

Qualitätskontrolle der modifizierten Wärmebedarfsrechnung

HeizCheck und Modernisierungsratgeber

Benjamin Becker

9.6.2010

1 Einleitung

Die Online-Ratgeber von co2online bewerten den Heizenergieverbrauch eines Gebäudes anhand zweierlei Benchmarks. Zum einen über den Vergleich mit anderen, ähnlichen Gebäuden („Heizspiegellogik“), zum anderen über eine vereinfachte Wärmebedarfsrechnung, bei der Pauschalwerte für die einzelnen Gebäudebauteile gemäß Baujahr des Gebäudes und Modernisierungshistorie angenommen werden. Da Bedarfswerte bekanntermaßen systematisch von gemessenen Verbrauchswerten abweichen, nämlich bei älteren Gebäuden eher zu hoch und bei neueren Gebäuden eher zu niedrig angesetzt sind, werden die Bedarfswerte nach einer 36 Kategorien umfassenden Gebäudetypologie an den Verbrauch angepasst. Diese Berechnung bezeichnet SEnCon als „modifizierte Wärmebedarfsrechnung“.

Gebäudeart	Gebäuelage	Gebäudebaujahr
Einfamilienhaus	Reihenhaus	Bis 1983
Kleines Mehrfamilienhaus	Reihenendhaus	1984 bis 1994
Großes Mehrfamilienhaus	Freistehend	1995 bis 2001
		Ab 2001

Die vorliegende Analyse hat das Ziel, die aktuellen Anpassungsfaktoren zu prüfen, zu aktualisieren und eine generelle Einschätzung der Güte und Erklärungsmächtigkeit des verwendeten Modells zu liefern. Wir gehen dabei auch der Frage nach, wie stark Verbrauch und Bedarf korrelieren und wie man den Zusammenhang zwischen beiden mathematisch am besten und einfachsten beschreibt.

2 Methode

Datengrundlage: Zunächst wurde eine ausreichend große Datenbank aufgebaut. Prinzipiell sind alle Beratungsdatensätze des Modernisierungsratgebers geeignet, sofern die Berechnung abgeschlossen wurde. Vom HeizCheck hingegen konnten nur die Beratungsdatensätze von Eigentümern bzw. Verwaltern herangezogen werden, da nur diese über ausreichendes Wissen zum Gebäude verfügen. Um sicherzustellen, dass die verwendeten Anpassungsfaktoren nicht zwischenzeitlich geändert wurden, wurden nur Beratungsdatensätze verwendet, die seit dem 1.1.2009 erhoben wurden. Die daraus resultierenden 112.000 Datensätze reduzierten sich durch weitere Plausibilitätskontrollen auf 88.576 Datensätze, die tatsächlich für die Berechnung verwendet werden konnten.

Bedarfswerte rückrechnen: Leider wurden in der Gebäudedatenbank nur die bereits modifizierten Bedarfswerte mitgeschrieben. Die originalen Bedarfswerte mussten deshalb zunächst rückgerechnet werden, indem die Gebäude in 36 Kategorien unterteilt wurden. Jeder Kategorie wurde der passende Korrekturwert aus der

all_konstanten-Tabelle zugeordnet, und somit für jedes Gebäude eine neue unbereinigte Bedarfs-Variable errechnet.

Faktoren aktualisieren: Für jedes Gebäude wurde daraufhin das Verhältnis zwischen Heizenergieverbrauch und Heizenergiebedarf berechnet und in Form eines Quotienten gespeichert. Der nach Gebäudekategorie gemittelte Durchschnitt der Quotienten ergab dann die neuen Anpassungsfaktoren. Eine Berechnung der entsprechenden Mediane (Zentralwerte) zur Kontrolle ergab nur geringe Abweichungen vom Durchschnitt.

3 Ergebnis

Die 36 neuen Anpassungsfaktoren entsprechen in der Tendenz den bisher verwendeten Faktoren (kleiner als 1 bei alten Gebäuden, größer als 1 bei neuen Gebäuden), weichen im Einzelfall aber teils erheblich ab. Aufgrund der bei vielen Gebäudetypen geringen Fallzahlen ist das nicht weiter verwunderlich, der Streufaktor ist hierbei sehr hoch. Während also die in der Vergangenheit getroffenen Annahmen weiterhin grundsätzlich valide sind, bedurfte die modifizierte Bedarfsrechnung in der Tat einer grundlegenden Überprüfung.

(Faktoren siehe Ergebnistabelle im Anhang)

4 Analyse

Wie valide ist die Vorhersage des Heizenergieverbrauchs über den wärmetechnischen Zustand des Gebäudes? Wie stark korrelieren die beiden Werte? Ist es sinnvoll, den Bedarfswert als Benchmark für den Verbrauch zu verwenden?

4.1 Erwartungswert: Zunächst kann man die durchschnittliche Abweichung von Verbrauch und Bedarf bestimmen, indem man den einen Wert vom anderen subtrahiert und die Differenz mittelt. Das Ergebnis stellt den Erwartungswert über alle Gebäudekategorien hinweg dar.

	Bedarfswerte	Angepasste Bedarfswerte (alt)	Angepasste Bedarfswerte (neu)
Differenz	-31,1	-29,1	-2,9
Standardabweichung	60,3	58,8	55,1

Beim reinen Verbrauchs-Bedarfs-Vergleich entsteht eine Differenz von 31,1. Das bedeutet: im Durchschnitt liegt der berechnete Bedarf um 31 kWh/m², a über den tatsächlich gemessenen Verbrauch. Hierbei heben sich natürlich alte und neue Gebäude teilweise auf. Bei den bisher verwendeten Korrekturfaktoren reduzierte sich diese Differenz nicht wesentlich. Mit den neuen Korrekturfaktoren beträgt der Erwartungswert der Abweichung nur noch knapp 3 kWh.

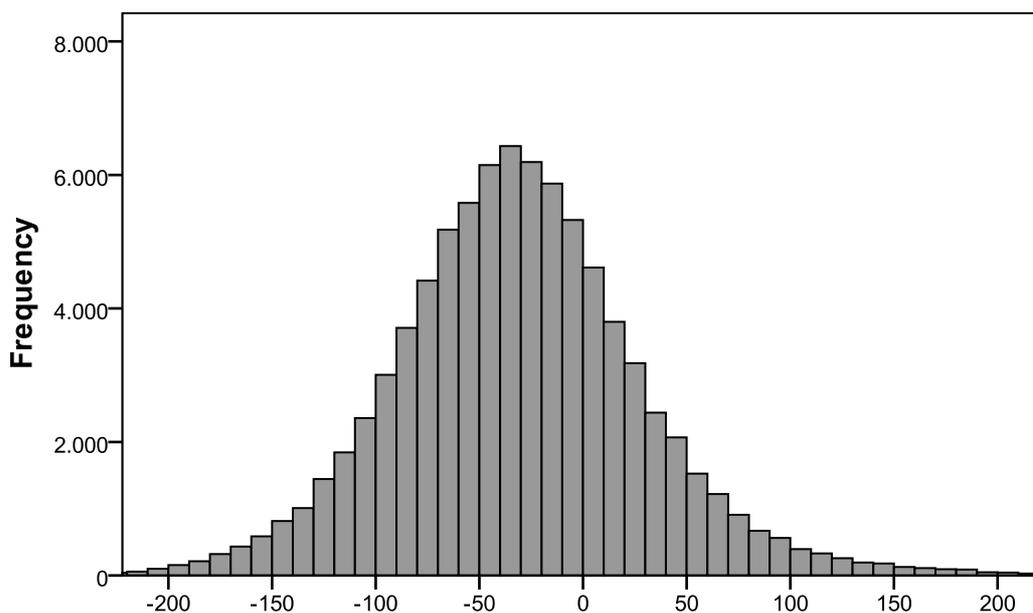
Letztlich sind diese Indikatoren aber nur begrenzt aussagekräftig, denn der Erwartungswert würde sich ebenfalls an Null annähern, wenn beide Werte zufällig um einen bestimmten Wert normalverteilt, aber davon abgesehen völlig ohne Zusammenhang wären. Dafür spricht auch die hohe Standardabweichung. Deshalb sehen wir uns im nächsten Schritt die Spreizung und Verteilung der Differenz an.

4.2 Verteilungskurven

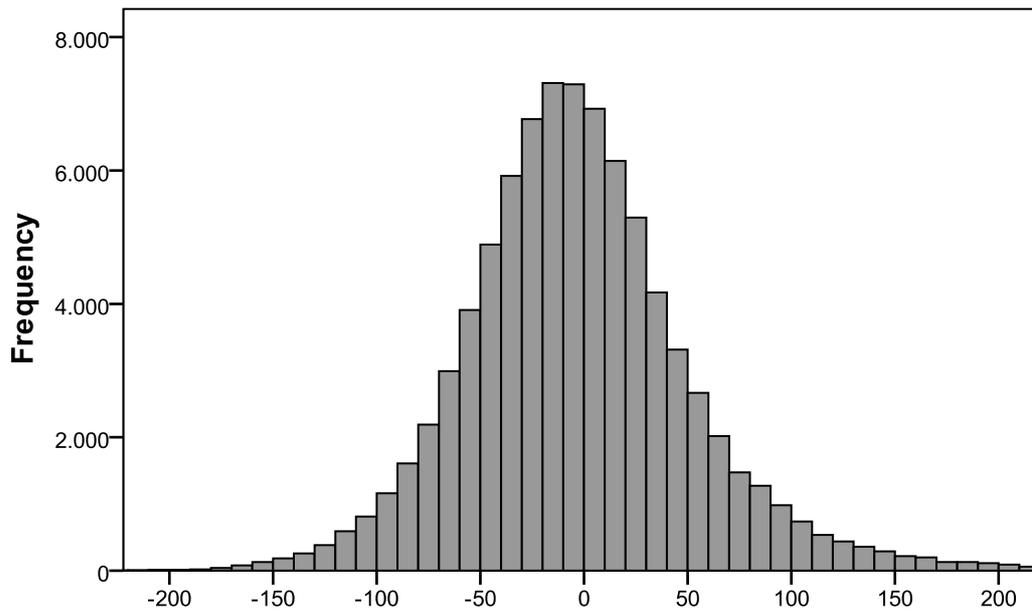
4.2.1 Differenz Verbrauch-Bedarf



4.2.2 Differenz Verbrauch-Bedarf (angepasste Werte alt)



4.2.3 Differenz Verbrauch-Bedarf (angepasste Werte neu)



In den vorangestellten Grafiken wird die Form der Verteilung der Differenz zwischen Verbrauch und Bedarf für alle 80.000 Gebäude in Form eines Histogramms dargestellt. Während sich die ersten beiden Verteilungskurven kaum unterscheiden, ist die dritte Kurve, mit den neuen Anpassungsfaktoren, deutlich schlanker als die beiden ersten. Hier liegen die Werte auch einigermaßen normalverteilt um den Nullpunkt. Das bedeutet, es gelang, mit den neuen Faktoren den systematischen Fehler weitgehend zu minimieren. Allerdings ist auch die dritte Kurve noch nicht befriedigend: eine Standardabweichung von 55 bedeutet immerhin, dass nur zwei von drei Ratgeberbenutzern ein typischer Verbrauch angezeigt wird, der innerhalb von plus minus 55 kWh/m² ihres tatsächlichen Verbrauchs liegt. Zudem ist die Kurve leicht rechtsschief, was darauf hindeutet, dass die Art des Zusammenhangs komplexer ist als man durch eine simple faktorielle Anpassung abbilden kann.

4.3 Varianzanalysen

Schauen wir uns also im nächsten Schritt also die Varianzanalysen und die Erklärungsmächtigkeit der einzelnen Modelle an. Als Maß der Erklärungsmächtigkeit benutzen wir den Determinationskoeffizienten r^2 , der angibt, zu welchem Anteil wir die Varianz des Heizenergieverbrauchs durch den prognostizierten Heizenergiebedarf erklären können.

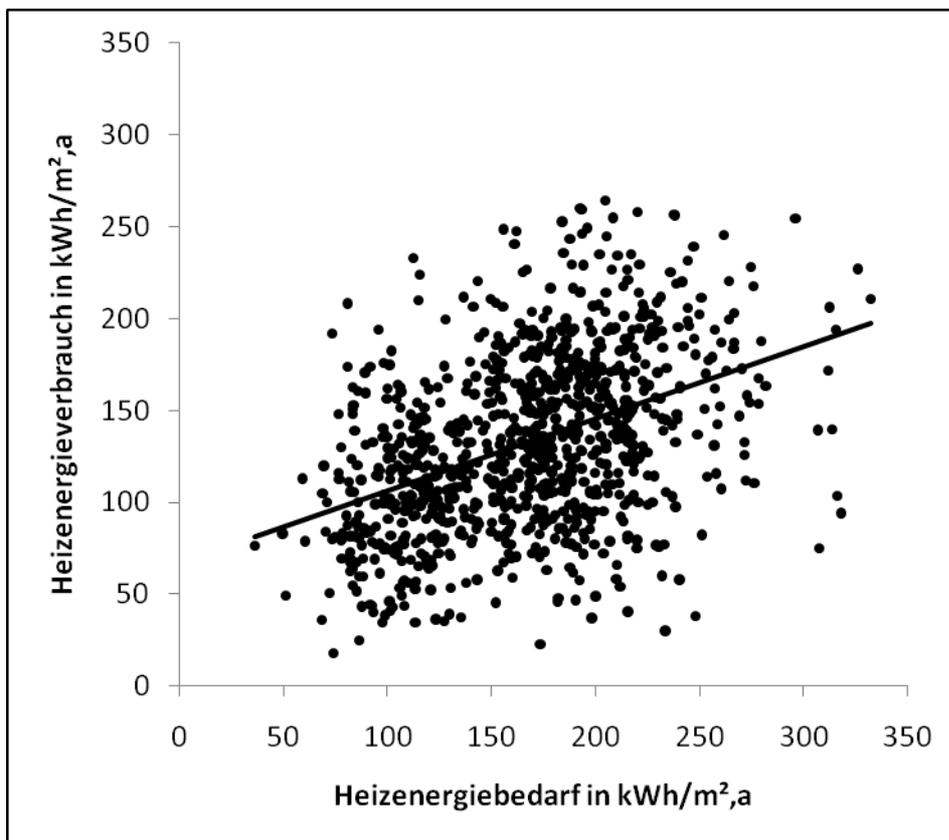
Die folgenden Scatterplots enthalten der Übersichtlichkeit halber nur die Punkte von eintausend zufällig ausgewählten, konstant gehaltenen Gebäuden. Die Werte in der Zusammenfassung beruhen allerdings auf Regressionsanalysen, die über alle 80.000 Gebäude gerechnet wurden. Die Steigung der Regressionsgerade in den Scatterplots kann daher geringfügig vom in der Zusammenfassung angegebenen unstandardisierten Korrelationskoeffizienten β (Beta-Koeffizienten) abweichen. Wür-

den alle 80.000 Punkte abgetragen, würde die Steigung jeweils genau dem Korrelationskoeffizienten β entsprechen.

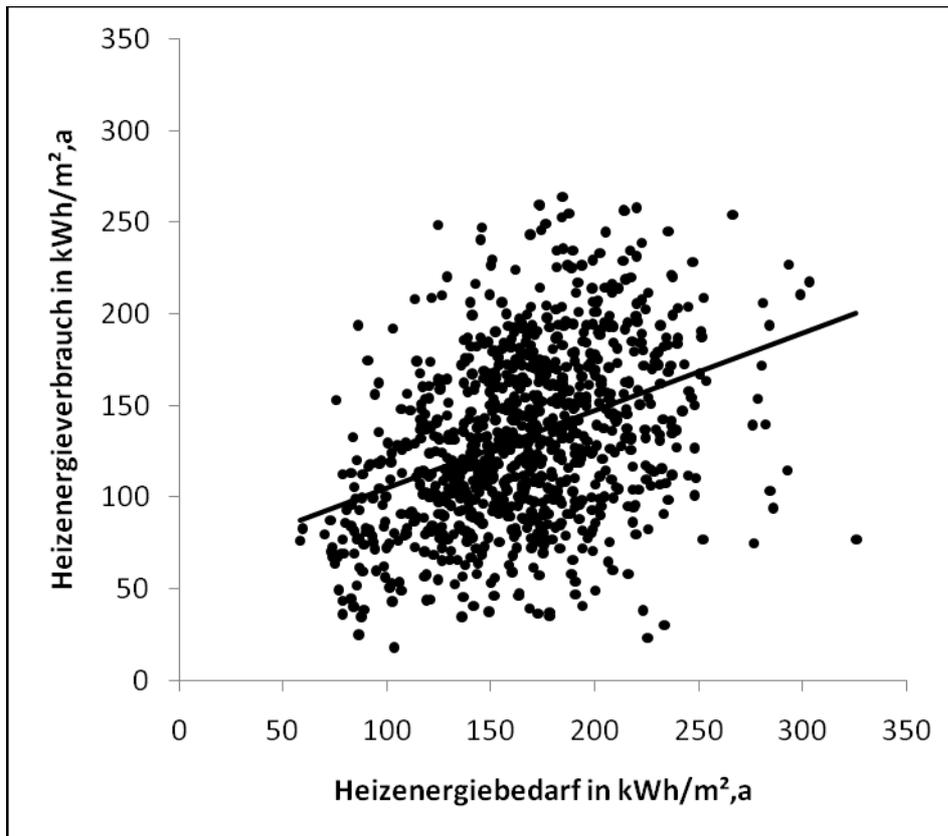
4.3.1 Zusammenfassung der Varianzanalyse

ANOVA Summary	Bedarfwerte	Angepasste Bedarfswerte (alt)	Angepasste Bedarfswerte (neu)
Determinationskoeffizient r^2	0,154	0,135	0,155
Unstandardisierter Korrelationskoeffizient β	0,449	0,504	0,650
Konstante	61	53	46

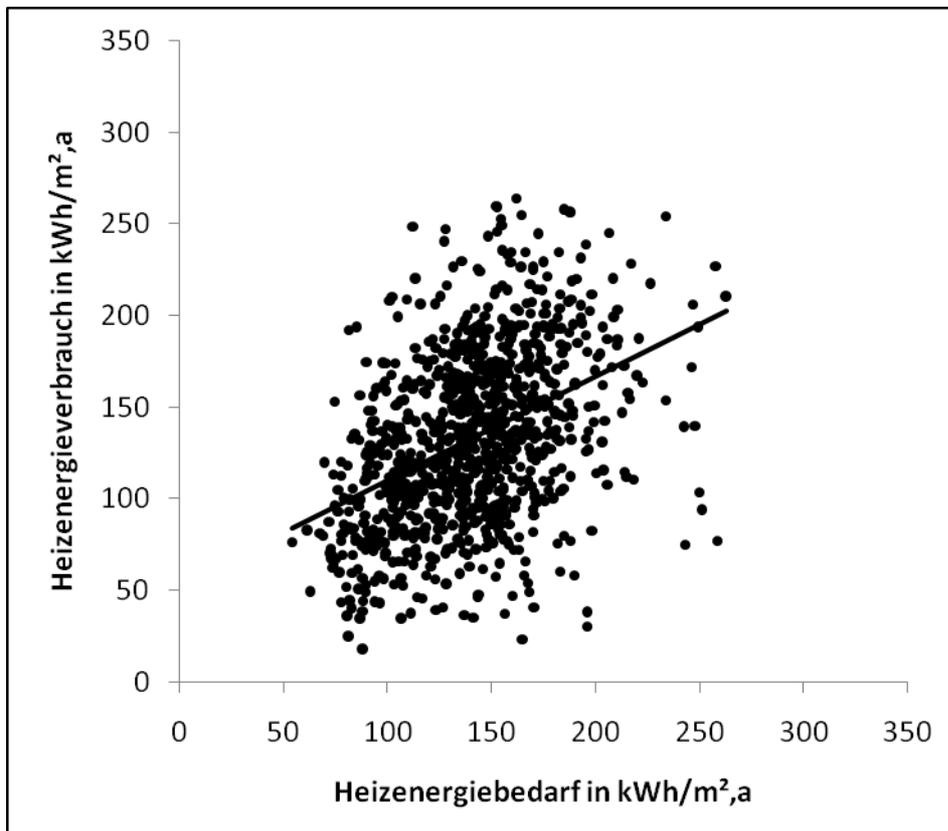
4.3.2 Korrelation Verbrauch-Bedarf



4.3.3 Korrelation Verbrauch-Bedarf (angepasste Werte alt)



4.3.3 Korrelation Verbrauch-Bedarf (angepasste Werte neu)



Auf die Varianzanalysen bzw. die Scatterplots übertragen lassen sich die Ziele der modifizierten Wärmebedarfsrechnung folgendermaßen definieren: erstens soll die Punktwolke möglichst eng sein und die einzelnen Gebäude sollen so wenig wie möglich von der Regressionsgerade abweichen. Je enger die Punktwolke, desto zuverlässiger wird die Vorhersage des typischen Verbrauchs ausfallen. Zum anderen sollte die Steigung der Regressionsgeraden sich möglichst nah um 1 annähern und die Konstante sich möglichst nah um 0 bewegen. Je mehr das der Fall ist, desto weniger wird die Genauigkeit der Vorhersage vom absoluten Niveau des Heizenergieverbrauchs beeinflusst.

Wie die Scatterplots und die Varianzanalyse zeigen, kommen wir diesem Ziel durch die Faktorisierung der Bedarfswerte nur sehr begrenzt näher. Die alten Faktoren konnten die Steigung nur unwesentlich erhöhen und führten insgesamt sogar zu einer Reduktion des r^2 . Die neuen Faktoren verdichteten die Punktwolke und führen insgesamt zu einer Annäherung der Bedarfs- und Verbrauchswerte, sind aber weit davon entfernt, für alle Verbrauchsniveaus dieselbe Validität zu zeigen. Zur Illustration: nur für den Bereich von 120 kWh/m²,a kann der Ratgeberrutzer erwarten, dass ihm tatsächlich ein realistischer Bedarfswert als Benchmark für seinen Verbrauch berechnet wird. Bei allen darüberliegenden Niveaus wird der Bedarf weiterhin systematisch überschätzt, bei den darunterliegenden Niveaus unterschätzt. Diese gegenlaufenden stochastischen Zusammenhänge sind der Grund dafür, dass dem systematischen Fehler durch Faktorisierung letztlich nur im Aggregat, aber nicht im Einzelfall beizukommen ist.

5 Konstanten-Modell

Die inhärente Limitierung des Faktor-Modells gab den Anstoß zur Entwicklung eines alternativen, komplexeren Anpassungsmodells, das nicht nur die Steigung berücksichtigt, sondern auch die Niveauunterschiede abbildet. Ziel des Modells ist es, den Korrelationskoeffizienten r^2 maximal zu erhöhen, die Regressionsgerade auf 1 zu normieren und somit die Spreizung der Differenz noch weiter zu reduzieren. Der Erwartungswert der Differenz soll sich weiterhin um 0 bewegen.

Zu diesem Zweck wurde für jede der 36 Gebäudekategorien der (nicht modifizierte) Heizenergieverbrauch auf den Heizenergiebedarf regrediert. Aus diesen 36 bivariaten Regressionsanalysen wurden sowohl die unstandardisierten Korrelationskoeffizienten als auch die Konstanten mitgeschrieben (siehe Ergebnistabelle letzte Seite). Beide Werte in Kombination stellen einen Schlüssel zur stochastischen Umrechnung von Bedarfswerten in Verbrauchswerte dar.

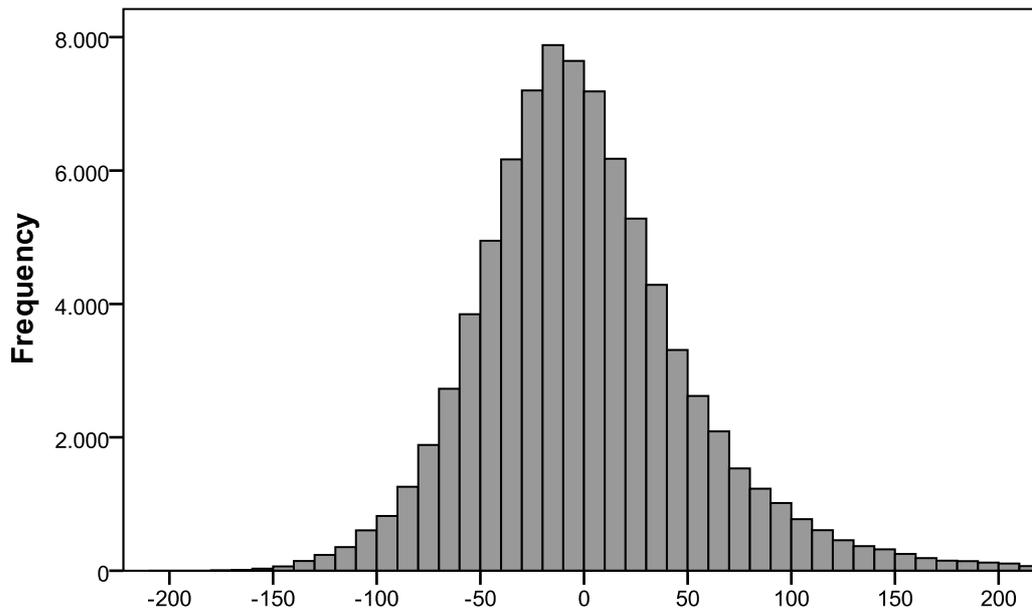
$$\text{Typischer Verbrauch} = (\text{Bedarf} * \text{Koeffizient}) + \text{Konstante}$$

Im Folgenden analysieren wir die Güte und Erklärungsmächtigkeit des Konstanten-Modells im Vergleich zum Faktor-Modell und untersuchen, ob der Erkenntnisgewinn den zusätzlichen Berechnungsaufwand lohnt.

Erwartungswert und Spreizung

	Reine Bedarfswerte	Faktor-Modell (alte Werte)	Faktor-Modell (neue Werte)	Konstanten-Modell
Differenz	-31,1	-29,1	-2,9	0,3
Standardabweichung	60,3	58,8	55,1	52,1

Konstanten-Modell

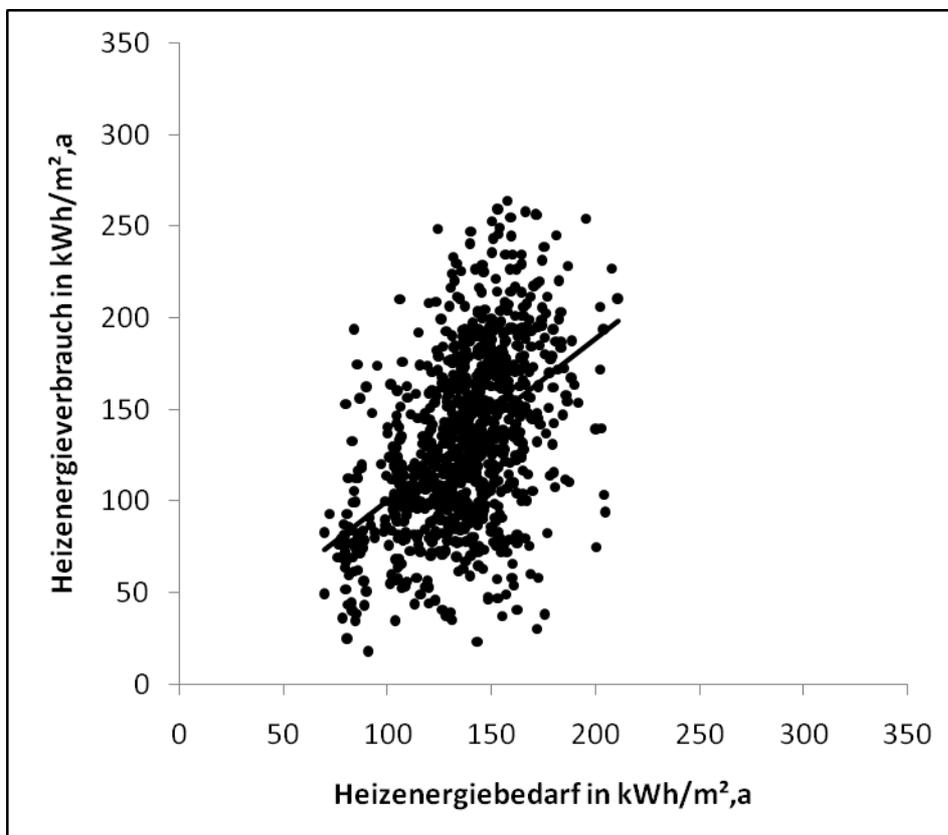


Im Vergleich zum Faktor-Modell ist der Erwartungswert noch näher an die 0 herangerückt, und die Verteilungskurve hat sich leicht verschlankt. Die Standardabweichung hat sich auf 52 kWh reduziert. Der Modalwert liegt weiterhin leicht unter dem Nullpunkt, insgesamt ist aber ein höherer Anteil der Fälle unmittelbar um den Nullpunkt gruppiert.

Varianzanalyse und Scatterplot

ANOVA Summary	Reine Bedarfswerte	Faktor-Modell (alte Werte)	Faktor-Modell (neue Werte)	Konstanten-Modell
Determinationskoeffizient r^2	0,154	0,135	0,155	0,185
Unstandardisierter Korrelationskoeffizient β	0,449	0,504	0,650	1,003
Konstante	61	53	46	-0,8

Konstanten-Modell



Im Scatterplot sind die einzelnen Gebäude jetzt dicht an der Regressionsgeraden gelagert. Die Regressionsgerade hat eine Steigung von 1 und schneidet die Ordinate bei 0. Damit ist gewährleistet, dass das Verbrauchs-Bedarf-Verhältnis linear beschreibbar und nicht vom Niveau abhängig ist. Jedem Verbrauchswert wird somit im Mittel der korrekte „typische Verbrauch“ zugeordnet.

Der Lackmus-Test des Modells ist das Bestimmtheitsmaß r^2 . Dieser Wert steigt auf 0,185. Das bedeutet konkret: in einem ideal justierten Modell lassen sich 19% der Varianz der Verbrauchswerte allein durch den bauphysikalischen Zustand der Gebäudebauteile erklären. Das scheint nicht viel, aber in den verbleibenden 81% manifestieren sich Nutzerverhalten, Verschleiß, Nutzungsgrad (quantativ und qualitativ), Messfehler, Fehler bei der Dateneingabe, Fehler bei unserer Berechnung

und Zufallsfehler. Daran gemessen sind die 19% Varianzaufklärung ein sehr ansehnliches Ergebnis. Zusammengefasst ist das Konstanten-Modell das derzeit reliabelste Modell zur Bestimmung des „typischen Verbrauchs“ und das einzige, das fast alle systematischen Fehler beseitigt. Bei der Vielfalt der in Deutschland zu findenden Gebäude- und Wohnformen und den unterschiedlichsten Nutzerprofilen wird die Streuung der Verbrauchsdaten natürlich weiterhin hoch und kaum vollständig zu erklären sein, aber das Konstanten-Modell bietet einen einfachen und zuverlässigen Weg, den Heizenergieverbrauch eines Gebäudes über seinen Heizenergiebedarf zu benchmarken und dabei die inhärenten Fehlannahmen dieser Berechnungsmethode zu vermeiden.

6 Empfehlungen

- 1) Zukünftig sollte auch der unbereinigte Bedarfswert bei jeder Beratung mitgeschrieben werden. Andernfalls werden zukünftige Evaluationen der modifizierten Wärmebedarfsrechnung stark erschwert.
- 2) Das Faktor-System sollte durch ein Konstanten-System ersetzt werden, bei dem für jede der 36 Gebäudekategorien zwei Werte hinterlegt werden.
- 3) Eine Gebäudekategorien sind so selten, dass die errechneten Koeffizienten nicht statistisch abgesichert sind (bei $N < 200$). Bei diesen Gebäuden sollten nur Faktoren, keine Konstanten, zum Einsatz kommen.
- 4) Die modifizierte Wärmebedarfsrechnung ist eigentlich ein seltsamer Hybrid aus Bewertung anhand des Durchschnitts aller Gebäude und des Zustands des Gebäudes selbst. Dies während einer Beratung zu kommunizieren ist außerordentlich schwer, vor allem, wenn der „typische“ Wert nicht mit dem „durchschnittlichen“ Wert übereinstimmt. Das versteht kein Ratgeberrutzer. Ich empfehle, in Zukunft verstärkt auf einen Benchmark entlang unserer empirischen Daten („Heizspiegellogik“) zu setzen und die modifizierte Wärmebedarfsrechnung nur gut dokumentiert und eventuell alternativ anzubieten.
- 5) Eine Evaluation der modifizierten Wärmebedarfsrechnung ist einmal im Jahr sinnvoll. Von einer Automatisierung rate ich aufgrund des damit verbundenen Aufwands und des eher limitierten Erkenntnisgewinns eher ab.
- 6) Das Konstanten-Modell ist ein einzigartiger Schlüssel für die belastbare Vergleichbarmachung von Verbrauchs- und Bedarfswerten, für den es momentan keine Entsprechung (außer Erfahrungswerten) gibt. Dieses Wissen sollten wir aufbereiten und zumindest in der Fachwelt kommunizieren.

7 Ergebnistabelle

Gebäudetyp	Häufigkeit 2009	Momentaner Faktor	Neuer Faktor	Verbrauch Durchschnitt	Bedarf Durch- schnitt	Regressions- konstante	Regressions- koeffizient
efh_ecke_ab2002	777	1	0,94	81	88	35,6	0,52
efh_ecke_bis1983	8505	1	0,84	148	179	68,5	0,443
efh_ecke_bis1994	2668	0,9	0,77	128	169	78,1	0,296
efh_ecke_bis2001	1567	1,2	0,94	103	111	77,1	0,234
efh_freistehend_ab2002	2280	0,9	0,89	84	96	52,8	0,325
efh_freistehend_bis1983	31497	0,9	0,79	157	202	73	0,414
efh_freistehend_bis1994	7796	0,8	0,72	134	190	82	0,272
efh_freistehend_bis2001	4421	1,1	0,89	107	122	89,6	0,142
efh_mitte_ab2002	236	1	0,95	73	79	80	-0,098
efh_mitte_bis1983	3525	1,1	0,87	131	155	70	0,397
efh_mitte_bis1994	902	1	0,83	114	140	87	0,189
efh_mitte_bis2001	395	1,2	0,90	86	97	87	-0,013
mfh_ecke_ab2002_gross	68	1,2	1,24	72	59	64	0,114
mfh_ecke_ab2002_klein	28	1	0,97	78	80	73	0,055
mfh_ecke_bis1983_gross	1531	1,4	1,25	129	107	93	0,33
mfh_ecke_bis1983_klein	1603	1,3	0,95	136	148	93	0,289
mfh_ecke_bis1994_gross	236	1	1,03	105	104	62	0,403
mfh_ecke_bis1994_klein	195	1,25	0,87	120	140	65	0,39
mfh_ecke_bis2001_gross	167	1,5	1,23	89	73	25	0,871
mfh_ecke_bis2001_klein	118	1,5	1,13	103	93	94	0,09
mfh_freistehend_ab2002_gross	221	1,15	1,18	77	66	26	0,767
mfh_freistehend_ab2002_klein	244	1	0,99	87	88	37	0,559
mfh_freistehend_bis1983_gross	2938	1,4	1,11	130	122	93	0,298
mfh_freistehend_bis1983_klein	7038	1,1	0,82	141	176	87	0,302
mfh_freistehend_bis1994_gross	668	1	0,91	109	123	70	0,315
mfh_freistehend_bis1994_klein	1160	1,15	0,79	124	161	93	0,19
mfh_freistehend_bis2001_gross	567	1,4	1,19	98	83	41	0,674

mfh_freistehend_bis2001_klein	824	1,4	1,00	104	106	57	0,44
mfh_mitte_ab2002_gross	42	1,35	1,57	77	50	59	0,36
mfh_mitte_ab2002_klein	12	1	1,08	66	65	94	-0,44
mfh_mitte_bis1983_gross	1526	1,8	1,40	123	90	82	0,441
mfh_mitte_bis1983_klein	924	1,5	1,13	130	117	80	0,426
mfh_mitte_bis1994_gross	184	1	1,21	99	85	54	0,513
mfh_mitte_bis1994_klein	76	1,55	1,03	115	113	57	0,507
mfh_mitte_bis2001_gross	153	1,6	1,49	90	62	57	0,532
mfh_mitte_bis2001_klein	33	1,6	1,48	114	80	144	-0,392
Gesamt	88576			138	169		