

# Untersuchungen zum klimatischen Verhalten von Wohnmobilen

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer, Dipl.-Ing. Frank Stein

BBS INSTITUT, Hochschule für Angewandte Wissenschaft und Kunst

Hildesheim, HAWK - Hildesheim

## Zusammenfassung

Reisen in Wohnwagen und Reisemobilen gewinnt in der mobilen Welt immer größere Bedeutung. Hierbei werden zu unterschiedlichen Jahreszeiten verschiedenste Regionen bereist. Grundlegende Voraussetzung ist hierbei die Aufrechterhaltung eines angenehmen Raumklimas im Innern des Fahrzeuges.

Im Rahmen eines Forschungsprogramms des BBS INSTITUT, University of Applied Sciences and Arts, HAWK Hildesheim-Germany wurde das thermische und energetische Verhalten von Wohnmobilen sowie das thermisch-hygrische Verhalten von Wohnmobilaußenbauteilen in Abhängigkeit des Umgebungsklima, des Nutzerverhaltens, und der Bauteile untersucht.

Während Gebäude, die stationär aufgestellt sind und einem veränderlichen Wetter einer bestimmten Region ausgesetzt sind, werden Reisemobile regional unterschiedlichen, sogar extremen klimatischen Verhältnissen ausgesetzt. Reisemobile werden heutzutage nicht nur für einen, auch länger währenden Urlaub in warmen, sonnenreichen Regionen Südeuropas genutzt, sondern auch der Winterurlaub wird mobil genossen. Somit sind Fahrzeuge zu entwickeln, deren Fahrzeughüllen erheblichen Belastungen der Gesamtheit aller regionalen Klimaeinflüsse ausgesetzt sind. Ein erster Schritt in diese Richtung ist die Berücksichtigung klimaphysikalischer Grundsätze. Hier gilt es schon während der Planungsphase die Auswirkungen dieser Randbedingungen in Hinblick auf die „Ganzjahrestauglichkeit“ der Wohnmobile zu berücksichtigen.

Das Ergebnis dieser Untersuchung war es neue Möglichkeiten zur ganzheitlichen Beurteilung von Wohnmobilen und bauphysikalischen Bedingungen aufzuzeigen. Durch die Anpassung von dynamischen, thermischen und energetischen Gebäude- und Bauteilsimulationsberechnungen an die besonderen Randbedingungen und Baustoffe, wurden so Grundlagen für eine Planung unter Berücksichtigung der klimatischen Verhältnisse der Nutzung geschaffen.

## 1 Wohnmobile

„Wohnmobile sind Kraftfahrzeuge mit Einrichtungen für Wohnzwecke. Der Wohnteil muss mit seiner Einrichtung dazu geeignet sein, einer oder mehreren Personen, einen Wohnaufenthalt zu ermöglichen...“

[aus Straßenverkehrszulassungsordnung – Deutschland (STVZO) §19; 20; 21].

Wohnmobile lassen sich grundsätzlich in zwei Kategorien einteilen:

- Kastenwagen und Aufbaufahrzeuge

Aufbaufahrzeuge mit fest auf dem Chassis montierten Wohnaufbauten werden in drei Grundformen unterteilt:

- Alkovenfahrzeuge, Teilintegrierte Fahrerkabine, Vollintegrierte Fahrerkabine



Abbildung 1: Campingbus



Abbildung 2: Alkovenfahrzeug



Abbildung 3: Teilintegrierte Fahrerkabine



Abbildung 4: Integrierte Fahrerkabine

## 2 Wohnmobile in unterschiedlichen klimatischen Regionen

Reisemobile dienen, wie schon der Name sagt, zu einem mobilen, auf unterschiedliche Dauer begrenztem Wohnen in unterschiedlichen Regionalen der Welt. Hierbei werden sie, unter Umständen auch in relativ kurzem Wechsel, extremen klimatischen Verhältnissen ausgesetzt. Einem langen Urlaub in den schneereichen Gebieten der Schweizer Alpen kann so ein Kurzurlaub in den warmen Regionen des Mittelmeeres oder gar in Nordafrika unmittelbar folgen. Es werden so höchste Anforderungen an das raumklimatische Verhalten des Wohnmobils und seiner Bauteile gestellt.

## 2.1 Thermische und hygrische Bedingungen für ein behagliches Raumklima in ganzjährig genutzten Wohnmobilen

Die entscheidenden raumklimatischen Parameter, die das raumklimatische Empfinden des Nutzers beeinflussen, sind die Raumlufttemperatur, die Luftbewegung, die rel. Luftfeuchtigkeit und die raumseitige Oberflächentemperatur der Bauteile. Alle Parameter stehen in einer direkten, den Menschen beeinflussenden, Wirkung zu einander. Bandbreite und Grenzen dieser Parameter, gerade in Hinblick auf Innenräume in Wohnmobilen, stellen sich wie folgt dar:

Raumlufttemperatur:

- Die Raumlufttemperatur sollte zwischen 18°C und 22°C liegen.
- Die Raumlufttemperatur sollte an heißen Tagen bei ausreichender Luftzirkulation grundsätzlich 3-5 Kelvin unter der Außenlufttemperatur liegen.
- Die Raumlufttemperatur in häufig genutzten Aufenthaltsbereichen (z.B. Sitzgruppe) des Wohnmobils sollte während der Heizphase, um die Luftzirkulation im Innenraum auf ein erträgliches Maß abzusenken, nicht mehr als 7 Kelvin über der Lufttemperatur gemessen im Abstand von 200 mm von Wänden und Fenstern liegen.
- Die Differenz der Lufttemperatur zwischen Boden und Decke („Fuß und Kopf“) sollte in den Hauptaufenthaltsbereichen 3 Kelvin nicht übersteigen.

Raumseitige Oberflächentemperatur der Bauteile:

- Die raumseitigen Oberflächentemperaturen der Außenbauteile sollten die Raumlufttemperatur im Aufenthaltsbereich üblicherweise um nicht mehr als 2 Kelvin unterschreiten. Hierbei wird die empfundene Raumtemperatur, Empfinden aus Lufttemperatur und raumseitiger Oberflächentemperatur, der Strahlungstemperatur, positiv beeinflusst.
- Die Oberflächentemperatur des Fußbodens sollte je nach Nutzungsbereich des Wohnmobils, zwischen mindestens 14°C und maximal 26°C liegen, um einen Schutz gegen Wärmeableitung über die Füße zu gewährleisten.

Aufenthaltsbereiche: ca. 18°C bis ca. 22°C

Küche (Arbeitsbereich): mind. 14°C bis ca. 22 °C

Bad (Barfuß-Bereich): mind. 22°C

- Bei kleinformigen Außenbauteilen, wie z.B. Dachluken, Außenfenstern sollten bei Nichteinhaltung der Temperaturdifferenz zusätzliche Maßnahmen (z.B. Warmluftaustritt) für eine Erhöhung der inneren Oberflächentemperatur sorgen. Das gleiche gilt für in den Aufenthaltsbereich integrierte Fahrerhäuser.
- Eine Unterschreitungen der Taupunkttemperatur, und somit Tauwasserausfall auf der Bauteiloberfläche, ist (möglichst) zu vermeiden.

Luftfeuchtigkeit:

- Luftfeuchtigkeiten zwischen 30% und 70% haben in der Regel nur einen geringen Einfluss auf die Behaglichkeit bzw. das menschliche Temperaturempfinden. Bei zu hohen Luftfeuchtigkeiten (Schwülegefühl) wird die Körperkühlung durch Transpiration sehr stark herabgesetzt. Zu niedrige Luftfeuchtigkeiten trocknen die Schleimhäute zu stark aus. Die relative Luftfeuchte sollte sich daher in einem Bereich von 18°C/70% bis 24°C/40% liegen.

Luftbewegung:

- Zu hohe Luftbewegungen haben bei normalen und niedrigen Innentemperaturen oft eine lokale Abkühlung des menschlichen Körpers und somit ein unbehagliches Gefühl zur Folge. Idealerweise sollte die mittlere Luftgeschwindigkeit nicht mehr als 0,25 m/s betragen (eine Bewegung der Luft sollte aber vorhanden sein).
- Aufgrund der gebräuchlichen Gebläseheizungen in Wohnmobilen ist dieser Wert während der Heizphase allerdings unrealistisch klein. Wichtiger noch ist, dass die Warmluftverteilung so erfolgt, dass der Innenraum zügig und gleichmäßig aufgeheizt wird. Zwar lassen sich dadurch die hohen Luftbewegungen im Wohnmobil nicht verhindern, dafür ist allerdings gewährleistet, dass es sich um warme Luftmassen handelt, die im Raum zirkulieren. Viele Warmluftaustritte mit geringerem Luftaustrittsvolumen führen zu einer gleichmäßigeren und weniger turbulenten Warmluftverteilung als wenige großvolumige Warmluftaustritte. Allerseits erfolgt durch großvolumige Warmluftaustritte eine schnellere Anfangsaufheizung des Innenraumes. Eine sinnvolle Alternative wäre daher der dreistufige Aufbau einer Gebläseheizung nach folgendem Schema:
  1. Stufe: Anfangsaufheizung mit maximaler Heiz- und Gebläseleistung durch wenige großvolumige Warmluftaustritte mit zentraler Anordnung im Aufenthaltsbereich.
  2. Stufe: Beim Erreichen einer bestimmten Innentemperatur erfolgt die Verteilung der Warmluft über viele Warmluftaustritte und sorgt somit für eine gleichmäßigere Temperaturverteilung. Die Ausströmung sollte möglichst nahe an den Außenbauteilen erfolgen um diese direkt / höher zu wärmen.
  3. Stufe: Beim Erreichen einer als behaglich empfundenen Temperatur wird die Gebläse- und/oder Heizleistung auf eine Erhaltungsstufe zurückgefahren. Kritische Bereiche, wie etwa ein in den Aufenthaltsbereich integriertes Fahrerhaus, werden jedoch partiell mit einem erhöhten Wärmestrom versorgt.

Diese Aussagen gelten sinngemäß auch für den Einsatz von Klimaanlage.

Bedingt durch die Bauweise, die Konstruktion, die Wahl der Lüftung-, Heiz- und Kühlanlagen in Wohnmobilen werden die Grenzen zur Erreichung dieser Vorgaben oftmals erheblich überschritten.

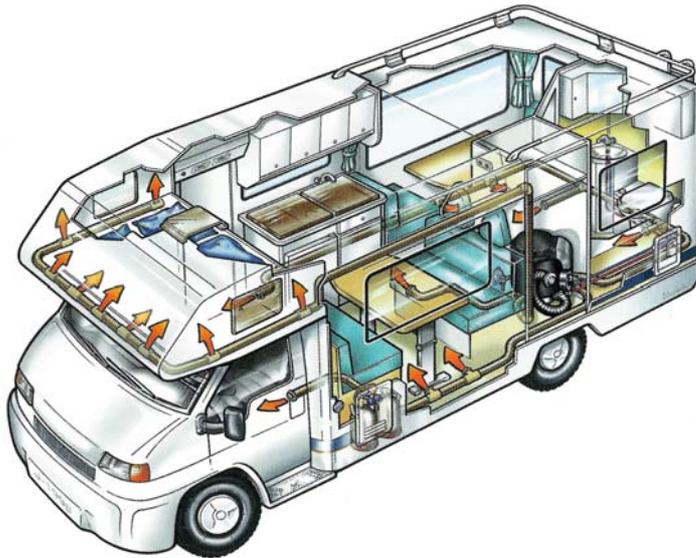


Abbildung 5: Luft-Energieverteilungssystem in einem Wohnmobil

Es zeigt sich, dass folgende Problembereiche vorhanden sind:

- Um ein Wohnmobil bei hohen Außentemperaturen auf ein Temperaturniveau eines Gebäudes herunterzukühlen, sind im autarken Standbetrieb Energiemengen nötig, die nach heutigem Stand der Technik unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht bereitgestellt werden können.
- Aufgrund der im Vergleich zum Hochbau geringen Massen und Bauteilstärken ist die Veränderung des Innenklimas in Bezug auf das Außenklima sehr dynamisch (kaum Wärmespeicherfähigkeit, relativ hohe Wärmedurchgangskoeffizienten, etc.).
- Durch die überwiegend eingesetzten Gebläseheizungen entstehen jedoch, um den Heizbedarf zu senken, zwangsläufig größere Turbulenzen und Luftbewegungen.

Beispiel - Unterschiedliche Ausblastemperatur an den Zuluftöffnungen

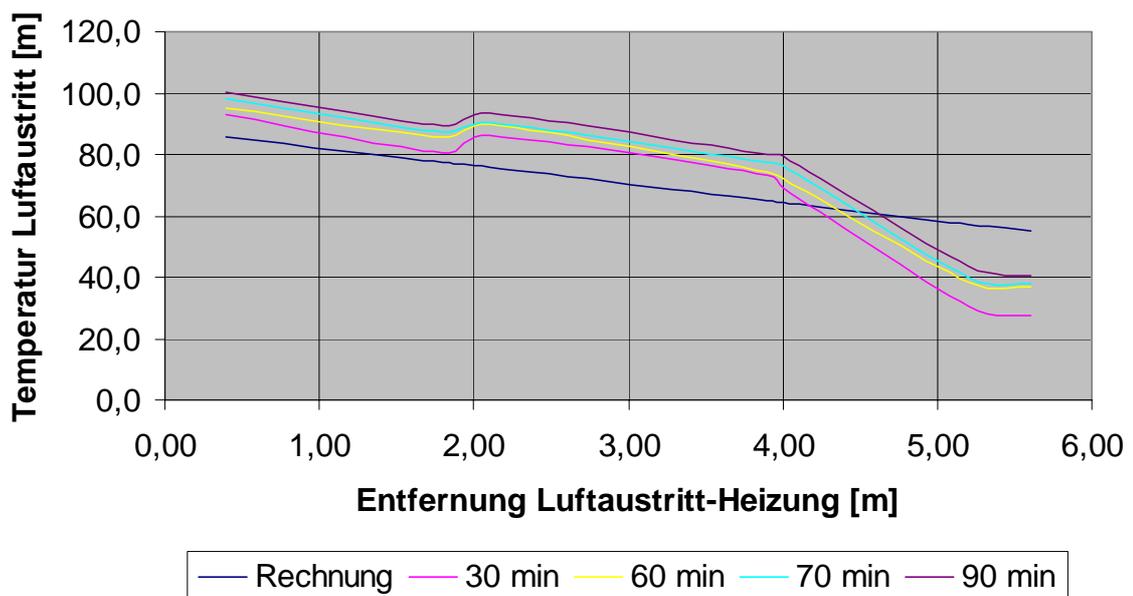


Diagramm 1: Abhängigkeit der Austrittslufttemperatur von der Entfernung vom Heizgerät

- Die DIN EN 1646-1 Anhang J definiert klare Temperaturdifferenzen im Aufheizbetrieb (7 Kelvin).
- Die gleiche Norm schreibt eine im Winterbetrieb mindestens zu erreichende Temperaturdifferenz zwischen Innen und Außen von 35 Kelvin vor.
- Das Temperaturempfinden des Menschen wird also, sowohl von der Temperatur der ihn umgebenden Luft, als auch von der Strahlungstemperatur der in seiner Umgebung befindlichen Körper beeinflusst. Eine entscheidende Bedeutung gewinnt somit die Oberflächentemperatur der Wohnmobilaußenbauteile. Hierbei zeigt sich, dass bei ansteigender Oberflächentemperatur, z.B. bei guter Wärmedämmung der Bauteile, unter Beibehaltung gleicher Behaglichkeitsempfindungen die Raumlufttemperatur verringert werden kann/könnte.

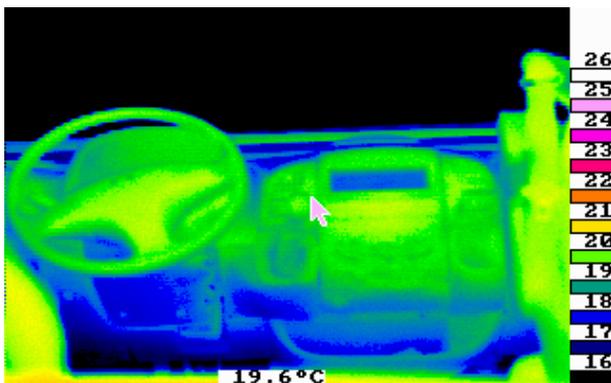


Abbildung 6: Beispiel - Thermografieuntersuchungen des Fahrerraumes

- Vermeidung von Undichtigkeiten zur Reduzierung von Energieverlusten und Zugerscheinungen
- Beispiel - Leckagen festgestellt durch Blowerdoor-Untersuchungen

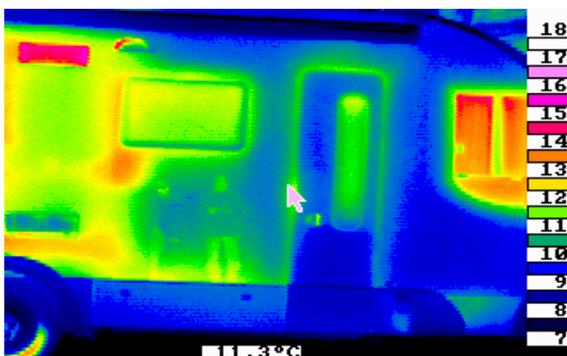


Abbildung 7 Beispiel -Thermografie des Serienzustandes - Beifahrerseite ohne Innenüberdruck

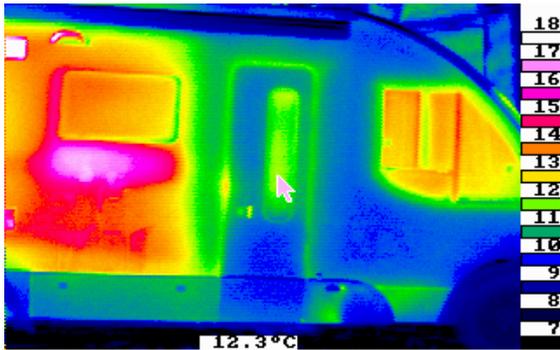


Abbildung 7 Beispiel -Thermografie des Serienzustandes - Konstanter Überdruck im Innenraum von 50 Pascal

- Die Schaffung eines als behaglich empfundenen Raumklimas.
- Schutz der Bauteile vor klimatischen Feuchteinflüssen.
- Alle Entwicklungen zur Optimierung des klimatischen Verhaltens von Wohnmobilen müssen jedoch unter anderen wesentlichen Faktoren, wie Gewichtsreduzierung, Kostenminimierung, Umweltverträglichkeit usw. stehen.

### 3 Untersuchungen zum thermisch- /energetischen Verhalten von Wohnmobilen sowie des thermisch- /hygrischen Verhaltens von Wohnmobilaußenbauteilen

Folgende Untersuchungen wurden geführt, hierbei sind die mit \* gekennzeichneten Verfahren im Rahmen dieser Veröffentlichung näher erläutert und dargestellt.

#### 3.1 Bauphysikalisch konstruktive Untersuchungen

Anliegen dieser Untersuchung ist die Analyse und Bewertung der Konstruktionen und Bauweisen von Wohnmobilen aus bauphysikalischer Sicht.

##### 3.1.1 Untersuchungen / Auswertungen der Baukonstruktionen der Außenbauteile von Wohnmobilen unterschiedlicher Hersteller

Die Hauptaufgabe bei der Auswertung von Außenbauteile von Wohnmobilen unterschiedlicher Fahrzeughersteller lag in der Analyse der Bauteile mit Ihren Schichtenaufbauten und Materialien und Anpassung/Eingabe dieser Bauteile/Baustoffe in eine für die Anwendung der Bauphysikprogramme tauglicher Materialdatenbank.

##### 3.1.2 Untersuchungen / Auswertungen der Heizung-/Klima- und Lüftungsanlagen in Wohnmobilen unterschiedlicher Hersteller

Die Hauptaufgabe lag bei der Analyse der Funktion und Wirkweise der unterschiedlichen Heizung-/Klima- und Lüftungsanlagen in Wohnmobilen unterschiedlicher Fahrzeughersteller und Aufbereitung dieser Leistungsdaten für die Weiterverarbeitung in den Programmsystemen.

##### 3.1.3 Wärmebrückenuntersuchungen mittels Thermografie

Die Hauptaufgabe bei der Untersuchung der Außenbauteile lag in der Feststellung der Schwachpunkte der Detail- und Anschlusskonstruktionen.



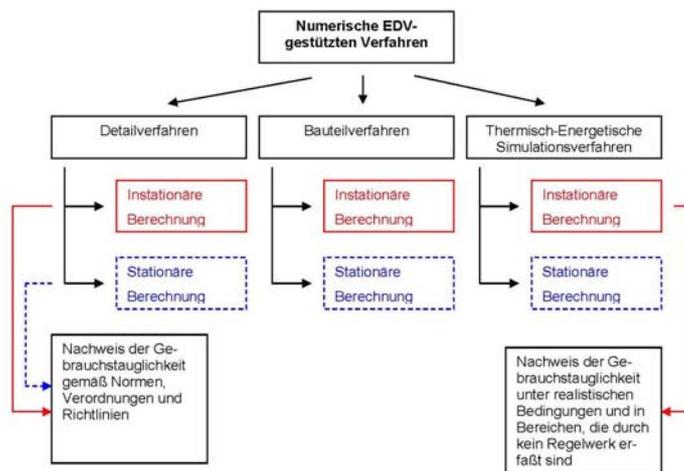


Diagramm 2: Einteilung der numerischen Verfahren zur Untersuchung der klimatischen Verhältnisse in Wohnmobilen

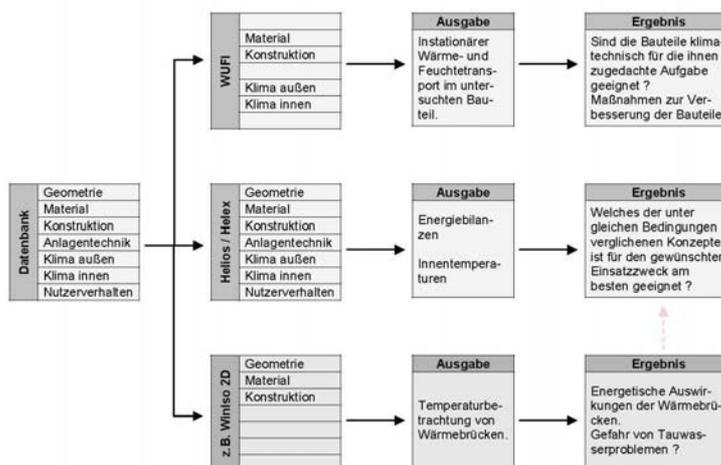


Diagramm 3: Struktur des Programmeinsatzes

### 3.2.1 Wärmebrückenuntersuchungen mit dem Programmsystem WinIso 2D

Hauptaufgaben bei der Untersuchung von Konstruktionsdetails in WinIso 2D waren:

- Analyse von verschiedenen „wärmetechnischen“ Schwachpunkten
- Katalogisierung der Wärmebrücken und Ermittlung eines Faktors zur Beeinflussung der Simulationsergebnisse
- Analyse der Detailkonstruktionen in Hinblick auf die Gefahr von Tauwasserausfall auf der raumseitigen Bauteiloberfläche / Kondensat.
- Erarbeitung von konstruktiven Verbesserungsmaßnahmen

### 3.2.2 **Untersuchungen des thermisch- hygrischen Verhaltens der Bauteile mit dem Programm- system WUFI 3.3\***

Hauptaufgaben bei der Untersuchung von Bauteilen in WUFI (WUFI 1D Version 3.3; IBP Holzkirchen- Germany) waren:

- Bestimmung der Größe und Richtung der Wärmeströme im Bauteil.
- Bestimmung der Größe und Richtung der Feuchteströme im Bauteil.
- Kommt es im Bauteil während einer vorbestimmten Zeit mit einer bestimmten Klimabeaufschlagung zur Durchfeuchtung und/oder Austrocknung des Bauteils?
- Ist das Bauteil aus feuchtetechnischer Hinsicht für die gestellten Anforderungen bei zu erwartenden Klimaverhältnissen geeignet?
- Vergleichsberechnungen und Optimierung verschiedenartiger Bauteile und Materialien.
- Ermitteln von Grenzsituationen, in denen das Bauteil feuchtigkeitstechnisch versagt.
- Entwicklung und Wirksamkeitsnachweis von Verbesserungsmaßnahmen am Bauteil.

### 3.2.3 **Untersuchungen des thermisch Verfahren des Wohnmobiles mit dem Programmsystem Helios-Helex 2.1 / TRNSYS\***

Hauptaufgaben bei der Untersuchung von Wohnmobilen mit Helios und Helex 2.1 / TRNSYS\* (econzept Energieplanung GmbH–Schweiz / Energy Laboratory der University of Wisconsin-Madison) waren:

- Ermittlung der Raumlufttemperaturen des Wohnmobiles im Simulationszeitraum.
- Ermittlung der Transmissionswärmeverluste.
- Ermittlung der Luftwechsellverluste.
- Untersuchungen des Wärmespeicherverhaltens der Innenbauteile.
- Ermittlung der Strahlungsgewinne durch transparente Bauteile.
- Festlegung der Leistungsanforderungen an die klimatechnischen Heiz- und Kühlanlagen.
- Vergleich und Bewertung von verschiedenen Bauteil- und Wohnmobilvariationen unter gleichen Bedingungen.

## 4 **Darstellung von Nutzerverhalten und Umgebungsklima in den Programmsystemen**

Wohnmobile unterscheiden sich von bewohnten Bauwerken u.a. durch ihre Mobilität. Einhergehend mit dieser Mobilität sowie dem oft vorhandenen freizeitgestalterischen Zweck dieser Fahrzeuge, kommt es zu Veränderungen hinsichtlich Umgebungsklima und Nutzerverhalten. Um diesen Besonderheiten in den Berechnungen die notwendige Beachtung zu schenken, wurde es erforderlich besondere Datensätze zu generieren.

- Nutzerverhaltendatensätze (NVD)

Hierbei handelt es sich um Datensätze des Innenklimas, die das typische Verhalten von Wohnmobilitäten in Abhängigkeit vom Umgebungsklima beschreiben. Um eine möglichst realistische Darstellung der Umgebungs- und Nutzereinflüsse auf das Wohnmobil zu erhalten, wurde zur Ermittlung der Daten eine Befragung von Wohnmobilbesitzern durchgeführt.

- Wohnmobilklimadatensätze (WKD)

Hierbei handelt es sich um modifizierte Wetterdatensätze, welche die Einflüsse verschiedener Umgebungsklima auf das Wohnmobil darstellen können.

- Technische Datensätze (RWK)

Zusätzlich entstanden auch Datensätze, die es ermöglichen, das energetische und feuchtetechnische Verhalten eines Wohnmobils unter verschärften Bedingungen oder in Analogie zu bestimmten Prüfabläufen (z.B. Aufheizversuch gemäß DIN EN 1646-1) zu untersuchen.

## 5 **Betrachtungen zum thermisch- hygrischen Verhalten der Außenbauteile**

Um das Feuchteverhalten der Bauteile darzustellen, wurden alle Bauteiluntersuchungen mit Kombinationen aus verschiedenen relativen Innenluftfeuchten (50 bis 80 %) und Innenraumtemperaturen (5 bis 20°C) durchgeführt. Ein grundsätzlich 36 Monate andauernder Simulationszyklus ermöglichte die Langzeitbetrachtung der Bauteile. Als Außenklima diente die Gebietsregion Deutschland/Voralpenland mit der Wetterstation Holzkirchen.

Tabelle 1: Beispiel der Untersuchungen - Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse des Serienzustandes.

Bauteil	Innentemperatur [°C]	Rel. Innenluftfeuchte [%]	Ergebnisse der Untersuchungen des Serienzustandes
Wandaufbau ungestört	5°C-20°C	50%-80%	<p>Bauteilaufbau und Materialien sind bedingt für die gestellten klimatischen Anforderungen geeignet. Keine Probleme treten grundsätzlich bei niedrigen Innentemperaturen und hohen Außentemperaturen (z.B. Klimatisierung) auf. Kritisch erweisen sich niedrige Außentemperaturen und Innentemperaturen über 15°C, bei denen die rel. Innenluftfeuchte für längere Zeit über 70% ansteigt (z.B. Winternutzung)</p> <p>Tendenz: Je höher die Innentemperatur bei niedrigen Außentemperaturen, desto höher der Feuchteanstieg im Bauteil. Je höher die rel. Innenluftfeuchte, desto höher der Feuchteanstieg im Bauteil.</p>
Dachaufbau ungestört	5°C-20°C	50%-80%	<p>Der Dachaufbau verhält sich analog dem konstruktiv ähnlichen Wandaufbau. Bauteilaufbau und Materialien sind somit bedingt für die gestellten klimatischen Anforderungen geeignet.</p>
Bodenaufbau ungestört	5°C-20°C	50%-80%	<p>Bauteilaufbau und Materialien sind für die gestellten klimatischen Anforderungen gut geeignet. Keine Probleme treten grundsätzlich bei normalen Innentemperaturen auf.</p> <p>Aufgrund der innenliegenden Dampfsperre in Form des PVC-Belages erweisen sich bei diesem Bauteil die rel. Innenluftfeuchten als praktisch unbedeutende Größe. Als kritisch müssen Zustände bezeichnet werden, in welchen die Innentemperatur über längere Zeit weit unter die der Außentemperatur sinkt (Klimatisierung in sehr heißen Regionen).</p> <p>Tendenz: Rel. Innenluftfeuchte ohne Bedeutung. Je geringer die Temperaturdifferenz Innen - Außen, desto geringer der Feuchtegehalt des Bauteils.</p>
Boden Fahrerhaus	5°C-20°C	50%-80%	<p>Bauteilaufbau und Materialien sind nicht für die gestellten klimatischen Anforderungen geeignet. Es gelten die gleichen Abhängigkeiten wie bei Dach- und Wandaufbau, allerdings erweist sich der Boden empfindlicher gegenüber hohen rel. Innenluftfeuchten.</p> <p>Tendenz: Je höher die Innentemperatur bei niedrigen Außentemperaturen, desto höher der Feuchteanstieg im Bauteil. Je höher die rel. Innenluftfeuchte, desto höher der Feuchteanstieg im Bauteil.</p>

## 6 Untersuchungen des energetischen Verhaltens des Wohnmobiles

Die Untersuchungen im Programm Helios gliederten sich grundsätzlich in zwei Bereiche:

- Berechnung des Heiz- und Kühlenergiebedarfs unter Berücksichtigung des Nutzerverhaltens, unterschiedlicher Umgebungsklimate unter Variantenoptimierung der Bauteile.
- Berechnung der Innentemperaturen bei winterlichen und sommerlichen Bedingungen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Umgebungsklima und Variantenoptimierung der Bauteile.



Abbildung 10: Kennzeichnung des untersuchten/gedämmten Innenbereichs des Wohnmobiles

### 6.1 Ergebnisse der energetischen Betrachtungen

Als Grundlage der energetischen Betrachtungen wurde für den Winterfall eine kalte Winternacht bzw. Aufheizversuch gemäß DIN EN 1646-1 angesetzt. Folgende Varianten wurden untersucht:

U12- U1geschlossen*:	Serienmodell mit geschlossenen Rollos
U12-U1offen:	Serienmodell mit offenen Rollos
U12-U3*:	Erhöhung der Dämmstoffdicke in allen Sandwichbauteilen (Wand, Dach, Boden) um 10 mm (Rollos geschlossen)
U12-U6*:	Absenken der Grundluftwechselrate von 1,5 auf 1 (Rollos geschlossen)
U13:	Kombination der drei oben genannten Veränderungen Ux*

### Energieverbrauch Heizung

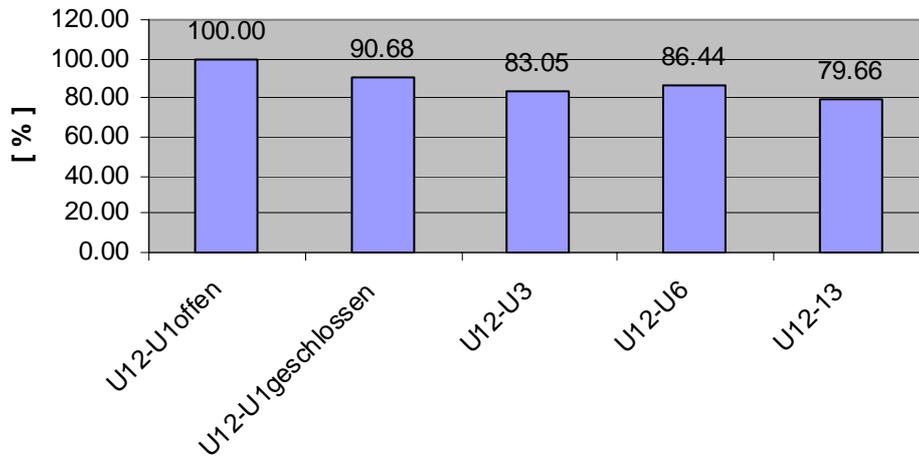


Diagramm 3: Beispiel der Untersuchungen - Darstellung der energetischen Verbräuche in Abhängigkeit von den Veränderungen am Wohnmobil.

Als Grundlage der energetischen Betrachtungen wurde für den Sommerfall eine heiße Sommerperiode in Südeuropa (Almeria-Spanien) angesetzt. Folgende Varianten wurden untersucht:

U14-U1:	Wohnmobil im Serienzustand ohne Verdunkelungs/Verschattungsrollos
U15*:	Alle Rollos geschlossen. Verschattung ab 500 W/m <sup>2</sup> Strahlungseinfall. Verschattungsgrad aller Fenster liegt bei 90%.
U15-U3*:	Erhöhung der Dämmstoffdicke in allen Sandwichbauteilen (Wand, Dach, Boden) um 10 mm (Rollos geschlossen, Verschattung wie U15)
U15-U6*:	Absenken der Grundluftwechselrate von 1,5 auf 1 (Rollos geschlossen, Verschattung wie U15)
U16*:	Kombination der drei oben genannten Veränderungen Ux*

## Kühlenergiebedarf

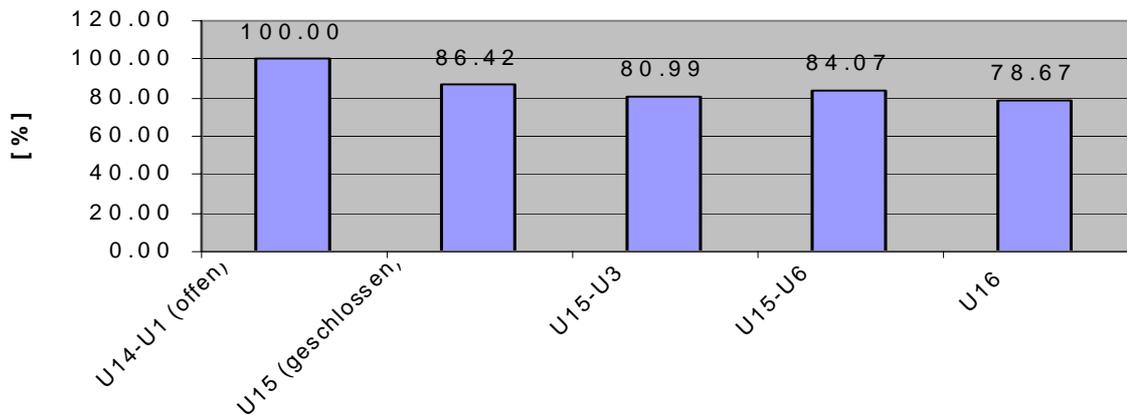


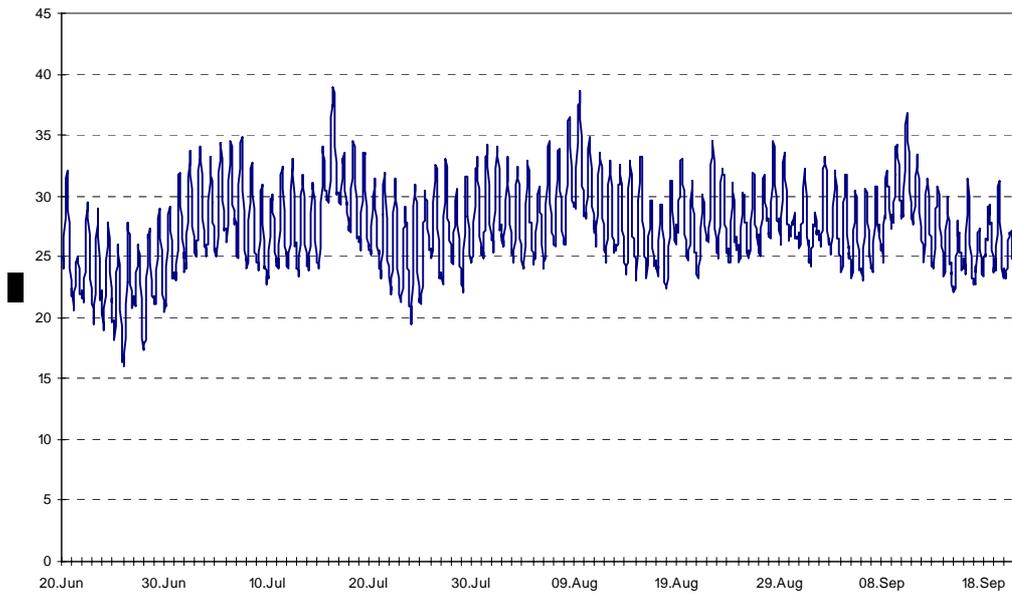
Diagramm 4: Beispiel der Untersuchungen - Darstellung der energetischen Veränderungen in Abhängigkeit von den Veränderungen am Wohnmobil

Sowohl für die Heizphase, als auch für eine mögliche Klimatisierungs- bzw. Kühlphase im Sommer zeigt sich, dass neben einer sinnvollen Erhöhung der Dämmung im gesamten Aufbaubereich, vor allem die Reduzierung der Energieverluste durch den Luftwechsel, als durchführbare Verbesserungsmaßnahme sinnvoll ist. Die Reduzierung des Luftwechsels um 1/3 zeigt hier näherungsweise die gleichen energetischen Einsparungen wie die Erhöhung der Dämmstoffstärken im Wohnmobilaufbaubereich (Dach, Boden, Wände – nicht das Fahrerhaus) um 1 cm.

## 7 Untersuchungen des Temperaturverhalten des Wohnmobileninneren unter sommerlichen Bedingungen

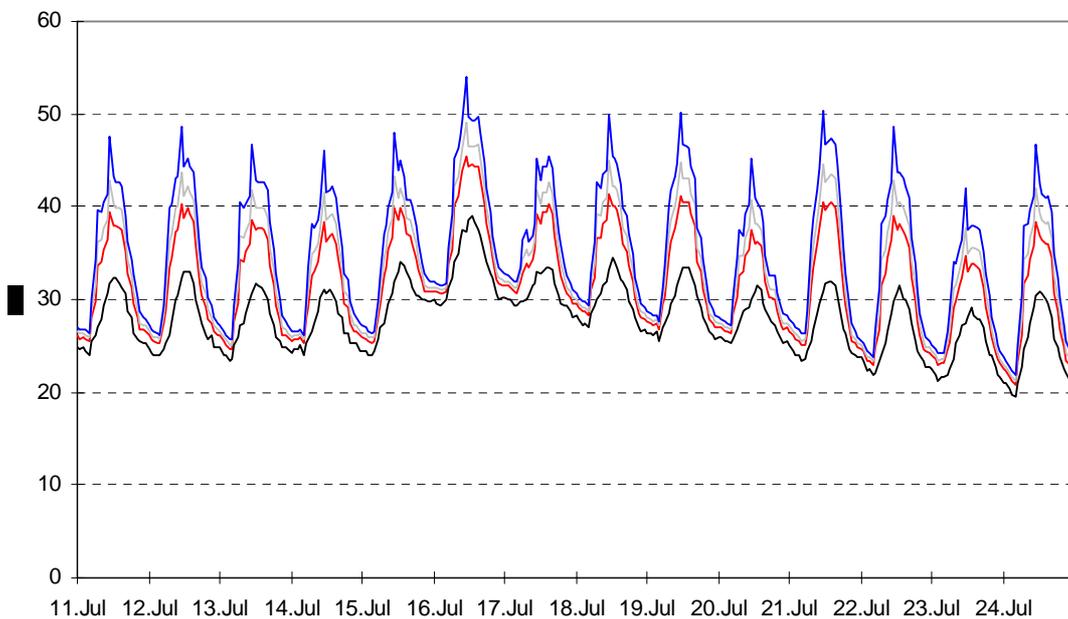
### 7.1 Vorbemerkungen

Die hier durchgeführten Temperaturberechnungen zur Untersuchung des klimatischen Verhaltens des Wohnmobileninneren unter sommerlichen Bedingungen erfolgte, aus Vergleichs- und Bewertungsgründen, OHNE den Einsatz einer Klimaanlage. Als Berechnungsgrundlage dienen die Wohnmobilklima- sowie die Nutzerverhaltensdatensätze.



**Diagramm 11:** Verlauf der Außentemperatur im Untersuchungszeitraum Winter - Almeria-Spanien

## 7.2 Klimabetrachtungen zur Sommerperiode Almeria-Spanien



**Diagramm 12:** Beispiel zu den Untersuchungen - Innentemperaturen in Abhängigkeit der Luftwechselraten; LW = 1,5 – blau; LW = 5,0 – grau; LW = 10,0 – rot; Außenlufttemperatur – schwarz

Die durchgeführten Untersuchungen des Temperaturverhaltens unter den sommerlichen Bedingungen zeigen für Almeria-Spanien folgende Ergebnisse:

- Erhöhungen der Dämmstoffstärken haben praktisch keinen Einfluss auf die Innenraumtemperaturen im Wohnmobil. Der, in der Wohnmobilszene, oft genannte Aspekt, dass dickere Dämmschichten das sommerliche Innenraumklima negativ beeinflussen („Barackenklima“), bestätigt sich in diesen Untersuchungen nicht.
- Verringerung der Innentemperaturen durch den Einsatz einer kontrollierten Verschattung der großen transparenten Bauteile.
- Verringerung der Innentemperaturen durch einen hohen Luftwechsel.
- Der Temperaturverlauf im Innenraum folgt in allen untersuchten Fällen annähernd proportional dem Verlauf der Außentemperatur. Es ist daher aufgrund der geringen Wärmespeicherfähigkeit bzw. Wärmekapazität der Bauteile nicht möglich, Temperaturspitzen zu glätten.
- Ohne den Einsatz einer technischen Klimatisierung können an heißen Sommertagen die Innenraumtemperaturen nach heutigem Stand der Wohnmobiltechnik nicht unter die Außentemperaturen gesenkt werden.
- Eine Vertiefung der hier angestellten Untersuchungen kann unter anderem bei der Erstellung von Kennfeldern für eine kontrollierte Belüftung und Verschattung helfen.
- Im Weiteren erscheint - zumindest aus energetischer Sicht – der Hinweis sinnvoll, dass vor dem Einsatz einer Klimaanlage unter hochsommerlichen Bedingungen immer eine starke Durchlüftung des aufgeheizten Innenraumes erfolgen sollte, um die Innentemperaturen abzusenken.

## **8 Das Temperaturverhalten des Wohnmobilinnenraumes unter winterlichen Bedingungen**

### **8.1 Vorbemerkungen**

Um die Einflüsse des Außenklimas auf den Wohnmobilinnenraum genauer bewerten zu können, erfolgte die Betrachtung OHNE den Einsatz einer Beheizung. Als Berechnungsgrundlage dienen die Wohnmobilklima- sowie die Nutzerverhaltendatensätze.

Um eine übersichtliche Darstellung der Ergebnisse der berechneten Varianten bei Auswahl verschärfter Winterverhältnisse gerecht zu werden, wurde eine Periode mit tiefen Temperaturen sowie einer relativ konstanten Temperaturkurve im Zeitraum vom 26. Januar bis zum 8. Februar ausgewählt.

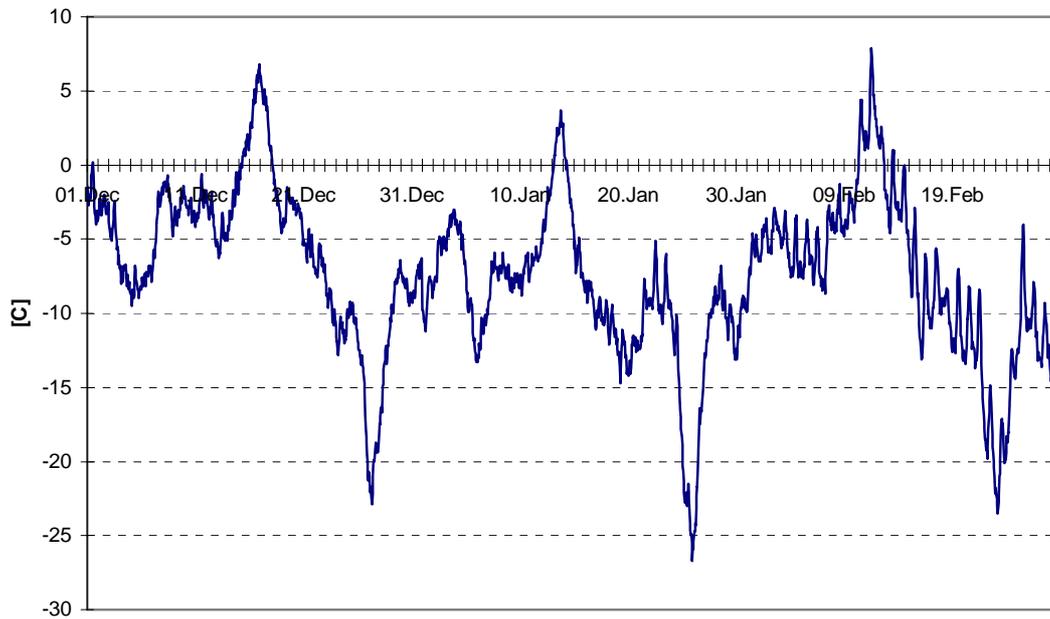


Diagramm 13: Verlauf der Außentemperatur im Untersuchungszeitraum Winter – Moskau-Russland

## 8.2 Klimabetrachtungen zur Winterperiode Moskau-Russland

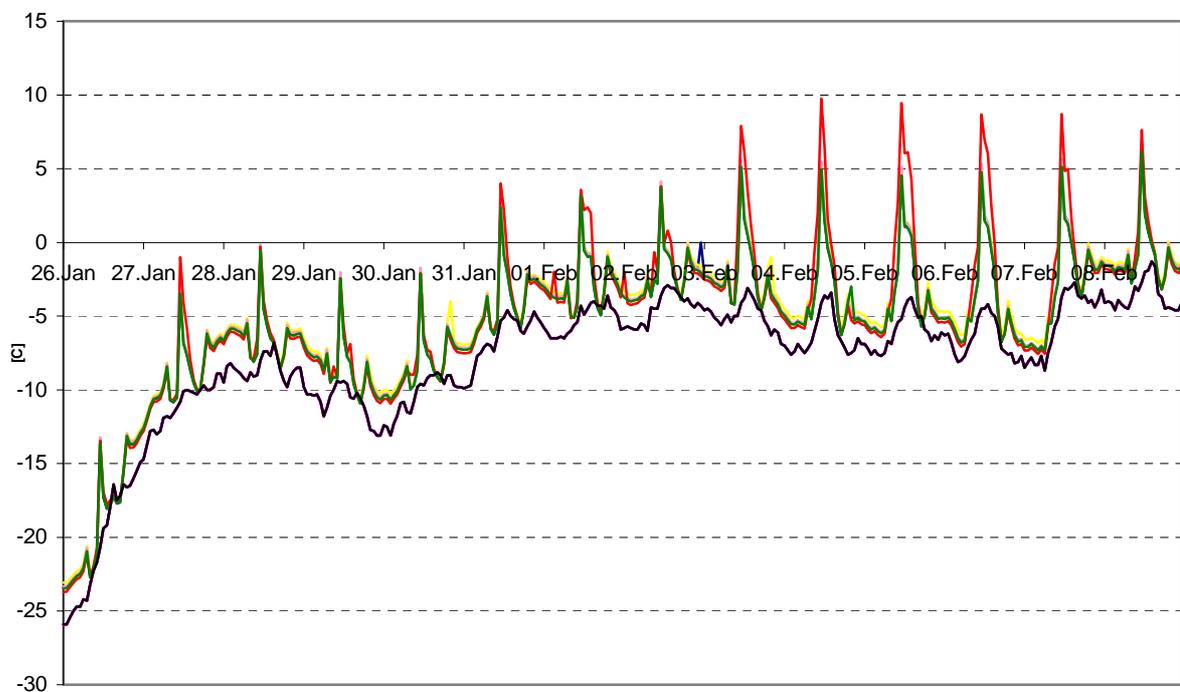


Diagramm 14: Beispiel der Untersuchungen - Innentemperaturen in Abhängigkeit der Wärmedurchlasswiderstände der Außenbauteile;

Serienaufbau – rot,

Wände Serie + 1cm WD – gelb,  
Fronscheibe –  $u = 3.0$  – blau,  
Boden Serie + 5 cm WD – grün,  
LW = 1,0 – grau,  
Außenlufttemperatur – schwarz

Die durchgeführten Untersuchungen des Temperaturverhaltens unter den winterlichen Bedingungen zeigen für Moskau-Russland folgende Ergebnisse:

- Zusätzliche Wärmedämmmaßnahmen sind am wirkungsvollsten, wenn sie an flächenmäßig große Bauteile mit schlechten wärmedämmtechnischen Eigenschaften durchgeführt werden.
- Es zeigt sich aber, dass eine Erhöhung der Wärmedämmung der Bauteile im Vergleich zur schlecht gedämmten Frontscheibe als unbedeutend anzusehen ist.
- Eine wärmetechnische Verbesserung transparenter Bauteile ist erforderlich, der Gesamtenergiegrad der Verglasungen sollte jedoch dabei nicht verringert werden.
- Ein kontrollierter Blend-Sichtschutz mit wärmedämmtechnischen Eigenschaften ist eine optimale Lösung. Zum Einen kann der Wärmeverlust des transparenten Bauteils gesenkt werden (z.B. Blendschutz nachts geschlossen), zum Anderen könnte bei erhöhtem solaren Strahlungsaufkommen eine Strahlungstransmission in den Innenraum gewährleistet werden (z.B. Blendschutz bei Sonnenschein im Winter offen).

## 9 **Schlusswort**

Die dargestellten Untersuchungen stellen nur einen Ausschnitt der Untersuchungen zum Thema „Untersuchungen zum klimatischen Verhalten Wohnmobilen“ im Rahmen eines Forschungsprogramms des University of Applied Sciences and Arts, HAWK Hildesheim-Germany, dar.

Als Ergebnis dieser Untersuchung zeigt sich, dass das unterschiedlichen Nutzerverhalten sowie die regionalen Klimaverhältnisse eine entscheidende Auswirkung auf das Klimaverhalten der Wohnmobile und der Bauteile haben. Es lassen sich jedoch allgemeingültige Regeln und Grundlagen für die Entwicklung und Bewertung der Wohnmobile aufstellen.

Folgende Untersuchungen können die Ergebnisse weiter vertiefen:

- Praktische klimaphysikalische Untersuchungen an Wohnmobilen.
- Genaue zahlenmäßige Auswertung dieser Untersuchungen.
- Untersuchung von realen Schadensfällen, die durch mangelnde Klimatauglichkeit der Bauteile entstanden sind.
- Untersuchungen an der Klimatechnik.
- Exakte Bestimmung der, für die Simulationen, benötigten Materialkennwerten.
- Untersuchung des Abkühl- und Aufheizverhaltens unter sommer- und winterlichen Bedingungen.
- Exakte Untersuchung des Temperaturverlaufs im Aufheizversuch gemäß DIN EN 1646-1 \*.
- Ermitteln von Innentemperaturwerten über eine längere Zeitdauer (z.B. 36 Monate) und Einbeziehung dieser Werte in die Innenklimadarstellung im Programm WUFI.