

# Auswirkungen des Klimawandels auf den Energiebedarf von Gebäuden und den Ertrag erneuerbarer Energien

**A. Herrmann, A. Mädlow, U. Gross und H. Krause**

Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik, TU Bergakademie Freiberg, Gustav-Zeuner-Straße 7, D-09596 Freiberg, Tel.: +49 3731 39 4387, Fax: +49 3731 39 3942, E-Mail: [Andreas.Herrmann@iwtt.tu-freiberg.de](mailto:Andreas.Herrmann@iwtt.tu-freiberg.de), web: [www.gwa.tu-freiberg.de](http://www.gwa.tu-freiberg.de)

## **Kurzfassung:**

Der Klimawandel wirkt sich sowohl auf den Energiebedarf der Gebäude als auch auf den Ertrag der erneuerbaren Energien (Solarthermie, Photovoltaik, Windkraft, Wasserkraft) aus. Dabei ist festzustellen, dass der Gebäudebereich einem deutlich höheren Einfluss unterliegt. So wird der Heizenergiebedarf bis zur Mitte des Jahrhunderts um ca. 25% sinken, während im Gegenzug der Kühlenergiebedarf um 50% ansteigen wird. Der Heizwärmebedarf sinkt bis zum Jahr 2100 um ca. 30%. Demgegenüber steigt der Bedarf an Kühlung bis zum Jahr 2100 auf fast das Doppelte.

Zur Abschätzung der Auswirkungen des Klimawandels auf die erneuerbaren Energien muss zwischen den entsprechenden Technologien differenziert werden. Die solarthermischen Anlagen werden am stärksten von einem Klimawandel profitieren, da sowohl die ansteigenden Temperaturen als auch die ansteigenden Globalstrahlungswerte einen positiven Effekt auf den Ertrag haben. Im Gegensatz dazu fällt der Einfluss auf den Ertrag von Photovoltaikanlagen wesentlich geringer aus. Zwar steigern höhere Globalstrahlungswerte den Ertrag, jedoch wirken sich hohe Temperaturen negativ auf die Elektroenergieerzeugung aus.

Für Gebäude gibt es eine Vielzahl von Anpassungsoptionen, die sowohl bei Neubauten als auch bei Sanierungen berücksichtigt werden sollten.

**Keywords:** Klimawandel, Gebäude, Energiebedarf, erneuerbare Energien

## **1 Einführung**

Schwere Unwetter, Überschwemmungen und andere Naturkatastrophen geschehen in den letzten Jahren immer häufiger und auch mit immer größerer Zerstörungskraft. Stärker als in der Vergangenheit werden Gebäude und erneuerbare Energieanlagen Überflutungsereignissen, Starkregen und Hagel ausgesetzt sein und ihre Funktion stetig unter Beweis stellen müssen. Zudem ist seit 1900 ein deutlicher Anstieg der oberflächennahen Lufttemperaturen zu beobachten.

Planerische Entscheidungen, die heute getroffen werden, sind danach nur mit hohen zusätzlichen Kosten korrigierbar. Daher sollten bei langfristigen Investitionen in Gebäude und in erneuerbaren Energieanlagen die sich ändernden klimatischen Bedingungen von Investoren, Bauherren, Planern und Gebäudenutzern Berücksichtigung finden.

Aus den skizzierten Rahmenbedingungen ergeben sich folgende Fragestellungen. Welche Einflüsse haben die sich ändernden Klimabedingungen auf Gebäude? Wie wird sich der Energiebedarf für Heizen und Kühlen der Gebäude konkret ändern? Welche Ertragsänderungen sind für Photovoltaik- und solarthermische Anlagen zu erwarten? Was ist im Planungsprozess zu berücksichtigen, wenn es neben dem Klimaschutz auch um die Auswirkungen des Klimawandels geht?

## 2 Änderung der klimatischen Bedingungen

Für die Analyse der Auswirkungen werden die vom Deutschen Wetterdienst (DWD) zur Verfügung gestellten Testreferenzjahre (TRY) genutzt (siehe Tabelle 1). Für den Zeitraum gegen Ende dieses Jahrhunderts wurde ein eigener Datensatz erstellt. Die Testreferenzjahre repräsentieren verschiedene Perioden, welche in nachfolgender Tabelle dargestellt sind.

Im Allgemeinen differenziert man zwischen dem mittelfristigen Planungshorizont (TRY 2035) und langfristigen Planungshorizont (TRY 2085). Als Referenzperiode wird das Testreferenzjahr TRY 2004 definiert. Das Testreferenzjahr TRY 2010 repräsentiert die derzeitigen Klimabedingungen.

**Tabelle 1: Verwendete Klimadatenätze (Testreferenzjahre TRY) für die durchgeführten Simulationen**

<b>Bezeichnung</b>	<b>Zeitraum</b>	<b>Jahresdurchschnittstemperatur</b>	<b>Erläuterung</b>
TRY 2004	1961 - 1990	8,8°C	Standard-Referenzperiode
TRY 2010	1988 - 2007	9,5°C (+0,7 K)	derzeitiges Klima
TRY 2035	2021 - 2050	10,7°C (+1,9 K)	Klima zur Mitte des 21. Jahrhunderts
TRY 2085	2071 - 2100	12,2°C (+3,4 K)	Klima zum Ende des 21. Jahrhunderts

Mittelfristig (d.h. bis zur Mitte des Jahrhunderts) ist von einer Zunahme der Lufttemperatur von ca. 2 Kelvin auszugehen. Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts beträgt die Temperaturzunahme zwischen 3 und 4 Kelvin. Damit verbunden sind eine steigende Anzahl der Sommer und heißen Tage sowie der Tropennächte, die in Verbindung mit einer höheren Globalstrahlung eine starke Zunahme des Bedarfs an Kühlenergie bewirken. Im Gegensatz dazu stehen der prognostizierte Anstieg der Wintertemperaturen und die damit verbundene Abnahme des Wärmebedarfs. [1, 11]

Trotz unwesentlicher Änderungen der Jahresniederschlagswerte kommt es zu einer Umverteilung von Niederschlägen in Form von zunehmenden Starkregenereignissen und

Trockenperioden. Ebenso erfolgt eine Verschiebung der Niederschläge vom zweiten in das erste Quartal. [1]

Aus den Klimamodellen kann ein allgemeiner Trend zur Zunahme von Extremereignissen abgeleitet werden. So wird sich die Anzahl schwerer Winterstürme mittelfristig in West- und Norddeutschland um etwa 20% erhöhen. Auch deren maximale Windgeschwindigkeiten werden ansteigen. Hinsichtlich des Gefährdungspotentials von Hagelereignissen ist gegenwärtig ein deutliches Nord-Süd-Gefälle in Deutschland vorhanden, wobei der süddeutsche Raum in Bezug auf Häufigkeit und Intensität am stärksten betroffen ist. [1]

### 3 Entwicklung des Energiebedarfs von Gebäuden

Die Berechnungen wurden gemäß der aktuellen Energieeinsparverordnung (EnEV 2014) mit dem Klima für den Referenzstandort Potsdam durchgeführt, welcher die mittleren Verhältnisse Deutschlands gut widerspiegelt. Die Bilanzierung erfolgte gemäß dem Monatsbilanzverfahren nach DIN V 4108-6: 2003-06. Die Raum-Solltemperatur für den Heizfall beträgt 19°C, für den Kühlfall 25°C. Beispielhaft wurde ein Bürokomplex als Modellgebäude nach Klauß et al. 2010 verwendet.

In Abbildung 1 sind die Ergebnisse als relative (prozentuale) Werte dargestellt. Der Heizwärmebedarf zeigt über den gesamten dargestellten Zeitraum eine fallende Tendenz. Dieser sinkt bis zum Jahr 2100 um ca. 30%. Demgegenüber steigt der Bedarf an Kühlung bis zum Jahr 2100 auf fast das Doppelte. Der gesamte Nutzenergiebedarf wird bis zur Mitte dieses Jahrhunderts um ca. 10% abnehmen. Bis 2100 findet diesbezüglich keine nennenswerte Änderung mehr statt. Das Verhältnis vom Heizwärme- zum Kühlbedarf beträgt bei dem Referenzzeitraum rund 4,2. Dieses wird sich bis zum Jahr 2100 auf 1,5 reduzieren.

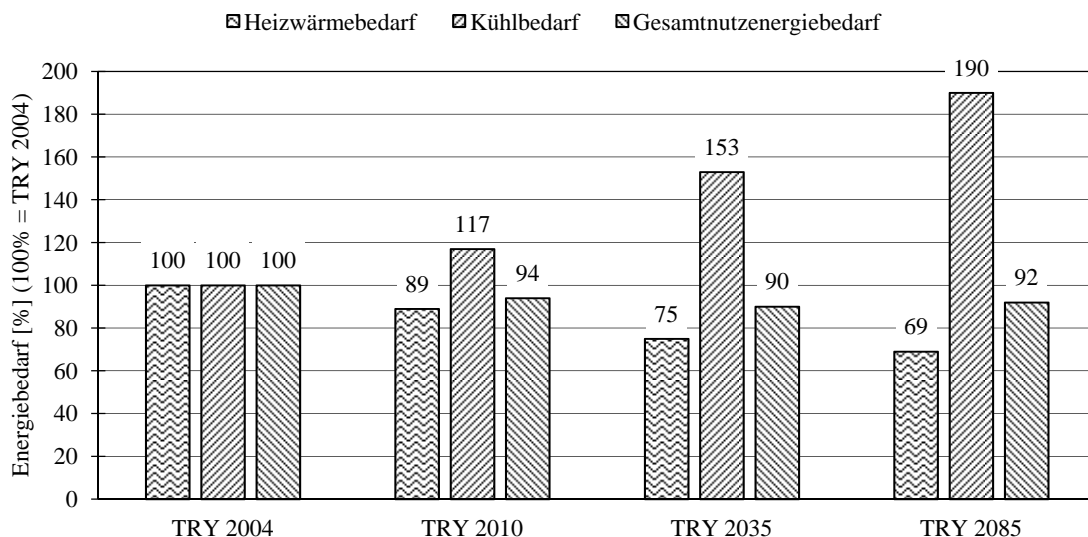


Abbildung 1: Entwicklung des Nutzenergiebedarfs bis zum Ende des 21. Jahrhunderts

Der sinkende Heizwärmebedarf sorgt im Winter für eine gewisse Entlastung der Energieversorgung und trägt somit sowohl zum Ressourcen- als auch Klimaschutz bei. Eine weitere Folge ist eine geringere Wirtschaftlichkeit von Dämm-Maßnahmen. Daher werden Konzepte, welche die Wärmegewinne maximieren (z.B. Sonnenhäuser) im Vergleich zu Konzepten, welche die Verluste minimieren (z.B. Passivhäuser) wirtschaftlich profitieren.

Aufgrund des in Zukunft zunehmenden Kühlbedarfs und der damit verbundenen Erhöhung des Bedarfs an elektrischer Energie zum Betrieb von Klima- und Kälteanlagen, wird der Sommerfall für die energetische Dimensionierung von Gebäuden und der Haustechnik an Bedeutung gewinnen.

Die klimabedingte Temperaturzunahme bewirkt hauptsächlich die Änderungen des Nutzenergiebedarfs für Heizen und Kühlen. Die Änderung der Strahlung hat dagegen nur einen geringen Einfluss.

Andere Untersuchungen kommen zu vergleichbaren Ergebnissen [2-9].

Eine weitere Folge der steigenden Temperaturen ist das häufigere Auftreten von sommerlichen Hitzeperioden. In den letzten Jahrzehnten wurde bei der Bilanzierung von Gebäuden vor allem der Heizwärmebedarf berücksichtigt. Infolgedessen wurden seit 1991 zahlreiche Wärmeschutz- bzw. Energieeinsparverordnungen erlassen. Jedoch wird seit einigen Jahren der Sommerfall für Gebäude als zunehmend kritisch und energetisch relevanter angesehen. Die bereits eingetretene Zunahme der Sommertemperaturen wurde in der Neufassung der DIN 4108, Teil 2 - Mindestanforderungen an den Wärmeschutz berücksichtigt. [15]

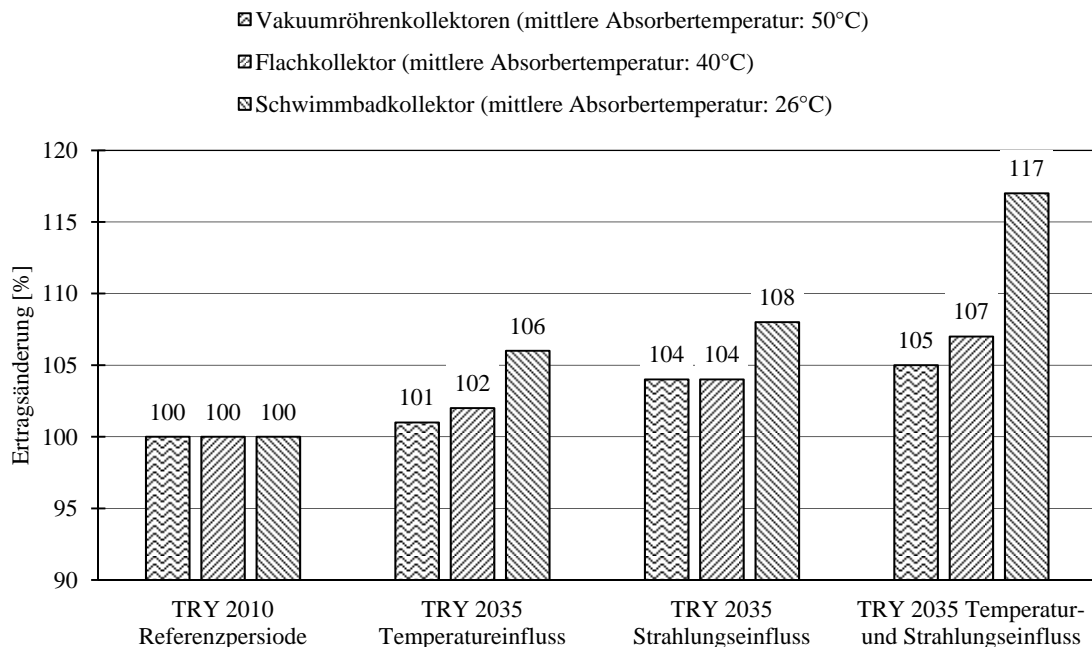
Bei ungünstigen Gebäudeeigenschaften (hohe solare und interne Gewinne durch Personen und Geräte; geringe Wärmespeicherkapazität) liegen während der sommerlichen Hitzeperioden die Innenraumtemperaturen über denen der Außenluft.

Höhere Sommertemperaturen führen in der Regel zu keinen direkten Schäden am Bauwerk selbst. Hingegen werden die Behaglichkeit der Bewohner bzw. Nutzer, deren Leistungsfähigkeit und Mortalität negativ beeinflusst. Ab einer Lufttemperatur von 25°C nimmt die objektiv gemessene Leistungsfähigkeit um durchschnittlich 2% pro ein Kelvin Anstieg ab [11], weshalb auch die Arbeitsstätten-Verordnung u.a. für Arbeitsräume eine gesundheitlich zuträgliche Temperatur fordert und eine Höchst-Raumtemperatur von 26°C empfiehlt. Ein ausreichender sommerlicher Wärmeschutz wird daher zukünftig eine immer größere Rolle spielen.

## 4 Ertragsänderungen erneuerbarer Energien

### Solarthermische Anlagen

Die Abbildung 2 vergleicht die Ertragsänderung von Temperatur- und Strahlungserhöhung einzeln und in Kombination für die verschiedenen solarthermischen Technologien.



**Abbildung 2: Ertragsänderung von solarthermischen Anlagen**

Solarthermische Anlagen profitieren von der steigenden Globalstrahlung und den höheren Temperaturen. Die Erträge nehmen abhängig vom Kollektortyp unterschiedlich stark zu. Dies ist bedingt durch die unterschiedlichen thermischen Verluste. Je schlechter die Wärmedämmung der Kollektoren, desto stärker sind die Erträge von den Umgebungsbedingungen abhängig. Dadurch erhöht sich der Einfluss der Umgebungsbedingungen, d. h. der zunehmenden Temperatur und Globalstrahlung. [12]

In Abhängigkeit vom Kollektortyp kann mit einer Zunahme der Jahresenergieerträge von 5 % (bei Vakuurröhrenkollektoren) bis zu 17 % (bei Schwimmbadkollektoren) für das Jahr 2035 gegenüber der Referenzperiode gerechnet werden. Die Ertragszunahme der Schwimmbadkollektoren wird sowohl durch den Temperaturanstieg als auch durch die Zunahme der Globalstrahlung zu gleichen Anteilen positiv beeinflusst. Die Ertragszunahme von Vakuum- und Flachkollektoren ist hauptsächlich durch die Zunahme der Globalstrahlung bedingt. [12]

Zukünftig sollten auch Extremereignisse, die voraussichtlich zunehmen werden, konstruktiv berücksichtigt werden. Insbesondere eine hinreichende Robustheit gegen Sturm und Hagel muss daher gewährleistet sein. [13]

Durch die steigenden Erträge wird sich die Wirtschaftlichkeit solarthermischer Anlagen weiter verbessern. Das betrifft insbesondere Technologien zur solaren Kühlung, d.h. Solarkollektoren in Verbindung mit Ab- und Adsorptionskälteanlagen. [13]

Auch der Ertrag von anderen Solarkollektortypen (z.B. Luftkollektoren) und passiven Systemen (Fenster, transparente Wärmedämmung) wird in einer ähnlichen Größenordnung zunehmen wie der Ertrag von Solarkollektoren. [14]

### Photovoltaik - Anlagen

In der nachstehenden Abbildung 3 ist die Ertragsänderung für den Planungshorizont TRY 2035 dargestellt. Es wird ebenfalls zwischen den Einflussfaktoren Temperatur sowie Globalstrahlung einzeln und in Kombination unterschieden.

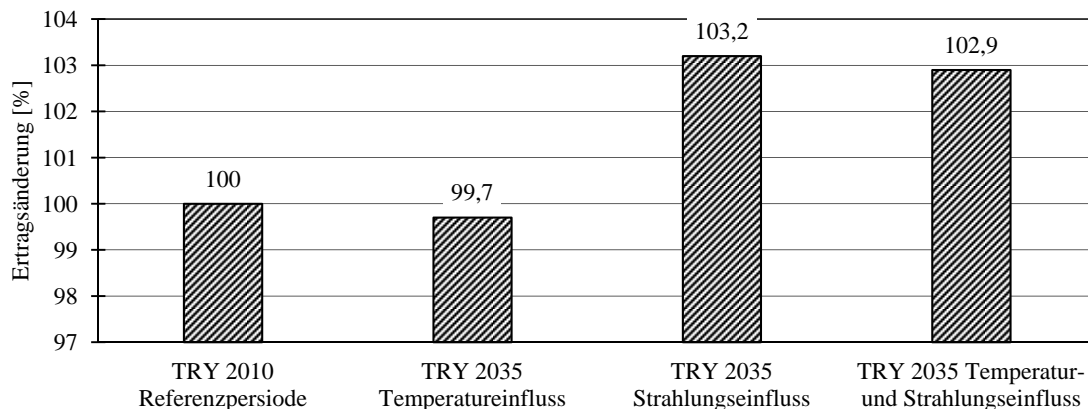


Abbildung 3: Ertragsänderungen von PV-Anlagen

Der Strahlungseinfluss ist mit einem Anstieg von 3,2 % wesentlich größer als der Temperatureinfluss mit lediglich ca. -0,3%. Werden beide Faktoren berücksichtigt, dann kann von einer Zunahme von 2,3% ausgegangen werden. [14]

Aufgrund der höheren Globalstrahlung steigt die Zelltemperatur im Jahresdurchschnitt um 0,14 K. Die höhere Außenlufttemperatur bewirkt eine Erhöhung der Zelltemperatur um 1,21 K, wobei die Kombination beider Effekte eine Erhöhung von 1,35 K bewirkt.

Insgesamt werden Photovoltaikanlagen von der prognostizierten Zunahme der Globalstrahlung profitieren. Allerdings bewirken die höheren Außentemperaturen und die höheren Strahlungswerte auch höhere Zelltemperaturen, die eine Ertragsminderung bewirken.

Bei den Berechnungen wurde vorausgesetzt, dass die Windgeschwindigkeit konstant einen Meter pro Sekunde beträgt. Wird hingegen die tatsächliche Windgeschwindigkeit berücksichtigt, welche 3 bis 4 Meter pro Sekunde beträgt, reduziert sich der ohnehin nur gering ausgeprägte Temperatureinfluss zusätzlich.

### Wind- und Wasserkraftanlagen

Bei Windkraftanlagen sind aufgrund der Prognoseunsicherheiten der zukünftigen Windgeschwindigkeiten keine eindeutigen Aussagen ableitbar. Die veränderten Lufttemperaturen bewirken einen leichten Rückgang.

Bei Wasserkraftanlagen wird in der Winterphase (1. Quartal) der Ertrag leicht ansteigen und damit zu einer leichten Entlastung des Energiesystems im Winter beitragen, jedoch ist im 2. Quartal von einem signifikanten Rückgang auszugehen. Der Jahresertrag wird leicht zunehmen.

## Luftwärmepumpen

Luftwärmepumpen profitieren von den steigenden Außentemperaturen. Sowohl die Leistungszahl als auch die Jahresarbeitszahl werden um 0,04 bis 0,11 zunehmen. Damit verbessert sich deren Effizienz temperaturbedingt um 2 bis 3%.

## 5 Schlussfolgerungen

Hinsichtlich der Gewährung der Schutzfunktion sind bauliche Anpassungen der Gebäude an die zunehmenden Wetterextreme notwendig. Aufgrund der steigenden Temperaturen sind insbesondere Anpassungsmaßnahmen erforderlich, die ein angenehmes Innenraumklima in den Sommermonaten gewährleisten. In Abbildung 4 sind die wesentlichen klimatischen Einwirkungen auf Gebäude sowie Anpassungsmaßnahmen zusammenfassend dargestellt.

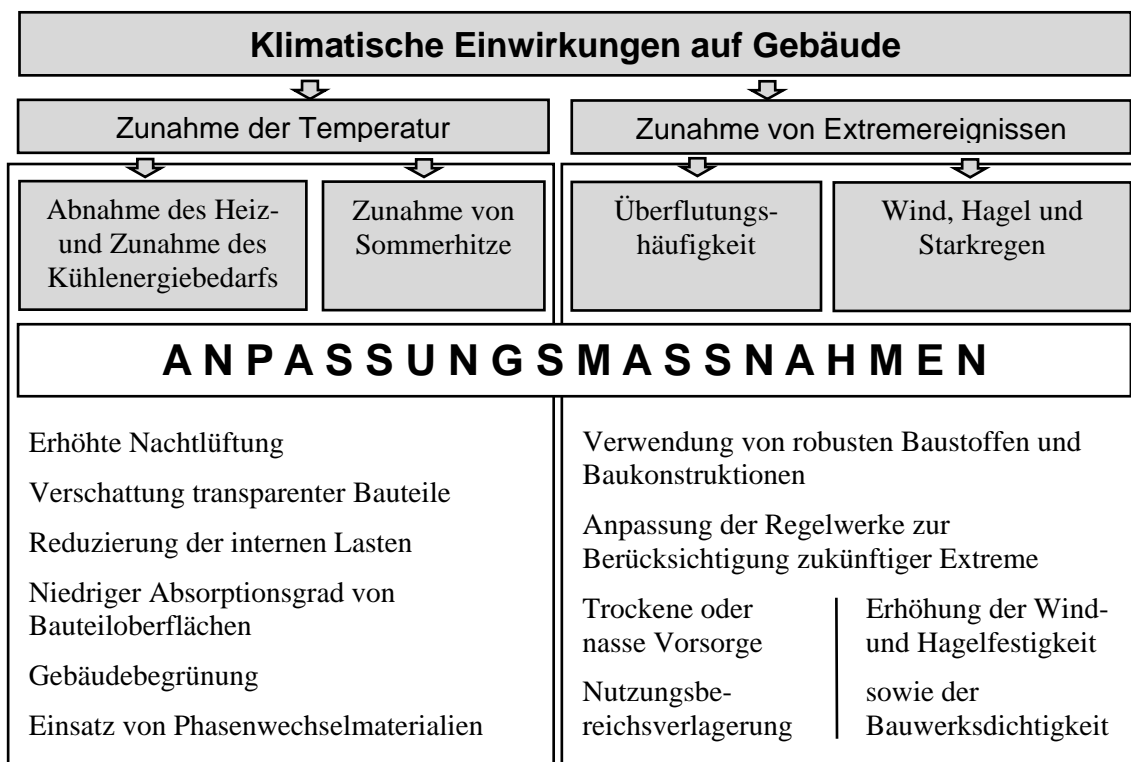


Abbildung 4: Klimatische Einwirkung auf Gebäude

Weiterhin ist festzustellen dass der Klimawandel ebenfalls Einfluss auf die Ertragsänderung der erneuerbaren Energien besitzt. So profitiert die Solarthermie dabei am stärksten von der Strahlungssteigerung sowie der Temperaturerhöhung. Die Photovoltaik - Anlagen erfahren eine geringfügige Ertragssteigerung durch die höheren Strahlungswerte.

Letztendlich sind die Auswirkungen des Klimawandels auf Gebäude größer und relevanter als auf Energieerzeugungstechnologien. Die sich verändernden Klimabedingungen gefährden zukünftig vor allem die Behaglichkeit in den Innenräumen im Sommer. Besonders wichtig ist die planerische Berücksichtigung des sommerlichen Wärmeschutzes. Hierfür stehen verschiedene kostengünstige passive Maßnahmen zur Verfügung. Durch die intelligente Kombination von passiven Maßnahmen, können auch zukünftig Klimalösungen vermieden werden.

## 6 Referenzen

- [1] C. Bernhofer, J. Matschullat und A. Bobeth, *Klimaprojektionen für die Modellregion Dresden*, Berlin: RHOMBOS - Verlag, 2011.
- [2] K. Voss und C. Künz, *Bauphysik 34: Klimadaten und Klimawandel - Untersuchungen zum Einfluss auf den Energiebedarf*, Berlin: Ernst & Sohn Verlag, 2012.
- [3] C. Delmastro, E. Lavagno und G. Mutani, *Chinese residential energy demand: Scenarios to 2030 and policies implication*, Energy and Buildings 89, 2015.
- [4] K. Kalvelage, U. Passe, S. Rabideau und E. S. Takle, *Changing Climate: The effects on energy demand and human comfort*, Energy Buildings 76, 2014.
- [5] M. Li, J. Guo, Z. Tian, J. Shi, M. Xiong und C. Xiang, *Future climate change and building energy demand in Tianjin*, China: Building Serv. Eng. Res. Technol. Vol. 35(4), 2014.
- [6] R. Aguiar, M. Oliveira und H. Goncalves, *Climate change impacts on the thermal performance of Portuguese buildings*, Results of SIAM study: in Building Serv. Eng. Res. Technol. Vol. 23(4), 2002.
- [7] D. A. Asimakopoulos, M. Santamouris, I. Farrou, M. Laskari, G. Zanis, G. Giannakidis, K. Tiigas, J. Kapsomenakis, C. Douvis, S. C. Zerefos, T. Antonakaki und C. Giannakopoulos, *Modelling the energy demand projection of the building sector in Greece in the 21st century*, Energy and Buildings 49, 2012.
- [8] A. L. S. Chan, *Developing future hourly weather files for studying the impact of climate change on building energy performance in Hong Kong*, Energy Buildings 43, 2011.
- [9] M. Christenson, H. Manz und D. Gyalistras, *Climate warming impact on degree-days and building energy demand in Switzerland*, Energy Conversion and Management 47, 2006.
- [10] A. Herrmann, R. Hentzschel und U. Groß, *Gebäude im Klimawandel. Einwirkungen und Anpassungsmaßnahmen*, Hannover: Effizienz Tagung: Bauen + Modernisieren, 2014.
- [11] B. Weller, T. Naumann und S. Jakubetz, *Gebäude unter den Einwirkungen des Klimawandels*, Berlin: RHOMBOS - Verlag, 2012.
- [12] A. Herrmann und C. Dorn, *Auswirkungen des Klimawandels auf den Ertrag von solarthermischen Anlagen und passiven Systemen*, Bad Staffelstein: Tagungsband OTTI, 24. Symposium Thermische Solarenergie, 2014.
- [13] A. Herrmann und C. Dorn, *Solarthermische Anlagen im Klimawandel*, Tagungsband Gleisdorf SOLAR 2014, 11. Internationale Konferenz für solares Heizen und Kühlen.
- [14] A. Herrmann, C. Dorn, M. Pönisch und U. Groß, *Climate change impacts on photovoltaics, solar thermal energy, transparent insulation and energy demand in the building sector*, Aix-les-Bains: conference proceedings EuroSun 2014, International Conference on Solar Energy and Buildings .



- [15] A. Herrmann und C. Dorn, *Industriegebäude im Klimawandel. Zusammenhänge und Anpassungsmaßnahmen*, München: Unternehmensstrategien zur Anpassung an den Klimawandel. Theoretische Zugänge und empirische Befunde, oekom Verlag, 2014.