

# **Vergleich der signifikanten potenziellen Umweltbelastungen von Netzwerkinfrastrukturen**

- Eine Gegenüberstellung von Fast Ethernet und WLAN  
für die Anwendung im Local Area Networking

## **Diplomarbeit**

Technische Universität Berlin, Fakultät III  
Institut für Technischen Umweltschutz  
Fachgebiet Systemumwelttechnik  
Prof. Dr.-Ing. Günter Fleischer

vorgelegt von

**Heidi Hottenroth**

Matrikel-Nr.: 17 34 51

März 2004

in Zusammenarbeit mit: Öko-Institut e.V., Freiburg, Bereich Produkte und Stoffströme  
betreut von: Dipl.-Ing. Judith Theuerkauf  
Technische Universität Berlin, Institut für Technischen Umweltschutz, Fachgebiet Systemumwelttechnik  
Dr. rer. nat. Dietlinde Quack  
Öko-Institut e.V., Freiburg, Bereich Produkte und Stoffströme



## Danksagung

Ich möchte allen danken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Im Besonderen möchte ich mich herzlichst bei Dietlinde Quack, Martin Möller, Guido Paust, Ingmar Hamer und Carl-Otto Gensch vom Öko-Institut bedanken, die mich mit Rat und Tat unterstützt haben.

Desweiteren bedanke ich mich bei Herrn Kratz, T-Com, Darmstadt für die Zurverfügungstellung der Geräte sowie bei Herrn Reinhold, Deutsche Telekom Network Projects and Services GmbH, Berlin.

Für die wissenschaftliche Betreuung an der TU Berlin möchte ich Dipl.-Ing. Judith Theuerkauf und Prof. Dr.-Ing. Fleischer danken.

Nicht zu vergessen sind die wertvollen Anregungen, die ich während des Textlabors, durchgeführt von Judith Theuerkauf, erhalten habe und die wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Dass ich mein Studium mit dieser Diplomarbeit abschließen kann, verdanke ich auch meinen Eltern, meiner Schwester und Guido, die mich in dieser Zeit sehr unterstützt haben.



# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>V</b>
<b>Abkürzungen und Glossar.....</b>	<b>VII</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Grundlagen .....</b>	<b>2</b>
2.1 Local Area Networks.....	2
2.1.1 <i>Kabelgebundene Local Area Networks</i> .....	2
2.1.1.1 Aufbau .....	2
2.1.1.2 Standards .....	3
2.1.2 <i>Kabellose Local Area Networks - WLAN</i> .....	3
2.1.2.1 Aufbau .....	3
2.1.2.2 Standards .....	4
2.1.2.3 Einsatzgebiete von WLANs.....	5
2.1.3 <i>Gegenüberstellung von WLAN und LAN</i> .....	7
2.1.4 <i>Typische Anwendungsfälle des Local Area Networking</i> .....	8
2.2 Umweltrelevante Bereiche der IuK-Technologie.....	9
2.2.1 <i>Exkurs: Elektromagnetische Strahlung</i> .....	10
2.2.2 <i>Herstellung von Mikrochips</i> .....	11
2.2.3 <i>Herstellung von Leiterplatten</i> .....	12
2.2.4 <i>Elektronikschrott</i> .....	13
2.3 Die Methodik der Ökobilanz.....	14
2.3.1 <i>Vorgehen gemäß DIN EN ISO 14040ff</i> .....	14
2.3.2 <i>Besonderheiten bei der Ökobilanz von elektronischen Produkten</i> .....	15
<b>3 Ökobilanzielle Untersuchung von lokalen Netzwerken .....</b>	<b>18</b>
3.1 Ziel und Untersuchungsrahmen.....	18
3.1.1 <i>Funktion und Vergleichbarkeit der Produktsysteme</i> .....	18
3.1.2 <i>Festlegung der funktionellen Einheit</i> .....	19
3.1.3 <i>Untersuchte Systeme</i> .....	20
3.1.3.1 Peer-to-Peer-Netzwerk.....	20
3.1.3.2 SOHO-Netzwerk.....	21
3.1.3.3 Büro-Netzwerk.....	22
3.1.3.4 Untersuchte Geräte .....	24
3.1.4 <i>Systemgrenzen und Abschneidekriterien</i> .....	24
3.1.5 <i>Allokationen</i> .....	25
3.1.6 <i>Methode der Wirkungsabschätzung</i> .....	25
3.1.7 <i>Zeitbezogener, technologischer und geografischer Erfassungsbereich</i> .....	27
3.1.8 <i>Kritische Prüfung</i> .....	27
3.2 Sachbilanz .....	28
3.2.1 <i>Datengrundlagen</i> .....	28
3.2.2 <i>Datenerhebung</i> .....	28
3.2.2.1 Leiterplatten.....	28
3.2.2.2 Mikrochips .....	29

---

3.2.2.3	Herstellung Geräte.....	29
3.2.2.4	Herstellung Kabel und Netzwerkzubehör .....	30
3.2.2.5	Lebensdauer .....	33
3.2.2.6	Energieverbrauch .....	34
3.2.2.7	Entsorgung .....	37
3.3	Wirkungsabschätzung .....	39
3.3.1	<i>Peer-to-Peer-Netzwerk</i> .....	39
3.3.1.1	Differenzierte Ergebnisse für die Herstellung.....	42
3.3.1.2	Differenzierte Ergebnisse für die Nutzung.....	44
3.3.2	<i>SOHO-Netzwerk</i> .....	45
3.3.2.1	Differenzierte Ergebnisse für die Herstellung.....	48
3.3.2.2	Differenzierte Ergebnisse für die Nutzung.....	50
3.3.3	<i>Büro-Netzwerk</i> .....	51
3.3.3.1	Differenzierte Ergebnisse für die Herstellung.....	54
3.3.3.2	Differenzierte Ergebnisse für die Nutzung.....	56
3.4	Optimierungsansätze.....	57
3.4.1	<i>Peer-to-Peer-Netzwerk</i> .....	57
3.4.2	<i>SOHO-Netzwerk</i> .....	58
3.4.3	<i>Büro-Netzwerk</i> .....	61
3.4.4	<i>Strom aus regenerativen Energiequellen</i> .....	68
3.5	Sensitivitätsanalysen .....	70
3.6	Einschränkung der Ergebnisse.....	75
<b>4</b>	<b>Schlussfolgerungen und Empfehlungen</b> .....	<b>78</b>
4.1	Peer-to-Peer-Netzwerk.....	78
4.2	SOHO-Netzwerk.....	78
4.3	Büro-Netzwerk.....	79
4.4	Allgemeine Empfehlungen.....	80
4.5	Zuordnung der Empfehlungen zu Akteursgruppen.....	81
<b>5</b>	<b>Ausblick</b> .....	<b>82</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>83</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>85</b>
	<b>Anhang: CD-ROM</b>	

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Beispielanwendung von WLAN im Infrastrukturmodes [PLATE 2003] .....	4
Abbildung 2:	Aufkommen von Elektroaltgeräten in Deutschland (in 1000 t) [UMWELTBUNDESAMT 2000] .....	13
Abbildung 3:	Kabelgebundenes Peer-to-Peer-Netzwerk .....	20
Abbildung 4:	Kabelloses Peer-to-Peer-Netzwerk .....	20
Abbildung 5:	Kabelloses SOHO-Netzwerk [eigene Darstellung] .....	21
Abbildung 6:	Kabelgebundenes SOHO-Netzwerk [eigene Darstellung] .....	21
Abbildung 7:	Grundriss für das Büro-Netzwerk [Deutsche Telekom 2003] .....	22
Abbildung 8:	Netzaufbau des kabellosen Büro-Netzwerks [Deutsche Telekom 2003] .....	23
Abbildung 9:	Netzaufbau des kabelgebundenen Büro-Netzwerks [Deutsche Telekom 2003] .....	23
Abbildung 10:	Aufbau eines USB-Kabels [NICE FOUNTAIN 2003] .....	31
Abbildung 11:	Kabelkanal [LEXEL 2003] .....	32
Abbildung 12:	Anschlussdose [BTR-ITCONNECT 2003A] .....	32
Abbildung 13:	Peer-to-Peer-Netzwerk: Potenzielle Umweltbelastungen der kabellosen bezogen auf die kabelgebundene Variante .....	40
Abbildung 14:	Peer-to-Peer-Netzwerk: Anteile von Herstellung und Nutzung an den gesamten Umweltbelastungen .....	40
Abbildung 15:	Peer-to-Peer-Netzwerk: Ergebnisse der Wirkungskategorien differenziert in Herstellung und Nutzung für die kabellose und kabelgebundene Variante .....	41
Abbildung 16:	Herstellung Peer-to-Peer-Netzwerk: Potenzielle Umweltbelastungen der kabellosen bezogen auf die kabelgebundene Variante .....	42
Abbildung 17:	Herstellung kabelloses Peer-to-Peer-Netzwerk: Anteil der Komponenten an den gesamten potenziellen Umweltbelastungen .....	42
Abbildung 18:	Kabelgebundenes Peer-to-Peer-Netzwerk: Anteil der Komponenten an den potenziellen Umweltbelastungen durch die Herstellung .....	43
Abbildung 19:	Herstellung kabelgebundenen Peer-to-Peer-Netzwerk: Anteil der einzelnen Materialien des FTP-Patchkabels .....	43
Abbildung 20:	Nutzung Peer-to-Peer-Netzwerk: Ergebnis der Wirkungskategorie Klimaerwärmung .....	44
Abbildung 21:	SOHO-Netzwerk: Potenzielle Umweltbelastungen der kabellosen bezogen auf die kabelgebundene Variante .....	45
Abbildung 22:	SOHO-Netzwerk: Anteile von Herstellung und Nutzung an den gesamten Umweltbelastungen .....	46
Abbildung 23:	SOHO-Netzwerk: Ergebnisse der Wirkungskategorien differenziert in Herstellung und Nutzung für die kabellose und kabelgebundene Variante .....	47
Abbildung 24:	Herstellung SOHO-Netzwerk: Potenzielle Umweltbelastungen der kabellosen bezogen auf die kabelgebundene Variante .....	48
Abbildung 25:	Kabelloses SOHO-Netzwerk: Anteil der Komponenten an den potenziellen Umweltbelastungen durch die Herstellung .....	48
Abbildung 26:	Kabelgebundenes SOHO-Netzwerk: Anteil der Komponenten an den potenziellen Umweltbelastungen durch die Herstellung .....	49
Abbildung 27:	Nutzung SOHO-Netzwerk: Anteil der Komponenten an der Wirkungskategorie Klimaerwärmung .....	50
Abbildung 28:	Büro-Netzwerk: Potenzielle Umweltbelastungen der kabellosen bezogen auf die kabelgebundene Variante .....	51
Abbildung 29:	Büro-Netzwerk: Anteile von Herstellung und Nutzung an den gesamten potenziellen Umweltbelastungen .....	52

---

Abbildung 30:	Büro-Netzwerk: Ergebnisse der Wirkungskategorien differenziert in Herstellung und Nutzung für die kabellose und kabelgebundene Variante .....	53
Abbildung 31:	Herstellung Büro-Netzwerk: Potenzielle Umweltbelastungen für die kabellose bezogen auf die kabelgebundene Variante .....	54
Abbildung 32:	Kabelloses Büro-Netzwerk: Anteile der Komponenten an den potenziellen Umweltbelastungen durch die Herstellung .....	54
Abbildung 33:	Kabelgebundenes Büro-Netzwerk: Anteile der Komponenten an den potenziellen Umweltbelastungen durch die Herstellung .....	55
Abbildung 34:	Nutzung Büro-Netzwerk: Anteil der Komponenten an der Wirkungskategorie Klimaerwärmung .....	56
Abbildung 35:	Nutzung Peer-to-Peer-Netzwerk: Reduktionspotenzial bei 50 %iger Energieverbrauchsreduktion des WLAN-USB-Adapters .....	57
Abbildung 36:	Peer-to-Peer-Netzwerk: Potenzielle Umweltbelastungen der kabellosen Variante mit 50 % energieverbrauchsreduziertem WLAN-USB-Adapter bezogen auf das kabelgebundene Netzwerk.....	58
Abbildung 37:	Nutzung kabelloses SOHO-Netzwerk: Reduktionspotenzial bei Netztrennung des Kombigeräts bei Nichtnutzung .....	59
Abbildung 38:	Nutzung kabelgebundenes SOHO-Netzwerk: Reduktionspotenzial bei Netztrennung des Kombigeräts bei Nichtnutzung .....	60
Abbildung 39:	SOHO-Netzwerk: Potenzielle Umweltbelastungen der kabellosen bezogen auf die kabelgebundene Variante bei Netztrennung der Kombigeräte.....	61
Abbildung 40:	Nutzung kabelloses Büro-Netzwerk: Reduktionspotenzial durch Schein-Aus bzw. Netztrennung von Switch und Access Point .....	62
Abbildung 41:	Nutzung kabelloses Büro-Netzwerk: Reduktionspotenzial durch 50 %ige Energieverbrauchssenkung des WLAN-USB-Adapters .....	63
Abbildung 42:	Nutzung kabelloses Büro-Netzwerk: Reduktionspotenzial durch die gesamten Optimierungsmaßnahmen.....	64
Abbildung 43:	Nutzung kabelgebundenes Büro-Netzwerk: Reduktionspotenzial durch die Netztrennung des Switches bei Nichtnutzung .....	65
Abbildung 44:	Büro-Netzwerk: Potenzielle Umweltbelastungen der kabellosen bezogen auf die kabelgebundene Variante bei Netztrennung von Switches und APs.....	66
Abbildung 45:	Potenzielle Umweltbelastungen des Mantelmaterials FRNC bezogen auf PVC .	67
Abbildung 46:	Büro-Netzwerk: Potenzielle Umweltbelastungen der kabellosen bezogen auf die kabelgebundene Variante mit PVC-freien Kabeln .....	68
Abbildung 47:	SOHO-Netzwerk: Potenzielle Umweltbelastungen der kabellosen bezogen auf die kabelgebundene Variante bei Nutzung von regenerativem Strom .....	69
Abbildung 48:	SOHO-Netzwerk: Ergebnisse der Wirkungskategorien differenziert in Herstellung und Nutzung für die kabellose und kabelgebundene Variante bei Nutzung von regenerativem Strom.....	69
Abbildung 49:	Peer-to-Peer-Netzwerk: Potenzielle Umweltbelastungen der kabellosen bezogen auf die kabelgebundene Variante bei Nutzungszeiten für Büros.....	70
Abbildung 50:	Peer-to-Peer-Netzwerk: Anteile von Herstellung und Nutzung an den gesamten potenziellen Umweltbelastungen (Büro) .....	71
Abbildung 51:	Peer-to-Peer-Netzwerk: Potenzielle Umweltbelastungen der kabellosen bezogen auf die kabelgebundene Variante bei Verbindung von Desktop-PC und Notebook (Haushalt).....	72
Abbildung 52:	Peer-to-Peer-Netzwerk: Potenzielle Umweltbelastungen der kabellosen bezogen auf die kabelgebundene Variante bei Verbindung von Desktop-PC und Notebook (Büro) .....	73
Abbildung 53:	SOHO-Netzwerk: Potenzielle Umweltbelastungen der kabellosen bezogen auf die kabelgebundene Variante bei Nutzungszeiten für Büros.....	74

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Varianten des Twisted Pair-Kabels [SCHWARZ 2002, PLATE 2003] .....	3
Tabelle 2:	Anwendungsfelder von WLAN [nach HÜBNER 2003, COMPU-SHACK 2002].....	6
Tabelle 3:	Gegenüberstellung der technischen Eigenschaften von WLAN und LAN [nach MYRACH 2002, GROSSMANN 2002].....	7
Tabelle 4:	Leiterplattenarten [BEHRENDT 1998A, S. 63] .....	12
Tabelle 5:	Komponenten des Peer-to-Peer-Netzwerks .....	20
Tabelle 6:	Komponenten des SOHO-Netzwerks .....	22
Tabelle 7:	Komponenten des Büro-Netzwerks .....	24
Tabelle 8:	Untersuchte Geräte.....	24
Tabelle 9:	Gewichtungsfaktoren zur Berechnung der Wirkungskategorien [CML 1992A, CML 1992B] .....	26
Tabelle 10:	Datengrundlagen der Sachbilanzen.....	28
Tabelle 11:	Anzahl der Referenzleiterplatten in den Geräten und Netzteilen.....	29
Tabelle 12:	Anzahl der Referenzchips vom Typ SO20 in den Geräten.....	30
Tabelle 13:	Zusammensetzung FTP-Kabel .....	31
Tabelle 14:	Zusammensetzung S/FTP-Kabel.....	31
Tabelle 15:	Zusammensetzung USB-Kabel.....	32
Tabelle 16:	Zusammensetzung Anschlussdose .....	32
Tabelle 17:	Lebensdauer der Komponenten des Peer-to-Peer-Netzwerks.....	33
Tabelle 18:	Lebensdauer der Komponenten des SOHO-Netzwerks.....	33
Tabelle 19:	Lebensdauer der Komponenten des Büro-Netzwerks.....	34
Tabelle 20:	Leistung der Geräte im Betriebs- und Bereitschaftsmodus .....	35
Tabelle 21:	Nutzungsdauer von Computern und Netzwerkkomponenten [CREMER ET AL. 2003] .....	35
Tabelle 22:	Nutzungsdauer der Komponenten des Peer-to-Peer-Netzwerks .....	35
Tabelle 23:	Jährlicher Energieverbrauch des Peer-to-Peer-Netzwerks .....	36
Tabelle 24:	Nutzungsdauer der Komponenten des SOHO-Netzwerks .....	36
Tabelle 25:	Jährlicher Energieverbrauch des SOHO-Netzwerks .....	36
Tabelle 26:	Nutzungsdauer der Komponenten des Büro-Netzwerks .....	37
Tabelle 27:	Jährlicher Energieverbrauch des Büro-Netzwerks .....	37
Tabelle 28:	Masse der Netzwerkkomponenten .....	37
Tabelle 29:	Masse Elektronikschrott für das Peer-to-Peer-Netzwerk.....	38
Tabelle 30:	Masse Elektronikschrott für das SOHO-Netzwerk.....	38
Tabelle 31:	Masse Elektronikschrott für das Büro-Netzwerk.....	38
Tabelle 32:	Peer-to-Peer-Netzwerk: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (1000 Einheiten über 1 Jahr).....	39
Tabelle 33:	Peer-to-Peer-Netzwerk: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung aufgeschlüsselt in Herstellung und Nutzung.....	40
Tabelle 34:	SOHO-Netzwerk: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (1000 Einheiten über 1 Jahr).....	45
Tabelle 35:	SOHO-Netzwerk: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung aufgeschlüsselt in Herstellung und Nutzung.....	46
Tabelle 36:	Büro-Netzwerk: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (1000 Einheiten über 1 Jahr).....	51
Tabelle 37:	Büro-Netzwerk: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung aufgeschlüsselt in Herstellung und Nutzung.....	52
Tabelle 38:	Kabelloses SOHO-Netzwerk: Reduktionspotenzial der potenziellen Umweltbelastungen bei Netztrennung des Kombigeräts.....	59

<i>Tabelle 39:</i>	<i>Kabelgebundenes SOHO-Netzwerk: Reduktionspotenzial der potenziellen Umweltbelastungen bei Netztrennung des Kombigeräts .....</i>	<i>60</i>
<i>Tabelle 40:</i>	<i>Kabelloses Büro-Netzwerk: Reduktionspotenzial der potenziellen Umweltbelastungen bei Netztrennung von Switch und AP.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabelle 41:</i>	<i>Kabelloses Büro-Netzwerk: Reduktionspotenzial der potenziellen Umweltbelastungen bei 50 %iger Energieverbrauchsreduktion des USB-Adapters .....</i>	<i>63</i>
<i>Tabelle 42:</i>	<i>Kabelloses Büro-Netzwerk: Reduktionspotenzial der potenziellen Umweltbelastungen durch die gesamten Optimierungsmaßnahmen .....</i>	<i>64</i>
<i>Tabelle 43:</i>	<i>Kabelgebundenes Büro-Netzwerk: Reduktionspotenzial der potenziellen Umweltbelastungen durch Netztrennung des Switches.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabelle 44:</i>	<i>Jährlicher Energieverbrauch des Peer-to-Peer-Netzwerks (Büro) .....</i>	<i>70</i>
<i>Tabelle 45:</i>	<i>Jährlicher Energieverbrauch des Peer-to-Peer-Netzwerks bei Verbindung von Desktop-PC und Notebook (Haushalt).....</i>	<i>71</i>
<i>Tabelle 46:</i>	<i>Jährlicher Energieverbrauch des Peer-to-Peer-Netzwerks bei Verbindung von Desktop-PC und Notebook (Büro) .....</i>	<i>72</i>
<i>Tabelle 47:</i>	<i>Nutzungsdauer der Komponenten des SOHO-Netzwerks (Büro) .....</i>	<i>73</i>
<i>Tabelle 48:</i>	<i>Jährlicher Energieverbrauch des SOHO-Netzwerks (Büro).....</i>	<i>73</i>
<i>Tabelle 49:</i>	<i>Zuordnung der Empfehlungen zu Bereichen und Akteursgruppen.....</i>	<i>81</i>

## Abkürzungen und Glossar

ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol
AP	Access Point. Zugangspunkt, der die Kopplung zwischen den kabellosen Netzsegmenten und den kabelgebundenen Segmenten herstellt
BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
Bluetooth	Nahbereichsfunktechnologie zur kabellosen Vernetzung von Peripheriegeräten
BSS	Basic Service Set. Betrieb mit einem Access Point
Client	Arbeitsplatzrechner oder Programmen, die Dienstleistungen von Servern in Anspruch nehmen
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
DECT	Digital Enhanced Cordless Telephone
DSL	Digital Subscriber Line. Breitbandiger digitaler Internetzugang
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
ESS	Extended Service Set. Betrieb mit mehreren Access Points
Fast Ethernet	Standard für kabelgebundene Netzwerke
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
FR	Flame Retardant (flammhemmend)
FRNC	Flame Retardant Non Corrossive. PVC-freies Material für Kabelummantelungen
HCl	Chlorwasserstoff
HDPE	high density Polyethylen
HIPS	High Impact Polystyrol
Hub	Verbindungselement/Knotenpunkt zwischen Endgeräten und Server als Verstärker ankommender Signale
HyperLAN/2	High Performance Radio Local Area Network. Standard für Funknetzwerke
IBSS	Independent Basic Service Set. Betrieb ohne Access Point
IC	Integrated Circuit, integrierter Schaltkreis
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISDN	Integrated Services Digital Network. Digitales, leistungsvermittelltes Netz, das Übertragung von Sprache und Daten ermöglicht
IT	Informationstechnologie
IuK	Information und Kommunikation
KEA	kumulierter Energieaufwand
KW	Kohlenwasserstoffe
LAN	Local Area Network. Ein lokal begrenztes Netzwerk zur Datenübertragung, meist mit dem Internet verbunden

LCD	Liquid Crystal Display
NMVOG	Non Methane Volatile Organic Compounds
OFDM	Ortogonal Frequenzy Division Multiplexing
PA	Poyamid
PAK	Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe
Patchkabel	mit RJ-45-Steckern konfektionierte Twisted Pair-Kabel
PBDD	Polybromierte Dibenzodioxine
PC	Personal Computer
PCDD	Polychlorierte Dibenzodioxine
PCDF	Polychlorierte Dibenzofurane
PCI	Peripheral Component Interconnect
PCMCIA	Personal Computer Memory Card International Association
PDA	Personal Digital Assistant
PE-HD	Polyethylen (high density)
PoE	Power over Ethernet. Stromversorgung von LAN-Komponenten über das Twisted-Pair-Kabel, so dass Kabel zur Stromversorgung entfallen können
Port	Schnittstelle, Verbindungsmöglichkeit um Netzwerk
Printserver	regelt den Zugriff auf gemeinsam genutzten Drucker
PVC	Polyvinylchlorid
RJ-45	achtpoliger Stecker an Datenkabeln
Roaming	Fähigkeit einer Station, sich zwischen verschiedenen Funkzellen zu bewegen
Router	verbindet ein Netzwerk (z.B. LAN) mit einem Telekommunikationsnetz oder einem anderen Subnetz; wählt dafür den optimalen Weg zwischen Sender und Empfänger, indem bestimmtes Vermittlungsprotokoll verwendet wird
Server	Computer, der den Zugriff auf das Netz und auf gemeinsam genutzte Netzressourcen wie Drucker und Festplatten regelt
SO <sub>2</sub>	Schwefeldioxid
SOHO	Small Office/Home Office.
Switch	intelligentes Verbindungselement (aktiver Hub) zwischen Endgeräten und Server
TPC	Transmit Power Control
Twisted Pair	paarweise verdrehtes achtadriges Datenkabel
USB	Universal Serial Bus. Schnittstelle für Ein- und Ausgabegeräte
VOC	Volatile Organic Compound
Voice over IP	Übermittlung von Sprachsignalen über das Internet
WEEE	Waste of Electric and Electronic Equipment
WLAN	Wireless Local Area Network

## 1 Einleitung

Mit der sich weiterentwickelnden Informationsgesellschaft werden immer neue Technologien hervorgebracht, um Informationen zu übertragen. Dazu gehören seit wenigen Jahren auch Funknetzwerke, die derzeit vermehrt zum Einsatz kommen.

Aufgrund der kabellosen Ausführung liegt die Vermutung nahe, dass Funknetzwerke, lässt man die noch ungeklärten Auswirkungen durch elektromagnetische Strahlung einmal außen vor, Umweltvorteile aufweisen. [vgl. GOLEM 2002, APPLE 2000]

Ziel dieser Arbeit ist es nun, die signifikanten potenziellen Umweltbelastungen von Funknetzwerken im Vergleich zu kabelgebundenen lokalen Netzwerken zu ermitteln. Darauf aufbauend werden mögliche Umweltentlastungspotenziale von Funknetzwerken identifiziert, um aus den Ergebnissen Handlungsempfehlungen für den umweltgerechten Aufbau und Betrieb von lokalen Netzwerken abzuleiten. Diese richten sich vor allem an Netzwerkhersteller, -betreiber, -planer und -nutzer.

Dazu werden in Anlehnung an das Vorgehen der DIN EN ISO 14040 ff. die Lebenswegabschnitte Herstellung, Nutzung und Entsorgung von drei typischen Anwendungsfällen im Bereich des Local Area Networking betrachtet. Jeweils kabelgebunden und kabellos werden ein Peer-to-Peer-Netzwerk, ein SOHO<sup>1</sup>-Netzwerk und ein Büro-Netzwerk hinsichtlich ihrer signifikanten potenziellen Umweltbelastungen untersucht. Diese Anwendungsfälle werden ausgewählt, um unterschiedliche Nutzungsmuster abbilden zu können. Es handelt sich dabei um fiktive, jedoch durchaus praxisrelevante Anwendungsbeispiele. Diese Arbeit identifiziert deren signifikante potenzielle Umweltbelastungen, das heißt solche, die bereits bei geringer Detailtiefe der Untersuchung sichtbar werden. Dabei erfolgt eine Konzentration auf bestimmte Problembereiche wie Mikrochip- und Leiterplattenherstellung, Energieverbrauch der Nutzung und Elektronikschrottaufkommen.

Der Vergleich erfolgt innerhalb der gängigen Wirkungskategorien Klimaerwärmung, Versauerungspotenzial und Photooxidantienpotenzial. Zusätzlich wird der kumulierte Energieaufwand zur Abbildung des energetischen Ressourcenverbrauchs und das Elektronikschrottaufkommen für den Vergleich hinzugezogen. Die Auswirkungen elektromagnetischer Strahlung werden aufgrund fehlender Dosis-Wirkungsbeziehungen nicht untersucht, jedoch wird auf die Problematik im Grundlagenkapitel kurz eingegangen. Auf ein Critical Review, wie es bei vergleichenden Untersuchungen nach DIN EN ISO 14040 erforderlich wäre, wird im Rahmen dieser Arbeit verzichtet.

---

<sup>1</sup> SOHO: Small Office/Home Office

## 2 Grundlagen

In diesem Kapitel wird zuerst eine kurze Einführung in die Technik von kabelgebundenen und kabellosen Local Area Networks (LAN) gegeben sowie deren technischen Eigenschaften gegenübergestellt (vgl. Kap. 2.1). Anschließend wird auf die Umweltbelastungen der Informationstechnologie eingegangen und im Besonderen die direkten Umweltbelastungen durch die Herstellung von Mikrochips und Leiterplatten und die Elektronikschrottproblematik erläutert (vgl. Kap. 2.2). In Kapitel 2.3 wird die Methode der Ökobilanz und einige Besonderheiten dieser Methode in Bezug auf elektronische Produkte erläutert.

### 2.1 Local Area Networks

Ein Local Area Network ist ein begrenztes Kommunikationsnetz, durch das verschiedene Computer, Server und Peripheriegeräte miteinander verbunden sind. Die Verbindung dieser Komponenten ermöglicht den Austausch von Informationen und die gemeinsame Nutzung von Ressourcen. LANs werden innerhalb von Gebäuden oder Gebäudekomplexen betrieben und erstrecken sich in einem Umkreis von zehn Metern bis zu einem Kilometer. Sie werden üblicherweise eigenverantwortlich aufgebaut und können abgeschlossen arbeiten oder über spezielle Zugangspunkte (Gateways) mit anderen Netzen verbunden werden. Die Verbindung erfolgt über Kabel und Steckverbindungen oder kabellos per Funkübertragung. [SMC 2003, GROSSMANN 2002]

#### 2.1.1 Kabelgebundene Local Area Networks

##### 2.1.1.1 Aufbau

Um Computer an ein Ethernet-Netzwerk anschließen zu können, müssen diese mit Netzwerkkarten ausgestattet sein. Hier werden vornehmlich PCI-Karten für Desktop-Computer oder PCMCIA-Karten für Notebooks angewendet. Die meisten neuen Computer sind bereits werksseitig mit dieser Technik ausgerüstet.

Ethernet-Netzwerke aus mehr als zwei Computern benötigen eine aktive Netzkomponente, einen Hub oder Switch. Mit dem Hub bzw. Switch sind die Computer über eine sternförmige Topologie mit bis zu 100 m langen Twisted Pair-Kabeln verbunden. Zur Vernetzung von zwei Computern benötigt man lediglich eine Variante des Twisted Pair-Kabels - das sogenannte Crossover-Kabel. [SMC 2003]

Die Twisted Pair-Kabel bestehen aus 8 paarweise verdrehten Adern. Sie werden unterschieden in ungeschirmte, foliengeschirmte, geflechtgeschirmte sowie gleichzeitig folien- und geflechtgeschirmte Kabel (vgl. Tabelle 1). Konfektionierte Kabel verfügen an den Enden über sogenannte RJ-45-Stecker, die von Switches, Hubs, Netzwerkkarten oder Wandanschlussdosen aufgenommen werden können. Für feste Verkabelungen in Wänden oder Kabelkanälen werden meist geschirmte Kabel verwendet, während für eine lose Verkabelung (z.B. von einer Wandanschlussdose zum Computer) eher ungeschirmte oder foliengeschirmte Kabel verwendet werden. Diese sind flexibler als geschirmte Kabel. Vor-konfektionierte Kabel werden auch Patchkabel genannt. [SCHWARZ 2002]

**Tabelle 1: Varianten des Twisted Pair-Kabels** [SCHWARZ 2002, PLATE 2003]

Bezeichnung	Abkürzung	Beschreibung
Unshielded Twisted Pair	UTP	keine Schirmung vorhanden
Screened Unshielded Twisted Pair	S/UTP	UTP-Kabel, das von einem Geflecht dünner Metallfäden abgeschirmt wird
Foil Twisted Pair	FTP	UTP-Kabel, das einen Gesamtschirm aus Metallfolie bzw. alukaschierter Kunststoffolie besitzt
Screened Foil Twisted Pair	S/FTP	UTP-Kabel, bei dem sowohl ein Geflecht als auch eine Metallfolie als Gesamtschirm verwendet wird
Shielded Twisted Pair	STP	Jedes Adernpaar wird von einer dünnen Metallfolie umgeben. Ein Gesamtschirm ist nicht vorhanden.
Screened Shielded Twisted Pair	S/STP	STP-Kabel, das zusätzlich von einem Geflecht als Gesamtschirm umgeben wird

### 2.1.1.2 Standards

Der heutzutage meist verbreitete Standard für kabelgebundene lokale Netzwerke ist der Ethernet-Standard gemäß IEEE 802.3<sup>2</sup>. Innerhalb dieses Standards gibt es noch zahlreiche Varianten, wovon in dieser Arbeit das sogenannte „Fast Ethernet“ (IEEE 802.3u) untersucht wird. Dieser Standard überträgt die Daten mit einer Rate von 100 MBit/s. Das Übertragungsmedium ist Kupferkabel, sogenanntes Kategorie 5 Twisted Pair-Kabel. Diese Kabelart kann ebenfalls für den langsameren Ethernet-Standard mit 10 MBit/s und für das schnellere Gigabit-Ethernet mit 1000 MBit/s verwendet werden. [SMC 2003, GROSSMANN 2002, S. 49F.]

### 2.1.2 Kabellose Local Area Networks - WLAN

Als Alternative oder Ergänzung zum kabelgebundenen LAN finden Wireless Local Area Networks (WLAN) Verwendung. Hierbei wird die Kabelverbindung durch eine Funkverbindung ersetzt, wobei alle vorher kabelgebundenen Anwendungsmöglichkeiten erhalten bleiben.

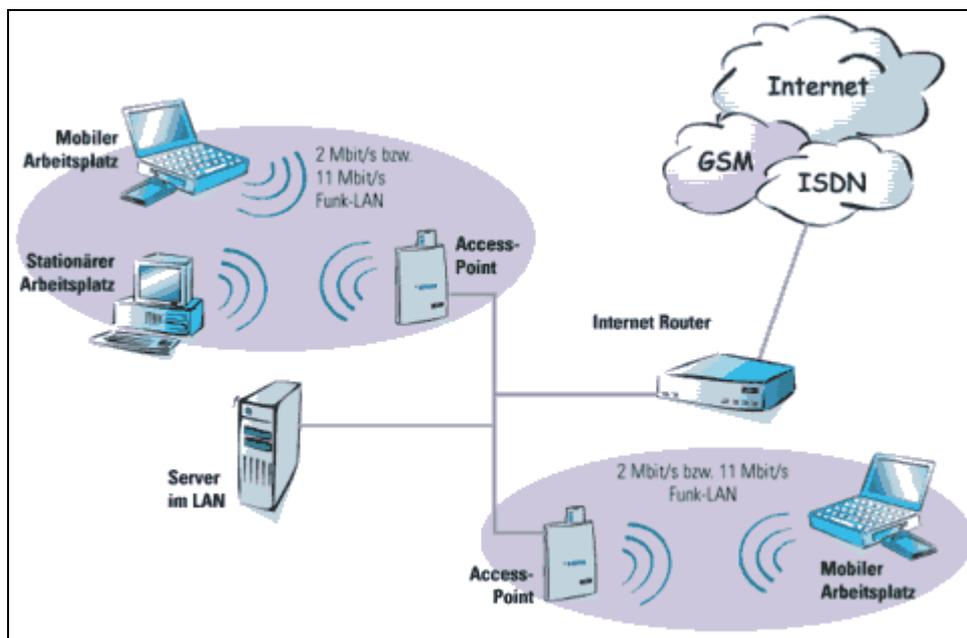
#### 2.1.2.1 Aufbau

Ein Funknetzwerk ist nur aus relativ wenigen Komponenten aufgebaut. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um WLAN-Netzwerkadapter, die in die Endgeräte eingebaut werden und um Zugangspunkte, sogenannte Access Points (AP), die die Koordination des Netzes übernehmen [GROSSMANN 2002, S. 17]. Die WLAN-Adapter sind meist PCMCIA- bzw. PC-Karten, Compact Flash-, PCI- oder WLAN-Adapter mit USB-Anschluss. Zudem können die Karten vor allem in Laptops bereits werksseitig fest eingebaut sein. [PEYN, LIEDKE 2001, HÜBNER 2003] Allein zwischen diesen Karten ist bereits eine Funkverbindung möglich. Solch eine Betriebsart wird als Independent Basic Service Set (IBSS), Ad-Hoc- oder auch Peer-to-Peer-Modus bezeichnet. [HÜBNER 2003]

<sup>2</sup> IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

Um eine größere Reichweite zu erzielen oder das Funknetzwerk an ein existierendes kabelgebundenes LAN anzuschließen ist (mindestens) ein Access Point notwendig. Diese Betriebsart bezeichnet man als Infrastruktur-Modus. Jeder Access Point bildet eine Funkzelle. [MYRACH 2002] Der Betrieb mit nur einem AP wird auch Basic Service Set (BSS) genannt. Wenn mehrere Access Points untereinander vernetzt werden, um das Funknetz zu vergrößern, spricht man von Extended Service Set (ESS). [HÜBNER 2003, SIKORA 2001]

Im Infrastruktur-Modus kann entweder ein Stand-alone-Funknetzwerk aufgebaut werden, oder es erfolgt die Anbindung des drahtlosen LANs an ein verkabeltes LAN. Mit zusätzlicher Ausstattung können Access Points gleichzeitig als Router fungieren, um das Funknetz via Modem, ISDN oder DSL mit dem Internet zu verbinden (vgl. Abbildung 1). [MYRACH 2002]



**Abbildung 1: Beispielanwendung von WLAN im Infrastrukturmodus** [PLATE 2003]

Zudem kommen noch Bridges sowie Richtfunk- oder Rundstrahlantennen zum Einsatz. Über eine Funk-Bridge können beispielsweise die existierenden LANs zweier Gebäude über Funk verbunden werden. Dies wird als Punkt-zu-Punkt-Verbindung bezeichnet, während die Vernetzung von mehreren Gebäuden eine Punkt-zu-Multipunkt-Verbindung darstellt. [HÜBNER 2003]

### 2.1.2.2 Standards

Um die Interoperabilität von WLAN-Produkten unterschiedlicher Hersteller zu gewährleisten, wurde 1997 vom US-amerikanischen IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) der 802.11-Standard verabschiedet. Dieser spezifiziert spezielle Verfahren für die Bitübertragungsschicht und den Medienzugriff, die für die Funkübertragung notwendig sind. [MYRACH 2002] Für die Bitübertragungsschicht werden die beiden Spreizbandtechniken „Direct Sequence Spread Spectrum“ (DSSS) und „Frequency Hopping Spread Spectrum“ (FHSS) unterschieden. [SIKORA 2001]

Seit 1997 wurden eine Reihe von sich technisch unterscheidenden Standards verabschiedet oder sind noch in Arbeit. Durch das Anhängen von verschiedenen Buchstaben werden sie unterschieden (z.B. IEEE 803.11b oder 803.11g). [MYRACH 2002]

Funknetze auf der Basis des 1999 verabschiedeten IEEE 802.11b-Standards stellen derzeit die weiteste Verbreitungsform dar. Die Datenübertragung findet im ISM-Band (Industrial Scientific Medical) bei 2,400 - 2,485 GHz statt, das für industrielle, wissenschaftliche und medizinische Zwecke lizenzfrei genutzt werden darf. In diesem Fall kommt als Spreizbandtechnik die DSSS-Technologie zur Anwendung. Die Übertragungsrate beträgt theoretisch 11 MBit/s. Doch da zusätzlich noch Informationen des Funkübertragungsprotokolls übertragen werden müssen, sinkt die praktische Übertragungsrate auf 5-6 MBit/s. [MYRACH 2002, COMPU-SHACK 2002, S. 27; AHLERS 2003]

Erst Mitte 2003 wurde der IEEE 802.11g-Standard verabschiedet [COMPUTERWOCHE 2003], der ebenfalls auf dem 2,4 GHz-Band arbeitet, jedoch anstelle der FHSS- bzw. DSSS-Technologie die OFDM-Technologie (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) verwendet. Dadurch können Übertragungsraten von 54 MBit/s (brutto) erreicht werden. [COMPU-SHACK 2002, S. 25]

Der IEEE 802.11a-Standard ermöglicht ebenfalls eine Brutto-Übertragungsgeschwindigkeit von maximal 54 MBit/s, nutzt allerdings das 5 GHz-Frequenzband. Hier kommt ebenso die OFDM-Technologie zur Anwendung. Dieser Standard kommt allerdings in Europa noch nicht zum Einsatz, da hier die Nutzung des 5 GHz-Bands für den lizenzfreien Betrieb nicht freigegeben ist. Der Grund liegt in der Verwendung dieses Bandes für andere Dienste. Um diese nicht zu beeinflussen, wird an einer Anpassung des Standards 802.11a gearbeitet. Diese Anpassung nennt sich 802.11h und beinhaltet eine automatische Anpassung der Sendeleistung mit Transmit Power Control (TPC) und eine automatische Kanalwahl, die Dynamic Channel/Frequency Selection (DCS/DFS). [COMPU-SHACK 2002, S. 25]

Die typische Reichweite der Funknetzwerke im IEEE 802.11b-Standard wird innerhalb von Gebäuden von den Herstellern meist mit 25 bis 30 Metern angegeben. Nur wenn Sichtverbindung zwischen den Geräten besteht, können Reichweiten von 100 bis 300 Metern erreicht werden. Diese Reichweiten lassen sich wiederum mit zusätzlichen Antennen vergrößern. [AHLERS, ZIEGLER 2001]

### **2.1.2.3 Einsatzgebiete von WLANs**

Neben dem klassischen Local Area Networking, d.h. die Verbindung von Arbeitsplätzen untereinander sowie den Zugang zu Ressourcen und Services, haben Funknetzwerke eine Reihe von neuen Anwendungsgebieten erschlossen [GROSSMANN 2002, S. 40]. Die folgende Tabelle zeigt einen Überblick über mögliche Anwendungsfelder mit konkreten Anwendungsfällen.

**Tabelle 2: Anwendungsfelder von WLAN** [nach HÜBNER 2003, COMPU-SHACK 2002]

Anwendungsfelder	konkreter Anwendungsfall	Nutzer	Bemerkung
mit dem Notebook an wechselnden Orten arbeiten	kein fester Arbeitsplatz, im Labor, bei Kunden, in Lagerhallen, bei Warenkommissionierung, im Krankenhaus	Außendienstmitarbeiter, Wissenschaftler, Geschäftsleute, Unternehmen, Ärzte	
Kontakt/Netzwerkanbindung zu mobilen Beschäftigten und mobiler Technik	Telearbeit, Transportsysteme, Kassensysteme	Telearbeiter, Servicetechniker, Transportunternehmen, Kaufhäuser	hier eher PDAs
Vernetzung von nur wenigen PCs oder Notebooks/Ad-Hoc-Networking	Beratungen, Spiele	berufliche/geschäftliche und private Nutzer	
Aufbau eines neuen oder Erweiterung eines bestehenden Netzwerks/Local Area Networking	bei schwierigen Verkabelungsverhältnissen (Denkmalschutz, Asbestprobleme, Brandschutz etc.) oder hohem Aufwand	berufliche/geschäftliche und private Nutzer/Haushalt	
Verbindung von bestehenden LANs	Verbindung von zwei oder mehr Gebäuden (auf einem Gelände)	Unternehmen, Universitäten etc.	Point-to-Point-, Point-to-Multipoint-Bridging
kurzzeitige Nutzungsfälle	Überbrückung bei Festnetzausfällen, bei Bautätigkeit	Unternehmen	
Bedarf an temporären Zugängen variabler Anzahl an unterschiedlichen Orten	Schulungen, Ausstellungen, Messestände, Tagungen, Konferenzen; Vorlesungen, Projekte	Unternehmen, öffentliche Einrichtungen, Veranstalter von Ausstellungen oder Konferenzen, Schulen, Universitäten, Organisationen	weniger Komplikationsquellen und Verschleiß gegenüber Kabelverbindungen
Vernetzung im Hochschulbereich	Interaktion in Übungen und Seminaren	Lehrkräfte, Studierende	
	Selbststudium (z.B. Literaturrecherche) Studienorganisation (z.B. Anmeldung zu Lehrveranstaltungen)	Studierende	Entlastung des Rechnerpools
	Lehrgegenstand im Informatik- oder Informatonstechnikstudium	Lehrkräfte	
öffentliche „Hotspots“	in Flughäfen, Bahnhöfen, Hotels, Cafés, Stadtzentren	sowohl privat als auch geschäftlich Reisende	
Community Networks	zur Versorgung der Nachbarschaft mit breitbandigem Internetzugang	Privatleute	

Die Einsatzgebiete von Funknetzwerken sind sehr vielfältig. Die Hintergründe sind privater oder beruflicher/geschäftlicher Natur, wobei die Grenzen nicht immer eindeutig sind. Dazu kommen noch Anwendungen im Hochschulbereich. Wie sich aus dieser Aufstellung zeigt, scheinen die Schwerpunkte der Nutzung im geschäftlichen Bereich zu liegen. Hier kann vor allem durch die Flexibilität des WLANs ein höherer Nutzen erzielt werden als im privaten Bereich.

### 2.1.3 Gegenüberstellung von WLAN und LAN

Die folgende Tabelle zeigt eine Gegenüberstellung der technischen Eigenschaften von kabelgebundenen und kabellosen Netzwerken.

**Tabelle 3: Gegenüberstellung der technischen Eigenschaften von WLAN und LAN** [nach MYRACH 2002, GROSSMANN 2002]

	<b>WLAN</b>	<b>LAN</b>
<b>Flexibilität/ Installationsaufwand</b>	Sender und Empfänger lassen sich an variablen Orten positionieren. Dabei können auch Wände dazwischen liegen. Es müssen keine oder viel geringere Baumaßnahmen für ein verkabeltes Netz getroffen werden. Betrieb in freiem Gelände möglich. Spontane Kommunikation ist möglich.	Baumaßnahmen für Verkabelung können beträchtlich sein. Verkabelung im Freien meist problematisch.
<b>Dienstgüte</b>	Übertragungsgeschwindigkeit ist um Größenordnungen niedriger. Übertragungsfehlerraten sind um Größenordnungen höher. Aufgrund meist umfangreicher Fehlerkorrekturmaßnahmen sind Verzögerungen bzw. Verzögerungsschwankungen größer. Übertragungsgeschwindigkeit nimmt mit Entfernung und durch Störquellen ab. Reichweite (in Innenräumen) ist geringer.	Übertragungsgeschwindigkeit ist um Größenordnungen höher. Übertragungsfehlerraten sind um Größenordnungen niedriger. Verzögerungen bzw. Verzögerungsschwankungen sind geringer. Reichweite ist (bis 100 m) unabhängig von Entfernung und Störquellen.
<b>Wiederverwendbarkeit</b>	Netzwerk kann einfacher verschoben oder wiederverwendet werden.	Feste Verkabelungen kann nicht verschoben oder wiederverwendet werden, erhöht jedoch eventuell den Gebäudewert.
<b>Entwurf</b>	Erweiterte Entwurfsfreiheiten: Es bietet sich die Möglichkeit, kleine unabhängige Geräte zu entwerfen. Eine weitgehend unsichtbare Installation ist möglich.	Entwurfsfreiheiten sind eingeschränkt.
<b>Robustheit/ Wartungsaufwand</b>	Es gibt weniger mögliche Fehlerquellen durch fehlende Leitungen. Bei Brand oder Erdbeben entsteht eventuell weniger materieller Schaden.	Austausch von defekten Kabeln kann aufwändig sein. Bei Brand oder Erdbeben können Kabel beschädigt werden.
<b>Kompatibilität</b>	Aufgrund von langwierigen Standardisierungsprozessen und regionalen Bestimmungen haben sich proprietäre Lösungen entwickelt. Zudem bieten unterschiedliche Hersteller teilweise inkompatible Lösungen an.	Aufgrund des erheblich größeren Reifegrads und des etablierten Marktes gibt es keine Kompatibilitätsprobleme.
<b>Funkbestimmungen</b>	Uneinheitliche Regelungen: Die nationalen Bestimmungen für drahtlose Technik sind unterschiedlich. Die verfügbaren Frequenzen werden weltweit unterschiedlich genutzt. Deshalb arbeiten WLANS vorwiegend auf lizenzfreien Bändern	entfällt
<b>Störungen/ Koexistenz</b>	Die lizenzfreien Bänder stehen auch anderen Nutzungen offen, so dass es zu gegenseitigen Störungen kommen kann. Koexistenz mehrerer WLANs nebeneinander kann zu Störungen führen.	Störungen von außen sind selten. Mehrere LANs können problemlos nebeneinander betrieben werden.
<b>Sicherheit</b>	Unberechtigtes Mithören der Kommunikation ist wesentlich einfacher als bei kabelgebundenen Netzen, deshalb müssen aufwändigere Sicherheitsmaßnahmen ergriffen werden.	Unberechtigtes Mithören ist möglich, jedoch aufwändig. Zugang zu Kabeln muss gegeben sein.

**Tabelle 3: Gegenüberstellung der technischen Eigenschaften von WLAN und LAN – Fortsetzung**  
[nach MYRACH 2002, GROSSMANN 2002]

	<b>WLAN</b>	<b>LAN</b>
<b>Verfügbarkeit des Übertragungsmediums</b>	Funklöcher können Zugriff verunmöglichen. Gezielte Sabotage mit Störsendern ist möglich.	Defekte Kabel können Zugriff unmöglich machen.
<b>elektromagnetische Strahlung</b>	An sensibeln Orten wie Krankenhäusern oder in Flugzeugen müssen besondere Richtlinien eingehalten werden.	entfällt

### **2.1.4 Typische Anwendungsfälle des Local Area Networking**

Im Folgenden werden die typischen Anwendungsfälle des Local Area Networking, wie sie in dieser Arbeit untersucht werden, kurz beschrieben.

Bei einem **Peer-to-Peer-Netzwerk** kommunizieren die Computer direkt miteinander. Eine solche Verbindung kann genutzt werden, wenn beispielsweise von einem Computer Daten auf den anderen übertragen werden sollen, eine Internet-Verbindung gemeinsam genutzt werden soll (Internet-Connection-Sharing) oder die Computer für Computerspiele zwischen zwei Personen genutzt werden. Kabellose Peer-to-Peer-Netzwerke eignen sich besonders für das spontane Ad-hoc-Networking in Sitzungen.

Ein weiterer Anwendungsfall ist das **SOHO-Netzwerk** (SOHO = Small Office/Home Office), das sich für kleine Netzwerke eignet, wie sie in kleinen Büros (Praxen, Selbstständige) und Haushalten vorkommen. Über solche Netzwerke wird häufig der Zugang zum Internet realisiert, wobei sogenannte Router zum Einsatz kommen. Bei der Anwendung in einem Büro könnte es sich um wenige Mitarbeiter handeln, die an ihren Arbeitsplätzen mit Desktop-PCs ausgestattet sind und über ein Notebook für Dienstreisen oder Kundenbesuche verfügen. Innerhalb eines Haushalts könnten die Kinderzimmer mit Desktop-PCs ausgestattet sein, während die Eltern über ein Notebook verfügen. Auch für Wohngemeinschaften wäre eine ähnliche Konstellation denkbar. Einen solchen Anwendungsfall kabellos umzusetzen nimmt immer weiter zu, da sich die Preise kabelgebundenen Lösungen annähern [RECH 2004, S.47].

Darüber hinaus sind wohl die größeren lokalen **Netzwerke für Büros**, Firmen, Schulen oder Universitäten die häufigsten Anwendungsfälle. Hier können mehrere tausend Computer ein Netzwerk bilden, die auf gemeinsam genutzte Ressourcen wie Server, Datenbanken und Drucker zugreifen.

## 2.2 Umweltrelevante Bereiche der IuK-Technologie

Bei den Umweltauswirkungen der Informations- und Kommunikationstechnologie (IuK) unterscheidet man zwischen drei verschiedenen Arten [vgl. HILTY ET AL. 2003, S. 185; EITO 2002; FICHTER 2001, RUIZ BEQ, QUACK 2003]:

- Direkte bzw. primäre Effekte sind solche, die auf dem Lebensweg der Hardware von der Herstellung bis zur Entsorgung verursacht werden.
- Indirekte bzw. sekundäre Effekte sind solche, die durch die Anwendung von IuK-Technologien hervorgerufen werden. Durch die Anwendung können andere Prozesse beeinflusst werden, die wiederum positive oder negative Umweltauswirkungen verursachen (z.B. Verkehrsvermeidung bzw. -erzeugung).
- Tertiäre Effekte: Verhaltensweisen und Strukturen verändern sich aufgrund veränderter Bedingungen durch IuK-Technologien. Diese Veränderungen wirken sich auch auf die Umwelt aus.

Der sogenannte Rebound-Effekt gehört zu den tertiären Effekten. Er tritt auf, wenn durch den Einsatz von IuK-Technologie durch Effizienzsteigerungen der Ressourcenverbrauch gesenkt werden soll, dieser jedoch durch beispielsweise vermehrten Konsum kompensiert oder sogar überkompensiert wird.

Diese Arbeit untersucht direkte Umwelteffekte, so dass auf diese im Folgenden näher eingegangen wird.

Die Schwerpunkte der direkten Umweltbelastungen durch elektronische Geräte können in verschiedenen Stadien des Lebenszyklus liegen. Beispielsweise haben Lebenszyklusanalysen von PCs gezeigt, dass bei diesen Produkten die Herstellung zu den größten Umweltbelastungen führt [GROTE 1995; STRUBEL, GENSCH 1996; GROTE, MALLEY 1997]. Insbesondere die Herstellung von Mikrochips ist mit umweltbelastenden Prozessen verbunden [WILLIAMS 2002], wie in Kapitel 2.2.2 näher ausgeführt wird.

Andere Produkte des IuK-Bereichs, wie z.B. Fernseher verursachen die größten Umweltbelastungen während der Nutzungsphase [BEHRENDT 1998A, S.145; STRUBEL ET AL. 1999].

Aber auch die Entsorgung der steigenden Menge an Elektronikschrott führt zu Umweltbelastungen, da der Großteil der Altgeräte noch in Müllverbrennungsanlagen bzw. auf Deponien beseitigt wird. Eine Verwertung bzw. Wiederverwendung findet bisher kaum statt [BEHRENDT 1998, S.3]. Hier ist jedoch aufgrund der Umsetzung der europäischen WEEE-Richtlinie<sup>3</sup> in absehbarer Zukunft mit Veränderungen zu rechnen.

In den folgenden Abschnitten wird auf die direkten Umwelteffekte durch die Herstellung von Mikrochips und Leiterplatten sowie den anfallenden Elektronikschrott näher einge-

---

<sup>3</sup> Die WEEE-Richtlinie regelt die Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten bezüglich der kostenlosen Rückgabe, Finanzierung der Behandlung, Verwertung und Beseitigung durch die Gerätehersteller, die getrennte Sammlung, Behandlung und Verwertung sowie die Festlegung von Sammel- und Verwertungszielen. [WEEE 2003]

gangen. Auch wenn die elektromagnetische Strahlung in die ökobilanzielle Untersuchung nicht betrachtet wird, soll sie jedoch hier der Vollständigkeit halber aufgeführt werden.

### **2.2.1 Exkurs: Elektromagnetische Strahlung**

Ein kontrovers diskutiertes Thema sind die gesundheitlichen Auswirkungen durch elektromagnetische Strahlung, die durch die zunehmende Verbreitung von kabellosen Geräten weiter steigt.

Beim Betrieb von Funknetzwerken entsteht durch die daran beteiligten Komponenten elektromagnetische Strahlung. Vor allem im Bezug auf Mobilfunk wird kontrovers diskutiert, inwieweit elektromagnetische Strahlung Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit hat. Man unterscheidet dabei zwischen thermischen und athermischen Wirkungen. Die thermischen Wirkungen führen zu einer Erwärmung des Gewebes und sind allgemein anerkannt. Gesetzliche Grenzwerte wurden weitestgehend aufgrund von thermischer Wirkung abgeleitet. Risiken durch elektromagnetische Strahlung unterhalb der thermischen Wirkungsschwelle gelten als weitgehend ungeklärt [HILTY ET AL. 2003, S. 145; BENISCHKE ET AL. 2001]. Mögliche Gesundheitsauswirkungen werden in Bezug auf Nervensystem und Gehirn, Krebsrisiko, Augen, Fortpflanzung und Entwicklung, Blut und Immunsystem, kardiovaskuläres System, Zellen und subzelluläre Strukturen sowie Elektrosensibilität diskutiert.

#### *Sendecharakteristika, Grenz- und Vorsorgewerte*

Funknetzwerke nach dem Standard IEEE 802.1b senden in einem Frequenzbereich von 2,40 bis 2,48 GHz. Dabei handelt es sich um gepulste hochfrequente elektromagnetische Strahlung. Für die Geräte wurde eine maximale Sendeleistung von 100 mW in Innenräumen und 1 W im Außenbereich festgelegt. [BFS 2003] Die übliche Sendeleistung der meisten Access Points beträgt 30 mW [SIKORA 2001].

Immissionsschutzrechtlich gibt es einen Grenzwert für den Frequenzbereich ab 2 GHz von 61 V/m bzw. 0,99 mW/cm<sup>2</sup>. Dieser gilt laut 26. BImSchV (Verordnung über elektromagnetische Felder) erst ab einer Sendeleistung von 10 W für ortsfeste Sendefunkanlagen. Da das WLAN nur mit maximal 1 W sendet, findet dieses Gesetz keine Anwendung. [BFS 2003]

Jedoch werden von verschiedenen wissenschaftlichen Instituten Vorsorgewerte empfohlen. So rät das Nova-Institut, bei 2,45 GHz eine Leistungsflussdichte von 0,1 W/m<sup>2</sup> nicht zu überschreiten [NIEßEN 2001, S. 2]. Das ECOLOG-Institut empfiehlt, in sensiblen Bereichen wie Wohngebieten, Schulen, Kindergärten, Spielplätzen und Krankenhäusern die Gesamtexposition unter 0,01 W/m<sup>2</sup> zu halten [NEITZKE 2003, S. 7].

#### *Messergebnisse von WLAN-Netzen*

Messwerte von WLAN-Netzen liegen vom Bremer Universitätsgelände sowie von öffentlichen Plätzen mit Hotspots<sup>4</sup> vor. Zudem hat die Zeitschrift Öko-Test im Oktober 2003 die Leistungsflussdichte von Access Points im Abstand von einem Meter gemessen.

---

<sup>4</sup> Öffentliche Zugangspunkte ins Internet

Auf dem Bremer Universitätsgelände wurden an einem Arbeitsplatz ohne eigenen WLAN-Netzzugang aber in unmittelbarer Nähe zu einem Access Point  $0,0025 \text{ W/m}^2$  gemessen. Bei einer WLAN-Steckkarte eines Notebooks lagen die Werte in 10 bis 20 cm Entfernung bei  $0,05$  bis  $0,16 \text{ W/m}^2$ , während er in typischer Kopfposition bei  $0,004 \text{ W/m}^2$  lag. [NOVA 2003]

Die Ergebnisse der Messungen von Öko-Test an Hotspots ergaben Leistungsflussdichten von kaum messbaren Werten bis zu Maximalwerten von  $0,023 \text{ W/m}^2$ , gemessen an Orten, an denen sich Menschen teilweise auch über längere Zeit aufhalten. Teilweise wurden diese Werte allerdings von umliegenden Mobilfunksendern deutlich und von DECT-Telefonen aus umliegenden Häusern leicht übertroffen. Die Messungen im Abstand von einem Meter zu einem mit WLAN-Karte ausgestatteten Notebook ergaben Werte von  $0,015$  bis  $0,020 \text{ W/m}^2$ . [ÖKO-TEST 2002]

Die von Öko-Test gemessenen Access Points wiesen in einem Abstand von einem Meter Leistungsflussdichten zwischen  $0,0012 \text{ W/m}^2$  und  $0,1015 \text{ W/m}^2$  auf. [ÖKO-TEST 2003]

Schlussfolgerungen dieser Tests in Bezug auf elektromagnetische Strahlung sind folgende Empfehlungen für den Einsatz von WLAN [ÖKO-TEST 2002, 2003]:

- Mindestabstand von 10 Metern zu WLAN-Antennen,
- mit Access Point größtmöglichen Abstand zu Daueraufenthaltsorten einhalten,
- Access Point an schaltbare Steckdosenleiste anschließen und bei Nichtgebrauch ausschalten, um Dauersendung zu vermeiden,
- zu Hause lieber kabelgebunden vernetzen,
- in Schulen und Kindergärten auf WLAN verzichten,
- WLAN-Karte im Notebook bei Nichtbenutzung abschalten.

### **2.2.2 Herstellung von Mikrochips**

Mikrochips bestehen aus einem Halbleiterchip (Die = Rohchip), einem Metallrahmen, Anschlussdrähten und einem Gehäuse aus Kunststoff oder Keramik. Bei dem Halbleiter handelt es sich um Silizium, das mit Arsen oder Antimon dotiert wird. Weitere Inhaltsstoffe sind Aluminium, Phosphor, Wolfram und Nitrit. Die Dotier- und Inhaltsstoffe sind mengenmäßig vernachlässigbar, da sie unterhalb der natürlichen Hintergrundkonzentration liegen. Der Halbleiterchip wird von einem Metallrahmen aus einer Eisen- oder Kupferlegierung gehalten und von einem Gehäuse ummantelt. Dabei handelt es sich meistens um Kunststoff, der hauptsächlich aus Siliziumoxid ( $\text{SiO}$ ) und teilweise bromierten Epoxidharzen besteht. Weitere Zusätze von Antimontrioxid sowie geringe Mengen an Silikongel als Füllstoff sind möglich. [BEHRENDT 1998A, S. 92FF.]

Das hochreine Silizium (99,9999%) für den Halbleiterchip wird aus Siliziumdioxid gewonnen, welches zu Silizium reduziert wird. Dieses ist jedoch noch nicht rein genug, weshalb es mit Chlor zu Trichlorsilan reagiert, welches vom ebenfalls entstehenden Tetrachlorsilan ( $\text{SiCl}_4$ ) destillativ abgetrennt wird. Bei der Reaktion mit Wasserstoff entsteht aus Trichlorsilan wieder Silizium, aus dem z.B. mit Hilfe des Czochralski-Prozesses ein Silizium-Einkristall gewonnen wird. Dieser wird in dünne Scheiben, die sogenannten Wafer gesägt. [WILLIAMS 2002]

Die Herstellung von Mikrochips ist relativ zu ihrer geringen Größe ein energieintensiver und umweltbelastender Prozess [BEHRENDT 1998A, S. 98; WILLIAMS 2002].

Der hohe Energieverbrauch wird vornehmlich durch den Betrieb der Reinräume verursacht. Diese sind notwendig, um die Staubfreiheit bei der Herstellung zu gewährleisten. [BEHRENDT 1998A, S. 101] Zudem werden eine Vielzahl hochreiner vorwiegend organischer Chemikalien eingesetzt, deren Aufreinigung sehr energieintensiv ist. [WILLIAMS 2002] Insgesamt weisen die hochreinen Materialien für die Mikrochip-Herstellung aufgrund ihrer hohen inneren Ordnung eine geringe Entropie auf. Da die Ausgangsmaterialien jedoch von hoher Entropie sind, ist aufgrund der Gesetze der Thermodynamik ein großer Energieaufwand nötig, die innere Ordnung des Endprodukts zu erreichen. [WILLIAMS 2002]

Während der Gewinnung des Silizium-Ein-Kristalls ist der Verlust an Silizium beträchtlich. So werden 9,4 kg Roh-Silizium benötigt, um ein Kilogramm Wafer zu erzeugen. [WILLIAMS 2002]

Bei der Dotierung des Siliziums entstehen umweltschädliche Reaktionsgase wie die toxischen Verbindungen Phosphor- oder Arsenwasserstoff. Überschüssige Gase müssen aufgefangen und vor der Entsorgung behandelt werden. [BEHRENDT 1998A, S. 98]

Da es durch den Chip zu einer hohen Wärmeentwicklung im Gehäuse kommen kann, sind diese mit Flammhemmern ausgerüstet, die meist zu den Gefahrstoffen zählen. [BEHRENDT 1998A, S. 92FF.]

### 2.2.3 Herstellung von Leiterplatten

Die Leiterplatte ist Träger der elektronischen Bauteile und verbindet diese über die Leiterbahnen. Sie besteht aus einem Basismaterial, auf dem das Leiterbild erzeugt wird. Beim Basismaterial unterscheidet man zwischen FR-2-, FR-3- oder FR-4-Materialien (FR = Flame Retardant).

**Tabelle 4:** Leiterplattenarten [BEHRENDT 1998A, S. 63]

Name	Zusammensetzung
FR-2	Trägermaterial Papier mit Phenolharzen versetzt
FR-3	Trägermaterial Papier mit Epoxidharzen versetzt
FR-4	Trägermaterial Glasfaser mit Epoxidharz versetzt

Um das Leiterbild auf das Basismaterial aufzubringen, gibt es mehrere Verfahren. Am häufigsten wird die Subtraktiv-Technik angewendet. Dabei kann das Basismaterial einseitig oder zweiseitig (durchkontaktiert) mit Leiterbahnen versehen werden. Die Durchkontaktierung erfordert galvanische Abscheideverfahren und umfangreichere Vorreinigungsschritte, was im Vergleich zur einseitigen Leiterplatte zu höheren Umweltbelastungen führt. [BEHRENDT 1998A, S. 68]

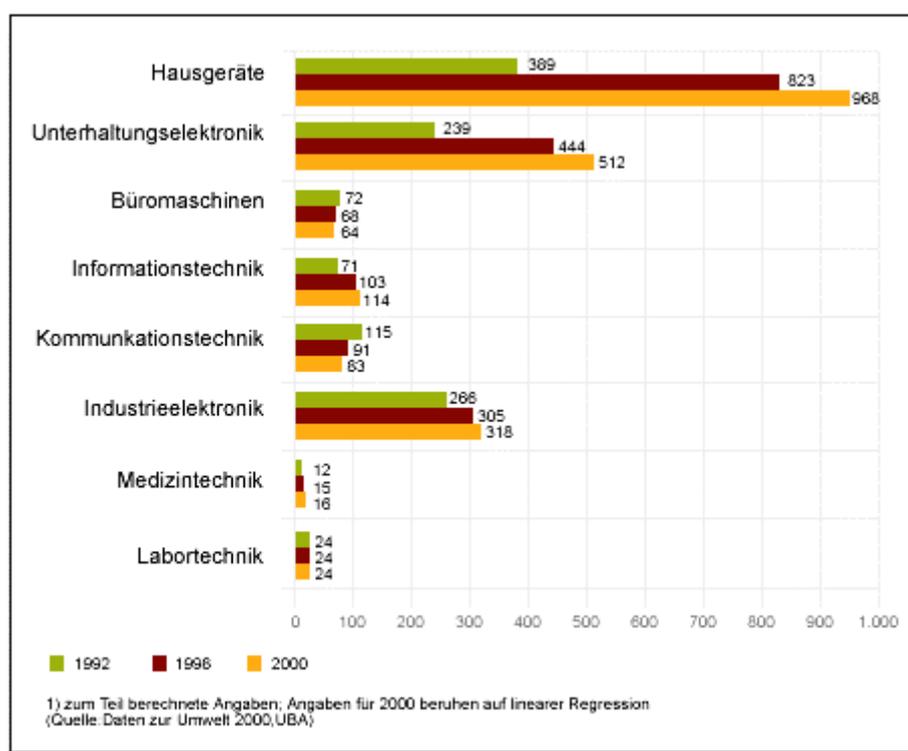
Durch die Leiterplattenherstellung entstehen Abfälle und Abwässer, die ökologisch kritisch sind, da sie einen hohen Gehalt an Kupfer und Komplexbildnern aufweisen. Zudem ent-

stehen Emissionen an halogenierten Lösemitteln und flüchtigen Kohlenwasserstoffen. [BEHRENDT 1998A, S. 140]

### 2.2.4 Elektronikschrott

Es ist zu erwarten, dass die Elektronikschrottmenge, die durch IuK-Geräte anfällt, zukünftig noch ansteigen wird, da die Anzahl dieser Geräte im Bestand steigt und die Nutzungsdauer immer kürzer wird. [HILTY ET AL. 2003, S. 196]

Von den rund zwei Millionen Tonnen Elektronikschrott, die 1998 in Deutschland anfielen (vgl. Abbildung 2), waren 150 000 Tonnen Leiterplatten. [HILTY ET AL. 2003, S. 194]



**Abbildung 2: Aufkommen von Elektroaltgeräten in Deutschland (in 1000 t)**  
[UMWELTBUNDESAMT 2000]

Elektronische Altgeräte werden zum Großteil über den Hausmüll entsorgt, d.h. sie enden in Müllverbrennungsanlagen oder auf Deponien [BEHRENDT 1998, S. 69]. In einer Müllverbrennungsanlage kann der Einsatz halogenhaltiger Flammhemmer in Verbindung mit erhöhtem Kupfereintrag (katalytische Wirkung) und chlorhaltigen Kunststoffen zu vermehrter PCDD- und PCDF-Bildung führen, was unter Umständen eine aufwändigere Rauchgasreinigung erforderlich macht. Zudem werden einerseits mehr Schwermetalle wie Kupfer, Nickel und Zink in die Schlacke eingetragen, andererseits auch Glas aus LCDs und silikatisches Leiterplattenmaterial. Der Nettoeffekt auf die Zusammensetzung der Schlacke und das Auslaugverhalten lässt sich nicht abschätzen. [HILTY ET AL. 2003, S. 195]

## 2.3 Die Methodik der Ökobilanz

Laut DIN EN ISO 14040 (1997) ist die Ökobilanz „eine Methode zur Abschätzung der mit einem Produkt verbundenen Umweltaspekte und produktspezifischen potenziellen Umweltwirkungen, durch

- Zusammenstellung einer Sachbilanz von relevanten Input- und Outputflüssen eines Produktsystems;
- Beurteilung der mit diesen Inputs und Outputs verbundenen potenziellen Umweltwirkungen;
- Auswertung der Ergebnisse der Sachbilanz und Wirkungsabschätzung hinsichtlich der Zielstellung der Studie.

Die Ökobilanz-Studie untersucht die Umweltaspekte und potenziellen Umweltwirkungen im Verlauf des Lebenswegs eines Produktes (d.h. „von der Wiege bis zur Bahre“) von der Rohstoffgewinnung, über Produktion, Anwendung bis zur Beseitigung.“ [ISO 14040 1997]

Mit Hilfe von Ökobilanzen können wesentliche Schwachstellen innerhalb von Produktlebenszyklen oder Produktionsverfahren identifiziert sowie verschiedene Alternativen verglichen und bewertet werden, so dass sie als umweltorientiertes Informations-, Zielfindungs- und Planungsinstrument dienen. Aus diesem Grund werden Ökobilanzen als Hilfsmittel für umweltorientierte Entscheidungen bezüglich der Auswirkungen eines Produktes, Prozesses oder einer Dienstleistung herangezogen. [BEHRENDT 1998A, S. 1F.]

### 2.3.1 Vorgehen gemäß DIN EN ISO 14040ff.

Der erste Bestandteil einer Ökobilanz ist die **Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens**. In der Zieldefinition muss die beabsichtigte Anwendung dargestellt, die Gründe für die Durchführung der Studie erläutert sowie die anzusprechende Zielgruppe identifiziert werden [ISO 14040 1997].

Der Untersuchungsrahmen umfasst laut DIN EN ISO 14040 (1997) folgende Punkte:

- die Funktionen des Produktsystems bzw. Systeme,
- die funktionelle Einheit,
- das zu untersuchende Produktsystem,
- die Grenzen des Produktsystems,
- die Allokationsverfahren,
- die Wirkungskategorien und die Methode für die Wirkungsabschätzung und die anschließend anzuwendende Auswertung,
- die Anforderungen an Daten,
- die Annahmen,
- die Einschränkungen,
- die Anforderungen an die Qualität der Daten,
- die Art der kritischen Prüfung, sofern vorgesehen,
- die Art und der Aufbau des für die Studie vorgesehenen Berichts.

In der **Sachbilanz** werden die relevanten Input- und Outputflüsse eines Produktsystems quantifiziert. So können sich Inputflüsse auf die beanspruchten Ressourcen und Outputflüsse auf Emissionen in Wasser, Boden und Luft beziehen. Die Sachbilanzdaten werden für die verschiedenen Lebenswegabschnitte eines Produktsystems getrennt gesammelt, um sie entsprechend auswerten zu können. Zudem müssen die Daten auf die funktionelle Einheit bezogen werden. [ISO 14041 1998]

Die Ergebnisse der Sachbilanz sind Grundlage für die anschließende Wirkungsabschätzung.

Zur **Wirkungsabschätzung** gehört die Auswahl der Wirkungskategorien, Wirkungsindikatoren und Charakterisierungsmodelle. Die Klassifizierung beinhaltet die Zuordnung der Sachbilanzergebnisse zu den Wirkungskategorien und die Charakterisierung die Berechnung der Wirkungsindikatorergebnisse. Diese Schritte sind verbindlich durchzuführen, wohingegen die Schritte Normierung, Ordnung und Gewichtung optional sind. Die Analyse der Datenqualität ist nur bei vergleichenden Aussagen verbindlich. [ISO 14042 2000]

In der **Auswertung** werden aufgrund der Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung Schlussfolgerungen und Empfehlungen abgeleitet. Die Auswertung sollte in Übereinstimmung mit Ziel und Untersuchungsrahmen erfolgen und eine „leicht verständliche, vollständige und in sich schlüssige Darstellung der Ergebnisse“ [ISO 14043 2000] einer Ökobilanz liefern. Einschränkungen sollten dabei erläutert werden. Die Bestandteile der Auswertung sind [ISO 14043 2000]:

- die Identifizierung der signifikanten Parameter,
- die Beurteilung, die die Vollständigkeits-, Sensitivitäts- und Konsistenzprüfung berücksichtigt,
- Schlussfolgerungen, Empfehlungen und der Bericht der signifikanten Parameter.

### **2.3.2 Besonderheiten bei der Ökobilanz von elektronischen Produkten**

Das folgende Kapitel stützt sich weitestgehend auf die Erkenntnisse eines Methodenpapiers zur Ökobilanzierung in der Elektroindustrie herausgegeben vom ZVEI<sup>5</sup> (2000). Bei der Ökobilanzierung von elektronischen Produkten sind folgende Merkmale dieser Produktgruppe zu berücksichtigen [ZVEI 2000, S. 11]:

- breit gestreute, inhomogene Produktpalette,
- meistens Multifunktionsprodukte,
- Produkte enthalten Hard- und Softwareanteile,
- hohe Stoffvielfalt,
- ständiger Trend zur Miniaturisierung,
- z.T. sehr kurze Innovationszyklen, einhergehend mit stetem Preisverfall,
- für Funktion immer Energiequelle notwendig,
- teilweise geringe Fertigungstiefe bei Herstellung,
- globale Supplier- und Distributionsnetze,

---

<sup>5</sup> Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie

- Produkte mit komplexem, oft nicht vorhersehbarem Lebensweg,
- Nutzung erfolgt in Industrie, Handel, Dienstleistung und privatem Bereich.

Aus diesen Merkmalen ergeben sich besondere Anforderungen an die Ökobilanzierung von elektronischen Produkten.

Im Untersuchungsrahmen sollte eine genaue technische Beschreibung erfolgen. Bei mehreren möglichen Anwendungen sollte die Verwendung angegeben bzw. das angenommene Anwendungsmuster definiert werden. Dementsprechend muss die funktionelle Einheit alle wesentlichen Funktionen angemessen berücksichtigen. Da in der Nutzungsphase wesentliche potenzielle Umweltwirkungen erwartet werden können, sollte diese entsprechend betrachtet werden. Bezüglich des geographischen Bezugs ist zu beachten, dass die Rohstoffentnahme insbesondere für Metalle weltweit geschieht und meist nicht ermittelbar ist. Zudem beeinflusst der Ort der Nutzung das Anwendungsmuster sowie die Umweltbelastungen durch die örtliche Energieversorgung. Aber auch die Abfallentsorgung ist weltweit unterschiedlich. Beim zeitlichen Bezug ist die Lebensdauer von elektronischen Produkten zu berücksichtigen. [ZVEI 2000, S. 16ff.]

Da elektronische Produkte sehr komplex sind, ist es sinnvoll, Vereinfachungen vorzunehmen, um den Aufwand für die Datensammlung zu reduzieren. Elektronische Produkte zeichnen sich dadurch aus, dass sie ähnliche Baugruppen enthalten, die sich nur in ihren Kennwerten unterscheiden. Dadurch können Analogieschlüsse gezogen werden, so dass z.B. Widerstände und Kondensatoren gleichen Typs, aber mit unterschiedlichen Kennwerten oder Halbleiterbauelemente gleicher Prozesstechnik wie ein Bauteil behandelt werden können. So können die Umweltbelastungen bei der Herstellung von Mikrochips im wesentlichen auf die hergestellte Chipfläche und die Komplexität der hergestellten Schaltungen (Maskierungsschritte) zurückgeführt werden. [KASPAR 1999]

Laut des Anhangs Methodenpapier der ZVEI sollte sich die Datensammlung resultierend aus den Erfahrungen aus verschiedenen Studien zu elektrotechnischen Produkten auf bestimmte Bereiche konzentrieren. Das bedeutet, dass bestimmte Bereiche vorrangig berücksichtigt werden, während andere Bereiche nach einer Prüfung mit Begründung unter Umständen vernachlässigt werden können. Im Folgenden werden Bereiche aufgeführt, auf die eine Konzentration stattfinden kann. [ZVEI 2000, ANHANG]

Die Input-Output-Daten für die Sachbilanz können für die wichtigsten Lebenswegabschnitte wie Produktion der Vorprodukte, Produktion, Nutzung und Entsorgung erhoben werden. Für Rohstoffgewinnung, Weiterverarbeitung, Montage und Distribution reicht eventuell eine qualitative Abbildung. Innerhalb der Lebenswegabschnitte kann die Konzentration auf bestimmte Spezifika erfolgen [ZVEI 2000, ANHANG]:

- für die (Vor-)Produktion auf Energieverbrauch, Abfallaufkommen, Ökotoxizität Luft/Wasser;
- für die Nutzung auf Primärenergieverbrauch, energiebedingter Abfall, Ausdunstung von halogenierten Organika;
- für die Entsorgung durch Deponierung auf Emissionen an VOC, Sickerwasser und durch Verbrennung auf Sonderabfall, Schwermetalldämpfe, Stäube, organische Verbindungen von der Anlage, u.U. Dioxine, Furane und HCl.

Die Elektronikindustrie und ihre Produkte weisen bereits bekannte Schwachstellen auf, auf die eine Konzentration erfolgen kann. Zu diesen gehören [ZVEI 2000, ANHANG]:

- ein hoher Energieverbrauch in Produktion und Gebrauch,
- der Abbau nicht-erneuerbarer Ressourcen,
- die Verwendung von toxischen Stoffen wie Schwermetallen, halogenierten organischen Verbindungen etc.

Bei der (Vor-)Produktion kann eine Konzentration auf die wichtigsten Prozesse, aber auch auf Stoffe bzw. Emissionen und Abfälle erfolgen. Zu den Prozessen gehören Oberflächenreinigung, galvanische Behandlung, Lackierung, Chipherstellung, Leiterplattenherstellung, Löten, Prozesse mit Kühlschmierstoffen, allg. Prozesse in genehmigungspflichtigen Anlagen. Wichtige Stoffe bzw. Emissionen sind Schwermetalle, Ätzmittel, halogenorganische Verbindungen, organische Lösungsmittel, Arsin, Phosphin, VOC, Säuren, Glykolether, Dioxine, Furane und Chlorsilane. Zu den wichtigsten Abfällen zählen Abraum, Schlämme, Schwermetalle, halogenhaltige Lösungsmittel, Ätzlösungen, Säuren, Laugen, Galvanikabfall, Kunststoffe, Leiterplatten, Lotabfall und Trägermaterialien. [ZVEI 2000, ANHANG]

Wenn bestimmte Stoffe vorrangig berücksichtigt werden, sind dies Werkstoffe wie Metalle (v.a. Kupfer und Stahl), Kunststoffe (v.a. ABS, PA) und Glas sowie Inhaltsstoffe wie Antimontrioxid, Blei, Schwermetalle, PBDD, PVC, halogenhaltige Flammhemmer, Leuchtstoffe, Halbleiter, Amide, Harze etc. Bei einer Konzentration auf Bauteile sind hier aktive Bauelemente, Leiterplatten sowie Displays/Bildröhren zu nennen. [ZVEI 2000, ANHANG]

Das Methodenpapier des ZVEI nennt für die Elektroindustrie folgende Wirkungskategorien [ZVEI 2000, S. 59]:

- globale Erwärmung,
- Ozonabbau,
- Eutrophierung,
- Versauerung,
- Ressourcen- und Energieverbrauch,
- Human- und Ökotoxizität,
- Abfall,
- Radioaktivität.

Diese Kategorien decken sich im Wesentlichen mit den Standard-Kategorien der Ökobilanzierung. Nicht aufgeführt ist die Photooxidantienbildung sowie der Flächenverbrauch. Für die Radioaktivität ist das Problem der Bewertung noch nicht abschließend gelöst. Die Wirkungskategorie „Elektrosmog“ ist laut ZVEI (2000) nicht vorgesehen, da keine entsprechenden Abbildungsvorschriften zur Verfügung stehen.

## 3 Ökobilanzielle Untersuchung von lokalen Netzwerken

### 3.1 Ziel und Untersuchungsrahmen

Ziel dieser Untersuchung ist,

- die potenziellen Umweltbelastungen von Funknetzwerken (WLAN) im Vergleich zu kabelgebundenen Netzwerken in ihrer Funktion als Local Area Networks zu ermitteln;
- darauf aufbauend das Umweltentlastungspotenzial von Funknetzwerken zu identifizieren;
- Handlungsempfehlungen für den Aufbau und Betrieb von lokalen Netzwerken zu formulieren, um ein mögliches Umweltentlastungspotenzial auszuschöpfen.

Anhand des Vergleichs unterschiedlicher Anwendungsbeispiele soll abgeschätzt werden, inwiefern Funknetzwerke im Vergleich zu kabelgebundenen Netzwerken Umweltbelastungen hervorrufen und unter welchen Bedingungen sie zu Umweltentlastungen führen können. Daneben sollen Optimierungspotenziale identifiziert werden, so dass letztendlich Handlungsempfehlungen für den möglichst umweltgerechten Aufbau und Betrieb von lokalen Netzwerken abgeleitet werden sollen. Diese richten sich an Entscheidungsträger beim Aufbau von Netzwerken, an Vertreiber und Planer von Netzwerken, an Hersteller von Netzwerkkomponenten, an die Nutzer von Netzwerken sowie die interessierte Öffentlichkeit.

#### 3.1.1 Funktion und Vergleichbarkeit der Produktsysteme

Gegenstand der Untersuchung sind kabelgebundene Fast Ethernet Netze des Standards IEEE 802.3u und Funknetzwerke des Standards IEEE 802.11b. In dieser Arbeit wird das Local Area Networking untersucht, das folgende **Funktionen** erfüllt [GROSSMANN 2002, S. 40]:

- elektronische Kommunikation zwischen Arbeitsplätzen,
- Möglichkeit zum Dokumentenaustausch,
- Zugang auf zentrale Ressourcen,
- Zugang zu zentralen Serverdiensten,
- Anbindung von öffentlichen Netzen.

Bei vergleichenden Ökobilanzen muss die **Vergleichbarkeit** der Systeme beurteilt werden [ISO 14040 1997, S.9]. Laut FLEISCHER (1995) ist die Nutzengleichheit eine methodisch geforderte Voraussetzung zum Vergleich von Systemen mit Hilfe von Ökobilanzen. Alle zu vergleichenden Produkte müssen alle im Sinne des Zieles der Studie relevanten messbaren Funktionen aufweisen. Darüber hinaus ist es „äußerst wünschenswert, dass auch die weiteren Funktionen der zu vergleichenden Produkte (messbare und auch nicht messbare) gleich sind“ [FLEISCHER 2000, S.6].

Laut GROSSMANN (2002) sprechen folgende Gründe für den Vergleich von wireless LAN mit Fast Ethernet-Netzwerken:

- der IEEE 802.3-Standard, zu dem Fast Ethernet gehört und der IEEE 802.11-Standard für kabellose Netzwerke gehören beide zu der IEEE 802-Familie und sind sich somit relativ ähnlich und deshalb vergleichbar [S. 49];
- Fast Ethernet-Netzwerke sind sehr populär und besitzen eine hohe Akzeptanz im IT-Bereich [S. 49];
- Wireless LANs sind ebenso gut in der Lage, die klassischen LAN-Funktionen abzudecken wie kabelgebundene LANs [S. 61].

Im Folgenden werden jedoch noch die wesentlichen Funktionsunterschiede diskutiert.

Einer der augenscheinlichsten Unterschiede zwischen den beiden Systemen ist die Übertragungsgeschwindigkeit. Das kabelgebundene Netzwerk verfügt über eine Datenübertragungsrate von 100 MBit/s, während das Funknetzwerk nur mit etwa 5 bis 6 MBit/s (netto) überträgt [AHLERS 2003]. Große Übertragungskapazitäten werden vor allem durch neuartige Multimedia-Datentypen benötigt. In durchschnittlichen Haushalten und Büros sind solche Anwendungen eher selten. Deshalb wird angenommen, dass in den untersuchten Anwendungsbeispielen keine oder nur selten derart große Datenpakete transferiert werden und so auch 5 bis 6 MBit/s völlig ausreichend sind. Theoretisch hätte auch der Ethernet-Standard mit 10 MBit/s als Vergleichsnetzwerk herangezogen werden können, doch findet dieser bei neu aufzubauenden Netzwerken keine Anwendung mehr. Zudem sind kaum noch reine Ethernet-Geräte im Handel, sondern immer kombiniert mit Fast Ethernet.

Auch die Reichweite der beiden Systeme ist unterschiedlich. So erreicht wireless LAN eine Datenübertragung von 10 bis 30 m in Innenräumen, während beim kabelgebundenen LAN maximale Kabellängen von 100 m erlaubt sind. Bei den untersuchten Anwendungsbeispielen sind jedoch maximale Reichweiten von 15 m nötig, die für beide Systeme unproblematisch sind.

Ein weiterer gravierender Unterschied liegt im Installationsaufwand beim Aufbau der Netze. Der Aufbau eines kabelgebundenen Netzwerks ist mit mehr baulichen Tätigkeiten verbunden als der eines kabellosen Netzwerks. Doch etwaige Baumaßnahmen wurden bei dieser Untersuchung nicht berücksichtigt, da in diesem Bereich mit relativ geringen Umweltbelastungen zu rechnen ist.

Aus dem geringen Installationsaufwand resultiert die größere Flexibilität kabelloser im Vergleich zu kabelgebundenen Netzwerken. Dieser Nutzenunterschied ist jedoch nicht abbildbar und aufgrund der untersuchten Funktion des Local Area Networking auch weniger relevant als bei anderen Anwendungen.

### **3.1.2 Festlegung der funktionellen Einheit**

Aus der Zielstellung, Optimierungspotenzial für den Aufbau von Funknetzwerken abzuleiten ergibt sich eine funktionelle Einheit von 1000 Netzwerken in einjährigem Betrieb. Durch die Wahl dieser Bezugsgröße lässt sich die Funktion des Local Area Networking beschreiben.

### 3.1.3 Untersuchte Systeme

Bei den untersuchten Systemen handelt es sich um fiktive, jedoch durchaus praxisrelevante Anwendungsbeispiele, wie sie in der Realität vorkommen könnten. Im Folgenden werden diese Anwendungsbeispiele jeweils in der kabellosen und der kabelgebundenen Form dargestellt. Dazu werden der Netzaufbau und die notwendigen Komponenten, wie Netzwerkadapter, Kabel, Switches etc. beschrieben. Bei den untersuchten Anwendungsbeispielen handelt es sich um ein Peer-to-Peer-Netzwerk, ein Small Office/Home Office-Netzwerk (SOHO) und ein Büro-Netzwerk.

#### 3.1.3.1 Peer-to-Peer-Netzwerk

Für dieses Anwendungsbeispiel wurde die Verbindung von zwei Desktop-Computern gewählt. Wird der Anwendungsfall kabelgebunden gelöst, benötigt man zwei Fast-Ethernet-PCI-Netzwerkkarten und ein Twisted-Pair-Patchkabel (Crossover). Für die Länge des Kabels wurden 5 m angenommen, wodurch zwei Computer im selben Raum, aber auch noch in eng benachbarten Räumen verbunden werden können.

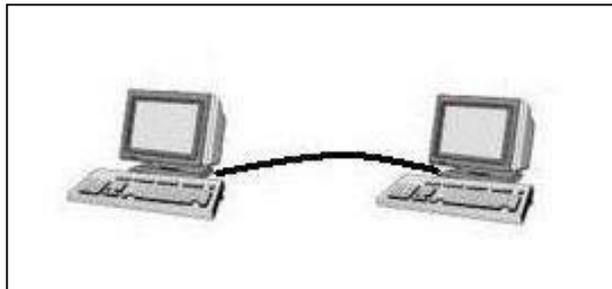


Abbildung 3: Kabelgebundenes Peer-to-Peer-Netzwerk [eigene Darstellung]



Abbildung 4: Kabelloses Peer-to-Peer-Netzwerk [eigene Darstellung]

Das Funknetzwerk zwischen zwei Desktop-Computern besteht aus zwei WLAN-USB-Adaptern, die wiederum mit jeweils einem Meter USB-Kabel angeschlossen werden. Die Distanz von einem Meter wird zwischen dem USB-Anschluss des Computers und dem Standort des WLAN-USB-Adapters als ausreichend angenommen. Der prinzipielle Aufbau der Netzwerke kann den Abbildungen 3 und 4 entnommen werden.

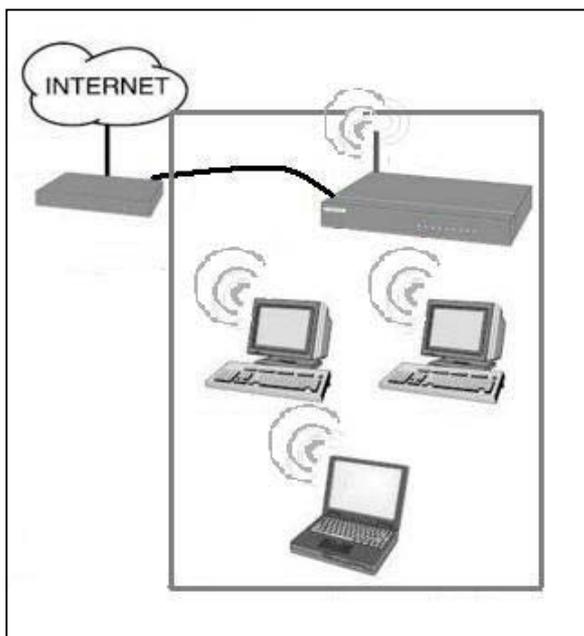
Tabelle 5 zeigt eine detaillierte Aufstellung der Komponenten, die für die jeweiligen Netzwerke bilanziert werden.

Tabelle 5: Komponenten des Peer-to-Peer-Netzwerks

LAN (Fast Ethernet)			WLAN (IEEE 802.11b)		
Stück	Meter	Komponente	Stück	Meter	Komponente
2		PCI-Netzwerkkarten	2		WLAN-USB-Adapter (inkl. 1 m USB-Kabel)
	5	Patchkabel (FTP)			

### 3.1.3.2 SOHO-Netzwerk

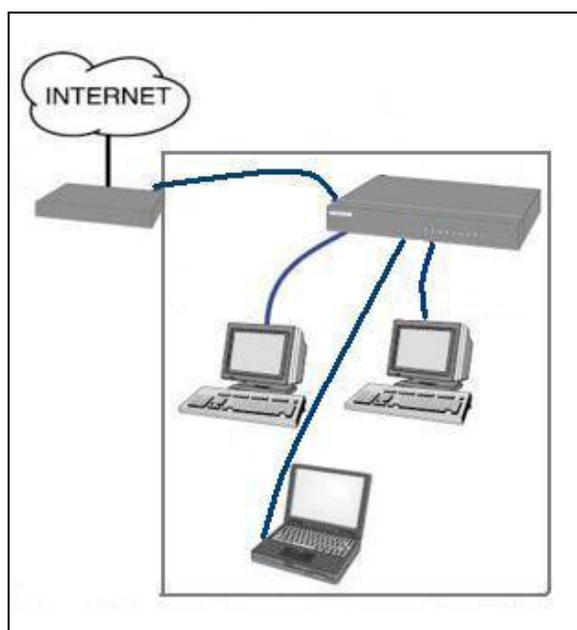
Für dieses Anwendungsbeispiel wurde die Verbindung zwischen zwei Desktop-Computern und einem Notebook gewählt. Dieses Netzwerk wird für beide Varianten inklusive eines Routers mit integriertem DSL-Modem bilanziert. Er verfügt gleichzeitig noch über einen Printserver und einen Switch (3 Ports beim kabellosen bzw. 4 Ports beim kabelgebundenen Router). Im weiteren Verlauf wird von diesen Geräten als Kombigeräten gesprochen.



**Abbildung 5: Kabelloses SOHO-Netzwerk**  
[eigene Darstellung]

Für die kabellose Variante des SOHO-Netzwerks verfügt das oben beschriebene Kombigerät über einen eingebauten Access Point. Die Desktop-Computer sind bei diesem Netzwerk mit WLAN-USB-Adaptoren (inkl. einem Meter USB-Kabel, vgl. Kapitel 3.1.3.1) und das Notebook mit einer WLAN-PCMCIA-Karte ausgestattet. Der schematische Netzaufbau ist aus Abbildung 5 ersichtlich.

Bei der kabelgebundenen Variante verfügen die Desktop-Rechner über PCI-Netzwerkkarten, während das Notebook über eine PCMCIA-Netzwerkkarte an das Netzwerk angeschlossen ist. Die Netzwerk-Topologie geht sternförmig vom Router aus. Dabei wurde angenommen, dass ein Gerät über ein 5 m langes Kabel, ein weiteres über 10 m Kabel und das dritte über 15 m Kabel mit dem Router verbunden ist, so dass insgesamt 30 m Patchkabel benötigt werden. Der Aufbau des Netzwerks ist in Abbildung 6 dargestellt. In Tabelle 6 werden die Komponenten der jeweiligen SOHO-Netzwerke aufgelistet.



**Abbildung 6: Kabelgebundenes SOHO-Netzwerk**  
[eigene Darstellung]

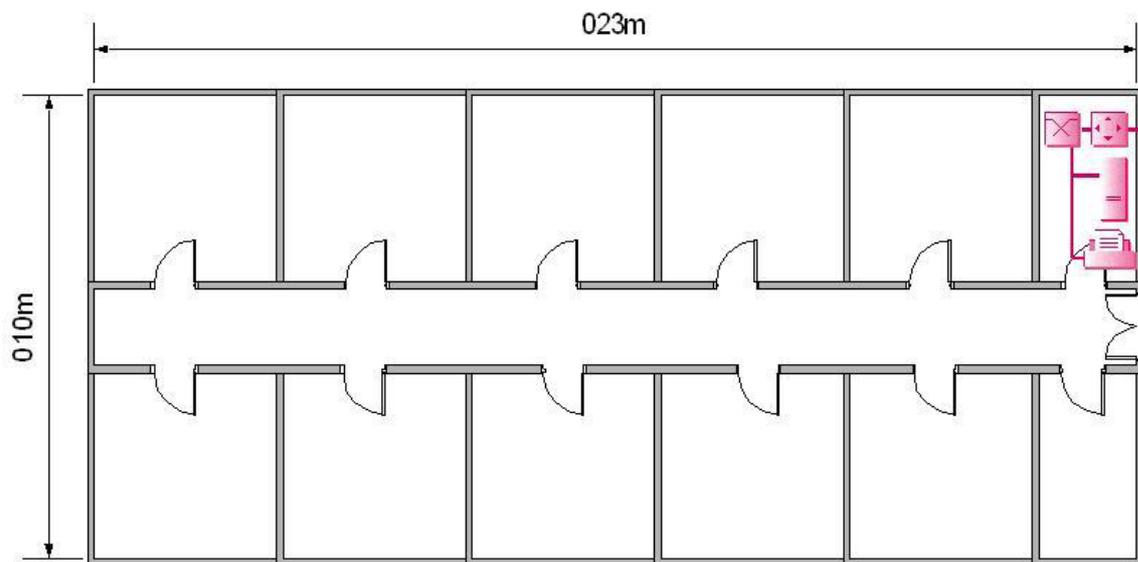
**Tabelle 6: Komponenten des SOHO-Netzwerks**

LAN (Fast Ethernet)			WLAN (IEEE 802.11b)		
Stück	Meter	Komponenten	Stück	Meter	Komponenten
1		LAN-Kombigerät (exkl. Netzteil)	1		WLAN-Kombigerät (exkl. Netzteil)
	30	FTP-Patchkabel			
2		PCI-Netzwerkkarten	2		WLAN-USB-Adapter (inkl. 1m USB-Kabel)
1		PCMCIA-Netzwerkkarte	1		WLAN-PCMCIA-Karte

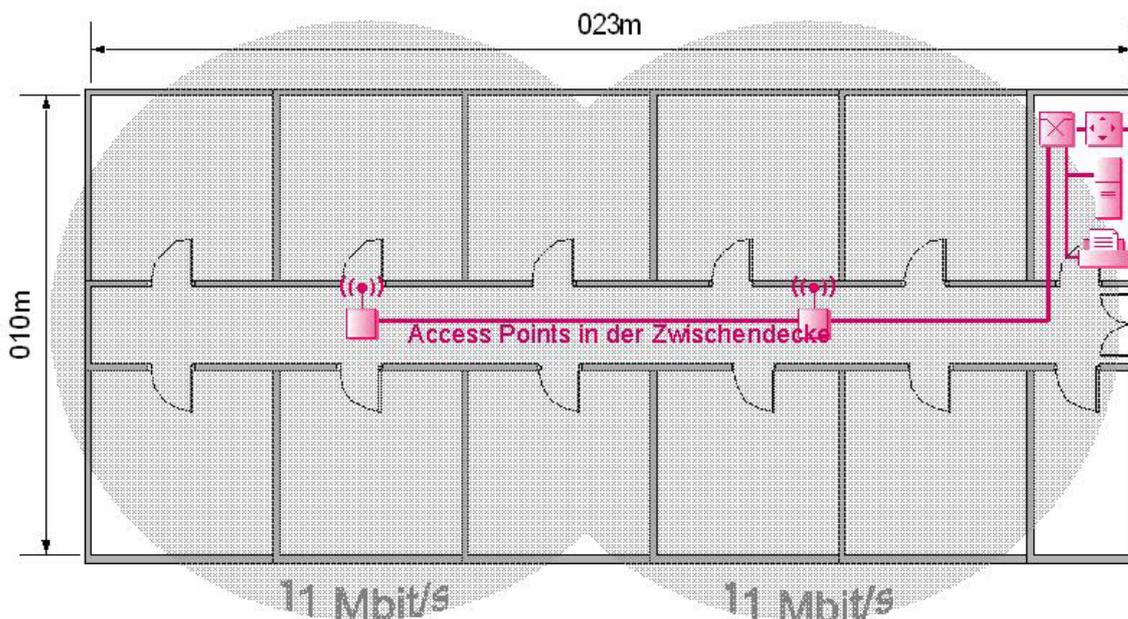
### 3.1.3.3 Büro-Netzwerk

Für das Büro-Netzwerk wurde eine Situation mit 20 anzuschließenden Clients gewählt, bei denen es sich um 16 Desktop-Computer und 4 Notebooks handelt. Die Clients befinden sich in 11 Büroräumen auf einer Etage. Die Bilanzierung erfolgt ab dem Punkt, wo sich das Netzwerk verzweigt, d.h. bei einem Switch. Das Netzwerk ist fest installiert, so dass die Kabel größtenteils unsichtbar geführt werden.

Dieses Anwendungsbeispiel beruht auf realistischen Planungen, wie sie bei einem IT-Dienstleistungsunternehmen vorkamen [DEUTSCHE TELEKOM 2003]. Der Grundriss für das Büro, auf dem die Annahmen für die Kabellängen etc. beruhen, ist aus Abbildung 7 ersichtlich.

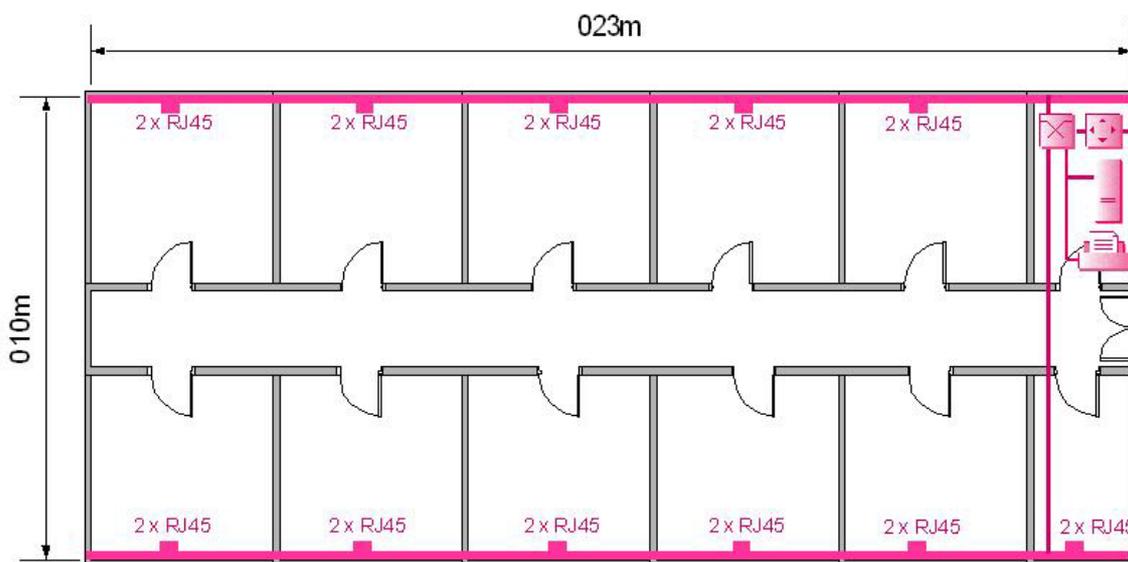
**Abbildung 7: Grundriss für das Büro-Netzwerk [DEUTSCHE TELEKOM 2003]**

Um ein Netzwerk für 20 Clients aufzubauen, werden für die kabellose Variante zwei Access Points, die über ein 10 m und ein 20 m langes Patchkabel mit einem 5-Port-Switch verbunden sind, eingesetzt (vgl. Abbildung 8). Theoretisch würde auch ein Switch mit zwei Ports ausreichen, doch sind solch kleine Switches eher selten, so dass hierzu keine Daten erhältlich waren. Zudem ist es üblich, Switches auf Zuwachs hin auszuwählen, weshalb die Annahme eines 5-Port-Switches realistisch erscheint. Die 16 Desktop-PCs verfügen über WLAN-USB-Adapter (inkl. einem Meter USB-Kabel). Die vier Notebooks sind mit WLAN-PCMCIA-Karten ausgestattet.



**Abbildung 8: Netzaufbau des kabellosen Büro-Netzwerks** [DEUTSCHE TELEKOM 2003]

Das verkabelte Büro-Netzwerk besteht aus einem 24-Port-Switch, von dem aus geschirmtes Twisted-Pair-Kabel in Kabelkanälen zu 11 RJ-45-Doppelanschlussdosen in den Büros führt (vgl. Abbildung 9). Von dort aus verbinden 3 m lange Patchkabel die Computer mit dem Netzwerk. Diese verfügen über je eine PCI- bzw. PCMCIA-Netzwerkkarte.



**Abbildung 9: Netzaufbau des kabelgebundenen Büro-Netzwerks** [DEUTSCHE TELEKOM 2003]

Die Tabelle 7 gibt einen Überblick über die verwendeten Komponenten der beiden verglichenen Büro-Netzwerke.

Tabelle 7: Komponenten des Büro-Netzwerks

LAN (Fast Ethernet)			WLAN (IEEE 802.11b)		
Stück	Meter	Komponente	Stück	Meter	Komponente
1		24-Port-Switch (inkl. Netzteil)	1		5-Port-Switch (inkl. Netzteil)
	50	Kabelkanal (PVC)	2		Access Points (inkl. Netzteil)
	300	Kabel (S/FTP)			
11		RJ-45-Anschlussdosen*			
	60	Patchkabel (FTP)**		30	Patchkabel (FTP)
16		PCI-Netzwerkkarten	16		WLAN-USB-Adapter (inkl. 1m USB-Kabel)
4		PCMCIA-Netzwerkkarten	4		WLAN-PCMCIA-Karten
* mit zwei Buchsen ** 20 Patchkabel à 3 m					

### 3.1.3.4 Untersuchte Geräte

Bei den untersuchten Geräten handelt es sich größtenteils um Geräte der T-Com (vgl. Tabelle 8). Für Geräte, die nicht von der T-Com zur Verfügung gestellt werden konnten, wurden Angaben aus Datenblättern und Fotos aus Internetveröffentlichungen verwendet.

Tabelle 8: Untersuchte Geräte

Gerät	Modell
Access Point	T-Sinus 130X
WLAN-Kombigerät (Router)	T-Sinus 130 DSL
LAN-Kombigerät (Router)	Teledat Router 530
5-Port-Switch	Teledat Fast Ethernet Switch
WLAN-USB-Adapter	T-Sinus 130 data
WLAN-PCMCIA-Karte	T-Sinus 130 card
PCI-Netzwerkkarte	Durchschnittswerte aus Datenblättern
PCMCIA-Netzwerkkarte	Durchschnittswerte aus Datenblättern
24-Port-Switch	ACD82222-UEB [ACD 1999]

### 3.1.4 Systemgrenzen und Abschneidekriterien

Die Netzwerke werden auf der einen Seite begrenzt durch die Schnittstelle des Computers, d.h. dieser wird nicht bilanziert. Auf der anderen Seite bildet der Zugangspunkt zur Backbone<sup>6</sup> bzw. zu zentralen Servern die Systemgrenze. Diese Grenzen werden gewählt, da hinter den so definierten Systemgrenzen keine Unterschiede zwischen kabelgebundenem und kabellosem Netzwerk zu erwarten sind.

<sup>6</sup> Backbone: Verbindung der Hauptverteiler in einem LAN; verbindet "Points of Presence", die lokalen Einwahlnoten eines Providers

Die Lebenszyklusphase Herstellung berücksichtigt die Rohstoffgewinnung, aber nicht die Montage von Geräten bzw. die Fertigung von Kabeln etc. Elektronische Geräte bestehen aus einer Vielzahl elektronischer Bauteile wie Mikrochips, Widerständen, Kondensatoren, Dioden etc., die wiederum auf einer Leiterplatte aufgebracht sind. In dieser Untersuchung werden die Geräte nur anhand ihrer Leiterplatten- und Mikrochipgröße charakterisiert, d.h. weitere Bauteile sowie die Gehäuse bleiben unberücksichtigt. Dieses Vorgehen reduziert den Aufwand, wobei die hier ausgewählten die wesentlichen potenziellen Umweltbelastungen unter allen Bauteilen erwarten lassen.

Für Komponenten wie Kabel, Kabelkanäle oder Anschlussdosen wird eine werkstoffliche Betrachtung durchgeführt, d.h. nur die Bereitstellung der entsprechenden Mengen an Materialien aus denen sie sich zusammensetzen wird bilanziert.

Distributionsprozesse bleiben unberücksichtigt, da sie im Lebensweg von IuK-Produkten gegenüber den Umweltbelastungen aus Herstellung und Nutzung erfahrungsgemäß eine untergeordnete Rolle spielen [vgl. BEHRENDT 1998].

Für die Nutzung wird der Energieverbrauch dieser Phase betrachtet. Es wird angenommen, dass kein stofflicher und energetischer Aufwand für Reparatur und Wartung entsteht, da für die Geräte von einer Lebensdauer von 3 bis 5 Jahren ausgegangen wird, welche unter der technischen Lebensdauer liegt.

Für die Lebenszyklusphase Entsorgung wird nur die anfallende Menge an Elektronikschrott bilanziert, so dass Prozesse der Verwertung bzw. Beseitigung nicht betrachtet werden. Die Erhebung von stoffspezifischen Daten für die Entsorgung des Elektronikschrotts war im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich und auf vorhandene Bilanzmodule konnte nicht zurückgegriffen werden.

### **3.1.5 Allokationen**

Allokationen müssen erfolgen, wenn in einem Prozess mehr als ein Produkt anfällt. Da in dieser Arbeit mit bereits vorhandenen Bilanzmodulen gearbeitet wurde, kamen direkt keine Allokationsverfahren zur Anwendung. Jedoch können bereits bei der Erstellung der verwendeten Bilanzmodule implizit Allokationsverfahren angewendet worden sein, die allerdings nachträglich nicht mehr „zurückrechenbar“ sind [vgl. STRUBEL ET AL. 1999].

### **3.1.6 Methode der Wirkungsabschätzung**

In der Wirkungsabschätzung werden mit Hilfe der Sachbilanzdaten die potenziellen Umweltbelastungen dargestellt. Dazu werden die Sachbilanzdaten den Wirkungskategorien zugeordnet.

Da die DIN EN ISO 14042 (2000) keine Wirkungskategorien festgelegt werden, sondern diese entsprechend des Ziels und Untersuchungsrahmens ausgewählt werden sollen, werden in Anlehnung an GENSCHE, QUACK (2000) die Wirkungskategorien kumulierter Energieaufwand (KEA), Klimaerwärmung, Versauerungspotenzial und Photooxidantienpotenzial ausgewählt. Das Elektronikschrottaufkommen wird als ein weiteres Umweltproblemfeld hinzugezogen. Die Auswirkungen durch elektromagnetische Strahlung werden aufgrund fehlender gesicherter Dosis-Wirkungsbeziehungen nicht untersucht (vgl. FAIST EMMENEGGER 2003).

Der kumulierte Energieaufwand bewertet die energetischen Ressourcen anhand ihres Primärenergiegehaltes. Dies ermöglicht eine Zusammenfassung so verschiedener Energiequellen wie fossile Energieträger, Uran, nachwachsende Rohstoffe und regenerative Energien. [BUNKE ET AL. 2002]

Die Klimaerwärmung wird entsprechend des Treibhauspotenzials eines Stoffes ermittelt und wird aufgrund seines Beitrags zur zusätzlichen Erwärmung der Erdatmosphäre relativ zu Kohlendioxid bilanziert. Kohlendioxid ist das mengenmäßig bedeutendste treibhausrelevante Gas. Dazu kommen Methan und Distickstoffmonoxid, die zudem ein höheres Treibhauspotenzial als Kohlendioxid haben. Das Gesamttriebhauspotenzial wird in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten angegeben. [BUNKE ET AL. 2002]

Das Versauerungspotenzial misst den Beitrag einer Säure oder eines Säurebildners zur Versauerung von Ökosystemen relativ zu Schwefeldioxid. Zu den mengenmäßig bedeutendsten Säuren bzw. Säurebildnern gehören Stickoxide, Schwefeldioxid, Chlorwasserstoff und Fluorwasserstoff. Das Gesamtversauerungspotenzial wird in SO<sub>2</sub>-Äquivalenten angegeben. [BUNKE ET AL. 2002]

Das Photooxidantienpotenzial spielt eine Rolle bei der Bildung von bodennahem Ozon, das zu gesundheitlichen Schädigungen beim Menschen und zu Schädigungen von Ökosystemen und Pflanzen führen kann. Vorläufersubstanzen sind insbesondere Stickoxide und flüchtige organische Verbindungen (VOC, Volatile Organic Compounds). Diese können hinsichtlich ihres Photooxidantienbildungspotenzials im Vergleich zu Ethylen als Bezugssubstanz charakterisiert werden. [BUNKE ET AL. 2002]

Die folgende Tabelle zeigt die Gewichtungsfaktoren bestimmter Stoffe für die Wirkungskategorien Klimaerwärmung, Versauerungspotenzial und Photooxidantienpotenzial.

**Tabelle 9: Gewichtungsfaktoren zur Berechnung der Wirkungskategorien [CML 1992A, CML 1992B]**

	Gewichtungsfaktor		Gewichtungsfaktor
<b>Klimaerwärmung</b>		NMVOC, fluor., unspez.	0,432
Kohlendioxid, fossil	1	NMVOC, aus Dieselemis.	0,432
Methan	11	NMVOC, fluorchlor., unspez.	0,432
Distickstoffmonoxid	270	NMVOC, sauerstoffh., unspez.	0,432
<b>Versauerungspotenzial</b>		NMVOC, schwefelh., unspez.	0,432
Schwefeldioxid	1	NMVOC, (KW o. Benzol)	0,432
Ammoniak	1,88	NMVOC, (KW o. PAK/Benz)	0,432
Stickoxide (NO <sub>x</sub> )	0,7	NMVOC, unspez.	0,432
Stickstoffmonoxid	1,07	NMVOC, aromat., unspez.	0,432
Stickstoffdioxid	0,7	NMVOC (Kohlenwasserstoff)	0,432
Chlorwasserstoff	0,88	Methan	0,007
Fluorwasserstoff	1,6	Methylethylketon	0,473
<b>Photooxidantienpotenzial</b>		Formaldehyd	0,421
Ethylen	1	VOC (Kohlenwasserstoffe)	0,432
NMVOC, chlor., unspez.	0,432	VOC unspezifisch	0,432

Neben diesen ökobilanziell gut fassbaren Umweltproblemfeldern wurde noch die Wirkungskategorie Elektronikschrottaufkommen hinzugezogen. Im Rahmen der Sachbilanz wurden für die Lebenszyklusphase Entsorgung keine stoffspezifischen Daten erhoben, die in der Wirkungsabschätzung den entsprechenden Kategorien hätten zugeordnet werden können. Dies resultiert aus dem Umstand, dass kein geregelter Entsorgungsweg für Elektronikschrott besteht und eine gesonderte Datenerhebung im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich war. Elektronikschrott wird größtenteils mit dem Hausmüll deponiert oder verbrannt, teilweise aufbereitet; einzelne Fraktionen werden verwertet. So wurde die Masse des anfallenden Elektronikschrotts in kg aggregiert.

### ***3.1.7 Zeitbezogener, technologischer und geografischer Erfassungsbereich***

Bei den untersuchten Netzwerken handelt es sich um Technologien, die dem aktuellen Stand der Technik entsprechen. Um dies darzustellen, wurden möglichst aktuelle Daten in Bezug auf Anwendungsmuster, Energieverbräuche und Gerätespezifikationen verwendet. Energiewirtschaftliche Daten und solche zu Materialien- und Bauteilherstellung sind Literaturangaben entnommen, so dass der zeitbezogene Erfassungsbereich für diese überwiegend in den neunziger Jahren liegt. Aufgrund fehlender spezifischer Daten wurden für alle Geräte qualitativ dieselben Herstellungsprozesse für Mikrochips und Leiterplatten angenommen.

Beim geografischen Erfassungsbereich ist zu berücksichtigen, dass die Lebenswegphase Herstellung im ostasiatischen Raum stattfindet, während für die Nutzung und Entsorgung Deutschland zu Grunde gelegt wird. Da für die Herstellung der Geräte keine ostasiatischen Daten zur Verfügung standen, kamen hier europäische Daten zur Anwendung. Für die Nutzung wurde das deutsche Stromnetz angesetzt.

### ***3.1.8 Kritische Prüfung***

Bei vergleichenden Ökobilanzen ist laut DIN EN ISO 14040 (1997) die Durchführung einer kritischen Prüfung obligatorisch. Diese hätte jedoch den Rahmen dieser Arbeit überschritten, so dass darauf verzichtet werden musste.

## 3.2 Sachbilanz

### 3.2.1 Datengrundlagen

Die untersuchten Systeme sind sehr komplex, so dass im Rahmen dieser Arbeit einige Vereinfachungen vorgenommen wurden.

Es wurde für bestimmte Prozesse auf vorhandene Bilanzmodule der Ökobilanz-Software Umberto [UMBERTO 4.1] zurückgegriffen, so geschehen für die Energiebereitstellung, die Herstellung verschiedener Kunststoffe und Metalle. Umberto fasst verfügbare fundierte Literaturdaten zusammen. Für die Herstellung der elektronischen Bauteile wurden Daten aus STRUBEL ET AL. (1999) und aus der Ökobilanz-Software GaBi [GABI4] verwendet (vgl. Tabelle 10).

**Tabelle 10: Datengrundlagen der Sachbilanzen**

Bereich	Modul/Teilbilanz	Quelle
Elektronische Bauteile	FR-4-Leiterplatte	GaBi4
	Mikrochip IC SO20	Strubel et al. 1999
Kunststoffe	PVC (Suspensionsprozess)	Umberto 4.1
	Formteil PVC	Umberto 4.1
	HDPE	Umberto 4.1
	ABS-Copolymer	Umberto 4.1
Metalle	Polystyrol (HIPS)	Umberto 4.1
	Kupfer	Umberto 4.1
	Herstellung Gießwalzdraht	Strubel et al. 1999
	Aluminiumbarren, primär	Umberto 4.1
	Aluminiumfolie (5-20 $\mu$ )	Umberto 4.1
Energiebereitstellung	Zink	Umberto 4.1
	Weißblech	Umberto 4.1
	Stromnetz Deutschland	Umberto 4.1

Die vollständigen Sachbilanzen sind der CD-ROM im Anhang zu entnehmen.

### 3.2.2 Datenerhebung

#### 3.2.2.1 Leiterplatten

Die Größe der Leiterplatten wurde ausgemessen und über das Flächengewicht auf eine Anzahl an FR-4-Referenzleiterplatten (0,05 kg) umgerechnet. Allerdings ist diese Referenzleiterplatte nur einseitig kupferkaschiert, wobei diejenigen der untersuchten Geräte immer zweiseitig sind. Zudem ist die Stärke der Leiterplatten nicht immer einheitlich. So haben PCMCIA-Karten und der USB-Adapter dünnere Leiterplatten als die übrigen Geräte. Dies wurde in der Untersuchung jedoch vernachlässigt.

### 3.2.2.2 Mikrochips

Die in den Geräten verwendeten Mikrochips sind von ihrer Bauform und Größe her sehr unterschiedlich, so dass zur Erhebung der Sachbilanzdaten ein vereinfachtes Verfahren zur Anwendung kam [GENSCH, QUACK 2000]. Wie in Kapitel 2.3.2 ausgeführt, können die Umweltbelastungen bei der Herstellung von Mikrochips im wesentlichen auf die hergestellte Chipfläche und die Komplexität der hergestellten Schaltungen (Maskierungsschritte) zurückgeführt werden. Allerdings sind Informationen zu letzterem nur sehr schwer zu erhalten, wohingegen die Chipgröße relativ zur Gehäusegröße nach einer Formel von Kaspar (1999) abgeschätzt werden kann. Dabei handelt es sich um eine Worst-Case-Annahme, so dass die tatsächlichen Chipgrößen eher kleiner ausfallen werden. Für quadratische Gehäuse wird angenommen, dass die Chipfläche einem Viertel der Gehäusefläche entspricht. Bei rechteckigen Gehäusen ergibt sich die maximale Chipfläche aus dem Produkt der Länge der kurzen Seite und der Länge der kurzen Seite multipliziert mit der Quadratwurzel aus zwei mal der Länge der kurzen Seite (Länge der kurzen Seite = a).

$$\text{max. Chipfläche} = a * (a * \sqrt{2}) \quad (\text{Gleichung 1})$$

Die berechnete Chipfläche wurde umgerechnet in eine entsprechende Anzahl von Chips des Typs SO20, indem durch dessen Chipfläche dividiert wurde. Bilanzdaten zu diesem Chip lagen aufgrund von Untersuchungen von Strubel et al. (1999) vor. Für Chips mit einer Fläche von 30 mm<sup>2</sup> und kleiner wurde ein SO20-Chip angenommen.

### 3.2.2.3 Herstellung Geräte

Für die bilanzierten Geräte ergaben sich die aus Tabelle 10 zu entnehmende Anzahl von Referenzleiterplatten des Typs FR-4. Für zusätzliche Netzteile von Geräten mit externer Stromversorgung wie Access Point oder Switch wurde nur die Leiterplatte bilanziert. Der 24-Port-Switch verfügt über ein internes Netzteil. Bei den Kombigeräten wurde die Herstellung der externen Netzteile abgeschnitten, da es sich bei beiden Geräten um dieselben Produkte handelt und somit kein zusätzlicher Erkenntnisgewinn besteht.

**Tabelle 11: Anzahl der Referenzleiterplatten in den Geräten und Netzteilen**

	Anzahl Referenzleiterplatten (0,05kg) im Gerät	Anzahl Referenzleiterplatten (0,05kg) im Netzteil
PCI-Netzwerkkarte	0,28	-
PCMCIA-Netzwerkkarte	0,20	-
WLAN-PCMCIA-Karte	0,21	-
WLAN-USB-Adapter	0,17	-
Access Point	0,49	0,12
5-Port-Switch	0,62	0,14
24-Port-Switch (inkl. Netzteil)	3,25	-
WLAN-Kombigerät	1,32	-
LAN-Kombigerät	1,11	-

Für die Mikrochips der Geräte ergaben sich für die Bilanzierung nach Ausmessen und Umrechnen der aus Tabelle 12 ersichtlichen Stückzahlen des Referenzchips vom Typ SO20.

**Tabelle 12: Anzahl der Referenzchips vom Typ SO20 in den Geräten**

	Anzahl SO20-Chips
PCI-Netzwerkkarte	16
PCMCIA-Netzwerkkarte	16
WLAN-PCMCIA-Karte	7
WLAN-USB-Adapter	21
Access Point	43
5-Port-Switch	22
24-Port-Switch	124
WLAN-Kombigerät	98
LAN-Kombigerät	91

### 3.2.2.4 Herstellung Kabel und Netzwerkzubehör

Für ein kabelgebundenes Netzwerk werden verschiedene Kabel sowie Kabelkanäle und Anschlussdosen verwendet. Die Erhebung der Sachbilanzdaten für diese Komponenten bezieht sich auf die Herstellung der Materialien, aus denen sie bestehen. Wobei bei Kupferdraht zusätzlich der Prozess der Gießwalzdrahtherstellung einbezogen wurde und bei Aluminium die Folienherstellung. Auf die spezifischen Annahmen für die Komponenten wird im Folgenden eingegangen.

#### *FTP-Kabel*

Beim FTP-Kabel handelt es sich um ein foliengeschirmtes Twisted Pair-Kabel, bei welchem acht einzeln isolierte Adern jeweils paarweise verdreht vorliegen. Zusätzlich verläuft noch ein Beidraht aus Kupfer im Kabel. Unterhalb des Mantels befindet sich ein Folien-schirm aus aluminiumbeschichteter Kunststoffolie. Der Mantel besteht aus Polyvinylchlorid mit Weichmachern, Füllstoffen und Stabilisatoren, wobei für die Bilanzierung mit reinem PVC (Suspensionsprozess) mit einem Masseanteil von 44 % gerechnet wurde [AGPU 2000]. Der verbleibende Anteil von 56 % des Mantelmaterials wurde vernachlässigt. Für die Folienschirmung wurde nur das Aluminium bilanziert, das mit einem Masseanteil von 66 % des gesamten Folienschirms angesetzt wurde. Der verbleibende Kunststoffanteil von 3,2 % an der Gesamtmasse des Kabels wurde abgeschnitten. Die Adernisolierung besteht aus Polyethylen (high density). Die Masse des im Kabel enthaltenen Kupfers setzt sich aus dem der Adern sowie dem Beidraht zusammen. Das Kupfer ist in der Regel verzinkt, was jedoch vernachlässigt wurde. Die RJ-45-Stecker werden nicht bilanziert, da sie im Vergleich zum Kabel nur einen sehr kleinen Anteil ausmachen.

Die werkstoffliche Zusammensetzung ist aus Tabelle 13 zu entnehmen.

**Tabelle 13: Zusammensetzung FTP-Kabel**

Material	kg/m
Kupfer	2,0E-02
PVC	3,5E-03
PE-HD	4,5E-03
Al	2,3E-03

### *S/FTP-Kabel*

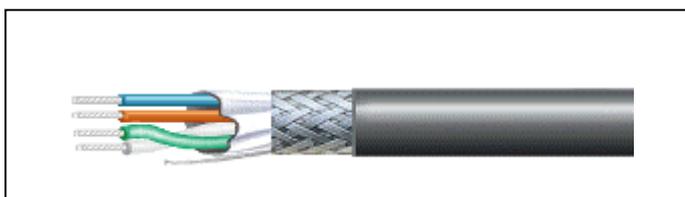
Ein geschirmtes FTP-Kabel (S/FTP) ist prinzipiell aufgebaut wie das zuvor beschriebene FTP-Kabel, verfügt aber zusätzlich noch über eine Schirmung aus verzinnem Kupfergeflecht. Tabelle 14 zeigt die werkstoffliche Zusammensetzung des S/FTP-Kabels.

**Tabelle 14: Zusammensetzung S/FTP-Kabel**

Material	kg/m
Kupfer	3,0E-02
PVC (Suspensionsprozess)	3,9E-03
PE-HD	4,5E-03
Al	1,7E-03

### *USB-Kabel*

USB-Kabel (USB = Universal Serial Bus) besteht aus 4 Adern. Die Leiter bestehen aus verzinnem Kupferdraht. Zwei Adern dienen zur Datenübertragung und haben jeweils eine PE-Isolierung um die Einzeladern. Die anderen zwei Adern dienen der Stromversorgung und sind mit PVC isoliert. Innerhalb des Mantels aus PVC ist eine Schirmung aus Kupfergeflecht und Aluminiumfolie. [NICE FOUNTAIN 2003] Der Aufbau eines USB-Kabels ist aus Abbildung 10 ersichtlich.

**Abbildung 10: Aufbau eines USB-Kabels [NICE FOUNTAIN 2003]**

Beim USB-Kabel werden die Stecker mit bilanziert, denn sie machen einen Masseanteil von 36 % an der Gesamtmasse eines ein Meter langen Kabels aus. Sie bestehen aus einer Außenhülle aus PVC, einer Schirmung aus Weißblech und aus einem Innenkörper aus Kunststoff, von dem angenommen wird, dass es sich dabei um Polystyrol handelt. Der Anteil der Adern und Kontakte bleibt bei den Steckern unberücksichtigt. Tabelle 16 zeigt die werkstoffliche Zusammensetzung des USB-Kabels.

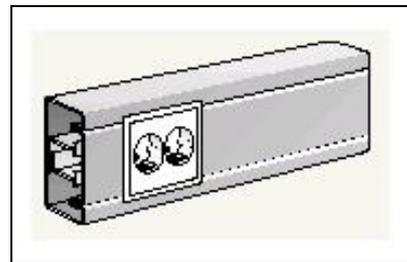
**Tabelle 15: Zusammensetzung USB-Kabel**

Material	Kabel [kg/m]	Stecker [kg]	1 m konfektioniertes Kabel [kg]
PVC (Suspensionsprozess)	7,6E-03	2,2E-03	9,8E-03
PE-HD	4,9E-04	-	4,9E-04
Kupfer	1,4E-02	-	1,4E-02
Weißblech	-	3,0E-03	3,0E-03
Polystyrol	-	1,0E-03	1,0E-03

### Kabelkanal

Der untersuchte Kabelkanal ist ein sogenannter Brüstungskanal, der in mittlerer Wandhöhe oder auf Fußleistenhöhe montiert wird (Höhe: 10 cm, Tiefe: 5,2 cm, Wandstärke: 0,15 cm, Modell TEK-100/52). Der Kabelkanal besteht aus PVC ohne Weichmacher.

Für die Bilanzierung wurde ein PVC-Formteil von 3,4E-1 kg pro Meter Kabelkanal angenommen. Den prinzipiellen Aufbau eines Kabelkanals zeigt Abbildung 11.



**Abbildung 11: Kabelkanal**  
[LEXEL 2003]

### Anschlussdosen



Die Anschlussdosen bieten zwei Buchsen für RJ-45-Stecker. Die wesentlichen Bestandteile sind das Schirmgehäuse aus Zinkdruckguss sowie die Zentralplatte und der Abdeckrahmen aus ABS. Weitere Komponenten wie Kontakte und Verschraubungen wurden nicht berücksichtigt. [BTR-ITCONNECT 2003] Abbildung 12 zeigt eine solche Anschlussdose. Aus Tabelle 16 wird deren werkstoffliche Zusammensetzung ersichtlich.

**Abbildung 12: Anschlussdose**  
[BTR-ITCONNECT 2003A]

**Tabelle 16: Zusammensetzung Anschlussdose**

Material	kg/Stück
ABS	1,7E-02
Zinkdruckguss	1,4E-01

### 3.2.2.5 Lebensdauer

Die Lebensdauer umfasst die Nutzungszeit beim „Erstbesitzer“. Weiter- und Wiederverwendung wurden nicht berücksichtigt. Da die Lebensdauer der Netzwerkkomponenten länger als der Bezugszeitraum (ein Jahr) der Untersuchung ist, müssen die Daten für Herstellung und Entsorgung proportional zur Lebensdauer für diesen Zeitraum berechnet werden. Dies bedeutet, dass beispielsweise bei einer Lebensdauer von 10 Jahren nur ein Zehntel der Aufwendungen für die Herstellung in die Sachbilanz eingeht.

Im Folgenden wird die angenommene Lebensdauer für jede Komponente der drei Anwendungsbeispiele aufgeführt.

#### Peer-to-Peer-Netzwerk

Die Lebensdauer der Netzwerk-Adapter für das Peer-to-Peer-Netzwerk wurde entsprechend der Lebensdauer eines PCs mit 3 Jahren angenommen [ATLANTIC CONSULTING & IPU 1998]. Bei den Kabeln wurde von einer längeren Lebensdauer (10 Jahre) ausgegangen, da diese nach Ablauf der Nutzungsdauer der angeschlossenen Geräte auch für den Anschluss neuer Geräte verwendet werden können. Die Lebensdauer der Komponenten des Peer-to-Peer-Netzwerks wird aus Tabelle 17 ersichtlich.

**Tabelle 17: Lebensdauer der Komponenten des Peer-to-Peer-Netzwerks**

LAN (Fast Ethernet)		WLAN (IEEE 802.11b)	
Komponente	Lebensdauer [a]	Komponente	Lebensdauer [a]
PCI-Netzwerkkarten	3	WLAN-USB-Adapter	3
Patchkabel (FTP)	10	USB-Kabel	10

#### SOHO-Netzwerk

Beim SOHO-Netzwerk wird von einer Lebensdauer der Geräte von 5 Jahren ausgegangen. Diese ist länger als beim Peer-to-Peer-Netzwerk, da es sich um eine höhere Investition bei der Anschaffung handelt und dies daher sinnvoll erscheint. Zudem wurde bei diesem Anwendungsbeispiel von der Anwendung in einem Haushalt ausgegangen, so dass auch aus diesem Grund eine länger Lebensdauer angenommen werden kann. Für die Kabel haben wiederum mit einer Lebensdauer von 10 Jahren gerechnet (vgl. Tabelle 18).

**Tabelle 18: Lebensdauer der Komponenten des SOHO-Netzwerks**

LAN (Fast Ethernet)		WLAN (IEEE 802.11b)	
Komponente	Lebensdauer [a]	Komponente	Lebensdauer [a]
Teledat Router 530 (exkl. Netzteil)	5	T-Sinus 130 DSL (exkl. Netzteil)	5
FTP-Patchkabel	10		
PCI-Netzwerkkarten	5	WLAN-USB-Adapter	5
		USB-Kabel	10
PCMCIA-Netzwerkkarte	5	WLAN-PCMCIA-Karte	5

### Büro-Netzwerk

Die Lebensdauer der Geräte des Büro-Netzwerks orientieren sich für die Adapter beider Netzwerkkarten an der Lebensdauer von Computern in Büros. Diese wird mit 3 Jahren angegeben [ATLANTIC CONSULTING & IPU 1998]. Auch für den Access Point wurde diese Lebensdauer angenommen, da die Innovationszyklen der WLAN-Standards sehr schnell aufeinander folgen und so ein Austausch der Geräte schon nach relativ kurzer Zeit zu erwarten ist. Für die verkabelte Netzinfrastruktur wurde eine Lebensdauer von 10 Jahren angenommen (vgl. Tabelle 19).

**Tabelle 19: Lebensdauer der Komponenten des Büro-Netzwerks**

LAN (Fast Ethernet)		WLAN (IEEE 802.11b)	
Komponente	Lebensdauer [a]	Komponente	Lebensdauer [a]
24-Port-Switch (inkl. Netzteil)	10	5-Port-Switch (inkl. Netzteil)	10
Kabelkanal	10	Access Points (inkl. Netzteil)	3
Kabel (S/FTP)	10		
RJ-45-Dosen	10		
Patchkabel (FTP)	10	Patchkabel (FTP)	10
PCI-Netzwerkkarten	3	WLAN-USB-Adapter	3
		USB-Kabel	10
PCMCIA-Netzwerkkarte	3	WLAN-PCMCIA-Karte	3

#### 3.2.2.6 Energieverbrauch

In der Lebenszyklusphase Nutzung wurde das Augenmerk auf den Energieverbrauch gelegt. Reparaturen, Wartung und Ersatzteile wurden nicht berücksichtigt.

Da angenommen wird, dass die Netzwerke in Deutschland betrieben werden, werden die Daten der deutschen Energiebereitstellung zu Grunde gelegt.

Zur Bestimmung des Energieverbrauchs werden Daten zur Leistungsaufnahme der Geräte und deren Nutzungsdauer benötigt. Diese müssen wiederum differenziert werden nach den verschiedenen Betriebszuständen.

Bei den Leistungsangaben der untersuchten Geräte handelt es sich größtenteils um Durchschnittswerte, ermittelt aus Angaben der Datenblätter. Nur für die Kombigeräte wurden die spezifischen Daten der untersuchten Geräte der T-Com verwendet. Dabei handelt es sich für den Bereitschaftsmodus um eigene Messwerte. Die Werte des Betriebsmodus beziehen sich auf die maximale Leistungsaufnahme, die der Leistung des Netzteils entspricht, da die Geräte in diesem Modus nicht selber gemessen werden konnten und auch aus Datenblättern keine genaueren Daten dazu erhältlich waren. Die Leistung der Geräte im Betriebs- und Bereitschaftsmodus wird in Tabelle 20 dargestellt.

**Tabelle 20: Leistung der Geräte im Betriebs- und Bereitschaftsmodus**

LAN (Fast Ethernet)			WLAN (IEEE 802.11b)		
Komponente	Betrieb [W]	Bereitschaft [W]	Komponente	Betrieb [W]	Bereitschaft [W]
LAN-Kombigerät	12,0	8,5	WLAN-Kombigerät	12,0	9,3
24-Port-Switch	42,0	-	5-Port-Switch	3,5	-
			Access Point	9,5	-
PCI-Netzwerkkarte	0,9	0,1	WLAN-USB-Adapter	1,6	0,1
PCMCIA-Netzwerkkarte	1,2	0,3	WLAN-PCMCIA-Karte	1,4	0,1

Für die angenommene jährliche Nutzungsdauer wurden Literaturdaten nach CREMER ET AL. (2003) herangezogen, die die durchschnittliche Nutzungszeit von Desktop-Computern, Notebooks, Routern und Switches darstellen. Es werden Nutzungszeiten von Haushalten und Büros unterschieden. [CREMER ET AL. 2003]

Die Nutzungsdauer der Adapter wird gleichgesetzt mit der Nutzungsdauer der PCs bzw. Notebooks. Die Nutzungszeit wird in Normalbetrieb und Bereitschaft unterteilt. Der Schein-Aus-Zustand bleibt in dieser Untersuchung unberücksichtigt, da begründet angenommen wird, dass die Adapter in diesem Zustand des PCs keine Leistung aufnehmen.

**Tabelle 21: Nutzungsdauer von Computern und Netzwerkkomponenten [CREMER ET AL. 2003]**

	Haushalt		Büro	
	Betrieb [h/a]	Bereitschaft [h/a]	Betrieb [h/a]	Bereitschaft [h/a]
Desktop-PC	370	1250	1870	330
Notebook	370	671	1430	770
Switch	8760	0	8760	0
Router	8760	0	8760	0

Im Folgenden werden Nutzungsdauer und Energieverbrauch für jedes Anwendungsbeispiel einzeln dargestellt.

#### *Peer-to-Peer-Netzwerk*

Für die Nutzungsdauer eines Peer-to-Peer-Netzwerks werden die Zahlen für Haushalte von 370 h pro Jahr im Normalbetrieb und 1250 h pro Jahr in Bereitschaft angenommen [CREMER ET AL. 2003]. Für das kabellose wie auch das kabelgebundene Netzwerk werden die selben Nutzungszeiten vorausgesetzt (vgl. Tabelle 22).

Der jährliche Energieverbrauch des Peer-to-Peer-Netzwerks ergibt sich aus Nutzungsdauer im Betriebs- und Bereitschaftsmodus multipliziert mit der Leistung in diesen Modi (vgl. Tabelle 20). Der Gesamtenergieverbrauch beider Varianten kann Tabelle 23 entnommen werden.

**Tabelle 22: Nutzungsdauer der Komponenten des Peer-to-Peer-Netzwerks**

Komponente	Betrieb [h/a]	Bereitschaft [h/a]
PCI-Netzwerkkarten/WLAN-USB-Adapter	370	1250

**Tabelle 23: Jährlicher Energieverbrauch des Peer-to-Peer-Netzwerks**

LAN (Fast Ethernet)			WLAN (IEEE 802.11b)		
Anzahl	Komponente	Energieverbrauch [kWh/a]	Anzahl	Komponente	Energieverbrauch [kWh/a]
2	PCI-Netzwerkkarten	0,8	2	WLAN-USB-Adapter	1,3

### SOHO-Netzwerk

Beim SOHO-Netzwerk wurden die Nutzungszeiten für Haushalte angenommen, d.h. für die Netzwerk-Adapter im Desktop-Computer 370 h pro Jahr im Betriebsmodus und 1250 h pro Jahr in Bereitschaft. Die Adapter im Notebook werden ebenfalls 370 h pro Jahr betrieben, sind aber nur 671 h pro Jahr in Bereitschaft. [CREMER ET AL. 2003] Für das Kombigerät wurde angenommen, dass es in Betrieb ist, wenn die Clients ebenfalls in Betrieb oder in Bereitschaft sind und dass kein Client parallel betrieben wird. Daraus ergibt sich in der Summe eine Betriebsdauer von 4281 h pro Jahr. Für den Rest des Jahres wird Bereitschaftsmodus angenommen (vgl. Tabelle 24).

Der jährliche Energieverbrauch des SOHO-Netzwerks kann Tabelle 25 entnommen werden.

**Tabelle 24: Nutzungsdauer der Komponenten des SOHO-Netzwerks**

Komponente	Betrieb [h/a]	Bereitschaft [h/a]
Kombigerät (Router)	4281	4479
PCI-Netzwerkkarte/USB-Adapter	370	1250
PCMCIA-Karte	370	671

**Tabelle 25: Jährlicher Energieverbrauch des SOHO-Netzwerks**

LAN (Fast Ethernet)			WLAN (IEEE 802.11b)		
Anzahl	Komponente	Energieverbrauch [kWh/a]	Anzahl	Komponente	Energieverbrauch [kWh/a]
1	LAN-Kombigerät	89,4	1	WLAN-Kombigerät	93,2
2	PCI-Netzwerkkarten	0,8	2	WLAN-USB Adapter	1,3
1	PCMCIA-Netzwerkkarte	0,6	1	WLAN-PCMCIA-Karte	0,6
	<b>Summe</b>	<b>90,9</b>		<b>Summe</b>	<b>95,1</b>

### Büro-Netzwerk

Beim Büro-Netzwerk sind Geräte wie Switches und Access Points in Dauerbetrieb, d.h. 8760 h pro Jahr. Die Adapter von Desktop-Computern und Notebooks weisen im Büro-Betrieb längere Nutzungs- und kürzere Bereitschaftszeiten auf als im Haushalt. So werden für PCI-Netzwerkkarten und WLAN-USB-Adapter 1870 h pro Jahr Betrieb und 330 h pro Jahr Bereitschaft und für die PCMCIA-Karten 1430 h pro Jahr Betrieb und 770 h Bereitschaft angenommen (vgl. Tabelle 26). [CREMER ET AL. 2003]

Der jährliche Energieverbrauch des Büro-Netzwerks kann Tabelle 27 entnommen werden.

**Tabelle 26: Nutzungsdauer der Komponenten des Büro-Netzwerks**

Komponente	Betrieb [h/a]	Bereitschaft [h/a]
Switch	8760	0
Access Point	8760	0
PCI-Netzwerkkarten/USB Adapter	1870	330
PCMCIA-Karten	1430	770

**Tabelle 27: Jährlicher Energieverbrauch des Büro-Netzwerks**

LAN (Fast Ethernet)			WLAN (IEEE 802.11b)		
Anzahl	Komponente	Energieverbrauch [kWh/a]	Anzahl	Komponente	Energieverbrauch [kWh/a]
1	24-Port-Switch (inkl. Netzteil)	366,0	1	5-Port-Switch (inkl. Netzteil)	30,3
			1	Access Points (inkl. Netzteil)	166,9
16	PCI-Netzwerkkarten	27,1	16	WLAN-USB-Adapter	47,1
4	PCMCIA-Netzwerkkarte	7,9	4	WLAN-PCMCIA-Karte	8,2
	<b>Summe</b>	<b>400,9</b>		<b>Summe</b>	<b>252,6</b>

### 3.2.2.7 Entsorgung

Die Lebenszyklusphase Entsorgung summiert die Masse an anfallendem Elektronikschrott. Zum Elektronikschrott zählen Geräte und Netzwerkadapter inkl. Gehäuse sowie Kabel. Zur Datenerhebung wurde die Masse der gesamten Geräte und der weiteren Netzwerkkomponenten durch eigene Messung bzw. Angaben aus Datenblättern ermittelt (vgl. Tabelle 28).

**Tabelle 28: Masse der Netzwerkkomponenten**

Netzwerkkomponente	Masse [kg/Gerät]	Masse [kg/m]
Access Point + Netzteil *	0,36	
WLAN-Kombigerät (Router) o. Netzteil*	0,74	
LAN-Kombigerät (Router) o. Netzteil*	0,63	
5-Port-Switch + Netzteil*	0,76	
WLAN-USB-Adapter *	0,05	
WLAN-PCMCIA-Karte **	0,05	
PCI-Netzwerkkarte *	0,07	
PCMCIA-Netzwerkkarte **	0,05	
24-Port-Switch inkl. Netzteil**	2,50	
USB-Kabel *		0,05
FTP-Kabel **		0,04
S/FTP-Kabel **		0,05
* eigene Messung ** Literaturdaten aus Datenblättern		

Um die Elektronikschrottmenge bezogen auf ein Jahr zu berechnen, wurden die Werte aus Tabelle 28 durch die Lebensdauer der Komponenten dividiert. Um die gesamte Elektronikschrottmenge für die unterschiedlichen Anwendungsbeispiele zu ermitteln, musste noch mit der Anzahl der Komponenten multipliziert werden. Im Folgenden wird die Zusammensetzung der Elektronikschrottmenge für jedes Anwendungsbeispiel tabellarisch dargestellt.

**Tabelle 29: Masse Elektronikschrott für das Peer-to-Peer-Netzwerk**

LAN (Fast Ethernet)				WLAN (IEEE 802.11b)			
Stück	Meter	Komponente	Masse bez. auf ein Jahr [kg]	Stück	Meter	Komponente	Masse bez. auf ein Jahr [kg]
2		PCI-Netzwerkkarten	0,05	2		WLAN-USB-Adapter	0,03
	5	Crossover FTP-Kabel	0,02		2	USB-Kabel	0,01
Summe			0,07	Summe			0,04

**Tabelle 30: Masse Elektronikschrott für das SOHO-Netzwerk**

LAN (Fast Ethernet)				WLAN (IEEE 802.11b)			
Stück	Meter	Komponenten	Masse bez. auf ein Jahr [kg]	Stück	Meter	Komponenten	Masse bez. auf ein Jahr [kg]
1		Teledat Router 530 (o. Netzteil)	0,13	1		T-Sinus 130 DSL (o. Netzteil)	0,15
	30	FTP-Patchkabel	0,13				
2		PCI-Netzwerkkarten	0,03	2		WLAN-USB-Adapter	0,02
					2	USB-Kabel	0,01
1		PCMCIA-Netzwerkkarte	0,01	1		WLAN-PCMCIA-Karte	0,01
Summe <sup>7</sup>			0,27	Summe			0,19

**Tabelle 31: Masse Elektronikschrott für das Büro-Netzwerk**

LAN (Fast Ethernet)				WLAN (IEEE 802.11b)			
Stück	Meter	Komponente	Masse bez. auf ein Jahr [kg]	Stück	Meter	Komponente	Masse bez. auf ein Jahr [kg]
1		24-Port-Switch (inkl. Netzteil)	0,25	1		5-Port-Switch (inkl. Netzteil)	0,08
	300	Kabel (S/FTP)	1,38	2		Access Points (inkl. Netzteil)	0,24
	60	Patchkabel (FTP)	0,22		30	Patchkabel (FTP)	0,11
16		PCI-Netzwerkkarten	0,37	16		WLAN-USB-Adapter	0,24
					16	USB-Kabel	0,08
4		PCMCIA-Netzwerkkarte	0,07	4		WLAN-PCMCIA-Karte	0,07
Summe			2,29	Summe <sup>7</sup>			0,81

<sup>7</sup> Abweichungen sind rundungsbedingt

### 3.3 Wirkungsabschätzung

Die folgenden Abschnitte zeigen die Ergebnisse der Wirkungskategorien für jedes einzelne Anwendungsbeispiel. Zuerst werden jeweils die Gesamtergebnisse für die beiden Varianten verglichen, bevor zwischen Herstellung und Nutzung unterschieden wird. Im Anschluss werden Herstellung und Nutzung differenziert betrachtet, indem der Anteil der einzelnen Komponenten dargestellt wird. In einem gesonderten Kapitel werden für jedes Anwendungsbeispiel entsprechende Optimierungsansätze untersucht, um das Umweltentlastungspotenzial bestimmter Maßnahmen aufzuzeigen.

Aufgrund der anzunehmenden Fehler und Unsicherheiten der Datengrundlagen werden beim Vergleich der Wirkungsindikatorergebnisse der kabelgebundenen und der kabellosen Variante Unterschiede von 20 % als signifikant betrachtet. Erst dann kann von einem Umweltvorteil bzw. -nachteil gesprochen werden. Nur beim kumulierten Energieaufwand wird bereits ab 10 % Unterschied von Signifikanz gesprochen, da im Energiebereich die Datenlage gesicherter ist als in anderen Bereichen.

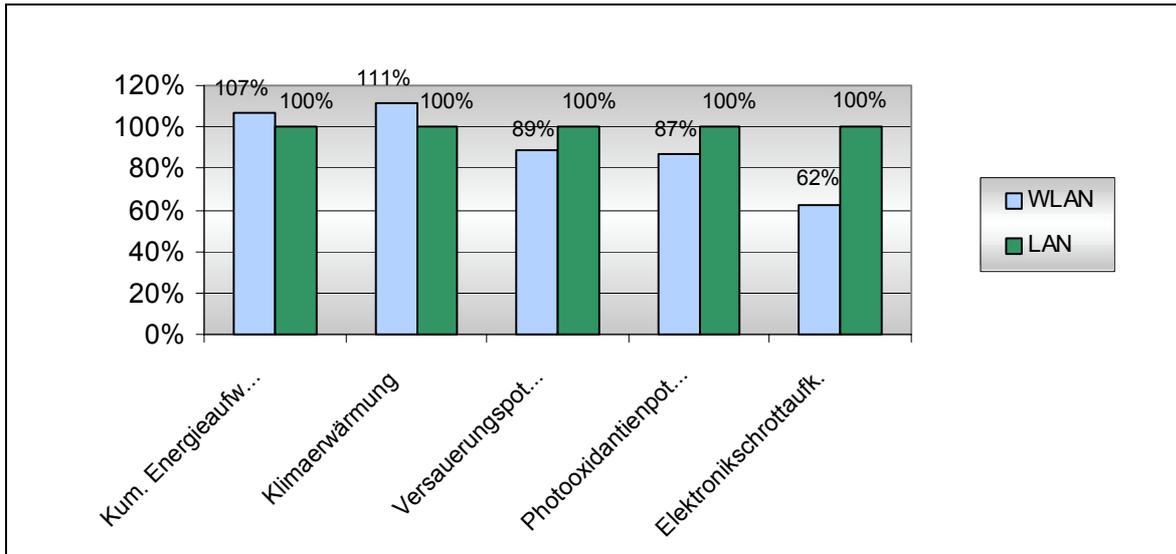
#### 3.3.1 Peer-to-Peer-Netzwerk

Das erste Anwendungsbeispiel des Peer-to-Peer-Netzwerks zeigt keine signifikanten Unterschiede zwischen der kabellosen und kabelgebundenen Lösung. In nahezu allen untersuchten Wirkungskategorien fällt die Differenz nur sehr klein aus. Nur Elektronikschrott wird von der kabellosen Variante deutlich weniger verursacht.

Es ist zu beobachten, dass die Wirkungskategorien kumulierter Energieaufwand und Klimaerwärmung bei der kabellosen Variante leicht höher sind, während Versauerungspotenzial und Photooxidantienpotenzial etwas niedriger als bei der kabelgebundenen Variante ausfallen (vgl. Tabelle 32 und Abbildung 13).

**Tabelle 32: Peer-to-Peer-Netzwerk: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (1000 Einheiten über 1 Jahr)**

		WLAN	LAN
<b>Kumulierter Energieaufwand</b>	MJ	3,9 E+04	3,7 E+04
<b>Klimaerwärmung</b>	kg CO <sub>2</sub> -Äq	2,4 E+03	2,1 E+03
<b>Versauerungspotenzial</b>	kg SO <sub>2</sub> -Äq	1,0 E+01	1,2 E+01
<b>Photooxidantienpotenzial</b>	kg Eth-Äq	2,7 E-01	3,1 E-01
<b>Elektronikschrottaufkommen</b>	kg	4,0 E+01	6,5 E+01

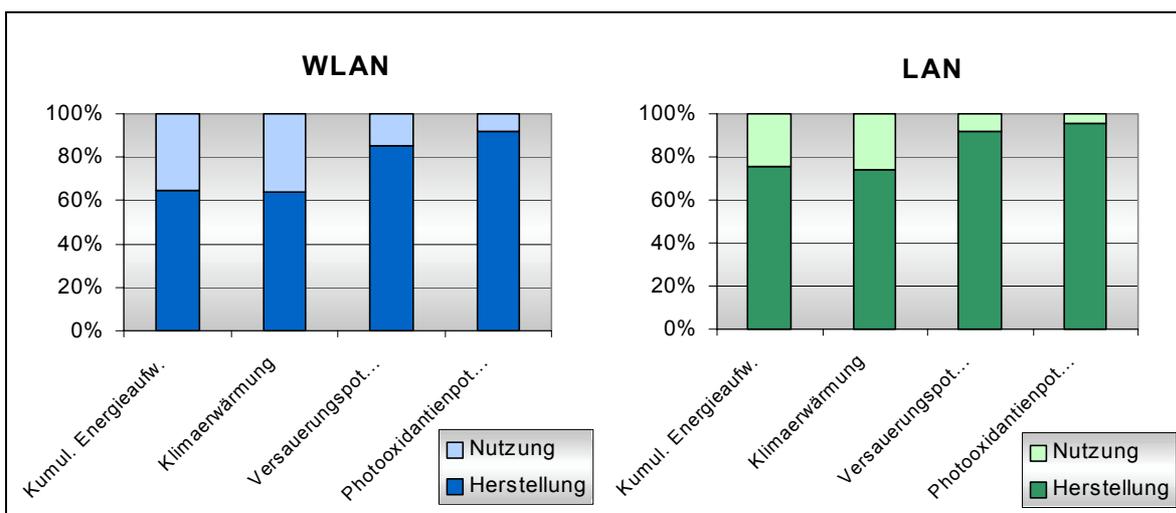


**Abbildung 13: Peer-to-Peer-Netzwerk: Potenzielle Umweltbelastungen der kabellosen bezogen auf die kabelgebundene Variante**

Schlüsselt man die Gesamtergebnisse in die Lebenszyklusphasen Herstellung und Nutzung auf, so weist die Herstellung im Vergleich zur Nutzungsphase für beide Netzwerkarten die höheren Umweltbelastungen auf (vgl. Tabelle 33 und Abbildung 14).

**Tabelle 33: Peer-to-Peer-Netzwerk: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung aufgeschlüsselt in Herstellung und Nutzung**

		WLAN		LAN	
		Herstellung	Nutzung	Herstellung	Nutzung
<b>Kumulierter Energieaufwand</b>	MJ	2,5E+04	1,4E+04	2,8E+04	8,9E+03
<b>Klimaerwärmung</b>	kg CO <sub>2</sub> -Äq	1,5E+03	8,5E+02	1,6E+03	5,5E+02
<b>Versauerungspotenzial</b>	kg SO <sub>2</sub> -Äq	8,8E+00	1,5E+00	1,1E+01	9,6E-01
<b>Photoxidantienpotenzial</b>	kg Eth-Äq	2,5E-01	2,2E-02	3,0E-01	1,4E-02



**Abbildung 14: Peer-to-Peer-Netzwerk: Anteile von Herstellung und Nutzung an den gesamten Umweltbelastungen**

Vergleicht man die Herstellung zwischen WLAN und LAN, zeigen sich in allen Wirkungskategorien für die kabelgebundene Lösung höhere potenzielle Umweltbelastungen. Gerade anders herum stellt sich das Bild für die Nutzung dar. Hier verursacht die kabellose Variante durchgängig höhere Umweltbelastungen (vgl. Abbildung 15).

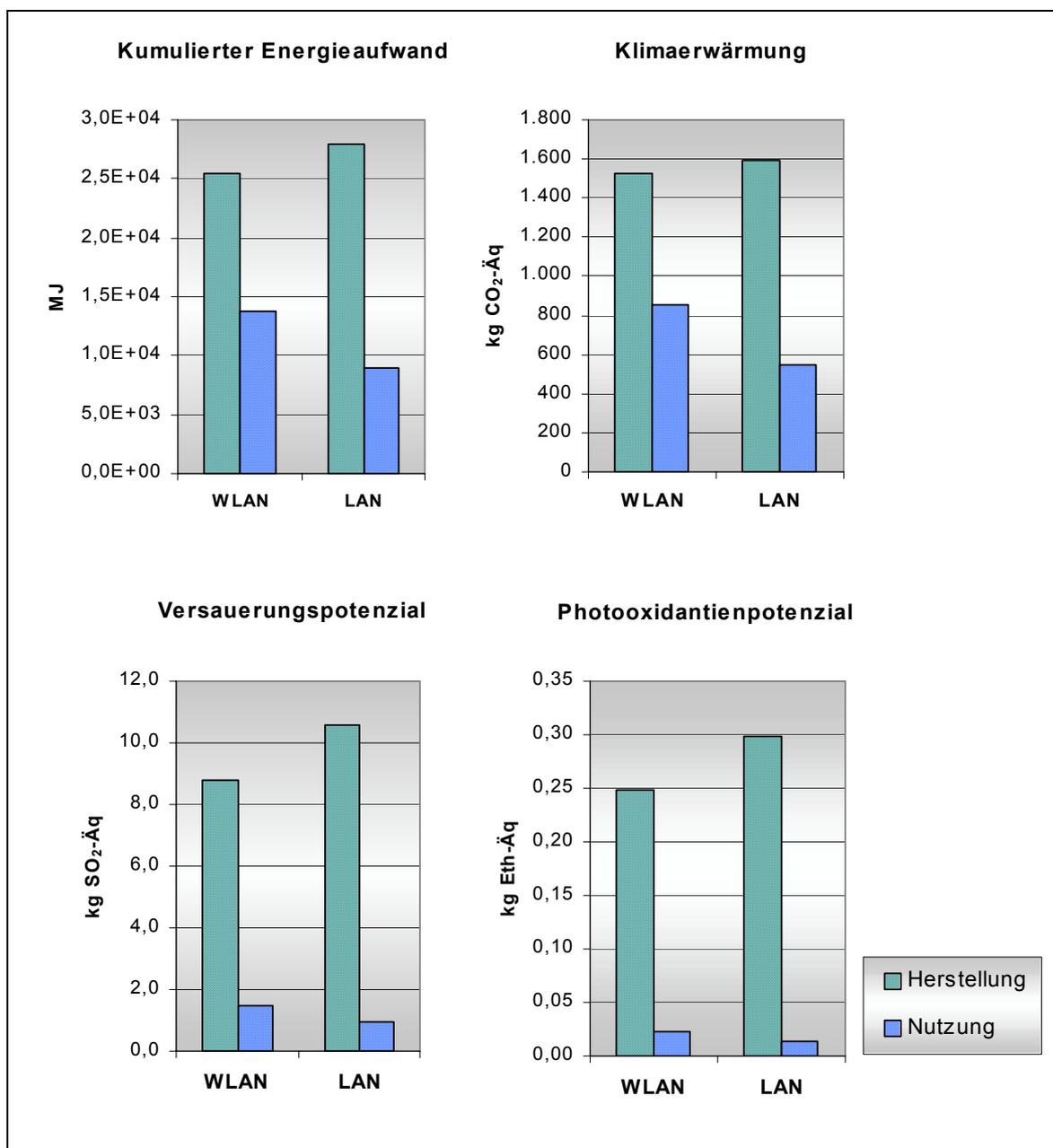
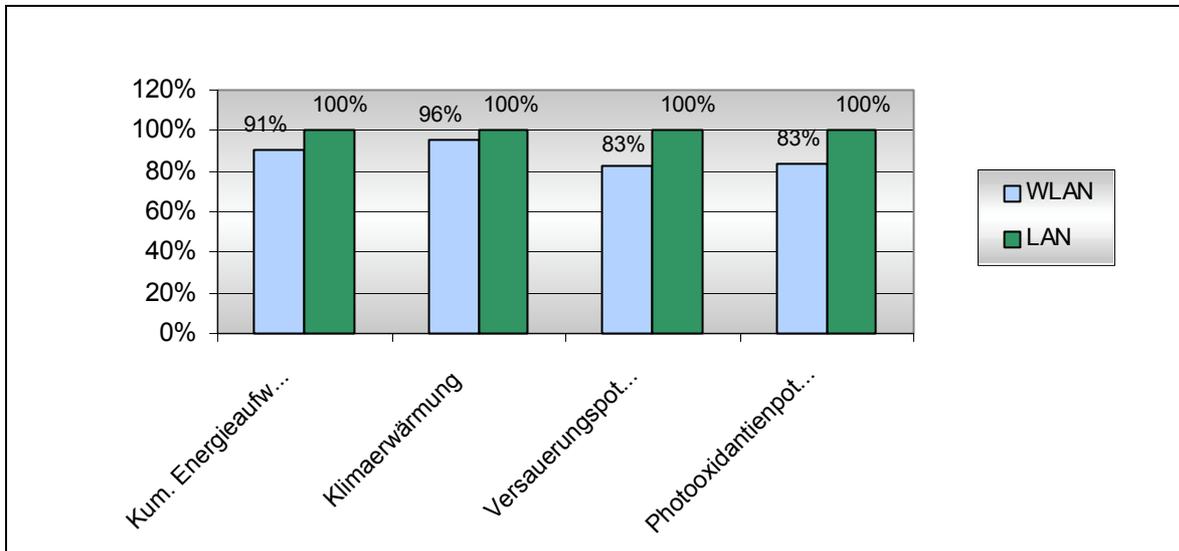


Abbildung 15: Peer-to-Peer-Netzwerk: Ergebnisse der Wirkungskategorien differenziert in Herstellung und Nutzung für die kabellose und kabelgebundene Variante

### 3.3.1.1 Differenzierte Ergebnisse für die Herstellung

Wie die folgende Grafik zeigt, liegen die Wirkungsindikatorergebnisse für die kabellose Variante des Peer-to-Peer-Netzwerks zwischen 4 und 17 % unter denen des kabelgebundenen Netzwerks. Auch hier sind also die Unterschiede nicht signifikant.

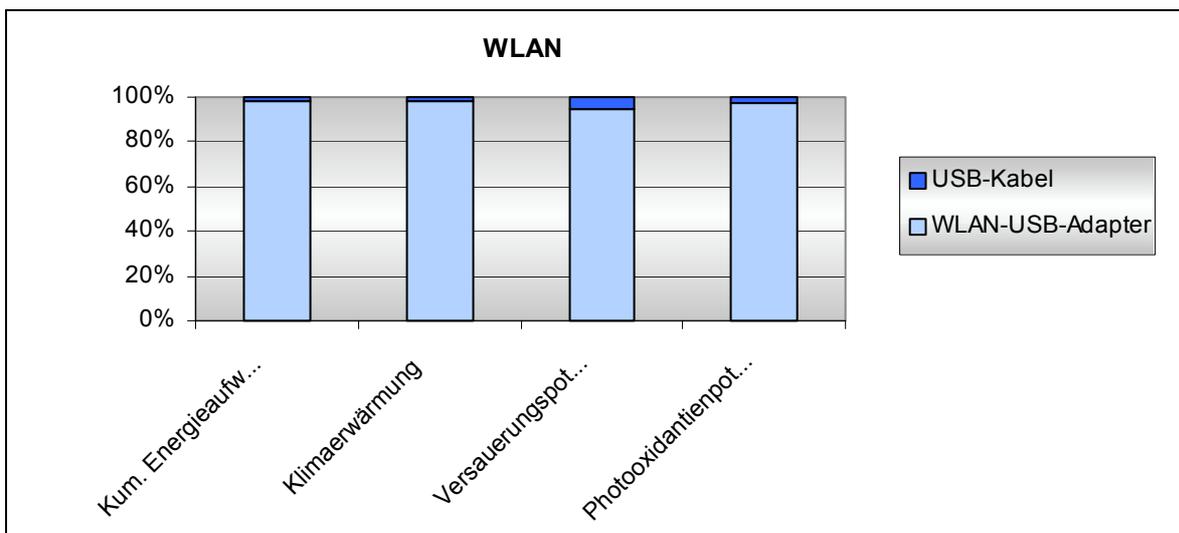


**Abbildung 16: Herstellung Peer-to-Peer-Netzwerk: Potenzielle Umweltbelastungen der kabellosen bezogen auf die kabelgebundene Variante**

#### WLAN

Das kabellose Peer-to-Peer-Netzwerk besteht aus zwei USB-Adaptern inkl. USB-Kabel. Die Anteile dieser beiden Komponenten innerhalb der Wirkungskategorien sollen an dieser Stelle differenziert betrachtet werden.

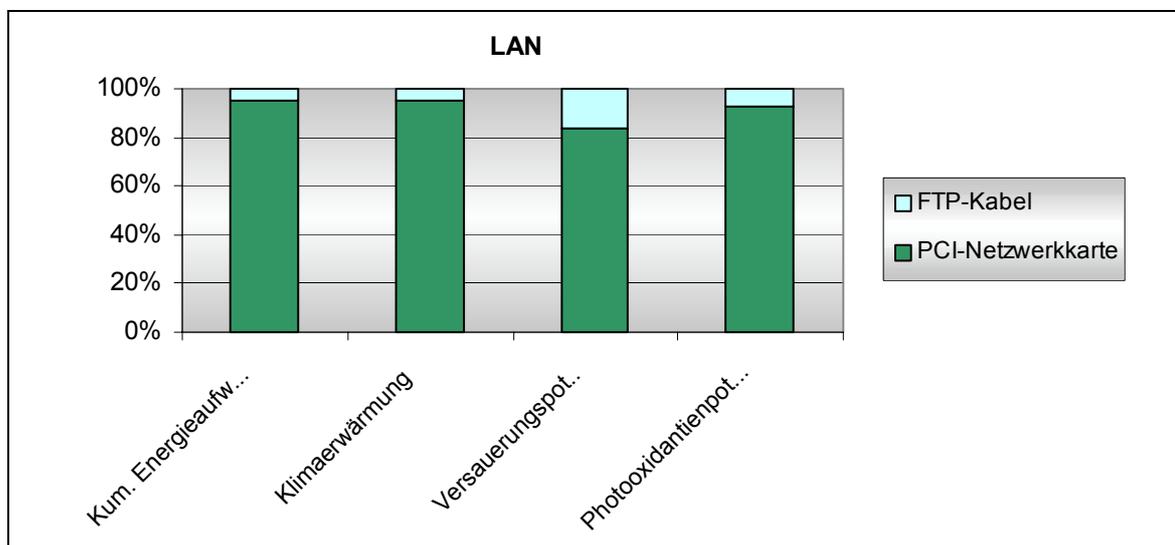
Der USB-Adapter macht den Großteil der potenziellen Umweltbelastungen aus, wohingegen das USB-Kabel zu vernachlässigen ist (vgl. Abbildung 17).



**Abbildung 17: Herstellung kabelloses Peer-to-Peer-Netzwerk: Anteil der Komponenten an den gesamten potenziellen Umweltbelastungen**

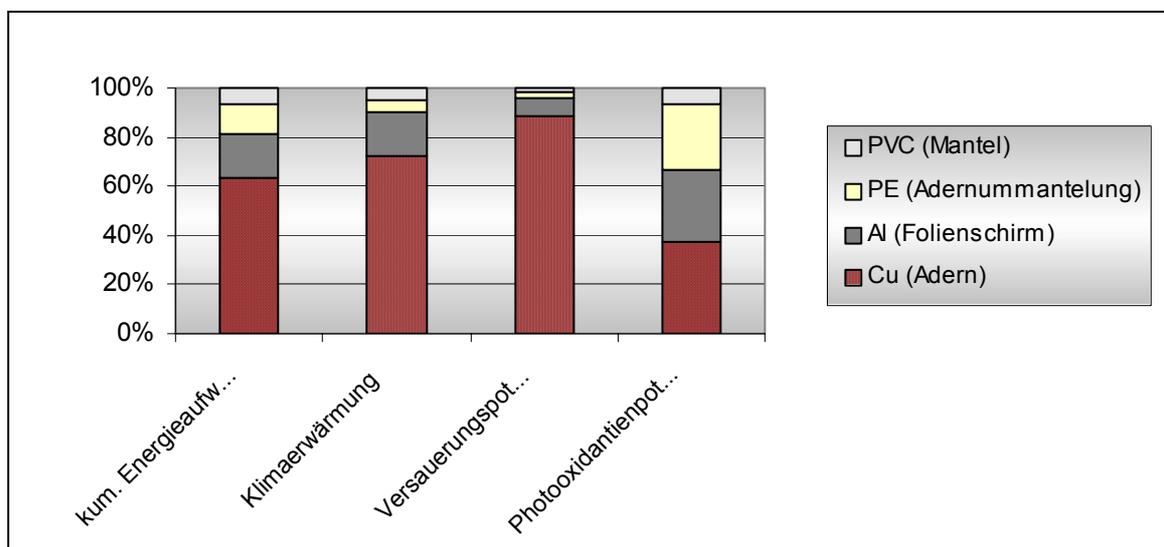
## LAN

Beim kabelgebundenen Netzwerk sieht die Situation ähnlich aus, obwohl das Netzwerk-kabel doch etwas stärker ins Gewicht fällt, gerade in der Wirkungskategorie Versauerungspotenzial (vgl. Abbildung 18).



**Abbildung 18: Kabelgebundenes Peer-to-Peer-Netzwerk: Anteil der Komponenten an den potenziellen Umweltbelastungen durch die Herstellung**

Schlüsselt man das Patchkabel in seine Komponenten auf, stellt man fest, dass die größten potenziellen Umweltbelastungen durch die Herstellung des Kupfers der Adern verursacht werden (vgl. Abbildung 19). So lässt sich auch der hohe Anteil des Kabels innerhalb der Wirkungskategorie Versauerungspotenzial erklären.



**Abbildung 19: Herstellung kabelgebundenes Peer-to-Peer-Netzwerk: Anteil der einzelnen Materialien des FTP-Patchkabels**

Auffallend ist der hohe Anteil durch die Herstellung des Aluminiums, wenn man berücksichtigt, dass dieses nur einen Masseanteil von 6 % an der Gesamtmasse des Kabels hat. So ist es beispielsweise in der Wirkungskategorie Photooxidantienpotenzial für fast 25 % des Gesamtwertes verantwortlich.

### 3.3.1.2 Differenzierte Ergebnisse für die Nutzung

Für die Wirkungskategorie Klimaerwärmung werden exemplarisch die Größenverhältnisse der potenziellen Umweltbelastungen für die Nutzung der kabellosen sowie der kabelgebundenen Variante gezeigt.

In der Nutzungsphase verursachen die WLAN-USB-Adapter um 60 % höhere Emissionen als die PCI-Netzwerkkarten. Hier kann man also von einem signifikanten Ergebnis sprechen (vgl. Abbildung 20).

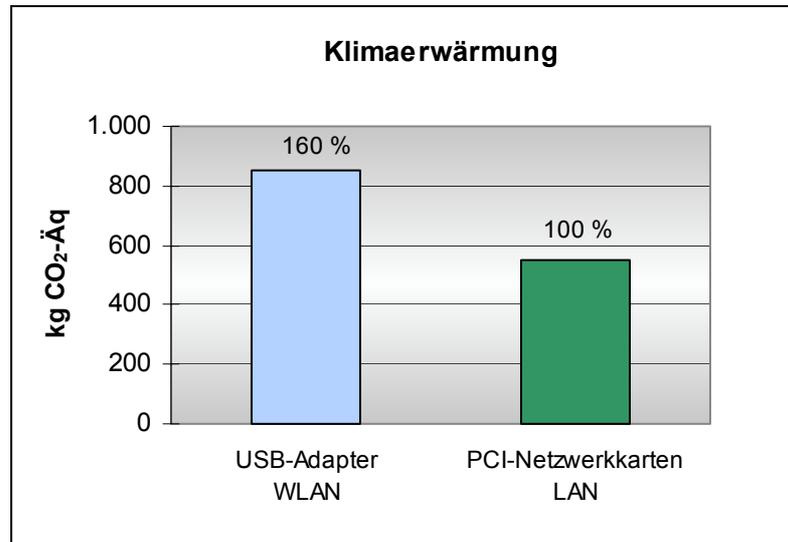


Abbildung 20: Nutzung Peer-to-Peer-Netzwerk: Ergebnis der Wirkungskategorie Klimaerwärmung

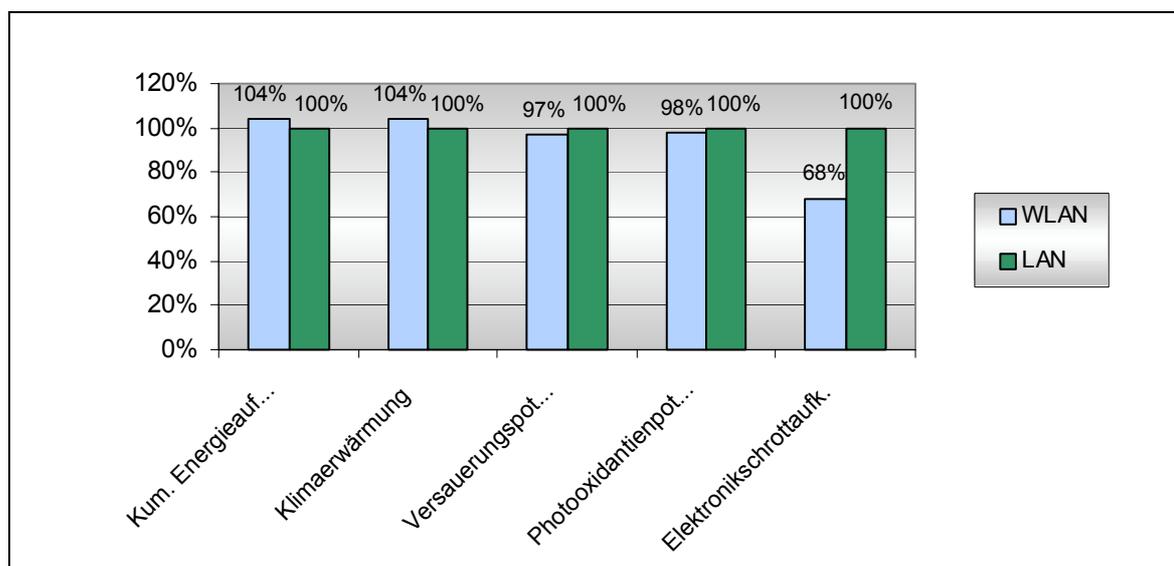
### 3.3.2 SOHO-Netzwerk

Wie schon das erste Anwendungsbeispiel zeigt auch dieses keine signifikanten Unterschiede zwischen kabellosem und kabelgebundenem Netzwerk bei den vier ersten Wirkungskategorien. Nur beim Elektronikschrottaufkommen verzeichnet die kabellose Variante signifikante Vorteile im Vergleich zur kabelgebundenen (vgl. Tabelle 34 und Abbildung 21).

Wieder ergeben sich für die kabellose Variante in den Kategorien kumulierter Energieaufwand und Klimaerwärmung leicht höhere und für Versauerungspotenzial und Photooxidantienpotenzial leicht niedrigere Wirkungsindikatorergebnisse als bei einem kabelgebundenen Netzwerk.

**Tabelle 34: SOHO-Netzwerk: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (1000 Einheiten über 1 Jahr)**

		WLAN	LAN
Kumulierter Energieaufwand	MJ	1,1E+06	1,0E+06
Klimaerwärmung	kg CO <sub>2</sub> -Äq	6,7E+04	6,4E+04
Versauerungspotenzial	kg SO <sub>2</sub> -Äq	1,3E+02	1,4E+02
Photooxidantienpotenzial	kg Eth-Äq	2,3E+00	2,3E+00
Elektronikschrottaufkommen	kg	1,9E+02	2,7E+02

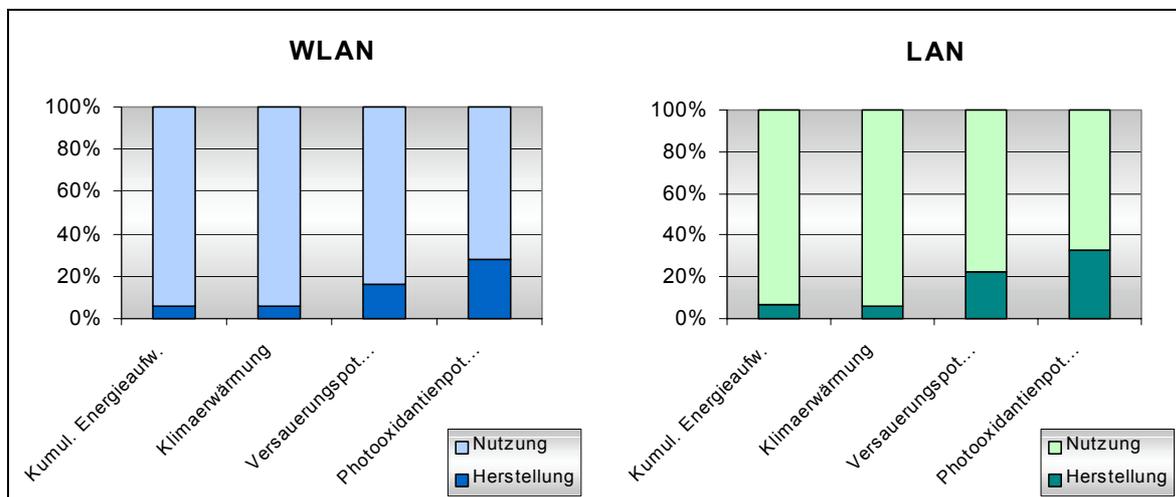


**Abbildung 21: SOHO-Netzwerk: Potenzielle Umweltbelastungen der kabellosen bezogen auf die kabelgebundene Variante**

Wenn man zwischen den Lebenszyklusphasen Herstellung und Nutzung differenziert, so zeigt sich, dass die Nutzung bei beiden Netzwerkarten einen deutlich höheren Anteil an den Umweltbelastungen besitzt (vgl. Tabelle 35 und Abbildung 22). Im Vergleich zum Peer-to-Peer-Netzwerk ist dies einerseits auf die höhere Lebensdauer der Komponenten zurückzuführen und andererseits auf den wesentlich höheren Energiebedarf der Komponenten bei den angenommenen Nutzungsdauern.

**Tabelle 35: SOHO-Netzwerk: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung aufgeschlüsselt in Herstellung und Nutzung**

		WLAN		LAN	
		Herstellung	Nutzung	Herstellung	Nutzung
<b>Kumulierter Energieaufwand</b>	MJ	6,4E+04	1,0E+06	7,0E+04	9,8E+05
<b>Klimaerwärmung</b>	kg CO <sub>2</sub> -Äq	3,7E+03	6,3E+04	4,0E+03	6,0E+04
<b>Versauerungspotenzial</b>	kg SO <sub>2</sub> -Äq	2,2E+01	1,1E+02	3,1E+01	1,1E+02
<b>Photooxidantienpotenzial</b>	kg Eth-Äq	6,5E-01	1,6E+00	7,6E-01	1,6E+00



**Abbildung 22: SOHO-Netzwerk: Anteile von Herstellung und Nutzung an den gesamten Umweltbelastungen**

Beim Vergleich zwischen den Varianten zeigt sich, dass für alle Wirkungskategorien die kabellose Variante während der Nutzungsphase höhere Umweltbelastungen als die kabelgebundene verursacht. Wiederum umgekehrt sieht es bei der Herstellung aus, die bei einem kabelgebundenen Netzwerk zu höheren Umweltbelastungen führt (vgl. Abbildung 23).

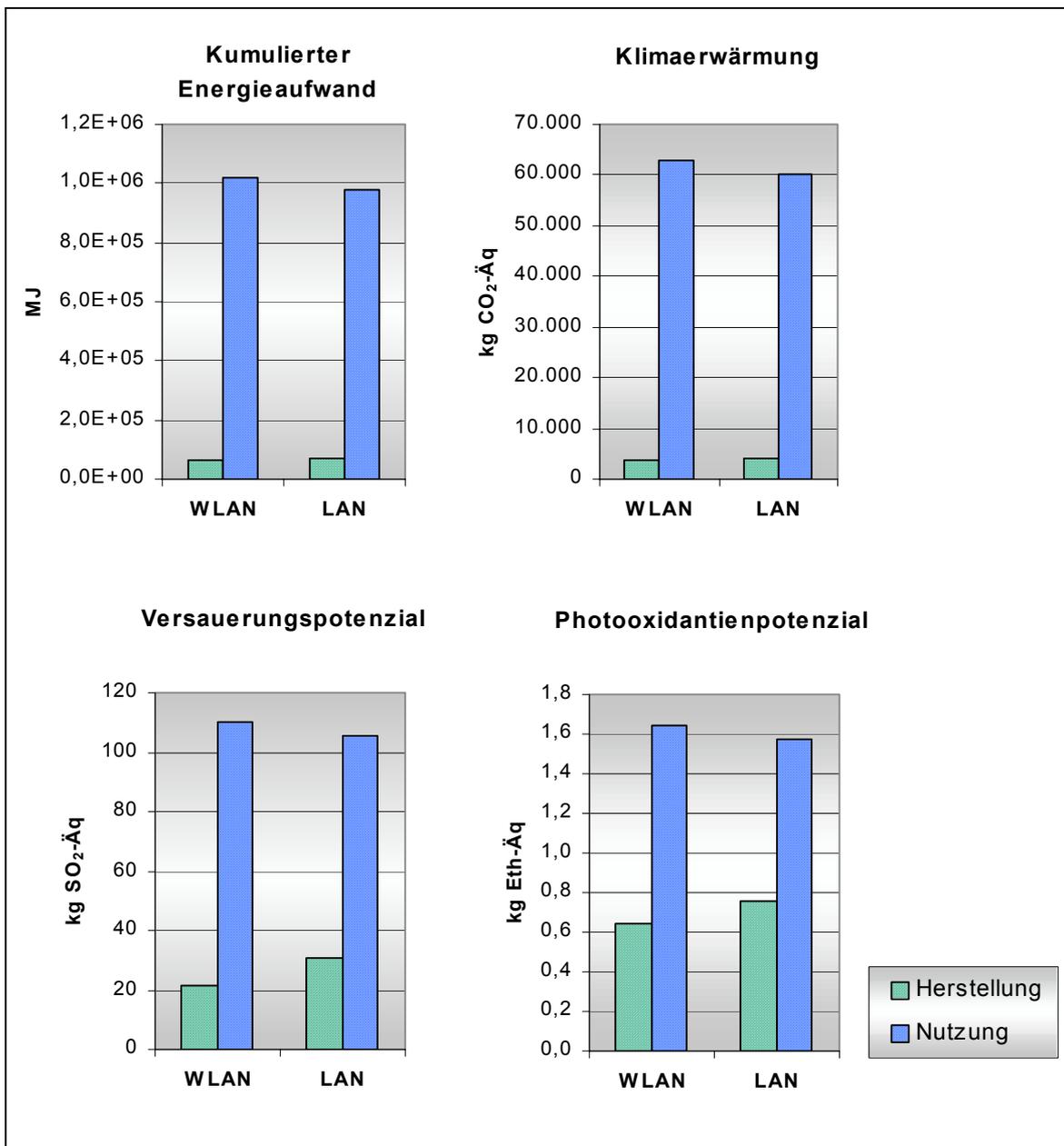


Abbildung 23: SOHO-Netzwerk: Ergebnisse der Wirkungskategorien differenziert in Herstellung und Nutzung für die kabellose und kabelgebundene Variante

### 3.3.2.1 Differenzierte Ergebnisse für die Herstellung

Für die Herstellung des SOHO-Netzwerks zeigt das kabellose Netzwerk 8 bis 30 % geringere Umweltbelastungen, wobei nur das Wirkungsindikatorergebnis Versauerungspotenzial mit 30 % einen signifikanten Unterschied aufweist (vgl. Abbildung 24).

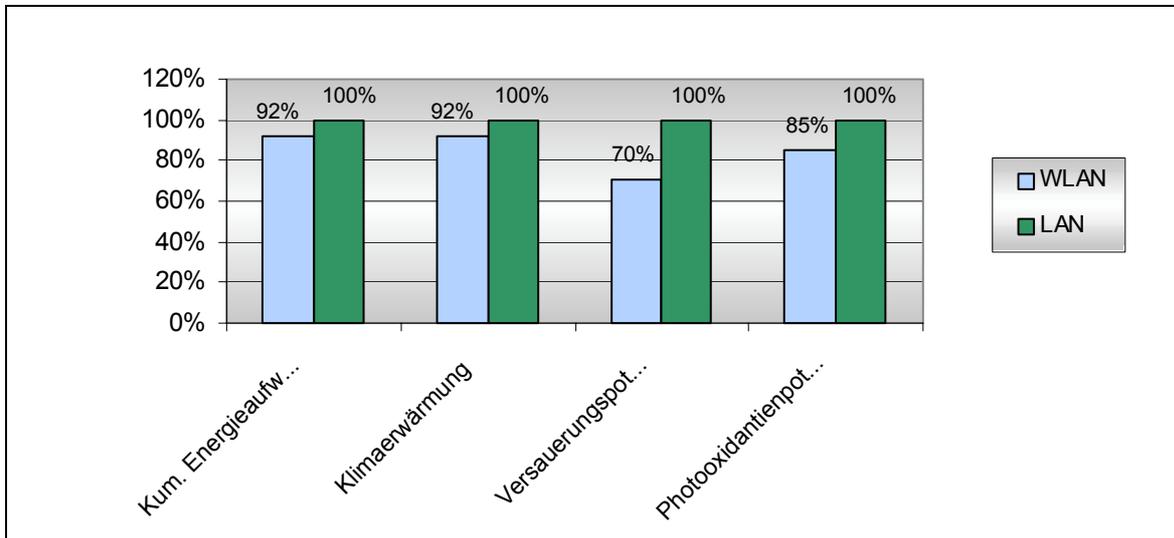


Abbildung 24: Herstellung SOHO-Netzwerk: Potenzielle Umweltbelastungen der kabellosen bezogen auf die kabelgebundene Variante

#### WLAN

Für die Herstellung der Komponenten des kabellosen Netzwerks für die SOHO-Anwendung zeigt sich, dass das Kombigerät mit über 60 % den größten Anteil ausmacht (vgl. Abbildung 25).

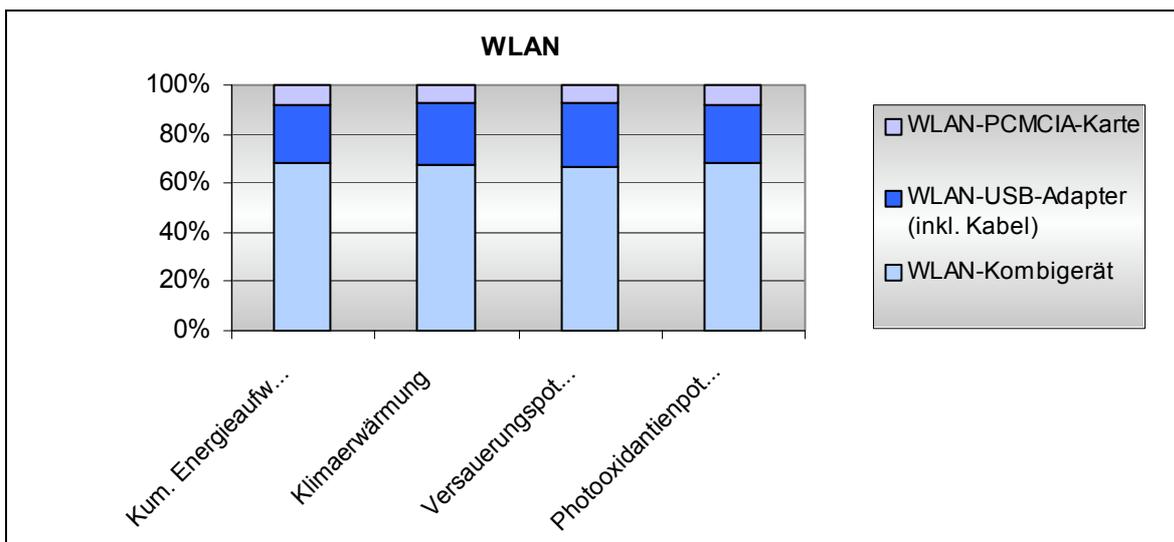
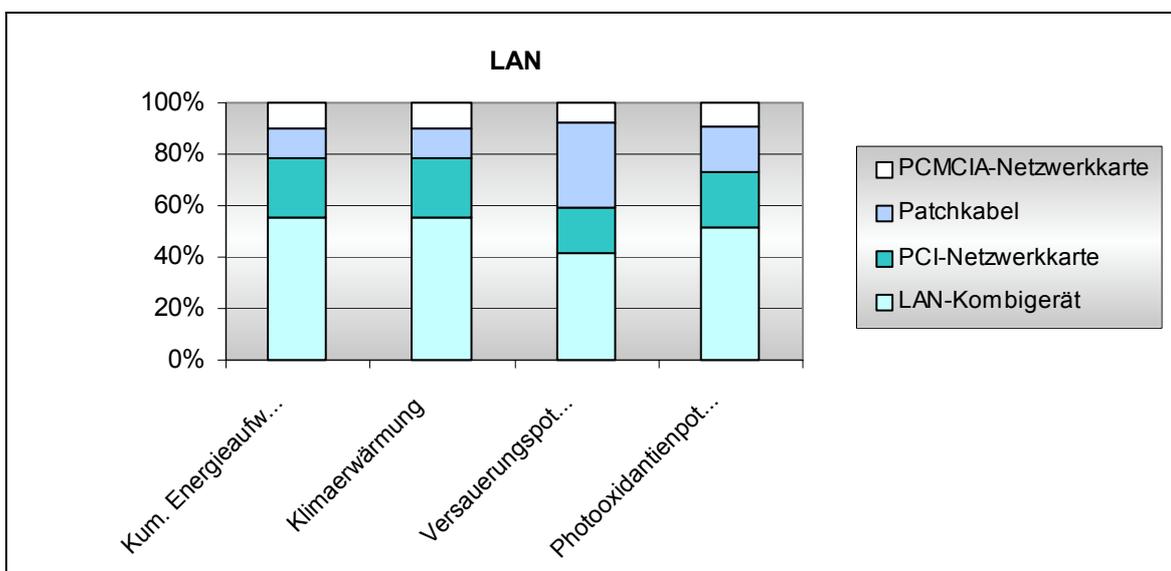


Abbildung 25: Kabelloses SOHO-Netzwerk: Anteil der Komponenten an den potenziellen Umweltbelastungen durch die Herstellung

## LAN

Auch beim kabelgebundenen Netzwerk hat das Kombigerät den bedeutendsten Anteil, der allerdings mit 42 bis 56 % geringer ausfällt als bei der kabellosen Alternative. Den zweitgrößten Anteil haben in drei von vier Kategorien die PCI-Netzwerkkarten. Bei der Wirkungskategorie Versauerungspotenzial fällt die Verteilung etwas anders aus, da hier die ungeschirmten Patchkabel den zweitgrößten Anteil ausmachen (33 %) (vgl. Abbildung 26).



**Abbildung 26: Kabelgebundenes SOHO-Netzwerk: Anteil der Komponenten an den potenziellen Umweltbelastungen durch die Herstellung**

Der erhöhte Wert des Patchkabels in der Wirkungskategorie Versauerungspotenzial ist, wie schon beim Peer-to-Peer-Netzwerk dargestellt, durch die Herstellung des Kupfers für die Adern bedingt. (vgl. Kap. 3.3.1.1)

### 3.3.2.2 Differenzierte Ergebnisse für die Nutzung

Vergleicht man die potenziellen Umweltbelastungen der Nutzungsphase zeigt sich eine nicht signifikante Differenz von 5 % zwischen kabellosem und kabelgebundenem Netzwerk. Während der Nutzungsphase spielt der Energieverbrauch des Kombigeräts die größte Rolle, wohingegen die Energieverbräuche der Netzwerkkarten zu vernachlässigen sind. Dies gilt für das kabellose wie auch für das kabelgebundene Netzwerk. Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft die Anteile für die Wirkungskategorie Treibhauseffekt (vgl. Abbildung 27).

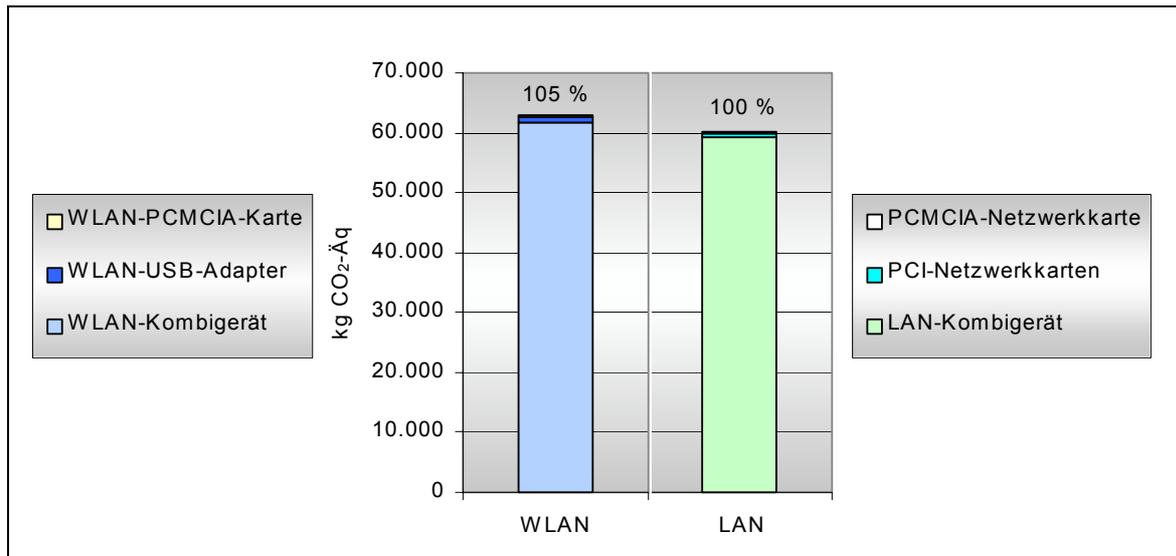


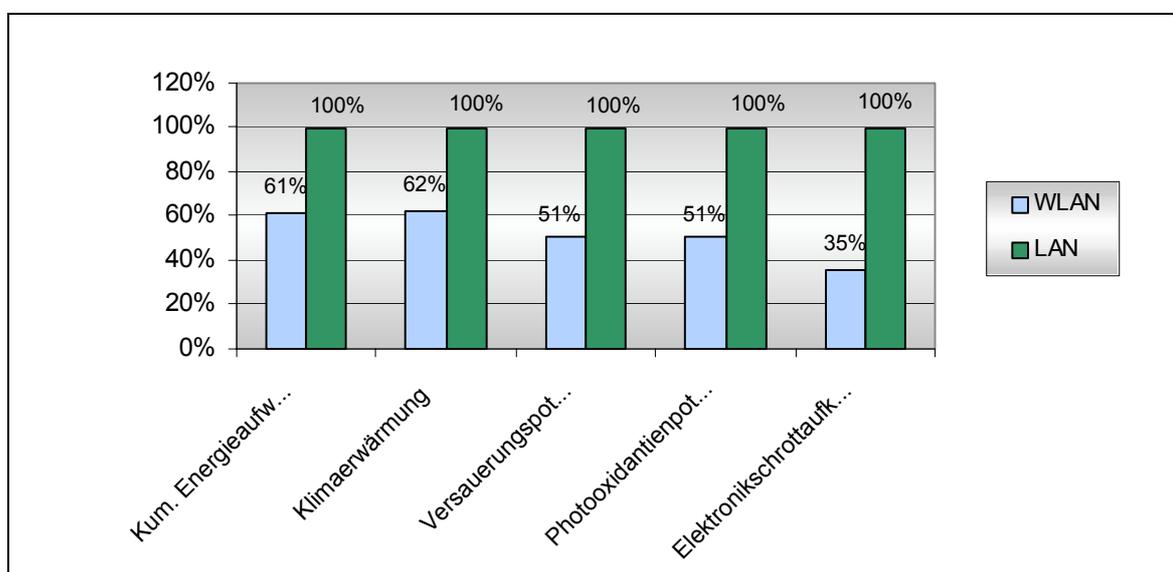
Abbildung 27: Nutzung SOHO-Netzwerk: Anteil der Komponenten an der Wirkungskategorie Klimaerwärmung

### 3.3.3 Büro-Netzwerk

Die Wirkungsindikatorergebnisse eines Büro-Netzwerkes zeigen im Vergleich zu den ersten beiden Anwendungsbeispielen ein ganz anderes Bild. Hier sind die Ergebnisse aller Wirkungskategorien für das kabellose Netzwerk signifikant geringer als beim kabelgebundenen Netzwerk (vgl. Abbildung 28).

**Tabelle 36: Büro-Netzwerk: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung (1000 Einheiten über 1 Jahr)**

		WLAN	LAN
<b>Kumulierter Energieaufwand</b>	MJ	3,0E+06	4,9E+06
<b>Klimaerwärmung</b>	kg CO <sub>2</sub> -Äq	1,8E+05	3,0E+05
<b>Versauerungspotenzial</b>	kg SO <sub>2</sub> -Äq	4,0E+02	7,8E+02
<b>Photooxidantienpotenzial</b>	kg Eth-Äq	7,3E+00	1,4E+01
<b>Elektronikschrottaufkommen</b>	kg	8,1E+02	2,3E+03

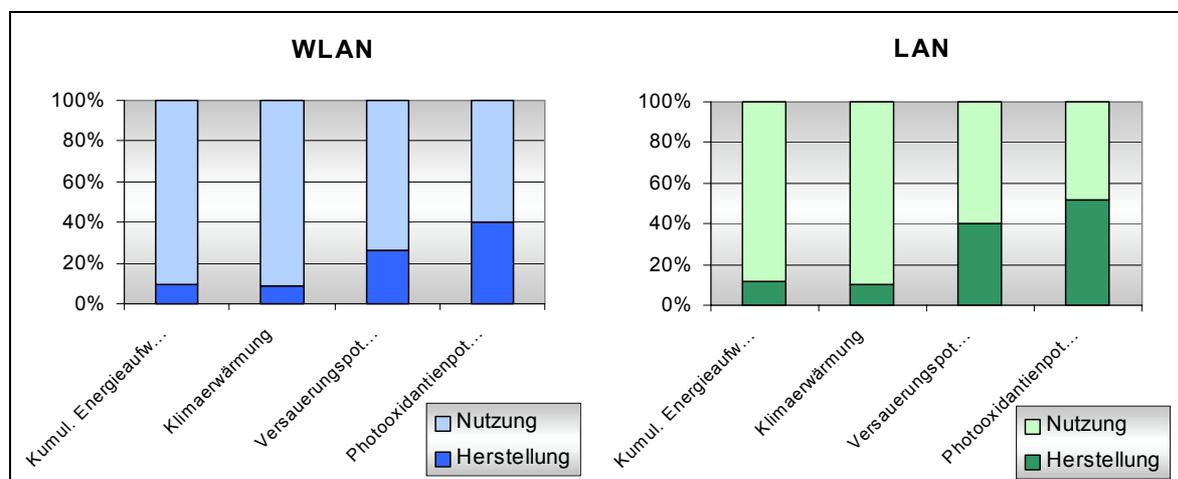


**Abbildung 28: Büro-Netzwerk: Potenzielle Umweltbelastungen der kabellosen bezogen auf die kabelgebundene Variante**

Bei einer Unterscheidung zwischen den Lebenszyklusphasen Herstellung und Nutzung zeigt sich, dass die Nutzung bei beiden Varianten in fast allen Wirkungskategorien stärker ins Gewicht fällt als die Herstellung. Nur in der Kategorie Photooxidantienpotenzial beim kabelgebundenen Netzwerk ist der Anteil der Herstellung leicht höher (vgl. Abbildung 29).

**Tabelle 37: Büro-Netzwerk: Ergebnisse der Wirkungsabschätzung aufgeschlüsselt in Herstellung und Nutzung**

		WLAN		LAN	
		Herstellung	Nutzung	Herstellung	Nutzung
<b>Kumulierter Energieaufwand</b>	MJ	2,8E+05	2,7E+06	5,7E+05	4,3E+06
<b>Klimaerwärmung</b>	kg CO <sub>2</sub> -Äq	1,7E+04	1,7E+05	3,1E+04	2,7E+05
<b>Versauerungspotenzial</b>	kg SO <sub>2</sub> -Äq	1,1E+02	2,9E+02	3,2E+02	4,6E+02
<b>Photooxidantienpotenzial</b>	kg Eth-Äq	2,9E+00	4,4E+00	7,4E+00	6,9E+00



**Abbildung 29: Büro-Netzwerk: Anteile von Herstellung und Nutzung an den gesamten potenziellen Umweltbelastungen**

Der Vergleich zeigt, dass Herstellung und Nutzung beim kabelgebundenen Netzwerk deutlich höhere potenzielle Umweltbelastungen erzeugen als beim kabellosen Netzwerk. So sind die Werte für die Herstellung bei der kabelgebundenen Variante 1,8 bis 3 fach so hoch wie bei der kabellosen. Beim Photooxidantienpotenzial ist allein der Wert der Herstellung so hoch wie der Gesamtwert aus Herstellung und Nutzung des kabellosen Netzwerks. Durch die Nutzung entstehen beim kabelgebundenen Netzwerk 1,6 fach höhere Umweltbelastungen als beim kabellosen (vgl. Abbildung 30).

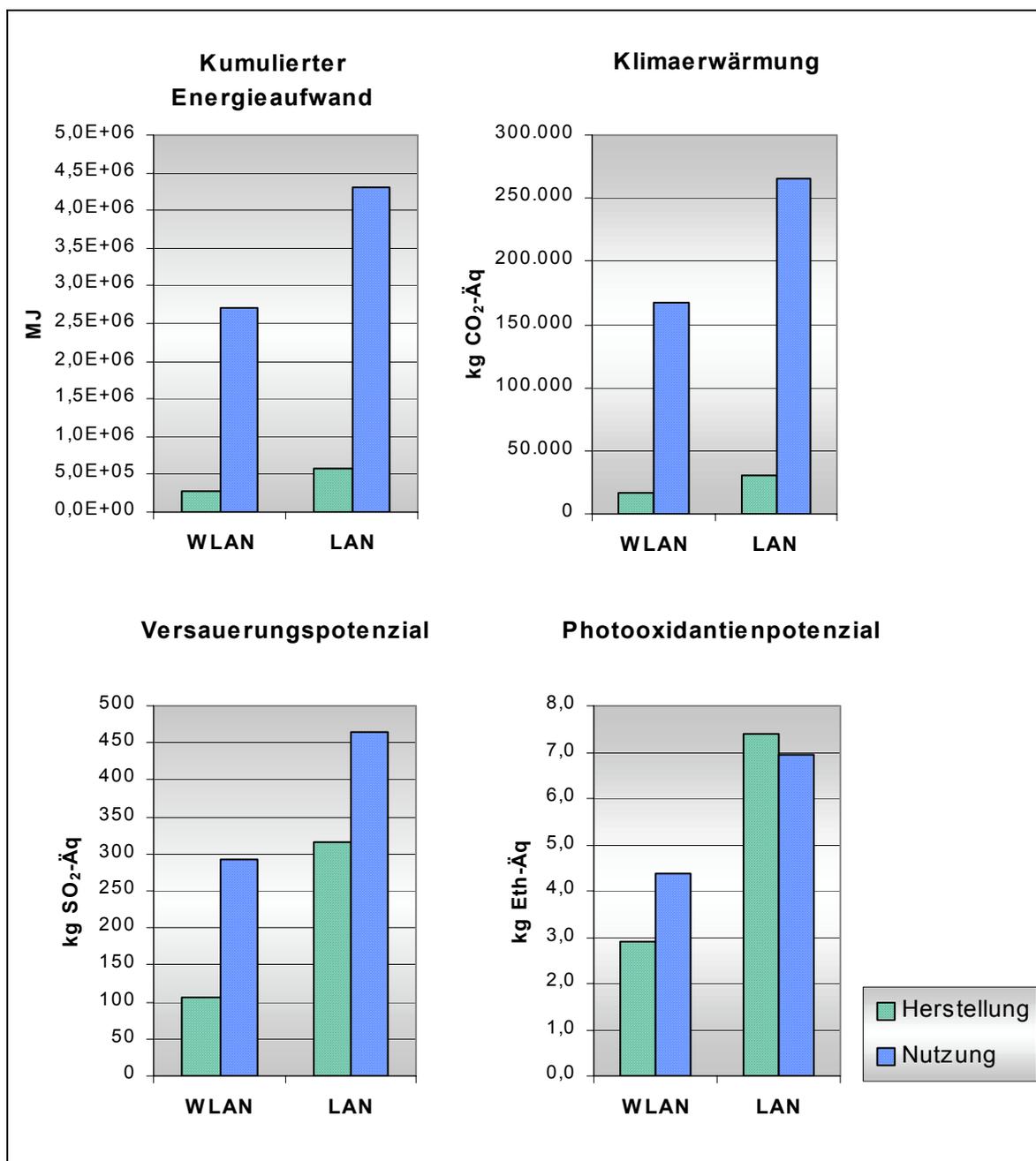
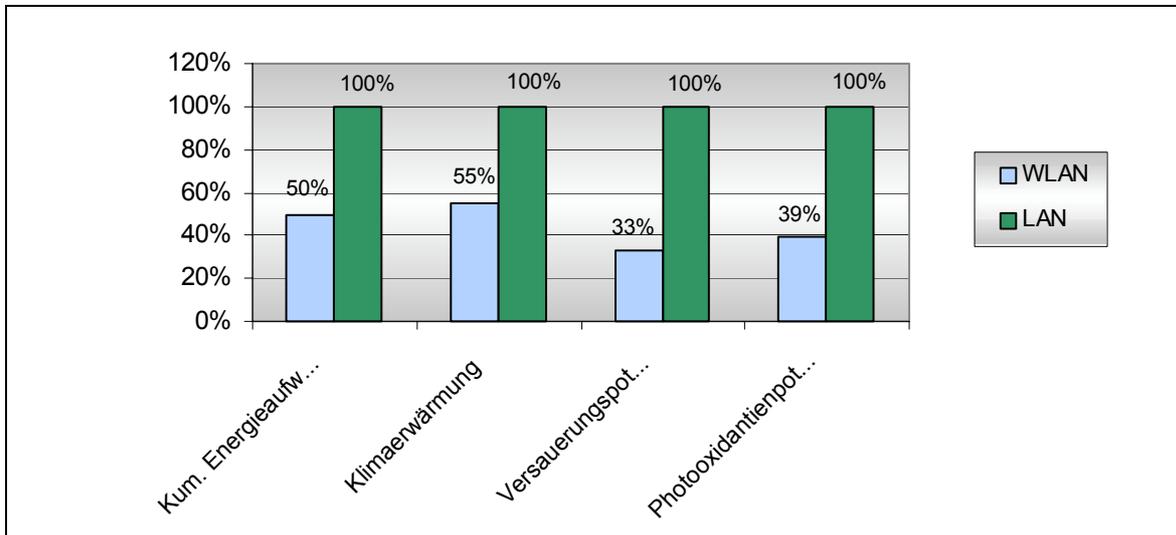


Abbildung 30: Büro-Netzwerk: Ergebnisse der Wirkungskategorien differenziert in Herstellung und Nutzung für die kabellose und kabelgebundene Variante

### 3.3.3.1 Differenzierte Ergebnisse für die Herstellung

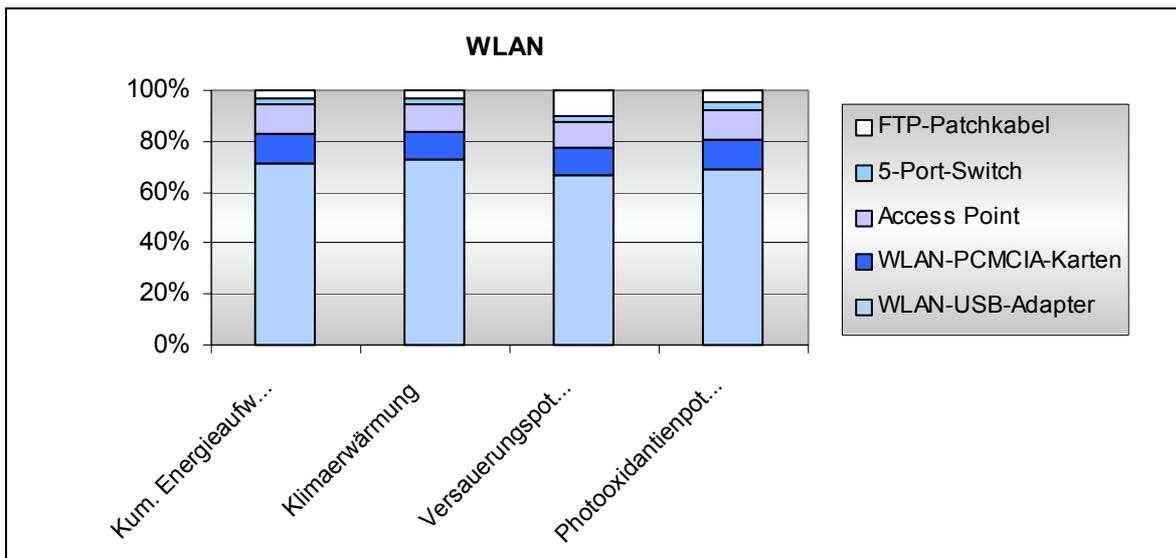
Beim Vergleich der Wirkungsindikatorergebnisse für die Herstellung von kabellosem und kabelgebundenem Büro-Netzwerk zeigen sich in allen Kategorien signifikante Unterschiede (vgl. Abbildung 31).



**Abbildung 31: Herstellung Büro-Netzwerk: Potenzielle Umweltbelastungen für die kabellose bezogen auf die kabelgebundene Variante**

#### WLAN

Bei der Herstellung des kabellosen Netzwerks tragen den Hauptanteil der Umweltbelastungen die USB-Adapter. Dies ist auf ihre Anzahl von 16 Stück zurückzuführen. Auch hier ist wieder ein vergleichsweise erhöhter Wert der Kabel in der Kategorie Versauerungspotenzial, der vom Kupfer verursacht wird, zu beobachten (vgl. Abbildung 32).



**Abbildung 32: Kabelloses Büro-Netzwerk: Anteile der Komponenten an den potenziellen Umweltbelastungen durch die Herstellung**

## LAN

Bei der Herstellung des kabelgebundenen Netzwerks haben in allen vier Wirkungskategorien die PCI-Netzwerkkarten, der Kabelkanal und die geschirmten Kabel zusammen mit etwa 80 % die höchste Relevanz.

Auffällig ist in der Kategorie Versauerungspotenzial der hohe Wert bei den geschirmten Kabeln. Auch die Patchkabel zeigen im Vergleich zu den Werten in den anderen Kategorien hier eine Erhöhung (vgl. Abbildung 33). Dies ist wie bereits beim Peer-to-Peer-Netzwerk dargestellt, auf die Herstellung des Kupfers zurückzuführen.

Der Kabelkanal hat in der Wirkungskategorie Photooxidantienpotenzial mit über 30 % den höchsten Anteil.

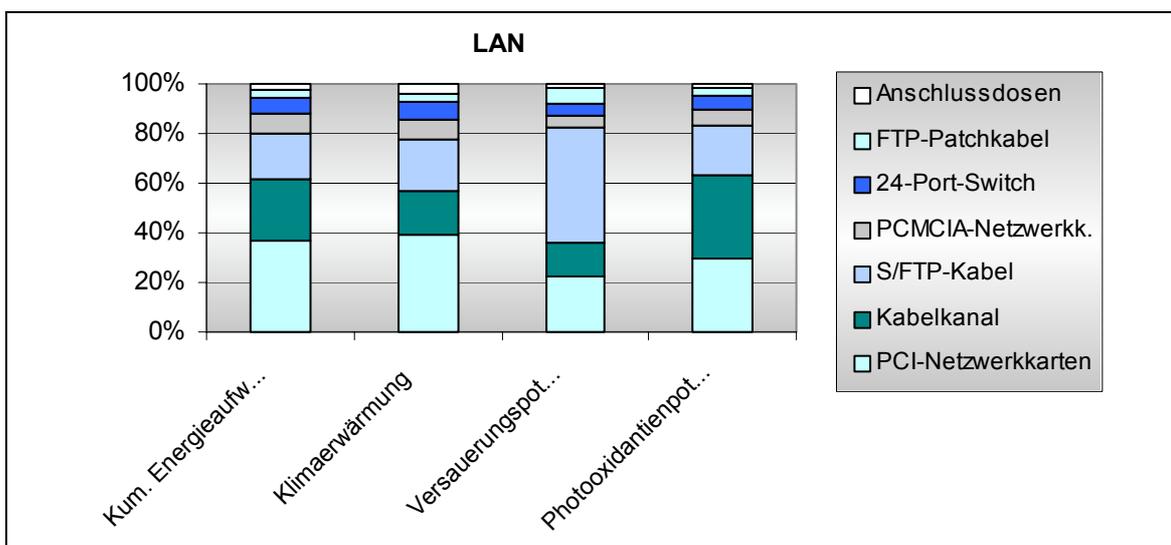


Abbildung 33: Kabelgebundenes Büro-Netzwerk: Anteile der Komponenten an den potenziellen Umweltbelastungen durch die Herstellung

### 3.3.3.2 Differenzierte Ergebnisse für die Nutzung

Bei der Nutzung des kabellosen Netzwerks zeigt sich, dass mit über 50 % der größte Anteil durch die Access Points verursacht wird, gefolgt von den WLAN-USB-Adaptern und dem 5-Port-Switch.

Wesentlich deutlicher (mit über 90 %) fällt beim kabelgebundenen Netzwerk der 24-Port-Switch ins Gewicht. Hier sind die Netzwerkkarten fast vernachlässigbar (vgl. Abbildung 34).

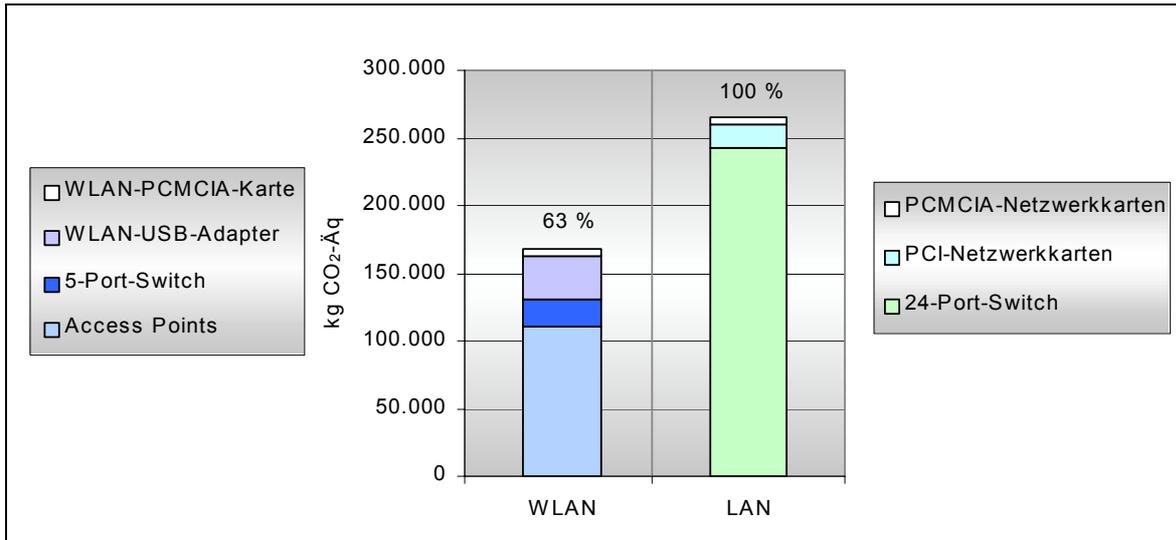


Abbildung 34: Nutzung Büro-Netzwerk: Anteil der Komponenten an der Wirkungskategorie Klimaerwärmung

### 3.4 Optimierungsansätze

Beim SOHO- und Büro-Netzwerk entstehen die größten potenziellen Umweltbelastungen während der Nutzung. In den folgenden Abschnitten werden diesbezüglich für alle Netzwerkarten Maßnahmen für Optimierungsansätze untersucht und bestimmt, wie groß das jeweilige Optimierungspotenzial ausfällt. Zusätzlich wird untersucht, wie sich der Einsatz eines PVC-freien Mantelmaterials auf das Ergebnis des kabelgebundenen Büro-Netzwerks auswirkt.

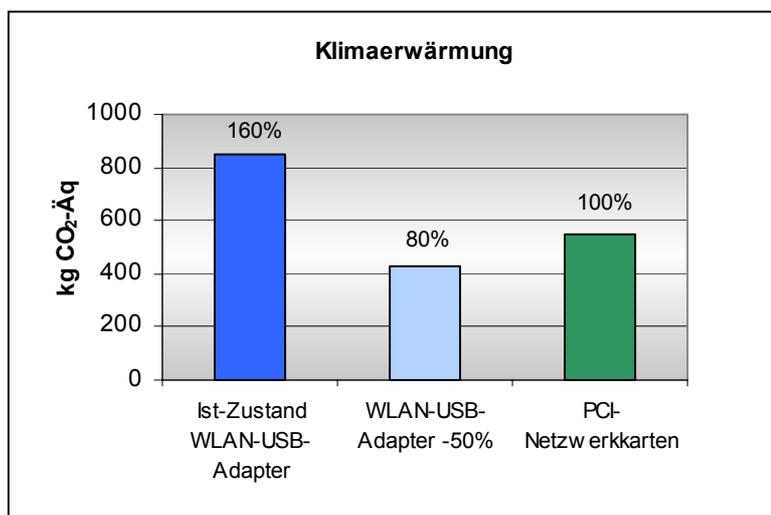
#### 3.4.1 Peer-to-Peer-Netzwerk

Auch wenn beim Peer-to-Peer-Netzwerk die Umweltbelastungen durch die Herstellung höher sind als durch die Nutzung, soll beispielhaft der Einfluss einer Reduktion des Energieverbrauchs betrachtet werden.

##### *Reduktion des Stromverbrauchs des WLAN-USB-Adapters*

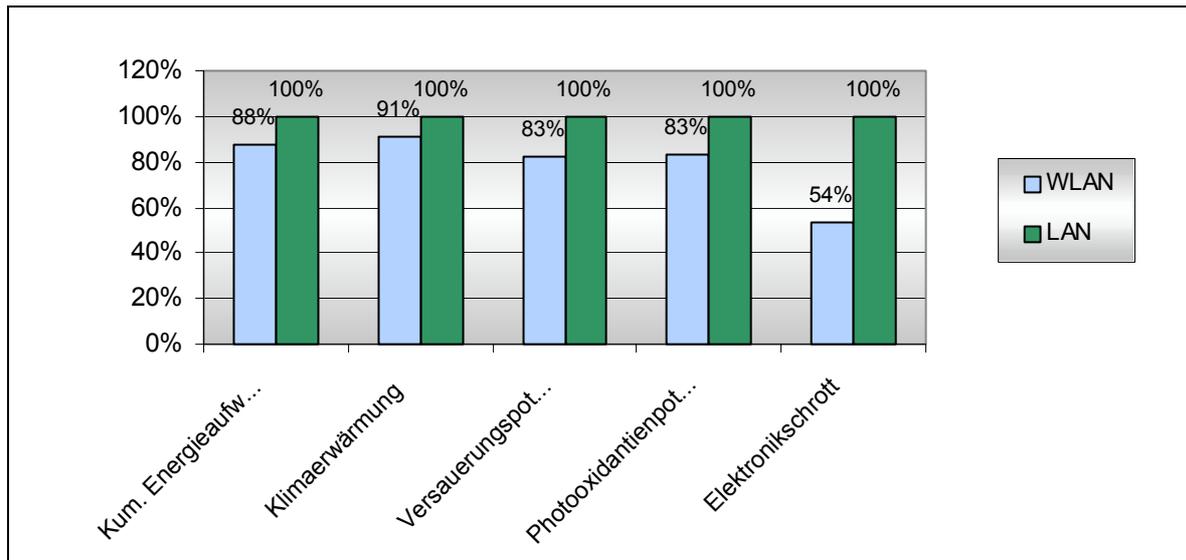
Der WLAN-USB-Adapter verbraucht im Vergleich zu den drei anderen untersuchten Netzwerkadaptern die meiste Energie (vgl. Tabelle 20). Bei diesem Optimierungsansatz soll betrachtet werden, was eine 50 % ige Energieverbrauchsreduktion des WLAN-USB-Adapters für das Peer-to-Peer-Netzwerk bedeuten würde.

Für die potenziellen Umweltbelastungen bei der Nutzung des Peer-to-Peer-Netzwerks würde eine 50 %ige Reduktion des Stromverbrauchs des USB-Adapters einen Vorteil gegenüber dem kabelgebundenen Netzwerk bewirken, da die potenziellen Umweltbelastungen im Vergleich dazu 20 % geringer ausfielen (vgl. Abbildung 35).



**Abbildung 35: Nutzung Peer-to-Peer-Netzwerk: Reduktionspotenzial bei 50 %iger Energieverbrauchsreduktion des WLAN-USB-Adapters**

Auch auf das Gesamtergebnis würde sich diese Maßnahme positiv auswirken, d.h. das kabellose Netzwerk schneidet so in allen Wirkungskategorien besser ab als das kabelgebundene, obwohl signifikant geringere Umweltbelastungen nur beim kumulierten Energieaufwand (>10 %) zu erreichen sind (vgl. Abbildung 36). Der Unterschied beim Elektronikschrottaufkommen bleibt unverändert signifikant.



**Abbildung 36: Peer-to-Peer-Netzwerk: Potenzielle Umweltbelastungen der kabellosen Variante mit 50 % energieverbrauchsreduziertem WLAN-USB-Adapter bezogen auf das kabelgebundene Netzwerk**

### 3.4.2 SOHO-Netzwerk

Sowohl für das kabelgebundene als auch für das kabellose Netzwerk wurde der Energieverbrauch des Kombigeräts als Hauptverursacher der potenziellen Umweltbelastungen ausgemacht. Aufgrund dessen wird für diesen Optimierungsansatz angenommen, dass das Kombigerät bei Nichtnutzung vom Netz getrennt wird (z.B. über eine schaltbare Steckerleiste). Das bedeutet, dass sich die Zeit, in der das Gerät in Bereitschaft ist, von den zuvor angenommenen 4479 h auf 0 h reduziert. Diese Optimierungsmaßnahme wird im Folgenden für beide Netzwerkarten durchgeführt, um die jeweiligen Reduktionspotenziale bezogen auf die Lebenszyklusphase Nutzung und auf das Gesamtergebnis zu bestimmen. Anschließend werden die Gesamtergebnisse der kabellosen und der kabelgebundenen Variante verglichen.

### Netztrennung bei Nichtnutzung - WLAN

Für das kabellose Netzwerk kann durch die Netztrennung des Kombigeräts eine Reduktion der potenziellen Umweltbelastungen bei der Nutzung von 44 % erzielt werden. Dies wird in nebenstehender Abbildung am Beispiel der Klimaerwärmung verdeutlicht (vgl. Abbildung 37).

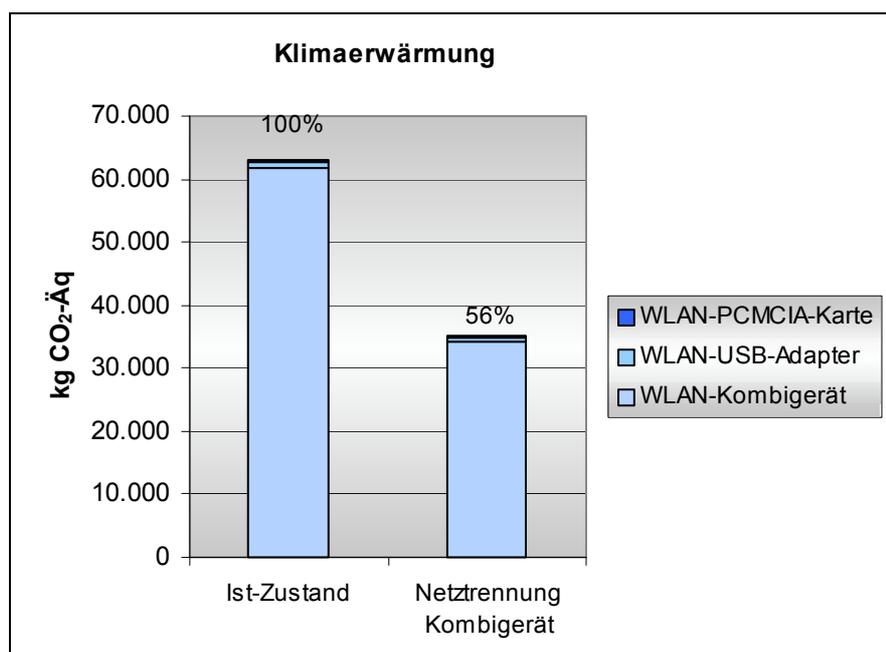


Abbildung 37: Nutzung kabelloses SOHO-Netzwerk: Reduktionspotenzial bei Netztrennung des Kombigeräts bei Nichtnutzung

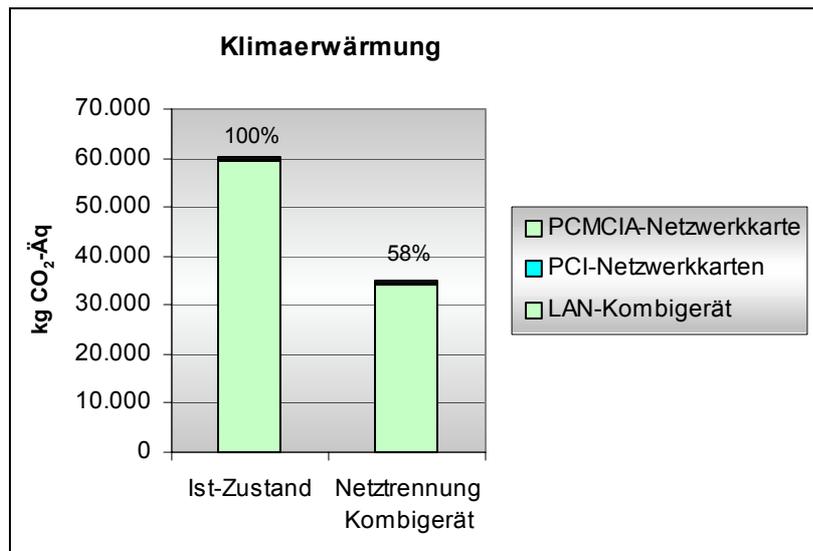
Bezogen auf das Gesamtergebnis lassen sich durch die Netztrennung des Kombigeräts die potenziellen Umweltbelastungen beim kabellosen Netzwerk bis zu 42 % reduzieren (vgl. Tabelle 38).

Tabelle 38: Kabelloses SOHO-Netzwerk: Reduktionspotenzial der potenziellen Umweltbelastungen bei Netztrennung des Kombigeräts

		WLAN vorher	WLAN nachher	Reduktion
Kumulierter Energieaufwand	MJ	1,1E+06	6,4E+05	41%
Klimaerwärmung	kg CO <sub>2</sub> -Äq	6,7E+04	3,9E+04	42%
Versauerungspotenzial	kg SO <sub>2</sub> -Äq	1,3E+02	8,3E+01	37%
Photooxidantienpotenzial	kg Eth-Äq	2,3E+00	1,6E+00	32%
Elektronikschrottaufkommen	kg	1,9E+02	1,9E+02	0%

### Netztrennung bei Nichtnutzung – LAN

Beim kabelgebundenen Netzwerk lässt sich durch die Netztrennung des Kombigeräts bei Nichtnutzung eine Reduktion von 42 % der potenziellen Umweltbelastungen bei der Nutzung erzielen. Beispielhaft wird hier wieder die Wirkungskategorie Klimaerwärmung dargestellt (vgl. Abbildung 38).



**Abbildung 38: Nutzung kabelgebundenes SOHO-Netzwerk: Reduktionspotenzial bei Netztrennung des Kombigeräts bei Nichtnutzung**

Insgesamt lassen sich durch diese Maßnahme die potenziellen Umweltbelastungen des kabelgebundenen SOHO-Netzwerks um bis zu 39 % reduzieren (vgl. Tabelle 39).

**Tabelle 39: Kabelgebundenes SOHO-Netzwerk: Reduktionspotenzial der potenziellen Umweltbelastungen bei Netztrennung des Kombigeräts**

		LAN vorher	LAN nachher	Reduktion
<b>Kumulierter Energieaufwand</b>	MJ	1,0E+06	6,4E+05	39%
<b>Klimaerwärmung</b>	kg CO <sub>2</sub> -Äq	6,4E+04	3,9E+04	39%
<b>Versauerungspotenzial</b>	kg SO <sub>2</sub> -Äq	1,4E+02	9,2E+01	32%
<b>Photooxidantienpotenzial</b>	kg Eth-Äq	2,3E+00	1,7E+00	28%
<b>Elektronikschrottaufkommen</b>	kg	2,7E+02	2,7E+02	0%

### Vergleich der optimierten SOHO-Netzwerke

Beim Vergleich der beiden optimierten Netzwerke ändert sich am Gesamtergebnis nichts wesentliches, obwohl sich die kabellose Variante im Vergleich zu den ursprünglichen Annahmen (vgl. Abbildung 21) leicht verbessert hat (vgl. Abbildung 39).

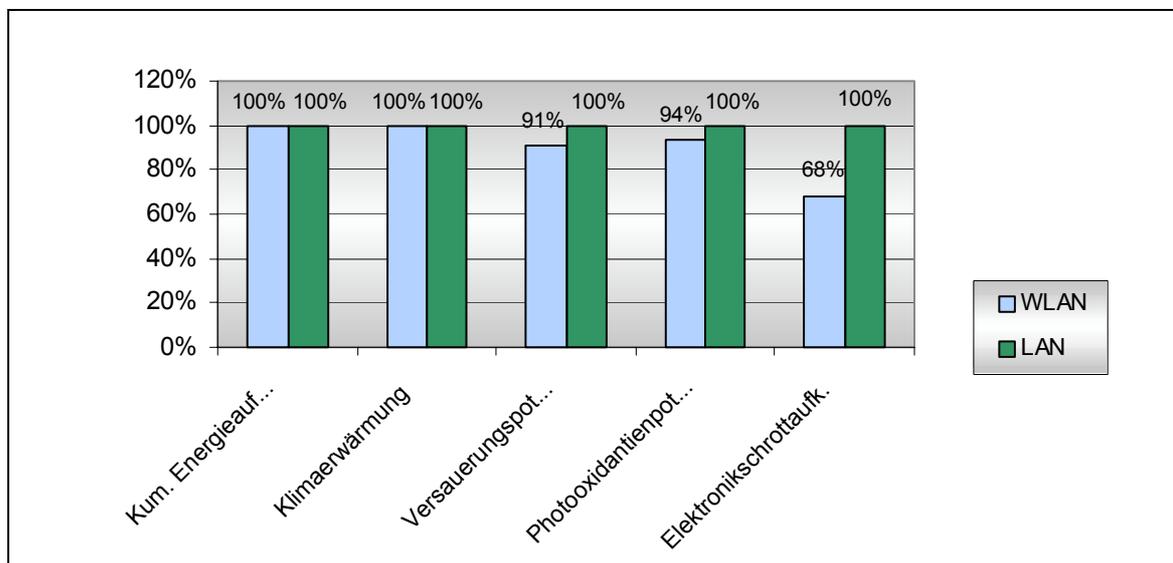


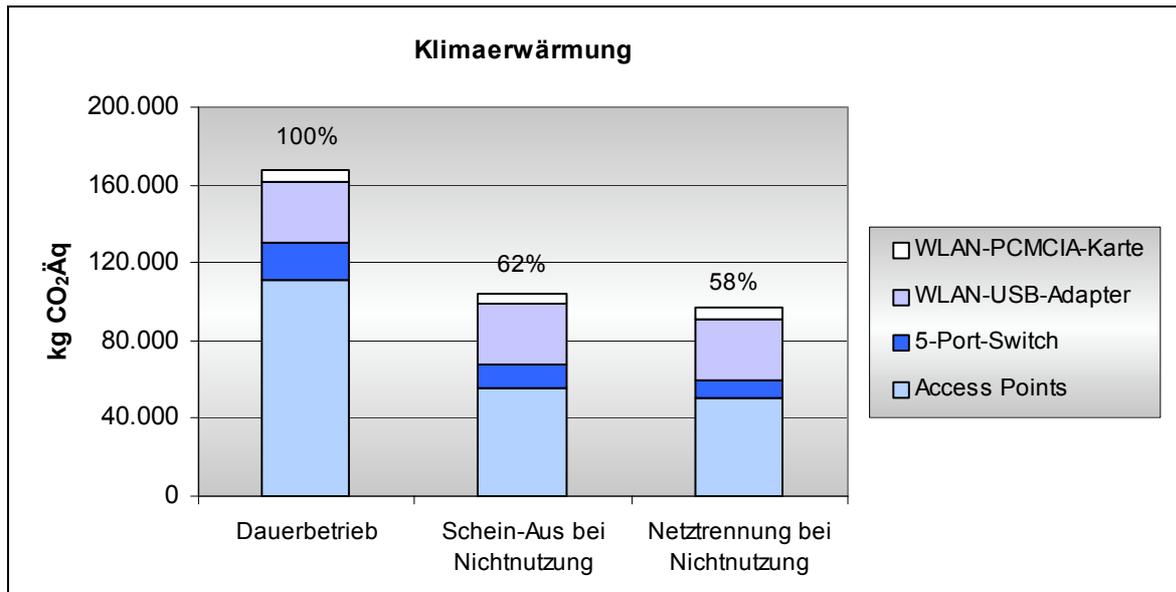
Abbildung 39: SOHO-Netzwerk: Potenzielle Umweltbelastungen der kabellosen bezogen auf die kabelgebundene Variante bei Netztrennung der Kombigeräte

### 3.4.3 Büro-Netzwerk

#### Ausschalten von Switch und Access Point - WLAN

Beim kabellosen Büronetzwerk wurde angenommen, dass Switch und Access Points ununterbrochen in Betrieb sind. Hier besteht die Möglichkeit, diese Geräte bei Nichtnutzung auszuschalten. Beim Betrieb des Netzwerks in einem Büro kann davon ausgegangen werden, dass nachts (8 h), an Wochenenden (52\*2 d/a) und an gesetzlichen Feiertagen (9 d/a) nicht gearbeitet wird. So reduziert sich die Betriebsdauer von 8760 h auf 4032 h. Ein Ausschalten der Geräte kann entweder am Gerät direkt erfolgen, d.h. das externe Netzteil ist weiterhin am Netz (Schein-Aus). Eine andere Möglichkeit ist die Stromunterbrechung zwischen Netzteil und Stromversorgung. So kann der Umwandlungsverlust durch das Netzteil vermieden werden, der auch bei ausgeschaltetem Gerät auftritt.

Im Gegensatz zum ursprünglichen Anwendungsbeispiel mit 24-Stunden-Betrieb von Switch und Access Point können die potenziellen Umweltbelastungen bei der Nutzung im Schein-Aus-Zustand um 38 % und bei vollständiger Netztrennung um 42 % reduziert werden (vgl. Abbildung 40).



**Abbildung 40: Nutzung kabelloses Büro-Netzwerk: Reduktionspotenzial durch Schein-Aus bzw. Netztrennung von Switch und Access Point**

Das Reduktionspotenzial bezogen auf das Gesamtergebnis des kabellosen Büro-Netzwerks ist aus Tabelle 40 ersichtlich. Es beträgt bis zu 38 %

**Tabelle 40: Kabelloses Büro-Netzwerk: Reduktionspotenzial der potenziellen Umweltbelastungen bei Netztrennung von Switch und AP**

		WLAN vorher	WLAN nachher	Reduktion
<b>Kumulierter Energieaufwand</b>	MJ	3,0E+06	1,9E+06	38%
<b>Klimaerwärmung</b>	kg CO <sub>2</sub> -Äq	1,8E+05	1,1E+05	38%
<b>Versauerungspotenzial</b>	kg SO <sub>2</sub> -Äq	4,0E+02	2,7E+02	31%
<b>Photooxidantienpotenzial</b>	kg Eth-Äq	7,3E+00	5,4E+00	25%
<b>Elektronikschrottaufkommen</b>	kg	8,1E+02	8,1E+02	0%

### Reduktion des Energieverbrauchs des WLAN-USB-Adapters

Auch für dieses Anwendungsbeispiel wurde untersucht, wie sich eine Reduktion des Energieverbrauchs des WLAN-USB-Adapters um 50 % auswirken würde. Ergebnis ist eine Verringerung des Gesamtenergieverbrauchs des kabellosen Büro-Netzwerks um 9,3 % (vgl. Abbildung 41).

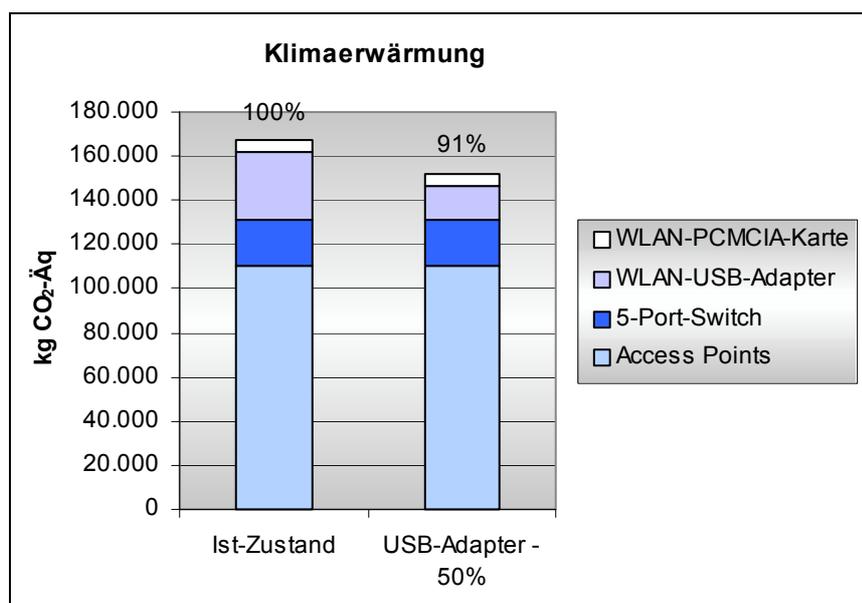


Abbildung 41: Nutzung kabelloses Büro-Netzwerk: Reduktionspotenzial durch 50 %ige Energieverbrauchssenkung des WLAN-USB-Adapters

Für das Gesamtergebnis beinhaltet diese Maßnahme ein Reduktionspotenzial von bis zu 8 % (vgl. Tabelle 41).

Tabelle 41: Kabelloses Büro-Netzwerk: Reduktionspotenzial der potenziellen Umweltbelastungen bei 50 %iger Energieverbrauchsreduktion des USB-Adapters

		WLAN vorher	WLAN nachher	Reduktion
Kumulierter Energieaufwand	MJ	3,0E+06	2,7E+06	8%
Klimaerwärmung	kg CO <sub>2</sub> -Äq	1,8E+05	1,7E+05	8%
Versauerungspotenzial	kg SO <sub>2</sub> -Äq	4,0E+02	3,7E+02	7%
Photooxidantienpotenzial	kg Eth-Äq	7,3E+00	6,9E+00	6%
Elektronikschrottaufkommen	kg	8,1E+02	8,1E+02	0%

### Gesamtreduktionspotenzial durch alle Optimierungsmaßnahmen - WLAN

Wendet man alle genannten Optimierungsmaßnahmen an, das heißt Netz-trennung bei Nicht-nutzung von Access Points und Switch sowie Reduktion des Energie-verbrauchs des WLAN-USB-Adap-ters, so lassen sich über 50 % der po-tenziellen Umwelt-belastungen bei der Nutzung vermeiden (vgl. Abbildung 42).

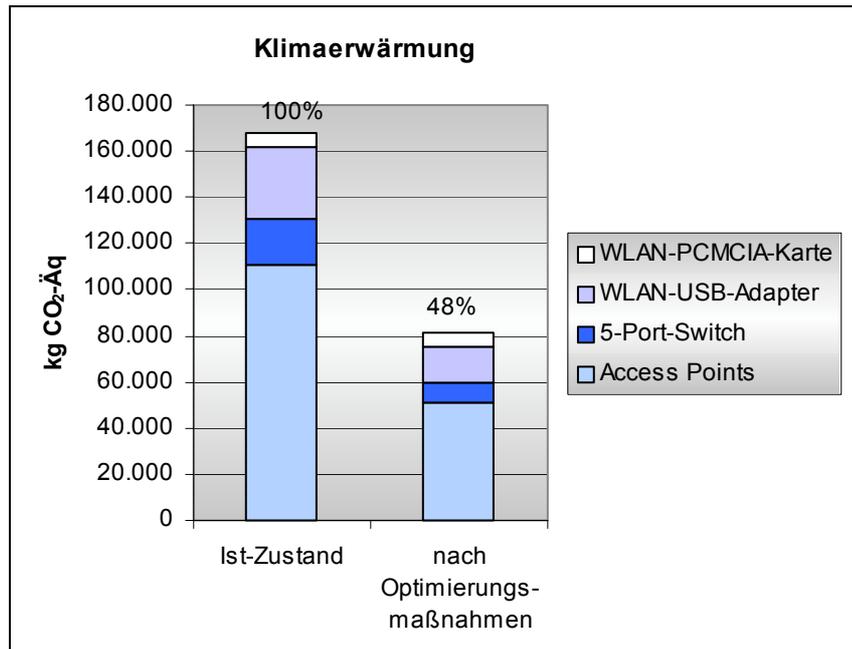


Abbildung 42: Nutzung kabelloses Büro-Netzwerk: Reduktionspotenzial durch die gesamten Optimierungsmaßnahmen

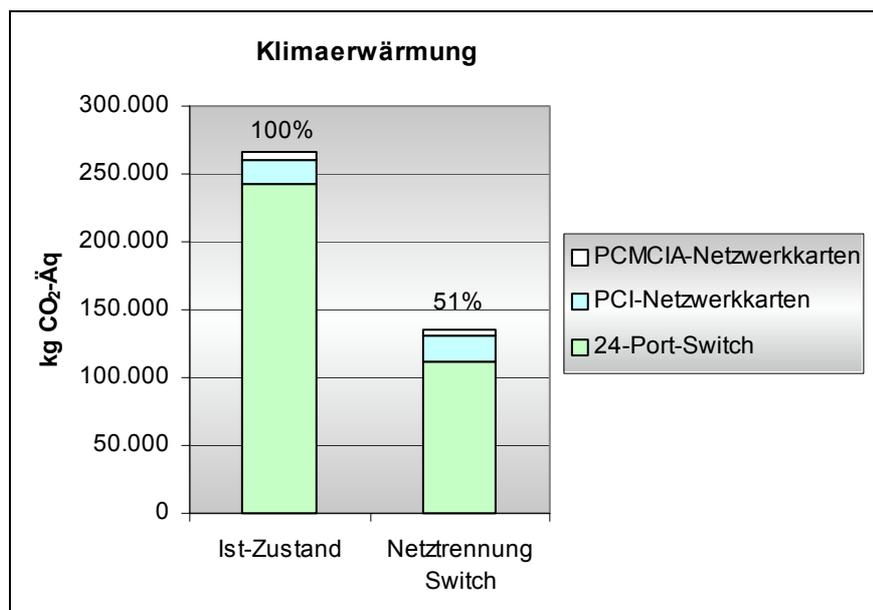
Tabelle 42 zeigt, dass die Summe dieser Optimierungsmaßnahmen ein Reduktionspotenzial von bis zu 47 % bezogen auf das Gesamtergebnis beinhaltet.

Tabelle 42: Kabelloses Büro-Netzwerk: Reduktionspotenzial der potenziellen Umweltbelastungen durch die gesamten Optimierungsmaßnahmen

		WLAN vorher	WLAN nachher	Reduktion
<b>Kumulierter Energieaufwand</b>	MJ	3,0E+06	1,6E+06	47%
<b>Klimaerwärmung</b>	kg CO <sub>2</sub> -Äq	1,8E+05	9,8E+04	47%
<b>Versauerungspotenzial</b>	kg SO <sub>2</sub> -Äq	4,0E+02	2,5E+02	38%
<b>Photooxidantienpotenzial</b>	kg Eth-Äq	7,3E+00	5,0E+00	31%
<b>Elektronikschrottaufkommen</b>	kg	8,1E+02	8,1E+02	0%

### Netztrennung des 24-Port-Switches bei Nichtnutzung - LAN

Für den Switch beim kabelgebundenen Büro-Netzwerk wurde Dauerbetrieb angenommen. Reduziert man die Betriebszeit wie beim kabellosen Netzwerk von 8760 h auf 4032 h, so lassen sich 49 % der potenziellen Umweltbelastungen der Nutzung vermeiden (vgl. Abbildung 43).



**Abbildung 43: Nutzung kabelgebundenes Büro-Netzwerk: Reduktionspotenzial durch die Netztrennung des Switches bei Nichtnutzung**

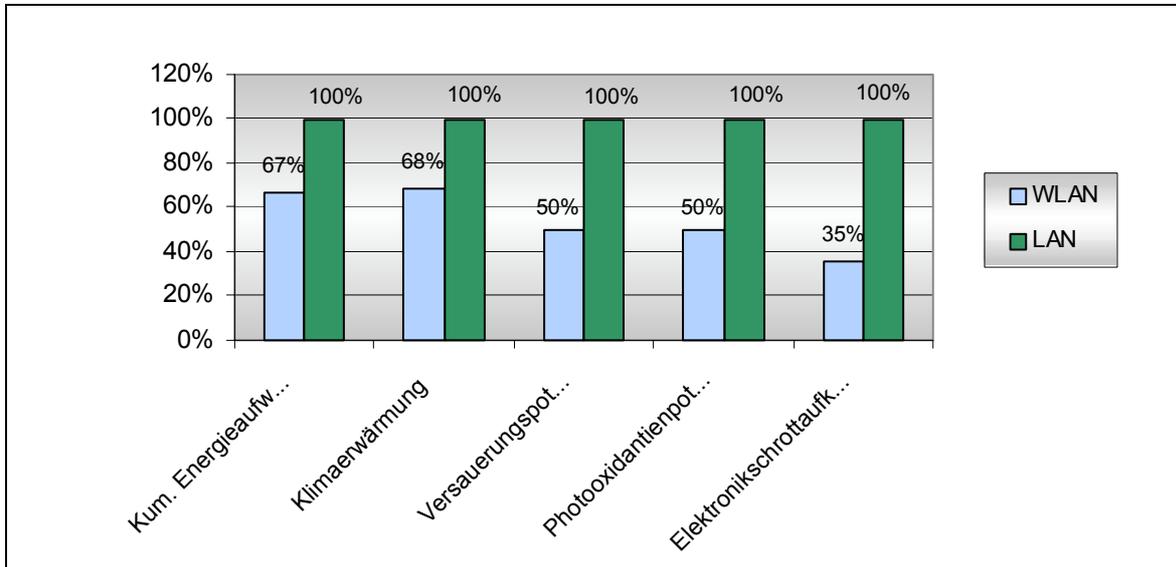
Durch die Netztrennung des Switches ergibt sich für das Gesamtergebnis des kabelgebundenen Büro-Netzwerks ein Reduktionspotenzial von bis zu 44 % (vgl. Tabelle 43).

**Tabelle 43: Kabelgebundenes Büro-Netzwerk: Reduktionspotenzial der potenziellen Umweltbelastungen durch Netztrennung des Switches**

		LAN vorher	LAN nachher	Reduktion
<b>Kumulierter Energieaufwand</b>	MJ	4,9E+06	2,8E+06	43%
<b>Klimaerwärmung</b>	kg CO <sub>2</sub> -Äq	3,0E+05	1,7E+05	44%
<b>Versauerungspotenzial</b>	kg SO <sub>2</sub> -Äq	7,8E+02	5,5E+02	29%
<b>Photooxidantienpotenzial</b>	kg Eth-Äq	1,4E+01	1,1E+01	24%
<b>Elektronikschrottaufkommen</b>	kg	2,3E+03	2,3E+03	0%

### Vergleich der optimierten Büro-Netzwerke

Stellt man die Gesamtergebnisse der durch Netztrennung von Switches und Access Points optimierten Systeme gegenüber, zeigt sich in Abbildung 44 im Vergleich zum Dauerbetrieb (vgl. Abbildung 28) ein nur wenig verändertes Bild. Die Differenz zwischen beiden Systemen hat sich um wenige Prozent verringert.



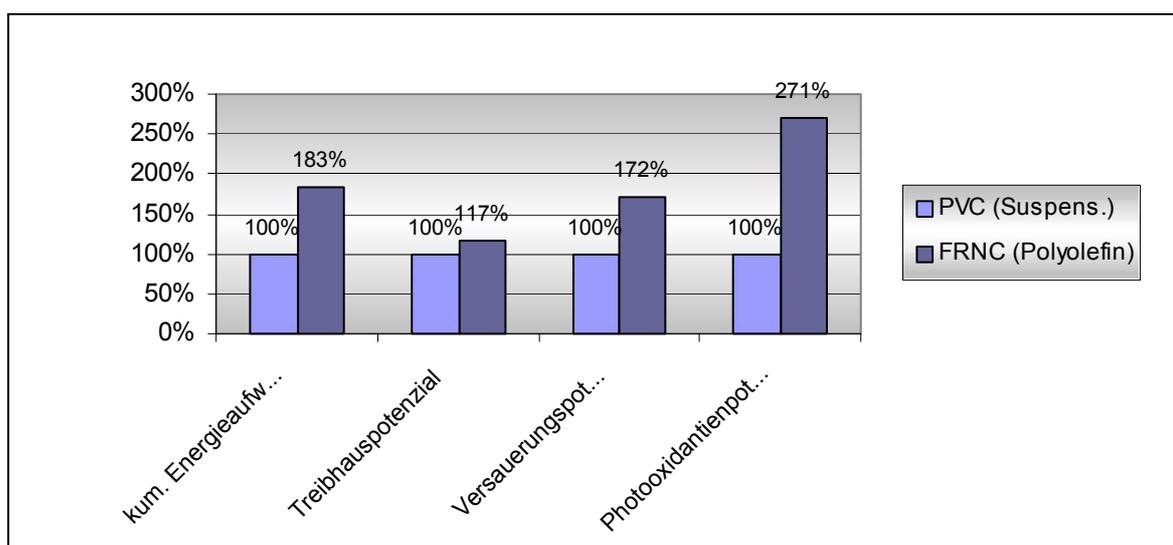
**Abbildung 44: Büro-Netzwerk: Potenzielle Umweltbelastungen der kabellosen bezogen auf die kabelgebundene Variante bei Netztrennung von Switches und APs**

### Mantelmaterialien

Kabelummantelungen aus PVC stehen oft in der Kritik, da sie Weichmacher, Schwermetalle als Stabilisatoren sowie Chlor enthalten und beim Brand korrosive Gase sowie Dioxine und Furane freisetzen. [ORTNER, HENSLER 1995]

Deshalb wird für PVC an dieser Stelle alternativ FRNC (Flame Retardant Non Corrossive) als Mantelmaterial eingesetzt. Bei FRNC handelt es sich um ein Polyolefin, welches aus Ethylen- oder/und Propylenmonomeren besteht [LANLINE 2003, BASELL 2003].

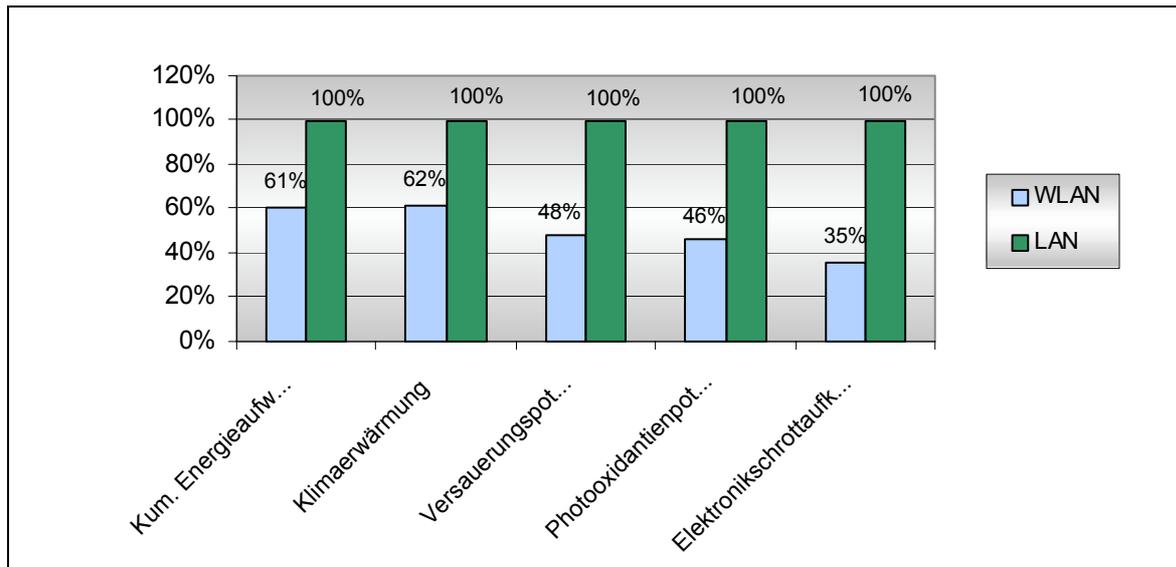
Trotz der o.g. Eigenschaften schneidet PVC bei der Bilanzierung im Vergleich zu Polyolefin positiv ab (vgl. Abbildung 45).



**Abbildung 45: Potenzielle Umweltbelastungen des Mantelmaterials FRNC bezogen auf PVC**

Zu diesem Ergebnis muss gesagt werden, dass in der Bilanz nur die Herstellung der reinen Kunststoffe bilanziert wurde, da zu den Zusatzstoffen wie Weichmacher und Stabilisatoren keine Ökobilanzdaten zur Verfügung standen. Für PVC handelt es sich bei den Zusatzstoffen um Weichmacher wie Phthalate und bleihaltige Stabilisatoren [AGPU 2000], die umweltkritisch zu beurteilen sind. Polyolefin enthält diese Stoffe nicht, jedoch Flammenschutzmittel wie Aluminiumhydroxid oder Magnesiumhydroxid [GREENPEACE 2000], die jedoch im Vergleich dazu weniger umweltkritisch sind. Die Bilanz für PVC würde beim Einbezug der Zusatzstoffe wahrscheinlich deutlich schlechter ausfallen. Auch die Entsorgung der Kabel wurde in dieser Bilanz nicht berücksichtigt. Doch ist anzumerken, dass aufgrund seines Chlorgehalts die Entsorgung von PVC umweltbelastender sein kann. Weiterhin ist anzumerken, dass PVC-Kabel im Falle eines Brandes korrosive Gase abspalten sowie hochgiftige Dioxine und Furane entstehen können [ORTNER, HENSLER 1995]. Dies wird ökobilanziell nicht berücksichtigt, ist aber trotzdem umweltrelevant und sollte deshalb zusätzlich bei der Auswahl der Kabel mit einbezogen werden.

Auf das Gesamtergebnis der potenziellen Umweltbelastungen des Büro-Netzwerks wirkt sich der Einsatz von FRNC als Mantelmaterial nur minimal aus. Nur in den Wirkungskategorien Versauerungspotenzial und Photooxidantienpotenzial hat sich die Differenz zwischen kabellosem und kabelgebundenem Netzwerk um 3 bzw. 5 % vergrößert (vgl. Abbildung 28 und Abbildung 46).



**Abbildung 46: Büro-Netzwerk: Potenzielle Umweltbelastungen der kabellosen bezogen auf die kabelgebundene Variante mit PVC-freien Kabeln**

### 3.4.4 Strom aus regenerativen Energiequellen

Da die Nutzung der Systeme und damit der Energieverbrauch einen wesentlichen Anteil an den gesamten potenziellen Umweltbelastungen ausmacht, soll im Folgenden am Beispiel des SOHO-Netzwerks der Einsatz von Strom aus regenerativen Energiequellen („grüner Strom“) untersucht werden.

Dazu werden die Daten eines noch unveröffentlichten Ökobilanzmoduls des Öko-Instituts verwendet, der sich an den Kriterien des Gütesiegels ok power für Ökostrom orientiert. Die Kriterien für dieses Gütesiegel zielen darauf ab, dass neben der reinen Belieferung der Kunden mit Strom aus erneuerbaren Energiequellen, auch eine Ausweitung der Stromerzeugung aus regenerativen Energien erreicht wird, d.h. neue Anlagen gebaut werden (zu den Kriterien siehe EnergieVision 2003). Bestehende Anlagen (z.B. Wasserkraftwerke von 1900) sind im aktuellen Strommix in Deutschland schon enthalten, so dass eine Ausgliederung der Stromerzeugung dieser Anlagen in einem eigenen Ökostromprodukt allenfalls zu einer Entmischung des bestehenden Angebots eines Anbieters, nicht aber zu einer realen Reduktion von Umweltbelastungen führt. Dies ist auch der Grund, weshalb in dem verwendeten Ökobilanzmodul Altanlagen - dies sind per definitionem Anlagen, die nicht älter als sechs Jahre sind - durch die Umweltbelastungen des aktuellen Strommix in Deutschland abgebildet werden. Der der Berechnung zugrunde gelegte Mix an Anlagen setzt sich zusammen aus 25 % Altanlagen (resp. aktueller Strommix Deutschland), 40 % großen Wasserkraftwerken sowie 35 % Blockheizkraftwerken mit Kraft-Wärme-Kopplung (Erdgas); bei den beiden letztgenannten handelt es sich jeweils um Neuanlagen. Für die im Blockheizkraftwerk neben dem Strom produzierte Wärme wird eine Gutschrift (Basis: Gasheizung) erteilt.

Wie sich der Einsatz dieses „grünen Stroms“ auf die kabellose und kabelgebundene Variante des SOHO-Netzwerks auswirkt, zeigt Abbildung 47. Vor allem in den Wirkungskategorien Versauerungspotenzial und Photoxidantienpotenzial hat sich die Differenz zugunsten der kabellosen Variante vergrößert (vgl. Abbildung 21).

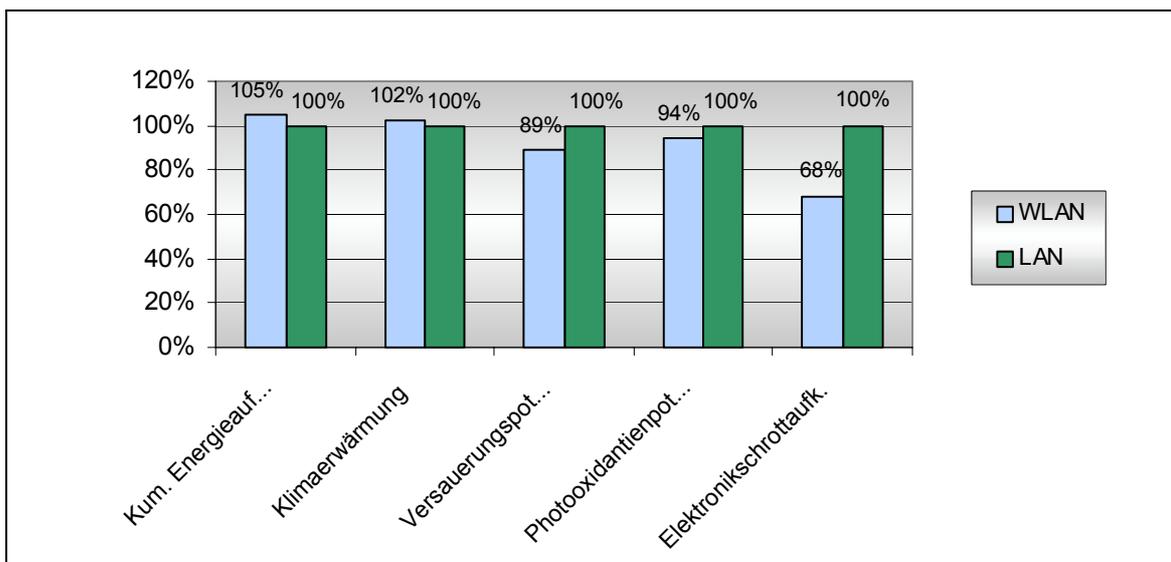


Abbildung 47: SOHO-Netzwerk: Potenzielle Umweltbelastungen der kabellosen bezogen auf die kabelgebundene Variante bei Nutzung von regenerativem Strom

Schlüsselt man die Ergebnisse der Wirkungskategorien nach Herstellung und Nutzung auf, zeigt sich eine bedeutende Verringerung der potenziellen Umweltbelastungen bei der Nutzung im Vergleich zur Ausgangssituation (vgl. Abbildung 48). Anhand dieser Darstellung kann auch die Reduktion in der Wirkungskategorie Versauerungspotenzial erklärt werden. Da sich die potenziellen Umweltbelastungen durch die Nutzung so stark reduziert haben, wächst der Anteil der Herstellung am Gesamtergebnis, welches für die kabelgebundene Variante deutlich höher ist.

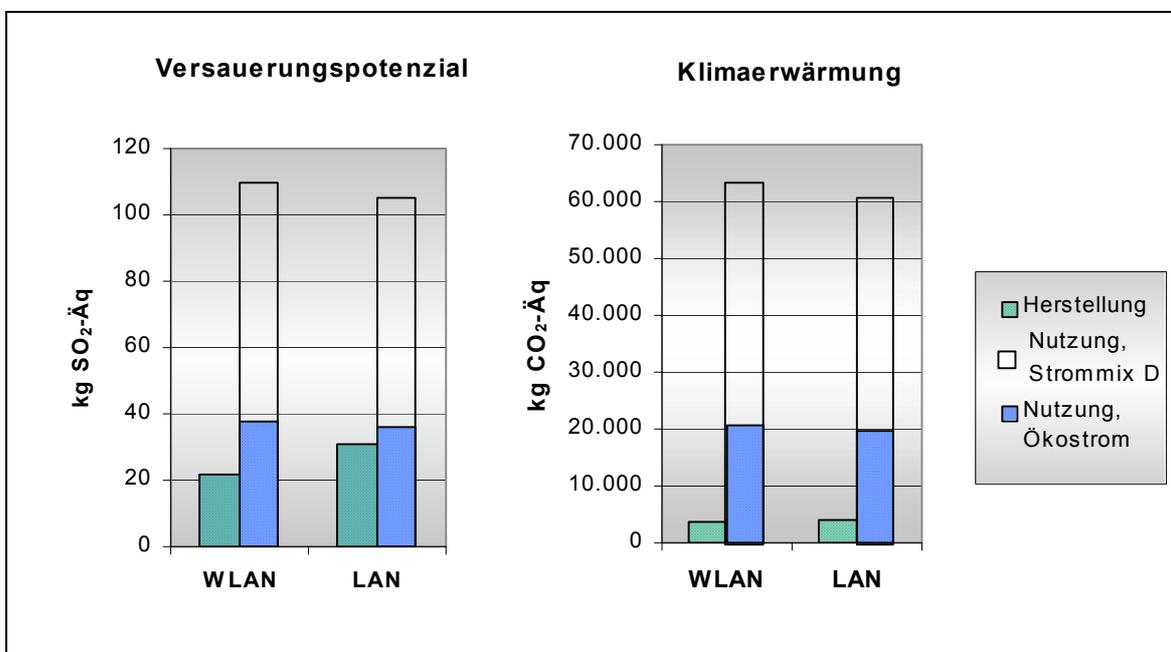


Abbildung 48: SOHO-Netzwerk: Ergebnisse der Wirkungskategorien differenziert in Herstellung und Nutzung für die kabellose und kabelgebundene Variante bei Nutzung von regenerativem Strom

### 3.5 Sensitivitätsanalysen

In den folgenden Sensitivitätsanalysen wird der Einfluss der angenommenen Nutzungszeiten auf das Ergebnis des Peer-to-Peer- und des SOHO-Netzwerkd untersucht. Weiterhin wird für das Peer-to-Peer-Netzwerk die Verbindung eines Desktop-PCs mit einem Notebook betrachtet.

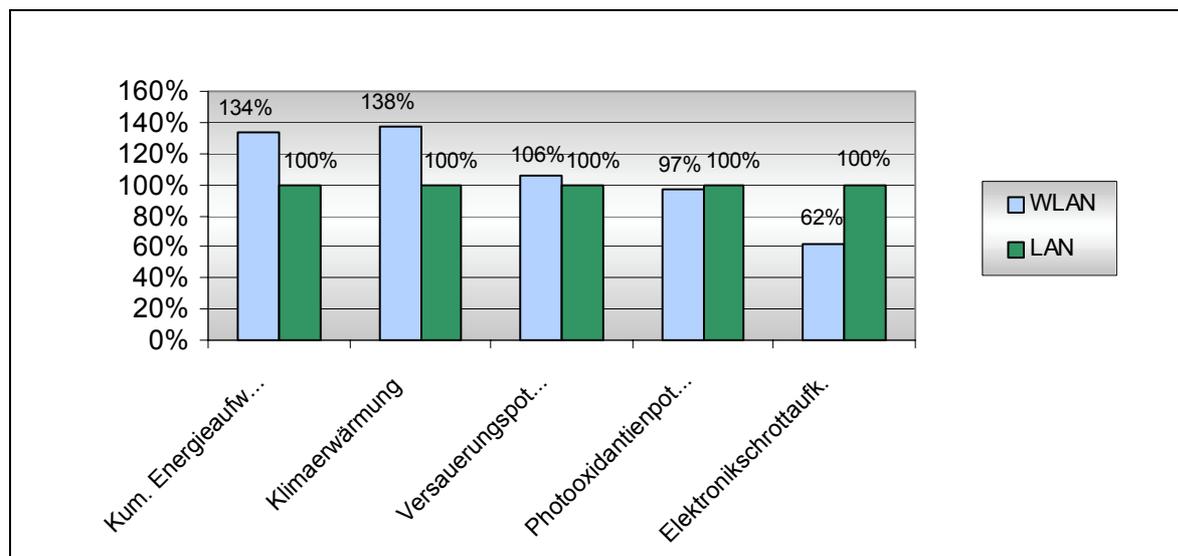
#### Peer-to-Peer-Netzwerk: Nutzungszeiten Büro

Im Ausgangsbeispiel wurden für das Peer-to-Peer-Netzwerk die Nutzungszeiten eines Haushalts angenommen. In der folgenden Sensitivitätsanalyse werden nun die Zeiten eines Büros von 1870 h im Betriebs- und 330 h im Bereitschaftsmodus zu Grunde gelegt [vgl. CREMER ET AL. 2003]. Tabelle 44 zeigt den daraus resultierenden Energieverbrauch.

**Tabelle 44:** Jährlicher Energieverbrauch des Peer-to-Peer-Netzwerks (Büro)

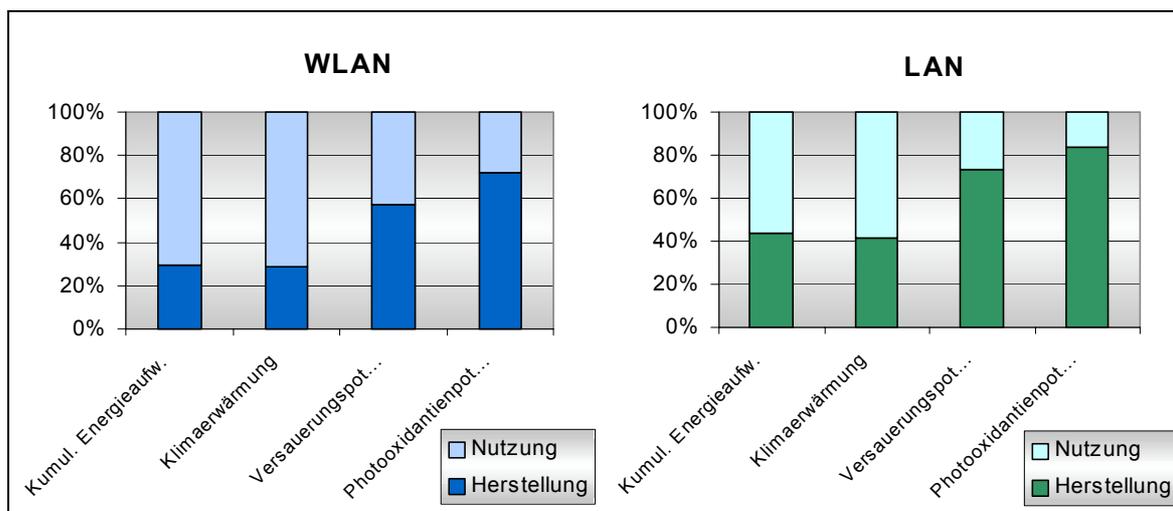
LAN (Fast Ethernet)			WLAN (IEEE 802.11b)		
Anzahl	Komponente	Energieverbrauch [kWh/a]	Anzahl	Komponente	Energieverbrauch [kWh/a]
2	PCI-Netzwerkkarten	3,4	2	WLAN-USB-Adapter	5,6

Abbildung 49 zeigt das Ergebnis dieser Sensitivitätsanalyse. Das kabellose Netzwerk schneidet nun in den Wirkungskategorien kumulierter Energieaufwand und Klimaerwärmung signifikant schlechter ab als das kabelgebundene Netzwerk. Zwischen dem Versauerungspotenzial und dem Photooxidantienpotenzial ist kein signifikanter Unterschied auszumachen, während das Elektronikschrottaufkommen signifikant besser abschneidet als bei der kabelgebundenen Variante. Bei einer gleichrangigen Bewertung aller Wirkungskategorien verursacht somit das kabellose Netzwerk in der Summe höhere Umweltbelastungen als das kabelgebundene Netzwerk. Bei dieser Netzwerkart erweist sich somit eine Änderung der Nutzungsdauer als ergebnisrelevant.



**Abbildung 49:** Peer-to-Peer-Netzwerk: Potenzielle Umweltbelastungen der kabellosen bezogen auf die kabelgebundene Variante bei Nutzungszeiten für Büros

Wie in Abbildung 50 zu sehen, ist der Anteil der Nutzung in den Wirkungskategorien kumulierter Energieaufwand und Klimaerwärmung auf über 50 % gestiegen.



**Abbildung 50: Peer-to-Peer-Netzwerk: Anteile von Herstellung und Nutzung an den gesamten potenziellen Umweltbelastungen (Büro)**

#### Peer-to-Peer-Netzwerk: Verbindung von Desktop-PC und Notebook - Haushalt

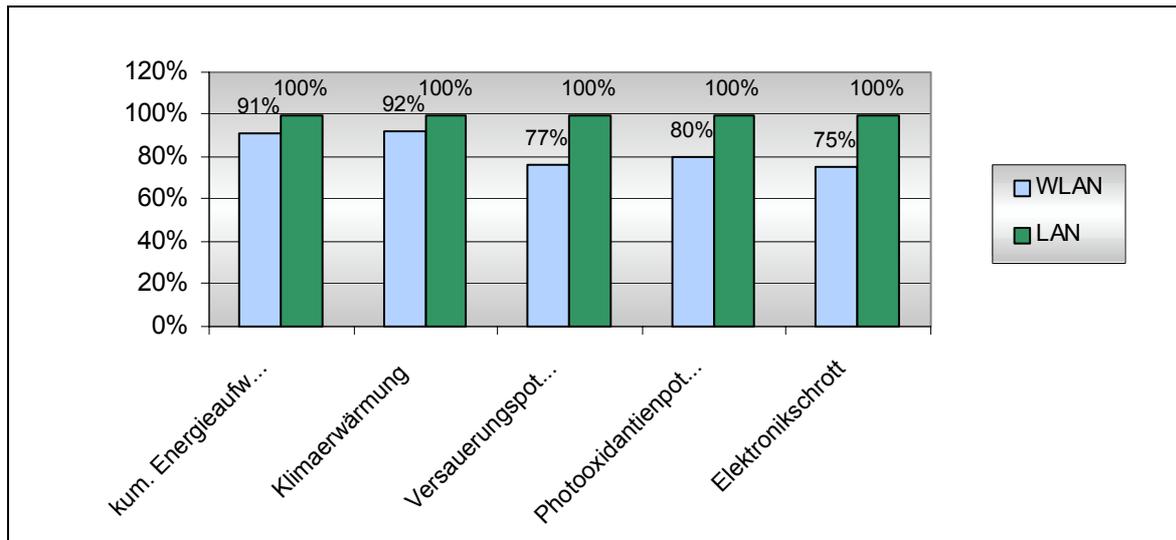
Beim Peer-to-Peer-Netzwerk wurde in der Ausgangssituation angenommen, dass zwei Desktop-PCs verbunden werden. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, einen Desktop-PC mit einem Notebook zu verbinden. Im untersuchten System wurde deshalb eine PCI-Netzwerkkarte gegen eine PCMCIA-Netzwerkkarte bzw. ein WLAN-USB-Adapter gegen eine WLAN-PCMCIA-Karte ausgetauscht. Die Kabellänge von 5 m beim kabelgebundenen Netzwerk wurde beibehalten. Für die Nutzungsdauer wurden wieder die Werte von Haushalten angenommen, wobei sich jedoch der Energieverbrauch der Systeme ändert, da bei Desktop-PCs und Notebooks nicht von denselben Nutzungszeiten ausgegangen wird (vgl. Tabelle 45).

**Tabelle 45: Jährlicher Energieverbrauch des Peer-to-Peer-Netzwerks bei Verbindung von Desktop-PC und Notebook (Haushalt)**

LAN (Fast Ethernet)			WLAN (IEEE 802.11b)		
Anzahl	Komponente	Energieverbrauch [kWh/a]	Anzahl	Komponente	Energieverbrauch [kWh/a]
1	PCI-Netzwerkkarten	0,4	1	WLAN-USB-Adapter	0,6
1	PCMCIA-Netzwerkkarte	0,6	1	WLAN-PCMCIA-Karte	0,6
		1,1 <sup>8</sup>			1,2

In diesem Fall verursacht die kabellose Variante in allen fünf Wirkungskategorien geringere Umweltbelastungen, allerdings zeigen nur Versauerungspotenzial, Photooxidantienpotenzial und Elektronikschrottaufkommen signifikante Unterschiede (vgl. Abbildung 51).

<sup>8</sup> Abweichungen rundungsbedingt



**Abbildung 51: Peer-to-Peer-Netzwerk: Potenzielle Umweltbelastungen der kabellosen bezogen auf die kabelgebundene Variante bei Verbindung von Desktop-PC und Notebook (Haushalt)**

*Peer-to-Peer-Netzwerk: Verbindung von Desktop-PC und Notebook – Büro*

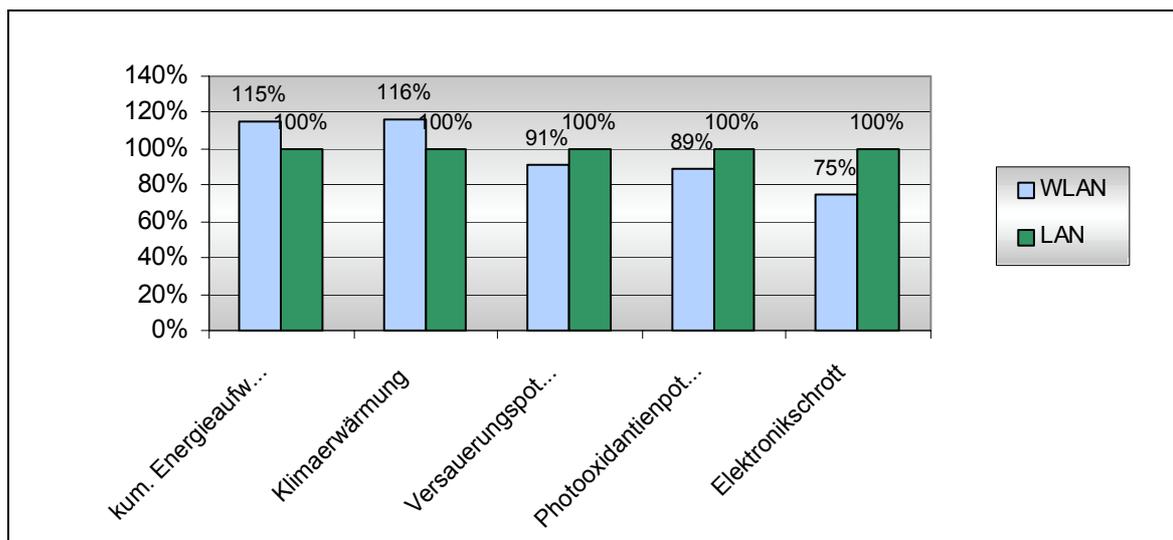
Auch für das Peer-to-Peer-Netzwerk zwischen einem Desktop-PC und einem Notebook werden nun die Nutzungszeiten eines Büros angenommen (vgl. Tabelle 21), so dass sich die nachfolgenden Energieverbräuche ergeben:

**Tabelle 46: Jährlicher Energieverbrauch des Peer-to-Peer-Netzwerks bei Verbindung von Desktop-PC und Notebook (Büro)**

LAN (Fast Ethernet)			WLAN (IEEE 802.11b)		
Anzahl	Komponente	Energieverbrauch [kWh/a]	Anzahl	Komponente	Energieverbrauch [kWh/a]
1	PCI-Netzwerkkarten	1,7	1	WLAN-USB-Adapter	3,0
1	PCMCIA-Netzwerkkarte	2,0	1	WLAN-PCMCIA-Karte	2,1
		3,6 <sup>9</sup>			5,0 <sup>9</sup>

Im Ergebnis zeigt diese Sensitivitätsanalyse, dass bei der Annahme von Büronutzungszeiten der Umweltvorteil, der zuvor bei der Verbindung eines Desktop-PCs und eines Notebooks ermittelt wurde, wieder kompensiert wird (vg. Abbildung 52). Bei diesem Anwendungsbeispiel ist also die Nutzungsdauer ausschlaggebend für das Ergebnis.

<sup>9</sup> Abweichungen sind rundungsbedingt



**Abbildung 52: Peer-to-Peer-Netzwerk: Potenzielle Umweltbelastungen der kabellosen bezogen auf die kabelgebundene Variante bei Verbindung von Desktop-PC und Notebook (Büro)**

#### SOHO-Netzwerk: Nutzungszeiten Büro

Beim SOHO-Netzwerk wurden in der Ausgangssituation die Nutzungszeiten eines Haushaltes zu Grunde gelegt. In dieser Sensitivitätsanalyse werden nun die Zeiten eines Büros angenommen. Für das Kombigerät werden dabei 12 Stunden pro Tag, fünf Tage die Woche und 52 Wochen pro Jahr zu Grunde gelegt. Die Nutzungsdauern der Clients entsprechen denen nach CREMER ET AL. (2003) (vgl. Tabelle 47). Der durch diese Annahmen berechnete Jahresenergieverbrauch kann Tabelle 48 entnommen werden.

**Tabelle 47: Nutzungsdauer der Komponenten des SOHO-Netzwerks (Büro)**

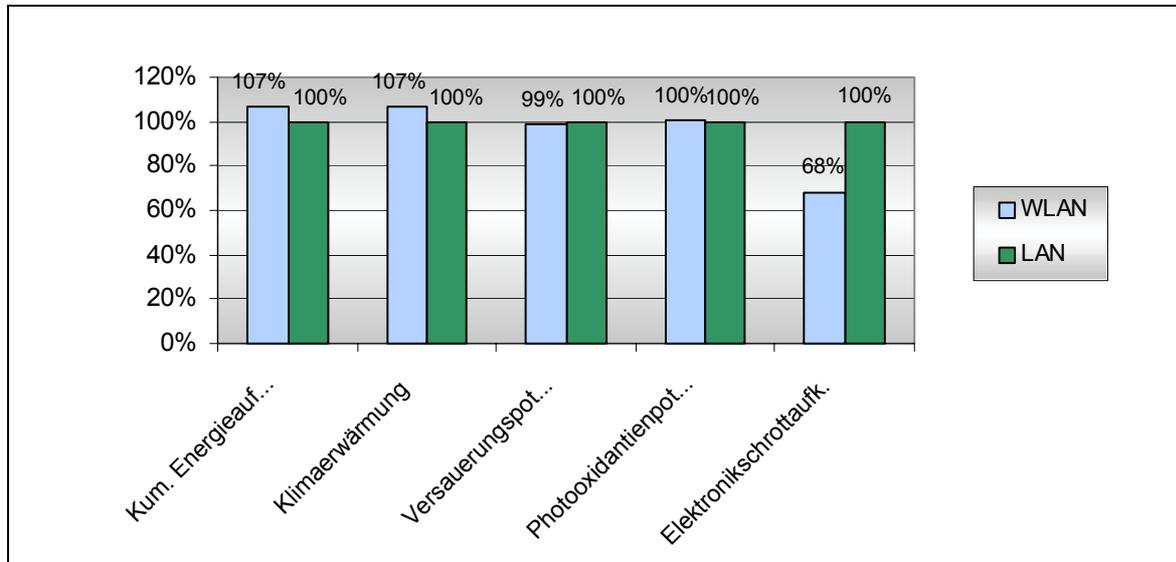
Komponente	Betrieb [h/a]	Bereitschaft [h/a]
Kombigerät (Router)	3120	5640
PCI-Netzwerkkarte/USB-Adapter	1870	330
PCMCIA-Karte	1430	770

**Tabelle 48: Jährlicher Energieverbrauch des SOHO-Netzwerks (Büro)**

LAN (Fast Ethernet)			WLAN (IEEE 802.11b)		
Anzahl	Komponente	Energieverbrauch [kWh/a]	Anzahl	Komponente	Energieverbrauch [kWh/a]
1	LAN-Kombigerät	85,4	1	WLAN-Kombigerät	89,9
2	PCI-Netzwerkkarten	3,4	2	WLAN-USB Adapter	5,6
1	PCMCIA-Netzwerkkarte	2,0	1	WLAN-PCMCIA-Karte	2,0
	<b>Summe</b>	<b>90,7</b>		<b>Summe</b>	<b>97,6</b>

Das Ergebnis dieser Annahmen zeigt Abbildung 53. Im Vergleich zur Ausgangssituation (vgl. Abbildung 21) hat sich die kabellose Variante leicht verschlechtert, jedoch ist das Gesamtergebnis gleich geblieben. Daraus ist zu schließen, dass in diesem Fall die Änderung der Nutzungszeiten nicht ergebnisrelevant ist. Grund dafür ist einerseits der relativ geringe Verbrauch der Netzwerkadapter bezogen auf die Kombigeräte, so dass eine Än-

derung dieser Werte wenig Einfluss auf das Ergebnis hat und andererseits der relativ geringe Unterschied der Energieverbräuche der Kombigeräte. Es ist anzunehmen, dass die Differenz zwischen diesen Geräten größer würde, wenn auch für den Betriebsmodus gemessene Daten vorlägen. Da das kabelgebundene Kombigerät bereits im Bereitschaftsmodus weniger Energie verbraucht, ist es naheliegend, dass dies auch im Betriebsmodus so ist. Dies würde bedeuten, dass das kabellose Netzwerk noch etwas schlechter abschneiden würde, schätzungsweise jedoch nicht signifikant schlechter.



**Abbildung 53: SOHO-Netzwerk: Potenzielle Umweltbelastungen der kabellosen bezogen auf die kabelgebundene Variante bei Nutzungszeiten für Büros**

### 3.6 Einschränkung der Ergebnisse

Auf weitere Sensitivitätsanalysen muss im Rahmen dieser Arbeit verzichtet werden, da zusätzliches Datenmaterial gesammelt werden müsste. Darum folgen an dieser Stelle qualitative Überlegungen zur Ergebnisrelevanz bestimmter Annahmen.

Im Laufe dieser Untersuchung wurde festgestellt, dass in den Geräten und Netzwerkadaptern sehr viele verschiedene Bauformen von Mikrochips enthalten sind, die sich vermutlich hinsichtlich ihrer Komplexität und somit ihrer Umweltbelastungen stark unterscheiden. Da diese jedoch entsprechend ihrer Größe mit Daten eines Standardchips bilanziert wurden, sind hier Datenunsicherheiten aufgetreten, denn bei dieser Vorgehensweise bleibt die unterschiedliche Komplexität der Mikrochips unberücksichtigt. Doch da für alle Geräte gleich vorgegangen wurde, wird davon ausgegangen, dass sich eventuelle Fehler herausmitteln [vgl. GENSCHE, QUACK 2000].

Bezüglich der Mikrochips ist weiterhin anzumerken, dass für die PCMCIA-Netzwerkkarte keine Daten zur Anzahl und Größe der Mikrochips ermittelt werden konnten, so dass hier mit denselben Daten wie bei der PCI-Netzwerkkarte gerechnet wurde. Tendenziell sind jedoch die Mikrochips von PCMCIA-Karten kleiner als die auf PCI-Karten, so dass durch die PCMCIA-Netzwerkkarte eher geringere potenzielle Umweltbelastungen zu erwarten sind.

Zur Aufwandsbegrenzung und da hier die größten potenziellen Umweltbelastungen vermutet wurden, wurden die Geräte und Netzwerkadapter anhand der Mikrochips und Leiterplatten charakterisiert. Weitere elektronische Bauteile wie Widerstände, Kondensatoren oder Dioden sowie das Lot, aber auch die Gehäuse wurden vernachlässigt. Da jedoch der wesentliche Unterschied zwischen den Geräten bzw. Netzwerkadaptern durch ihre Mikrochipanzahl und Leiterplattengröße bestimmt wird, bleibt die Aussagekraft bezüglich der Ergebnisse für die Herstellung erhalten.

Durch die relativ umfangreichen Vereinfachungen, die für die Bilanzierung der Lebenswegphase Herstellung angewendet wurden, ist diese im Vergleich zur Nutzung unterrepräsentiert. Die Nutzung ist durch die Daten zu den Nutzungszeiten und zum Energieverbrauch der Geräte relativ genau abgebildet. Dieser Umstand muss bei einer Gegenüberstellung der beiden Lebenswegabschnitte berücksichtigt werden.

Eine Asymmetrie könnte sich durch die unterschiedliche Datengenauigkeit der Geräte im Vergleich zu den Kabeln, Kabelkanälen und Anschlussdosen ergeben haben. Durch das Vorgehen für die Geräte nur die Leiterplatten und Mikrochips zu bilanzieren, ist ein wesentlich höherer Prozentsatz abgeschnitten worden als bei den Kabeln. Andererseits wurde bei den Kabeln nur eine werkstoffliche Betrachtung durchgeführt, wobei für Leiterplatten und Mikrochips auch die Verarbeitungsprozesse berücksichtigt wurden. Wie man jedoch beim Peer-to-Peer- und beim SOHO-Netzwerk deutlich sehen kann, haben die Kabel im Vergleich zu den Leiterplatten und Mikrochips trotz der detaillierteren Bilanzierung nur einen relativ geringen Anteil an den gesamten Umweltbelastungen. Sie sind für diese Anwendungsbeispiele nicht ergebnisrelevant. Beim Büro-Netzwerk haben die Kabel, Kabelkanäle und Anschlussdosen zwar einen höheren Anteil, sind jedoch auch hier nicht

ausschlaggebend für das Gesamtergebnis. Aus diesem Grund sind auch generell die Annahmen zu den Kabellängen nicht ergebnisrelevant.

Für das kabelgebundene SOHO-Netzwerk wurde weiterhin angenommen, dass die Verkabelung nur mit FTP-Kabeln erfolgt. Prinzipiell ist es jedoch auch bei dieser Netzwerkart möglich, Kabelkanäle, Anschlussdosen und geschirmte Kabel zu verwenden. Dies ist vor allem bei der Anwendung in kleinen Büros zu erwarten. Auf das Ergebnis des kabelgebundenen SOHO-Netzwerkes würde sich dieses Vorgehen negativ auswirken. Allerdings ist nicht mit einer signifikanten Verschlechterung auszugehen, da die wesentlichen Umweltbelastungen durch die Nutzung des Systems entstehen. Beim kabelgebundenen Büro-Netzwerk wurde bei der festen Verkabelung von geschirmten Kabeln ausgegangen. Würde man hier ungeschirmte bzw. foliengeschirmte Kabel einsetzen, würden sich die potenziellen Umweltbelastungen reduzieren lassen, ebenso bei einer Reduzierung der Kabelkanallängen.

Beim Vergleich der SOHO-Netzwerke ist zu berücksichtigen, dass das kabellose Kombigerät über den Zusatznutzen eines 3-Port-Switches verfügt, der jedoch im untersuchten Anwendungsfall nicht genutzt wird. Aufgrund mangelnder Daten wurde das kabelgebundene System nicht um einen separaten 3-Port-Switch erweitert. Bei Einbezug eines 3-Port-Switches wäre der Unterschied der potenziellen Umweltbelastungen zwischen den beiden Systemen größer ausgefallen, vermutlich aber nicht signifikant größer.

Die angenommene Lebensdauer der Netzwerkkomponenten hat Einfluss auf die potenziellen Umweltbelastungen bei der Herstellung. Diese sinken, wenn eine höhere Lebensdauer vorausgesetzt wird. Beim Peer-to-Peer- und SOHO-Netzwerk wurde die Lebensdauer der kabellosen und kabelgebundenen Komponenten symmetrisch gewählt, d.h. beispielsweise fünf Jahre für beide Kombigeräte. Es ist jedoch denkbar, dass das kabellose SOHO-Netzwerk eine kürzere Lebensdauer hat, da es aufgrund der dynamischen Produktentwicklung in diesem Bereich schneller veraltet. Dies würde sich negativ auf die potenziellen Umweltbelastungen bei der Herstellung auswirken, doch auf das Gesamtergebnis hätte diese Veränderung keinen Einfluss, da dieses von der Nutzung dominiert wird.

Da der wesentliche Anteil der gesamten potenziellen Umweltbelastungen durch die Nutzung der Systeme verursacht wird, werden im Folgenden die Annahmen zum Energieverbrauch diskutiert. Hier ist insbesondere die Belastbarkeit der Durchschnittswerte der Geräteleistung (vgl. Tabelle 20) zu überprüfen. Beim Büro-Netzwerk trägt der 24-Port-Switch entscheidend zum Gesamtergebnis bei. Würde man hierfür die Hälfte des Energieverbrauchs annehmen, was nicht unrealistisch ist, wäre der Unterschied zwischen beiden Systemen nicht mehr signifikant. Andererseits kann auch der Energieverbrauch des Access Points durchaus um die Hälfte geringer sein. Nimmt man für beide Systeme diese Verringerungen des Energieverbrauchs an, bleibt es tendenziell beim Vorteil für das kabellose Netzwerk. Wenig Datenmaterial lag zum Energieverbrauch der Netzwerkadapter im Bereitschaftsmodus vor. Da deren Beitrag jedoch nicht ergebnisrelevant ist, kann diese Unsicherheit vernachlässigt werden.

Beim Elektronikschrottaufkommen wurden neben den Geräten und Netzwerkadaptern auch die Kabel dem Elektronikschrott zugerechnet. Man kann Kabel jedoch auch als gesonderte Abfallfraktion betrachten, was sich auf das Elektronikschrottaufkommen reduzierend auswirken würde. Die Kabel miteinbezogen, wiesen alle Ergebnisse einen signifikan-

ten Unterschied zugunsten der kabellosen Varianten auf. Lässt man die Kabel außen vor, bleiben die Ergebnisse für das Peer-to-Peer-Netzwerk weiterhin signifikant. Beim SOHO-Netzwerk ändert sich das Ergebnis zuungunsten der kabellosen Variante, jedoch ist der Unterschied nicht signifikant.

## 4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Ziel dieser Arbeit war es, die signifikanten potenziellen Umweltbelastungen von kabellosen im Vergleich zu kabelgebundenen lokalen Netzwerken zu ermitteln. Wie die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, sind diese nur beim kabellosen Büro-Netzwerk eindeutig geringer, so dass sich hier Umweltentlastungspotenziale identifizieren lassen.

Innerhalb der Lebenszyklusphasen sind tendenziell die potenziellen Umweltbelastungen durch die Nutzung der Systeme bedeutsam, so dass sich Handlungsempfehlungen auf diesen Bereich fokussieren.

### 4.1 Peer-to-Peer-Netzwerk

Für das Peer-to-Peer-Netzwerk zwischen zwei Desktop-Computern hängt das Ergebnis von den angenommenen Nutzungszeiten ab. Für die Nutzungszeiten eines Haushalts lassen sich keine Umweltvorteile für die kabellose oder kabelgebundene Variante ableiten. Bei der Annahme von Büronutzungszeiten weist das kabellose Netzwerk im Vergleich zum kabelgebundenen insgesamt leicht höhere potenzielle Umweltbelastungen auf.

Bei einer Verbindung zwischen einem Desktop-PC und einem Notebook zeigt die kabellose Variante Umweltvorteile gegenüber der kabelgebundenen sofern man die Nutzungszeiten von Haushalten annimmt. Bei der Annahme von Büronutzungszeiten ist dieser Vorteil nicht mehr auszumachen.

Insgesamt können also keine eindeutigen Umweltvorteile für ein kabelloses Peer-to-Peer-Netzwerk ermittelt werden. Ein Umweltvorteil ließe sich erzielen, würde der Energiebedarf der kabellosen Netzwerkadapter um mindestens 50 % reduziert werden.

### 4.2 SOHO-Netzwerk

Beim SOHO-Netzwerk unterscheidet sich das Ergebnis nicht signifikant, so dass auch hier für ein Funknetzwerk keine Vorteile in Bezug auf die potenziellen Umweltbelastungen gegeben sind. Auch durch die untersuchten Optimierungsansätze lassen sich für die kabellose Variante keine Umweltentlastungspotenziale identifizieren, da die vorgeschlagenen Maßnahmen für kabelloses und kabelgebundenes Netzwerk zu Reduktionen in ähnlicher Größenordnung führen.

In diesem Anwendungsbeispiel wird die größte Umweltbelastung durch die Nutzung verursacht. Dies gilt für die kabellose wie für die kabelgebundene Variante, denn in beiden Fällen führt der Energieverbrauch des Kombigeräts zu den größten potenziellen Umweltbelastungen.

Es können für beide Alternativen in Bezug auf die Nutzung dieselben Empfehlungen gegeben werden. So ist es ratsam, das Kombigerät abzuschalten, wenn es nicht genutzt wird. Dies ist beim kabelgebundenen Gerät durch einen Schalter direkt am Gerät möglich. Doch verfügt das WLAN-Kombigerät über keinen solchen Schalter. Prinzipiell ist es je-

doch besser, einen Schalter direkt am Netzteil anzubringen, da sonst trotz ausgeschaltetem Gerät Umwandlungsverluste innerhalb des Netzteils entstehen. Die Alternative wäre eine schaltbare Steckerleiste. Um den Energieverbrauch jedoch vom Nutzerverhalten entkoppeln zu können, sollte es möglich sein, dass sich die Geräte von selbst in einen Bereitschaftsmodus schalten, wenn innerhalb eines bestimmten Zeitraums kein Datenverkehr auftritt (Energiemanagement) [CREMER ET AL. 2003, S. 214].

Das Abschalten der WLAN-Kombigeräte bei Nichtnutzung ist auch sinnvoll, um die Belastung durch elektromagnetische Strahlung gering zu halten, da es sich bei diesen Geräten um Dauersender handelt.

### 4.3 Büro-Netzwerk

Anders als bei den vorangegangenen Anwendungsbeispielen verursacht die kabellose Alternative für das untersuchte Büro-Netzwerk signifikant geringere Umweltbelastungen. Dies ist auf den geringeren Energieverbrauch des Gesamtnetzwerks zurückzuführen und darauf dass die Kabel und Kabelkanäle einen relativ großen Anteil an den potenziellen Umweltbelastungen des kabelgebundenen Netzwerks ausmachen.

Auch hier können einige allgemeine Empfehlungen bezüglich der Nutzung gegeben werden. Diese decken sich etwa mit denen des SOHO-Netzwerks. So ist es ratsam, Geräte wie Access Point und Switch bei Nichtbenutzung auszuschalten und zwar an einem Schalter am oder hinter dem Netzteil, so dass eine vollständige Netztrennung erzielt wird.

Bei größeren Netzwerken ist es empfehlenswert, Access Points und Switches zu wählen, die über „Power over Ethernet“<sup>10</sup> verfügen, da man die Geräte dann an einer zentralen Stelle ausschalten kann. Dies ist wesentlich komfortabler als das Ausschalten jedes einzelnen Geräts.

Ein Switch sollte generell entsprechend des tatsächlichen Bedarfs an zu vernetzenden Clients gewählt werden, denn über je mehr Ports ein Switch verfügt, desto höher ist sein Stromverbrauch. Dies gilt für ein kabelloses wie auch für ein kabelgebundenes Netzwerk.

Beim kabelgebundenen Netzwerk sollte, wenn möglich, die Länge der Kabelkanäle reduziert werden, da diese bedeutend zu den potenziellen Umweltbelastungen beitragen. Ebenso ist es empfehlenswert überall dort, wo nicht unbedingt geschirmte Kabel notwendig sind, auf ungeschirmte bzw. foliengeschirmte Kabel auszuweichen. So kann der Kupferanteil reduziert werden, der anteilmäßig die größten potenziellen Umweltbelastungen bei den Kabeln ausmacht. Auch ist bei größeren Netzwerken aufgrund des unkritischeren Brandverhaltens und weniger umweltkritischen Zusatzstoffen der Einsatz von PVC-freien Kabeln in Erwägung zu ziehen.

---

<sup>10</sup> Power over Ethernet: Stromversorgung von LAN-Komponenten über das Twisted-Pair-Kabel (setzt entsprechende Geräteauslegung voraus)

## 4.4 Allgemeine Empfehlungen

Die vorangegangenen Untersuchungen haben gezeigt, dass je größer ein Netzwerk wird, desto mehr die Umweltbelastungen durch die Herstellung der Kabel ins Gewicht fallen. Jedoch werden in den meisten Fällen die größeren Umweltbelastungen durch die Nutzung der Systeme verursacht, so dass hier der Schwerpunkt des Optimierungspotenzials liegt.

Ein vom Nutzer bzw. Betreiber eines Netzwerks meistens beeinflussbarer Punkt ist die Wahl des Stromanbieters. Um hier Umweltentlastungspotenzial auszuschöpfen, ist die Stromerzeugung aus regenerativen Energiequellen zu empfehlen.

Um Notebooks mit WLAN-Adaptoren auszustatten sind prinzipiell sowohl PCMCIA-Karten als auch USB-Adapter möglich. Da jedoch PCMCIA-Karten durchschnittlich etwa 12 % weniger Strom verbrauchen (vgl. Tabelle 20) und bei der Herstellung weniger Umweltbelastungen verursachen, sind diese zu empfehlen.

Es ist zu beobachten, dass WLAN-Komponenten einen tendenziell höheren Energieverbrauch haben als vergleichbare kabelgebundene Komponenten. Um hier einen Umweltvorteil zu erzielen, ist herstellerseitig eine Reduktion wünschenswert.

Vor allem bei Access Points und Switches ist die Spanne des Energieverbrauchs unterschiedlicher Geräte relativ weit. Durch gezielte Auswahl von energiesparenden Geräten können weitere Umweltentlastungspotenziale ausgeschöpft werden.

Um die Umwandlungsverluste an Netzteilen gering zu halten, sollten diese schon herstellerseitig entsprechend effizient ausgewählt bzw. konstruiert werden. So hat sich gezeigt, dass allein dem Netzteil des Access Points fast 20 % der maximalen Leistung zuzuschreiben ist, während bei einem Kombigerät nur 6 % auf das Netzteil entfallen.

In Bedienungsanleitungen sollten Hinweise zum Energieverbrauch der Geräte und zum energiesparenden Nutzerverhalten aufgenommen werden. Es sollte darauf hingewiesen werden, Geräte bei Nichtnutzung auszuschalten.

Umweltbelastungen, die durch die Herstellung und Entsorgung der Geräte verursacht werden, können durch die Verlängerung der Lebensdauer relativiert werden. Im Bereich der kabellosen Netzwerke sind die Innovationszyklen derzeit sehr kurz, da die Technik fortwährend weiterentwickelt wird. Hieraus resultiert die relativ kurze Lebensdauer dieser Produkte. Herstellerseitig könnten jedoch auch Updates angeboten werden, um die Geräte neueren Standards anzupassen und somit die Lebensdauer zu verlängern. Auch ein modularer Aufbau der Geräte würde eine Auf- oder Umrüstung erleichtern.

Obwohl die kabellose Variante für das Büro-Netzwerk aus Umweltgesichtspunkten eindeutig positiv abschneidet, ist doch zu erwähnen, dass ein eventuell höheres gesundheitliches Risiko durch die elektromagnetischen Felder besteht. Da hierzu noch eindeutige Forschungsergebnisse fehlen, kann auch die Empfehlung für WLAN nur eingeschränkt erfolgen.

## 4.5 Zuordnung der Empfehlungen zu Akteursgruppen

Aus den Ergebnissen der Wirkungsabschätzung der Anwendungsbeispiele, der Sensitivitätsanalysen und der untersuchten Optimierungsansätze lassen sich Empfehlungen in Bezug auf die Produktgestaltung, den Netzaufbau und das Nutzerverhalten ableiten. Diese Empfehlungen können damit auch drei verschiedenen Akteursgruppen zugeordnet werden, wie Tabelle 49 zeigt.

**Tabelle 49: Zuordnung der Empfehlungen zu Bereichen und Akteursgruppen**

Bereich	Akteure	Empfehlungen
Produktgestaltung	Hersteller	Geräte wie Access Point, Switch und Router (für kleine Netzwerke) mit netztrennenden Schaltern ausstatten
		Energiemanagement bei Routern
		Access Points und Switches (für größere Netzwerke) mit Power over Ethernet ausstatten
		verlustarme Netzteile verwenden
		Stromverbrauch von WLAN-Komponenten senken
		Informationen zum Energieverbrauch und energiesparendem Nutzerverhalten in Bedienungsanleitungen aufnehmen
		update-fähige Geräte anbieten, modularer Aufbau von Geräten
Netzaufbau	Netzwerkplaner und -administratoren	Switch entsprechend des tatsächlichen Bedarfs wählen
		energiesparende Switches und Access Points wählen
		Kabelkanäle kurz halten, bzw. weglassen
		auf geschirmte Kabel verzichten, wenn möglich
		bei der Wahl zwischen WLAN-USB-Adaptern und PCMCIA-Karten letztere vorziehen
Nutzerverhalten	Anwender, Nutzer	Geräte wie Access Point, Switch und Router bei Nichtnutzung ausschalten bzw. vom Netz trennen (z.B. über schaltbare Steckerleiste)
		„grünen Strom“ verwenden

## 5 Ausblick

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass in den meisten Fällen die wesentlichen potenziellen Umweltbelastungen von lokalen Netzwerken durch die Nutzung hervorgerufen werden. Um diese zu reduzieren, sollte die Energieeffizienz erhöht werden und die Stromgewinnung verstärkt durch regenerative Energieträger erfolgen. Bestrebungen zur Energieeffizienz sind bei mobilen Geräten bereits zu beobachten, aber bei stationärer Infrastruktur wird hier noch zu selten Handlungsbedarf gesehen. In Bezug auf die regenerative Stromerzeugung sollten die Nutzer verstärkt „grünen Strom“ wählen.

In dieser Arbeit wurde mit dem Local Area Networking nur ein Ausschnitt der vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten von WLAN betrachtet. Weitere Untersuchungen könnten sich auf die sich rasant ausbreitenden Hotspots konzentrieren, die jedoch nicht mit kabelgebundenen Alternativen vergleichbar sind, da hier ein spezieller Anwendungsfall von WLAN vorliegt. Ebenfalls nehmen Telefonie-Anwendungen mittels Voice over IP<sup>11</sup> über WLAN zu [RECH 2004, S. 316]. Hier könnten die Umweltauswirkungen im Vergleich zu herkömmlicher Telefonie untersucht werden.

Im Mobilfunkbereich gibt es Überlegungen, den neuen UMTS-Standard mit WLAN zu kombinieren [REIF 2003]. Das bedeutet, dass ein Roaming zwischen den beiden Systemen möglich werden soll, so dass in Bereichen von WLAN-Hotspots deren im Vergleich zu UMTS größere Übertragungsgeschwindigkeit genutzt werden kann. Hier wäre zu untersuchen, ob diese Maßnahme auch Umweltvorteile bringen würde.

Aufgrund fehlender gesicherter Dosis-Wirkungsbeziehungen von elektromagnetischer Strahlung insbesondere im Bereich von WLAN ist hier weitere Forschung zu gesundheitlichen Auswirkungen notwendig. Erst dann können diese auch im Rahmen der Ökobilanzierung bewertet werden und ein vollständigeres Bild von WLAN vermittelt werden.

Neben WLAN gibt es noch andere Funknetzstandards wie Bluetooth oder HyperLAN/2, für diese sollten ebenfalls die potenziellen Umweltbelastungen ermittelt werden.

In dieser Arbeit wurden nur die direkten Effekte von Netzwerken betrachtet, doch indirekte Effekte z.B. Papiereinsparung durch mobile Datenverarbeitung [GROSSMANN 2002] könnten ebenso Gegenstand einer Untersuchung sein.

In Bezug auf die Methode der Ökobilanzierung, wäre es wünschenswert, wenn mehr belastbares Datenmaterial zu elektronischen Bauteilen, v.a. Mikrochips zur Verfügung stehen würde. Da die Modellierung des Entsorgungswegs von Elektronikschrott den Rahmen dieser Arbeit überstiegen hätte, fehlen diesbezüglich noch Daten. Eine Erhebung dieser Daten wird vermutlich mit der Umsetzung der WEEE-Richtlinie aufgrund des somit geregelten Entsorgungswegs von Elektronikschrott vereinfacht.

---

<sup>11</sup> Übermittlung von Sprachsignalen über das Internet

## 6 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit ist es, die potenziellen signifikanten Umweltbelastungen von Funknetzwerken (WLAN) und kabelgebundenen Netzwerken (Fast Ethernet) in ihrer Anwendung im Local Area Networking zu vergleichen, um darauf aufbauend mögliche Umweltentlastungspotenziale von Funknetzwerken zu identifizieren. Aus den Ergebnissen sollen Handlungsempfehlungen für den umweltgerechten Aufbau und Betrieb lokaler Netzwerke abgeleitet werden.

Drei typische Anwendungsbeispiele des Local Area Networking werden untersucht: die direkte Verbindung von zwei Computern (Peer-to-Peer-Netzwerk), die Verbindung von drei Computern mit Hilfe eines Routers, wie er in kleinen Büros oder Haushalten zur Anwendung kommt (SOHO-Netzwerk) und ein Büro-Netzwerk mit 20 Clients. Für diese Anwendungsbeispiele wird jeweils die kabelgebundene und die kabellose Variante betrachtet. Das kabellose Netzwerk entspricht dem IEEE 802.11b-Standard, während für das kabelgebundene Netzwerk der IEEE 802.3u-Standard (Fast Ethernet) zu Grunde gelegt wurde. Aufgrund der komplexen Produktsysteme werden einige Vereinfachungen und Annahmen getroffen. So werden die Geräte und Netzwerkadapter ausschließlich anhand ihrer Leiterplatten- und Mikrochipgröße charakterisiert, wobei Referenzdaten zur Anwendung kommen. Kabel und sonstiges Netzwerkzubehör werden gemäß ihrer Materialzusammensetzung bilanziert. Für die Nutzung werden typische Nutzungsdauern in den verschiedenen Betriebszuständen zu Grunde gelegt. Die funktionelle Einheit entspricht 1000 Einheiten (Netzwerken) in einjährigem Betrieb. Die untersuchten Lebenswegabschnitte umfassen die Herstellung, Nutzung und Entsorgung. Die potenziellen Umweltbelastungen werden anhand der Wirkungskategorien Klimaerwärmung, Photooxidantienpotenzial, Versauerungspotenzial, kumulierter Energieaufwand und Elektronikschrottaufkommen verglichen. Die Auswirkungen elektromagnetischer Strahlung werden nicht untersucht.

Für das Peer-to-Peer-Netzwerk aus zwei Desktop-Computern zeigen insgesamt keine Umweltvorteile der kabellosen gegenüber der kabelgebundenen Alternative. Für beide Varianten überwiegen die potenziellen Umweltbelastungen bei der Herstellung. Auch die Wirkungsindikatorergebnisse für das SOHO-Netzwerk unterscheiden sich größtenteils nicht signifikant. Die Nutzung führt für beide Netzwerkarten in diesem Anwendungsfall zu den größeren potenziellen Umweltbelastungen. Beim Büro-Netzwerk zeigen sich in allen Wirkungskategorien signifikant geringere potenzielle Umweltbelastungen für das kabellose Netzwerk. Diese sind zwischen 38 und 67 % geringer (Klimaerwärmung bzw. Elektronikschrottaufkommen) bezogen auf die kabelgebundene Variante. Wie beim SOHO-Netzwerk werden die höchsten potenziellen Umweltbelastungen durch die Nutzung hervorgerufen, wobei daran die Access Points beim kabellosen bzw. der Switch beim kabelgebundenen Netzwerk den größten Anteil haben. Bei der Herstellung des kabelgebundenen Netzwerks fallen mit zusammen etwa 40 % die Kabel und Kabelkanäle deutlich ins Gewicht.

Bei der Untersuchung verschiedener Optimierungsansätze zeigt sich, dass sich für das SOHO-Netzwerk die potenziellen Umweltbelastungen der Nutzung um über 40 % reduzieren lassen, wenn der Router bei Nichtnutzung vom Netz getrennt wird. Beim Büro-

Netzwerk lassen sich ebenfalls deutliche Einsparpotenziale erzielen, wenn Geräte wie Access Points und Switches bei Nichtnutzung vom Netz getrennt werden.

Aus den Ergebnissen lassen sich Empfehlungen zu Geräteoptionen, Netzaufbau und Nutzerverhalten ableiten.

Da die gesundheitlichen Folgen der elektromagnetischen Strahlung, die durch Funknetzwerke verursacht werden, noch nicht ausreichend wissenschaftlich untersucht sind, kann eine Empfehlung für Funknetzwerke nur eingeschränkt gegeben werden. Hierzu besteht zukünftig noch Forschungsbedarf.

## Literaturverzeichnis

- ACD 1999           Advanced Communications Devices Corp: Manual: ACD82224-UEB, 1999. Datenblatt. <http://www.acdorp.com/82224MebR10.htm>
- AGPU 2000           AGPU: Produktinformation Nr. 9 PVC; Stand Februar 2000  
<http://www.agpu.de/download/prodinfkabel.pdf>
- AHLERS 2003        Ahlers, E.: Richtig vernetzen. Anschluss mit und ohne Kabel in: c't 2003, Heft 6, S. 172ff.
- AHLERS, ZIEGLER 2001 Ahlers, E.; Ziegler, P.-M.: Luftbrücken. USB-Adapter und Basisstationen für die Funkvernetzung in: c't 2001, Heft 18, S. 126ff.
- ATLANTIC CONSULTING & IPU 1998   Atlantic Consulting & IPU: LCA Study of the Product Group Personal Computers in the EU Ecolabel Scheme. Version 1.0 1998
- APPLE 2000        Apple: Design for Environment: A Case Study of the Power Mac G4 Desktop Computer, March 2000  
[http://www.apple.com/about/environment/design/case\\_study/pdf/powermac\\_g4.pdf](http://www.apple.com/about/environment/design/case_study/pdf/powermac_g4.pdf)
- BASELL 2003        [http://www.basell.com/guideToPoly/0..5\\_0\\_p-made.00.html](http://www.basell.com/guideToPoly/0..5_0_p-made.00.html) Stand August 2003
- BEHRENDT 1998     Behrendt, S.; Pfitzner, R.; Kreibich, R.; Hornschild, K.: Innovationen zur Nachhaltigkeit: Ökologische Aspekte der Informations- und Kommunikationstechniken. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1998
- BEHRENDT 1998A   Behrendt, S.; Kreibich, R.; Lundie, S.; Pfitzner, R.; Scharp, M.: Ökobilanzierung komplexer Elektronikprodukte: Innovationen und Umweltentlastungspotentiale durch Lebenszyklusanalyse. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1998
- BENISCHKE ET AL. 2001 Benischke, A.; Bunke, D.; Küppers, C.; Wassilew-Reul, C.: Gutachten zum Erkenntnisstand zu möglichen gesundheitlichen Auswirkungen des Mobilfunks. Öko-Institut e.V. Darmstadt/Freiburg 2001
- BFS 2003           Bundesamt für Strahlenschutz; 2003  
[http://www.bfs.de/elektro/hff/moderne\\_kommunikation.html](http://www.bfs.de/elektro/hff/moderne_kommunikation.html)
- BTR-ITCONNECT 2003 [http://www.btr-itconnect.com/html/technische\\_daten.htm](http://www.btr-itconnect.com/html/technische_daten.htm)
- BTR-ITCONNECT 2003A [http://www.btr-itconnect.com/html/e-dat\\_design\\_anschlussdosen\\_8\\_.htm](http://www.btr-itconnect.com/html/e-dat_design_anschlussdosen_8_.htm)
- BUNKE ET AL. 2002   Bunke, D.; Gensch, C.; Grieshammer, R.; Quack, D.; Ebinger, F.; Strubel, V.; Hochfeld, C.: Die integrierte ökologische Bewertung – EcoGrade, Version 1/2002. Methodenpapier, Öko-Institut e.V., Freiburg 2002
- CML 1992A         Centrum voor Milieukunde (CML): Environmental Life Cycle Assessment of Products. Band 1: Guide. Final Editor: R. Jeijungs. CML, Leiden 1992
- CML 1992B         Centrum voor Milieukunde (CML): Environmental Life Cycle Assessment of Products. Band 2: Backgrounds. Final Editor: R. Jeijungs. CML, Leiden 1992
- COMPU-SHACK 2002   Compu-Shack Electronic GmbH (Hrsg.): Kabellose Kommunikation – WLAN macht das Netz mobil, Broschüre, 2. Auflage, Neuwied 2002  
<http://portal.compu-shack.com/medien/wireless.pdf>

- COMPUTERWOCHE 2003 IEEE verabschiedet WLAN-Standard 802.11g. 13.06.2003  
<http://www.computerwoche.de/index.cfm?pageid=254&artid=49914>
- CREMER ET AL. 2003 Cremer, C. ; Eichhammer, W. ; Friedewald, M. ; Georgieff, P.; Rieth-Hoerst, S.; Schlomann, B.; Zoche, P.; Aebischer, B; Huser, A.: Der Einfluss moderner Gerätegenerationen der Informations- und Kommunikationstechnik auf den Energieverbrauch in Deutschland bis zum Jahr 2010 – Möglichkeiten zur Erhöhung der Energieeffizienz und zur Energieeinsparung in diesen Bereichen. Abschlussbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Karlsruhe/Zürich 2003
- DEUTSCHE TELEKOM 2003 Unterlagen der Deutschen Telekom Network Projects and Services GmbH, Olaf Reinhold, Produktmanager WLAN, Berlin 2003
- EITO 2002 European Information Technology Observatory (EITO): European Information Technology Observatory 2002. Mainz: Eggebrecht-Press KG 2002
- ENERGIEVISION 2003 EnergieVision e.V.: Kriterien für das Gütesiegel „ok-power“ für Ökostrom – Kurzfassung. Version 6.0, Stand: 30. Oktober 2003  
[http://www.energie-vision.de/downloads/kriter\\_6\\_0\\_kurzf.pdf](http://www.energie-vision.de/downloads/kriter_6_0_kurzf.pdf)
- FAIST EMMENEGGER 2003 Faist Emmenegger, M.; Frischknecht, R. ; Jungbluth, N.: LCA des Mobilfunksystems UMTS. Endbericht. Uster 2003
- FICHTER 2001 Fichter, K.: Umwelteffekte von E-Business und Internetökonomie. Erste Erkenntnisse und umweltpolitische Schlussfolgerungen. Arbeitspapier für das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Berlin: August 2001.
- FLEISCHER 1995 Fleischer, G.: Methode der Nutzengleichheit für den ökologischen Vergleich der Entsorgungswege für DSD-Altkunststoffe. In: Thomé-Kozmien-sky, K.-J. (Hrsg.): Management der Kreislaufwirtschaft. Berlin: EF 1995, S. 360-369
- FLEISCHER 2000 Fleischer, G.: Aufwands- und ergebnisrelevante Probleme der Sachbilanzierung, im Auftrag des Forschungszentrums Jülich, Technische Universität Berlin, Berlin 2000
- GABI4 Software und Datenbank zur Ganzheitlichen Bilanzierung, IKP Universität Stuttgart und PE Europe GmbH, Leinfelden-Echterdingen,
- GENSCH, QUACK 2000 Gensch, C.-O.; Quack, D.: Orientierende Ökologische Betrachtung der T-Net-Box. Arbeitsbericht im Rahmen des Projekts „TopTen-Innovationen“. Freiburg 2000
- GOLEM 2002 <http://www.golem.de/0209/21597.html>
- GREENPEACE 2000 Greenpeace: Elektrokabel ohne PVC; 11/00  
[http://archiv.greenpeace.de/GP\\_DOK\\_3P/HINTERGR/B02HI20.PDF](http://archiv.greenpeace.de/GP_DOK_3P/HINTERGR/B02HI20.PDF)  
<http://www.greenpeace-stuttgart.de/themen/bauen/positiv2.html>
- GROSSMANN 2002 Grossmann, A.: Wireless LAN – Das Ende der drahtgebundenen lokalen Netze? Diplomarbeit. Universität Zürich, Institut für Informatik, 2002
- GROTE 1995 Grote, A. : Ermittlungen – Stoffdatenbank der TU München konkretisiert PC-Ökobilanz in: c't 1995, Heft 8, S. 108, Heise Verlag
- GROTE, MALLEY 1997 Grote, A.; Malley, J.: Schwergewicht. Der PC hinterlässt enorme Spuren in der Umwelt. c't 1997, Heft 5, S. 170f., Heise Verlag

- 
- HILTY ET AL. 2003 Hilty et al.: Das Vorsorgeprinzip in der Informationsgesellschaft, Auswirkungen des Pervasive Computing auf Gesundheit und Umwelt; TA 46/2003; Bern 2003
- HÜBNER 2003 Hübner, U.: Wireless Local Area Networks, 18.04.2003, <http://rnvs.informatik.tu-chemnitz.de/wlan/wozu.htm>
- ISO 14040 1997 DIN EN ISO 14040: Umweltmanagement – Ökobilanz – Prinzipien und allgemeine Anforderungen. 1997
- ISO 14041 1998 DIN EN ISO 14021: Umweltmanagement – Ökobilanz – Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz. 1998
- ISO 14042 2000 DIN EN ISO 14042: Umweltmanagement – Ökobilanz – Wirkungsabschätzung. 2000
- ISO 14043 2000 DIN EN ISO 14043: Umweltmanagement – Ökobilanz – Auswertung. 2000
- KASPAR 1999 Kaspar, R.: Ansätze zur Systematisierung von Flachbaugruppen aus ökobilanzieller Sicht. Diplomarbeit. Technische Universität Berlin; Fachbereich 6; Fachgebiet Abfallvermeidung unter Zusammenarbeit mit Siemens AG Berlin, Zentralabteilung Material und Fertigungsverfahren. Berlin 1999
- LANLINE 2003 LANline, Ausgabe 018/2003, Onlineveröffentlichung <http://www.lanline.de/O/148/Y/84521/default.aspx>
- LEXEL 2003 Datenblatt Kabelkanal, Stand August 2003 <http://www.lexel.de/Material%20Thorsman/PDF/BRUESTU1.PDF>
- MYRACH 2002 Myrach, T.; Lerch, M.: Mobile Computing – Wireless LAN, Lektion 4, SS 2002, RWTH Aachen, Vorlesungsskript [http://www.rwth-aachen.de/wi/lehre/lv/ss2002/EBmobile/pdf/mc04\\_wlan.pdf](http://www.rwth-aachen.de/wi/lehre/lv/ss2002/EBmobile/pdf/mc04_wlan.pdf)
- NEITZKE 2003 Neitzke, H.-P., Osterhoff, J., Voigt, H.: Biologische Wirkungen schwacher HF-Felder und Empfehlungen zur Begrenzung der Expositionen durch Funksendeanlagen. 2003. Internetveröffentlichung <http://www.ecolog-institut.de/templates/download.php?download=55>
- NICE FOUNTAIN 2003 Nice Fountain Industrial Co., LTD. <http://www.nfwire.com.tw/NFC/e07-2.htm>; Stand August 2003
- NIEßEN 2001 Nießen, P.: Elektromagnetische Strahlung, W-LAN Universität Bremen; Sachverständigengutachten vom 22.10.2001; Hürth 2001; <http://www.dmn.tzi.org/wlan-emvu-gutachten-bremen.pdf>
- NOVA 2003 nova-Institut für Ökologie und Innovation: Gutachten zur Feststellung der Belastung durch hochfrequente elektromagnetische Strahlung durch Funk-Netzwerke an der Universität Bremen, 2001 [www.suub.uni-bremen.de/PERSONALRAT/gutachten.pdf](http://www.suub.uni-bremen.de/PERSONALRAT/gutachten.pdf)
- ÖKO-TEST 2002 Öko-Test: WLAN-Hotspots - Es hat gefunkt in: Öko-Test 2002, Ausgabe 11, S. 126-129, Öko-Test-Verlag
- ÖKO-TEST 2003 Öko-Test: WLAN-Zugangsknoten – Unsichtbare Netze in Öko-Test 2003, Ausgabe 10, S. 108-111, Öko-Test-Verlag
- ORTNER, HENSLER 1995 Beurteilung von Kunststoffbränden; 07.11.1995; [http://www.bayern.de/lfu/luft/ku-braende/kunststoffbraende\\_w70.doc](http://www.bayern.de/lfu/luft/ku-braende/kunststoffbraende_w70.doc)

- PEYN, LIEDKE 2001 Peyn, H., Liedke, V. (Hrsg.): Wireless LAN – Funknetzwerke. Anwendungsbereiche, Geschäftsmodelle, Funktionsweise und Sicherheitsaspekte. E-trends im Abo, Ausgabe 8, Oktober 2001, Onlineveröffentlichung [http://www.e-trend.de/downloads/wireless\\_lan.pdf](http://www.e-trend.de/downloads/wireless_lan.pdf)
- PLATE 2003 Plate, J.: Grundlagen Computernetze. FH München, FB 04, 2003, Vorlesungsskript <http://www.netzmafia.de/skripten/netze/index.html>
- RECH 2004 Rech, J.: Wireless LANs. 802.11-WLAN-Technologie und praktische Umsetzung im Detail. Hannover: Heise 2004
- REIF 2003 Reif, M.-A.: Sprache über Wireless LAN in: Funkschau 2003, Ausgabe 5, S. 28f. [www.funkschau.de](http://www.funkschau.de)
- RUIZ BEN, QUACK 2003 Ruiz Ben, E.; Quack, D.. Ökologische Aspekte von mobiler Arbeit und e-Learning. Fiff Kommunikation. Forum InformatikerInnen für Frieden und gesellschaftliche Verantwortung e.V.. Ausgabe 3/2003, S. 24 bis 29
- SCHWARZ 2002 Schwarz, P.: Netzwerkkabel; Stand August 2003 <http://netzadmin.org/netzwerk/hardware/netzwerk-kabel.htm#tp-kabel>
- SIKORA 2001 Sikora, A.: Wireless LAN – Protokolle und Anwendungen. München: Addison-Wesley Verlag 2001
- SMC 2003 [http://www.smc-europe.com/de/products/Catalogue/TG\\_Wireless\\_LAN.pdf](http://www.smc-europe.com/de/products/Catalogue/TG_Wireless_LAN.pdf)
- STRUBEL ET AL. 1999 Strubel, V.; Gensch C.-O.; Buchert, M.; Bunke, D.; Ebinger, F.; Heber, E.; Hochfeld, C.; Gießhammer, R.; Quack, D.; Reichart, I.; Viereck, H.-G.; Verbundvorhaben: Beiträge zur Entwicklung einer Kreislaufwirtschaft am Beispiel des komplexen Massenkonsumproduktes TV-Gerät – Teilvorhaben 1: Ökologische und ökonomische Begleitforschung „Grüner Fernseher“ (Hauptphase). Endbericht. Freiburg/Darmstadt 1999
- STRUBEL, GENSCH 1996 Strubel, V.; Gensch, C.-O.: Nutzen statt Besitzen - orientierende ökologische Abschätzungen für Waschmaschinen, Wäschetrockner, Personalcomputer und Rasenmäher in: Verbraucherzentrale Baden-Württemberg (Hrsg.): Nutzen statt Besitzen, Band 1, Heft 47, Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg, Stuttgart 1996
- UMBERTO 4.1 Modulbibliothek zur Ökobilanzsoftware umberto, Version 4.1, Stand 2003
- UMWELTBUNDESAMT 2000 Umweltbundesamt: Daten zur Umwelt 2000 zitiert nach Hafkesbrink, I. et al., Fraunhofer-Institut für Systemanalyse und Innovationsforschung
- WEEE 2003 Richtlinie 2002/96/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 2003 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte [http://www.bmu.de/files/elektro\\_eurichtlinie\\_geraete.pdf](http://www.bmu.de/files/elektro_eurichtlinie_geraete.pdf)
- WILLIAMS 2002 Williams, E. D.; Ayres, R. U.; Heller, M.: The 1.7 Kilogram Microchip: Energy and material Use in the Production of semiconductor Devices; Environmental Science & Technology; Vol. 36, No. 24, 2002
- ZVEI 2000 ZVEI (Hrsg.): Ökobilanzierung in der Elektroindustrie. Methodenpapier und Anregungen für Vereinfachungsstrategien. Frankfurt/M. 2000

