



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

**Bundesamt für Energie BFE**  
Abteilung Energiewirtschaft

September 2010

---

# **Temperatur- und Strahlungsabhängigkeit des Energieverbrauchs im Wärmemarkt II**

Empirische Analyse von täglichen  
Gas-Einspeisemengen im Versorgungsgebiet  
der ewl

---



**Auftraggeber:**

Bundesamt für Energie BFE, 3003 Bern

**Auftragnehmer:**

Prognos AG, Basel

**Autor:**

Dr. Andreas Kemmler, Prognos AG

Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamts für Energie BFE erstellt.

Für den Inhalt ist allein der/die Studiennehmer/in verantwortlich.

## Kurzfassung

Der Zusammenhang zwischen Witterung und Energieverbrauch von Gebäuden sowie aggregierten Energieverbräuchen ist seit Jahren Gegenstand von Untersuchungen. In einer Analyse von täglichen Einspeisemengen ins Fernwärme- und Gasnetz der *Energie Wasser Bern* (ewb) wurde dieser Zusammenhang mit statistischen Methoden empirisch untersucht (Prognos, 2008).

Anhand der geschätzten Abhängigkeiten zwischen den Klimafaktoren Temperatur und Strahlung und den Verbrauchsmengen wurden Witterungsbereinigungsfaktoren entwickelt. Diese Bereinigungsfaktoren weisen – zumindest für die Verbrauchswerte in Bern – eine höhere Anpassungsgüte auf als die herkömmlichen Witterungsbereinigungsverfahren auf Basis von Heizgradtagen (HGT) oder Gradtagen und Strahlung (GT+S).

Um die Übertragbarkeit dieser Ergebnisse auf die Gesamtschweiz beurteilen zu können, wird die Analyse anhand von Einspeisedaten aus einem weniger städtisch geprägten Versorgungsnetz wiederholt. Dazu wurden vom Energieversorger *Energie Wasser Luzern* (ewl) für den Zeitraum 2000 bis 2009 die täglichen Einspeisemengen ins lokale Gasnetz zur Verfügung gestellt. Die Auswertung der Daten erfolgt so weit als möglich und sinnvoll analog zum Vorgehen der Analyse der Berner Gas- und Fernwärmedaten.

Der Vergleich der Analysen zeigt eine gute Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen. Die Regressionsparameter, die auf Basis der Luzerner Gasdaten geschätzt wurden, sind weitgehend signifikant und weichen betragsmässig kaum von denjenigen ab, die auf Grundlage der Berner Daten geschätzt wurden. Der Erhebungsstandort und der zugrunde liegende Gebäudepark scheinen lediglich einen untergeordneten Einfluss auszuüben. Vielleicht deshalb, weil die beiden Gebäudebestände ähnliche energetische Eigenschaften aufweisen.

Aufgrund der geringen Unterschiede zwischen den Parametern die aus den Luzerner Daten abgeleitet wurden und denjenigen, die mit den Berner Daten geschätzt wurden, weichen auch die damit berechneten Witterungsbereinigungsfaktoren nicht wesentlich voneinander ab. Die berechneten Zusammenhänge zwischen Witterung und Raumwärmebedarf können als robust betrachtet werden. Dies ist ein Hinweis, dass die gemessenen Zusammenhänge auf die Gesamtschweiz übertragen werden könnten, zur Bildung von Gesamtschweizerischen Bereinigungsfaktoren.

Die Anpassungsgüte der parameterbasierten Bereinigungsfaktoren liegt bei den Luzerner Daten im Bereich der Berner Gasdaten. Die jährlichen Bereinigungsfaktoren weichen von der gemessenen indexierten Gaseinspeisemenge für Raumwärme im Mittel um 1,9 %

ab. Bei den Berner Gasdaten lag die Anpassungsgüte im Bereich von 1,5 % bis 2 %. Die Anpassungsgüte bei den Gasdaten ist etwas niedriger als bei den Berner Fernwärmedaten, bei denen die entwickelten Bereinigungsfaktoren im Mittel um 1,1 % von der Referenzeinspeisemenge abweichen. Die Bewertung der Anpassungsgüte hängt jedoch mit der Bestimmung der Referenzeinspeisung zusammen. Diese ist beim Gas, aufgrund von Produktionsschwankungen, 2-Stoffkunden und des Anstiegs des Anschlussvolumens, mit einer grösseren Unsicherheit verbunden als bei der Fernwärme. Die Ursache für die Differenzen zwischen den Bereinigungsfaktoren und der Referenzeinspeisung liegt deshalb nicht ausschliesslich bei der unvollständigen Anpassung durch die Bereinigungsfaktoren, sondern auch bei der Festlegung der Referenz.

Das HGT-Verfahren weist unter den verglichenen Bereinigungsverfahren die schlechteste Anpassungsgüte auf. Die mittlere und die maximale Abweichung gegenüber der Referenzeinspeisemenge sind deutlich höher als bei den anderen Verfahren. Im Gegensatz zum HGT-Verfahren weisen die jährlichen Bereinigungsfaktoren des GT&S-Verfahrens eine hohe Anpassungsgüte auf. Diese scheint im Falle der ewl-Gasmengen sogar über jener der parameterbasierten Bereinigungsfaktoren zu liegen.

Werden die monatlichen Bereinigungsfaktoren betrachtet, weisen hingegen die parameterbasierten Faktoren eine bessere Anpassungsgüte auf als die Faktoren des GT&S-Verfahrens. Das GT&S-Verfahren eignet sich folglich gut zur Ableitung jährlicher Bereinigungsfaktoren. Zur Bestimmung von monatlichen Faktoren weisen sie jedoch Schwächen auf. Einzelne Monatswerte weichen sehr deutlich von der Referenz ab. Es zeigen sich Hinweise, dass der Verbrauch in den Wintermonaten tendenziell über- und in den Sommermonaten unterschätzt wird.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Daten und Datenbereinigung</b>	<b>4</b>
2.1	Erdgasdaten	4
2.2	Klimadaten	9
2.3	Qualitative Vergleiche der Einspeisemengen und der Klimafaktoren	10
<b>3</b>	<b>Statistische Analyse</b>	<b>14</b>
3.1	Methodischer Ansatz	14
3.2	Ergebnisse der Regressionsanalyse	17
3.3	Vergleich mit den „ewb-Parametern“	20
<b>4</b>	<b>Vergleich der Witterungsbereinigungsverfahren</b>	<b>23</b>
4.1	Entwicklung von Witterungsbereinigungsfaktoren	23
4.2	Vergleich der Bereinigungsfaktoren	25
4.3	Vergleich mit den herkömmlichen Bereinigungsfaktoren	28
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>32</b>
<b>6</b>	<b>Anhang</b>	<b>34</b>
6.1	Monatliche Bereinigungsfaktoren	34
6.2	Glossar	37
<b>7</b>	<b>Literatur</b>	<b>39</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1:	Monatliche Einspeisemengen ins Gasnetz in den Jahren 2000 bis 2009, Index	5
Abbildung 2.2:	Indexierte tägliche Einspeisemengen an Tagen mit einer mittleren Tagestemperatur über 20°C im Zeitraum 2000 bis 2009; Tageswerte chronologisch sortiert	7
Abbildung 2.3:	Verteilung der Jahresheizlast für Raumwärme auf die einzelnen Monate: Vergleich der ewl-Daten mit den ewb-Daten	9
Abbildung 2.4:	Zusammenhang zwischen täglicher Gas-Einspeisemenge und der mittleren Tagestemperatur in °C, gesamter Datensatz	11
Abbildung 2.5:	Zusammenhang zwischen täglicher Gas-Einspeisemenge für Raumwärme und der mittleren Tagestemperatur in °C, an Tagen mit einer mittleren Tagestemperatur <18°C	12
Abbildung 2.6:	Zusammenhang zwischen täglicher Gas-Einspeisemenge und Strahlungsmenge in MJ/m <sup>2</sup> , an Tagen mit einer mittleren Tagestemperatur <18°C	13
Abbildung 3.1:	Entwicklung der Anschlussleistung, nach 2-Stoffkunden und Vollversorger, indexiert	15
Abbildung 3.2:	Die geschätzten kumulierten Temperaturparameter (Tag und Vortage) dargestellt im Jahresverlauf, ewl- und ewb-Parameter im Vergleich	21
Abbildung 3.3:	Die geschätzten Parameter für die Temperatur an den beiden Vortagen (kumuliert), dargestellt im Jahresverlauf, ewl- und ewb-Parameter im Vergleich	22
Abbildung 3.4:	Die geschätzten Parameter für die Strahlung, dargestellt im Jahresverlauf, ewl- und ewb-Parameter im Vergleich	22
Abbildung 4.1:	Tägliche Einspeisung ins ewl-Gasnetz an Märztagen (2000 bis 2009): effektive Einspeisung (blau) und geschätzte Einspeisung (rot).	23
Abbildung 4.2:	geschätzter Effekt der Netto-Neuanschlüsse auf den Gasverbrauch (Anteil Raumwärme), in %	25
Abbildung 4.3:	Vergleich der parameterbasierten Witterungsbereinigungsfaktoren für die Jahre 2000 bis 2009	28
Abbildung 4.4:	Indexierte IST-Einspeisemenge (Anteil Raumwärme und die jährliche Bereinigungsfaktoren verschiedener Verfahren im Vergleich	29
Abbildung 4.5:	Monatliche Bereinigungsfaktoren und Index der gemessenen Einspeisung im Vergleich	31

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Charakteristika der verwendeten täglichen Gas-Einspeisemengen für die Erzeugung von Raumwärme, nach Monat, indexiert	8
Tabelle 2.2:	Mittlere Tagestemperatur - deskriptive Werte für die einzelnen Monate und die Stichprobe insgesamt, in °C	10
Tabelle 2.3:	Tägliche Strahlungsmenge - deskriptive Werte für die einzelnen Monate und die Stichprobe insgesamt, in MJ/m <sup>2</sup>	10
Tabelle 3.1:	Ergebnisse der Regressionsanalyse der Einspeisemengen ins Gasnetz: Parameterwerte, Standardabweichungen und Signifikanzniveaus	18
Tabelle 4.1:	Indexierte IST-Einspeisemenge (Anteil Raumwärme) im Vergleich mit den Bereinigungs-faktoren verschiedener Ansätze	26
Tabelle 4.2:	Abweichungen der monatlichen Bereinigungs-faktoren gegenüber der Referenzeinspeisung für Raumwärme; Parameterverfahren und GT&S-Verfahren im Vergleich	30
Tabelle 6.1:	Monatliche Bereinigungs-faktoren, parameterbasierte Verfahren (Monats- und Tageswertbasis) und GT&S-Verfahren	35
Tabelle 6.2:	Abweichungen der monatliche Bereinigungs-faktoren vom Index der Referenzeinspeisung, parameterbasierte Verfahren (Monats- und Tageswertbasis) und GT&S-Verfahren	36

## Verzeichnis der Abkürzungen, Akronyme und Symbole

°C	<i>Grad Celsius</i>
%	<i>Prozent</i>
BFE	<i>Bundesamt für Energie</i>
ES	<i>Einspeisung / Einspeise-Index</i>
ewb	<i>Energie Wasser Bern</i>
ewl	<i>Energie Wasser Luzern</i>
GT	<i>Gradtage</i>
GT+S	<i>Gradtage und Strahlung</i>
HGT	<i>Heizgradtage</i>
kWh	<i>Kilowattstunde</i>
m <sup>2</sup>	<i>Quadratmeter</i>
MJ	<i>Megajoule</i>
R <sup>2</sup>	<i>Bestimmtheitsmass / Determinationskoeffizient</i>
SIA	<i>Schweizerische Ingenieur- und Architektenvereinigung</i>

# 1 Einleitung

Der Energieverbrauch zur Bereitstellung von Raumwärme ist abhängig von der Witterung. Zur Analyse von aggregierten Energieverbräuchen im Zeitablauf spielt deshalb die Bereinigung des Energieverbrauchs um den Witterungseinfluss eine wesentliche Rolle. Dazu werden sogenannte Witterungsbereinigungsfaktoren verwendet.

Die zurzeit verwendeten Verfahren zur Bestimmung von Bereinigungsfaktoren, dazu werden hier das HGT-Verfahren nach Müller (1995) und das Verfahren nach Gradtagen und Strahlung von Hofer (Prognos, 2003) gezählt, sind Ergebnis von mehr oder weniger detaillierten Bottom-Up-Ansätzen. Sie basieren auf SIA-Wärme- bzw. Energiebedarfsrechnungen. Die Bereinigungsfaktoren dieser beiden Ansätze unterscheiden sich teilweise erheblich. Beiden Verfahren fehlte eine empirische Überprüfung der generierten Faktoren, beziehungsweise des unterstellten Zusammenhangs zwischen Witterung und Energieverbrauch.

Diese empirische Überprüfung erfolgte im Jahr 2008 in einem Top-Down-Ansatz auf Basis von täglichen Einspeisemengen von Gas und Fernwärme des Energieversorgers *Energie Wasser Bern* (ewb). Die Einspeisemengen wurden mit den Klimafaktoren Temperatur und Strahlung verknüpft und mit Hilfe statistischer Verfahren wurde die Art der Beeinflussung des Raumwärmeverbrauchs durch die Klimafaktoren geschätzt (Prognos, 2008). Leitungsgebundene Energieträger eignen sich besonders gut für die Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Witterung und Energieverbrauch, weil deren Verbrauch im Gegensatz zu Heizöl oder Holz nicht durch schwer quantifizierbare Lagereinflüsse überlagert wird. Die ins Netz eingespeisene Mengen können beim Erdgas dem Verbrauch gleichgesetzt werden.<sup>1</sup>

Anhand der geschätzten Abhängigkeiten zwischen den Klimafaktoren Temperatur und Strahlung und den Verbrauchsmengen wurden Witterungsbereinigungsfaktoren entwickelt. Diese Faktoren bilden das Verhältnis des effektiven Energieverbrauchs zum witterungsbereinigten Energieverbrauch ab. Die entwickelten Bereinigungsfaktoren weisen – zumindest für die Verbrauchswerte in Bern – eine hohe Anpassungsgüte auf. Der Vergleich zwischen den gemessenen jährlichen Einspeisemengen ins Fernwärmenetz und den berechneten Verbräuchen zeigt, dass die auf Basis der Regressionsanalyse erstellten Bereinigungsfaktoren im Mittel um rund 1 % von den tatsächlich gemessenen Jahresverbräuchen abweichen. Aufgrund der geringeren Qualität der Gasdaten – der

---

<sup>1</sup> Bei der Fernwärme ist die Gleichsetzung nicht ganz korrekt, weil Fernwärme im Gegensatz zu Gas mit deutlich höheren Leitungsverlusten verbunden ist. Allerdings kann auch bei der Fernwärme davon ausgegangen werden, dass die tägliche Einspeisemenge in unmittelbarem Zusammenhang zur nachgefragten Verbrauchsmenge steht.

Raumwärmeanteil lässt sich bei den Gasdaten weniger gut von der Gesamteinspeisung isolieren als bei den Fernwärmedaten – ist die Güte der Bereinigungs-faktoren beim Gas etwas geringer. Die mittlere Abweichung liegt 1,5 bis 2 %. Ein Vergleich mit den herkömmlichen Bereinigungs-faktoren der Verfahren HGT und GT&S zeigt, dass die parameterbasierten Faktoren in Bezug auf die Berner Einspeisemengen eine höhere Anpassungsgüte aufweisen.

Die physikalischen Eigenschaften der Gebäudehülle haben ebenfalls einen Einfluss auf die Menge und den zeitlichen Verlauf des Heizenergiebedarfs. Im Rahmen einer ersten Ergänzungsstudie wurde deshalb der Gebäudepark des von ewb mit Fernwärme und Gas versorgten Gebietes analysiert (Prognos 2009). Aufgrund der vorhandenen Daten konnten nur die Wohngebäude in der Analyse erfasst werden. Der mit Gas versorgte und insbesondere der mit Fernwärme versorgte Wohngebäudepark sind städtisch geprägt. Die Anteile der Wohnflächen in Ein- und Zweifamilienwohnungen liegen mit 15 % und 5 % deutlich unter dem Anteil im gesamtschweizer Wohngebäudepark (46 %).

Aufgrund der hohen Güte der empirisch bestimmten Bereinigungs-faktoren und deren Verankerung auf realen Einspeisemengen, könnten sich die aus dem Top-Down Ansatz generierten Parameter zur Ableitung von Bereinigungs-faktoren für die Gesamtschweiz eignen. Um die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die Gesamtschweiz beurteilen zu können, soll die Analyse an einem anderen Standort, der weniger städtisch geprägt ist, wiederholt werden.

In der hier vorliegenden Arbeit werden deshalb vom Energieversorger *Energie Wasser Luzern (ewl)* zur Verfügung gestellte Gas-Einspeisemengen mit Klimadaten verknüpft und ausgewertet. Die geschätzten Parameter und Bereinigungs-faktoren werden mit den entsprechenden Werten aus Bern verglichen. Eine Bestätigung der in Bern gewonnenen Ergebnisse wäre ein deutlicher Hinweis auf die Übertragbarkeit der generierten Bereinigungs-faktoren auf die Gesamtschweiz. Grössere Abweichungen zwischen den Ergebnissen wären hingegen ein Indiz, dass bis anhin nicht explizit berücksichtigte Faktoren wie beispielsweise die Eigenschaften des Gebäudeparks oder die geografische Region, einen grösseren Einfluss ausüben als bisher angenommen.

#### **Aufbau des Berichts:**

In Kapitel 2 werden die Charakteristika der verwendeten Einspeise- und Klimadaten beschrieben. Zudem wird erläutert, wie aus den Rohdaten der Einspeisemengen die temperaturabhängigen Verbrauchsanteile extrahiert werden (Datenbereinigung). In Kapitel 3 wird anhand von Regressionsanalysen die Beeinflussung der Verbräuche durch die Klimafaktoren quantifiziert. Das Vorgehen ist grundsätzlich analog zur Analyse der ewb-Daten

gewählt. Die Ergebnisse werden mit den in der ewb-Studie geschätzten Parametern verglichen (Gas und Fernwärme). Die Entwicklung der Witterungsbereinigungsfaktoren erfolgt in Kapitel 4. Diese werden einerseits mit den gemessenen Einspeisemengen verglichen, andererseits mit herkömmlichen Bereinigungsfaktoren und den aus den ewb-Daten generierten Bereinigungsfaktoren. Verglichen wird die Anpassungsgüte der jährlichen und der monatlichen Bereinigungsfaktoren. Der Bericht wird abgeschlossen durch eine Diskussion der Resultate (Kapitel 5).

## 2 Daten und Datenbereinigung

Die in der Analyse verwendeten leitungsgebundenen Energieverbrauchsdaten wurden vom Energieversorger *Energie Wasser Luzern (ewl)* zur Verfügung gestellt. Es handelt sich dabei um tägliche Einspeisemengen ins Gasnetz. Aufgrund der Vertraulichkeit gewisser Daten, werden im Bericht keine absoluten Einspeisemengen offen gelegt und bei der Beschriftung von Grafiken die Einheiten weggelassen oder Indexwerte angegeben. Die täglichen Werte der Klimafaktoren Temperatur und Strahlung basieren auf Messdaten von *MeteoSchweiz*.

### 2.1 Erdgasdaten

Das Erdgas-Versorgungsgebiet der ewl umfasst nebst der Gemeinde Luzern die Gemeinden Kriens, Ebikon, Reussbühl, Littau, Horw, und ab 2008 die Gemeinde Rothenburg. Für die Analyse wurden von ewl Angaben zu den täglichen Einspeisemengen zur Verfügung gestellt. Die Mengenangaben liegen in Normkubikmeter und Kilowattstunden (kWh) vor. Verwendet wurde die Energieeinheit Kilowattstunden, da diese Masseinheit den Energiegehalt adäquater abbildet. Der Zeitraum der Datenreihe umfasst die Periode vom 1.1.2000 bis zum 31.12.2009.

Das lokale ewl-Gasnetz verfügt über einen kleinen Ausgleichsspeicher, der die täglichen Schwankungen in der nachgefragten Gasmenge zu glätten hilft. Da die Einspeisemengen nach dem Ausgleichsspeicher erhoben werden, sollte durch den Ausgleichsspeicher keine unerwünschte Verzerrung der täglichen Einspeisemengen entstehen. Offensichtliche Ausreisser wurden nicht identifiziert, insgesamt stehen 3653 Tagesobservationen zur Verfügung.

Ein Teil der Gaskunden sind sogenannte 2-Stoffkunden. Sie können ihre Anlagen manuell oder automatisch von Gas auf Heizöl umstellen, oder umgekehrt. Die Bedeutung der 2-Stoffkunden am ewl-Absatz nimmt ab. Ihr Anteil an der Anschlussleistung ist im Zeitraum 2000 bis 2009 von rund 50 % auf etwa 30 % gesunken.

Um Nachfragespitzen abzufedern können 2-Stoffkunden zeitweilig vom Netz abgetrennt werden. Dies wird heute von ewl nicht mehr praktiziert. Der letzte Lastabwurf durch ewl erfolgte im Mai 2005. Auch in der Periode Januar 2000 bis Mai 2005 erfolgten nur eine geringe Anzahl Lastabwürfe. In Anbetracht der Grösse der Stichprobe drängt sich deshalb eine Korrektur dieser einzelnen Tageswerte nicht auf. Die 2-Stoffkunden können jedoch jederzeit selbstständig von Gas auf Heizöl umstellen. Dies ist aus den Daten nicht ersichtlich und stellt eine potenzielle Fehlerquelle dar.

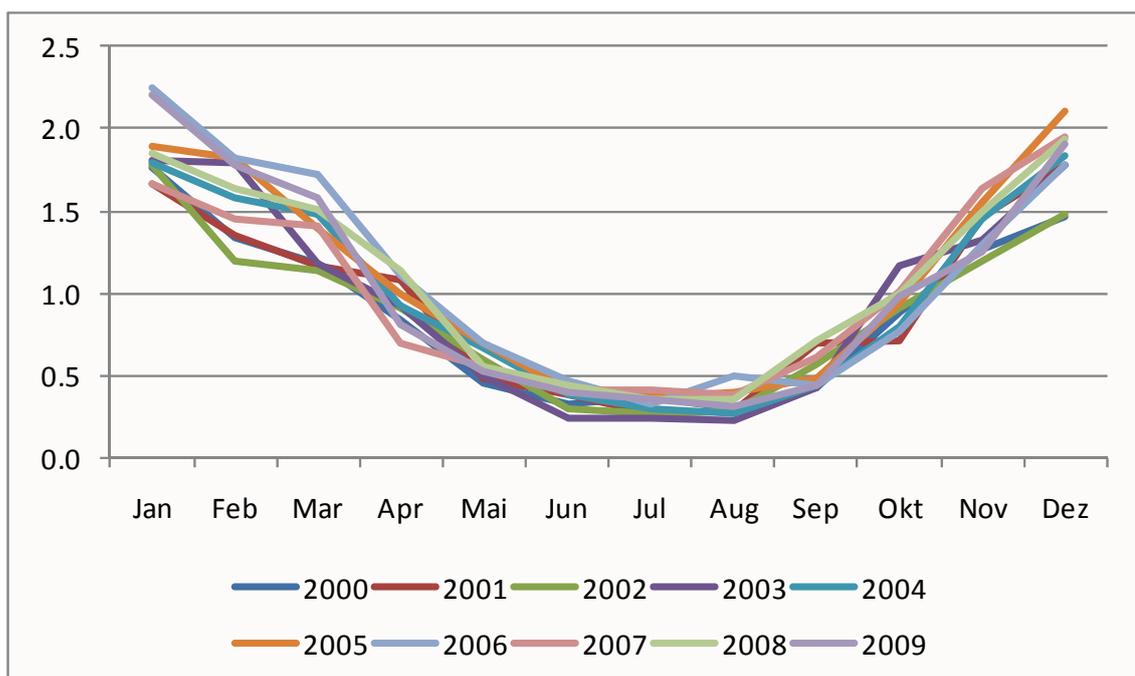
### Extraktion des witterungsabhängigen Verbrauchsanteils

Um den Zusammenhang zwischen Witterung und Raumwärmeverbrauch untersuchen zu können, müssen die Rohdaten – die täglichen Gasmengen, die insgesamt ins Netz eingespeisen werden – um den Verbrauch zur Erzeugung für Warmwasser und Prozesswärme (inkl. Kochen) bereinigt werden.

Die von ewl zur Verfügung gestellten Daten enthalten keine Angaben über den Verbrauch einzelner Industriekunden mit Prozesswärme. Die Bereinigung um die Prozesswärme erfolgt deshalb zusammen mit der Bereinigung um den Verbrauch für Warmwasser. Die Mengen sind nicht bekannt und müssen approximativ bestimmt werden.

Analog zur Studie in Bern wird davon ausgegangen, dass der Einfluss der Witterung auf den Energieverbrauch zur Erzeugung von Warmwasser und Prozesswärme vernachlässigbar ist. Ebenfalls vernachlässigt werden Verbrauchsunterschiede zwischen Wochen- und Wochenendtagen, konjunkturbedingte Produktionsschwankungen sowie ein allfälliger Minderverbrauch während Ferienzeiten. Daraus ergibt sich ein Energieverbrauch für Warmwasser und Prozesswärme, der keine nennenswerte saisonale Verbrauchsschwankung aufweist, sondern im Jahresverlauf annähernd konstant verläuft. Da der Verbrauch für Raumwärme in den Sommermonaten gegen Null tendiert, dürfte die Gesamteinspeisemenge in diesen Monaten weitgehend dem Verbrauch für Warmwasser und Prozesswärme entsprechen (Abbildung 2.1).

Abbildung 2.1: Monatliche Einspeisemengen ins Gasnetz in den Jahren 2000 bis 2009, Index



Zur Quantifizierung dieses Sockelverbrauchs werden die Einspeisemengen an Tagen mit einer mittleren Temperatur über 20°C betrachtet. Es wird angenommen, dass an diesen Tagen in der Regel nicht geheizt wird und der anfallende Verbrauch den Verwendungszwecken Warmwasser, Kochen und Prozesswärme zugerechnet werden kann.

Bei der Analyse der ewb-Daten wurde von einem zeitlich konstanten Sockel ausgegangen. Die Sockelhöhe wurde bestimmt aus der durchschnittlichen Einspeisemenge an Tagen mit einer mittleren Tagestemperatur über 20°C.

Bei den ewl-Daten zeigt sich beim Verbrauch an Tagen mit einer mittleren Tagestemperatur über 20°C im Zeitverlauf eine deutliche Verschiebung (Abbildung 2.2). Zwischen den Jahren 2004 und 2005 steigt die Einspeisemenge deutlich an. Die Verwendung einer zeitlich konstanten Sockelhöhe scheint deshalb nicht angezeigt. Hinweise auf einen Anstieg der Sockelhöhe zeigen sich auch bei der Betrachtung der Monatsverbräuche in Abbildung 2.1. Die Monatsverbräuche der Monate Juni, Juli und August der Jahre vor 2005 liegen in der Regel unter denjenigen ab dem Jahr 2005.

Ursache für den „sprunghaften“ Anstieg des Sockels im Zeitraum 2005 dürfte der Netzanschluss eines grossen Industriekunden sein, der in diesem Zeitraum erfolgte. Wird angenommen, dass etwa die Hälfte des durchschnittlichen Jahresverbrauchs dieses Grosskunden für Prozessenergie aufgewendet wird und man diese Menge auf Tagesverbräuche umrechnet, so entspricht diese tägliche Verbrauchsmenge ziemlich genau dem Sockelanstieg zwischen den Jahren 2004 und 2005.

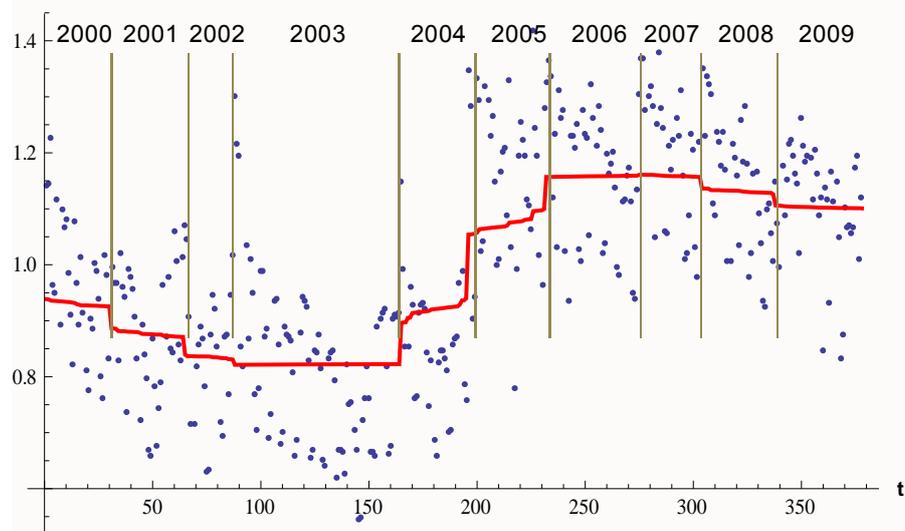
Als Alternative zum zeitlich konstanten Sockel wurde deshalb ein variabler „Jahressockel“ verwendet (Abbildung 2.2). In jedem Jahr wurde die durchschnittliche Verbrauchsmenge an Tagen mit einer mittleren Tagestemperatur über 20°C bestimmt. Der Durchschnittswert zweier aufeinanderfolgender Jahreswerte wurde als Jahresendwert festgelegt. Anschliessend wurden die Jahresendwerte linear verbunden (rote Linie in Abbildung 2.2).<sup>2</sup> Die Sprünge in Abbildung 2.2 kommen dadurch zustande, dass es sich nicht um eine kontinuierliche Zeitreihe handelt. Alle Tage mit einer mittleren Tagestemperatur bis 20°C sind ausgelassen. Die Anzahl Tage mit einer mittleren Tagestemperatur über 20°C variiert zwischen den Jahren und entsprechend variiert die Länge der abgebildeten Jahresabschnitte. Gross ist die Anzahl im Jahr 2003 („Hitzesommer“). Die vertikalen Linien in Abbildung 2.2 markieren die Jahresenden.

<sup>2</sup>

Zusätzlich zum angewandten variablen Sockel wurden zwei weitere Sockelvarianten getestet: ein Stufensockel mit einem höheren, aber konstanten Niveau ab 2005 sowie ein Sockel, der aus gleitenden Jahresdurchschnittswerten abgeleitet wurde. Diese Varianten zeigten weniger gute Performances. Die  $R^2$  in der statistischen Auswertung waren tiefer und die Anpassungsgüte der aus den Parametern abgeleiteten Bereinigungs-faktoren geringer.

Werden die täglichen Sockelverbräuche auf Monatsverbräuche hochgerechnet, stimmen diese relativ gut mit den Verbräuchen der Sommermonate in Abbildung 2.1 überein. Der berechnete Sockelverbrauch beträgt im Mittel der Jahre 2000 bis 2009 rund 30 % des Jahresverbrauchs.

*Abbildung 2.2: Indexierte tägliche Einspeisemengen an Tagen mit einer mittleren Tagestemperatur über 20°C im Zeitraum 2000 bis 2009; Tageswerte chronologisch sortiert (t: Tage). Die rote Linie entspricht der verwendeten Sockelhöhe.*



Zur Bereinigung der Rohdaten um den Verbrauch für Warmwasser und Prozesswärme wird der Sockelverbrauch von den täglichen Einspeisemengen subtrahiert. Diese bereinigten Einspeisemengen sollten dem Energieverbrauch für Raumwärme entsprechen. Um sicher zu gehen, dass in der statistischen Analyse tatsächlich nur der witterungsabhängige Raumwärmebedarf berücksichtigt ist, werden zusätzlich alle Observationen aus der Stichprobe entfernt, an denen die mittlere Tagestemperatur 18°C oder mehr beträgt. Dadurch werden 639 der 3653 Tageswerte aus dem Sample entfernt (17 %).<sup>3</sup> In bestimmten Gebäuden mit Sondernutzungen (z.B. Altenwohnheimen) dürfte auch an Tagen mit einer mittleren Temperatur über 18°C geheizt werden. Diese Raumwärmeverbräuche werden in der Analyse vernachlässigt.

<sup>3</sup>

Bei der Auswertung der ewb-Daten wurde die Stichprobengrenze bei 20°C gesetzt. Bei den Luzerner Daten zeigten die statistischen Schätzungen jedoch eine bessere Performance, wenn nur die Tageswerte bis zu einer mittleren Temperatur von 18°C verwendet wurden. In den Sommermonaten Juni, Juli und August tritt bei der Verwendung der 18°C-Grenze keine Heteroskedastizität auf. Bei der Verwendung der 20°C-Grenze ist eine solche zu beobachten. Dies dürfte damit zusammenhängen, dass sich bei den Daten in Luzern auch oberhalb der Heizgrenze von 16-18°C ein gewisser, wenn auch deutlich schwächerer Zusammenhang zwischen der mittleren Tagestemperatur und den Einspeisemengen zeigt (vgl. Abbildung 2.4). Für die Monate des Winterhalbjahres spielt die Setzung der Stichprobengrenze keine Rolle, da in diesen Monaten die mittleren Tagestemperaturen in der Regel unter 18°C liegen.

Aufgrund der gemischten Nutzung für Raumwärme, Warmwasser, Kochen und Prozesswärme, den Produktionsschwankungen und der Möglichkeit von 2-Stoffkunden zum Lastabwurf bestehen einige Unsicherheiten in Bezug auf Abgrenzung des Verbrauchs für Raumwärme. Hinzu kommt, dass im ewl-Versorgungsgebiet einige Blockheizkraftwerke (BHKW) betrieben werden. Diese basieren ausschliesslich auf dem Energieträger Gas und sind wärmegesteuert. Ein verzerrender Effekt auf die Modellschätzung durch die Blockheizkraftwerke wird nicht erwartet, kann aber nicht ausgeschlossen werden.

### Deskriptive Beschreibung der verwendeten Gas-Einspeisedaten

Die Charakteristika der bereinigten Einspeisemengen, die in der Regressionsanalyse verwendet werden, sind in Tabelle 2.1 beschrieben. Der Indexwert von 100 entspricht der durchschnittlichen täglichen Einspeisemenge für Raumwärme im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2009.

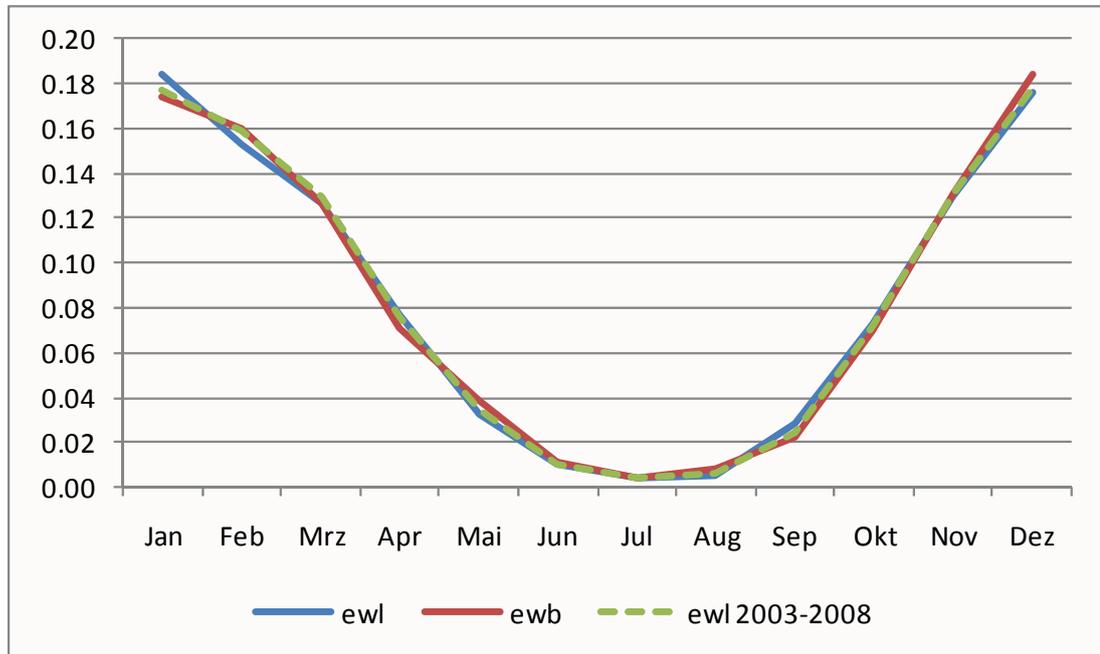
*Tabelle 2.1: Charakteristika der verwendeten täglichen Gas-Einspeisemengen für die Erzeugung von Raumwärme, nach Monat, indexiert*

	volles	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
	Sample												
Mittelwert	100.0	179.6	163.8	123.8	78.4	37.2	20.9	10.4	10.1	33.1	71.4	130.5	171.7
Median	98.5	179.2	162.4	120.0	75.5	31.0	17.3	7.3	7.9	25.3	68.9	126.9	173.2
Std.abw.	67.3	37.1	37.2	40.8	34.4	23.3	16.2	10.2	9.5	24.4	32.2	31.9	36.7
Minimum	0.0	77.3	85.7	43.8	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.6	64.3	90.7
Maximum	259.8	253.4	239.8	231.3	173.2	105.2	97.6	42.6	47.9	115.3	179.0	222.4	259.8
Quartil 0.05	6.5	119.9	105.4	63.6	24.0	9.2	2.3	0.0	0.0	3.4	23.8	82.7	109.8
Quartil 0.95	212.5	241.4	223.9	202.2	141.0	86.7	47.2	33.8	28.3	81.5	131.3	197.9	229.5
Stichprobengrösse	3014	310	283	310	297	257	142	109	138	249	309	300	310

Die Heizlastkurve gibt an, wie sich der Jahresverbrauch für Raumwärme im Mittel der Jahre auf die einzelnen Monate verteilt (Abbildung 2.3). Zur Bestimmung der Werte wurden die Verbrauchsmengen an Tagen mit einer mittleren Tagestemperatur unter 20°C berücksichtigt (diese Tage entsprechen den Gradtags-Tagen).

Die Heizlastkurve in Luzern unterscheidet sich nicht wesentlich von der Heizlastkurve, die aus dem Gasabsatz der Berner ewb berechnet wurden. Wenn für die Bestimmung der Kurve die gleichen Referenzjahre verwendet werden (2003-2008), ist die Differenz zwischen den Heizlastkurven noch geringer.

Abbildung 2.3: Verteilung der Jahresheizlast für Raumwärme auf die einzelnen Monate: Vergleich der ewl-Daten mit den ewb-Daten



## 2.2 Klimadaten

Die Temperatur gilt als der wichtigste Klimafaktor, der den Raumwärmebedarf beeinflusst. Die Analyse der ewb-Daten hat gezeigt, dass auch die Solarstrahlung eine gewisse, jedoch untergeordnete Bedeutung besitzt. Die verwendeten Temperatur- und Strahlungswerte wurden von *MeteoSchweiz* an der Messstation „Luzern“ erhoben.

Als Temperaturwerte werden Tagesmittelwerte in Grad Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) verwendet. Die Strahlung wird in Tagessummen ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ) berücksichtigt. Die Charakteristika der in der statistischen Auswertung verwendeten Temperatur- und Strahlungswerte sind in Tabelle 2.2 und Tabelle 2.3 beschrieben. Die Kennwerte beziehen sich auf den Analysezeitraum 1.1.2000 bis 31.12.2009) und berücksichtigen nur Tageswerte mit einer mittleren Temperatur unter  $18^{\circ}\text{C}$ . Die Kennwerte in den Tabellen 2.2 und 2.3 beschreiben folglich nicht die effektive Witterung in Luzern, sondern die Witterung an den in der Regressionsanalyse berücksichtigten Tagen.

**Tabelle 2.2:** *Mittlere Tagestemperatur - deskriptive Werte für die einzelnen Monate und die Stichprobe insgesamt, in °C*

	volles Sample	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittelwert	7.63	0.81	2.12	5.82	9.80	13.40	14.47	15.21	15.54	13.66	10.55	5.07	1.59
Median	7.70	0.90	2.20	6.00	9.90	13.70	14.80	15.70	15.90	14.10	10.90	5.40	1.50
Std.abw.	6.07	3.83	3.51	4.00	3.63	2.75	2.08	1.67	1.52	2.64	3.36	3.08	3.47
Minimum	-10.30	-8.00	-7.40	-8.50	0.50	5.50	7.40	10.20	11.80	5.00	0.10	-3.70	-10.30
Maximum	17.40	14.30	10.30	15.70	17.30	17.40	17.40	17.40	17.40	17.40	17.40	12.50	9.90
Quartil 0.05	-2.40	-5.10	-3.50	-0.80	3.20	8.20	11.10	12.50	12.40	8.90	4.10	-0.40	-4.00
Quartil 0.95	16.60	6.80	7.60	12.30	15.70	17.10	17.20	17.30	17.40	17.20	15.60	10.00	7.40

**Tabelle 2.3:** *Tägliche Strahlungsmenge - deskriptive Werte für die einzelnen Monate und die Stichprobe insgesamt, in MJ/m<sup>2</sup>*

	volles Sample	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Mittelwert	8.62	3.47	6.27	10.40	14.40	15.62	15.05	13.60	11.02	10.67	7.10	3.86	2.56
Median	6.57	3.02	5.96	10.54	15.21	16.24	13.65	12.44	10.71	10.63	6.83	3.37	2.25
Std.abw.	6.62	2.04	3.24	4.81	6.48	7.67	8.06	6.44	6.34	5.41	3.62	2.22	1.51
Minimum	0.17	0.26	0.78	1.99	1.56	1.47	2.25	3.02	1.81	1.38	0.86	0.26	0.17
Maximum	29.64	8.90	13.65	19.87	25.40	29.12	29.64	29.29	27.04	21.77	16.16	9.76	6.13
Quartil 0.05	1.21	0.86	1.56	2.94	3.80	3.63	4.58	4.67	2.51	2.76	1.73	0.95	0.60
Quartil 0.95	22.03	7.43	11.49	18.06	23.33	27.73	28.68	27.22	23.16	19.70	12.96	8.04	5.44

Die Witterung in Luzern unterscheidet sich geringfügig von derjenigen der Gesamtschweiz. In den Jahren 2000 bis 2009 war es in Luzern leicht wärmer als im Schweizer Mittel, die Strahlungsmenge war hingegen etwas geringer. Die Anzahl Gradtage lag rund 1,5 % und die Strahlungsmenge 8 % unter dem Landesmittel. Im Vergleich zu Bern war es in den Jahren 2000 bis 2009 in Luzern wärmer (GT -5 %) bei geringerer Solarstrahlung (-10 %).

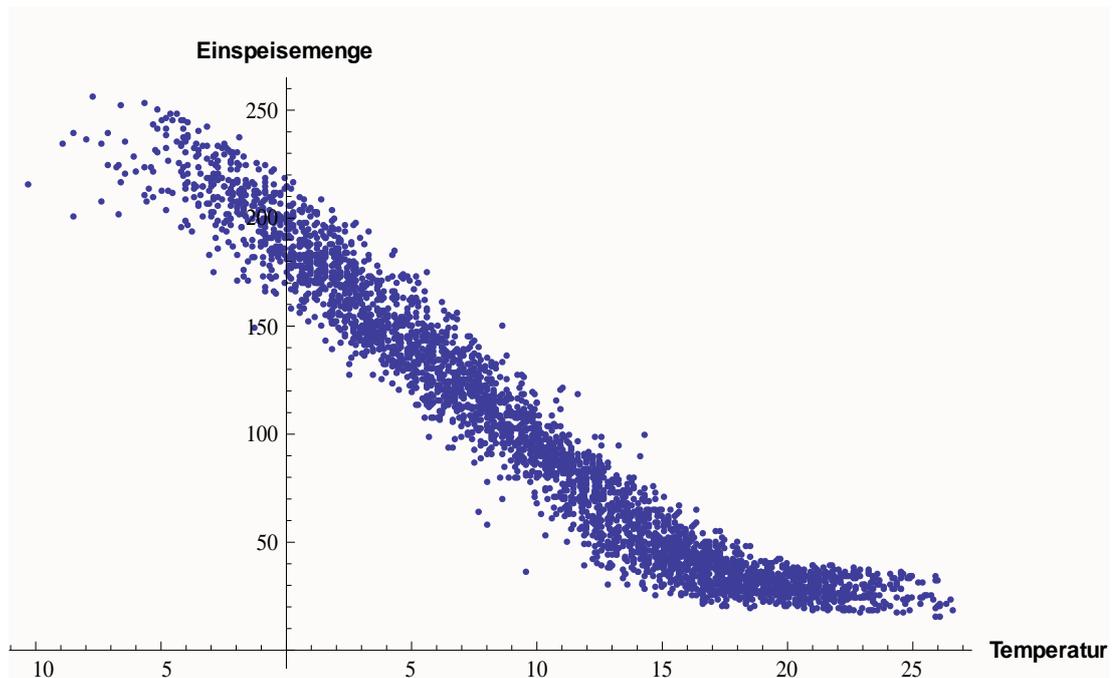
Im Vergleich zur langfristigen Referenzperiode 1984 bis 2002, welche üblicherweise beim GT&S-Verfahren angewandt wird, war es in den Jahren 2000 bis 2009 in Luzern im Mittel wärmer (GT -3 %) und strahlungsintensiver (+8 %).

## 2.3 Qualitative Vergleiche der Einspeisemengen und der Klimafaktoren

In Abbildung 2.4 sind die täglichen Einspeisemengen gegenüber der mittleren Tagestemperatur aufgetragen. Die Darstellung berücksichtigt alle Datenpunkte des Zeitraums 2000 bis 2009. Unterhalb der Heizgrenze von 16-18°C zeigt sich eine deutliche Korrelation zwischen den Grössen. Wie in Bern, so zeigen auch die Werte in Luzern, dass die Heizgrenze deutlich über der im HGT-Verfahren üblicherweise angewandten Heizgrenze von 12°C liegt.

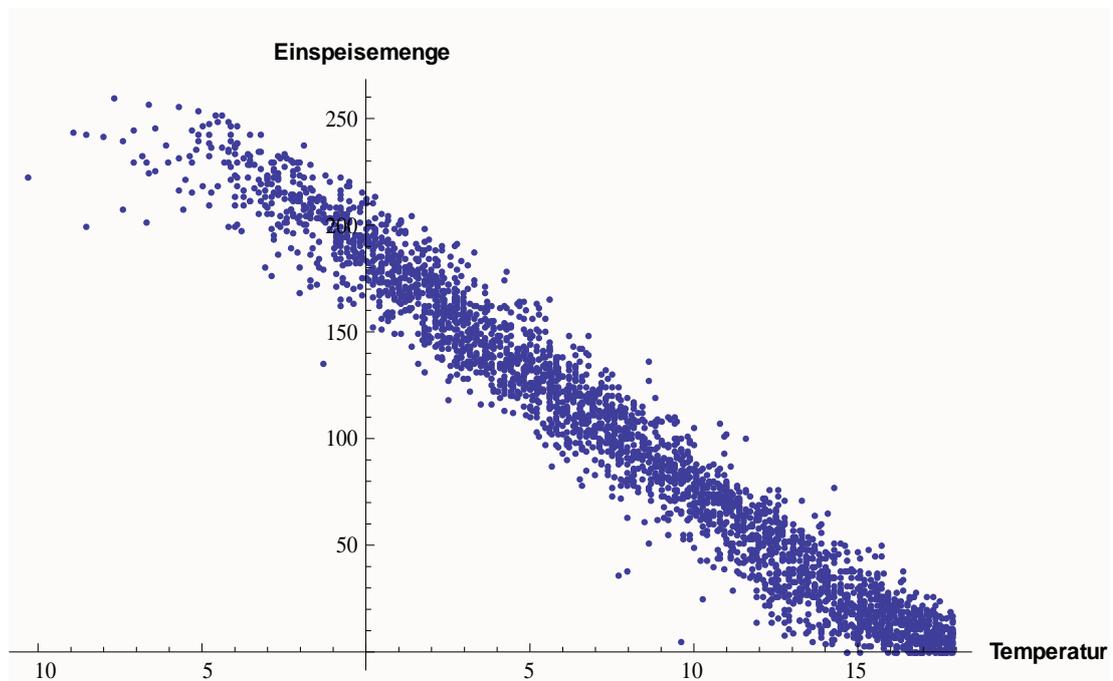
Auch oberhalb der Heizgrenze von 16-18°C scheint ein gewisser, wenn auch deutlich schwächerer Zusammenhang zwischen der Tagestemperatur und der eingespiessenen Gasmenge zu bestehen.

Abbildung 2.4: Zusammenhang zwischen täglicher Gas-Einspeisemenge und der mittleren Tagestemperatur in °C, gesamter Datensatz



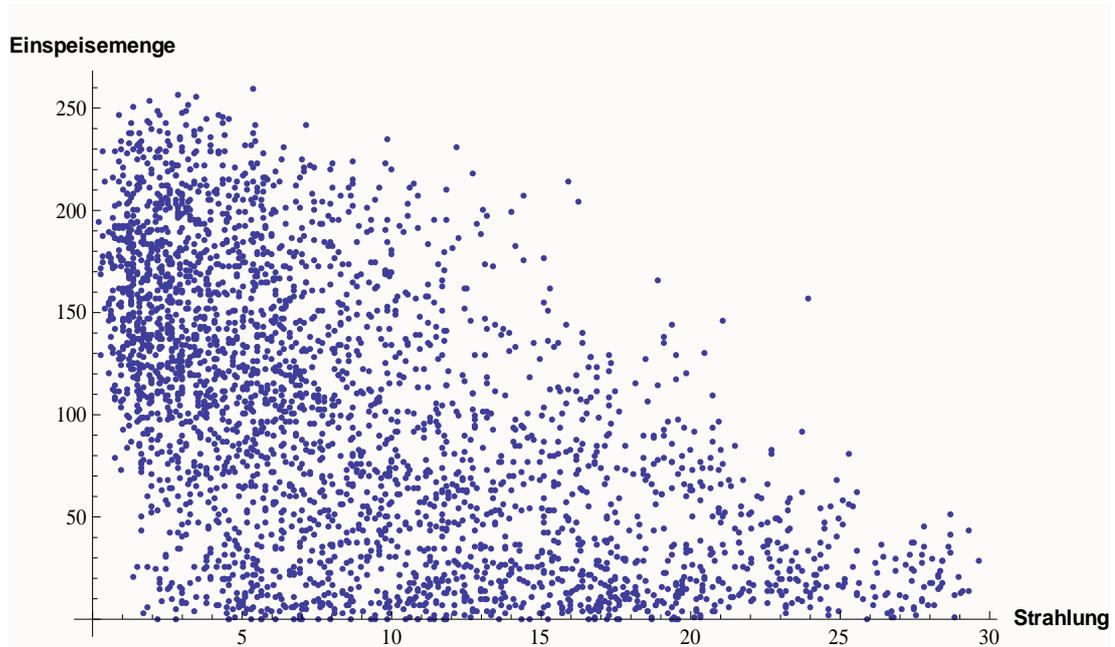
In Abbildung 2.5 sind ebenfalls die täglichen Einspeisemengen gegenüber der mittleren Tagestemperatur aufgetragen. In dieser Abbildung sind nur die Datenpunkte mit einer mittleren Tagestemperatur unter 18°C berücksichtigt. Zudem wurde von den täglichen Einspeisemengen der Sockelverbrauch subtrahiert. Diese Stichprobe entspricht den in der Regressionsanalyse verwendeten Tageswerten. Der Zusammenhang zwischen den Grössen Temperatur und Einspeisemenge scheint im Temperaturintervall von -5°C bis 15 °C annähernd linear zu sein.

Abbildung 2.5: Zusammenhang zwischen täglicher Gas-Einspeisemenge für Raumwärme und der mittleren Tagestemperatur in °C, an Tagen mit einer mittleren Tagestemperatur <18°C



Im Gegensatz zur Temperatur zeigt sich bei der Strahlung kein offensichtlicher linearer Zusammenhang zwischen täglicher Strahlungsmenge und Einspeisung ins Gasnetz (Abbildung 2.6). Die Obergrenze der täglichen Einspeisemengen nimmt jedoch mit zunehmender Strahlungsmenge ab: Bei geringer Strahlungsmenge kann die tägliche Verbrauchsmenge sehr hoch oder sehr tief sein. Bei sehr hohen Strahlungsmengen zeigen sich jedoch keine hohen Verbrauchswerte.

Abbildung 2.6: Zusammenhang zwischen täglicher Gas-Einspeisemenge und Strahlungsmenge in  $\text{MJ}/\text{m}^2$ , an Tagen mit einer mittleren Tagestemperatur  $<18^\circ\text{C}$  (ohne Berücksichtigung des Einflusses der Temperatur)



## 3 Statistische Analyse

### 3.1 Methodischer Ansatz

Die täglichen, bereinigten Gaseinspeisemengen werden mit den Zeitreihen der Klimafaktoren verknüpft, um Umfang und Richtung der Beeinflussung der Verbräuche durch die Witterung zu quantifizieren. Dazu werden Abhängigkeitshypothesen formuliert, die dann mit Hilfe der entsprechenden statistischen Verfahren der Zeitreihenanalyse überprüft werden. Um die Ergebnisse mit denjenigen der ewb-Studie vergleichen zu können, wird ein weitgehend identischer Untersuchungsansatz gewählt.

Nebst dem dominanten Einfluss durch die Temperatur wird auch die Strahlung berücksichtigt, nicht aber weitere Klimafaktoren wie Bewölkungsgrad, Windstärke oder Luftfeuchtigkeit. Die „Witterung“ wird reduziert auf die Klimafaktoren Temperatur und Strahlung. Zusätzlich zur mittleren Tagestemperatur am Einspeisetag werden auch die mittleren Tagestemperaturen an den beiden Vortagen berücksichtigt.

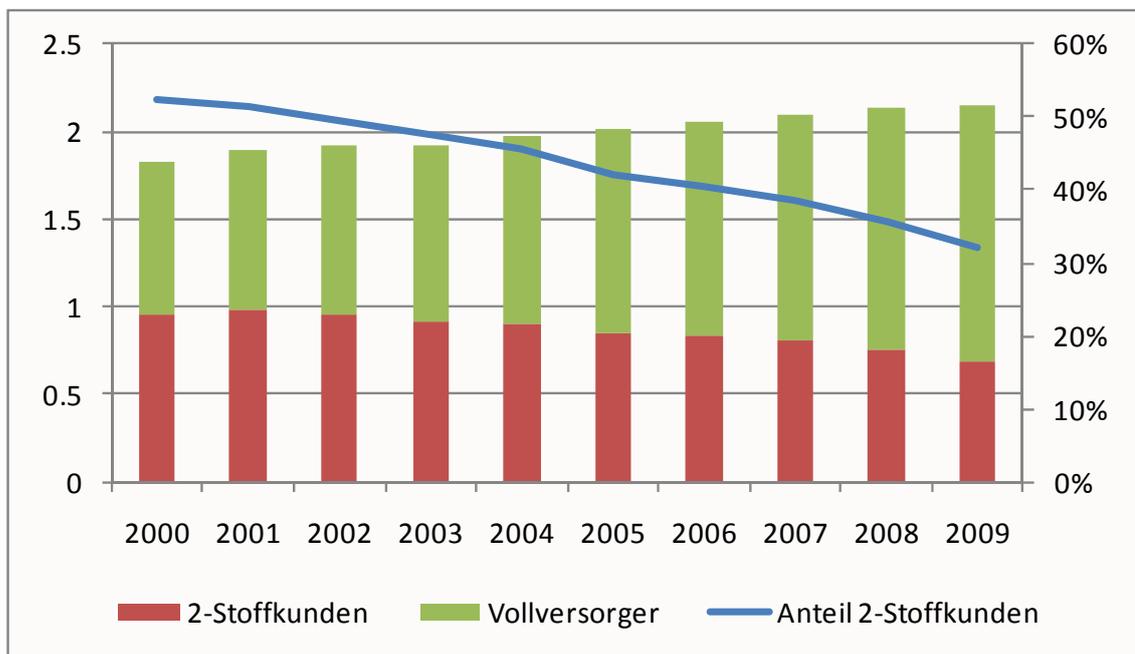
Werden neue Gasheizungen oder zusätzliche gasbetriebene Industrieanlagen ans Netz angeschlossen, so steigt die Anschlussleistung. Falls sich die anderen Einflussgrößen nicht ändern, ist damit ein Anstieg der Gasnachfrage verbunden. Im Gegensatz zu Neuanschlüssen wirken Gebäudesanierungen dem Verbrauchsanstieg entgegen. Werden die Dämmeigenschaften der Gebäudehüllen verbessert, dann sinkt die nachgefragte Wärmemenge.

Für die ewb-Studie lagen weder Angaben zur Entwicklung der Anschlussleistung noch zur sanierten Gebäudefläche vor. Vereinfachend wurden deshalb diese nicht-klimatischen Einflussfaktoren im Modell durch einen linearen Zeittrend abgebildet. Da bei den ewl-Daten Angaben zur Entwicklung der jährlichen Anschlussleistung zur Verfügung stehen, werden diese Angaben verwendet (Abbildung 3.1). Die Anschlussleistung hat im Mittel um rund 1,9 % pro Jahr zugenommen. Zur Ableitung von Tageswerten werden die jährlichen Anschlusswerte linear interpoliert. Die generierte Entwicklung der täglichen Anschlussleistung korreliert stark mit dem linearen Zeittrend (Korrelationsfaktor beträgt 0,98). Deshalb wurde kein zusätzlicher Zeittrend im Modell berücksichtigt.

Angaben zur Sanierungstätigkeit und der damit verbundenen Entwicklung der energetischen Eigenschaften des ewl-Gebäudeparks liegen keine vor. Näherungsweise dürfte aber auch die kumulierte sanierte Fläche im Zeitverlauf linear zunehmen. Folglich kann von einer starken negativen Korrelation zwischen den Größen Anschlussleistung und Sanierungstätigkeit ausgegangen werden, obwohl die Größen nicht aneinander gekoppelt sind. Da im Modell

die Sanierungstätigkeit nicht explizit abgebildet ist, dürfte ihr Effekt auf die Einspeisemenge, aufgrund der hohen Korrelation mit der Anschlussleistung, weitgehend zusammen mit dem Effekt der Anschlussleistung ausgewiesen werden. Der modellierte Effekt der Anschlussleistung ist deshalb näherungsweise als Effekt des Anstiegs der Nettoanschlussleistung minus des Effekts der Gebäudesanierungen zu verstehen.

Abbildung 3.1: Entwicklung der Anschlussleistung, nach 2-Stoffkunden und Vollversorger, indexiert



Analog zur Analyse der ewb-Daten wurde auch bei den Luzerner Daten der Gaspreis nicht als erklärende Einflussvariable berücksichtigt.

Es wird davon ausgegangen, dass die Wirkung der Klimafaktoren auf den Raumwärmeverbrauch über den Jahresverlauf betrachtet nicht konstant ist. Die Ergebnisse der Berner ewb-Daten scheinen dies zu belegen. Um die unterstellte Jahresdynamik näherungsweise abzubilden, erfolgt die Analyse für jeden Monat einzeln. Das heisst, die Grundstichprobe wird in 12 Monatsstichproben getrennt, welche einzeln ausgewertet werden.

Die abhängige Variable, die tägliche Einspeisemenge ins Gasnetz, ist auf den durchschnittlichen Verbrauch des jeweiligen Monats der Jahre 2000 bis 2009 indexiert. Beispielsweise werden die bereinigten täglichen Einspeisemengen in kWh im Januar dividiert durch die durchschnittliche bereinigte tägliche Einspeisemenge im Monat Januar in den Jahren 2000 bis 2009. Durch das Verwenden von Indexwerten lassen sich die Ergebnisse der Analyse einfacher verallgemeinern und zur Berechnung von Witterungsbereinigungsfaktoren verwenden.

Die Abhängigkeit des Raumwärmeverbrauchs von der Witterung und der Anschlussleistung kann durch folgenden Ausdruck in die formale Sprache umgesetzt werden:

$$ES_{ij} = F(T_i, T_{i-1}, T_{i-2}, S_i, ASL_i)$$

$ES_{ij}$  : indexierte tägliche Einspeisemenge am Tag  $i$  im Monat  $j$

$T_i$  : mittlere Temperatur am Einspeisetag

$T_{i-1}$  : mittlere Temperatur am Vortag

$T_{i-2}$  : mittlere Temperatur am Vorvortag

$S_i$  : die Strahlungsmenge am Einspeisetag

$ASL_i$  : die Anschlussleistung

Mit  $F$  ist ein grundsätzlicher funktionaler Zusammenhang gemeint, welcher mit Hilfe der statistischen Analyse geschätzt werden soll.

Das Modell basiert auf Einspeisemengen und Wetterdaten von aufeinander folgenden Tagen; die Daten bilden somit Zeitreihen.<sup>4</sup> Bei Zeitreihendatensätzen zeigt sich häufig eine zeitliche Korrelation der Residuen  $\varepsilon$  (Autokorrelation). Ein statistischer Test deutet auf eine starke Autokorrelation in den verwendeten Monatsstichproben hin. Deshalb dürfen keine einfachen Ordinary Least Squares (OLS; ~ kleinste quadratische Abweichungen) Regressionen zur Bestimmung der Parameter und ihrer Standardfehler verwendet werden. Aus diesem Grunde wird – analog zur Analyse der ewb-Daten – zur Bestimmung dieser Grössen der Prais-Winston Ansatz gewählt. Bei diesem Ansatz werden durch eine Transformation der Variablen die Autokorrelation in  $\varepsilon$  eliminiert und dadurch belastbare Standardfehler generiert.<sup>5</sup>

Ein ausführlicher Beschrieb der gewählten Methode findet sich in der ewb-Studie (Prognos, 2008).

---

<sup>4</sup> Weil einzelne Tageswerte aus der Stichprobe entfernt wurden, aber auch weil bei den Monatsstichproben zeitliche „Sprünge“ zwischen den einzelnen Jahren entstehen, handelt es sich nicht um perfekte Zeitreihen. In der Analyse werden diese Diskontinuitäten jedoch ignoriert.

<sup>5</sup> Der Prais-Winston Ansatz korrigiert für Autokorrelationen 1. Grades (AR1).

## 3.2 Ergebnisse der Regressionsanalyse

Das Ergebnis der statistischen Analyse ist in Tabelle 3.1 abgebildet. Die geschätzten Parameter sind zum grössten Teil hoch signifikant, die Vorzeichen zeigen in die richtige Richtung und die  $R^2$  sind in der Regel gross. Einzig im Monat August liegt das  $R^2$  unter 0,7.

Wie bei den ewb-Daten, so zeigt auch bei den ewl-Daten die Güte der Schätzungen eine gewisse Jahresstruktur. Das  $R^2$  ist in den Sommermonaten, den Monaten mit den kleineren Stichproben und den geringeren absoluten Einspeisemengen, kleiner als in den Wintermonaten. Der Unterschied zwischen den Sommer- und Wintermonaten ist aber weniger ausgeprägt als bei den ewb-Daten.

### Temperatur – Tag und Vortage

Die Analyse der ewb-Daten hat gezeigt, dass die mittlere Tages-temperatur die wichtigste Erklärungsvariable ist. Rund 70 % bis 75 % der witterungsbedingten Energieverbrauchsschwankungen korrelieren direkt mit der Tagestemperatur. Der Einfluss der Temperatur an den Vortagen ist geringer. Rund 20 % bis 25 % der witterungsbedingten Verbrauchsschwankungen korrelieren mit der Temperatur an den beiden Vortagen.

Die Parameter der Variablen *Temperatur am Einspeisetag* und *Temperatur am Vor-Vortag* sind ohne Ausnahme hoch signifikant. Hingegen sind die Parameter der Variable *Temperatur am Vortag* in zwei Monaten nicht signifikant (Januar, Juli).

Die Vorzeichen der signifikanten Temperaturparameter weisen in die erwartete Richtung: eine Erhöhung der mittleren Temperatur (Tag, Vortag, Vorvortag) senkt den täglichen Raumwärmebedarf und somit auch die tägliche Einspeisemenge.

**Tabelle 3.1:** *Ergebnisse der Regressionsanalyse der Einspeisemengen ins Gasnetz: Parameterwerte, Standardabweichungen und Signifikanzniveaus ( $\alpha$ -Niveau). \*\*\* entspricht dem 1 %  $\alpha$ -Niveau, respektive \*\* dem 5 % und \* dem 10 %  $\alpha$ -Niveau.*

		Temperatur	Temperatur Vortag	Temperatur Vorvortag	Strahlung	Anschluss- leistung	Konstante	R <sup>2</sup>	Anzahl Ob- servationen
Januar	Parameter	-4.31	0.01	-0.78	-0.71	0.182	9.65	0.843	307
	Std. Abw.	0.15	0.17	0.14	0.16	0.02	5.74		
	$\alpha$ -Niveau	***	-	***	***	***	*		
Februar	Parameter	-4.88	-0.36	-0.61	-0.64	0.175	19.08	0.871	280
	Std. Abw.	0.17	0.20	0.18	0.12	0.02	6.72		
	$\alpha$ -Niveau	***	*	***	***	***	***		
März	Parameter	-5.82	-0.60	-1.04	-0.62	0.216	22.07	0.883	307
	Std. Abw.	0.21	0.24	0.20	0.10	0.03	8.19		
	$\alpha$ -Niveau	***	**	***	***	***	***		
April	Parameter	-8.81	-1.71	-1.02	-0.66	0.141	84.58	0.896	292
	Std. Abw.	0.34	0.34	0.26	0.11	0.04	10.68		
	$\alpha$ -Niveau	***	***	***	***	***	***		
Mai	Parameter	-13.95	-4.39	-2.80	-0.71	0.125	131.24	0.840	246
	Std. Abw.	0.72	0.62	0.46	0.20	0.11	21.50		
	$\alpha$ -Niveau	***	***	***	***	-	***		
Juni	Parameter	-20.03	-4.73	-6.17	-0.47	0.284	191.86	0.746	139
	Std. Abw.	1.79	1.43	0.99	0.42	0.21	47.44		
	$\alpha$ -Niveau	***	***	***	-	-	***		
Juli	Parameter	-32.17	-4.47	-8.62	-0.71	0.298	479.69	0.716	85
	Std. Abw.	3.99	2.77	2.07	0.94	0.23	80.14		
	$\alpha$ -Niveau	***	-	***	-	-	***		
August	Parameter	-24.76	-11.56	-9.77	-2.20	0.126	438.52	0.588	112
	Std. Abw.	4.15	3.36	2.27	0.97	0.39	113.81		
	$\alpha$ -Niveau	***	***	***	**	-	***		
September	Parameter	-14.89	-6.42	-3.77	-0.74	-0.0603	163.86	0.765	240
	Std. Abw.	0.83	0.78	0.64	0.28	0.14	23.97		
	$\alpha$ -Niveau	***	***	***	***	-	***		
Oktober	Parameter	-9.12	-2.40	-1.55	-0.64	-0.008	103.63	0.884	306
	Std. Abw.	0.33	0.36	0.31	0.15	0.05	10.11		
	$\alpha$ -Niveau	***	***	***	***	-	***		
November	Parameter	-5.88	-0.49	-1.16	-0.87	0.070	60.90	0.821	297
	Std. Abw.	0.23	0.25	0.23	0.19	0.03	8.13		
	$\alpha$ -Niveau	***	*	***	***	**	***		
Dezember	Parameter	-4.69	-0.48	-0.43	-0.87	0.131	21.91	0.833	307
	Std. Abw.	0.15	0.16	0.16	0.20	0.03	6.07		
	$\alpha$ -Niveau	***	***	***	***	***	***		

Die Beträge der Temperaturparameter sind in den Sommermonaten höher als in den Wintermonaten. Dies bedeutet aber nicht, dass der Einfluss einer Temperaturänderung auf den Raumwärmebedarf im Sommer grösser wäre als im Winter. Hinter den indexierten Einspeisemengen verbergen sich je nach Monat unterschiedliche Niveaus von absoluten Einspeisemengen, die im Winter deutlich höher sind als im Sommer (vgl. beispielsweise Abbildung 2.1). Werden in den Modellen anstelle der indexierten

Einspeisemengen die absoluten Mengen verwendet, so zeigen sich im Sommer sogar kleinere Beträge für die Parameter. Folglich ist in den Sommermonaten der Einfluss von Temperaturänderungen auf die absolute nachgefragte Energiemenge geringer.

### **Strahlung**

Der Einfluss der Globalstrahlung auf die witterungsbedingten Verbrauchsschwankungen ist geringer als jener der Temperatur. Gemäss der Analyse der ewb-Daten korrelieren rund 5 % bis 10 % der witterungsbedingten Schwankungen linear mit der Strahlung.

Eine Erhöhung der täglichen Strahlungsmenge reduziert den täglichen Raumwärmebedarf und somit auch die tägliche Einspeisemenge. Erwartungsgemäss sind die Vorzeichen der Strahlungsparameter alle negativ, und mit Ausnahme der Sommermonate Juni und Juli, hoch signifikant.

### **Anschlussleistung**

Wie in Kapitel 3.1 erläutert, dürfte der modellierte Effekt der Anschlussleistung näherungsweise den Effekt des Anstiegs der Nettoanschlussleistung minus des Effekts der Gebäudesanierungen abbilden.

Die Parameter der Variable Anschlussleistung sind in den Wintermonaten (November bis April) hoch signifikant. In den Sommermonaten sind die Parameter nicht signifikant. Das Vorzeichen ist mit Ausnahme der Monate September und November positiv. Diese beiden Schätzwerte sind aber nicht signifikant.

Das positive Vorzeichen der Variable Anschlussleistung weist darauf hin, dass der verbrauchssteigernde Effekt der Neuanschlüsse über den reduzierenden Effekt der energetischen Sanierungen dominiert. Die witterungsbereinigte Gasnachfrage hat im Mittel jährlich um rund 1,2 % zugenommen.

### **Zusätzliche statistische Tests**

Die Tagestemperaturwerte korrelieren in der Regel stark mit den Temperaturwerten der Vortage. Die Korrelationskoeffizienten der beiden Variablen variieren zwischen den Monaten und erreichen Werte bis zu 0,85. Dadurch besteht die Gefahr einer Verzerrung der Schätzung aufgrund von Multikollinearität zwischen den beiden Variablen. Ein entsprechender Test deutet aber darauf hin, dass trotz der hohen Korrelation zwischen den Grössen keine kritische Multikollinearität vorliegt.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Es wurde das gleiche Testverfahren angewandt wie in der Analyse der ewb-Daten: Für die transformierten Variablen wurde der sogenannte „Variance Inflation Factor“ (VIF) ermittelt. Der Wert  $1/VIF$  gibt an, welcher Prozentsatz der Varianz

Der Breusch-Pagan-Test und grafische Analysen der Residuen-Verteilung liefern in einzelnen Monaten gewisse Anzeichen auf das Vorhandensein von Heteroskedastizität. Dies bedeutet, dass die Streuung der Residuen innerhalb einer Datenmessung nicht gleichmässig ist. Das ist ein Hinweis auf eine leichte Verzerrung der Schätzung, aufgrund einer oder mehrerer fehlender erklärender Variablen. Denkbare Ursachen für die leichte Verzerrung sind die BHKW-Anlagen, Produktionsschwankungen und 2-Stoffkunden, die zeitweilig den Brennstoffwechseln.

### 3.3 Vergleich mit den „ewb-Parametern“

Ein Vergleich der Ergebnisse mit den geschätzten Parameterwerten der ewb-Studie zeigt im Allgemeinen eine gute Übereinstimmung. Bei der Einflussvariable Temperatur zeigt der kumulierte Wert der drei Faktoren Tagestemperatur, Vortag und Vorvortag einzig in den Sommermonaten Juli und August grössere Abweichungen (Abbildung 3.2). In den übrigen Monaten stimmen die geschätzten kumulierten Parameterwerte gut überein und weisen den gleichen Jahresverlauf auf.

In der ewb-Studie zeigten sich gewisse Anzeichen, dass die fernwärmeversorgten Gebäude stärker auf die Temperatur an den Vortagen reagieren als die gasversorgten Gebäude. Andererseits zeigten die gasversorgten Gebäude eine stärkere Reaktion auf Strahlungsveränderungen als die fernwärmeversorgten Gebäude. Es wurde die Arbeitshypothese aufgestellt, dass Unterschiede in der Gebäudealtersstruktur sowie unterschiedliche Anteile an Ein- und Zweifamilienhäusern Ursache für die leicht abweichenden Einflüsse sein könnten. Die in der ewb-Studie gemachten Beobachtungen der unterschiedlichen Einflussstärke von der Temperatur an den Vortagen und der Strahlung können durch die Analyse der ewl-Daten nur teilweise bestätigt werden.

Die kumulierten Parameter der Temperatur an den beiden Vortagen aus den ewl-Daten weichen nicht systematisch von denjenigen Parametern ab, die aus den ewb-Gasdaten oder ewb-Fernwärmedaten abgeleitet wurden (Abbildung 3.3). Die in der ewb-Studie festgestellten Unterschiede in Bezug auf den Einfluss der Temperatur an den Vortagen könnten demnach rein zufällig sein.

Bei den Strahlungsparametern zeigt sich ein differenzierteres Bild. Die ewl-Parameter stimmen mit Ausnahme des Monats Juli gut mit

---

einer unabhängigen Variable nicht durch die anderen unabhängigen Variablen bestimmt wird. Gemäss einer Faustregel sollten die VIF- Werte kleiner als  $1/(1-R^2)$  sein, damit keine kritische Multikollinearität auftritt (Wolfram Mathematica, 2010). Im Gegensatz zu den ewb-Daten wurde bei den ewl-Daten der kritische Wert in keinem Monat überschritten.

den Strahlungsparameter der ewb-Gasdaten überein (Abbildung 3.4). Die aus den Gasdaten abgeleiteten Strahlungsparameter besitzen keine eigentliche Jahresstruktur. Alle Parameterwerte liegen mit Ausnahme des Monats August – und bei den ewb-Daten auch des Monats Juli –im Bereich zwischen -0,5 bis -1,0.

Die fernwärmebasierten Strahlungsparameter weichen von den gasbasierten Parametern (sowohl ewl- als auch ewb) ab. Sie weisen in der Regel etwas kleinere Beträge auf. Zudem sind in den Sommermonaten und im Dezember die Vorzeichen der Parameter positiv. Diese Parameter unterscheiden sich aber nicht signifikant von Null.

Abbildung 3.2: Die geschätzten kumulierten Temperaturparameter (Tag und Vortage) dargestellt im Jahresverlauf, ewl- und ewb-Parameter im Vergleich

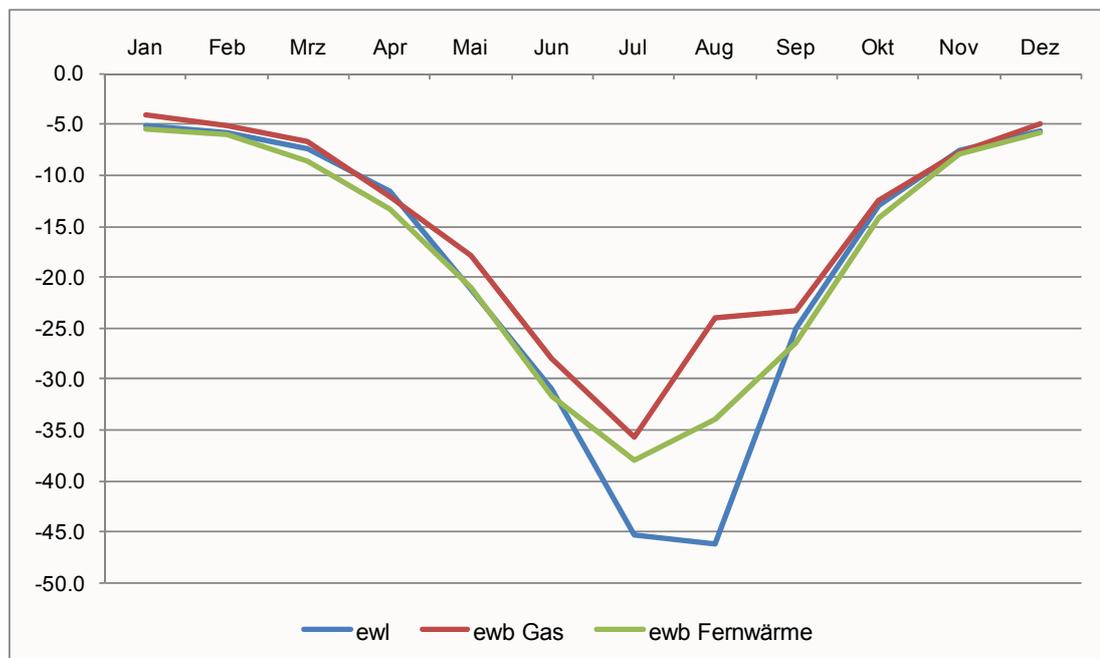


Abbildung 3.3: Die geschätzten Parameter für die Temperatur an den beiden Vortagen (kumuliert), dargestellt im Jahresverlauf, ewl- und ewb-Parameter im Vergleich

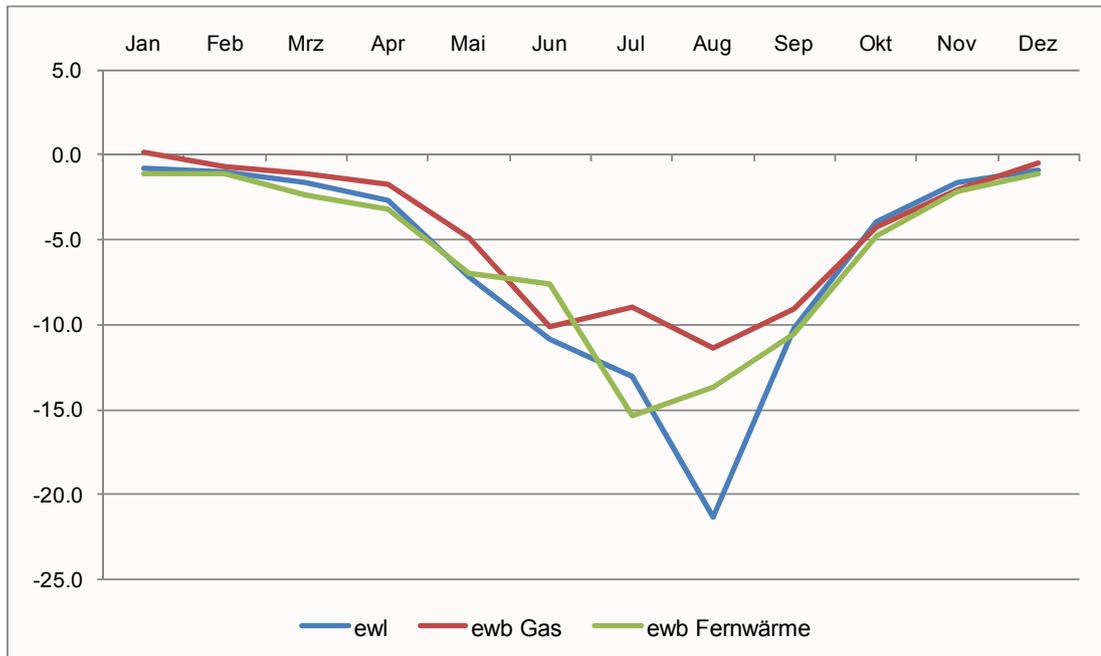
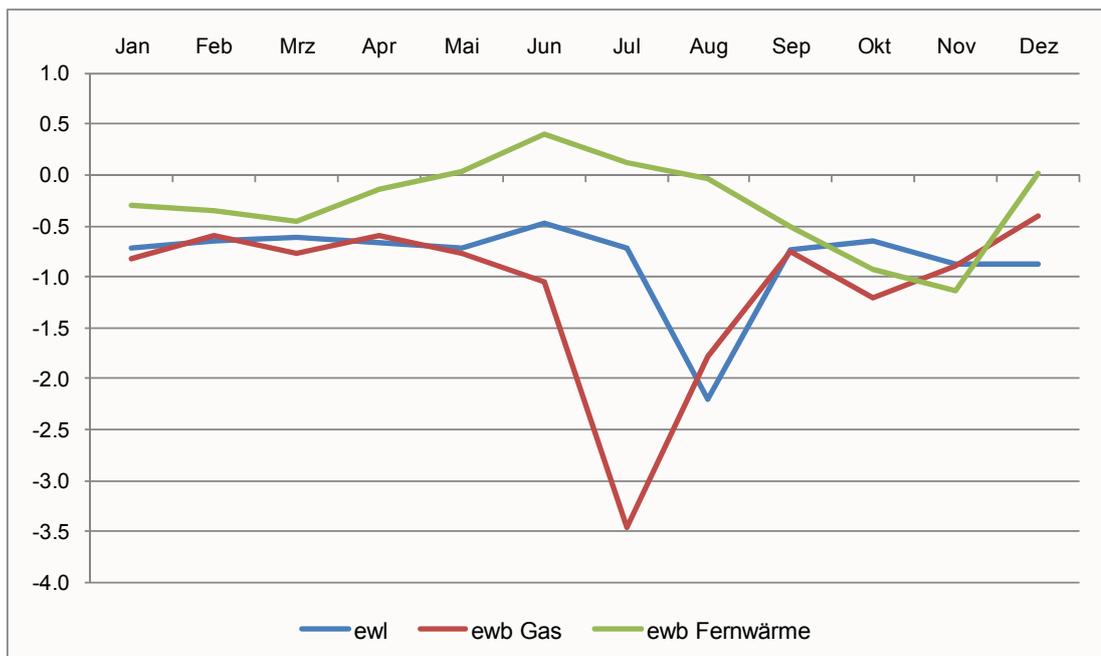


Abbildung 3.4: Die geschätzten Parameter für die Strahlung, dargestellt im Jahresverlauf, ewl- und ewb-Parameter im Vergleich

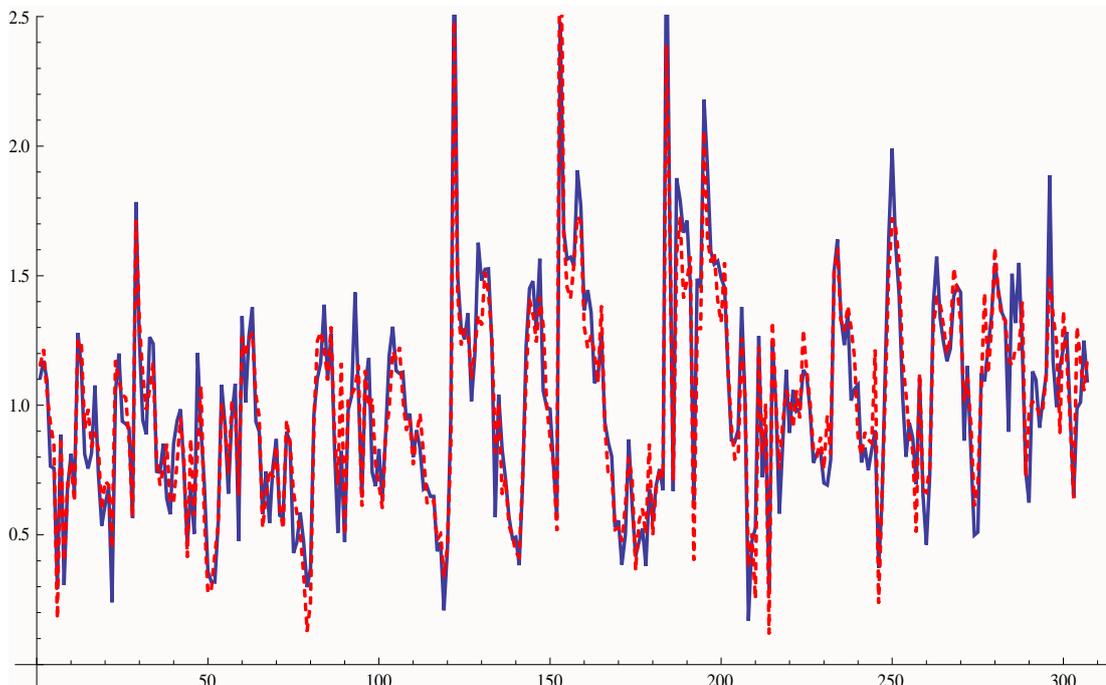


## 4 Vergleich der Witterungsbereinigungs- verfahren

### 4.1 Entwicklung von Witterungsbereinigungs- faktoren

Mit den in den Regressionsanalysen geschätzten Parametern und den entsprechenden Wetterdaten können tägliche Einspeisemengen berechnet werden. Diese lassen sich mit den gemessenen und um den Verbrauch für Warmwasser und Prozesswärme bereinigten Einspeisemengen vergleichen. In Abbildung 4.1 sind beispielsweise die um den Sockelverbrauch bereinigten effektiven Einspeisemengen ins ewl-Gasnetz an Märztagen (2000 bis 2009) und die berechneten Einspeisemengen abgebildet: Die geschätzten Werte decken sich in der Regel sehr gut mit den effektiven Werten, was aufgrund des hohen  $R^2$  zu erwarten war. In den Sommermonaten zeigen sich teilweise etwas grössere Abweichungen zwischen den effektiven und den geschätzten relativen Einspeisemengen, bei geringeren absoluten Einspeisemengen.

Abbildung 4.1: *Tägliche Einspeisung ins ewl-Gasnetz an Märztagen (2000 bis 2009): effektive Einspeisung (blau) und geschätzte Einspeisung (rot). Indexierte Werte (1= durchschnittliche Tages-Einspeisemenge im März).*



Sofern alle anderen Faktoren unverändert bleiben, sollte eine durchschnittliche Witterung einen durchschnittlichen Verbrauch, respektive eine durchschnittliche Einspeisemenge zur Folge haben. Abweichungen von der durchschnittlichen Witterung führen hingegen zu einem witterungsbedingten Mehr- oder Minderverbrauch. „Durchschnittlich“ bezieht sich dabei im Folgenden auf den Durchschnitt in der Untersuchungsperiode, also auf die Zeit vom 1.1.2000 bis zum 31.12.2009.

Werden nicht die effektiven Tageswerte der Einflussfaktoren, sondern die täglichen Abweichungen von den Durchschnittswerten mit den Regressionsparametern verknüpft, können direkt die Abweichungen vom mittleren Energieverbrauch bestimmt werden. Um den Witterungseffekt isoliert zu beschreiben, werden lediglich die Klimafaktoren, nicht aber die Anschlussleistung („Trendvariable“) berücksichtigt. Dadurch werden die witterungsbedingten Abweichungen vom durchschnittlichen Energieverbrauch berechnet.

Dieser Ansatz kann genutzt werden, um sogenannte Witterungsbereinigungsfaktoren abzuleiten. Dabei ist der Witterungsbereinigungsfaktor definiert als das Verhältnis des effektiven IST-Verbrauchs zum entsprechenden witterungsbereinigten Verbrauch. Die täglichen Bereinigungsfaktoren können zu monatlichen und jährlichen Bereinigungsfaktoren aggregiert werden.<sup>7</sup> Beispielsweise gibt der jährliche Witterungsbereinigungsfaktor an, wie stark ein Jahresverbrauch aufgrund der spezifischen Jahreswitterung vom durchschnittlichen Jahresverbrauch abweicht. Dabei entspricht der Faktor mit dem Wert 1 dem durchschnittlichen (trendbereinigten) Jahresverbrauch, der bei einer durchschnittlichen Witterung eintritt. Jährliche Bereinigungsfaktoren mit einem Wert grösser als 1 bedeuten einen witterungsbedingten Mehrverbrauch aufgrund von geringeren Temperaturen und/oder geringeren Strahlungsmengen. Entsprechend bedeuten Werte kleiner als 1 einen witterungsbedingten Minderverbrauch aufgrund von überdurchschnittlichen Temperaturen und/oder Strahlungsmengen.

Für die Aggregation der Monatsfaktoren zum Jahreskorrekturfaktor müssen Annahmen über die jährliche Heizlastverteilung getroffen werden (Abbildung 2.3). Die monatlichen Bereinigungsfaktoren werden mit dem Anteil an der Jahresheizlast gewichtet und anschliessend summiert.

In einem vereinfachten Ansatz werden die monatlichen und jährlichen Bereinigungsverfahren direkt aus den Regressionsparametern und den Abweichungen zu den Monatsdurchschnittswerten von Temperatur und Strahlung abgeleitet. Auf die Berechnung und Aggregation von Tageswerten wird verzichtet. Dadurch

---

<sup>7</sup> Für die Ableitung der monatlichen Bereinigungsfaktoren wurden analog zur Analyse der ewb-Daten diejenigen Tageswerte berücksichtigt, an denen die mittlere Tagestemperatur unter 20°C lag. Diese entsprechen den Gradtag-Tagen oder auch Heiztagen.

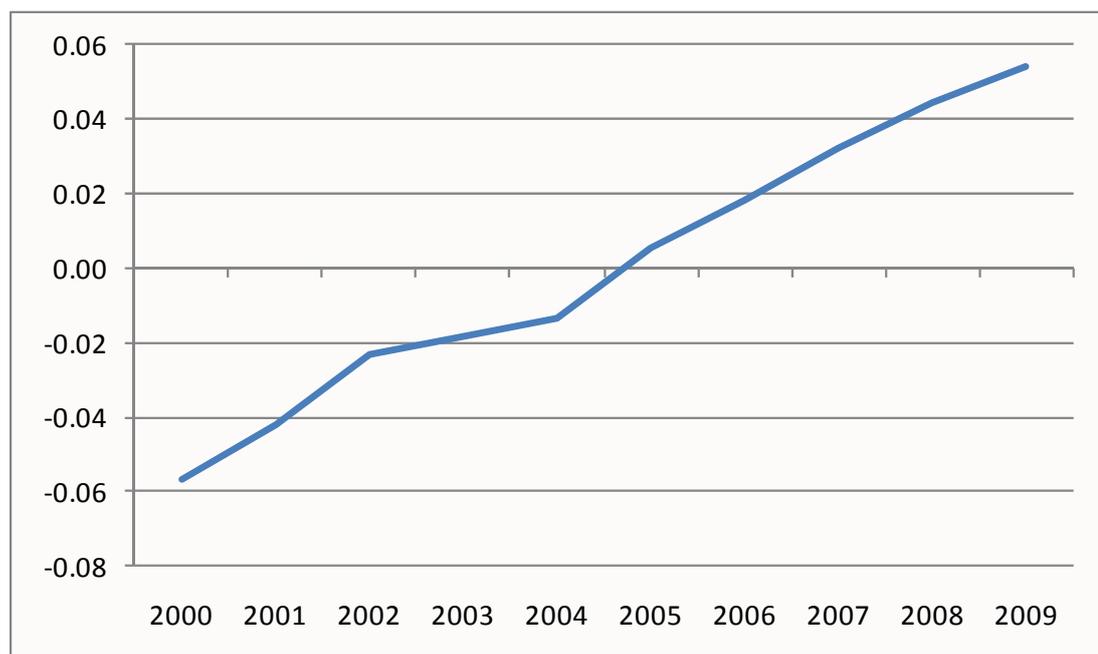
ist der Informations- und Berechnungsaufwand beim vereinfachten Ansatz auf Basis von Monatswerten deutlich geringer. Die Bereinigungsfaktoren des verkürzten Monatsansatzes unterscheiden sich aber in der Regel nicht wesentlich von den Bereinigungsfaktoren, die auf Basis der Tageswerte bestimmt werden.

Ein detaillierter Beschrieb der beiden Verfahren zur Entwicklung der Bereinigungsfaktoren auf Basis der geschätzten Regressionsparameter findet sich im Bericht zu den ewb-Daten (Prognos, 2008).

## 4.2 Vergleich der Bereinigungsfaktoren

Die Anpassungsgüte der berechneten Einspeisemengen kann durch den Vergleich mit den gemessenen und um den Verbrauch für Warmwasser und Prozesswärme bereinigten Einspeisemengen beurteilt werden. Dazu wird die gemessene IST-Einspeisung für Raumwärme ebenfalls in Indexwerte umgerechnet. Zur Beurteilung der Anpassungsgüte der Witterungsbereinigungsfaktoren muss die gemessene IST-Einspeisung für Raumwärme um die Effekte der nicht-klimatischen Faktoren bereinigt werden (Netto-Neuanschlüsse, Sanierungen usw.). Diese Effekte sind nicht bekannt. Als Approximation wird der berechnete Effekt der Anschlussleistung verwendet (Abbildung 4.2). Der Effekt verläuft nahezu linear und führt im Mittel zu einer Erhöhung der nachgefragten Gasmenge um rund 1,2 % pro Jahr.

Abbildung 4.2: geschätzter Effekt der Netto-Neuanschlüsse auf den Gasverbrauch (Anteil Raumwärme), in %



Die indexierten IST-Einspeisemengen für Raumwärme korrigiert um den Effekt der Netto-Neuanschlüsse bilden im folgenden das Referenzmass für die Beurteilung der Anpassungsgüte der Witterungsbereinigungsfaktoren. Dabei entspricht der Wert von 1 dem durchschnittlichen Verbrauch in der Referenzperiode. Die Differenz zu 1 ergibt die witterungsbedingte prozentuale Abweichung von Durchschnittsverbrauch. Die Division des IST-Verbrauchs durch den Bereinigungsfaktor ergibt den witterungsbereinigten Verbrauch.

Tabelle 4.1 bildet die effektiven indexierten Jahreseinspeisungen für Raumwärme, die korrespondierenden trendbereinigten Jahreseinspeisungen sowie die mit verschiedenen Verfahren berechneten Bereinigungsfaktoren ab. Der Indexwert 1 entspricht der durchschnittlichen jährlichen Einspeisemenge für Raumwärme im Zeitraum 2000 bis 2009.

*Tabelle 4.1: Indexierte IST-Einspeisemenge (Anteil Raumwärme) im Vergleich mit den Bereinigungsfaktoren verschiedener Ansätze*

	IST-Einspeisung - Index		Tagesbasis	Monatsbasis	Gas-Bern	FW-Bern	GT&S	HGT
	mit Trend	ohne Trend						
2000	0.863	0.921	0.947	0.947	0.953	0.944	0.946	0.969
2001	0.973	1.015	1.006	1.007	1.014	1.007	1.024	0.996
2002	0.906	0.929	0.947	0.946	0.952	0.942	0.954	0.979
2003	1.026	1.044	1.041	1.050	1.046	1.054	1.048	1.024
2004	1.029	1.043	1.018	1.018	1.018	1.020	1.031	1.018
2005	1.093	1.087	1.066	1.064	1.055	1.066	1.064	1.061
2006	1.071	1.053	1.013	1.015	1.007	1.014	1.042	0.997
2007	0.959	0.926	0.942	0.941	0.948	0.937	0.902	0.956
2008	1.057	1.012	1.014	1.013	1.018	1.018	1.009	1.020
2009	1.023	0.968	0.996	0.997	0.990	0.998	0.979	0.981
	Abweichungen ggü IST-Einspeisung							
2000			2.6%	2.6%	3.2%	2.3%	2.6%	4.8%
2001			-0.9%	-0.7%	-0.1%	-0.8%	1.0%	-1.9%
2002			1.8%	1.6%	2.2%	1.3%	2.5%	4.9%
2003			-0.3%	0.6%	0.2%	1.0%	0.4%	-2.0%
2004			-2.4%	-2.4%	-2.5%	-2.3%	-1.1%	-2.4%
2005			-2.1%	-2.3%	-3.2%	-2.1%	-2.3%	-2.6%
2006			-4.0%	-3.7%	-4.6%	-3.8%	-1.0%	-5.6%
2007			1.5%	1.4%	2.1%	1.0%	-2.4%	2.9%
2008			0.2%	0.1%	0.5%	0.6%	-0.3%	0.8%
2009			2.8%	2.9%	2.2%	3.0%	1.1%	1.2%
Mittel			1.9%	1.9%	2.1%	1.8%	1.5%	2.9%
Max			4.0%	3.7%	4.6%	3.8%	2.6%	5.6%

FW: Fernwärme

Die jährlichen Bereinigungsfaktoren, die sich aus den von den ewl-Daten abgeleiteten Parametern auf Basis von Tageswerten ergeben, weichen im Mittel um 1,9 % von der effektiven Einspeisemenge für Raumwärme ab. Die Maximale Abweichung ergibt sich mit 4,0 % im Jahr 2006. Das vereinfachte Verfahren auf Basis von Monatsmittelwerten ergibt vergleichbare Bereinigungsfaktoren. Die mittlere Abweichung beträgt auch 1,9 %. Die maximale Abweichung zeigt sich mit 3,7 % ebenfalls im Jahr 2006.

Wie bereits durch die Analyse der ewb-Daten gezeigt werden konnte, wird die Güte der Anpassung durch die Vereinfachung des Verfahrens unter Rückgriff auf Monatsmittelwerte nicht wesentlich verringert. Das monatswertbasierte Verfahren scheint sogar etwas robuster zu sein als der tageswertbasierte Ansatz.

Mit den aus den ewl-Daten abgeleiteten Bereinigungsfaktoren wird eine vergleichbare Anpassungsgüte erzielt wie bei den ewb-Gasdaten (Prognos, 2008). Die Bereinigungsfaktoren, die mit den aus den Berner Gasdaten abgeleiteten Parametern bestimmt wurden, wichen im Mittel um rund 2 % von der gemessenen jährlichen Gas-Einspeisemenge ab. Hingegen scheint die die Anpassungsgüte der gasbasierten ewl-Bereinigungsfaktoren etwas geringer zu sein als diejenige der fernwärmebasierten ewb-Bereinigungs-faktoren. Die Abweichung der fernwärmebasierten Faktoren gegenüber der gemessenen jährlichen Fernwärmeeinspeisung ins ewb-Netz betrug im Mittel lediglich rund 1,1 %.

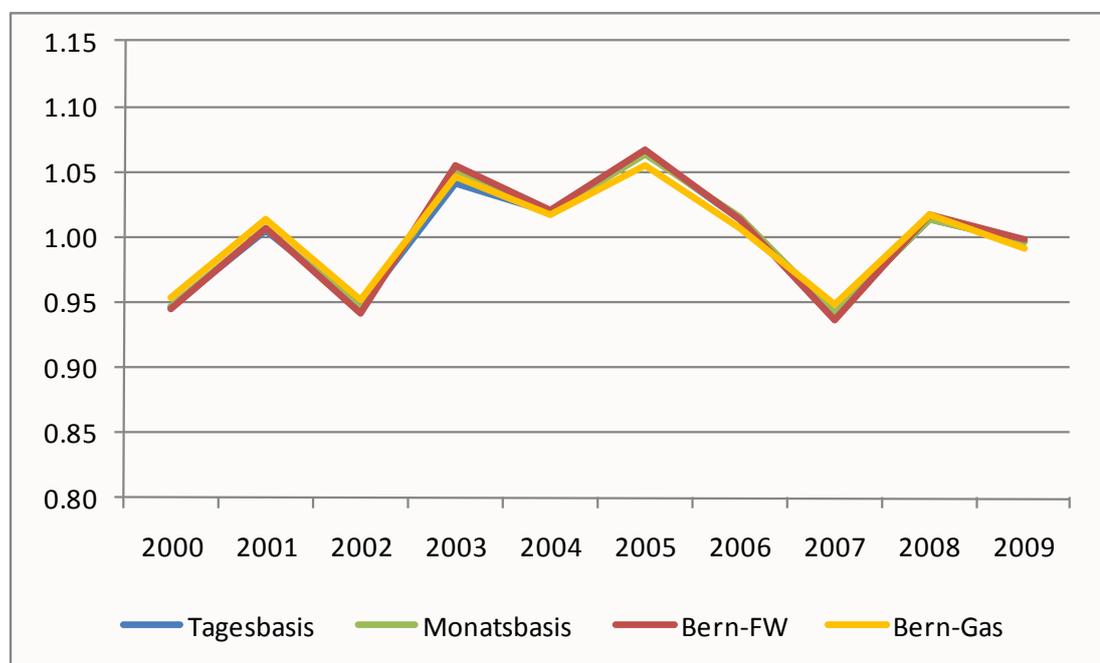
Andererseits ergeben sich aus der Verknüpfung der Luzerner Klimadaten und den Parametern, die anhand der ewb-Gas- und Fernwärmemengen geschätzt wurden, Bereinigungs-faktoren, die sich nur geringfügig von den ewl-Bereinigungs-faktoren unterscheiden (Tabelle 4.1: Spalten Gas-Bern, FW-Bern). Die relativ geringen Unterschiede zwischen den in Bern und Luzern geschätzten Parametern führen nicht zu wesentlichen Differenzen zwischen den Bereinigungs-faktoren. Die Abweichungen betragen in der Regel weniger als 1 % (Abbildung 4.3 und Tabelle 4.1). Besonders gering sind die Abweichungen zwischen den Faktoren, die aus den ewl-Gas und den ewb-Fernwärme Parametern abgeleitet sind.

Die etwas höhere Anpassungsgüte, die bei der Fernwärme beobachtet wird, dürfte auf die Qualität der Referenzgrösse zurückzuführen sein. Die Referenzgrösse, die trendbereinigte Einspeisemenge für Raumwärme, ist beim Gas mit einer grösseren Unsicherheit behaftet als bei der Fernwärme. Erstens ist der Gasverbrauch stärker durch Neuanschlüsse beeinflusst. Dabei dürfte die effektive Anschlussleistung nicht wie vereinfacht abgebildet gleichmässig über das Jahr anwachsen, sondern diskontinuierlich erfolgen. Zweitens ist beim Gas die Abtrennung des Raumwärmeanteils schwieriger. Beispielsweise werden konjunkturbedingte Produktionsschwankungen bei der Sockelbereinigung ungenügend

erfasst und führen möglicherweise zu einer Verzerrung der Referenzeinspeisemenge. Dies könnte beispielsweise im Jahr 2006, aber auch im Jahr 2009 der Fall sein. Im Jahr 2006 zeigen sich bei den parameterbasierten Faktoren die grössten Abweichungen. Obwohl die Klimafaktoren (Anzahl GT oder HGT) kaum vom Mittel der Jahre 2000 bis 2009 abweichen, weist die Referenzeinspeisung ein Wert von 1,05 auf, was einem witterungsbedingten Mehrverbrauch von 5 % entspricht.

Da bei allen Ansätzen der Mittelwert der Bereinigungs-faktoren der Jahre 2000 bis 2009 auf 1 geeicht ist, kumulieren sich die jährlichen Abweichungen gegenüber der Referenz nicht.

Abbildung 4.3: Vergleich der parameterbasierten Witterungs-bereinigungs-faktoren für die Jahre 2000 bis 2009



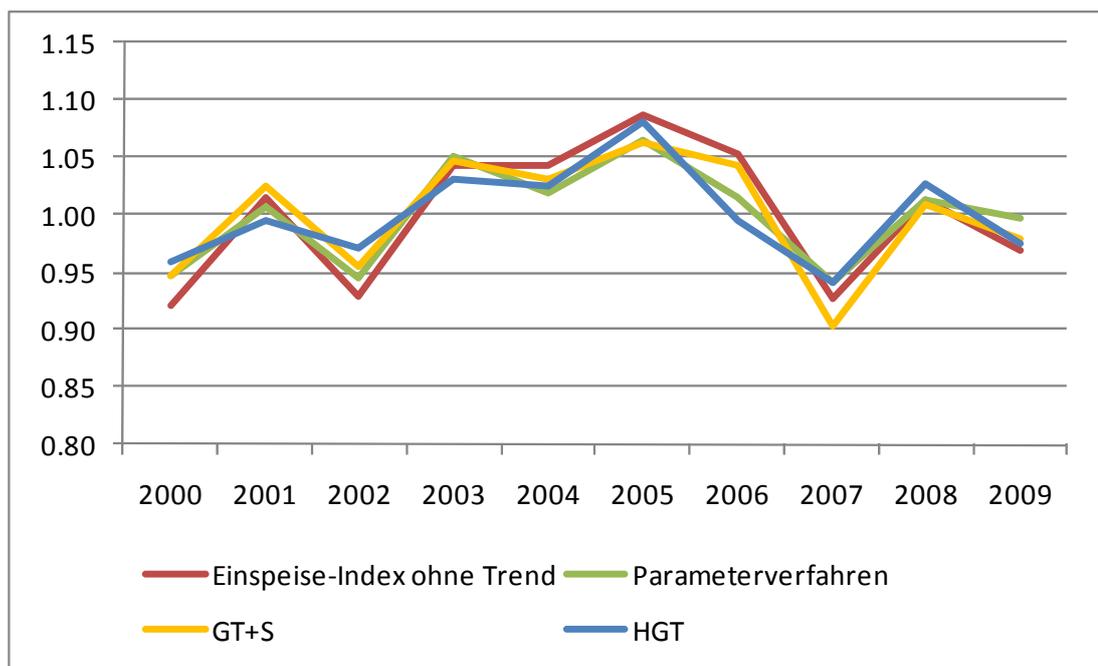
### 4.3 Vergleich mit den herkömmlichen Bereinigungs-faktoren

Damit die Faktoren der herkömmlichen Bereinigungsverfahren (HGT, GT&S) mit den Bereinigungs-faktoren der parameterbasierten Verfahren und der trendbereinigten Referenzeinspeisung für Raumwärme verglichen werden können, werden die Bereinigungs-faktoren dieser Verfahren so kalibriert, dass der Mittelwert der Bereinigungs-faktoren im Zeitraum 2000 bis 2009 dem Wert 1 ent-

spricht.<sup>8</sup> Die kalibrierten Werte entsprechen den in Tabelle 4.1 abgebildeten Werten. In Abbildung 4.4 sind die Faktoren grafisch dargestellt.

Die HGT-Faktoren zeigen eine geringere Anpassungsgüte als diejenige der parameterbasierten Verfahren. Die mittlere Abweichung beträgt annähernd 3 %. Wie bei den parameterbasierten Verfahren tritt die maximale Abweichung im Jahr 2006 auf (5,6 %). Die HGT-Faktoren scheinen die Reagibilität auf die Witterungseinflüsse tendenziell zu unterschätzen. Wird in der HGT-Formel für den Alpha-Wert anstelle der üblichen 0,75 der Wert von 1 eingesetzt, so erhöht sich die Reagibilität und die Abweichungen gegenüber der Referenz werden geringer. Die mittlere Abweichung reduziert sich auf 2,3 %, die maximale Abweichung bleibt mit 5,7 % hoch.

Abbildung 4.4: Indexierte IST-Einspeisemenge (Anteil Raumwärme und die jährliche Bereinigungs-faktoren verschiedener Verfahren im Vergleich



Die Faktoren des Verfahrens GT&S zeigen in Bezug auf die jährlichen Witterungsbereinigungs-faktoren eine hohe Anpassungsgüte. Im Mittel weichen die Faktoren lediglich um 1,5 % vom Referenzverbrauch ab. Die maximale Abweichung beläuft sich auf 2,5 % (Jahre 2000 und 2002). Damit ist die Anpassungsgüte der GT&S-Faktoren besser als jene der parameterbasierten Verfahren.

<sup>8</sup> Beim HGT-Verfahren kann dazu der Referenzzeitraum auf die Jahre 2000 bis 2009 verschoben werden. Beim GT&S-Verfahren funktioniert dies nicht. Deshalb werden die jährlichen Faktoren durch den durchschnittlichen Faktor der Jahre 2000 bis 2009 geteilt. Wird beim GT&S-Verfahren nur der Referenzzeitraum verschoben, liegen die Bereinigungs-faktoren im Mittel 1 % zu hoch.

Dies steht im Gegensatz zu den Ergebnissen der Berner Fernwärmeanalyse. Dort wiesen die Faktoren der Parameterverfahren mit einer mittleren Abweichung von 1,1 % die höhere Anpassungsgüte auf als diejenigen des GT&S-Verfahrens mit einer mittleren Abweichung von 1,8 %.

Werden anstelle der jährlichen Bereinigungs-faktoren die monatlichen Bereinigungs-faktoren verglichen, weisen hingegen die parameterbasierten Verfahren die höhere Anpassungsgüte auf. Für diesen Vergleich werden die monatlichen Faktoren als Anteil am durchschnittlichen Jahresverbrauch ausgedrückt. Die parameterbasierten monatlichen Bereinigungs-faktoren weichen gegenüber der trendbereinigten Referenzeinspeisemenge für Raumwärme im Mittel um 0,3 % des durchschnittlichen Jahresverbrauchs ab (Tabelle 4.2). Beim GT&S-Verfahren liegt die Abweichung bei rund 1 %. Auch die maximale Differenz ist bei den parameterbasierten Verfahren mit 1,5 % deutlich kleiner als beim GT&S-Verfahren mit 3,3 %.

*Tabelle 4.2: Abweichungen der monatlichen Bereinigungs-faktoren gegenüber der Referenzeinspeisung für Raumwärme; Parameterverfahren und GT&S-Verfahren im Vergleich, in Anteilen am durchschnittlichen Jahresverbrauch*

monatliche Abweichungen	Parameterverfahren		GT&S
	Tagesbasis	Monatsbasis	
kumuliert	0.358	0.372	1.175
Mittel	0.003	0.003	0.010
Maximum	0.015	0.015	0.033
Standard-Abweichung	0.003	0.003	0.007

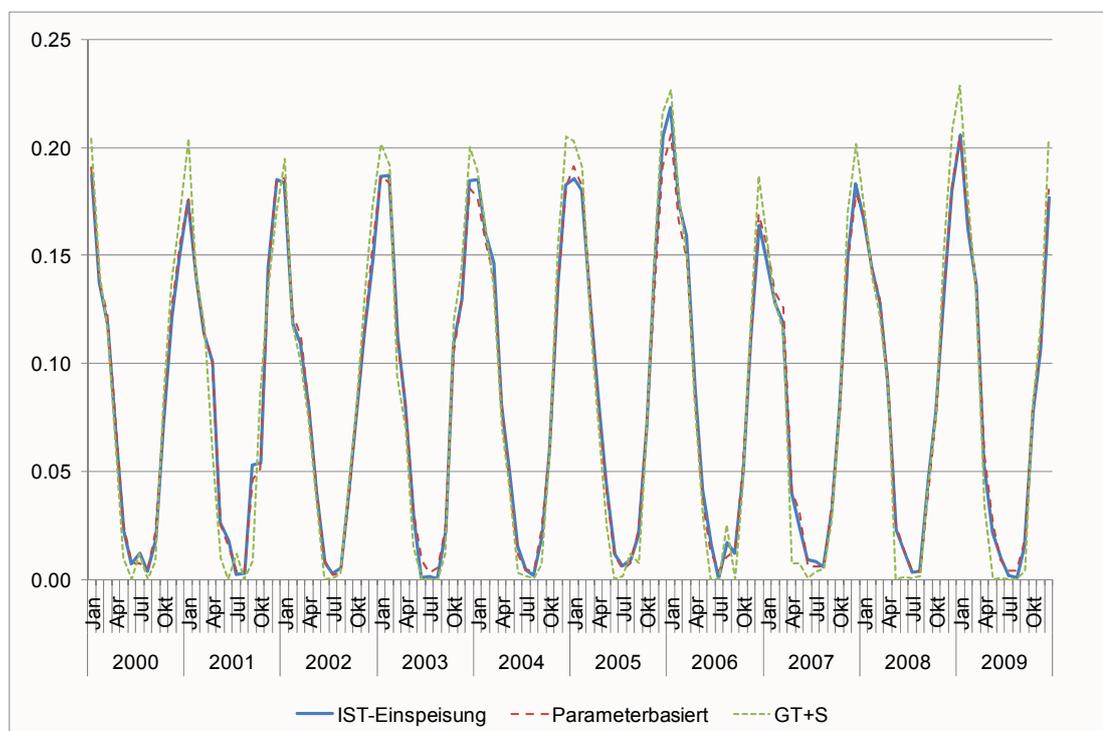
In Abbildung 4.5 sind die monatlichen Bereinigungs-faktoren grafisch aufgetragen. Das GT&S-Verfahren scheint die Verbräuche im Sommerhalbjahr tendenziell zu unterschätzen und die Spitzen im Winter zu überschätzen. Die parameterbasierten Faktoren stimmen gut mit der Referenz überein. Insbesondere klimatisch „aussergewöhnliche“ Monate scheinen durch das parameterbasierte Verfahren besser abgebildet zu werden. Beispielsweise sind die Abweichungen in den Monaten April 2007 und 2009 mit 0,01 und 0,04 deutlich geringer als im GT&S-Verfahren mit Abweichungen von 0,33 und 0,19.

Während sich beim GT&S-Verfahren die grösseren monatlichen Abweichungen (> 1 %) scheinbar zufällig über den untersuchten Zeitraum verteilen, finden sich beim parameterbasierten Verfahren alle grösseren Abweichungen innerhalb der Periode Dezember 2005 bis März 2006. In diesen vier Monaten wird der Verbrauch deutlich unterschätzt. Die schlechte Anpassung in diesen Monaten führt zudem zu einer schlechten Anpassung der Jahreskorrek-

turfaktoren 2005 und insbesondere 2006. Ursachen für die schlechte Übereinstimmung zwischen Korrekturfaktoren und Referenzwert in dieser Periode könnten eine falsch konstruierte Referenz sein, z.B. durch einen starken nicht berücksichtigten Produktionsanstieg oder eine schlechte Abbildung der Anschlussentwicklung. Da keine Angaben zur Produktion vorliegen, kann diese Hypothese nicht mit Zahlen hinterlegt werden.

Eine vollständige Übersicht über die monatlichen Bereinigungs-faktoren sowie der monatlichen Abweichungen von der Referenz für die parameterbasierten Verfahren und das GT&S-Verfahren ist im Anhang aufgeführt (Tabelle 6.1 und Tabelle 6.2).

Abbildung 4.5: *Monatliche Bereinigungs-faktoren und Index der gemessenen Einspeisung im Vergleich*



## 5 Schlussfolgerungen

Die Analyse von täglichen Einspeisemengen ins Berner Gas- und Fernwärmenetz hatte signifikante Einflüsse von Temperatur und Solarstrahlung auf den Raumwärmebedarf aufgezeigt (Prognos, 2008). Die Auswertung von täglichen Gaseinspeisemengen in Luzern bestätigen diese Ergebnisse. Die mit Regressionsanalysen geschätzten Parameter sind weitgehend signifikant und weichen betragsmässig kaum von den mit den Berner Daten geschätzten Parametern ab.

Der Erhebungsstandort und der zugrunde liegende Gebäudepark scheinen lediglich einen untergeordneten Einfluss auszuüben. Dies könnte auch daran liegen, dass die Gebäudebestände im Berner und im Luzerner Versorgungsgebiet ähnliche energetische Eigenschaften aufweisen. In wie weit sich die beiden Gebäudeparks unterscheiden, wurde in dieser Arbeit nicht untersucht.

Aufgrund der geringen Unterschiede zwischen den geschätzten Parametern, weichen auch die damit berechneten Witterungsbereinigungsfaktoren nicht wesentlich voneinander ab. So unterscheiden sich die jährlichen Bereinigungsfaktoren, die aus den ewl-Gas- und den ewb-Fernwärmedaten abgeleitet wurden, im Mittel um lediglich 0,2 %. Folglich können die berechneten Zusammenhänge zwischen Witterung und Energieverbrauch für Raumwärme als robust betrachtet werden. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die gemessenen Zusammenhänge auf die Gesamtschweiz übertragen werden könnten, zur Ableitung gesamtschweizerischer Bereinigungsfaktoren.

Die Anpassungsgüte der parameterbasierten Bereinigungsfaktoren die sich aus den ewl-Daten ergeben, liegt im Bereich der Berner Gasdaten. Die jährlichen Bereinigungsfaktoren weichen gegenüber der Referenzeinspeisung für Raumwärme im Mittel um 1,9 % ab. Die Anpassungsgüte ist damit schlechter als bei den Berner Fernwärmedaten. Dort betrug die mittlere Abweichung zur Referenzeinspeisung lediglich rund 1,1 %. Die Bestimmung der Anpassungsgüte hängt jedoch eng mit der Festlegung der Referenzeinspeisung zusammen. Diese ist beim Gas, aufgrund von produktionsbedingten Nachfrageschwankungen, 2-Stoffkunden und des Anstiegs des Anschlussvolumens, mit einer grösseren Unsicherheit verbunden als bei der Fernwärme. Die Ursache für Differenzen zwischen Bereinigungsfaktor und Referenzeinspeisung liegen deshalb nicht ausschliesslich bei der unvollständigen Anpassung durch den Bereinigungsfaktor, sondern auch bei potenziellen Fehlern bei der Referenzeinspeisemenge.

Der Vergleich zwischen den Bereinigungsfaktoren auf Basis von Tageswerten mit denjenigen auf Basis von Monatswerten bestätigt, dass die Verwendung des vereinfachten Ansatzes auf

Basis von Monatsmittelwerten ein guter Kompromiss ist zwischen Aufwand und Anpassungsgüte. Sowohl bei den monatlichen als auch bei den jährlichen Bereinigungsfaktoren ist die Anpassungsgüte gleich hoch.

In Übereinstimmung mit der Analyse der Berner Einspeisemengen, so zeigt sich auch in Luzern, dass die Heizgrenze im Bereich von 16-18°C liegt. Die Heizgrenze liegt damit deutlich über den 12°C, die im HGT-Verfahren in der Schweiz üblicherweise angewandt werden.

Das HGT-Verfahren weist unter den verglichenen Bereinigungsverfahren die schlechteste Anpassungsgüte auf. Die mittlere und die maximale Abweichung gegenüber der Referenzeinspeisung sind deutlich höher als bei den anderen Verfahren. Etwas bessere Ergebnisse lassen sich mit dem HGT-Verfahren erzielen, wenn anstelle des üblichen Alpha-Faktors von 0,75 der Wert 1 eingesetzt wird.

Im Gegensatz zum HGT-Verfahren weisen die jährlichen Bereinigungsfaktoren des GT&S-Verfahrens eine hohe Anpassungsgüte auf. Mit einer mittleren Abweichung von 1,5 % scheint diese Anpassungsgüte im Falle der ewl-Gasmengen sogar über jener der parameterbasierten Bereinigungsfaktoren zu liegen.

Werden die monatlichen Bereinigungsfaktoren betrachtet, weisen hingegen die parameterbasierten Faktoren eine bessere Anpassungsgüte auf als die Faktoren des GT&S-Verfahrens. Die GT&S-Faktoren scheinen tendenziell den Verbrauch im Winter zu überschätzen und im Sommer zu unterschätzen. Dies dürfte unter anderem mit der im GT&S-Verfahren hinterlegten Heizlastkurve zusammenhängen.

Das GT&S-Verfahren eignet sich folglich gut zur Ableitung jährlicher Bereinigungsfaktoren. Zur Bestimmung von monatlichen Faktoren, wie sie beispielsweise im Rahmen des Heizöl-Panels benötigt werden, weisen sie jedoch Schwächen auf. Einzelne Monatswerte weichen sehr deutlich von der Referenz ab. Über das gesamte Jahr betrachtet, kompensieren sich die Abweichungen weitgehend.

## 6 Anhang

### 6.1 Monatliche Bereinigungsfaktoren

In Tabelle 6.1 sind die monatlichen Bereinigungsfaktoren des parameterbasierten Verfahrens (Tageswert- und Monatswert-Ansatz) sowie diejenigen des GT&S-Verfahrens abgebildet. Die Bereinigungsfaktoren sind ausgedrückt als Anteile am durchschnittlichen Jahresverbrauch für Raumwärme in den Jahren 2000 bis 2009. Beispielsweise bedeutet ein Wert von 0.072 eine Verbrauchsmenge von 7,2 % des durchschnittlichen Jahresverbrauchs. Die Summe der monatlichen Bereinigungsfaktoren ergibt den jährlichen Bereinigungsfaktor.

In Tabelle 6.2 sind die Beträge der Abweichungen zwischen den monatlichen Bereinigungsfaktoren und der trendbereinigten Referenzeinspeisung für Raumwärme abgebildet. Die Abweichungen sind ebenfalls ausgedrückt als Anteile am durchschnittlichen Jahresverbrauch. Da es sich um Beträge handelt, kompensieren sich bei dieser Betrachtung die Abweichungen nicht.

Tabelle 6.1: *Monatliche Bereinigungsfaktoren, parameterbasierte Verfahren (Monats- und Tageswertbasis) und GT&S-Verfahren*

Monatswert	Monat	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
	2000	0.191	0.137	0.123	0.072	0.026	0.007	0.007	0.005	0.022	0.077	0.124	0.155	0.947
	2001	0.176	0.141	0.113	0.102	0.025	0.016	0.004	0.003	0.046	0.051	0.146	0.185	1.007
	2002	0.186	0.124	0.113	0.082	0.040	0.009	0.002	0.003	0.038	0.077	0.118	0.154	0.946
	2003	0.187	0.184	0.112	0.080	0.032	0.009	0.003	0.006	0.024	0.106	0.128	0.181	1.050
	2004	0.177	0.155	0.140	0.079	0.045	0.012	0.005	0.004	0.023	0.062	0.134	0.182	1.018
	2005	0.191	0.182	0.128	0.080	0.040	0.011	0.005	0.007	0.023	0.070	0.137	0.191	1.064
	2006	0.206	0.167	0.148	0.086	0.034	0.013	0.004	0.010	0.013	0.051	0.113	0.169	1.015
	2007	0.154	0.133	0.126	0.041	0.031	0.006	0.006	0.006	0.033	0.079	0.147	0.178	0.941
	2008	0.169	0.144	0.130	0.091	0.025	0.013	0.004	0.003	0.038	0.077	0.135	0.183	1.013
	2009	0.204	0.166	0.137	0.057	0.026	0.009	0.004	0.004	0.019	0.080	0.111	0.180	0.997
Tageswert	Monat	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
	2000	0.191	0.137	0.122	0.073	0.025	0.007	0.007	0.005	0.023	0.077	0.125	0.155	0.947
	2001	0.176	0.140	0.113	0.103	0.026	0.014	0.004	0.003	0.046	0.052	0.145	0.185	1.006
	2002	0.186	0.123	0.112	0.082	0.040	0.009	0.003	0.004	0.037	0.078	0.118	0.155	0.947
	2003	0.186	0.184	0.112	0.080	0.032	0.000	0.002	0.005	0.024	0.106	0.128	0.181	1.041
	2004	0.177	0.155	0.141	0.080	0.044	0.011	0.005	0.004	0.024	0.062	0.134	0.182	1.018
	2005	0.191	0.182	0.129	0.080	0.039	0.012	0.005	0.007	0.024	0.070	0.137	0.191	1.066
	2006	0.206	0.167	0.148	0.085	0.034	0.015	0.001	0.009	0.013	0.051	0.114	0.169	1.013
	2007	0.154	0.134	0.125	0.042	0.031	0.008	0.006	0.006	0.033	0.079	0.146	0.179	0.942
	2008	0.169	0.144	0.130	0.091	0.026	0.014	0.004	0.004	0.038	0.076	0.136	0.183	1.014
	2009	0.204	0.167	0.137	0.057	0.026	0.010	0.004	0.002	0.019	0.079	0.111	0.181	0.996
GT+S	Monat	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
	2000	0.204	0.141	0.117	0.061	0.010	0.000	0.012	0.000	0.008	0.086	0.137	0.169	0.946
	2001	0.185	0.138	0.109	0.107	0.005	0.006	0.000	0.000	0.062	0.041	0.167	0.205	1.024
	2002	0.194	0.119	0.100	0.075	0.034	0.000	0.001	0.003	0.044	0.079	0.133	0.172	0.954
	2003	0.202	0.192	0.094	0.070	0.016	0.000	0.000	0.000	0.012	0.120	0.143	0.200	1.048
	2004	0.189	0.162	0.136	0.070	0.042	0.003	0.002	0.000	0.007	0.062	0.152	0.205	1.031
	2005	0.203	0.191	0.116	0.073	0.024	0.000	0.001	0.012	0.007	0.066	0.154	0.216	1.064
	2006	0.226	0.179	0.148	0.083	0.028	0.000	0.000	0.025	0.000	0.043	0.122	0.187	1.042
	2007	0.156	0.128	0.115	0.007	0.007	0.001	0.003	0.005	0.027	0.082	0.169	0.202	0.902
	2008	0.174	0.140	0.123	0.089	0.000	0.001	0.000	0.002	0.042	0.077	0.152	0.208	1.009
	2009	0.229	0.173	0.134	0.034	0.000	0.001	0.000	0.000	0.004	0.079	0.120	0.204	0.979

Tabelle 6.2: Abweichungen der monatliche Bereinigungs-faktoren vom Index der Referenzeinspeisung, parameterbasierte Verfahren (Monats- und Tageswertbasis) und GT&S-Verfahren

Monatswert	Monat	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr kum.
Abweichung	2000	0.003	0.000	0.005	0.000	0.003	0.000	0.005	0.001	0.003	0.005	0.003	0.006	0.036
Betrag	2001	0.001	0.002	0.001	0.002	0.002	0.002	0.001	0.000	0.006	0.003	0.001	0.000	0.021
	2002	0.002	0.005	0.003	0.003	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.002	0.003	0.006	0.030
	2003	0.000	0.003	0.001	0.002	0.004	0.008	0.002	0.005	0.001	0.003	0.002	0.004	0.035
	2004	0.008	0.005	0.006	0.001	0.004	0.004	0.000	0.002	0.003	0.002	0.003	0.001	0.039
	2005	0.006	0.001	0.001	0.002	0.005	0.000	0.001	0.002	0.003	0.002	0.007	0.015	0.045
	2006	0.013	0.007	0.011	0.003	0.007	0.004	0.004	0.007	0.001	0.001	0.003	0.005	0.065
	2007	0.007	0.006	0.007	0.000	0.008	0.003	0.002	0.000	0.000	0.000	0.004	0.005	0.042
	2008	0.003	0.001	0.003	0.001	0.003	0.000	0.001	0.000	0.008	0.001	0.001	0.004	0.026
	2009	0.002	0.004	0.001	0.004	0.004	0.000	0.002	0.003	0.003	0.002	0.005	0.004	0.033
													Summe	0.372
Tageswert	Monat	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr kum.
Abweichung	2000	0.004	0.000	0.004	0.000	0.003	0.000	0.006	0.001	0.004	0.005	0.003	0.006	0.038
Betrag	2001	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.003	0.001	0.000	0.007	0.003	0.001	0.001	0.022
	2002	0.003	0.005	0.003	0.003	0.002	0.001	0.000	0.001	0.002	0.001	0.004	0.006	0.029
	2003	0.001	0.003	0.001	0.002	0.004	0.000	0.001	0.005	0.002	0.003	0.001	0.004	0.025
	2004	0.008	0.006	0.005	0.001	0.004	0.004	0.000	0.002	0.004	0.002	0.003	0.001	0.041
	2005	0.005	0.001	0.002	0.002	0.005	0.000	0.001	0.002	0.003	0.001	0.007	0.015	0.045
	2006	0.012	0.007	0.010	0.004	0.007	0.001	0.000	0.008	0.001	0.001	0.003	0.005	0.061
	2007	0.006	0.006	0.006	0.001	0.008	0.001	0.002	0.000	0.001	0.000	0.004	0.005	0.040
	2008	0.003	0.001	0.002	0.001	0.003	0.000	0.001	0.000	0.008	0.002	0.001	0.004	0.027
	2009	0.001	0.004	0.001	0.004	0.004	0.000	0.002	0.001	0.003	0.001	0.005	0.004	0.030
													Summe	0.358
GT+S	Monat	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr kum.
Abweichung	2000	0.017	0.004	0.001	0.011	0.013	0.007	0.000	0.004	0.010	0.015	0.016	0.020	0.116
Betrag	2001	0.009	0.000	0.005	0.006	0.022	0.012	0.002	0.003	0.009	0.013	0.023	0.020	0.124
	2002	0.011	0.000	0.010	0.005	0.007	0.008	0.002	0.003	0.005	0.001	0.019	0.024	0.094
	2003	0.015	0.005	0.019	0.012	0.013	0.001	0.001	0.000	0.011	0.012	0.013	0.015	0.117
	2004	0.004	0.001	0.010	0.010	0.006	0.012	0.003	0.001	0.013	0.002	0.015	0.022	0.100
	2005	0.018	0.010	0.011	0.008	0.020	0.012	0.005	0.003	0.013	0.005	0.009	0.011	0.125
	2006	0.008	0.005	0.011	0.006	0.013	0.016	0.000	0.008	0.012	0.007	0.012	0.023	0.121
	2007	0.009	0.001	0.004	0.033	0.016	0.008	0.005	0.001	0.006	0.002	0.018	0.019	0.123
	2008	0.008	0.005	0.005	0.003	0.023	0.013	0.003	0.002	0.004	0.000	0.018	0.029	0.113
	2009	0.023	0.011	0.002	0.019	0.022	0.009	0.002	0.001	0.012	0.001	0.014	0.027	0.142
													Summe	1.175

## 6.2 Glossar

### Autokorrelation

In der Regressionsanalyse werden die Residuen als Folge von unabhängig und identisch verteilten Zufallsvariablen interpretiert. Damit die Regressionsanalyse belastbare Ergebnisse liefert, müssen diese den Erwartungswert Null und gleiche Varianzen haben. Und sie müssen unkorreliert, wenn nicht gar unabhängig sein. Sind die Residuen jedoch zeitlich korreliert, spricht man von Autokorrelation.

### Heteroskedastizität

Heteroskedastizität bedeutet in der Statistik eine unterschiedliche Streuung der Residuen innerhalb einer Datenmessung. Haben die Residuen alle die gleiche Varianz, liegt Homoskedastizität vor. Wenn die Residuen allerdings nicht die gleiche Varianz aufweisen, führt die OLS Methode nicht zu effizienten Schätzwerten für die Regressionskoeffizienten. Dies bedeutet, dass diese Schätzwerte nicht die kleinstmögliche Varianz aufweisen und ausserdem ist dann eine naive Anwendung des t-Testes nicht möglich und die t-Werte sind nicht mehr brauchbar.

### Klima

Der für eine Region typische jährliche Ablauf der Witterung. Kann detailliert beschrieben werden durch Monatskurven von Temperatur und anderen Wetterparametern, die sich aus Wetterstatistiken vieler Jahre bis Jahrzehnte ergeben.

### OLS – „Ordinary Least Squares“

Die Methode der kleinsten quadratischen Abweichungen ist das mathematische Standardverfahren zur Ausgleichsrechnung. Es ist eine Wolke aus Datenpunkten gegeben, in die eine möglichst genau passende, parameterabhängige Modellkurve gelegt werden soll. Dazu bestimmt man die Parameter dieser Kurve numerisch, indem die Summe der quadratischen Abweichungen der Kurve von den beobachteten Punkten minimiert wird.

### Multikollinearität

Multikollinearität ist ein Problem der Regressionsanalyse und liegt vor, wenn zwei erklärende Variablen eine sehr starke Korrelation miteinander haben; die Regressoren sind damit inkonsistent. Aufgrund der Tatsache, dass empirische Daten immer einen gewissen Grad an Multikollinearität aufweisen, wurden statistische Tests entwickelt, die Hinweise auf Multikollinearität liefern, einen eindeutigen Richtwert gibt es jedoch nicht.

### $R^2$

Das Bestimmtheitsmass  $R^2$  ist ein Mass für den Anteil der erklärten Varianz eines Zusammenhangs. Beträgt es für zwei Variablen X und Y beispielsweise  $R^2 = 0.5$ , dann heisst dies, dass die Hälfte (50%) der Streuung von Y durch die erklärende Variable X erklärt werden kann.

### Prais-Winston

Verfahren zur Elimination von Autokorrelation 1. Grades, bei welchem durch eine Transformation der Variablen die Autokorrelation in den Residuen eliminiert wird und dadurch belastbare Standardfehler erzeugt werden.

### Residuen (Fehlerterme)

Residuen werden durch Subtrahieren der Modellschätzungen von den eigentlichen Daten berechnet. Die Residuen definieren den Anteil der Variabilität, der durch ein gegebenes Modell nicht erklärt werden kann.

### Signifikanzniveau $\alpha$

Das Signifikanzniveau  $\alpha$  gibt die Wahrscheinlichkeit an, mit der die Nullhypothese, dass ein spezifischer Parameter den Wert Null besitzt, fälschlicherweise verworfen wird (Fehler 1. Art). Beispielsweise bedeutet das Signifikanzniveau  $\alpha = 5\%$ , dass wir in Kauf nehmen, die Nullhypothese zu verwerfen, obwohl diese mit einer Wahrscheinlichkeit von 5% zutrifft.

### Wetter

Das Wetter charakterisiert den Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort und zu einem bestimmten Zeitpunkt (in dieser Arbeit erstreckt sich der Zeitpunkt auf einen Tag).

### Witterung

Das Wetter an einem Ort über einen Zeitraum von mehreren Tagen oder Wochen betrachtet.

### Zeitreihe

Eine Zeitreihe besteht aus mehreren Werten, die chronologisch angeordnet sind.

## 7 Literatur

Müller, E.A., Gartner, R., Meyer-Hunziker, B. (1995). Klimanormierung Gebäudemodell Schweiz. Bundesamt für Energiewirtschaft, Arbeitsgruppe Energieperspektiven; Schlussbericht.

Prognos (2008). Temperatur- und Strahlungsabhängigkeit des Energieverbrauchs im Wärmemarkt. Empirische Analyse von Einspeisemengen leitungsgebundener Energieträger. P. Hofer, A. Kemmler, Prognos AG Basel in Zusammenarbeit mit J. Schwarz, Schwarz & Partners. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie BFE, Bern.

Prognos (2009). Charakterisierung von Gebäudeparks im ewb – Versorgungsgebiet. Fernwärme- und gasversorgte Wohngebäude. Im Auftrag des BFE, Bern

Wolfram Mathematica (2010). Help Manual: Variance Inflation.