

# Das Passivhaus im Klimawandel: erwartete Änderungen der Heiz- und Kühllasten

Jan Remund<sup>1</sup> und Günther Gantioler<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Meteotest, Fabrikstrasse 14, CH-3012 Bern, [jan.remund@meteotest.ch](mailto:jan.remund@meteotest.ch)

<sup>2</sup>TBZ GmbH, Pfarrhofstrasse 60a, I-39100 Bozen, [guenther.gantioler@tbz.bz](mailto:guenther.gantioler@tbz.bz)

## 1 Einleitung

Gebäude haben in Europa eine Lebensdauer von rund 50 - 100 Jahren. In dieser Zeitspanne wird sich das Klima gemäss heutigem Wissen auf Grund des vom Menschen verursachten Klimawandels in Europa deutlich ändern ([Meehl et al., 2007], [Schiermeier, 2010]). In dieser Untersuchung gehen wir der Frage nach, wie stark sich die klimatischen Bedingungen in verschiedenen Teilen von Europa in Zukunft ändern werden und was die Auswirkungen auf Passivhäuser sind.

## 2 Methode

Die Klimadaten werden mit Hilfe der Meteonorm Version 7 ([www.meteonorm.com](http://www.meteonorm.com)) für 10 verschiedene Standorte (Stockholm, London, Paris, Sevilla, Bern, Berlin, München, Wien, Rom und Athen) für die 5 Zeitperioden resp. -Punkte 1961-90, 2000 – 2009, 2030, 2060 und 2090 im PHPP-Format berechnet. Als Grundlage für die Analyse der zukünftigen Entwicklung dienten die publizierten Daten des 4. Arbeitsberichts des IPCC ([www.ipcc-data.org](http://www.ipcc-data.org)) [Meehl et al., 2007]. Die drei Szenarien B1 (tief, global 2°C Erhöhung zwischen 1961-90 und 2100), A1B (mittel, 3°C Erhöhung) und A2 (hoch, 3.5°C Erhöhung) wurden verwendet. Aus allen verfügbaren Modellen wurde ein Mittel der Anomalien berechnet (räumliche Auflösung: 1 Grad). Folgende Zeitschritte wurden analysiert: 2011-46, 2046-65 und 2080-99. Die in dieser Untersuchung verwendeten Zeitpunkte 2030, 60 und 90 wurden mit Hilfe der Modelldaten linear interpoliert. Neben den Monatsmitteln wurden auch die zukünftigen Standardabweichungen von Monat zu Monat variiert. Aus Untersuchungen vom EU-Projekt prudence (<http://prudence.dmi.dk/>) geht hervor, dass in Zukunft die Wintervariabilität um rund 20% abnimmt und die Sommervariabilität um 20% zunehmen wird.

Meteonorm berechnet aus den Klimawerten ein typisches Wetterjahr, aus welchem die PHPP-Wetterdaten abgeleitet werden. Es werden jeweils ein Standardjahr und eine „worst case“ Variante mit 10-Jahrestiefstwerten im Winter und 10-Jahreshöchstwerten im Sommer generiert. Die Lastwerte werden mittels linearer Regression korrigiert [Remund J., 2009], wobei die Unsicherheit der Lastwerte bei 1 – 2°C liegt. Die mit Meteonorm generierten Daten sind nach Erfahrung des PHI für viele Standorte plausibel aber im Allgemeinen mit gewisser Vorsicht anzuwenden, da ein Fehlerpotential besteht.

Insgesamt werden 220 Varianten berechnet. Grundsätzlich wurden die Heizlasten mit einer Gebäudezeitkonstante von 4 Tagen und die Kühllasten mit einer Gebäudezeitkonstante von 2 Tagen berechnet. Zu Testzwecken wurden aber auch Heiz-Gebäudezeitkonstanten von 2 und 6 Tagen sowie Kühl-Gebäudezeitkonstanten von 1 und 3 Tagen verwendet. Bei den Klimaparametern wurden insbesondere die Heizlast (Minimaltemperatur,  $T_{min}$ ), die Kühllast (Maximaltemperatur,  $T_{max}$ ) und die Heizgradstunden (HGS) und Kühlgradstunden (KGS) untersucht.

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Gebäude wurden mittels Simulation eines Standardhauses (Abb. 1) untersucht. Das Haus wird im Passivhaus-Standard (PH) und im Niedrigenergiehaus-Standard simuliert (NEH), die für den Standort Bozen (IT) erreicht werden. Das Haus wird aber nicht an die verschiedenen Klimazonen angepasst. Folgende Parameter wurden untersucht: PHPP Energiekennwert Heizwärme, PHPP Heizlast, PHPP Energiekennwert Nutzkälte, PHPP Übertemperaturhäufigkeit und PHPP Kühllast.



Abbildung 1: Verwendetes Standardhaus für die Simulation an den 10 Standorten.

### 3 Resultate

In der Folge werden zuerst die Klimadaten und danach die Resultate der Gebäudesimulation analysiert.

#### Klimadaten

Je nach Szenario unterscheiden sich die Resultate beträchtlich (Abb. 2). Beim Szenario B1 ( $2^{\circ}\text{C}$  Erwärmungsziel) sind die Änderungen relativ klein, bei den Szenarien A1B und A2 deutlich grösser. Die grössten Änderungen werden zwischen 2030 und 2090 (und später) erwartet. Erstaunlicherweise zeigen die Modelle – an den meisten Orten - zwischen der aktuellen Periode (2000 – 09) und 2030 eine leichte Abnahme. Der Grund dafür ist höchstwahrscheinlich, dass die an den meisten Orten in Europa beobachtete starke Temperaturzunahme zwischen 1961 – 90 und 2000 – 2009 viel höher ausfiel als von den Modellen vorhergesehen. Ob die Temperaturentwicklung in den nächsten 20 Jahren leicht rückläufig ist, ist deshalb zumindest fraglich.

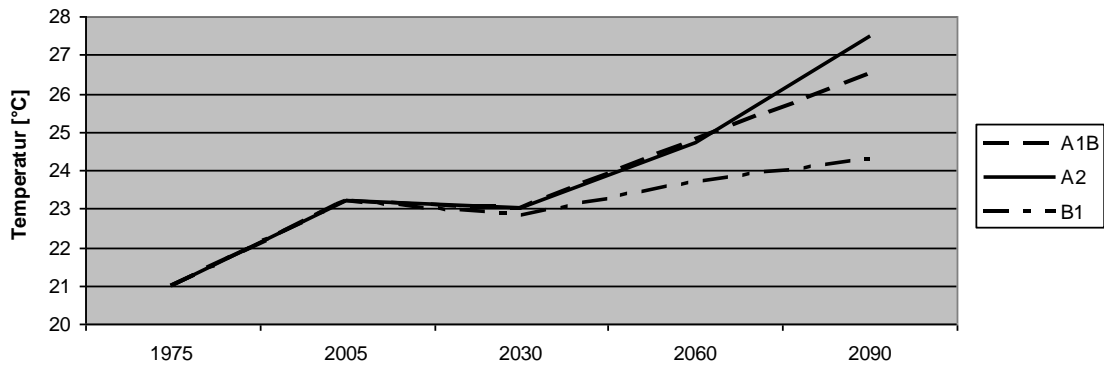


Abbildung 2: Entwicklung der Heizlasten (2-Tagesmittel) in Bern (mittleres Jahr)

Die Maximaltemperatur erhöht sich deutlich stärker als die Minimal- und Mitteltemperaturen. Bezüglich der Hitzelasten wird mit dem Szenario A2 Bern Ende des 21. Jahrhunderts die Werte von Rom für die Periode 1961 – 90 erreichen (Abb. 3, Tabellen 1 und 2). Bei den Heizlasten bleibt der Unterschied aber gross (Abb. 4). Dieser Effekt wird auch an anderen Orten verzeichnet: Stark generalisiert verschieben sich die Klimawerte um rund 1000 km gegen Süden.

Neben generellen Änderungen zeigen sich aber auch regionale Unterschiede: während in Stockholm vor allem die Tiefstwerte stark ansteigen steigen in Athen und Paris vor allem die Maximalwerte.

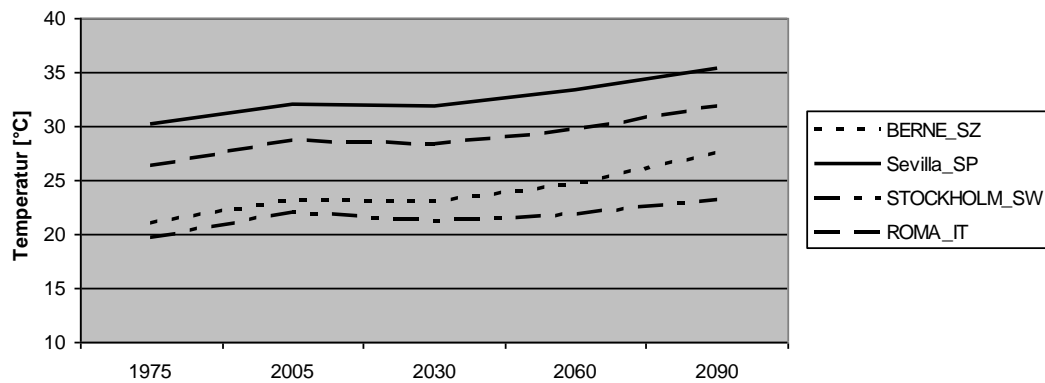


Abbildung 3: Maximaltemperatur (2-Tagesmittel) von 1975 – 2090 mit dem Szenario A2.

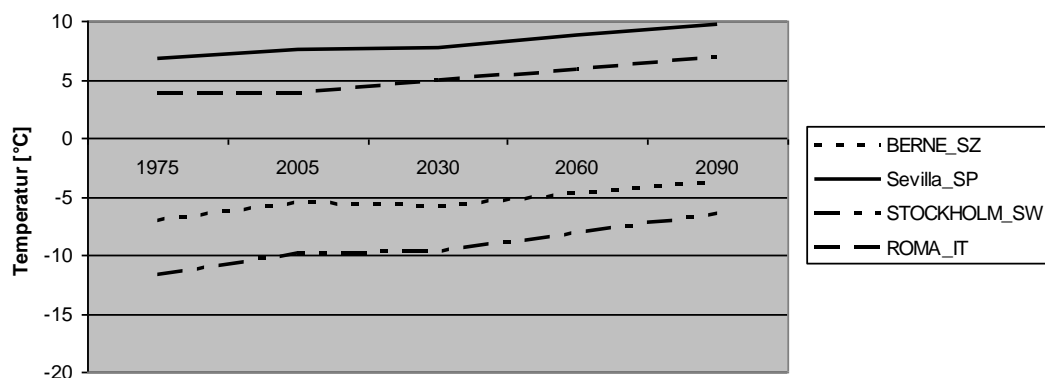


Abbildung 4: Minimaltemperatur (4-Tagesmittel) von 1975 – 2090 mit dem Szenario A2.



Zeitperiode	Szenario	Station	Tmin [°C]	Tmax [°C]	KGS [h]	HGS [h]	Summe [h]
2000 – 2009	gemessen	Athen	4.1	30.8	10'162	23'149	33'311
2000 – 2009	gemessen	Berlin	-6.8	24.2	1061	78'491	79'552
2000 – 2009	gemessen	Bern	-5.6	23.2	850	80'162	81'012
2000 – 2009	gemessen	London	2.0	22.9	294	54'225	54'519
2000 – 2009	gemessen	München	-8.9	22.0	525	85'775	86'300
2000 – 2009	gemessen	Paris	-1.2	24.9	961	58'317	59'278
2000 – 2009	gemessen	Rom	3.8	28.6	7'237	33'719	40'956
2000 – 2009	gemessen	Sevilla	7.5	32.0	14'064	16'734	30'798
2000 – 2009	gemessen	Stockholm	-9.9	22.0	226	98'739	98'965
2000 – 2009	gemessen	Wien	-5.2	25.4	2'018	66'898	68'916
		<b>Mittel</b>	<b>-2.0</b>	<b>25.6</b>	<b>3'740</b>	<b>59'621</b>	<b>63'361</b>

Tabelle 1: Heiz- und Kühllastwerte der Periode 2000 – 2009. Tmin = Minimaltemperatur (4 Tage), Tmax = Maximaltemperatur (2 Tage)

Zeitperiode	Szenario	Station	Tmin [°C]	Tmax [°C]	KGS [h]	HGS [h]	Summe [h]
2090	A2	Athen	7.7	35.7	23'540	8'424	31'964
2090	A2	Berlin	-4.1	26.7	2'585	58'733	61'318
2090	A2	Bern	-3.7	27.5	2'775	66'344	69'119
2090	A2	London	2.5	25.3	915	46'206	47'121
2090	A2	München	-6.0	25.7	1'876	67'584	69'460
2090	A2	Paris	0.5	29.6	3'415	45'312	48'727
2090	A2	Rom	7.0	31.8	12'680	19'700	32'380
2090	A2	Sevilla	9.7	35.4	23'626	8'387	32'013
2090	A2	Stockholm	-6.4	23.2	750	73'422	74'172
2090	A2	Wien	-3.3	28.4	4'210	54'690	58'900
		<b>Mittel</b>	<b>0.4</b>	<b>28.9</b>	<b>7'637</b>	<b>44'880</b>	<b>52'517</b>

Tabelle 2: Heiz- und Kühllastwerte von 2090 mit Szenario A2. Tmin = Minimaltemperatur (4 Tage), Tmax = Maximaltemperatur (2 Tage)

In Rom erreichen mit dem Szenario A2 die Kühllasten gegen Ende des 21. Jahrhunderts ähnliche Grössenordnungen wie die Heizlasten (Abb.5). Allerdings übersteigen die Kühllasten die Heizlasten nur in Athen und in Sevilla. Nur in London und Stockholm bleiben die Kühllasten klein.

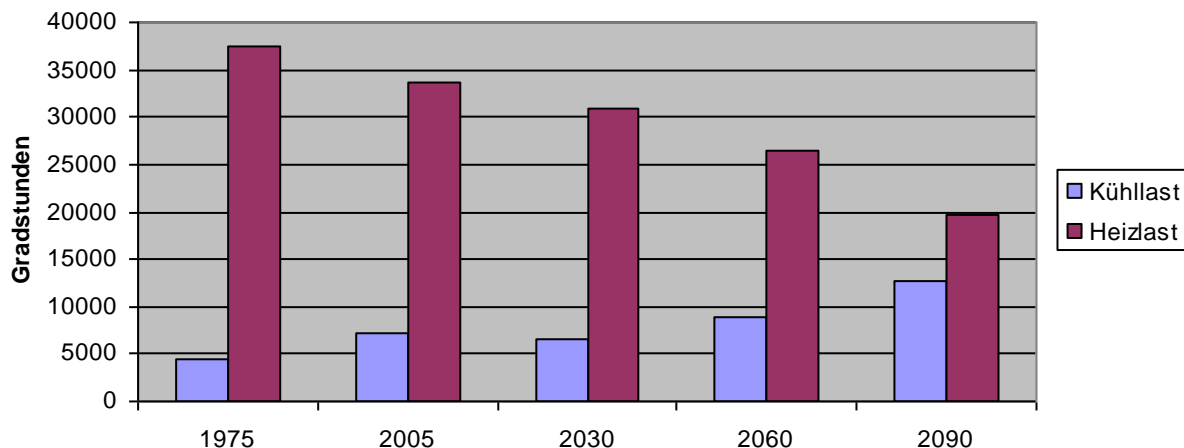
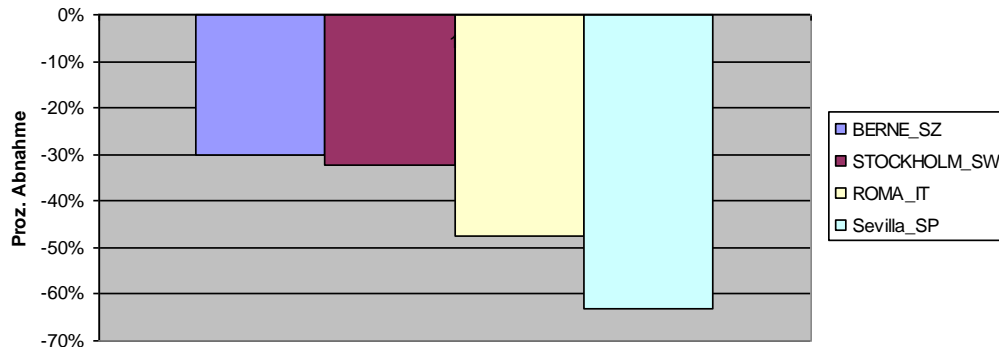


Abbildung 5: Heiz- und Kühllasten in Rom mit Szenario A2

In Zukunft wird somit der Schutz vor Überhitzung mehr im Zentrum stehen müssen als heute. Dies gilt insbesondere auch nördlich der Alpen (ausser in Nordwesteuropa). Die Kühllasten verringern sich in diesem Jahrhundert mit dem Szenario A2 um 30 – 60% (Abb. 6). Im Norden ist die Abnahme prozentual weniger gross als im Süden – absolut gesehen sind die Abnahmen im Norden aber grösser.



**Abbildung 6: Prozentuale Abnahme der Heizgradstunden zwischen 1975 und 2090 an 4 Standorten mit dem Szenario A2.**

Neben den Standardwerten wurden auch die worst case Variante untersucht (10-Jahresextreme im Winter und Sommer). Die Differenzen innerhalb dieses Jahrhunderts sind ähnlich wie bei den Standardwerten. Kritisch sind dabei vor allem die absolute Höhe der Maximaltemperaturen in Südeuropa, wie sie z.B. auch in Schiermeier et al. 2010 erwähnt werden. In Sevilla und Athen muss mit 2-Tagesmitteln von über 38°C gerechnet werden.

## Analyse der Gebäudesimulation

In der Tabellen 3 sind die wichtigsten Resultate der Gebäudesimulation zusammengefasst. Die Analyse zeigt die Resultate basierend auf der worst case Variante (kalter Winter, heisser Sommer), da die Unterschiede bei dieser Variante deutlicher hervor treten.

Standort	Typ	Periode	Kennwert Heizwärme [W/m <sup>2</sup> ]	Heizlast [W/m <sup>2</sup> ]	Kennwert Nutzkälte [W/m <sup>2</sup> ]	Übertemperaturhäufigkeit [%]	Kühllast [W/m <sup>2</sup> ]
Sevilla	PH	2000 - 9	0.6	4.5	20.2	40%	14.8
Sevilla	PH	2060	0.2	4.3	25.1	43%	16.2
Sevilla	NEH	2000 - 9	5.8	9.8	24.1	40%	19.0
Sevilla	NEH	2060	3.5	10.1	30.8	41%	20.9
Bern	PH	2000 - 9	30.8	16.7	0.5	2%	6.2
Bern	PH	2060	28.5	15.5	1.5	9%	8.3
Bern	NEH	2000 - 9	62.9	30.8	0.5	1%	7.1
Bern	NEH	2060	59.0	28.8	1.5	7%	9.9
Stockholm	PH	2000 - 9	45.1	20.8	0.4	0%	4.9
Stockholm	PH	2060	38.9	19.7	0.6	3%	5.6
Stockholm	NEH	2000 - 9	86.1	37.5	0.3	0%	5.2
Stockholm	NEH	2060	75.3	35.5	0.6	1%	6.2

**Tabelle 3: Simulationsparameter für die Periode 2000 – 2009 und 2060 (Szenario A1b). Worst case Variante (kalter Winter/heisser Sommer) für PH und NEH.**

Zwischen 2005 und 2060 nehmen die Heizlasten vor allem im Norden ab und die Kühllasten im Süden zu. Betragsmässig sind im Norden die Unterschiede zwischen PH und NEH natürlicherweise am grössten. Sowohl bei der Heiz- als auch der Kühllast zeigen sich Vorteile des Passivhauses. Die Unterschiede akzentuieren sich eher noch bis Ende des Jahrhunderts (Abb. 7). Die bessere Isolation senkt auch die Kühllasten deutlich. Die Übertemperaturhäufigkeit steigt v.a. in Bern deutlich. Als kleiner Nachteil treten in Bern und Sevilla geringfügig höhere Übertemperaturhäufigkeiten beim Passivhaus auf.

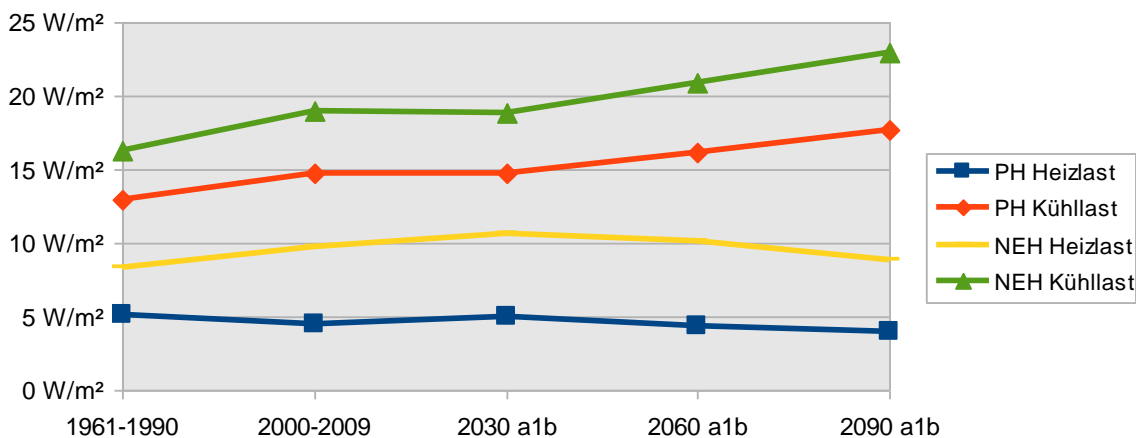


Abbildung 7: Vergleich eines Passivhauses (PH) und eines Niedrigenergiehauses (NEH) anhand der Heiz- und Kühllasten in Sevilla (1975 – 2090)

## 4 Schlussfolgerungen

Die Bandbreite der möglichen Entwicklung des Klimas ist gross. Immerhin sind im Laufe der der nächsten 50 Jahre die Änderungen (noch) nicht so gewaltig wie in den folgenden 50 Jahren. Der Heizbedarf wird deutlich abnehmen, der Kühlbedarf zunehmen und der Hitzeschutz muss verstärkt werden. Die Vorteile des Passivhauses (v.a. die bessere Isolation) bleiben aber auch in Zukunft erhalten. Die Unterschiede der Szenarien zeigen auf der anderen Seite, dass die rasche Verbreitung des Passivhausstandards (v.a. für Altbauten) enorm wichtig ist, da der Gebäudebereich eines der grössten CO<sub>2</sub>-Einsparungspotentiale aufweist.

## 5 Referenzen

- [Meehl, G.A., et al., 2007] Global Climate Projections. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis.
- [Remund J., 2009] Comparison of test reference year data with stochastically generated data. Proc. of the 13<sup>th</sup> International Passive House Conf., 2009.
- [Schiermeier, Q., 2010] Mediterranean most at risk from European heatwaves. Nature news. <http://www.nature.com/news/2010/100517/full/news.2010.238.html>