

Anhang

Inhaltsverzeichnis des Anhangs

| | |
|--|------|
| A.1 Gebäude | A-3 |
| A.1.1 Gebäudebestand | A-3 |
| A.1.2 Umfang der Produktgruppen | A-5 |
| A.1.3 Referenzgebäude | A-6 |
| A.1.4 Spezifische Masse | A-8 |
| A.1.5 Installationsdichte | A-11 |
| A.1.6 Häufigkeiten | A-19 |
| A.1.7 Historische Entwicklung des Hauptlagers <i>Gebäude</i> | A-24 |
| A.1.8 Einfluss langanhaltender Renovationszyklen auf das Hauptlager <i>Gebäude</i> | A-26 |
| A.2 Infrastruktur | A-29 |
| A.2.1 Stromnetz..... | A-29 |
| A.2.2 Verkehrsnetze der Schweiz..... | A-31 |
| A.3 Übersicht über die Lager | A-33 |
| A.3.1 Die urbanen Lagerstätten der Schweiz | A-33 |
| A.3.2 Unsicherheitsanalyse der Hochrechnungen..... | A-34 |
| A.3.3 Wachstumskurven | A-41 |
| A.4 Modell | A-43 |
| A.4.1 System | A-43 |
| A.4.2 Systemvariablen und Unbekannte..... | A-43 |
| A.4.3 Modellparameter | A-47 |
| A.4.4 Systemgleichungen | A-54 |
| A.4.5 Bewertungskriterien | A-62 |
| A.4.6 Kalibrierung des Modells <i>Cuprum</i> | A-63 |
| A.5 Literaturverzeichnis des Anhangs | A-79 |
| Curriculum vitae | A-81 |

A.1 Gebäude

A.1.1 Gebäudebestand

A.1.1.1 Heterogenität des Gebäudebestands

Die Materialgehalte von Gebäuden streuen stark. Der Metallgehalt kann beispielsweise bis zu Faktor 10 und mehr streuen (Abb. A-1). Möglicherweise nahm der Metallgehalt im Verlauf des 20. Jahrhunderts zu; für eine gesicherte Aussage wären weitere Untersuchungen notwendig.

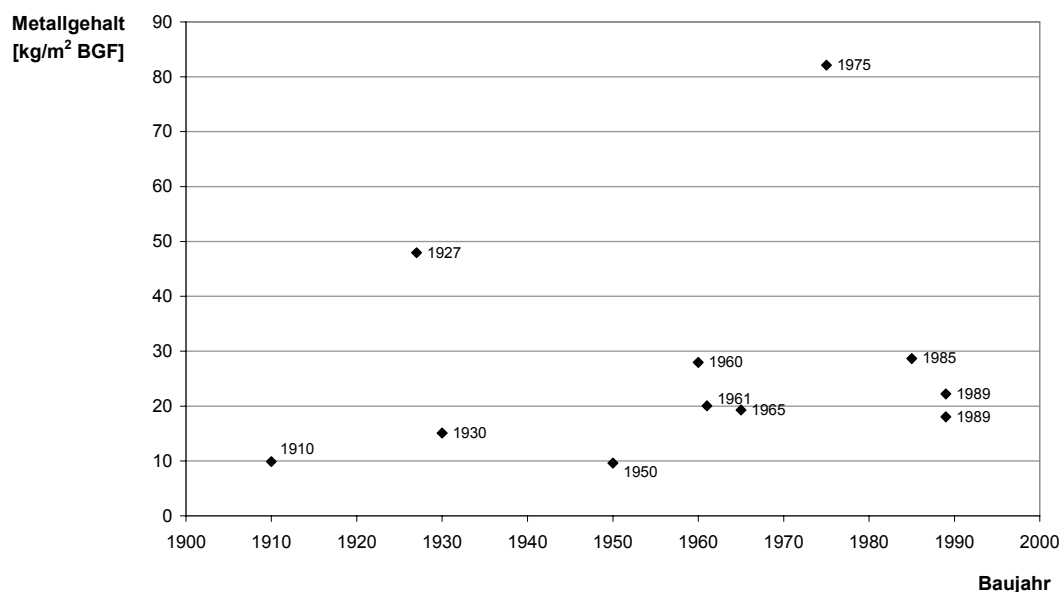


Abb. A-1: Metallgehalt von Gebäuden (Eisen plus Nichteisenmetalle, inklusive Bau- und Betonstahl, Kabel) in Abhängigkeit des Baujahrs (20. Jahrhundert). Quelle: ausgewählte Gebäude nach GRUHLER *et al.* (2002).

A.1.1.2 Gebäudetypologie

Um Aussagen über Gebäude machen zu können, teilt man die Grundgesamtheit von Gebäuden in übersichtlichere, da homogenere Teilgesamtheiten (Gebäudeklassen), die trotz Verschiedenartigkeit der einzelnen Gebäude in sich homogen sind. Zur Abbildung und Beschreibung der Gebäude gibt es verschiedene Vorschläge zur Gruppierung bzw. Klassifizierung auf der Grundlage definierter Merkmale (FRIEDRICHS 1973). Häufig anzutreffende Klassifizierungskriterien sind je nach Ziel der Arbeit die Nutzung¹, das Baujahr, die Grösse (Geschosszahl) und die Bauweise² (SCHULZE und WALTHER 1990; GÖRG 1997; GRUHLER *et al.* 2002).

Oft werden die einzelnen Gebäudetypen durch einen Gebäudetypvertreter verkörpert, ein Gebäude, das real existiert und typisch ist für die Individuen des Gebäudetyps. Vereinfachend setzt man bei diesem Ansatz das typische Gebäude als durchschnittlich für seine Typklasse. Die Gesamtzahl der er-

¹ Nutzungstypen sind z.B. Einfamilienhäuser, Mehrfamilienhäuser, Dienstleistungsgebäude usw.

² Z.B. Massivbau, Fachwerk usw.; gelegentlich wird auch der Term „Bauart“ benutzt (beispielsweise bei GÖRG (1997)).

forderlichen Gebäudetypvertreter eines Gebäudebestandes hängt von der Genauigkeit des Gebäude-modells ab; üblich sind 20 bis 150 solcher Vertreter (GÖRG 1997; GRUHLER *et al.* 2002; KOHLER *et al.* 1999).

Ein neuerer Ansatz ist die Bildung eines fiktiven Modell-Gebäudes, das die durchschnittliche Grösse des Gebäudetyps mit der durchschnittlichen stofflichen Zusammensetzung des Gebäudebestandes verknüpft und damit nicht nur ein Repräsentant, sondern Durchschnittsgebäude des Teilbestandes ist (LICHTENSTEIGER 2006). Dieser Ansatz wird im Projekt ARK04 verfolgt, bei dem die Durchschnittsgebäude ARK-Häuser genannt werden. Folglich bilden die ARK-Häuser die Gebäudeeigenschaften ihres Teilbestandes „im Kleinen“ ab: Ein ARK-Haus hat die durchschnittliche Grösse eines Gebäudes dieses Teilbestandes, zum Beispiel ist seine Geschossfläche gleich der Geschossfläche des gesamten Teilbestandes dividiert durch die Anzahl seiner Individuen. Analog gilt dies auch für seine Geometrie und seine Bauweise: Das ARK-Haus hat teilweise ein geneigtes Dach, teilweise ein Flachdach; teilweise Aussenwände aus Beton, teilweise aus Ziegelstein usf. Mit ziemlicher Sicherheit existiert solch ein konzipiertes ARK-Haus demnach nicht.

A.1.1.3 Schweizerischer Gebäudebestand

Der schweizerische Gebäudebestand vervielfacht sich im Verlauf des 20. Jahrhunderts: Sowohl die Bruttogeschoss-, als auch die Dachflächen wachsen auf mehr als das Dreifache (Abb. A-2, Abb. A-3).

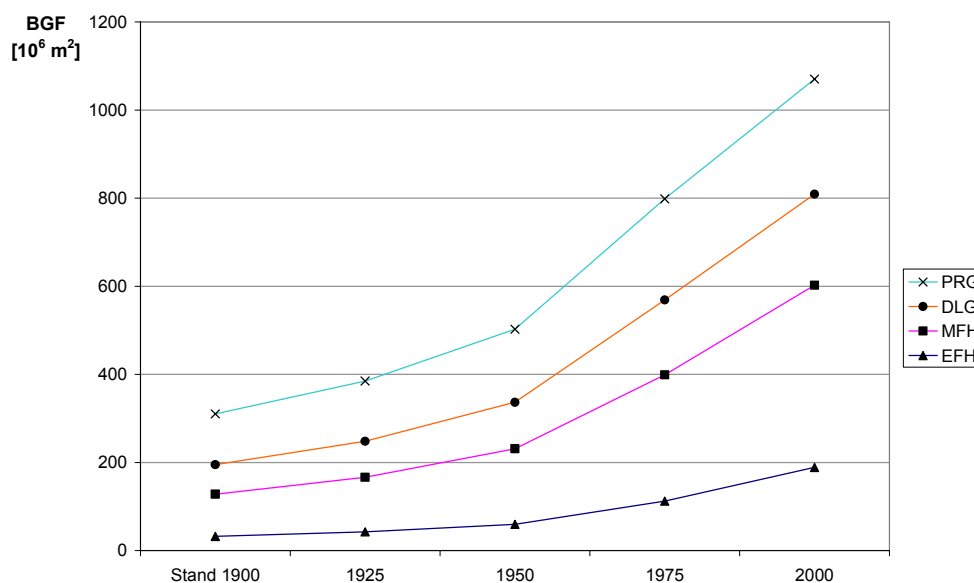


Abb. A-2: Entwicklung der **kumulierten** Bruttogeschossflächen (BGF) der Schweiz im 20. Jahrhundert (die oberste Linie bedeutet also die Summe aller vier Teilbestände). Lineare Interpolation der berechneten Werte. Quelle: nach HENSELER *et al.* (2006).

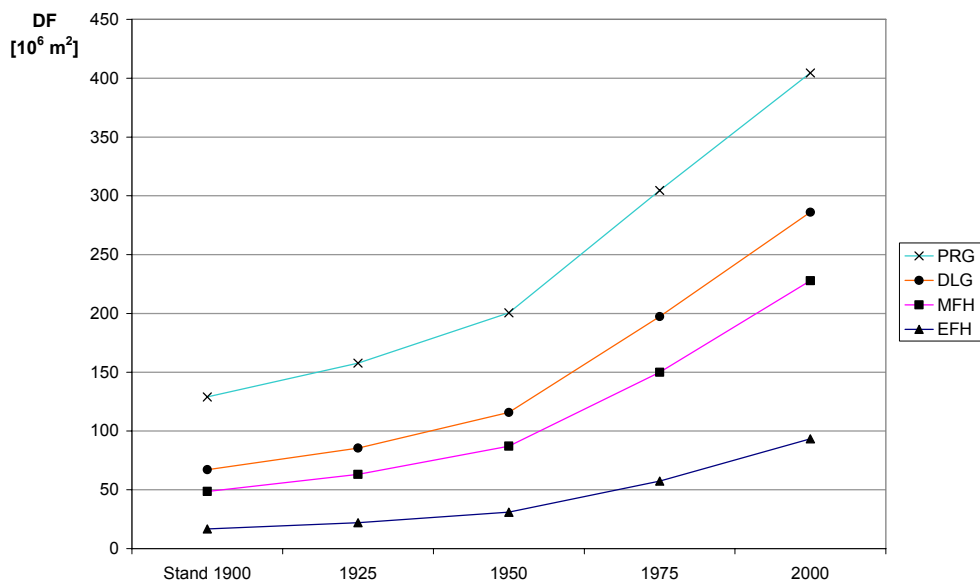


Abb. A-3: Entwicklung der **kumulierten** Dachflächen (DF) der Schweiz im 20. Jahrhundert (die oberste Linie bedeutet also die Summe aller vier Teilbestände). Die Dachfläche ist abgeleitet von der Bruttogeschossfläche unter eigenen Annahmen zur durchschnittlichen Gebäudegeometrie (siehe Kap. 2.4.3). Lineare Interpolation der berechneten Werte. Quelle: nach HENSELER *et al.* (2006) und eigenen Annahmen.

A.1.2 Umfang der Produktgruppen

Die in Tab. A-1 aufgeführten Produktgruppen entsprechen den üblichen Begriffsdefinitionen der Handwerker und der Literatur (für die Zuordnung zu Funktionsbereichen und Bauelementen: siehe Tab. 2.6). Im Folgenden wird daher die Zuordnung von Produkten zu Produktgruppen in dem Sinne kommentiert, dass Ausnahmen begründet und zweifelhafte Fälle erläutert werden.

Tab. A-1: Die flächen-, längen- und stückspezifischen Einheiten der Produktmengen, der spezifischen Massen und der Installationsdichten, angegeben für die 14 untersuchten Produktgruppen.

| Produktgruppe (PG) | Produktmenge | spezifische Masse (sM) | Installationsdichte (ID) |
|---------------------------|-------------------|------------------------|-------------------------------------|
| Bedachung/Abdeckung | [m ²] | [kg/m ²] | [m ² /m ² DF] |
| Dachrinnen | [lfm] | [kg/lfm] | [lfm/m ² DF] |
| Regenfallrohre | [lfm] | [kg/lfm] | [lfm/m ² DF] |
| Dachgaupen | [m ²] | [kg/m ²] | [m ² /m ² DF] |
| Blitzableiter | [lfm] | [kg/lfm] | [lfm/m ² DF] |
| Stromkabel | [lfm] | [kg/lfm] | [lfm/m ² BGF] |
| Telekommunikationskabel | [lfm] | [kg/lfm] | [lfm/m ² BGF] |
| Wasserrohre | [lfm] | [kg/lfm] | [lfm/m ² BGF] |
| Fittings(Sanitär) | [Stück] | [kg/Stück] | [Stück/m ² BGF] |
| Roharmaturen(Sanitär) | [Stück] | [kg/Stück] | [Stück/m ² BGF] |
| Heizungsrohre(Verteilung) | [lfm] | [kg/lfm] | [lfm/m ² BGF] |
| Fittings(Heizung) | [Stück] | [kg/Stück] | [Stück/m ² BGF] |
| Roharmaturen(Heizung) | [Stück] | [kg/Stück] | [Stück/m ² BGF] |
| Heizungsrohre(Fläche) | [lfm] | [kg/lfm] | [lfm/m ² BGF] |

Aussenbereich

Im Aussenbereich konnten alle wesentlichen Produktgruppen erfasst werden. Unberücksichtigt blieben Traufenbleche und Haften, Nägel, Rohrschellen, Rinneneinhangstutzen, Rinnenböden usw., Schneefanggitter, Einfassungen, Ziergegenstände wie Wetterhähne oder Messingschilder.

Haustechnik

In der Haustechnik wurden alle Steig- und Verteilleitungen berücksichtigt. Bei den *Stromkabeln* war die Zuleitung ab der Bauwerksaussenkante bis zum Hauptverteiler eingeschlossen. Nicht berücksichtigt wurden der Stromzähler und die Sicherungs- und Verteilkästen. Ebenso wurden die *Telekommunikationskabel* ohne Steuerungsgeräte untersucht. Steuerungskabel aus Glasfaser wurden nicht untersucht.

Bei den Sanitäranlagen waren die Roharmaturen, die sich üblicherweise in Kellerräumen nahe dem Wasserzähler befinden, vollumfänglich eingeschlossen. Die Armaturen zur Wasserentnahme etc. (Feinarmaturen, beispielsweise Wasch- und Spültischarmaturen, Dusch- und Wannenarmaturen, wurden nicht berücksichtigt. Bei den Heizungsanlagen wurden die Verteilrohre inklusive der Fittings und Roharmaturen aufgenommen, ebenso auch die Rohre der Flächenheizungen (Boden-, Decken- und Wandheizungen). Auf eine Betrachtung der Warmwasserboiler wurde wegen Datenengpässen verzichtet; auch ist der Einfluss einer zentralen Warmwassererzeugung – gekoppelt an die Heizungsanlage – nicht einfach zu beurteilen. Aufgrund der Vielfalt bei den Heizungsanlagen wurden die Feuerungsanlagen ausgespart. Dies hatte zur Folge, dass auch Erdwärme- und Solaranlagen unberücksichtigt blieben. Des Weiteren wurde in einer Voruntersuchung gezeigt, dass kupferne Ölleitungen vernachlässigbar sind, sobald die Verteilrohre aus Kupfer bestehen. Aus demselben Grund blieben die Gasleitungen³ unberücksichtigt, die in Gebäuden zur Versorgung von Boilern, Gasherden oder -öfen genutzt werden; zudem sind über die Häufigkeit von Gasleitungen keine Informationen verfügbar.

A.1.3 Referenzgebäude

Die Erhebungen zur Untersuchung der Gebäudeteilbestände wurden in ausgewählten Referenzgebäuden durchgeführt (vgl. Kap. 2.4.3), die in Tab. A-2 aufgelistet sind.

³ Gas kann sowohl als Brennstoff für Heizungen als auch zur Warmwasserbereitung (Gasboiler) dienen. Dementsprechend unterscheiden sich die ID der Gasverteilungen für die beiden Varianten:

Gasboiler: Bei der dezentralen Warmwasserversorgung werden die Gasboiler in oder nahe den Räumen mit Warmwasserbedarf installiert. Dabei sind ein oder mehrere Boiler pro Wohnung üblich, die über die Gasleitung mit Erdgas versorgt werden; zusätzlich wird oft ein Gasherd in der Küche betrieben. Die ID variieren zwischen 0.03 und 0.06 lfm/m² BGF (auf der Basis von fünf MFH aus der Arbeit von GÖRG (1997), siehe Tab. A-16), wobei die Installationsdichte mit zunehmender BGF abnimmt. Ähnliche Werte sind für EFH mit Gasboilern zu erwarten.

Gasheizung: Seit ca. 1960 erfolgt die Warmwasserversorgung überwiegend zentral, so dass nurmehr die Zentralheizung mit Gas versorgt wird. In diesem Fall ist die Versorgungsleitung entsprechend kürzer und die ID daher kleiner.

In beiden Fällen ist damit eine $ID_{\text{Gasleitung}} < 0.1 \text{ lfm/m}^2 \text{ BGF}$ zu erkennen, also ca. um den Faktor 10 niedriger als für die Heizungsrohre (siehe Tab. A-14), da sie nur bis zu den Wärmequellen reichen und nicht bis zu den Wärmespendern (z.B. Radiatoren).

Tab. A-2: Übersicht über die untersuchten Referenzgebäude: Baujahr, Renovationsjahr, Gebäudevolumen, Bruttogeschossfläche, Dachfläche. – n.b. = nicht bestimmt.

| Nutzungstyp | Gebäude (Bezeichnung) | Standort | Baujahr | Renovationsjahr | Gebäudevolumen [m ³] | Bruttogeschossfläche [m ² BGF] | Dachfläche [m ² DF] |
|-------------|--------------------------|----------------------------|---------|-----------------|-------------------------------------|--|-----------------------------------|
| EFH | EFH1 | Stettbach, Dübendorf ZH | 1870 | 1960 2001 | 967 | 492 | 190 |
| EFH | EFH2 | Baltenswil ZH | 1877 | 2002 | 1'176 | 415 | 166 |
| EFH | EFH3 | Geeren ZH | 2002 | - | 1'052 | 366 | 122 |
| EFH | EFH4* | Bergstrasse, Zürich | 2002 | - | 2'944 | 796 | 160 |
| EFH | EFH5* | Pfaffhausen ZH | 2002 | - | 965 | 279 | 167 |
| EFH | EFH6 | BK115 | 1990 | - | 890 | 332 | 145 |
| MFH | MFH1 | Singelsenhof, Riehen BS | 2001 | - | 3'824 | 1'339 | 382 |
| MFH | MFH2 | Riehen BS | 1966 | 2001 | 3'599 | 1'068 | 426 |
| DLG | DLG1 | Rapperswil ZH | 1999 | - | 50'815 | 11'430 | n.b. |
| DLG | DLG2 | Basel | 1995 | - | n.b. | 1'893 | 286 |
| DLG | DLG3 | VZ Werd, Zürich | n.b. | 2003 | 73'211 | 20'907 | 1'381 |

* EFH4 and EFH5 sind beide jeweils Zweifamilienhäuser.

EFH1: „Haus Bleiker“, Stettbachstr. 59, Dübendorf-Stettbach; EFH2: „Haus Neyer“, Bassersdorferstr. 30, Baltenswil; EFH3: Geerenackerstr. 14, Geeren, Dübendorf-Gockhausen; EFH4: „Stadthaus im Wald“, Bergstr. 62/64, Zürich; EFH5: Doppel-EFH *specogna*, Witikonstr. 9-19, Pfaffhausen; EFH6: BK115, oblm 610083; MFH1: „Singelsenhof“, Gartengasse 18/Rössligasse 21, Riehen; MFH2: Pfarreiheim, Pfarrei St. Franziskus, Pfaffenloh, Riehen; DLG1: Hochschule Rapperswil, Foyergebäude, Rapperswil; DLG2: Stellwerk „Auf dem Wolf“, Stellwerk 4, Güterbahnhof Basel; DLG3: „VZ Werd“, Verwaltungszentrum der Stadt Zürich (ehem. UBS AG), Werdstr. 75/79, Zürich.

A.1.4 Spezifische Masse

Auf den folgenden Seiten sind Berechnungen und Überlegungen zur spezifischen Masse dokumentiert, welche in Kap. 3.2.1 genutzt werden.

A.1.4.1 Bleche

Aufgrund der Proportionalität lässt sich die spezifische Masse bei Kenntnis der Blechdicke bestimmen (Abb. A-4).

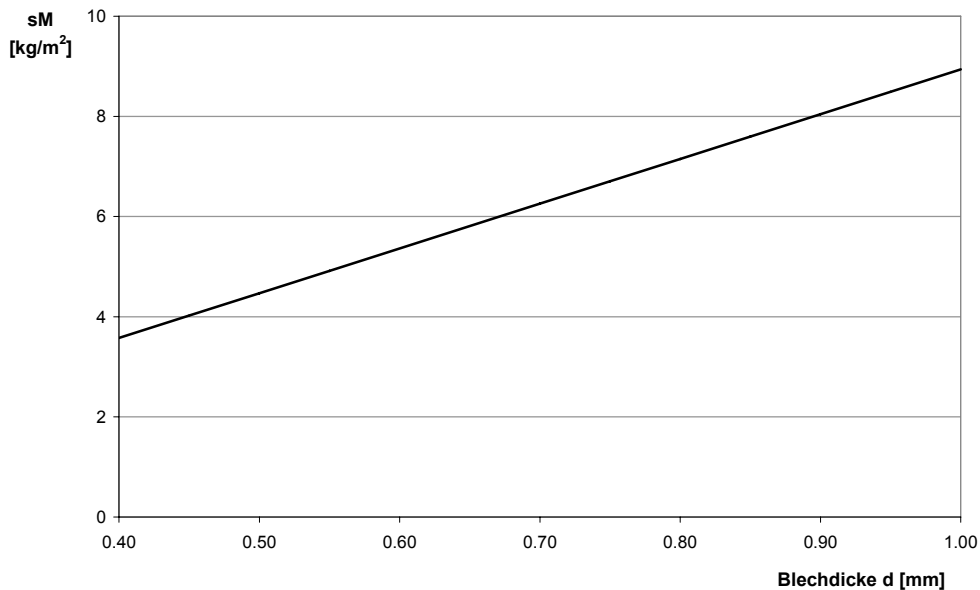








Abb. A-4: Spezifische Masse (Flächengewicht) von Kupferblechen, berechnet als Funktion der Blechdicke mit $\rho_{Cu} = 8.94 \text{ kg/dm}^3$.

A.1.4.2 Dachrinnen und Regenfallrohre

Die Entwässerungsanlage hängt unter anderem von der maximalen Regenspende der Region (Klima), der Grundrissfläche und dem Abflussbeiwert $\psi = \psi(\text{Dachneigung})$ ab. In Abhängigkeit von der Dachfläche (DF) variieren also mit der Rinnenausführung auch die Blechdicken und -breiten für das eingesetzte Metall (SCHMITT und HEENE 1996)(Tab. A-3). Die Zuschnittsbreite für kastenförmige Dachrinnen ist gleich derjenigen der halbrunden Rinnen.

Tab. A-3: Dimensionierung (Masse) von Dachrinnen und Regenfallrohren zur Dachentwässerung nach der DIN 18460 (nach SCHMITT und HEENE (1996)).

| DACH-GRUND-FLÄCHE m ² | RICHT-GRÖSSE DIN 18460 | ZU-SCHNITT mm | TEILIG | DACH-RINNEN d ₁ ϕ mm | ZUSCHNITTEILE mm | | | QUER-SCHNITT cm ² | REGEN-FALL-RÖHRE ϕ mm | GERINGSTE BLECHDICKE mm | | | |
|-------------------------------------|---------------------------|------------------|--------|---|------------------|----------------|----------------|---------------------------------|--------------------------|----------------------------|-----|-----|------|
| | | | | | d ₂ | e ₁ | f ₁ | | | ZN | CU | AL | STZN |
| 443 | 250 | 500 | 4 |  | 22 | 9 | 21 | 245 | 150 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,7 |
| 243 | 190 | 400 | 5 |  | 22 | 9 | 11 | 145 | 120 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,7 |
| 150 | 150 | 333 | 6 |  | 20 | 9 | 11 | 92 | 100 | 0,7 | 0,6 | 0,7 | 0,6 |
| 83 | 125 | 285 | 7 |  | 18 | 7 | 10 | 63 | 80 | 0,7 | 0,6 | 0,7 | 0,6 |
| 83 | 100 | 250 | 8 |  | 18 | 7 | 10 | 43 | 80 | 0,65 | 0,6 | 0,7 | 0,6 |
| 37 | 80 | 200 | 10 |  | 16 | 5 | 8 | 25 | 60 | 0,65 | 0,6 | 0,7 | 0,6 |

A.1.4.3 Rohre und Fittings

Die spezifische Masse von Rohren und Fittings hängt vom Durchmesser der Rohre und der Wanddicke ab, die sich im Allgemeinen bei der Anwendung in Sanitär- und Heizungsanlagen unterscheiden. Daher ist die Häufigkeit der verschiedenen Rohrdurchmesser zu untersuchen (Tab. A-4).

Tab. A-4: Sanitäranlage: Häufigkeitsverteilung verschiedener Durchmesser von Wasserrohren und deren Fittings anhand von Produktions-/Verkaufszahlen des Optipress-Systems (vgl. Tab. A-21). Quelle: nach GYSIN (2002).

| Durchmesser | | Material- querschnitt [mm ²] | Verteilung Laufmeter | | Verteilung Material | | relat. Anteil der Ø | | „Durchschnittsrohr“ | |
|--------------------------|--------------------------|--|----------------------|--------------|---------------------|---------------|---------------------|-----------------|-----------------------------|--------------------------------|
| Ø _{aus} [mm] | Ø _{inn} [mm] | | Rohre | Fittings | Rohre | Fittings | Rohre [%] | Fittings [%] | Rohre [mm ²] | Fittings [mm ²] |
| 15 | 13 | 44.0 | 224.4 | 413.7 | 9'870 | 18'195 | 6.5% | 8.9% | 2.86 | 3.90 |
| 18 | 16 | 53.4 | 102.1 | 186.1 | 5'453 | 9'939 | 3.6% | 4.8% | 1.92 | 2.59 |
| 22 | 20 | 66.0 | 398.8 | 680.1 | 26'310 | 44'869 | 17.4% | 21.9% | 11.46 | 14.43 |
| 28 | 25 | 124.9 | 310.6 | 455.4 | 38'787 | 56'870 | 25.6% | 27.7% | 31.97 | 34.62 |
| 35 | 32 | 157.9 | 223.3 | 259.4 | 35'251 | 40'950 | 23.3% | 20.0% | 36.73 | 31.51 |
| 42 | 39 | 190.9 | 80.7 | 81.7 | 15'402 | 15'593 | 10.2% | 7.6% | 19.40 | 14.51 |
| 54 | 50 | 326.7 | 62.6 | 57.3 | 20'453 | 18'721 | 13.5% | 9.1% | 44.10 | 29.82 |
| | | | | | 151'526 | 205'137 | 100.0% | 100.0% | 148.4 | 131.4 |

Die Korrelation von spezifischer Masse und Durchmesser ist für Kupferrohre in Abb. A-5 dargestellt. Die spezifische Masse von Heizungsrohren ist aufgrund einer geringeren Wanddicke kleiner als bei Wasserrohren.

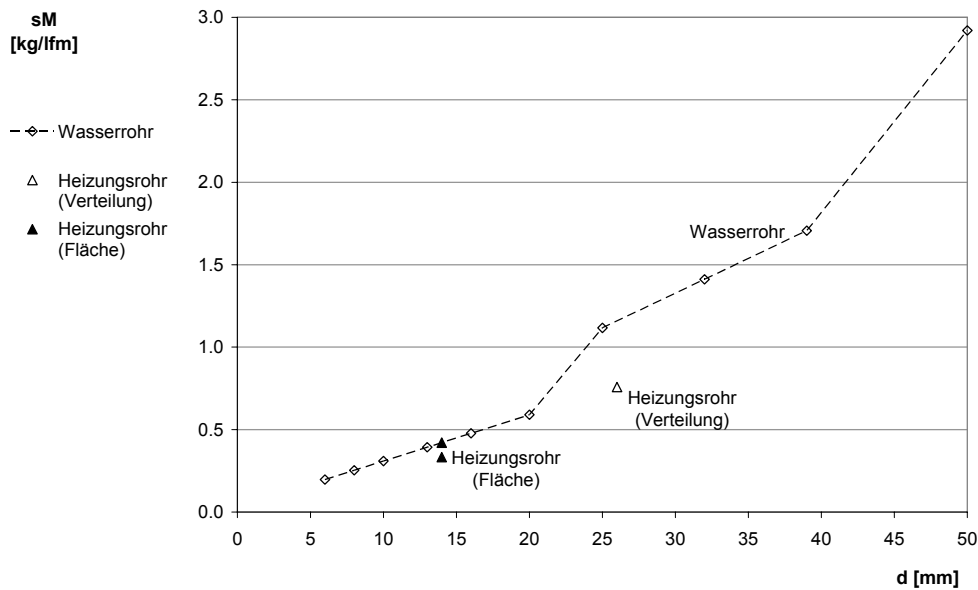


Abb. A-5: Spezifische Masse (sM) häufiger Kupferrohrtypen in Sanitär- und Heizungsanlagen, mit Innendurchmessern (d) von 1/8" bis 2". Die verschiedenen Wasserrohrtypen sind durch die gestrichelte Linie linear interpoliert. Im Vergleich dazu ist die spezifische Massen geläufiger Heizungsrohrtypen (Verteilleitungen bzw. Flächenheizung) geringer. Gewichtsangabe pro Laufmeter Rohr.

A.1.4.4 Roharmaturen (Heizung)

Die Verschiedenartigkeit der Roharmaturen erfordert eine Bestimmung des Gewichts und des Vorhandenseins der diversen Roharmaturentypen (Tab. A-5). Das durchschnittliche Stückgewicht beträgt 0.64 kg/Stück; unter Berücksichtigung des Messinganteils erhält man damit 0.40 kg Cu/Stück.

Tab. A-5: Basisdaten zur Bestimmung der spezifischen Masse und Installationsdichte von Roharmaturen der Heizungsanlage eines Einfamilienhauses (EFH3, BGF = 366 m²): Durch Multiplikation von Stückzahl und geschätztem durchschnittlichem Stückgewicht (Einzelgewicht) wird das Gesamtgewicht des Roharmaturentyps berechnet. Anschliessend wird das Messinggewicht (Ms) in Kupfer (Cu) umgerechnet. Die Roharmaturen bestehen aus Messing mit 63 % Kupferanteil. k.A.: keine Angabe. Quelle: eigene Erhebung.

| Roharmaturentyp | Armaturen [Stück] | Stückgewicht Ms [kg] | Gesamtgewicht Ms [kg] | Stückgewicht Cu [kg] | Gesamtgewicht Cu [kg] |
|--------------------|-------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| Kugelhähnen | 8 | 0.6 | 4.8 | 0.378 | 3.024 |
| Mischer | 1 | 0.8 | 0.8 | 0.504 | 0.504 |
| Umwälzpumpen | 1 | k.A. | k.A. | k.A. | k.A. |
| Bodenheizverteiler | 3 | 2.2 | 6.6 | 1.386 | 4.158 |
| Manometer | 1 | 0.2 | 0.2 | 0.126 | 0.126 |
| Entlüfter | 1 | 0.015 | 0.015 | 0.009 | 0.009 |
| Absperrventile | 1 | 0.25 | 0.25 | 0.158 | 0.158 |
| Kugelkesselhähnen | 4 | 0.6 | 2.4 | 0.378 | 1.512 |
| Thermometer | 4 | 0.052 | 0.21 | 0.033 | 0.131 |
| Total | 24 | | 15.273 | | 9.6 |

Zusammenfassend werden zur Berechnung des Kupferlagers im Hauptlager *Gebäude* die spezifischen Massen gemäss Tab. A-6 eingesetzt.

Tab. A-6: Spezifische Massen der Produktgruppen, die zur Berechnung der potentiellen Kupfergehalte verwendet werden (vgl. Kap. 3.2.1).

| Produktgruppe | [kg/lfm] | [kg/Stück] | [kg/m ²] | Einheit der ID |
|---------------------------|----------|--------------------|----------------------|-------------------------------------|
| Bedachung/Abdeckung | – | – | 5.581 | [m ² /m ² DF] |
| Dachrinnen | 1.784* | – | – | [lfm/m ² DF] |
| Fallrohre | 2.000** | – | – | [lfm/m ² DF] |
| Dachgaupen | – | – | 5.358 | [m ² /m ² DF] |
| Blitzableiter | 0.351 | – | – | [lfm/m ² DF] |
| Stromkabel | 0.057 | – | – | [lfm/m ² BGF] |
| Telekommunikationskabel | 0.013 | – | – | [lfm/m ² BGF] |
| Wasserrohre | 0.582 | – | – | [lfm/m ² BGF] |
| Fittings(Sanitär) | – | 0.100 | – | [Stück/m ² BGF] |
| Roharmaturen(Sanitär) | – | 2.129 | – | [Stück/m ² BGF] |
| Heizungsrohre(Verteilung) | 0.757 | – | – | [lfm/m ² BGF] |
| Fittings(Heizung) | – | 0.100 | – | [Stück/m ² BGF] |
| Roharmaturen(Heizung) | – | 0.600 [#] | – | [Stück/m ² BGF] |
| Heizungsrohre(Fläche) | 0.380*** | – | – | [lfm/m ² BGF] |

* Aufgrund der Dachgrösse sind bei DLG grössere Dachrinnen notwendig, daher gilt dort 2.500 kg/lfm.

** Aufgrund der Dachgrösse werden bei EFH schmalere Fallrohre eingesetzt (1.179 kg/lfm) und bei DLG weitere (2.375 kg/lfm).

*** Quelle: LUTZ (2004)

[#] Aufgrund der Gebäudegrösse sind bei DLG und PRG eine grössere Anzahl kleinerer Roharmaturen notwendig, daher gilt dort 0.200 kg/Stück.

A.1.5 Installationsdichte

Auf den folgenden Seiten sind die Berechnungen der Installationsdichte in den Referenzgebäuden durch Angabe der Produktmengen und der Bezugsflächen dokumentiert (eigene Messergebnisse aus Kap. 3.2.1). Die zur Ermittlung der PKG genutzten Werte werden zudem mit Literaturwerten verglichen.

A.1.5.1 Dachrinnen und Regenfallrohre

Aus der Literatur sind Wertebereiche von Installationsdichten nur für Wohngebäude zu berechnen. Die Werte in Tab. 3-2 stimmen mit den folgenden aus der Literatur überein (GRUHLER *et al.* 2002): $ID_{Rinne,EFH} \in [0.11-0.22]$ lfm/m² DF, $ID_{Fallrohr,EFH} \in [0.05-0.15]$ lfm/m² DF, $ID_{Rinne,MFH} \in [0.06-0.17]$ lfm/m² DF, $ID_{Fallrohr,MFH} \in [0.09-0.38]$ lfm/m² DF. In Görgs Arbeit sind die Rinnen- und Fallrohrängen bereits summiert, sodass ein Vergleich für die Summe der Installationsdichten von Rinnen und Fallrohren möglich ist (GÖRG 1997): Für EFH stimmt der Wert mit $ID_{Rinne} + ID_{Fallrohr} \in [0.22-0.32]$ überein; für MFH erhält Görg niedrigere Werte mit $ID_{Rinne} + ID_{Fallrohr} \in [0.04-0.20]$. Die Basisdaten der eigenen Erhebungen sind in Tab. A-7 aufgeführt.

Tab. A-7: Basisdaten (Messdaten) zur Bestimmung der Installationsdichten von Dachrinnen in Wohngebäuden: Rinnenlänge, Bruttogeschossfläche (BGF), berechnete Installationsdichte (ID). Der Installationsgrad wurde vom ausführenden Spengler eingeschätzt. Quelle: eigene Erhebungen.

| Gebäudetyp | Objekt | Rinnenlänge [lfm] | DF [m ²] | ID [lfm/m ² DF] | Bemerkung zum Installationsgrad |
|------------|--------|-------------------|----------------------|----------------------------|---------------------------------|
| EFH | EFH1 | 31 | 190 | 0.16 | Renovation |
| EFH | EFH5 | 77 | 333 | 0.23 | Renovation |
| MFH | MFH1 | 54 | 382 | 0.14 | innenliegende Rohre |

A.1.5.2 Stromkabel

Die Basisdaten der Erhebungen zu Stromkabeln in Referenzgebäuden sind in Tab. A-8 aufgelistet.

Tab. A-8: Basisdaten (Messdaten) zur Bestimmung der Installationsdichten von Stromkabeln in Wohngebäuden: Stromkabellänge, Bruttogeschossfläche (BGF), berechnete Installationsdichte (ID). Der Installationsgrad wurde vom ausführenden Elektriker eingeschätzt. Quelle: eigene Erhebungen.

| Gebäudetyp | Objekt | Kabellänge [lfm] | BGF [m ²] | ID [lfm/m ² BGF] | Bemerkung zum Installationsgrad |
|------------|--------|------------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| EFH | EFH1 | 548 | 492 | 1.1 | Standard |
| EFH | EFH2 | 854 | 415 | 2.1 | Standard |
| EFH | EFH4 | 3'600 | 796 | 4.5 | hoch, komfortabel |
| EFH | EFH5 | 1'452 | 558 | 2.6 | gehoben |
| MFH | MFH1 | ca. 5'500 | 1'339 | 4.1 | gehoben |

In Tab. A-9 sind Literaturwerte zur Installationsdichte von Stromkabeln zusammengestellt, wobei der Gebäudekatalog nach GÖRG (1997) eine Hauptquelle ist⁴. Die in GÖRG (1997) zitierten EFH bewegen sich im Durchschnitt mit 1.6 ± 0.9 lfm/m² BGF etwas höher als diejenigen der MFH 1.3 ± 0.5 lfm/m² BGF. Die eigenen Messergebnisse decken sich also mit den aus der Literatur abgeleiteten Installationsdichten.

⁴ Görg hat zur Entwicklung eines Prognosemodells für Bauabfälle einen Gebäudekatalog mit 38 Gebäudetypen erstellt (GÖRG 1997), von diesen stellt er Gebäudesteckbriefe für fünf EFH und acht MFH zur Verfügung. Sechs der acht MFH sind aus einem Gebäudeatlas entnommen (SCHULZE und WALTHER 1990). Die anderen Gebäude sind jeweils zur Hälfte aus anderen Quellen entnommen (HETTENBACH 1992; HALDIMANN 1991; ALBRECHT *et al.* 1984) und direkt aus Architektur- und Ingenieurbüros und Leistungsverzeichnissen erhoben.

Görg führte Gebäudeanalysen durch, die die Materialisierung der MFH beschreiben und hierdurch über die geometrischen Werte des Gebäudeatlas' hinausreichen (BGF, DF, Länge von Dachrinnen und Fallrohren). Die Angaben der Leitungslängen (Stromkabel, Wasserrohre, Heizungsrohre, Gasleitungen) ermöglichen damit eine Bestimmung der entsprechenden *Installationsdichten*. Allerdings ist nicht sicher, auf welche Weise diese Längen bestimmt wurden und zu welchem Zeitpunkt (Ist das Bezugsjahr das Bau-, Renovations- oder Abrissjahr?), vermutlich aber für alle in gleicher Weise. Dasselbe gilt ebenso für die EFH, doch die Gebäudeanalysen der fünf EFH stammen aus vier verschiedenen Literaturquellen, was die Vergleichbarkeit einschränkt; auch hier fehlt bei GÖRG (1997) eine Erläuterung der Erhebungsweise.

Die Leitungslängen der verschiedenen Funktionsbereiche sind nicht für alle Gebäude vorhanden. Mit Abstand am umfassendsten ist der Datensatz der Stromkabel (10 von 13), die anderen Gewerke sind nur in durchschnittlich 40 % der Gebäudeanalysen erfasst. Die mangelnden Erläuterungen lassen auch offen, ob die einzelnen Leitungslängenerhebungen vollständig sind oder möglicherweise bestimmte Teilbereiche ausnehmen (z.B. Steigleitungen). In diesem Sinne sind die Werte als „Mindestwerte“ zu verstehen.

Tab. A-9: Basisdaten aus der Literatur zur Bestimmung der Installationsdichten von Stromkabeln in Wohngebäuden: Kabellängen, Bruttogeschossflächen (BGF) und berechnete Installationsdichten (ID). Der Installationsgrad der aufgeführten Gebäude ist nicht dokumentiert. k.A.: keine Angabe; n.b.: nicht bestimmt. Quelle: diverse Erhebungen nach GÖRG (1997) (angeführt als Primärquelle, mit Ausnahme des letzten Gebäudes.

| Gebäude- typ | Objekt (Typvertreter) | Primärquelle | Kabellänge [lfm] | BGF ⁵ [m ²] | ID [lfm/m ² BGF] |
|-----------------|--------------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| EFH | EF I/MB | HETTENBACH (1992) | k.A. | k.A. | n.b. |
| EFH | EF II/MB | HALDIMANN (1991) | ca. 100 | 120 | ca. 0.8 |
| EFH | EF III/MB | HETTENBACH (1992) | 200 | k.A. | n.b. |
| EFH | EF IV/MB | Büro Wörner | 588 | ca. 230 | 2.5 |
| EFH | EF V/MB | Dorndorf | 313 | ca. 230 | 1.4 |
| MFH | MF I/MB | SCHULZE UND WALTHER (1990) | 625 | 630 | 0.99 |
| MFH | MF II/MB | SCHULZE UND WALTHER (1990) | 760 | 876 | 0.87 |
| MFH | MF III/MB | SCHULZE UND WALTHER (1990) | 875 | 881 | 0.99 |
| MFH | MF IV/MB | SCHULZE UND WALTHER (1990) | 1'750 | 1'722 | 1.0 |
| MFH | MF IV-V/BL | SCHULZE UND WALTHER (1990) | 936 | 720 | 1.3 |
| MFH | MFV/MB | LV Massivbau | 1'430 | ca. 720 | 2.0 |
| MFH | MF IV-V/SK | ALBRECHT <i>et al.</i> (1984) | ca. 8'100 | ca. 4'000 | ca. 2.0 |
| MFH | MF IV-V/PL | SCHULZE UND WALTHER (1990) | 1'100 | 971 | 1.1 |
| MFH | – | HERRMANN (1977) | ca. 4'600 | ca. 2'700 | ca. 1.7 |

⁵ Für das Mehrfamilienhaus „MF V/MB“ und die Einfamilienhäuser „EF IV/MB“ und „EF V/MB“ war statt der BGF die Wohnfläche angegeben. In diesen Fällen wurde – in Anlehnung an HENSELER *et al.* (2006) – die BGF durch einen Zuschlag zur Wohnfläche von 50 % (EFH) bzw. 100 % (MFH) ermittelt.

Exkurs: Indirekte Bestimmung über die Rückbau-Methode: Ergebnisse

Der Rückbau eines Dienstleistungsgebäudes wurde zur Bestimmung der eingesetzten Materialmassen genutzt („Rückbau-Methode“)(Abb. A-6).

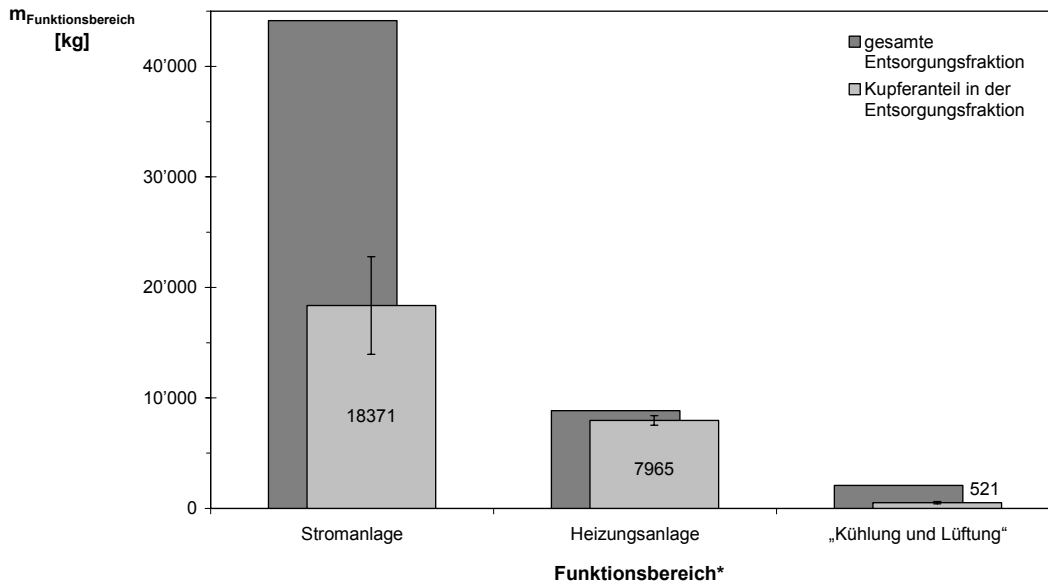


Abb. A-6: Ergebnisse der „Rückbau-Methode“: Massen der Entsorgungsfractionen beim Umbau des „Verwaltungszentrum Werd“, Zürich (DLG, ehemaliges Hauptbürogebäude der UBS AG). Dargestellt sind die gesamten kupferrelevanten Güterflussmassen (dunkelgrau) und der Massenanteil des Kupfers (hellgrau) für die Funktionsbereiche *Stromanlage*, *Heizungsanlage* und für „Kühlung und Lüftung“⁶; dazu sind die Unsicherheiten als Fehlerbalken sowie die Massen des Kupferanteils in Kilogramm angegeben. Quelle: eigene Erhebung der Güterflüsse in Zusammenarbeit mit S. Rubli (vgl. RUBLI (2003)).

A.1.5.3 Telekommunikationskabel

Eigene Erhebungen der Installationsdichte von Telekommunikationskabeln wurden in vier EFH und einem MFH durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tab. A-10 zusammengefasst.

Tab. A-10: Basisdaten (Messdaten) zur Bestimmung der Installationsdichten von Telekommunikationskabeln in Wohngebäuden: Länge der Telekommunikationskabel, Bruttogeschossfläche (BGF), berechnete Installationsdichte (ID). Der Installationsgrad wurde vom ausführenden Handwerker eingeschätzt. Quelle: eigene Erhebungen.

| Gebäude-typ | Objekt | Kabellänge [lfm] | BGF [m ²] | ID [lfm/m ² BGF] | Bemerkung zum Installationsgrad |
|-------------|--------|------------------|-----------------------|-----------------------------|---|
| EFH | EFH1 | 200 | 492 | 0.41 | Renovation eines Altbaus. Hoher Installationsgrad (jede Wohneinheit mit Tel und TV) |
| EFH | EFH2 | 82 | 415 | 0.20 | normaler Installationsgrad Sonnerie per U72 |
| EFH | EFH4 | 845 | 796 | 1.1 | hoher Installationsgrad |
| EFH | EFH5 | 471 | 558 | 0.84 | normaler Installationsgrad (Standard) |
| MFH | MFH1 | 815 | 1'339 | 0.61 | – |

⁶ Unter „Kühlung und Lüftung“ wurden bei der Erhebung vor allem die Elektromotoren der Lüftungsventilatoren berücksichtigt.

A.1.5.4 Wasserrohre

Eigene Erhebungen der Installationsdichte von Wasserrohren wurden im EFH4 durchgeführt: Eine Rohrlänge von 660 lfm auf einer BGF von 796 m² resultiert in einer Installationsdichte von 0.83 lfm/m² BGF.

In Tab. A-11 sind Literaturwerte zur Installationsdichte von Wasserrohren zusammengestellt (nach GÖRG (1997))⁷. Diese Installationsdichten variieren zwischen Einfamilienhäusern (1.08 lfm/m² BGF) und Mehrfamilienhäusern (0.10 ± 0.06 lfm/m² BGF) unerklärlich stark und können lediglich der Orientierung dienen.

Tab. A-11: Basisdaten aus der Literatur zur Bestimmung der Installationsdichten von Wasserrohren in Wohngebäuden: Rohrlänge, Bruttogeschossfläche (BGF) und berechnete Installationsdichte (ID). Quelle: diverse Erhebungen nach GÖRG (1997)(angeführt als Primärquelle).

| Gebäude- typ | Objekt (Typvertreter) | Primärquelle | Rohrlänge [lfm] | BGF ⁸ [m ²] | ID [lfm/m ² BGF] |
|-----------------|--------------------------|----------------------------|--------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| EFH | EF IV/MB | Büro Wörner | 334 | ca. 230 | 1.4 |
| MFH | MF I/MB | SCHULZE UND WALTHER (1990) | 120 | 630 | 0.19 |
| MFH | MF II/MB | SCHULZE UND WALTHER (1990) | 134 | 876 | 0.15 |
| MFH | MF III/MB | SCHULZE UND WALTHER (1990) | 82 | 881 | 0.09 |
| MFH | MF IV/MB | SCHULZE UND WALTHER (1990) | 90 | 1'722 | 0.05 |
| MFH | MF IV-V/BL | SCHULZE UND WALTHER (1990) | 57 | 720 | 0.08 |
| MFH | MF IV-V/PL | SCHULZE UND WALTHER (1990) | 50 | 971 | 0.05 |

EFH4 weist eine ca. vierfach höhere Installationsdichte auf als die MFH nach Görg (vgl. Tab. A-11). Ursache für diese hohe Installationsdichte ist einerseits der sehr komfortable Installationsgrad (Villengebäude), andererseits das Raumprogramm des Gebäudes mit einer Erstreckung der Wohnfläche auf fünf Stockwerke⁹.

Die Wasserrohrlänge des EFH EF IV/MB nach Görg ist fragwürdig hoch: Die BGF von 230 m² deutet nicht auf ein luxuriöses EFH hin; zudem sind die Leitungslängen von Trinkwasser- und Abwasserrohren üblicherweise ähnlich (vgl. GÖRG (1997)), jedoch beim EFH EF IV/MB ist die Länge der Trinkwasserrohre ca. 10mal grösser. Vermutlich handelt es sich um einen Ausreisser bzw. ist die Messungenauigkeit dort gross.

A.1.5.5 Fittings (Sanitär)

Die Installationsdichte von Wasserrohrfittings wurde in zwei EFH bestimmt (Tab. A-12). Bei beiden Gebäuden handelt es sich um Neubauten; der Installationsgrad des EFH4 ist komfortabel, und die Wohnfläche erstreckt sich über mehrere Stockwerke.

⁷ siehe Fussnote ⁴

⁸ siehe Fussnote ⁵

⁹ Das Raumprogramm dieses Doppelfamilienhauses weist eine Besonderheit auf: Da das Gebäude in Hanglage gebaut ist und einen kleinen Grundriss hat, ist die Wohnfläche auf fünf Stockwerken angeordnet. Alle fünf Stockwerke sind in beiden Wohnungen mit Sanitärinstallationen ausgestattet, was zu einer grossen Leitungslänge und hohen Installationsdichte der Wasserleitung führt.

Tab. A-12: Basisdaten (Messdaten eigener Erhebungen) zur Bestimmung der Installationsdichten von Fittings in Sanitäranlagen in Wohngebäuden: Stückzahl der Fittings, Bruttogeschossfläche (BGF), berechnete Installationsdichte (ID), mit Beschreibung des Fittingmaterials bzw. Installationsgrades (wurde vom ausführenden Handwerker eingeschätzt).

| Gebäude- typ | Objekt | Fittings [Stück] | BGF [m ²] | ID [Stück/m ² BGF] | Bemerkung zum Installationsgrad |
|-----------------|--------|---------------------|--------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| EFH | EFH4 | 227 | 796 | 0.29 | Material: Grauguss komfortabel |
| EFH | EFH5 | 56 | 558 | 0.10 | Material: Rotguss |

A.1.5.6 Roharmaturen (Sanitär)

Die Installationsdichte von Roharmaturen in Sanitäranlagen wurde in vier EFH bestimmt (Tab. A-13). Es ist möglich, dass die Einfamilienhäuser EFH1, EFH2 und EFH5 nicht vollständig erfasst sind. EFH4 hat einen hohen Installationsgrad.

Tab. A-13: Basisdaten zur Bestimmung der Installationsdichten von Roharmaturen in Sanitäranlagen in Wohngebäuden: Stückzahl der Roharmaturen, Bruttogeschossfläche (BGF), berechnete Installationsdichte (ID), mit Beschreibung des Armaturenmaterials bzw. Installationsgrades (wurde vom ausführenden Handwerker eingeschätzt). Quelle: eigene Erhebungen.

| Gebäude- typ | Objekt | Armaturen [Stück] | BGF [m ²] | ID [Stück/m ² BGF] | Bemerkung zum Installationsgrad |
|-----------------|--------|----------------------|--------------------------|----------------------------------|--|
| EFH | EFH1 | 7 | 492 | 0.01 | Material: Rotguss karge Ausführung |
| EFH | EFH2 | 4 | 415 | 0.01 | Material: Rotguss |
| EFH | EFH4 | 69 | 796 | 0.07 | Material: Rotguss ¹⁰ komfortabel |
| EFH | EFH5 | 12 | 558 | 0.02 | Material: Rotguss |

A.1.5.7 Heizungsrohre (Verteilung)

Die Installationsdichte von Heizungsrohren zur Verteilung wurde in EFH5 durchgeführt, jedoch beschränkt auf Steigstränge und Kellerverteilung. Eine Rohrlänge von 40 bis 60 lfm auf einer BGF von 558 m² resultiert in einer minimalen Installationsdichte von 0.07 bis 0.11 lfm/m² BGF.

In Tab. A-14 sind Literaturwerte zur Installationsdichte von Heizungsrohren zusammengestellt (nach GÖRG (1997)). Diese übersteigen mit 0.58 lfm/m² BGF für ein Einfamilienhaus und 0.49 bzw. 0.10 lfm/m² BGF für Mehrfamilienhäuser etwas den Wert des EFH5. Aufgrund der Aufnahme der Rohranteile in der Etagenverteilung sind die höheren Werte in der Literatur plausibel.

Tab. A-14: Basisdaten aus der Literatur zur Bestimmung der Installationsdichten von Heizungsrohren(Verteilung) in Wohngebäuden: Rohrlänge, Bruttogeschossfläche (BGF) und berechnete Installationsdichte (ID). Quelle: diverse Erhebungen nach GÖRG (1997) (angeführt als Primärquelle).

| Gebäude- typ | Objekt (Typvertreter) | Primärquelle | Rohrlänge [lfm] | BGF ¹¹ [m ²] | ID [lfm/m ² BGF] |
|-----------------|--------------------------|----------------------------|--------------------|--|--------------------------------|
| EFH | EF IV/MB | Büro Wörner | 180 | ca. 310 | 0.58 |
| MFH | MF V/MB | LV Massivbau | 350 | ca. 720 | 0.49 |
| MFH | MF IV-V/PL | SCHULZE UND WALTHER (1990) | 98 | 971 | 0.10 |

¹⁰ Das eingesetzte System war das Optipress/Optiflex-System der Fa. R. Nussbaum AG, Olten (siehe Tab. A-21).

¹¹ siehe Fussnote ⁵

Die Installationsdichten der drei Wohngebäude aus der Literatur liegen in einem Intervall von 0.1 bis 0.6 lfm/m² BGF. Der Vergleich zeigt, dass das EFH mit fast 0.6 lfm/m² BGF den Mittelwert der beiden MFH um ca. das zweifache übersteigt – trotz früherem Baujahr. Dies deutet an, dass:

- die Installationsdichte in EFH höher als in MFH ist (dies kann auf geometrische „Synergieeffekte“ bei grösseren Gebäuden zurückzuführen sein) und/oder
- die Installationsdichte von Heizungsrohren weniger homogen verteilt als die von Stromkabeln ist (zumindest bei Wohngebäuden)(vgl. Kap. A.1.5.2)

A.1.5.8 Fittings (Heizung)

Die Installationsdichte der Fittings für Heizungsrohre wurde im EFH3 (Neubau) bestimmt: Eine Anzahl Fittings von 20 Stück bezogen auf eine BGF von 366 m² resultiert in einer Installationsdichte von 0.05 Stück/m² BGF.

A.1.5.9 Roharmaturen (Heizung)

Die Installationsdichte von Roharmaturen in Heizungsanlagen wurde mit eigenen Erhebungen bestimmt (Tab. A-15). Die Erhebungen des EFH3 und insbesondere DLG1 sind detailliert und stückgenau; das Roharmatureninventar von EFH3 ist in Tab. A-5 aufgelistet. Die Erhebung an EFH5 könnte unvollständig sein und ist daher eine untere Grenze.

Tab. A-15: Basisdaten zur Bestimmung der Installationsdichten von Roharmaturen in Heizungsanlagen: Stückzahl der Roharmaturen, Bruttogeschossfläche (BGF), berechnete Installationsdichte (ID), mit Beschreibung des Armaturenmaterials. Quelle: eigene Erhebungen.

| Gebäude-typ | Objekt | Armaturen [Stück] | BGF [m ²] | ID [Stück/m ² BGF] | Bemerkung |
|-------------|--------|-------------------|-----------------------|-------------------------------|---------------------------|
| EFH | EFH3 | 24 | 366 | 0.07 | Material: Messing |
| EFH | EFH5 | 10 | 558 | 0.02 | Material: Messing |
| DLG | DLG1 | 1'330 | 11'430 | 0.12 | Material: Messing, Ametal |

A.1.5.10 Gasleitungen

Die ID von Gasleitungen in Wohngebäuden, die zur Versorgung der Gasboiler und Heizungen dienen, konnte auf der Basis der Arbeit von Görg bestimmt werden (GÖRG 1997)(Tab. A-16). Zur Versorgung von Gasboilern benötigt man Installationsdichten von 0.03 bis 0.06 lfm/m² BGF (fünf MFH)¹².

Tab. A-16: Basisdaten aus der Literatur zur Bestimmung der Installationsdichten von Gasrohren (Gasleitungen) in Wohngebäuden: Rohrlängen, Bruttogeschossflächen (BGF) und berechnete Installationsdichten (ID). Quelle: diverse Erhebungen nach GÖRG (1997) (angeführt als Primärquelle).

| Gebäude-typ | Objekt (Typvertreter) | Primärquelle | Gasrohr-länge [lfm] | BGF ¹³ [m ²] | ID [lfm/m ² BGF] |
|-------------|-----------------------|----------------------------|---------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| MFH | MF I/MB | SCHULZE UND WALTHER (1990) | 31 | 630 | 0.05 |
| MFH | MF II/MB | SCHULZE UND WALTHER (1990) | 33 | 876 | 0.04 |
| MFH | MF IV/MB | SCHULZE UND WALTHER (1990) | 51 | 1'722 | 0.03 |
| MFH | MF IV-V/BL | SCHULZE UND WALTHER (1990) | 42 | 720 | 0.06 |
| MFH | MF IV-V/PL | SCHULZE UND WALTHER (1990) | 32 | 971 | 0.03 |

¹² Das Gasleitungsnetz zur Versorgung von Heizungen ohne Gasboiler ist wesentlich kleiner; entsprechend sind bedeutend kleinere Installationsdichten zu erwarten (< 0.01 lfm/m² BGF).

¹³ siehe Fussnote ⁵

A.1.5.11 Überlegungen zum Einfluss äusserer Parameter

Exkurs I: Einfluss der Gebäudegeometrie auf die Installationsdichte im Dachbereich

- a) Die Installationsdichte der Dachrinnen ist gegeben durch den Quotient von Länge der Dachrinnen zur Dachfläche ($DF = A \cdot B$) und hängt damit von der Dachform ab (Tab. A-17).

Tab. A-17: Länge der Dachrinnen bei einfachem rechteckigem Grundriss mit FL = Firstlinie, A = lange Gebäudeseite, B = kurze Gebäudeseite. Angaben für die 2 Ausführungsweisen FL \parallel A und FL \parallel B.

| Dachform | FL \parallel A | FL \parallel B |
|-------------------------------|------------------|------------------|
| Flachdach | A | B |
| Pultdach | 2·A | 2·B |
| Walmdach/Mansarddach/Zeltdach | 2·(A+B) | |
| Satteldach mit Krüppelwalm | 2·A + [0..1]·2B | 2·B + [0..1]·2A |
| Sheddach | (2+x)·A | (2+x)·B |

- b) Die Installationsdichte der Fallrohre ist direkt proportional zur Dachhöhe und zur Anzahl der Fallrohre, welche ihrerseits abhängig ist von der Dachfläche ($DF = A \cdot B$), der Dachform (s.o.) und der Länge der Gebäudeseiten (A, B).

Exkurs II: Einfluss von Material- und Lohnkosten auf die Installationsdichte in der Haustechnik

Im Gegensatz zum Aussenbereich, bei dem die Installationsdichten durch die Gebäudegeometrie und die Eigenschaften der gewählten Materialien bestimmt sind, spielt in der Haustechnik der individuelle Anspruch an das Gebäude eine entscheidende Rolle. Da erhöhte Installationsgrade i.d.R. auch erhöhte Kosten bedeutet, resultiert die Entscheidung für einen bestimmten Installationsgrad beim Bau bzw. der Renovation eines Gebäudes aus einem individuellen Abwägen zwischen Bedarf und Kosten. Dementsprechend stark variiert die Installationsdichte (z.B. der Starkstrominstallation).

Zuweilen kann diese individuelle Wertschätzung nicht nur auf einen individuell hohen Lebensstil, sondern auch auf andere regionale Faktoren zurückgeführt werden (Demographie, Kundenpotential, Spar- und Investitionsverhalten der Region). Der zusätzliche Aufwand kann nämlich auch eine Investition in die künftige Marktfähigkeit einer Immobilie sein¹⁴.

These: Eine weitere Einflussgrösse auf den Ausbaustandard ist das regionale Lohnkostenniveau, da dadurch das Verhältnis von Material- zu Lohnkosten beeinflusst wird. Die Kosten für die international gehandelten Kupferwaren (Bleche, Rohre, Kabel etc.) sind auf dem umgebenden europäischen Markt einander weit ähnlicher als die Lohnkosten, deren regionale, meist national abgeschottete Märkte grosse Unterschiede aufweisen. Z.B. sind in der Schweiz auch die VDE-geprüften Installationskabel erlaubt, ist also ein Import aus Deutschland möglich, doch der Marktpreis für Dienstleistungen der Elektriker ist in der Schweiz tendenziell höher als im Umland. Da der Anteil der Materialkosten (vorgefertigter) Starkstromkabel an den gesamten Installationskosten relativ gering ist, spielt der zeitliche Aufwand des Installateurs eine Schlüsselrolle.

¹⁴ Ein aktuelles Beispiel dafür ist der vermehrte Einbau von Personenaufzügen in Mehrfamiliengebäude von ≥ 3 Stockwerken im Grossraum Zürich, obwohl ein Einbau nicht aufgrund der Feuerschutzrichtlinie vorgeschrieben ist. Allein die Perspektive, dass es gerade die Menschen in der zweiten Lebenshälfte sind, die bevorzugt als potentielle Wohnungskäufer auftreten, macht den Einbau eines Personenaufzugs zu einer wertsteigernden Investition, insbesondere hinsichtlich des Wiederverkaufswertes in künftigen Dekaden. Quelle: STUCKI (2002).

A.1.6 Häufigkeiten

A.1.6.1 Häufigkeit der Produktgruppe

Die Häufigkeit des Vorkommens der Produktgruppen, also in welchem Anteil der Gebäude die Produktgruppe realisiert ist, wird näherungsweise durch das Verteilmuster in Tab. A-18 bestimmt.

Tab. A-18: Übersicht über die relative *Häufigkeit der Produktgruppe* (Realisierung) (f_{PG}) angegeben für die 14 untersuchten Produktgruppen in den 4 Nutzungstypen Einfamilienhaus (EFH), Mehrfamilienhaus (MFH), Dienstleistungsgebäude (DLG) und Produktionsgebäude (PRG).

| Produktgruppe PG | f_{PG} [%] in EFH | f_{PG} [%] in MFH | f_{PG} [%] in DLG | f_{PG} [%] in PRG |
|---------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Bedachung/Abdeckung | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Dachrinnen | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Regenfallrohre | 80 | 50 | 50 | 50 |
| Dachgaupen | 35 | 40 | 20 | 0 |
| Blitzableiter | 30 | 20 | 50 | 80 |
| Stromkabel | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Telekommunikationskabel | 100 | 100 | 100 | 65 |
| Wasserrohre | 100 | 100 | 100 | 95 |
| Fittings(Sanitär) | | | | |
| Roharmaturen(Sanitär) | | | | |
| Heizungsrohre(Verteilung) | 100 | 100 | 100 | 10 |
| Fittings(Heizung) | | | | |
| Roharmaturen(Heizung) | | | | |
| Heizungsrohre(Fläche) | 60 | 30 | 10 | 2 |

A.1.6.2 Häufigkeit des Stoffes

Dachbereich

Im Dach sind die Möglichkeiten des Zusammenbaus unterschiedlicher Metalle wegen der elektrochemischen Spannungsreihe eingeschränkt. Kupfer selbst ist aufgrund seiner positiven Stellung nicht gefährdet, doch kann es andere unedlere Metalle gefährden. So sind beim Zusammenbau feuerverzinkter Stahl und Titanzink sowie Aluminium unterhalb des Kupfers oder im Kontakt dazu zu unterlassen (Tab. A-19). Durch Beschichtung oder Anodisierung können jedoch auch diese Metalle vor der Bildung eines elektrochemischen Elements geschützt werden (RÖBBERT 1994).

Tab. A-19: Möglicher Zusammenbau von Metallen am Bau. Blechmaterialien: Al: Aluminium; Pb: Blei; Cu: Kupfer; Zn: Zink; nrSt: nichtrostender Stahl; fvSt: feuerverzinkter Stahl. Quelle: SCHMITT und HEENE (1996).

| | Al | Pb | Cu | Zn | nrSt | fvSt |
|------|----|----|----|----|------|------|
| Al | + | + | - | + | + | + |
| Pb | + | + | + | + | + | + |
| Cu | - | + | + | - | + | - |
| Zn | + | + | - | + | + | + |
| nrSt | + | + | + | + | + | + |
| fvSt | + | + | - | + | + | + |

Die *Häufigkeit des Stoffes (fM)* ist bisher nicht ausreichend bestimmt worden. Aufgrund der optischen Unterscheidbarkeit der verschiedenen Materialien ist für den *Dachbereich* eine Erhebung durch eine Siedlungsbegehung möglich. Hilfreich ist bei der Bestimmung der Umstand, dass ein Zusammenbau verschiedener Materialien aus korrosionschemischen und ästhetischen Gründen häufig vermieden wird (Kap. 2.3.3).

Die Machbarkeit eines solchen Vorgehens wurde durch eine Gemeindebegehung in Bettingen BS untersucht, bei der pro Objekt die Ausführung der Spenglerarbeiten aufgenommen wurde (Tab. A-20). Da sich die Tabellenstruktur bei der Erhebung bewährt hat, kann sie als Vorlage für künftige Gemeindebegehungen dienen. Aus praktischen Gründen bietet sich eine gleichzeitige Untersuchung der *Häufigkeit der Produktgruppe* an.

Tab. A-20: Häufigkeiten der Produktgruppen (Spalten) und der Ausführungsmaterialien: Merkmalsbestimmung durch Ortsbegehung an der Lokalität Bettingen BS.

| Strasse NUTZUNGSTYP | Hausnr. | Dachrinne | | Regenfallrohre | | Dachrand- bleche | | Fläche [m ²] | Schnee- fanggitter [m] | Gaupen- dach [m ²] | Gaupen- seite [m ²] | Gaupen- front [m ²] | Gaupen Anzahl | Blitz schutz [m] | Dachfenster | | |
|------------------------|---------|--------------|--------|------------------|--------|---------------------|---------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------|------------------------|-------------|-------|---|
| | | Länge [m] | Anzahl | Länge [m] | Anzahl | Länge [m] | Breite [m] | | | | | | | | klein | gross | |
| EFH | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| DFH | | 2+4 | | Blech gestrichen | | | | | verzinkt | | | | | | | | |
| DFH | | 7+9 | | 31 | | 7 | | 30 | | | | | | | | | |
| EFH | | 11 | | 17 | 2 | 24 | | | | | | | | | | | |
| EFH | | 11 | | 8 | 2 | 8 | | | | | | | | | | | |
| MFH (2) | | 15 | | 15 | 2 | 7 | | 2 | | | | | | | | | |
| MFH (2) | | 21 | | 22 | 2 | 7 | | 2 | | | | | | | | | |
| MFH | | 25 | | 14 | 2 | 7 | | 2 | | | | | | | | | |
| MFH (3) | | 29 | | 25 | | 7 | | | | | | | | | | | |
| DFH | | 31+31a | | s. DRBe | | 5 | | 40 | | | | | | | | | |
| DFH | | 33+33a | | s. DRBe | | 5 | | 40 | | | | | | | | | |
| DFH | | 35+35a | | s. DRBe | | 5 | | 40 | | | | | | | | | |
| DFH | | 37+37a | | s. DRBe | | 5 | | 40 | | | | | | | | | |
| MFH | | 38 | | 20 | 2 | 7 | | 16 | | 6 | | | | | | | |
| DFH | | 39+39a | | s. DRBe | | 5 | | 40 | | | | | | | | | |
| DFH | | 41+41a | | s. DRBe | | 5 | | 40 | | | | | | | | | |
| EFH | | 42 | | 12 | 2 | 6 | | | | | | | | | | | |
| MFH (2) | | 43 | | | | stoff | | | | | | | | | | | |
| EFH | | 44 | | 12 | 2 | 6 | | | | | | | | | | | |
| EFH | | 46 | | Blech gestr. | | verzinkt | | | | | | | | | | | |
| DFH | | 47+49 | | | | Kunststoff | | verzinkt | | | | | | | | | |
| EFH | | 51 | | 17 | | 14 | | 36 | | | | | | | | | |
| EFH | | 53 | | 6 | 2 | 5 | | 5 | | | | | | | | | |
| DFH | | 54 | | Zn | | 5 | | 0.4 | | | | | | | | | |
| EFH | | 55 | | 6 | 2 | 5 | | 5 | | | | | | | | | |
| DFH | | 56 | | Zn | | 5 | | 0.4 | | | | | | | | | |
| EFH | | 57 | | 6 | 2 | 5 | | 10 | | | | | | | | | |
| DFH | | 58 | | Zn | | 5 | | 0.15 | | | | | | | | | |
| DFH | | 60 | | Zn | | | | | | | | | | | | | |
| EFH | | 62 | | eckig, 10 | 2 | 5 | | 4 | | | | | | | | | |
| EFH | | 64 | | 11 | 2 | 6 | | 20 | | | | | | | | | |
| MFH (3) | | 84 | | 35 | | 25 | | 3.5 | | | | | | | | | 1 |
| Rainweg | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Wohngebäude | 1 | | | | | 5 | | 2 | | 16 | | 0.3 | | | | | |

Sanitäranlage

Für die Sanitäranlagen ist die Häufigkeit der Ausführung in Kupfer (fM) durch die Sanitärssysteme bestimmt, die in der Schweiz vertrieben werden. Eine Übersicht der Systeme, die aufzeigt, woraus die Rohre, Fittings und Armaturen bestehen, liefert Tab. A-21.

Tab. A-21: Sanitärssysteme in der Schweiz: Hersteller, Systembezeichnung und Materialisierung der Rohre, Fittings und Armaturen (Rohrarmaturen). Die Systeme sind getrennt nach formstabilen Keller- und Steigleitungen (oben) und flexible Stockwerkverteilungen (unten). Zusätzlich ist ein Leitungssystem für Gas aufgeführt. k.A.: keine Angabe. Quelle: nach GYSIN (2002) und eigene Erhebungen.

| | Hersteller | System | Rohre | Fittings | Armaturen | Bemerkungen |
|----------------------------|-----------------------|-------------------------|---|---|-------------------------------------|------------------------------|
| Keller- und Steigleitungen | GF - Georg Fischer | Instaflex | Kunststoff Polybuten | Kunststoff Polybuten <i>verschweisst</i> | k.A. | |
| | | Temperguss- fittings | Eisen, verzinkt | Temperguss, verzinkt | k.A. | Bedeutung abnehmend |
| | Gunzenhauser | Sanipex | Kunststoff PE-X, <i>mit Al</i> | Rotguss | k.A. | |
| | | Sanipex MT | Kunststoff PE-X, mit Al | Kunststoff PE-X | k.A. | |
| | Geberit | Mapress Edelstahl | Edelstahl (Inox) | Edelstahl | Edelstahl | Bedeutung zunehmend |
| | | Mapress Kupfer | Kupfer | Kupfer auch Rotguss | k.A. | |
| | | Mapress C-Stahl | C-Stahl | C-Stahl | k.A. | |
| | | Mapress Edelflex | Edelstahl (Inox) mit PE-Mantel | Cr-Ni-Mo-Stahl | k.A. | neu auf dem Markt |
| | Nussbaum | Optipress | Edelstahl | Edelstahl Spezial-Rotguss | Edelstahl | |
| | | Cupress | Kupfer | Kupfer <i>auch Rotguss</i> | Rotguss | auch in Solaranlagen |
| Stockwerkverteilung | Geberit | Mepla | Kunststoffe PE-Xb und PE-HD, mit Al | Kunststoff PVDF auch Rotguss <i>Messing</i> | k.A. | |
| | GF - Georg Fischer | Flexalino | Kunststoff Polybuten | <i>Edelstahl und Messing verschweisst</i> | k.A. | |
| | Gunzenhauser | Sanipex | Kunststoff PE-X, mit Al | Rotguss | k.A. | |
| | | Sanipex MT | Kunststoff PE-X, mit Al | Kunststoff PE-X | k.A. | |
| | Nussbaum | Optiflex plus | Kunststoff PE-Xc (VPE-c-Rohr), mit Al | Rotguss | Rotgussgehäuse und Messing-Teile | existiert auch formstabil |
| Gas | Nussbaum | Cupress-G | Kupfer | Kupfer auch Rotguss | Messing | |

Heizungsanlage

Die Material-Einsatzprofile der *Referenzgebäude* sind Ausgangspunkt für die Bestimmung der bevorzugten Materialien (fM). Für den Funktionsbereich *Heizungsanlage* wird die Materialwahl in Tab. A-22 aufgelistet.

Tab. A-22: Synoptische Material-Einsatzprofile (fM_{PG}) der Referenzgebäude im Funktionsbereich *Heizungsanlage*. Gg: Grauguss; St: Stahl; Cu: Kupfer; Ms: Messing; Rg: Rotguss; Al-V.: Aluminium-Verbundrohre; V: Verbundstoffe; „–“: nicht realisiert; k.A.: keine Angabe.

| Referenzgebäude | EFH1 | EFH3 | EFH4 | EFH5 | MFH1 | DLG1 | DLG3 |
|---------------------------|-------|------|-------|------|------|------|------|
| Heizungsrohre(Verteilung) | St | k.A. | St | Cu | St | k.A. | St |
| Fittings(Heizung) | St | Gg | k.A. | Cu | St | k.A. | St |
| Roharmaturen(Heizung) | Rg,Ms | Ms | k.A. | Ms | Cu | Ms | – |
| Heizungsrohre(Fläche) | k.A. | k.A. | Al-V. | V | – | V | – |

Die Häufigkeit der Ausführung in Kupfer (fM), also in welchem Anteil der Gebäude die Produktgruppe durch eine Kupferausführung realisiert ist, wird näherungsweise durch das folgende Verteilmuster bestimmt (Tab. A-23):

Tab. A-23: Übersicht über die *Häufigkeit des Stoffs* (Materialisierung in Kupfer)(fM_{PG}) angegeben für die 14 untersuchten Produktgruppen in den 4 Nutzungstypen Einfamilienhaus (EFH), Mehrfamilienhaus (MFH), Dienstleistungsgebäude (DLG) und Produktionsgebäude (PRG). –*: Für die Roharmaturen ergibt sich durch den Einsatz von Legierungen eine verminderte Häufigkeit des Stoffs (Cu): Rotguss in Sanitäranlagen (Kupferanteil 91 %) bzw. Messing in Heizungsanlagen (Kupferanteil 65 %).

| Produktgruppe PG | fM _{Cu} [%] in EFH | fM _{Cu} [%] in MFH | fM _{Cu} [%] in DLG | fM _{Cu} [%] in PRG |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Bedachung/Abdeckung | 1 | 1 | 2 | 0 |
| Dachrinnen | 70 | 70 | 70 | 50 |
| Regenfallrohre | 70 | 70 | 70 | 50 |
| Dachgaupen | 80 | 80 | 80 | 60 |
| Blitzableiter | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Stromkabel | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Telekommunikationskabel | 95 | 95 | 85 | 85 |
| Wasserrohre | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Fittings(Sanitär) | | | | |
| Roharmaturen(Sanitär) | 91* | 91* | 91* | 91* |
| Heizungsrohre(Verteilung) | 10 | 5 | 5 | 5 |
| Fittings(Heizung) | | | | |
| Roharmaturen(Heizung) | 65* | 65* | 65* | 65* |
| Heizungsrohre(Fläche) | 40 | 40 | 40 | 40 |

A.1.7 Historische Entwicklung des Hauptlagers *Gebäude*

Die historische Entwicklung der Kupfergehalte ist in Tab. A-24 zusammengefasst.

Tab. A-24: Historischer Verlauf der Kupfergehalte der Funktionsbereiche bzw. Produktgruppen (FB/PG) im schweizerischen Gebäudebestand, dargestellt für die vier Nutzungstypen Einfamilienhaus (EFH), Mehrfamilienhaus (MFH), Dienstleistungsgebäude (DLG) und Produktionsgebäude (PRG). Daneben ist die Einheit des Kupfergehalts für die verschiedenen Funktionsbereiche bzw. Produktgruppen angegeben. Die Kupfergehalte basieren auf eingeschätzten bzw. extrapolierten spezifischen Massen, Installationsdichten und Häufigkeiten.

| EFH | FB/PG | Stand 1900 | 1925 | 1950 | 1975 | 2000 |
|-------------|--------------------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| [kg/qm BGF] | Stromanlage | 0.002 | 0.024 | 0.044 | 0.103 | 0.137 |
| [kg/qm BGF] | Telekommunikationsanlage | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.007 | 0.010 |
| [kg/qm BGF] | Heizungsanlage | 0.000 | 0.000 | 0.014 | 0.086 | 0.380 |
| [kg/qm BGF] | Sanitärianlage | 0.015 | 0.011 | 0.025 | 0.117 | 0.071 |
| [kg/qm DF] | Bedachung/Abdeckung | 0.000 | 0.065 | 0.065 | 0.065 | 0.065 |
| [kg/qm DF] | Dachentwässerung | 0.216 | 0.236 | 0.236 | 0.273 | 0.306 |
| [kg/qm DF] | Dachgaupen | 0.000 | 0.021 | 0.042 | 0.122 | 0.195 |
| [kg/qm DF] | Blitzableiter | 0.007 | 0.007 | 0.013 | 0.027 | 0.040 |
| MFH | FB/PG | Stand 1900 | 1925 | 1950 | 1975 | 2000 |
| [kg/qm BGF] | Stromanlage | 0.002 | 0.023 | 0.041 | 0.086 | 0.114 |
| [kg/qm BGF] | Telekommunikationsanlage | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.004 | 0.005 |
| [kg/qm BGF] | Heizungsanlage | 0.000 | 0.000 | 0.014 | 0.053 | 0.191 |
| [kg/qm BGF] | Sanitärianlage | 0.017 | 0.012 | 0.013 | 0.103 | 0.057 |
| [kg/qm DF] | Bedachung/Abdeckung | 0.000 | 0.065 | 0.065 | 0.065 | 0.065 |
| [kg/qm DF] | Dachentwässerung | 0.201 | 0.299 | 0.290 | 0.323 | 0.328 |
| [kg/qm DF] | Dachgaupen | 0.153 | 0.167 | 0.167 | 0.195 | 0.223 |
| [kg/qm DF] | Blitzableiter | 0.007 | 0.007 | 0.013 | 0.020 | 0.027 |
| DLG | FB/PG | Stand 1900 | 1925 | 1950 | 1975 | 2000 |
| [kg/qm BGF] | Stromanlage | 0.007 | 0.068 | 0.123 | 0.257 | 0.342 |
| [kg/qm BGF] | Telekommunikationsanlage | 0.001 | 0.001 | 0.005 | 0.012 | 0.013 |
| [kg/qm BGF] | Heizungsanlage | 0.000 | 0.000 | 0.014 | 0.052 | 0.115 |
| [kg/qm BGF] | Sanitärianlage | 0.017 | 0.012 | 0.013 | 0.058 | 0.042 |
| [kg/qm DF] | Bedachung/Abdeckung | 0.000 | 0.065 | 0.065 | 0.065 | 0.131 |
| [kg/qm DF] | Dachentwässerung | 0.201 | 0.353 | 0.345 | 0.401 | 0.409 |
| [kg/qm DF] | Dachgaupen | 0.077 | 0.084 | 0.084 | 0.098 | 0.111 |
| [kg/qm DF] | Blitzableiter | 0.007 | 0.007 | 0.013 | 0.027 | 0.067 |
| PRG | FB/PG | Stand 1900 | 1925 | 1950 | 1975 | 2000 |
| [kg/qm BGF] | Stromanlage | 0.005 | 0.026 | 0.051 | 0.115 | 0.171 |
| [kg/qm BGF] | Telekommunikationsanlage | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| [kg/qm BGF] | Heizungsanlage | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.008 |
| [kg/qm BGF] | Sanitärianlage | 0.014 | 0.010 | 0.012 | 0.020 | 0.029 |
| [kg/qm DF] | Bedachung/Abdeckung | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| [kg/qm DF] | Dachentwässerung | 0.121 | 0.242 | 0.224 | 0.250 | 0.292 |
| [kg/qm DF] | Dachgaupen | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| [kg/qm DF] | Blitzableiter | 0.013 | 0.013 | 0.040 | 0.093 | 0.107 |

Berechnungsvorschrift

Die stufenweise Lagerentwicklung wird mathematisch beschrieben durch Zuhilfenahme einer Hilfsvariablen i auf Ordinalniveau, die die Abfolge der diskreten Stichjahre abbildet (Tab. A-25). Mithilfe der Hilfsvariablen werden dann die Lager M_i aus den Bezugsflächen (BGF, DF) und den Kupfergehalten (KG) (vgl. Tab. A-24) für die Quartale berechnet (Tab. A-26).

Tab. A-25: Zuordnungstabelle von Stichjahr zur Hilfsvariablen $i \in \mathbb{N}$ zur Berechnung.

| Stichjahr | 1900 | 1925 | 1950 | 1975 | 2000 |
|-------------------|------|------|------|------|------|
| Hilfsvariable i | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

Tab. A-26: Berechnungsvorschrift für die Entwicklung der Teillager M_i . Die Entwicklungen der Bezugsflächen (BGF bzw. DF) sowie der Kupfergehalte (KG) infolge Renovationstätigkeiten werden „rekursiv“ für die Stichjahre unter Zuhilfenahme der Hilfsvariablen i berücksichtigt.

| Teillager | $i = 1$: 1900 ¹⁵ | $i > 1$: 1925, 1950, 1975, 2000 |
|-------------------------------------|------------------------------|---|
| Dachbereich | $M_i = DF_i \cdot KG_i$ | |
| Strom- und Telekommunikationsanlage | $M_i = BGF_i \cdot KG_i$ | $M_i = (BGF_i - BGF_{i-1}) \cdot KG_i + BGF_{i-1} \cdot KG_{i-1}$ |
| Sanitär- und Heizungsanlage | $M_i = BGF_i \cdot KG_i$ | $M_i = (BGF_i \cdot KG_i) + \sum_{j=1}^{i-1} \left(\left(BGF_{j+1} - \sum_{k=1}^j BGF_k \right) \cdot KG_{j+1} \right)$ |

¹⁵ Da die Dynamik der Lagerentwicklung zu Beginn des Jahrhunderts noch gering war, wurden die Kupfergehalte (KG) für das Stichjahr 1900 vereinfacht abgeschätzt, zuweilen in fixer Relation des Kupfergehalts von 1925. Z.B. wurde für Telekommunikationskabel und Blitzableiter jeweils der gleiche KG angenommen wie 1925, für die Stromkabel ein Zehntel, für die Heizungsinstallation und die Bedachung/Abdeckung 0 usw.

A.1.8 Einfluss langanhaltender Renovationszyklen auf das Hauptlager Gebäude

Lagersättigung „Stand 2000“

Durch Multiplikation des aktuellen Kupfergehalts (Tab. 3-14) mit den entsprechenden Bezugsflächen der Nutzungstypen (Tab. 2-8) erhält man eine Gesamtmenge des Kupferlagers von ca. 660'000 t in den Gebäuden, was einem Pro-Kopf-Lager von 91 kg entspricht. Diese Menge, die eine Renovierung aller Altbauten im IV. Quartal impliziert, verteilt sich in den 4 Teilbeständen auf die Funktionsbereiche wie in Abb. A-7 dargestellt.

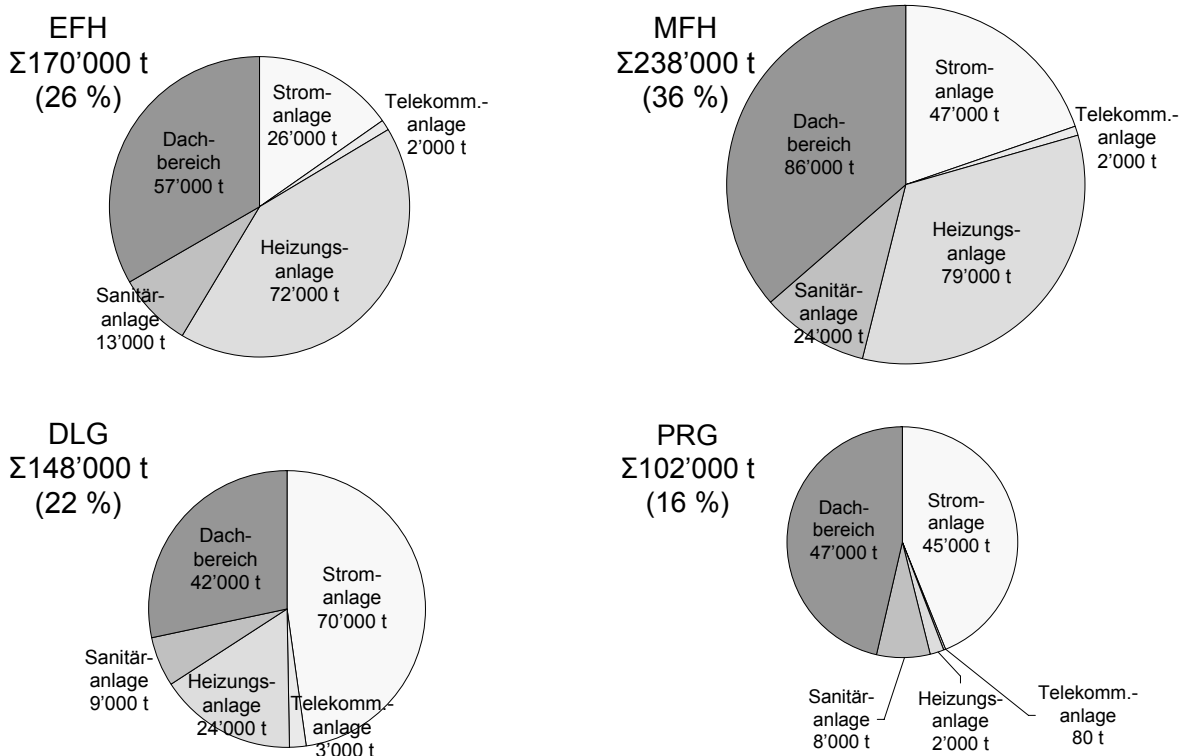


Abb. A-7: Verteilung des Kupferlagers in den 4 Teilbeständen *Einfamilienhaus* (EFH), *Mehrfamilienhaus* (MFH), *Dienstleistungsgebäude* (DLG) und *Produktionsgebäude* (PRG) auf die Funktionsbereiche. Mengenangaben der Funktionsbereiche in Tonnen, daneben die Summe aller Funktionsbereiche pro Teilbestand (Σ); die Prozentangaben beschreiben den Anteil des Kupferlagers im Teilbestand bezogen auf den Gesamtbestand der Gebäude ($\Sigma = 100\%$).

Nach Zusammenfassung der Einzelergebnisse aus diesen Teilbeständen ist ersichtlich, dass der Dachbereich, die Stromanlage und die Heizungsanlage zusammen mehr als 90 % des Gesamtlagers ausmachen, wobei der Dachbereich mit seinen Blechen (40 %) der kupferreichste Funktionsbereich ist (Abb. A-8). Die anderen beiden Funktionsbereiche tragen jeweils zu ca. ¼ zum Gesamtlager bei. Die verbleibenden ca. 10 % werden massgeblich durch die Sanitäranlagen (7 %) aufgebaut, wohingegen die Telekommunikationsanlagen mit < 1 % vernachlässigbar bleiben. Das Kupferlager in den Gebäuden befindet sich demnach zu ca. 40 % im Dach (Aussenbereich) und zu 60 % in der Haustechnik.

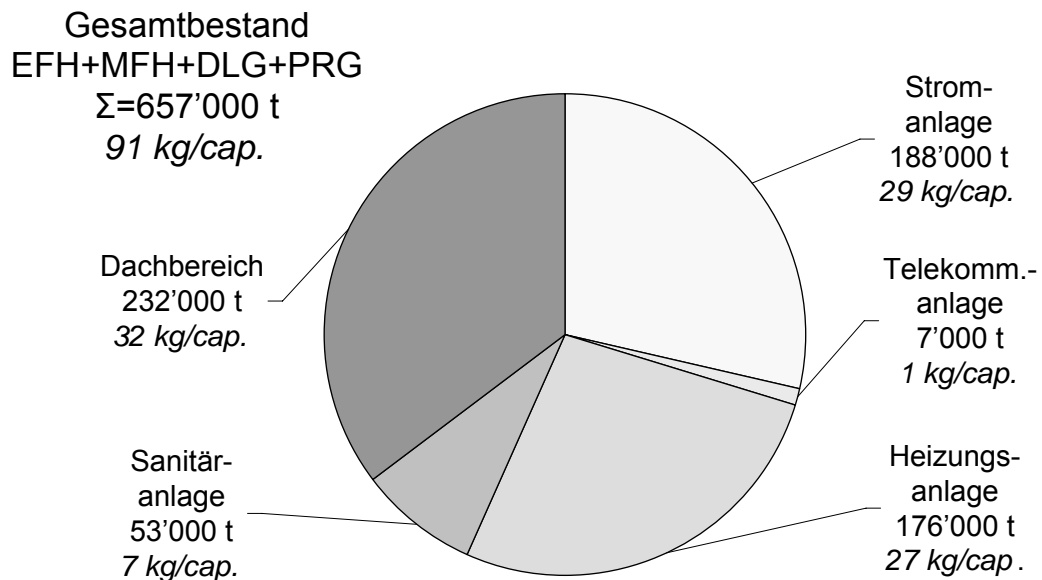


Abb. A-8: Verteilung des Kupferlagers im Gebäudebestand der Schweiz auf die Funktionsbereiche. Mengenangaben in Tonnen (gerundet auf 1'000 t) und pro Kopf [kg/capita](kursiv).

N.B.: Die Berechnung dieser fiktiven Kupferlager beruht – im Gegensatz zu Abb. 3-8 – implizit auf der Annahme, dass der gesamte Gebäudebestand mit dem Installationsgrad des Jahres 2000 ausgerüstet ist bzw. heutige Kupfergehalte hat. Sie dient hier der Verdeutlichung, welche Bedeutung die Berücksichtigung der Renovationszyklen hat. Da die Kupfergehalte der unrenovierten Altbauten dadurch überschätzt werden, handelt es sich um eine „Obergrenze“ des Lagers (vgl. Kap. 2.8.1.2). Die Nachrüstungsverzögerung aufgrund längerer Renovationszyklen in der Haustechnik wird durch die historische Betrachtung gewährt (siehe Kap. 3.5.1).

A.2 Infrastruktur

Die Infrastrukturanlagen einer Region sind gemäss den transportierten Versorgungsgütern in Versorgungsbereiche zu gruppieren (Tab. A-27).

Tab. A-27: Übersicht über die Versorgungsbereiche und Versorgungsgüter der Infrastruktur mit Angabe der Infrastrukturaufwendungen für Produktion, Übertragung und Verteilung sowie Entsorgung der Versorgungsgüter.

| Versorgungsbereich | Versorgungsgut | Produktion | Übertragung und Verteilung | Entsorgung |
|--------------------|-----------------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Elektrizität | Strom | Kraftwerk | Stromleitung | – |
| Gas | Heizgas | Gasgewinnung | Gasleitung | – |
| Verkehr | Menschen, Waren (Fahrzeuge) | – | Strasse, Schiene | – |
| Wasser | Wasser | Wasserwerk | Trinkwasserleitung | siehe Abwasser |
| Abwasser | Wasser | – | Abwasserleitung (Kanalisation) | Kläranlage |
| Abfallbeseitigung | Materie | – | Abfuhr | Entsorgungsbetrieb, Deponie |
| Telefonie | Information | Telefonzentrale | Telefonleitung | – |
| TV-Kabelnetz | Information | Sendezentrale | TV-Kabelleitung | – |

A.2.1 Stromnetz

Leitungslängen

Die in der Literatur belegten Erhebungen der Starkstrom-Leitungslängen sind in Tab. A-28 gegeben.

Tab. A-28: Leitungslängen nach Leitungsstatistik der Schweiz, mit Unterteilung nach Spannungsebene und Verlegeform. Quelle: EGGENBERGER (1990)/MUTZNER (1995); MAIBACH *et al.* (1995)/KNOEPFEL (1995).

| Spannungsebene | Spannung [kV] | nach EGGENBERGER (1990) | | nach MAIBACH <i>et al.</i> (1995) | |
|----------------|---------------|-------------------------|------------|-----------------------------------|------------|
| | | Freileitungen [km] | Kabel [km] | Freileitungen [km] | Kabel [km] |
| Höchstspannung | 400 | 1'100 | 0 | 1'091 | 0 |
| | 220 | 4'670 | 31 | 4'837 | 33 |
| Hochspannung | 150 | 4'800 | 600 | 2'762 | 317 |
| | 50 | | | 4'550 | 600 |
| Mittelspannung | 20 | 19'000 | 24'600 | 24'192 | 17'660 |
| | 10 | | | 2'521 | 4'580 |
| Niederspannung | 0.4 | 3'000 | 87'000 | 70'000 | 207'000 |

Strangquerschnitt

Der *Hauptquerschnitt* beschreibt den technischen Aufbau des Kabels:

- die *Anzahl* der Leiteradern
- ihren *Aderquerschnitt*
- ob eine Schutzader vorhanden ist (Zahl nach dem Schrägstrich gibt Querschnitt an)

Beispielsweise bedeutet die Hauptquerschnitts-Bezeichnung „3x150/95“, dass das Kabel aus 3 Linienleitern à 150 mm² plus einem PEN-Leiter à 95 mm² besteht. Aus dem Leiterquerschnitt und der Beschreibung des Hauptquerschnittes lässt sich die Querschnittsfläche pro Kabel ermitteln. Durch Multiplikation mit der Anzahl Kabel pro System erhält man – über die Kupferdichte – die spezifische Masse der Kabelsysteme. In der Schweiz sind pro Spannungsebene ca. 10 bis 15 Kabeltypen normalisiert (NS: 17; MS: 8; HS: 14)(Tab. A-29).

Tab. A-29: Übersicht über die normalisierten Kabeltypen („Normkabel“) von Starkstromnetzen mit technischer Beschreibung des Kabelaufbaus, geordnet nach Spannungsebene (NS: Nieder-, MS: Mittel- und HS: Hochspannung)¹⁶. Leiterquerschnitt (A_L), Hauptquerschnitt, Querschnittsfläche pro Kabel (A_K)¹⁷, Anzahl der Kabel pro System (N_S) und berechnete *spezifische Masse* pro System (sM). Quelle: BRUGG KABEL (1996)(so genannte „Kabelbibel“).

| Spannungs- ebene | A_L [mm ²] | Haupt- querschnitt | A_K [mm ²] | N_S [Stück] | sM [t/km] |
|---------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------|------------------|----------------|
| NS | 6 | 3x6/6 | 24 | 1 | 0.21 |
| NS | 10 | 3x10/10 | 40 | 1 | 0.36 |
| NS | 16 | 3x16/16 | 64 | 1 | 0.57 |
| NS | 25 | 3x25/25 | 100 | 1 | 0.89 |
| NS | 50 | 3x50/50 | 200 | 1 | 1.79 |
| NS | 95 | 3x95/95 | 380 | 1 | 3.40 |
| NS | 150 | 3x150/95 | 545 | 1 | 4.87 |
| NS | 150 | 3x150/150 | 600 | 1 | 5.36 |
| NS | 16 | 4x16 | 64 | 1 | 0.57 |
| NS | 25 | 4x25 | 100 | 1 | 0.89 |
| NS | 50 | 4x50 | 200 | 1 | 1.79 |
| NS | 95 | 4x95 | 380 | 1 | 3.40 |
| NS | 150 | 4x150 | 600 | 1 | 5.36 |
| NS | 95 | 1x95 | 95 | 3 | 2.55 |
| NS | 150 | 1x150 | 150 | 3 | 4.02 |
| NS | 240 | 1x240 | 240 | 3 | 6.44 |
| NS | 150 | 3x150+95 | 545 | 1 | 4.87 |
| MS | 50 | 50/16 | 66 | 3 | 1.77 |
| MS | 95 | 95/25 | 120 | 3 | 3.22 |
| MS | 150 | 150/35 | 185 | 3 | 4.96 |
| MS | 240 | 240/35 | 275 | 3 | 7.38 |
| MS | 50 | 50 | 50 | 3 | 1.34 |
| MS | 95 | 95 | 95 | 3 | 2.55 |
| MS | 150 | 150 | 150 | 3 | 4.02 |
| MS | 240 | 240 | 240 | 3 | 6.44 |
| HS | 120 | 120 | 120 | 3 | 3.22 |
| HS | 150 | 150 | 150 | 3 | 4.02 |
| HS | 185 | 185 | 185 | 3 | 4.96 |
| HS | 240 | 240 | 240 | 3 | 6.44 |
| HS | 300 | 300 | 300 | 3 | 8.05 |
| HS | 400 | 400 | 400 | 3 | 10.73 |
| HS | 500 | 500 | 500 | 3 | 13.41 |
| HS | 630 | 630 | 630 | 3 | 16.90 |
| HS | 95 | 95 | 95 | 3 | 2.55 |
| HS | 800 | 800 | 800 | 3 | 21.46 |
| HS | 1'000 | 1'000 | 1'000 | 3 | 26.82 |
| HS | 1'200 | 1'200 | 1'200 | 3 | 32.18 |
| HS | 1'600 | 1'600 | 1'600 | 3 | 42.91 |
| HS | 2'000 | 2'000 | 2'000 | 3 | 53.64 |

¹⁶ Die Höchstspannungskabel werden nur selten ausgeführt und daher existieren keine Hauptquerschnitte. Sie werden individuell auf Bestellung angefertigt.

¹⁷ Zur Veranschaulichung: Die Querschnittsfläche pro Kabel [mm²] stimmt numerisch überein mit der Anzahl Liter im Volumen eines Kilometers Leiterkörper (1 mm² entspricht 1 l/km Kabel).

A.2.2 Verkehrsnetze der Schweiz

Die Streckennetze des öffentlichen Verkehrs in der Schweiz sind im weltweiten Vergleich sehr gut ausgebaut. Die historische Entwicklung des Ausbaus der Streckennetze ist in Tab. A-9 veranschaulicht.

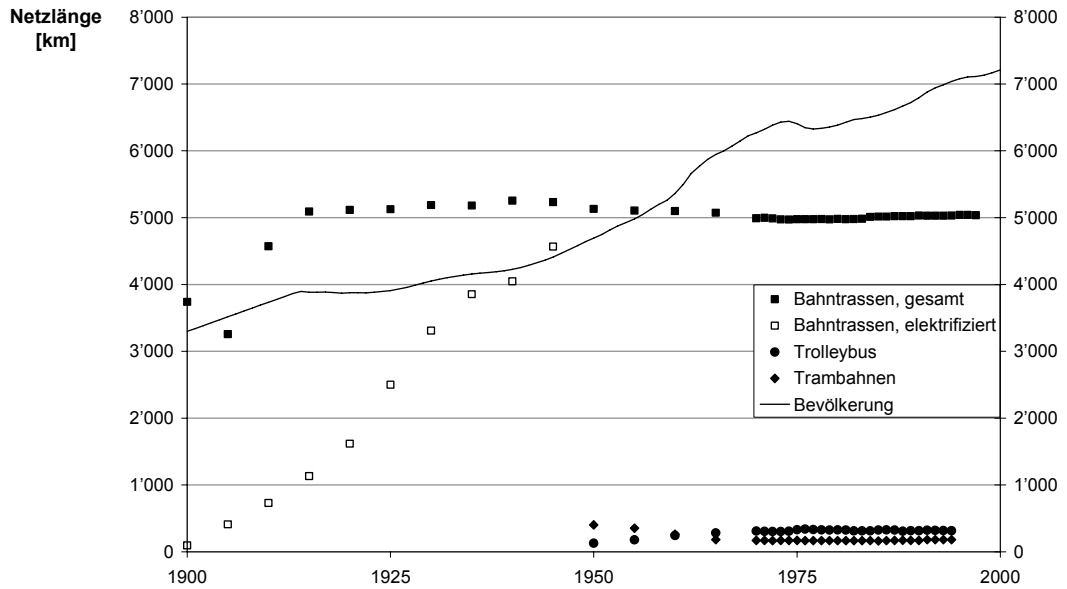


Abb. A-9: Historische Entwicklung der Verkehrsstreckennetze der Schweiz im 20. Jahrhundert. Quelle: Schweizerische Verkehrsstatistik (BFS 1994).

A.3 Übersicht über die Lager

A.3.1 Die urbanen Lagerstätten der Schweiz

In diversen Studien sind urbane Lagerstätten bereits untersucht worden, so dass für die Schweiz ein relativ umfangreiches Datenset existiert (Tab. A-30).

Tab. A-30: Ausgewählte Stofflagermengen in der Nutzungsphase in der Schweiz zu Ende des 20. Jahrhunderts (Pro-Kopf-Mengenangaben). Quelle: diverse Literatur (siehe Spalte).

| Stoff/Material | Lagermenge [t/capita] | Quelle |
|------------------------------|-----------------------|--|
| Kies/Sand, Zementwaren, Gips | 370 | LICHTENSTEIGER (2005) |
| Ziegelwaren | 20 | LICHTENSTEIGER (2005) |
| Stahl | 5–10 | ZELTNER (1992) |
| Holz | 5 | MÜLLER (1998) |
| Kunststoffe | 1 | LICHTENSTEIGER (1998) |
| Aluminium | 1 | WEBER (1990) |
| Kupfer | 0.3 | vorliegende Arbeit |
| Zink | 0.3 | BACCINI und BADER (1996) ¹⁸ |
| Cadmium | < 0.001 ¹⁹ | nach BACCINI und BRUNNER (1991) |

¹⁸ Das Zinklager ist im Projekt „RESUB“ untersucht worden. Das Lager in der Nutzungsphase beträgt ca. 300 kg/capita und in der Landwirtschaft 200 kg/capita.

¹⁹ Pro Jahr werden in der Schweiz ca. 60–70 t Cadmium eingesetzt, also 0.010 kg/capita. Unter der Annahme, dass dieser Fluss ungefähr konstant ist und er das derzeitige Lager näherungsweise über die vergangenen 50 Jahre aufgebaut hat, beträgt die Lagermenge ungefähr 0.5 bis 1.0 kg/capita (BACCINI und BRUNNER 1991).

A.3.2 Unsicherheitsanalyse der Hochrechnungen

Zur Berechnung der Lagerunsicherheiten nach der Methode der Gauss'schen Fehlerfortpflanzung und der Monte-Carlo-Methode wurden die Unsicherheiten der Eingangsdaten abgeschätzt. Die Formeln zur Berechnung der drei Hauptlager (Mittelwerte M_i) und ihrer Unsicherheiten (ΔM_i) gemäss Gl. 26 in Kap. 4.3.1 sind im Folgenden aufgeführt (Gl. 1– Gl. 3).

Gl. 1: *Gebäude*

$$M_{\text{Gebäude}} = \sum_{\text{NT}}^4 N_{\text{NT}} \cdot \sum_{\text{BE}}^2 \left[A_{\text{BE}} \cdot \sum_{\text{PG} \in \text{BE}} (f_{\text{PG}} \cdot f_{\text{M}_{\text{PG}}} \cdot \text{ID}_{\text{PG}} \cdot s_{\text{M}_{\text{PG}}}) \right]$$

mit NT: Nutzungstyp; N_{NT} : Anzahl Gebäude des Teilbestands NT; BE: Bauelement; A_{BE} : Bezugsfläche des Bauelements; PG: Produktgruppe (eines Bauelements); f_{PG} : Häufigkeit der Produktgruppe PG; $f_{\text{M}_{\text{PG}}}$: Häufigkeit des Materials der Produktgruppe PG; ID_{PG} : Installationsdichte der Produktgruppe PG; $s_{\text{M}_{\text{PG}}}$: spezifische Masse der Produktgruppe PG.

Gl. 2: *Infrastruktur*

$$M_{\text{Infrastruktur}} = \rho_{\text{Cu}} \cdot \left(\sum_{i=0}^3 L_i \cdot V_{\text{K},i} \cdot A_{\text{K},i} + \sum_{j=1}^4 L_j \cdot V_{\text{F},j} \cdot A_{\text{F},j} + \sum_{k=1}^3 n_k \cdot m_k + \sum_{l=1}^3 L_l \cdot A_l + \sum_{m=1}^4 L_m \cdot A_m \right)$$

mit ρ_{Cu} : Kupferdichte; i, j : Spannungsebene; L_i, L_j : Stranglänge pro Spannungsebene; $V_{\text{K},i}$: Kabelanteil der Spannungsebene i (Verlegeart); $A_{\text{K},i}$: durchschnittlicher Strangquerschnitt der Kabel der Spannungsebene i ; $V_{\text{F},i}$: Freileitungsanteil der Spannungsebene i (Verlegeart); $A_{\text{F},i}$: durchschnittlicher Strangquerschnitt der Freileitungen der Spannungsebene i ; k : Leistungsklasse der Transformatoren; n_k : Anzahl Transformatoren der Leistungsklasse k ; m_k : durchschnittliche Kupfermasse der Transformatoren der Leistungsklasse k ; l : Kabeltyp der Telekommunikation; L_l : Kabellänge des Kabeltyps l ; A_l : durchschnittlicher Kabelquerschnitt (Kupfer) des Kabeltyps l ; m : Transportmitteltyp; L_m : Streckennetz des Transportmitteltyps m ; A_m : durchschnittlicher Leiterquerschnitt des Transportmitteltyps m .

Gl. 3: *Mobilien*

$$M_{\text{Mobilien}} = \sum_{i=1}^{23} c_{\text{Cu},i} \cdot (n_i \cdot m_i)$$

mit i : Gut; $c_{\text{Cu},i}$: durchschnittliche Kupferkonzentration des Guts i ; n_i : Stückzahl des Guts i ; m_i : durchschnittliches Stückgewicht des Guts i .

Die eingesetzten Eingangsdaten *Mittelwert* \pm *Unsicherheit* bzw. *Standardabweichung* sind für die Gebäude in Tab. A-31 bis Tab. A-34, für die Infrastruktur in Tab. A-35 und für die Mobilien in Tab. A-36 tabellarisch zusammengefasst. Die Annahmen zur Unsicherheit bei der Berechnung des Deponielagers ist aufgrund der Einfachheit bereits in Kap. 3.4.2 integriert.

Tab. A-31: Berechnung des Kupferlagers in den Gebäuden: Mittelwert und absolute Unsicherheit der Eingangsparameter zur Berechnung der Unsicherheit des Lagers im Teilbestand vom Nutzungstyp (NT) *Einfamilienhaus*. Parameterbezeichnung durch Angabe des Bauelements (BE), der Produktgruppe und der Messgrösse. – Einheiten: Bezugsfläche (A): [10^6 m^2]; Häufigkeit der Produktgruppe (fP), Häufigkeit des Materials (fM): relative Häufigkeit; Installationsdichte (ID): [kg/m^2 ‚Bezugsfläche‘]; spezifische Masse (sM): [$\text{kg}/\text{Produktmenge}$].

| Par.Nr. | NT | BE | Produktgruppe | Messgrösse | | Mittelwert | Unsicherheit |
|---------|-----|----|---------------------------|---------------------|-------|------------|--------------|
| p1 | EFH | | KEINE | Anzahl (Geb) | N(NT) | 874'078 | 87'407.8 |
| p2 | EFH | HT | KEINE | Bezugsfläche (HT) | A(HT) | 216 | 32.4 |
| p3 | EFH | HT | Stromkabel | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0.01 |
| p4 | EFH | HT | Stromkabel | Häufigkeit Material | fM | 1.000 | 0.01 |
| p5 | EFH | HT | Stromkabel | Installationsdichte | ID | 2.400 | 0.40 |
| p6 | EFH | HT | Stromkabel | spezifische Masse | sM | 0.057 | 0.01 |
| p7 | EFH | HT | Telekommunikationskabel | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0.01 |
| p8 | EFH | HT | Telekommunikationskabel | Häufigkeit Material | fM | 0.950 | 0.02 |
| p9 | EFH | HT | Telekommunikationskabel | Installationsdichte | ID | 0.800 | 0.20 |
| p10 | EFH | HT | Telekommunikationskabel | spezifische Masse | sM | 0.013 | 0.02 |
| p11 | EFH | HT | Heizungsrohre(Fläche) | Häufigkeit Produkt | fP | 0.600 | 0.15 |
| p12 | EFH | HT | Heizungsrohre(Fläche) | Häufigkeit Material | fM | 0.400 | 0.10 |
| p13 | EFH | HT | Heizungsrohre(Fläche) | Installationsdichte | ID | 3.167 | 0.30 |
| p14 | EFH | HT | Heizungsrohre(Fläche) | spezifische Masse | sM | 0.380 | 0.04 |
| p15 | EFH | HT | Heizungsrohre(Verteilung) | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0.02 |
| p16 | EFH | HT | Heizungsrohre(Verteilung) | Häufigkeit Material | fM | 0.100 | 0.05 |
| p17 | EFH | HT | Heizungsrohre(Verteilung) | Installationsdichte | ID | 0.900 | 0.30 |
| p18 | EFH | HT | Heizungsrohre(Verteilung) | spezifische Masse | sM | 0.757 | 0.05 |
| p19 | EFH | HT | Fittinge(Heizung) | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0.02 |
| p20 | EFH | HT | Fittinge(Heizung) | Häufigkeit Material | fM | 0.100 | 0.05 |
| p21 | EFH | HT | Fittinge(Heizung) | Installationsdichte | ID | 0.050 | 0.015 |
| p22 | EFH | HT | Fittinge(Heizung) | spezifische Masse | sM | 0.100 | 0.01 |
| p23 | EFH | HT | Roharmaturen(Heizung) | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0.02 |
| p24 | EFH | HT | Roharmaturen(Heizung) | Häufigkeit Material | fM | 0.650 | 0.02 |
| p25 | EFH | HT | Roharmaturen(Heizung) | Installationsdichte | ID | 0.070 | 0.035 |
| p26 | EFH | HT | Roharmaturen(Heizung) | spezifische Masse | sM | 0.500 | 0.20 |
| p27 | EFH | HT | Wasserröhre | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0.02 |
| p28 | EFH | HT | Wasserröhre | Häufigkeit Material | fM | 0.100 | 0.04 |
| p29 | EFH | HT | Wasserröhre | Installationsdichte | ID | 0.500 | 0.20 |
| p30 | EFH | HT | Wasserröhre | spezifische Masse | sM | 0.582 | 0.05 |
| p31 | EFH | HT | Fittinge(Sanitär) | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0.02 |
| p32 | EFH | HT | Fittinge(Sanitär) | Häufigkeit Material | fM | 0.100 | 0.04 |
| p33 | EFH | HT | Fittinge(Sanitär) | Installationsdichte | ID | 0.100 | 0.04 |
| p34 | EFH | HT | Fittinge(Sanitär) | spezifische Masse | sM | 0.080 | 0.008 |
| p35 | EFH | HT | Roharmaturen(Sanitär) | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0.02 |
| p36 | EFH | HT | Roharmaturen(Sanitär) | Häufigkeit Material | fM | 0.910 | 0.02 |
| p37 | EFH | HT | Roharmaturen(Sanitär) | Installationsdichte | ID | 0.030 | 0.02 |
| p38 | EFH | HT | Roharmaturen(Sanitär) | spezifische Masse | sM | 1.500 | 0.60 |
| p39 | EFH | DA | KEINE | Bezugsfläche (DA) | A(DA) | 107 | 16.05 |
| p40 | EFH | DA | Bedachung/Abdeckung | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0 |
| p41 | EFH | DA | Bedachung/Abdeckung | Häufigkeit Material | fM | 0.010 | 0.005 |
| p42 | EFH | DA | Bedachung/Abdeckung | Installationsdichte | ID | 1.170 | 0.06 |
| p43 | EFH | DA | Bedachung/Abdeckung | spezifische Masse | sM | 5.581 | 0.40 |
| p44 | EFH | DA | Dachrinnen | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0.02 |
| p45 | EFH | DA | Dachrinnen | Häufigkeit Material | fM | 0.700 | 0.08 |
| p46 | EFH | DA | Dachrinnen | Installationsdichte | ID | 0.200 | 0.02 |
| p47 | EFH | DA | Dachrinnen | spezifische Masse | sM | 1.784 | 0.21410568 |
| p48 | EFH | DA | Regenfallrohre | Häufigkeit Produkt | fP | 0.800 | 0.05 |
| p49 | EFH | DA | Regenfallrohre | Häufigkeit Material | fM | 0.700 | 0.08 |
| p50 | EFH | DA | Regenfallrohre | Installationsdichte | ID | 0.060 | 0.01 |
| p51 | EFH | DA | Regenfallrohre | spezifische Masse | sM | 1.682 | 0.20188944 |
| p52 | EFH | DA | Dachgaupen | Häufigkeit Produkt | fP | 0.350 | 0.10 |
| p53 | EFH | DA | Dachgaupen | Häufigkeit Material | fM | 0.800 | 0.08 |
| p54 | EFH | DA | Dachgaupen | Installationsdichte | ID | 0.130 | 0.02 |
| p55 | EFH | DA | Dachgaupen | spezifische Masse | sM | 5.358 | 0.40 |
| p56 | EFH | DA | Blitzableiter | Häufigkeit Produkt | fP | 0.300 | 0.10 |
| p57 | EFH | DA | Blitzableiter | Häufigkeit Material | fM | 1.000 | 0.20 |
| p58 | EFH | DA | Blitzableiter | Installationsdichte | ID | 0.380 | 0.06 |
| p59 | EFH | DA | Blitzableiter | spezifische Masse | sM | 0.351 | 0.07 |

Tab. A-32: Berechnung des Kupferlagers in den Gebäuden: Mittelwert und absolute Unsicherheit der Eingangsparameter zur Berechnung der Unsicherheit des Lagers im Teilbestand vom Nutzungstyp (NT) *Mehrfamilienhaus*. Parameterbezeichnung durch Angabe des Bauelements (BE), der Produktgruppe und der Messgrösse. – Einheiten: Bezugsfläche (A): [10^6 m^2]; Häufigkeit der Produktgruppe (fP), Häufigkeit des Materials (fM): relative Häufigkeit; Installationsdichte (ID): [$\text{Produktmenge}/\text{m}^2$, Bezugsfläche]; spezifische Masse (sM): [$\text{kg}/\text{Produktmenge}$].

| Par.Nr. | NT | BE | Produktgruppe | Messgrösse | | Mittelwert | Unsicherheit |
|---------|-----|----|---------------------------|---------------------|-------|------------|--------------|
| p60 | MFH | | KEINE | Anzahl (Geb) | N(NT) | 586'390 | 87'958.5 |
| p61 | MFH | HT | KEINE | Bezugsfläche (HT) | A(HT) | 705 | 70.5 |
| p62 | MFH | HT | Stromkabel | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0.01 |
| p63 | MFH | HT | Stromkabel | Häufigkeit Material | fM | 1.000 | 0.01 |
| p64 | MFH | HT | Stromkabel | Installationsdichte | ID | 2.000 | 0.40 |
| p65 | MFH | HT | Stromkabel | spezifische Masse | sM | 0.057 | 0.01 |
| p66 | MFH | HT | Telekommunikationskabel | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0.01 |
| p67 | MFH | HT | Telekommunikationskabel | Häufigkeit Material | fM | 0.950 | 0.03 |
| p68 | MFH | HT | Telekommunikationskabel | Installationsdichte | ID | 0.400 | 0.20 |
| p69 | MFH | HT | Telekommunikationskabel | spezifische Masse | sM | 0.013 | 0.02 |
| p70 | MFH | HT | Heizungsrohre(Fläche) | Häufigkeit Produkt | fP | 0.300 | 0.10 |
| p71 | MFH | HT | Heizungsrohre(Fläche) | Häufigkeit Material | fM | 0.400 | 0.10 |
| p72 | MFH | HT | Heizungsrohre(Fläche) | Installationsdichte | ID | 2.929 | 0.30 |
| p73 | MFH | HT | Heizungsrohre(Fläche) | spezifische Masse | sM | 0.380 | 0.04 |
| p74 | MFH | HT | Heizungsrohre(Verteilung) | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0.02 |
| p75 | MFH | HT | Heizungsrohre(Verteilung) | Häufigkeit Material | fM | 0.050 | 0.03 |
| p76 | MFH | HT | Heizungsrohre(Verteilung) | Installationsdichte | ID | 0.900 | 0.30 |
| p77 | MFH | HT | Heizungsrohre(Verteilung) | spezifische Masse | sM | 0.757 | 0.07 |
| p78 | MFH | HT | Fittinge(Heizung) | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0.02 |
| p79 | MFH | HT | Fittinge(Heizung) | Häufigkeit Material | fM | 0.050 | 0.03 |
| p80 | MFH | HT | Fittinge(Heizung) | Installationsdichte | ID | 0.050 | 0.015 |
| p81 | MFH | HT | Fittinge(Heizung) | spezifische Masse | sM | 0.100 | 0.01 |
| p82 | MFH | HT | Roharmaturen(Heizung) | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0.02 |
| p83 | MFH | HT | Roharmaturen(Heizung) | Häufigkeit Material | fM | 0.650 | 0.02 |
| p84 | MFH | HT | Roharmaturen(Heizung) | Installationsdichte | ID | 0.070 | 0.035 |
| p85 | MFH | HT | Roharmaturen(Heizung) | spezifische Masse | sM | 0.500 | 0.30 |
| p86 | MFH | HT | Wasserröhre | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0.02 |
| p87 | MFH | HT | Wasserröhre | Häufigkeit Material | fM | 0.100 | 0.04 |
| p88 | MFH | HT | Wasserröhre | Installationsdichte | ID | 0.500 | 0.20 |
| p89 | MFH | HT | Wasserröhre | spezifische Masse | sM | 0.582 | 0.07 |
| p90 | MFH | HT | Fittinge(Sanitär) | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0.02 |
| p91 | MFH | HT | Fittinge(Sanitär) | Häufigkeit Material | fM | 0.100 | 0.04 |
| p92 | MFH | HT | Fittinge(Sanitär) | Installationsdichte | ID | 0.100 | 0.04 |
| p93 | MFH | HT | Fittinge(Sanitär) | spezifische Masse | sM | 0.080 | 0.008 |
| p94 | MFH | HT | Roharmaturen(Sanitär) | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0.02 |
| p95 | MFH | HT | Roharmaturen(Sanitär) | Häufigkeit Material | fM | 0.910 | 0.02 |
| p96 | MFH | HT | Roharmaturen(Sanitär) | Installationsdichte | ID | 0.020 | 0.01 |
| p97 | MFH | HT | Roharmaturen(Sanitär) | spezifische Masse | sM | 1.500 | 0.60 |
| p98 | MFH | DA | KEINE | Bezugsfläche (DA) | A(DA) | 229 | 22.9 |
| p99 | MFH | DA | Bedachung/Abdeckung | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0.00 |
| p100 | MFH | DA | Bedachung/Abdeckung | Häufigkeit Material | fM | 0.010 | 0.005 |
| p101 | MFH | DA | Bedachung/Abdeckung | Installationsdichte | ID | 1.170 | 0.06 |
| p102 | MFH | DA | Bedachung/Abdeckung | spezifische Masse | sM | 5.581 | 0.40 |
| p103 | MFH | DA | Dachrinnen | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0.02 |
| p104 | MFH | DA | Dachrinnen | Häufigkeit Material | fM | 0.700 | 0.08 |
| p105 | MFH | DA | Dachrinnen | Installationsdichte | ID | 0.140 | 0.02 |
| p106 | MFH | DA | Dachrinnen | spezifische Masse | sM | 2.500 | 0.300048 |
| p107 | MFH | DA | Regenfallrohre | Häufigkeit Produkt | fP | 0.500 | 0.10 |
| p108 | MFH | DA | Regenfallrohre | Häufigkeit Material | fM | 0.700 | 0.08 |
| p109 | MFH | DA | Regenfallrohre | Installationsdichte | ID | 0.100 | 0.01 |
| p110 | MFH | DA | Regenfallrohre | spezifische Masse | sM | 2.357 | 0.28279524 |
| p111 | MFH | DA | Dachgaupen | Häufigkeit Produkt | fP | 0.400 | 0.10 |
| p112 | MFH | DA | Dachgaupen | Häufigkeit Material | fM | 0.800 | 0.08 |
| p113 | MFH | DA | Dachgaupen | Installationsdichte | ID | 0.130 | 0.02 |
| p114 | MFH | DA | Dachgaupen | spezifische Masse | sM | 5.358 | 0.40 |
| p115 | MFH | DA | Blitzableiter | Häufigkeit Produkt | fP | 0.200 | 0.08 |
| p116 | MFH | DA | Blitzableiter | Häufigkeit Material | fM | 1.000 | 0.20 |
| p117 | MFH | DA | Blitzableiter | Installationsdichte | ID | 0.380 | 0.07 |
| p118 | MFH | DA | Blitzableiter | spezifische Masse | sM | 0.351 | 0.07 |

Tab. A-33: Berechnung des Kupferlagers in den Gebäuden: Mittelwert und absolute Unsicherheit der Eingangsparameter zur Berechnung der Unsicherheit des Lagers im Teilbestand vom Nutzungstyp (NT) *Dienstleistungsgebäude*. Parameterbezeichnung durch Angabe des Bauelements (BE), der Produktgruppe und der Messgrösse. – Einheiten: Bezugsfläche (A): [10^6 m^2]; Häufigkeit der Produktgruppe (fP), Häufigkeit der Materials (fM): relative Häufigkeit; Installationsdichte (ID): [$\text{Produktmenge}/\text{m}^2$, Bezugsfläche]; spezifische Masse (sM): [$\text{kg}/\text{Produktmenge}$].

| Par.Nr. | NT | BE | Produktgruppe | Messgrösse | | Mittelwert | Unsicherheit |
|---------|-----|----|---------------------------|---------------------|-------|------------|--------------|
| p120 | DLG | HT | KEINE | Bezugsfläche (HT) | A(HT) | 1'271 | 190.65 |
| p121 | DLG | HT | Stromkabel | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0.005 |
| p122 | DLG | HT | Stromkabel | Häufigkeit Material | fM | 1.000 | 0.01 |
| p123 | DLG | HT | Stromkabel | Installationsdichte | ID | 6.000 | 3.00 |
| p124 | DLG | HT | Stromkabel | spezifische Masse | sM | 0.057 | 0.015 |
| p125 | DLG | HT | Telekommunikationskabel | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0.01 |
| p126 | DLG | HT | Telekommunikationskabel | Häufigkeit Material | fM | 0.850 | 0.10 |
| p127 | DLG | HT | Telekommunikationskabel | Installationsdichte | ID | 1.200 | 0.30 |
| p128 | DLG | HT | Telekommunikationskabel | spezifische Masse | sM | 0.013 | 0.03 |
| p129 | DLG | HT | Heizungsrohre(Fläche) | Häufigkeit Produkt | fP | 0.100 | 0.08 |
| p130 | DLG | HT | Heizungsrohre(Fläche) | Häufigkeit Material | fM | 0.400 | 0.10 |
| p131 | DLG | HT | Heizungsrohre(Fläche) | Installationsdichte | ID | 3.800 | 0.30 |
| p132 | DLG | HT | Heizungsrohre(Fläche) | spezifische Masse | sM | 0.380 | 0.04 |
| p133 | DLG | HT | Heizungsrohre(Verteilung) | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0.01 |
| p134 | DLG | HT | Heizungsrohre(Verteilung) | Häufigkeit Material | fM | 0.050 | 0.03 |
| p135 | DLG | HT | Heizungsrohre(Verteilung) | Installationsdichte | ID | 0.900 | 0.30 |
| p136 | DLG | HT | Heizungsrohre(Verteilung) | spezifische Masse | sM | 0.757 | 0.08 |
| p137 | DLG | HT | Fittinge(Heizung) | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0.01 |
| p138 | DLG | HT | Fittinge(Heizung) | Häufigkeit Material | fM | 0.050 | 0.03 |
| p139 | DLG | HT | Fittinge(Heizung) | Installationsdichte | ID | 0.050 | 0.015 |
| p140 | DLG | HT | Fittinge(Heizung) | spezifische Masse | sM | 0.100 | 0.015 |
| p141 | DLG | HT | Roharmaturen(Heizung) | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0.01 |
| p142 | DLG | HT | Roharmaturen(Heizung) | Häufigkeit Material | fM | 0.650 | 0.02 |
| p143 | DLG | HT | Roharmaturen(Heizung) | Installationsdichte | ID | 0.070 | 0.035 |
| p144 | DLG | HT | Roharmaturen(Heizung) | spezifische Masse | sM | 0.500 | 0.30 |
| p145 | DLG | HT | Wasserröhre | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0.02 |
| p146 | DLG | HT | Wasserröhre | Häufigkeit Material | fM | 0.100 | 0.04 |
| p147 | DLG | HT | Wasserröhre | Installationsdichte | ID | 0.250 | 0.10 |
| p148 | DLG | HT | Wasserröhre | spezifische Masse | sM | 0.582 | 0.08 |
| p149 | DLG | HT | Fittinge(Sanitär) | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0.02 |
| p150 | DLG | HT | Fittinge(Sanitär) | Häufigkeit Material | fM | 0.100 | 0.04 |
| p151 | DLG | HT | Fittinge(Sanitär) | Installationsdichte | ID | 0.050 | 0.02 |
| p152 | DLG | HT | Fittinge(Sanitär) | spezifische Masse | sM | 0.080 | 0.012 |
| p153 | DLG | HT | Roharmaturen(Sanitär) | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0.02 |
| p154 | DLG | HT | Roharmaturen(Sanitär) | Häufigkeit Material | fM | 0.910 | 0.02 |
| p155 | DLG | HT | Roharmaturen(Sanitär) | Installationsdichte | ID | 0.020 | 0.01 |
| p156 | DLG | HT | Roharmaturen(Sanitär) | spezifische Masse | sM | 1.500 | 0.60 |
| p157 | DLG | DA | KEINE | Bezugsfläche (DA) | A(DA) | 358 | 71.6 |
| p158 | DLG | DA | Bedachung/Abdeckung | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0 |
| p159 | DLG | DA | Bedachung/Abdeckung | Häufigkeit Material | fM | 0.020 | 0.01 |
| p160 | DLG | DA | Bedachung/Abdeckung | Installationsdichte | ID | 1.170 | 0.06 |
| p161 | DLG | DA | Bedachung/Abdeckung | spezifische Masse | sM | 5.581 | 0.40 |
| p162 | DLG | DA | Dachrinnen | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0.05 |
| p163 | DLG | DA | Dachrinnen | Häufigkeit Material | fM | 0.700 | 0.08 |
| p164 | DLG | DA | Dachrinnen | Installationsdichte | ID | 0.140 | 0.03 |
| p165 | DLG | DA | Dachrinnen | spezifische Masse | sM | 3.126 | 0.37506 |
| p166 | DLG | DA | Regenfallrohre | Häufigkeit Produkt | fP | 0.500 | 0.10 |
| p167 | DLG | DA | Regenfallrohre | Häufigkeit Material | fM | 0.700 | 0.08 |
| p168 | DLG | DA | Regenfallrohre | Installationsdichte | ID | 0.100 | 0.01 |
| p169 | DLG | DA | Regenfallrohre | spezifische Masse | sM | 2.944 | 0.35330652 |
| p170 | DLG | DA | Dachgaupen | Häufigkeit Produkt | fP | 0.200 | 0.10 |
| p171 | DLG | DA | Dachgaupen | Häufigkeit Material | fM | 0.800 | 0.08 |
| p172 | DLG | DA | Dachgaupen | Installationsdichte | ID | 0.130 | 0.05 |
| p173 | DLG | DA | Dachgaupen | spezifische Masse | sM | 5.358 | 0.40 |
| p174 | DLG | DA | Blitzableiter | Häufigkeit Produkt | fP | 0.500 | 0.10 |
| p175 | DLG | DA | Blitzableiter | Häufigkeit Material | fM | 1.000 | 0.20 |
| p176 | DLG | DA | Blitzableiter | Installationsdichte | ID | 0.380 | 0.07 |
| p177 | DLG | DA | Blitzableiter | spezifische Masse | sM | 0.351 | 0.07 |

Tab. A-34: Berechnung des Kupferlagers in den Gebäuden: Mittelwert und absolute Unsicherheit der Eingangsparameter zur Berechnung der Unsicherheit des Lagers im Teilbestand vom Nutzungstyp (NT) Produktionsgebäude. Parameterbezeichnung durch Angabe des Bauelements (BE), der Produktgruppe und der Messgrösse. – Einheiten: Bezugsfläche (A): [10^6 m^2]; Häufigkeit der Produktgruppe (fP), Häufigkeit des Materials (fM): relative Häufigkeit; Installationsdichte (ID): [$\text{Produktmenge}/\text{m}^2$, Bezugsfläche]; spezifische Masse (sM): [$\text{kg}/\text{Produktmenge}$].

| Par.Nr. | NT | BE | Produktgruppe | Messgrösse | | Mittelwert | Unsicherheit |
|---------|-----|----|---------------------------|---------------------|-------|------------|--------------|
| p179 | PRG | HT | KEINE | Bezugsfläche (HT) | A(HT) | 401 | 80.2 |
| p180 | PRG | HT | Stromkabel | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0.08 |
| p181 | PRG | HT | Stromkabel | Häufigkeit Material | fM | 1.000 | 0.01 |
| p182 | PRG | HT | Stromkabel | Installationsdichte | ID | 3.000 | 1.50 |
| p183 | PRG | HT | Stromkabel | spezifische Masse | sM | 0.057 | 0.02 |
| p184 | PRG | HT | Telekommunikationskabel | Häufigkeit Produkt | fP | 0.650 | 0.15 |
| p185 | PRG | HT | Telekommunikationskabel | Häufigkeit Material | fM | 0.850 | 0.10 |
| p186 | PRG | HT | Telekommunikationskabel | Installationsdichte | ID | 0.040 | 0.03 |
| p187 | PRG | HT | Telekommunikationskabel | spezifische Masse | sM | 0.013 | 0.03 |
| p188 | PRG | HT | Heizungsrohre(Fläche) | Häufigkeit Produkt | fP | 0.020 | 0.02 |
| p189 | PRG | HT | Heizungsrohre(Fläche) | Häufigkeit Material | fM | 0.400 | 0.10 |
| p190 | PRG | HT | Heizungsrohre(Fläche) | Installationsdichte | ID | 2.000 | 0.50 |
| p191 | PRG | HT | Heizungsrohre(Fläche) | spezifische Masse | sM | 0.380 | 0.06 |
| p192 | PRG | HT | Heizungsrohre(Verteilung) | Häufigkeit Produkt | fP | 0.100 | 0.05 |
| p193 | PRG | HT | Heizungsrohre(Verteilung) | Häufigkeit Material | fM | 0.050 | 0.03 |
| p194 | PRG | HT | Heizungsrohre(Verteilung) | Installationsdichte | ID | 0.257 | 0.10 |
| p195 | PRG | HT | Heizungsrohre(Verteilung) | spezifische Masse | sM | 0.757 | 0.12 |
| p196 | PRG | HT | Fittinge(Heizung) | Häufigkeit Produkt | fP | 0.100 | 0.05 |
| p197 | PRG | HT | Fittinge(Heizung) | Häufigkeit Material | fM | 0.050 | 0.03 |
| p198 | PRG | HT | Fittinge(Heizung) | Installationsdichte | ID | 0.014 | 0.05 |
| p199 | PRG | HT | Fittinge(Heizung) | spezifische Masse | sM | 0.100 | 0.015 |
| p200 | PRG | HT | Roharmaturen(Heizung) | Häufigkeit Produkt | fP | 0.100 | 0.05 |
| p201 | PRG | HT | Roharmaturen(Heizung) | Häufigkeit Material | fM | 0.650 | 0.02 |
| p202 | PRG | HT | Roharmaturen(Heizung) | Installationsdichte | ID | 0.020 | 0.01 |
| p203 | PRG | HT | Roharmaturen(Heizung) | spezifische Masse | sM | 0.500 | 0.30 |
| p204 | PRG | HT | Wasserröhre | Häufigkeit Produkt | fP | 0.950 | 0.10 |
| p205 | PRG | HT | Wasserröhre | Häufigkeit Material | fM | 0.100 | 0.04 |
| p206 | PRG | HT | Wasserröhre | Installationsdichte | ID | 0.050 | 0.03 |
| p207 | PRG | HT | Wasserröhre | spezifische Masse | sM | 0.582 | 0.12 |
| p208 | PRG | HT | Fittinge(Sanitär) | Häufigkeit Produkt | fP | 0.950 | 0.10 |
| p209 | PRG | HT | Fittinge(Sanitär) | Häufigkeit Material | fM | 0.100 | 0.04 |
| p210 | PRG | HT | Fittinge(Sanitär) | Installationsdichte | ID | 0.010 | 0.005 |
| p211 | PRG | HT | Fittinge(Sanitär) | spezifische Masse | sM | 0.080 | 0.016 |
| p212 | PRG | HT | Roharmaturen(Sanitär) | Häufigkeit Produkt | fP | 0.950 | 0.10 |
| p213 | PRG | HT | Roharmaturen(Sanitär) | Häufigkeit Material | fM | 0.910 | 0.02 |
| p214 | PRG | HT | Roharmaturen(Sanitär) | Installationsdichte | ID | 0.020 | 0.01 |
| p215 | PRG | HT | Roharmaturen(Sanitär) | spezifische Masse | sM | 1.500 | 0.60 |
| p216 | PRG | DA | KEINE | Bezugsfläche (DA) | A(DA) | 182 | 36.4 |
| p217 | PRG | DA | Bedachung/Abdeckung | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0 |
| p218 | PRG | DA | Bedachung/Abdeckung | Häufigkeit Material | fM | 0.000 | 0.002 |
| p219 | PRG | DA | Bedachung/Abdeckung | Installationsdichte | ID | 1.170 | 0.06 |
| p220 | PRG | DA | Bedachung/Abdeckung | spezifische Masse | sM | 5.581 | 0.40 |
| p221 | PRG | DA | Dachrinnen | Häufigkeit Produkt | fP | 1.000 | 0.03 |
| p222 | PRG | DA | Dachrinnen | Häufigkeit Material | fM | 0.500 | 0.12 |
| p223 | PRG | DA | Dachrinnen | Installationsdichte | ID | 0.140 | 0.04 |
| p224 | PRG | DA | Dachrinnen | spezifische Masse | sM | 3.126 | 0.37506 |
| p225 | PRG | DA | Regenfallrohre | Häufigkeit Produkt | fP | 0.500 | 0.10 |
| p226 | PRG | DA | Regenfallrohre | Häufigkeit Material | fM | 0.500 | 0.12 |
| p227 | PRG | DA | Regenfallrohre | Installationsdichte | ID | 0.100 | 0.02 |
| p228 | PRG | DA | Regenfallrohre | spezifische Masse | sM | 2.944 | 0.35330652 |
| p229 | PRG | DA | Dachgaupen | Häufigkeit Produkt | fP | 0.000 | 0.01 |
| p230 | PRG | DA | Dachgaupen | Häufigkeit Material | fM | 0.600 | 0.15 |
| p231 | PRG | DA | Dachgaupen | Installationsdichte | ID | 0.130 | 0.08 |
| p232 | PRG | DA | Dachgaupen | spezifische Masse | sM | 5.358 | 0.40 |
| p233 | PRG | DA | Blitzableiter | Häufigkeit Produkt | fP | 0.800 | 0.10 |
| p234 | PRG | DA | Blitzableiter | Häufigkeit Material | fM | 1.000 | 0.20 |
| p235 | PRG | DA | Blitzableiter | Installationsdichte | ID | 0.380 | 0.09 |
| p236 | PRG | DA | Blitzableiter | spezifische Masse | sM | 0.351 | 0.07 |

Tab. A-35: Berechnung des Kupferlagers in der Infrastruktur: Mittelwert und absolute Unsicherheit der Eingangsparameter zur Berechnung der Unsicherheit des Infrastrukturlagers. Parameterbezeichnung durch Angabe des Infrastrukturnetzes (Infrastr.Netz) und der Messgrösse, ggf. mit Erläuterung. Zusätzlich ist die Einheit der Messgrössen angegeben. – Abkürzungen: Telekommunik.: Telekommunikationsnetz; HöS: Höchstspannung; HS: Hochspannung; MS: Mittelspannung; NS: Niederspannung; MVA: Megavoltampère; sM: spezifische Masse; Anschluss: Anschlussnetz; F+R: Fern- und Regionalnetz; FMK: Fernmeldekabel; Koax: Koaxialkabel; SBB: Schweizerische Bundesbahnen.

| Par.Nr. | Infrastr.Netz | Messgrösse | Erläuterung | Mittelwert | Unsicherheit | Einheit |
|---------|---------------|------------------------------|--------------|-------------|--------------|--------------------|
| p1 | Starkstrom | Kupferdichte | beides | 8.93 | 0.01 | kg/dm ³ |
| p2 | Starkstrom | Stranglänge HöS | beides | 6'688 | 15 | km |
| p3 | Starkstrom | Stranglänge HS | beides | 9'000 | 3'000 | km |
| p4 | Starkstrom | Stranglänge MS | beides | 65'000 | 20'000 | km |
| p5 | Starkstrom | Stranglänge NS | beides | 120'000 | 40'000 | km |
| p6 | Starkstrom | Verlegeart HöS | Anteil Kabel | 0.002272727 | 0.00015 | % |
| p7 | Starkstrom | Verlegeart HS | Anteil Kabel | 0.11 | 0.01 | % |
| p8 | Starkstrom | Verlegeart MS | Anteil Kabel | 0.51 | 0.05 | % |
| p9 | Starkstrom | Verlegeart NS | Anteil Kabel | 0.73 | 0.07 | % |
| p10 | Starkstrom | Querschnitt HöS | Kabel | 1'200 | 450 | mm ² |
| p11 | Starkstrom | Querschnitt HS | Kabel | 1'200 | 300 | mm ² |
| p12 | Starkstrom | Querschnitt MS | Kabel | 570 | 130 | mm ² |
| p13 | Starkstrom | Querschnitt NS | Kabel | 456 | 100 | mm ² |
| p14 | Starkstrom | Querschnitt HöS | Freileitung | 120 | 25 | mm ² |
| p15 | Starkstrom | Querschnitt HS | Freileitung | 120 | 25 | mm ² |
| p16 | Starkstrom | Querschnitt MS | Freileitung | 120 | 25 | mm ² |
| p17 | Starkstrom | Querschnitt NS | Freileitung | 120 | 25 | mm ² |
| p18 | Starkstrom | Kupferanteil HöS | Freileitung | 0.0 | 0.005 | %Anteil Cu |
| p19 | Starkstrom | Kupferanteil HS | Freileitung | 0.1 | 0.050 | %Anteil Cu |
| p20 | Starkstrom | Kupferanteil MS | Freileitung | 0.9 | 0.050 | %Anteil Cu |
| p21 | Starkstrom | Kupferanteil NS | Freileitung | 1.0 | 0.020 | %Anteil Cu |
| p22 | Starkstrom | Trafozahl < 2.5 MVA | | 45'000 | 4'500 | Anzahl |
| p23 | Starkstrom | Trafozahl 2.5-50 MVA | | 800 | 80 | Anzahl |
| p24 | Starkstrom | Trafozahl > 50 MVA | | 200 | 20 | Anzahl |
| p25 | Starkstrom | Trafo sM < 2.5 MVA | | 600 | 90 | kg/Anlage |
| p26 | Starkstrom | Trafo sM 2.5-50 MVA | | 6'000 | 900 | kg/Anlage |
| p27 | Starkstrom | Trafo sM > 50 MVA | | 15'000 | 2'250 | kg/Anlage |
| p28 | Telekommunik. | Fernmeldekabel Anschluss | Längen | 125'981 | 5'000 | km |
| p29 | Telekommunik. | Fernmeldekabel F+R | Längen | 11'756 | 1'000 | km |
| p30 | Telekommunik. | Koaxialkabel F+R | Längen | 2'091 | 100 | km |
| p31 | Telekommunik. | Querschnitt FMK Anschluss | | 50 | 30 | mm ² |
| p32 | Telekommunik. | Querschnitt FMK F+R | | 500 | 150 | mm ² |
| p33 | Telekommunik. | Querschnitt Koax F+R | | 500 | 250 | mm ² |
| p34 | Transport | SBB Oberleitungslängen | | 7'400 | 40 | km |
| p35 | Transport | Privatbahn Oberleitg.-Längen | | 4'500 | 70 | km |
| p36 | Transport | Tram Oberleitungslängen | | 380 | 15 | km |
| p37 | Transport | Trolleybus Oberltg.-Längen | | 640 | 15 | km |
| p38 | Transport | Querschnitt SBB | | 107 | 15 | mm ² |
| p39 | Transport | Querschnitt Privatb | | 107 | 15 | mm ² |
| p40 | Transport | Querschnitt Tram | | 50 | 8 | mm ² |
| p41 | Transport | Querschnitt Trolleybus | | 100 | 16 | mm ² |

Tab. A-36: Berechnung des Kupferlagers in den Mobilien: Mittelwert und absolute Unsicherheit der Eingangsparameter zur Berechnung der Unsicherheit des Mobilienlagers. Parameterbezeichnung durch Angabe des Gutes (Gütergruppe) und der Messgröße. Für jede der 23 Gütergruppen sind folgende Messgrößen aufgelistet: Anzahl der Gütereinheiten n_i (Stückzahl) [N] (oberes Drittel); durchschnittliche Masse pro Einheit m_i (Stückgewicht) [t] (mittleres Drittel); durchschnittliche Kupferkonzentration $c_{Cu,i}$ (relativer Anteil am Stückgewicht)(unteres Drittel).

| Par.Nr. | Gut | Messgröße | Mittelwert | Unsicherheit |
|---------|---|------------------------------|------------|--------------|
| p1 | Lokomotiven | Anzahl Einheiten | 2'100 | 100 |
| p2 | Personenwagen (Schiene) | Anzahl Einheiten | 5'200 | 100 |
| p3 | Güterwagen (Schiene) | Anzahl Einheiten | 26'000 | 1'000 |
| p4 | Pw (Strasse)/PKW | Anzahl Einheiten | 3'500'000 | 100'000 |
| p5 | Lastwagen/Lastkraftwagen | Anzahl Einheiten | 500'000 | 100'000 |
| p6 | Motorräder | Anzahl Einheiten | 730'000 | 10'000 |
| p7 | Tram/Strassenbahn | Anzahl Einheiten | 900 | 100 |
| p8 | Velo/Fahrrad | Anzahl Einheiten | 4'000'000 | 1'000'000 |
| p9 | Waschmaschinen | Anzahl Einheiten | 2'000'000 | 400'000 |
| p10 | Tumbler/Trockner | Anzahl Einheiten | 1'000'000 | 200'000 |
| p11 | Kühlgeräte | Anzahl Einheiten | 3'300'000 | 495'000 |
| p12 | Kochherd | Anzahl Einheiten | 4'000'000 | 800'000 |
| p13 | Geschirrspüler | Anzahl Einheiten | 1'287'000 | 128'700 |
| p14 | Diverse (Föhn, Staubsauger etc.) | Anzahl Einheiten | 3'300'000 | 495'000 |
| p15 | Geschirr+Besteck | Anzahl Einheiten | 3'000'000 | 450'000 |
| p16 | Lampen | Anzahl Einheiten | 3'000'000 | 450'000 |
| p17 | Schlüssel | Anzahl Einheiten | 7'200'000 | 1'800'000 |
| p18 | Münzgeld | Anzahl Einheiten | 7'200'000 | 1'800'000 |
| p19 | Unterhaltungselektronik | Anzahl Einheiten | 7'200'000 | 1'800'000 |
| p20 | „Büromatik“ | Anzahl Einheiten | 3'600'000 | 900'000 |
| p21 | Werkzeug, Nägel, Schrauben, Beschläge | Anzahl Einheiten | 7'200'000 | 1'800'000 |
| p22 | Produktionsmaschinen (inkl. Landwirtschaft) | Anzahl Einheiten | 7'200'000 | 1'800'000 |
| p23 | Sonstiges (Sport, Kerzenständer, Dekorationen, Kunstwerke, Schreibgeräte, | Anzahl Einheiten | 7'200'000 | 1'800'000 |
| p24 | Lokomotiven | Masse pro Einheit [t] | 80.000 | 10.000 |
| p25 | Personenwagen (Schiene) | Masse pro Einheit [t] | 50.000 | 8.000 |
| p26 | Güterwagen (Schiene) | Masse pro Einheit [t] | 20.000 | 4.000 |
| p27 | Pw (Strasse)/PKW | Masse pro Einheit [t] | 1.000 | 0.300 |
| p28 | Lastwagen/Lastkraftwagen | Masse pro Einheit [t] | 2.400 | 0.500 |
| p29 | Motorräder | Masse pro Einheit [t] | 0.100 | 0.030 |
| p30 | Tram/Strassenbahn | Masse pro Einheit [t] | 22.000 | 4.000 |
| p31 | Velo/Fahrrad | Masse pro Einheit [t] | 0.015 | 0.040 |
| p32 | Waschmaschinen | Masse pro Einheit [t] | 0.100 | 0.030 |
| p33 | Tumbler/Trockner | Masse pro Einheit [t] | 0.035 | 0.010 |
| p34 | Kühlgeräte | Masse pro Einheit [t] | 0.050 | 0.015 |
| p35 | Kochherd | Masse pro Einheit [t] | 0.060 | 0.015 |
| p36 | Geschirrspüler | Masse pro Einheit [t] | 0.060 | 0.015 |
| p37 | Diverse (Föhn, Staubsauger etc.) | Masse pro Einheit [t] | 0.050 | 0.015 |
| p38 | Geschirr+Besteck | Masse pro Einheit [t] | 0.050 | 0.025 |
| p39 | Lampen | Masse pro Einheit [t] | 0.100 | 0.025 |
| p40 | Schlüssel | Masse pro Einheit [t] | 0.0015 | 0.001 |
| p41 | Münzgeld | Masse pro Einheit [t] | 0.003 | 0.001 |
| p42 | Unterhaltungselektronik | Masse pro Einheit [t] | 0.060 | 0.015 |
| p43 | „Büromatik“ | Masse pro Einheit [t] | 0.030 | 0.010 |
| p44 | Werkzeug, Nägel, Schrauben, Beschläge | Masse pro Einheit [t] | 0.005 | 0.002 |
| p45 | Produktionsmaschinen (inkl. Landwirtschaft) | Masse pro Einheit [t] | 1.000 | 0.500 |
| p46 | Sonstiges (Sport, Kerzenständer, Dekorationen, Kunstwerke, Schreibgeräte, | Masse pro Einheit [t] | 0.002 | 0.001 |
| p47 | Lokomotiven | Kupferkonzentration (Anteil) | 0.080 | 0.015 |
| p48 | Personenwagen (Schiene) | Kupferkonzentration (Anteil) | 0.020 | 0.010 |
| p49 | Güterwagen (Schiene) | Kupferkonzentration (Anteil) | 0.000 | 0.000 |
| p50 | Pw (Strasse)/PKW | Kupferkonzentration (Anteil) | 0.007 | 0.001 |
| p51 | Lastwagen/Lastkraftwagen | Kupferkonzentration (Anteil) | 0.020 | 0.005 |
| p52 | Motorräder | Kupferkonzentration (Anteil) | 0.010 | 0.005 |
| p53 | Tram/Strassenbahn | Kupferkonzentration (Anteil) | 0.070 | 0.030 |
| p54 | Velo/Fahrrad | Kupferkonzentration (Anteil) | 0.010 | 0.005 |
| p55 | Waschmaschinen | Kupferkonzentration (Anteil) | 0.010 | 0.003 |
| p56 | Tumbler/Trockner | Kupferkonzentration (Anteil) | 0.030 | 0.004 |
| p57 | Kühlgeräte | Kupferkonzentration (Anteil) | 0.010 | 0.002 |
| p58 | Kochherd | Kupferkonzentration (Anteil) | 0.010 | 0.005 |
| p59 | Geschirrspüler | Kupferkonzentration (Anteil) | 0.020 | 0.008 |
| p60 | Diverse | Kupferkonzentration (Anteil) | 0.040 | 0.008 |
| p61 | Geschirr+Besteck | Kupferkonzentration (Anteil) | 0.030 | 0.020 |
| p62 | Lampen | Kupferkonzentration (Anteil) | 0.010 | 0.005 |
| p63 | Schlüssel | Kupferkonzentration (Anteil) | 0.700 | 0.100 |
| p64 | Münzgeld | Kupferkonzentration (Anteil) | 0.750 | 0.030 |
| p65 | Unterhaltungselektronik | Kupferkonzentration (Anteil) | 0.040 | 0.005 |
| p66 | „Büromatik“ | Kupferkonzentration (Anteil) | 0.040 | 0.005 |
| p67 | Werkzeug, Nägel, Schrauben, Beschläge | Kupferkonzentration (Anteil) | 0.700 | 0.300 |
| p68 | Produktionsmaschinen (inkl. Landwirtschaft) | Kupferkonzentration (Anteil) | 0.010 | 0.005 |
| p69 | Sonstiges (Sport, Kerzenständer, Dekorationen, Kunstwerke, Schreibgeräte, | Kupferkonzentration (Anteil) | 0.700 | 0.250 |

Die Ergebnisse der Unsicherheitsberechnung nach den beiden Berechnungsmethoden (Gauss'sche Fehlerfortpflanzung, Monte-Carlo-Methode) sind in Tab. A-37 zusammengefasst.

Tab. A-37: Vergleich der Unsicherheitsberechnung nach Gauss'scher Fehlerfortpflanzung und mit der Monte-Carlo-Methode für die drei Hauptlager *Gebäude*, *Infrastruktur* und *Mobilien*. Die Ergebnisse der Berechnung mit der Monte-Carlo-Methode sind graphisch aus den Normalverteilungen bestimmt. – Bei den Gebäuden wurde die relative Standardabweichung für das Lager ohne Berücksichtigung der Renovationszyklen berechnet und auf jenes mit der Berücksichtigung übertragen (siehe Kap. 4.3.1).

| | Gebäude | Infrastruktur | Mobilien |
|---|----------------|----------------------|-----------------|
| <i>nach Gauss'scher Fehlerfortpflanzung</i> | | | |
| Mittelwert [t] | 568'000 | 768'000 | 245'000 |
| Standardabweichung ($\pm \sigma$) [t] | 80'500 | 175'000 | 59'500 |
| relative Standardabweichung | 14.2 % * | 22.8 % | 24.3 % |
| <i>mit Monte-Carlo-Methode</i> | | | |
| Mittelwert [t] | 568'000 | 768'000 | 245'500 |
| Standardabweichung ($\pm \sigma$) [t] | 82'800 | 179'000 | 64'500 |
| relative Standardabweichung | 14.6 % * | 23.3 % | 26.3 % |

A.3.3 Wachstumskurven

Entwicklung der Infrastruktur

Die Rekonstruktion des Kupferlagers im Infrastrukturbereich ist das Ergebnis literaturbasierter Plausibilitätsüberlegungen zum Stromnetz, das das Gros des Lagers ausmacht (LINDNER 1985). Deutlich sind zwei Phasen intensivierten Netzwachstums im Betrachtungszeitraum erkennbar (vgl. Abb. A-10):

- eine erste Phase, in der die bestehenden Siedlungen flächendeckend elektrifiziert werden (I. Quartal), und
- eine zweite Phase, die zunehmende Stranglängen infolge beschleunigten Siedlungswachstums (\sim Bevölkerungswachstum, Abb. A-11) und zunehmende Strangquerschnitte infolge beschleunigten Anstiegs beim Stromverbrauch (Wohlstandswachstum, „Elektrifizierung des Alltags“) erfordern (III./IV. Quartal).

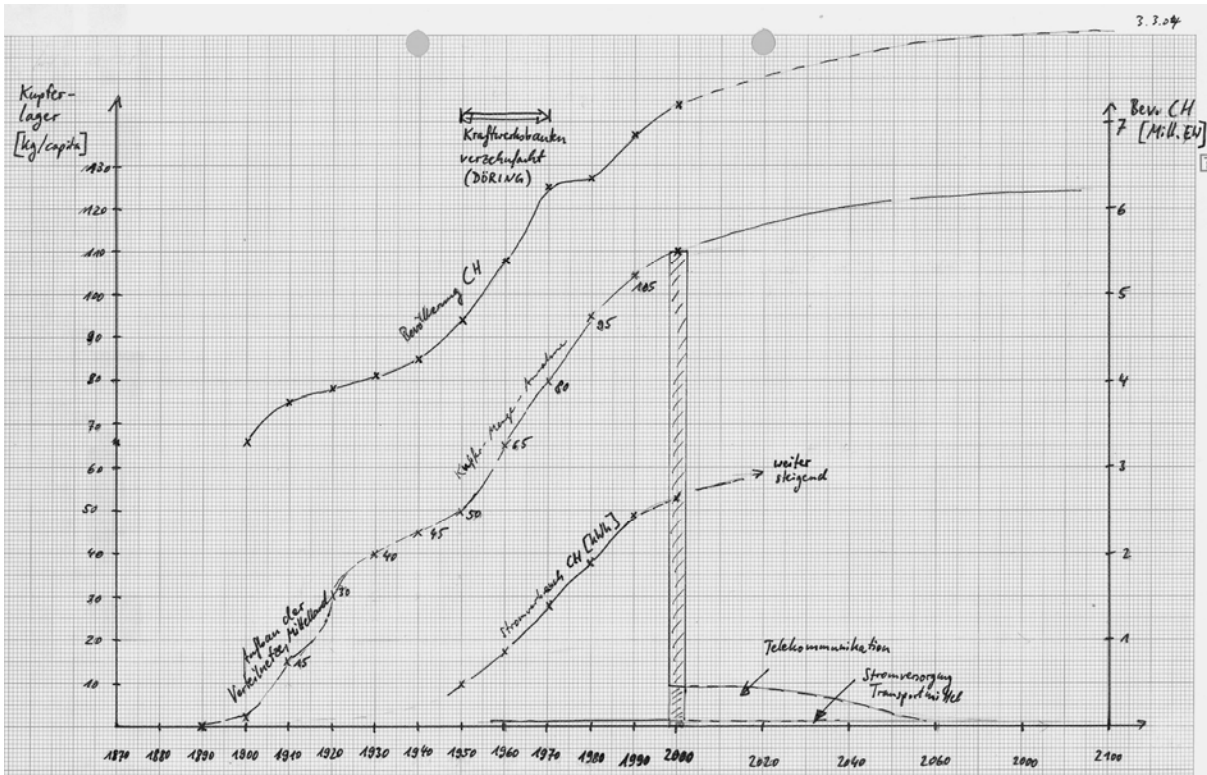


Abb. A-10: Plausibilitätsüberlegungen zum Wachstum der Stromnetze im 20. Jahrhundert.

Exkurs: Bevölkerungsentwicklung der Schweiz

Die Entwicklung der Kupferlager ist eng mit der Bevölkerungsentwicklung verknüpft, welche gut dokumentiert ist. Die Bevölkerung verdoppelte sich ca. während der vergangenen hundert Jahre. Mittelfristige konjunkturelle Schwankungen sind deutlich erkennbar (Kriegszeit, Nachkriegszeit z.B. als Folge der Immigrationspolitik), doch über das gesamte Jahrhundert verläuft das Wachstum näherungsweise linear (Abb. A-11).

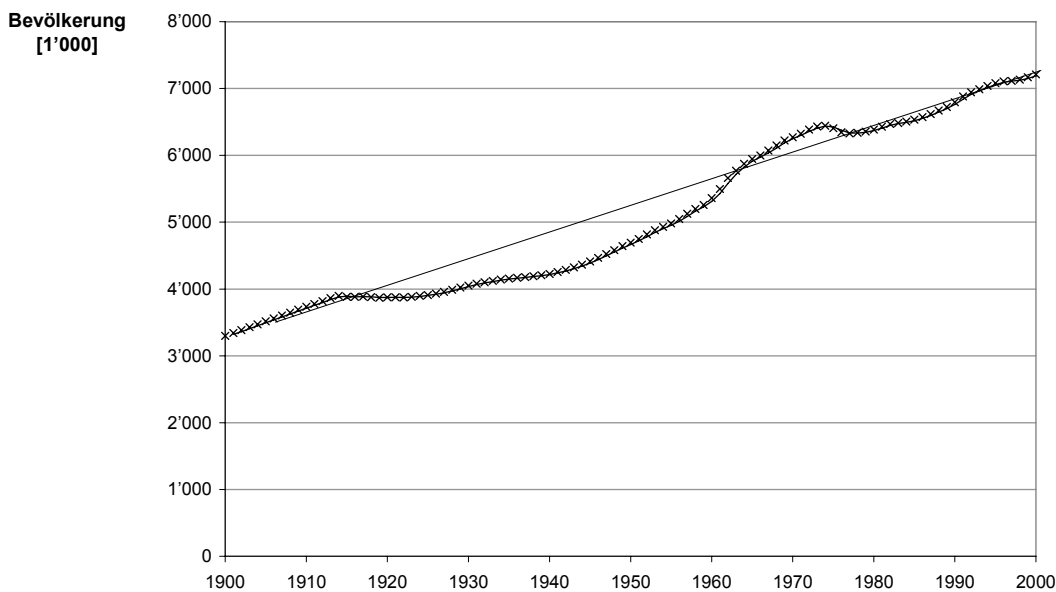


Abb. A-11: Bevölkerungsentwicklung der Schweiz im 20. Jahrhundert. Die eingetragene Verbindungslinie ist der gleitende Durchschnitt der Bevölkerung. Die Gerade entspricht einer jährlichen Bevölkerungszunahme von ca. 42'000 Einwohnern pro Jahr.

A.4 Modell

A.4.1 System

Das dynamische Modell *Cuprum* basiert auf dem Kupferhaushaltssystem in Abb. A-12 (grössere Darstellung in Abb. 5-2).

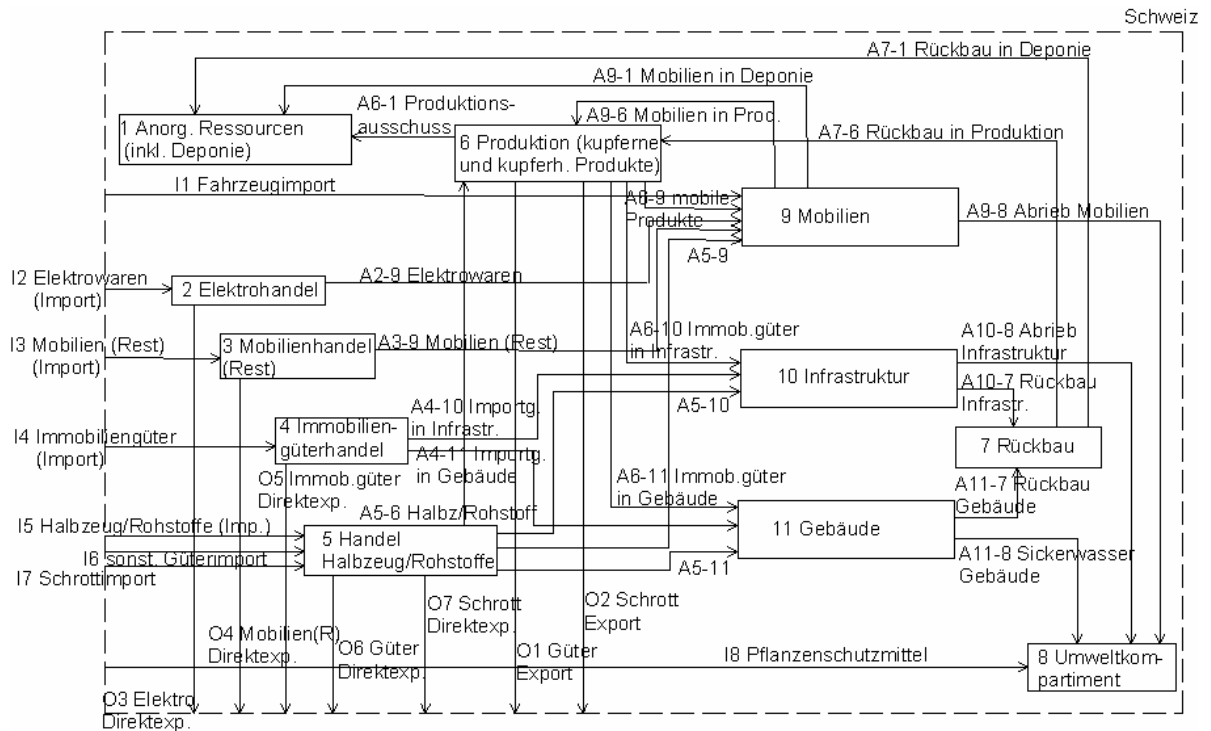


Abb. A-12: Das Kupferhaushaltssystem des dynamischen Modells *Cuprum*, beschrieben mit 11 Prozessen. Die Indizes kennzeichnen die Flüsse als Input-Flüsse (I), Output-Flüsse (O) und systeminterne Flüsse (A). Die systeminternen Flüsse sind durch den Herkunfts- und den Zielprozess zusätzlich mit Zahlen indiziert.

A.4.2 Systemvariablen und Unbekannte

Bezeichnung der Lager und Flüsse:

- Lager werden mit M bezeichnet, Lageränderungen mit \dot{M} , und tragen als Index die Prozessnummer.
- Die Inputflüsse werden mit I bezeichnet (der Index ist im System von oben nach unten durchnummeriert).
- Die Outputflüsse werden mit O bezeichnet.
- Innere Flüsse werden mit A bezeichnet und tragen als Index die Herkunfts- und Zielprozessnummer.

SYSTEMVARIABLEN

Programmierung der Variablen

Der erweiterte Satz von 58 Variablen wird zur Programmierung durchnummeriert.

| Typ | | Variablenbezeichnung | Variablennummer |
|---------------------|---------------|--|-------------------------------|
| Lager | (11) | $M_1(t), \dots, M_{11}(t)$ | $X_1(t), \dots, X_{11}(t)$ |
| Lageränderungsraten | (11) | $\dot{M}_1(t), \dots, \dot{M}_{11}(t)$ | $X_{12}(t), \dots, X_{22}(t)$ |
| Flüsse | innere Flüsse | (21) $A_{2-9}(t), \dots, A_{11-8}(t)$ | $X_{23}(t), \dots, X_{43}(t)$ |
| | Inputflüsse | (8) $I_1(t), \dots, I_8(t)$ | $X_{44}(t), \dots, X_{51}(t)$ |
| | Outputflüsse | (7) $O_1(t), \dots, O_7(t)$ | $X_{52}(t), \dots, X_{58}(t)$ |

Die Systemvariablen bestehen aus folgendem Satz an Funktionsvariablen $\{X_1, \dots, X_{58}\}$. Die formalisierte Nummerierung der Variablen (X_i) dient der Umsetzung bei der Programmierung (SIMBOX).

| Lager | (11) |
|-------------------------------|--|
| $X_1 = M_1 = M_1(t)$ | Anorganische Ressourcen (inklusive Deponie) |
| $X_2 = M_2 = M_2(t)$ | Elektrohandel |
| $X_3 = M_3 = M_3(t)$ | Mobilienhandel(Rest) |
| $X_4 = M_4 = M_4(t)$ | Immobilienhandel |
| $X_5 = M_5 = M_5(t)$ | Handel Halbzeug/Rohstoffe |
| $X_6 = M_6 = M_6(t)$ | Produktion (kupferne und kupferhaltige Produkte) |
| $X_7 = M_7 = M_7(t)$ | Rückbau (Immobilien) |
| $X_8 = M_8 = M_8(t)$ | Umweltkompartimente (Boden/Gewässer) |
| $X_9 = M_9 = M_9(t)$ | Mobiliennutzung |
| $X_{10} = M_{10} = M_{10}(t)$ | Infrastruktur: Erstellung und Betrieb |
| $X_{11} = M_{11} = M_{11}(t)$ | Gebäude: Erstellung und Betrieb |

| Lagerveränderungen ²⁰ | (11) |
|---|--|
| $X_{12} = \dot{M}_1 = \dot{M}_1(t)$ | Anorganische Ressourcen (inklusive Deponie) |
| $X_{13} = \dot{M}_2 = \dot{M}_2(t)$ | Elektrohandel |
| $X_{14} = \dot{M}_3 = \dot{M}_3(t)$ | Mobilienhandel(Rest) |
| $X_{15} = \dot{M}_4 = \dot{M}_4(t)$ | Immobilienhandel |
| $X_{16} = \dot{M}_5 = \dot{M}_5(t)$ | Handel Halbzeug/Rohstoffe |
| $X_{17} = \dot{M}_6 = \dot{M}_6(t)$ | Produktion (kupferne und kupferhaltige Produkte) |
| $X_{18} = \dot{M}_7 = \dot{M}_7(t)$ | Rückbau (Immobilien) |
| $X_{19} = \dot{M}_8 = \dot{M}_8(t)$ | Umweltkompartimente (Boden/Gewässer) |
| $X_{20} = \dot{M}_9 = \dot{M}_9(t)$ | Mobiliennutzung |
| $X_{21} = \dot{M}_{10} = \dot{M}_{10}(t)$ | Infrastruktur: Erstellung und Betrieb |
| $X_{22} = \dot{M}_{11} = \dot{M}_{11}(t)$ | Gebäude: Erstellung und Betrieb |

²⁰ Die Lagerveränderungen $\dot{M}_i(t)$ folgen mathematisch direkt aus den Lagerfunktionen $M_i(t)$. Sie werden hier trotzdem als Variablen geführt, um ihr Verhalten besser beurteilen zu können. Der Satz Variablen $X = \{X_1, \dots, X_{58}\}$ ist durch diese Erweiterung nicht mehr unabhängig.

Flüsse**(36)**

innere Flüsse:

| | |
|-----------------------------------|--|
| $X_{23} = A_{6-1} = A_{6-1}(t)$ | Ausschuss aus der Produktion |
| $X_{24} = A_{9-1} = A_{9-1}(t)$ | Kupfer aus Mobilien in Deponie |
| $X_{25} = A_{7-1} = A_{7-1}(t)$ | Kupfer aus Rückbau in Deponie |
| $X_{26} = A_{9-6} = A_{9-6}(t)$ | Kupfer aus Mobilien in Produktion |
| $X_{27} = A_{7-6} = A_{7-6}(t)$ | Kupfer aus Rückbau in Produktion |
| $X_{28} = A_{6-9} = A_{6-9}(t)$ | Mobilien aus der Produktion in die Nutzung |
| $X_{29} = A_{6-10} = A_{6-10}(t)$ | Immobilien Güter aus der Produktion in die Infrastruktur |
| $X_{30} = A_{2-9} = A_{2-9}(t)$ | Elektrowaren in die Nutzung |
| $X_{31} = A_{3-9} = A_{3-9}(t)$ | Mobilien(Rest) in die Nutzung |
| $X_{32} = A_{5-9} = A_{5-9}(t)$ | Halbzeug/Rohstoff in Mobilien ²¹ |
| $X_{33} = A_{9-8} = A_{9-8}(t)$ | Abrieb aus Mobilien in Umweltkompartimente |
| $X_{34} = A_{4-10} = A_{4-10}(t)$ | importierte Immobilien Güter in Infrastruktur |
| $X_{35} = A_{5-10} = A_{5-10}(t)$ | Halbzeug/Rohstoff in Infrastruktur ²¹ |
| $X_{36} = A_{10-7} = A_{10-7}(t)$ | rückgebautes Kupfer aus Infrastruktur |
| $X_{37} = A_{10-8} = A_{10-8}(t)$ | Abrieb und Korrosion aus Infrastruktur |
| $X_{38} = A_{4-11} = A_{4-11}(t)$ | importierte Immobilien Güter in die Gebäude |
| $X_{39} = A_{5-11} = A_{5-11}(t)$ | Halbzeug/Rohstoff in Gebäude ²¹ |
| $X_{40} = A_{11-7} = A_{11-7}(t)$ | rückgebautes Kupfer aus Gebäuden |
| $X_{41} = A_{11-8} = A_{11-8}(t)$ | Abrieb und Korrosion aus Gebäuden |
| $X_{42} = A_{6-11} = A_{6-11}(t)$ | Immobilien Güter aus der Produktion in die Gebäude |
| $X_{43} = A_{5-6} = A_{5-6}(t)$ | Halbzeug/Rohstoff in Produktion bzw. Verarbeitung |

Inputflüsse:

| | |
|-------------------------|--|
| $X_{44} = I_1 = I_1(t)$ | Import Fahrzeuge |
| $X_{45} = I_2 = I_2(t)$ | Import Elektrowaren (ohne Kabel, Drähte) |
| $X_{46} = I_3 = I_3(t)$ | Import Mobilien(Rest) (siehe Tab. 3.26) |
| $X_{47} = I_4 = I_4(t)$ | Import Immobilien Güter (Kabel, Drähte, Rohre) |
| $X_{48} = I_5 = I_5(t)$ | Import Halbzeug/Rohstoff (inkl. Bleche und Bänder) |
| $X_{49} = I_6 = I_6(t)$ | Import sonstiger Güter (Direktexport) ² |
| $X_{50} = I_7 = I_7(t)$ | Import Kupferschrott |
| $X_{51} = I_8 = I_8(t)$ | Import Pflanzenschutzmittel |

Outputflüsse:

| | |
|-------------------------|---|
| $X_{52} = O_1 = O_1(t)$ | Export Güter |
| $X_{53} = O_2 = O_2(t)$ | Export Kupferschrott (Recyclingkupfer aus Produktion und „Nutzung“) |
| $X_{54} = O_3 = O_3(t)$ | Direktexport Elektrowaren |
| $X_{55} = O_4 = O_4(t)$ | Direktexport Mobilien(Rest) |
| $X_{56} = O_5 = O_5(t)$ | Direktexport Immobilien Güter |
| $X_{57} = O_6 = O_6(t)$ | Direktexport Güter |
| $X_{58} = O_7 = O_7(t)$ | Direktexport Kupferschrott |

²¹ Diese Flüsse sind im gewählten Modellansatz gleich null gesetzt.

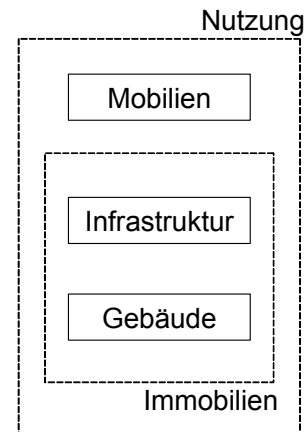
VARIABLEN ZU DEN SUBPROZESSEN²²

| | |
|---|----------------------------------|
| $X_{63} = M_F(t)$ | Lager der Fahrzeuge |
| $X_{64} = \dot{M}_F(t)$ | Lagerveränderung der Fahrzeuge |
| $X_{65} = A_{F-6}(t) + A_{F-1}(t) + A_{F-8}(t)$ | Output aus Lager Fahrzeuge |
| $X_{66} = M_{HT}(t)$ | Lager der Haustechnik |
| $X_{67} = \dot{M}_{HT}(t)$ | Lagerveränderung der Haustechnik |
| $X_{68} = A_{HT-7}(t) + A_{HT-8}(t)$ | Output aus Lager Haustechnik |
| $X_{69} = M_{DA}(t)$ | Lager des Daches |
| $X_{70} = \dot{M}_{DA}(t)$ | Lagerveränderung des Daches |
| $X_{71} = A_{DA-7}(t) + A_{DA-8}(t)$ | Output aus Lager Dach |

HILFSVARIABLEN

Die Hilfsvariablen dienen der Prüfung aggregierter Lagerbetrachtung der Mobilien, der Infrastruktur und der Gebäude bzw. deren Änderungen und In- und Output. Die Aggregationsstufen sind in der nebenstehenden Skizze veranschaulicht.

| | |
|---|--|
| $X_{59} = \sum_{i=4}^6 A_{i-10}$ | Gesamtinput in Infrastruktur |
| $X_{60} = \sum_{i=4}^6 A_{i-11}$ | Gesamtinput in Gebäude |
| $X_{61} = I_1 + \sum_{i=2}^3 A_{i-9} + \sum_{i=5}^6 A_{i-9}$ | Gesamtinput in Mobilien |
| $X_{62} = A_{9-6} + A_{9-1}$ | Output aus Mobilien (ohne Abrieb) |
| $X_{66} = \sum_{i=7}^8 A_{10-i}$ | Gesamtoutput aus Infrastruktur |
| $X_{67} = \sum_{i=7}^8 A_{11-i}$ | Gesamtoutput aus Gebäude |
| $X_{68} = A_{9-1} + A_{9-6} + A_{9-8}$ | Gesamtoutput aus Mobilien |
| $X_{69} = O_2 + O_7$ | Gesamtexport Schrott |
| $X_{70} = O_1 + O_6$ | Gesamtexport Güter (ohne Direktexporte) |
| $X_{71} = \frac{d}{dt}(M_{10} + M_{11})$ | Lagerveränderung „Immobilien“ (Infr.+Geb.) |
| $X_{72} = M_{10} + M_{11}$ | Lager „Immobilien“ (Infr.+Geb.) |
| $X_{73} = \sum_{i=4}^6 (A_{i-10} + A_{i-11})$ | Input „Immobilien“ (Infr.+Geb.) |
| $X_{74} = \sum_{i=7}^8 (A_{10-i} + A_{11-i})$ | Output „Immobilien“ (Infr.+Geb.) |
| $X_{75} = \frac{d}{dt}(M_9 + M_{10} + M_{11})$ | Lagerveränderung „Nutzung“ (Mob.+Infr.+Geb.) |
| $X_{76} = M_9 + M_{10} + M_{11}$ | Lager „Nutzung“ (Mob.+Infr.+Geb.) |
| $X_{77} = I_1 + \sum_{i=2}^3 A_{i-9} + \sum_{i=5}^6 A_{i-9} + \sum_{i=4}^6 (A_{i-10} + A_{i-11})$ | Input „Nutzung“ (Mob.+Infr.+Geb.) |
| $X_{78} = A_{9-8} + A_{9-6} + A_{9-1} + \sum_{i=7}^8 (A_{10-i} + A_{11-i})$ | Output „Nutzung“ (Mob.+Infr.+Geb.) |
| $X_{79} = O_7 + O_2 = O_7(t) + O_2(t)$ | Direktexport und Export Kupferschrott |
| $X_{80} = O_1 + O_3 + O_4 + O_5 = O_1(t) + O_3(t) + O_4(t) + O_5(t)$ | Direktexport und Export Güter |
| $X_{81} = I_2 + I_3 = I_2(t) + I_3(t)$ | Import „Mobilien“ (Elektrowaren und Rest) |
| $X_{82} = I_4 + I_5 = I_4(t) + I_5(t)$ | Import Immobiliengüter und Halbzeug/Rohstoff |



²² Subprozesse dienen der Erweiterung des Ausgangssystems und werden durch Unterteilung der Prozesse „Gebäude“ und „Mobilien“ erhalten.

| | |
|--|--|
| $X_{83} = M_{HT} = M_{HT}(t)$ | Lager im Bauelement „Haustechnik“ |
| $X_{87} = M_{DA} = M_{DA}(t)$ | Lager im Bauelement „Dach“ |
| $X_{91}, X_{92}, X_{94}, X_{95}, X_{96}, X_{98}, X_{99}$ | diverse Bewertungskriterien (siehe Kap. A.4.5) |

A.4.3 Modellparameter

Im Modell *Cuprum* werden 45 Parameterfunktionen genutzt (Tab. A-38).

Tab. A-38: Liste der Parameterfunktionen des Modells *Cuprum*: Parameterfunktionsnummer (Par.Nr.), Bezeichnung, Kurzbeschreibung und physikalische Einheit. Die Transferfunktionen sind durch die Lebensdauerverteilung und deren Unsicherheit (Pf_{40} – Pf_{51}) eindeutig bestimmt. Bei den mit ° bezeichneten Parameterfunktionen bezieht sich der Transfer lediglich auf einen Teil des Prozessinputs bzw. beschreibt er nur den Anteil an einer Teilmenge.

| Par.Nr. | Bezeichnung der Parameterfunktion | | Einheit |
|------------------|---|-------------------------------------|---|
| Pf ₁ | Transferfunktion <i>Infrastruktur</i> | $k_I(t,t')$ | [%·a ⁻¹] |
| Pf ₂ | Kupfersubstitution/Abbruch <i>Infrastruktur</i> | $O_{I/Substitution}(t)$ | [kg·cap. ⁻¹ ·a ⁻¹] |
| Pf ₃ | Abriebkoeffizient (pro a) von gesamtem Lager <i>Infrastruktur</i> | $a_I(t)$ | [a ⁻¹] |
| Pf ₄ | vorgegebenes Lager <i>Infrastruktur</i> (doppeltlogistisch) | $M_I(t)$ | [kg·E ⁻¹] |
| Pf ₅ | Transferfunktion <i>Gebäude</i> | $k_G(t,t')$ | [%·a ⁻¹] |
| Pf ₆ | Kupfersubstitution/Abbruch <i>Gebäude</i> | $O_{G/Substitution}(t)$ | [kg·cap. ⁻¹ ·a ⁻¹] |
| Pf ₇ | Abriebkoeffizient (pro Jahr) von gesamtem Lager <i>Gebäude</i> | $a_G(t)$ | [a ⁻¹] |
| Pf ₈ | vorgegebenes Lager <i>Gebäude</i> (linearlogistisch) | $M_G(t)$ | [kg·cap. ⁻¹] |
| Pf ₉ | Transferfunktion <i>Mobilien</i> | $k_M(t,t')$ | [%·a ⁻¹] |
| Pf ₁₀ | Abriebkoeffizient (pro Jahr) von gesamtem Lager <i>Mobilien</i> | $a_M(t)$ | [a ⁻¹] |
| Pf ₁₁ | Anteil der Mobilien in Deponie | $o_{9-1}^{\circ}(t)$ | [%] |
| Pf ₁₂ | vorgegebenes Lager <i>Mobilien</i> (linearlogistisch) | $M_M(t)$ | [kg·cap. ⁻¹] |
| Pf ₁₃ | Kupfereinsatz in Pflanzenschutzmitteln | $I_{Landw.}(t)$ | [kg·cap. ⁻¹ ·a ⁻¹] |
| Pf ₁₄ | Transferkoeffizient Rückbau–Produktion | $k_{7-6}(t)$ | [%] |
| Pf ₁₅ | Anteil Import-Schrott in Deponie (Schlacke) | $k_{ImpSchrott-Deponie}^{\circ}(t)$ | [%] |
| Pf ₁₆ | Transferkoeffizient Materialherstellung–Export-Schrott | $k_{6-0}(t)$ | [%] |
| Pf ₁₇ | Anteil Immobilien-Schrott in Schlacke | $k_{ImmSchrott-Deponie}^{\circ}(t)$ | [%] |
| Pf ₁₈ | Transferkoeffizient Elektro-Export | $k_{2-0}(t)$ | [%] |
| Pf ₁₉ | Transferkoeffizient Mobilien(Rest)-Export | $k_{3-0}(t)$ | [%] |
| Pf ₂₀ | Transferkoeffizient Immobilien-Export | $k_{4-0}(t)$ | [%] |
| Pf ₂₁ | Anteil des Direktimports am Infrastruktur-Input | $i_{4-10}(t)$ | [%] |
| Pf ₂₂ | Anteil aus Halbzeughandel am Mobilien-Input | $i_{5-9}(t)$ | [%] |
| Pf ₂₃ | Anteil des Direktimports am Gebäude-Input | $i_{4-11}(t)$ | [%] |
| Pf ₂₄ | Anteil aus Halbzeughandel am Gebäude-Input | $i_{5-11}(t)$ | [%] |
| Pf ₂₅ | Anteil aus Halbzeughandel am Infrastruktur-Input | $i_{5-10}(t)$ | [%] |
| Pf ₂₆ | vorgegebenes Kupferlager in <i>Fahrzeugen</i> | $M_A(t)$ | [kg·cap. ⁻¹] |
| Pf ₂₇ | Anteil des Direktimports Mobilien(Rest) am Mobilien-Input | $i_{3-9}(t)$ | [%] |
| Pf ₂₈ | Anteil des Direktimports Elektrowaren am Mobilien-Input | $i_{2-9}(t)$ | [%] |
| Pf ₂₉ | Direktexport Güter | $O_{Güter(Direkt)}(t)$ | [kg·cap. ⁻¹ ·a ⁻¹] |

| Par.Nr. | Bezeichnung der Parameterfunktion | | Einheit |
|------------------|--|------------------------------------|--|
| Pf ₃₀ | Direktimport Schrotte | $I_{\text{Schrotte}}(t)$ | $[\text{kg} \cdot \text{cap.}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}]$ |
| Pf ₃₁ | vorgegebener Güterexport (ohne Direktexport) | $O_{\text{Güter(ohne Direkt)}}(t)$ | $[\text{kg} \cdot \text{cap.}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}]$ |
| Pf ₃₂ | Transferfunktion <i>Fahrzeuge</i> | $k_F(t, t')$ | $[\% \cdot \text{a}^{-1}]$ |
| Pf ₃₃ | Transferkoeffizient Schrott-Direktexport | $k_{5-0}(t)$ | $[\%]$ |
| Pf ₃₄ | vorgegebenes Lager <i>Haustechnik</i> (linearlogistisch) | $M_{\text{HT}}(t)$ | $[\text{kg} \cdot \text{cap.}^{-1}]$ |
| Pf ₃₅ | Transferfunktion <i>Haustechnik</i> | $k_{\text{HT}}(t, t')$ | $[\% \cdot \text{a}^{-1}]$ |
| Pf ₃₆ | Kupfersubstitution/Abbruch <i>Haustechnik</i> | $O_{\text{HT/ Substitution}}(t)$ | $[\text{kg} \cdot \text{cap.}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}]$ |
| Pf ₃₇ | vorgegebenes Lager <i>Dach</i> (linearlogistisch) | $M_{\text{DA}}(t)$ | $[\text{kg} \cdot \text{cap.}^{-1}]$ |
| Pf ₃₈ | Transferfunktion <i>Dach</i> | $k_{\text{DA}}(t, t')$ | $[\%/\text{a}]$ |
| Pf ₃₉ | Kupfersubstitution/Abbruch <i>Dach</i> | $O_{\text{DA/ Substitution}}(t)$ | $[\text{kg} \cdot \text{cap.}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}]$ |
| Pf ₄₀ | Lebensdauervertelung <i>Infrastruktur</i> | $\tau_I(t)$ | $[\text{a}]$ |
| Pf ₄₁ | Unsicherheit der Lebensdauervertelung <i>Infrastruktur</i> | $\sigma_I(t)$ | $[\text{a}]$ |
| Pf ₄₂ | Lebensdauervertelung <i>Gebäude</i> | $\tau_G(t)$ | $[\text{a}]$ |
| Pf ₄₃ | Unsicherheit der Lebensdauervertelung <i>Gebäude</i> | $\sigma_G(t)$ | $[\text{a}]$ |
| Pf ₄₄ | Lebensdauervertelung <i>Mobilien</i> | $\tau_M(t)$ | $[\text{a}]$ |
| Pf ₄₅ | Unsicherheit der Lebensdauervertelung <i>Mobilien</i> | $\sigma_M(t)$ | $[\text{a}]$ |
| Pf ₄₆ | Lebensdauervertelung <i>Fahrzeuge</i> | $\tau_F(t)$ | $[\text{a}]$ |
| Pf ₄₇ | Unsicherheit der Lebensdauervertelung <i>Fahrzeuge</i> | $\sigma_F(t)$ | $[\text{a}]$ |
| Pf ₄₈ | Lebensdauervertelung <i>Haustechnik</i> | $\tau_{\text{HT}}(t)$ | $[\text{a}]$ |
| Pf ₄₉ | Unsicherheit der Lebensdauervertelung <i>Haustechnik</i> | $\sigma_{\text{HT}}(t)$ | $[\text{a}]$ |
| Pf ₅₀ | Lebensdauervertelung <i>Dach</i> | $\tau_{\text{DA}}(t)$ | $[\text{a}]$ |
| Pf ₅₁ | Unsicherheit der Lebensdauervertelung <i>Dach</i> | $\sigma_{\text{DA}}(t)$ | $[\text{a}]$ |

Parameterfunktionen, die während des Untersuchungszeitraumes konstant sind, werden durch einen Wert und seine Unsicherheit bestimmt. Zum Abbilden des zeitlichen Verlaufs werden die Wachstumsfunktionen der Lager durch jeweils vier bis acht Parameter, die Transferfunktionen durch jeweils zwei Parameter beschrieben („parametrisiert“)(hier: Parameter ist ein zeitunabhängiger Wert im Gegensatz zur Parameterfunktion, die i.Allg. zeitabhängig ist). Insgesamt werden damit 70 zeitunabhängige Parameter eingesetzt (Tab. A-39).

Tab. A-39: Liste der Parameterfunktionen (Parameterfunktionsnummer und Bezeichnung) und der sie bzw. ihren zeitlichen Verlauf beschreibenden Parameter $p_{i,j}$ (Parametrisierung der Parameterfunktionen). Für die zeitabhängigen Werte und die Ungenauigkeiten sind die Werte des Stichjahrs 2000 angegeben (kursiv). Grau hinterlegt sind die Parameter zur Beschreibung des Verlaufs der Wachstumsfunktionen (Lagerfunktionen). Für die Wachstumsfunktionen sind die aus den Messpunkten ermittelten Kurvenparameter exakt angegeben (unterstrichen).

| Parameterfunktion | | $p_{i,j}$ | Parameter [Einheit] | Wert | Ungenauigkeit |
|-------------------|---|------------|--|-----------------|---------------|
| Pf ₁ | Transferfunktion <i>Infrastruktur</i> | $p_{1,1}$ | Verweilzeit τ [a] | 40 | 10 |
| | | $p_{1,2}$ | Breite σ [a] | 20 | 5 |
| Pf ₂ | Kupfersubstitution/Abbruch <i>Infrastruktur</i> | $p_{2,1}$ | Kupfersubstitution [kg·cap. ⁻¹ ·a ⁻¹] | 0 | 0 |
| Pf ₃ | Abriebkoeffizient (pro a) von gesamtem Lager <i>Infrastruktur</i> | $p_{3,1}$ | Anteil Abrieb [a ⁻¹] | 5.90E-05 | 5.90E-05 |
| Pf ₄ | vorgegebenes Lager <i>Infrastruktur</i> (doppeltlogistisch) | $p_{4,1}$ | Startwert bei $t = -\infty$ [kg·cap. ⁻¹] | <u>-3.39445</u> | 0 |
| | | $p_{4,2}$ | Sättigungswert [kg·cap. ⁻¹] | 120 | 10 |
| | | $p_{4,3}$ | Startzeit Aufbau [Jahr] | 1900 | 0 |
| | | $p_{4,4}$ | Startwert Aufbau [kg·cap. ⁻¹] | 2 | 0.2 |
| | | $p_{4,5}$ | reziproke Aufbauzeit 1 | <u>0.177766</u> | 0.018 |
| | | $p_{4,6}$ | Wendepunkt τ_1 [Jahr] | <u>1910.979</u> | 3 |
| | | $p_{4,7}$ | reziproke Aufbauzeit 2 | <u>0.065128</u> | 0.0065 |
| | | $p_{4,8}$ | Wendepunkt τ_2 [Jahr] | <u>1969.469</u> | 3 |
| Pf ₅ | Transferfunktion <i>Gebäude</i> | $p_{5,1}$ | Verweilzeit τ [a] | 40 | 10 |
| | | $p_{5,2}$ | Breite σ [a] | 20 | 5 |
| Pf ₆ | Kupfersubstitution/Abbruch <i>Gebäude</i> | $p_{6,1}$ | Kupfersubstitution [kg·cap. ⁻¹ ·a ⁻¹] | 0 | 0 |
| Pf ₇ | Abriebkoeffizient (pro a) von gesamtem Lager <i>Gebäude</i> | $p_{7,1}$ | Anteil Abrieb [a ⁻¹] | 2.50E-04 | 1.25E-04 |
| Pf ₈ | vorgegebenes Lager <i>Gebäude</i> (linearlogistisch) | $p_{8,1}$ | Sättigungswert [kg·cap. ⁻¹] | 111 | 0 |
| | | $p_{8,2}$ | reziproke Aufbauzeit | <u>0.057898</u> | 0 |
| | | $p_{8,3}$ | Wendepunkt τ [Jahr] | <u>1989.161</u> | 0 |
| | | $p_{8,4}$ | Startzeit Aufbau [Jahr] | <u>1869.351</u> | 0 |
| | | $p_{8,5}$ | Übergangspunkt T* [Jahr] | <u>1943.631</u> | 0 |
| Pf ₉ | Transferfunktion <i>Mobilien</i> | $p_{9,1}$ | Verweilzeit τ [a] | 14 | 2 |
| | | $p_{9,2}$ | Breite σ [a] | 7 | 1 |
| Pf ₁₀ | Abriebkoeffizient (pro a) von gesamtem Lager <i>Mobilien</i> | $p_{10,1}$ | Anteil Abrieb [a ⁻¹] | 1.00E-04 | 0.50E-04 |
| Pf ₁₁ | Anteil der Mobilien in Deponie ²³ | $p_{11,1}$ | k_{9-1} | 0.60 | 0 |

²³ Bezugsgrösse ist nicht der gesamte Mobilienoutput, sondern nur die Summe aus $A_{9,6}$ und $A_{9,1}$.

| Parameterfunktion | | $p_{i,j}$ | Parameter [Einheit] | Wert | Ungenauigkeit |
|-------------------|--|------------|--|------------------|---------------|
| Pf ₁₂ | vorgegebenes Lager <i>Mobilien</i> (linearlogistisch) | $p_{12,1}$ | Sättigungswert [kg·cap. ⁻¹] | 50 | 5 |
| | | $p_{12,2}$ | reziproke Aufbauzeit | <u>0.058361</u> | 0.0058 |
| | | $p_{12,3}$ | Wendepunkt τ [Jahr] | <u>1989.08</u> | 3 |
| | | $p_{12,4}$ | Startzeit Aufbau [Jahr] | <u>1856.262</u> | 20 |
| | | $p_{12,5}$ | Übergangspunkt T^* [Jahr] | <u>1930.155</u> | 0 |
| Pf ₁₃ | Kupfereinsatz in Pflanzenschutzmitteln | $p_{13,1}$ | [kg·cap. ⁻¹ ·a ⁻¹] | 0.07 | 0.02 |
| Pf ₁₄ | Transferkoeffizient Rückbau–Produktion | $p_{14,1}$ | k_{7-6} | 0.90 | 0.05 |
| Pf ₁₅ | Anteil Import-Schrott in Deponie (Schlacke) | $p_{15,1}$ | | 0.005 | 0.005 |
| Pf ₁₆ | Transferkoeffizient Produktion–Export-Schrott | $p_{16,1}$ | | 0.40 | 0.1 |
| Pf ₁₇ | Anteil Immobilien-Schrott in Schlacke | $p_{17,1}$ | | 0.005 | 0.005 |
| Pf ₁₈ | Transferkoeffizient Elektro-Direktexport | $p_{18,1}$ | k_{2-0} | 0.05 | 0.1 |
| Pf ₁₉ | Transferkoeffizient Mobilien(Rest)-Direktexport | $p_{19,1}$ | k_{3-0} | 0.05 | 0.1 |
| Pf ₂₀ | Transferkoeffizient Immobilien-Direktexport | $p_{20,1}$ | k_{4-0} | 0.35 | 0.02 |
| Pf ₂₁ | Anteil des Direktimports am Infrastruktur-Input | $p_{21,1}$ | | 0.30 | 0 |
| Pf ₂₂ | Anteil aus Halbzeughandel am Mobilien-Input | $p_{22,1}$ | | 0 | 0 |
| Pf ₂₃ | Anteil des Direktimports am Gebäude-Input | $p_{23,1}$ | | 0.70 | 0 |
| Pf ₂₄ | Anteil aus Halbzeughandel am Gebäude-Input | $p_{24,1}$ | | 0 | 0 |
| Pf ₂₅ | Anteil aus Halbzeughandel am Infrastruktur-Input | $p_{25,1}$ | | 0 | 0 |
| Pf ₂₆ | vorgegebenes Kupferlager in <i>Fahrzeugen</i> | $p_{26,1}$ | Startwert bei $t = -\infty$ [kg·cap. ⁻¹] | <u>-0.006524</u> | 0 |
| | | $p_{26,2}$ | Sättigungswert [kg·cap. ⁻¹] | 6.5 | 0.65 |
| | | $p_{26,3}$ | reziproke Aufbauzeit | <u>0.088848</u> | 0.0089 |
| | | $p_{26,4}$ | Wendepunkt τ [Jahr] | <u>1977.7</u> | 3 |
| Pf ₂₇ | Anteil des Direktimports Mobilien(Rest) am Mobilien-Input | $p_{27,1}$ | | 0.30 | 0 |
| Pf ₂₈ | Anteil des Direktimports Elektrowaren am Mobilien-Input | $p_{28,1}$ | | 0.55 | 0 |
| Pf ₂₉ | Direktexport Güter | $p_{29,1}$ | [kg·cap. ⁻¹ ·a ⁻¹] | 0 | 0 |
| Pf ₃₀ | Direktimport Schrotte | $p_{30,1}$ | [kg·cap. ⁻¹ ·a ⁻¹] | 1.82 | 0 |
| Pf ₃₁ | vorgegebener Güterexport (ohne Direktexporte) | $p_{31,1}$ | [kg·cap. ⁻¹ ·a ⁻¹] | 7.60 | 0 |
| Pf ₃₂ | Transferfunktion <i>Fahrzeuge</i> | $p_{32,1}$ | Verweilzeit τ [a] | 10 | 0 |
| | | $p_{32,2}$ | Breite σ [a] | 5 | 0 |
| Pf ₃₃ | Transferkoeff. Schrott-Direktexport | $p_{33,1}$ | | 0.70 | 0 |

| Parameterfunktion | | $p_{i,j}$ | Parameter [Einheit] | Wert | Ungenauigkeit |
|-------------------|---|-------------------|--|-----------------|---------------|
| Pf ₃₄ | vorgegebenes Lager <i>Haustechnik</i> (linearlogistisch) | p _{34,1} | Sättigungswert [kg·cap. ⁻¹] | 59 | 6 |
| | | p _{34,2} | reziproke Aufbauzeit | <u>0.069073</u> | 0.0069 |
| | | p _{34,3} | Wendepunkt τ [Jahr] | <u>1981.673</u> | 3 |
| | | p _{34,4} | Startzeit Aufbau [Jahr] | <u>1840.554</u> | 20 |
| | | p _{34,5} | Übergangspunkt T* [Jahr] | <u>1912.176</u> | 0 |
| Pf ₃₅ | Transferfunktion <i>Haustechnik</i> | p _{35,1} | Verweilzeit τ [a] | 40 | 10 |
| | | | Breite σ [a] | 20 | 5 |
| Pf ₃₆ | Kupfersubstitution/Abbruch <i>Haustechnik</i> | p _{36,1} | Kupfersubstitution [kg·cap. ⁻¹ ·a ⁻¹] | 0 | 0 |
| Pf ₃₇ | vorgegebenes Lager <i>Dach</i> (linearlogistisch) | p _{37,1} | Sättigungswert [kg·cap. ⁻¹] | 52 | 5 |
| | | p _{37,2} | reziproke Aufbauzeit | <u>0.057425</u> | 0.0057 |
| | | p _{37,3} | Wendepunkt τ [Jahr] | <u>2008.417</u> | 3 |
| | | p _{37,4} | Startzeit Aufbau [Jahr] | <u>1857.59</u> | 20 |
| | | p _{37,5} | Übergangspunkt T* [Jahr] | 1975 | 0 |
| Pf ₃₈ | Transferfunktion <i>Dach</i> | p _{38,1} | Verweilzeit τ [a] | 40 | 10 |
| | | | Breite σ [a] | 20 | 5 |
| Pf ₃₉ | Kupfersubstitution/Abbruch <i>Dach</i> | p _{39,1} | Kupfersubstitution [kg·cap. ⁻¹ ·a ⁻¹] | 0 | 0 |
| Pf ₄₀ | Lebensdauervertlg. <i>Infrastruktur</i> | p _{40,1} | Verweilzeit τ [a] | 40 | 10 |
| Pf ₄₁ | Unsicherheit der Lebensdauervertlg. <i>Infrastruktur</i> | p _{41,1} | Breite σ [a] | 20 | 5 |
| Pf ₄₂ | Lebensdauervertlg. <i>Gebäude</i> | p _{42,1} | Verweilzeit τ [a] | 40 | 10 |
| Pf ₄₃ | Unsicherheit der Lebensdauervertlg. <i>Gebäude</i> | p _{43,1} | Breite σ [a] | 20 | 5 |
| Pf ₄₄ | Lebensdauervertlg. <i>Mobilien</i> | p _{44,1} | Verweilzeit τ [a] | 14 | 2 |
| Pf ₄₅ | Unsicherheit der Lebensdauervertlg. <i>Mobilien</i> | p _{45,1} | Breite σ [a] | 7 | 1 |
| Pf ₄₆ | Lebensdauervertlg. <i>Fahrzeuge</i> | p _{46,1} | Verweilzeit τ [a] | 10 | 0 |
| Pf ₄₇ | Unsicherheit der Lebensdauervertlg. <i>Fahrzeuge</i> | p _{47,1} | Breite σ [a] | 5 | 0 |
| Pf ₄₈ | Lebensdauervertlg. <i>Haustechnik</i> | p _{48,1} | Verweilzeit τ [a] | 40 | 10 |
| Pf ₄₉ | Unsicherheit der Lebensdauervertlg. <i>Haustechnik</i> | p _{49,1} | Breite σ [a] | 20 | 5 |
| Pf ₅₀ | Lebensdauervertlg. <i>Dach</i> | p _{50,1} | Verweilzeit τ [a] | 40 | 10 |
| Pf ₅₁ | Unsicherheit der Lebensdauervertlg. <i>Dach</i> | p _{51,1} | Breite σ [a] | 20 | 5 |

Der Verlauf der Parameterfunktionen wird durch Stützpunkte bestimmt. Der Abstand der Stützpunkte beträgt im Zeitraum 1900–2000 zehn Jahre; für die anschliessende Prognose beträgt der Abstand 25 Jahre (Tab. A-40).

Tab. A-40: Stützpunkte der zeitlich variablen Parameterfunktionen des Modells *Cuprum* (ausschliesslich der Wachstumsfunktionen). Die Parameterfunktionen, die Flüsse beschreiben, sind grau markiert.

| Zeit | Pf ₁₁ | Pf ₁₃ | Pf ₁₄ | Pf ₁₆ | Pf ₂₀ | Pf ₂₁ | Pf ₂₃ | Pf ₂₇ | Pf ₂₈ | Pf ₃₀ | Pf ₃₁ | Pf ₃₃ |
|------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1839 | 0.50 | | 0.95 | 0.05 | 0.05 | 0.15 | 0.02 | 0.70 | 0.00 | | 0.20 | 0.05 |
| 1900 | 0.50 | | 0.95 | 0.05 | 0.05 | 0.15 | 0.02 | 0.70 | 0.02 | | 0.47 | 0.05 |
| 1910 | 0.50 | | 0.93 | 0.05 | 0.05 | 0.15 | 0.02 | 0.70 | 0.02 | 0.17 | 0.78 | 0.05 |
| 1920 | 0.50 | | 0.91 | 0.05 | 0.05 | 0.15 | 0.10 | 0.70 | 0.04 | 0.34 | 2.11 | 0.05 |
| 1930 | 0.54 | | 0.90 | 0.05 | 0.05 | 0.15 | 0.25 | 0.70 | 0.06 | 0.12 | 2.77 | 0.05 |
| 1940 | 0.62 | | 0.90 | 0.05 | 0.05 | 0.15 | 0.40 | 0.60 | 0.08 | 0.04 | 1.89 | 0.05 |
| 1950 | 0.70 | | 0.90 | 0.05 | 0.05 | 0.15 | 0.55 | 0.50 | 0.10 | 0.01 | 2.54 | 0.05 |
| 1960 | 0.70 | 0.03 | 0.90 | 0.05 | 0.05 | 0.20 | 0.60 | 0.40 | 0.30 | 0.23 | 2.62 | 0.05 |
| 1970 | 0.70 | 0.03 | 0.90 | 0.15 | 0.05 | 0.20 | 0.75 | 0.30 | 0.50 | 0.05 | 2.30 | 0.05 |
| 1980 | 0.68 | 0.17 | 0.90 | 0.15 | 0.15 | 0.25 | 0.80 | 0.30 | 0.50 | 0.41 | 5.44 | 0.20 |
| 1990 | 0.64 | 0.10 | 0.90 | 0.15 | 0.25 | 0.25 | 0.75 | 0.30 | 0.50 | 0.94 | 6.69 | 0.45 |
| 2000 | 0.60 | 0.07 | 0.90 | 0.40 | 0.35 | 0.30 | 0.70 | 0.30 | 0.55 | 1.82 | 7.60 | 0.70 |
| 2025 | 0.50 | 0.07 | 0.90 | 0.40 | 0.35 | 0.30 | 0.65 | 0.30 | 0.60 | 2.00 | 6.00 | 0.70 |
| 2050 | 0.40 | 0.07 | 0.90 | 0.40 | 0.35 | 0.30 | 0.65 | 0.30 | 0.60 | 2.00 | 6.00 | 0.70 |
| 2075 | 0.40 | 0.07 | 0.90 | 0.40 | 0.35 | 0.30 | 0.60 | 0.30 | 0.60 | 2.00 | 6.00 | 0.70 |
| 2101 | 0.40 | 0.07 | 0.90 | 0.40 | 0.35 | 0.30 | 0.60 | 0.30 | 0.60 | 2.00 | 6.00 | 0.70 |

Zur numerischen Modellierung werden diese Parameterfunktionen durch lineare Interpolation der Stützpunkte gebildet (Abb. A-13). Aufgrund der Ordinatenskala werden die Parameter, die Flüsse beschreiben, getrennt dargestellt (Abb. A-14).

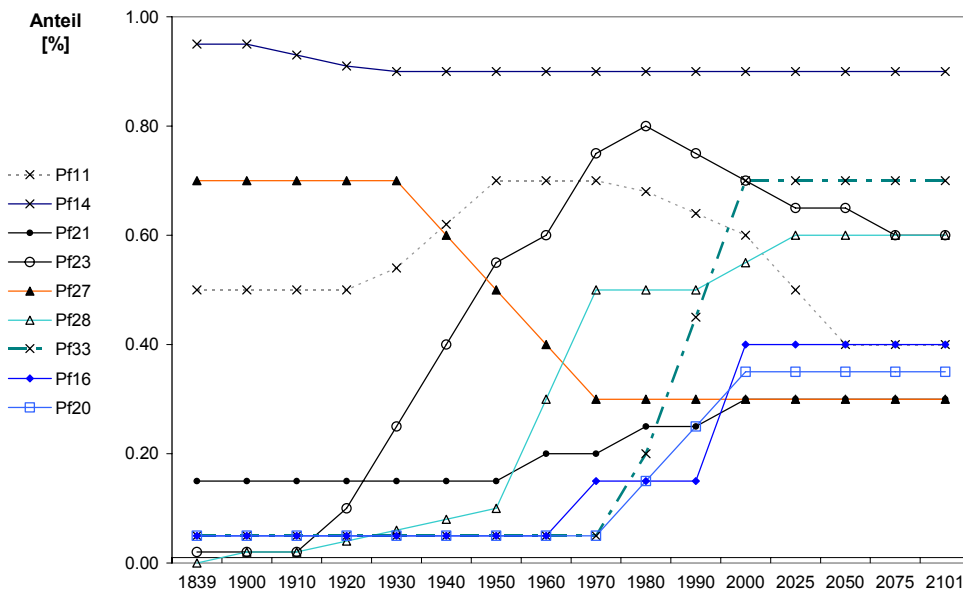


Abb. A-13: Verlauf der zeitabhängigen Parameterfunktionen im Modellzeitraum 1900 bis 2100 (ohne Wachstumsfunktionen und Flüsse). Die Symbole zeigen den Parametertyp an: „x“ bedeutet Transferkoeffizient; die anderen Symbole bedeuten „Anteil eines Flusses“.

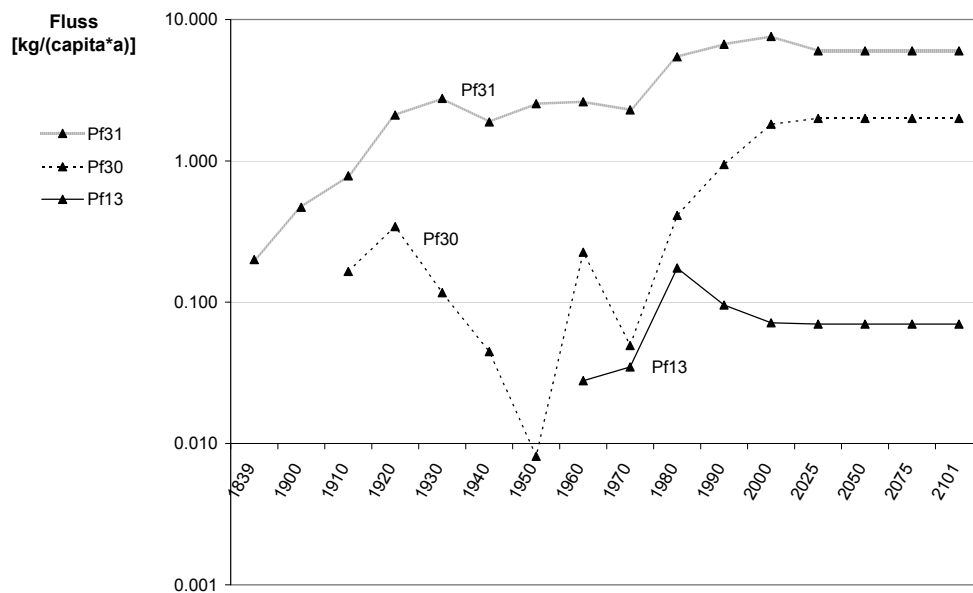


Abb. A-14: Verlauf zeitabhängiger Parameterfunktionen im Modellzeitraum 1900–2100: vorgegebene Flüsse (pro Kopf und Jahr). Darstellung auf logarithmischer Ordinaten-Skala; fehlende Parameterwerte zu Beginn des Zeitraums sind Flüsse mit Wert 0 (hier nicht darstellbar).

Ab 2000 werden die meisten Parameterfunktionen für das „Standardszenario“ konstant gehalten. Ausgenommen sind folgende fünf Parameterfunktionen:

- Technische und logistische Verbesserungen bei der Mobilienbehandlung wie die Aufbereitung von EE-Schrotten bewirken eine Verringerung des Transferkoeffizienten der Mobilien in die Deponie (Pf_{11}).
- Da der Sättigungseffekt des Kupferlagers im Dach zeitlich nach der Sättigung des Lagers in der Haustechnik eintritt, nimmt der Anteil der Bleche am Gebäude-Input zu. Dementsprechend wird eine Abnahme des Anteils des Direktimports (Pf_{23}) von 70 % auf 60 % (2075) angesetzt, bevor sich der Anteil stabilisiert.
- Der Mobilien-Input besteht aktuell ungefähr zu 55 % aus Direktimport von Elektrowaren, zu 30 % aus Direktimport von Mobilien(Rest)-Gütern und zu 15 % aus schweizerischer Produktion. Im Bereich der Elektrowaren wird infolge der weltweit zunehmenden *Outsourcing*-Praxis eine Abnahme regionseigener Produktion angesetzt, so dass der Anteil des Direktimports von Elektrowaren am Mobilien-Input (Pf_{28}) von 55 % auf 60 % (2025) ansteigt.
- Der Direktimport von Schrotten nahm seit 1980 stark zu (Pf_{30})(vgl. Tab. A-40). Aufgrund zu erwartender Sättigungseffekte im Aussenhandel erscheint ein Anstieg von 1.82 kg/(capita · a) um 10 % auf 2 kg/(capita · a) (2025) angepasst.
- Der Export von Kupfer in Gütern aus regionseigener Produktion nahm seit 1950 von 3 kg/(capita · a) auf 8 kg/(capita · a) zu (Pf_{31})(vgl. Tab. A-40). Wegen der zunehmenden globalen Konkurrenz werden ausländische Produktionsbetriebe im Vergleich zu inländischen an Bedeutung gewinnen. Die Abnahme des Güterexports wird von 8 kg/(capita · a) auf 6 kg/(capita · a) vorgegeben.

A.4.4 Systemgleichungen

Die Systemgleichungen sind mit F_i gekennzeichnet. Die Transferfunktionen der Lager sind in Kap. 5.2.3.1 erläutert.

INTRINSISCHE BEZIEHUNGEN

$$F_1: \quad M_1(t) - M_1(t_0) - \int_{t_0}^t \dot{M}_1(t') dt' = X_1(t) - X_1(t_0) - \int_{t_0}^t X_{12}(t') dt' = 0$$

$$\vdots$$

$$F_{11}: \quad M_{11}(t) - M_{11}(t_0) - \int_{t_0}^t \dot{M}_{11}(t') dt' = X_{11}(t) - X_{11}(t_0) - \int_{t_0}^t X_{22}(t') dt' = 0$$

BILANZGLEICHUNGEN

$$F_{12}: \quad \dot{M}_1(t) - A_{6-1}(t) - A_{9-1}(t) - A_{7-1}(t) = X_{12}(t) - X_{23}(t) - X_{24}(t) - X_{25}(t) = 0$$

$$F_{13}: \quad \dot{M}_2(t) - I_2(t) + A_{2-9}(t) + O_3(t) = X_{13}(t) - X_{45}(t) + X_{30}(t) + X_{54}(t) = 0$$

$$F_{14}: \quad \dot{M}_3(t) - I_3(t) + A_{3-9}(t) + O_4(t) = X_{14}(t) - X_{46}(t) + X_{31}(t) + X_{55}(t) = 0$$

$$F_{15}: \quad \dot{M}_4(t) - I_4(t) + A_{4-10}(t) + A_{4-11}(t) + O_5(t) = X_{15}(t) - X_{47}(t) + X_{34}(t) + X_{38}(t) + X_{56}(t) = 0$$

$$F_{16}: \quad \dot{M}_5(t) - I_5(t) - I_6(t) - I_7(t) + A_{5-9}(t) + A_{5-10}(t) + A_{5-11}(t) + A_{5-6}(t) + O_6(t) + O_7(t) = X_{16}(t) - X_{48}(t) - X_{49}(t) - X_{50}(t) + X_{32}(t) + X_{35}(t) + X_{39}(t) + X_{43}(t) + X_{57}(t) + X_{58}(t) = 0$$

$$F_{17}: \quad \dot{M}_6(t) - A_{9-6}(t) - A_{7-6}(t) - A_{5-6}(t) + A_{6-1}(t) + A_{6-9}(t) + A_{6-10}(t) + A_{6-11}(t) + O_1(t) + O_2(t) = X_{17}(t) - X_{26}(t) - X_{27}(t) - X_{43}(t) + X_{23}(t) + X_{28}(t) + X_{29}(t) + X_{42}(t) + X_{52}(t) + X_{53}(t) = 0$$

$$F_{18}: \quad \dot{M}_7(t) - A_{10-7}(t) - A_{11-7}(t) + A_{7-1}(t) + A_{7-6}(t) = X_{18}(t) - X_{36}(t) - X_{40}(t) + X_{25}(t) + X_{27}(t) = 0$$

$$F_{19}: \quad \dot{M}_8(t) - A_{9-8}(t) - A_{10-8}(t) - A_{11-8}(t) - I_8(t) = X_{19}(t) - X_{33}(t) - X_{37}(t) - X_{41}(t) - X_{51}(t) = 0$$

$$F_{20}: \quad \dot{M}_9(t) - A_{6-9}(t) - A_{2-9}(t) - A_{3-9}(t) - A_{5-9}(t) - I_1(t) + A_{9-1}(t) + A_{9-6}(t) + A_{9-8}(t) = X_{20}(t) - X_{28}(t) - X_{30}(t) - X_{31}(t) - X_{32}(t) - X_{44}(t) + X_{24}(t) + X_{26}(t) + X_{33}(t) = 0$$

$$F_{21}: \quad \dot{M}_{10}(t) - A_{6-10}(t) - A_{4-10}(t) - A_{5-10}(t) + A_{10-7}(t) + A_{10-8}(t) = X_{21}(t) - X_{29}(t) - X_{34}(t) - X_{35}(t) + X_{36}(t) + X_{37}(t) = 0$$

$$F_{22}: \quad \dot{M}_{11}(t) - A_{4-11}(t) - A_{5-11}(t) - A_{6-11}(t) + A_{11-7}(t) + A_{11-8}(t) = X_{22}(t) - X_{38}(t) - X_{39}(t) - X_{42}(t) + X_{40}(t) + X_{41}(t) = 0$$

MODELLSPEZIFISCHE GLEICHUNGEN

Die Parameterfunktionen $Pf_i(t)$ werden hier der Einfachheit halber mit $p_i(t)$ notiert.

Regulierung des Infrastrukturlager-Outputs

p_1, p_2

$$F_{23}: \quad A_{10-7}(t) + A_{10-8}(t) - O_{10/Renov.}(t) - O_{10/Subst.}(t) = X_{36}(t) + X_{37}(t) - O_{10/Renov.}(t) - O_{10/Subst.}(t) = 0$$

$$O_{10/Renov.}(t) = \int_{t_{10,R}(t)} k_{10}(t, t') (A_{4-10}(t') + A_{5-10}(t') + A_{6-10}(t')) dt'$$

mit $O_{10/Subst.}(t) = p_2(t)$ Kupfersubstitution/Abbruch zur Zeit t
 $k_{10}(t, t') = p_1(t)$ Transferfunktion des Infrastruktur-Inputs
 $t_{10,R}(t)$ Zeitpunkt, bis zu dem der ursprüngliche Input „aufgebraucht“ wurde
 (durch Substitution/Abbruch und Abrieb)

Abrieb aus der Infrastruktur**p₃**

$$F_{24}: A_{10-8}(t) - f_{10}(t, M_{10}(t), \dots) = X_{37}(t) - f_{10}(t, M_{10}(t), \dots) = 0$$

$$f_{10}(t, M_{10}(t), \dots) = p_3(t) \cdot M_{10}(t) \text{ bzw. } = p_3(t) \cdot F_{10}(t)$$

mit $p_3(t)$ Abriebkoeffizient pro Zeiteinheit, multipliziert mit dem Anteil des Lagers, das dem Abrieb ausgesetzt ist

$F_{10}(t)$ exponierte Fläche

Annahme alle Flüsse ≥ 0

Sicherung $A_{10-8}(t) + A_{10-7}(t) = O_{10,tot} \geq 0$; d.h. $A_{10-8}(t) = O_{10,tot} - A_{10-7}(t) \leq O_{10,tot}$.

Lagerveränderung der Infrastruktur**p₄**

$$F_{25}: \dot{M}_{10}(t) - \dot{p}_4(t) = X_{21}(t) - \dot{p}_4(t) = 0 \Leftrightarrow M_{10}(t) - p_4(t) = 0$$

mit $p_4(t)$ vorgegebenes Infrastrukturlager

Regulierung des Gebäudelager-Outputs**p₅, p₆**

$$F_{26}: A_{11-7}(t) + A_{11-8}(t) - O_{11/Renov.}(t) - O_{11/Subst.}(t) = X_{40}(t) + X_{41}(t) - O_{11/Renov.}(t) - O_{11/Subst.}(t) = 0$$

$$O_{11/Renov.}(t) = \int_{t_{11,R}(t)} k_{11}(t, t') (A_{4-11}(t') + A_{5-11}(t') + A_{6-11}(t')) dt'$$

mit $O_{11/Subst.}(t) = p_6(t)$ Kupfersubstitution/Abbruch zur Zeit t

mit $k_{11}(t, t') = p_5(t)$ Transferfunktion des Gebäude-Inputs

$t_{11,R}(t)$ Zeitpunkt, bis zu dem der ursprüngliche Input „aufgebraucht“ wurde (durch Substitution/Abbruch und Abrieb)

Abrieb aus den Gebäuden**p₇**

$$F_{27}: A_{11-8}(t) - f_{11}(t, M_{11}(t), \dots) = X_{41}(t) - f_{11}(t, M_{11}(t), \dots) = 0$$

$$f_{11}(t, M_{11}(t), \dots) = p_7(t) \cdot M_{11}(t) \text{ bzw. } = p_7(t) \cdot F_{11}(t)$$

mit $p_7(t)$ Abriebkoeffizient pro Zeiteinheit, multipliziert mit dem Anteil des Lagers, das dem Abrieb ausgesetzt ist

$F_{11}(t)$ exponierte Fläche

Annahme alle Flüsse ≥ 0

Sicherung $A_{11-8}(t) + A_{11-7}(t) = O_{11,tot} \geq 0$; d.h. $A_{11-8}(t) = O_{11,tot} - A_{11-7}(t) \leq O_{11,tot}$.

Lagerveränderung der Gebäude**p₈**

$$F_{28}: \dot{M}_{11}(t) - \dot{p}_8(t) = X_{22}(t) - \dot{p}_8(t) = 0 \Leftrightarrow M_{11}(t) - p_8(t) = 0$$

mit $p_8(t)$ vorgegebenes Gebäudelager

Regulierung des Mobilienlager-Outputs**p₉**

$$F_{29}: A_{9-8}(t) + A_{9-6}(t) + A_{9-1}(t) - \int_0^t k_9(t, t') \cdot (A_{6-9}(t') + A_{2-9}(t') + A_{3-9}(t') + A_{5-9}(t') + I_1(t')) dt'$$

$$= X_{33}(t) + X_{26}(t) + X_{24}(t) - \int_0^t k_9(t, t') \cdot (X_{28}(t') + X_{30}(t') + X_{31}(t') + X_{32}(t') + X_{44}(t')) dt' = 0$$

mit $k_9(t, t') = p_9(t)$ Transferfunktion des Mobilien-Inputs

Abrieb aus den Mobilien**p₁₀**

$$F_{30}: A_{9,8}(t) - f_9(t, M_9(t), \dots) = X_{33}(t) - f_9(t, M_9(t), \dots) = 0$$

$$f_9(t, M_9(t), \dots) = p_{10}(t) \cdot M_9(t) \text{ bzw. } = p_{10}(t) \cdot F_9(t)$$

mit $p_{10}(t)$ Abriebkoeffizient pro Zeiteinheit, multipliziert mit dem Anteil des Lagers, das dem Abrieb ausgesetzt ist

$F_9(t)$ exponierte Fläche

Annahme alle Flüsse ≥ 0

Sicherung $A_{9,8}(t) + A_{9,6}(t) + A_{9,1}(t) = O_{9,tot} \geq 0$; d.h. $A_{9,8}(t) = O_{9,tot} - A_{9,6}(t) - A_{9,1}(t) \leq O_{9,tot}$.

Entsorgungspraxis der Mobilien**p₁₁**

$$F_{31}: A_{9,1}(t) - p_{11}(t) \cdot (A_{9,1}(t) + A_{9,6}(t)) = X_{24}(t) - p_{11}(t) \cdot (X_{24}(t) + X_{26}(t)) = 0$$

mit $p_{11}(t)$ Anteil des aus den Mobilien entsorgten Kupfers in die Deponie

Lagerveränderung der Mobilien**p₁₂**

$$F_{32}: \dot{M}_9(t) - \dot{p}_{12}(t) \cdot X_{20}(t) - \dot{p}_{12}(t) = 0 \Leftrightarrow \dot{M}_9(t) - p_{12}(t) = 0$$

mit $p_{12}(t)$ vorgegebenes Mobilienlager

Eintrag durch Pflanzenschutzmittel in Landwirtschaft**p₁₃**

$$F_{33}: I_8(t) - p_{13}(t) = X_{51}(t) - p_{13}(t) = 0$$

mit $p_{13}(t)$ vorgegebener Kupferfluss in Pflanzenschutzmitteln (Landwirtschaft)

Lager im Rückbau vernachlässigbar

$$F_{34}: \dot{M}_7(t) - 0 = X_{18} - 0 = 0 \Leftrightarrow \dot{M}_7(t) = 0$$

„Rezyklierungsrate“ des aus den Immobilien rückgebauten Kupfers**p₁₄**

$$F_{35}: A_{7,6}(t) - p_{14}(t) \cdot (A_{7,6}(t) + A_{7,1}(t)) = X_{27}(t) - p_{14}(t) \cdot (X_{27}(t) + X_{25}(t)) = 0$$

mit $p_{14}(t)$ Transferkoeffizient des rückgebauten Kupfers in Produktion (inklusive in exportierte Schrotte)

Zwischenhandel von Gütern (Direktexport)

$$F_{36}: O_6(t) - I_6(t) = X_{57}(t) - X_{49}(t) = 0$$

Schlackenrückstände der regionseigenen Schrottaufbereitung**p₁₅, p₁₇**

$$F_{37}: A_{6,1}(t) - p_{15}(t) \cdot (I_7(t) - O_7(t)) - p_{17}(t) \cdot A_{7,6}(t) = X_{23}(t) - p_{15}(t) \cdot (X_{50}(t) - X_{58}(t)) - p_{17}(t) \cdot X_{27}(t) = 0$$

mit $p_{15}(t)$ Schlackenrückstand der Aufbereitung importierten Schrotts

$p_{17}(t)$ Schlackenrückstand der Aufbereitung des rückgebauten Schrotts (Immobilien)²⁴

Zwischenhandel von Schrotten (Direktexport)**p₃₃**

$$F_{38}: O_7(t) - p_{33}(t) \cdot I_7(t) = X_{58}(t) - p_{33}(t) \cdot X_{50}(t) = 0$$

²⁴ Der Anteil der EE-Geräte/Schrotte, der als Mobilien-Kupfer in die Cu-Material-Herstellung gelangt, ist trotz modernster Aufbereitung durch Begleitmetalle verunreinigt, so dass eine Aufbereitung i.d.R. auf niedrigerer Qualitätsstufe im Ausland erfolgt, z.B. als Zugabe zu Schwarzkupfer. Die weiteren Kupfermobilien („Rest“) sind heterogen zusammengesetzt; auch für sie wird eine Aufbereitung aufgrund der Schrottqualitäten im Ausland angenommen, d.b. ein möglicher Transfer von Bearbeitungsrückständen/Schmelzschlacken in die Deponien wird vernachlässigt.

Mobilien direkt aus Handel Halbzeug/Rohstoffe**p22**

$$F_{39}: A_{5-9}(t) \cdot p_{22}(t) \cdot (A_{5-9}(t) + A_{2-9}(t) + A_{3-9}(t) + A_{6-9}(t)) = X_{32}(t) \cdot p_{22}(t) \cdot (X_{32}(t) + X_{30}(t) + X_{31}(t) + X_{28}(t)) = 0$$

mit $p_{22}(t)$ Anteil des Mobilieneinputs aus dem Prozess Handel
Halbzeug/Rohstoffe (ohne Berücksichtigung des Fahrzeuginputs)

Produkte direkt aus Handel Halbzeug/Rohstoffe in die Gebäude**p24**

$$F_{40}: A_{5-11}(t) \cdot p_{24}(t) \cdot (A_{5-11}(t) + A_{4-11}(t) + A_{6-11}(t)) = X_{39}(t) \cdot p_{24}(t) \cdot (X_{39}(t) + X_{38}(t) + X_{42}(t)) = 0$$

mit $p_{24}(t)$ Anteil des Gebäudeinputs aus dem Prozess Handel
Halbzeug/Rohstoffe

Produkte direkt aus Handel Halbzeug/Rohstoffe in die Infrastruktur**p25**

$$F_{41}: A_{5-10}(t) \cdot p_{25}(t) \cdot (A_{5-10}(t) + A_{4-10}(t) + A_{6-10}(t)) = X_{35}(t) \cdot p_{25}(t) \cdot (X_{35}(t) + X_{34}(t) + X_{29}(t)) = 0$$

mit $p_{25}(t)$ Anteil des Infrastruktur-Inputs aus dem Prozess Handel
Halbzeug/Rohstoffe

Lager im Handel Halbzeug/Rohstoff vernachlässigbar

$$F_{42}: \dot{M}_5(t) - 0 = X_{16}(t) - 0 = 0 \Leftrightarrow M_5(t) = 0$$

Zwischenhandel von Immobiliengütern (Direktexport)**p20**

$$F_{43}: O_5(t) \cdot p_{20}(t) \cdot I_4(t) = X_{56}(t) \cdot p_{20}(t) \cdot X_{47}(t) = 0$$

mit $p_{20}(t)$ Transferkoeffizient des Direktexports der Immobiliengüter

Produkte aus dem Immobiliengüterhandel in die Gebäude**p23**

$$F_{44}: A_{4-11}(t) \cdot p_{23}(t) \cdot (A_{5-11}(t) + A_{4-11}(t) + A_{6-11}(t)) = X_{38}(t) \cdot p_{23}(t) \cdot (X_{39}(t) + X_{38}(t) + X_{42}(t)) = 0$$

mit $p_{23}(t)$ Anteil des Gebäudeinputs aus dem Handel Immobiliengüter

Lager im Immobiliengüterhandel vernachlässigbar

$$F_{45}: \dot{M}_4(t) - 0 = X_{15}(t) - 0 = 0 \Leftrightarrow M_4(t) = 0$$

Zwischenhandel von Elektrowaren (Direktexport)**p18**

$$F_{46}: O_3(t) \cdot p_{18}(t) \cdot I_2(t) = X_{54}(t) \cdot p_{18}(t) \cdot X_{45}(t) = 0$$

mit $p_{18}(t)$ Transferkoeffizient des Direktexports der Elektrowaren

Lager im Elektrohandel vernachlässigbar

$$F_{47}: \dot{M}_2(t) - 0 = X_{13}(t) - 0 = 0 \Leftrightarrow M_2(t) = 0$$

Zwischenhandel von Mobilien(Rest) (Direktexport)**p19**

$$F_{48}: O_4(t) \cdot p_{19}(t) \cdot I_3(t) = X_{55}(t) \cdot p_{19}(t) \cdot X_{46}(t) = 0$$

mit $p_{19}(t)$ Transferkoeffizient des Direktexports der Mobilien(Rest)

Lager im Mobilienhandel(Rest) vernachlässigbar

$$F_{49}: \dot{M}_3(t) - 0 = X_{14}(t) - 0 = 0 \Leftrightarrow M_3(t) = 0$$

Schrottexporte aus der regionseigenen Produktion und Schrottaufbereitung **p₁₆(p₁₅,p₁₇)**

$$F_{50}: \quad O_2(t) - p_{16}(t) \cdot [A_{9-6}(t) + (1 - p_{17}(t)) \cdot A_{7-6}(t) + (I_7(t) - O_7(t)) \cdot (1 - p_{15}(t)) + I_5(t)] \\ = X_{53}(t) - p_{16}(t) \cdot [X_{26}(t) + (1 - p_{17}(t)) \cdot X_{27}(t) + (X_{50}(t) - X_{58}(t)) \cdot (1 - p_{15}(t)) + X_{48}(t)] = 0$$

- mit $p_{16}(t)$ Anteil des exportierten Schrottes (Alt- und Neuschrott) am gesamten umgesetzten Kupfer der Produktion/Herstellung, abzüglich des Deponieanteils
- $p_{17}(t)$ Schlackenrückstand der Aufbereitung des rückgebauten Schrotts (Immobilien)
- $p_{15}(t)$ Schlackenrückstand der Aufbereitung importierten Schrotts

Lager in Herstellung und Produktion vernachlässigbar

$$F_{51}: \quad \dot{M}_6(t) - 0 = X_{17}(t) - 0 = 0 \Leftrightarrow M_6(t) = 0$$

Immobilien Güter in Infrastruktur (Direktimport)**p₂₁**

$$F_{52}: \quad A_{4-10}(t) - p_{21}(t) \cdot (A_{4-10}(t) + A_{5-10}(t) + A_{6-10}(t)) = X_{34}(t) - p_{21}(t) \cdot (X_{34}(t) + X_{35}(t) + X_{29}(t)) = 0$$

- mit $p_{21}(t)$ Anteil des Imports an den Immobiliengütern in Infrastruktur-Nutzung

Mobilien(Rest) in Mobilien (Direktimport)**p₂₇**

$$F_{53}: \quad A_{3-9}(t) - p_{27}(t) \cdot (A_{5-9}(t) + A_{2-9}(t) + A_{3-9}(t) + A_{6-9}(t)) = X_{31}(t) - p_{27}(t) \cdot (X_{32}(t) + X_{30}(t) + X_{31}(t) + X_{28}(t)) = 0$$

- mit $p_{27}(t)$ Anteil des Mobilien(Rest)-Imports in Mobilien-Nutzung (ohne Berücksichtigung des Fahrzeuginputs)

Elektrowaren in Mobilien (Direktimport)**p₂₈**

$$F_{54}: \quad A_{2-9}(t) - p_{28}(t) \cdot (A_{5-9}(t) + A_{2-9}(t) + A_{3-9}(t) + A_{6-9}(t)) = X_{30}(t) - p_{28}(t) \cdot (X_{32}(t) + X_{30}(t) + X_{31}(t) + X_{28}(t)) = 0$$

- mit $p_{28}(t)$ Anteil des Elektrowaren-Imports in Mobilien-Nutzung (ohne Berücksichtigung des Fahrzeuginputs)

Export von Gütern**p₃₁**

$$F_{55}: \quad O_1(t) - p_{31}(t) = X_{52}(t) - p_{31}(t) = 0$$

- mit $p_{31}(t)$ vorgegebener Kupferfluss in Güterexport

Lagerveränderung der Automobile**p₂₆**

$$F_{56}: \quad \dot{M}_F(t) - \dot{p}_{26}(t) = X_{64}(t) - \dot{p}_{26}(t) = 0 \Leftrightarrow M_F(t) - p_{26}(t) = 0$$

- mit $p_{26}(t)$ Kupferlager in Fahrzeugen
- $X_{64} = I_1 - X_{65}$ Lagerveränderung der Fahrzeuge
- $X_{63} = \int_{t_0}^t (I_1 - X_{65}) dt$ Lager der Fahrzeuge

Direktexport Güter**p₂₉**

$$F_{57}: \quad I_6(t) - p_{29}(t) = X_{49}(t) - p_{29}(t) = 0$$

- mit $p_{29}(t)$ Direktexport unbearbeiteter importierter Güter

Schrottimport**p₃₀**

$$F_{58}: \quad I_7(t) - p_{30}(t) = X_{50}(t) - p_{30}(t) = 0$$

- mit $p_{30}(t)$ Schrottimport

Regulierung des Fahrzeuglager-Outputs

P32

F₅₉: $A_{F-6}(t)+A_{F-1}(t)+A_{F-8}(t)-O_F(t)=X_{65}(t)-O_F(t)=0$

mit $O_F(t)=\int_{t_{F,R}(t)}^t k_F(t,t') \cdot (l_1(t'))dt' \equiv X_{65}$

und $k_F(t,t')=p_{32}(t)$ Transferfunktion des Fahrzeug-Inputs
 $t_{F,R}(t)$ Zeitpunkt, bis zu dem der ursprüngliche Input „aufgebraucht“ wurde
 (durch Substitution und Abrieb)

Lagerveränderung der Haustechnik

P34

F₆₀: $\dot{M}_{HT}(t)-\dot{p}_{34}(t)=X_{67}(t)-\dot{p}_{34}(t)=0 \Leftrightarrow M_{HT}(t)-p_{34}(t)=0$

mit $p_{34}(t)$ Kupferlager in der Haustechnik

Regulierung des Haustechniklager-Outputs

P35,P36

F₆₁: $A_{HT-7}(t)+A_{HT-8}(t)-O_{HT/Renov.}(t)-O_{HT/Subst.}(t)=X_{68}(t)-O_{HT/Renov.}(t)-O_{HT/Subst.}(t)=0$

mit $O_{HT/Renov.}(t)=\int_{t_{HT,R}(t)}^t k_{HT}(t,t') \cdot (A_{4-HT}(t')+A_{5-HT}(t')+A_{6-HT}(t'))dt'$

und $k_{HT}(t,t')=p_{35}(t)$ Transferfunktion des Haustechnik-Inputs
 $t_{HT,R}(t)$ Zeitpunkt, bis zu dem der ursprüngliche Input „aufgebraucht“ wurde
 (durch Substitution/Abbruch und Abrieb)

mit $O_{HT/Subst.}(t)=p_{36}(t)$ Kupfersubstitution/Abbruch zur Zeit t

Lagerveränderung des Aussenbereichs

P37

F₆₂: $\dot{M}_{HT}(t)-\dot{p}_{37}(t)=X_{67}(t)-\dot{p}_{37}(t)=0 \Leftrightarrow M_{HT}(t)-p_{37}(t)=0$

mit $p_{37}(t)$ Kupferlager im Aussenbereich

Regulierung des Aussenbereichlager-Outputs

P38,P39

F₆₃: $A_{DA-7}(t)+A_{DA-8}(t)-O_{DA/Renov.}(t)-O_{DA/Subst.}(t)=X_{71}(t)-O_{DA/Renov.}(t)-O_{DA/Subst.}(t)=0$

mit $O_{DA/Renov.}(t)=\int_{t_{DA,R}(t)}^t k_{DA}(t,t') \cdot (A_{4-DA}(t')+A_{5-DA}(t')+A_{6-DA}(t'))dt'$

und $k_{DA}(t,t')=p_{38}(t)$ Transferfunktion des Aussenbereich-Inputs
 $t_{DA,R}(t)$ Zeitpunkt, bis zu dem der ursprüngliche Input „aufgebraucht“ wurde
 (durch Substitution/Abbruch und Abrieb)

mit $O_{DA/Subst.}(t)=p_{39}(t)$ Kupfersubstitution/Abbruch zur Zeit t

Transferfunktion Infrastruktur

P40,P41

F₆₄: $k_I(t,t')=\frac{1}{N_I(t')} \cdot e^{-\frac{(t-t'-\tau_I)^2}{2\sigma_I^2}} = \frac{1}{N_I(t')} \cdot e^{-\frac{(t-t'-p_{40}(t'))^2}{2\cdot p_{41}(t')^2}}$

mit $N_I(t')=\int_0^\infty e^{-\frac{(t-\tau)^2}{2(\sigma_I(t'))^2}} dt = \int_0^\infty e^{-\frac{(t-p_{40}(t'))^2}{2(p_{41}(t'))^2}} dt$

Transferfunktion Gebäude

P42,P43

F₆₅: $k_G(t,t')=\frac{1}{N_G(t')} \cdot e^{-\frac{(t-t'-\tau_G)^2}{2\sigma_G^2}} = \frac{1}{N_G(t')} \cdot e^{-\frac{(t-t'-p_{42}(t'))^2}{2\cdot p_{43}(t')^2}}$

mit $N_G(t')=\int_0^\infty e^{-\frac{(t-\tau_G(t'))^2}{2(\sigma_G(t'))^2}} dt = \int_0^\infty e^{-\frac{(t-p_{42}(t'))^2}{2(p_{43}(t'))^2}} dt$

Transferfunktion Mobilien**P44, P45**

$$F_{66}: k_M(t, t') = \frac{1}{N_M(t')} \cdot e^{-\frac{(t-t'-\tau_M)^2}{2\sigma_M^2}} = \frac{1}{N_M(t')} \cdot e^{-\frac{(t-t'-p_{44}(t'))^2}{2p_{45}(t')^2}}$$

mit $N_M(t') = \int_0^\infty e^{-\frac{(t-t')^2}{2(\sigma_M(t'))^2}} dt = \int_0^\infty e^{-\frac{(t-p_{44}(t'))^2}{2(p_{45}(t'))^2}} dt$

Transferfunktion Fahrzeuge**P46, P47**

$$F_{67}: k_F(t, t') = \frac{1}{N_F(t')} \cdot e^{-\frac{(t-t'-\tau_F)^2}{2\sigma_F^2}} = \frac{1}{N_F(t')} \cdot e^{-\frac{(t-t'-p_{46}(t'))^2}{2p_{47}(t')^2}}$$

mit $N_F(t') = \int_0^\infty e^{-\frac{(t-t')^2}{2(\sigma_F(t'))^2}} dt = \int_0^\infty e^{-\frac{(t-p_{46}(t'))^2}{2(p_{47}(t'))^2}} dt$

Transferfunktion Haustechnik**P48, P49**

$$F_{68}: k_{HT}(t, t') = \frac{1}{N_{HT}(t')} \cdot e^{-\frac{(t-t'-\tau_{HT})^2}{2\sigma_{HT}^2}} = \frac{1}{N_{HT}(t')} \cdot e^{-\frac{(t-t'-p_{48}(t'))^2}{2p_{49}(t')^2}}$$

mit $N_{HT}(t') = \int_0^\infty e^{-\frac{(t-t')^2}{2(\sigma_{HT}(t'))^2}} dt = \int_0^\infty e^{-\frac{(t-p_{48}(t'))^2}{2(p_{49}(t'))^2}} dt$

Transferfunktion Aussenbereich**P50, P51**

$$F_{69}: k_{DA}(t, t') = \frac{1}{N_{DA}(t')} \cdot e^{-\frac{(t-t'-\tau_{DA})^2}{2\sigma_{DA}^2}} = \frac{1}{N_{DA}(t')} \cdot e^{-\frac{(t-t'-p_{50}(t'))^2}{2p_{51}(t')^2}}$$

mit $N_{DA}(t') = \int_0^\infty e^{-\frac{(t-t')^2}{2(\sigma_{DA}(t'))^2}} dt = \int_0^\infty e^{-\frac{(t-p_{50}(t'))^2}{2(p_{51}(t'))^2}} dt$

ANFANGSBEDINGUNGEN

Die Anfangsbedingungen für die Lager M_i sind mit G_j gekennzeichnet.

| | | | | | |
|-----------|------------------------------|-----|-----------------|-----------|---|
| $G_1:$ | $M_1(t_0) - M_{1,0} = 0$ | mit | $M_{1,0} = 0$ | kg/capita | Deponieanteil vor 1900 vernachlässigt |
| $G_2:$ | $M_2(t_0) - M_{2,0} = 0$ | mit | $M_{2,0} = 0$ | kg/capita | |
| $G_3:$ | $M_3(t_0) - M_{3,0} = 0$ | mit | $M_{3,0} = 0$ | kg/capita | |
| $G_4:$ | $M_4(t_0) - M_{4,0} = 0$ | mit | $M_{4,0} = 0$ | kg/capita | |
| $G_5:$ | $M_5(t_0) - M_{5,0} = 0$ | mit | $M_{5,0} = 0$ | kg/capita | |
| $G_6:$ | $M_6(t_0) - M_{6,0} = 0$ | mit | $M_{6,0} = 0$ | kg/capita | |
| $G_7:$ | $M_7(t_0) - M_{7,0} = 0$ | mit | $M_{7,0} = 0$ | kg/capita | |
| $G_8:$ | $M_8(t_0) - M_{8,0} = 0$ | mit | $M_{8,0} = 0$ | kg/capita | Immissionen vor 1900 vernachlässigt |
| $G_9:$ | $M_9(t_0) - M_{9,0} = 0$ | mit | $M_{9,0} = 3.5$ | kg/capita | Annahme ²⁵ für Mobilien-Lager um 1900 |
| $G_{10}:$ | $M_{10}(t_0) - M_{10,0} = 0$ | mit | $M_{10,0} = 2$ | kg/capita | Annahme ²⁵ für Infrastr.-Lager um 1900 |
| $G_{11}:$ | $M_{11}(t_0) - M_{11,0} = 0$ | mit | $M_{11,0} = 10$ | kg/capita | Annahme ²⁵ für Gebäude-Lager um 1900 |
| $G_{12}:$ | $M_F(t_0) - M_{F,0} = 0$ | mit | $M_{F,0} = 0$ | kg/capita | Annahme ²⁵ für Fahrzeug-Lager um 1900 |
| $G_{13}:$ | $M_{HT}(t_0) - M_{HT,0} = 0$ | mit | $M_{HT,0} = 2$ | kg/capita | Annahme ²⁵ für HT-Lager um 1900 |
| $G_{14}:$ | $M_{DA}(t_0) - M_{DA,0} = 0$ | mit | $M_{DA,0} = 8$ | kg/capita | Annahme ²⁵ für DA-Lager um 1900 |

Die Flüsse des Systems sind zum Zeitpunkt $t=t_0$ gleich null gesetzt.

Ausserdem gilt: $M_2(t) = M_3(t) = M_4(t) = M_5(t) = M_6(t) = M_7(t) = 0 \quad \forall t \in \text{Betrachtungszeitraum}$

²⁵ Die Annahmen zu den Lagern $M_i(t \leq 1900)$ basieren auf den Untersuchungen zur historischen Entwicklung der Kupferlager (Kap. 2.8 und Kap. 3.5).

PARAMETERUNSICHERHEITEN DER UNSICHERHEITSANALYSE

Die Unsicherheitsanalyse der Lagerentwicklungen in Kap. 5.3.1 basiert auf den folgenden Annahmen zu den Parameterunsicherheiten (Tab. A-41):

Tab. A-41: Unsicherheitsanalyse der Wachstumskurven: Allgemeine Annahme zu den Parametern und ihren Unsicherheiten (grau hinterlegt) sowie deren genauen, tatsächlich zur Berechnung eingesetzten Werte für die diversen untersuchten Lager. – n.v.: nicht vorhanden.

| Parameter | Einheit | Allgemeine Annahme | Gebäude Dach | Gebäude Haustechnik | Infrastruktur | Mobilien | Fahrzeuge |
|------------------------------------|--------------------|--------------------|-----------------|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Anfangszeitpunkt | [a] | 20 a | 1858 ± 20 | 1841 ± 20 | 1900 ± 0 | 1856 ± 20 | n.v. |
| Anfangswert (bei Anfangszeitpunkt) | [kg/cap.] | 10 % | n.v. | n.v. | 2 ± 0.2 | n.v. | n.v. |
| Sättigungswert | [kg/cap.] | ca. 10 % | 52 ± 5 | 59 ± 6 | 120 ± 10 | 50 ± 5 | 6.5 ± 0.65 |
| reziproke Aufbauzeit 1 | [a ⁻¹] | 10 % | 0.0574 ± 0.0057 | 0.0691 ± 0.0069 | 0.178 ± 0.018 | 0.0584 ± 0.0058 | 0.0888 ± 0.0089 |
| Wendepunkt 1 | [a] | 3 a | 2008 ± 3 | 1982 ± 3 | 1911 ± 3 | 1989 ± 3 | 1978 ± 3 |
| Übergangspunkt | [a] | 0 | 1975 ± 0 | 1912 ± 0 | n.v. | 1930 ± 0 | n.v. |
| reziproke Aufbauzeit | [a ⁻¹] | 10 % | n.v. | n.v. | 0.0652 ± 0.0065 | n.v. | n.v. |
| Wendepunkt 2 | [a] | 3 a | n.v. | n.v. | 1969 ± 3 | n.v. | n.v. |

A.4.5 Bewertungskriterien

Formal handelt es sich bei den Bewertungskriterien um einfach gebildete Hilfsvariablen, die für eine Bewertung des Kupferhaushalts geeignet sind. Angewendet auf das untersuchte Kupferhaushaltssystem lassen sich die Bewertungskriterien aus Kap. 5.2.4 durch die Systemvariablen wie folgt ausdrücken.

Versorgungsgrad der Region (X_{91})²⁶

$$X_{91}: \quad VG_{Cu}(t) \equiv \frac{A_{7-6} \cdot (1-p_{17}) + A_{9-6}}{I_1 + A_{2-9} + A_{3-9} + A_{6-9} + A_{4-10} + A_{6-10} + A_{4-11} + A_{6-11} + (A_{5-9} + A_{5-10} + A_{5-11})}$$

$$= \frac{X_{27} \cdot (1-p_{17}) + X_{26}}{X_{44} + X_{30} + X_{31} + X_{28} + X_{34} + X_{29} + X_{38} + X_{42} + (X_{32} + X_{35} + X_{39})} \quad \frac{[kg/(cap. \cdot a)]}{[kg/(cap. \cdot a)]}$$

Nutzungsverlust (absolut, pro Kopf)

$$X_{92}: \quad m_{NV}(t) = A_{7-1}(t) + A_{9-1}(t) + A_{6-1}(t) + A_{11-8}(t) + A_{10-8}(t) + A_{9-8}(t)$$

$$= X_{25}(t) + X_{24}(t) + X_{23}(t) + X_{41}(t) + X_{37}(t) + X_{33}(t) \quad [kg/(cap. \cdot a)]$$

Akkumulierter Nutzungsverlust (absolut, pro Kopf)

$$X_{95}: \quad M_{NV}(t) = \sum_{t'=1900}^t A_{7-1}(t') + A_{9-1}(t') + A_{6-1}(t') + A_{11-8}(t') + A_{10-8}(t') + A_{9-8}(t')$$

$$= \sum_{t'=1900}^t X_{25}(t') + X_{24}(t') + X_{23}(t') + X_{41}(t') + X_{37}(t') + X_{33}(t') \quad [kg/(cap. \cdot a)]$$

Umwelteintrag aus der Nutzung (Hauptlager)

$$X_{98}: \quad m_U(t) = A_{11-8}(t) + A_{10-8}(t) + A_{9-8}(t) = X_{41}(t) + X_{37}(t) + X_{33}(t) \quad [kg/(cap. \cdot a)]$$

Akkumulierter Umwelteintrag aus der Nutzung (Hauptlager)

$$X_{99}: \quad M_U(t) = \sum_{t'=1900}^t A_{11-8}(t') + A_{10-8}(t') + A_{9-8}(t') = \sum_{t'=1900}^t X_{41}(t') + X_{37}(t') + X_{33}(t') \quad [kg/(cap. \cdot a)]$$

²⁶ Der Übersichtlichkeit halber wurden die Flüsse aus dem Halbzeughandel in die Nutzungslager eingeklammert, da sie beim gewählten Modellansatz gleich null gesetzt sind (vgl. Fussnote ²¹).

A.4.6 Kalibrierung des Modells *Cuprum*

Für die Kalibrierung wurden auf der Grundlage der Aussenhandelsstatistik elf Vergleichsvariablen gebildet²⁷. Aus KAPITEL 74 „Kupfer und Waren daraus“ wurden für die Voruntersuchung 124 Tarifnummern aus 19 Positionen zur Untersuchung ausgewählt. Aus den übrigen KAPITELN wurden 333 Tarifnummern aus 58 Positionen berücksichtigt. Die berücksichtigten Tarifnummern des KAPITELS 74 sind in Tab. A-42 aufgelistet, jene aus anderen KAPITELN in Tab. A-43.

Tab. A-42: Liste der berücksichtigten Tarifnummern aus KAPITEL 74 der Schweizerischen Aussenhandelsstatistik (OZD 2001) gemäss der Warennomenklatur des Harmonisierten Systems zur Bezeichnung und Codierung der Waren (seit 1988): Beschreibung der Position, Positionsnummer, Tarifnummer(n), Bezeichnung der Tarifnummer(n), Erläuterung zur Tarifnummer bzw. Tarifnummerngruppe und Kupfergehalt (Konzentration). Der Kupfergehalt wurde teilweise abgeschätzt.

| Beschreibung der Position | Position | Tarif-Nr. | Bezeichnung der Tarif-Nr. | Erläuterungen | Kupfergehalt |
|--|----------|-----------|--------------------------------------|--|--------------|
| Zwischenprodukte der Kupfererzeugung (Kupfermatte, Zementkupfer) | 7401 | 1000 | Kupfermatte | Kupferstein c = 20–65 % | 43 % |
| | 7401 | 2000 | Zementkupfer | gefälltes Kupfer c = 60–90 % | 75 % |
| nicht raffiniertes Kupfer, inkl. Kupferanoden | 7402 | 0000 | Kupfer, nicht raffiniert | Kupferanoden zum elektrolytischen Raffinieren c = 98.5–99.5 % | 95 % |
| raffiniertes Kupfer und Kupferlegierungen in Rohform | 7403 | 1100 | Kupfer, raffiniert | in Form von Kathoden oder Kathodenabschnitten | 100 % |
| | 7403 | 1200 | Kupfer, raffiniert | in Form von Drahtbarren | 100 % |
| | 7403 | 1300 | Kupfer, raffiniert | in Form von Knüppeln | 100 % |
| | 7403 | 1900 | Kupfer, raffiniert | in Rohform | 100 % |
| | 7403 | 2100 | Kupfer-Zink-Legierungen in Rohform | Messing c = 52.5–95 % | 58 % |
| | 7403 | 2200 | Kupfer-Zinn-Legierungen in Rohform | Bronze c = 80–90 % | 85 % |
| | 7403 | 2300 | Kupfer-Nickel-Legierungen in Rohform | Kupfernichel, Neusilber c = 45–75 % bzw. c = 35–80 % | 66 % |
| | 7403 | 2900 | andere Kupfer-Legierungen | Sonstige Schätzung: c = 75 % | 75 % |
| Kupferabfälle und Kupferschrott | 7404 | 0010 | Bearbeitungsabfälle aus Kupfer | Kupferabfälle (c = 100 %), aber auch Messing und Schlämme | 70 % |
| | 7404 | 0090 | Abfälle und Schrott aus Kupfer | Annahme: c = 90 % | 90 % |

²⁷ Zu Beginn des 20. Jahrhunderts umfasste das Tarifsysteem mehrere Hundert Tarifnummern, doch mit zunehmender Warendiversifikation wuchs die Anzahl im Laufe des 20. Jahrhunderts auf mehrere Tausend an. In diesem Zusammenhang wurde das Nummersystem des Gebrauchstarifs mehrmals gesetzlich verändert bzw. bereinigt; zweimal änderte sich das Tarifsysteem grundlegend (1900–10, 1950–60). Seit den 1950er Jahren wird in der Schweizerischen Aussenhandelsstatistik ein internationales System angewandt, anfangs 6-stellig und seit der Einführung des „Harmonisierten Systems“ 1988 8-stellig.

| Beschreibung der Position | Position | Tarif-Nr. | Bezeichnung der Tarif-Nr. | Erläuterungen | Kupfergehalt |
|---|----------|--|---|--|--------------|
| Kupfer- vorlegierungen | 7405 | 0000 | Kupfer- vorlegierungen | keine Legierungen mit c(P) > 15%; diverse Zusammensetzungen, c(Cu) = 30–90 % | 60 % |
| Pulver aus Kupfer und -Legierungen | 7406 | 1000 2000 | Pulver aus Kupfer | ohne/mit Lamellenstruktur | 100 % |
| Halbzeug aus Kupfer und -Legierungen | 7407 | 1011 | Stangen, Stäbe, Profile (inkl. Hohlprofile) aus raffiniertem Kupfer | ohne/mit Oberflächen- veredelung, versch. Herstellungsverfahren, versch. Querschnitte | 100 % |
| | | 1012 | | | |
| | | 1091 | | | |
| | | 1092 | | | |
| | | 1093 | | | |
| | | 1094 | | | |
| | 7407 | 2111 | Stangen, Stäbe, Profile (inkl. Hohlprofile) aus raffiniertem Messing | ohne/mit Oberflächen- veredelung, versch. Herstellungsverfahren, versch. Querschnitte | 58 % |
| | | 2112 | | | |
| | | 2191 | | | |
| | | 2192 | | | |
| | | 2193 | | | |
| | | 2194 | | | |
| 7407 | 2211 | Stangen, Stäbe und Profile, aus Kupronickel oder Neusilber (Kupfer- Nickel-Legierungen) | ohne/mit Oberflächen- veredelung, versch. Herstellungsverfahren, versch. Querschnitte | 66 % | |
| | 2212 | | | | |
| | 2291 | | | | |
| | 2292 | | | | |
| | 2293 | | | | |
| | 2294 | | | | |
| 7407 | 2911 | Stangen, Stäbe und Profile, aus anderen Legierungen | ohne/mit Oberflächenveredelung, versch. Herstellungsverfahren, versch. Querschnitte | 75 % | |
| | 2912 | | | | |
| | 2991 | | | | |
| | 2992 | | | | |
| | 2993 | | | | |
| | 2994 | | | | |
| Draht aus Kupfer und -Legierungen (d ≤ 6mm) | 7408 | 1110 | Draht aus raffiniertem Kupfer | ohne/mit Oberflächen- veredelung, versch. Herstellungsverfahren, versch. Querschnitte | 100 % |
| | | 1191 | | | |
| | | 1192 | | | |
| | | 1910 | | | |
| | | 1991 | | | |
| | | 1992 | | | |
| | 7408 | 2110 | Draht aus Kupfer-Zink- Legierungen (Messing) | ohne/mit Oberflächen- veredelung, versch. Herstellungsverfahren, versch. Querschnitte | 58 % |
| | | 2121 | | | |
| | | 2122 | | | |
| | | 2131 | | | |
| | 7408 | 2210 | Draht aus Kupronickel oder Neusilber | ohne/mit Oberflächen- veredelung, versch. Herstellungsverfahren, versch. Querschnitte | 66 % |
| | | 2221 | | | |
| 2222 | | | | | |
| 2231 | | | | | |
| | | 2232 | | | |

| Beschreibung der Position | Position | Tarif-Nr. | Bezeichnung der Tarif-Nr. | Erläuterungen | Kupfergehalt |
|---|----------|--|--|---|--------------|
| Draht aus Kupfer und -Legierungen (d ≤ 6mm) <i>Fortsetzung</i> | 7408 | 2910 | Draht, aus anderen Legierungen | ohne/mit Oberflächenveredelung, versch. Herstellungsverfahren, versch. Querschnitte | 75 % |
| | | 2921 | | | |
| | | 2922 | | | |
| | | 2931 | | | |
| | | 2932 | | | |
| Bleche und Bänder aus Kupfer und -Legierungen (d ≥ 0.15mm) | 7409 | 1110 | Bleche und Bänder aus raffiniertem Kupfer | nur gewalzt oder weitergehend behandelt, in Rollen oder nicht in Rollen | 100 % |
| | | 1120 | | | |
| | | 1910 | | | |
| | | 1920 | | | |
| | 7409 | 2110 | Bleche und Bänder aus Kupfer-Zink-Legierungen (Messing) | nur gewalzt oder weitergehend behandelt, in Rollen oder nicht in Rollen | 58 % |
| | | 2120 | | | |
| | | 2910 | | | |
| | | 2920 | | | |
| | 7409 | 3110 | Bleche und Bänder aus Kupfer-Zinn-Legierungen (Bronze) | nur gewalzt oder weitergehend behandelt, in Rollen oder nicht in Rollen | 85 % |
| | | 3120 | | | |
| 3910 | | | | | |
| 3920 | | | | | |
| 7409 | 4010 | Bleche und Bänder aus Kupfer-Nickel-(Zink-) Legierungen (Kupronickel bzw. Neusilber) | nur gewalzt oder weitergehend behandelt | 66 % | |
| | 4020 | | | | |
| 7409 | 9010 | Bleche und Bänder aus anderen Legierungen | nur gewalzt oder weitergehend behandelt | 75 % | |
| | 9020 | | | | |
| Blattmetall und dünne Bänder (d ≤ 0.15mm) (für Kunstarbeiten) | 7410 | 1110 | Folien und (dünne) Bänder aus raffiniertem Kupfer | ohne Unterlage | 100 % |
| | | 1190 | | | |
| | 7410 | 1210 | Folien und (dünne) Bänder aus anderen Legierungen | ohne Unterlage | 75 % |
| | | 1290 | | | |
| | 7410 | 2100 | Folien und (dünne) Bänder aus raffiniertem Kupfer | mit Unterlage | 100 % |
| 7410 | 2200 | Folien und (dünne) Bänder aus anderen Legierungen | mit Unterlage | 75 % | |
| Rohre aus Kupfer und -Legierungen | 7411 | 1010 | Rohre aus raffiniertem Kupfer | ohne/mit Oberflächenveredelung | 100 % |
| | | 1020 | | | |
| | 7411 | 2110 | Rohre aus Kupfer-Zink-Legierungen (Messing) | ohne/mit Oberflächenveredelung | 58 % |
| | | 2120 | | | |
| | 7411 | 2210 | Rohre aus Kupfer-Nickel-(Zink-) Legierungen (Kupronickel bzw. Neusilber) | ohne/mit Oberflächenveredelung | 66 % |
| 2220 | | | | | |
| 7411 | 2910 | Rohre aus anderen Legierungen | ohne/mit Oberflächenveredelung | 75 % | |
| | 2920 | | | | |
| Fittings usw. aus Kupfer und -Legierungen | 7412 | 1010 | Rohrformstücke, Rohrverschlussstücke und Rohrverbindungsstücke aus raffiniertem Kupfer | ohne/mit Oberflächenveredelung | 100 % |
| | | 1020 | | | |

| Beschreibung der Position | Position | Tarif-Nr. | Bezeichnung der Tarif-Nr. | Erläuterungen | Kupfergehalt |
|--|----------|--|--|--|--------------|
| Fittings usw. aus Kupfer und -Legierungen <i>Fortsetzung</i> | 7412 | 2010 2020 | Rohrformstücke, Rohrverschlussstücke und Rohrverbindungsstücke aus Kupfer-Legierungen | ohne/mit Oberflächenveredelung | 75 % |
| Kupferleiter (Litzen, Seile u.Ä.) | 7413 | 0000 | Litzen, Kabel, Seile u.Ä. aus Kupfer | ausgenommen isolierte Erzeugnisse | 90 % |
| Gewebe, Gitter und Geflechte | 7414 | 2000 9000 | Gewebe aus Kupferdraht | auch endlos | 75 % |
| Kleinteile (Nägel, Schrauben, Muttern, Unterlegscheiben, Nieten usw.) | 7415 | 1000 2100 2910 2990 3310 3391 3399 3910 3990 | Stifte, Nägel, Reissnägel, Krampen, Klammern u.Ä.; Unterlegscheiben; Bolzen, Nieten, Splinte, Keile; (Holz-)Schrauben, Muttern; Schraubhaken, Stöpsel, Spunde aus Kupfer | | 60 % |
| Federn | 7416 | 0000 | Federn | ausg. Uhrfedern u.Ä. | 85 % |
| nichtelektrische Koch- und Heizgeräte (Benzin-, Petroleum- und Spirituskocher etc.) | 7417 | 0000 | Koch- und Heizgeräte, nichtelektrisch | Haushaltsgeräte (ausg. Warmwasserbereiter und -speicher) | 75 % |
| Haushaltsartikel (Kochgeschirr, Schwämme, Putzlappen etc.) | 7418 | 1100 1910 1921 1929 2010 2020 | Schwämme, Putzlappen u.Ä.; Haushalts- und Hauswirtschaftsartikel; Sanitärartikel | mit/ohne Oberflächenveredelung | 90 % |
| andere Waren (Nadeln, Schlüsselanhänger, Kettchen, Taschenhandwärmer, Behälter u.Ä.) | 7419 | 1000 9100 9910 9921 9929 | Ketten; Gusswaren; Kupferwaren | mit/ohne Oberflächenveredelung | 95 % |

Tab. A-43: Liste der berücksichtigten Tarifnummern aus den KAPITELN 26, 28, 31, 38, 83, 84, 85, 86, 87, 90, 91, 95 (kupferhaltige Waren ausserhalb KAPITEL 74) der Schweizerischen Aussenhandelsstatistik (OZD 2001) gemäss der Warennomenklatur des Harmonisierten Systems zur Bezeichnung und Codierung der Waren (seit 1988): Beschreibung der Position bzw. Positionsgruppe, Positionsnummer, Tarifnummer(n), Bezeichnung der Tarifnummer(n), Erläuterung zur Tarifnummer bzw. Tarifnummerngruppe und Kupfergehalt (Konzentration). Der Kupfergehalt wurde teilweise abgeschätzt. Zur besseren Übersicht sind die Positionen verschiedener KAPITEL durch Doppelstriche abgegrenzt.

| Beschreibung der Position | Position | Tarif-Nr. | Bezeichnung der Tarif-Nr. | Erläuterungen | Kupfergehalt |
|--|----------|--|---|--|--------------|
| Erze und Erzkonzentrate | 2603 | 0000 | Kupfererze und ihre Konzentrate | Roherz 0.5–2 %, Konzentrat 20–30 %, →c = 1.25–25 % | 13 % |
| Aschen und Rückstände (Schlacken) | 2620 | 3000 | Aschen und Rückstände, überwiegend Kupfer enthaltend | wie sie in der Industrie zum Gewinnen von Metall oder zum Herstellen von Metallverbindungen verwendet werden | 10 % |
| Kupferoxide und -hydroxide | 2825 | 5000 | Kupferoxide und -hydroxide | c = 50–88.8 % (Brochantit-Cuprit) | 69 % |
| Chloridoxide und -hydroxide des Kupfers | 2827 | 4100 | Chloridoxide und -hydroxide des Kupfers | c = 59.5 % (Atacamit) | 60 % |
| Sulfate des Kupfers | 2833 | 2500 | Sulfate des Kupfers | c = 25 % (Chalkanthit) | 25 % |
| mineralische Dünger | 3103 | 1000 2000 9000 | Superphosphate; Entphosphorations-schlacken; Phosphatdüngemittel | div. Phosphatdünger | 0.0035 % |
| | 3104 | 1000 2000 3000 9000 | Carnallit, Sylvinit, Kalisalze; Kaliumchlorid; Kaliumsulfat; Kaliummagnesiumsulfat | div. Kalidünger | 0.0004 % |
| | 3105 | 1000 2000 3000 4000 5100 5900 6000 | Düngemittel (< 10 kg), NPK-Dünger, Diammoniumphosphat, Monoammoniumphosphat, Nitrat-P-Dünger, NP-Dünger, PK-Dünger, NK-Dünger | div. N- und gemischte Dünger | 0.0011 % |
| Pflanzenschutzmittel (Insektizide, Fungizide, Herbizide) | 3808 | 1010 2010 3010 | Insektizide, Fungizide und Herbizide/Keimhemmungsmittel und Pflanzenwuchsregulatoren auf der Grundlage von Schwefel oder Kupferverbindungen | div. Insektizide | 50 % |
| Schlösser, inkl. Schlüssel | 8301 | 1000 2000 3000 4000 5000 6000 7000 | Vorhängeschlösser; Automobilschlösser; Möbelschlösser; weitere Schlösser; Verschlüsse und Verschlussbügel; Teile von Schlössern; Schlüssel | Schlösser: Messing c = 58 % Annahme: ¾ Messing und ¼ Stahl etc. Schlüssel (Neusilber und Bleimessing): hier vernachlässigt | 45 % |

| Beschreibung der Position | Position | Tarif-Nr. | Bezeichnung der Tarif-Nr. | Erläuterungen | Kupfergehalt |
|---|----------|--|---|--|--------------|
| Beschläge, Scharniere usw. | 8302 | 1090 2090 3090 4190 4290 4990 5090 6090 | Scharniere, Laufrollen, Beschläge, Bau- und Möbelbeschläge, Kleiderhaken; Türschliesser, aus unedlen Metallen | Annahme: ½ Messing und ½ Stahl etc. | 30 % |
| Ordner | 8304 | 0090 | Ordner, aus unedlen Metallen | Annahme: 80 % Metall, davon 50 % Messing | 25 % |
| Glocken, Ziergegenstände, Fotorahmen | 8306 | 1000 2100 2900 3000 | Glocken, Klingeln, Gongs; Statuetten u.a. Ziergegenstände; Fotorahmen | aus unedlen Metallen Annahme: c = 50 % | 50 % |
| Ventilatoren | 8414 | 5100 5910 5920 | div. Ventilatoren | Annahme: c = 4 % | 4 % |
| Kühl- und Gefrierschränke | 8418 | 1000 2100 2200 3000 4000 5000 | Kühl- und Gefrierschränke; Kompressions- und Absorptionskühlschränke; Gefrier- und Tiefkühltruhen | Annahme: c = 1 % | 1 % |
| Durchlauferhitzer, Heisswasserspeicher, Wärmetauscher | 8419 | 1190 1990 5091 5092 | Gasdurchlauferhitzer und Heisswasserspeicher, Wärmeaustauscher, aus unedlen Metallen (ausser Eisen und Aluminium) | Annahme: c = 4 % | 4 % |
| Wäscheschleudern | 8421 | 1210 1220 | Wäscheschleudern, div. Gewichte | Annahme: c = 1 % | 1 % |
| Geschirrspülmaschinen | 8422 | 1100 1900 | (Haushalts-)Geschirrspülmaschinen | Annahme: c = 2 % | 2 % |
| Schreibmaschinen u.Ä. | 8469 | 1100 1200 2000 | Textverarbeitungs- maschinen; Schreibautomaten; Schreibmaschinen | Annahme: c = 4 % | 4 % |
| Rechenmaschinen u.Ä. | 8470 | 2100 2900 4000 5000 | div. Rechenmaschinen; Buchungsmaschinen; Registrierkassen | Annahme: c = 4 % | 4 % |
| Datenverarbeitungs- maschinen | 8471 | 1000 3000 4100 4900 5000 6000 7000 | Datenverarbeitungs- maschinen und Zubehör | Annahme: c = 4 % | 4 % |

| Beschreibung der Position | Position | Tarif-Nr. | Bezeichnung der Tarif-Nr. | Erläuterungen | Kupfergehalt |
|--|----------|--|---|---|--------------|
| Ventile und andere Armaturen | 8481 | 1090 2090 3090 4090 8090 9090 | Druckminderventile; Ventile für ölhydraulische od. pneumatische Energieübertragungen; Rückschlagkappen und -ventile; Überdruck- od. Sicherheitsventile; Regelarmaturen und ähnliche Apparate für Rohr- od. Schlauchleitungen, Dampfkessel, Sammelbehälter, Wannen od. ähnliche Behälter (und Teile davon) | aus unedlen Metallen Annahme: die Hälfte der Waren besteht aus Messing | 30 % |
| Elektromotoren | 8501 | 1010 1020 2010 2020 2030 3110 3120 3130 3200 3300 3410 3420 4010 4020 4030 4040 5110 5120 5130 5200 5310 5320 | Elektromotoren; Allstrommotoren; Gleichstrommotoren; Einphasen- Wechselstrommotoren; Mehrphasen- Wechselstrommotoren; Alternatoren | diverse Leistungen Annahme: c = 10 % | 10 % |
| Stromerzeugungsanlagen und Stromumformer | 8502 | 1100 1200 1300 2000 3100 3900 4010 4020 4030 4040 | Stromerzeugungsaggregate; Umformer, elektrisch, rotierend | diverse Leistungen Annahme: c = 10 % | 10 % |

| Beschreibung der Position | Position | Tarif-Nr. | Bezeichnung der Tarif-Nr. | Erläuterungen | Kupfergehalt |
|--|----------|--|---|---|--------------|
| Transformatoren, Stromrichter und Drosselspulen | 8504 | 2110 2120 2200 2300 3100 3210 3220 3310 3320 3400 4040 4051 4052 4053 5040 5051 5052 5053 9040 9051 9053 | div. Transformatoren mit Flüssigkeitsisolation; div. Trockentransformatoren; div. Stromrichter; div. Drosselspulen; und Teile davon | Annahme: c = 4 % | 4 % |
| Elektromagnete, inkl. Hebeköpfe | 8505 | 3010 3020 9010 9020 | Hebeköpfe; Elektromagnete | div. Gewichte Annahme für Elektromagnete: 50 % Spulen | 50 % |
| elektrische Werkzeuge | 8508 | 1000 2000 8000 9000 | Handbohrmaschinen, Handsägen- und -trennmaschinen, Elektrowerkzeuge (handgeführt), Teile davon | mit Elektromotor | 4 % |
| elektrische Geräte im Haushalt | 8509 | 1000 2000 3000 4000 8000 9000 | Staubsauger, Bohnengeräte, Küchenabfall- und Lebensmittelzerkleinerungsgeräte, Haushaltsgeräte | mit Elektromotor | 4 % |
| Haarschneidemaschinen | 8510 | 1000 2000 3000 9000 | Rasierapparate, Haarschneide- und Schermaschinen, Enthaarungsapparate, Teile davon | mit eingebautem Elektromotor | 4 % |
| Motorenzubehör (Zündanlage und -verteiler, Anlasser, Lichtmaschine usw.) | 8511 | 2000 3000 4000 5000 8010 8020 9010 9020 9090 | Motorenzubehör: Magnetzündler usw., Zündverteiler und -spulen, (Licht-)Anlasser, Lichtmaschinen, Glühkerzen, Lade- od. Rückstromschalter, Zündapparate, Teile davon | div. Zusammensetzung Spulen haben vermutlich höhere Kupfergehalte Anlasser = Elektromotor | 10 % |
| Taschenlampen | 8513 | 1000 9000 | Taschenlampen, Teile davon | Annahme: c = 2 % | 2 % |

| Beschreibung der Position | Position | Tarif-Nr. | Bezeichnung der Tarif-Nr. | Erläuterungen | Kupfergehalt |
|---|----------|--|---|---|--------------|
| Löt- und Schweissgeräte | 8515 | 1100 1910 1920 2110 2120 2910 2920 3110 3120 3910 3920 8030 8041 8042 9030 9041 9042 | LötKolben und -pistolen, Maschinen, Apparate und Geräte zum elektrischen Hart- od. Weichlöten, zum Widerstandsschweissen von Metallen, zum Lichtbogen- od. Plasmastrahlschweissen von Metallen, Mikro-Drahtschweissgeräte und andere Schweissgeräte | elektrisch Annahme: c = 4 % | 4 % |
| elektrische Heizgeräte (Geräte zum Heizen und zur Warmwassererzeugung, Haar- und Händetrockner, Bügeleisen, Herde, Kaffeemaschinen, Toaster usw.) | 8516 | 1011 1012 1013 1020 1030 2100 2910 2920 3100 3200 3300 4000 5000 6000 7100 7200 7900 9000 | Boiler, Warmwasserbereiter, Tauchsieder, Speicherheizgeräte, Geräte zum Raum- od. Bodenbeheizen, Haartrockner, Elektrowärmegeräte zur Haarpflege, Händetrockner, Bügeleisen, Mikrowellenöfen, Öfen, Küchenherde, Kochplatten und Bratgeräte, Kaffee- und Teemaschinen, Brotröster, Elektrowärmegeräte für den Haushalt, Teile davon | elektrisch Annahme: c = 8 % | 8 % |
| Kommunikationsgeräte (Telefonapparate, Faxgeräte u.Ä.) | 8517 | 1100 1910 1990 2100 2200 3000 5000 8000 9010 9090 | drahtgebundene Telefonapparate, Bildtelefone, Telefonapparate, Fernkopierer und -schreiber, Vermittlungsapparate, Apparate für Trägerfrequenzsysteme, Apparate für die digitale und die drahtgebundene Fernmeldetechnik, Teile davon | ohne Tarif-Nr. 8010: Heizwiderstände | 4 % |

| Beschreibung der Position | Position | Tarif-Nr. | Bezeichnung der Tarif-Nr. | Erläuterungen | Kupfergehalt |
|--|----------|--|--|---------------------------------|--------------|
| Audiogeräte (1): Verstärker, HiFi-Geräte, Lautsprecher, Mikrofone usw. | 8518 | 1010 1090 2100 2200 2910 2990 3010 3090 4000 5000 9010 9090 | div. Mikrophone, Lautsprecher, (Telefon-) Hörer, Tonfrequenzverstärker, Tonverstärkereinrichtungen, Teile davon | – | 4 % |
| Audiogeräte (2): Plattenspieler, Kassettengeräte | 8519 | 1000 2100 2900 3100 3900 4000 9200 9300 9900 | div. Plattenspieler, Abspiel-Diktiergeräte, (Taschen-)Kassettengeräte, Tonwiedergabegeräte | ohne Aufnahmefunktion | 4 % |
| Audiogeräte (3): Kassettenrecorder, Telefonanrufbeantworter, Diktiergeräte | 8520 | 1000 2000 3200 3300 3900 9000 | Diktiergeräte, Telefonanrufbeantworter, Magnetbandgeräte, Kassettengeräte, Tonaufnahmegeräte | mit Aufnahmefunktion | 4 % |
| Videogeräte | 8521 | 1000 9000 | Videogeräte, mit/ohne Magnetband | – | 4 % |
| Radio- und TV-Geräte, Videokameras, Funkgeräte | 8525 | 1010 1090 2000 3000 4010 4090 | Sendegeräte für den Funksprech- od. -telegraphieverkehr, für den Rundfunk od. das Fernsehen, mit eingebautem Empfangsgerät, Fernsehkameras, Video-Einzelbildkameras | – | 4 % |
| Funkspezialgeräte (Mess-, Navigations- und Fernsteuergeräte) | 8526 | 1000 9100 9200 | Funkmessgeräte, Funknavigationsgeräte, Funkfernsteuergeräte | Radargeräte, GPS-Geräte usw. | 4 % |
| Tragbare Audio-, Radio- und Funkgeräte | 8527 | 1200 1300 1900 2100 2900 3100 3200 3900 9010 9090 | Taschen-Radio- kassettengeräte, div. Rundfunk- empfangsgeräte, Personenrufempfänger, Funkempfangsgeräte (inkl. Rundfunk) | Walkman, Radios, Pager | 4 % |

| Beschreibung der Position | Position | Tarif-Nr. | Bezeichnung der Tarif-Nr. | Erläuterungen | Kupfergehalt |
|--|----------|--|--|--|--------------|
| TV, Monitore und Projektoren | 8528 | 1200 1300 2100 2200 3000 | Fernsehgeräte, Video-Monitore, mehrfarbig und monochrom, Video-Projektoren | – | 4 % |
| Kabel (isolierte Wickeldrähte, Koaxial- und Zündkabel) | 8544 | 1110 1120 1130 2010 2020 3000 5110 5190 5910 5920 6010 6091 6092 | Wickeldrähte für elektronische Zwecke, aus Kupfer, isoliert, div. Durchmesser; Koaxialkabel und andere koaxiale elektrische Leiter; Zündkabelsätze von der für Beförderungsmittel verwendeten Art; Leiter, elektrisch, isoliert, für Spannungen von > 80 V bis 1000 V und von > 1000 V | div. Kabeltypen, ohne/mit Anschlussstücke(n), ohne/mit Metallumhüllung Annahme: c = 65 % | 65 % |
| Elektroloks | 8601 | 1000 2000 | Lokomotiven, elektrisch | mit Stromspeisung aus dem Stromnetz bzw. Akkumulatoren | 8 % |
| Triebwagen und Trams | 8603 | 1000 | Triebwagen und Schienenbusse | mit Stromspeisung aus dem Stromnetz | 7 % |
| Personenwagen (Schiene) | 8605 | 0000 | Personenwagen, Gepäck- und Postwagen und andere schienengebundene Spezialwagen | – | 2 % |
| Traktoren und Sattelschlepper | 8701 | 1000 2000 3000 9010 9090 | Traktoren für die Industrie; Sattel-Strassenzugmaschinen; Raupen-traktoren; Traktoren für die Landwirtschaft; andere Traktoren | – | 2 % |
| Autobusse | 8702 | 1010 1020 9010 9020 | Automobile zum Befördern von 10 Personen od. mehr (einschl. Fahrer) | div. Gewichtsklassen, mit Diesel-, Halbdiesel- od. anderem Motor (Omnibusse) | 0.7 % |

| Beschreibung der Position | Position | Tarif-Nr. | Bezeichnung der Tarif-Nr. | Erläuterungen | Kupfergehalt |
|--|----------|--|---|---|--------------|
| Personenwagen (Strasse) | 8703 | 2100 2200 2310 2320 2330 2410 2420 3100 3210 3220 3230 3310 3320 9010 9020 9030 | Personenautomobile und andere hauptsächlich zur Personenbeförderung gebaute Automobile, einschl. Kombiautomobile und Rennwagen | div. Hubraumklassen, div. Stückgewichtsklassen, mit Hubkolbenmotor mit Funkenzündung, mit Diesel- od. Halbdieselmotor od. mit anderem Motor als Kolbenverbrennungsmotor | 0.7 % |
| Lastkraftwagen | 8704 | 2110 2120 2130 2200 2300 3110 3120 3130 3200 9010 9020 9030 | Lastkraftwagen | div. Klassen zulässigen Gesamtgewichts, div. Stückgewichtsklassen, mit Diesel- od. Halbdieselmotor od. mit Kolbenverbrennungsmotor mit Funkenzündung | 2 % |
| Bremsbeläge, Kühler | 8708 | 3100 9110 9190 | Bremsbeläge, montiert, für Traktoren, Omnibusse, Personenautomobile, Lastkraftwagen und Automobile zu besonderen Zwecken; Kühler für Omnibusse, Personenautomobile, Lastkraftwagen und Automobile zu besonderen Zwecken | – | 3 % |
| Motorräder (einschl. Mopeds und Mofas) | 8711 | 1000 2000 3000 4000 5000 9000 | Motorräder, einschl. Mopeds und Fahrräder mit Hilfsmotor, auch mit Seitenwagen | div. Hubraumklassen, mit/ohne Hubkolbenmotor | 1 % |
| Fahrräder | 8712 | 0000 | Zweiräder und andere Fahrräder, einschl. Lastendreitäder, ohne Motor | – | 1 % |
| Diaprojektoren | 9008 | 1000 | Diaprojektoren | – | 4 % |

| Beschreibung der Position | Position | Tarif-Nr. | Bezeichnung der Tarif-Nr. | Erläuterungen | Kupfergehalt |
|---|-----------------|--------------------------------------|--|---|---------------------|
| Photokopierer | 9009 | 1100 1200 2100 2200 3000 | Photokopierapparate | elektrostatisch: direktes/indirektes Verfahren od. mit Kontaktverfahren, mit optischem System | 4 % |
| Plotter | 9017 | 1010 | Plotter | – | 4 % |
| Gehäuse für Armband- und Taschenuhren | 9111 | 2000 9010 9090 | Gehäuse für Armband- uhren, Taschenuhren und ähnliche Uhren, aus unedlen Metallen | Sammelposition aller unedler Metalle | 58 % |
| Videospiele (Konsolen) | 9504 | 1000 | Videospiele von der mit einem Fernsehemp- fangsgerät verwendeten Art | – | 4 % |

Zuordnung der Positionen zu den Modellvariablen

Die Zuordnung der Positionen erfolgte gemäss Tab. A-44. Positionen, die weniger als 0.3 % am Import, am Export und am Netto-Import beitrugen (jeweils bezogen auf den Kupferanteil), wurden im Weiteren nicht berücksichtigt und sind nicht in der Tabelle dargestellt (gilt analog für Tarifnummern). Dabei wurde sichergestellt, dass Import, Export und Netto-Import jeweils zu über 90 % der Gesamtmenge²⁸ erfasst sind.

Tab. A-44: Zuordnungsvorschrift der Positionen der Aussenhandelsstatistik zu den Kontrollvariablen des Kupferhaushaltssystems *Cuprum*. Die Zuordnung erfolgt positionsweise jeweils für eine bis mehrere Tarifnummern. Die Positionsbezeichnung wurde ggf. auf die in den Variablen berücksichtigten Tarifnummern beschränkt und zur besseren Übersichtlichkeit teilweise vereinfacht.

| Positionsbeschreibung | Position | Variablenzugehörigkeit |
|--|----------|------------------------|
| Kupfer, raffiniert, und Kupfer-Legierungen in Rohform | 7403 | 15 |
| Bearbeitungsabfälle aus Kupfer (Neuschrott) Abfälle und Schrott aus Kupfer (Altschrott) | 7404 | 17 |
| Kupfervorlegierungen | 7405 | 15 |
| Pulver aus Kupfer | 7406 | 15 |
| Stangen, Stäbe, Profile (inkl. Hohlprofile) aus raffiniertem Kupfer, Kupferlegierungen oder Legierungen mit Kupfer | 7407 | 15 |
| Draht aus raffiniertem Kupfer, Kupferlegierungen oder Legierungen mit Kupfer | 7408 | 15 |
| Bleche und Bänder aus raffiniertem Kupfer, Kupferlegierungen oder Legierungen mit Kupfer | 7409 | 15 |
| Folien und (dünne) Bänder aus raffiniertem Kupfer | 7410 | 15 |
| Rohre aus raffiniertem Kupfer | 7411 | 14 |
| Litzen, Kabel, Seile u.Ä. aus Kupfer | 7413 | 14 |
| Stifte, Nägel, Reissnägel, Krampen, Klammern u.Ä.; Unterlegscheiben; Bolzen, Nieten, Splinte, Keile; (Holz-)Schrauben, Muttern; Schraubhaken, Stöpsel, Spunde aus Kupfer | 7415 | 13 |
| Federn | 7416 | 13 |
| Schwämme, Putzlappen u.Ä.; Haushalts- und Hauswirtschaftsartikel; Sanitärartikel | 7418 | 13 |
| Ketten; Gusswaren; Kupferwaren | 7419 | 13 |
| Aschen und Rückstände, überwiegend Kupfer enthaltend | 2620 | 15 |
| Insektizide, Fungizide und Herbizide/Keimhemmungsmittel und Pflanzenschutzregulatoren auf der Grundlage von Schwefel oder Kupferverbindungen | 3808 | 18 |
| Vorhängeschlösser; Automobilschlösser; Möbelschlösser; weitere Schlösser; Verschlüsse und Verschlussbügel; Teile von Schlössern; Schlüssel | 8301 | 13 |
| Scharniere, Laufrollen, Beschläge, Baubeschläge, Möbelbeschläge, Kleiderhaken; Türschliesser, aus unedlen Metallen | 8302 | 13 |
| Glocken, Klingeln, Gongs; Statuetten u.a. Ziergegenstände; Fotorahmen | 8306 | 13 |
| Kühl- und Gefrierschränke; Kompressionskühlschränke; Absorptionskühlschränke; Gefrier- und Tiefkühltruhen | 8418 | 12 |
| (Haushalts-)Geschirrspülmaschinen | 8422 | 12 |

²⁸ „Gesamtmenge“ bedeutet hier die Kupfermenge sämtlicher in Tab. A-42 und Tab. A-43 aufgelisteter Positionen bzw. Tarifnummern, also auch jener, die < 0.3 % am gesamten Import, Export und Netto-Import ausmachen (jeweils bezogen auf den Kupferanteil).

| Posititionsbeschreibung | Position | Variablen- zugehörigkeit |
|--|-----------------|-------------------------------------|
| Datenverarbeitungsmaschinen und Zubehör | 8471 | I2 |
| Ventile für ölhydraulische oder pneumatische Energieübertragungen; Rückschlagkappen und -ventile; Überdruck- oder Sicherheitsventile; Regelarmaturen und ähnliche Apparate für Rohr- oder Schlauchleitungen, Dampfkessel, Sammelbehälter, Wannen oder ähnliche Behälter (und Teile davon) | 8481 | I2 |
| Elektromotoren; Allstrommotoren; Gleichstrommotoren; Einphasen-Wechselstrommotoren; Mehrphasen-Wechselstrommotoren; Alternatoren | 8501 | I2 |
| Stromerzeugungsaggregate; Umformer, elektrisch, rotierend | 8502 | I2 |
| div. Transformatoren mit Flüssigkeitsisolation; div. Trockentransformatoren; div. Stromrichter; div. Drosselspulen; und Teile davon | 8504 | I2 |
| Hebeköpfe; Elektromagnete | 8505 | I2 |
| Handbohrmaschinen, Handsägen- und -trennmaschinen, Elektrowerkzeuge (handgeführt), Teile davon | 8508 | I2 |
| Staubsauger, Bohrergeräte, Küchenabfallzerkleinerer, Lebensmittelzerkleinerungsgeräte, Haushaltsgeräte | 8509 | I2 |
| LötKolben und Lötpistolen, Maschinen, Apparate und Geräte zum elektrischen Hart- oder Weichlöten, zum Widerstandsschweißen von Metallen, zum Lichtbogen- oder Plasmastrahlschweißen von Metallen, Mikro-Drahtschweißgeräte u.a. Schweißgeräte | 8515 | I2 |
| Boiler, Warmwasserbereiter, Tauchsieder, Speicherheizgeräte, Geräte zum Raum- oder Bodenbeheizen, Haartrockner, Elektrowärmegeräte zur Haarpflege, Händetrockner, Bügeleisen, Mikrowellenöfen, Öfen, Küchenherde, Kochplatten und Bratgeräte, Kaffee- und Teemaschinen, Brotröster, Elektrowärmegeräte für den Haushalt, Teile davon | 8516 | I2 |
| div. Mikrophone, Lautsprecher, (Telefon-)Hörer, Tonfrequenzverstärker, Tonverstärkereinrichtungen, Teile davon | 8518 | I2 |
| Videogeräte, mit/ohne Magnetband | 8521 | I2 |
| Sendegeräte für den Funksprech- oder -telegraphieverkehr, für den Rundfunk oder das Fernsehen, mit eingebautem Empfangsgerät, Fernsehkameras, Video-Einzelbildkameras | 8525 | I2 |
| Taschen-Radiokassettengeräte, div. Rundfunkempfangsgeräte, Personenrufempfänger, Funkempfangsgeräte (inkl. Rundfunk) | 8527 | I2 |
| Fernsehgeräte, Video-Monitore, mehrfarbig und monochrom, Video-Projektoren | 8528 | I2 |
| Wickeldrähte für elektronische Zwecke, aus Kupfer, isoliert, div. Durchmesser; Koaxialkabel und andere koaxiale elektrische Leiter; Zündkabelsätze von der für Beförderungsmittel verwendeten Art; Leiter, elektrisch, isoliert, für Spannungen von > 80 V bis 1000 V und von > 1000 V | 8544 | I4 |
| Traktoren für die Industrie; Sattel-Strassenzugmaschinen; Raupentraktoren; Traktoren für die Landwirtschaft; andere Traktoren | 8701 | I1 |
| Personenautomobile und andere hauptsächlich zur Personenbeförderung gebaute Automobile, einschl. Kombiautomobile und Rennwagen | 8703 | I1 |
| Lastkraftwagen | 8704 | I1 |
| Photokopierapparate | 9009 | I2 |
| Gehäuse für Armbanduhren, Taschenuhren und ähnliche Uhren, aus unedlen Metallen | 9111 | I3 |

Schwankungen der Daten aus der Aussenhandelsstatistik

Die Importe und die Exporte des Kupfers variieren quasi unabhängig voneinander, daher können die jährlichen Schwankungen der Nettoimporte durch Addition der beiden Grössen entsprechend stark ausfallen. Gemäss der Historischen Statistik der Schweiz variiert der Kupfer-Nettoimport in die Schweiz jährlich um bis zu 100 % (Abb. A-15). Die Daten haben eine hohe zeitliche Auflösung (jährliche Messungen), sind jedoch bezüglich des Erhebungsumfangs hochaggregiert. Daher ist eine genaue Zuordnung nicht möglich; vermutlich beziehen sich die Kupfermengen im Wesentlichen auf das KAPITEL 74 „Kupfer und Waren daraus“ der Aussenhandelsstatistik, vernachlässigen also sämtliches Kupfer in anderen Waren (z.B. Elektro- und Elektronikgeräte).

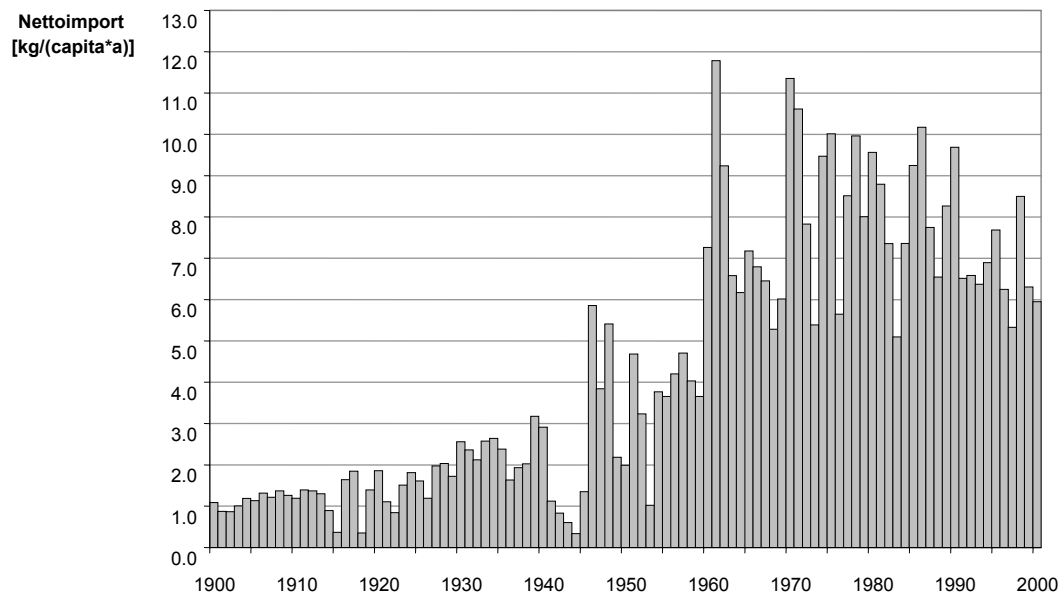


Abb. A-15: Jährlicher Kupfer-Nettoimport in die Schweiz während des 20. Jahrhunderts. Die Nettoimporte sind pro Kopf dargestellt. Für den Erhebungsumfang der Statistik siehe Text. Quelle: RITZMANN-BLICKENSTORFER und SIEGENTHALER (1996).

A.5 Literaturverzeichnis des Anhangs

- ALBRECHT, R., PARKER, L., REHBERG, S. und REINER, Y. (1984). *Umweltentlastung durch ökologische Bau- und Siedlungsweisen. Band 2: Auswirkungen auf Baustoffverwendung, Energiebedarf, Luft und Klima, Abfallbeseitigung und Wasserhaushalt, Lärm, Flächenbedarf, Kosten und Arbeitsmarkt*. Bauverlag, Wiesbaden, Berlin. 276 p.
- BACCINI, P. und BRUNNER, P.H. (1991). *Metabolism of the anthroposphere*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, Barcelona, Budapest. 157 p.
- BACCINI, P. und BADER, H.-P. (1996). *Regionaler Stoffhaushalt: Erfassung, Bewertung und Steuerung*. Spektrum, Heidelberg, Berlin, Oxford. 420 p.
- BFS (1994). *Schweizerische Verkehrsstatistik*. vol. 11: Schweiz. Bundesamt für Statistik, Neuchâtel.
- BRUGG KABEL (1996). *Energiekabel*. Kabelkatalog (Produktkatalog). Brugg Kabel AG, Brugg.
- EGGENBERGER, H.P. (1990). Wo braucht es Freileitungen - wo sind Kabel möglich? *Strom* 2: 16-18.
- FRIEDRICHS, J. (1973). *Methoden empirischer Sozialforschung*. Rowohlt, Reinbek bei Hamburg. 429 p.
- GÖRG, H. (1997). *Entwicklung eines Prognosemodells für Bauabfälle als Baustein von Stoffstrombetrachtungen zur Kreislaufwirtschaft im Bauwesen*. Diss., Technische Hochschule Darmstadt. Darmstadt. 299 p.
- GRUHLER, K., BÖHM, R., DEILMANN, C. und SCHILLER, G. (2002). *Stofflich-energetische Gebäudesteckbriefe - Gebäudevergleiche und Hochrechnungen für Bebauungsstrukturen*. Institut für ökologische Raumentwicklung, Dresden. 307 p.
- GYSIN, B. (2002). Aufbau einer Haustechnik. Internes Manuskript, Stand 20.11.2002. R. Nussbaum AG, Olten. 4 p.
- HALDIMANN (1991). Rohdaten zum Erstellen des Gebäudesteckbriefs EF II / MB in GÖRG (1997). Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Zürich.
- HENSELER, G., LICHTENSTEIGER, T. und BACCINI, P. (2006). Gebäudepark Schweiz: Die Entwicklung des Gebäudebestandes im 20. Jahrhundert. In: *Bauwerke als Ressourcennutzer und Ressourcenspenden in der langfristigen Entwicklung urbaner Systeme. Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt ARK04 - Gebäude im Umbau urbaner Kulturlandschaften*. LICHTENSTEIGER, T. (Ed.). vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, Zürich: 61-102.
- HERRMANN, R. (1977). Eingliederung anfallender Baurestmassen in einen ökonomisch orientierten Planungs-, Bau- und Nutzungsprozess. *Bauwirtschaft* 40: 1787-1805.
- HETTENBACH, P. (1992). *Anfall und Wiederverwendbarkeit von abgängigen mineralischen Baustoffen und Erdaushub*. Diss., Universität Karlsruhe (TH). Karlsruhe.
- KNOEPFEL, I. (1995). *Indikatorensystem für die ökologische Bewertung des Transports von Energie*. Diss. ETH Nr. 11'146, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich. Zürich.
- KOHLER, N., HASSLER, U. und PASCHEN, H. (Ed.)(1999). *Stoffströme und Kosten in den Bereichen Bauen und Wohnen*. ENQUETE-KOMMISSION "SCHUTZ DES MENSCHEN UND DER UMWELT" DES 13. DT. BUNDESTAGES; BUNDESHAUS BONN. Konzept Nachhaltigkeit. Springer-Verlag, Berlin. 301 p.

- LICHTENSTEIGER, T. (Ed.)(1998). *Ressourcen im Bau: Aspekte einer nachhaltigen Ressourcenbewirtschaftung im Bauwesen*. FORSCHUNGSABTEILUNG STOFFHAUSHALT UND ENTSORGUNGSTECHNIK; EAWAG. PEAK-Kurs. vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, Zürich. 129 p.
- LICHTENSTEIGER, T. (2005). Vorlesungsunterlagen Entsorgungstechnik IV: Sekundärressourcen. Studiengang Umweltingenieurwissenschaften, 9. Semester, ETH Zürich. Zürich.
- LICHTENSTEIGER, T. (Ed.)(2006). *Bauwerke als Ressourcennutzer und Ressourcenspender in der langfristigen Entwicklung urbaner Systeme. Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt ARK04 - Gebäude im Umbau urbaner Kulturlandschaften*. vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, Zürich. 162 p.
- LINDNER, H. (1985). *Strom. Erzeugung, Verteilung und Anwendung der Elektrizität*. Rowohlt, Reinbek bei Hamburg. 269 p.
- LUTZ, S. (2004). Auskunft zur Installationsdichte von Bodenheizungen. Persönliche Mitteilung vom 5.04.2004. Störi Mantel Wärmetechnik AG, Wädenswil.
- MAIBACH, M., PETER, D., SEILER, B. und SCHREYER, C. (1995). *Ökoinventar Transporte: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Transportsystemen und den Einbezug von Transportsystemen in Ökobilanzen. Technischer Schlussbericht*. 2., korrig. Aufl., INFRAS, Zürich. 340 p.
- MÜLLER, D. (1998). *Modellierung, Simulation und Bewertung des regionalen Holzhaushaltes. Untersuchung zur Wald- und Holzbewirtschaftung in einer nachhaltigen Regionalentwicklung*. Diss. ETH Nr. 12'990, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich. Zürich. 134 p.
- MUTZNER, J. (1995). *Die Stromversorgung der Schweiz: Entwicklung und Struktur*. Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke, Zürich. 40 p.
- OZD (2001). *Schweizerische Aussenhandelsstatistik - Jahresstatistik. Band I, 2000*. OZD SEKTION STATISTIK (Ed.). Eidgenössische Oberzolldirektion, Bern.
- RITZMANN-BLICKENSTORFER, H. und SIEGENTHALER, H. (1996). *Historische Statistik der Schweiz*. Chronos Verlag, Zürich. 1221 p.
- RÖBBERT, F. (1994). Dachentwässerung mit Kupfer. DKI Sonderdruck. **s.146**. Deutsches Kupferinstitut, Stand Juli 1994. Düsseldorf. 20 p.
- RUBLI, S. (2003). *Güterflussanalyse der Bauabfallentsorgung des Verwaltungszentrum Werd*. Schlussbericht. Wertstoff-Börse GmbH, Zürich. 28 p.
- SCHMITT, H. und HEENE, A. (1996). *Hochbaukonstruktion. Die Bauteile und das Bauegefüge: Grundlagen des heutigen Bauens*. 13., aktual. Aufl., Vieweg, Braunschweig, Wiesbaden. 756 p.
- SCHULZE, H.-J. und WALTHER, P. (1990). *Gebäudeatlas - Mehrfamilienwohngebäude der Baujahre 1880 bis 1980*. Bauinformation DDR, Berlin.
- STUCKI, J. (2002). Auskunft zum Einbau von Aufzügen in Wohngebäuden: Technisches und Markttrends. Persönliche Mitteilung vom 22.10.02. Schindler Aufzüge AG, Winterthur.
- WEBER, R. (1990). *Aluminium Lexikon. Herstellung, Anwendung, Umweltschutz: Der Werkstoff von A bis Z*. Informationsstelle für Aluminium und Umwelt (INFALUM), Zürich. 279 p.
- ZELTNER, C. (1992). *Eisen in KVA-Schlacken*. Diplomarbeit, Abteilung Werkstoffe, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich. Zürich.

Curriculum vitae

Dominic Wittmer

| | |
|--------------|-----------------------------|
| Geburtsdatum | 18.08.1972 |
| Geburtsort | Bad Bergzabern, Deutschland |
| Nationalität | deutsch |

Ausbildung

| | |
|-------------|--|
| 2001 – 2005 | Doktorat und Lehrassistentz an der Professur für <i>Stoffhaushalt und Entsorgungstechnik</i> , ETH Zürich, Departement Bau, Umwelt und Geomatik, und dem gleichnamigen Forschungsbereich an der Eawag, Dübendorf |
| 1995 – 2001 | Geologie-Studium und Diplom an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz |
| 2000 | Strukturgeologische Diplomarbeit im Gesteinsdeformationslabor an der ETH Zürich, Departement Erdwissenschaften Thema: Effects of the orientation on the uniaxial deformation of quartz single crystals |
| 1997 | Marin-geologisches Praktikum am Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI), Bremerhaven |
| 1997 | <i>Intensive English Program</i> , Level Advanced an der Northeastern University in Boston, Massachusetts |
| 1993 – 1995 | Physik-Studium an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz |
| 1992 – 1993 | Wehrdienst bei der Bundeswehr |
| 1983 – 1992 | Gymnasium, Dahn (D) |
| 1979 – 1983 | Grundschule, Silz und Gossersweiler-Stein (D) |

Berufstätigkeit

| | |
|-------------|--|
| 1998 – 2000 | Abteilung Organisation und Datenverarbeitung bei der Allgemeinen Kreditversicherung Coface AG, Mainz |
| 1998 – 1999 | Arbeitsgruppe Sedimentologie und Arbeitsgruppe Tektonophysik im Fachbereich Geowissenschaften, Universität Mainz |
| 1995 – 1996 | Informationssysteme für Verkehr und Technik GmbH, Oppenheim (D) |