

Anpassung der Lastprofilen nach deutschen Normen für die Auslegung Mini-BHKW in Kasachstan

Dr.-Ing. Nassipkul Dyussebekova, Satpayev University, Almaty, Kasachstan, nassipkuldyussebekova@gmail.com

Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat, TU Braunschweig, Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen, Deutschland, m.kurrat@tu-bs.de

M.Sc. Perizat Madi, Karagandy State Technical University, Kasachstan, peri@mail.ru

M.Sc. Saulesh Minazhova PhD-Student of Satpayev University, Kasachstan, nursanay@mail.ru

Kurzfassung

Diese Arbeit betrachtet theoretisch die Zusammenhänge bei der Integration von Mini-BHKW in Niederspannungsnetze anhand von Beispielen aus Deutschland und Kasachstan. Die Integration der Mini-BHKW wird gemäß wärmegeführter Betriebsweise vorgenommen. Die weitergehenden Betrachtungen bedürfen thermischer Lastprofile von Mehrfamilienhäusern und elektrischer Lastprofile der Niederspannungsnetze. Die thermischen Lastprofile für Mehrfamilienhäuser werden gemäß der VDI 4655-Norm ermittelt. Zur Verwendung der Lastprofile nach VDI 4655-Norm für Mehrfamilienhäuser aus Kasachstan werden Klimadaten von unterschiedlichen Orten Kasachstans mit deutschen Klimadaten verglichen. Als Netzlastprofile werden standardisierte Lastprofile (VDEW-Standardlastprofile) für beide Netze verwendet. Für eine einheitliche Betrachtung der Lastprofile werden die gemessenen Netzlastprofile aus dem kasachischen Netz und gemessene Daten aus dem deutschen Netz mit den standardisierten Lastprofilen verglichen.

Dieser Artikel wird im Rahmen des von der Weltbank geförderten Projekts "Ressourcenschonung, erneuerbare Energien und Gasnutzung" vorgestellt, das auf die Projektanforderungen verweist unten <http://www.fpip.kz/index.php/en/grantovye-programmy-3/konsortsiyemy-en>.

Abstract

This paper presents an investigation of the interrelationships of integration of micro CHP (combined heat and power) units in low voltage networks in Germany and in Kazakhstan. The electrical and thermal load profiles are determined using VDI 4655 for apartment blocks and standardized load profiles (former VDEW load profiles) for the whole network. Afterwards measured load profiles from Kazakhstan and Germany are compared with the standardized load profiles. Climate data from different places in Kazakhstan are compared with the German climate data in order to use the load profile for apartment blocks in Kazakhstan according to the VDI 4655.

This article is presented for the creation of a data bank within the project "Resource Saving, Renewable Energy and Gas Utilization", funded by the World Bank, the project "<http://www.fpip.kz/index.php/en/grantovye-programmy-3/konsortsiyemy-en>

1. Einleitung

Die gesamte Energieversorgung, sowohl auf technischer als auch auf energiewirtschaftlicher Ebene, wird auch in der Zukunft großen Veränderungen unterworfen sein. So ist ein zunehmender Einsatz dezentraler Erzeuger in allen Leistungsbereichen und Spannungsebenen zu erwarten. Durch die Energieerzeugung in Blockheizkraftwerken kleiner Leistung wird die Nutzung noch nicht erschlossener KWK-Potenziale, insbesondere im Bereich der Hausenergieversorgung, angestrebt. Neben größeren KWK-Einheiten gelten kleine KWK-Anlagen (Mini-BHKW) in der Hausenergieversorgung im Leistungsbereich bis 5 kW elektrisch zu betrachten.

Mini-BHKW erzeugen gleichzeitig thermische Energie und elektrische Energie zur Versorgung eines MFH. Die Integration der Mini-BHKW wird gemäß wärmegeführter Betriebsweise vorgenommen. So überschüssige elektrische Energie wird in das Netz

eingespeist. Für die intelligente Steuerung des BHKW werden elektrische und thermische Lastprofile sowie Lastprofile für Trinkwarmwasser benötigt.

Zur Feststellung der Veränderungen der Lastprofile bei der Integration dezentraler Erzeuger werden Lastflussberechnungen mit einem Netzberechnungsprogramm durchgeführt.

Als Eingangsdaten für die Simulation eines Niederspannungsnetzes werden folgende Angaben benötigt:

- Technische Daten: Trafo- und Leitungsdaten, Länge der Kabel und Freileitungen
- Verbraucher- und Netzdaten: Jahresenergiebedarf und zeitlicher Verlauf elektrischer Leistung, Gleichzeitigkeitsfaktor nach der Anzahl der einzelnen Verbraucher im Netz, Feststellung der Verbraucherarten und Spitzenleistung nach den Verbraucherarten
- Klima- und Gebäudedaten: Temperatur, Bewölkungsgrad und Ort, Nutzungsart (EFH/MFH) und

Anzahl der Wohneinheiten, Fläche und Baujahr

- Thermische Lastprofile: Jahres- und Tagesbedarf einzelner Verbraucher.
- Elektrische und thermische Lastprofile der Verbraucher für untersuchte Siedlungen in Deutschland und Kasachstan werden in diesem Beitrag betrachtet.

2. Elektrischer und thermischer Bedarf

2.1. Elektrische Lastprofile

Die angeschlossenen Verbraucher unterscheiden sich nach dem elektrischen Bedarf. Für eine zuverlässige Versorgung mit elektrischer Energie sind für Netzbetreiber die zeitlichen Verläufe (Lastprofile) des elektrischen Bedarfs von großer Wichtigkeit.

2.1.1. Standardisierte Lastprofile

Die standardisierten Lastprofile sind von der BTU Cottbus im Auftrag des VDEW entwickelt worden und basieren auf Lastgangdaten von insgesamt 1209 Einzelkunden. Davon entfallen 332 auf Haushalte, 260 auf landwirtschaftliche Betriebe und die übrigen auf den gewerblichen Bedarf.[1] Ausgehend von diesem Datenmaterial werden 11 normierte Standardlastprofile entwickelt, die sich wie folgt unterteilen:

H0: Haushalte

L0-L2: Landwirtschaftsbetriebe

G0-G6: Gewerbebetriebe.

Die einzelnen Lastprofile untergliedern sich in Profile für die Jahreszonen Winter, Sommer und Übergangszeit. Die Grenzen der Jahreszonen sind dabei in der Tabelle 1 definiert.

Jahreszone	Typtage	Zeitraum
Winter	Werktag	1. November bis 20. März
	Samstag	
	Sonntag	
Sommer	Werktag	15. Mai bis 14. September
	Samstag	
	Sonntag	
Übergangszeit	Werktag	21. März bis 14. Mai und
	Samstag	15. September bis 31. Oktober
	Sonntag	

Tabelle 1: Typtage und Grenze der Jahreszone nach VDEW

Gesetzliche Feiertage werden hierbei wie Sonntage behandelt. Dem 24. und 31. Dezember eines Jahres wird jeweils das Samstagsprofil zugeordnet, sofern diese nicht auf einen Sonntag fallen. Auf eine wei-

tergehende Unterteilung der Werktage wird verzichtet, da anhand der ausgewerteten Daten ein relativ einheitlicher Verlauf für die einzelnen Wochentage festgestellt werden kann.[2] Für jedes Tagesprofil sind die mittleren Leistungswerte in Watt in einem 15-Minuten-Intervall angegeben, woraus insgesamt 96 Tageswerte resultieren. Die einzelnen Profile sind dabei auf einen jährlichen elektrischen Verbrauch von 1000 kWh normiert und müssen mithilfe des tatsächlichen Verbrauchs skaliert werden. Bild 1 zeigt das Haushaltsstandardlastprofil für die Jahreszone Winter.

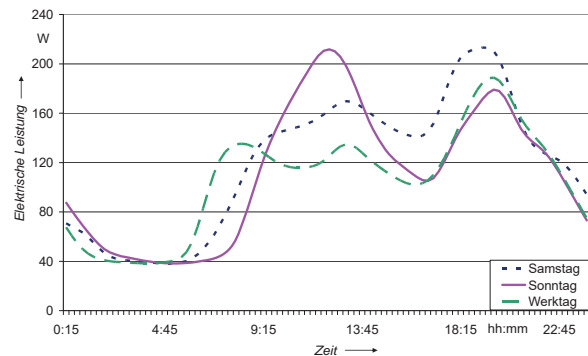


Bild 1: Standardisierte Lastprofile H0 für die Jahreszone Winter normiert auf 1000 kWh/Jahr.

2.1.2. Ermittlung der elektrischen Lastprofile

Nach dem Abzug dieser elektrischen Leistung werden die gemessenen Daten aus Kasachstan mit den standardisierten Lastprofilen in folgendem **Bild 2** verglichen, danach wird eine Korrelationsanalyse durchgeführt.

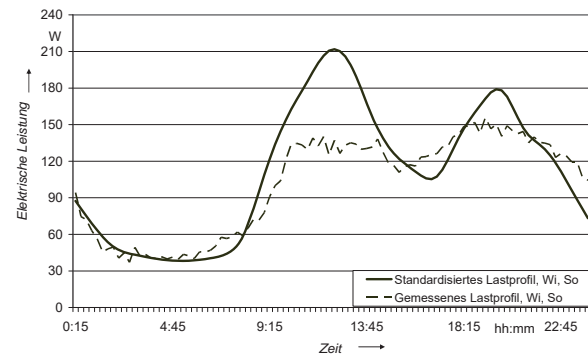


Bild 2: Gemessene Daten aus Kasachstan nach Abzug der elektrischen Heizung und standardisierten Lastprofile am Wintertagssonntag, normiert auf 1000 kWh

Bei einer Korrelationsanalyse zwischen den gemessenen Daten von einem Niederspannungsnetz in Kasachstan und den standardisierten Lastprofilen werden die in Tabelle 2 dargestellten Ergebnisse gewonnen.

Wochentag	Korrelationskoeffizient
-----------	-------------------------

Werktag	0,75
Samstag	0,92
Sonntag	0,90

Tabelle 2: Korrelation zwischen den gemessenen Daten aus Kasachstan und den standardisierten Lastprofilen an Wintertagen

Nach Bewertung der Korrelationskoeffizienten zeigen sich eine starke Übereinstimmung an Samstagen und Sonntagen und eine mittlere Übereinstimmung an Winter-Werktagen. Dies ist durch den höheren elektrischen Verbrauch zur Mittagszeit begründet. Für einheitliche Untersuchungen der deutschen und kasachischen Niederspannungsnetze werden nach den guten Ergebnissen der Korrelationsanalyse an Samstagen und Sonntagen, die standardisierten Lastprofile auch für das untersuchte kasachische ländliche Netz weiter verwendet.

2.2. Thermische Lastprofile

Aufgrund der fehlenden thermischen Lastprofile werden die benötigten Lastprofile anhand der VDI 4655-Norm für die kasachischen Verbraucher angepasst. Deshalb erfolgen eine Untersuchung und ein Vergleich der Klimadaten anhand von Temperatur und Bewölkungsgrad in beiden Ländern. Dabei werden die Anzahl der Winter-, Übergangszeit- und Sommertage durch die Temperatur bestimmt. Alle Tage eines Testreferenzjahres entsprechen nach VDI 4655-Norm der Aufteilung in heitere und bewölkte Tage.

2.2.1. Lastprofile nach der Richtlinie VDI 4655-Norm [3]

Die Richtlinie basiert auf Messungen des Strom- und Heizwärmebedarfs sowie des Wärmebedarfs zur Trinkwassererwärmung in fünf Einfamilienhäusern (EFH) und drei Mehrfamilienhäusern (MFH) über einen Zeitraum von 12 bis 24 Monaten. Die Daten werden für die EFH minutengenau ermittelt, für die MFH werden 15-Minuten-Mittelwerte erfasst. Dabei ist hervorzuheben, dass die gemessenen Daten lediglich normiert und kumuliert werden, jedoch keine Mittelung oder weitergehende Modifizierung der Daten vorgenommen wird. Demgemäß findet keine Glättung der Lastdaten statt und die für Einzelobjekte typischen Bedarfsspitzen bleiben in den Lastprofilen erhalten. Für die Betrachtung der thermischen und elektrischen Lastprofile einer Siedlung gibt es keine Möglichkeiten die durch VDI 4655-Norm ermittelten Lastprofile der einzelnen Häuser weiter zu verwenden. Der Anwendungsbereich der Richtlinie ist definiert auf Haushalte mit maximal 12 Personen für EFH bzw. MFH mit maximal 40 Wohneinheiten. Die Richtlinie unterscheidet zehn Typtage nach drei Kriterien: Jahreszeit, Wochentag und Bewölkung. Es

findet keine kalendarische Unterstützung für den Sommer, Winter und Übergangszeit, sondern die Auswahl richtet sich nach den Tagestemperaturen. Die Temperaturgrenzen sind dabei wie folgt festgelegt:

Tagestemperatur, T_m	Jahreszeit
$< 5 \text{ }^\circ\text{C}$	Winter
$5 \text{ }^\circ\text{C} \leq T_m \leq 15 \text{ }^\circ\text{C}$	Übergangszeit
$> 15 \text{ }^\circ\text{C}$	Sommer

Tabelle 3: Temperaturgrenzen

Die Unterscheidung nach Wochentagen erfolgt zwischen Werktagen und Sonntagen, wobei alle gesetzlichen Feiertage ebenfalls als Sonntage behandelt werden. Im Gegensatz zu den standardisierten Lastprofilen findet eine separate Betrachtung von Samstagen nicht statt. Bei der Bewölkung differenziert die Richtlinie zwischen heiteren und bewölkten Tagen. Dies geschieht anhand des Bewölkungsgrades B nach folgender Unterscheidung:

Bewölkungsgrad	Beschreibung
$< 5/8$	Heiter
$\geq 5/8$	Bewölkt

Tabelle 4: Bewölkungsgrad

Aufgrund des geringen Einflusses der Bewölkung auf den Verbrauch im Sommer wird diese Unterscheidung jedoch nur für die Jahreszeiten Winter und Übergangszeit vorgenommen. Es resultieren zehn Typtage, für die jeweils ein repräsentativer Tag aus den Messdaten ausgewählt und als normiertes Referenzlastprofil für EFH und MFH zur Verfügung gestellt wird.

	Werktag (W)		Sonntag (S)	
	Heiter (H)	Bewölkt (B)	Heiter (H)	Bewölkt (B)
Übergangszeit (Ü)	ÜWH	ÜWB	ÜSH	ÜSB
Sommer (S)	SWX		SSX	
Winter (W)	WWH	WWB	WSH	WSB

Tabelle 5: Typtage nach VDI 4655-Norm nach Außentemperatur und Bewölkungsgrad

In jedem Referenzlastprofil sind dabei der elektrische Energiebedarf, der Heizwärmebedarf sowie der Bedarf an Trinkwarmwasser über den Tagesverlauf angegeben. Bei den Profilen handelt es sich also um Bedarfsverläufe und nicht um Lastprofile im Sinne von Zeitreihen von Leistungswerten. Eine Umrechnung in Leistungswerte kann jedoch durch Division der einzelnen Verbrauchswerte durch die jeweilige Länge des Messintervalls in Stunden vorgenommen werden.

Die Skalierung der Profile wird jeweils über den Tagesenergiebedarf der drei Energieformen Strom, Heizwärme und Trinkwarmwasser anhand von drei Referenzlastprofilen vorgenommen. **Bild 3** zeigt den

skalierten Tagesgang eines MFH für den Typtag ÜWB.

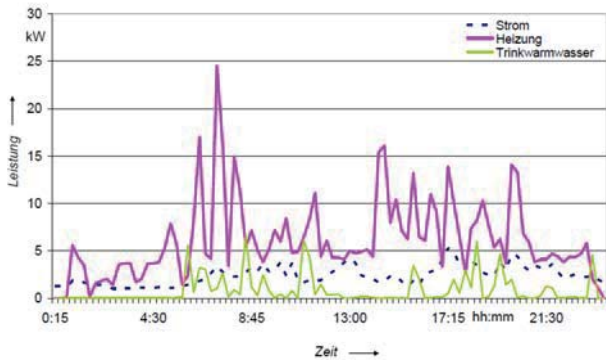


Bild 3: Skaliertes Referenzlastprofil für ein MFH mit 7 Wohneinheiten am Typtag ÜWB nach VDI 4655-Norm im 15-Minuten-Intervall [2]

Die Richtlinie bietet weiterhin die Möglichkeit anhand weniger Kenndaten eines Objektes eine Abschätzung des Jahresenergiebedarfs für alle drei Energieformen vorzunehmen, und darauf aufbauend Tagesenergiebedarfe zur Skalierung der einzelnen Typtagesprofile zu ermitteln. Dazu werden die folgenden Kenndaten benötigt:

Gebäudetyp (EFH, MFH)

Wohnfläche in m²

Anzahl der Personen / Anzahl der Wohneinheiten

Standort in Deutschland

Dazu ist eine Zuordnung des Gebäudestandorts zu einer von 15 Klimazonen in Deutschland gemäß des Deutschen Wetterdienstes (DWD) notwendig. Die Zuordnung kann mithilfe der Tabelle 3 der Richtlinie, in der sämtliche deutsche Großstädte mit über 100.000 Einwohnern sowie deren zugehörige Klimazonen vermerkt sind, erfolgen.

2.2.2. Vergleich der Klimadaten

Das Klima in Kasachstan ist kontinental, mit kalten Wintern und heißen Sommern. Kasachstan hat drei Klimazonen, wie in **Tabelle 6** dargestellt.

Klimazone	Erklärung
4b - Gemäßigte Zone	- Warme und heiße Sommer - Kalte Winter mit Schnee (Kontinental)
5 - Steppe der gemäßigten Zone	- Wie Zone 4b nur weniger Regen
6 - Wüste der gemäßigten Zone	- Über das ganze Jahr trocken - Heiße Sommer und kalte Winter

Tabelle 6: Klimazonen in Kasachstan

Es wurde zwei Orte aus Kasachstan mit den unterschiedlichen Orten Deutschlands verglichen. Die ländliche Siedlung befindet sich in Südkasachstan (Almaty) in Klimazone 4b und andere Siedlung ist in Zentral Kasachstan (Karagandy) in Klimazone 5. Das bedeutet, dass das Klima sehr kontinental ist,

aber mit noch kälterem Winter und weniger Regen als in Südkasachstan. Die durchschnittlichen, über einen Zeitraum von 10 Jahren (1995 bis 2005) aufgezeichneten, Tagestemperaturen werden im **Bild 2** dargestellt. Die betrachteten Regionen sind die Städte Braunschweig aus Deutschland, Karagandy und Almaty-Gebiet aus Kasachstan.

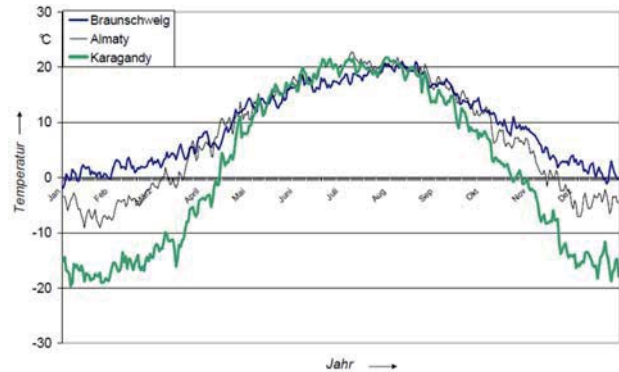


Bild 4: Durchschnittliche Tagestemperatur in den Gebieten der untersuchten Netze [4]

Wie man im Bild 2 erkennt, ist der Temperaturunterschied zwischen den Orten Braunschweig und Karagandy groß. Deshalb wird für weitere Untersuchungen das ländliche Netz des Almaty-Gebietes ausgewählt, da das ländliche Netz für Verbesserung elektrischer Energieversorgung interessant ist. Da auch für dieses Gebiet der Vergleich mit Braunschweig noch einige Abweichungen zeigt, wird die durchschnittliche Temperatur des Almaty-Gebietes mit anderen, ähnlichen Klimazonen Deutschlands verglichen. Nach VDI 4655-Norm gibt es 15 Klimazonen in Deutschland. Näherungsweise passt die Klimazone 11, die durch den Ort Fichtelberg in Sachsen repräsentiert wird. Die durchschnittlichen Tagestemperaturen werden im **Bild 5** dargestellt.

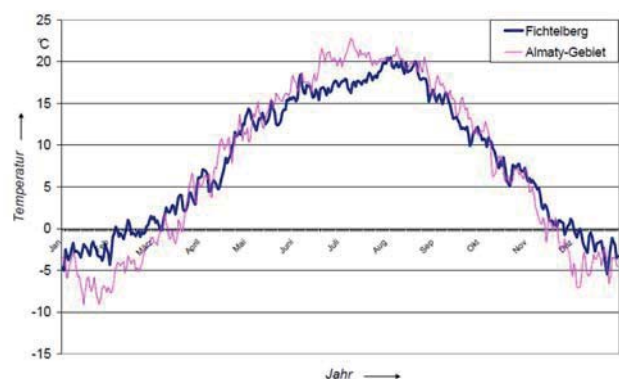


Bild 5: Durchschnittliche Tagestemperatur im Almaty-Gebiet und in Fichtelberg [4]

Untersuchte Orte	Durchschnittliche Temperatur (°C)
Almaty	9,7
Fichtelberg	8,6
Braunschweig	7,7
Karagandy	1,9

Tabelle 7: Vergleich der durchschnittlichen Temperaturdaten

In **Tabelle 8** wird die durchschnittliche Jahrestemperatur der untersuchten Gebiete zusammengestellt.

	Almaty		Fichtelberg (TRY11)	
	Anzahl der Tagen	Durchschnittliche Temperatur (°C)	Anzahl der Tagen	Durchschnittliche Temperatur (°C)
ÜWH	38	10,1	40	11,4
ÜWB	35	9,2	93	8,4
ÜSH	7	8,9	10	9
ÜSB	6	7	17	8,7
SWX	106	20,2	6	20
SSX	19	19,8	0	14,8
WWH	130	-3	20	-3,1
WWB	4	-2,5	143	-2,4
WSH	4	-10	5	1,8
WSB	16	0,01	31	-2,3

Tabelle 8: Vergleich der Klimadaten in Almaty und Fichtelberg nach VDI 4655

Tabelle 8 zeigt einen detaillierten Vergleich der Klimadaten von Almaty mit Fichtelberg. Es wird deutlich, dass es in Almaty mehr heitere Tage gibt, als in Fichtelberg.

3. Zusammenfassung

Die Untersuchung der elektrischen und thermischen Bedarfe wird unter Berücksichtigung der Verbrauchergruppen durchgeführt. Die elektrischen Verbrauchergruppen in beiden Netzen werden als teilweise angenommen. Als Spitzenleistung für eine Wohneinheit im untersuchten städtischen Netz in Deutschland werden 8 kW und für das untersuchte ländliche Netz in Kasachstan 6 kW vorausgesetzt. Nach positiver Korrelationsanalyse der gemessenen elektrischen Lastprofile der untersuchten deutschen und kasachischen Netze mit standardisierten Lastprofilen werden Letztere als alternative elektrische Netzlastprofile weiter verwendet.

Durch Vergleiche der durchschnittlichen Tagestemperaturen mit Tagestemperaturen jedes untersuchten Jahres werden die Testreferenzjahre 2003 für

Deutschland und 1997 für Kasachstan ermittelt. Für die gemeinsame Betrachtung standardisierter Lastprofile der elektrischen Bedarfe der Siedlung und thermischen Bedarfe der Häuser nach VDI 4655-Norm wird ein Testreferenzjahr verwendet. Der Korrelationskoeffizient von durchschnittlichen Tagestemperaturen des Almaty-Gebiets und Fichtelberg beträgt für diese Jahre näherungsweise 0,95. Die Bewölkungsgrade in Deutschland sind höher als in Kasachstan, was sich in der Anzahl der bewölkten und heiteren Tage widerspiegelt. Das ländliche Netz aus dem Almaty-Gebiet in Südkasachstan wird als Testreferenzzone 11 nach VDI 4655-Norm betrachtet. Für weiterführende Untersuchungen ist die Verwendung gemessener elektrischer und thermischer Daten der Verbraucher zu empfehlen. [5]

Literatur:

- [1] B.Schieferdecker, H.Meier, C.Fünfgeld, F.Adam: Repräsentative VDEW Lastprofile, VDEW Materialien M-28/99, Frankfurt a. M. 1999
- [2] Bund der Energieverbraucher e.V. (BDE), online abgerufen unter www.energieverbraucher.de, undatiert
- [3] Verein Deutscher Ingenieure, Richtlinie VDI 4655, Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Einsatz von KWK-Anlagen, Düsseldorf 2007
- [4] NASA: Surface Meteorology and Solar Energy, im Internet abrufbar: <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse>. (Stand: August 2009)
- [5] N. Dyussebekova: Integration von Mini-BHKW in die Niederspannungsnetze von Deutschland und Kasachstan, Cuvilier, 2009