

Diplomarbeit

Nr. KBA/12/2016

Auslegung und Entwicklung eines Leichtbau-TinyHouse-Anhängers inklusive Aufbau

eingereicht an der Fakultät Kraftfahrzeugtechnik der
Westsächsischen Hochschule Zwickau zur Erlangung des akademischen
Grades eines

Diplomingenieurs (FH)

vorgelegt von:

cand. ing. Bauer, Dominik

geb. am: 28.01.1994

Studiengang Kraftfahrzeugtechnik Studienschwerpunkt Karosseriebau

Auftraggeber:

csi entwicklungstechnik GmbH
Fachbereich Strak
Moritzstraße 45, 08056 Zwickau

Autorenreferat

Diese Diplomarbeit handelt von der Erstellung eines Konzeptes für ein TinyHouse. Gebaut auf einem mobilen Trailer sollen diese kleinen Häuser die Umwelt schonen und die Lebensqualität heben. Der Ursprungsgedanke für diese Art Wohnraum kommt aus Amerika. In dieser Arbeit sollen Wege gefunden werden, dieses Konzept auch in Deutschland umzusetzen, ohne dabei den vom Gesetzgeber vorgegeben Rahmen zu verletzen. Dieser ist in Deutschland und Europa enger gesteckt als in den USA.

Durch das Aufstellen einer Anforderungsliste und dem aufzeigen unterschiedlicher Konstruktionsvarianten soll eine Vorzugsvariante für den Bau eines TinyHouse mitsamt Anhänger gefunden werden. Diese wird im Anschluss auskonstruiert und ein Massenkonzent so wie eine grobe Finanzkalkulation angefertigt. Verglichen werden dabei die Werkstoffe Holz und Aluminium hinsichtlich ihren Auswirkungen auf Masse und Preis der Aufbaukonstruktion.

Abschließend werden die Stahlrahmen von Anhänger und Aufbau hinsichtlich der Belastungen untersucht und durch Anfertigen einer FEM-Analyse bewertet. Eine Zusammenbauzeichnung gibt Überblick über wichtigste Teile und Maße des Tiny House.

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich diese Arbeit selbstständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder sinngemäß aus anderen Quellen übernommene Textstellen, Bilder, Tabellen u. a. sind unter Angabe ihrer Herkunft kenntlich gemacht.

Weiterhin versichere ich, dass diese Arbeit noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt wurde.

.....

Ort, Datum

.....

Dominik Bauer

DIPLOMAUFGABE

Nr.: KBA/12/2016
für Herrn cand. ing. Dominik Bauer
Studiengang Kraftfahrzeugtechnik / Studienschwerpunkt Karosseriebau

Tag der Ausgabe: 07.11.2016
Abgabetermin: 07.03.2017
Tag der Abgabe:
Ausgegeben durch: Prof. Dr.-Ing. L. Nagel
Betreuer der WHZ: Prof. Dr.-Ing. L. Nagel, M. Sc. R. Schreiter
Betreuer des Auftraggebers: Dipl.-Ing. (FH) S. Laube, csi entwicklungstechnik GmbH


Thema:

Auslegung und Entwicklung eines Leichtbau-TinyHouse-Anhängers inklusive Aufbau

Teilaufgaben:

1. Überblick und Geschichte TinyHouse
2. Modellaufbau und Massenkonzent
3. Konstruktive Umsetzung
4. Erstellung eines FEM-Modells, Analyse und Optimierung
5. Anfertigung einer Zusammenbauzeichnung

Für die Anfertigung der Diplomarbeit sind die Richtlinien der Fakultät Kraftfahrzeugtechnik zu beachten. Wenn sich die Notwendigkeit ergibt, kann der Umfang der Aufgabenstellung vom ausgebenden Professor erweitert oder eingeschränkt werden. Veröffentlichungen über den Inhalt der Diplomarbeit dürfen, sofern die Arbeit mit einem Sperrvermerk versehen wird, nur mit Zustimmung des Auftraggebers vorgenommen werden.


Prof. Dr.-Ing. L. Nagel


Prof. Dr.-Ing. A. Kobyłka
Vorsitzende des Prüfungsausschusses

Inhaltsverzeichnis

I.	VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN	I
II.	VERZEICHNIS DER TABELLEN	IV
III.	KURZZEICHENVERZEICHNIS	V
IV.	VERZEICHNIS VERWENDETER ABKÜRZUNGEN.....	VI
1	EINLEITUNG	1
1.1	PROBLEMSTELLUNG.....	1
1.2	LÖSUNGSWEG UND ZIEL DER ARBEIT.....	2
2	ÜBERBLICK ÜBER DIE TINYHOUSE-BEWEGUNG.....	3
2.1	ENTSTEHUNG DER TINYHOUSE-BEWEGUNG	6
2.2	ZIELE DER TINYHOUSE-BEWEGUNG	8
2.3	VERGLEICH VON TINYHOUSES IN DEN USA UND DEUTSCHLAND.....	11
3	AUFBAU DES TINYHOUSE-MODELLS	13
3.1	ANFORDERUNGEN AN DAS TINYHOUSE.....	13
3.1.1	<i>Klasse 1: Fahrzeugseitige Anforderungen.....</i>	<i>13</i>
3.1.2	<i>Klasse 2: Wohnraumseitige Anforderungen.....</i>	<i>14</i>
3.2	VARIANTENVERGLEICH	15
3.2.1	<i>Variante 1: Drehschemelanhänger mit festem Aufbau.....</i>	<i>19</i>
3.2.2	<i>Variante 2: Drehschemelanhänger mit Ladung.....</i>	<i>20</i>
3.2.3	<i>Variante 3: Tandemachsanhänger mit festem Aufbau.....</i>	<i>21</i>
3.2.4	<i>Variante 4: Tandemachsanhänger mit Ladung.....</i>	<i>22</i>
3.2.5	<i>Bestimmung der Vorzugsvariante</i>	<i>24</i>
3.3	ZU BERÜCKSICHTIGENDE PACKAGE-ELEMENTE UND REGELUNGEN.....	25
3.3.1	<i>Regelungen für die Zulassung.....</i>	<i>25</i>
3.3.2	<i>Versicherung des TinyHouse.....</i>	<i>25</i>
3.3.3	<i>Hänger.....</i>	<i>26</i>
3.3.4	<i>Grundplatte.....</i>	<i>27</i>
3.3.5	<i>Rahmenbauweise</i>	<i>28</i>

3.3.6	<i>Wandaufbau</i>	29
3.3.7	<i>Dach</i>	31
3.3.8	<i>Fenster und Türen</i>	32
3.3.9	<i>Wasserversorgung</i>	32
3.3.10	<i>Energieversorgung und Heizung</i>	33
3.4	MASSENKONZEPT UND AUSLEGUNG	37
3.4.1	<i>Trailer</i>	38
3.4.2	<i>Aufbau</i>	38
3.4.3	<i>Küche und Haushalt</i>	40
3.4.4	<i>Wohnraum und Arbeitsplatz</i>	41
3.4.5	<i>Schlafraum und Rückzugsort</i>	41
3.4.6	<i>Bad und Installation</i>	42
3.4.7	<i>Überblick und finale Kalkulation</i>	43
3.5	KOSTENKALKULATION	45
4	KONSTRUKTION DES TINYHOUSE	49
4.1	SCHWERPUNKTBERECHNUNG	49
4.2	BELEUCHTUNGSEINRICHTUNGEN	54
4.3	DETAILS DER KONSTRUKTION	58
4.3.1	<i>Materialauswahl und Materialstärken</i>	58
4.3.2	<i>Verbindungen einzelner Baugruppen</i>	59
4.3.3	<i>Tropfkante</i>	59
4.3.4	<i>Verstärkung Deichselrahmen</i>	60
4.3.5	<i>Waschbecken-Dusch-Kombination</i>	60
4.4	VERBESSERUNGSPOTENTIAL	61
5	ERSTELLUNG EINES FEM-MODELLS UND OPTIMIERUNG DER KONSTRUKTION DURCH CATIA-FEM-TOOLS	63
5.1	VORBETRACHTUNGEN	63
5.2	AUFSTELLEN VON MODELL UND RANDBEDINGUNGEN	66
5.2.1	<i>Trailer-FEM-Modell</i>	67
5.2.2	<i>Aufbau-FEM-Modell</i>	73
5.3	UNTERSUCHUNG DER RAHMENMODELLE	79

5.3.1	<i>Fall 1: Schneelast</i>	79
5.3.2	<i>Fall 2: Gegenwind</i>	82
5.3.3	<i>Fall 3: Kurvenfahrt</i>	85
5.3.4	<i>Fall 4: Bremsvorgang</i>	87
5.4	AUSWERTUNG DER RECHENERGEBNISSE	89
5.4.1	<i>Berechnungsergebnisse Fall 1: Schneelast</i>	90
5.4.2	<i>Berechnungsergebnisse Fall 2: Gegenwind</i>	92
5.4.3	<i>Berechnungsergebnisse Fall 3: Kurvenfahrt</i>	94
5.4.4	<i>Berechnungsergebnisse Fall 4: Bremsvorgang</i>	96
5.5	PROBLEMSTELLEN IN DER TINYHOUSE-KONSTRUKTION	98
6	ANFERTIGUNG EINER ZUSAMMENBAUZEICHNUNG	100
7	FAZIT	102
8	ZUSAMMENFASSUNG	103
9	LITERATURVERZEICHNIS.....	104
10	VERZEICHNIS DER ANLAGEN	111

I. Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: alpha tinyhouse Exterieur [9].....	3
Abbildung 2: small houses [72]	4
Abbildung 3: alpha tinyhouse Interieur [14] [15]	5
Abbildung 4: Vergleich der Wohnfläche zwischen Amerika und Europa [69]	6
Abbildung 5: Aufstellen eines SmallHouse auf Punktfundamenten [70].....	9
Abbildung 6: Kreatives TinyHouse [77]	10
Abbildung 7: Überblick über die Ziele der TinyHouse-Bewegung	10
Abbildung 8: Drehschemelanhänger mit festem Aufbau	19
Abbildung 9: Drehschemelanhänger mit Ladung	20
Abbildung 10: Tandemachsanhänger mit festem Aufbau.....	21
Abbildung 11: Tandemachsanhänger mit Ladung.....	22
Abbildung 12: Rahmenaufbau Trailer.....	27
Abbildung 13: einzelne Schichten der Bodengruppe.....	27
Abbildung 14: Holz- und Metallrahmen	29
Abbildung 16: z-Schnitt Wandaufbau Holzrahmen.....	30
Abbildung 15: Explosionsgrafik Wandaufbau Holzrahmen.....	30
Abbildung 17: z-Schnitt Wandaufbau Metallrahmen	31
Abbildung 18: Explosionsgrafik Wandaufbau Metallrahmen	31
Abbildung 19: BiSun Photovoltaik-Modul Wirkungsweise	34
Abbildung 20: Kostenübersicht Anhänger	46
Abbildung 21: Kostenübersicht Baumaterialien Metallrahmen	46
Abbildung 22: Kostenübersicht Baumaterialien Holzrahmen	47
Abbildung 23: Kostenübersicht Innenausbau	48
Abbildung 24: Gesamtkosten TinyHouse	48
Abbildung 25: Tabellenkopf Schwerpunktermittlung	49
Abbildung 26: Bezugsebenen Schwerpunktberechnung.....	50
Abbildung 27: Schwerpunktkoordinaten TinyHouse.....	50
Abbildung 28: Skizze zur Achspositionsermittlung	51
Abbildung 29: Skizze zur einseitigen Schwerpunktlage	52
Abbildung 30: Positionen der Beleuchtungseinrichtungen am Einachsanhänger [76]	54
Abbildung 31: Leuchten- und Kennzeichenträger TinyHouse	56

Abbildung 32: Positionsmaße der Beleuchtungseinrichtungen	57
Abbildung 33: Tropfkante am Trailer	59
Abbildung 34: Verstärkung des Deichselrahmens.....	60
Abbildung 35: Dusche mit integriertem Waschbecken [80]	60
Abbildung 36: Rolltor statt Balkontür im Alpha-TinyHouse [75].....	61
Abbildung 37: Ausklappbare Terrasse am Alpha-TinyHouse [55]	62
Abbildung 38: Ablauf der FE-Berechnung.....	64
Abbildung 39: Neutrale Faser im Querschnitt [57].....	64
Abbildung 40: Mittelflächen und Handlerpoints Trailer	67
Abbildung 41: Vernetzung des Trailers mit Linien für Schweißnahtdefinition	68
Abbildung 42: Vernetzungseigenschaften Trailer	69
Abbildung 43: Benutzermaterial Stahl	69
Abbildung 44: Befehl "2D-Eigenschaft zuweisen"	69
Abbildung 45: Analyse von Verbindungen Trailer	70
Abbildung 46: Eigenschaften der Verbindungen	71
Abbildung 47: Lagerung Trailer-Modell	71
Abbildung 48: Virtuelle Elemente der Außenwände(links) und Dach sowie Innenwände (rechts)	72
Abbildung 49: Virtuelle Elemente Bodengruppe.....	72
Abbildung 50: Vernetzung des Aufbaus	74
Abbildung 51: Vernetzungseigenschaften Aufbau.....	75
Abbildung 52: Lagerung Aufbau-Modell	76
Abbildung 53: Virtuelle Elemente im Aufbau-Modell	77
Abbildung 54: Schneekarte Deutschland	80
Abbildung 55: Lasteintrag Schneelast im Modell.....	82
Abbildung 56: Projizierte Querschnittsfläche TinyHouse.....	83
Abbildung 57: Widerstandsbeiwerte verschiedener Fahrzeuge [62]	83
Abbildung 58: Lasteintrag Luftwiderstand im Modell.....	84
Abbildung 59: Sicherungsvorgaben nach VDI 2700.....	85
Abbildung 60: Kräfte der Kreisbewegung [79].....	86
Abbildung 61: Lasteintrag Kurvenfahrt im Modell.....	87
Abbildung 62: Lasteintrag Bremsvorgang im Modell	88
Abbildung 63: Berechnungsergebnisse Trailer Schneelast.....	90
Abbildung 64: Berechnungsergebnisse Aufbau Schneelast.....	91

Abbildung 65: Berechnungsergebnisse Trailer Gegenwind	92
Abbildung 66: Berechnungsergebnisse Aufbau Gegenwind	93
Abbildung 67: Berechnungsergebnisse Trailer Kurvenfahrt	94
Abbildung 68: Berechnungsergebnisse Aufbau Kurvenfahrt	95
Abbildung 69: Berechnungsergebnisse Trailer Bremsvorgang	96
Abbildung 70: Berechnungsergebnisse Aufbau Bremsvorgang	97
Abbildung 71: Verbesserungspotential Rahmenkonstruktion Trailer	98

II. Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Anforderungen an das TinyHouse	14
Tabelle 2: Variantenvergleich	23
Tabelle 3: Massenüberblick Trailer	38
Tabelle 4: Massenüberblick Bodengruppe	39
Tabelle 5: Massenüberblick Außenwände und Rahmenkonstruktion	39
Tabelle 6: Massenüberblick Dach	40
Tabelle 7: Massenüberblick Küche und Haushalt	40
Tabelle 8: Massenüberblick Wohnraum und Workspace	41
Tabelle 9: Massenüberblick Schlafrum und Rückzugsort	41
Tabelle 10: Massenüberblick Bad und Installation	42
Tabelle 11: Überblick über die Gesamtmassen der Bauvarianten	43
Tabelle 12: Masseneinsparpotential im TinyHouse	44
Tabelle 13: Virtuelle Elemente Trailer	73
Tabelle 14: Gewichtskraft Virtuelle Elemente Aufbaumodell	78
Tabelle 15: Schneelasttabelle [60]	81
Tabelle 16: Kräfte auf den Trailer bei Kurvenfahrt.....	85
Tabelle 17: Kräfte auf den Aufbau bei Kurvenfahrt	86
Tabelle 18: Belastungen Trailer Bremsvorgang	87
Tabelle 19: Belastungen Aufbau Bremsvorgang	88
Tabelle 20: Maximalbelastungen in Berechnungsfall Schneelast.....	91
Tabelle 21: Maximalwerte Berechnungsfall Gegenwind.....	93
Tabelle 22: Maximalwerte Berechnungsfall Kurvenfahrt	95
Tabelle 23: Maximalwerte Berechnungsfall Bremsvorgang	97

III. Kurzzeichenverzeichnis

Kurzzeichen	Einheit	Erläuterung
a	mm	Nahtdicke
A_{Dach}	m^2	Dachfläche
a_{max}	mm	maximale Nahtdicke
A_{Quer}	m^2	Querschnittsfläche
a_r	m/s^2	Radialbeschleunigung
b	mm	Breite
c_w	-	c_w -Wert
F_B	N	Bremskraft
F_G	N	Gewichtskraft
F_{Schnee}	N	Schneelast
F_W	N	Windwiderstandskraft
F_{Zt}	N	Zentrifugalkraft
g	m/s^2	Erdbeschleunigung
G_{Achs}	N	Achslast
G_{BFS}	N	Radlast Beifahrerseite
G_{FS}	N	Radlast Fahrerseite
$G_{\text{Stütz}}$	N	Stützlast
l_1, l_2, l_3	mm	Abstandsmaße
m	kg	Masse
m_A	kg	auf Achse wirkende Masse
P	W	Leistung
P_{Solar}	wp	Spitzenleistung einer Photovoltaikanlage/ eines Photovoltaikpanels
r_k	m	Kurvenradius
R_m	N/mm^2	mittlere Zugfestigkeit
s_l, s_r	mm	Schwerpunktsabstandsmaße
t	mm	Verschiebung
t_{min}	mm	Blechdicke
v_{Fahrzeug}	m/s	Fahrzeuggeschwindigkeit
v_k	m/s	Kurvengeschwindigkeit
v_{res}	m/s	resultierende Geschwindigkeit
v_{Wind}	m/s	Windgeschwindigkeit
W	Ws	Arbeit

Griechische Buchstaben

Griechische Buchstaben	Einheit	Erläuterung
ρ	kg/m^3	Dichte
ρ_L	kg/m^3	Luftdichte
σ	N/mm^2	mechanische Spannung

IV. Verzeichnis verwendeter Abkürzungen

Begriff	Erklärung
CATIA	C omputer A ided T hree-Dimensional I nteractive A pplication
FE	F inites E lement
FEA	F inite E lemente A nalyse
FEM	F inite E lemente M ethode
GSA	G enerative S tructural A nalysis
GSD	G enerative S hape D esign
NN	N ormal N ull
StVO	S traßenverkehrs o rdnung
StVZO	S traßenverkehrs- Z ulassungs- O rdnung

Vorwort

Diese Diplomarbeit zum Thema TinyHouse entstand in Kooperation mit csi entwicklungs-technik GmbH und greift das Thema der Package-Erstellung für ein TinyHouse, welches davor in einer Studienarbeit an der Westsächsischen Hochschule bearbeitet wurde, vollkommen neu auf.

Ich bin sehr dankbar für dieses spannende und interessante Thema, welches mich nicht nur im Studium begleitet hat, sondern auch in meinen Alltag Einzug hält.

Zuerst gilt der Dank für dieses Thema und den zeitlichen Ablauf der gesamten Bearbeitungszeit dieser Arbeit Gott. Ohne seine Kraft und Unterstützung wäre diese Arbeit nicht fertig geworden.

Ich danke meiner Frau, die innerhalb dieser Bearbeitungszeit mit mir Hochzeit gefeiert hat und in diesem ersten halben Jahr unserer Ehe viel zurückgesteckt hat, damit diese Arbeit in der Form, in der sie jetzt vor Ihnen liegt, fertiggestellt werden konnte. Danke, Lisa, dass Du mir den Rücken freigehalten hast und mich bedingungslos unterstützt hast.

Ich bedanke mich außerdem bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Lutz Nagel und Herrn M. Sc. René Schreiter für die Betreuung seitens der Hochschule. Ohne Sie hätte ich an der ein oder anderen Stelle den Fokus verloren und die FEM-Analyse nicht in dem Umfang meistern können. Vielen Dank für die fachliche Unterstützung bei der Bearbeitung dieses Themas.

Auch der Firma csi entwicklungs-technik GmbH danke ich für die gegebene Freiheit, die Möglichkeit des Eigenständigen Arbeitens und die Unterstützung in allen Fragen. Besonders bedanken möchte ich mich bei meinem Betreuer, Dipl.-Ing. (FH) Simon Laube, der in der Ideenfindung wie auch in Fragen der Form eine große Hilfe war. Auch für die Ideen anderer Kollegen und vor allem die Hilfe im Umgang mit der Catia-Software bin ich sehr dankbar!

Mein Dank gilt auch meiner Familie und allen Freunden, die verständnisvoll zurückgesteckt haben, vor allem in den letzten zwei Monaten, als der Großteil meiner Zeit für diese Arbeit investiert wurde. Ich danke außerdem meiner Kirche, die mir Aufgaben abgenommen und verteilt hat, um mir Freiraum für diese Arbeit zu geben.

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Unter Trends versteht man eine „(über einen gewissen Zeitraum bereits zu beobachtende, statistisch erfassbare) Entwicklung“ [1].

Viele der aktuellen Trends kommen in einer globalisierten Welt von Amerika über den Atlantik nach Europa, einige von ihnen setzen sich durch, andere vergehen schnell. Aktuell ist es unter anderem der Trend des TinyHouse, der aus Amerika kommend immer mehr Menschen in Europa und Deutschland begeistert. Neben Fernsehberichten über Menschen wie Anna Donath, die seit über 20 Jahren in einem Blockhaus lebt [2], spiegeln auch Foren und Informationsseiten wie tiny-houses.de das Interesse der Menschen an diesem Trend wieder. Ein steigendes Interesse sieht man auch im Wachstum von Plattformen im social Media, zum Beispiel TinyHouse-Informationseiten auf Facebook. Die aktuell knapp 16500 Gefällt-mir-Angaben zählende und seit 2011 auf Facebook existierende Seite tiny-houses.de feierte noch im Jahr 2015 das Erreichen von 5000 Likes [3]. Die Zahl der Menschen, die gespannt die Entwicklung der Mini-Wohnungen verfolgt, steigt ebenso wie die Zahl der Bauherren [4] [5]. Die kleinen Häuser sollen alles bieten was zum Leben benötigt wird. Durch ihre geringe Größe können sie auf einem Trailer transportiert werden. Diese beiden Eigenschaften zu vereinen birgt einige Herausforderungen. Die gesetzlichen Vorschriften sind in Deutschland enger gefasst als im Herkunftsland USA. Wie in Kapitel 2.3 näher beschrieben, müssen in Europa niedrigere Maß- und Gewichtsgrenzen eingehalten werden. Vor allem die niedrigere Masse ist dabei ein Problem, wie Kapitel 3.4 zeigt.

Während die Lebenseinstellung und Motivation, die hinter der TinyHouse-Bewegung steht, sich ohne weiteres auch in Deutschland durchzusetzen beginnt, bedarf es einer genauen Planung, um einen TinyHouse-Anhänger zu bauen und diesen dann nach den Vorschriften der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (kurz: StVZO) zuzulassen.

1.2 Lösungsweg und Ziel der Arbeit

Um eine Zulassung im deutschen Verkehrsraum zu erhalten, müssen grundsätzlich die in der StVZO geforderten Maße und Massen eingehalten werden. Diese sind in Deutschland im Bereich der PKW und PKW-Anhänger viel stärker eingegrenzt als in den USA. Es ist überdies wichtig zu beachten, dass nach einer erfolgreichen technischen Prüfung sowohl eine Versicherung gefunden werden, als auch eine Anerkennung als Wohnobjekt erfolgen muss. Über das Erstellen und Abarbeiten einer Anforderungsliste und den Vergleich unterschiedlicher Lösungsvarianten soll in dieser Arbeit eine Möglichkeit gefunden werden, TinyHouses in Deutschland zu bauen und zuzulassen. Bestenfalls sollte dies geschehen, ohne dass Abstriche bei der ursprünglichen Idee gemacht werden müssen.

Für den Aufbau sollen zwei Rahmenvarianten, jeweils aus Metall und Holz, erarbeitet werden. Auf Basis dieser Lösung soll schlussendlich an einem stark vereinfachten Modell des Trailers und des Metallaufbaus geprüft werden, wo Potential zur Materialeinsparung besteht beziehungsweise der Rahmen verstärkt werden sollte. Dazu wird dieses mit der in CATIA integrierten FEM-Analyse geprüft.

In dieser Arbeit soll die TinyHouse-Konstruktion beschrieben und Lösungen für die auftauchenden Herausforderungen aufgezeigt werden. Somit möchte diese Arbeit einen Beitrag dazu leisten, dass TinyHouses in Deutschland gebaut und zugelassen werden können.

2 Überblick über die TinyHouse-Bewegung

Damit ein besseres Verständnis für die Konstruktion und den Bau von TinyHouses erzeugt werden kann, soll als Erstes der Begriff geklärt werden. Auch der darauffolgende geschichtliche Überblick über die TinyHouse-Bewegung kann zu einem umfassenden Verständnis beitragen.

Unter einem TinyHouse, dargestellt in Abbildung 1, versteht man, wörtlich übersetzt, ein winziges Haus [6]. Dabei sind die Größenangaben nicht genau definiert. Es lässt sich in Foren und auf Informationsseiten wie tinyhousetalk.com in Zusammenhang mit der Bezeichnung TinyHouse aber oft die Größenangabe von maximal 400 square feet Grundfläche finden [7] [8]. Ins metrische Maßsystem umgerechnet ergibt das eine Wohnfläche von knapp über 37m².



Abbildung 1: *alpha tinyhouse Exterieur* [9]

Auf dieser Fläche ist in einem TinyHouse alles untergebracht, was vom Bewohner zum Leben benötigt wird. Da zu den Zielen des TinyHouse-Baus auch Downsizing, das Reduzieren von Fläche und Eigentum zur Ressourcenschonung, gehört, weichen diese Ausstattungen aber zum Teil stark voneinander ab. Während zum Beispiel einige Besitzer auch auf Wasser- und Stromversorgung verzichten, soll im hier betrachteten TinyHouse beides eingeplant werden.

Während in Amerika mit der Bezeichnung TinyHouse jegliche Gebäude mit entsprechender Wohnfläche erfasst werden, versteht man in Deutschland unter TinyHouses oft nur die kleinen Häuser auf Fahrzeuganhängern [10]. Feststehende Häuser der gleichen Größe, ein Beispiel ist umseitig in Abbildung 2 zu erkennen, werden in Deutschland als Mini-, Small- und Kleinhäuser bezeichnet.



Abbildung 2: small houses [72]

Einen Blick in den Innenraum bietet Abbildung 3 auf Seite 3.

Klar abgegrenzt sind TinyHouses von Wohnwagen und in Amerika verbreiteten Motorhomes. Sie unterscheiden sich in ihrem Zweck. Während das TinyHouse für den festen Stand mit der Option des Transports gestaltet ist, sind Wohnwagen und ähnliche Bauten direkt darauf ausgelegt, ständig bewegt zu werden. Dieser Unterschied findet sich in der Gestaltung wie auch in der genutzten Größe wieder. Während Wohnanhänger im Transportzustand kaum die Höhe des Zugfahrzeugs überschreiten (Luxusmodelle nicht höher als 2,8m [11] [12]), um den Luftwiderstand und damit den Kraftstoffverbrauch des Fahrzeugespanns auf langen Strecken zu reduzieren, liegen TinyHouses mit (knapp) 4m Höhe in der Regel an der gesetzlichen Obergrenze der Fahrzeughöhe [13]. Sie sind außerdem für das dauerhafte Bewohnen konzipiert und erfüllen damit höhere Anforderungen. Die kleinen Häuser sind in Europa zum Beispiel so gedämmt, dass sie problemlos im Winter genutzt werden können. Um die Idee hinter TinyHouses zu verstehen und eine genauere Vorstellung über die Konstruktion zu erlangen ist es enorm wichtig, den Ursprung der Bewegung zu betrachten.



Abbildung 3: alpha tinyhouse Interieur [14] [15]

2.1 Entstehung der TinyHouse-Bewegung

Die Mietpreise in den Städten Deutschlands, vor allem in den Ballungsräumen, sind in den letzten Jahren beständig gestiegen. In den großen Städten der Bundesrepublik war dieser Anstieg so enorm, dass Kaltmieten um 15€/m² keine Seltenheit mehr sind. In Stuttgart haben sich die Mieten von Häusern von 2010 bis 2015 zum Beispiel um 42,5%, Wohnungen sogar um 55,5%, verteuert [16]. Während man in diesem Ballungsraum noch mit durchschnittlich 12,8€/m² [17] rechnen kann, sind es in München bereits 18,46€/m² [18] (Stand Oktober 2016). Eine ähnliche Entwicklung der Mietpreise hat in Amerika dazu geführt, dass die Idee des TinyHouse entstand. Es waren allerdings nicht nur die begehrten Objekte in der Stadt, die den Preis steigen ließen. Die Wohnmaßstäbe sind in Übersee völlig andere als in Europa. Während ein 2003 neu gebautes Wohnhaus in Amerika eine durchschnittliche Wohnfläche von über 210m² bietet [19], ist die durchschnittliche Fläche eines neugebauten Hauses in Europa nur halb so groß [19].

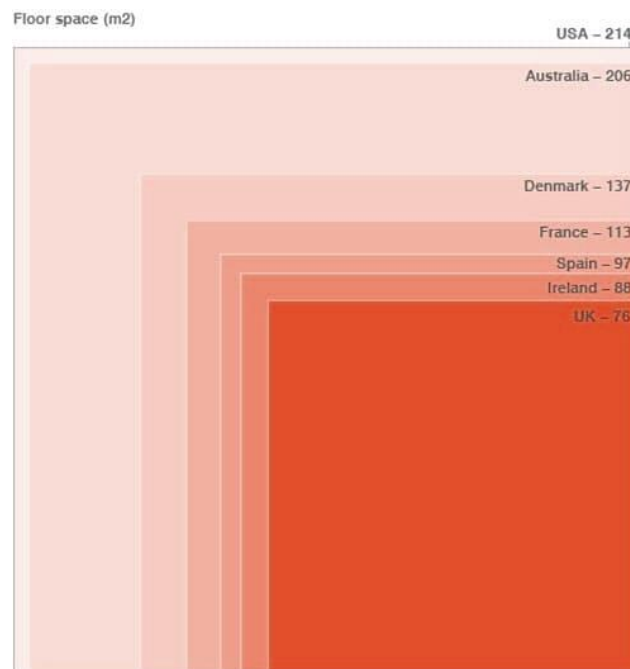


Abbildung 4: Vergleich der Wohnfläche zwischen Amerika und Europa [69]

Die großen Häuser haben einen enormen Einfluss auf das Leben der Amerikaner. Nicht selten werden mehr als ein Drittel des Monatseinkommens in Miete oder Kredittilgung investiert [20]. Noch dazu muss Zeit für den Bau und die Instandhaltung sowie die Reinigung investiert werden. Auch die Kosten für Möbel, die den großen Wohnraum füllen sollen, sind nicht zu vernachlässigen.

All das bewirkt, dass Schulden über Jahre zum Alltag vieler Amerikaner gehören. Zum Teil nehmen Kinder die Schulden der Eltern auf sich und sind so schon mit dem Start in das Berufsleben schuldlich vorbelastet. Die Tendenz, dass sich immer mehr Menschen verschulden, ist nach wie vor steigend [21] [22].

Schon bevor diese Entwicklung vorhersehbar war, wollte ein Mann seinen Lebensinhalt anders gestalten. In seinem Buch „Walden“ schreibt Henry David Thoreau, der mit seinen Gedanken zum Wohnen und Leben schon im Jahr 1854 die Grundlagen der TinyHouse-Bewegung formulierte, folgendes:

„I went to the woods because I wished to live deliberately to front only the essential facts of life, and see if I could not learn what it had to teach, and not, when I came to die, discover that I had not lived“ [23].

Thoreau sagt an dieser Stelle sinngemäß, dass er am Ende seines Lebens feststellen möchte, dass er es ausgekostet hat. Ihm ist wichtig, nicht feststellen zu müssen, dass er gar nicht „richtig“ gelebt hat. Damit verbindet er ganz klar, dass er bewusst leben will und sich nur mit den essentiellen Bestandteilen des Lebens konfrontieren will. Sein Buch beschreibt, wie er in einer einfachen Hütte lebt und das Leben in einer Einfachheit genießt, die sich Bewohner einer Stadt des 21. Jahrhunderts kaum mehr vorstellen können.

Von 1854 an verging jedoch viel Zeit, bis das erste TinyHouse auf einen Fahrzeuganhänger gebaut wurde. Die noch heute existierende Firma Tumbleweed Tiny House Company montierte im Jahr 1999 das erste TinyHouse auf Rädern [24]. Maßgeblich beteiligt an der Entwicklung war Jay Shafer, der als Grund für die Entwicklung und den Bau eine große Nachfrage nach gut designten und vor allem bezahlbaren Häusern sah [25]. Diese Nachfrage steigt, da Menschen nun auch Wert auf finanzielle Unabhängigkeit legen, als nur auf die Sicherheit, die große Gebäude bieten. In Zeiten von Börsencrashes und platzenden Immobilienblasen ist die Nachfrage nach bezahlbaren, kleinen Häusern groß. Warum sie dem Bewohner trotz wenig Fläche viel Lebensqualität bieten, wird in Kapitel 2.2 näher beschrieben. Während der Trend des TinyHouse und vor allem des TinyHouse auf Rädern in den USA schon seit der Jahrtausendwende unaufhörlich wächst, kommt der Trend, wie die größte Plattform für TinyHouses in Deutschland zeigt, erst seit ungefähr 5 Jahren hier in Europa an [26]. Warum in Deutschland allerdings mehr Konzepte für feststehende Small Houses entwickelt und umgesetzt und weniger rollende TinyHouses gefertigt werden, erläutert Kapitel 2.3.

2.2 Ziele der TinyHouse-Bewegung

Die Ziele der TinyHouse-Bewegung sind vielfältig. Auch wenn die einzelnen Ziele für sich stehen und nach den individuellen Vorstellungen des Bauherrn in ihrer Priorität variieren, sind sie doch stark miteinander vernetzt. Sie lassen sich alle in Freiheiten unterteilen, die der Bewohner genießen kann.

Diese Freiheiten sind:

- Mehr finanzielle Unabhängigkeit
- Mehr Zeit zum Leben
- Weniger Dinge zum Leben
- Mehr Mobilität
- Mehr Nachhaltigkeit
- Mehr Individualität

Mehr finanzielle Unabhängigkeit

Vorn an steht die finanzielle Unabhängigkeit. Sie war eine der treibenden Kräfte in der Entwicklung der Bewegung (Siehe Kapitel 2.1). Der Bau des TinyHouse soll so kostengünstig wie möglich sein. Durch die geringe Grundfläche und die Komprimierung des Wohnraumes liegen Baupreise für die kleinen Häuser viel niedriger als die der normalgroßen Wohngebäude. Grob kalkulieren kann man bei den kleinen Häusern mit einem Quadratmeterpreis von ungefähr 2000€ [27]. Mit welchen Kosten gerechnet werden muss, ist dabei aber stark von den eigenen Ansprüchen und Wünschen abhängig. Ein nachhaltiger Bau ist sehr preisintensiv und auch der Mobilität bietende Anhänger verursacht hohe Kosten. Kleine Häuser mit wenig Komfort, wie das „Unreal Estate House“ von Architekt Van Bo Le-Mentzel, lassen sich sogar für 5000€ realisieren [28].

Mit den niedrigen Kosten stellt sich die TinyHouse-Bewegung gegen die steigenden Kosten für Wohnraum und die große Verschuldung beim Bau des Eigenheims in Amerika. Auch hier in Deutschland sind immer mehr Menschen von dieser Möglichkeit begeistert und stellen sich die Frage, wie die Kosten für den eigenen Wohnraum reduzieren werden können. Dabei geht es jedoch nicht nur um die Investition in das Haus selbst. Auch die laufenden Kosten sind bei einer so geringen Wohnfläche niedriger. Weniger Instandhaltung, weniger Heizkosten, weniger Aufwand in der Reinigung. Geld, das an diesen Stellen gespart wird, kann in andere, wertvolle Dinge des Lebens investiert werden.

Mehr Zeit zum Leben

In finanzieller Hinsicht frei zu sein wirkt sich auch auf den Beruf aus. Thoreau schrieb, er wollte am Ende seines Lebens nicht merken, dass er nicht gelebt hatte [23]. Das gesparte Geld kann für „mehr Leben“ ausgegeben werden. Und auf Grund von Ersparnissen sind Auszeiten keine Besonderheit. Anne Donath zum Beispiel, Besitzerin eines SmallHouse in Steinhausen, arbeitete 3 Monate im Jahr und finanzierte sich damit die restlichen 9 Monate des Jahres in ihrem Holzhaus [29]. Mehr Zeit zum Genießen und um die Welt zu entdecken. Und auch weniger Zeit für Instandhaltung und Reinigung. Auf Grund des begrenzten Stauraumes dauert auch das Ordnung schaffen nicht lang. Somit kann Zeit, anstatt ins Stundenlange aufräumen, in Freizeit investiert werden.

Weniger Dinge zum Leben

Während einige Menschen froh sind über viel Abstellfläche und damit viele Dinge, die angehäuft werden können, schätzen TinyHouse-Bewohner an der wenigen Wohnfläche gerade, dass man nur das Nötige besitzt. Daraus entsteht ein wirklich stark heruntergebrochener Lebensstil, der Zufriedenheit mit Wenigem fördert und sich gegen das Horten von Besitz stellt.

Mehr Mobilität

In einer schnelllebigen Zeit ist Mobilität ein hoher Wert. Ob in Form von Fahrzeugen, oder eben sogar mit Blick auf die eigenen vier Wände. Das TinyHouse auf Rädern fährt bei einem Umzug im Gespann mit und behält die heimische Wohnumgebung bei. Selbst feststehende TinyHouses und SmallHouses können per LKW-Transport ihren Standort wechseln, da sie oft nur auf Punktfundamenten stehen und ohne Fundament über ausreichend Stabilität für den Transport verfügen. Damit ermöglichen Tiny- und SmallHouses eine große Flexibilität und bieten trotzdem überall das Gefühl, zu Hause zu sein.



Abbildung 5: Aufstellen eines SmallHouse auf Punktfundamenten [70]

Mehr Nachhaltigkeit

Nicht zuletzt ist die Reduzierung des Lebensstandards, der Wohnfläche und der Besitztü-

mer auch Ausdruck von Sparsamkeit und dem Wunsch, den eigenen ökologischen Fußabdruck in dieser Welt zu minimieren. Durch einen geringeren Verbrauch von Rohstoffen beim Bau, weniger benötigter Energie in der Nutzung (vor allem beim Heizen) und der geringen bebauten und damit versiegelten Grundfläche wird die Umwelt geschont und nachhaltig gebaut. Viele Bauherren achten beim Bau außerdem auf eine umweltfreundliche Ressourcenauswahl und nutzen, sofern möglich, ausschließlich nachwachsende Rohstoffe für ihre Umsetzung des TinyHouse.

Mehr Individualität

Oftmals werden TinyHouses von ihren Bewohnern auch selbst geplant und errichtet. Das zeigen die vielen verschiedenen Bauformen und -Varianten. Der Antrieb, sein eigenes Haus zu bauen und etwas Individuelles zu kreieren, bringt eine große Vielfalt hervor. Die Häuser sind so perfekt auf die eigenen Bedürfnisse zugeschnitten und der große Anteil an Eigenleistung reduziert noch dazu die Baukosten.



Abbildung 6: Kreatives TinyHouse [77]

Die Ziele der TinyHouse-Bewegung sind in folgender Grafik noch einmal auf einen Blick zu erkennen.



Abbildung 7: Überblick über die Ziele der TinyHouse-Bewegung

2.3 Vergleich von TinyHouses in den USA und Deutschland

Während sich die Ziele der TinyHouse-Bewegung trotz tausender Kilometer Entfernung nicht geändert haben, sind die gesetzlichen Rahmenbedingungen, unter denen der Hausbau und die Fahrzeugzulassung erfolgt, gänzlich verschieden. Während in den USA Fahrzeuge und Anhänger keiner mit der TÜV-Prüfung vergleichbaren Probe unterzogen werden [30], gilt hierzulande ein viel schärferes Recht. Je nach Aufbauart (fester Aufbau oder gesicherte Ladung, siehe Kapitel 3.1.1) müssen das Fahrgestell oder auch der komplette Aufbau einer technischen Abnahme unterzogen werden, bevor eine Zulassung für die europäischen Straßen erteilt wird (siehe Kapitel 3.2.1).

Neben der nötigen technischen Prüfung liegen weitere, wesentliche Unterschiede in der zulässigen Baugröße. In den meisten Staaten der USA gilt eine 26000lbs-Grenze (ca. 12000kg) für das zulässige Maximalgewicht, was mit PKW-Führerschein gezogen werden darf [31]. In Deutschland darf mit der PKW-Führerscheinklasse B nur ein ungebremselter Anhänger mit bis zu 750kg oder ein Gespann aus Zugfahrzeug mit gebremstem Anhänger mit einem zulässigen Zuggesamtgewicht von 3,5t gezogen werden [32]. Die höchste Gewichtsklasse für den Transport eines Anhängers per PKW bietet in Deutschland die Führerscheinklasse BE: diese ermöglicht die Kombination eines Zugfahrzeugs der Klasse B (bis 3500kg) mit einem Anhänger bis 3500kg [32]. Ohne diesen zusätzlichen Führerschein ist es nicht möglich, ein TinyHouse-Gespann in Deutschland zu bewegen.

Obwohl der Anhänger in Europa auf Grund anderer Witterungsverhältnisse (kältere Winter als in den südlichen States in Amerika) und auch der geforderten Einrichtungen am/im Anhänger theoretisch über eine höhere Eigenmasse verfügt, besteht zwischen Amerika und Deutschland demnach eine Differenz der zulässigen Masse von ungefähr 5000kg. Die Herausforderung, trotz dieser Vorgaben alle nötigen Einrichtungen im Anhänger unter zu bringen, gilt es, konstruktiv zu meistern.

Während in Amerika das Leben in TinyHouses meist vom Gesetzgeber geduldet und nicht von vornherein verhindert oder eingeschränkt wird, ist es in Deutschland sehr aufwändig, im TinyHouse zu leben. Den Wohnsitz am Standort des TinyHouse anzumelden ist schwer, da das TinyHouse mit seiner Mobilität nicht die Anforderung eines festen Wohnsitzes erfüllt. Es müssen also, wie beim Wohnen in Wohnwägen, weitere Anforderungen erfüllt sein, um einen Wohnsitz im TinyHouse anzumelden:

“Vom Wohnen” in einem Raum kann nur dann die Rede sein, wenn dort zumindest einfache Bedürfnisse erfüllt werden können, die über den bloßen Aufenthalt hinausgehen. Als Mindestanforderung wird man verlangen müssen, dass in irgendeiner Form die Möglichkeit zur Wasserentnahme gegeben ist und dass in irgendeiner Form eine Toilette vorhanden ist. Denn sonst kann ein Raum im Ergebnis stets nur kurzfristig zum Aufenthalt benutzt werden. Eine Heizung oder eine Kochgelegenheit müssen dagegen nicht zwingend vorhanden sein. Besonders im Sommer kann man über längere Zeit auch ohne beides auskommen. Wohnwagen sind dann als Wohnungen anzusehen, wenn sie diesen Anforderungen genügen, wenn also beispielsweise neben dem Wohnwagen eine Campingtoilette und ein Wasserhahn vorhanden sind. “ [33]

Dabei sind die in Deutschland greifenden Gesetze nicht nur auf das Anmelden eines Wohnsitzes bezogen. Wird der Hänger abgestellt und auf einem festen Fundament aufgebockt, so entsteht beim Bewohnen ein Gebäude, welches unter das nationale Baurecht fällt. Autarkie, die Unabhängigkeit von der Umgebung, ist außerdem eine große Herausforderung unter deutschem Recht. Trinkwasser gilt in Deutschland als Lebensmittel – und Lebensmittel unterliegen vor und in ihrer Nutzung einer strengen Prüfung. Während die Installation der Photovoltaik-Anlage ohne weiteres möglich ist, befindet sich die eigene Wasser-Filteranlage im Haus zumindest in einer gesetzlichen Grauzone. Aktuell gibt es keinen großen Bedarf an solchen Anlagen. Wenn aber neben dem wachsenden Interesse auf Informationsplattformen auch die Zahl der TinyHouse-Bauherren steigen sollte, werden die Ämter Deutschlands vielleicht reagieren und neue, nachhaltige Bauformen ermöglichen. An einigen Orten, zum Beispiel an der deutschen Grenze zu Frankreich in Rheinau [34], sind die Behörden zumindest offen und bereit, mit den Bürgern gemeinsam die Idee des Lebens in einem TinyHouse-Dorf zu gestalten.

Durch die langjährige Nutzung von TinyHouses in Amerika konnten sich diese dort weiterentwickeln. In Deutschland und Europa beginnen die Menschen sich erst seit kurzer Zeit für TinyHouses zu interessieren. Stand Februar 2017 bekennen sich in Deutschland 4 Eigentümer und Firmen zum Leben im TinyHouse oder vermarkten dieses [35] [36] [37] [38]. Doch immer mehr Menschen interessieren sich für den Bau der kleinen Häuser. Mit der wachsenden Gemeinschaft wird in Zukunft auch die Zahl der in TinyHouses lebenden Menschen wachsen – und die Firmen Tischlerei Bock und Tiny House Rheinau werden nicht mehr lange die einzigen Herstellerfirmen in Deutschland sein.

3 Aufbau des TinyHouse-Modells

Dieses Kapitel beschreibt den Aufbau und die Konstruktion des TinyHouse-Modells. Um alle Anforderungen, die an das TinyHouse gestellt werden, zu erfüllen, werden in diesem Kapitel zunächst alle zu erfüllenden Kriterien aufgeführt. Letztlich soll durch die Bewertung der Kriterien ein Variantenvergleich durchgeführt werden, um die bestmöglich zu konstruierende Bauvariante auszuwählen. Es wird auf die gesetzlichen Rahmenbedingungen eingegangen und im Anschluss ein Modell auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse erstellt.

3.1 Anforderungen an das TinyHouse

Die Anforderungen, die an das TinyHouse gestellt werden, lassen sich in 2 Klassen einteilen. Während Klasse 1, die fahrzeugseitigen Anforderungen, sich auf technische Details, Zulassung und äußere Form konzentrieren, liegt der Fokus der Klasse 2 auf allen Anforderungen, die den Wohnraum und die Lebensqualität betreffen.

3.1.1 Klasse 1: Fahrzeugseitige Anforderungen

Zur Klasse 1 gehören alle Anforderungen, die die äußere Gestalt betreffen und für die Zulassung relevant sind. Das TinyHouse soll mit einem PKW und dem Führerschein der Klasse BE bewegt werden. Dies erfordert, dass die zulässige Gesamtmasse des Anhängers samt Aufbau kleiner gleich 3500kg ist. Um den Anhänger mit einem PKW zu ziehen, sollte die Stützlast des Hängers 100kg nicht überschreiten [39]. Weiterhin müssen Anhänger dieser Gewichtsklasse gebremst sein. Besonders bei der Bauform des Drehschemelanhängers wird auf ein Druckluftbremssystem zurückgegriffen. Dieses ist nach Informationsmaterial des TÜV Pflicht für eine EG-Typengenehmigung neuer Drehschemelanhänger [32]. Die Nutzung einer solchen Anlage würde jedoch die meisten PKW als Zugfahrzeug ausschließen. Der Anhänger, der die Bauplattform für das TinyHouse bietet, soll in Deutschland und dem europäischen Festland fahrbar sein. Er muss entsprechend dem Gesetzestext über alle nötigen Beleuchtungseinrichtungen verfügen und von einer Prüforganisation abgenommen werden, um zugelassen werden zu können. Für die Zulassung ist es außerdem nötig, eine Versicherungsanstalt zu finden, welche bei entstehenden Schäden haftet.

3.1.2 Klasse 2: Wohnraumseitige Anforderungen

Um dem Ziel der TinyHouse-Bewegung, ein dauerhaft bewohnbares Haus zu bauen, gerecht zu werden, muss der Innenraum mit allem ausgestattet sein, was zum täglichen Leben benötigt wird. Er soll auf mehr als 12m² Wohnfläche über eine voll ausgestattete Küche, ein Bad mit Toilette und Dusche und ein Wohnzimmer sowie eine Schlafmöglichkeit verfügen. Damit eine entsprechende Lebensqualität gewährleistet werden kann, muss der Wohnraum, anders als bei den meisten amerikanischen TinyHouses, gut gedämmt sein, um auch bei den Temperaturen des nordeuropäischen Winters ein angenehmes Wohnklima im Innenraum gewährleisten zu können.

Um losgelöst von erschlossenen Flächen leben zu können, soll das TinyHouse autark gebaut sein und sich selbst versorgen. Dafür soll unter anderem ein Wasserfiltersystem für die Wasserreinigung und eine Photovoltaikanlage zur Stromgewinnung installiert werden. Die Akkus und Wassertanks müssen gut gedämmt untergebracht sein, um auch bei widriger Witterung entsprechend Leistung zu bringen und nicht einzufrieren oder durch Frost zerstört zu werden. Es sollte möglichst mit nachhaltigen Stoffen gearbeitet werden und ein entsprechender Schutz vor Witterung für alle Komponenten gegeben sein. Das Haus ist auf Langlebigkeit und Nachhaltigkeit auszulegen. Im Vordergrund bei der Entwicklung steht die Reduzierung des Lebensstandards auf das Nötigste. So wird auf unnötigen Ballast verzichtet, um die geforderte maximale Masse nicht zu überschreiten.

Tabelle 1: Anforderungen an das TinyHouse

Fahrzeugseitige Anforderungen	Wohnraumseitige Anforderungen
Fahrbar mit Führerschein Klasse BE <ul style="list-style-type: none"> ○ Maximale Masse: 3500kg 	Wohnfläche von mindestens 12m ²
Zugfahrzeug ist ein PKW <ul style="list-style-type: none"> ○ Maximale Stützlast: 100kg ○ Keine Druckluftbremse 	Ausgestattet für das tägliche Leben <ul style="list-style-type: none"> ○ Küche ○ Waschbereich mit Dusche ○ Güter des täglichen Bedarfs in Massenkonzept berücksichtigen
Zulassung und Versicherung für den deutschen und europäischen Verkehrsraum	Dämmung und Witterungsschutz entsprechend des nordeuropäischen Klimas
	Ausbau des Anhängers unter Nutzung nachhaltiger Baustoffe

3.2 Variantenvergleich

Für die Realisierung eines auf einem Anhänger aufbauenden TinyHouse gibt es in Deutschland mehrere mögliche Grundvarianten. Diese wirken sich maßgeblich auf die weitere Konstruktion aus. Schon zu Beginn der Planung muss dementsprechend entschieden werden, welche Variante für den Anwendungsfall die Beste ist.

Die Varianten ergeben sich zum einen aus der Wahl der Anhängerbauform, zum anderen aus der Befestigungsmethode des Aufbaus.

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, zwischen zwei Anhängerformen zu wählen. Die TinyHouses in Amerika basieren meist auf dem Grundgestell eines Tandemachsanhängers. Oft werden alte Fahrzeugtransportanhänger für den neuen Nutzungszweck umgebaut. Dem entgegen steht die Bauform des Drehschemelanhängers. Statt einer auf die Zugkupplung lastenden Stützlast fängt eine Achse unter der drehbar gelagerten Zugdeichsel diese Last auf. Deshalb muss nur eine gleichmäßige Massenverteilung über die Fahrzeugmitte gewährleistet werden.

Die größte Herausforderung bei der Nutzung eines Tandemachsanhängers ist, eine gleichmäßige Lastverteilung zu realisieren und die Stützlast möglichst gering zu halten. Andernfalls kommen nur wenige Zugfahrzeuge in Frage. Die geringe Eigenmasse dieser Bauform gewährt andererseits viele Freiheiten in der Konzeptionierung und Umsetzung.

Bei der Nutzung eines Drehschemelanhängers ist dieser Spielraum nicht gegeben: die Eigenmasse ist auf Grund der drei Achsen sehr hoch. Während das Gestell eines Tandemachsanhängers samt Anbauteilen etwa 400kg wiegt [40], ist das Gestell des Drehschemelanhängers mit etwa 800kg [41] doppelt so schwer. In dem engen zur Verfügung stehenden Gewichtsereich für den TinyHouse-Bau ist diese Differenz von 400kg ein bedeutsamer Unterschied und es muss gut abgewogen werden, ob die erreichte Vereinfachung mit dem Wegfall der Stützlast in Berechnungen beim Drehschemelanhänger diesen Verlust von Nutzlast rechtfertigt. Auch gibt es für die Bauform Drehschemelanhänger ohne Druckluftbremsanlage seit dem Jahr 2014 keine generelle Typengenehmigung mehr. Diese Fahrzeuge müssen, um zugelassen werden zu können, wie Sonderbauten, extra abgenommen werden. [42] Eine Einzelabnahme des gewählten Anhängers ist demnach, auf Grund der fehlenden Standart-Fahrgestelle in dieser Größenordnung, bei beiden Anhänger-Bauformen nötig.

Im Vergleich zum Tandemachsanhänger sind die höheren Kosten ein Nachteil des Drehschemelanhängers. Werden eine Achse am Drehgestell und zwei Nachlaufachsen montiert,

steigen die Teilekosten und auch bei der Rahmenkonstruktion ist mit einem Mehraufwand zu rechnen, der sich in Gewicht und Kosten widerspiegelt.

Mit Blick auf die Fahreigenschaften haben beide Bauformen Vorteile. Der Tandemachsanhänger kann auf Grund der nah beieinander liegenden Achsen, vereinfachend dargestellt, um einen Drehpunkt gedreht und damit viel einfacher rangiert werden. Im Rangiervorgang bricht im Vergleich dazu der Drehschemelanhänger vergleichsweise schnell aus und erfordert deshalb Fahrerfahrung. Im Fahrzustand ist im Gegensatz dazu der Wendekreis des Drehschemelanhängers auf Grund der drehbaren Lagerung geringer.

Weiterhin muss entschieden werden, wie das TinyHouse mit dem Anhänger verbunden werden soll. Dabei kann zwischen einer festen Verbindung von Anhänger und Haus und der losen Verbindung, entsprechend der Ladungssicherung, gewählt werden.

Diese zwei Befestigungskonzepte unterscheiden sich grundsätzlich.

Wird das Haus als fester Aufbau mit dem Hänger verbunden, kann von einem Wohnanhänger gesprochen werden. In diesem Fall ist der Boden-Rahmen des Hauses gleichzusetzen mit dem Rahmen, an dem Achsen und Deichsel befestigt werden. Dies spart Masse, da der Rahmen nicht doppelt, je einmal für den Trailer und einmal für den Aufbau, ausgeführt werden muss. Hänger und Haus sind damit untrennbar verbunden. Die komplette Konstruktion, also auch der Hausaufbau, muss vor der Zulassung geprüft werden. Ähnlich der Prüfung eines Wohnanhängers steigt damit die Zahl der Anforderungen für die Zulassung enorm an. Da alle verbauten Teile, vor allem im Exterieur, so automatisch zu Fahrzeugteilen werden, müssen sie für den Einsatz im Fahrzeug zugelassen sein und über eine Bauartgenehmigung verfügen [43]. Dies hat zur Folge, dass zum Beispiel Fenster im Straßenverkehr, sofern sie nicht als Fahrzeugscheiben zugelassen sind, extra verkleidet werden müssen. Für den Innenraum hat es zur Folge, dass nur schwer entflammbare Materialien zur Dämmung verwendet dürfen und fest verbaute Textilien aus schwer entflammbarem Stoff beschaffen sein müssen. Diese Anforderungen bedeuten in der Realisierung auch steigende Kosten. Im Fall der Zulassung als Wohnanhänger kann das Fahrzeug in einem entsprechenden Tarif versichert werden. Unklar ist die Versicherungslage hingegen bei einem Hänger, auf dem eine Ladung gesichert wird. Im Falle eines Unfalls wird die Versicherung zuerst den Beweis einfordern, dass die große Ladung ordnungsgemäß gesichert wurde. Ein großer Vorteil ist jedoch, dass diese Bauform für die Zulassung nur die Abnahme des Hängers erfordert. Der Hänger wird ohne Aufbau geprüft. Für die Ladung, die auf dem Fahrzeug befestigt wird, ist die befördernde Person selbst verantwortlich. Das TinyHouse muss nachweislich wie folgt

gesichert sein: um $0,8F_G$ gegen Verrutschen nach vorn im Bremsfall; um $0,5F_G$ zur Seite im Fall einer Kurvenfahrt; um $0,4F_G$ nach hinten im Beschleunigungsfall. [42]

Nachteilig bei dieser Bauform wirkt sich der doppelte stabile Rahmen im Bodenbereich aus. Während der Hänger eine stabile Unterkonstruktion erforderlich macht, um zugelassen zu werden, bedarf es ebenfalls einer stabilen Unterkonstruktion für das Haus, damit es unabhängig vom Hänger als Ladung abgestellt werden kann. So wird deutlich mehr Masse in die Grundkonstruktion eingebracht als bei einfacher Ausführung des Rahmens.

Werden nun die einzelnen Hänger-Bauarten mit den Arten der Aufbaubefestigung kombiniert, so werden auch Vor- und Nachteile miteinander verknüpft. Aus den 2 Varianten der Anhängerbauform und den 2 Varianten der Aufbaubefestigung ergeben sich 4 Umsetzungsmöglichkeiten. Aus diesen soll durch die Bewertung in folgenden Kategorien die Vorzugsvariante gefunden werden.

Folgende Bereiche sollen bewertet werden:

(1) Technische Abnahme und Zulassung

Damit ein Fahrzeug im öffentlichen Straßenverkehr genutzt werden kann bedarf es einer technischen Prüfung. Ohne diese ist keine Zulassung möglich. Es werden die Voraussetzungen für die Abnahme und damit die Zulassung bewertet.

Genauere Informationen befinden sich in Kapitel 3.3.1.

(2) Versicherung

Damit die Zulassung des Anhängers möglich ist, muss er versichert sein. Aber auch die Inanspruchnahme dieser im Schadensfall muss bedacht werden.

(3) Fahrzeugmasse

Die resultierende Fahrzeugmasse ist von hoher Bedeutung in der Planung des TinyHouse. Die Gewichtsunterschiede zwischen den Bauarten sollen bewertet werden.

(4) Auslegung hinsichtlich der Stützlast

Die gleichmäßige Verteilung der Massen auf dem Hänger ist enorm wichtig und beeinflusst die Fahreigenschaften stark. Aus der Massenverteilung ergibt sich die tatsächliche Stützlast. Die zulässige Stützlast ist abhängig vom Zugfahrzeug und darf einen maximalen Grenzwert nicht überschreiten.

(5) Kosten für den Anhänger

Ein größerer Materialaufwand wirkt sich direkt auf die Kosten für Anhänger und Aufbau aus. Deshalb sollte dieser Faktor schon zu Beginn betrachtet werden.

(6) Rangierbarkeit

Die Rangierbarkeit bewertet die Einfachheit des Hänger-Transfers. Dabei legt sie besonders Wert auf ein gutes Fahrverhalten bei der Rückwärtsfahrt.

(7) Wendekreis

Der Wendekreis gibt an, welcher Mindestkurvenradius nötig ist, um das TinyHouse um 180° zu drehen. Er ist wie die Rangierbarkeit eine weitere Eigenschaft, die den Komfort bei der Nutzung beschreibt.

Mit diesen sieben Eigenschaften können die zur Wahl stehenden Varianten bewertet werden. Dabei gehen sie mit einem unterschiedlichen Faktor in das Ergebnis ein. Der jeweilige Wichtungsfaktor ist hinter jeder Eigenschaft vermerkt.

3.2.1 Variante 1: Drehschemelanhänger mit festem Aufbau

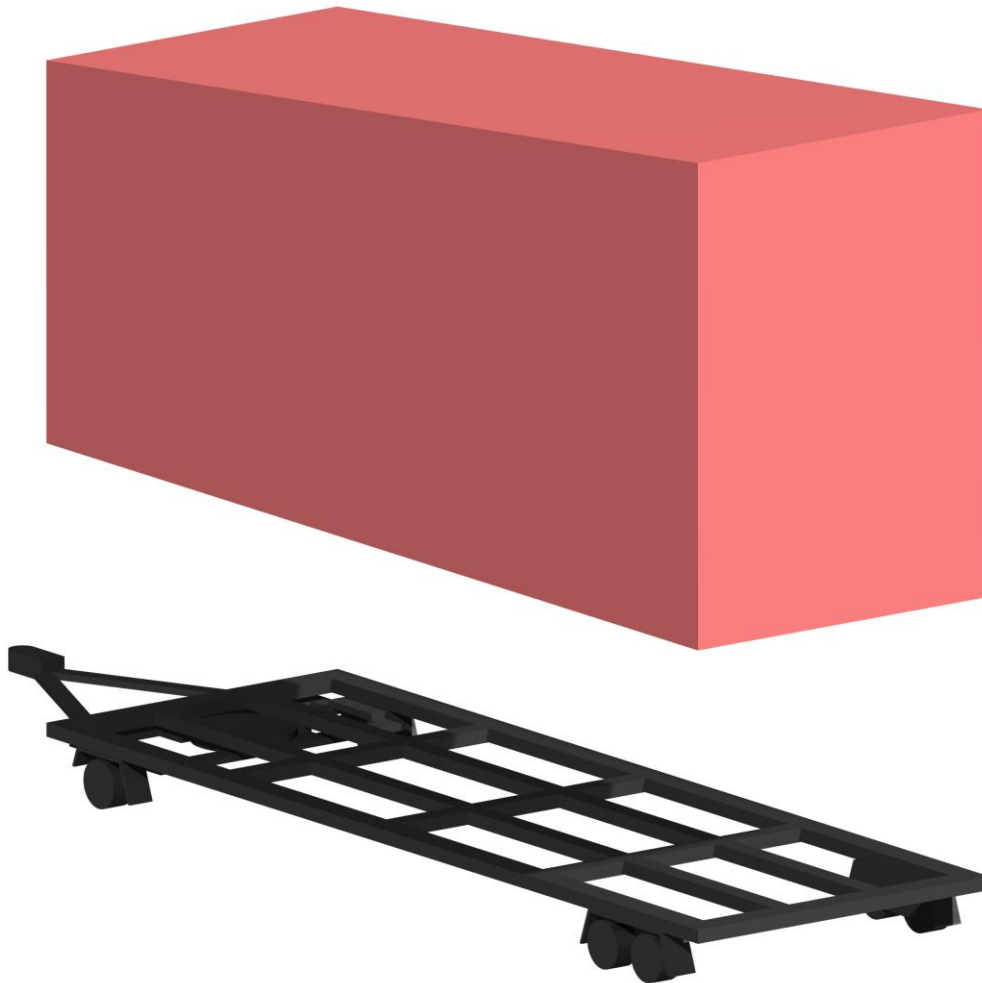


Abbildung 8: Drehschemelanhänger mit festem Aufbau

Die Bauform des Wohnanhängers auf Basis eines Drehschemelanhängers ist in Deutschland kaum verbreitet. Auch wenn bei der festen Verbindung der Doppelrahmen im Bodenbereich gespart werden kann, ist auf Grund der Verwendung eines Drehschemelanhängers das Gesamtgewicht der Konstruktion hoch. Im Bereich bis 7,5m Länge des Anhängers muss mit einem Gewicht von ca.1000kg allein für den Hänger gerechnet werden [41]. Dass die Stützlast auf Grund der Achse unter der Deichsel vernachlässigt werden kann ist einer der Vorteile. Ebenso vorteilhaft ist das einfachere Handling während der Fahrt und dem Rangieren.

3.2.2 Variante 2: Drehschemelanhänger mit Ladung

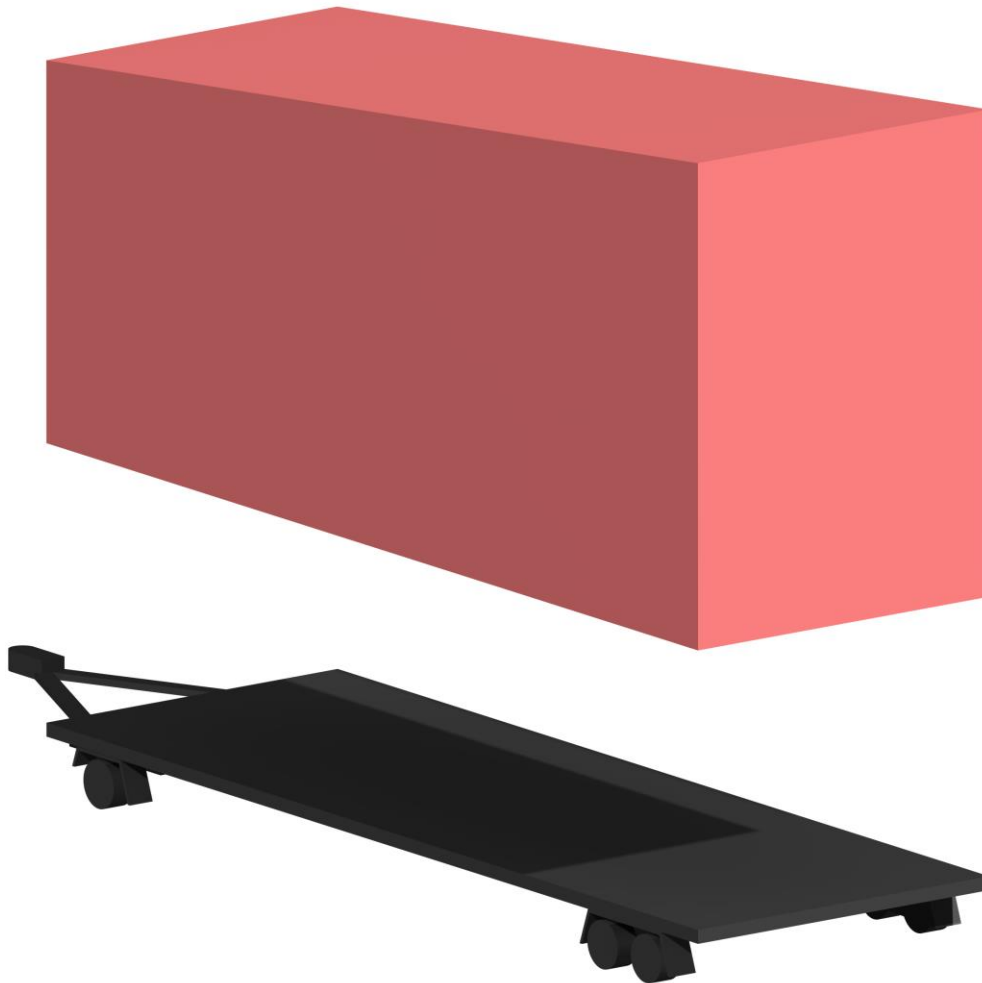


Abbildung 9: Drehschemelanhänger mit Ladung

Das Aufsetzen eines fertigen TinyHouse als Ladung auf einen Drehschemelanhänger ist eine einfache Möglichkeit, sein feststehendes Haus auf einen Trailer zu laden und zu transportieren. Für die Abnahme wird nur der Hänger geprüft und das Hauptaugenmerk der Bauform kann auf die ordnungsgemäße Sicherung der Ladung gelegt werden. Um im Schadensfall versichert zu sein, sollten die Sicherungsmaßnahmen dokumentiert werden.

Nachteilig ist die doppelte Rahmengestaltung in der Auflagefläche des Hauses auf dem Hänger. Das im Stand nur statisch belastete Haus muss zum Beispiel auch der Beanspruchung im Falle einer Kurvenfahrt standhalten. Da beide Objekte losgelöst voneinander und auch in Kombination ausreichend stabil konstruiert sein müssen, wird das Fahrzeug deutlich schwerer als die in Variante 1 vorgestellte Bauform. Ein Mehrgewicht, was die ohnehin schwerere Bauform noch unattraktiver macht.

3.2.3 Variante 3: Tandemachsanhänger mit festem Aufbau

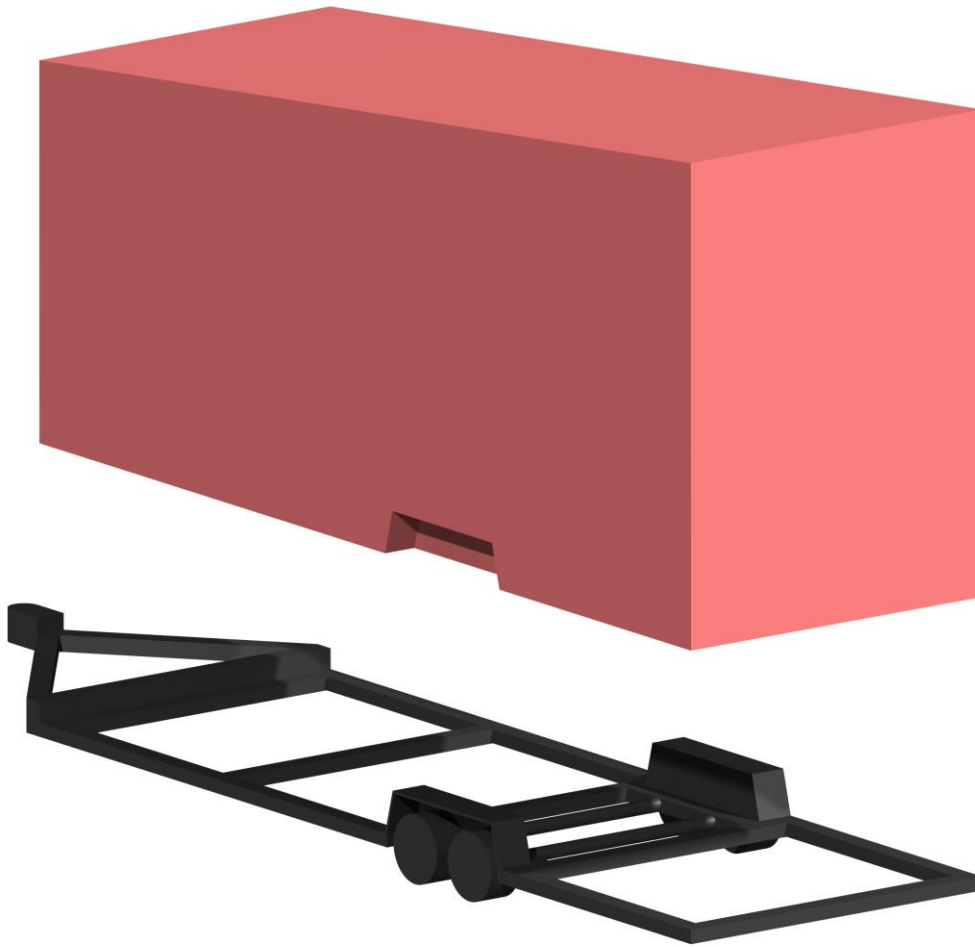


Abbildung 10: Tandemachsanhänger mit festem Aufbau

Diese Variante erinnert sehr stark an die weit verbreiteten Wohnanhänger. Der große Vorteil dieser Bauform liegt im geringen Gewicht des Fahrgestells. Auf den Grundrahmen, welcher die Zugdeichsel mit den Achsen verbindet und Befestigungspunkte für das Haus bietet, baut direkt der Bodenrahmen des Hauses auf. Bei dieser Bauform ist nicht das Gewicht, sondern die Zulassung die Herausforderung beim Bau. Für die Zulassung als Wohnanhänger müssen alle Teile als Fahrzeugteile zugelassen sein oder andernfalls Zusatzbestimmungen erfüllt sein. Werden zum Beispiel als Fenster keine als Fahrzeugscheiben zugelassenen Gläser verwendet, müssen diese in der Nutzung im Straßenverkehr abgedeckt werden, damit im Fall eines Unfalls durch die Splitter keine anderen Verkehrsteilnehmer zu Schaden kommen [42].

3.2.4 Variante 4: Tandemachsanhänger mit Ladung

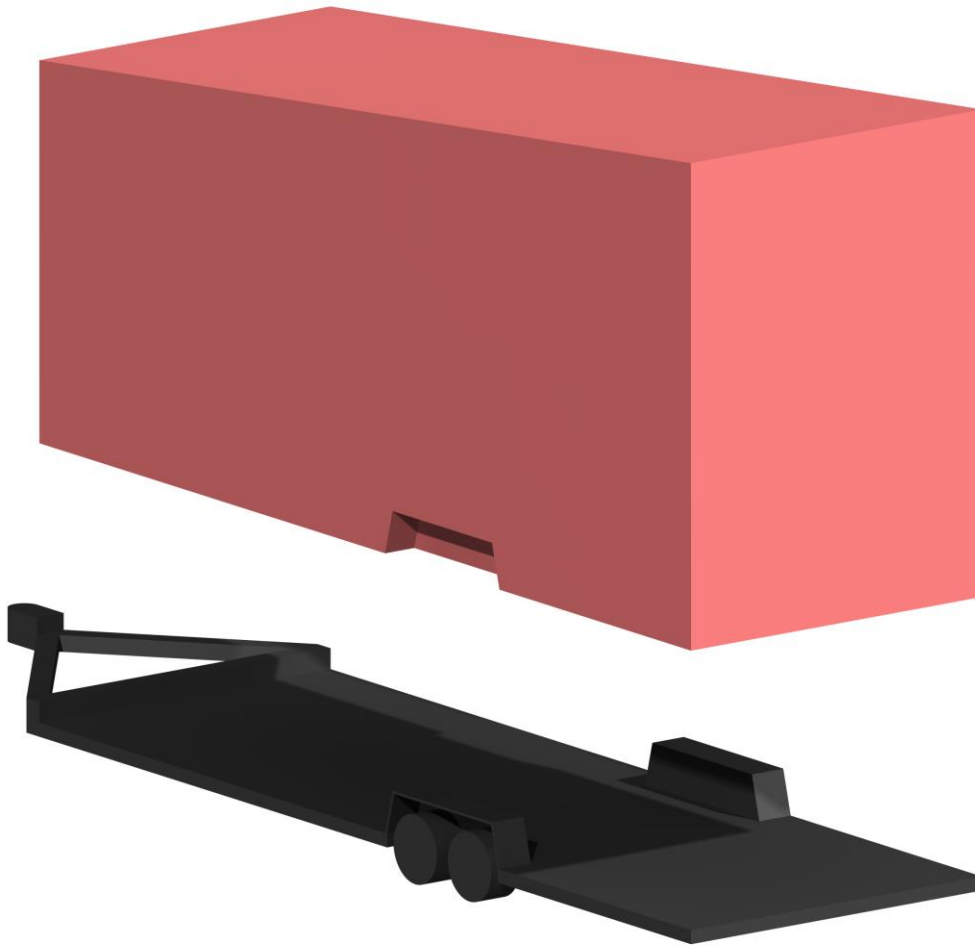
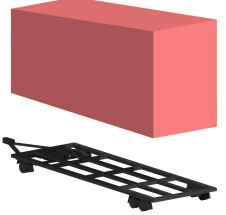
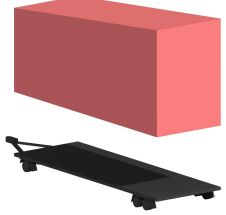
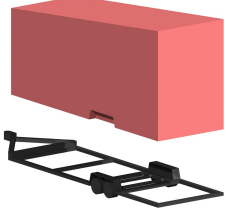
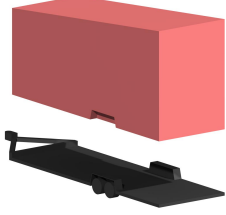


Abbildung 11: Tandemachsanhänger mit Ladung

Ähnlich wie in Bauvariante 2 ist der Nachteil von Variante 4 der doppelte Rahmen im Bodenbereich. Jedoch ist die Masse dieser Konstruktion auf Grund von weniger Fahrwerkskomponenten und Bauteilen trotzdem geringer als die der oben vorgestellten Variante 2. Auch in Variante 4 muss auf eine ordnungsgemäße Sicherung der Ladung geachtet werden. Wird diese vernachlässigt, erlischt der Versicherungsschutz. Dass der Aufbau in dieser Bauvariante nicht einer Zulassungsprüfung unterzogen wird bringt mit sich, dass die baulichen Anforderungen geringer sind als in Variante 3.

Tabelle 2: Variantenvergleich

Variante Eigenschaft (Wichtungsfaktor)	 Drehschemelanhängers mit festem Aufbau	 Drehschemelanhängers mit Ladung	 Tandemachsanhängers mit festem Aufbau	 Tandemachsanhängers mit Ladung
Technische Abnahme / Zulassung (3)	●○○○○	●●●●○	●●○○○	●●●●●
Versicherung (3)	●●●●○	●●○○○	●●●●○	●●○○○
Fahrzeugmasse (3)	●●○○○	●○○○○	●●●●●	●●●●○
Auslegung hinsichtlich Stützlast (1)	●●●●●	●●●●●	●●○○○	●●○○○
Kosten Anhänger (2)	●●○○○	●○○○○	●●●●●	●●●●○
Rangierbarkeit (1)	●●○○○	●●○○○	●●●●○	●●●●○
Wendekreis (1)	●●●●○	●●●●○	●●○○○	●●○○○
Punktedurchschnitt	2,57	2,43	3,64	3,5

* die Bewertung der einzelnen Eigenschaften bezieht sich auf die gestellten Anforderungen. Es werden Punkte von null bis fünf vergeben. Null Punkte sagen aus, dass die Eigenschaft den Bau des Hauses nicht positiv beeinflusst. Fünf Punkte zeigen eine gute Eignung auf *

3.2.5 Bestimmung der Vorzugsvariante

Wie in Kapitel 3.4 später noch beschrieben wird, ist die Masse eines der entscheidenden Kriterien bei der Wahl der Konstruktionsweise und damit auch der Werkstoffe. Schon allein die Alltagsgegenstände, die im Haus Platz finden sollten, wiegen bei einer Ausstattung, wie man sie auch in einer normalen Wohnung finden würde, über 1000kg. Um ausreichend Spielraum für den Transport von Alltagsgegenständen im Haus zu haben, muss die Masse des Aufbaus möglichst geringgehalten werden. Die ersten beiden Varianten werden vernachlässigt, denn die hohe Masse des Drehschemel-Anhängers bedeutet einen großen Verlust an Nutzlast, der sich auch in der geringen Bewertungspunktzahl widerspiegelt. Auch wegen der höheren Kosten für die drehbar gelagerte Achse, ist die Bewertung der Varianten des Drehschemelanhängers niedriger als die des Tandemachsanhängers. Dabei dürfen auch die Folgekosten für Wartung und Instandhaltung nicht vernachlässigt werden. Das „Stützlastproblem“ des Tandemachsanhängers kann durch eine gute Planung ausgeglichen werden.

Letztlich muss nun noch entschieden werden, ob das Haus als Ladung auf dem Hänger befestigt werden soll oder ein Wohnanhänger mit festem Aufbau das Endergebnis sein soll. Um Masse zu sparen fällt die Wahl für den weiteren Konstruktionsprozess in dieser Arbeit auf die Zulassung als Wohnanhänger. Der Vorteil des einfach ausgeführten, massiven Boden-Rahmens ist größer als die einfachere Zulassung des Hängers, wenn das Haus als Ladung befestigt werden würde. Außerdem ist es von Vorteil, ein komplett zugelassenes Fahrzeug zu versichern und damit im Schadensfall abgesichert zu sein, ohne dass die ordnungsgemäße Ladung angezweifelt werden kann. Das gesparte Gewicht bedeutet jedoch trotzdem einen größeren Aufwand in der Innenraumgestaltung. Die gewählte Variante ist mit einem Punktedurchschnitt von 3,64 auch die theoretisch am besten geeignete Bauform für die Realisierung des TinyHouse.

3.3 Zu berücksichtigende Package-Elemente und Regelungen

Bei der Konzeptionierung des TinyHouse muss schon zu Beginn der Planung auf alle zu verbauenden Komponenten geachtet werden. Je mehr Komfort das Haus bieten soll, desto mehr Arbeit bedeutet dies im Vorfeld. Nicht nur eine Positionierung im Sinn des nötigen Bauraums, sondern auch die Position im Sinne des Massenkonzpts ist erforderlich. In diesem Kapitel soll, beginnend mit dem Hänger bis hin zur Inneneinrichtung, betrachtet werden, welche Gesetze beim Bau gelten und wie der Bauraum für das TinyHouse geplant werden muss.

3.3.1 Regelungen für die Zulassung

Damit das Haus später einmal im Verkehr zugelassen werden kann, muss im ganzen Prozess der Planung auf das im Straßenverkehr geltende Regelwerk geachtet werden. So muss zum Beispiel auf die Lastverteilung geachtet werden. Sie sollte gleichmäßig erfolgen und sich positiv auf die Stützlast auswirken. Die Position der Achse muss deshalb so gewählt werden, dass die Stützlast 100kg nicht überschreitet. Für eine ausreichende Dimensionierung von Anhänger und Aufbau ist der Hersteller selbst verantwortlich. Bei der technischen Prüfung müssen Nachweise für den korrekten Aufbau dargelegt werden. Auf Anforderungen an den Aufbau wird ausführlich in Kapitel 3.3.5 eingegangen. Eine Dokumentation von verbauten Elementen empfiehlt sich für einen schnellen Prozess der technischen Abnahme des Fahrzeugs, da zum Beispiel der Wandaufbau zum Zeitpunkt der Abnahme meist nicht mehr einsehbar ist. Die in Kapitel 3.3.3 beschriebenen gesetzlichen Anforderungen an den Hänger müssen erfüllt sein und der Aufbau muss entsprechend der StVZO sicher sein. Hervorstehende Teile, wie zum Beispiel an der Fassade angebrachte Ofenrohre, müssen für den Transport abnehmbar gestaltet sein oder am besten verkleidet in die Fassade integriert sein. Spezielle Regelungen für die Fenster (Kapitel 3.3.8) wie auch die Nutzung von brandhemmenden Textilien im Innenraum sind von hoher Bedeutung für die Gewährleistung der Verkehrssicherheit. Neben fest im Innenraum installierten Textilien bezieht sich dies auch auf die verwendete Dämmung.

3.3.2 Versicherung des TinyHouse

Besteht ein Fahrzeug die für den öffentlichen Verkehr nötige technische Prüfung, ist die Versicherung in der Regel kein Problem. Anders ist dies beim TinyHouse. Während einige

Versicherungsgesellschaften in Deutschland für diese Fahrzeug-Randgruppe keine Versicherungsmöglichkeit anbieten [44] (siehe Anlage 1), fällt das TinyHouse bei anderen Versicherern, zum Beispiel der Allianz, auch wegen seiner Zulassung, in den Tarif der Wohnanhänger [45]. Es gibt dabei keine weiteren Punkte, die erfüllt sein müssen, damit das TinyHouse versichert werden kann. Bei einer Vollkaskoversicherung mit Inventarschutz des Campers liegt der Jahresbeitrag für die Versicherung des TinyHouse bei rund 1300€ [45] (siehe Anlage 2). Auch die Versicherung als Anhänger mit Sonderaufbau, welcher in Variante 4 in Kapitel 3.2 näher beschrieben wurde, wäre über den Versicherer Allianz möglich (siehe Anlage 3). Allerdings ist damit nicht garantiert, dass im Schadensfall eine Kostenübernahme stattfindet. Sollte eine mangelnde Ladungssicherung festgestellt werden, ist davon auszugehen, dass die Versicherung den Schaden nicht übernimmt. Wie im Variantenvergleich schon beschrieben ist es also sicherer, den kompletten Anhänger mitsamt Aufbau als Wohnanhänger zu versichern.

3.3.3 Hänger

Der Anhänger bildet das Fundament des Hauses. Er ist entsprechend stabil auszulegen, damit im Stand und vor allem im Fahrzustand keine Schäden am Haus auftreten. Für Fahrzeuganhänger dieser Größenordnung gelten Vorschriften und Regeln, die im Folgenden näher erläutert werden. Neben den Bestimmungen, die Dokumenten wie zum Beispiel der Straßenverkehrszulassungsordnung entnommen werden können, ist hier auch ein Hilfswerk des TÜV eine gute Stütze. In „TÜV-Tipps: PKW-Anhänger“ [46] sind relevante Regelungen beschrieben, die in Planung und Umsetzung beachtet werden müssen, damit das Fahrzeug technisch abgenommen werden kann. Anhänger, die eine Gesamtmasse von 750kg überschreiten, müssen über eine eigene Bremsanlage verfügen. In der hier vorliegenden Gewichtsklasse von bis zu 3500kg ist außerdem auf die Tragfähigkeit von Achsen und Reifen zu achten. Über Versandhändler im Internet können Einzelteile bezogen werden, die zum Bau eines solchen Hängers benötigt werden. Auch Baugruppen, zum Beispiel das für den Trailer geplante Achsaggregat, gibt es in der passenden Konfiguration zu kaufen. Bei der Hänger-Rahmenkonstruktion kann nicht auf ein Standard-Teil zurückgegriffen werden. Die Größe der Ladefläche entspricht mit einer Breite von 2,55m und einer Länge von 7,50m keinem Standard. Wird die Breite von 2,55m überschritten, ist für den Transport immer eine Sondergenehmigung nötig. Dies ist mit Kosten verbunden, die vermeidbar sind.

Die Achsen werden auf den mit einem hohen Querschnitt bemessenen Deichselrahmen (blaue Farbe in Abbildung 12) geschraubt. Auf diesem liegt der dünnwandigere Grundrahmen auf (rote Markierung), auf dem umlaufend dann die Haus-Bodenplatte aufgeschraubt wird. Der Deichselrahmen wird verstärkt durch den Hilfsrahmen (grüne Markierung).

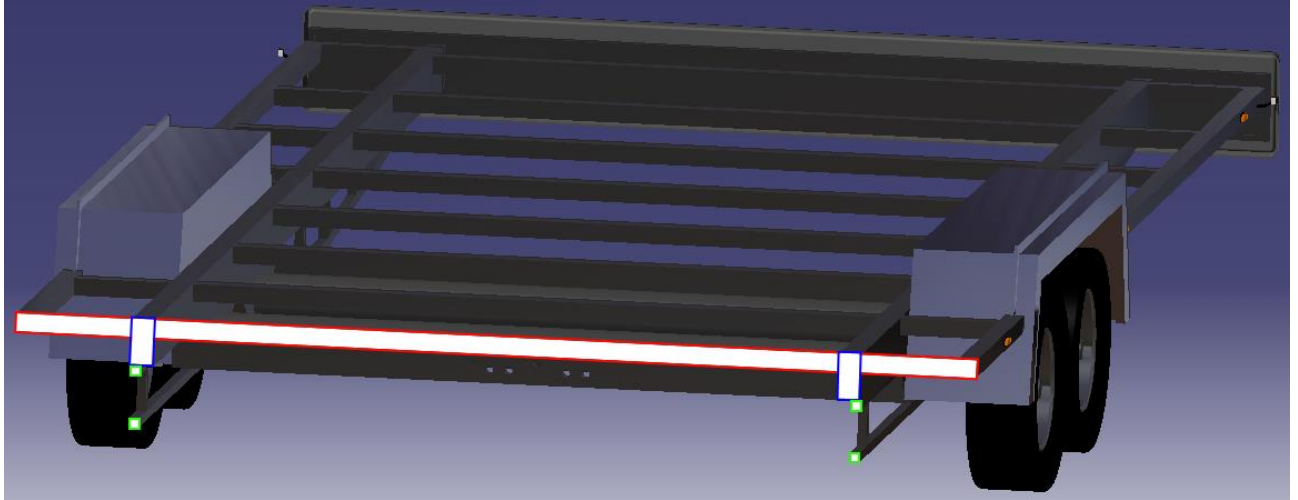


Abbildung 12: Rahmenaufbau Trailer

Wichtig ist bei der Anhängerkonstruktion auch das Einhalten der Anbauvorschriften für Beleuchtungskörper, welche der Straßenverkehrszulassungsordnung entnommen werden können.

3.3.4 Grundplatte

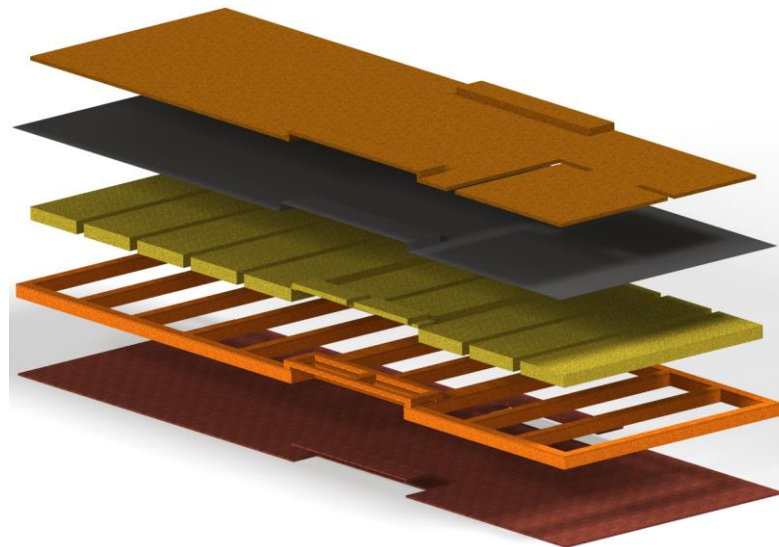


Abbildung 13: einzelne Schichten der Bodengruppe

Die in Abbildung 13 dargestellte Grundplatte, auch Bodenplatte genannt, ist Fundament für den Wandaufbau und verbindet Fahrgestell und Haus fest miteinander. Da ihre Unterseite beständig der Witterung ausgesetzt ist, muss sie entsprechend gegen das Eindringen von

Feuchtigkeit geschützt sein und auch den erhöhten Belastungen im Fahrzustand standhalten.

Die Grundplatte ist so zu dimensionieren, dass die Verbindung zur Aufnahme am Anhänger, wie auch die montierten Wände an der Seite stabil gehalten werden. Da unter dem Hänger, auf welchem die Bodenplatte aufliegt, die Luft zirkuliert, wirkt im Winter vom Boden her Kälte auf das Haus ein. Um zu verhindern, dass diese in den Innenraum gelangt, muss die Grundplatte ausreichend gedämmt werden. Eine Stärke des Dämmmaterials aus Schafwolle von 120 mm sorgt für ausreichend thermischen Schutz. Die Dämmung ist von einer Dampfsperre umgeben und liegt in einem Holzrahmen.

3.3.5 Rahmenbauweise

Die Wände des Aufbaus bauen auf einem Grundrahmen auf. Dieser Rahmen kann aus verschiedenen Materialien gestaltet sein. Für das TinyHouse sollen die Varianten eines Holzrahmens und eines Metallrahmens mit einander verglichen werden. Der Werkstoff Holz wird in Amerika typischer Weise eingesetzt. Er ist nachhaltig und lässt sich leicht und ohne einen großen Maschinenpark verarbeiten. Auch, weil in der Verarbeitung auftretende Fehler im Zuschnitt einfach ausgeglichen werden können und damit die Verarbeitung durch Laien erfolgen kann, findet Holz oft Verwendung. Dem entgegen steht ein Rahmen aus Metall, der in der Verarbeitung aufwändiger ist und deshalb hohe Planungssorgfalt erfordert. Der Vorteil bei der Nutzung von Metall liegt in einer höheren Festigkeit bei einem deutlich geringeren Querschnitt. So lässt sich die Masse reduzieren. Dabei ist das Verhalten der beiden Werkstoffe unter Belastung grundsätzlich verschieden. Holz ist ein anisotroper und inhomogener Werkstoff. Deshalb ist es von der Faserrichtung, der Beanspruchungsart und auch der Belastungsdauer abhängig, welchen Belastungen das Bauteil standhalten kann. Bei der Verwendung von Holz muss ein hoher Sicherheitsfaktor berücksichtigt werden, um Bauteilversagen auf Grund von Anisotropie und Inhomogenität auszuschließen. Diese Eigenschaften, sind wie in Kapitel 4.3.1 beschrieben, auch der Grund dafür, dass der Holzaufbau im Rahmen dieser Arbeit nicht berechnet werden kann. Der Holzaufbau wird mit Blick auf vergleichbare Rahmenaufbauten von Wettbewerbern konstruiert und als sicher eingestuft, da die Praxiserfahrungen das bestätigen.

Berechnet werden kann hingegen der Rahmen aus Metall. Um Gewicht zu sparen, soll der Rahmen aus Stahlprofilen gestaltet werden. Das Materialverhalten von Metallen allgemein ist gut berechenbar. Ein großer Unterschied zu Holz ist das gleiche Verhalten in allen Be-

lastungsrichtungen und bei verschiedenen Belastungsarten. Weiterhin sind die Materialschwankungen sehr gering. Aufgrund der besseren Fügbarkeit, zum Beispiel durch Schweißen, sind im Metallrahmen höhere Kräfte übertragbar.

Der Metallrahmen wird aus Profilen zusammengesetzt. Ähnlich dem Aufbau einer Trockenbauwand werden diese in einander gesteckt sowie genietet und bilden somit einen leichten, stabilen Grundrahmen. In Kooperation mit FRAMECAD baute Bryce Langston, Autor von livingbiginatinyhouse.com, als einer der Ersten ein TinyHouse, basierend auf einem Stahlrahmen.

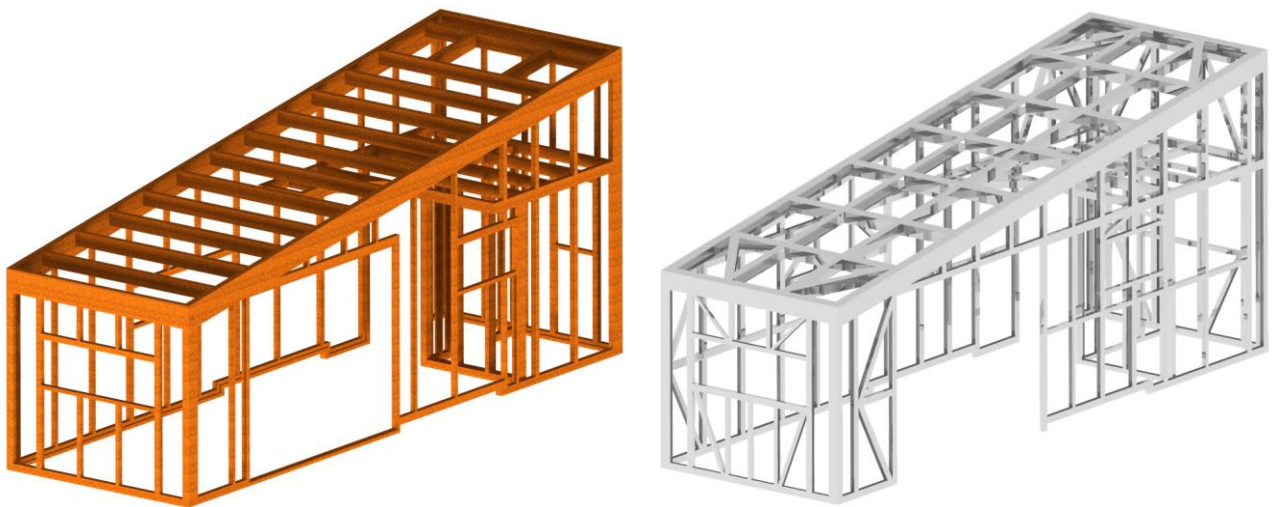


Abbildung 14: Holz- und Metallrahmen

Ob die Kostenersparnis beim Werkstoff Holz vorteilhafter als die Gewichtersparnis bei der Nutzung eines Metallrahmens ist, soll der Massen- und Kostenvergleich in Kapitel 3.4 und die FEM-Analyse der Metallrahmenmodelle in Kapitel 5 zeigen.

3.3.6 Wandaufbau

Der Wandaufbau ist abhängig vom gewählten Rahmenmodell. Auch hier ist die Verarbeitung der auf den Holzrahmen aufbauenden Wand einfacher.

Variante 1: Wandaufbau auf Holzrahmen

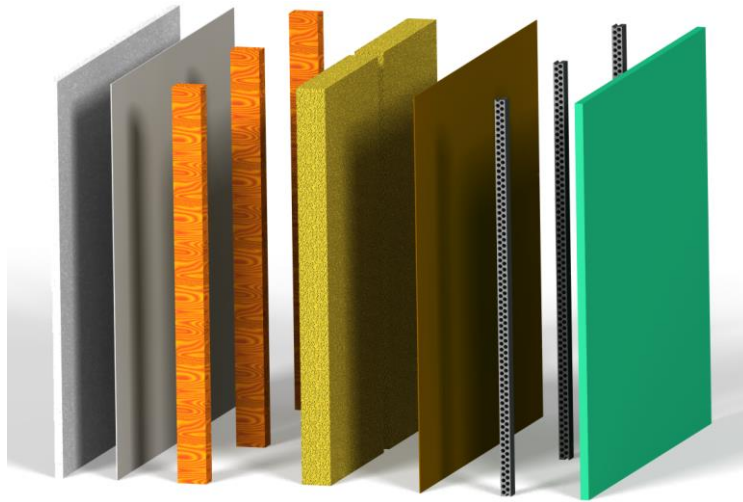


Abbildung 16: Explosionsgrafik Wandaufbau Holzrahmen



Abbildung 15:
z-Schnitt Wandaufbau
Holzrahmen

Die in Abbildung 16 und Abbildung 15 zu erkennende Wand in Schichtbauweise ist wie folgt aufgebaut:

Die äußere Schicht des Holz-Wandaufbaus bildet die Außenverkleidung. Sie besteht aus gehärtetem PVC und hat deshalb nur eine geringe Eigenmasse. Die Verkleidung ist vordergründig ein Schutz vor Schlagregen gegen die Wand und verhindert das Eindringen von Feuchtigkeit. Damit im Wandinneren eine Luftzirkulation möglich ist, sind als Nächstes gelochte Konterlatten verbaut. Sie ermöglichen eine Luftzirkulation hinter der äußeren Schicht und damit auch einen Feuchtigkeitstransport zwischen dem Inneren des Hauses und der äußeren Hausumgebung. Die Fassadenunterspannbahn verhindert einen Feuchtigkeitseintrag in das darunterliegende Schafwoll-Dämmmaterial, ist aber diffusionsoffen und transportiert Restfeuchtigkeit aus dem Inneren nach außen ab. Der Schafwoll-Naturdämmstoff, mit einer Schichtdicke von 60 mm, ist zwischen dem Holz-Ständerwerk eingebracht und wird auf der anderen Seite von einer Dampfbremsbahn in Position gehalten. Sie bietet der Dämmung Schutz und verhindert Bauschäden und Schimmel bei unvorhergesehenem Feuchtigkeitseintrag in die Baustruktur. Zum Innenraum hin schließt eine Dumaplast-WallPlus-Verkleidung ab. Sie ist nachhaltig produziert und verfügt über eine nur geringe Eigenmasse.

Variante 2: Wandaufbau auf Metallrahmen



Abbildung 17:
z-Schnitt Wandaufbau
Metallrahmen

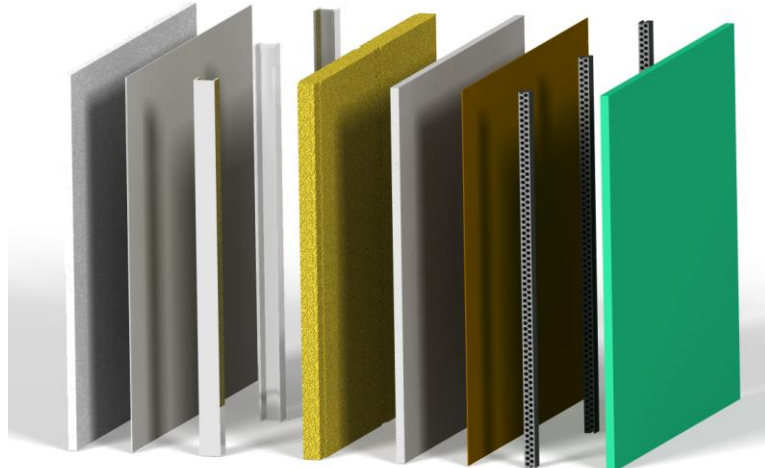


Abbildung 18: Explosionsgrafik Wandaufbau Metallrahmen

Auch bei einem Wandaufbau auf einen Metallrahmen wird, wie in Abbildung 17 und Abbildung 18 zu erkennen, Dämmmaterial in das Ständerwerk eingebracht. Der Zwischenraum wird auch hier mit dem Daemwool-Produkt ausgefüllt. Im Gegensatz zum Rahmen aus Holz bildet das Metall, sofern es nicht extra abgeschirmt wird, eine Kältebrücke zwischen Umgebung und Innenraum. Dies hat nicht nur einen Temperaturverlust in diesem Bereich zur Folge, sondern führt auch zu Feuchtigkeitsbildung. Dies begünstigt die Schimmelbildung. Um diesen Prozess zu vermeiden, wird um den Metallrahmen herum eine Schicht aus Dämmplatten angebracht, die den Rahmen komplett nach Außen abschirmt. Auch bei dieser Bauform werden Innen und Außen Dampfsperren verbaut, die dann letztlich verkleidet werden. Auch hier ist an der Außenseite die Hinterlüftung wichtig.

3.3.7 Dach

Da Wärme nach oben steigt, muss das Dach gut gedämmt sein, damit, bei geringen Außentemperaturen, die erzeugte Wärme im Haus verbleibt und nicht entweichen kann. Deshalb ist eine Dicke der Dämmschicht von 120 mm vorgesehen. Der Aufbau des Dachrahmens lehnt sich an den Wandaufbau an. Wichtig ist auch hier die Vermeidung von Kältebrücken und die Abdichtung mit Hilfe von Dampfsperren. Die Dicke der Rahmenstruktur ist größer gewählt, da die Dachlast gut in die Außenwände abgeleitet werden muss. Dies ist vor allem für den besonderen Belastungsanspruch der Schneelast, siehe Kapitel 5.3.1, wichtig. Die äußere Schicht des Daches ist aus Metall gestaltet. Die Dachplatten aus Aluminium sind witterungsbeständig und begünstigen entsprechend ihrer hellen Gestaltung die Reflexion von Licht für die Gewinnung von Strom in der Photovoltaikanlage (siehe 3.3.10).

3.3.8 Fenster und Türen

Durch die Zulassung als Wohnanhänger erfordern alle Elemente aus Glas eine Bauartgenehmigung nach §22a der StVZO. Ist diese Genehmigung nicht gegeben, müssen diese Flächen im Fahrzustand verkleidet sein, um anderen Verkehrsteilnehmern im Falle eines Unfalls keine Schäden durch Glassplitter oder ähnliches zuzufügen.

Scheiben, die im Fahrzeugbau eingesetzt werden, sind für die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer ausgelegt. Sie halten großen Belastungen stand. Kommt es zur Zerstörung, brechen sie in kleine, nicht scharfkantige Bruchstücke. All diese Eigenschaften bieten Fenster, die im Hausbau eingesetzt werden, nicht. Sie sind für andere Belastungszustände ausgelegt. Im Fensterbau für Wohngebäude wird kein Sicherheitsglas verwendet. Zum Einsatz kommen für Gebäudefenster zwei oder drei Glasschichten, die durch die Art ihrer Anordnung eine Wärme- und Geräuschisolierung bewirken und damit den Wohnkomfort steigern. Werden im TinyHouse Fahrzeugfenster eingesetzt, bewirkt dies eine schlechte thermische und akustische Dämmung des Innenraums. Deshalb sollen Fenster für den Gebäudebau verbaut werden, die im Fahrzustand abgedeckt werden können. Dies ist zum Beispiel durch leichte Platten aus GFK oder ähnliche Werkstoffe möglich. Außerdem sollten die Fenster nicht mit Glas-, sondern mit modernen Polycarbonat-Scheiben, ausgestattet sein. Dies führt auf Grund der unterschiedlichen Dichte (Glas: 2600 kg/m^3 ; Polycarbonat: 1200 kg/m^3) zu einer Gewichtsersparnis von über der Hälfte des Gesamtgewichts bei ähnlichen Kennwerten [47].

3.3.9 Wasserversorgung

Wie in Kapitel 2.3 erwähnt, ist die autarke Wasserversorgung in Deutschland eine rechtliche Grauzone. Da Wasser als Lebensmittel gilt, sind strenge Bestimmungen einzuhalten. Grundsätzlich ist es in Deutschland verboten, Regenwasser zu Trinkwasser zu filtern und im Alltag zu nutzen. Laut Gesetzgeber dürfen in Deutschland mit gefiltertem Wasser nur Toilette und Waschmaschine betrieben werden [48]. Technisch ist es jedoch möglich, Wasser bis hin zur Trinkwasserqualität zu filtern. Ein innovatives Filtersystem stammt von der Firma wohnwaggon in Österreich (siehe Anlage 4). Das mit speziellen Sumpfpflanzen arbeitende System, das an einen Bachlauf erinnert, reinigt das Brauchwasser, sodass es wieder genutzt werden kann. Damit dieses Wasser auch als Trinkwasser genutzt werden kann, wird ein spezieller Filter verwendet. Um auch im Winter ein zuverlässig arbeitenden Filter garantieren zu können, ist eine Heizung im Becken zu installieren. Andernfalls kann der

Kreislauf bei Temperaturen unter null Grad Celsius nicht aufrechterhalten werden. [49] Um den Wasserverlust im System auszugleichen, kann durch die Außenlage des Filters immer wieder Regenwasser eingespeist werden. Die Neigung des Trailer-Dachs gewährleistet einen von der Schwerkraft getriebenen Fluss des Wassers. Zu beachten ist dabei die Nutzung von biologisch abbaubaren Spülmitteln. Die Toilettennutzung erfolgt losgelöst von der Wasserversorgung mittels einer Trenntoilette, wie sie von der Firma Separett angeboten wird.

3.3.10 Energieversorgung und Heizung

Um Autarkie zu gewährleisten und das TinyHouse mit Strom zu versorgen, wird eine Photovoltaikanlage genutzt. Bei der Installation einer solchen Anlage sind allerdings viele Faktoren zu berücksichtigen. So sollte der Standplatz des Hauses ermöglichen, dass Sonnenlicht vor allem um die Mittagszeit die Panels der Anlage trifft. Beachtet werden muss, für eine ausreichende Energieausbeute, auch der Winkel der Panels zum einfallenden Sonnenlicht. Dieser liegt im Optimalfall zwischen 30 und 50°. Zunächst wird ein Energiekonzept aufgestellt und ermittelt, wieviel Leistung die im Haus untergebrachte Elektronik benötigt. Aus der Tabelle in Anlage 6 geht hervor, dass ein ungefährender Verbrauch von 1.300 kWh pro Jahr abgedeckt werden muss. Dieser ergibt sich aus Verbrauchern wie Küchengeräten, Beleuchtungseinrichtungen und nötigen Pumpen für Wasser und Frischluft. Auf elektrische Verbraucher in Form von Kochern und Kühlschrank oder Waschmaschine wird verzichtet, da sie sehr viel Strom verbrauchen. Es wird auf Alternativen, die Gas- oder Muskelkraftbetrieben sind, zurückgegriffen. Am Ende dieses Kapitels werden dafür Beispiele genannt. Dieser Verzicht reduziert den Stromverbrauch enorm. Die maximal benötigte Leistung im Fall, dass alle elektrischen Verbraucher angeschaltet werden, reduziert sich von anfangs knapp 10.000 W Energiebedarf (Anlage 5) auf maximal nötige 2.250 W (Anlage 6).

Um die nach Energiekonzept nötigen 1.300 kWh pro Jahr gewährleisten zu können, müsste fast die komplette Dachfläche des TinyHouse (ca. 20 m² Dachfläche) mit Panels versehen werden. Dies bringt ein Gewicht von bis zu 400 kg mit sich, denn pro Quadratmeter Panelfläche ist für Panel und Unterkonstruktion mit 20 kg zu rechnen. Allerdings muss auf dem Dach ebenfalls das Wasserfilter-System untergebracht werden. Auch mit Blick auf das Gesamtgewicht des TinyHouse muss die Fläche der Photovoltaikanlage möglichst geringgehalten werden. Eine Mobile Anlage, die neben dem Haus aufgestellt und gesondert transportiert werden kann, ist eine mögliche Lösung für dieses Problem.

Zu berücksichtigen ist außerdem, dass die Panels nur bei ausreichend Sonnenstunden und eingehaltenen Randbedingungen wie Neigung und Ausrichtung nach Süden, die angegebene maximale Ausbeute erbringen. Die Panelfläche auf die benötigte Leistung abzustimmen, bringt im Winter, bei wenig Sonnenstunden oder einem niedrigeren Einstrahlwinkel, ein Energiedefizit mit sich. Deshalb muss die Anlage im Sommer überdimensioniert werden. So erwirtschaftet sie im Winter ausreichend Energie. Den Überschuss im Sommer könnte man abbauen, indem man einen Warmwasserspeicher mit elektrischer Heizspindel verbaut. Mit der überschüssigen Energie kann dann Wasser zum Duschen oder Abwaschen erhitzt werden.



Abbildung 19: BiSun Photovoltaik-Modul Wirkungsweise

Ein normales Photovoltaik-Panel leistet ungefähr 230 Wp; diese Panelbauart lag auch der oben durchgeführten Analyse zu Grunde. Steigt man auf BiSun-Module um, erreicht man eine elektrische Leistung von ungefähr 350 Wp (nähere Informationen siehe Anlage 7).

Diese Panel-Bauart, dargestellt in Abbildung 19, gewinnt aus der von der Dachfläche reflektierten Lichtstrahlung nochmals Energie. Dafür müssen die Panels allerdings 0,30 m über der eigentlichen Dachfläche angebracht sein. Im Fahrzustand würden dann große Kräfte auf die Konstruktion und die Panels wirken. Deshalb sollte dafür eine bewegliche Unterkonstruktion entwickelt werden, bei der die Platten im Stand nach oben geklappt oder gefahren werden können. Außerdem könnten in der Fahrzeugseite ebenfalls Panels untergebracht werden, die im Stand von der Wand weggerichtet angewinkelt werden und so zusätzlich Energie gewinnen lassen.

Zusätzlich zu den Panels benötigt eine Photovoltaikanlage neben der Verkabelung und Absicherung noch einen Wechselrichter und Energiespeicher. Der Einsatz eines Systems des Herstellers Sonnenbatterie würde sich hierfür anbieten. Möglich wäre im Anwendungsfall die Nutzung des SunnyIsland 3.0M/4.4M (nähere Informationen siehe Anlage 8); dieses

System beinhaltet im Paket neben einem Wechselrichter und den nötigen Akkus auch die Steuerelektronik und ist speziell für die Off-Grid-Anwendung konzipiert. In diesem Anwendungsfall funktioniert die komplette elektrische Anlage losgelöst von bestehenden Versorgungssystemen. Mit ungefähr 175 kg Gesamtgewicht reduziert er die Nutzlast jedoch weiterhin enorm. Für die Photovoltaikanlage und Stromversorgung sind somit über 500 kg einzuplanen, sie kostet zwischen 10.000 € und 15.000 €.

Wichtig für die Installation der Anlage sind kurze Wege zwischen dem Wandler und den Panels. Bei einer niedrigen Nennspannung von maximal 48 V sind die Verluste sonst sehr groß [50]. Ebenfalls sollten die Energiespeicher nah an Zähler und Wechselrichter untergebracht sein. Die Befestigungswand für das System sollte keine Leichtbauwand sein, denn die im Betriebszustand auftretenden Schwingungen würden die Wand sonst zu Schallemissionen anregen. Eine Anbringung auf Holzboden ist nicht zulässig, da die Brandgefahr zu hoch ist. Die Akkus sind trocken und kühl zu lagern und, wenn nötig, auch künstlich zu belüften. Sie dürfen jedoch nie Minusgraden ausgesetzt sein. Dies würde die Lebensdauer stark verringern.

Alle Geräte, die elektrische Energie nutzen, um einen Raum zu erwärmen oder abzukühlen bzw. die Wärme erzeugen (zum Beispiel Wasserkocher, Föhn etc.), sind stark verlustbehaftet. Das Erhitzen von Wasser oder auch das Heizen des Raumes erfordert Mengen elektrischer Energie, die nur schwer durch Photovoltaik-Strom abgedeckt werden können. Vor allem in der Winterzeit, wo die gewonnene Energie und die Zahl der Sonnenstunden geringer ist als im Sommer, würde die Nutzung zum Erhitzen von Wasser oder zur Heizung des Raumes eine Photovoltaikanlage enormer Größe erfordern. Deshalb soll für die zu Beginn dieses Kapitels genannten Anwendungen eine Alternative aufgezeigt werden. Das TinyHouse soll durch einen Ofen geheizt werden. Über eine Heizplatte an diesem Ofen kann Wasser erhitzt werden. Um auch Warmwasser im Wassersystem für Spüle und Dusche zu haben, empfiehlt sich die Installation einer Heizspindel um das Abluftrohr des Ofens. Strom-Großverbraucher, zu denen auch eine Kaffeemaschine zählt, sollte man möglichst nicht in die Hausausstattung zählen. Kann man auf die Geräte nicht verzichten, gibt es trotzdem einige Alternativen auf dem Markt, die sie im TinyHouse nutzbar machen. Herd und Kühlschrank könnten per Gas betrieben, der Herd zum Beispiel auch durch den Einsatz eines geeigneten Holzofens ersetzt werden. Das Verteilsystem von der Gasflasche hin zu den Geräten ist entsprechend der gesetzlichen Bestimmungen auszulegen. Eine Waschmaschine kann durch eine stromlose Alternative, wie die Drumi [51], ersetzt werden. So lässt

sich viel Energie sparen, ohne auf Komfort verzichten zu müssen. Alle Kabel sollten, wie im Wohnanhängerbau üblich, aus flexiblen Litzen bestehen. Ein Beispiel dafür ist das H07RN-F. Dieses Kabel, welches auch als Gummischlauchleitung bezeichnet wird, hält den Belastungen stand und wird auch durch eventuell auftretende Bewegungen des Aufbaus nicht überlastet.

3.4 Massenkonzent und Auslegung

Bevor mit der Umsetzung des Bauvorhabens begonnen werden kann, muss ein detailliertes Massenkonzent angefertigt werden. Die Anforderungen an das TinyHouse und die dafür benötigten Bauteile oder -elemente werden in diesem Konzept aufgeführt und die Massen addiert. Das Ergebnis wird zum theoretischen Gesamtgewicht, welches das TinyHouse nach dem Bau nicht überschreiten sollte, ins Verhältnis gesetzt. Um den Anforderungen zu genügen darf das Haus ein maximales Gewicht von 3.500 kg nicht überschreiten. Die Planung der Massen erfolgt sehr detailliert, da die zulässige Gesamtmasse schnell erreicht ist. Damit die Addition der Massen nicht lückenhaft oder unvollständig ist, müssen außerdem Alltagsgüter und Gegenstände des täglichen Bedarfs mit in diese Berechnung einbezogen werden. Andernfalls müsste bei einem Standortwechsel das Haus vor dem Transport erst komplett entladen werden. Das steht im Gegensatz zur angestrebten Mobilität. Trotzdem kann zwischen dem Fahrzustand und dem Standzustand unterschieden werden. Auf diese Differenzierung geht Kapitel 3.4.7 näher ein.

Die im TinyHouse untergebrachten Gegenstände und Baumaterialien lassen sich in folgende Gruppe unterteilen.

- (1) Trailer
- (2) Rohbau
- (3) Küche und Haushalt
- (4) Wohnraum und Arbeitsplatz
- (5) Schlafräum und Rückzugsort
- (6) Bad und Installation

Im Folgenden soll ein Einblick in die Massen und den kalkulierten Bauraum gegeben werden. Bei der Kalkulation der einzelnen Bauteile des Interieurs ist es nützlich, auf Produktdatenbanken, wie zum Beispiel Amazon, zurückzugreifen. Auf diesem Weg gelangt man über die Bauteileinzelmasse zu der zu kalkulierenden Masse für das TinyHouse. Die Massen beziehen sich auf die Produkte, die in Anlage 9 zur Kostenkalkulation herangezogen wurden.

3.4.1 Trailer

Der Trailer setzt sich aus den in Tabelle 3 aufgeführten Kaufteilen und einem für den Anwendungszweck entwickelten Rahmen zusammen.

Tabelle 3: Massenüberblick Trailer

Bauteil	Masse m (in kg)	Bemerkung
Rahmengerüst	470,00	aus CATIA-Modell
Achskonstruktion	160,00	Aggregat mit 2x Alko Achse B1800-9 1800lg LK: 5x112, je 70 kg; Verbindungsteile
Auflaufeinrichtung	40,00	Alko Kober Typ: 2,8VB bis 3.500 kg zul. GG.
Komplettäder	60,00	4 Räder 185R14-C, RA 5x112, Traglast 900 kg
Stützrad vorn	19,00	Schwerlaststützrad Winterhoff K70-400 VBR 600 kg
Unterstellböcke	10,00	3 Stützböcke SN2460-2
Unterlegkeile	5,00	2x Alko Unterlegkeil UK 36 ST inklusiv Halter
Beleuchtungseinrichtung	5,00	
Summe	769	

Das Bauteil mit der größten Masse ist der Rahmen, auf dem das Haus aufbaut. Die FEM-Analyse in Kapitel 5 wird weitere Möglichkeiten der Massenreduzierung offenlegen und zeigen, an welchen Stellen das Rahmengerüst modifiziert werden sollte.

3.4.2 Aufbau

Der Rohbau beinhaltet die in Kapitel 3.3.4 bis Kapitel 3.3.8 beschriebenen Baugruppen, die Boden und Wände des TinyHouses bilden. Der Rohbau ist in die beiden Bauformen Holzrahmen und Metallrahmen zu unterteilen. Um die vorteilhaftere Bauweise zu finden, ist unter anderem der Massenvergleich in diesem Kapitel wichtig.

Um die Masse des Aufbaus kalkulieren zu können, wird das Rahmenmodell mit Hilfe des CAD-Programms CATIA aufgebaut. Im Anschluss kann entweder über das Bauteilvolumen und die Material-Dichte oder über die Fläche und die Masse pro Quadratmeter errechnet

werden, mit welcher Masse gerechnet werden muss. Tabelle 4 enthält die einzelnen Bestandteile und Massen der Bodenkonstruktion. Die **Bodengruppe** ist für beide Aufbauarten identisch.

Tabelle 4: Massenüberblick Bodengruppe

Bauteil	Masse m (in kg)	Bemerkung
Siebdruckplatte	155,00	
Bodenträger	200,00	
Isolierung	75,00	
Trennfolie	1,50	
Dielung	125,00	
Summe	556,5	

Die **Außenwände** setzen sich nach Tabelle 5 wie folgt zusammen.

Tabelle 5: Massenüberblick Außenwände und Rahmenkonstruktion

Masse Holzvariante m_H (in kg)	Bauteil	Masse Metallvariante m_M (in kg)
94,50	Innenverkleidung	94,50
5,00	Dampfbremse	5,00
718,25	Rahmenkonstruktion	542,00
103,25	Dämmung	54,00
-	Dämmplatten	102,00
9,25	Fassadenunterspannbahn	9,25
14,25	Konterlattung	14,25
90,25	Außenverkleidung	90,25
246,50	Fenster und Türen	246,50
1281,25	Summe	1157,75

Schon bei der Anfertigung des Modells und damit verbunden mit der Aufstellung des Massenkonzepts wird klar, dass die vorgegebene Gesamtmasse von maximal 3.500 kg nur schwer eingehalten werden kann. Deshalb wird von Holz als Obermaterial für die Fassade abgesehen und eine Kunststoffverkleidung gewählt. Vergleicht man Produkte wie Canadian Siding SV0 als Kunststoffvariante und canexel ridgewood ultra plank aus Holz, so ergibt sich auf die Fläche von ungefähr 45 m² eine Gewichtsersparnis von knapp 400 kg.

Zum Aufbau zählt außerdem die Dach-Verkleidung. Die Massen für Dämmung und Rahmenkonstruktion sind schon in den Außenwänden berechnet und werden hier nicht extra

aufgeführt. Deshalb ist die Massenkalkulation der **Dachverkleidung** in Tabelle 6 auch bei beiden Aufbauvarianten gleich.

Tabelle 6: Massenüberblick Dach

Bauteil	Masse m (in kg)	Bemerkung
Verschalung	84,50	
Metalldach	75,00	
Befestigungsmaterial	50,00	Befestigungsmaterial für einzelne Schichten des kompletten Aufbaus
Summe	209,50	

3.4.3 Küche und Haushalt

In der Küche befinden sich alle Dinge des täglichen Bedarfs, die zum Kochen und ähnlichen Aufgaben benötigt werden. Sie beinhaltet, einzeln aufgeführt in Tabelle 7, das Geschirr für 4 Personen und nötige Kochutensilien. Außerdem ist ein Thermomix mit eingeplant. Er erfüllt verschiedene Aufgaben und spart zusätzliche Geräte in der Küche.

Tabelle 7: Massenüberblick Küche und Haushalt

Bauteil	Masse m (in kg)	Bemerkung
Kühlschrank	17,00	
Thermomix	8,50	
Spülenschrank	50,00	Eckschrank, bietet außerdem Abstellfläche für restliche Güter
Geschirr	1,50	
Besteck	1,20	
Kochutensilien	1,00	
Topf/Pfanne	2,00	
Trockentücher	0,50	
Müll	1,50	
Summe	83,20	

3.4.4 Wohnraum und Arbeitsplatz

Der Wohnraum nimmt die größte Grundfläche im TinyHouse ein. Er bietet Platz für Gemeinschaft und vereint Arbeitsplatz mit Wohnzimmer.

Um den gegebenen Platz gut zu nutzen, ist zum Beispiel ein Regal in das verbaute Ecksofa integriert. Die einzelnen Massen sind in Tabelle 8 aufgeführt.

Tabelle 8: Massenüberblick Wohnraum und Workspace

Bauteil	Masse m (in kg)	Bemerkung
Sofa	100,00	
Schreibtisch	20,00	
technische Ausstattung	12,00	
Bücher und Ordner	50,00	
Leiter	6,00	
Summe	188,00	

3.4.5 Schlafrum und Rückzugsort

Der Schlafrum, der gleichzeitig abgeschirmt von der Grundfläche als Rückzugsort fungiert, befindet sich über dem Sanitär- und Küchenbereich in der zweiten Etage. In diesem Raum ist neben der Matratze auch die Kleidung untergebracht.

Tabelle 9: Massenüberblick Schlafrum und Rückzugsort

Bauteil	Masse m (in kg)	Bemerkung
Matratze	25,00	
Bettwäsche	2,50	
Wäsche und Aufbewahrung	50,00	
Summe	77,50	

3.4.6 Bad und Installation

Zum Bereich Bad und Installation gehören neben der sanitären Einrichtung auch die dafür nötigen Versorgungssysteme für Strom und Wasser mit ihren einzelnen Komponenten. Die jeweiligen Massen sind in Tabelle 10 aufgeführt.

Tabelle 10: Massenüberblick Bad und Installation

Bauteil	Masse m (in kg)	Bemerkung
Dusche/Waschbecken	50,00	Blechtafel/Aluminiumverbundwerkstoff; ca. 5kg/m ²
Komposttoilette	25,00	
Handtücher	1,50	
Hygieneartikel	1,50	
Waschmaschine	5,00	Antrieb mit Muskelkraft yirego drumi
Beleuchtung und Kabel	40,00	
Batteriepack und Wechselrichter	175,00	SUNNY ISLAND 3.0M/4.4M
Photovoltaik-Panels	200,00	Sunmodule BiSun SW 325 XL DUO
Wasserpumpe	2,00	
Wassertank Frischwasser	10,00	
Wassertank Grauwasser	5,00	
Wassertank Abwasser	5,00	
Wassermenge (zirkuliert im System)	150,00	entspricht 150l Wasser
Filtersystem	200	künstlicher Bachlauf auf Dach
Gasflasche	25,00	
Ofen	60,00	Lederata plus 9 kW mit Backfunktion
Feuerholz	50,00	bei ca 350 kg/m ³ , geschüttet, 22 % Restfeuchte
Streu für Toilette	2,00	
Summe	1007,00	

3.4.7 Überblick und finale Kalkulation

In Tabelle 11 ist ersichtlich, dass die Anforderung, dass der Hänger mitsamt Aufbau nicht mehr als 3.500 kg wiegen darf, nicht erfüllt wurde.

Tabelle 11: Überblick über die Gesamtmassen der Bauvarianten

Gesamtmasse Holz- variante m_{GH} (in kg)	Baugruppe	Gesamtmasse Metall- variante m_{GM} (in kg)
769,00	Trailer	769,00
556,50	Rohbau Bodengruppe	556,50
1188,50	Rohbau Aufbau	765,00
209,50	Rohbau Dach	209,50
83,20	Küche und Haushalt	83,20
188,00	Wohnraum und Workspace	188,00
77,50	Schlafraum und Rückzugsort	77,50
1007,00	Bad und Installation	1007,00
4079,20	Summe	3654,70

Dabei ist die Massengrenze vom Metallrahmen nur knapp überschritten, der Holzrahmen wiegt allerdings mehr als 500kg zu viel.

Die hohe Masse beider Bauvarianten ist auch darauf zurückzuführen, dass, speziell auch bei der Planung von Strom- und Wassersystem, ein hoher Lebensstandard das Ziel war.

Reduziert werden kann der Lebensstandard durch Verzicht auf Baugruppen und eine kleinere Dimensionierung der Baugruppen. So könnte die Fläche und damit die Masse der Photovoltaikanlage verringert werden. Mit weniger Panels auf dem Dach und einem kleineren Energiespeicher im Haus könnte ungefähr die Hälfte der Masse des Ursprungssystems gespart werden, ohne auf Strom an Bord des TinyHouse verzichten zu müssen. Dazu könnte man aber auch den Stromverbrauch reduzieren. Zum Beispiel lässt sich der Kühlschrank auch mit dem Energieträger Gas betreiben.

Es kann auch auf einen extra Herd verzichtet werden, indem Backröhre und Kochplatte in den Ofen integriert werden. Dies erhöht die Masse des Ofens, in Summe wird damit allerdings Gewicht gespart. Es wird zwischen dem Zustand „Transport“ und „Stand an festem Ort“ unterschieden. So kann im Fahrzustand zum Beispiel das Wasser abgelassen werden.

Dies führt zu einer Massenreduktion von 150 kg. Auch das Verzichten auf einen Brennholzvorrat im Haus während des Transports reduziert die Fahrzeugmasse um weitere 50 kg. Weitere Möglichkeiten für Verzicht und Reduzierung sowie den Transport im Zugfahrzeug zeigt die folgende Tabelle auf. Als Basis dienen die errechneten Gesamtmassen. Das Ergebnis sind die Massen für den Transportzustand.

Tabelle 12: Masseneinsparpotential im TinyHouse

Bauteil	Masse m (in kg)	Bemerkung
Photovoltaikanlage	200,00	Reduzieren der Panelfläche um 50 %
Batteriepack	50,00	Reduzieren des Energiespeichers um 50 %
zirkulierendes Wasser	150,00	Ablassen des zirkulierenden Wassers
Filtersystem	200,00	Entfallen des Filtersystems und Umstieg auf Wasseranschluss
Feuerholz	50,00	das Feuerholz wird für die Fahrt in das Zugfahrzeug geladen
Gasflasche	25,00	die Gasflasche kann ebenfalls ohne weiteres in das Zugfahrzeug geladen werden
Summe	675,00	

Es lassen sich durch die in der Tabelle genannten Reduzierungsmöglichkeiten insgesamt 675 kg an Fahrzeugmasse sparen. Dies bedeutet, dass sowohl der Hänger mit Holzaufbau, als auch der Hänger mit Stahlrahmenaufbau unter der geforderten Gesamtmasse von 3.500 kg bleiben.

3.5 Kostenkalkulation

Wie in Kapitel 2.1 erläutert, war der geringe Kostenaufwand beim Bau eines TinyHouse, im Vergleich zu einem durchschnittlichen Wohnhaus, einer der Gründe für die Entstehung der Bewegung. In diesem Kapitel soll grob überschlagen werden, mit welchen Investitionskosten der TinyHouse-Bauherr rechnen muss. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Arbeiten am Haus in Eigenleistung ausgeführt werden.

Betrachtet man den Bau eines Reihenhauses mit 140 m² Wohnfläche, so rechnet man mit Baukosten von ungefähr 275.000 €. Durch viel Eigenleistung kann, so der Verband Privater Bauherren, eine Summe von 25.000 € eingespart werden [52]. Es kann also, nimmt man dieses Verhältnis als gesetzt, noch einmal rund ein Zehntel der Kosten für den Bau aufgeschlagen werden.

Die nachfolgende Auflistung gibt nur einen Überblick über die entstehenden Materialkosten. Sie sind aus den jeweiligen Kilo-Preisen oder Kosten pro Mengeneinheit errechnet und daher auch nur als grobe Kalkulation zu betrachten. Die Quellen für die Kostenpunkte sind im Anhang unter Anlage 9 zu finden. Für den Bau des Hauses empfiehlt sich der Kauf aller Materialien in **einem** Markt. Dies kann aufgrund von Mengenrabatten zu einer verhältnismäßig großen weiteren Kostenersparnis führen.

Wie auch bei der Aufstellung des Massenkonzpts, sollen die entstehenden Kosten untergliedert in ihre Baugruppen aufgelistet werden.

Die Kosten für den **Anhänger** umfassen ebenfalls nur die Materialkosten und vernachlässigen die Kosten für den Zusammenbau, die technische Abnahme und die Zulassung. Die Materialkosten belaufen sich auf 4.600 € und sind in Abbildung 20 aufgeteilt. Das Rahmengerüst kostet voraussichtlich etwa 1.800 €, die Achskonstruktion 1.275 €. Die Auflaufeinrichtung wird ungefähr 480 € kosten, für die vier Kompletträder müssen 360 € eingeplant werden. Das Stützrad kostet 260 € und für weitere Zubehörteile sind weiter 425 € Kosten geplant.

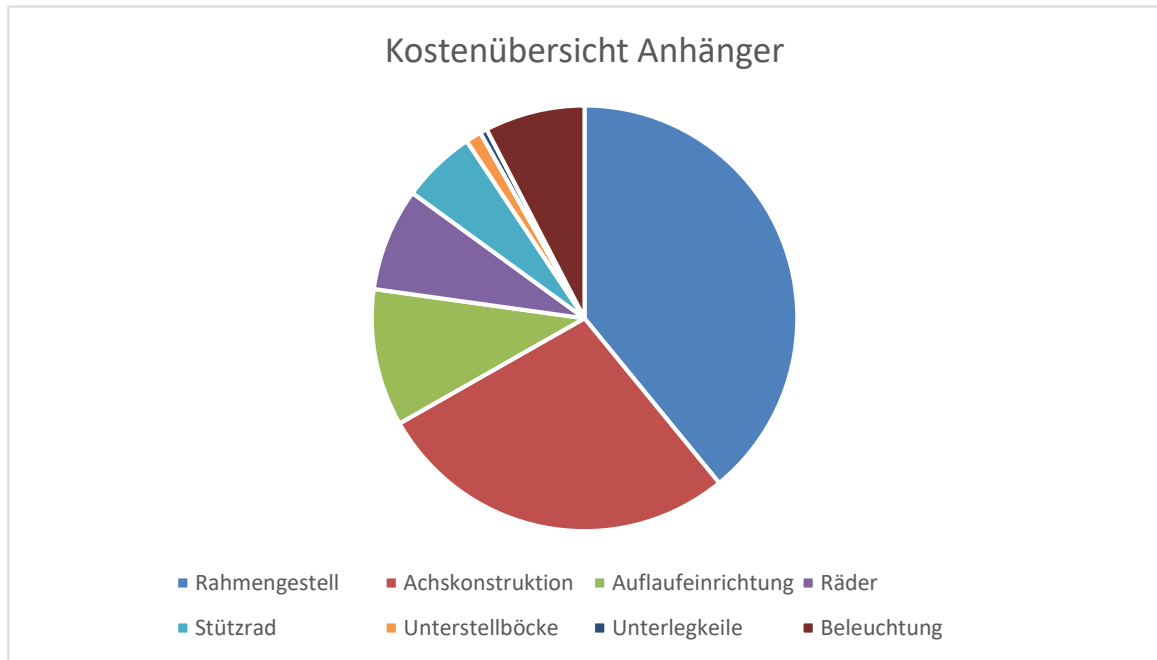


Abbildung 20: Kostenübersicht Anhänger

Dem **Baumaterial** ist zum einen die Bodenplatte, zum anderen der Aufbau zugeordnet. Gemeinsam mit der Gruppe Fenster und Türen bilden diese Gruppen den Rohbau. Die Gesamtkosten von ungefähr 29.000 € verteilen sich, wie in Abbildung 21 aufgezeigt, wie folgt: Das Material für die Bodenplatte kostet rund 1.400 €, der Rahmenaufbau aus Metall mitsamt Dämmung und Verkleidung kostet etwa 6.700 €. Türen und Fenster schlagen mit circa 3.400 € zu Buche. Den größten Posten in diesem Bereich stellt mit 17.500 € das Strom- und Wasserfiltersystem.

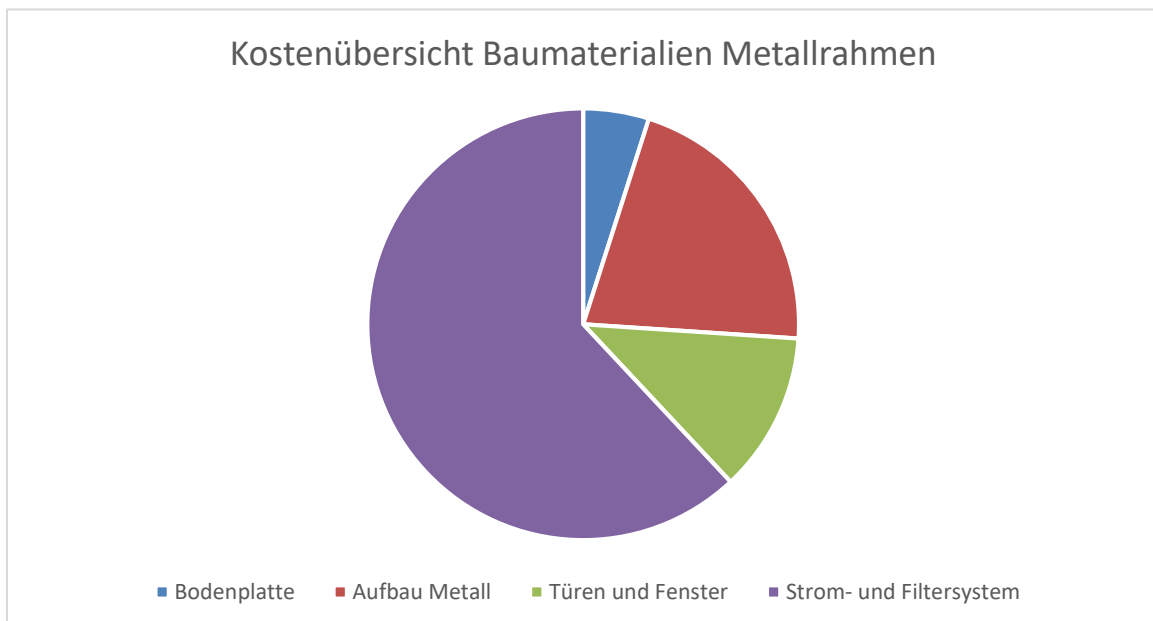


Abbildung 21: Kostenübersicht Baumaterialien Metallrahmen

Im Vergleich zu Metallwerkstoffen ist der nachwachsende Rohstoff Holz günstiger in der Anschaffung. Der Einkaufspreis für das Holz liegt bei nur 2.420 €. Das Kostenübersichtsdiagramm für den Holzaufbau ist in Abbildung 22 dargestellt.

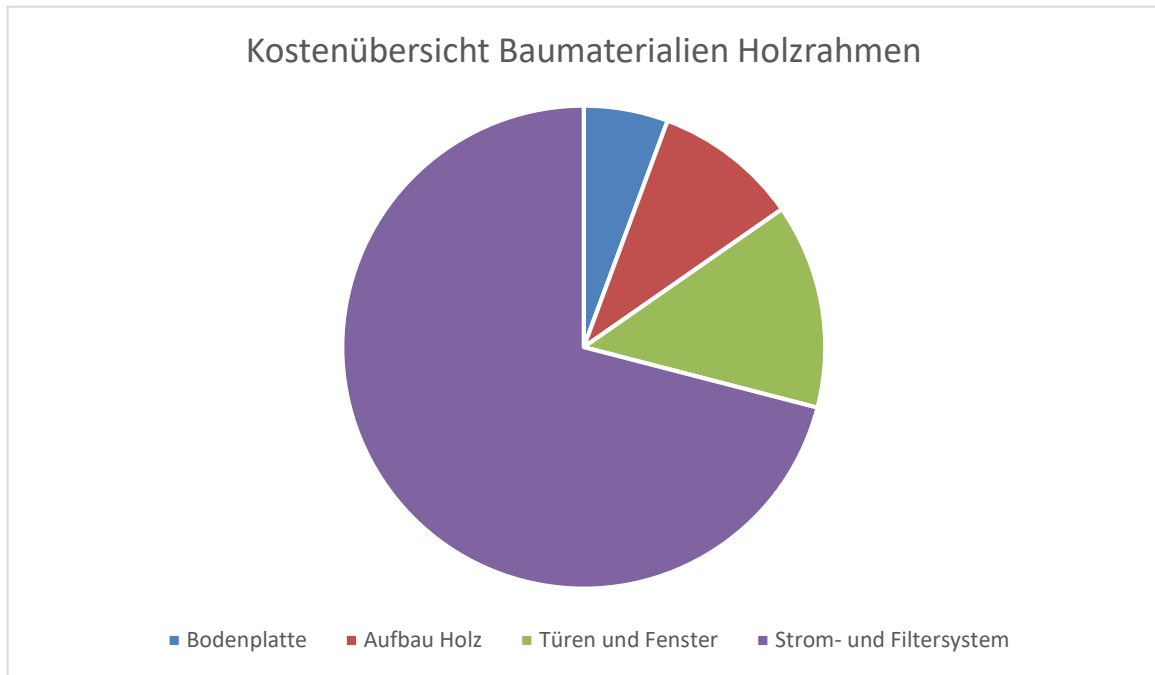


Abbildung 22: Kostenübersicht Baumaterialien Holzrahmen

Damit belaufen sich die Gesamtkosten für das Baumaterial beim Holzaufbau auf ungefähr 26.000 €. Der Holzaufbau ist damit etwa 3.000 € günstiger als das Haus mit Metallaufbau. Die Mehrkosten für den Metallaufbau entstehen durch den höheren Rohstoffpreis des Materials selbst und den Folgekosten in Form der speziellen Dämmung. Während die Nutzung von Metall als Rahmenmaterial eine Gewichtseinsparung mit sich bringt, sind die hier nicht berücksichtigten Verarbeitungskosten höher. Da der Holzaufbau nahezu komplett in Eigenleistung angefertigt werden kann, steigen im Vergleich die Kosten für den Zusammenbau des Metallrahmens noch einmal enorm an. Der Kostenvorteil des Holzaufbaus wird in der Umsetzung deshalb mehr als 3.000 € betragen.

Die verbleibenden Gruppen Küche, Versorgung, Wohnbereich, Bad und Schlafbereich beziehen sich auf den **Innenausbau** (Abbildung 23) und sind für beide Bauvarianten gleich. Dabei müssen in der Grundausstattung für die Küche rund 1.125 €, für Versorgungssysteme 1.950 € und für den Wohnbereich 1.000 € eingeplant werden. Das Bad wird etwa 500 € kosten und im Schlafbereich müssen 600 € investiert werden. Die Gesamtkosten belaufen sich für den Innenausbau damit auf ungefähr 5.175 €.

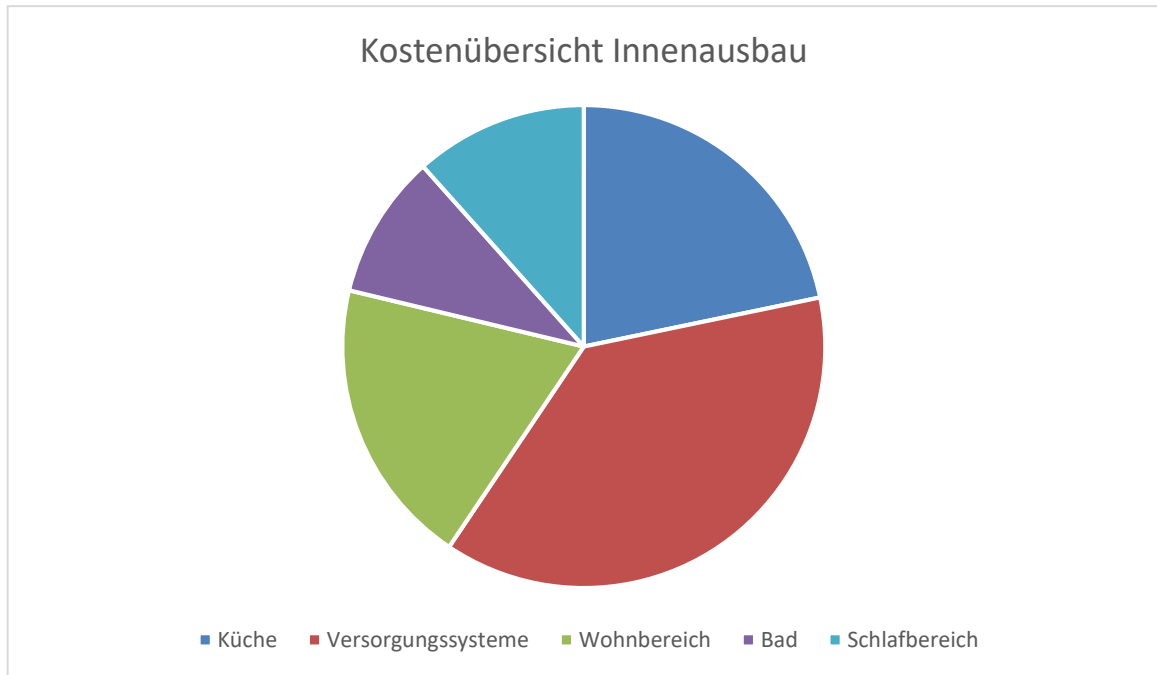


Abbildung 23: Kostenübersicht Innenausbau

Aus den jeweiligen Teilbereichen ergeben sich die in Abbildung 24 aufgeschlüsselten **Gesamtkosten**, die beim Bau des TinyHouse entstehen.

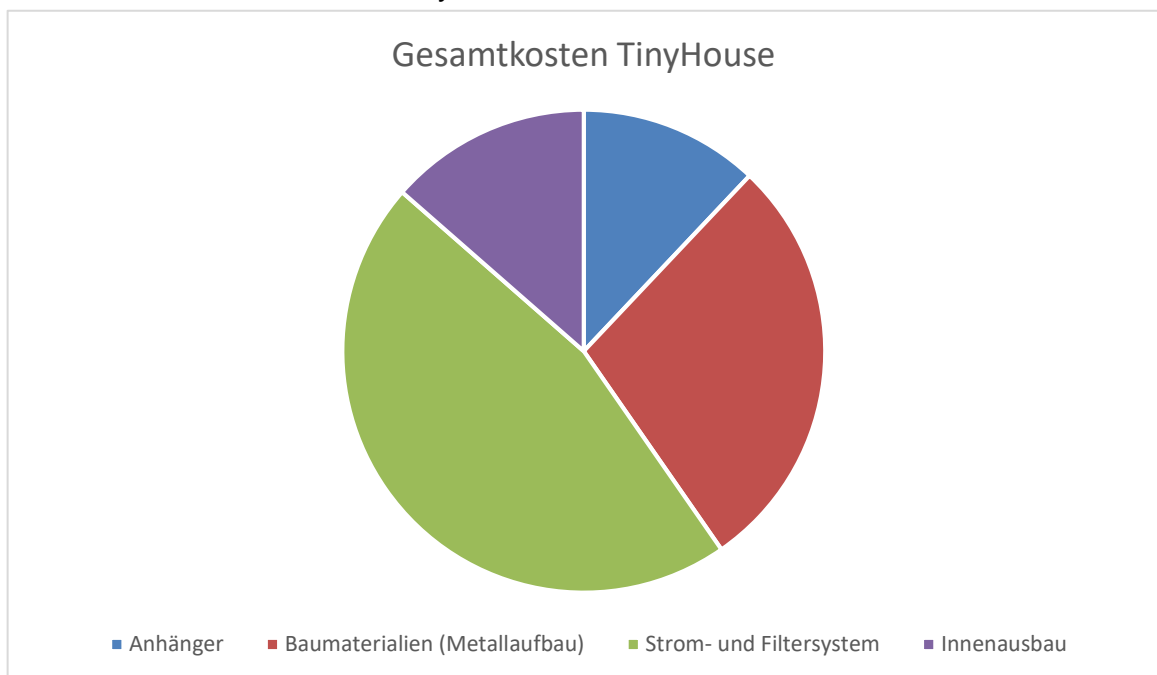


Abbildung 24: Gesamtkosten TinyHouse

Insgesamt kostet das Baumaterial für das TinyHouse damit in der Metall-Version 33.250 €. Mit einem Aufbau aus Holz entstehen Materialkosten in einer Höhe von 30.700 €.

4 Konstruktion des TinyHouse

Im Folgenden soll auf einige Besonderheiten und wichtige Bestandteile der Konstruktion des TinyHouse eingegangen werden.

4.1 Schwerpunktberechnung

Wichtig für die Festlegung der Rahmengeometrie des TinyHouse ist die Schwerpunktlage der einzelnen Objekte und Bauteile. In der gewählten Bauform des Tandemachsanhängers spielt die Stützlast eine große Rolle. Den Anforderungen nach, darf diese nicht mehr als 100 kg betragen. Die Position der Achse kann somit steuern, welche Stützlast im normalen Beladungszustand auf die Kupplung des Anhängers wirkt.

Als Grundlage der Berechnung dient das Modell des Holzrahmenaufbaus.

Um den Schwerpunkt des gesamten Aufbaus ermitteln zu können, werden die einzelnen Schwerpunkte der Komponenten aus dem Catia-Modell des Aufbaus herausgelöst. Dabei wird idealisierend die Annahme getroffen, dass der Mittelpunkt einer Black-Box auch gleichzeitig der Massenschwerpunkt ist. Dies vereinfacht die Rechnung und führt zu einer Näherungslösung. Die Reifenmassen und die Masse des Achsaggregats sind nicht Teil dieser Berechnung, da sie in ihrer Lage von der Position des Schwerpunktes abhängig sind. Der restliche Trailer-Aufbau ist jedoch in die Berechnung inbegriffen.

Die Koordinaten der Schwerpunkte werden im nächsten Schritt in eine Tabelle eingefügt und unter folgendem Tabellenkopf einsortiert:

Baugruppe	Bauelement	Teilmasse (in kg)	Masse (in kg)	Schwerpunkt (in mm)		
				X	Y	Z

Abbildung 25: Tabellenkopf Schwerpunktermittlung

Die Koordinaten beziehen sich auf das zu Beginn der Konstruktion festgelegte Koordinatensystem. Der Koordinatenursprung befindet sich an der vorderen Stirnwand des TinyHouse mittig vom Aufbau, auf Höhe der untersten Bodenfläche.



Abbildung 26: Bezugsebenen Schwerpunktberechnung

Berechnet wird der Gesamtschwerpunkt dann nach folgenden Formeln:

$$x_s = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + \dots}{m_1 + m_2 + \dots} \quad \text{Formel 1}$$

$$y_s = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2 + \dots}{m_1 + m_2 + \dots} \quad \text{Formel 2}$$

$$z_s = \frac{m_1 z_1 + m_2 z_2 + \dots}{m_1 + m_2 + \dots} \quad \text{Formel 3}$$

Um diese 3 Gleichungen auf einfachem Weg lösen zu können, empfiehlt sich eine Excel-Tabelle. Die in Abbildung 25 gezeigte Tabelle wird dafür um 3 Hilfsspalten ergänzt, in denen jeweils das Produkt aus Masse und der Koordinate x, y und z gebildet wird. So muss nicht jede der 45 Komponenten aufwändig einzeln berechnet werden.

Um die Schwerpunktkoordinaten zu errechnen, wird die Summe aus den Hilfsspalten durch die Gesamtmasse geteilt. Die errechneten Schwerpunktkoordinaten sind der Abbildung 27 zu entnehmen. Die vollständige Berechnungstabelle ist als Anlage 10 im Anhang zu finden.

Abbildung 27: Schwerpunktkoordinaten TinyHouse

Schwerpunktermittlung		
Xs	Ys	Zs
4080	30	1338

Im Ergebnis der Schwerpunktberechnung wird deutlich, dass der Schwerpunkt in y-Richtung um 30mm außermittig liegt. Übertragen auf das Fahrwerk und die Radlasten, zieht dies eine Prüfung nach sich, denn die Radlastdifferenz darf maximal 4 % des zulässigen Gesamtgewichts betragen [53].

Zunächst soll jedoch noch die Achsposition berechnet werden.

Mit Hilfe des Schwerpunktes und der Achs- sowie Stützlasten kann der Wert l_1 berechnet werden. Vereinfacht wird das Berechnungsmodell dahingehend, dass an den Mittelpunkt zwischen den beiden Achsen die Achslast angetragen wird und die Lastangriffspunkte alle in einer Ebene liegen sollen. Das verbaute ALKO-Tandemachsaggregat nimmt eine Achslast von 1.800 kg pro Achse auf. Die zulässige Achslast G_{Achslast} beträgt also 3.600 kg.

Die Masse m des TinyHouse samt Trailer wird mit 3.500 kg angenommen und die zulässige Stützlast $G_{\text{Stütz}}$ liegt bei 100 kg.

Der Abstand l_3 vom Koordinatenursprung zum Schwerpunkt beträgt 4080 mm. l_2 , gemessen zwischen Zugkupplungsmittelpunkt und Koordinatenursprung, ist 1760 mm lang.

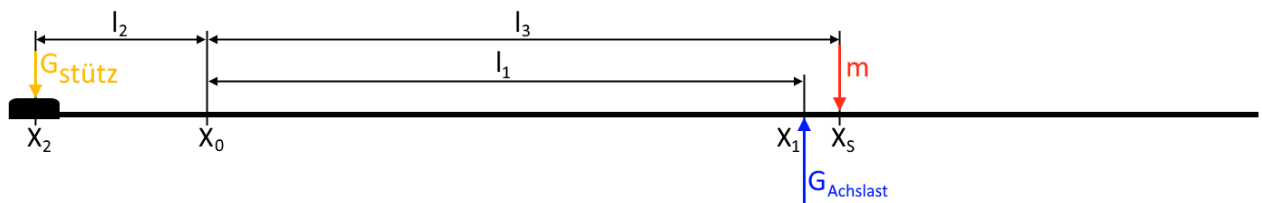


Abbildung 28: Skizze zur Achspositionsermittlung

Wählt man x_0 als Drehpunkt, ergibt sich folgende Gleichung:

$$0 = l_1 * G_{\text{Achslast}} + l_2 * G_{\text{Stütz}} - l_3 * m$$

Formel 4

Für den Abstand der Achse vom Koordinatenursprung, l_1 , ergibt sich also folgender Wert:

$$l_1 = 3917,78 \text{ mm}$$

Der Mittelpunkt des Achsaggregats liegt von x_0 ausgehend also ungefähr 160 mm vor dem Schwerpunkt. Im Anhängerbau ist diese Konstellation untypisch. Da der Anhänger auch ohne seine Beladung noch über ausreichend Stützlast verfügen muss, wird das Achsaggregat so positioniert, dass sich der Schwerpunkt zwischen Achse und Kupplungspunkt befindet. Da im Falle des TinyHouse aber davon ausgegangen werden kann, dass der Trailer nicht ohne Ladung transportiert wird, ist diese Konstellation zulässig.

Auch bei der Berechnung der Radlastdifferenz wird vereinfachend ein Modell erstellt, welches alle Kräfte in einer Ebene angreifen lässt.

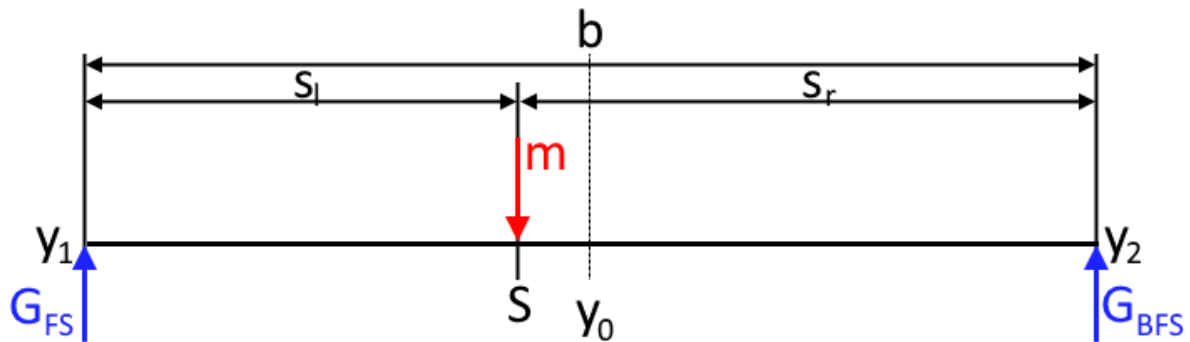


Abbildung 29: Skizze zur einseitigen Schwerpunktlage

Nach gesetzlichen Vorgaben darf die Radlastdifferenz höchstens 4 % der tatsächlichen Achslast betragen [53].

$$\Delta G \leq \frac{4\%}{100\%} * G_{\text{tatsächlich}}$$

Formel 5

Für die weiteren Berechnungen wird idealisierend angenommen, dass die von den Achsen zu tragende Masse sich auf beide Achsen gleichermaßen verteilt. Die Achslast beträgt demnach 1.750 kg. Sie ist geringer als die zulässige Achslast von 1.800 kg pro Achse und ergibt sich aus der Hälfte der Gesamtmasse des Fahrzeugs.

$$G_{\text{tatsächlich}} = \frac{1}{2} * m$$

Formel 6

$$G_{\text{tatsächlich}} = 1750 \text{ kg}$$

Die normale Reifenaufstandskraft ergibt sich wiederum aus der Hälfte der tatsächlichen Achslast.

$$\text{Damit ergibt sich aus } \Delta G \leq \frac{4\%}{100\%} * G_{\text{tatsächlich}}$$

Formel 5 folgendes Ergebnis für die zulässige Radlastdifferenz:

$$\Delta G \leq 70 \text{ kg}$$

Aus Abbildung 29 lassen sich die zur Berechnung der Radlasten nötigen Gleichungen ableiten.

Das Kräftegleichgewicht in Z ergibt folgende Gleichung.

$$0 = G_{FS} + G_{BFS} - m_A \quad \text{Formel 7}$$

Bei der entgegen dem Uhrzeigersinn gerichteten Drehung um y_1 entsteht diese Gleichung:

$$0 = -m_A * s_l + G_{BFS} * (b - bs_r) \quad \text{Formel 8}$$

Die Masse pro Achse, m_A , liegt bei 1.750 kg und s_l , die Entfernung zwischen Schwerpunkt und dem Rad auf der Fahrerseite, ist 1125 mm lang. Sie ergibt sich aus der Hälfte der Gesamtfahrzeugbreite b von 2550 mm abzüglich der halben Reifenbreite von 92 mm und der Schwerpunktdifferenz in y -Richtung von 30 mm.

Für die tatsächliche Achslast auf der Beifahrerseite ergibt sich somit folgender Wert:

$$G_{BFS} = 852,81 \text{ kg}$$

Setzt man diesen Wert in $0 = G_{FS} + G_{BFS} - m_A$

Formel 7 ein, so erhält man als Ergebnis G_{FS} .

$$G_{FS} = 897,19 \text{ kg}$$

Die Differenz zum Normalwert von 875 kg Aufstandskraft pro Rad wird nicht um die maximale Toleranz von 70 kg überschritten. Die außermittige Lage des Schwerpunktes entlang der y -Achse ist kein Problem.

4.2 Beleuchtungseinrichtungen

Für die Positionierung der Beleuchtungseinrichtungen am TinyHouse-Trailer sind die Bestimmungen aus der Straßenverkehrszulassungsordnung relevant. In den Paragraphen 49a bis 54 sind geforderte Beleuchtungseinrichtungen aufgezählt.

In Abbildung 30 sind die vorbestimmten Positionen für Leuchten für die Zulassung eines Einachsanhängers gekennzeichnet.

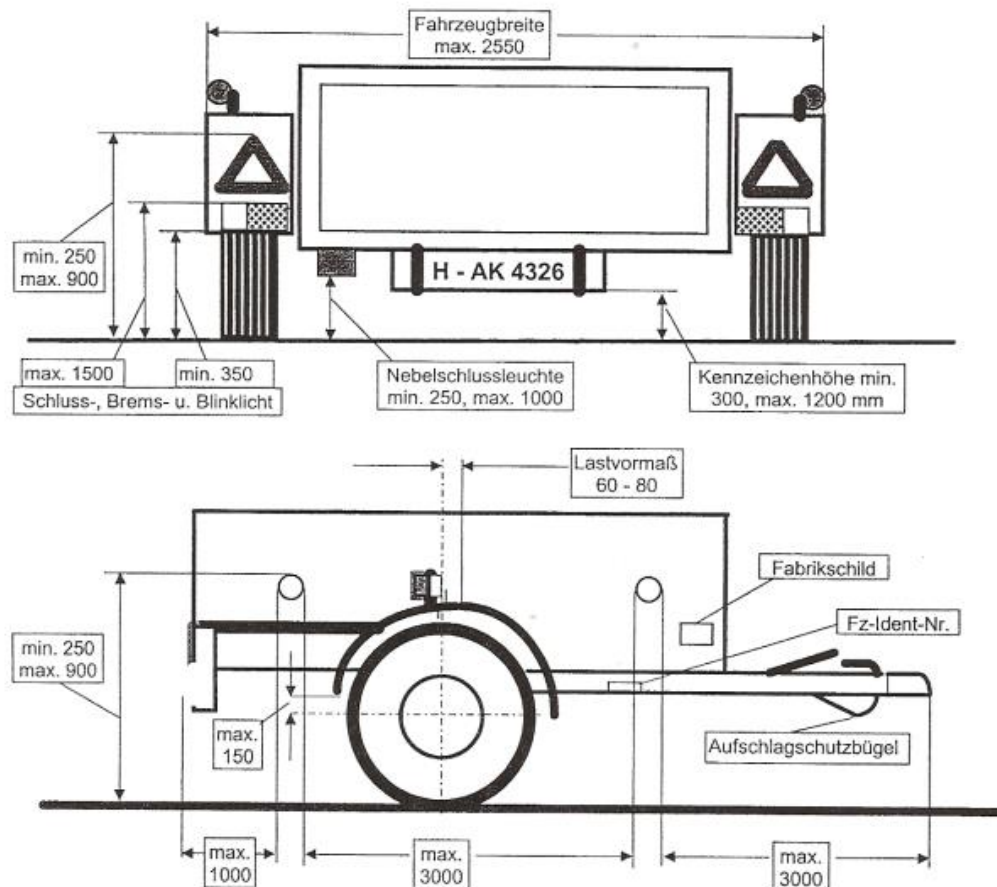


Abbildung 30: Positionen der Beleuchtungseinrichtungen am Einachsanhänger [76]

Die Grafik beinhaltet allerdings nicht alle Vorgaben, die für einen Tandemachsanhänger in der Größenordnung des TinyHouse-Trailers nötig sind.

Anhand der Bilder des TinyHouse-Trailers soll im Folgenden erläutert werden, welche Bestimmungen relevant sind. Die Beschreibungen sind der Straßenverkehrszulassungsordnung entnommen [54].

§51 StVZO Vordere Rückstrahler

Nach §51 dürfen im Bereich von 350-1500 mm über der Fahrbahn zwei weiße, runde Reflektoren angebracht werden. Sie müssen jeweils weniger als 400 mm von der Außenkante des Fahrzeugs entfernt positioniert werden.

§51a StVZO Seitliche Kenntlichmachung

Nach §51a muss der TinyHouse-Trailer, da er länger als 6000 mm ist, mit Seitenmarkierungsleuchten ausgestattet sein. Die erste Leuchte darf vom Fahrzeug vorn aus gesehen maximal 3000 mm hinter der Zugeinrichtung positioniert werden. Der maximale Abstand der Seitenmarkierungsleuchten darf ebenfalls maximal 3000 mm betragen. Die letzte Leuchte darf maximal 1000 mm vor dem am weitesten hinten liegenden Punkt platziert sein. Außerdem müssen sie in einer Höhe von 250 bis 900 mm über der Fahrbahn verbaut sein.

§51b StVZO Umrissleuchten

Ab einer Fahrzeugbreite von 2100mm, welche das TinyHouse überschreitet, muss ein Fahrzeug mit Umrissleuchten ausgestattet sein. Sie ergänzen die Schlussleuchten und weisen auf besondere Fahrzeugumrisse hin. Die Umrissleuchten müssen mindestens 200 mm vor den Brems- und Schlussleuchten liegen, um klar abgegrenzt zu sein.

§52a StVZO Rückfahrscheinwerfer

An Anhängern sind ein oder zwei Rückfahrscheinwerfer zulässig. Sie dürfen nicht weniger als 250mm und nicht höher als 1200 mm über der Fahrbahn liegen. Sie dürfen außerdem nicht mehr als 50mm über den Fahrzeugumriss herausragen.

Im Fall des TinyHouse sollen die Rückfahrscheinwerfer im Leuchenträger integriert sein.

§53 StVZO Schlussleuchten, Bremsleuchten und Rückstrahler

Kraftfahrzeuge und Anhänger müssen hinten mit zwei ausreichend wirkenden Schlussleuchten für rotes Licht ausgestattet sein. Sie dürfen nicht niedriger als 350 mm, nicht höher als 1500 mm befestigt sein. Sie müssen so weit wie möglich außen befestigt und nicht weiter als 400 mm von der breitesten Stelle des Fahrzeugumrisses entfernt sein.

Bremsleuchten sind von den selben Positionsregelungen betroffen, können mit den Schlussleuchten vereint sein, müssen jedoch stärker aufleuchten als diese.

Auch muss ein Anhänger mit zwei dreieckigen, roten Rückstrahlern ausgerüstet sein. Die Seitenlänge dieser Strahler muss mindestens 150 mm betragen, die Spitze des Dreiecks

nach oben zeigen. Sie können ebenfalls in der Rückleuchteneinheit integriert sein. Die maximale Höhe über der Fahrbahn ist für die Rückstrahler auf 900 mm begrenzt.

§53d StVZO Nebelschlussleuchten

Um bei Nebel oder ähnlichen Situationen trotzdem von anderen Verkehrsteilnehmern gut erkennbar zu sein, muss der Anhänger auch über eine Nebelschlussleuchte verfügen, da die zulässige Höchstgeschwindigkeit über 60 km/h liegt. Diese Leuchte muss ebenfalls mindestens 250 mm und maximal 1000 mm über der Fahrbahn liegen.

In allen Fällen muss der Abstand zwischen Bremsleuchte und Nebelschlussleuchte 100 mm betragen.

Im Falle des TinyHouse sollen all diese Rücklicht-Komponenten in eine Leuchte integriert werden und auf den in Abbildung 31 dargestellten Leuchten- und Kennzeichenträger montiert werden.

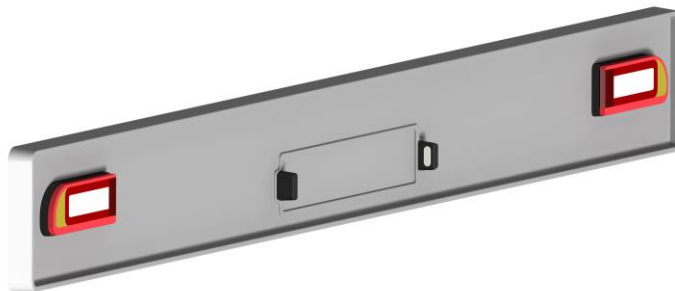


Abbildung 31: Leuchten- und Kennzeichenträger TinyHouse

Die umseitig folgenden Bilder beschreiben die Positionen der Leuchten am TinyHouse-Trailer.

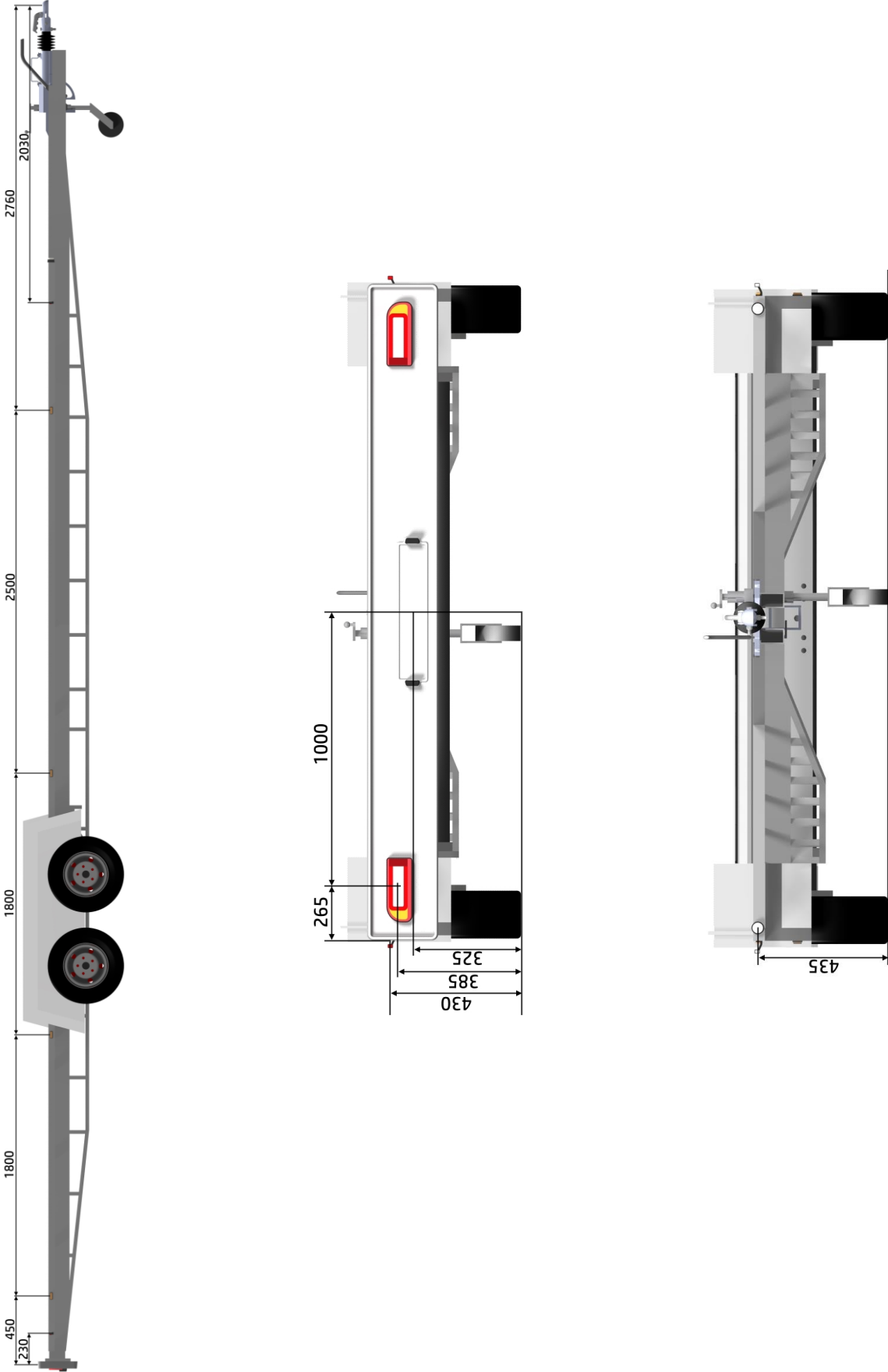


Abbildung 32: Positionsmaße der Beleuchtungseinrichtungen

4.3 Details der Konstruktion

In diesem Teilkapitel soll auf einige spezielle Bauteile eingegangen werden. Sie kombinieren verschiedene Funktionen oder verbessern die Eigenschaften der zugrundeliegenden Baugruppen und -teile.

4.3.1 Materialauswahl und Materialstärken

Wie in Kapitel 3.3.5 schon erwähnt, unterscheiden sich die Werkstoffe Metall und Holz grundsätzlich in ihren Eigenschaften. Für den anisotropen und inhomogenen Werkstoff Holz ist es deshalb nicht möglich, eine einfache FE-Analyse durchzuführen, um abzuschätzen, ob die gewählte geometrische Gestaltung den Anforderungen hinsichtlich der Belastung gerecht wird. Weder die Bearbeitungszeit dieser Arbeit, noch die technischen Möglichkeiten durch die Nutzung der CATIA-FEA sind dafür ausreichend. Für den Nachweis einer ausreichenden Festigkeit des Holzrahmens sollte ein Bauplaner beauftragt werden.

Um trotzdem ein Rahmenmodell aufstellen zu können und die Kosten sowie die Masse vergleichen zu können, wurden die genutzten Querschnitte aus vergleichbaren TinyHouse-Projekten übernommen. Als Basis für die getroffenen Annahmen dient die Baudokumentation von Leopold Tomaschek, der auf <http://tinyhouse-wanderlust.com/> seinen Tiny House-Bau beschreibt. Dabei wird auf ein 60x60 mm Querschnitt in den Eckträgern, ein 60x40 mm Querschnitt im restlichen Ständerwerk zurückgegriffen. Im Dachbereich werden, um die hohen Lasten gut in die Wände zu leiten, auf 120x60 mm Balken genutzt. Außerdem wird die Wandstärke von 60mm in den Wänden bzw. 120 mm im Dach für Dämmung genutzt.

Für das Ständerwerk aus Metall wird von einer Materialstärke von 3mm in den U-Profilen ausgegangen. Ob dies zu hoch oder zu niedrig kalkuliert ist, sollen die Berechnungen in Kapitel 5 zeigen. Die Profile sind 40 mm stark und nach außen mit 20 mm Dämmplatten versehen. Der Metallrahmen mit der zusätzlichen Dämmung hat mit 60 mm denselben Rahmenquerschnitt wie der Holzaufbau.

4.3.2 Verbindungen einzelner Baugruppen

An dieser Stelle soll ein Überblick über die geplanten Verbindungen zwischen einzelnen Baugruppen gegeben werden.

Geplant ist die Realisierung des Trailer-Rahmens als Schweißkonstruktion. Die einzelnen Vierkantrohre sind so fest miteinander verbunden und nicht mehr löslich. Die hohe Kraftübertragung bei geringen Nahtdicken sind ebenso vorteilhaft wie die Masseinsparung im Vergleich zum Zusammenbau mit Schraubelementen, da Einzelteile auf Verbindungselementaufnahmen gespart werden können. Bei einer Blechdicke von 3 mm ist eine Nahtdicke von 2,1 mm einzuhalten. (Siehe 5.2.1)

Auf den Trailer aufgeschraubt wird die Bodenplatte. Sie bildet im weiteren Bauprozess das Fundament für die Wände. Die Bodenplatte wird durch die Träger an den Außenkanten hindurch mit dem Befestigungsrahmen des Trailers verbunden. In Abständen von ungefähr 150 mm sichert so eine mit Kontermuttern versehene Gewindestange den Boden auf dem Trailer. Der genaue Abstand dieser Befestigungspunkte ist gesondert zu ermitteln.

Die Aufbauwände werden ebenfalls per Schraubverbindung gesichert. Auch hier ist der Abstand der Schraubpunkte zu ermitteln. Die U-Profile des Metallaufbaus und Balken des Holzaufbaus werden so auf der kompletten zum Boden hin existierenden Kontaktfläche verschraubt. Während im Aufbau selbst die einzelnen Holzträger verschraubt werden sollen, besteht im Metallaufbau die Wahl zwischen dem Fügeverfahren des Schweißens und - ähnlich dem Trockenbau - der Verbindung durch Niet- oder Schraubverbindungen. Ziel ist die Fixierung der einzelnen Elemente ineinander.

4.3.3 Tropfkante

In Abbildung 33 ist die Tropfkante an den Radkästen des TinyHouse dargestellt.

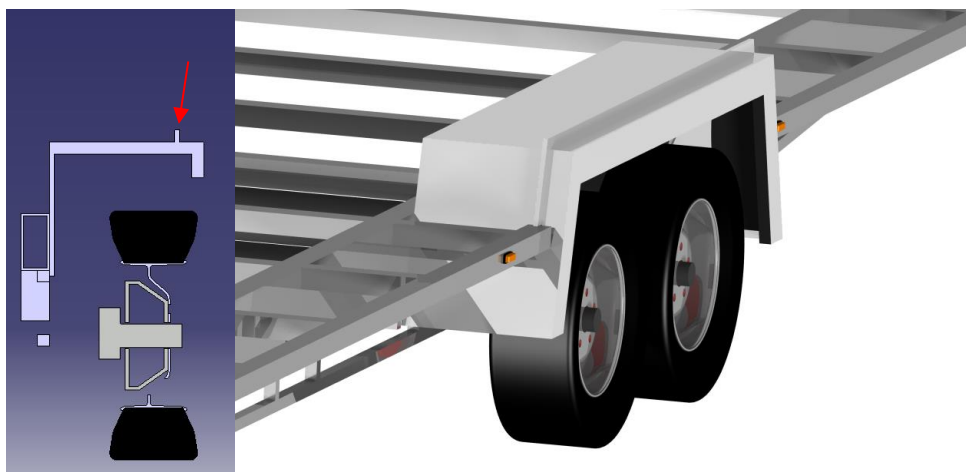


Abbildung 33: Tropfkante am Trailer

Während die innere Wandkonstruktion des TinyHouse, von außen betrachtet, hinter dieser Kante verläuft, wird die Fassadenunterspannbahn und die Fassade, welche vor Feuchtigkeitseintrag in darunterliegende Schichten schützt, außerhalb verbaut. Die Kante verhindert auf der annähernd ebenen Fläche des Radhauses, das nach innen Laufen von Feuchtigkeit und schützt den Aufbau somit vor Staunässe.

4.3.4 Verstärkung Deichselrahmen

Der Deichselrahmen überträgt große Kräfte und Momente und verbindet die Zugkupplung mit den Achsen. Am Rahmen sind außerdem die zusätzlichen Streben angebracht, welche das TinyHouse aufnehmen. Um die großen Belastungen, die im Trailer auftreten, gut weiter abzuleiten und ihm zusätzlich Stabilität zu verleihen, wird unterhalb des Rahmens eine Verstärkung angebracht. Sie sorgt für mehr Steifigkeit und umfasst gemeinsam mit dem Deichselrahmen das Achsaggregat.

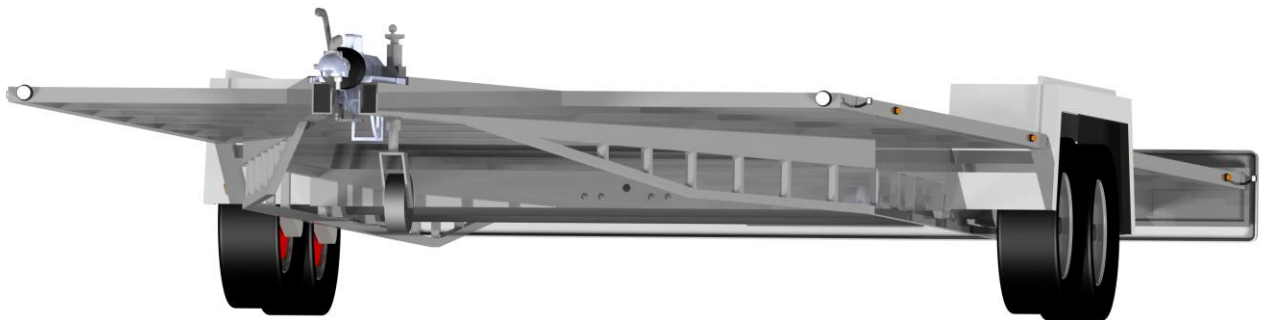


Abbildung 34: Verstärkung des Deichselrahmens

4.3.5 Waschbecken-Dusch-Kombination

Im Innenraum des TinyHouse kommt es darauf an, möglichst viel Platz zu sparen. Deshalb sollen Waschbecken und Dusche auch in **eine** Komponente integriert werden. Das folgende Bild zeigt, wie dies möglich ist:



Abbildung 35: Dusche mit integriertem Waschbecken [80]

4.4 Verbesserungspotential

In den Anforderungen in Kapitel 3.3.8 ist näher beschrieben, dass für Fenster entweder spezielle, für den Fahrzeugbau zugelassene Fenster in Frage kommen, oder auf eine Verkleidung zurückgegriffen werden muss, damit das Verletzungsrisiko bei einem Unfall minimiert wird. In der aktuellen Konstruktion ist auf die Detaillierung dieser Verkleidung verzichtet worden. Es gibt einige Möglichkeiten, wie eine solche Fensterverkleidung realisiert werden kann. Neben einfachen Fensterläden aus Holz sind Schutzkappen aus GFK eine gewichtssparende Option. Masse sparen könnte man in der Verglasung auch, indem man auf ein Rolltor mit Plexiglas-Einsätzen zurückgreift, wie beispielsweise das Alpha-TinyHouse.



Abbildung 36: Rolltor statt Balkontür im Alpha-TinyHouse [75]

Dies spart neben der Eigenmasse auch eine großflächige Verkleidung, welche zusätzlich Masse ins Haus einbringen würde.

Weiterhin vernachlässigt in dieser Arbeit sind Aufgänge in das Haus an der Haustür und an der Terrassentür. Während am Eingang ein Schritt von ungefähr 650 mm unbequem aber machbar ist, fehlt angrenzend an die Terrassenfenster eine Plattform. Mit einer solchen Plattform steigt der Nutzen der großen Fensterfront. Auch hier bietet das Alpha-TinyHouse eine gute Vorlage: Statt der fehlenden Wand am Rolltor bietet es, dargestellt in Abbildung 37, eine umklappbare Platte, welche zum einen das Rolltor schützt und zum anderen als Sitzfläche dient. Zwar ist diese Plattform eine zusätzliche Masse, sie vereint aber vielleicht den Nutzungszweck der Terrasse mit dem der Abdeckung der Fenster.



Abbildung 37: Ausklappbare Terrasse am Alpha-TinyHouse [55]

Auch ein Podest, welches für den Transport auf einen Pickup verladen werden kann, ist als Terrasse oder Treppe zum Aufgang denkbar.

Um noch flexibler im Transport des Hauses zu sein sollte auch überlegt werden, ob auf einen Teil des Stromsystems oder das schwere Wasserfiltersystem verzichtet werden kann. Denn wenn die Gesamtmasse des Hauses samt Innenausstattung weniger als die gestellte Anforderung von 3.500 kg beträgt, entfällt das Umpacken der Einrichtung im Falle eines Transports. Man müsste sich dafür neu auf die Ziele und Absichten des TinyHouse-Baus fokussieren. Die Reduzierung von Gegenständen und der Verzicht stehen ja im Fokus eben jener.

5 Erstellung eines FEM-Modells und Optimierung der Konstruktion durch CATIA-FEM-Tools

5.1 Vorbetrachtungen

Im folgenden Kapitel soll geprüft werden, ob die angestrebte Bauform des TinyHouse auch den im Straßenverkehr auftretenden Belastungen standhalten kann. Dafür soll das in CATIA integrierte Tool der Finite-Elemente-Analyse, Generative Structural Analyses, genutzt werden. Dies ist eine Arbeitsumgebung, in der, auf Basis der in CATIA erstellten Modelle, eine Bauteilberechnung durchgeführt werden kann. Der Elfini-Solver, welcher die Berechnungen in CATIA ausführt, ist ein Tool, welches für grundlegende Berechnungen von linearen Modellen genutzt wird. Für komplexere und nichtlineare Modelle werden statt der CATIA-Arbeitsumgebung Programme wie Abaqus oder ANSYS genutzt.

Im aktuellen Anwendungsfall sollen die Verformungen und Spannungen im Rahmen des TinyHouse und des zugehörigen Anhängers untersucht werden. Für diese Untersuchung mit dem Ziel einer Näherungslösung reicht das Anwendungsprofil des CATIA-Tools aus. Ziel ist es dabei, eine ausreichende Festigkeit nachzuweisen und in kritischen Bauteilquerschnitten konstruktiv eingreifen zu können, um eine ausreichende Stabilität zu gewährleisten.

Die Finite-Elemente-Analyse greift auf ein mathematisches Verfahren zurück. Durch die Lösung einer Differentialgleichung werden Spannungen und Verschiebungen berechnet. Im ingenieurtechnischen Kontext werden damit zum Beispiel Bauteile in ihrer Geometrie untersucht und Belastungsanalysen durchgeführt. Grundprinzip der Berechnung ist die Aufteilung der Bauteilgeometrie in kleine, finite Elemente. Diese werden in einer Gesamtsteifigkeitsmatrix hinsichtlich ihrer Geometrie- und Materialkennwerte erfasst. In Kombination mit Verschiebung, wirkender Kraft und den Randbedingungen lassen sich in komplexen Gleichungssystemen Spannungen und Verformungen berechnen.

Folgendes Schaubild verdeutlicht den Ablauf der Berechnung. Es ist untergliedert in Vorbetrachtungen, Berechnung und Auswertung. Dies ist angelehnt an die Benutzeroberfläche von ANSYS und ermöglicht einen guten Überblick. Jene ist in Preprozessor, Solution und Postprozessor untergliedert und wurde im Rahmen des Studiums an der Westsächsischen Hochschule Zwickau in ihren Grundlagen vermittelt [56].

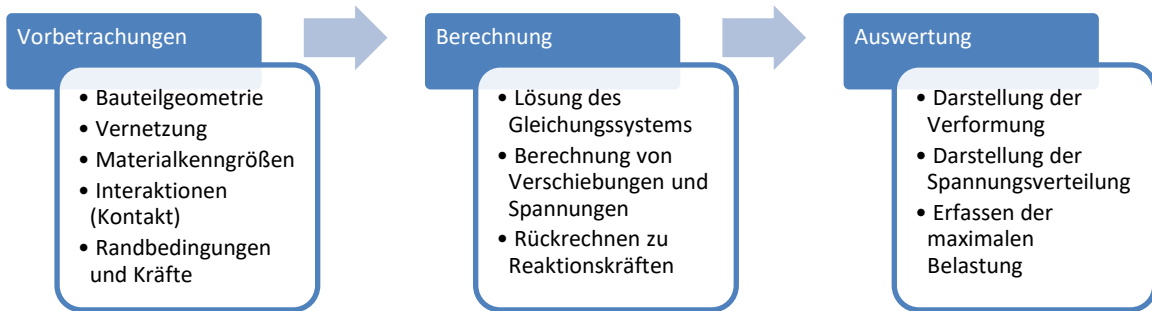


Abbildung 38: Ablauf der FE-Berechnung

In den Vorbetrachtungen wird das bereits aus der Schwerpunktberechnung existierende CATIA-Modell von Trailer- und Aufbaurahmen bearbeitet und auf die Mittelflächen der Profile reduziert. Dies ist nötig, da Wandstärken von einigen Millimetern auftreten. Bei einer Volumenvernetzung des bestehenden Modells spannt CATIA nur ein Volumenelement über den Querschnitt. Dies verhindert eine realistische Darstellung der Verformung und führt zu einer ungewünschten Versteifung des Modells. Soll die Verformung bestmöglich dargestellt werden, müssen mindestens zwei Vernetzungselemente, also 3 Knotenpunkte, über dem Querschnitt liegen.

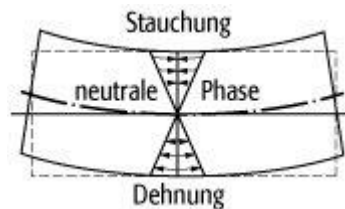


Abbildung 39: Neutrale Faser im Querschnitt [57]

Dann können, siehe Abbildung 39: Neutrale Faser im Querschnitt, mit Knotenpunkten auf Oberseite, neutrale Phase und Unterseite, die Stauchung und Dehnung abgebildet werden. Auf die Mittelflächen kann in CATIA nun das Netz gelegt werden. Es besteht aus einer endlichen Anzahl an linearen Rechteckelementen, die die eckige Geometrie von Trailer und Aufbau beschreiben. In Bereichen von Verbindungen und den Auflageträgern des Daches kommt es zur Vernetzung von Spider-Elementen, die Lücken in der Rechteckgeometrie auffüllen. Den Flächen, und damit dem Netz, wird im Anschluss eine 2D-Eigenschaft zugeordnet. Sie bringt Materialkennwerte ein und beschreibt außerdem die Stärke des Profils, welches ausgehend von den Mittelflächen, normal zu diesen gerichtet, aufgedickt wird. Ein weiterer Vorteil gegenüber der Volumenvernetzung ist, dass für die Berechnung eines Flächenmodells mit Schalenelementen weniger Knoten und Elemente benötigt werden. Damit wird in der Berechnung, vor allem bei der Größe der hier betrachteten Modelle, sehr wichtige

Rechenleistung gespart. Für die Umsetzung dieser Vorgehensweise ist allerdings nicht nur die CATIA-Umgebung der Generative-Structural-Analysis nötig, sondern auch die Advanced-Meshing-Tool-Umgebung wird gebraucht. In dieser Umgebung wird das Netz auf die Mittelflächen aufgebracht und im Anschluss bearbeitet.

Nachdem Randbedingungen wie Lagerung oder Verbindungen zwischen einzelnen Flächen und die wirkenden Kräfte ins Modell eingebracht sind, kann die Berechnung durchgeführt werden. In dem in CATIA integrierten FEM-Tool ist die Berechnung ähnlich einer Black Box. Sie läuft völlig automatisch ab. Tritt ein Fehler auf, wird dieser per Fehlermeldung angezeigt. Hingewiesen wird auf Fehler im Netz. Fehler in der Bestimmtheit des Modells müssen vom Anwender eigenständig korrigiert werden, bevor das Modell berechnet werden kann. Wenn das Modell fertig berechnet ist, kann zwischen verschiedenen Ergebnisausgaben gewählt werden. Neben Abweichungen, Hauptspannungen, Genauigkeiten und der von-Mises-Spannung kann auch die Verformung ausgegeben werden.

Die Genauigkeit der Ergebnisse hängt direkt mit der Feinheit der Vernetzung zusammen. Je feiner das Modell vernetzt ist, desto mehr Knoten sind vorhanden und können berechnet werden. Allerdings bedeutet der Anstieg der Knotenanzahl auch einen viel größeren Rechenaufwand. Die Berechnungsdaten je Berechnung betragen für das TinyHouse mehr als 50 Gigabyte. Trotzdem ist es nicht möglich gewesen, im guten Verhältnis von Aufwand und Nutzen, den globalen Fehlergrad weiter zu senken. Würde dieser Fehler bei ungefähr 10 %, in kritischen Bereichen bei 5 % liegen, betrachtet man das Ergebnis als hinreichend genau. Warum dies nicht bei allen Berechnungen erreicht werden konnte, wird in der Auswertung der Berechnungen näher beschrieben.

Bei der Untersuchung der Modelle werden stark vereinfachende Annahmen getroffen und Bedingungen werden idealisiert. So werden Statik-Analysen durchgeführt, bei denen alle Verbindungen als fix angenommen werden. Was dies im Detail heißt, ist in Kapitel 5.2 näher erläutert. Reale Umwelteinflüsse, wie zum Beispiel die Auswirkung von Reibung, sollen ebenfalls vernachlässigt und die Berechnungsbedingungen damit idealisiert werden.

Die Bauteilgeometrie wird einfach gehalten, auf Radien und Bohrungen wird verzichtet. Untersucht werden nur die angegebenen Belastungen. Ebenfalls vernachlässigt wird die Kombination einzelner Lastfälle, beispielsweise einer Bremsung in der Kurve. Statt der Kombination einzelner Situationen in Fahrt- und Standzustand, welche unter realen Bedingungen fast ausschließlich auftreten, werden nur einzelne Fälle untersucht.

Da lediglich Näherungslösungen ermittelt werden, wird der ursprüngliche Plan, die Rahmenmodelle in mehreren Berechnungsschleifen weiterzuentwickeln, nicht weiterverfolgt. Dies wäre nur sinnvoll, wenn die Berechnung näher an den realen Bedingungen erfolgen könnte. Aufwand und Nutzen würden bei den aktuellen Modellen für diese Weiterentwicklung in keinem Verhältnis stehen.

Berechnet werden jeweils nur die Rahmen von Trailer und Aufbau. Umliegende Geometrien und Bauteile werden als virtuelle Teile in die Berechnung einbezogen. Virtuelle Elemente, auch virtuelle Teile genannt, simulieren die Umgebung der zu untersuchenden Geometrie, indem sie die Geometrie des Umgebungselements überflüssig machen und sich auf die Kontaktflächen zum Untersuchungsteil beziehen. Sie können, je nach Art, Kräfte und Momente übertragen und verfügen meist über einen „Handlerpoint“. Dieser Punkt ist Schwerpunkt und Krafteinleitungspunkt im virtuellen Element. Jedes dieser Elemente muss entweder als Lager definiert sein, oder es muss eine Last eingeleitet werden. Um die Bauteilgeometrie nicht fälschlicherweise zu versteifen, wird auf Bewegliche Virtuelle Teile zurückgegriffen. Anders als das starre virtuelle Teil, welches in sich vollkommen steif ist, hat diese Elementart eine wesentlich geringere Steifigkeit in sich. Trotzdem verleiht es, zum Beispiel im Wandaufbau, durch den Flächenkontakt zu den Einzelteilen eines Wandsegmentes, zusätzliche Stabilität und überträgt Kräfte. In der Trailerberechnung ist der Einsatz der Handlerpoints von hoher Bedeutung, da keine Aufbaugeometrie im Berechnungsmodell vorhanden ist, die Kräfte aber in den Schwerpunkten der jeweiligen Bauteile angreifen.

Weitere Aspekte der Vereinfachung werden in den einzelnen Lastfällen deutlich. Die Ergebnisse, die am Ende der Berechnung von Trailer und Aufbaurahmen stehen, sind deshalb als Näherungslösungen zu betrachten und sollen ein grobes Gefühl vermitteln, ob der Trailer und sein Aufbaurahmen im grundsätzlichen Modellaufbau geeignet sind, oder von der Basis an überarbeitet werden sollten. Sie sollen die kritischen Bauteilquerschnitte offenlegen und dabei helfen, ein sicheres Produkt zu entwickeln.

5.2 Aufstellen von Modell und Randbedingungen

Um das Modell für die FEA aufzustellen, wird das Modell aus der Konzeptphase weiterentwickelt. Die folgenden zwei Unterkapitel gehen auf die einzelnen Schritte der Modellentwicklung für Trailer und Aufbau ein. Dabei wird statt einem großen Einzelteil, welches den Rahmen von Trailer und Aufbau beschreibt, nun auf Einzelteile zurückgegriffen. Sie entsprechen

den Bauteilen, die auch im Fertigungsprozess zu einer Baugruppe zusammengefügt werden würden.

Der hier beschriebene Modellaufbau gilt für das Grundmodell von Trailer und Aufbau. In den jeweiligen Kapiteln der berechneten Lastfälle wird auf die geänderten Werte der Belastungen eingegangen.

5.2.1 Trailer-FEM-Modell

Das Trailer-Gestell besteht aus drei Baugruppen, die letztlich mit einander verbunden werden. Zum einen aus dem Deichselrahmen. Er bildet die Aufnahme für Achskonstruktion und Zugdeichsel sowie den Trägerrahmen. Er nimmt später den Aufbau auf und verbindet ihn mit der Deichsel. Zur Verstärkung des Deichselrahmens und zur besseren Lastverteilung soll unterhalb des Deichselrahmens außerdem noch ein Verstärkungsrahmen angebracht werden.

Nachdem die einzelnen Teile als Solid Parts erzeugt sind, werden in Catia Generative Shape Design die Mittelflächen aus diesen Teilen herausgelöst. Dies muss noch vor der Verbindung zu einem Part erfolgen, da es sonst innerhalb der Berechnung zu Problemen kommt. Für die Definition der virtuellen Elemente ist eine Multiselektion nicht möglich. Diese tritt aber bei der Anwahl von Flächen unterschiedlicher Einzelteile auf. So werden also zuerst alle Mittelflächen aus dem Modell herausgelöst. Im Anschluss werden sie in einen Join zusammengefasst. Dies ist nur möglich, wenn die Konnektivitätsprüfung deaktiviert ist, da keine tangentialen Übergänge zwischen den Mittelflächen existieren.

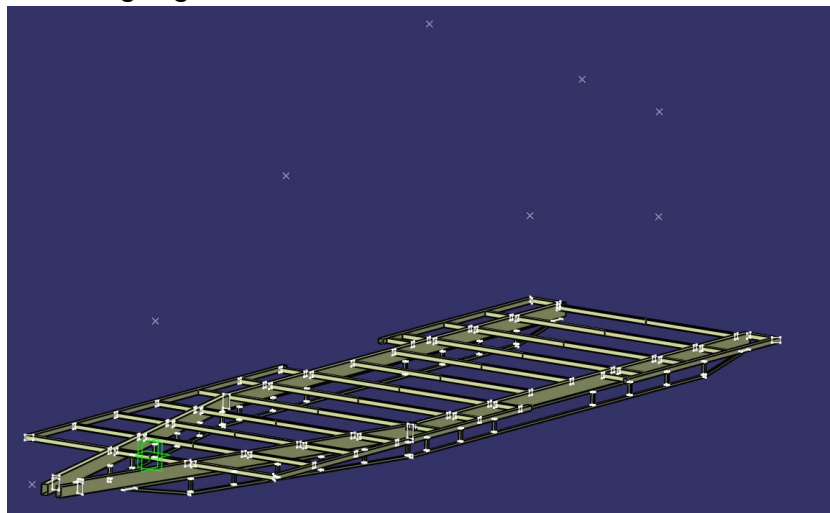


Abbildung 40: Mittelflächen und Handlerpoints Trailer

Außerdem werden in der GSD-Umgebung Punkte in die Schwerpunkte der Aufbau-Geometrie gelegt. Sie dienen als so genannte Handler Points, sind also Kraftangriffspunkte für die Belastungen, die vom Aufbau in die Trailergeometrie eingeleitet werden. Die weißen Linien, welche an den Schweißnähten der einzelnen Trailer-Parts liegen, dienen später zur Definition der Verbindung in der GSA-Umgebung.

Auf diese Mittelflächen wird dann in der CATIA-Umgebung der Advanced Meshing Tools das Netz aufgebracht und aufgedickt.

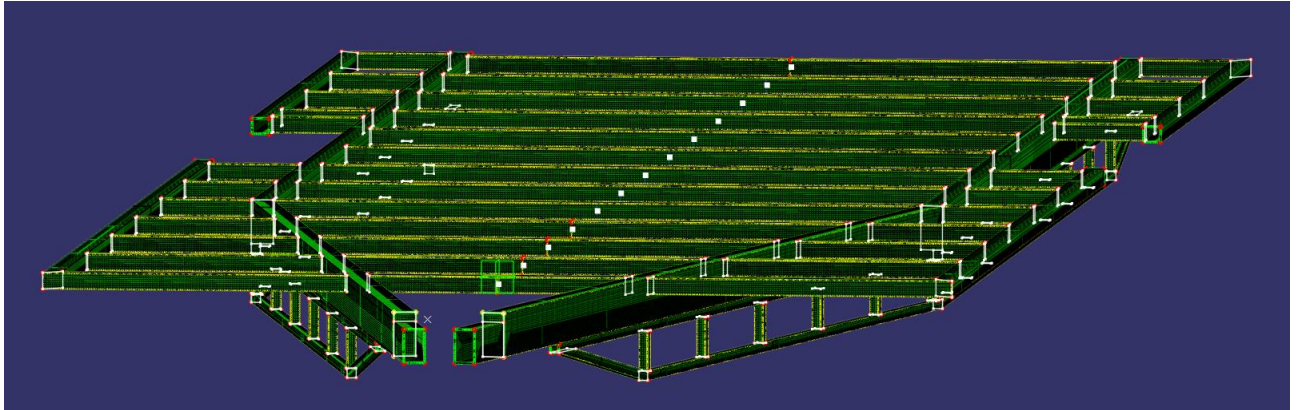


Abbildung 41: Vernetzung des Trailers mit Linien für Schweißnahtdefinition

Der Elementtyp und die genauen Vernetzungsparameter können folgendem Bild entnommen werden:

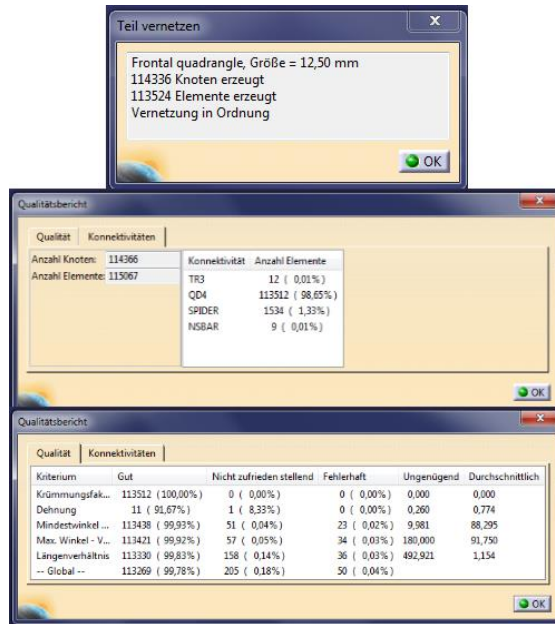


Abbildung 42: Vernetzungseigenschaften Trailer

Der vernetzten Fläche wird nun eine 2D-Eigenschaft zugewiesen. Dafür wird zunächst ein Benutzermaterial erstellt. Diesem wird Stahl als Werkstoff zugewiesen.

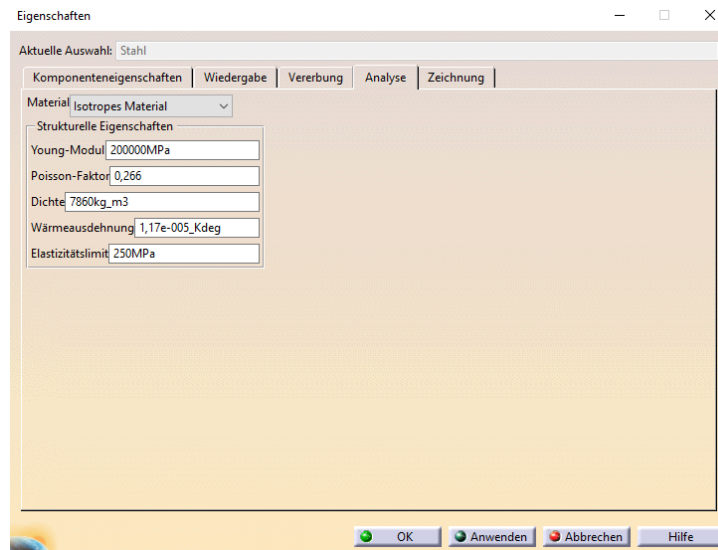


Abbildung 43: Benutzermaterial Stahl

Im Anschluss kann dann mit dem Befehl „2D-Element“ das Material auf die Mittelflächen aufgedickt werden.

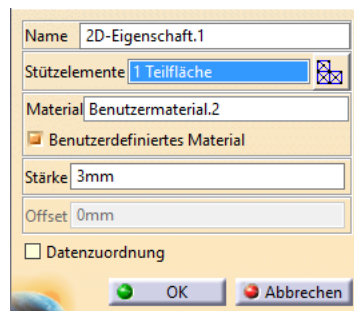


Abbildung 44: Befehl "2D-Eigenschaft zuweisen"

Damit im späteren Verlauf Verbindungseigenschaften wie Schweißnähte oder fixierte und starre Verbindungen zugeordnet werden können, müssen die einzelnen Komponenten zunächst, mit „Analyse von Linienverbindungen“ im Fall der Schweißnähte und „Analyse allgemeiner Verbindungen“ für die Symmetrieübergänge auf der y_0 -Ebene, verknüpft werden.

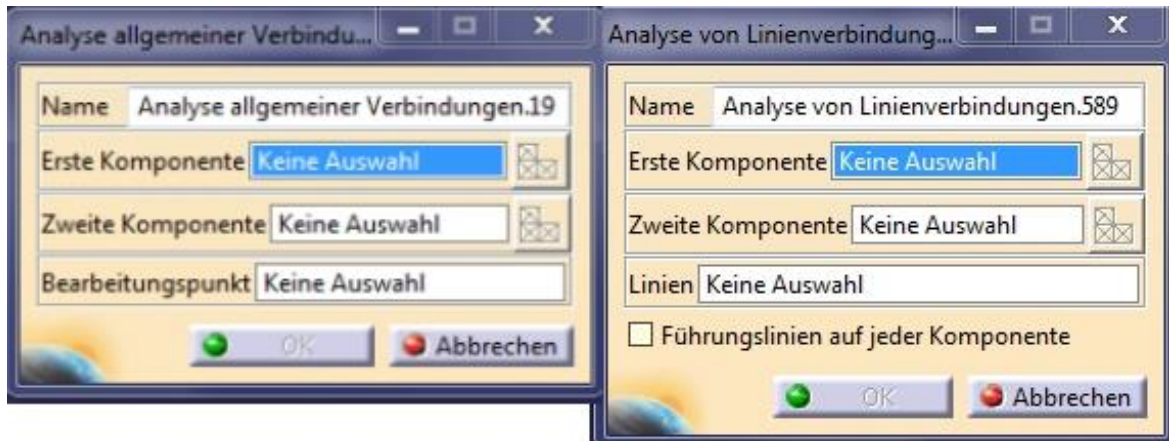


Abbildung 45: Analyse von Verbindungen Trailer

Auf diese Verknüpfungen kann nachfolgend dann die Art der Verbindung übertragen werden.

Die einzelnen Elemente des Trailerrahmens sollen durch Schweißen miteinander verbunden werden. Beim Werkstoff Stahl bietet sich dabei das MAG-Schweißen an. Vereinfachend angenommen wird als Werkstoff der Naht ebenfalls Stahl. Bei Bauteildicken größer gleich 3 mm muss der Nahtquerschnitt einige Anforderungen erfüllen. Die Nahtdicke a ist bei Kehlnähten charakteristisch. Sie muss mindestens 2mm dick sein, ihr Maximalwert errechnet sich aus $a_{max} \leq 0,7 * t_{min}$

Formel 9 [58]:

$$a_{max} \leq 0,7 * t_{min}$$

Formel 9

Bei einer Blechdicke t_{min} von 3 mm ergibt sich so eine maximale Nahtdicke (in Catia „Stärke“) von 2,1 mm.

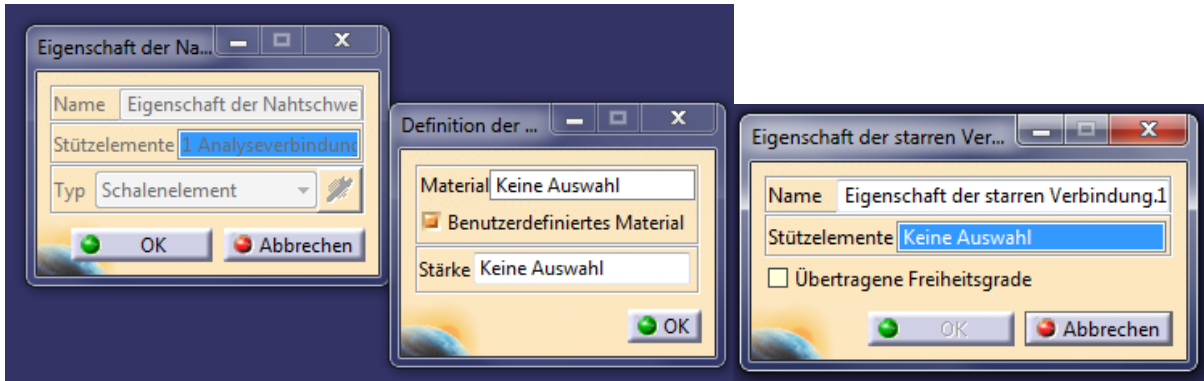


Abbildung 46: Eigenschaften der Verbindungen

Als Stützelement der Verbindung werden nun jeweils die einzelnen Linien, die die Schweißnähte beschreiben, angewählt und Material sowie Stärke der Schweißnaht eingetragen. Für die fixierten Verbindungen auf der y_0 -Ebene wird die jeweilige „Analyse allgemeiner Verbindung“ angewählt.

Nun können Randbedingungen und virtuelle Teile sowie Belastungen ins Modell eingebracht werden. Die Lagerung ist übertragen auf das FE-Modell eine Einschränkung der Freiheit der Knotenpunkte. Gelagert ist der Trailer zum einen an der Position der Achse in einem Loslager. Es begrenzt alle Rotationen sowie das Abheben vom Boden in z-Richtung. Zum anderen wird die Zugkupplung im Modell durch ein Drehgelenk beschrieben. Es begrenzt alle Translationen um den Kupplungspunkt, lässt die Rotationen um x, y und z allerdings zu. Zwischen dem Modell und der Lagerung liegen jeweils virtuelle Elemente, welche Zugkupplung und Achsaggregat simulieren und die Lagerung auf das Modell übertragen.

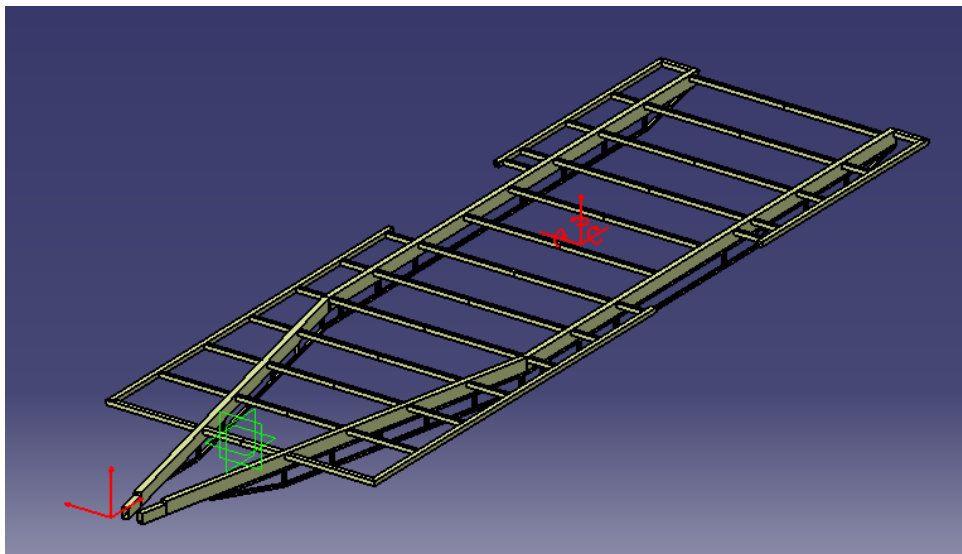


Abbildung 47: Lagerung Trailer-Modell

Die in Abbildung 48 und Abbildung 49 dargestellten virtuelle Elemente werden erstellt, um den Aufbau des TinyHouse möglichst real zu simulieren.

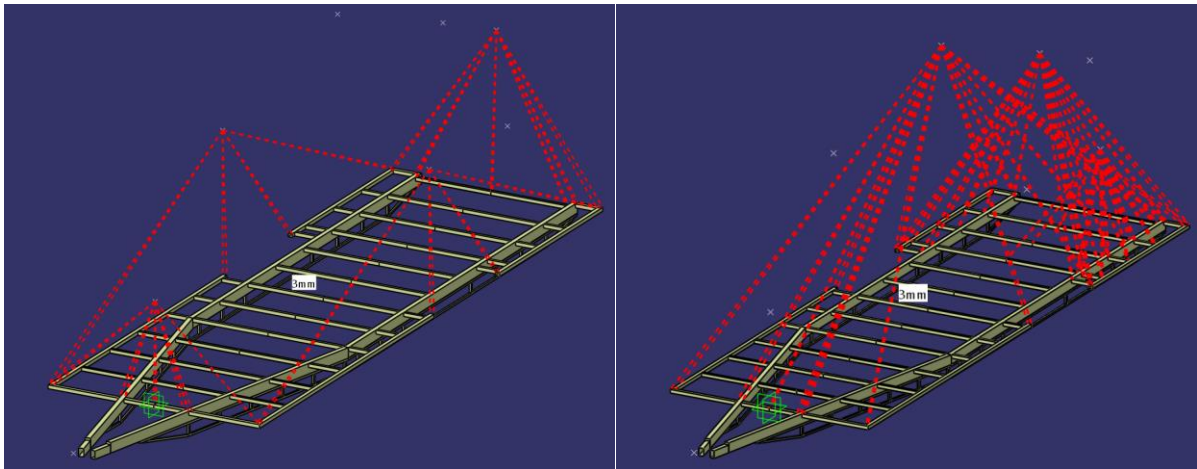


Abbildung 48: Virtuelle Elemente der Außenwände(links) und Dach sowie Innenwände (rechts)

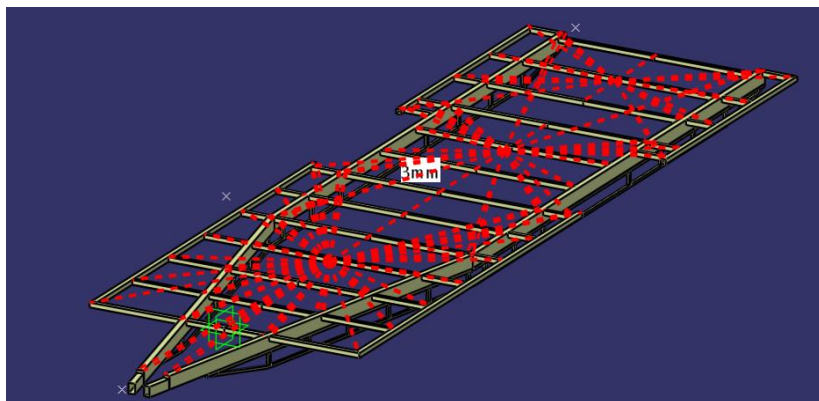


Abbildung 49: Virtuelle Elemente Bodengruppe

Die Bodengruppe ist in drei Teilbereiche für die virtuellen Elemente unterteilt. Dies stellt die unterschiedlich wirkenden Belastungen dar. Während im Bereich vorn an der Deichsel eine eher geringe Belastung auf den Boden wirkt, sind die vielen Geräte und Wassertanks im hinteren Bereich des Trailers einem extra Bereich zugeordnet. Nicht, oder nur annähernd, simuliert dieser Aufbau die versteifende Wirkung der gesamten Bodenplatte.

Die Art der virtuellen Elemente wird im Zuge der Element-Definition für den Aufbau näher erklärt.

Jeweils an den Lastangriffspunkten kann, aus nachfolgender Tabelle zu entnehmen, die wirkende Gewichtskraft entnommen werden.

Tabelle 13: Virtuelle Elemente Trailer

Virtuelles Element	X (in mm)	Y (in mm)	Z (in mm)	Masse m (in kg)	Gewichtskraft F_G (in N)
Stirnwand vorn	25	0	1130	114,31	1121
Stirnwand hinten	7475	0	1740	171,96	1687
Seitenwand FS	3750	-1220	1610	304,16	2984
Seitenwand BFS	3750	1220	1610	304,16	2984
Dach	4000	0	3025	772,75	7581
Innenwand	6575	-620	1077	124,30	1219
Zwischendecke	6305	0	2195	177,50	1741
Boden Arbeitsplatz				368,50	3615
Boden Küche				335,50	3291
Boden Bad und Eingang				785,50	7706

Auf den Trailer wirkt die Erdbeschleunigung von $9,81 \text{ m/s}^2$.

Damit ist das Grundmodell für den Trailer vollständig.

5.2.2 Aufbau-FEM-Modell

In den Grundschriften ist das Aufbau-FEM-Modell ähnlich dem Trailer-FEM-Modell aufgebaut. Es unterscheidet sich lediglich in den Materialstärken und den virtuellen Elementen. Für den Aufbaurahmen werden Stahlprofile mit einer Materialstärke von 3 mm genutzt. Vereinfachend angenommen wird der Wandaufbau einseitig vom Rahmen auf der Außenseite des Hauses. Unter realen Bedingungen würde der Rahmen auf der Innen- und der Außenseite durch den Wandaufbau versteift werden. Dies lässt sich in Catia nicht ohne weiteres nachbilden. Entweder es wird auf starre virtuelle Elemente zurückgegriffen – diese wirken versteifend und berücksichtigen keinerlei elastische Verformungen der Bauteile. Oder es wird auf bewegliche virtuelle Teile zurückgegriffen – sie übertragen Zug- und Druckkräfte und bilden eine Verformung nach, die ebenfalls nicht realitätsnah ist. Auf letztere Elemente soll zurückgegriffen werden. Sie verfälschen die Rechnungsergebnisse eher zum negativen Fall, nämlich der stärkeren Verformung aufgrund fehlender Versteifung.

Werden, im Gegensatz zum Aufbau des Trailermodells, keine Handlerpoints definiert, bildet CATIA automatisch den Bearbeitungspunkt im Flächenmittelpunkt. Darauf kann beim Aufbau in den auf y_0 symmetrischen Bauteilen, also Dach und Stirnflächen, sowie bei Innenwand und Zwischendecke zurückgegriffen werden. Da Fenster und Türen fehlen, liegt der von CATIA bestimmte Flächenmittelpunkt auf den Seitenflächen nicht im realen Handlerpoint. Deshalb werden für diese beiden Netze die für das Trailermodell bestimmten Punkte genutzt.

Dem Bild in Abbildung 50 ist die Vernetzungsansicht zu entnehmen. Es wird deutlich, dass die Vernetzung im Dach grober als in den Seitenwänden erfolgt.

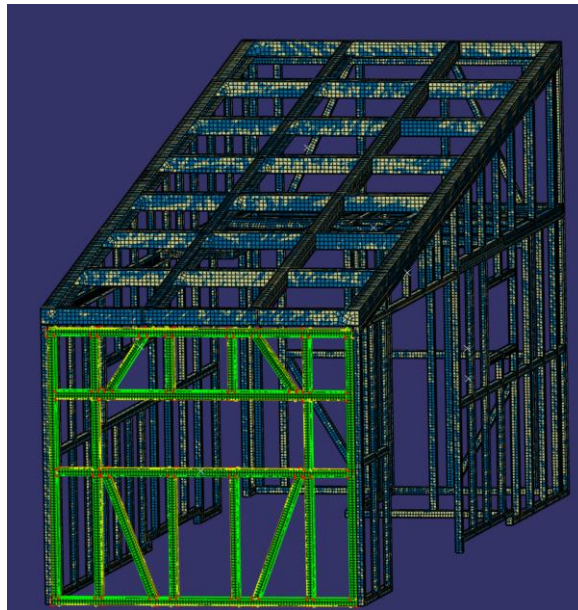


Abbildung 50: Vernetzung des Aufbaus

Die Eigenschaften des Aufbau-Netzes sind Abbildung 51 zu entnehmen.

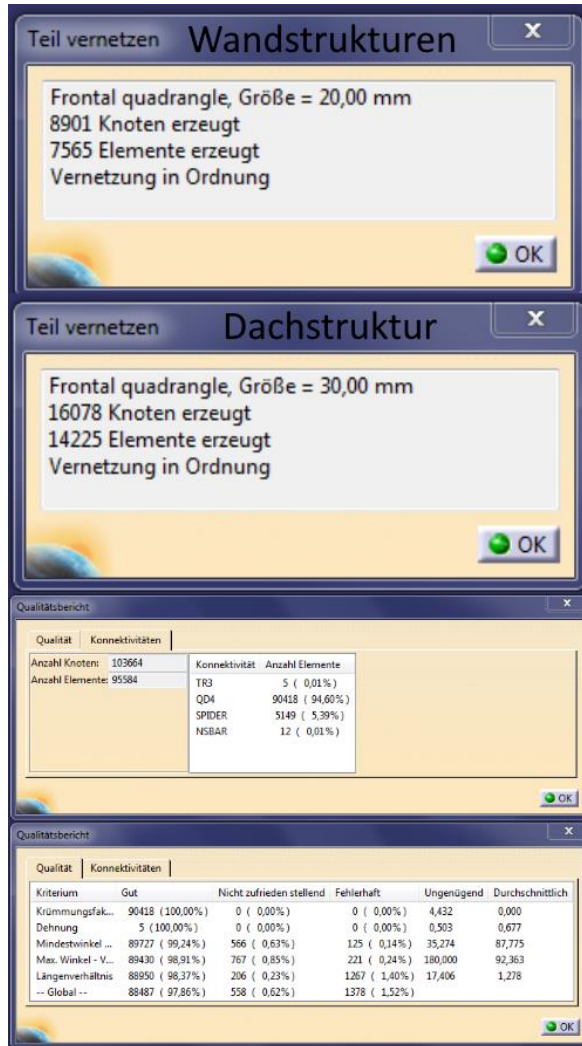


Abbildung 51: Vernetzungseigenschaften Aufbau

Ebenfalls idealisiert ist die Verbindung der einzelnen Elemente im Aufbaurahmenmodell. Sie werden, wie im Trailer-FEM-Modell, mittels „Analyse allgemeiner Verbindungen“, durch fixierte Flächenverbindungen in den Kontaktstellen der einzelnen Profile, miteinander verbunden.

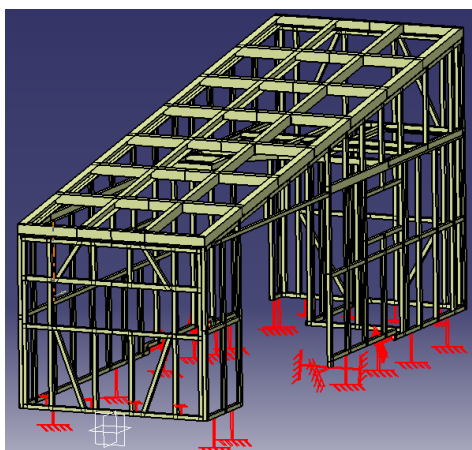


Abbildung 52: Lagerung Aufbau-Modell

Gelagert wird das Aufbaumodell, dargestellt in Abbildung 52, in Festlagern, welche auf die Bodenprofile definiert werden. Dies idealisiert die Befestigung durch Verschrauben mit der Bodenplatte, wie sie unter Realbedingungen umgesetzt werden würde.

Ähnlich der virtuellen Elemente im Modell des Trailers ist die Verteilung jener im Aufbau-Modell.

Jeweils auf den Außenwänden, dem Dach sowie Innenwandrahmen und Zwischendecke werden virtuelle Elemente aufgespannt. Abbildung 53 zeigt die Position dieser Elemente.

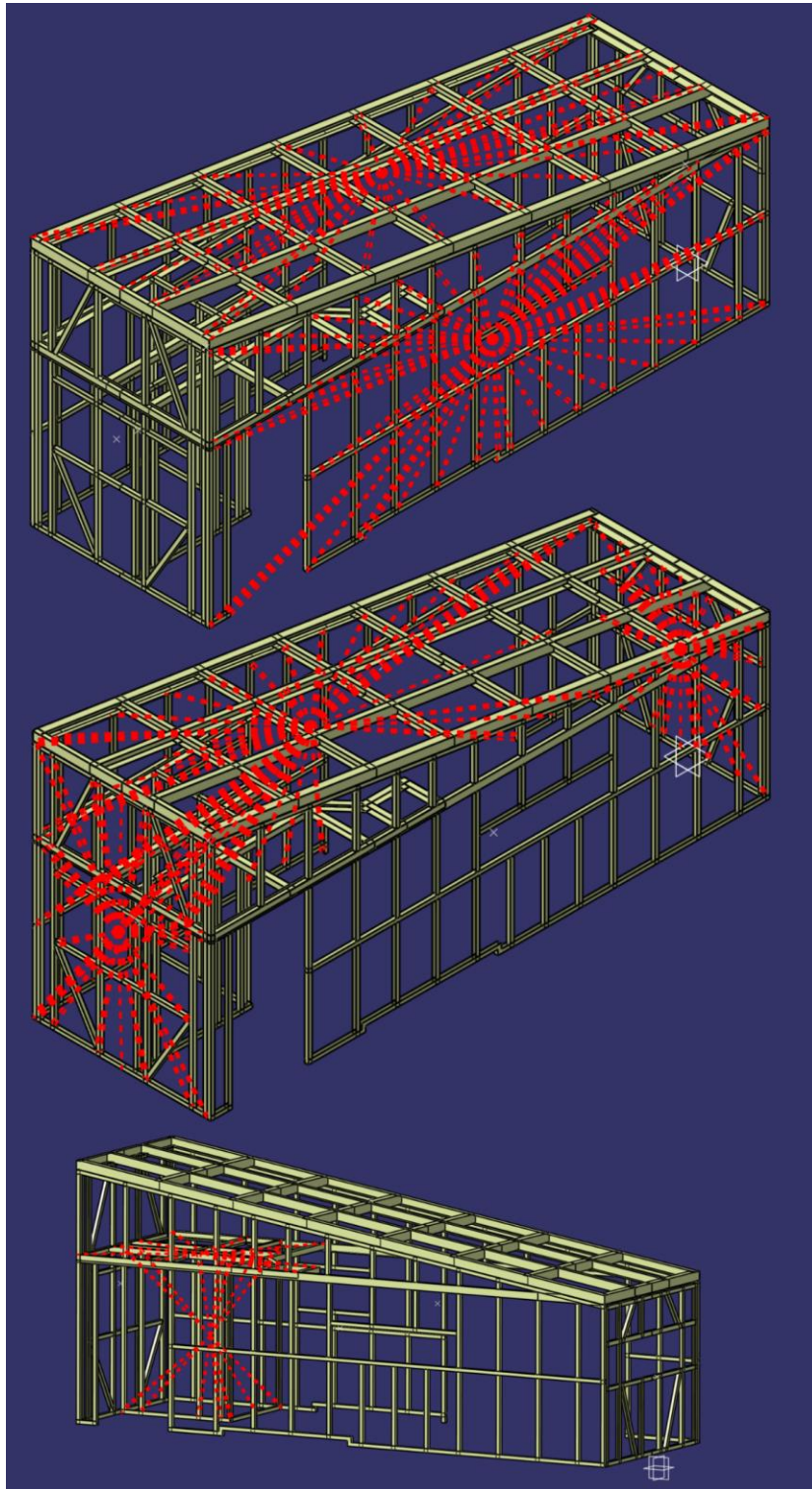


Abbildung 53: Virtuelle Elemente im Aufbau-Modell

Der Unterschied zum Trailer-Modell liegt im Wegfall der Virtuellen Elemente, die den Boden simulieren. Da der Aufbaurahmen fest auf den Bodenflächen eingespannt ist, haben die

einzelnen Bereiche des Bodens mit ihren Massen keinen Einfluss auf das Modell des Aufbaus. Idealisierend wird dabei angenommen, dass die Inneneinrichtung auf dem Boden lastet und nicht an den Wänden befestigt ist.

Die wirkenden Gewichtskräfte an den virtuellen Elementen sind Tabelle 14 zu entnehmen.

Tabelle 14: Gewichtskraft Virtuelle Elemente Aufbaumodell

Virtuelles Element	Masse m (in kg)	Gewichtskraft F_G (in N)
Stirnwand vorn	65,23	640
Stirnwand hinten	98,13	963
Seitenwand FS	173,57	1703
Seitenwand BFS	173,57	1703
Dach	612,71	6011
Innenwand	95,76	939
Zwischendecke	143,87	1411

Auf das Modell wird außerdem die in z-Richtung zum Boden hin wirkende Erdbeschleunigung mit $9,81 \text{ m/s}^2$ eingebracht.

5.3 Untersuchung der Rahmenmodelle

Um die Stabilität des Rahmens zu prüfen, werden vier verschiedene Lastfälle angenommen. Auf Basis dieser Lastfälle soll beurteilt werden, ob die Rahmenkonstruktion den Anforderungen gerecht wird oder weiterentwickelt werden muss, um eingesetzt werden zu können. Die Belastungszustände sind dabei aus der normalen Nutzung gegriffen und spiegeln Alltagssituationen wider.

Untersucht werden sollen folgende Fälle:

- Fall 1: Schneelast
- Fall 2: Gegenwind
- Fall 3: Kurvenfahrt
- Fall 4: Bremsvorgang

Die einzelnen Lastfälle bauen alle auf dem in Kapitel 5.2 aufgebauten Grundmodell auf. Sie lassen sich wie folgt beschreiben:

5.3.1 Fall 1: Schneelast

Im Winter des aktuellen Jahres kam es zu intensivem Schneefall in der Region Westsachsen. Schneit es mehrere Tage ununterbrochen, lastet eine große Schneelast auf den Gebäude-Dächern. Sie stellt bei einer zu geringen Dimensionierung des Daches ein großes Sicherheitsrisiko dar. Deshalb muss geprüft werden, ob das TinyHouse diese Last tragen kann. Dabei wird angenommen, dass das TinyHouse im Transportfall immer von Schnee befreit wird, da herabfallende Eisbrocken den Verkehr und andere Verkehrsteilnehmer stark behindern würden.

Besonders hoch ist die Gefahr der Schneelast bei einem Dach mit weniger als 30 % Neigung. Ist die Dachneigung größer, führt die Schwerkraft zum Abrutschen des Schnees bei entsprechender Last. Bei geringerer Neigung, wie im Fall des TinyHouse, muss damit gerechnet werden, dass der Schnee auf dem Dach liegen bleibt und sich bis zur Schmelze auftürmt.

Nutzt man im Winter weiterhin die mit elektrischer Energie versorgten Geräte, tritt dieser

Fall des Auftürmens nicht ein. Spätestens wenn die Energiespeicher im Haus leer sind, werden die Solarpanels vom Schnee befreit werden.

Die Schneelast, welche zur Berechnung eines Gebäudedaches angenommen werden muss, wird durch die DIN 1055 Teil 5 beschrieben. Der Ablauf der Lastdefinition wird im Folgenden am Beispiel von Zwickau durchgeführt.

Wichtige Größen für die Bestimmung der Schneelast sind die Höhe des Ortes über Normalnull und die geographische Lage des Ortes.

Die Höhe von Zwickau wird angegeben mit 267 m über NN am tiefsten und 444 m über NN am Höchsten Punkt der Stadt [59]. Für die Berechnungen der Schneelast soll vom höchsten Punkt ausgegangen werden.

Nachfolgend wird auf der Regionenkarte (Abbildung 54) die Zone ausgewählt, in der sich der Standort des Hauses befindet.

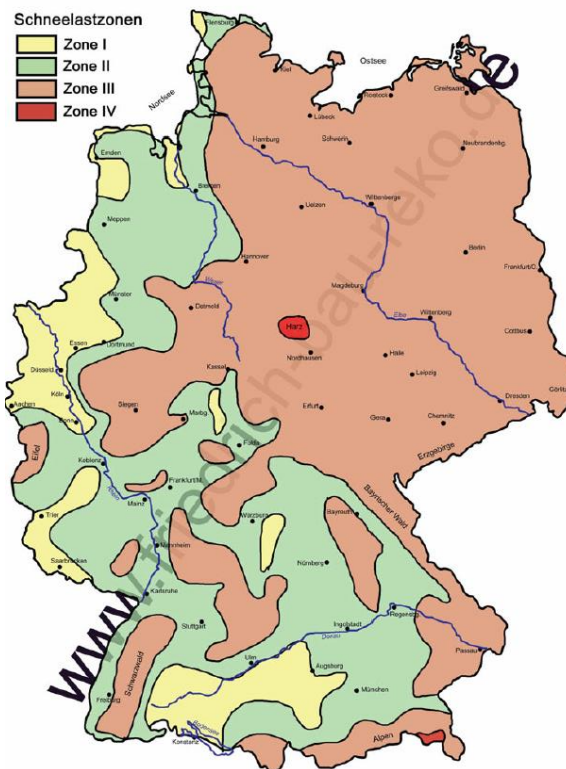


Abbildung 54: Schneekarte Deutschland

Mit den zwei Eigenschaften der Lage des Standorts und der Höhe kann aus Tabelle 15: Schneelasttabelle dann die zu erwartende Schneelast am Standort abgelesen werden.

Tabelle 15: Schneelasttabelle [60]

Höhe des Standortes	Schneelastzone			
	I	II	III	IV
bis 200 m	75 kg/m ²	75 kg/m ²	75 kg/m ²	100 kg/m ²
bis 300 m	75 kg/m ²	75 kg/m ²	75 kg/m ²	115 kg/m ²
bis 400 m	75 kg/m ²	75 kg/m ²	100 kg/m ²	155 kg/m ²
bis 500 m	75 kg/m ²	90 kg/m ²	125 kg/m ²	210 kg/m ²
bis 600 m	85 kg/m ²	115 kg/m ²	160 kg/m ²	260 kg/m ²
bis 700 m	105 kg/m ²	150 kg/m ²	200 kg/m ²	325 kg/m ²
bis 800 m	125 kg/m ²	185 kg/m ²	255 kg/m ²	390 kg/m ²
bis 900 m		230 kg/m ²	310 kg/m ²	465 kg/m ²
bis 1000 m			380 kg/m ²	550 kg/m ²
über 1000 m	im Bauamt des Landratsamtes nachfragen			

Entsprechend der Tabelle 15 ergibt sich für den Standort Zwickau, am höchsten Punkt der Stadt, eine zu erwartende Schneelast von 125 kg/m² (siehe Markierung in der Tabelle). Multipliziert mit der Dachfläche A_{Dach} von 18,75 m² ergibt sich eine Gesamtbelastung von 2.344 kg.

Im Trailer-FEM-Modell und im Modell des Aufbaus wird diese Belastung zu der Gewichtskraft, die auf das virtuelle Element des Daches wirkt, addiert und wirkt in z auf die Fahrbahn gerichtet.

Die Kraft beträgt 22.995 N und ist in Abbildung 55 dargestellt.

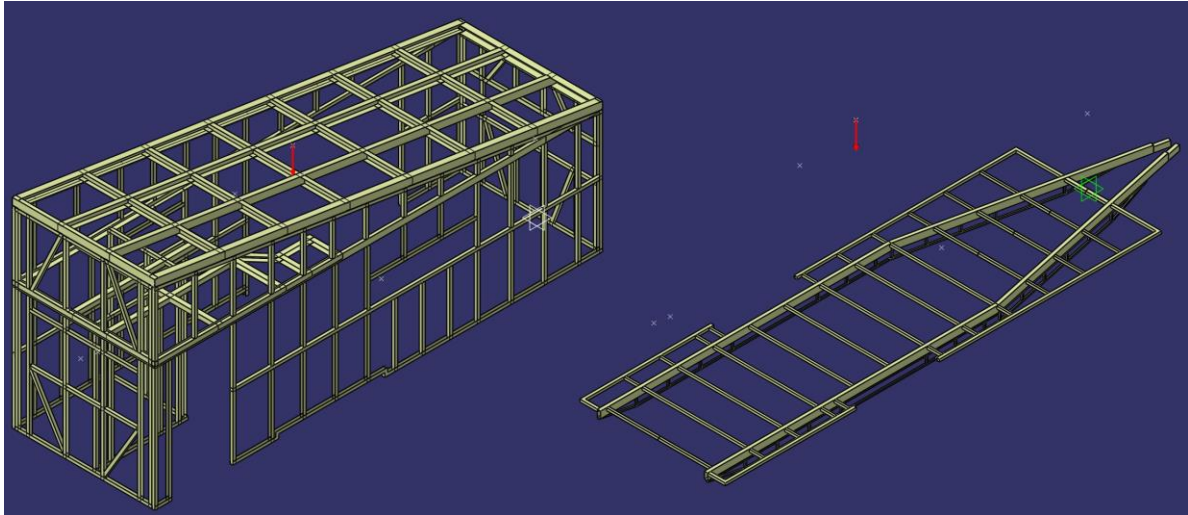


Abbildung 55: Lasteintrag Schneelast im Modell

5.3.2 Fall 2: Gegenwind

Für Anhänger ist in Deutschland in der Regel eine Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h auf Überlandstraßen und Autobahnen vorgeschrieben. Nur in Ausnahmefällen, die in der Straßenverkehrszulassungsordnung festgehalten sind, darf die Geschwindigkeit des Fahrzeugverbandes darüber liegen [61].

Durch die große Windangriffsfläche auf den TinyHouse-Anhänger soll in den Berechnungen von einer Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h ausgegangen werden.

Ein mögliches Szenario ist dabei der Fahrzustand auf der Autobahn, unter der Einwirkung von Gegenwind auf das Fahrzeug. Die Windlast, auch Widerstandskraft genannt, die dabei auf die Windangriffsfläche wirkt, errechnet sich wie folgt:

$$F_w = \frac{A \cdot c_w \cdot \rho_L}{2} * v_{res}^2$$

Formel 10

Dabei ist die Fläche A die projizierte Querschnittsfläche des Anhängers in Bewegungsrichtung. Sie beträgt 10 m² und ist im folgenden Bild rot umrahmt. Dabei wird der Querschnitt, der durch das Zugfahrzeug verdeckt ist, vernachlässigt. Durch diese Annahme ist die auftretende Belastung im Modell höher als die Belastung unter realen Bedingungen.

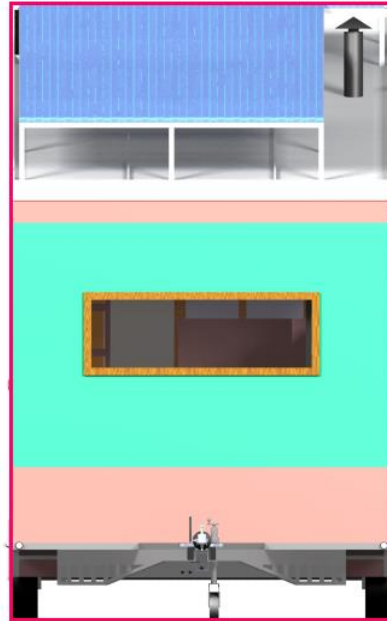





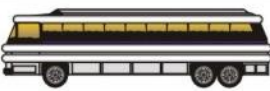




Abbildung 56: Projizierte Querschnittsfläche TinyHouse

Der c_w -Wert, auch Widerstandsbeiwert genannt, ist ein Koeffizient und beschreibt den Strömungswiderstand eines von einem Fluid umströmten Körpers. Der c_w -Wert wird im Fall des TinyHouse mit 0,65 angenommen. Er ergibt sich aus dem Vergleich mit dem Widerstandsbeiwert eines großen Busses. Zwar ist das TinyHouse höher als der Bus und hat damit eine höhere projizierte Querschnittsfläche, verfügt aber über ein ansteigendes Dach und verhindert deshalb zu großen Staudruck.

	0,28	Sportwagen
	0,30	PKW
	0,30	Großraum-PKW
	0,42	Lieferwagen
	0,56	Lastwagen
	0,66	Bus
	0,71	Auflieger
	1,1	Auflieger US

© B. Ruck

Abbildung 57: Widerstandsbeiwerte verschiedener Fahrzeuge [62]

Die Luftdichte ρ_L beträgt bei 15°C und mittlerem Luftdruck auf Meereshöhe (1013,25 hPa) 1,225 kg/m³.

Die resultierende Geschwindigkeit v_{res} setzt sich zusammen aus der Fahrzeuggeschwindigkeit und der entgegenströmenden Windgeschwindigkeit.

Der Anhänger bewegt sich dabei mit einer Geschwindigkeit von 100 km/h. Der Wind trifft mit einer Geschwindigkeit von 74 km/h auf das Fahrzeug. Dies entspricht der Stufe 8 auf der Beaufort-Skala [63].

$$v_{res} = (v_{Fahrzeug} - v_{Wind}) = \left(\frac{80 - (-74)}{3,6} \right) = 42,7 \left[\frac{m}{s} \right] \quad \text{Formel 11}$$

Damit ergibt sich folgende Windlast:

$$F_W = 7285,44 \text{ N}$$

Im CATIA-Modell wird die Windlast in die virtuellen Elemente von Dachfläche und vorderer Stirnwand eingebracht. Sie wirkt in Fahrtrichtung und verteilt sich auf die unterliegende Baugruppengeometrie ähnlich einer Flächenlast.

Dabei wird die Windlast entsprechend der Flächenanteile an der projizierten Querschnittsfläche auf beide virtuellen Elemente aufgeteilt. Bei einer Querschnittsfläche von insgesamt 10 m² lasten auf dem Teil der Dachfläche mit 3,625 m² rund 2.641 N. Auf dem 6,375 m² großen Stirnflächenquerschnitt lasten demnach rund 4.644 N.

Die Kraftwerte sind für Trailer und Aufbau identisch und greifen entgegen der Fahrtrichtung an. Sie sind in Abbildung 58 dargestellt. Vernachlässigt werden in der Berechnung entstehende Verwirbelungen zwischen Zugfahrzeug und Trailer.

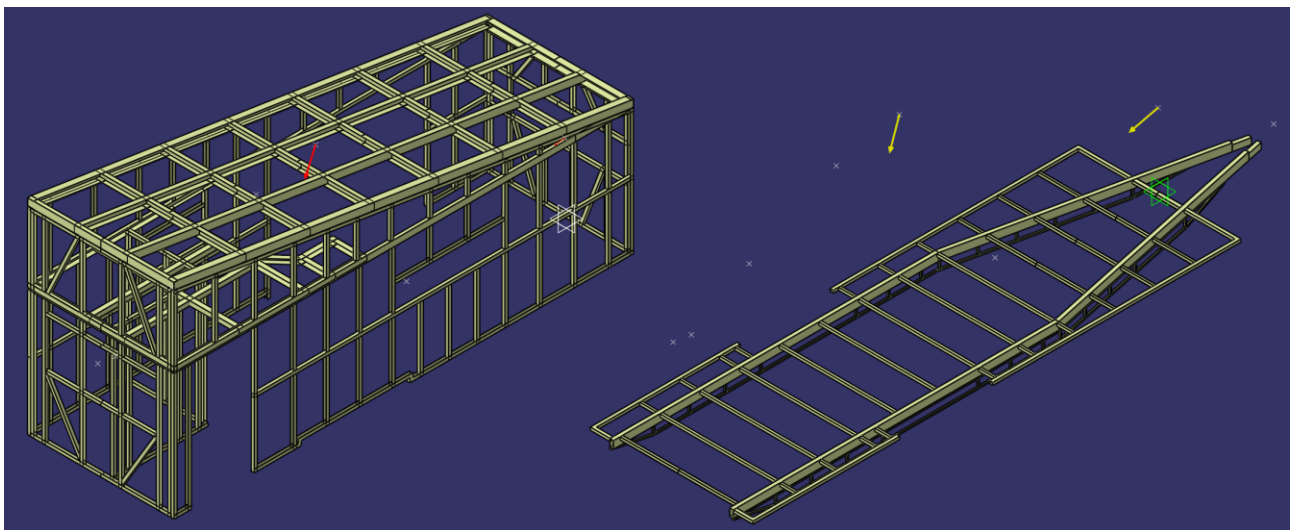


Abbildung 58: Lasteintrag Luftwiderstand im Modell

5.3.3 Fall 3: Kurvenfahrt



Abbildung 59: Sicherungsvorgaben nach VDI 2700

Damit die Ladung eines Fahrzeugs als „gesichert“ gilt, müssen die in Abbildung 59 dargestellten Vorgaben aus VDI 2700 von April 2004 erfüllt werden.

Nach diesen Vorgaben muss die Ladung gegen das Verrutschen in alle Richtungen gesichert werden. Dabei muss die Ladung um das 0,8fache der Gewichtskraft der Ladung nach vorn gesichert werden. Seitwärts muss die Ladung 0,5 mal dem Ladungsgewicht abgesichert sein. Diese Kraft wird für die virtuellen Elemente jeweils extra berechnet und setzt sich zusammen aus dem Faktor 0,5 und der senkrecht wirkenden Gewichtskraft F_G .

In *Tabelle 16* und *Tabelle 17* sind die Kräfte, welche auf die virtuellen Elemente des Trailer- und Aufbau-Modells wirken, angegeben.

Tabelle 16: Kräfte auf den Trailer bei Kurvenfahrt

Virtuelles Element	Masse m (in kg)	Gewichtskraft F_G (in N)	Zentrifugalkraft F_{Zf} (in N)
Stirnwand vorn	114,31	1121	561
Stirnwand hinten	171,96	1687	843
Seitenwand FS	304,16	2984	1492
Seitenwand BFS	304,16	2984	1492
Dach	772,75	7581	3790
Innenwand	124,30	1219	610
Zwischendecke	177,50	1741	871
Boden Arbeitsplatz	368,50	3615	1807
Boden Küche	335,50	3291	1646
Boden Bad und Eingang	785,50	7706	3853

Tabelle 17: Kräfte auf den Aufbau bei Kurvenfahrt

Virtuelles Element	Masse m (in kg)	Gewichtskraft F_G (in N)	Zentrifugalkraft F_z (in N)
Stirnwand vorn	65,23	640	320
Stirnwand hinten	98,13	963	481
Seitenwand FS	173,60	1703	851
Seitenwand BFS	173,60	1703	851
Dach	612,70	6011	3005
Innenwand	95,76	939	470
Zwischendecke	143,90	1411	706

Neben der Wirkung auf die virtuellen Elemente beider Modelle wirkt sich der Versuchsfall auch auf die Hauptkörper aus. Dafür wird, neben der Erdbeschleunigung, eine weitere Beschleunigung in das Versuchsmodell eingebracht. Diese wirkt im Fall der Kurvenfahrt zum Kreisbahnmittelpunkt.

Die Kurvenbeschleunigung a_r berechnet sich aus der Geschwindigkeit v_K und dem Radius der Kurve, r_K .

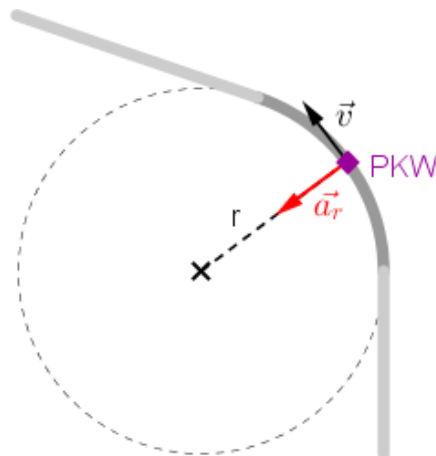


Abbildung 60: Kräfte der Kreisbewegung [79]

Dabei gilt:

$$a_r = \frac{v_K^2}{r_K}$$

Formel 12

Bei einer Kurvengeschwindigkeit v_K von 80 km/h und einem Kurvenradius r_K von 240 m, dem Mindestradius von Kurven auf Europastraßen bei der oben genannten Geschwindigkeit [64], ergibt sich folgende Radialbeschleunigung.

$$a_r = 2,06 \frac{m}{s^2}$$

Alle Belastungen sind in Abbildung 61 dargestellt.

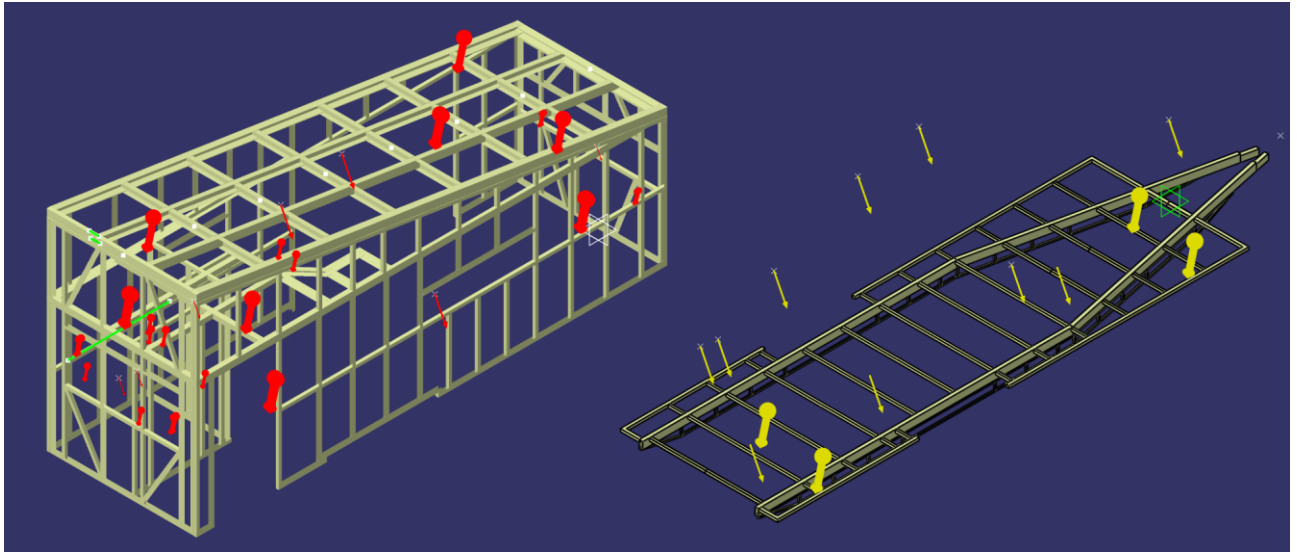


Abbildung 61: Lasteintrag Kurvenfahrt im Modell

5.3.4 Fall 4: Bremsvorgang

Aufgrund derselben Vorschriften wie in Kapitel 5.3.3 muss auch im Falle eines Bremsvorgangs eine ausreichende Sicherung vorhanden sein. Diese muss das 0,8-fache der Gewichtskraft betragen.

Tabelle 18: Belastungen Trailer Bremsvorgang

Virtuelles Element	Masse m (in kg)	Gewichtskraft F_G (in N)	Bremskraft F_B (in N)
Stirnwand vorn	114,31	1121	897
Stirnwand hinten	171,96	1687	1350
Seitenwand FS	304,16	2984	2387
Seitenwand BFS	304,16	2984	2387
Dach	772,75	7581	6065
Innenwand	124,30	1219	976
Zwischendecke	177,50	1741	1393
Boden Arbeitsplatz	368,50	3615	2892
Boden Küche	335,50	3291	2633
Boden Bad und Eingang	785,50	7706	6165

Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass das Zugfahrzeug im Bremsvorgang mitsamt dem Anhänger eine Bremsbeschleunigung von $7,5 \text{ m/s}^2$ aufbringt. Im Vergleich dazu kann bei guten Bedingungen die Verzögerung bei einer Gefahrenbremsung die Negativbeschleunigung ungefähr $11,5 \text{ m/s}^2$ betragen [65]. Die negative Beschleunigung wird jeweils in beide Baugruppen eingebracht.

Während, wie im Fall 3, auf die zu berechnende Baugruppe eine Beschleunigung wirkt, werden auch an den virtuellen Elementen Kräfte angetragen. Sie sind Tabelle 18 und Tabelle 19 zu entnehmen und wirken in Fahrtrichtung.

Tabelle 19: Belastungen Aufbau Bremsvorgang

Virtuelles Element	Masse m (in kg)	Gewichtskraft F_G (in N)	Bremskraft F_B (in N)
Stirnwand vorn	65,23	640	512
Stirnwand hinten	98,13	963	770
Seitenwand FS	173,57	1703	1362
Seitenwand BFS	173,57	1703	1362
Dach	612,71	6011	4809
Innenwand	95,76	939	752
Zwischendecke	143,87	1411	1129

Die auftretenden Belastungen sind in Abbildung 62 zu erkennen.

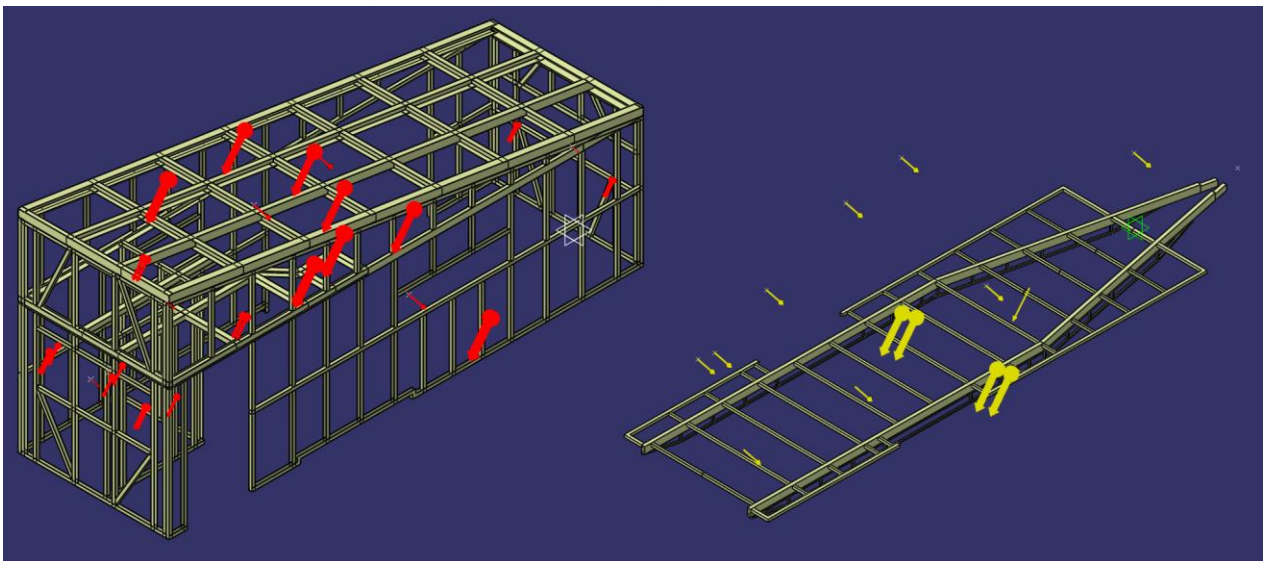


Abbildung 62: Lasteintrag Bremsvorgang im Modell

5.4 Auswertung der Rechenergebnisse

Im Rahmen der Auswertung soll ein Überblick über die auftretenden Belastungen gegeben werden. Es wird bewertet, welche Bereiche unter- und überdimensioniert sind. Dafür wurden nach der Berechnung alle Modelle hinsichtlich ihrer Berechnungsgenauigkeit, der Verschiebung und den auftretenden Spannungen untersucht.

In keiner der Berechnungen konnte der angestrebte globale Fehler von 10% erreicht werden. Dies ist zurückzuführen auf die Komplexität der Modelle. So war es weder möglich, die Berechnungen auf dem internen Speicher der zur Verfügung stehenden Rechentechnik durchzuführen, noch konnten die Berechnungsergebnisse abgespeichert werden. Es handelt es sich um Berechnungsergebnisse, die als Näherungslösung den aktuellen Grundgedanken der Konstruktion bewerten sollen. Damit ist der globale Fehler eine weitere Abweichung in der Näherung. Diese Abweichung auszuschließen kann gegebenenfalls durch zwei Wege funktionieren. Zum einen durch die weitere Zerlegung in einzeln zu berechnende Modelle. Das macht aber erforderlich, in die einzelnen Modelle die Wechselwirkungen mit der jeweils angrenzenden Geometrie einzubringen. Dies vergrößert den Aufwand der Berechnung enorm, da diese Wechselwirkung und die Kräfte ja in den jeweiligen Modellen erst berechnet werden. Ob dieser Bezug der Modelle auf einander möglich ist, muss geprüft werden.

Eine weitere Lösungsmöglichkeit ist die Adaptive Berechnung der Modelle. In ihr wird in den kritischen Bereichen das Netz zusätzlich verfeinert und auf die Belastung angepasst. Das komplette Netz könnte dann grob angelegt werden und würde automatisch durch die Adaptivität optimiert werden, wodurch der globale Fehler sinkt.

Dieser zweite Weg des adaptiven Netzes scheint der einfachere zu sein, birgt aber das Risiko eines nach wie vor zu komplexen Modells.

Für den Zweck dieser Arbeit bieten die Ergebnisse aus den bereits erfolgten Berechnungen ausreichend Information über die Stabilität der beiden Konstruktionen. Sie helfen, die Konstruktion weiter zu optimieren und werden nachfolgend näher betrachtet.

5.4.1 Berechnungsergebnisse Fall 1: Schneelast

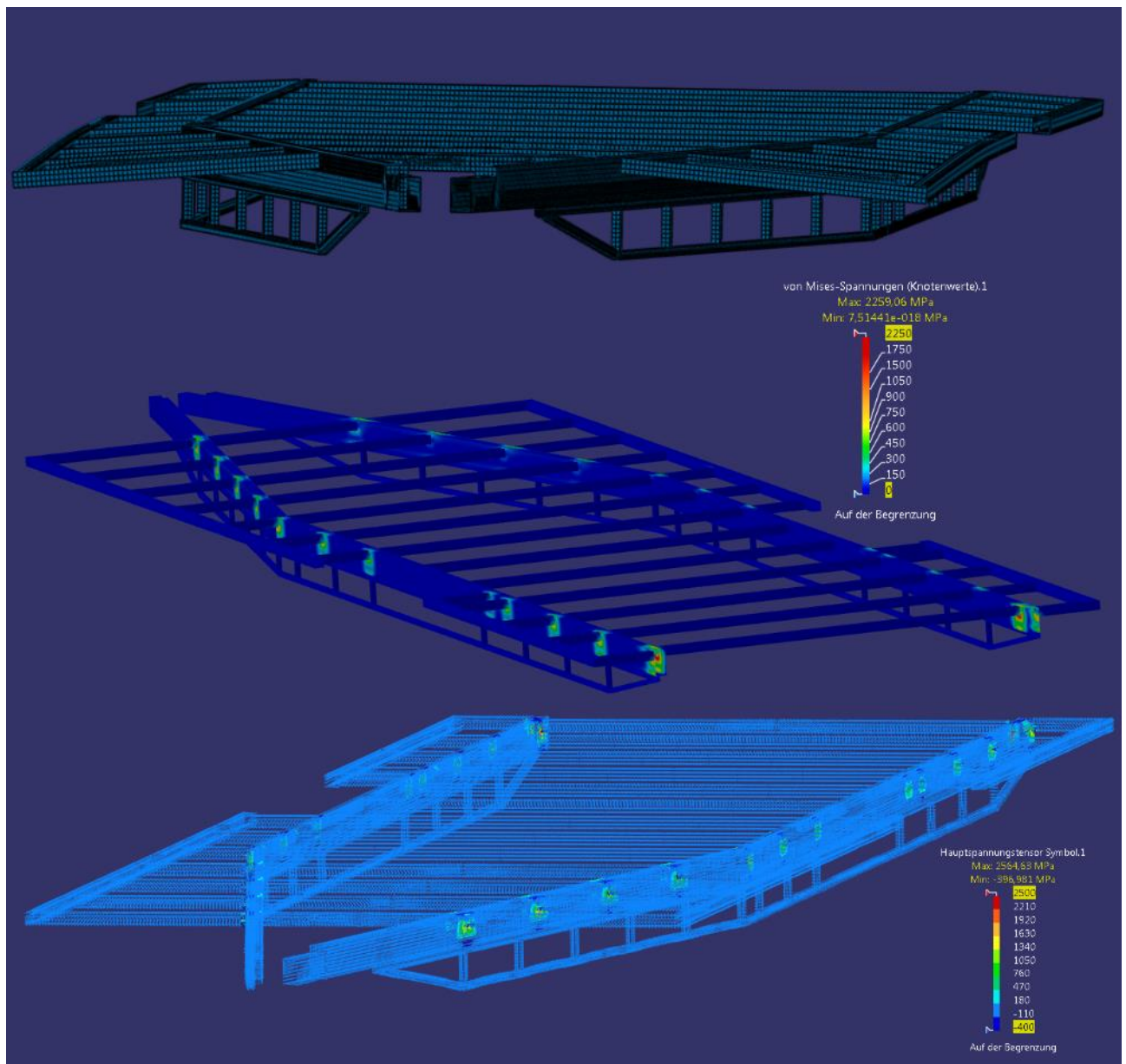


Abbildung 63: Berechnungsergebnisse Trailer Schneelast

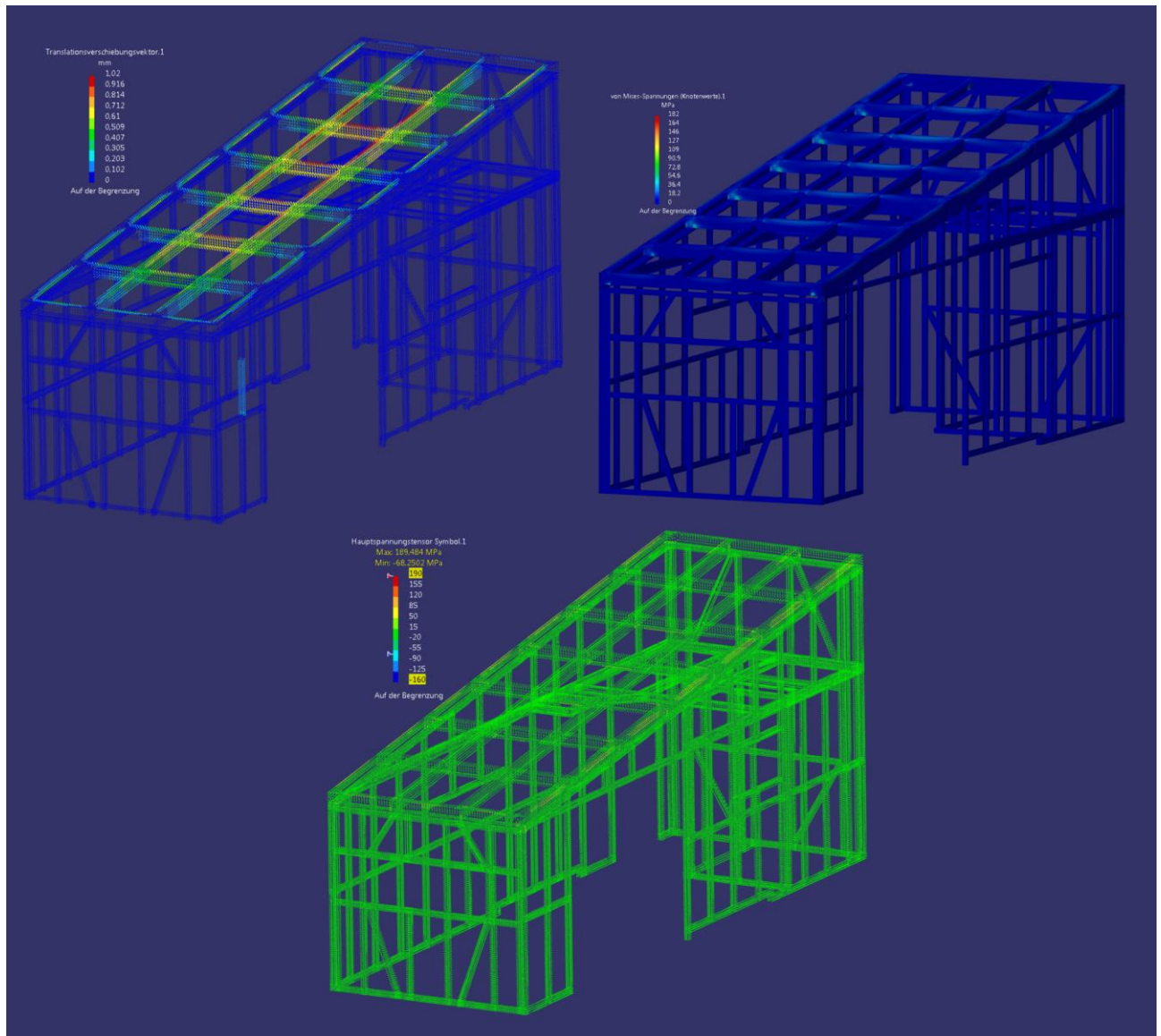


Abbildung 64: Berechnungsergebnisse Aufbau Schneelast

Die Ergebnisse der Berechnung sind Abbildung 63 und Abbildung 64 sowie Tabelle 20 zu entnehmen.

Tabelle 20: Maximalbelastungen in Berechnungsfall Schneelast

Maximalwert	Trailer	Aufbau
Verschiebung	-	1,02 mm
von-Mises-Spannung	2259,06 MPa	181,88 MPa
Hauptspannung	2564,63 MPa	189,48 MPa

5.4.2 Berechnungsergebnisse Fall 2: Gegenwind

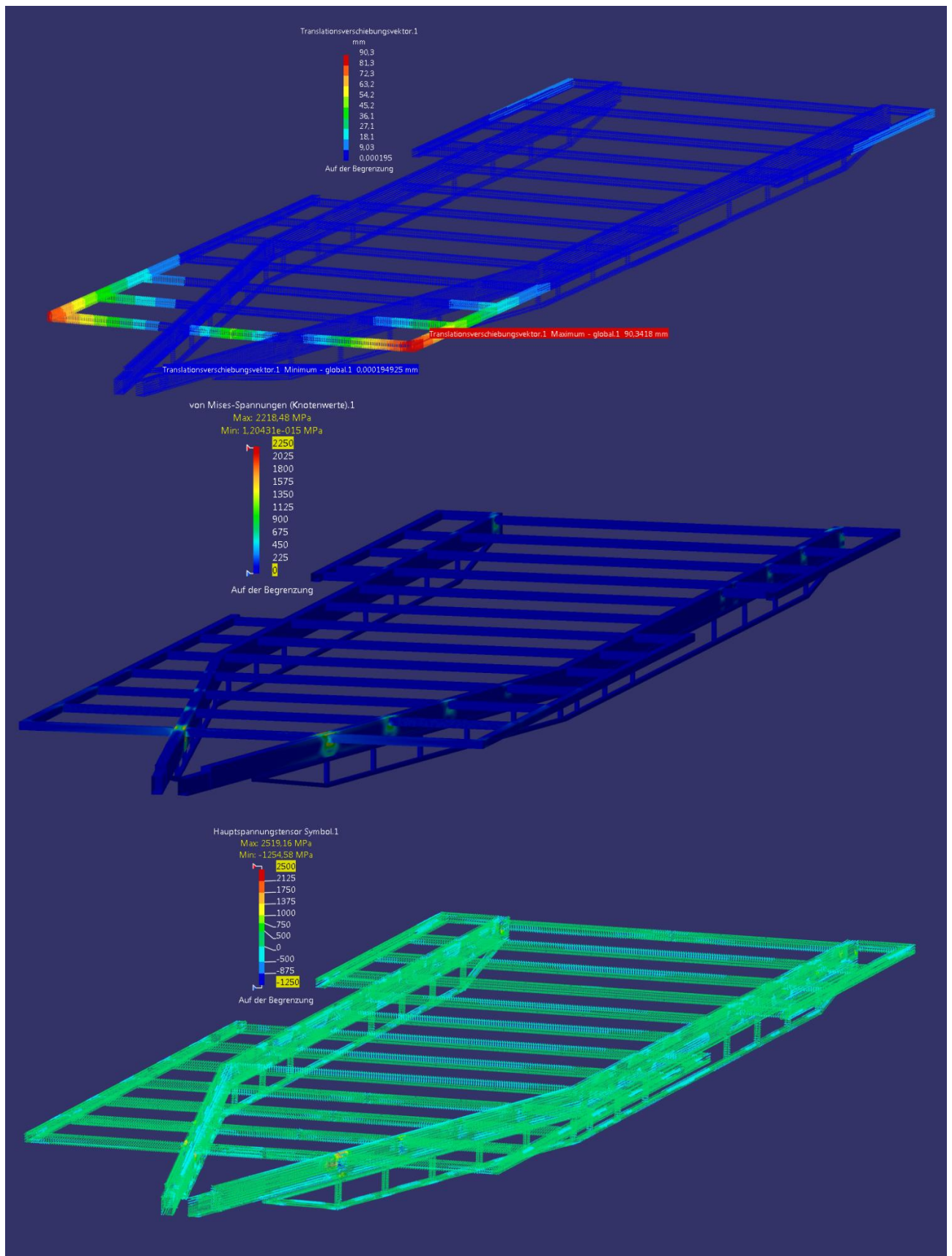


Abbildung 65: Berechnungsergebnisse Trailer Gegenwind

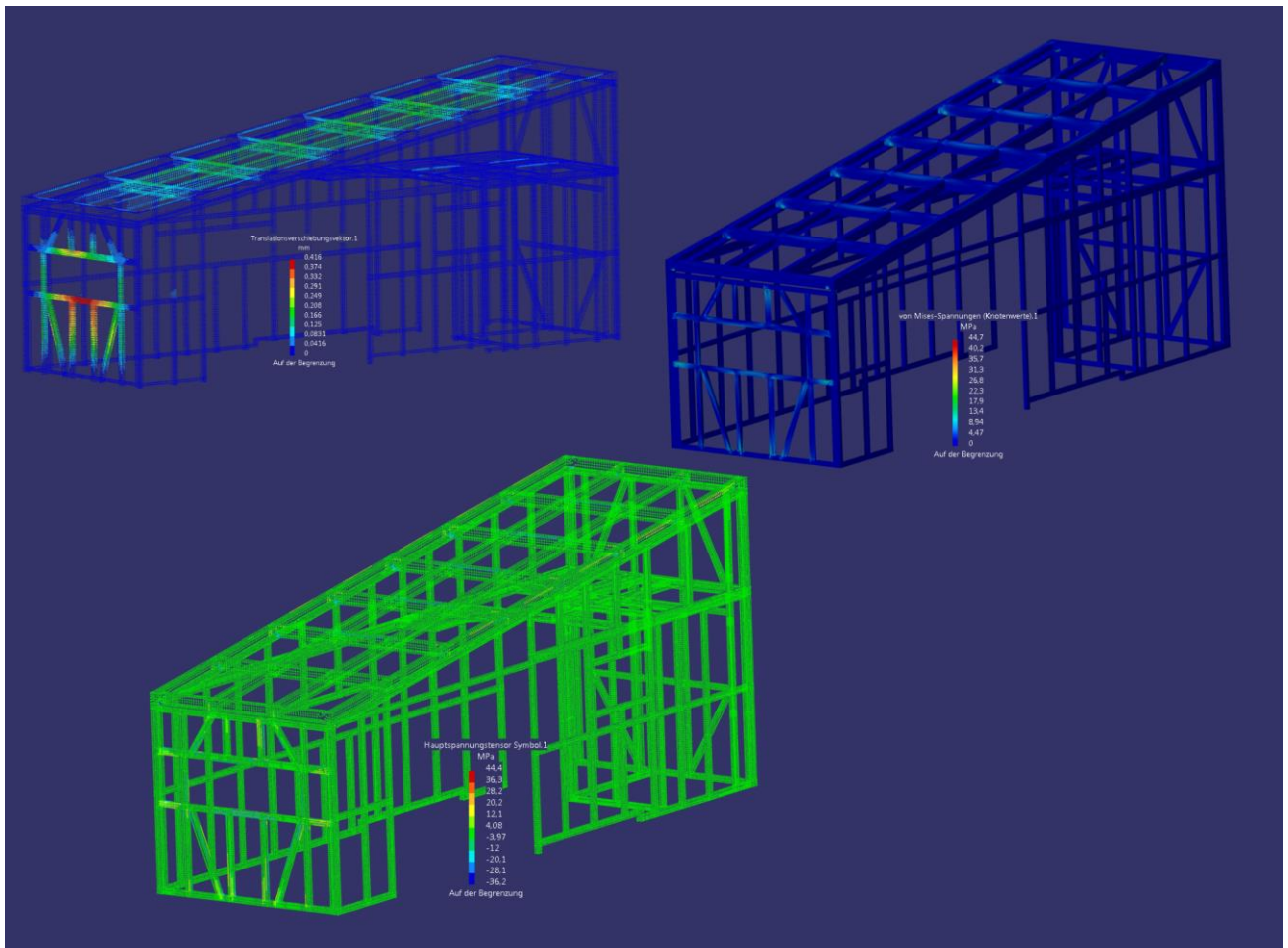


Abbildung 66: Berechnungsergebnisse Aufbau Gegenwind

Die Darstellung der Berechnungsergebnisse erfolgt grafisch in Abbildung 65 und Abbildung 66, Tabelle 21 zeigt die auftretenden Maximalwerte auf.

Tabelle 21: Maximalwerte Berechnungsfall Gegenwind

Maximalwert	Trailer	Aufbau
Verschiebung	90 mm	0,42 mm
von-Mises-Spannung	2218,48 MPa	44,7 MPa
Hauptspannung	2519,16 MPa	44,4 MPa

5.4.3 Berechnungsergebnisse Fall 3: Kurvenfahrt

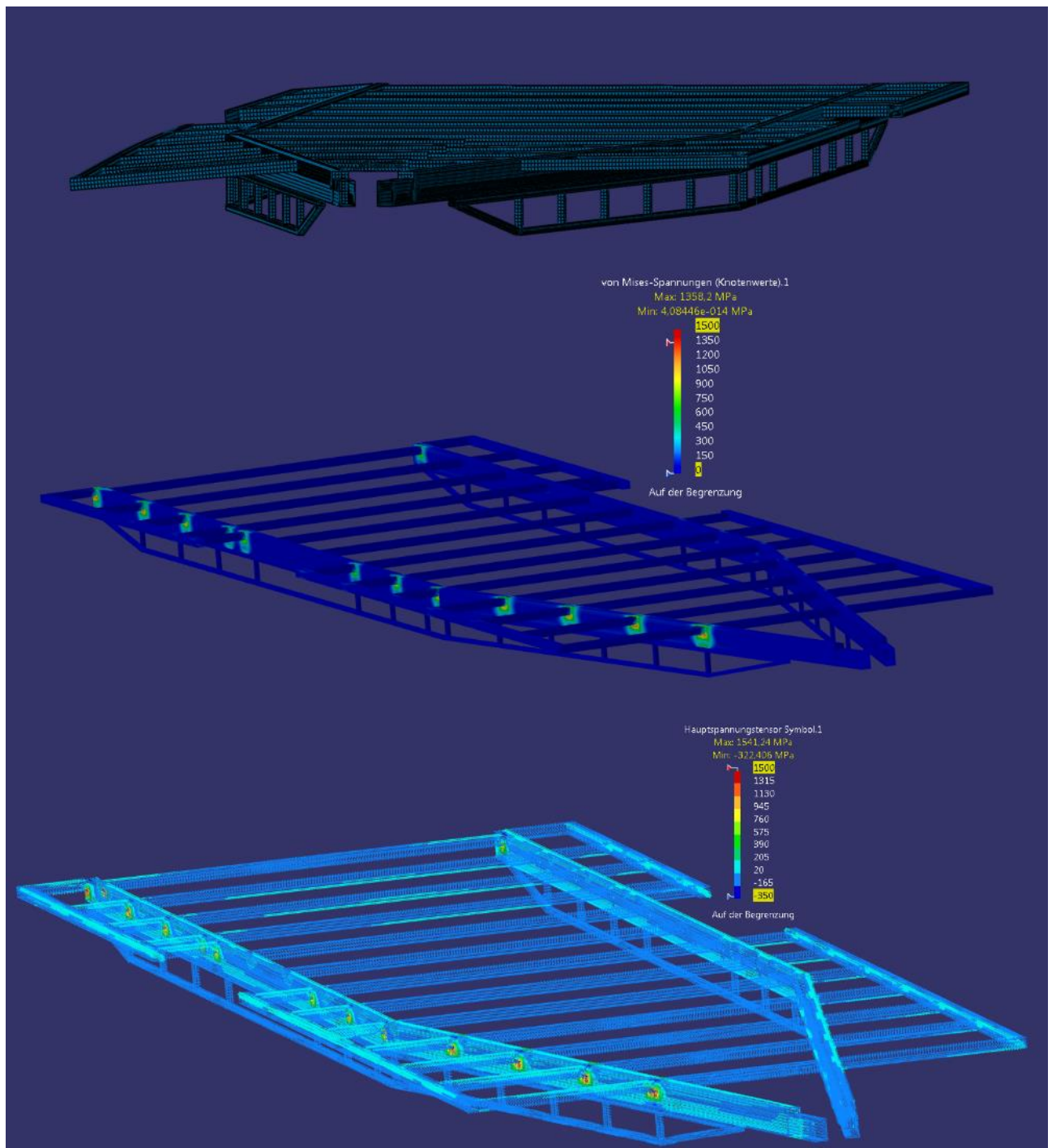


Abbildung 67: Berechnungsergebnisse Trailer Kurvenfahrt

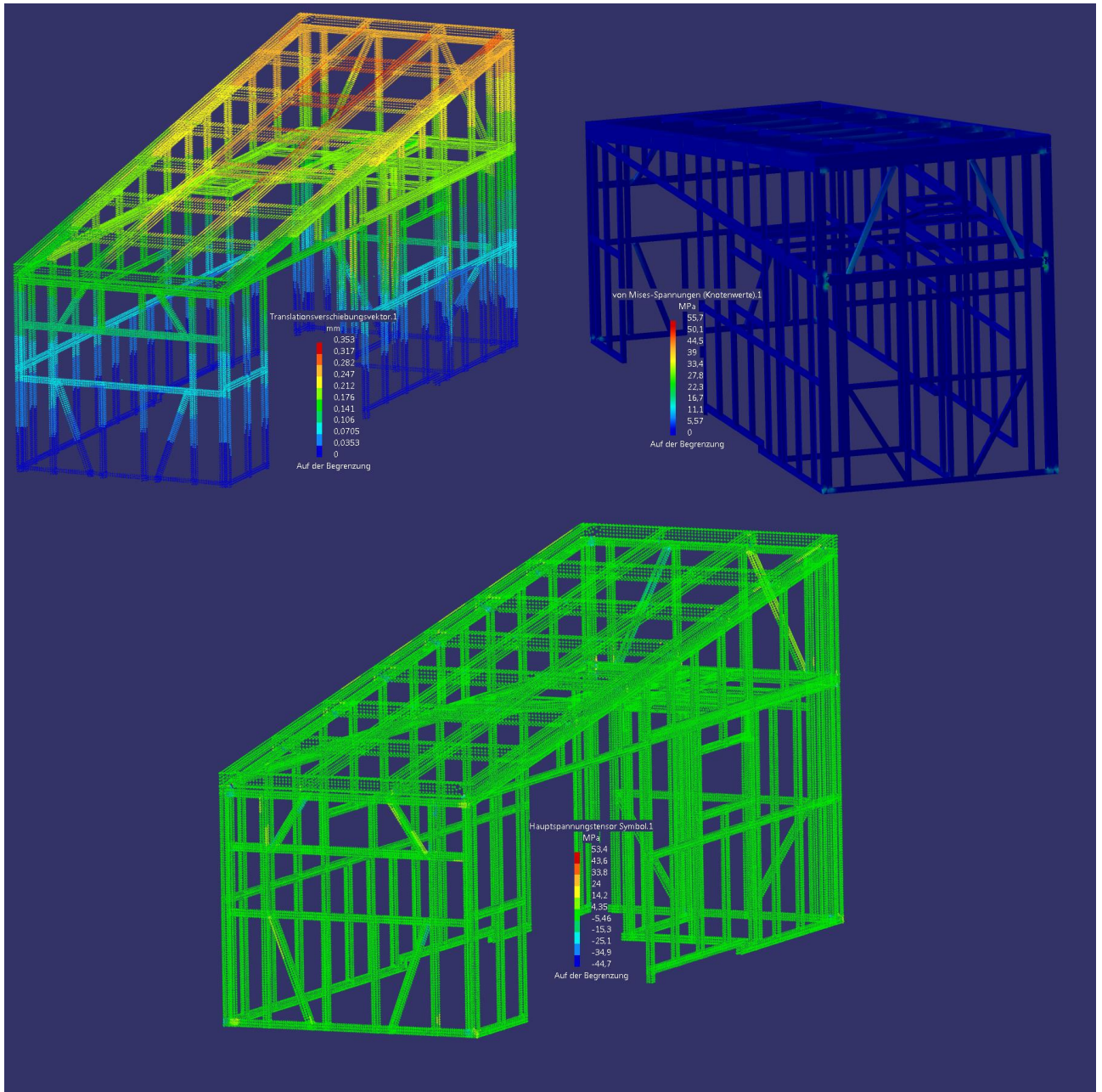


Abbildung 68: Berechnungsergebnisse Aufbau Kurvenfahrt

Abbildung 67 und Abbildung 68 stellen die im Modell auftretenden Belastungen grafisch dar. In Tabelle 22 sind die Maximalwerte im Berechnungsfall Kurvenfahrt noch einmal aufgeführt.

Tabelle 22: Maximalwerte Berechnungsfall Kurvenfahrt

Maximalwert	Trailer	Aufbau
Verschiebung	-	0,35 mm
von-Mises-Spannung	1358,2 MPa	55,7 MPa
Hauptspannung	1541,24 MPa	53,4 MPa

5.4.4 Berechnungsergebnisse Fall 4: Bremsvorgang

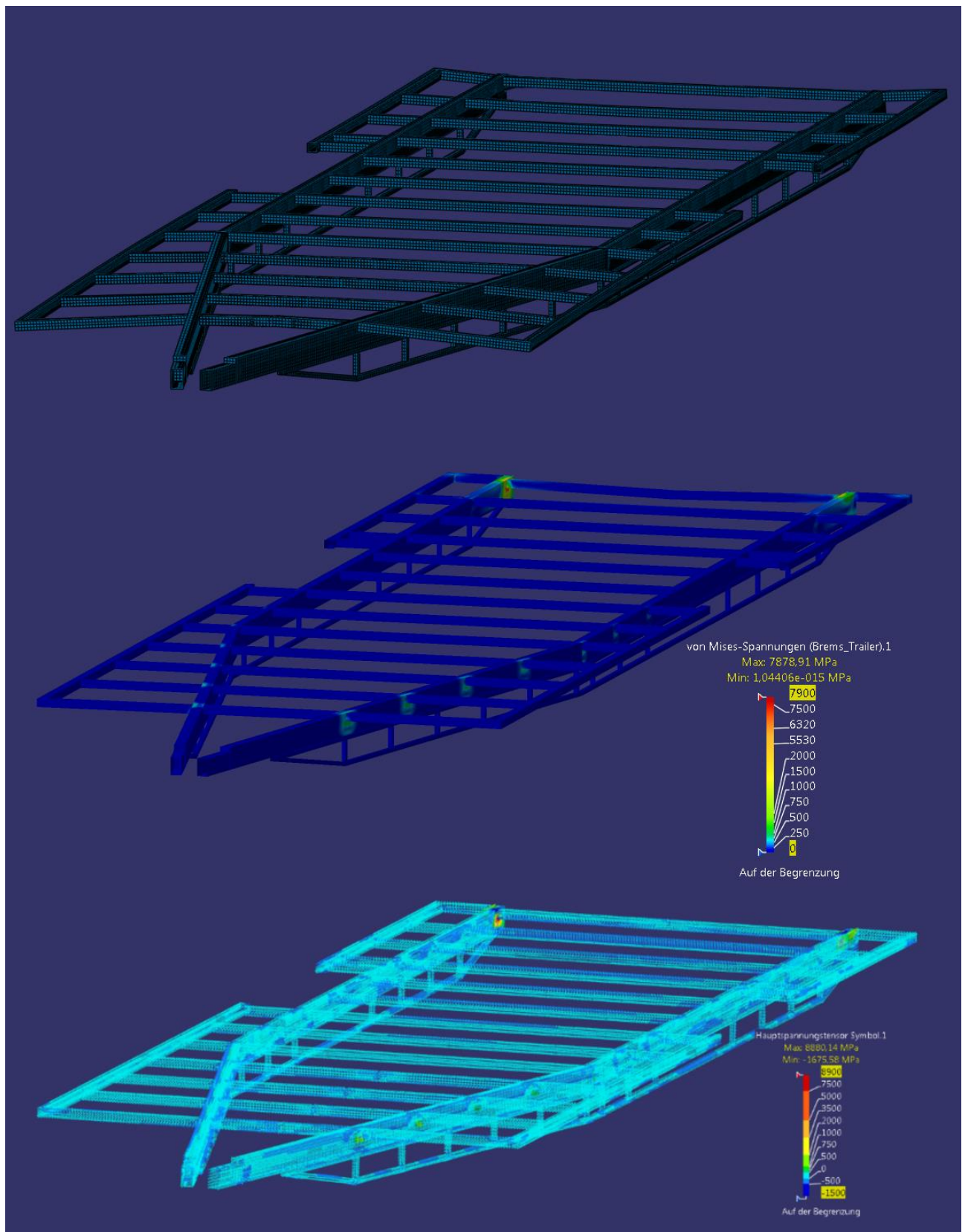


Abbildung 69: Berechnungsergebnisse Trailer Bremsvorgang

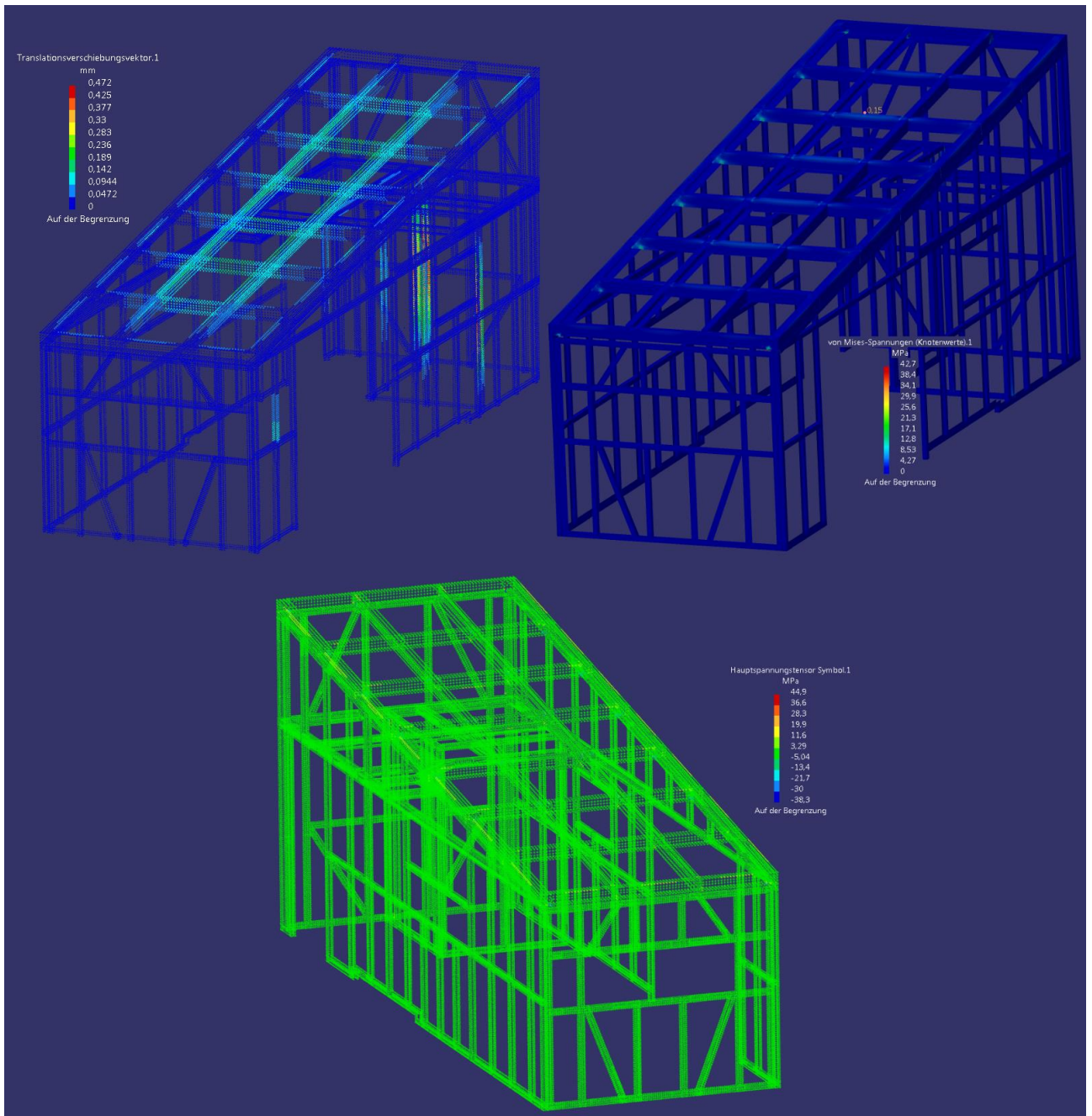


Abbildung 70: Berechnungsergebnisse Aufbau Bremsvorgang

Während die grafische Auswertung der Berechnung Abbildung 69 und Abbildung 70 entnommen werden kann, bietet Tabelle 23 einen Überblick über die auftretenden Maximalbelastungen.

Tabelle 23: Maximalwerte Berechnungsfall Bremsvorgang

Maximalwert	Trailer	Aufbau
Verschiebung	-	0,47 mm
von-Mises-Spannung	7878,91 MPa	42,7 MPa
Hauptspannung	8880,14 MPa	44,9 MPa

5.5 Problemstellen in der TinyHouse-Konstruktion

Die in Kapitel 5.3 durchgeführten Untersuchungen zeigen auf, dass beide Modelle vor ihrer Umsetzung noch weiterentwickelt werden müssen. Während der Trailer-Rahmen verstärkt werden muss, ist der Rahmen des Aufbaus in der berechneten Modellversion überdimensioniert. Auf die Problemstellen soll in diesem Kapitel eingegangen und Verbesserungen vorgeschlagen werden.

Der Rahmen des Trailers ist im jetzigen Arbeitsstand nicht für die auftretenden Lastfälle geeignet. Er versagt in allen Berechnungen. Wird ein unlegierter Baustahl für den Trailer-Rahmen genutzt, ist die Zugfestigkeit R_m mit bis zu 690 N/mm^2 angegeben. Legierte Stähle können eine Zugfestigkeit von bis zu 1.300 N/mm^2 aufweisen [66]. Die im Modell auftretenden Belastungen sind jedoch größer, außerdem ist noch kein Sicherheitsfaktor in die Berechnung einbezogen. Das Rahmenmodell muss also überarbeitet werden. Möglich ist auch, dass die hohen Belastungen und nicht sinnvoll erscheinenden Verschiebungen und Verformungen durch Vereinfachungen in das Modell eingebracht wurden. Während die virtuellen Elemente kaum eine versteifende Wirkung haben, verteilt die Bodenplatte unter Realbedingungen die auf den Trailer wirkende Last gegebenenfalls gleichmäßig und es kommt nicht zur Überbelastung an der, vom Deichselrahmen aus betrachtet, äußeren Befestigungsrahmengengeometrie.

Die ermittelten Spannungsspitzen treten vor allem in den hoch belasteten Übergangsbereichen von Deichselrahmen und Befestigungsrahmen auf. An diesen Verbindungsstellen sollten zusätzlich Verstrebungen eingebracht werden. Sie sind in Abbildung 71 rot dargestellt.

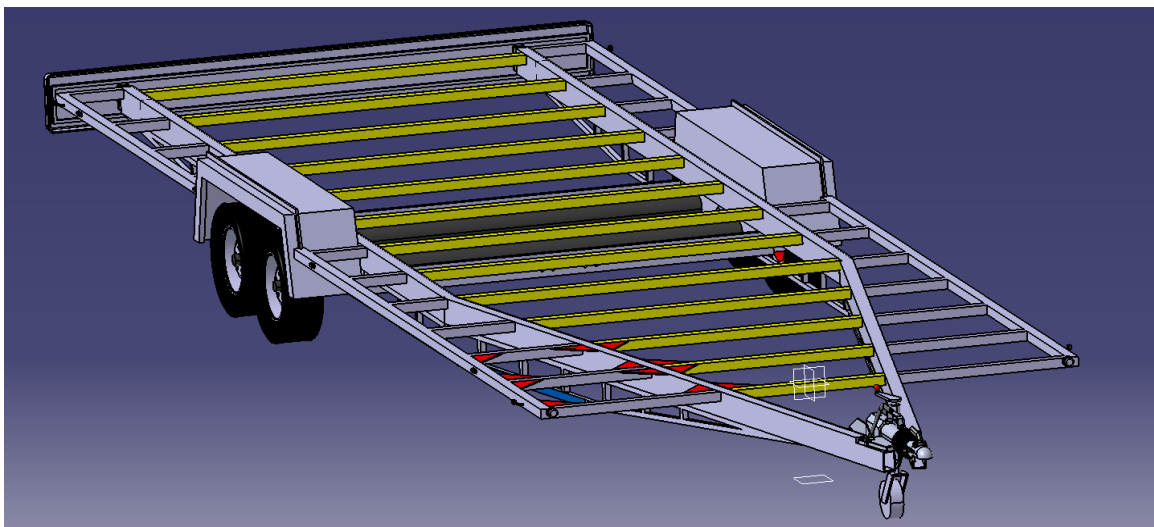


Abbildung 71: Verbesserungspotential Rahmenkonstruktion Trailer

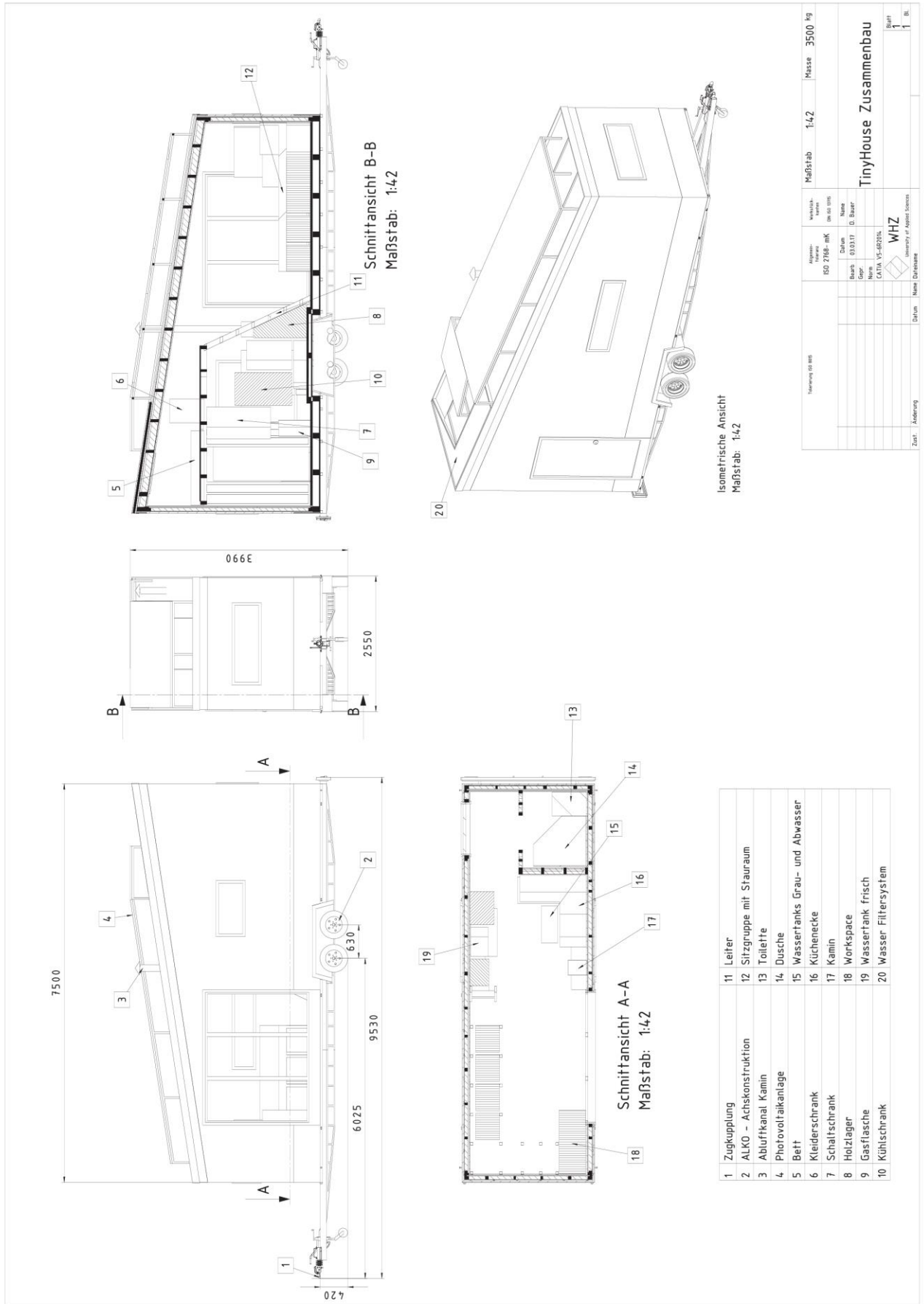
Diese Streben verteilen die zu übertragenden Kräfte und gewährleisten einen guten Kraftfluss. Außerdem sollte der Querschnitt des äußeren Befestigungsrahmens erhöht werden. In den Bereichen zwischen dem Deichselrahmen, in Abbildung 71 gelb dargestellt, kann hingegen, bei ebenfalls eingebrachter Verstrebung, die Materialstärke reduziert werden. In diesem Bereich treten kaum hohe Belastungen auf, da der Boden des TinyHouse ausreichend Steifigkeit einbringt und die Belastungen gut verteilt. Ebenfalls in Abbildung 71 ist, in blauer Farbe, eine Abstützung des Befestigungsrahmens hin zum Hilfsrahmen dargestellt. Dies könnte die große Verschiebung des Befestigungsrahmens verhindern.

Im Vergleich zum Trailer ist der Aufbau überdimensioniert. Würde er unter realen Bedingungen mit einer Materialstärke von 3 mm aufgebaut werden, so würde die Gesamtmasse des Aufbausrahmens 1.000 kg knapp überschreiten. Da er, wider Erwarten, den Belastungen ohne weiteres Stand hält und durch die Anschlussgeometrie zusätzlich versteift wird, kann der Querschnitt deutlich verringert werden. Dazu könnte für eine weitere Berechnung auf eine Materialstärke von 1,5 mm zurückgegangen werden. Dies führt zur in Kapitel 3.4.2 aufgeführten Masse von 542 kg. Für den Aufbau von Stahlrahmenhäusern ist bei der genannten Wandstärke sogar eine Mindestmaterialstärke von nur 1,2 mm vorgesehen [67]. Ob diese geringe Mindestmaterialstärke ausreichend Stabilität bietet, ist zu prüfen. Bei der Reduzierung der Wandstärke sollte darauf geachtet werden, dass vor allem die jeweils äußeren Träger eines Wandrahmens den hohen Querschnitt behalten. So wird die hohe Dachlast gut in den Boden geleitet.

6 Anfertigung einer Zusammenbauzeichnung

Im Anhang befindet sich unter Anlage 11 die Zusammenbauzeichnung des TinyHouse. Sie vermittelt einen Eindruck der Größenverhältnisse des Tiny House. Wichtige Anschlussmaße sind in ihr ebenso zu finden wie die Beschriftung wichtiger Elemente, die im TinyHouse integriert sind.

Einen ersten Überblick bietet die umseitig abgedruckte, nicht maßstabsgerechte Kopie der Zusammenbauzeichnung.



7 Fazit

Das Thema TinyHouse bietet nahezu unendlich viele Möglichkeiten der Umsetzung. Viele der zu treffenden Entscheidungen, von der Idee bis hin zum Bau eines kleinen Hauses, sind subjektiv und entstehen aus persönlichen Wünschen und Träumen. Dies kommt auch durch die Grundidee und das Ziel „mehr Individualismus“. Nicht nur beim Aussehen gibt es viel Potential, auch im Haus integrierte Systeme, wie eine Photovoltaikanlage zur Stromgewinnung oder eine autarke, biologische Wasserfilteranlage, lassen viel Raum zur Entwicklung. Es gibt allerdings auch begrenzende Faktoren für den Bau. Die letztlich entstehende Gesamtmasse des Hauses ist wohl der Größte dieser Faktoren. Zum Leben und Bau nötige Komponenten wie der Aufbau an sich, Wand- und Rahmenkonstruktion sowie der Trailer sind Massen, die nicht umgangen werden können. Die Ausstattung des Interieur bietet viel Spielraum. Einfach zu reduzieren geht das Strom- und Wassersystem, doch dann verliert der Nutzer die Autarkie. Vielleicht ist ein Mittelweg aus kleineren Versorgungssystemen und generell kleinerem Aufbau sowie Trailer eine Möglichkeit, das Ziel zu erreichen. Oder die Anforderung des Transports per PKW-Führerschein wird fallengelassen und dafür entsteht ein wirklich komplett autarkes TinyHouse. Das Ergebnis dieser Arbeit hilft einzuordnen, wo die Herausforderungen im Bau eines TinyHouse liegen. Deshalb bietet sie eine gute Basis für die Weiterentwicklung des Konzepts. Vor allem die Weiterentwicklung des Rahmenmodells und die Entwicklung eines Trailers, der den zu erwartenden Belastungen standhält, sollte das Ziel sein. Neben der Reduzierung der Baukomponenten zur Masseneinsparung muss auch geprüft werden, ob mit dem Einsatz anderer Werkstoffe weniger Masse bei gleicher Festigkeit möglich ist. So könnte der Aufbaurahmen, welcher auf einem Stahlprofilrahmen basiert, zum Beispiel durch einen Aluminiumprofilrahmen ersetzt werden. Der Querschnitt der Profile müsste vergrößert werden, aber da die Dichte von Aluminium (2.700 kg/m^3 im Vergleich zu Stahl mit 7.850 kg/m^3) viel geringer ist, ließe sich Masse sparen. Den Berechnungsergebnissen nach ist der Aufbaurahmen überdimensioniert. Der Trailerrahmen ist im Gegensatz zum Aufbau stark unterdimensioniert. Verstärkungen in den Übergangsbereichen zwischen Befestigungsrahmen und Deichselrahmen können helfen, dieses Problem zu lösen. Auch größere Materialstärke der Vierkantprofile trägt ebenso zur höheren Festigkeit bei.

Bei den für die ausreichende Stabilität nötigen Änderungen darf das Gesamtgewicht nicht aus den Augen gelassen werden. Dann sollte es in den festgelegten Anforderungen möglich sein, das Konzept in die Realität umzusetzen.

8 Zusammenfassung

Diese Diplomarbeit handelt von der Konzepterstellung eines TinyHouse. Die Idee der kleinen Häuser, gebaut auf Fahrzeuganhängern, stammt aus Amerika. Hier in Europa lässt sich dieses Konzept allerdings nicht genauso umsetzen, da die gesetzlichen Rahmenbedingungen andere sind. Deshalb werden, nachdem zu Beginn auf Geschichte und Ziele der TinyHouse-Bewegung eingegangen wird, konkrete Anforderungen an das TinyHouse formuliert, was am Ende der Arbeit im Konzept fertiggestellt sein soll.

Für diese Anforderungen wird im Nachgang ein Massen- und Finanzkonzept erstellt, denn die Fahrzeugmasse ist der größte begrenzende Faktor in dieser Arbeit. Das wird unter anderem in der Gesamtmasse deutlich, denn die masseintensivere Bauform mit Holzrahmen im Aufbau wiegt ungefähr 4.000 kg. Die im Vergleich zum Holz kostenintensivere Rahmenvariante aus Aluminium wiegt knapp 400 kg weniger, muss aber für den Transport auf der Straße im gesetzlichen Rahmen der Straßenverkehrsordnung und Straßenverkehrszulassungsordnung ebenfalls abgelastet werden. Da auf die Anforderung von 3.500 kg Maximalgewicht kaum verzichtet werden kann, muss auf andere Anforderungen wie das masseintensive Stromsystem oder das Wasserfiltersystem an Bord verzichtet werden, oder zumindest eine geringere Dimensionierung in Kauf genommen werden.

Nach der Anfertigung des Massenkonzpts wird mit der Konstruktion des TinyHouse begonnen. Dabei werden Black Boxes für alle Komponenten eingesetzt; sie vermitteln die Wirkung des letztlich entstehenden Gebäudes. Auf Basis dieses Black-Box-Modells kann mit Hilfe der Schwerpunkte und Massen der Komponenten der Schwerpunkt des Hauses und damit die Achsposition ermittelt werden.

Aus diesem Modell herausgelöst werden die Rahmenkonstruktionen von Trailer und Metallaufbau. Sie werden unter Nutzung des FEM-Tools in der von Dassault Systems bereitgestellten Software Catia untersucht. Dabei wird deutlich, dass der Aufbau überdimensioniert ist und Masse gespart werden kann. Der Trailer hingegen muss verstärkt werden, um den Belastungen stand halten zu können.

Die zuletzt angefertigte Zusammenbauzeichnung gibt Auskunft über die Dimensionen des TinyHouse. Es ist mit 2,55 m Breite und knapp 4 m Höhe an der gesetzlichen Maximalgrenze und mit 7,5 m Wohnraumlänge bietet es den Bewohnern etwa 19 m² Wohnraum.

9 Literaturverzeichnis

1. **Bibliographisches Institut GmbH.** www.duden.de. [Online]
www.duden.de/rechtschreibung/Trend. 05.10.2016.
2. **Knops, Tilo.** *"Knicker, Knauser, Pfennigfuchser - Sparsamkeit als Lebensform"*. 80300 München : DasErste, Bayrischer Rundfunk, Anstalt des öffentlichen Rechts, 2012.
3. **Tiny Houses Consulting UG.** www.tiny-houses.de. [Online]
www.facebook.com/tinyhousesde. 16.12.2016.
4. **Tischlerei Christian Bock.** www.bock-tiny-house.de. [Online] www.bock-tiny-house.de.
16.12.2016.
5. **Tiny House Rheinau.** www.tiny-house-rheinau.de. [Online] www.tiny-house-rheinau.de.
16.12.2016.
6. **linguee GmbH.** www.linguee.de. [Online] <http://www.linguee.de/englisch-deutsch/uebersetzung/tiny+house.html>. 07.11.2016.
7. **Tiny House Media LLC.** www.tinyhousetalk.com. [Online] www.tinyhousetalk.com/tiny-house-movement. 17.12.2016.
8. **Walker, Elaine.** <http://tinyhousecommunity.com>. [Online]
<http://tinyhousecommunity.com/faq.htm#what>. 07.11.2016.
9. **New Frontier Tiny Homes.** <https://www.newfrontiertinyhomes.com/tiny-house/>. [Online]
<https://static1.squarespace.com/static/575ede73b6aa606d55804722/576c5f112994cad80682d724/578190253e00be71f4674de6/1468108863372/4371+W+Old+Hickory+Blvd-print-088-112-018+Alpha+Final-4200x2804-300dpi.jpg>. 19.01.2017.
10. **Tiny Houses Consulting UG.** www.tiny-houses.de. [Online] www.tiny-houses.de/was-sind-tiny-houses. 19.12.2016.
11. **Hobby-Wohnwagenwerk, Ing.** <https://www.hobby-caravan.de>. [Online]
<https://www.hobby-caravan.de/caravans/premium/modell/modelldetails/show/Model/650-ukfe-1/>.
12.01.2017.
12. **Fendt-Caravan GmbH.** <http://www.fendt-caravan.com>. [Online] <http://www.fendt-caravan.com/brillant/700-tfd.html>. 12.01.2017.
13. **Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz.** www.gesetze-im-internet.de. *Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) §32*, 26.04.2012.
[Online] https://www.gesetze-im-internet.de/stvzo_2012/BJNR067910012.html.
11.11.2016.

-
14. **HiConsumption LLC.** <http://hiconsumption.com>. [Online]
<http://hiconsumption.com/2016/07/alpha-tiny-house-by-new-frontier-tiny-homes/>.
19.01.2017.
 15. **New Frontier Tiny Homes.** <https://www.newfrontiertinyhomes.com>. [Online]
<https://www.newfrontiertinyhomes.com/tiny-house/>. 19.01.2017.
 16. **Immobilien Scout GmbH.** www.immobilienscout24.de. [Online]
www.immobilienscout24.de/immobilienbewertung/ratgeber/mietpreise-und-kaufpreise/mietspiegel/mietspiegel-stuttgart.html. 20.12.2016.
 17. **Immowelt AG.** <https://www.immowelt.de>. [Online]
<https://www.immowelt.de/immobilienpreise/stuttgart/mietspiegel>. 07.11.2016.
 18. **PWIB Wohnungs-Infobörse GmbH.** <http://www.wohnungsboerse.net>. [Online]
<http://www.wohnungsboerse.net/mietspiegel-Muenchen/2091>. 07.11.2016.
 19. **Apartment Therapy, LLC.** <http://www.apartmenttherapy.com>. [Online]
<http://www.apartmenttherapy.com/average-home-sizes-around-the-151738>.
07.11.2016.
 20. **CBS Interactive Inc.** www.cbsnews.com. [Online] 08. Mai 2008.
<http://www.cbsnews.com/news/more-working-class-families-spend-half-of-income-on-rent/>. 07.11.2016.
 21. **The Christian Broadcasting Network, Inc.** www1.cbn.com. [Online]
www1.cbn.com/700club/howard-dayton-escape-auto-debt-trap. 20.12.2016.
 22. **www.finanzmarktwelt.de.** [Online] www.finanzmarktwelt.de/schulden-horror-usa-volumen-der-studenten-und-verbraucherkredite-explodiert-13539/. 20.12.2016.
 23. Henry David Thoreau, Laura Ross. Walden or, Life in the Woods. New York : Sterling Publishing Co., Inc., 2009, S. 116.
 24. **Tumbleweed Tiny House Company.** <https://www.tumbleweedhouses.com>. [Online]
<https://www.tumbleweedhouses.com/company/>. 07.11.2016.
 25. **Four Lights Tiny House Company.** <http://www.fourlightshouses.com>. [Online]
<http://www.fourlightshouses.com/pages/about-jay-shafer>. 07.11.2016.
 26. **Tiny House Company.** www.tiny-houses.de. [Online] www.tiny-houses.de/blog/.
20.12.2016.
 27. **Tiny Houses Consulting UG.** www.tiny-houses.de. [Online] <http://tiny-houses.de/was-kostet-ein-minihaus/>. 08.11.2016.

-
28. FOCUS Online. www.focus.de. [Online] http://www.focus.de/immobilien/bauen/bau-mini-haeuser-auf-raedern-tiny-houses-trend-in-deutschland_id_4397647.html. 08.11.2016.
29. Bayerischer Rundfunk, Anstalt des öffentlichen Rechts. <http://www.daserste.de>. [Online] <https://www.youtube.com/watch?v=uHCLN1T-Yiw>. 19.01.2017.
30. Wikimedia Foundation, Inc. www.wikipedia.org. [Online] https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle_inspection_in_the_United_States. 10.11.2016.
31. AAA. www.drivinglaws.aaa.com. [Online] drivinglaws.aaa.com/category/us-motor-laws/. 10.11.2016.
32. TÜV NORD AG. www.tuev-nord.de. [Online] [https://www.tuev-nord.de/de/privatkunden/verkehr/fuehrerschein/fuehrerscheinklassen-klassen-b-b96-und-be/](https://www.tuev-nord.de/de/privatkunden/verkehr/fuehrerschein/fuehrerscheinklassen/klassen-b-b96-und-be/). 10.11.2016.
33. W-Corp Limited. www.wirelesslife.de. [Online] <https://wirelesslife.de/keine-meldeadresse/>. 10.11.2016.
34. Tiny House Rheinau. <http://www.tiny-house-rheinau.de>. [Online] <http://www.tiny-house-rheinau.de/Tiny-House-Park-in-Rheinau/>. 15.11.2016.
35. —. www.tiny-house-rheinau.de. [Online] www.tiny-house-rheinau.de. 19.12.2016.
36. Tischlerei Christian Bock. www.bock-tiny-house.de. [Online] www.bock-tiny-house.de. 19.12.2016.
37. Toczek, Klaus. www-tiny-house-deutschland.de. [Online] www.tiny-house-deutschland.de. 19.12.2016.
38. Brunner, Hape. www.black-forest-tiny-house.com. [Online] www.black-forest-tiny-house.com. 19.12.2016.
39. suv-vars. www.suv-cars.de. [Online] www.suv-cars.de/herstellermodele/datenblatt/1654-technische-daten-audi-q7-4l. 21.12.2016.
40. Wiedemann Fahrzeugtechnik GmbH & Co. KG. www.wiedemann-fahrzeugtechnik.de. [Online] <https://www.wiedemann-fahrzeugtechnik.de/anhaengerfahrgestell/alko-anhaengerfahrgestell/alko-anhaengerfahrgestell-fuer-autotransporter/a-1781/>. 11.11.2016.
41. Humbaur GmbH. www.humbaur.com. [Online] http://www.humbaur.com/fileadmin/content/downloads/prospekte/Prospekt_Tandemanhaenger.pdf. Seite 24, 11.11.2016.

42. Lange, Andreas. *Fachabteilungsleiter Technische Prüfstelle DEKRA Zwickau*. Zwickau, 21.10.2016.
43. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. *www.gesetze-im-internet.de. Straßenverkehrs_Zulassungs-Ordnung (StVZO) §22a, 26.04.2012.* [Online] https://www.gesetze-im-internet.de/stvzo_2012/BJNR067910012.html. 11.11.2016.
44. HUK-COBURG Allgemeine Versicherung AG. *Anfrage zur Versicherung eines TinyHouse*. 26.10.2016.
45. Ritter, Pierre. *Allianz Versicherungsgesellschaft Generalvertretung*. Zwickau, 08.11.2016.
46. TÜV Rheinland Group. *TÜV-Tipps: PKW-Anhänger*. s.l. : TÜV Media GmbH, 2009. 978-3824912223.
47. Wikimedia Foundation Inc. *www.de.wikipedia.org*. [Online] <https://de.wikipedia.org/wiki/Polycarbonate>. 20.04.2017.
48. M15 Internetdienstleistungen GbR. *www.hausjournal.net*. [Online] www.hausjournal.net/autarkes-haus. 02.01.2017.
49. WW Wohnwagen GmbH. *www.wohnwagen.at*. [Online] <http://www.wohnwagen.at/2-das-kann-dein-wohnwagen-vollkommende-autarkie/>. 15.11.2016.
50. SMA Solar Technology AG. *www.sma.de*. [Online] <http://files.sma.de/dl/5615/INSELNETZ-PL-UDE105010.pdf>. 10.11.2016, Seite 7.
51. yirego Corp. *www.yirego.com*. [Online] <http://www.yirego.com/drumi>. 15.11.2016.
52. Immowelt AG. *www.bauen.de*. [Online] <https://www.bauen.de/a/haus-selber-bauen-das-koennen-bauherren-in-eigenleistung-uebernehmen.html>. 09.03.2017.
53. Unterrichtsmaterial . *Bauvorschriften KFT 618, Foliennummer 33*. Zwickau, Sommersemester 2016.
54. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. *www.gesetze-im-internet.de*. [Online] https://www.gesetze-im-internet.de/stvzo_2012/BJNR067910012.html. 14.04.2017.
55. SATORI & SCOUT: Design, Lifestyle & Culture Comprehension. <https://www.satoriandscout.com/wp-content/uploads/2016/07/The-Alpha-Tiny-House-External-Deck-1203x580.jpg>. [Online]

- <https://www.satoriandscout.com/wp-content/uploads/2016/07/The-Alpha-Tiny-House-External-Deck-1203x580.jpg>. 14.04.2017.
56. KFT 106 Maschinendynamik - FEM. Westsächsische Hochschule Zwickau : s.n., 2015, Semester 4 Studium Kraftfahrzeugtechnik.
57. Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. <http://www.spektrum.de>. [Online] <http://www.spektrum.de/lexikon/physik/neutrale-faser/10231>. 21.04.2017.
58. Anton Schweizer. www.schweizer-fn.de. [Online] www.schweizer-fn.de/maschinenelemente/schweissnaht/schweissverbindung.php. 14.04.2017.
59. Internet Brands, Inc. <http://wikitravel.org/>. [Online] <http://wikitravel.org/de/Zwickau>. 21.03.2017.
60. Ingenieurbüro Friedrich Bau & Reko. <http://www.friedrich-bau-reko.de>. [Online] <http://www.friedrich-bau-reko.de/news/schneelast/schneelast.htm>. 21.03.2017.
61. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz. www.gesetze-im-internet.de. [Online] https://www.gesetze-im-internet.de/stvo_2013/_18.html. 04.04.2017.
62. Karlsruher Institut für Technologie. <https://www.kit.edu/>. [Online] http://www.ifh.uni-karlsruhe.de/science/aerodyn/bilder_organale/Fahrzeug/CW-Werte%20m.jpg. 25.02.2017.
63. WetterKontor GmbH. www.wetterkontor.de. [Online] http://www.wetterkontor.de/de/bft_tabelle.html. 25.02.2017.
64. Wikia Inc. www.autobahn.wikia.com. [Online] <http://autobahn.wikia.com/wiki/Europastr%C3%9Fen>.
65. Johannes, Dipl.-Ing. Strommer. www.johannes-strommer.com/. [Online] <https://www.johannes-strommer.com/rechner/bremsweg-beschleunigungsgeschwindigkeit/#vergleichswerte>. 14.04.2017.
66. Wikimedia Foundation Inc. www.wikipedia.org. [Online] www.wikipedia.org/wiki/Zugfestigkeit. 24.04.2017.
67. SCAFCO Corporation. www.scafco.com. [Online] <https://www.scafco.com/steel/products/studs-track-furring/standard-framing-studs-track>. 12.04.2017.
68. Tiny Houses Consulting UG. www.tiny-houses.de. [Online] www.tiny-houses.de/was-sind-tiny-houses. 19.12.2016.

-
69. Apartment Therapy, LLC. <http://www.apartmenttherapy.com>. [Online] <http://atmedia.imgix.net/21022840f22b8b12fa066674efcc1d98c5084ff8?auto=compress&w=500.0&h=526.0&fit=max>. 12.01.2017.
70. tinyhouseliving.com. <http://www.tinyhouseliving.com>. [Online] <http://www.tinyhouseliving.com/wp-content/uploads/2014/09/nova-deko-milan-installation-via-smallhousebliss.jpg>. 19.01.2017.
71. Mediendatenbank. [Online] <http://clv.h-cdn.co/assets/16/31/1600x974/gallery-1470166219-treehouse-house-0916.jpg>. 01.12.2016.
72. <http://clv.h-cdn.co/> Mediendatenbank. <http://clv.h-cdn.co/>. [Online] <http://clv.h-cdn.co/assets/16/31/1600x974/gallery-1470166219-treehouse-house-0916.jpg>. 01.12.2016.
73. Ingenieurbüro Friedrich Bau & Reko. <http://www.friedrich-bau-reko.de>. [Online] <http://www.friedrich-bau-reko.de/news/schneelast/images/schneelastzonen.pdf>. 21.03.2017.
74. Klein, Bernd. *FEM Grundlagen und Anwendungen der Finiten-Elemente-Methode im Maschinen- und Fahrzeugbau*. s.l. : Springer Vieweg, 2015. ISBN 978-3-658-06053-4.
75. Tiny House Media LLC. www.tinyhousetalk.com. [Online] <http://3uceyc2o17a3g3t5a1os6ua3.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/Alpha-Tiny-House-003-600x399.jpg>. 14.04.2017.
76. K+W Kuhnert GbR. www.kuhnert-anhaenger.de. [Online] <http://www.kuhnert-anhaenger.de/eigenbau.html>. 14.04.17.
77. MarketWatch, Inc. <http://ei.marketwatch.com>. [Online] http://ei.marketwatch.com//Multimedia/2016/09/11/Photos/ZH/MW-EV676_nerd_t_20160911125915_ZH.jpg?uuid=12039342-7841-11e6-9353-00137241c023.
78. Stündle. www.wikipedia.de. <https://commons.wikimedia.org/wiki/User:St%C3%BCndle>. [Online] <https://de.wikipedia.org/wiki/Zentrifugalkraft#/media/File:Zentrifugalkraft.svg>. 10.03.2017.
79. Gorbracht, Dipl.-Math. Uwe. www.physiknerd.de. [Online] http://physiknerd.de/wp-content/uploads/2012/10/2012-10-18_114610.png. 17.04.2017.

80. Caverly, Carrie and Shane. www.clotheslinetinyhomes.com. [Online] https://clotheslinetinyhomes.files.wordpress.com/2012/05/img_20120510_183600.jpg.

10 Verzeichnis der Anlagen

Die im Text dieser Arbeit aufgeführten Anlagen befinden sich auf dem beigelegten Datenträger.

Anlagennummer	Anlagenbezeichnung
1	Ablehnung der Versicherung HUK Coburg
2	Versicherungsangebot Wohnwagen Allianz
3	Versicherungsangebot Anhänger mit Sonderaufbau AI-
4	Filtersystem wohnwagon.at
5	Erste Berechnung des Leistungsbedarfs TinyHouse
6	Finaler Leistungsbedarf TinyHouse
7	Datenblatt BISUN Photovoltaik-Module
8	Datenblatt Sunny Island Off Grid-Stromsystem
9	Kostenübersicht TinyHouse
10	Schwerpunkt Berechnungstabelle
11	Zusammenbauzeichnung TinyHouse