden sind einige Trends formuliert, die einen Einfluss auf den Materialbedarf in Rechenzentren haben können. Dabei werden folgende Themengebiete unterschieden:

- Generelle IT-Trends
- IT (Server, Speicher und Netzwerkinfrastruktur)
- Stromversorgung
- Racks und Einhausungen
- Klimatisierung

Bitte geben Sie jeweils Ihre persönliche Einschätzung an. Wenn Sie bezüglich einer Trendaussage keine Einschätzung machen können oder wollen, kreuzen Sie bitte „Weiß nicht“ an. Wenn Sie bei den vertiefenden bzw. quantifizierenden Aussagen (letzte Spalte) keine Aussage machen möchten/können dann lassen Sie das Feld einfach frei. Die Auswertung der Fragebögen erfolgt anonymisiert. Um Ihre Antworten besser einordnen zu können und ggf. für Rückfragen bitten wir Sie dennoch, uns folgende Angaben zu machen:

Wie würden Sie Ihr Unternehmen / Ihre Organisation einordnen? (Mehrfachangaben möglich)

- |   |   |   |
|---|---|---|
| <input type="checkbox"/> IT-Hersteller (5)              | <input type="checkbox"/> Planer/Berater (5)     | <input type="checkbox"/> Behörde (2)                  |
| <input type="checkbox"/> Systemhaus/Distributor (0)     | <input type="checkbox"/> Forschungsinstitut (2) | <input type="checkbox"/> Rechenzentrums-Betreiber (1) |
| <input type="checkbox"/> Hersteller von Klimaanlage (4) | <input type="checkbox"/> Sonstiges (6)          | (Anschlussleistung RZ: ____ kW)                       |
| USV und anderer Infrastruktur                           |   |   |

Name/Kontaktinformation (Angabe freiwillig): 22 Teilnehmer

Name: \_\_\_\_\_

Tel: \_\_\_\_\_

E-Mail: \_\_\_\_\_

	Ich stimme der Aussage				Ggf. detaillierte Angaben (soweit möglich)
	voll zu	teilweise zu	nicht zu	weiß nicht	
<b>Generelle IT Trends</b>					
1. Durch eine weiterhin stark steigende Nutzung des Internets (Video, Photo, Anzahl von E-Mails, Websites etc.), steigende Daten und Speichermengen und eine Zunahme der IT-Unterstützung in fast allen Geschäftsprozessen wird die benötigte Rechenleistung in Deutschland weiterhin stark ansteigen.	<input type="checkbox"/> (19)	<input type="checkbox"/> (3)	<input type="checkbox"/> (0)	<input type="checkbox"/> (0)	
2. Die Zentralisierung von Rechenleistung und Datenspeicherung vom Arbeitsplatz in Rechenzentren wird stark zunehmen. (Ursachen: Verbreitung von Thin client & server based computing, Desktopvirtualisierung, Hosted Virtual Desktop, Software as a Service, Cloud Computing usw.,)	<input type="checkbox"/> (12)	<input type="checkbox"/> (7)	<input type="checkbox"/> (2)	<input type="checkbox"/> (1)	
3. Im internationalen Vergleich werden die Rechenkapazitäten in Deutschland in Zukunft stärker zunehmen als der Durchschnitt.	<input type="checkbox"/> (1)	<input type="checkbox"/> (9)	<input type="checkbox"/> (8)	<input type="checkbox"/> (3)	

Generelle IT Trends	Ich stimme der Aussage				Ggf. detaillierte Angaben (soweit möglich)
	voll zu	teilweise zu	nicht zu	weiß nicht	
4. Die Effizienzsteigerungen bei der IT-Hardware und die Trends bei der Software (Virtualisierung etc.) werden die steigenden Anforderungen an Rechenkapazität mehr als ausgleichen, so dass in Zukunft weniger physische Hardware notwendig sein wird.	<input type="checkbox"/> (1)	<input type="checkbox"/> (6)	<input type="checkbox"/> (13)	<input type="checkbox"/> (1)	Verglichen mit 2008 wird sich die Materialmenge (in kg) in deutschen Rechenzentren im Jahr 2015  <input type="checkbox"/> um mehr als 5 % zurückgehen (2) <input type="checkbox"/> ungefähr gleich bleiben (+/- 5 %) (3) <input type="checkbox"/> um mehr als 5 % steigen (10)
5. Die Struktur der Rechenzentren in Deutschland wird sich bis 2015 ändern	<input type="checkbox"/> (6)	<input type="checkbox"/> (9)	<input type="checkbox"/> (1)	<input type="checkbox"/> (4)	Verglichen mit 2008 wird die Zahl  steigen gleich fallen bleiben  Serverschränke (3-10 Server) <input type="checkbox"/> (8) <input type="checkbox"/> (1) <input type="checkbox"/> (7) Serverräume (11-100 Server) <input type="checkbox"/> (3) <input type="checkbox"/> (4) <input type="checkbox"/> (8) Kleinen RZ (101-500 Server) <input type="checkbox"/> (3) <input type="checkbox"/> (8) <input type="checkbox"/> (4) Mittleren RZ (501-5000 Server) <input type="checkbox"/> (9) <input type="checkbox"/> (5) <input type="checkbox"/> (3) Großen RZ (über 5000 Server) <input type="checkbox"/> (9) <input type="checkbox"/> (5) <input type="checkbox"/> (1)
6. weitere generelle IT-Trends: (Einzelnennungen)					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• mehr Blade-Server = veränderte Kühlleistung z. T. Flüssigkühlung auf dem Chip // Klarer Trend zu "Energieeffizienz im RZ"</li> <li>• Cloud Computing, Software / Application as a Service, Storage as a Service</li> <li>• Zunahme Private-Cloud-Computing</li> <li>• mehr virtuelle Umsetzungen</li> <li>• Leistung der x86 Server wird stark steigen, Konsequenz: Traditionelle Mainframes und Risc/Unix Server stärker zurückgehen, Zahl der 2-Sockel-Server: zunehmen / Zahl der 4-Sockel-Server: eher abnehmen / Zahl der &gt;4-Sockel Server: eher abnehmen</li> </ul>					
<b>IT (Server, Speicher und Netzwerkinfrastruktur)</b>					
7. Der Anteil der Gehäuse (Stahl, Aluminium, Kunststoff) am Gesamtgewicht der IT-Geräte nimmt durch insgesamt sinkende Formfaktoren (z.B. zunehmender Einsatz Bladeserver, Solid State Drives statt rotierende Harddrives) ab	<input type="checkbox"/> (7)	<input type="checkbox"/> (9)	<input type="checkbox"/> (2)	<input type="checkbox"/> (3)	Gewichtsanteil der Gehäuse: 2008: ca. 40 % 2015: ca. ___ % (9 Antworten; Ø 31%)
8. Netzteile werden kleiner und effizienter	<input type="checkbox"/> (13)	<input type="checkbox"/> (7)	<input type="checkbox"/> (0)	<input type="checkbox"/> (1)	Gewichtsanteil der Netzteile 2008: ca. 25-30 % 2015: ca. ___ % (9 Antworten; Ø 17%)
9. Um die Ausfallsicherheit zu erhöhen, werden zunehmend redundante Netzteile eingesetzt	<input type="checkbox"/> (10)	<input type="checkbox"/> (6)	<input type="checkbox"/> (4)	<input type="checkbox"/> (1)	Anteil Server mit redundanten Netzteilen 2008: ca. 75% 2015: ca. ___ % (11 Antworten; Ø 81%)

IT (Server, Speicher und Netzwerkinfrastruktur)	Ich stimme der Aussage			weiß nicht	Ggf. detaillierte Angaben (soweit möglich)
	voll zu	teilweise zu	nicht zu		
10. Kompaktere Bauformen und steigende Leistungsdichten führen zu einem zunehmenden Einsatz von Kupfer (höhere Wärmeleitfähigkeit) statt Aluminium für Kühlkörper	<input type="checkbox"/> (5)	<input type="checkbox"/> (8)	<input type="checkbox"/> (2)	<input type="checkbox"/> (6)	Anteil Kupfer in Kühlkörpern 2008: ca. 25 % 2015: ca. __ % (8 Antworten; Ø 33%)
11. Der Einsatz alternativer Werkstoffe (z.B. Keramik statt Kupfer/Aluminium) für Kühlkörper wird zunehmen	<input type="checkbox"/> (3)	<input type="checkbox"/> (3)	<input type="checkbox"/> (1)	<input type="checkbox"/> (13)	Anteil _____ 2015: ca. __ % Anteil _____ 2015: ca. __ % Anteil _____ 2015: ca. __ % (bitte geben Sie den Werkstoff ein) <ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 Eintragungen: Keramik; Durchschnittswert 12,5%</li> <li>• 1 Eintragung: Wärmeaustausch, 20%</li> <li>• 1 Eintragung: innovative Neue, 15%</li> </ul>
12. Der Einsatz von Solid State Drives wird zunehmen	<input type="checkbox"/> (13)	<input type="checkbox"/> (4)	<input type="checkbox"/> (0)	<input type="checkbox"/> (3)	Anteil Solid State Drives 2015: ca. __ % (7 Antworten; Ø 22%)
13. Der Einsatz von Aluminium für Verbindungstechnik statt Gold oder Palladium wird aus Kostengründen zunehmen	<input type="checkbox"/> (2)	<input type="checkbox"/> (6)	<input type="checkbox"/> (2)	<input type="checkbox"/> (11)	
14. Komplexere Bauformen – Multi-Chip-Module: Höhere thermische Anforderungen führen zu höheren Anforderungen an die Verbindungstechnik (mehr Einsatz von Gold und Palladium)	<input type="checkbox"/> (6)	<input type="checkbox"/> (9)	<input type="checkbox"/> (1)	<input type="checkbox"/> (5)	
15. Es wird zunehmend Systeme geben, bei denen eine Flüssigkeitskühlung direkt auf der Hauptplatine bzw. am Prozessor erfolgt	<input type="checkbox"/> (10)	<input type="checkbox"/> (8)	<input type="checkbox"/> (3)	<input type="checkbox"/> (0)	
16. Die durchschnittliche Nutzungszeit von Servern sinkt aufgrund schnellerer Technologiewechsel und schnellerer Alterung der Bauteile	<input type="checkbox"/> (2)	<input type="checkbox"/> (9)	<input type="checkbox"/> (9)	<input type="checkbox"/> (1)	Nutzungsdauer Server 2008: ca. 5,5 Jahre 2015: ca. __ Jahre (9 Antw.; Ø 5%)
17. Steigende Anforderungen an Signal- und Datenübertragungen führen zu einem vermehrten Einsatz von Lichtwellenleitern und optischen Bauelementen	<input type="checkbox"/> (14)	<input type="checkbox"/> (5)	<input type="checkbox"/> (0)	<input type="checkbox"/> (2)	Anteil Lichtwellenleiter 2008 ca. 12 % 2015: ca. __ % (10 Antw.; Ø 22%)
18. Im System selbst (Hauptplatine, Prozessor) werden zukünftig optische Bauteile eingesetzt	<input type="checkbox"/> (5)	<input type="checkbox"/> (7)	<input type="checkbox"/> (1)	<input type="checkbox"/> (8)	Anteil optischer Bauteile 2015: ca. __ % (4 Antw.; Ø 15%)
19. Virtualisierung von Servern und Storage führt zu zunehmender Netzwerktechnik im Rechenzentrum (Mehr Netzwerkports pro physikalischen Server, mehr Switches, mehr Kabel)	<input type="checkbox"/> (10)	<input type="checkbox"/> (8)	<input type="checkbox"/> (2)	<input type="checkbox"/> (0)	
20. Der Stromverbrauch der IT wird durch Verbesserungen der Energieeffizienz im niedrigen IT-Last-Bereich (z.B. Heruntertakten von Prozessoren, Abschalten nicht benötigter Server) stark IT-Lastabhängig	<input type="checkbox"/> (9)	<input type="checkbox"/> (9)	<input type="checkbox"/> (0)	<input type="checkbox"/> (1)	

21. weitere Trends bei IT-Systemen: (Einzelnennungen)					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Virtualisierung von Verbindungen (MPLD), optische passive Netze (PONs), FTTX Netze</b></li> <li>• <b>Die Leistungsdichte pro Rack wird weiter ansteigen, etwa auf bis zu 50 kW pro Rack 2015</b></li> </ul>					
Stromversorgung	Ich stimme der Aussage			weiß nicht	Ggf. detaillierte Angaben (soweit möglich)
	voll zu	teilweise zu	nicht zu		
22. Der Anteil der über USVen abgesicherten IT-Geräte in Rechenzentren nimmt aufgrund höherer Anforderungen an die Verfügbarkeit zu	<input type="checkbox"/> (11)	<input type="checkbox"/> (4)	<input type="checkbox"/> (3)	<input type="checkbox"/> (3)	Anteil der über USV abgesicherten IT-Geräte in Rechenzentren 2008: 85 % 2015: ca. __ % (11 Antw.; Ø 89%)
23. Die Gleichstromversorgung in Rechenzentren nimmt bis 2015 deutlich zu	<input type="checkbox"/> (0)	<input type="checkbox"/> (6)	<input type="checkbox"/> (10)	<input type="checkbox"/> (5)	
24. Der Wirkungsgrad von USVen steigt weiterhin deutlich an.	<input type="checkbox"/> (2)	<input type="checkbox"/> (10)	<input type="checkbox"/> (4)	<input type="checkbox"/> (4)	
25. Es werden zunehmend modulare USV-Anlagen eingesetzt.	<input type="checkbox"/> (7)	<input type="checkbox"/> (8)	<input type="checkbox"/> (0)	<input type="checkbox"/> (5)	
26. weitere Trends bei der Stromversorgung: (Einzelnennungen)					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Vermehrter Einsatz von intelligenten (netzwerkfähige, mit Messeinrichtung versehene, etc.) Stromverteilung in allen Leistungsgrößen, von der Rackmount PDU angefangen über USV-Ausgangsverteilungen bis hin zu Schaltanlagen der RZ. Optimierte Bauformen zur Aufstellung ausserhalb oder innerhalb es Rechnerraums bis hin zur Integration in die Schrankreihe, Steckerfertige Verkabelung inklusive</b></li> <li>• <b>Cloud Computing wird zu geringeren Verfügbarkeitsanforderungen an die Energieinfrastruktur führen. Bei Problemen können jederzeit Anwendungen in ein anderes RZ-Segment oder sogar an einen anderen Standort verschoben werden.</b></li> <li>• <b>Cloud Computing wird zu geringeren Verfügbarkeitsanforderungen an die Energieinfrastruktur führen. Bei Problemen können jederzeit Anwendungen in ein anderes RZ-Segment oder sogar an einen anderen Standort verschoben werden.</b></li> <li>• <b>Innovative USV-Konzepte (z.B. Schwungrad)</b></li> <li>• <b>evtl. Auslagerung der Netzteile aus dem RZ</b></li> </ul>					
Racks und Einhausungen					
27. Für Racks und Einhausungen werden alternative ressourceneffiziente Materialien verwendet (z.B. nachwachsende Rohstoffe)	<input type="checkbox"/> (1)	<input type="checkbox"/> (7)	<input type="checkbox"/> (5)	<input type="checkbox"/> (8)	Racks aus alternativen Materialien 2015: ca. __ % (5 Antw.; Ø 13%)
28. Die Nutzung von RFID zur automatischen Erfassung der IT-Ausstattung (Racks, Verkabelung) wird deutlich zunehmen	<input type="checkbox"/> (8)	<input type="checkbox"/> (7)	<input type="checkbox"/> (1)	<input type="checkbox"/> (5)	Racks mit RFID-Erfassung 2015: ca. __ % (5 Antw.; Ø 21%)
29. Der Anteil direkt wassergekühlter Racks wird zunehmen	<input type="checkbox"/> (9)	<input type="checkbox"/> (8)	<input type="checkbox"/> (2)	<input type="checkbox"/> (2)	Anteil wassergekühlter Racks 2008: ca. 5-10 % 2015: ca. __ % (10 Antw.; Ø 21%)
30. Der Anteil von Einhausungen für Kalt- und Warmgänge wird zunehmen	<input type="checkbox"/> (15)	<input type="checkbox"/> (3)	<input type="checkbox"/> (1)	<input type="checkbox"/> (2)	Anteil Einhausungen 2008: ca. 6 %

					2015: ca. __ % (9 Antw.; Ø 27%)
31. Brennstoffzellen und alternative Batteriesysteme finden zunehmend Verbreitung	<input type="checkbox"/> (3)	<input type="checkbox"/> (11)	<input type="checkbox"/> (3)	<input type="checkbox"/> (5)	Anteil alternativer Batteriesysteme 2015: ca. __ % (5 Antw.; Ø 8%) Anteil Brennstoffzellen 2015: ca. __ % (6 Antw.; Ø 5%)
32. Weitere Trends bei Racks und Einhausungen: (Einzelnennungen)					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diskussion Kaltgang- oder Warmgangeinhaus. Wenn 'Warmgang' gewinnt, dann evtl. Wegfall Doppelboden, dafür aber kleinere Kühlsysteme zwischen Racks einbauen.</li> <li>• Seitenkühler</li> <li>• Optimierung der Luftführung und der Kabelverlegemöglichkeiten der Racks</li> <li>• flexible Einhausungen über Lamellen-Kunststoff-Vorhänge</li> <li>• In-Rack-Kühlung bei High-Density Systemen</li> <li>• Preiswerte Materialien, wenig Glas, wenig Plexiglas, sondern einfachere Konstruktionen, wie Vorhänge aus Kunststoff</li> </ul>					

Klimatisierung	Ich stimme der Aussage			weiß nicht	Ggf. detaillierte Angaben (soweit möglich)
	voll zu	teilweise zu	nicht zu		
33. Die Energieeffizienz von Klimatisierungslösungen wird sich verbessern	<input type="checkbox"/> (17)	<input type="checkbox"/> (2)	<input type="checkbox"/> (0)	<input type="checkbox"/> (1)	
34. Der Anteil von Splitgeräten bei der Klimatisierung von Rechenzentren wird sinken	<input type="checkbox"/> (8)	<input type="checkbox"/> (6)	<input type="checkbox"/> (0)	<input type="checkbox"/> (6)	Anteil Klimaleistung über Splitgeräte 2008: ca. 30 % 2015: ca. __ % (8 Antw.; Ø 20%)
35. Zunehmende Nutzung neuer Kühltechnologien (Absorptionskältemaschinen, Solares Kühlen)	<input type="checkbox"/> (2)	<input type="checkbox"/> (14)	<input type="checkbox"/> (1)	<input type="checkbox"/> (2)	
36. Die Abwärme in Rechenzentren wird in zunehmenden Maße genutzt	<input type="checkbox"/> (6)	<input type="checkbox"/> (13)	<input type="checkbox"/> (1)	<input type="checkbox"/> (0)	Anteil Rechenzentren mit Abwärmenutzung 2015: ca. __ % (5 Antw.; Ø 15%)
37. CO2 wird bis 2015 als Kühlmittel in Rechenzentrum zunehmend genutzt	<input type="checkbox"/> (1)	<input type="checkbox"/> (4)	<input type="checkbox"/> (3)	<input type="checkbox"/> (11)	Anteil Rechenzentren mit CO2-Kühlung 2015: ca. __ % (4 Antw.; Ø 4%)
38. Der Anteil modularer Kühlsysteme wird zunehmen	<input type="checkbox"/> (6)	<input type="checkbox"/> (7)	<input type="checkbox"/> (0)	<input type="checkbox"/> (5)	
39. Der Anteil freier Kühlung wird zunehmen	<input type="checkbox"/> (12)	<input type="checkbox"/> (6)	<input type="checkbox"/> (0)	<input type="checkbox"/> (2)	Anteil Klimaleistung mit freier Kühlung 2008: ca. 30 % 2015: ca. __ % (9 Antw.; Ø 46%)
<p>40. Weitere Trends bei der Klimatisierung: (Einzelnennungen)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Modulare Klimasysteme</b></li> <li>• <b>Anhebung der Vorlauftemperatur</b></li> <li>• <b>Optimierung des Luftstroms durch Trennung der warmen und kalten Luft, weitere Erhöhung der zulässigen Luftereinlasstemperatur (vgl. ASHRAE Empfehlungen bis 26°C) Testbetrieb in verschiedenen RZ hat bereits bei deutlich über 26°C stattgefunden</b></li> <li>• <b>Frischluftkühlung von RZ-Flächen</b></li> <li>• <b>Innovative Konzepte der Klimatisierung (z.B. Kühlen mit Fernwärme, KyotoCooling)</b></li> </ul>					



## 13 Literatur

- [Bailey 2007] Bailey, M., M. Eastwood, T Grieser, L. Borovick, V. Turner, and R.C. Gray. Special Study: Data Center of the Future. New York, NY: IDC. IDC #06C4799. April 2007.
- [Bawden 2009] Bawden, Arnie: Telefonat mit Arnie Bawden, Co-Chairman of GeSI's Supply Chain Working Group, 2009.
- [Behrendt 2005] Behrendt, S.; Henseling, C.; Fichter, K.; Bierter, W.: Chancenpotenziale für nachhaltige Produktnutzungssysteme im E-Business, IZT-Werkstattbericht Nr. 71, Berlin, 2005.
- [Behrendt 2007] Behrendt, S.; Scharp, M.; Kahlenborn, W.; Feil, M.; Dereje, C. Bleisschwitz, R.; Delzeit, R.: Seltene Metalle, Maßnahmen und Konzepte zur Lösung des Problems konfliktverschärfender Rohstoffausbeutung am Beispiel Coltan, Umweltbundesamt, UBA TEXTE 08/07, 2007.
- [BfSR 2008] Business for Social Responsibility: Pilot Summary Report: Building Capabilities to Implement CSR Management Systems at ICT Suppliers in China, 2008, [www.bsr.org](http://www.bsr.org) (letzter Abruf Januar 2009).
- [Bio 2007] Bio Intelligence Service: Preparatory Studies for Eco-design Requirements of EuPs, Lot 7: Battery chargers and external power supplies, Final Report, January 27, 2007.
- [Bitkom 2007] BITKOM - Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. Roland Berger (Hrsg.): Zukunft digitale Wirtschaft, Berlin, 2007.
- [Bitkom 2008a] BITKOM – Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (Hrsg.): Blade-Server – Technologie, Einsatzgebiete und Betriebskonzepte, Berlin, 2008.
- [Bitkom 2008b] BITKOM – Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (Hrsg.): Energieeffizienz im Rechenzentrum. Ein Leitfaden zur Planung, zur Modernisierung und zum Betrieb von Rechenzentren, Berlin, 2008.
- [Bitkom 2008c] BITKOM - Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (Hrsg.): Mehr als 100 Millionen Mobilfunkanschlüsse in Deutschland, Presseinformation, Berlin 27.4.2008.

- [Bitkom 2008d] BITKOM – Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (Hrsg.): Energieeffizienz-Analysen in Rechenzentren, Messverfahren und Checkliste zur Durchführung, Berlin, 2008.
- [Bitkom 2009] BITKOM – Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (Hrsg.): Planungshilfe Betriebssicheres Rechenzentrum, Berlin 2009.
- [Bitkom 2010] BITKOM – Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (Hrsg.): Betriebssichere Rechenzentren - Leitfaden, Version 2, Berlin 2010.
- [BMU 2008] BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Energieeffiziente Rechenzentren. Best Practice-Beispiele aus Europa, USA und Asien, Berlin, 2008, [www.borderstep.de](http://www.borderstep.de) (letzter Abruf Januar 2009).
- [BMWV 2009] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.): Abschätzung des Energiebedarfs der weiteren Entwicklung der Informationsgesellschaft; Abschlussbericht; erarbeitet von Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (Fraunhofer IZM) in Kooperation mit Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI), Berlin, Karlsruhe, März 2009.
- [BSCI 2008] Business Social Compliance Initiative: Annual Report 2007 – 2008, 2008, [www.bsci-eu.org](http://www.bsci-eu.org) (letzter Abruf Januar 2009).
- [BSI 2009] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik: Einführung in das Hochverfügbarkeitskompendium, Bonn 2009. Download unter: [https://www.bsi.bund.de/cae/servlet/contentblob/483604/publicationFile/31265/1\\_1\\_Einfuehrung\\_pdf.pdf](https://www.bsi.bund.de/cae/servlet/contentblob/483604/publicationFile/31265/1_1_Einfuehrung_pdf.pdf) (letzter Zugriff 8.10.2009).
- [Buchert 2007] Buchert, M.; Hermann, A.; Jenseit, W., Stahl, H., Osyguß, B., Hagelüken, C.: Verbesserung der Edelmetallkreisläufe: Analyse der Exportströme von Gebrauch-Pkw und – Elektro(nik)geräten am Hamburger Hafen, Kurzbericht eines Forschungsvorhabens im Auftrag des Umweltbundesamtes, Förderkennzeichen 363 01 133, Umweltbundesamt, Ökoinstitut, Dessau, Darmstadt, 2007.
- [Cisco 2008] Cisco: Cisco Visual Networking Index – Forecast and Methodology, 2007–2012, White Paper, 2008.

- [Clausen 2009] Clausen, J., Fichter, K., Hintemann R.: Wie wird ein Computer grün? Ressourceneffiziente IT-Innovationen am Beispiel Schulen, in: Einblicke, Forschungszeitschrift der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, 1/2009, Oldenburg.
- [Climate Group 2008] Climate Group: SMART 2020: Enabling the low carbon economy in the information age. A report by the Climate Group on behalf of the Global eSustainability Initiative (GeSI), 2008.
- [Computerwoche 2007] Computerwoche: IBM ersetzt 3900 Server durch 30 Mainframes, 2007.  
[http://www.computerwoche.de/knowledge\\_center/green-it/597462/](http://www.computerwoche.de/knowledge_center/green-it/597462/)
- [Cremer 2003] Cremer, C. et al.: Energy Consumption of Information and Communication Technology (ICT) in Germany up to 2010, Zusammenfassung des Endberichts für das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (heute Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie), Karlsruhe/Zürich, Januar 2003.
- [C-Tech 2008] C-Tech Innovation: Material Security, Ensuring resource availability for the UK economy, Resource Efficiency Knowledge Network, Report published by C-Tech Innovation Ltd., Chester, Cheshire, UK, 2008.
- [DCCA 2008] Danish Commerce and Companies Agency: Small Suppliers in Global Supply Chains. How multinational buyers can target small and medium-sized suppliers in their sustainable supply chain management. Studie in Kooperation mit Hewlett-Packard und Zulieferern in Zentral und Osteuropa, 2008,  
[www.eogs.dk/sw28291.asp](http://www.eogs.dk/sw28291.asp) (letzter Abruf Januar 2009).
- [ECO 2008] eco – Verband der deutschen Internetwirtschaft e.V.: Bestandsaufnahme effiziente Rechenzentren in Deutschland. Köln 2008.
- [EICC 2005] EICC: Electronic Industry Code of Conduct. Oktober 2005.
- [EITO 2009] Daten des European Information Technology Observatory 2009 (letzter Zugriff: 20. März 2009).
- [Erdmann 2004] Erdmann, Lorenz; Hilty, Lorenz; Goodman, James und Arnfalk, Peter: The Future of ICT on Environmental Sustainability. IPTS Technical Report Series, EUR 21384 EN. European Commission JRC-IPTS. Sevilla, 2004.

- [EuP Lot 3] Jönbrink, Anna Karin: EuP Lot 3 Personal Computers (desktops and laptops) and Computer Monitors, IVF Industrial Research and Development Corporation, European Commission DG TREN, August 2007.
- [EuP Lot 10] Riviere, Ph. (Coordinator): Preparatory study on the environmental performance of residential room conditioning appliances (airco and ventilation), Draft report of Task 5 July 2008.
- [Fichter 2009] Fichter, K.; Beucker, S.; Clausen, J.; Hintemann, R. (2009): Green IT: Zukünftige Herausforderungen und Chancen. Hintergrundpapier für die BMU/UBA/BITKOM-Jahreskonferenz 2009, Dessau.
- [Fichter 2008] Fichter, K.: Energieverbrauch und Energiekosten von Servern und Rechenzentren in Deutschland, Trends und Einsparpotenziale bis 2013, Berlin, 2008 (verfügbar unter [www.borderstep.de](http://www.borderstep.de)).
- [Fichter 2008b] Fichter, K.: Zukunftsmarkt energieeffiziente Rechenzentren, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin, 2008.
- [Fichter 2008c] Fichter, K.: Energie- und Materialeinsparpotenzial von Thin Client & Server Centric Computing, Trends und Einsparpotenziale bis 2020, Berlin, Oktober 2008 (verfügbar unter [www.borderstep.de](http://www.borderstep.de)).
- [Fichter 2008d] Fichter, K.; Clausen, J.: Ressourceneffizienzpotenziale des Thin Client & Server Based Computing, MaRes-Diskussionspapier, Berlin, 2008.
- [Graedel 2008] Graedel, T.E.: Defining Critical Materials, Center for Industrial Ecology, Yale School of Forestry & Environmental Studies, Vortrag bei Wuppertal Colloquium Sustainable Growth, Sep 17 – 19 2008.
- [Hagelüken 2006] Christian Hagelüken (Umicore Precious Metals Refining): Improving metal returns and eco-efficiency in electronics recycling – a holistic approach for interface optimisation between pre-processing and integrated metals smelting and refining, Proceedings of the 2006 IEEE International Symposium on Electronics & the Environment, 8-11 May 2006, San Francisco, p. 218-223.
- [Hilty 2008] Hilty, Lorenz M.: Information Technology and Sustainability, Essays on the Relationship between Information Technology and

- Sustainable Development, Books on Demand GmbH,  
Norderstedt/Germany, 2008.
- [Hintemann 2008] Hochverfügbarkeit – IT-Ausfälle vermeiden, auf  
[www.securitymanager.de](http://www.securitymanager.de), (letzter Abruf 25. Oktober 2009).
- [HP 2008] Hewlett Packard: FY07 Global Citizenship Report, 2008,  
[www.hp.com](http://www.hp.com) (letzter Abruf Januar 2009).
- [IBM 2008] IBM: 2007–2008 Corporate Responsibility Report, 2008,  
[www.ibm.com](http://www.ibm.com) (letzter Abruf Januar 2009).
- [IT Times 2009] IT Times [Hrsg]: IT-Trends und -Entwicklungen 2010: Cloud  
Computing auf Wachstumskurs, 18.12.2009, online unter:  
<http://www.it-times.de/news/special/datum/2009/12/18/it-trends-und-entwicklungen-2010-cloud-computing-auf-wachstumskurs/>;  
letzter Download: 28.3.2010.
- [ISI/IZT 2009] Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI),  
Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (IZT):  
Rohstoffbedarf für Zukunftstechnologien, Einfluss des  
branchenspezifischen Rohstoffverbrauchs in rohstoffintensiven  
Zukunftstechnologien auf die zukünftige Rohstoffnachfrage, Studie  
im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und  
Technologie, Berlin, 2009.
- [Koomey 2007] Koomey, G.J.: Estimating Total Power Consumption by Servers in  
the U.S. and the World, Final report, February 15, 2007.
- [MakeITfair 2007a] MakeITfair: Capacitating Electronics. The corrosive effects of  
platinum and palladium mining on labour rights and communities,  
SOMO-Center for Research on Multinational Corporations,  
Niederlande, November 2007.
- [MakeITfair 2007b] MakeITfair: Connecting Components, Dividing Communities. Tin  
production for consumer electronics in the DR Congo and  
Indonesia, FinnWatch, Dezember 2007.
- [MakeITfair 2007c] MakeITfair: Gender Aspects. Production of Next-generation  
electronics in Poland, KARAT, Dezember 2007.
- [MakeITfair 2007d] MakeITfair: Powering the Mobile World. Cobalt production for  
batteries in the DR Congo and Zambia. SwedWatch - November  
2007.

- [MakeITfair 2008] MakeITfair: Silenced to deliver. Mobile Phone manufacturing *in* China and the Philippines. SwedWatch and SOMO - September 2008.
- [MEEUP 2005] Methodology Study Eco Design of Energy Using Products (MEEUP) Final Report, MEEUP Product Case Report; Client: European Commission; Authors: Kemna, R.; van Elburg, M.; Li, W.; van Holstejn, R., Delft/Brussels 2005.
- [Mohite 2005] Sunil Mohite: Disassembly Analysis, Material Composition Analysis and Environmental Impact Assessment of Computer Disk Drives, Masterthesis, Texas Tech University, Mai 2005.
- [Nissen 2000] N. F. Nissen, H. Griese, J. Müller, A. Middendorf, T. Funk: Environmental Assessment Using the IZM/EE Toolbox, Electronics Goes Green 200+, S. 527 – 532, Berlin, 2000.
- [ProcureITfair 2008] ProcureITfair: The dark side of cyberspace. Jenny Chan, Charles Ho. Dezember 2008.
- [ReUse 2004] Karsten Schischke, Karsten; Kohlmeyer Rolf: Umweltbewertung des ReUse von PCs, im Rahmen des Projektes „Regionale Netze für die Wieder- und Weiterverwendung elektronischer Geräte“, Technische Universität Berlin, 2004 (unveröffentlicht).
- [TechConsult 2009] TechConsult: Daten des E-Analysers, 2009.
- [Telekom 2008] Deutsche Telekom: Corporate Responsibility Bericht 2008. Connected life and work, 2008, [www.telecom.de](http://www.telecom.de) (letzter Abruf Januar 2009).
- [Trueb 1997] Lucien F. Trueb, Paul Rüetschi: Batterien und Akkumulatoren: Mobile Energiequellen für heute und morgen, Springer 1997.
- [TU Berlin 2008] Technische Universität Berlin Innovationszentrum Energie (IZE) (Hrsg): Konzeptstudie zur Energie- und Ressourceneffizienz im Betrieb von Rechenzentren, Berlin 2008.
- [Uptime 2006] The Uptime Institute (2006): Tier Classifications Define Site Infrastructure Performance, White Paper, by W. Pitt Turner, P.E. John H. Seader, and Kenneth G. Brill, Santa Fe, New Mexico, USA.
- [UBA 2009] Umweltbundesamt (Hrsg.): Computer, Internet und Co.: Geld sparen und Klima schützen, Verbraucherbrochüre, Dessau, 2009, <http://www.umweltdaten.de/publikationen/pdf-l/3725.pdf>.

- [UMSICHT 2006] Fraunhofer-Institut Umwelt-, Sicherheits-, Energietechnik  
UMSICHT: Ökologischer Vergleich von PC und Thin Client  
Arbeitsplatzgeräten, Oberhausen, 2006.
- [UMSICHT 2008] Fraunhofer-Institut Umwelt-, Sicherheits-, Energietechnik  
UMSICHT: Ökologischer Vergleich der Klimarelevanz von PC und  
Thin Client Arbeitsplatzgeräten 2008, Oberhausen, 2008.
- [US EPA 2007] U.S. Environmental Protection Agency (US EPA): Report to  
Congress on Server and Data Center Energy Efficiency, Public  
Law 109-431, August 2, 2007.
- [US EPA 2009] US EPA: External Power Supplies, 2009  
[http://www.energystar.gov/index.cfm?c=archives.power\\_supplies.](http://www.energystar.gov/index.cfm?c=archives.power_supplies)
- [Walle 2001] Walle, M.; Jennings, N.: Safety & health in small-scale surface  
mines, A handbook, International Labour Office, Geneva, 2001.