

## METHODEN ZUM EINSATZ DISKRETER, WEB-BASIERTER WETTERPROGNOSEN IN GEBÄUDETECHNIK UND LASTMANAGEMENT

Axel Seerig, Carina Sagerschnig, Florian Stift  
 arsenal research, Giefinggasse 2, A-1210 Wien

### KURZFASSUNG

Prognosegeführte Regelungen verwenden zumeist kostenpflichtige stündliche Wetterprognosen eines nationalen meteorologischen Dienstes für den jeweiligen Standort. Mit Hilfe der prognostizierten Werte werden unter Verwendung geeigneter Modelle die jeweils benötigten Lastgänge vorausberechnet und weiterverarbeitet.

Das Internet hingegen bietet die Möglichkeit, von vielen Anbietern kostenfrei Wetterprognosen für beliebige Standorte zu erhalten. Gewöhnlich sind diese Prognosen zumindest für die maximale und minimale Außentemperatur für 5 bis max. 9 Tage im Voraus verfügbar. Für die meisten Anwendungen in der Gebäude- und Energietechnik werden jedoch Werte in stündlicher bzw. ¼-stündlicher Auflösung benötigt.

Gegenstand dieses Aufsatzes ist die Beschreibung eines Verfahrens zur Erstellung von zeitlich beliebig aufgelösten Wetterdaten auf Basis von frei verfügbaren Wetterprognosen aus dem Internet. Als Beispiele für den Einsatz der darauf basierenden prognosegeführten Regelung werden die Beladung eines Eisspeichers sowie die Lastprognose eines Gebäudes bzw. einer Liegenschaft besprochen.

### ABSTRACT

Usually, commercially used hourly weather forecasts of national weather institutes are implemented for predictive control strategies. Energy demand and energy loads are calculated by utilizing adequate models with predicted air temperatures.

However, on the internet, numerous providers offer freely available weather forecasts. Mostly forecasts of maximum and minimum outside air temperatures are available for five to nine days in advance. Many applications in building services do however require hourly or quarter-hourly data.

This paper describes a method for generating weather data of any resolution for freely available weather forecasts issued by online services. Ice storage and load prediction of a building are cited as examples of predictive control strategies using web-based weather forecasts.

### INTERNET-DATENAKQUISITION

Das Internet bietet die Möglichkeit von vielen Anbietern kostenfrei Wetterprognosen für zahlreiche Standorte zu erhalten. Daten von Online-Wetterseiten sind tagesaktuell und ohne Zeitverzögerung durch Verhandlungen mit meteorologischen Diensten verfügbar und für viele Anwendungen in der Gebäudetechnik hinreichend genau.

Die Datenakquisition (Abbildung 1) erfolgt mittels automatisierter Internet-Query-Abfrage, die zeitlich skalierbar auf eine Wetterhomepage zugreift. Diese Form der Standard-Webabfrage eignet sich zur Erfassung von Daten aus Tabellen und Texten. Wettervorhersagen, die in eine Grafik oder Flash-Applikation eingebunden sind, werden mit dieser Methode nicht erfasst.

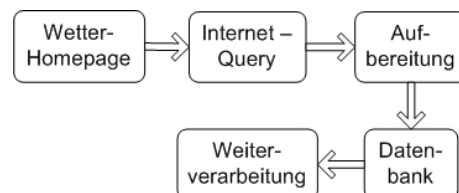


Abbildung 1: Datenakquisition

Die importierten Daten werden in einem Spreadsheet-Programm aufbereitet und stehen für die Weiterverwendung in Form von sortierten Datenreihen zur Verfügung.

Gewöhnlich sind diese Prognosen zumindest für die maximale und minimale Außentemperatur für 5 bis max. 9 Tage im Voraus verfügbar.

Um tägliche Wetterprognosen aus dem Internet für eine prognosegeführte Regelung verwenden zu können, muss aus den prognostizierten Tagesminima bzw. Tagesmaxima ein stündlicher Tagestemperaturverlauf generiert werden.

Für diese Studie wurden beispielhaft Wettervorhersagen des Anbieters <http://de.weather.com> verwendet.

## WETTERDATENGENERIERUNG

### Spline-Interpolation

Eine einfache Methode zum Ausrollen der diskreten Prognosewerte aus dem Internet zu einem stündlichen Temperaturverlauf ist die Spline-Interpolation.

Spline-Kurven sind Funktionen, die sich stückweise aus Polynomen zusammensetzen und durch gegebene Punkte verlaufen. Splines, deren Teilstücke durch Polynomfunktionen 3. Ordnung beschrieben werden, nennt man kubische Splines. Die Gesamtkurve ist glatt, an jeder Stelle zweimal stetig differenzierbar und weist eine minimale Gesamtkrümmung auf.

Bei der Wetterdatenerstellung mit Hilfe von kubischen Splines sind die Tagesminima bzw. -maxima jene Fixpunkte im Koordinatensystem, die durch die Spline-Kurve verbunden werden.

Diese Methode ist standortunabhängig und rasch durchführbar. Ein modellbedingter Nachteil liegt jedoch darin, dass Spline-Interpolationen zu Überschwingen neigen. Die Minima und Maxima der Temperaturverläufe bestimmen vielfach jedoch auch Minimal- und Maximalleistungen.

### Zeitfaktor-Methode

Das Überschwingen der Spline-Interpolation kann durch Verwendung einer synthetischen, an die Sinusfunktion angelehnten Kurve vermieden werden. Diese Methode, auch Zeitfaktor-Methode, basiert auf der qualitativen Nachbildung eines typischen Tages-temperaturverlaufs eines Standorts.

Zur Bestimmung eines mittleren Zeitfaktors werden stündliche Messwerte verwendet. Aus dem Median der Außentemperaturen wird für jede Stunde der Zeitfaktor berechnet. Die errechneten Zeitfaktoren beschreiben den qualitativen Verlauf der Tagestemperatur eines Jahres. Der Zeitpunkt an dem das tägliche Maximum bzw. Minimum auftritt, ist im verwendeten Fall für das gesamte Jahr konstant.

Der Zeitfaktor  $f$  bestimmt das Verhältnis von momentaner Temperatur zur größten Temperaturspreizung des Tages.

$$\text{Zeitfaktor } f: f = \frac{t - t_{\min}}{t_{\max} - t_{\min}} \quad (1)$$

Der Zeitfaktor ist abhängig vom Tagestemperaturverlauf.

Für  $t_{\min}$  gilt  $f = 0$ , für  $t_{\max}$  gilt  $f = 1$ .

Bestimmt man die Zeitfaktoren eines mittleren Tagestemperaturverlaufs für einen Standort, kann aus den Extremtemperaturen eines Tages ein stündlicher

Temperaturverlauf berechnet werden. Die Temperatur zum Zeitpunkt  $i$  ergibt sich demnach aus dem zeitabhängigen Faktor  $f$ , der Steigung der Tagestemperaturkurve und dem Tagesminimum:

Temperatur zum Zeitpunkt  $i$ :

$$t_i = f_i \cdot (t_{\max} - t_{\min}) + t_{\min} \quad (2)$$

Abbildung 2 zeigt die Zeitfaktoren, die aus dem stündlichen Median der Außentemperatur für Wien berechnet wurden. Die Funktionen der Zeitfaktoren wurden geglättet. Das Temperaturminimum tritt um 04:30 Uhr, das Temperaturmaximum täglich um 13:30 Uhr auf.

Die Zeitpunkte der Extremwerte weichen saisonbedingt um ca. eine Stunde von der mittleren Jahreskurve ab. In der weiteren Betrachtung werden für jeden Tag des Jahres die gleichen Zeitfaktoren verwendet.

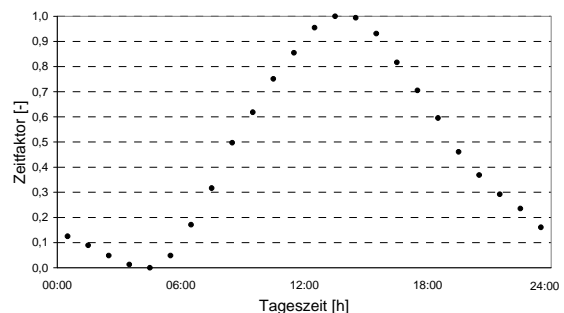


Abbildung 2: Zeitfaktoren (Außentemperatur Wien)

Abbildung 3 vergleicht die angewandten Methoden zur Inter- bzw. Extrapolation der stündlichen Wetterdaten. Sowohl die Spline-Interpolation als auch die Zeitfaktor-Methode können modellbedingt Änderungen im qualitativen Tagesverlauf nicht berücksichtigen. Da pro Tag jedoch nur zwei Extremwerte gegeben sind, eignen sie sich für diese Art der Wetterdatenerstellung. In dieser Studie wird die Zeitfaktor-Methode bevorzugt, da mit dieser das störende Überschwingen nicht auftritt.

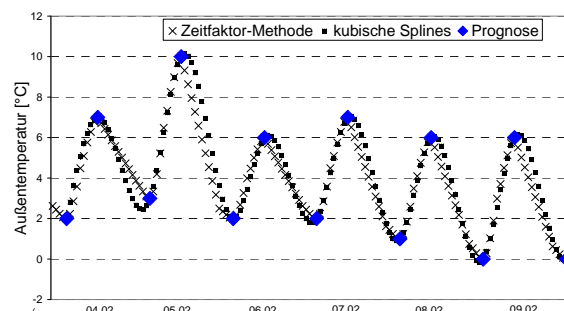


Abbildung 3: Vergleich der Inter- bzw. Extrapolationsmethoden

## LASTPROGNOSE

Noch vor der Gebäudetechnik war die Energiewirtschaft auf zeitbezogene Wetterprognosen angewiesen, um die regionale wetterabhängige Energieabnahme der Kunden präzise prognostizieren zu können. Die energiewirtschaftlichen Methoden und Verfahren zur Erstellung und Optimierung der wetterabhängigen täglichen Lastprognose können gleichfalls im Lastmanagement von Liegenschaften bzw. Gebäuden eingesetzt werden. Voraussetzung ist eine zeitlich aufgelöste Wetterprognose.

Das Vorgehen: Zunächst wird aus den temperaturabhängigen Leistungsmesswerten durch Regressionsanalyse eine Prognosefunktion generiert. Für beheizte und gekühlte Bürogebäude eignet sich hierzu gut die hyperbolische Tangensfunktion (Abbildung 4), (Seerig, 1999):

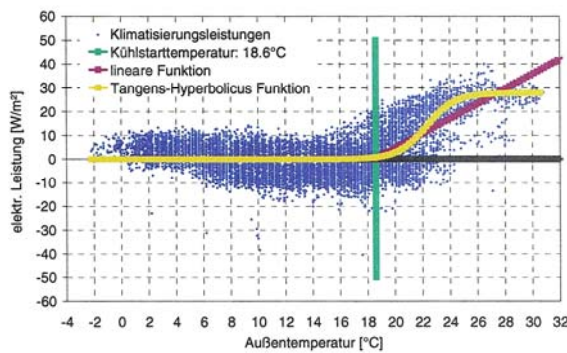


Abbildung 4: Prognosefunktion

Die Parameter der Funktion wurden dabei so eingeführt, dass sie das physikalische Gesamtlastverhalten des Gebäudes interpretierbar widerspiegeln:

$$P_{\text{elektr}} = P_{\text{min}} + \frac{(P_{\text{max}} - P_{\text{min}}) \cdot [\tanh(a \cdot t + k) + 1]}{2} \quad (3)$$

$P_{\text{max}}$ ,  $P_{\text{min}}$ : maximale und minimale Anlagenleistungen;  $a$ : Anstieg der Kurve als Indikator für die Kühlgeschwindigkeit;  $k/a$ : Außentemperatur im Wendepunkt der Kurve als Prozessmerkmal.

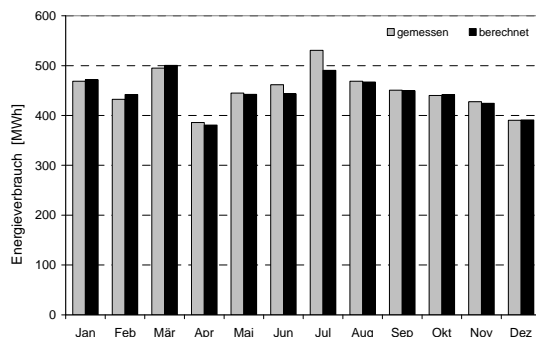


Abbildung 5: Vergleich Messung / Lastprognose

Mittels dieser Funktion kann unter Zuhilfenahme von prognostizierten Wetterdaten und einer zeitabhängigen Grundlastkurve das Leistungsverhalten des

Gebäudes gut vorausgesagt werden (Abbildung 5). Auf dieser Grundlage können technische Maßnahmen (Lastmanagement) bzw. organisatorische Maßnahmen (Energieeinkauf) getroffen werden.

## EISSPEICHER

Grundlage für die Dimensionierung einer aus Kältemaschine und Eisspeicher bestehenden Verbundanlage ist die Kenntnis des zeitlichen Verlaufs des Kältebedarfs des Gebäudes über eine bestimmte Zykluszeit. Die übliche Auslegung erfolgt dann über die energetische Bilanzierung von Lade- und Entladephase (Abbildung 6).

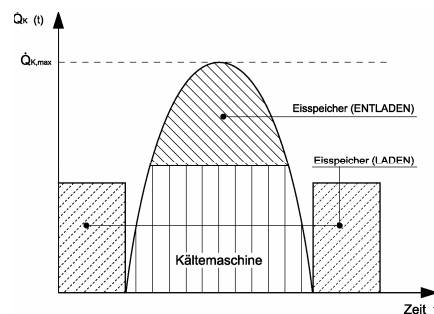


Abbildung 6: Be- und Entladezyklus des Eisspeichers

Der Lastverlauf des Gebäudes kann dabei über eine dynamische Simulation oder aber mittels der zuvor dargestellten Prognosefunktion vorausgesagt werden – beides auf der Grundlage von stündlich aufgelösten Wetterprognosen.

Aus dem Ergebnis können der optimale Zeitpunkt und der optimale zeitliche Verlauf der Beladung des Eisspeichers abgeleitet werden.

## ZUSAMMENFASSUNG

Kostenfrei verfügbare Online-Wetterprognosen können in hinreichender Genauigkeit für die meisten prognosegeführte Regelungen eingesetzt werden. Sie sind im Handling flexibel und nahezu überall verfügbar. Die Datenakquisition erfolgt mittels einer automatisierten Webabfrage über eine Datenbank.

Mittels des vorgestellten Verfahrens können aus den Minima und Maxima der Temperaturvorhersagen zeitlich beliebig aufgelöste Wetterdaten generiert werden. Für die zuvor vorgestellten Anwendungen Eisspeicher (Gebäudetechnik) und Lastprognose (Energietechnik) weisen die so generierten synthetischen Wetterdaten in Kombination mit den eingesetzten physikalischen Modellen der Weiterverarbeitung eine sehr gute Genauigkeit auf.

## LITERATUR

- Seerig A., 1999. Last- und Verbrauchsverhalten der Warenhäuser der KARSTADT Warenhaus AG
- The Weather Channel, 2007. 9-Tages-Vorhersage, <http://de.weather.com>