

Katrin Scharte

Statistische Untersuchung
einer Stichprobe von Schulbaudaten

Bochum 2014

K. Scharte: Statistische Untersuchung einer Stichprobe von Schulbaudaten

Statistische Untersuchung einer Stichprobe von Schulbaudaten

Katrin Scharte

Ruhr-Universität Bochum

November 2014

© 2014 Selbstverlag des Lehrstuhls Energiesysteme und Energiewirtschaft,
Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum

ISBN 978-3-934951-36-5

Das dieser Untersuchung zugrunde liegende Vorhaben „Eneff Stadt BF II: Begleitforschung zum Wettbewerb Energieeffiziente Stadt“ wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unter dem Förderkennzeichen 03SF0415A gefördert.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
2	Datenerhebung	2
2.1	Quellen und Umfang der Stichprobe	2
2.2	Untersuchte Merkmale der Schulgebäude	3
2.3	Zeitliche Einordnung	4
3	Datenaufbereitung	5
3.1	Erstellung und Auswahl der Datensätze	5
3.2	Vereinheitlichungen der Angaben zu einzelnen Merkmalen	5
3.2.1	Flächen	6
3.2.2	Endenergieverbrauch	6
3.2.3	Sonstige Vereinheitlichungen	7
4	Qualitative Fehleranalyse	9
5	Auswertung der Stichprobe	11
5.1	Eindimensionale Auswertungen	11
5.1.1	Auswertung der Erhebung qualitativer Merkmale	11
5.1.2	Auswertung der Erhebung quantitativer Merkmale	14
5.2	Bestimmung von Extremwerten	21
5.3	Zweidimensionale Auswertungen	24
5.3.1	Auswertungen zum Merkmal Schulform	27
5.3.2	Auswertungen zum Merkmal Nettogrundfläche	29
5.3.3	Auswertungen zum Merkmal ältestes Baualter	32
6	Bewertung der Übertragbarkeit	36
6.1	Grundlagen und Voraussetzungen der Übertragbarkeit	36
6.2	Eindimensionale Schätzung	36
6.2.1	Punktschätzung	36
6.2.2	Intervallschätzung	39
6.3	Zweidimensionale Schätzung	42
6.3.1	Punktschätzung	44
6.3.2	Intervallschätzung	46
7	Verifizierung der Ergebnisse	48
7.1	Verifizierung der Anteile unterschiedlicher Schulformen	48
7.2	Verifizierung der Heizenergieverbrauchs- und Stromverbrauchskennwerte	49
8	Zusammenfassung	52

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 5-1:	Streuungsdiagramm der Merkmale Nettogrundfläche und Heizenergieverbrauch	30
Abbildung 5-2:	Streuungsdiagramm der Merkmale Nettogrundfläche und Stromverbrauch	31
Abbildung 5-3:	Streuungsdiagramm der Merkmale Nettogrundfläche und Leistung des Heizkessels	32
Abbildung 5-4:	Streuungsdiagramm der Merkmale Nettogrundfläche und Schülerzahl	32
Abbildung 5-5:	Streuungsdiagramm der Merkmale ältestes Baujahr und Nettogrundfläche	33
Abbildung 5-6:	Streuungsdiagramm der Merkmale ältestes Baujahr und maximale Geschoszahl über Erdreich	34
Abbildung 5-7:	Streuungsdiagramm der Merkmale ältestes Baujahr und Heizenergieverbrauch	35
Abbildung 7-1:	Anteile der Schulformen allgemeinbildender Schulen in der untersuchten Stichprobe.....	48
Abbildung 7-2:	Anteile der allgemeinbildenden Schulen unterschiedlicher Schulformen nach [STA2012C]	49
Abbildung 7-3:	Vergleich des arithmetischen Mittels des Heizenergieverbrauchs der Stichprobe mit Kennwerten aus der Literatur	50
Abbildung 7-4:	Vergleich des arithmetischen Mittels des Stromverbrauchs der Stichprobe mit Kennwerten aus der Literatur	51

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Übersicht der Quellen der statistischen Erhebung.....	3
Tabelle 2-2:	Übersicht der untersuchten Merkmale der statistischen Auswertung von Schulbaudaten.....	3
Tabelle 5-1:	Häufigkeitsverteilung der Schulformen	12
Tabelle 5-2:	Häufigkeitsverteilung des Vorhandenseins einer Turnhalle.....	12
Tabelle 5-3:	Häufigkeitsverteilung der genutzten Heizkessel	13
Tabelle 5-4:	Häufigkeitsverteilung der eingesetzten Energieträger	13
Tabelle 5-5:	Statistische Auswertung der qualitativen Merkmale.....	15
Tabelle 5-6:	Häufigkeitsverteilung der Schülerzahlen	16
Tabelle 5-7:	Häufigkeitsverteilung der Anzahl der Gebäude.....	16
Tabelle 5-8:	Häufigkeitsverteilung der ältesten Baujahre.....	17
Tabelle 5-9:	Häufigkeitsverteilung der Nettogrundflächen	18
Tabelle 5-10:	Häufigkeitsverteilung der Bruttorauminhalte	19
Tabelle 5-11:	Häufigkeitsverteilung der maximalen Geschossezahlen.....	19
Tabelle 5-12:	Häufigkeitsverteilung der Kesselleistungen	20
Tabelle 5-13:	Häufigkeitsverteilung der Heizenergieverbräuche	21
Tabelle 5-14:	Häufigkeitsverteilung der Stromverbräuche	21
Tabelle 5-15:	Bestimmung der Grenzen zu Extremwerten	23
Tabelle 5-16:	Anzahl der Daten zu jedem Merkmal nach Ausschluss der Extremwerte.....	23
Tabelle 5-17:	Statistische Auswertung kardinal und metrisch messbarer Merkmale ohne Extremwerte.....	24
Tabelle 5-18:	Anzahl ausgewerteter Datensätze und Korrelationskoeffizienten jedes untersuchten Merkmalspaars.....	26
Tabelle 5-19:	Korrelationstabelle der Merkmale Schulform und Nettogrundfläche.....	28
Tabelle 5-20:	Korrelationstabelle der Merkmale Schulform und Schülerzahl	29
Tabelle 6-1:	Stichprobenkennwerte als Grundlage zur Ermittlung der Schätzwerte der Grundgesamtheit	38
Tabelle 6-2:	Grundlagen und Ergebnisse der Ermittlung der Schätzwerte der Grundgesamtheit	39
Tabelle 6-3:	Berechnungsfaktoren zur Ermittlung der Konfidenzintervalle	42
Tabelle 6-4:	Untere und obere Grenzen der Konfidenzintervalle.....	42
Tabelle 6-5:	Korrelationstabelle der Merkmale Schülerzahl und Nettogrundfläche	43
Tabelle 6-6:	Korrelationstabelle der Merkmale Kesselleistung und Nettogrundfläche	44

Tabelle 6-7:	Berechnungsparameter der Auswertung der bedingten Verteilungen der Stichprobe.....	45
Tabelle 6-8:	Berechnungsparameter der Auswertung der bedingten Verteilungen der Stichprobe.....	45
Tabelle 6-9:	Konfidenzintervalle der Parameter der Grundgesamtheit für bedingte Verteilungen des Merkmals Schülerzahl.....	46
Tabelle 6-10:	Konfidenzintervalle der Parameter der Grundgesamtheit für bedingte Verteilungen des Merkmals Nettogrundfläche.....	47
Tabelle 6-11:	Konfidenzintervalle der Parameter der Grundgesamtheit für bedingte Verteilungen des Merkmals Kesselleistung.....	47
Tabelle 6-12:	Konfidenzintervalle der Parameter der Grundgesamtheit für bedingte Verteilungen des Merkmals Nettogrundfläche.....	47

Verzeichnis der Abkürzungen und Formelzeichen

α	Irrtumswahrscheinlichkeit
γ_n	Korrekturfaktor
Γ	Gammafunktion
μ	Arithmetisches Mittel der Grundgesamtheit
$\hat{\mu}$	Schätzwert des arithmetischen Mittels der Grundgesamtheit
$\hat{\mu}_{o/u}$	Intervallgrenzen des Konfidenzintervalls des arithmetischen Mittels der Grundgesamtheit
σ	Standardabweichung der Grundgesamtheit
$\hat{\sigma}$	Schätzwert der Standardabweichung der Grundgesamtheit
$\hat{\sigma}_{o/u}$	Intervallgrenzen des Konfidenzintervalls der Standardabweichung der Grundgesamtheit
$\hat{\sigma}_{o/u}^2$	Intervallgrenzen des Konfidenzintervalls der Varianz der Grundgesamtheit
$X_{o/u}^2$	Oberes und unteres p-Quantil der Verteilungsfunktion der Chi-Quadrat-Verteilung
n	Anzahl der Datensätze bzw. Wertepaare
N	Anzahl der Elemente der Grundgesamtheit
r_{xy}	Korrelationskoeffizient
s	Standardabweichung der Stichprobe
s^2	Varianz der Stichprobe
\bar{x}	Arithmetisches Mittel der Stichprobe
AM	arithmetisches Mittel
BRI	Bruttorauminhalt
BWK	Brennwertkessel
COV	Kovarianz
ECBCS	Energy Conservation in Buildings and Community Systems
EnEV	Energieeinsparverordnung
FHG	Freiheitsgrade
HK	Heizkessel
IEA	Internationale Energieagentur
KI	Konfidenzintervall
KTK	Konstanttemperaturkessel
NGF	Nettogrundfläche
NTK	Niedertemperaturkessel
QT	Quantil
SAW	Standardabweichung
SNV	Standardnormalverteilung
VT	Verteilung

1 Einführung

Auf den Gebäudebestand ist ein Anteil von etwa 40% des Endenergieverbrauchs in Deutschland zurückzuführen. Da etwa drei Viertel des Altbaubestands vor Inkrafttreten der ersten Wärmeschutzverordnung errichtet und kaum energetisch saniert wurden, bestehen in diesem Bereich hohe Potenziale zur Einsparung von Energie und CO₂ durch Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen. Entsprechend umfasst das Energiekonzept der Bundesregierung das Ziel bis 2050 einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand zu erreichen und die Sanierungsraten von jährlich 1% auf 2% zu erhöhen. (vgl. [BUN2010]) Im Hinblick auf öffentliche Gebäude sind sogar höhere Sanierungsraten zu erwarten, da diese eine Vorbildfunktion ausüben. Zudem ist der Bund durch die EU-Energieeffizienzrichtlinie (vgl. [RIC2012]) verpflichtet jährlich 3% der Gesamtfläche der Gebäude des Bundes energetisch zu sanieren und entsprechend die durch das Energiekonzept festgelegte Sanierungsrate zu überschreiten.

Um zu bewerten, welche Potenziale der Endenergie- und CO₂-Einsparung durch die energetische Sanierung des Gebäudebestands Deutschlands erreicht werden können, sind detaillierte Kenntnisse des Ist-Zustands des Gebäudebestands erforderlich. Während zum Wohngebäudebestand viele Datengrundlagen vorliegen (vgl. z. B. [LOG2011]), sind nur geringe Informationen über den Bestand der Nichtwohngebäude in Deutschland vorhanden (siehe auch [BUN2013]). Zur Ermittlung der Potenziale der energetischen Gebäudesanierung sind in diesem Bereich Untersuchungen zur Beschaffenheit des Gebäudebestands erforderlich.

In diesem Zusammenhang wird im Rahmen dieser Untersuchung eine Stichprobe von Daten zum Schulgebäudebestand Deutschlands erhoben und ausgewertet. Im Jahr 2011 waren in Deutschland 37.954 allgemeinbildende und berufliche schulische Einrichtungen vorhanden ([STA2012A] [STA2012B]). Kenntnis über die Anzahl der Schulgebäude in Deutschland besteht jedoch nur auf Basis grober Abschätzungen (vgl. [HEB2011]). Diese Auswertung dient der Erweiterung der Kenntnisse über die Anzahl und Beschaffenheit der Schulgebäude Deutschlands als Grundlage zur Bewertung von Sanierungspotenzialen.

2 Datenerhebung

Um die Datengrundlage zum Schulgebäudebestand Deutschlands zu erweitern, erfolgt die Auswertung einer Stichprobe von Daten zu Schulen. Dazu werden Angaben zu Gebäudeeigenschaften und Energieverbräuchen von schulischen Einrichtungen gesammelt. Entsprechend umfasst die Grundgesamtheit der Stichprobe den Bestand schulischer Einrichtungen in Deutschland. Merkmalsträger der statistischen Untersuchung, also die untersuchten Objekte, sind somit Schulen in Deutschland, die im Hinblick auf Merkmale, also Eigenschaften der Gebäude und deren Energieversorgung ausgewertet werden. Da nicht zu allen Schulen in Deutschland die erforderlichen Daten verfügbar sind, umfasst die Stichprobe eine Teilerhebung.

2.1 Quellen und Umfang der Stichprobe

Daten zu den Schulen werden nicht direkt erhoben, sondern im Rahmen einer Sekundärerhebung aus unterschiedlichen Quellen bestehender Erhebungen gesammelt, deren Urheber die Daten erfasst und teilweise jeweils zu Datenbanken zusammengeführt haben. Quellen der Sekundärerhebung sind

- im Internet veröffentlichte Daten des kommunalen Gebäudemanagements,
- Datenbanken kommunaler Ämter (persönliche Anfragen),
- Veröffentlichungen unterschiedlicher Forschungsprojekte, die die energetische Sanierung von Schulgebäuden thematisieren,
- Daten einer Umfrage des Kultusministeriums der Länder.

Eine Übersicht der Quellen der Datenherkunft und Anzahl der erhaltenen Datensätze, die jeweils Angaben zu einer schulischen Einrichtung umfassen, ist in der folgenden Tabelle aufgeführt. Insgesamt können Daten zu 879 schulischen Einrichtungen erhoben werden (vgl. Tabelle 2-1).

Aufgrund der Art der Datenerhebung umfasst die Stichprobe keine geografisch gleich verteilte Datengrundlage. Insbesondere wegen der Nutzung von Daten des kommunalen Gebäudemanagements sind Schulen einzelner Städte vollständig enthalten, während Schulen andere Städte gar nicht in der Untersuchung berücksichtigt werden. Entsprechend handelt es sich bei der Datengrundlage um eine Klumpenstichprobe. (vgl. [SCH2007])

Tabelle 2-1: Übersicht der Quellen der statistischen Erhebung

Kurzname der Erhebung	Quelle	Anzahl der Datensätze	Beschreibung
Aachen	[AAC2013]	67	Schulen der Stadt Aachen
Delitzsch	[DEL2013]	5	Schulen der Stadt Delitzsch
EnEff:Schule	[IBP2013] [REI2013]	13	Projektbeschreibungen
Essen	[Ess2014]	176	Schulen der Stadt Essen
Frankfurt	[FRA2013] [FRA2014]	144	Schulen der Stadt Frankfurt
IEA ECBCS	[IEA2013]	4	Projektbeschreibungen
Kassel	[KAS2013]	75	Schulen des Landkreises Kassel
Main-Taunus-Kreis	[MAI2014]	55	Schulen des Main-Taunus-Kreises
Sagebiel	[SAG1991]	73	Umfrageergebnisse einer deutschlandweiten Befragung
Steglitz	[STE2013]	69	Schulen des Ortsteils Berlin Steglitz-Zehlendorf
Stuttgart	[STU2014]	180	Schulen der Stadt Stuttgart
Unna	[UNN2014]	18	Schulen der Stadt Unna

2.2 Untersuchte Merkmale der Schulgebäude

Die Datensätze umfassen jeweils Angaben zur einer unterschiedlichen Anzahl und Art von Merkmalen, also Eigenschaften der Schulen. Sie beinhalten sowohl qualitative als auch quantitative Merkmale in Bezug auf die Einrichtungen, Gebäude und Energieversorgung. Insgesamt werden 13 Merkmale aus den Datengrundlagen in die Auswertung aufgenommen (vgl. Tabelle 2-2). Die in vielen Datensätzen vorhandenen Merkmale Bauweise und Grundrissstyp können nicht in die Auswertung integriert werden, da sich die Angaben nicht in ausreichendem Maße vereinheitlichen lassen.

Tabelle 2-2: Übersicht der untersuchten Merkmale der statistischen Auswertung von Schulbaudaten

	Schulische Einrichtung	Gebäude	Energieversorgung
Qualitative Merkmale	– Schulform	– Turnhalle vorhanden?	– Art des Heizkessels – Eingesetzter Energieträger
Quantitative Merkmale	– Schülerzahl []	– Ältestes Baujahr – Anzahl der Gebäude [] – Nettogrundfläche (NGF) [m ²] – Bruttorauminhalt (BRI) [m ³] – Maximale Geschosshöhe über Erdreich []	– Leistung des Heizkessels [kW] – Heizenergieverbrauchs-kennwert [kWh/(m ² _{NGF} ·a)] – Stromverbrauchs-kennwert [kWh/(m ² _{NGF} ·a)]

Zu den 13 zur Auswertung bestimmten Merkmalen sind nicht in den Datensätzen aller Schulen Angaben zu finden. Entsprechend müssen die Auswertungen der Daten in Form von Teilauswertungen durchgeführt werden.

2.3 Zeitliche Einordnung

Wichtig für die Einordnung der Stichprobe ist die zeitliche Konsistenz der Daten. In diesem Zusammenhang ist die Durchführung einer Sekundärerhebung problematisch. So wurden die Primärerhebungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten durchgeführt, die durch die durchgeführte Sekundärerhebung nicht beeinflussbar sind. Entsprechend handelt es sich um die Zusammenführung von Daten unterschiedlicher Zeitpunkte. Die Grundgesamtheit der Stichprobe ist somit nicht eindeutig bestimmbar. Insbesondere die Quelle [SAG1991] ist in diesem Zusammenhang zu erwähnen, da die Primärerhebung dieser Daten bereits 1991 erfolgte. Weil eine Sammlung von Daten eines einheitlichen Erhebungszeitraums in diesem Umfang nicht möglich ist, muss die Auswertung der Daten unter dem Vorbehalt der unterschiedlichen Erhebungszeitpunkte durchgeführt werden. Es wird davon ausgegangen, dass dies einen geringen Einfluss auf das Ergebnis der Auswertung hat, da der Gebäudebestand Nutzungsdauern mehrerer Dekaden und geringen Sanierungsraten unterliegt. Entsprechend sind geringe Neubau- und Abrissraten zu erwarten.

Nach [GRU2011] beträgt der Mittelwert der Neubauten *sonstiger Nichtwohngebäude* zwischen 1993 und 2009 ca. 3.200 Gebäude pro Jahr. Im gleichen Zeitraum wurden durchschnittlich ca. 1.500 Gebäude pro Jahr abgerissen. Zu den sonstigen Nichtwohngebäuden zählen neben Schulgebäuden u. a. Kindertagesstätten, Hochschulgebäude, Gebäude für Forschungszwecke, Museen, Theater, Opernhäuser, Bibliotheken und Kongresshallen (vgl. [GRU2011]).

Grundlage für die Auswertungen ist die Zusammenführung der Datensätze aus den 14 Quellen zu einer möglichst homogenen Datenbasis. Die Zusammenführung der Datensätze erfordert eine umfangreiche Aufbereitung und Vereinheitlichung. Diese Arbeitsschritte werden im nachfolgenden Abschnitt erläutert.

3 Datenaufbereitung

Da die Daten aus 14 Quellen stammen, sind sie in unterschiedlichem Maße und auf unterschiedliche Weise aufbereitet und vereinheitlicht worden. Um aussagekräftige Ergebnisse durch die Auswertung zu erzielen, muss gewährleistet werden, dass die zugrunde liegenden Annahmen und Aussagen der Daten in möglichst hohem Maße konsistent sind. Die Arbeiten der Datenaufbereitung umfassen in einem ersten Schritt die Erstellung und Auswahl der in die Untersuchung aufzunehmenden Datensätze. In einem zweiten Schritt werden die Angaben zu einzelnen Merkmalen soweit möglich vereinheitlicht.

3.1 Erstellung und Auswahl der Datensätze

Obwohl als Merkmalsträger schulische Einrichtungen festgelegt werden, liegen die Angaben der Primärerhebungen zum Teil zu einzelnen Gebäuden vor. Damit diese Daten in die Auswertung aufgenommen werden können, werden sie zu Datensätzen jeweils einer schulischen Einrichtung zusammengeführt.

Um zu vermeiden, dass die Datengrundlage Doppelungen einzelner Datensätze enthält, erfolgt der Ausschluss von Datensätzen, deren geografische Lage nicht durch Angabe des Ortes bzw. Landkreises bekannt ist. Die Datensätze der Erhebungen, die nicht ausschließlich einen Ort bzw. Landkreis umfassen (EnEff:Schule, IEA ECBCS und Sagebiel) werden um die Datensätze bereinigt, die sich mit den Orten anderer Datensätze überschneiden. Somit kann sichergestellt werden, dass keine Doppelungen der Merkmalsträger auftreten. Insgesamt liegen nach dem Ausschlussverfahren Datensätze zu 863 Schulen zur Auswertung vor.

Jeder Datensatz wird mit einem Zahlen-Buchstaben-Kürzel, einer Datensatzkennung, versehen, die es ermöglicht jeden Datensatz nach der Zusammenführung rückwirkend den Quellen zuzuordnen. Widersprüche und im Nachhinein auftretende Fragen können so zu jedem Zeitpunkt der Auswertung geklärt werden.

3.2 Vereinheitlichungen der Angaben zu einzelnen Merkmalen

Vereinheitlichungen der Angaben zu einzelnen Merkmalen beziehen sich vor allem auf die Angaben zu den Flächen und Endenergieverbräuchen. Problematisch ist in diesem Zusammenhang der zum Teil unklare oder uneinheitliche Bezug auf unterschiedliche Bereiche der schulischen Einrichtungen. Zum Teil werden in den Datensätzen Turnhallen und Hausmeisterwohnungen berücksichtigt, zum Teil beziehen sich die Angaben ausschließlich auf die Unterrichts- und die dazugehörigen direkt dem Schulbetrieb zuzuordnenden Räume. Nachfolgend werden die Vereinheitlichungen im Hinblick auf Flächenangaben und Endenergieverbräuche im Detail beschrieben.

3.2.1 Flächen

Nahezu alle Datensätze umfassen Flächenangaben zu den jeweiligen schulischen Einrichtungen. Bezüglich des Umfangs der angegebenen Flächen sind, wie bereits beschrieben, Unterschiede in den Bezugsgrößen festzustellen. Bei einigen Quellen sind keine Angaben darüber enthalten auf welche Gebäude der schulischen Einrichtung sich die Angaben beziehen bzw. welche Gebäude die schulische Einrichtung umfasst. Somit können die Flächenangaben in drei Genauigkeitsgruppen unterteilt werden, die in unterschiedlichem Maße aufbereitet werden können.

Die genauesten Datensätze in Bezug auf Flächenangaben umfassen eine Auflistung aller Gebäude bzw. Gebäudeteile mit sich darauf beziehenden Flächenangaben. In diesen Fällen wird die Gesamtfläche der Gebäude als Summe der Angaben ermittelt, wobei Turnhallen, Hausmeisterwohnungen, Pausenhallen und Toilettengebäude nicht in der Gesamtfläche berücksichtigt werden. Sind in diesen Datensätzen Gebäude bzw. Gebäudebereiche genannt, denen keine Fläche zugewiesen ist, so wird die Flächenangabe aufgrund von Unvollständigkeit nicht in der Auswertung berücksichtigt.

Weniger detaillierte Datensätze geben ausschließlich einen Gesamtwert der Fläche der schulischen Einrichtung an. In einigen Datensätzen sind Angaben darüber enthalten, welche Gebäudebereiche die Werte umfassen, andere Datensätze umfassen eine Flächenangabe ohne Angabe von Bezugsbauteilen. In beiden Fällen kann der Ausschluss der genannten Schulbereiche nicht durchgeführt und auch die Vollständigkeit der Angabe nicht überprüft werden.

Um Angaben unterschiedlicher Flächenarten in verschiedenen Datensätzen zu vereinheitlichen (z. B. Nutzflächen, Bruttogrundflächen oder Nettogrundflächen), erfolgt eine Anpassung der Werte durch Umrechnungsfaktoren aus [BUN2009]. Für alle Datensätze wird die Nettogrundfläche ermittelt, soweit sie nicht im Datensatz angegeben ist. Sie umfasst nach [DIN2005] die Summe der technischen Funktions-, Nutz- und Verkehrsflächen und ist nach [BUN2009] die Bezugsfläche für Energiekennwerte. Soweit Angaben zur Schulform vorliegen und berufliche, allgemeinbildende und Sonderschulen differenziert werden können, werden die Umrechnungsfaktoren für den spezifischen Schultyp verwendet. Ist in dem Datensatz keine Angabe zum Schultyp enthalten, müssen die allgemeinen Umrechnungsfaktoren für Schulgebäude genutzt werden.

3.2.2 Endenergieverbrauch

Der Endenergieverbrauch für Warmwasserbereitung und Beheizung sowie der Stromverbrauch beziehen sich ähnlich den Flächenangaben auf unterschiedliche der Schule zugeschriebene Einrichtungen und somit gegebenenfalls auch auf Turnhallen und Hausmeisterwohnungen. Anders als bei den Flächenangaben, ist im Hinblick auf den Endenergiever-

brauch bei nahezu allen Datensätzen schwer nachvollziehbar, auf welche Teile der schulischen Einrichtungen sich die Angaben beziehen. Daher wird zu jedem Datensatz die Summe aller Verbrauchswerte ermittelt und für die Auswertung verwendet. Welche Bereiche der Schulen diesen Werten zugrunde liegen, kann nicht differenziert werden. Entsprechend werden unvollständige Werte nicht selektiert.

Da sich die Heizenergieverbräuche auf unterschiedliche Jahre und Orte und somit auf unterschiedliche klimatische Verhältnisse beziehen, ist eine Witterungsbereinigung der Werte erforderlich, um Vergleichbarkeit zu erreichen. Die Datensätze vieler Quellen sind bereits witterungsbereinigt, während die Bereinigung bei anderen Datensätzen noch durchgeführt werden muss. Wenn in der Quelle der Datensätze keine Angabe gemacht wird, ob eine Witterungsbereinigung bereits durchgeführt wurde, wird davon ausgegangen, dass die Heizenergieverbräuche nicht witterungsbereinigt sind. Zur Bereinigung werden Klimafaktoren aus [DWD2014] verwendet. Die Klimafaktoren beziehen sich auf Postleitzahl-Bezirke. Für jeden Datensatz werden Durchschnittswerte der Klimafaktoren für alle Postleitzahl-Bezirke der jeweiligen Stadt bzw. Region für den entsprechenden Zeitraum ermittelt. Um den Endenergieverbrauch zur Beheizung zu bestimmen, muss der nicht durch das Klima beeinflusste Endenergieverbrauch zur Warmwasserbereitung von dem gesamten Heizenergieverbrauch abgezogen werden. Da der jeweilige Anteil in den Datensätzen nicht angegeben ist und nur auf Grundlage vieler Annahmen berechnet werden kann, erfolgt eine grobe Abschätzung auf Grundlage eines Pauschalwertes von 5% nach [BUN2009]. In Fällen, in denen keine Klimafaktoren zu den angegebenen Jahren vorliegen bzw. Durchschnittswerte des Heizenergieverbrauchs über mehrere Jahre in den Datensätzen angegeben sind oder die Angabe des Bezugsjahres fehlt, kann die Witterungsbereinigung nicht erfolgen.

Für den Heizenergieverbrauch und den Stromverbrauch jedes Datensatzes wird ein auf die Nettogrundfläche bezogener Energieverbrauchskennwert ermittelt. Sind Heizenergie- oder Stromverbräuche für mehrere Jahre angegeben, so wird der Kennwert entsprechend den Vorgaben von [BUN2009] als Durchschnittswert der Kennwerte der jeweiligen Jahre bestimmt.

3.2.3 Sonstige Vereinheitlichungen

Die Anzahl der Gebäude wird soweit möglich ohne Turnhallen, separate Hausmeisterwohnungen, Pausenhallen und Toilettengebäude bestimmt. Dies ist jedoch nur bei den Datensätzen möglich, in denen Angaben zu der Art der Gebäude der schulischen Einrichtungen vorliegen. Angaben zur Anzahl der Gebäude, die keine weiteren Erläuterungen umfassen, können nicht auf die Einbeziehung der genannten Bauten hin geprüft werden.

Sind mehrere Angaben unterschiedlicher Jahre bezüglich eines Merkmals vorhanden (z. B. Schülerzahl), werden die aktuellsten Angaben verwendet. Ausnahmen bilden die Heizener-

gieverbrauchs- und Stromverbrauchskennwerte, die wie bereits beschrieben nach [BUN2009] als Durchschnittswerte in die Auswertung eingehen.

Weitere Vereinheitlichungen werden wie folgt durchgeführt:

- Die Geschosszahl gibt, soweit mehrere Angaben vorhanden sind, die maximale Geschosszahl an.
- Sind mehrere Angaben zu Merkmalen vor und nach einer Sanierung einer Schule angegeben, werden die aktuelleren Werte (nach der Sanierung) verwendet.
- Es erfolgt eine Vereinheitlichung gleicher qualitativer Angaben mit unterschiedlichen Formulierungen (z. B. Gymnasium / Gymnasien u. ä.).
- Bei Angabe mehrerer Baualter wird nur das älteste angegebene in die Untersuchung aufgenommen.

4 Qualitative Fehleranalyse

Aus der Zusammenführung unterschiedlicher Erhebungen zu einer Untersuchung resultieren Uneinheitlichkeiten, die nur zum Teil durch die genannten Vereinheitlichungen der Datensätze ausgebessert werden können. Um eine Bewertung der Ergebnisse unter dem Gesichtspunkt der Genauigkeit zu ermöglichen, werden im Folgenden mögliche Fehler und Ungenauigkeiten der Datengrundlagen aufgeführt.

Eine relevante Fehlerquelle können falsche Primärdaten sein. Die Richtigkeit der erhaltenen Daten ist nicht nachprüfbar. Fehlerhafte Datengrundlagen können unter anderem die Nutzung nicht nachbereiteter Rohdaten, Unvollständigkeit der Angaben in den Datensätzen und nicht einheitlich verwendete Begriffsdefinitionen z. B. in Bezug auf Flächenangaben umfassen. Insbesondere die Erläuterung der durchgeführten Vereinheitlichungen im vorigen Abschnitt macht deutlich, dass trotz der Bemühungen um Konsistenz systematische Unterschiede in den Merkmalsausprägungen nicht vermieden werden können. Dies betrifft insbesondere die Flächenangaben sowie die Merkmale mit Flächenbezug (Heizenergieverbrauchs- und Stromverbrauchskennwerte). Auch der bereits beschriebene unterschiedliche Zeitbezug der Erhebungen ist in diesem Zusammenhang als Uneinheitlichkeit zu nennen.

Eine weitere Fehlerquelle ist die Weiterverarbeitung der erhaltenen Primärdaten. Sowohl durch die Zusammenführung der Daten in eine Auswertungsdatei als auch durch die beschriebenen Arbeitsschritte zur Vereinheitlichung der Datensätze ist die Entstehung von Fehlern in der Datengrundlage nicht auszuschließen

Weitere Uneinheitlichkeiten betreffen die Ermittlung der Werte einzelner Merkmale. Die ermittelte Anzahl der Schulgebäude kann insbesondere aus zwei weiteren Gründen Ungenauigkeiten aufweisen. Wie bereits beschrieben ist nicht auszuschließen, dass zum Teil Gebäude für nur indirekt mit dem Schulbetrieb in Zusammenhang stehende Nutzungen (z. B. Turnhallen, Hausmeisterwohnungen, Kindertagesstätten, Horts etc.) in den Datensätzen enthalten sind. Zum Teil ist aufgrund ungenauer Angaben zudem unklar, ob es sich bei der Anzahl der Gebäude tatsächlich um allein stehende Bauten oder auch um Gebäudetrakte eines Gebäudes handelt. Insbesondere bei nachträglich zu einem Schulgebäude hinzugefügten Erweiterungsbauten ist diese Unterscheidung oft nicht aus den Datensätzen ableitbar. Entsprechend muss die in den Datensätzen angegebene oder aus den Angaben hergeleitete Anzahl der Gebäude als grobe Schätzung angesehen werden.

Ebenso sind Ungenauigkeiten in der Vergleichbarkeit der Nettogrundflächen unterschiedlicher Datensätze zu erwarten. Gründe sind, dass sich die Angaben einiger Datensätze auf die beheizte und einige auf die gesamte Nettogrundfläche beziehen, während die Werte anderer Datensätze aufgrund von Umrechnungsfaktoren ermittelt werden.

Durch die Witterungsbereinigung sind im Hinblick auf den Heizenergieverbrauch ebenfalls Ungenauigkeiten der Vergleichbarkeit möglich. Es kann z. B. nicht nachvollzogen werden, auf Basis welches Referenzortes die bereits in den Primärdaten witterungsbereinigten Endenergieverbräuche berechnet wurden. Systematische Unterschiede der Berechnungen zu den eigenen Witterungsbereinigungen lassen sich somit nicht ausschließen. Zudem muss in den Auswertungen berücksichtigt werden, dass es wie beschrieben aufgrund unvollständiger Angaben nicht möglich ist alle Datensätze zu bereinigen.

Die Darstellung möglicher Fehler zeigt, dass die Ergebnisse der statistischen Auswertung als grobe Richtwerte angesehen werden müssen, da Uneinheitlichkeiten der Daten vorhanden sind bzw. vermutet werden. Extreme Fehler können nur durch eine Extremwert-Analyse abgeschätzt und aus den Datengrundlagen entfernt werden. Damit ist jedoch nicht auszuschließen, dass weiterhin fehlerhafte Angaben in den Auswertungen enthalten sind. Entsprechend geben die Ergebnisse Hinweise auf die Streuung der Merkmalsausprägungen der Stichprobe, ohne dass eine hohe Genauigkeit der Ergebnisse sichergestellt werden kann.

5 Auswertung der Stichprobe

Die statistische Auswertung der Stichprobe umfasst in einem ersten Schritt eine eindimensionale Untersuchung, also eine Auswertung der Daten zu jedem Merkmal getrennt voneinander. Um einen Überblick über die Gesamtheit der vorhandenen Daten zu erhalten, werden in diese Untersuchung alle vorhandenen Daten zu den jeweiligen Merkmalen einbezogen. Anschließend erfolgt die Definition, Bestimmung und Separation von Daten, die Extremwerte aufweisen und somit möglicherweise falsch sind.

Im Anschluss wird auf Grundlage der reduzierten Datenbasis eine zweidimensionale Untersuchung der Stichprobe durchgeführt, bei der also jeweils der Zusammenhang zwischen zwei Merkmalen im Fokus steht. Im Folgenden werden die Grundlagen und Ergebnisse der Untersuchungen nacheinander dargestellt. Bei den Auswertungen werden die Untersuchungen qualitativer und quantitativer Merkmale voneinander unterschieden, da im Hinblick auf quantitative Merkmale umfangreichere Untersuchungen möglich sind.

5.1 Eindimensionale Auswertungen

Bei der eindimensionalen Auswertung werden die Ergebnisse der Erhebung der qualitativen Merkmale durch Häufigkeitsverteilungen wiedergegeben. Die Auswertung der Erhebung quantitativer Merkmale berücksichtigt neben der Angabe der Häufigkeitsverteilung weitere statistische Kennwerte. Nachfolgend werden die Berechnungsgrundlagen und Ergebnisse der Untersuchung aufgeführt.

5.1.1 Auswertung der Erhebung qualitativer Merkmale

Schulformen

740 der 863 Datensätze beinhalten Angaben zur Schulform. Nahezu die Hälfte dieser Datensätze sind Grundschulen, 14% Gymnasien und 9% Realschulen. Gesamt- und Berufsschulen haben jeweils einen Anteil von über 7%, während Sonder- und Hauptschulen zwischen 4% und 5% des Stichprobenumfangs umfassen. Auf sonstige und gemischte Schulformen fällt insgesamt ein Anteil von knapp 6% (vgl. Tabelle 5-1).

Tabelle 5-1: Häufigkeitsverteilung der Schulformen

Schulform	Häufigkeit	Kumul. Häufigkeit	Prozent	Kumul. Prozent
	[]	[]	[%]	[%]
Grundschule	354	354	47,8	47,8
Gymnasium	104	458	14,1	61,9
Realschule	64	522	8,6	70,5
Gesamtschule	57	579	7,7	78,2
Berufsschule	53	632	7,2	85,4
Sonderschule	35	667	4,7	90,1
Hauptschule	31	698	4,2	94,3
2 oder mehrere Schulformen	27	725	3,7	98,0
Schulhort	8	733	1,1	99,1
Schulzentrum	3	736	0,4	99,5
Oberschule	2	738	0,3	99,8
Förderschule	1	739	0,1	99,9
Schule für Kranke	1	740	0,1	100,0

Vorhandensein einer Turnhalle

In 670 Datensätzen liegt eine Angabe darüber vor, ob die Schulanlage eine Turnhalle umfasst. Bei etwa zwei Drittel der Datensätze ist eine Turnhalle vorhanden, während knapp ein Drittel der Schulen keine Turnhalle aufweist (vgl. Tabelle 5-2).

Tabelle 5-2: Häufigkeitsverteilung des Vorhandenseins einer Turnhalle

Turnhalle	Häufigkeit	Kumul. Häufigkeit	Prozent	Kumul. Prozent
	[]	[]	[%]	[%]
vorhanden	452	452	67,5	67,5
nicht vorhanden	218	670	32,5	100,0

Art des Heizkessels

60 Datensätze umfassen eine Angabe zur Art des Heizkessels. Mit 55% wird in der Mehrheit der Schulen ein Niedertemperaturkessel (30%) oder Brennwertkessel (25%) verwendet. Konstanttemperaturkessel werden in nur 5% der Fälle eingesetzt. Demgegenüber sind in 23% der Schulen aufgrund einer Nah- oder Fernwärmeversorgung kein Heizkessel vorhanden. 17% der untersuchten Schulen verwenden eine Kombination zweier oder mehrerer Heizkessel (vgl. Tabelle 5-3).

Tabelle 5-3: Häufigkeitsverteilung der genutzten Heizkessel

Art des Heizkessels	Häufigkeit	Kumul. Häufigkeit	Prozent	Kumul. Prozent
	[]	[]	[%]	[%]
NTK	18	18	30,0	30,0
BWK	15	33	25,0	55,0
Kein HK vorhanden	14	47	23,3	78,3
2 oder mehr unterschiedliche HK	10	57	16,7	95,0
KTK	3	60	5,0	100,0

Abkürzungen: NTK = Niedertemperaturkessel, BWK = Brennwertkessel, HK = Heizkessel, KTK = Konstanttemperaturkessel

Eingesetzte Energieträger

363 Datensätze machen Angaben zu dem eingesetzten Energieträger. Mit knapp zwei Dritteln nutzt ein Großteil der Schulen Erdgas, während Fernwärme von etwa 21% der Schulen zur Beheizung verwendet wird. Erdöl macht einen Anteil von etwa 4% aus, während Strom, Kohle und Nahwärme in unter 1% der Schulen eingesetzt werden. Etwa 9% der Schulen nutzen mehr als einen Energieträger zur Heizenergieerzeugung (vgl. Tabelle 5-4).

Tabelle 5-4: Häufigkeitsverteilung der eingesetzten Energieträger

Energieträger	Häufigkeit	Kumul. Häufigkeit	Prozent	Kumul. Prozent
	[]	[]	[%]	[%]
Erdgas	237	237	65,3	65,3
Fernwärme	76	313	20,9	86,2
Erdgas, Fernwärme	16	329	4,4	90,6
Erdöl	15	344	4,1	94,7
Fernwärme, Strom	4	348	1,1	95,8
Erdgas, Erdöl	3	351	0,8	96,6
Erdgas, Strom	3	353	0,8	97,4
Erdgas, Flüssiggas	2	356	0,6	98,0
Erdgas, Holzpellets	2	358	0,6	98,6
Strom	2	360	0,6	99,2
Fernwärme, Solarthermie	1	361	0,3	99,4
Kohle	1	362	0,3	99,7
Nahwärme	1	363	0,3	100,0

5.1.2 Auswertung der Erhebung quantitativer Merkmale

Die Untersuchung quantitativer Merkmale kann detaillierter erfolgen, als die Auswertung der qualitativen Merkmale. Neben den Häufigkeitsverteilungen werden die Merkmale im Hinblick auf das arithmetische Mittel, die Standardabweichung und die Spannweite untersucht.

Das arithmetische Mittel \bar{x} gibt den Mittelwert der Werteverteilung jedes Merkmals wieder und kann nach [SCH2005] nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5.1)$$

Dabei ist n die Anzahl aller Merkmalsausprägungen x_i , die zu dem jeweiligen Merkmal vorliegen.

Die Standardabweichung s ist ein Maß zur Bewertung der Streuung der Werte und umfasst nach [SCH2005] die Wurzel der Varianz s^2 , also des Mittelwerts der quadratischen Abweichungen der Werte zum arithmetischen Mittel:

$$s = \sqrt{s^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5.2)$$

Die Differenz des niedrigsten und höchsten angegebenen Wertes ergibt die Spannweite der Stichprobe, die ebenfalls der Bewertung der Streuung der Werte dient.

Um das Maß der Streuung der Merkmale dimensionslos zu bewerten, wird als relatives Streuungsmaß der Variationskoeffizient V verwendet. Die Berechnung erfolgt durch Division der Standardabweichung durch den Mittelwert (vgl. Gleichung 5.3). Ein Vergleich der Streuungen unterschiedlicher Dimensionen wird so ermöglicht.

$$V = \frac{s}{\bar{x}} \quad (5.3)$$

Tabelle 5-5 gibt eine Übersicht der wichtigsten Ergebnisse der statistischen Analyse. Die Diskussion der Ergebnisse erfolgt in den nachfolgenden Abschnitten für jedes Merkmal einzeln. Die Variationskoeffizienten werden im Rahmen der Extremwertanalyse (vgl. Abschnitt 5-2) für alle Merkmale gemeinsam interpretiert.

Tabelle 5-5: Statistische Auswertung der quantitativen Merkmale

	Einheit	Arithmetisches Mittel	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Stichprobenumfang []	Variationskoeffizient []
Schülerzahl	[]	476	485	56	2.200	81	1,02
Anzahl der Gebäude	[]	2,1	1,4	1	13	537	0,68
Ältestes Baujahr	[a]	1944	33,3	1810	2012	477	0,02
Nettogrundfläche	[m ²]	5.222	4.484	71	44.116	842	0,86
Bruttorauminhalt	[m ³]	23.122	20.923	1.578	136.354	255	0,91
Maximale Geschoszahl über Erdreich	[]	2,7	0,9	1	6	126	0,34
Leistung des Heizkessels	[kW]	670	610	70	3.041	120	0,91
Heizenergieverbrauchskennwert	[kWh/(m ² ·a)]	145	154	2	2.968	783	1,06
Stromverbrauchskennwert	[kWh/(m ² ·a)]	21	18	2	258	812	0,87

Schülerzahl

Die Schülerzahl ist in 81 Datensätzen angegeben und umfasst eine Bandbreite von 56 bis 2.200 Schülern, also eine Spannweite von 2.144. Dabei haben mehr als drei Viertel der Schulen eine Schülerzahl von weniger als 600 Schülern: Etwa jeweils ein Drittel der Schulen umfasst eine Schülerzahl bis zu 199 beziehungsweise zwischen 200 und 399 Schülern, während etwa 10% der Schulen eine Schülerzahl von zwischen 400 und 599 Schülern aufweisen. Demgegenüber beträgt die Schülerzahl von etwa einem Viertel der Schulen zwischen 600 und 2.200 Schülern. Entsprechend der hohen Anzahl verhältnismäßig geringer Schülerzahlen beträgt der Mittelwert 476 Schüler, die Standardabweichung 485 (vgl. Tabelle 5-6).

Anzahl der Gebäude

Daten zur Anzahl der Gebäude liegen zur 537 Schulen vor. Die Werte liegen zwischen einem und 13 Gebäuden. Mit knapp drei Viertel aller Schulen umfasst ein Großteil der schulischen Einrichtungen 1 bis 2 Gebäude. Davon sind knapp 40% der Schulen in einem und 35% in zwei Gebäuden untergebracht. 16% der Schulen haben 3 Gebäude, während etwa 9% der Schulen mehr als 3 Gebäude aufweisen (vgl. Tabelle 5-7). Der Mittelwert liegt bei einer Gebäudeanzahl von 2,1, die Standardabweichung beträgt 1,4.

Tabelle 5-6: Häufigkeitsverteilung der Schülerzahlen

Schülerzahl	Häufigkeit	Kumul. Häufigkeit	Prozent	Kumul. Prozent
[]	[]	[]	[%]	[%]
0<=x<200	28	28	34,6	34,6
200<=x<400	26	54	32,1	66,7
400<=x<600	8	62	9,9	76,5
600<=x<800	3	65	3,7	80,2
800<=x<1.000	3	68	3,7	84,0
1.000<=x<1.200	2	70	2,5	86,4
1.200<=x<1.400	5	75	6,2	92,6
1.400<=x<1.600	3	78	3,7	96,3
1.600<=x<1.800	1	79	1,2	97,5
1.800<=x<2.000	1	80	1,2	98,8
2.000<=x<2.200	0	80	0,0	98,8
2.200<=x<2.400	1	81	1,2	100,0

Tabelle 5-7: Häufigkeitsverteilung der Anzahl der Gebäude

Anzahl der Gebäude	Häufigkeit	Kumul. Häufigkeit	Prozent	Kumul. Prozent
[]	[]	[]	[%]	[%]
1	214	214	39,9	39,9
2	188	402	35,0	74,9
3	85	487	15,8	90,7
4	20	507	3,7	94,4
5	17	524	3,2	97,6
6	6	530	1,1	98,7
8	4	534	0,7	99,4
10	1	535	0,2	99,6
12	1	536	0,2	99,8
13	1	537	0,2	100,0

Ältestes Baujahr

Häufig umfasst eine Schule aufgrund von Umbauten, Erweiterungen oder Zubau Gebäude mit mehreren Baujahren. Um zu beurteilen, welches Baualter die älteste Bausubstanz aufweist, wird als Merkmal das älteste Baujahr ausgewertet.

In 477 Datensätzen wird mindestens ein Baujahr genannt. Die Baujahre liegen zwischen 1810 und 2012, also in einer Zeitspanne von 202 Jahren. Die Häufigkeitsverteilung der Bau-

jahre zeigt, dass es zwei Zeiträume gibt, in denen große Anteile des Gebäudebestands errichtet wurden. Zum einen ist dies mit 23% das Baualter zwischen 1900 und 1919 und mit knapp 37% der Zeitraum zwischen 1960 und 1979. Jeweils knapp 9% der ältesten Bausubstanz der Schulgebäude stammt sowohl aus der Zeit vor 1900 als auch aus dem Zeitraum ab 1980. Von 1920 bis 1959 wurden knapp 23% der Gebäude errichtet (vgl. Tabelle 5-8).

Der Mittelwert des Baualters im Jahr 1943 begründet sich darauf, dass die Mehrzahl der Bauten aus der Zeit nach dem zweiten Weltkrieg stammt, während die Bauten, die vor dem zweiten Weltkrieg errichtet wurden, zum Teil einen hohen Abstand zum Jahr des Mittelwertes aufweisen. Die Standardabweichung beträgt etwa 33 Jahre.

Tabelle 5-8: Häufigkeitsverteilung der ältesten Baujahre

Ältestes Baujahr	Häufigkeit	Kumul. Häufigkeit	Prozent	Kumul. Prozent
[]	[]	[]	[%]	[%]
$x < 1880$	7	7	1,5	1,5
$1880 \leq x < 1900$	35	42	7,3	8,8
$1900 \leq x < 1920$	111	153	23,3	32,1
$1920 \leq x < 1940$	41	194	8,6	40,7
$1940 \leq x < 1960$	68	262	14,3	54,9
$1960 \leq x < 1980$	174	436	36,5	91,4
$1980 \leq x < 2000$	33	469	6,9	98,3
$2000 \leq x$	8	477	1,7	100,0

Nettogrundfläche

In 842 Datensätzen wird die Nettogrundfläche der Gebäude angegeben. Die Bandbreite der Nettogrundflächen variiert zwischen 71 m^2 und 44.116 m^2 , also in einer Spannweite von 44.045 m^2 . Mit knapp 30% umfasst der größte Anteil der Schulen eine Nettogrundfläche von 2.000 m^2 bis unter 4.000 m^2 . Über 50% der Schulen haben eine Nettogrundfläche von weniger als 4.000 m^2 , während mit knapp 88% ein Großteil der Schulen im Bereich unter 10.000 m^2 liegt. Nur etwa 12% der Datensätze geben Nettogrundflächen von 10.000 m^2 und mehr an (vgl. Tabelle 5-9). Aufgrund der hohen Anzahl vergleichsweise niedriger Nettogrundflächen beträgt der Mittelwert 5.222 m^2 , die Standardabweichung 4.484 m^2 .

Tabelle 5-9: Häufigkeitsverteilung der Nettogrundflächen

Nettogrundfläche	Häufigkeit	Kumul. Häufigkeit	Prozent	Kumul. Prozent
[m ²]	[]	[]	[%]	[%]
0<=x<2.000	173	173	20,5	20,5
2.000<=x<4.000	250	423	29,7	50,2
4.000<=x<6.000	179	602	21,3	71,5
6.000<=x<8.000	83	685	9,9	81,4
8.000<=x<10.000	54	739	6,4	87,8
10.000<=x<12.000	35	774	4,2	91,9
12.000<=x<14.000	27	801	3,2	95,1
14.000<=x<16.000	17	818	2,0	97,1
16.000<=x<18.000	9	827	1,1	98,2
18.000<=x<20.000	5	832	0,6	98,8
20.000<=x	10	842	1,2	100,0

Bruttorauminhalt

Zum Bruttorauminhalt liegen 255 Werte vor, die einen Bereich von 1.578 m³ bis 136.354 m³ umfassen, also eine Spannweite von 134.776 m³ aufweisen. Ein Anteil von über 75% der Angaben befindet sich im Bereich kleiner als 30.000 m³. Einen Bruttorauminhalt von 30.000 m³ und mehr haben knapp 24% der Werte (vgl. Tabelle 5-10). Der Mittelwert der Bruttorauminhalte liegt bei 23.122 m³, die Standardabweichung beträgt 20.923 m³.

Maximale Geschosszahl

126 Datensätze machen Angaben zum Merkmal der maximalen Geschosszahl. Es liegen Schulen mit maximal 1,2,3,4 und 6 Geschossen vor. Mit 42% und 37% ist der größte Anteil der Schulgebäude zwei- bzw. dreigeschossig gebaut. Ca. 14% der Gebäude haben 4 Geschosse und knapp 6% sind eingeschossig, während 2 Schulen, also knapp 2% der Daten, 6 Geschosse aufweisen (vgl. Tabelle 5-11). Der Mittelwert beträgt 2,7. Aufgrund der relativ geringen Spannweite der Geschosszahlen von 6 ist die Standardabweichung mit einem Wert von 0,9 entsprechend niedrig.

Tabelle 5-10: Häufigkeitsverteilung der Bruttorauminhalte

Bruttorauminhalt	Häufigkeit	Kumul. Häufigkeit	Prozent	Kumul. Prozent
[m ³]	[]	[]	[%]	[%]
0<=x<5.000	17	17	6,7	6,7
5.000<=x<10.000	54	71	21,2	27,8
10.000<=x<15.000	51	122	20,0	47,8
15.000<=x<20.000	24	146	9,4	57,3
20.000<=x<25.000	29	175	11,4	68,6
25.000<=x<30.000	19	194	7,5	76,1
30.000<=x<35.000	11	205	4,3	80,4
35.000<=x<40.000	6	211	2,4	82,7
40.000<=x<45.000	10	221	3,9	86,7
45.000<=x<50.000	14	235	5,5	92,2
50.000<=x<55.000	6	241	2,4	94,5
55.000<=x<60.000	3	244	1,2	95,7
60.000<=x<65.000	2	246	0,8	96,5
65.000<=x<70.000	1	247	0,4	96,9
70.000<=x	8	255	3,1	100,0

Tabelle 5-11: Häufigkeitsverteilung der maximalen Geschossezahlen

Geschossezahl	Häufigkeit	Kumul. Häufigkeit	Prozent	Kumul. Prozent
[]	[]	[]	[%]	[%]
1	7	7	5,6	5,6
2	53	60	42,1	47,6
3	46	106	36,5	84,1
4	18	124	14,3	98,4
6	2	126	1,6	100,0

Leistung des Heizkessels

In 120 Datensätzen sind Angaben zur Leistung des Heizkessels vorhanden. Die Leistungen liegen in einem Bereich zwischen 70 kW und 3.041 kW mit einer Spannweite von 2.971 kW. Über drei Viertel der Heizkessel haben eine Leistung von weniger als 1.000 kW. Davon befinden sich 44% im Leistungsbereich kleiner als 400 kW und 33% darüber. Etwa 23% der Kesselleistungen liegen im Bereich von 1.000 kW und mehr (vgl. Tabelle 5-12).

Der Mittelwert der Kesselleistungen beträgt 670 kW aufgrund der hohen Anzahl von Kesseln im Leistungsbereich kleiner als 1.000 kW. Die verhältnismäßig große Spannweite der Werte wird durch die Standardabweichung von 610 kW wiedergegeben.

Tabelle 5-12: Häufigkeitsverteilung der Kesselleistungen

Kesselleistung	Häufigkeit	Kumul. Häufigkeit	Prozent	Kumul. Prozent
[kW]	[]	[]	[%]	[%]
$0 \leq x < 200$	26	26	21,7	21,7
$200 \leq x < 400$	27	53	22,5	44,2
$400 \leq x < 600$	19	72	15,8	60,0
$600 \leq x < 800$	10	82	8,3	68,3
$800 \leq x < 1.000$	10	92	8,3	76,7
$1.000 \leq x < 1.200$	7	99	5,8	82,5
$1.200 \leq x < 1.400$	7	106	5,8	88,3
$1.400 \leq x < 1.600$	3	109	2,5	90,8
$1.600 \leq x < 1.800$	1	110	0,8	91,7
$1.800 \leq x < 2.000$	6	116	5,0	96,7
$2.000 \leq x$	4	120	3,3	100,0

Heizenergieverbrauch

In 783 Datensätzen werden Angaben zum Heizenergieverbrauch gemacht. Die Werte liegen in einem Bereich zwischen 3 kWh/(m²·a) und 2.968 kWh/(m²·a), also in einer Spannweite von 2.965 kWh/(m²·a). Mit 40% hat der größte Anteil der Schulen Heizenergieverbräuche von 100 kWh/(m²·a) bis weniger als 150 kWh/(m²·a). Knapp 30% der Werte sind geringer als 100 kWh/(m²·a), während etwa 25% im Bereich von 150 kWh/(m²·a) bis unter 250 kWh/(m²·a) liegen. Höhere Heizenergieverbräuche haben knapp 6% der Daten (vgl. Tabelle 5-13). Der Mittelwert des Heizenergieverbrauchs beträgt 145 kWh/(m²·a), die Standardabweichung 154 kWh/(m²·a).

Stromverbrauch

812 Datensätze enthalten Angaben zum Stromverbrauch der jeweiligen Schule. Die Werte liegen im Bereich zwischen 2 kWh/(m²·a) und 258 kWh/(m²·a), die Spannweite der Werte beträgt somit 256 kWh/(m²·a). Mit über 50% liegt die Mehrzahl der Stromverbräuche im Bereich von 10 kWh/(m²·a) bis unter 20 kWh/(m²·a). Werte von 20 kWh/(m²·a) bis weniger als 30 kWh/(m²·a) umfassen knapp 24% der Datensätze, während 11% unter 10 kWh/(m²·a) betragen. Somit sind über 85% der Werte unter 30 kWh/(m²·a) angesiedelt. Etwa 9% der Schulen haben einen Stromverbrauch von 30 kWh/(m²·a) bis unter 40 kWh/(m²·a), während 5% der Angaben darüber liegen (vgl. Tabelle 5-14).

Der Mittelwert der Stromverbräuche liegt aufgrund der hohen Anzahl verhältnismäßig geringer Werte bei knapp 21 kWh/(m²·a), während die Standardabweichung wegen der relativ hohen Spannweite der Werte 18 kWh/(m²·a) beträgt.

Tabelle 5-13: Häufigkeitsverteilung der Heizenergieverbräuche

Heizenergieverbrauch	Häufigkeit	Kumul. Häufigkeit	Prozent	Kumul. Prozent
[kWh/(m ² ·a)]	[]	[]	[%]	[%]
0<=x<50	31	31	4,0	4,0
50<=x<100	198	229	25,3	29,2
100<=x<150	313	542	40,0	69,2
150<=x<200	146	688	18,6	87,9
200<=x<250	51	739	6,5	94,4
250<=x<300	22	761	2,8	97,2
300<=x<350	7	768	0,9	98,1
350<=x<400	6	774	0,8	98,9
400<=x	9	783	1,1	100,0

Tabelle 5-14: Häufigkeitsverteilung der Stromverbräuche

Stromverbrauch	Häufigkeit	Kumul. Häufigkeit	Prozent	Kumul. Prozent
[kWh/(m ² ·a)]	[]	[]	[%]	[%]
0<=x<10	90	90	11,1	11,1
10<=x<20	423	513	52,1	63,2
20<=x<30	193	706	23,8	86,9
30<=x<40	69	775	8,5	95,4
40<=x<50	13	788	1,6	97,0
50<=x<60	9	797	1,1	98,2
60<=x<70	3	800	0,4	98,5
70<=x<80	5	805	0,6	99,1
80<=x<90	1	806	0,1	99,3
90<=x	6	812	0,7	100,0

5.2 Bestimmung von Extremwerten

Ein Vergleich der Häufigkeitsverteilungen der metrischen Merkmale zeigt, dass in einigen Fällen linksschiefe Verteilungen der Merkmalsausprägungen vorliegen. Eine große Anzahl der Werte befindet sich bei diesen Merkmalen in einem verhältnismäßig niedrigen Bereich der Spannweite der Merkmalsausprägungen. Wenige Werte liegen dem gegenüber weit ver-

streut in höheren Bereichen vor. In einigen Fällen, wie zum Beispiel der Nettogrundfläche, der Leistung des Heizkessels oder dem Heizenergieverbrauch, erscheinen die Maximalwerte der Stichproben unrealistisch hoch.

Hinweise auf das Maß der Streuung geben die Variationskoeffizienten der Merkmale (vgl. Tabelle 4-5). Abgesehen von den Merkmalen *ältestes Baujahr* und *maximale Geschosszahl über Erdreich* liegen die Variationskoeffizienten deutlich über 0,5. Nach [Eck2013] gilt dies als Indiz für eine sehr starke Streuung der Werte eines Merkmals, durch die das arithmetische Mittel die Einzelwerte nicht mehr angemessen abbilden kann.

Entsprechend den Erläuterungen im Rahmen der Fehleranalyse der Stichprobe ist die Richtigkeit der Datengrundlage bei einzeln auftretenden vom Gros der Daten stark abweichenden Werten anzuzweifeln. Da fehlerhafte Werte nicht direkt erkannt und ausgeschlossen werden können, werden im Folgenden Extremwerte definiert und ermittelt, die aus den Datengrundlagen entfernt und bei weiteren Auswertungen nicht berücksichtigt werden. Auf diese Weise soll sichergestellt werden, dass besonders stark abweichende und potenziell falsche Werte nicht in die weiteren Auswertungen eingehen.

[Tou2006] definiert Extremwerte als Werte, die mehr als 3-fach den Quartilsabstand (also die Differenz vom oberen zum unteren Quartil) vom oberen Quartil (75%-Quantil) über- bzw. unteren Quartil (25%-Quantil) unterschreiten. Quartile sind 4-Quantile, also die Merkmalsausprägungen, die die Anzahl der nach Ausprägungen sortierten Daten zu einem Merkmal in vier gleiche Teile unterteilen.

Aus dem Abstand zwischen dem oberen und unteren Quartil lässt sich für jedes Merkmal entsprechend der beschriebenen Definition der Grenzwert zu den Extremwerten berechnen (vgl. Tabelle 5-15). Die Grenzwerte zu unteren Extremwerten zeigen, dass diese in den Datensätzen nicht vorhanden sind, da sie negative Werte betragen müssten und somit keine plausiblen Angaben darstellen. Dieses Ergebnis ist durch die häufig linksschiefen Verteilungen der Merkmale begründet, durch die keine unteren Extremwerte vorliegen.

Im Gegensatz dazu weisen viele Merkmale obere Extremwerte auf. Aus den Berechnungen resultiert, dass zu den Merkmalen Nettogrundfläche, Heizenergieverbrauchskennwert und Stromverbrauchskennwert mit 10, 12 und 17 Daten die höchsten Anzahlen der Extremwerte vorliegen. Zu den Merkmalen Schülerzahl sowie Anzahl der Gebäude sind jeweils 3 Extremwerte vorhanden. 5 Extremwerte befinden sich unter den Daten zum Bruttorauminhalt, während ein Extremwert in den Daten zur Leistung der Heizkessel vorliegt. Entsprechend der niedrigen Variationskoeffizienten enthalten die Daten zum ersten Baujahr sowie der maximalen Geschosszahl über Erdreich keine Extremwerte und werden daher nicht weiter eingegrenzt. Bei allen weiteren quantitativen Merkmalen verringert sich ohne Berücksichtigung der

Extremwerte entsprechend die Anzahl der zu jedem Merkmal vorhandenen Daten (vgl. Tabelle 5-16).

Tabelle 5-15: Bestimmung der Grenzen zu Extremwerten

Merkmal	Einheit	Unteres Quartil	Oberes Quartil	Quartilsabstand	Untere Grenze zu Extremwerten	Obere Grenze zu Extremwerten
Schülerzahl	[]	179	537	358	-895	1.611
Anzahl der Gebäude	[]	1	3	2	-5	9
Ältestes Baujahr	[a]	1911	1970	59	1734	2147
Nettogrundfläche	[m ²]	2.288	6.767	4.479	-11.149	20.204
Bruttorauminhalt	[m ³]	9.314	29.398	20.084	-50.938	89.650
Maximale Geschosshöhe über Erdreich	[]	2	3	1	-1	6
Leistung des Heizkessels	[kW]	223	927	704	-1.889	3.039
Heizenergieverbrauchskennwert	[kWh/(m ² ·a)]	95	161	67	-106	362
Stromverbrauchskennwert	[kWh/(m ² ·a)]	13	24	11	-21	58

Tabelle 5-16: Anzahl der Daten zu jedem Merkmal nach Ausschluss der Extremwerte

Merkmal	Anzahl der Extremwerte	Anzahl der Daten ohne Extremwerte
Schülerzahl	3	78
Anzahl der Gebäude	3	534
Ältestes Baujahr	0	477
Nettogrundfläche	10	832
Bruttorauminhalt	5	250
Maximale Geschosshöhe über Erdreich	0	126
Leistung des Heizkessels	1	109
Heizenergieverbrauchskennwert	12	771
Stromverbrauchskennwert	17	795

Werden die um die Extremwerte reduzierten Daten nochmals statistisch ausgewertet, so ergeben sich die in Tabelle 5-17 dargestellten Ergebnisse.

Insbesondere im Hinblick auf den Heizenergie- und Stromverbrauch hat der Ausschluss der Extremwerte deutliche Auswirkungen auf den Maximalwert, den Mittelwert und die Standardabweichung. Der Maximalwert des Heizenergieverbrauchs reduziert sich um den Faktor 8 von 2.968 kWh/(m²·a) auf 361 kWh/(m²·a). Entsprechend geht die Standardabweichung um knapp zwei Drittel des ursprünglichen Wertes auf 56 kWh/(m²·a) zurück, während der Mittel-

wert von 145 kWh/(m²·a) auf 131 kWh/(m²·a) sinkt. Der Maximalwert des Stromverbrauchs vermindert sich von 258 kWh/(m²·a) auf 57 kWh/(m²·a). Die Standardabweichung des Stromverbrauchs halbiert sich zu einem Wert von 9 kWh/(m²·a), der neu berechnete Mittelwert beträgt 19 kWh/(m²·a). Entsprechend der starken Verminderung von Extremwerten der Merkmale des Heizenergie- und Stromverbrauchs sinken auch die Variationskoeffizienten jeweils auf Werte unter 0,5.

Eine starke Änderung des Maximalwerts ergibt sich zudem im Hinblick auf die Nettogrundfläche, deren höchster Wert sich von 44.116 m² auf 19.777 m² mehr als halbiert sowie beim Bruttorauminhalt, dessen Wert sich um 64.901 m³ auf 71.453 m³ senkt. Vergleichsweise geringfügige Änderungen erfolgen im Hinblick auf das Merkmal Leistung des Heizkessels.

Tabelle 5-17: Statistische Auswertung der quantitativen Merkmale ohne Extremwerte

	Einheit	Arithmetisches Mittel	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Stichprobenumfang []	Variationskoeffizient []
Schülerzahl	[]	419	394	56	1.544	78	0,941
Anzahl der Gebäude	[]	2,0	1,2	1	8	534	0,596
Ältestes Baujahr	[a]	1944	33	1810	2012	477	0,017
Nettogrundfläche	[m ²]	4.966	3.769	71	19.777	832	0,759
Bruttorauminhalt	[m ³]	21.165	15.704	1.578	71.453	250	0,742
Maximale Geschosshöhe über Erdreich	[]	2,7	0,9	1	6	126	0,340
Leistung des Heizkessels	[kW]	650	572	70	2.739	119	0,880
Heizenergieverbrauchskennwert	[kWh/(m ² ·a)]	131	56	2	361	771	0,430
Stromverbrauchskennwert	[kWh/(m ² ·a)]	19	9	2	57	795	0,476

5.3 Zweidimensionale Auswertungen

Um Zusammenhänge zwischen den Gebäudeeigenschaften zu identifizieren und zu bewerten, werden zweidimensionale Auswertungen der Stichproben durchgeführt. Die nachfolgenden Untersuchungen umfassen Auswertungen zu ausgewählten Merkmalspaaren, bei denen Zusammenhänge zwischen den Merkmalen zu vermuten sind. Im Folgenden untersuchte Merkmalspaare sind:

- Schulform – Schülerzahl,
- Schulform – Nettogrundfläche,
- Nettogrundfläche – Kesselleistung,
- Nettogrundfläche – Heizenergieverbrauch,

- Nettogrundfläche – Stromverbrauch,
- Nettogrundfläche – Schülerzahl,
- Ältestes Baujahr – Nettogrundfläche,
- Ältestes Baujahr – maximale Geschoszahl,
- Ältestes Baujahr – Heizenergieverbrauch.

Die Auswertungen umfassen im Fall der qualitativen Merkmale die Darstellung der Verteilung der Merkmalspaare durch Korrelationstabellen und die Ermittlung merkmalspezifischer Durchschnittswerte. Korrelationstabellen stellen die Anzahl der Merkmalspaare unterschiedlicher Wertebereiche der Merkmale dar und geben somit einen Überblick über die Verteilung der Datensätze im Hinblick auf die Ausprägungen der zwei Merkmale.

Im Fall von quantitativen Merkmalen kann die Verteilung der Merkmalspaare in Form von Streudiagrammen abgebildet werden. Zudem wird zur Bewertung des Zusammenhangs zwischen den Merkmalen der Korrelationskoeffizient bestimmt, dessen Berechnung auf der Ermittlung der Kovarianz basiert.

Die Kovarianz (COV) wird nach [SCH2005] nach folgender Gleichung bestimmt:

$$COV(X, Y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (5.4)$$

Dabei gilt:

n Anzahl der Wertepaare,

X, Y Merkmale,

x_i, y_i Ausprägungen der Merkmale X und Y,

\bar{x}, \bar{y} arithmetische Mittel der Stichprobe der Merkmale X und Y.

Die Kovarianz beschreibt nach [BOM2006] den Zusammenhang zwischen abhängigen Merkmalen. Bei einer positiven Kovarianz verhalten sich die Merkmale gleichläufig. Das heißt mit steigendem Wert des einen Merkmals steigt auch der Wert des anderen Merkmals. Ist die Kovarianz negativ, dann ist ein gegenläufiger Trend zu verzeichnen. Sind die Merkmale unabhängig, dann ist die Kovarianz gleich Null. Da die Kovarianz von den Einheiten der Merkmale abhängt, sind Vergleiche der Kovarianzen unterschiedlicher Merkmalspaare nicht sinnvoll.

Der Korrelationskoeffizient r_{xy} wird durch Division der Kovarianz durch das Produkt der Standardabweichungen der Merkmale (s_x , s_y) nach folgender Gleichung ermittelt:

$$r_{xy} = \frac{COV(X, Y)}{s_x \cdot s_y} \quad (5.5)$$

Der Korrelationskoeffizient ist im Gegensatz zur Kovarianz nicht von den Einheiten der Merkmale abhängig. Nach [BOM2006] gilt: $-1 \leq r_{xy} \leq +1$. Die Höhe des Absolutbetrags von r_{xy} ist ein Maß für die Stärke des Zusammenhangs zwischen den Merkmalen. Dabei gilt, wie bei der Kovarianz, dass ein positiver Wert einen gleichläufigen und ein negativer Wert einen gegenläufigen Zusammenhang angibt.

Nachfolgend werden die Ergebnisse der zweidimensionalen Auswertung der Stichprobe dargestellt. Dabei gilt, dass nur Datenpaare berücksichtigt werden, bei denen zu jedem der zwei Merkmale ein Wert vorliegt. Unvollständige Datenpaare werden nicht in die Untersuchung aufgenommen. Tabelle 5-18 gibt einen Überblick über die Anzahl der in die Auswertungen eingehenden Daten sowie die berechneten Korrelationskoeffizienten. Eine Auswertung der Ergebnisse der Untersuchungen wird im Folgenden für jedes Merkmalspaar einzeln durchgeführt.

Tabelle 5-18: Anzahl ausgewerteter Datensätze und Korrelationskoeffizienten jedes untersuchten Merkmalspaars

Merkmalspaar	Anzahl vollständiger Datensätze	Korrelationskoeffizient
Schulform – Nettogrundfläche	374	/
Schulform – Schülerzahl	75	/
Nettogrundfläche – Heizenergieverbrauch	759	-0,22
Nettogrundfläche – Stromverbrauch	783	0,18
Nettogrundfläche – Kesselleistung	107	0,75
Nettogrundfläche – Schülerzahl	76	0,89
Ältestes Baujahr – Nettogrundfläche	466	0,07
Ältestes Baujahr – maximale Geschosshöhe	125	-0,38
Ältestes Baujahr – Heizenergieverbrauch	457	0,05

5.3.1 Auswertungen zum Merkmal Schulform

Da es sich bei der Schulform um ein qualitatives Merkmal handelt, umfassen die folgenden Auswertungen die Darstellung von Korrelationstabellen und die Ermittlung von Schulform-spezifischen Durchschnittswerten.

Merkmalspaar Schulform – Nettogrundfläche

Zum Merkmalspaar *Schulform – Nettogrundfläche* existieren 374 vollständige Datenpaare. Ein Vergleich der Verteilungen der Nettogrundflächen unterschiedlicher Schulformen zeigt, dass es zum Teil starke Unterschiede zwischen den Größen der Schulen verschiedener Schulformen gibt (vgl. Tabelle 5-19). Während Grundschulen und Hauptschulen mit durchschnittlich 3.220 m² bzw. 3.923 m² die kleinsten durchschnittlichen Nettogrundflächen aufweisen, umfassen die Gymnasien der Auswertung durchschnittlich 7.895 m² und die Gesamtschulen durchschnittlich 12.528 m² Nettogrundfläche.

Merkmalspaar Schulform – Schülerzahl

Zum Merkmalspaar *Schulform – Schülerzahl* liegen 75 vollständige Datenpaare vor. Auch bei diesem Merkmalspaar ist ein Zusammenhang zwischen den Merkmalen festzustellen, da im Hinblick auf die Schülerzahlen in der Korrelationstabelle je nach Schulform unterschiedliche Wertebereiche dominieren (vgl. Tabelle 5-20). Entsprechend des Merkmalspaars *Schulform – Nettogrundfläche* sind die Schülerzahlen der Schulformen Sonderschule, Grundschule und Realschule im unteren Bereich der durchschnittlichen Schülerzahlen angesiedelt. Die Gesamtschulen, Gymnasien und Berufsschulen haben ebenso höhere Schülerzahlen. Die Durchschnittswerte reichen dabei von 87 Schülern im Fall der Sonderschulen bis zu durchschnittlich 1.477 Schülern in den Berufsschulen.

Tabelle 5-19: Korrelationstabelle der Merkmale Schulform und Nettogrundfläche (Einheit: Anzahl der Merkmalspaare [])

Schulform Nettogrundfläche (NGF)	Grundschule	Hauptschule	Sonder-schule	Real-schule	Sonstige*	2 oder mehr Formen	Beruf-schule	Gym-nasium	Ge-samt-schule	Zeilen-summen
0 m ² <=x< 2.000 m ²	36	2	3	5	3	1	5	5	0	60
2.000 m ² <=x< 4.000 m ²	64	5	12	11	0	8	4	1	0	105
4.000 m ² <=x< 6.000 m ²	41	8	3	14	0	10	8	8	3	95
6.000 m ² <=x< 8.000 m ²	6	1	4	9	1	2	2	14	2	41
8.000 m ² <=x< 10.000 m ²	2	0	0	0	1	3	5	14	0	25
10.000 m ² <=x< 12.000 m ²	0	0	2	1	1	0	6	10	3	23
12.000 m ² <=x< 14.000 m ²	0	0	0	0	0	1	2	4	3	10
14.000 m ² <=x< 16.000 m ²	0	0	0	0	0	0	1	1	4	6
16.000 m ² <=x< 18.000 m ²	0	0	0	0	0	0	3	1	1	5
18.000 m ² <=x< 20.000 m ²	0	0	0	0	0	1	0	0	3	4
Spaltensummen	149	16	24	40	6	26	36	58	19	374
Durchschnittliche NGF [m ²]	3.220	3.923	4.504	4.785	5.280	5.759	7.623	7.895	12.528	

* Sonstige Schulformen umfassen: Schulzentrum, Förder-schule, Schule für Kranke, Schulhort.

Tabelle 5-20: Korrelationstabelle der Merkmale Schulform und Schülerzahl (Einheit: Anzahl der Merkmalspaare [])

Schulform \ Schülerzahl []	Son-der-schule	Grund-schule	Real-schule	Haupt-und Real-schule	Ge-samt-schule	Gym-nasium	Berufs-rufs-schule	Zeilen-sum-men
0<=x<200	3	22	0	0	0	0	0	25
200<=x<400	0	25	0	0	0	1	0	26
400<=x<600	0	3	3	0	2	0	0	8
600<=x<800	0	0	0	0	3	0	0	3
800<=x<1.000	0	0	0	1	1	1	0	3
1.000<=x<1.200	0	0	0	0	0	2	0	2
1.200<=x<1.400	0	0	0	0	4	1	0	5
1.400<=x	0	0	0	0	0	1	2	3
Spaltensummen	3	50	3	1	10	6	2	75
Durchschnittliche Schülerzahl []	87	229	538	834	909	1.005	1.477	

5.3.2 Auswertungen zum Merkmal Nettogrundfläche

Da die untersuchten Merkmalspaare jeweils quantitative Merkmale umfassen, können an dieser Stelle detailliertere Auswertungen erfolgen.

Merkmalspaar Nettogrundfläche – Heizenergieverbrauch

Das Merkmalspaar *Nettogrundfläche – Heizenergieverbrauch* umfasst 759 vollständige Datenpaare. Eine Übersicht der Verteilung der Werte gibt das nachfolgende Streuungsdiagramm.

gramm (vgl. Abbildung 5-1). Es zeigt, dass der Zusammenhang zwischen der Nettogrundfläche und dem spezifischen Heizenergieverbrauch sehr gering ist, da sowohl bei niedrigen als auch bei hohen Nettogrundflächen eine breite Streuung des Heizenergieverbrauchs vorliegt.

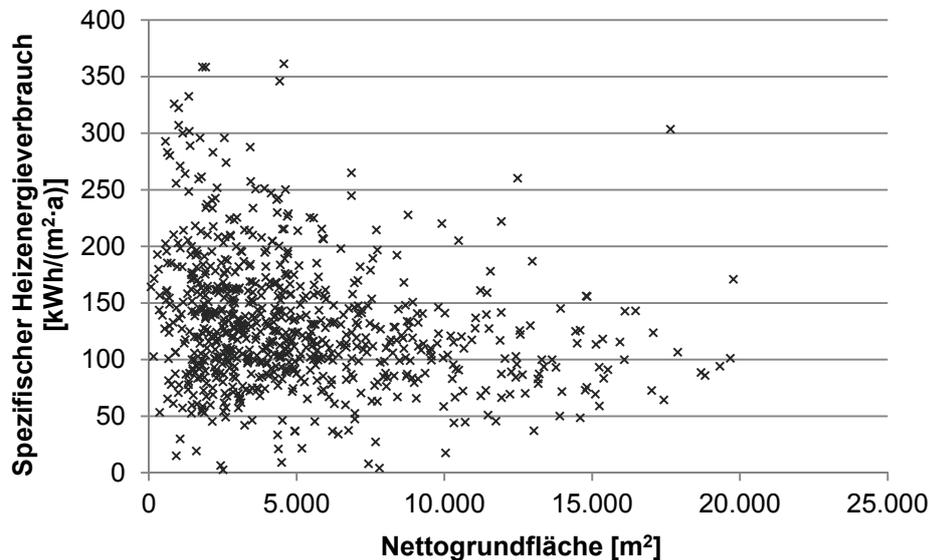


Abbildung 5-1: Streudiagramm der Merkmale Nettogrundfläche und Heizenergieverbrauch

Der Korrelationskoeffizient des Merkmalspaares beträgt $-0,22$. Der verhältnismäßig niedrige Absolutwert des Korrelationskoeffizienten gibt den bereits durch das Streudiagramm ersichtlichen geringfügigen Zusammenhang der Merkmale wieder. Gleichzeitig wird durch das negative Vorzeichen deutlich, dass ein gegenläufiger Zusammenhang zwischen den Merkmalen besteht. Bei steigender Nettogrundfläche ist somit ein sinkender spezifischer Heizenergieverbrauch zu verzeichnen.

Merkmalspaar Nettogrundfläche – Stromverbrauch

Das Merkmalspaar *Nettogrundfläche – Stromverbrauch* umfasst 783 Datensätze, deren Werte in dem nachfolgenden Streudiagramm dargestellt sind (vgl. Abbildung 5-2). Ebenso wie bei dem vorigen Merkmalspaar lässt sich auch aus diesem Streudiagramm kaum ein Zusammenhang zwischen den Merkmalen ableiten. Insbesondere die Merkmalspaare mit Nettogrundflächen im Bereich bis zu 7.000 m^2 umfassen sehr breite Streuungen des Stromverbrauchs zwischen $2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ und $57 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Entsprechend der bereits durch das Streudiagramm dargestellten breiten Streuung der Werte, gibt auch der Korrelationsko-

effizient mit einem Wert von 0,18 einen Hinweis auf einen sehr schwach ausgeprägten und gleichläufigen Zusammenhang zwischen den Merkmalen.

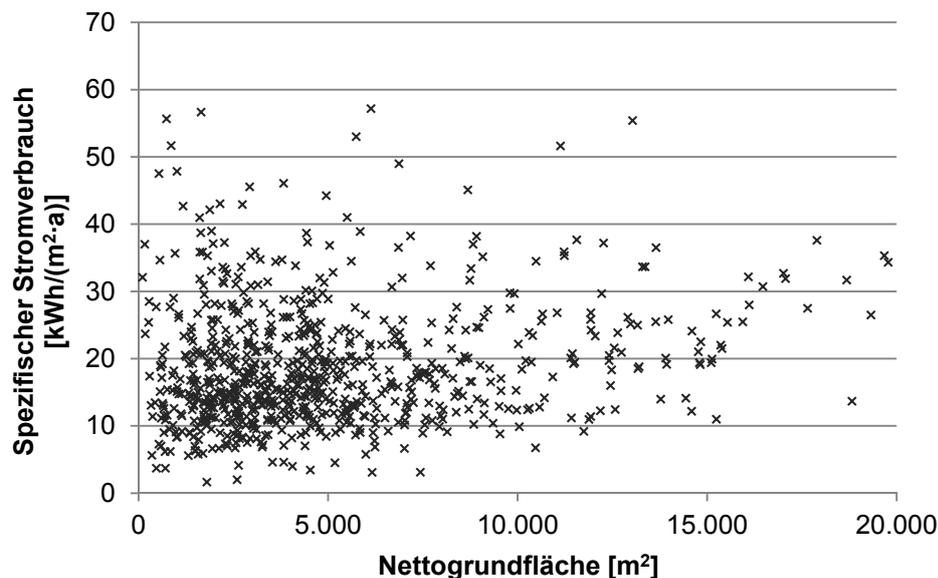


Abbildung 5-2: Streudiagramm der Merkmale Nettogrundfläche und Stromverbrauch

Merkmalspaar Nettogrundfläche – Leistung des Heizkessels

Zu dem Merkmalspaar *Nettogrundfläche – Leistung des Heizkessels* sind 107 vollständige Datensätze vorhanden. In der Darstellung der Werte in dem nachfolgenden Streudiagramm ist ein Zusammenhang zwischen den Merkmalen zu erkennen (vgl. Abbildung 5-3). Im Bereich der Nettogrundflächen unter 3.000 m² liegen die Kesselleistungen zwischen 73 kW und 800 kW, im Bereich zwischen 15.000 m² und 20.000 m² demgegenüber zwischen 1.450 kW bis 1.927 kW. Jedoch sind auch einzelne Ausreißer zu erkennen, wie bspw. die Merkmalspaare 6.238 m² / 2.739 kW und 7.733 m² / 310 kW. Entsprechend des durch das Streudiagramm erkennbaren Zusammenhangs liegt der Korrelationskoeffizient der Merkmale bei 0,75. Somit besteht ein deutlicher gleichläufiger Zusammenhang zwischen den Merkmalen im Rahmen der Stichprobe.

Merkmalspaar Nettogrundfläche – Schülerzahl

Zu dem Merkmalspaar *Nettogrundfläche – Schülerzahl* sind 76 vollständige Datenpaare vorhanden. Anhand des entsprechenden Streudiagramms ist ein Zusammenhang zwischen den Merkmalen Nettogrundfläche und Schülerzahl zu erkennen (vgl. Abbildung 5-4).

Während die Schülerzahlen bei einer Nettogrundfläche bis zu 6.000 m² unter 600 Schülern liegen, umfassen die Schulen mit Nettogrundflächen von über 14.000 m² zwischen 1.200 und

1.600 Schüler. Der Korrelationskoeffizient beträgt entsprechend 0,89, somit besteht ein starker gleichläufiger Zusammenhang zwischen den Merkmalen.

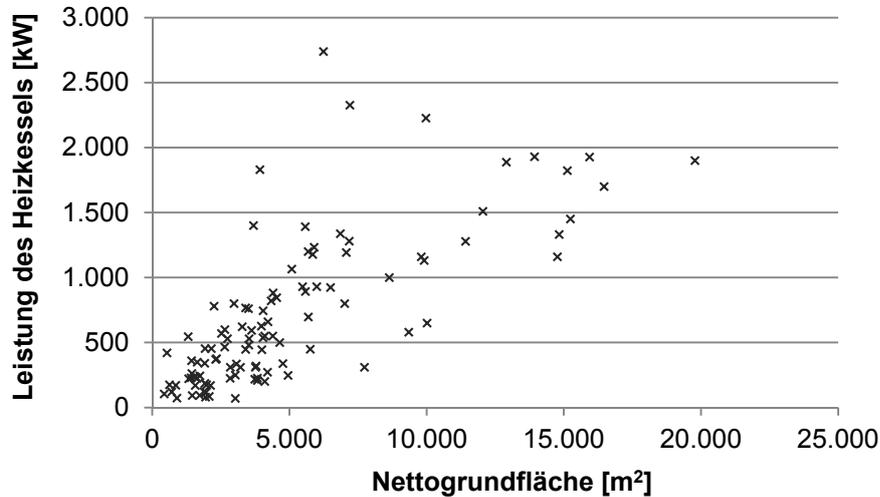


Abbildung 5-3: Streudiagramm der Merkmale Nettogrundfläche und Leistung des Heizkessels

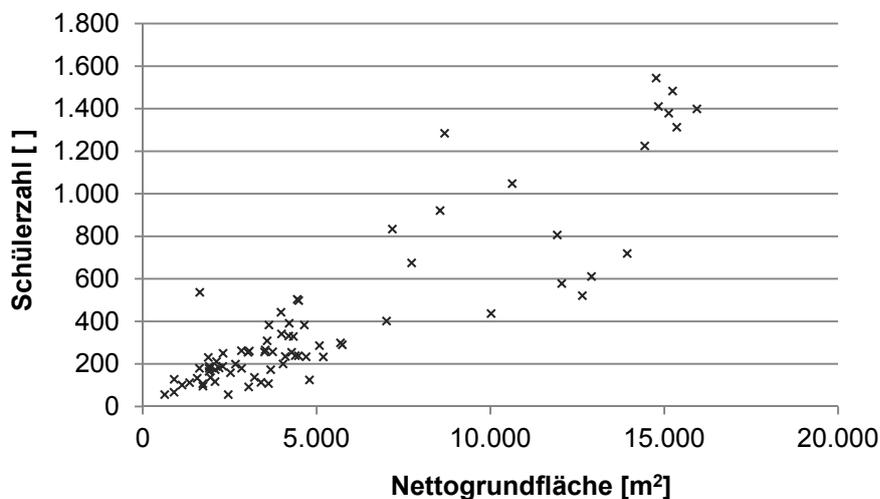


Abbildung 5-4: Streudiagramm der Merkmale Nettogrundfläche und Schülerzahl

5.3.3 Auswertungen zum Merkmal ältestes Baualter

Entsprechend den vorigen Auswertungen umfassen die folgenden Merkmalspaare quantitative Merkmale, die durch Streudiagramme und Korrelationskoeffizienten untersucht werden.

Merkmalspaar ältestes Baujahr – Nettogrundfläche

Zum Merkmalspaar *ältestes Baujahr – Nettogrundfläche* liegen 466 Datenpaare vor. Abbildung 5-5 zeigt die Streuung der Merkmalspaare. Die Nettogrundfläche umfasst eine starke Streuung in nahezu allen Bereichen des ältesten Baujahrs. Diesen Trend zeigt auch der Korrelationskoeffizient mit einem Wert von 0,07. Ein Zusammenhang zwischen den Merkmalen ist kaum feststellbar. Wie bereits beschrieben, kann dies daran liegen, dass das älteste Baujahr kein Indikator für spätere Anbauten und Neubauten ist, während sich die Nettogrundfläche auf die Summe aller Gebäude einer Schule bezieht.

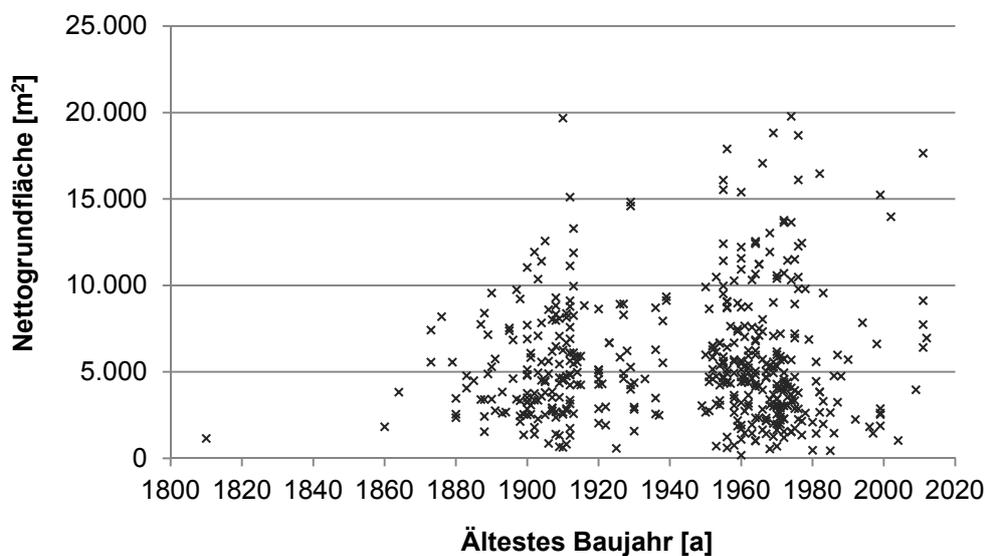


Abbildung 5-5: Streudiagramm der Merkmale ältestes Baujahr und Nettogrundfläche

Merkmalspaar ältestes Baujahr – maximale Geschosszahl

Die Auswertung des Merkmalspaars *ältestes Baujahr – maximale Geschosszahl* umfasst 125 Datenpaare. Da die Geschosszahl über Erdreich ein diskretes Merkmal, also ein Merkmal mit endlich vielen möglichen Ausprägungen ist, sind die Wertepaare im Streudiagramm in die 5 in der Stichprobe vorhandenen Ausprägungen des Merkmals unterteilt aufgereiht (vgl. Abbildung 5-6). Es lässt sich feststellen, dass die Geschosszahlen der Baujahre bis 1940 zwischen 2 und 4 liegen, während nach 1940 ein- bis sechsgeschossige Schulgebäude vorliegen. Dabei haben die meisten Schulen mit ältestem Baujahr vor 1940 3 Geschosse, während nach 1940 am häufigsten 2 Geschosse in den Datensätzen angegeben sind. Somit ist in der Stichprobe ein sinkender Trend der maximalen Geschosszahl mit steigendem ältestem Baujahr zu verzeichnen. Der Trend wird durch den Korrelationskoeffizienten bestätigt, der mit einem Wert von -0,38 einen verhältnismäßig schwachen Zusammenhang der Merk-

male in der Stichprobe bestätigt. Auch in diesem Fall gilt, dass das älteste Baujahr in Bezug auf die Bauweise aller Gebäude einer Schule nur geringe Aussagekraft hat, weil neuere Bauten bei diesem Merkmal nicht berücksichtigt werden.

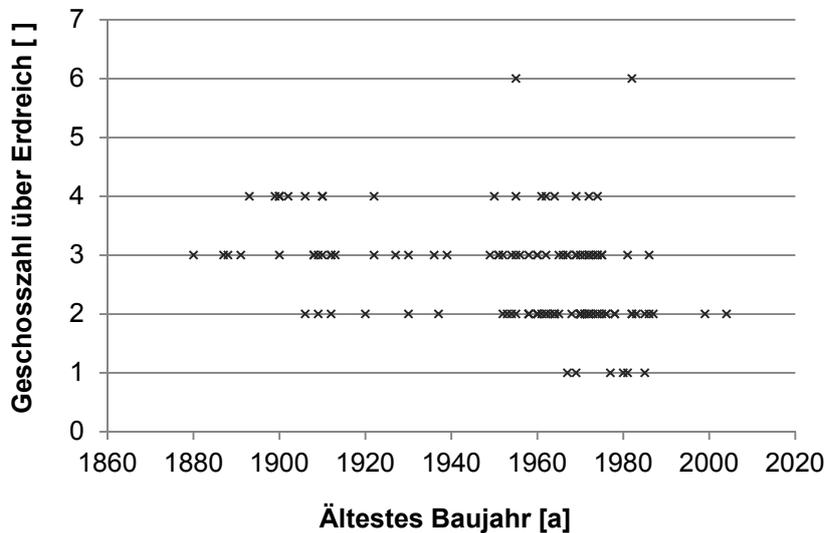


Abbildung 5-6: Streudiagramm der Merkmale ältestes Baujahr und maximale Geschosshöhe über Erdreich

Merkmalspaar ältestes Baujahr – Heizenergieverbrauch

Zum Merkmalspaar *ältestes Baujahr – Heizenergieverbrauch* liegen 457 Datenpaare vor. Ähnlich wie bei der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen dem ältesten Baujahr und der Nettogrundfläche besteht auch bei diesem Merkmal eine große Streuung der Heizenergieverbräuche in allen Bereichen der Baualter. Ein Zusammenhang ist auch bei diesem Merkmalspaar kaum festzustellen, was durch den Korrelationskoeffizienten von 0,05 bestätigt wird (vgl. Abbildung 5-7).

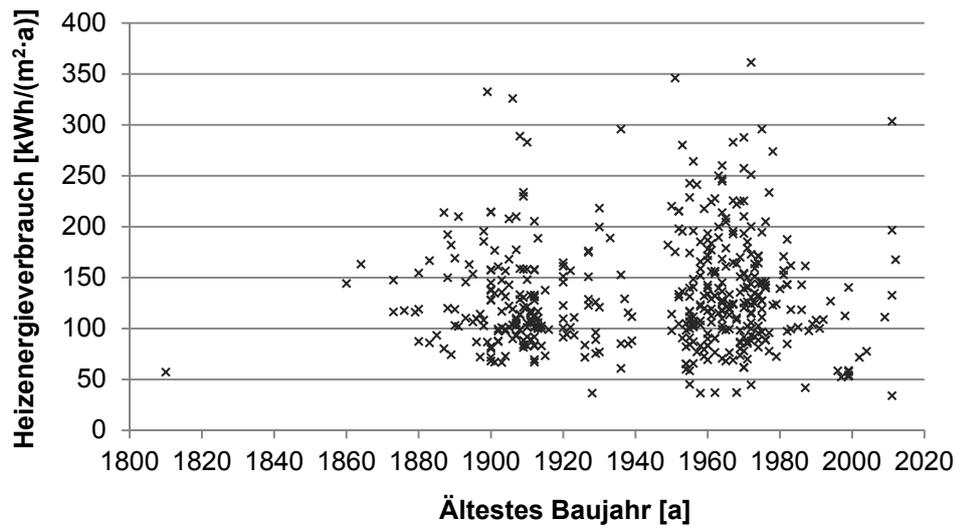


Abbildung 5-7: Streudiagramm der Merkmale ältestes Baujahr und Heizenergieverbrauch

6 Bewertung der Übertragbarkeit

Nachfolgend wird erläutert, ob und inwiefern die Ergebnisse der statistischen Auswertung auf die Grundgesamtheit der Schulen in Deutschland übertragen werden können.

6.1 Grundlagen und Voraussetzungen der Übertragbarkeit

Die Auswahl der Elemente einer Grundgesamtheit für eine Stichprobe erfolgt zufällig. Somit sind die Elemente bzw. Datensätze der Stichprobe Realisationen von Zufallsvariablen und können sich je nach Größe der Grundgesamtheit aus einer Vielzahl von Kombinationen zusammensetzen. Entsprechend stimmen Auswertungen der Stichprobe nicht zwangsläufig mit den Eigenschaften der Grundgesamtheit überein, da die Zusammensetzung der interessierenden Eigenschaft bzw. des Merkmals einer Stichprobe nicht der Zusammensetzung des Merkmals der Grundgesamtheit entsprechen muss. Die Übertragbarkeit der Eigenschaften einer Stichprobe auf die der Grundgesamtheit kann somit nicht direkt und eindeutig erfolgen, sondern ist immer nur mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit möglich. [SCH2006]

Um von einer Stichprobe auf eine Grundgesamtheit schließen zu können, müssen unterschiedliche Voraussetzungen erfüllt sein. So ist die Entnahme einer einfachen Zufallsstichprobe aus der Grundgesamtheit erforderlich. Dies umfasst, dass die Elemente der Grundgesamtheit zufällig und unabhängig voneinander für die Stichprobe ausgewählt werden und dass alle Elemente die gleiche Chance haben Teil der Stichprobe zu sein. [SCH2006] Im Fall der Stichprobe der Schulen in Deutschland ist dieser Grundsatz problematisch, da die Erhebung der Stichprobe zum Teil in Form einer Klumpenstichprobe ausgeführt wurde und nur Datensätze aus der Grundgesamtheit in die Stichprobe aufgenommen werden konnten, die verfügbar waren. Entsprechend handelt es sich nicht um eine einfache Zufallsstichprobe und es muss ein Genauigkeitsverlust, der sogenannte Klumpeneffekt, erwartet werden. [SCH2006] Dennoch wird – unter Berücksichtigung der möglichen Ungenauigkeit – die Übertragung der Stichprobe auf die Grundgesamtheit durchgeführt.

6.2 Eindimensionale Schätzung

Um Parameter, wie zum Beispiel den Mittelwert oder die Standardabweichung der Merkmale einer Stichprobe auf die Grundgesamtheit zu übertragen, sind die Ansätze der Punkt- und Intervallschätzung voneinander zu unterscheiden, die im Rahmen der nachfolgenden Abschnitte erläutert und angewandt werden.

6.2.1 Punktschätzung

Im Rahmen der Punktschätzung werden auf Basis sogenannter Schätzfunktionen Werte von Parametern (z. B. Mittelwert) der interessierenden Merkmale der Stichprobe bestimmt, die als Schätzwerte auf die Grundgesamtheit übertragen werden. Als Voraussetzung für die

Nutzung von Schätzfunktionen wird hier die Erwartungstreue der Funktionen vorausgesetzt. Das heißt, dass Schätzfunktionen für Eigenschaften der Merkmale gewählt werden, deren Erwartungswert dem tatsächlichen Wert des zu schätzenden Merkmals der Grundgesamtheit entspricht. Die durch die Schätzfunktion ermittelten Parameter eines Merkmals sollen sich also im Mittel der Auswertung einer Vielzahl von Stichproben dem tatsächlichen Parameter der Grundgesamtheit annähern. [HAR2009]

Unter der Voraussetzung, dass die Grundgesamtheit im Hinblick auf die Merkmale annähernd normalverteilt ist, gilt, dass das arithmetische Mittel der Stichprobe \bar{x} erwartungstreu zu dem arithmetischen Mittel der Grundgesamtheit μ ist. [SCH2006] Da die Ausprägungen der untersuchten Merkmale der Schulen von vielen unabhängigen Einflussgrößen abhängig sind, kann auf Basis des zentralen Grenzwertsatzes diese Voraussetzung angenommen werden (vgl. [HAR2009] [SCH2006]).

Demgegenüber kann die erwartungstreue Standardabweichung $\hat{\sigma}$ als Schätzwert für die Grundgesamtheit aus der Varianz der Stichprobe s^2 nach [HAR2009] wie folgt abgeleitet werden:

$$\hat{\sigma} = \gamma_n \cdot \sqrt{s^2} \quad (6.1)$$

Dabei entspricht der Korrekturfaktor γ_n :

$$\gamma_n = \sqrt{\frac{n-1}{2}} \cdot \frac{\Gamma(\frac{n-1}{2})}{\Gamma(\frac{n}{2})} \quad (6.2)$$

mit

n Anzahl der Elemente bzw. Datensätze der Stichprobe,

Γ Gammafunktion.

Die Gammafunktion wird für ganzzahlige Werte x nach [HAR2009] wie folgt berechnet:

$$\Gamma(x) = (x - 1)! \quad (6.3)$$

Zudem gilt nach [Ass2000]:

$$\Gamma(x + 1) = x \cdot \Gamma(x) \quad (6.4)$$

und

$$\Gamma\left(\frac{1}{2}\right) = \sqrt{\pi} \quad (6.5)$$

Für $n \rightarrow \infty$ konvergiert γ_n gegen 1. Entsprechend erfolgt für große Stichproben eine geringfügige Korrektur der Stichproben-Standardabweichung s zum Erhalt der erwartungstreuen Standardabweichung $\hat{\sigma}$.

Der Berechnung der Schätzwerte der Grundgesamtheit werden die Ergebnisse der Parameter-Berechnungen der Stichprobe ohne Extremwerte aus Abschnitt 5 zugrunde gelegt (vgl. Tabelle 6-1).

Tabelle 6-1: Stichprobenkennwerte als Grundlage zur Ermittlung der Schätzwerte der Grundgesamtheit

Merkmal	Einheit	Arithmetisches Mittel	Standardabweichung	Anzahl der Datensätze
		\bar{x}	s	n []
Schülerzahl	[]	419	394	78
Anzahl der Gebäude	[]	2	1	534
Ältestes Baujahr	[a]	1944	33	477
Nettogrundfläche	[m ²]	4.966	3.769	832
Bruttorauminhalt	[m ³]	21.165	15.704	250
Maximale Geschosshöhe über Erdreich	[]	3	1	126
Leistung des Heizkessels	[kW]	650	572	119
Heizenergieverbrauchskennwert	[kWh/(m ² ·a)]	131	56	771
Stromverbrauchskennwert	[kWh/(m ² ·a)]	19	9	795

Der Schätzwert des arithmetischen Mittels der Grundgesamtheit $\hat{\mu}$ entspricht, wie bereits beschrieben, dem arithmetischen Mittel der jeweiligen Stichprobe. Im Hinblick auf die Ermittlung der Standardabweichung $\hat{\sigma}$ wird der Korrekturfaktor γ_n vernachlässigt, da er mit einem Wert von 1,0033 eine maximale Änderung von 0,33% der Standardabweichung im Fall des Merkmals Schülerzahl mit dem geringsten Stichprobenumfang bewirkt. Bei den anderen untersuchten Merkmalen ist der Einfluss des Korrekturfaktors aufgrund der deutlich höheren

Stichprobenumfänge entsprechend wesentlich geringer. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die Standardabweichung der Grundgesamtheit $\hat{\sigma}$ etwa der Standardabweichung s der Stichprobe entspricht (vgl. Tabelle 6-2).

Tabelle 6-2: Grundlagen und Ergebnisse der Ermittlung der Schätzwerte der Grundgesamtheit

Merkmal	Einheit	Schätzwert des arithmetischen Mittels	Schätzwert der Standard- abweichung
		$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}$
Schülerzahl	[]	419	394
Anzahl der Gebäude	[]	2	1
Ältestes Baujahr	[a]	1944	33
Nettogrundfläche	[m ²]	4.966	3.769
Bruttorauminhalt	[m ³]	21.165	15.704
Maximale Geschoszahl über Erdreich	[]	3	1
Leistung des Heizkessels	[kW]	650	572
Heizenergieverbrauchskennwert	[kWh/(m ² ·a)]	131	56
Stromverbrauchskennwert	[kWh/(m ² ·a)]	19	9

6.2.2 Intervallschätzung

Wie bereits beschrieben, kann kaum erwartet werden, dass die Schätzwerte des arithmetischen Mittels und der Standardabweichung den tatsächlichen Werten der entsprechenden Parameter der Grundgesamtheit im Hinblick auf die Merkmale entsprechen. Um Aussagen über die Wahrscheinlichkeiten zu erhalten, mit denen die berechneten Parameter in einem Intervall um die jeweiligen Schätzwerte liegen, wird eine Intervallschätzung durchgeführt (vgl. [SCH2006]). Die Intervallschätzung umfasst die Bestimmung eines Konfidenzintervalls, in dem der zu schätzende Parameter der Grundgesamtheit mit einer Wahrscheinlichkeit von $1-\alpha$, also mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit α , liegt. (vgl. [SCH2006]) Dabei gilt, dass mit einer steigenden Zahl von Datensätzen, also einem steigenden Stichprobenumfang die Spannweite des Intervalls bei gleicher Irrtumswahrscheinlichkeit α sinkt. (vgl. [Ass2000]) Wie bereits im Rahmen der Punktschätzung wird bei der Intervallschätzung von einer näherungsweise normalverteilten Grundgesamtheit ausgegangen.

Voraussetzung für die Wahl der Schätzfunktion sind die Eigenschaften der Stichprobe und Grundgesamtheit. Für die durchgeführte Untersuchung gilt:

- Die Varianz σ^2 der Grundgesamtheit ist unbekannt.
- Es ist ausgeschlossen, dass ein Merkmalsträger mehrmals in der Stichprobe auftritt. Entsprechend handelt es sich um eine Stichprobe ohne Zurücklegen.
- Für das Verhältnis der Anzahl der Datensätze der Stichprobe n zu der Anzahl der Elemente der Grundgesamtheit N gilt: $\frac{n}{N} < 0,05$.
(Als Anzahl der Elemente der Grundgesamtheit N wird die Anzahl der allgemeinbildenden und beruflichen Schulen in Deutschland im Jahr 2011 gewählt. Diese umfassen nach [STA2012A] und [STA2012B] 37.954 Schulen.)
- Für die Anzahl der Datensätze der Stichprobe n gilt: $n-1 \geq 30$.

Unter den genannten Voraussetzungen können die obere (o) und untere (u) Grenze des Konfidenzintervalls des arithmetischen Mittels μ der Grundgesamtheit nach [SCH2006] wie folgt bestimmt werden:

$$\hat{\mu}_{o/u} = \bar{x} \pm z \cdot \hat{\sigma}_{\bar{x}} \quad (6.6)$$

Dabei ist:

\bar{x} Mittelwert der Stichprobe,

z p -Quantil der Verteilungsfunktion der Standardnormalverteilung mit $p = 1 - \frac{\alpha}{2}$.

Der Schätzwert der Standardabweichung $\hat{\sigma}_{\bar{x}}$ entspricht in diesem Fall:

$$\hat{\sigma}_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n-1}} \quad (6.7)$$

mit

s Standardabweichung der Stichprobe,

n Anzahl der Datensätze der Stichprobe bzw. der Stichprobenumfang.

Die Intervallgrenzen des Konfidenzintervalls der Varianz σ^2 der Grundgesamtheit werden nach [SCH2006] bestimmt durch:

$$\hat{\sigma}_{o/u}^2 = \frac{n \cdot s^2}{\chi_{o/u}^2} \quad (6.8)$$

mit

s^2 Varianz der Stichprobe,

$\chi_{o/u}^2$ p-Quantil der Verteilungsfunktion der χ^2 -Verteilung mit $n-1$ Freiheitsgraden zu den Wahrscheinlichkeiten $p = 1 - \frac{\alpha}{2}$ für $\hat{\sigma}_o^2$ und $p = \frac{\alpha}{2}$ für $\hat{\sigma}_u^2$.

Daraus ergeben sich nach [HAR2009] als Grenzen des Konfidenzintervalls der Standardabweichung σ der Grundgesamtheit:

$$\hat{\sigma}_{o/u} = s \cdot \sqrt{\frac{n-1}{\chi_{o/u}^2}} \quad (6.9)$$

Für die Ermittlung der Konfidenzintervalle der genannten Parameter des Schulgebäudebestands wird eine Irrtumswahrscheinlichkeit α von 5% festgelegt. Die den Berechnungen zugrunde gelegten Ergebnisse der Auswertung der Stichprobe entsprechen denen der Punktschätzung (vgl. Tabelle 6-1). Die Berechnungsfaktoren $\hat{\sigma}_{\bar{x}}$, z , χ_u^2 und χ_o^2 als Grundlage zur Ermittlung der Konfidenzintervalle werden unter Nutzung eines Kalkulationsprogramms ermittelt (vgl. Tabelle 6-3).

Aus den Berechnungen ergeben sich die Grenzen der Konfidenzintervalle der untersuchten Parameter (arithmetisches Mittel, Standardabweichung) für die 9 quantitativen Merkmale der Untersuchung. Die Intervalle geben einen Bereich wieder, in dem die Berechnungsparameter der Merkmale des Schulgebäudebestands von Deutschland mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% liegen. Im Fall der Schülerzahl wird beispielsweise geschätzt, dass der Durchschnitt der Anzahl der Schüler an den Schulen in Deutschland mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% zwischen 331 und 507 Schülern liegt (vgl. Tabelle 6-4).

Tabelle 6-3: Berechnungsfaktoren zur Ermittlung der Konfidenzintervalle

Merkmal	Einheit	Schätzwert der SAW	0,975- QT der SNV []	FHG der X ² -VT []	0,975- QT der X ² - VT []	0,025- QT der X ² - VT []
		$\hat{\sigma}_{\bar{x}}$	z	n-1	χ^2_o	χ^2_u
Schülerzahl	[]	44,9	1,96	77	54,6	103,2
Anzahl der Gebäude	[]	0,1	1,96	533	470,9	598,9
Ältestes Baujahr	[a]	1,5	1,96	476	417,4	538,3
Nettogrundfläche	[m ²]	130,8	1,96	831	753,0	912,8
Bruttorauminhalt	[m ³]	995,2	1,96	249	207,2	294,6
Maximale Geschosshöhe über Erdreich	[]	0,1	1,96	125	95,9	157,8
Leistung des Heizkessels	[kW]	52,7	1,96	118	89,8	150,0
Heizenergieverbrauchs-kennwert	[kWh/(m ² ·a)]	2,0	1,96	770	695,0	848,8
Stromverbrauchs-kennwert	[kWh/(m ² ·a)]	0,3	1,96	794	717,8	874,0

Abkürzungen: SAW = Standardabweichung, QT = Quantil, SNV = Standardnormalverteilung, FHG = Freiheitsgrade, VT = Verteilung;

Tabelle 6-4: Untere und obere Grenzen der Konfidenzintervalle

Merkmal	Einheit	Untere Grenze des Konfidenzintervalls des arithmetischen Mittels	Obere Grenze des Konfidenzintervalls des arithmetischen Mittels	Untere Grenze des Konfidenzintervalls der Standardabweichung	Obere Grenze des Konfidenzintervalls der Standardabweichung
		$\hat{\mu}_u$	$\hat{\mu}_o$	$\hat{\sigma}_u$	$\hat{\sigma}_o$
Schülerzahl	[]	331	507	341	468
Anzahl der Gebäude	[]	1,9	2,1	1,1	1,3
Ältestes Baujahr	[a]	1941	1947	31	36
Nettogrundfläche	[m ²]	4.710	5.223	3.596	3.960
Bruttorauminhalt	[m ³]	19.214	23.115	14.438	17.216
Maximale Geschosshöhe über Erdreich	[]	2,5	2,8	0,8	1,0
Leistung des Heizkessels	[kW]	547	753	507	656
Heizenergieverbrauchs-kennwert	[kWh/(m ² ·a)]	127	135	54	59
Stromverbrauchs-kennwert	[kWh/(m ² ·a)]	18	19	9	9

6.3 Zweidimensionale Schätzung

Im Hinblick auf die zweidimensionale Untersuchung der Stichprobe scheint es sinnvoll die Übertragbarkeit derjenigen quantitativen Merkmalspaare auf die Grundgesamtheit zu prüfen,

die einen hohen absoluten Korrelationskoeffizienten, also einen starken statistischen Zusammenhang, aufweisen. Als Merkmalspaare mit einem Korrelationskoeffizienten $> 0,5$ bzw. $< -0,5$ resultieren aus Abschnitt 5-3 die Paare *Nettogrundfläche – Kesselleistung* und *Nettogrundfläche – Schülerzahl*.

Der Nachweis eines starken statistischen Zusammenhangs von zwei Merkmalen einer Stichprobe genügt nicht zu der Annahme, dass dieser Zusammenhang auch in der Grundgesamtheit besteht (vgl. [SCH2005]). Die Übertragung auf die Grundgesamtheit kann jedoch dadurch begründet werden, dass neben dem statistischen Zusammenhang der Stichprobe auch ein kausaler Zusammenhang der Merkmalspaare vorhanden ist. Im Fall der zwei genannten Merkmalspaare sind kausale Zusammenhänge zwischen den Merkmalen festzustellen:

- Die Auslegung der Kesselleistung erfolgt in Abhängigkeit der zu beheizenden Fläche.
- Die (maximale) Zahl der Schüler einer Schule wird neben den zur Verfügung stehenden Ressourcen durch die verfügbaren Räumlichkeiten begrenzt.

Dementsprechend kann ein Zusammenhang der Merkmale auch im Hinblick auf die Grundgesamtheit angenommen werden.

Die Auswertungen werden entsprechend der eindimensionalen Schätzung auf Grundlage bedingter Verteilungen, also z. B. der Verteilung der Schülerzahl für jeweils einen festgelegten Wertebereich der Nettogrundfläche, durchgeführt (vgl. [SCH2005]). Die den Berechnungen zugrunde gelegten Verteilungen sind als Korrelationstabellen in Tabelle 6-5 und Tabelle 6-6 dargestellt.

Tabelle 6-5: Korrelationstabelle der Merkmale Schülerzahl und Nettogrundfläche (NGF) (Einheit: Anzahl der Merkmalspaare [])

		Schülerzahl []				Zeilen- summen
		$0 \leq x < 400$	$400 \leq x < 800$	$800 \leq x < 1.200$	$1.200 \leq x$	
NGF [m ²]	$0 \text{ m}^2 \leq x < 5.000 \text{ m}^2$	49	4	0	0	53
	$5.000 \text{ m}^2 \leq x < 10.000 \text{ m}^2$	4	2	2	1	9
	$10.000 \text{ m}^2 \leq x < 15.000 \text{ m}^2$	0	5	2	3	10
	$15.000 \text{ m}^2 \leq x$	0	0	0	4	4
Spaltensummen		53	11	4	8	76

Tabelle 6-6: Korrelationstabelle der Merkmale Kesselleistung und Nettogrundfläche (NGF) (Einheit: Anzahl der Merkmalspaare [])

		Kesselleistung [kW]				Zeilen- summen
		$0 \leq x < 700$	$700 \leq x < 1.400$	$1.400 \leq x < 2.100$	$2.100 \leq x$	
NGF [m ²]	$0 \leq x < 5.000$	62	8	2	0	72
	$5.000 \leq x < 10.000$	4	16	0	3	23
	$10.000 \leq x < 15.000$	1	3	3	0	7
	$15.000 \leq x$	0	0	5	0	5
Spaltensummen		67	27	10	3	107

Für jede dieser bedingten Verteilungen kann, entsprechend den Grundlagen und Auswertungen aus Abschnitt 6.2, die Berechnung der Untersuchungsparameter (Mittelwert, Standardabweichung) der Grundgesamtheit erfolgen. Ziel ist die Ermittlung von Parametern der Kesselleistung und Schülerzahl der Grundgesamtheit für unterschiedliche Nettogrundflächen bzw. der Parameter der Grundgesamtheit der Nettogrundflächen für unterschiedliche Kesselleistungen und Schülerzahlen.

Da die bedingten Verteilungen jeweils nur einen Teil der gesamten Stichprobe umfassen, sind die Datengrundlagen zur Auswertung zum Teil sehr gering. Für die Hälfte der Auswertungen stehen jeweils maximal 10 Werte zur Verfügung (vgl. Zeilen- und Spaltensummen der Tabellen 6-5 und 6-6). Entsprechend große Spannweiten der Konfidenzintervalle sind in diesen Fällen als Ergebnisse der Intervallschätzung zu erwarten (vgl. Abschnitt 5.2.2). Zudem muss die Aussagekraft dieser Ergebnisse aufgrund der geringen Datengrundlage hinterfragt werden.

6.3.1 Punktschätzung

Aus der Datengrundlage lassen sich in einem ersten Schritt entsprechend Abschnitt 5.1.2 der Mittelwert und die Standardabweichung der bedingten Verteilungen der Stichproben bestimmen (vgl. Tabelle 6-7 und Tabelle 6-8). Nach Erläuterung des Abschnitts 6.2.1 können im Rahmen der Punktschätzung der Mittelwert der Stichprobe \bar{x} und die Standardabweichung der Stichprobe s als Schätzwerte für den Mittelwert $\hat{\mu}$ und die Standardabweichung $\hat{\sigma}$ der Grundgesamtheit dienen.

Als Schätzwerte der Punktschätzung ergeben sich somit für die durchschnittliche Schülerzahl mit steigender Nettogrundfläche steigende Werte. Diese reichen von 222 Schülern bei bis zu 5.000 m² bis zu 1.394 Schülern bei mehr als 15.000 m². Entsprechend steigt auch die durchschnittliche Kesselleistung von 409 kW bis 1.760 kW mit steigender Nettogrundfläche an (vgl. Tabelle 6-8). Ähnliche Tendenzen sind bei den Mittelwerten der bedingten Verteilungen der Nettogrundfläche zu erkennen. Bei steigender Schülerzahl nimmt die Nettogrundflä-

che von 3.065 m² bei bis zu 400 Schülern bis 14.298 m² bei mehr als 1.200 Schülern zu. Die steigende Tendenz der Nettogrundflächen im Hinblick auf die Kesselleistung ist demgegenüber nicht ganz eindeutig. Die Nettogrundfläche steigt für die bedingten Verteilungen bis zu einer Leistung von 2.100 kW auf 12.906 m² an, um im Bereich von mehr als 2.100 kW auf 7.806 m² zu sinken. Da die Datengrundlage für die Berechnung dieses Wertes nur aus 3 Datensätzen besteht, muss die Aussagekraft des Ergebnisses hier in Frage gestellt werden.

Die Standardabweichungen der bedingten Verteilungen geben die Stärken der Abweichungen der Stichprobenwerte von den jeweiligen Mittelwerten wieder. Diese sind unterschiedlich stark ausgeprägt.

Tabelle 6-7: Berechnungsparameter der Auswertung der bedingten Verteilungen der Stichprobe

		NGF [m ²]	
		Mittelwert	Standardabweichung
		$\bar{x} / \hat{\mu}$	$s / \hat{\sigma}$
Schülerzahl	0 ≤ x < 400	3.065	1.285
	400 ≤ x < 800	8.258	4.082
	800 ≤ x < 1.200	9.569	1.832
	1.200 ≤ x	14.298	2.163
Kesselleistung	0 kW ≤ x < 700 kW	2.972	1.829
	700 kW ≤ x < 1.400 kW	6.614	3.130
	1.400 kW ≤ x < 2.100 kW	12.906	4.969
	2.100 kW ≤ x	7.806	1.585

Tabelle 6-8: Berechnungsparameter der Auswertung der bedingten Verteilungen der Stichprobe

		Schülerzahl []		Kesselleistung [kW]	
		Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
		$\bar{x} / \hat{\mu}$	$s / \hat{\sigma}$	$\bar{x} / \hat{\mu}$	$s / \hat{\sigma}$
Nettogrundfläche	0 m ² ≤ x < 5.000 m ²	222	114	409	300
	5.000 m ² ≤ x < 10.000 m ²	580	348	1.173	562
	10.000 m ² ≤ x < 15.000 m ²	890	373	1.393	409
	15.000 m ² ≤ x	1.394	61	1.760	174

6.3.2 Intervallschätzung

Im Rahmen der Intervallschätzung werden die Grenzen der Konfidenzintervalle mit einer Fehlerwahrscheinlichkeit α von 5% bestimmt. Die Berechnungen erfolgen entsprechend den Erläuterungen in Abschnitt 6.2.2. Gleichung 6.6 wird zur Ermittlung des Konfidenzintervalls des arithmetischen Mittels eingesetzt, da eine normalverteilte Grundgesamtheit angenommen wird, obwohl die Bedingung $n-1 \geq 30$ in einigen Fällen nicht erfüllt werden kann (vgl. [Ass2000]).

Die ermittelten Intervallgrenzen liegen jeweils unter- und oberhalb der entsprechenden Werte der Punktschätzungen (vgl. Tabelle 6-9, Tabelle 6-10, Tabelle 6-11 und Tabelle 6-12). Die Spannweiten der Konfidenzintervalle sind zum Teil im Vergleich zu den Ergebnissen der eindimensionalen Auswertungen jedoch größer, da die den Berechnungen zugrunde gelegten Stichprobenumfänge kleiner sind. Ebenso, wie bei der Punktschätzung lassen sich Tendenzen hin zu größeren Schülerzahlen und Kesselleistungen bei steigender Nettogrundfläche sowie größeren Nettogrundflächen bei steigenden Schülerzahlen bzw. Kesselleistungen feststellen.

Tabelle 6-9: Konfidenzintervalle der Parameter der Grundgesamtheit für bedingte Verteilungen des Merkmals Schülerzahl

Schülerzahl []		Untere Grenze des KI des AM	Obere Grenze des KI des AM	Untere Grenze des KI der SAW	Obere Grenze des KI der SAW
		$\hat{\mu}_u$	$\hat{\mu}_o$	$\hat{\sigma}_u$	$\hat{\sigma}_o$
NGF	$0 \text{ m}^2 \leq x < 5.000 \text{ m}^2$	191	253	96	141
	$5.000 \text{ m}^2 \leq x < 10.000 \text{ m}^2$	340	821	235	666
	$10.000 \text{ m}^2 \leq x < 15.000 \text{ m}^2$	646	1.133	256	680
	$15.000 \text{ m}^2 \leq x$	1.325	1.462	34	226

Abkürzungen: NGF = Nettogrundfläche, KI = Konfidenzintervall, AM = arithmetisches Mittel, SAW = Standardabweichung

Tabelle 6-10: Konfidenzintervalle der Parameter der Grundgesamtheit für bedingte Verteilungen des Merkmals Nettogrundfläche

Nettogrundfläche [m ²]		Untere Grenze des KI des AM	Obere Grenze des KI des AM	Untere Grenze des KI der SAW	Obere Grenze des KI der SAW
		$\hat{\mu}_u$	$\hat{\mu}_o$	$\hat{\sigma}_u$	$\hat{\sigma}_o$
Schülerzahl	0<=x<400	2.715	3.414	1.079	1.590
	400<=x<800	5.729	10.788	2.852	7.163
	800<=x<1.200	7.496	11.642	1.038	6.830
	1.200<=x	12.696	15.901	1.430	4.403

Abkürzungen: KI = Konfidenzintervall, AM = arithmetisches Mittel, SAW = Standardabweichung

Tabelle 6-11: Konfidenzintervalle der Parameter der Grundgesamtheit für bedingte Verteilungen des Merkmals Kesselleistung

Kesselleistung [kW]		Untere Grenze des KI des AM	Obere Grenze des KI des AM	Untere Grenze des KI der SAW	Obere Grenze des KI der SAW
		$\hat{\mu}_u$	$\hat{\mu}_o$	$\hat{\sigma}_u$	$\hat{\sigma}_o$
NGF	0 m ² <=x<5.000 m ²	339	478	257	358
	5.000 m ² <=x<10.000 m ²	938	1.408	435	796
	10.000 m ² <=x<15.000 m ²	1.065	1.720	263	900
	15.000 m ² <=x	1.590	1.930	104	500

Abkürzungen: NGF = Nettogrundfläche, KI = Konfidenzintervall, AM = arithmetisches Mittel, SAW = Standardabweichung

Tabelle 6-12: Konfidenzintervalle der Parameter der Grundgesamtheit für bedingte Verteilungen des Merkmals Nettogrundfläche

Nettogrundfläche [m ²]		Untere Grenze des KI des AM	Obere Grenze des KI des AM	Untere Grenze des KI der SAW	Obere Grenze des KI der SAW
		$\hat{\mu}_u$	$\hat{\mu}_o$	$\hat{\sigma}_u$	$\hat{\sigma}_o$
Kessel-leistung	0 kW<=x<700 kW	2.531	3.413	1.563	2.204
	700 kW<=x<1.400 kW	5.411	7.817	2.465	4.289
	1.400 kW<=x<2.100 kW	9.659	16.152	3.418	9.071
	2.100 kW<=x	5.610	10.002	825	9.961

Abkürzungen: KI = Konfidenzintervall, AM = arithmetisches Mittel, SAW = Standardabweichung

7 Verifizierung der Ergebnisse

Wie bereits beschrieben, kann aufgrund der Zusammenführung der Daten aus unterschiedlichen Primärerhebungen nicht bewertet werden, ob die Daten fehlerhaft sind. Zur Verifizierung der Ergebnisse der Auswertung erfolgt daher ein Vergleich mit Ergebnissen anderer Untersuchungen aus der Literatur, soweit diese vorhanden sind. Verifizierungen werden für die Anteile unterschiedlicher Schulformen sowie die Heizenergie- und Stromverbrauchs-kennwerte durchgeführt. Über die Repräsentativität der weiteren Merkmale im Hinblick auf den Schulgebäudebestand Deutschlands können keine Aussagen getroffen werden.

7.1 Verifizierung der Anteile unterschiedlicher Schulformen

Die Anteile der untersuchten Schulformen können mit Angaben zu der Anzahl allgemeinbildender Schularten aus der Literatur verglichen werden. [STA2012C] macht Angaben zur Anzahl allgemeinbildender Schulen unterschiedlicher Schulformen in Deutschland im Schuljahr 2010/2011.

Ein Vergleich der Anteile unterschiedlicher Schulformen zeigt, dass mit 52% bzw. 47% jeweils der größte Anteil der Schulen Grundschulen sind. Ebenso haben Realschulen mit 9% bzw. 7% sowie die sonstigen Schulformen mit 19% bzw. 16% ähnliche Anteile an den Verteilungen (vgl. Abbildung 7-1 und Abbildung 7-2).

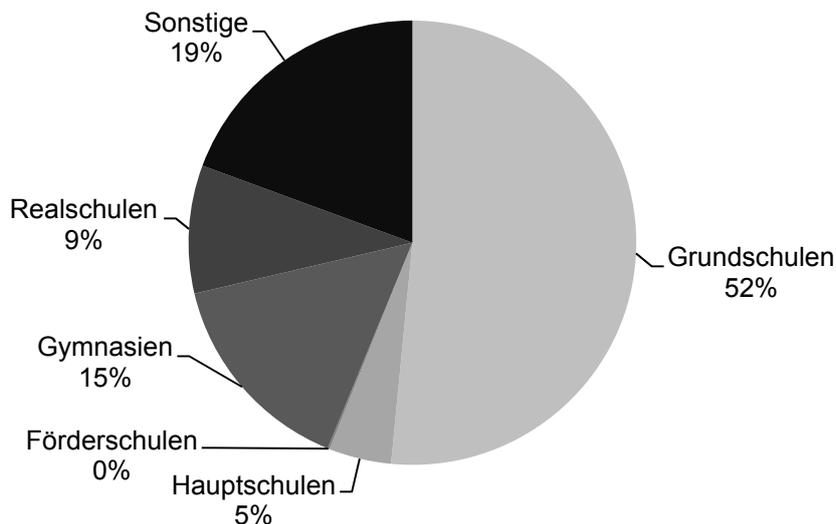


Abbildung 7-1: Anteile der Schulformen allgemeinbildender Schulen in der untersuchten Stichprobe

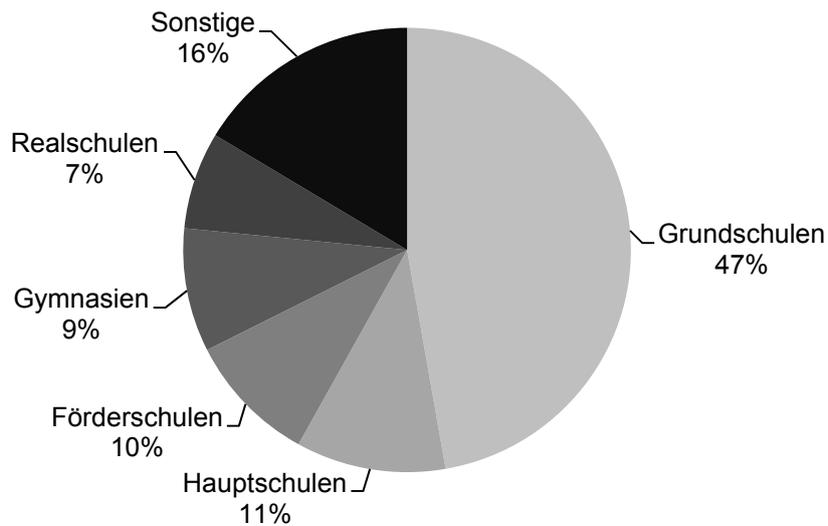


Abbildung 7-2: Anteile der allgemeinbildenden Schulen unterschiedlicher Schulformen nach [STA2012c]

Jedoch macht ein Vergleich der Anteile der Gymnasien, Förderschulen und Hauptschulen deutlich, dass hier Unterschiede zwischen den Angaben von [STA2012c] und der statistischen Auswertung bestehen. Während Gymnasien nach [STA2012c] 9% der Schulen umfassen, haben sie einen Anteil von 15% an der untersuchten Stichprobe. Noch größere Unterschiede ergeben sich bei den Anteilen der Förder- und Hauptschulen. Deren Anteile betragen nach [STA2012c] 10% bzw. 11%, während Anteile von 0% bzw. 5% in der Stichprobe ermittelt werden.

Der Vergleich zeigt, dass die Stichprobe im Hinblick auf die Anteile der Schulformen allgemeinbildender Schulen Ähnlichkeiten mit den Angaben von [STA2012c] aufweist, jedoch im Hinblick auf einzelne Schulformen auch deutliche Unterschiede festgestellt werden können.

7.2 Verifizierung der Heizenergieverbrauchs- und Stromverbrauchskennwerte

Im Hinblick auf den Heizenergieverbrauchskennwert und Stromverbrauchskennwert liegen Daten aus den Quellen [AGE2005], [BUN2009] und [KLU2001] vor, die mit den Mittelwerten der Auswertung der Stichprobe ohne Ausreißer verglichen werden.

[KLU2001] wertet eine Stichprobe von 199 Schulen im Hinblick auf ihren Heizenergieverbrauch und Stromverbrauch aus. Dabei wird die Auswertung sowohl für alle Datensätze als auch für Datensätze ohne Extremwerte durchgeführt. Extremwerte sind in der Auswertung definiert als Datensätze, die außerhalb der Standardabweichung liegen.

Durch [BUN2009] werden Vergleichskennwerte für Nichtwohngebäude nach Energieeinsparverordnung (EnEV) §19 (4) sowohl für die EnEV 2007 ([EEV2007]) als auch für EnEV 2009 ([EEV2009]) festgelegt. Im Hinblick auf Schulgebäude sind jeweils vier Werte für den Heiz-

energie- und Stromverbrauch für allgemeinbildende, berufsbildende und Sonderschulen angegeben. Zum Vergleich mit den eigenen Berechnungen wird jeweils ein Mittelwert der 4 Angaben verwendet. Die Bezugsgröße der Kennwerte aus [BUN2009] ist wie bei den eigenen Auswertungen die Nettogrundfläche.

[AGE2005] umfasst die Auswertung der Heizenergie- und Stromverbrauchsdaten von 3.303 schulischen Einrichtungen. Die Kennwerte sind auf die Bruttogeschossfläche bezogen. Somit sind die Kennwerte etwa 10% niedriger als Kennwerte, die auf die Nettogeschossfläche bezogen wurden (vgl. [BUN2009]).

Ein Vergleich der Werte zeigt, dass es eine relativ große Spannweite des Heizenergieverbrauchs von 135 kWh/(m²·a) zwischen dem höchsten (230 kWh/(m²·a), [KLU2001]) und dem niedrigsten Wert (95 kWh/(m²·a), [BUN2009]) besteht. Der Mittelwert der eigenen Untersuchung ist mit 131 kWh/(m²·a) im Mittelfeld dieser Werte angesiedelt. (vgl. Abbildung 7-1)

Im Fall des Stromverbrauchs umfassen die Vergleichswerte einen Bereich zwischen 14 kWh/(m²·a) ([BUN2009] und [AGE2005]) und 26 kWh/(m²·a) ([KLU2001]). Auch in diesem Fall liegt der Mittelwert der eigenen Auswertung mit 19 kWh/(m²·a) im Mittel des Bereichs. (vgl. Abbildung 7-2).

Die Vergleiche geben einen Hinweis darauf, dass die Stichprobe im Mittel in Bezug auf die Merkmale Heizenergieverbrauch und Stromverbrauch vergleichbare Werte mit anderen Untersuchungen aufweist.

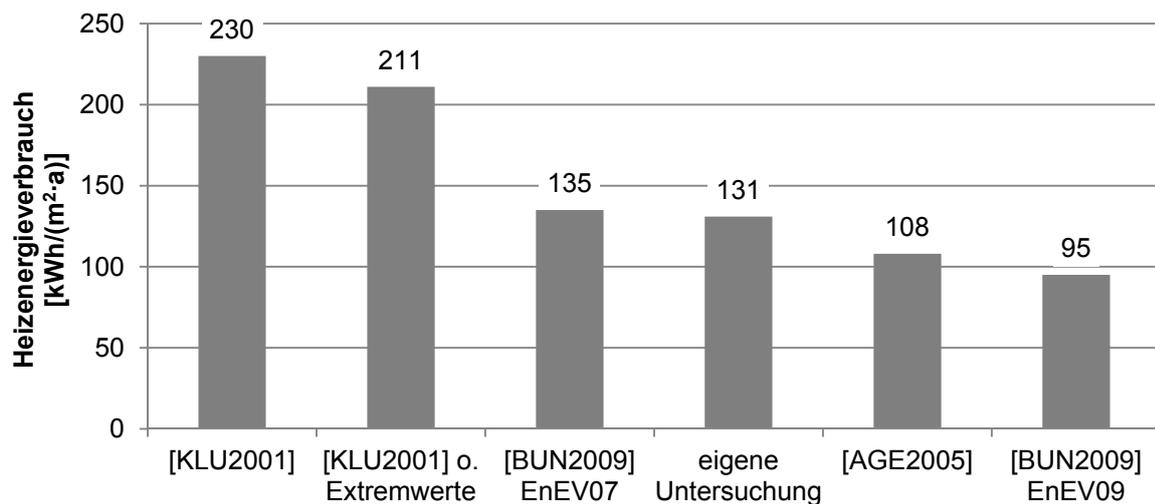


Abbildung 7-3: Vergleich des arithmetischen Mittels des Heizenergieverbrauchs der Stichprobe mit Kennwerten aus der Literatur

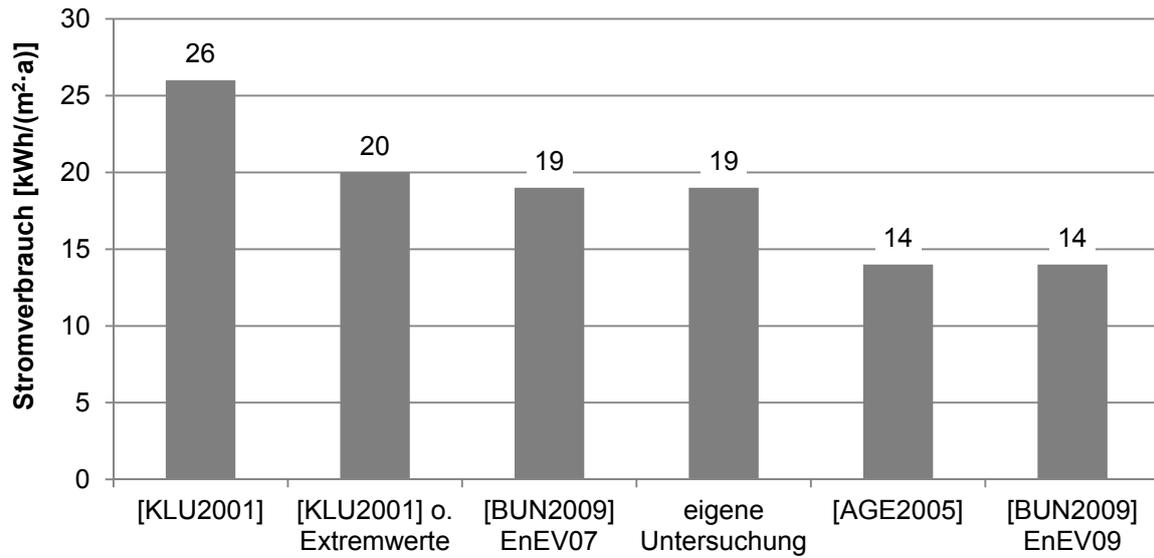


Abbildung 7-4: Vergleich des arithmetischen Mittels des Stromverbrauchs der Stichprobe mit Kennwerten aus der Literatur

8 Zusammenfassung

Im Rahmen einer Sekundärerhebung wurden aus 14 Quellen Datensätze zu 863 schulischen Einrichtungen in Form einer Klumpenstichprobe ermittelt und im Hinblick auf 13 Merkmale ausgewertet.

Um die Daten zu vereinheitlichen, ist eine Aufbereitung unter anderem im Hinblick auf Flächenangaben, den Stromverbrauch und den Heizenergieverbrauch erforderlich. Trotz dieser Vereinheitlichungen können fehlerhafte und uneinheitliche Daten nicht ausgeschlossen werden. Entsprechend sind die Ergebnisse der Untersuchung als grobe Schätzwerte zu verstehen.

Die statistische Untersuchung umfasst eine eindimensionale, also jeweils ein Merkmal umfassende Auswertung. Diese berücksichtigt im Hinblick auf die qualitativen Merkmale deren Häufigkeitsverteilungen und im Hinblick auf die quantitativen Merkmale deren Mittelwerte und Standardabweichungen sowie Variationskoeffizienten. Die Auswertung erfolgt sowohl für die gesamte Stichprobe als auch für einen um Extremwerte bereinigten geringeren Stichprobenumfang.

Die im Anschluss durchgeführte zweidimensionale Untersuchung bewertet die statistischen Zusammenhänge zwischen ausgewählten Merkmalspaaren. Die Auswertung erfolgt durch Darstellung der Korrelationstabellen im Fall qualitativer Merkmale und durch Streudiagramme und Berechnung der Korrelationskoeffizienten im Fall quantitativer Merkmale. Die Untersuchung ergibt, dass die Merkmalspaare *Nettogrundfläche – Kesselleistung* und *Nettogrundfläche – Schülerzahl* einen starken statistischen Zusammenhang aufweisen.

Aus Basis der Ergebnisse der Auswertung der Stichprobe wird eine Untersuchung der Übertragbarkeit auf die Grundgesamtheit im Rahmen einer Punkt- und Intervallschätzung durchgeführt. Somit können Wertebereiche der quantitativen Merkmale bestimmt werden, in denen mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit der Mittelwert bzw. die Standardabweichung der Grundgesamtheit liegen.

Werden die Anteile der Schulformen der Stichprobe mit Werten aus der Literatur ([SCH2012C]) verglichen, so ergeben sich teilweise ähnliche Anteile und teilweise Abweichungen. Ein Vergleich der Mittelwerte des Heizenergieverbrauchs und Stromverbrauchs der Stichprobe mit Literaturangaben zeigt, dass die Stichprobe im Mittel in Bezug auf die Merkmale Heizenergieverbrauch und Stromverbrauch vergleichbare Werte mit anderen Untersuchungen aufweist.

Quellenverzeichnis

- [AAC2013] GEBÄUDEMANAGEMENT DER STADT AACHEN: *Objekt-Pool*, http://www.aachen.de/DE/Stadt_buerger/planen_bauen/gebaeudemana gement/SERVICE/3_objekt-pool/index.html, Stand: 08.11.2013
- [AGE2005] AGES GMBH (HRSG.): *Verbrauchskennwerte 2005. Energie- und Wasser- verbrauchskennwerte in der Bundesrepublik Deutschland*. Münster, Februar 2007
- [Ass2000] ASSENMACHER, W.: *Induktive Statistik*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2000. ISBN 3540671455
- [BOM2006] BOMSDORF, E.: *Deskriptive Statistik: 12. Auflage*. Lohmar: Eul, 2006, Wiso-Studentexte. ISBN 3899365259
- [BUN2009] BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG: *Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand*, 30.07.2009
- [BUN2010] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE; BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATUR UND REAKTORSICHERHEIT (HRSG.): *Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung*. Berlin, 28. September 2010
- [BUN2013] BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG (HRSG.): *Systematische Datenanalyse im Bereich der Nichtwohngebäude - Erfassung und Quantifizierung von Energieeinspar- und CO₂-Minderungspotenzialen*. Dezember 2013 (BMVBS Online-Publikation 27/2013), [http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/ BMVBS/Online/2013/ON272013.html](http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/BMVBS/Online/2013/ON272013.html). Stand: 17.02.2014
- [DEL2013] ENERGIEEFFIZIENZMANAGEMENT DER STADT DELITZSCH: Persönliche Anfrage, Zusendung von Daten
- [DIN2005] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V.: *DIN 277-1 Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau Teil 1: Begriff, Ermittlungsgrundlagen*, Februar 2005
- [DWD2014] DEUTSCHER WETTERDIENST: *Klimafaktoren ab Januar 2010 für alle Postleitzahlen, Klimafaktoren Jan. 2010 bis Mrz. 2014*, http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&_pageLabel=_dwdwww_klima_umwelt_klimadaten_deutschland&T147600785081206012013169gsbDocumentPath=Navigation%2FOeffentlichkeit%2FKlima__Umwelt%2FKlimadaten%2Fspezialdaten%2FKlimafaktoren%2Fdownload__node.html%3F__nnn%3Dtrue, Stand: 02.05.2014
- [ECK2013] ECKSTEIN, P. P.: *Repetitorium Statistik. Deskriptive Statistik – Stochastik – Induktive Statistik*. 7. überarbeitete u. aktualisierte Auflage. Wiesbaden: Springer, 2013. ISBN 9783658000295
- [EEV2007] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV), 24.07.2007, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2007 Teil I Nr. 34

- [EEV2009] Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung, 29.04.2009, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2009 Teil I Nr. 23
- [ESS2014] ENERGIEMANAGEMENT DER STADT ESSEN: persönliche Anfrage, Zusendung von Daten
- [FRA2013] HOCHBAUAMT DER STADT FRANKFURT AM MAIN: persönliche Anfrage, Zusendung von Daten
- [FRA2014] HOCHBAUAMT DER STADT FRANKFURT AM MAIN: Energiemanagement, <http://www.energiemanagement.stadt-frankfurt.de/>, Stand: 19.03.2014
- [GRU2011] GRUHLER, K.; BÖHM, R.: *Ressourcenbezogene Kennwerte von Nichtwohngebäuden : Analyse und Aufarbeitung von Daten der Statistik „Bauen und Wohnen“*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2011, Reihe Wissenschaft 30. ISBN 9783816786092
- [HAR2009] HARTUNG, J.; ELPELT, B.; KLÖSENER, K.-H.: *Statistik. Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik*. 15. Auflage. München: Oldenbourg, 2009. ISBN 9783486590289
- [HEB2011] HEBEL, E. VON; JAHN, K.; CLAUSNITZER, K.-D.: *Der energetische Sanierungsbedarf und der Neubaubedarf von Gebäuden der kommunalen und sozialen Infrastruktur*. Abschlussbericht. Bremer Energie Institut; Auftraggeber: KfW Bankengruppe. November 2011, <https://www.kfw.de/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Sonderpublikationen/Energetischer%20A0Sanierungsbedarf-und-Neubaubedarf-Geb%C3%A4ude-kommunale-und-soziale-Infrastruktur.pdf>, Stand: 20.02.2014
- [IBP2013] FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR BAUPHYSIK (IBP): Begleitprojekt zum Forschungsvorhaben „Energieeffiziente Schule (EnEff:Schule)“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, <http://www.eneff-schule.de/>, Stand: 19.11.2013
- [IEA2013] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA): Energy Conservation in Buildings and Community Systems (ECBCS), Annex 36 – energetische Sanierung von Bildungsgebäuden (Forschungsprojekt), <http://www.annex36.de/index.html>, Stand: 24.10.2013
- [KAS2013] ENERGIEMANAGEMENT DES LANDKREISES KASSEL: persönliche Anfrage, Zusendung von Daten
- [KLU2001] KLUTTIG, H.; DIRSCHERL, A.; ERHORN, H.: *Energieverbräuche von Bildungsgebäuden in Deutschland*. In: *gi Gesundheits-Ingenieur* 122. 2001, Nr. 5, S. 221–233
- [LOG2011] LOGA, T.; DIEFENBACH, N.; BORN, R.: *Deutsche Gebäudetypologie. Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden*. Darmstadt, 2011. ISBN 9783941140219
- [MAI2014] REGIONALVERBAND FRANKFURT RHEIN-MAIN: Energiebericht des Main-Taunus-Kreises. Ausgabe 2012 mit Daten von 2001 bis 2011, http://www.klima-energie-frankfurtrheinmain.de/media/custom/2095_411_1.PDF?1377068767, Stand: 18.03.2014

- [REI2013] REIß, J.; ERHORN, H.; GEIGER, M.; ROSER, A.; GRUBER, E.; SCHAKIB-EKBATAN, K.; WINKLER, M.; JENSCH, W.: *Energieeffiziente Schulen – EnEff:Schule*. Veröffentlichung des Begleitforschungsprojektes der Förderinitiative „Energieeffiziente Schulen – EnEff:Schule“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi). Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2013. ISBN 9783816790341
- [RIC2012] Richtlinie 2012/27/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25.10.2012 zur Energieeffizienz, zur Änderung der Richtlinien 2009/125/EG und 2010/30/EG und zur Aufhebung der Richtlinien 2004/8/EG und 2006/32/EG, Amtsblatt der Europäischen Union L 315
- [SAG1991] SAGEBIEL, U.: *Baunutzungskosten im Schulbau. Betriebskostendaten*. Herausgeber: Sekretariat der Kultusministerkonferenz, Abteilung VII Zentralstelle für Normungsfragen und Wirtschaftlichkeit im Bildungswesen. Berlin, 1991
- [SCH2005] SCHWARZE, J.: *Grundlagen der Statistik I. Beschreibende Verfahren*. 10. Auflage. Herne: Verlag Neue Wirtschafts-Briefe, 2005, NWB-Studienbücher Wirtschaftswissenschaften. ISBN 9783482564307
- [SCH2006] SCHWARZE, J.: *Grundlagen der Statistik II. Wahrscheinlichkeitsrechnung und induktive Statistik*. 8. Auflage. Herne: Verlag Neue Wirtschafts-Briefe, 2006. ISBN 3482568685
- [SCH2007] SCHULZE, P. M.: *Beschreibende Statistik*. 6. Auflage. München: Oldenbourg, 2007. ISBN 9783486582208
- [STA2012A] STATISTISCHES BUNDESAMT (HRSG.): *Bildung und Kultur. Berufliche Schulen. Schuljahr 2011/2012*. Wiesbaden, 21.12.2012 (korrigierte Version). Fachserie 11 Reihe 2
- [STA2012B] STATISTISCHES BUNDESAMT (HRSG.): *Bildung und Kultur. Allgemeinbildende Schulen. Schuljahr 2011/2012*. Wiesbaden, 30.10.2012. Fachserie 11 Reihe 1.1
- [STA2012C] STATISTISCHES BUNDESAMT (HRSG.): *Schulen auf einen Blick*. 2012. Wiesbaden.
- [STE2013] BEZIRKSAMT STEGLITZ-ZEHLENDORF BERLIN, persönliche Anfrage, Zusendung von Daten
- [STU2014] AMT FÜR UMWELTSCHUTZ DER LANDESHAUPTSTADT STUTTGART, persönliche Anfrage, Zusendung von Daten
- [TOU2006] TOUTENBURG, H. ; HEUMANN, C.: *Deskriptive Statistik. Eine Einführung in Methoden und Anwendungen mit SPSS*. Fünfte, aktualisierte und erweiterte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. ISBN 9783540363385
- [UNN2014] KREISSTADT UNNA: *Energieberichte 1994 bis 2005, Energiekennzahlen 2005 bis 2013*, <http://www.unna.de/kreisstadt+unna/kreisstadt-unna/stadtverwaltung-virtuelles-rathaus/alle-bereiche-von-a-z/immobilienmanagement/technische-bewirtschaftung-staedtischer-immobilien/kommunales-energiemanagement.html>, Stand: 18.3.2014

LEE Lehrstuhl Energiesysteme und Energiewirtschaft

Eingebunden in das Institut für Energietechnik gehört der Lehrstuhl zur Fakultät für Maschinenbau der Ruhr-Universität Bochum. Die Arbeitsgebiete lassen sich durch die Begriffe ressourcenschonende Energiewirtschaft sowie Anlagensimulation und -sicherheit charakterisieren. Der Lehrstuhl unterhält vielfältige internationale Kooperationen und gute Beziehungen zu einer Vielzahl in- und ausländischer Organisationen.

Ansprechpartner

Prof. Dr.-Ing. H.-J. Wagner

Ruhr-Universität Bochum

Lehrstuhl Energiesysteme und Energiewirtschaft

Geb. IC 2-181

Universitätsstr. 150

44780 Bochum

Tel.: +49 (0) 234 - 32 - 28044

Fax: +49 (0) 234 - 32 - 15148

Internet: <http://www.lee.ruhr-uni-bochum.de>

Email: lee@lee.ruhr-uni-bochum.de