

Dachhausbau in Holz-Massivbauweise mit integrierter Photovoltaikanlage

D-4-07/2010



Astrid Schachner

Institut für Holzbau und Holztechnologie
Technische Universität Graz

Dachausbau in Holz-Massivbauweise mit integrierter Photovoltaikanlage

Diplomarbeit von

Astrid Schachner

Eingereicht am

Institut für Holzbau und Holztechnologie

Technische Universität Graz

Begutachtung und Betreuer:

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerhard Schickhofer

Mitbetreuer:

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Mag. Dr.iur. Dr.techn. Peter Kautsch

Ass.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Udo Bachhiesl

Graz, Oktober 2010

meinen Eltern

Deutsche Fassung:
Beschluss der Curricula-Kommission für Bachelor-, Master- und Diplomstudien vom 10.11.2008
Genehmigung des Senates am 1.12.2008

EIDESSTÄTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am (Unterschrift)

Englische Fassung:

STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

.....
date

.....
(signature)

Danksagung

Nachfolgenden Personen möchte ich meine Dankbarkeit widmen.

Mein größter Dank gilt meinen Eltern, die mir dieses Studium ermöglicht haben, meinen Geschwistern und Günther, die mich in den letzten Jahren immer unterstützt, an mich geglaubt und mir stets in schwierigen Situationen geholfen haben.

Meinem Betreuer Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerhard Schickhofer, Leiter des Institutes für Holzbau und Holztechnologie der TU Graz, für die Unterstützung bei der Ausarbeitung und Begutachtung meiner Diplomarbeit.

Meinen Mitbetreuern, Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Mag. Dr.iur. Dr.techn. Peter Kautsch, Leiter des Institutes für Hochbau und Bauphysik der TU Graz und Herrn Ass.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Udo Bachhiesl, Institut für Elektrizitätswirtschaft der TU Graz, für Ihre Ratschläge und Anregungen.

Danken möchte ich auch all jenen, die mich während des Studiums begleitet haben, und so für eine unvergessliche Studienzeit gesorgt haben.

Kurzfassung

Der Einsatz von erneuerbaren Energieträgern gewinnt im Gebäudebereich immer mehr an Bedeutung. Diese Entwicklung ist auf den Klimaschutz und auf die europäische und die österreichische Energiepolitik zurückzuführen.

Neben einer Übersicht über die Energiepolitik Europas und die Energiestrategie Österreichs zur Erreichung der vorgegebenen Ziele bis 2020, wird ein Überblick über die Formen erneuerbarer Energien, wozu Wasserkraft, Windkraft, Solarthermie, Photovoltaik, Geothermie und Biomasse gezählt werden gegeben. Die Photovoltaik wird gesondert betrachtet und bei dem praktischen Beispiel, in Form von gebäudeintegrierter Photovoltaik, angewandt.

Als praktisches Beispiel wurde ein Dachausbau bei einem Gründerzeithaus in Wien gewählt. Der Ausbau erfolgt mit Rahmen aus Brettschichtholz. Zwischen diesen Rahmen werden Brettsperrholzelemente (CLT) im Bereich des Daches eingehängt. Neben der statischen Berechnung erfolgt auch die bauphysikalische Beurteilung der einzelnen Bauteile.

Die Photovoltaikanlagen werden im Bereich des Schrägdaches und des Flachdaches installiert, wobei zwei unterschiedliche Anlagensysteme eingesetzt werden.

Ein weiterer Bearbeitungspunkt stellt die Verbindungstechnik der einzelnen Rahmenknoten dar.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Kombination von Rahmen aus Brettschichtholz und Brettsperrholzelementen gut für den Dachausbau geeignet sind. Weiters ist die Installation von Photovoltaikanlagen, sei es bei Neubauten oder Sanierungen, empfehlenswert.

Abstract

The application of renewable energy gains more and more importance in building industries. This development can be traced back to the climate protections and to the European and Austrian energy policy.

After a general survey of the European energy policy and the Austrian energy strategy including the measures to achieve the objectives until 2020, an overview of the different types of renewable energy including hydro power, wind energy, solar heat, photovoltaics, geothermal energy and biomass energy is given. Photovoltaics is considered separately and will be applied in a practical example of an attic extension in Vienna.

The attic extension is based on frames made of glued-laminated timber. Elements of cross-laminated timber (CLT) are installed between the frames.

In addition to the static calculation also an evaluation of the building physics is carried out.

The photovoltaics installation will be mounted on the pitched roof and also on the flat roof. Two different systems are used.

Additionally the most important joins are listed.

In summary, the combination of frames made of glued-laminated timber and CLT elements can be proposed. Also the installation of photovoltaics in conjunction with a new development or a reconstruction is recommended.



Inhaltsverzeichnis

1 Energiestrategie Europa und Österreich

1.1	Einsatz von erneuerbarer Energie	1
1.2	Klimaschutz	1
1.3	Energieimporte	2
1.4	Vorräte an fossilen Energieträgern	2
1.5	Energiepolitik in Europa	3
1.6	Energiestrategie Österreich	5

2 Erneuerbare Energie

2.1	Energie	11
2.2	Energieträger	11
2.2.1	Primärenergieträger	11
2.2.2	Sekundärenergieträger	11
2.2.3	Endenergieträger	12
2.2.4	Nutzenergie	12
2.2.5	Fossil biogene, fossil mineralische und erneuerbare Energieträger	12
2.3	Erneuerbare Energie	13
2.3.1	Wasserkraft	13
2.3.1.1	Geschichte	13
2.3.1.2	Wasser	13
2.3.1.3	physikalische Grundlage	14
2.3.1.4	Bauformen	16
2.3.1.5	Bestandteile einer Wasserkraftanlage	17
2.3.1.6	Nutzung	20
2.3.1.7	Wasserkraft in Österreich	20
2.3.2	Windkraft	22
2.3.2.1	Geschichte	22

2.3.2.2	Wind	22
2.3.2.3	physikalische Grundlage	23
2.3.2.4	Bauformen	25
2.3.2.5	Bestandteile einer Windkraftanlage	27
2.3.2.6	Offshore - Windenergieanlagen	29
2.3.2.7	Nutzung	30
2.3.2.8	Windkraft in Österreich	30
2.3.3	Solarthermie	32
2.3.3.1	Geschichte	32
2.3.3.2	physikalische Grundlage	32
2.3.3.3	Bestandteile einer solarthermischen Anlage	33
2.3.3.4	Nutzung	35
2.3.3.5	Solarthermie in Österreich	36
2.3.4	Geothermie	38
2.3.4.1	Geschichte	38
2.3.4.2	Systemelemente	38
2.3.4.3	Nutzung	43
2.3.4.4	Geothermie in Österreich	44
2.3.5	Biomasse	47
2.3.5.1	Geschichte	47
2.3.5.2	Biomasse	47
2.3.5.3	Grundlage	49
2.3.5.4	Umwandlung	49
2.3.5.5	Nutzung	50
2.3.5.6	Biomasse in Österreich	53

3 Photovoltaik

3.1	Sonne	57
3.2	Solarstrahlung in Österreich	59
3.3	Geschichte der Photovoltaik	60
3.4	Bestandteile einer Photovoltaikanlage	61
3.4.1	Die Solarzelle	62
3.4.1.1	Arten und Herstellung von Solarzellen	63
3.4.2	Das Solarmodul	66
3.4.3	Wechselrichter (Inverter)	68
3.4.4	Generatoranschlusskasten (GAK)	71
3.4.5	Gleichstromhauptschalter	71
3.4.6	Kabel	71
3.4.7	Einspeisezähler	73
3.5	Kenngößen	73
3.5.1	Elektrische Kenngößen	73
3.5.1.1	Wirkungsgrad	73
3.5.1.2	Nennleistung/Spitzenleistung	74
3.5.1.3	Kurzschlussstrom	74
3.5.1.4	Leerlaufspannung	74
3.5.1.5	Strom und Spannung bei max. Leistung	74
3.5.1.6	Temperaturkoeffizienten	74
3.5.2	weitere Angaben	74
3.6	Inselsysteme	74
3.7	Montagearten	75
3.7.1	Gestellmontage	76
3.7.2	Freiaufstellung	78

3.7.3	Gebäudeintegration	78
3.8	Ausrichtung der Module	79
3.8.1	Ausrichtung.....	79
3.8.2	Neigung	79
3.8.3	Fläche	80
3.9	Verschattung, Blitzschutz.....	80
3.9.1	Verschattung	80
3.9.2	Blitzschutz	82
3.10	Photovoltaik in Österreich	82
3.11	Systeme	84

4 Anwendungsbeispiel

4.1	Photovoltaik - Anlage.....	95
4.1.1	Photovoltaikanlage am Flachdach	95
4.1.1.1	Berechnung.....	95
4.1.1.2	Eigengewicht und Aufbau	96
4.1.2	Photovoltaikanlage am Schrägdach	97
4.1.2.1	Berechnung.....	97
4.1.2.2	Eigengewicht und Aufbau	98
4.1.3	Wechselrichter	98
4.1.4	Gesamte installierte Leistung	99
4.1.5	Verluste	99
4.1.6	Ertrag	100
4.2	Lastaufstellung.....	101
4.2.1	Eigengewicht.....	101
4.2.1.1	Flachdach	101
4.2.1.2	Schrägdach.....	102
4.2.1.3	Geschossdecke	103
4.2.2	Nutzlast	105
4.2.2.1	Nutzungskategorie.....	105
4.2.3	Größe der Einwirkung.....	106
4.2.3.1	Dachkonstruktion.....	106
4.2.3.2	Zusammenfassung Nutzlasten	107
4.2.4	Schnee	107
4.2.4.1	Schneelasten auf Dächern	107
4.2.5	Wind	109
4.2.5.1	Basiswindgeschwindigkeit lt. [76].....	109
4.2.5.2	Mittlerer Wind	110
4.2.5.3	Böengeschwindigkeitsdruck	111
4.2.5.4	Innendruckbeiwerte.....	111
4.2.5.5	Außendruckbeiwerte.....	111
4.2.5.6	Berechnung der Winddruckkräfte	112
4.3	Lastfallkombinationen	116
4.4	Bemessung der Brettsperrholzelemente	117
4.4.1	Allgemein	117
4.4.2	Bemessung der Brettsperrholzelemente	120
4.4.2.1	Bemessung der Geschossdecke	121
4.4.2.2	Bemessung im Bereich des Flachdaches	124
4.4.2.3	Bemessung im Bereich des Schrägdaches	127
4.5	Bemessung des Brettschichtholz-Rahmens	130
4.5.1	Materialeigenschaften.....	130

4.5.2	Bemessung im Bereich des Schrägdaches.....	133
4.5.2.1	Schnittkräfte Träger 1	133
4.5.2.2	Querschnitt Träger 1	134
4.5.2.3	Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	135
4.5.2.4	Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.....	138
4.5.2.5	Schnittkräfte Träger 2	140
4.5.2.6	Querschnitt Träger 2.....	141
4.5.2.7	Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	142
4.5.2.8	Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.....	144
4.5.3	Bemessung des Rahmenriegels.....	145
4.5.3.1	Schnittkräfte Rahmenriegel	145
4.5.3.2	Querschnitt Riegel	146
4.5.3.3	Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	147
4.5.3.4	Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.....	149
4.5.4	Bemessung des Deckenbalkens	150
4.5.4.1	Schnittkräfte Deckenbalken.....	150
4.5.4.2	Querschnitt Deckenbalken	151
4.5.4.3	Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	152
4.5.4.4	Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.....	155
4.5.5	Bemessung Stiel 1	156
4.5.5.1	Schnittkräfte Stiel 1	156
4.5.5.2	Querschnitt Stiel 1	157
4.5.5.3	Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit	158
4.5.5.4	Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.....	160
4.5.6	Bemessung Stiel 2	161
4.5.7	Schnittkräfte Stiel 2	161
4.5.7.1	Querschnitt Stiel 2	162
4.5.7.2	Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit	163
4.5.7.3	Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.....	165
4.5.7.4	Bemessung der Stütze	166
4.5.7.5	Schnittkräfte Stütze.....	166
4.5.7.6	Querschnitt Stütze.....	166
4.5.7.7	Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit	167
4.5.7.8	Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.....	168
4.5.8	Zusammenfassung der Ergebnisse	169

5 Bauphysikalische Berechnung

5.1	Wärmeschutz	171
5.1.1	Wärmeübertragung	171
5.1.2	Kennwerte	172
5.1.2.1	Wärmeleitfähigkeit λ	172
5.1.2.2	Wärmedurchgangskoeffizient U	172
5.1.2.3	Wärmedurchgangswiderstand.....	172
5.1.2.4	Wärmedurchlasswiderstand	173
5.2	Feuchteschutz.....	175
5.2.1	Kennwerte	175
5.2.1.1	Relative Luftfeuchtigkeit φ	175
5.2.1.2	Taupunkt bzw. Taupunkttemperatur.....	175
5.2.1.3	Diffusionswiderstandszahl μ	176
5.2.1.4	wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d	176
5.3	Bauteilberechnung.....	177
5.3.1	Schrägdach	177
5.3.1.1	Berechnung des U-Wertes	177

5.3.1.2	Feuchteberechnung	179
5.3.1.3	Abschätzung der Wasserdampfkondensation	181
5.3.1.4	Diagramm zur Abschätzung der Wasserdampfkondensation	181
5.3.2	Flachdach	183
5.3.2.1	Berechnung des U-Wertes	184
5.3.2.2	Feuchteberechnung	185
5.3.2.3	Abschätzung der Wasserdampfkondensation	187
5.3.3	Geschossdecke	188
5.3.3.1	Berechnung des U-Wertes	189
5.3.3.2	Trittschallschutz Geschossdecke	190
5.3.3.3	Berechnung des Standard Trittschallpegels	190

6 Detailausbildung

6.1	Verbindung Brettsperrholzplatte - Rahmen	194
6.1.1	Anschluss im Bereich des Flachdaches	194
6.1.1.1	Abstände	195
6.1.1.2	Lochleibungsfestigkeit $f_{h,0,k}$	196
6.1.1.3	Charakteristisches Fließmoment	197
6.1.1.4	Bemessungswert der Tragfähigkeit	197
6.1.1.5	Nachweis	199
6.1.1.6	Querzugnachweis für den Träger	199
6.1.2	Anschluss im Bereich des Schrägdachs	200
6.1.2.1	Berechnung der Bemessungswerte	201
6.1.2.2	Nachweis	202
6.1.2.3	Querzugnachweis für den Träger	202
6.2	Verbindung Deckenbalken - Träger	203
6.2.1	Abstände	204
6.2.2	Bemessungswert der Tragfähigkeit	204
6.2.2.1	Nachweis	205
6.2.3	Bemessung Bolzen	206
6.2.3.1	Nachweis	206
6.3	Bemessung Rahmeneck	206
6.3.1	Verbindung Stiel - Träger	206
6.3.2	Nachweis	207
6.3.2.1	zufolge der Schnittkräfte in 1-1	208
6.3.2.2	zufolge der Schnittkräfte in 2-2	208
6.3.3	Verbindung Träger Riegel	209
6.3.4	Nachweis	210
6.3.4.1	zufolge der Schnittkräfte in 1-1	210
6.3.4.2	zufolge der Schnittkräfte in 2-2	211
6.4	Montagestoß Riegel	211
6.4.1	Abstände	212
6.4.2	Bemessungswert der Tragfähigkeit auf Herausziehen	212

7 Schlussbetrachtung

Anhang

1 Literatur- und Quellenverzeichnis

Literaturverzeichnis.....	217
Normen.....	222
Technische Zulassung.....	222
Datenblätter.....	223
EDV -Programme.....	223

2 Abbildungsverzeichnis

Energiestrategie Europa und Österreich.....	225
Erneuerbare Energie.....	225
Photovoltaik.....	226
Anwendungsbeispiel.....	228
Bauphysikalische Berechnung.....	229
Detailausbildung.....	229

3 Tabellenverzeichnis

Energiestrategie Europa und Österreich.....	231
Erneuerbare Energie.....	231
Photovoltaik.....	231
Anwendungsbeispiel.....	231
Bauphysikalische Berechnung.....	233
Detailausbildung.....	233

4 CLT - Eingabedaten

Geschossdecke.....	235
Schrägdach.....	242
Flachdach.....	249

5 RSTAB - Eingabedaten

Rahmenberechnung.....	257
-----------------------	-----

6 technische Datenblätter

PRODUKTDATENBLATT 1343 Evalon® V Solar.....	263
EVALON® SOLAR; Multifunktionale Dachbahnen.....	265
SOLARSTROMMODUL PVT-2xx MAE-C.....	266

Energiestrategie Europa und Österreich

1.1) Einsatz von erneuerbarer Energie

Der Einsatz von erneuerbarer Energie wird in Zukunft immer wichtiger werden. Neben den Aspekten des Klimaschutzes und der CO₂-Reduzierung stellt die Abhängigkeit von Energieimporten ein immer größer werdendes Problem dar. In Zukunft soll ein nachhaltiges Energiesystem entwickelt werden.

1.2) Klimaschutz

Ziel ist es, einen Teil der fossilen Energieträger in der nahen Zukunft durch erneuerbare Energie zu ersetzen. Der Verbrauch von fossilen Brennstoffen an einem Tag ist derzeit höher als die Erde in 1000 Jahren erzeugt hat, das heißt, momentan wird an einem Tag mehr Kohlenstoffdioxid freigesetzt als innerhalb von 1000 Jahren aus der Atmosphäre gebunden wurde.

Der Anstieg von CO₂ in der Atmosphäre ist zu 80% auf die Industriestaaten zurückzuführen. Der Kohlenstoffdioxid-Anteil der Luft lag vor der Industrialisierung bei 0,028%, liegt momentan bei etwa 0,037% und soll in weniger als 50 Jahren einen Wert von 0,060% erreichen.

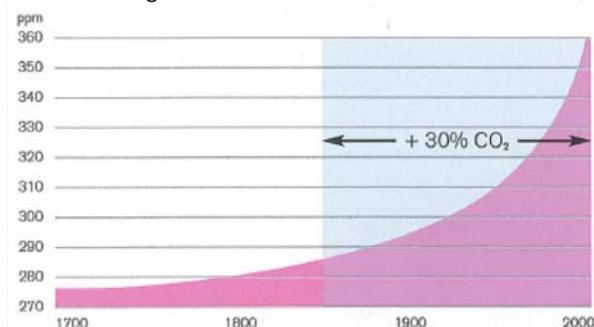


Abb. 1.1: Zunahme der Kohlenstoffdioxid-Konzentration [70]

Aufgrund des CO₂-Anstieges sagen Klimaforscher einen Temperaturanstieg von 1,5 °C bis 4,5°C in den nächsten 100 Jahren voraus. In manchen Gebieten kann es sogar um bis zu 7 °C wärmer werden. (vgl. [42],[43])

Dieser Temperaturanstieg wird durch den Treibhauseffekt verursacht. Man unterscheidet den natürlichen und den anthropogenen Treibhauseffekt. Beim natürlichen Treibhauseffekt treffen die kurzwelligeren Strahlen der Sonne auf die Erdoberfläche und erwärmen diese. Die kurzwellige Strahlung wird beim Auftreffen in langwellige Wärmestrahlung umgewandelt und reflektiert. Die langwellige Wärmestrahlung kann jedoch aufgrund der Treibhausgase die Atmosphäre nicht ungehindert verlassen und wird wieder auf die Erdoberfläche zurück-

geworfen. Treibhausgase sind Wasserdampf (H₂O), Kohlenstoffdioxid (CO₂), Ozon (O₃), Lachgas (N₂O) und Methan (CH₄). Kohlenstoffdioxid ist hauptverantwortlich für den anthropogenen Treibhauseffekt. Da der CO₂-Anteil der Atmosphäre immer höher wird, wird der natürliche Treibhauseffekt verstärkt. Immer mehr Wärmestrahlung kann nicht entweichen und wird zur Erdoberfläche zurückreflektiert. Dadurch kommt es zu einer verstärkten Erwärmung der Erde. Veränderungen des Klimas sind jetzt bereits schon bemerkbar. Allein in den letzten 30 Jahren hat sich die bodennahe Atmosphäre um 0,6 °C erwärmt. (vgl. [43])

Die Auswirkungen der Klimaänderungen sind vielfältig, die globalen Folgen sind:

-) Temperaturanstieg
-) Ernteausfälle
-) Naturkatastrophen wie:
 - Überschwemmungen, Wirbelstürme, Dürren, Lawinen, Muren
-) Bodenerosion
-) Anstieg des Meeresspiegels
-) Rückgang der Gletscher
-) Die Lebensumstände für Menschen, Tiere und Pflanzen verändern sich

(vgl. [33], [70])

Eine Reduktion von CO₂ in der Atmosphäre ist nötig, um den Temperaturanstieg zu verringern.

1.3) Energieimporte

Die Abhängigkeit der EU-Staaten von Energieimporten wird immer größer. Derzeit betragen die Energieimporte bezogen auf den EU-Gesamtenergieverbrauch 50% und werden voraussichtlich bis zum Jahr 2030 auf 65% ansteigen. Gasimporte werden von 57% auf 84%, und Ölimporte von 82% auf 93% bis zum Jahr 2030 ansteigen (vgl. Tab. 1.1). Weiters sind bereits jetzt einige Mitgliedsstaaten beinahe zur Gänze von einem einzigen Gaslieferanten abhängig. Der ständige Preisanstieg auf den Energiemärkten stellt ein weiteres Problem dar. Im Falle einer Energiekrise würden dadurch große Probleme entstehen. Ein zusätzliches Problem stellt die Energieabhängigkeit der EU-Mitgliedsstaaten untereinander dar. Um diese Abhängigkeiten zu reduzieren, muss eine neue Energiepolitik für Europa verwirklicht werden. (vgl. [48] S.3,4)

1.4) Vorräte an fossilen Energieträgern

Ein weiteres Argument für erneuerbare Energien ist, dass die Vorräte der fossilen Energieträger in naher Zukunft zu Ende gehen werden. Die Reserven der unterschiedlichen Energiequellen sind neben der Importabhängigkeit in den Jahren 2005 und 2030 in Tabelle 1.1 dargestellt.

Energiequelle	EU-27 Importabhängigkeit [%]		Nachgewiesene Reserven
	2005	2030	Jahre
Erdgas	57	84	64
Öl	82	93	42
Kohle	39	59	155
Kernkraft	fast 100 für Uranerz	fast 100 für Uranerz	85

Tab.1.1: Importabhängigkeit und vorhandene Reserven (vgl. [48] S.32)

1.5) Energiepolitik in Europa

Um eine wettbewerbsfähige, sichere und nachhaltige Energie anbieten zu können, muss die EU handeln. Die europäische Energiepolitik beschäftigt sich mit drei wesentlichen Punkten:

-) Bekämpfung des Klimawandels
-) Verringerung der Abhängigkeit von importierten Kohlenwasserstoffen
-) Förderung von Beschäftigung und Wachstum

(vgl. [48] S. 5)

Im Klima- und Energiepaket der EU, welches im Dezember 2008 vom EU-Parlament ratifiziert wurde, legte man drei wichtige Ziele fest.

1) 20% Erneuerbare Energie bis 2020

Als Gesamtziel gilt, dass mindestens 20% des Gesamtenergieverbrauchs der EU durch erneuerbare Energie bereitgestellt wird. Um dieses zu erreichen, wurden unterschiedliche nationale Ziele festgelegt, siehe Tabelle 1.2. (vgl. [56] Artikel 3, Anhang I; [6] S.6). Die Ziele wurden durch den Anteil der erneuerbaren Energie am Bruttoendenergieverbrauch des Jahres 2005 festgelegt.

Unter Bruttoendenergieverbrauch versteht man gemäß RICHTLINIE 2009/28/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES:

„Energieprodukte, die der Industrie, dem Verkehrssektor, Haushalten, dem Dienstleistungssektor einschließlich des Sektors der öffentlichen Dienstleistungen sowie der Land-, Forst- und Fischereiwirtschaft zu energetischen Zwecken geliefert werden, einschließlich des durch die Energiewirtschaft für die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung entstehenden Elektrizitäts- und Wärmeverbrauchs und einschließlich der bei der Verteilung und Übertragung auftretenden Elektrizitäts- und Wärmeverluste.“ (vgl. [56] Artikel 2)

Des Weiteren verpflichten sich alle Mitgliedstaaten, dass bis 2020 10% des Energieverbrauchs im Verkehrssektor durch Energie aus erneuerbaren Quellen bereitgestellt werden.

(vgl. [56] Artikel 3)

2) 20% Einsparung des Energieverbrauchs bis 2020

Um dieses Ziel erreichen zu können, sind Verhaltensänderungen und Investitionen notwendig. (vgl. [6] S. 6)

3) Reduzierung der CO₂-Emissionen um 20% bis 2020

80% der Treibhausgasemissionen sind in der EU auf Energie zurückzuführen. Durch die Senkung der Emissionen soll der Temperaturanstieg auf 2°C gegenüber dem vorindustriellen Niveau begrenzt werden. (vgl. [48] S.3,[6] S. 6)

	Anteil von Energie aus erneuerbaren Quellen am Bruttoendenergieverbrauch 2005	Zielwert für den Anteil von Energie aus erneuerbaren Quellen am Bruttoendenergieverbrauch im Jahr 2020
Belgien	2,2%	13%
Bulgarien	9,4%	16%
Tschechische Republik	6,1%	13%
Dänemark	17,0%	30%
Deutschland	5,8%	18%
Estland	18,0%	25%
Irland	3,1%	16%
Griechenland	6,9%	18%
Spanien	8,7%	20%
Frankreich	10,3%	23%
Italien	5,2%	17%
Zypern	2,9%	13%
Lettland	32,6%	40%
Litauen	15,0%	23%
Luxemburg	0,9%	11%
Ungarn	4,3%	13%
Malta	0,0%	10%
Niederlande	2,4%	14%
Österreich	23,3%	34%
Polen	7,2%	15%
Portugal	20,5%	31%
Rumänien	17,8%	24%
Slowenien	16,0%	25%
Slowakische Republik	6,7%	14%
Finnland	28,5%	38%
Schweden	39,8%	49%
Vereinigtes Königreich	1,3%	15%

Tab.1.2: nationale Gesamtziele, Anteil von Energie aus erneuerbaren Quellen am Endenergieverbrauch 2020 (vgl. [56])

1.6) Energiestrategie Österreich

Ziel Österreichs ist eine nachhaltige Energieversorgung sicherzustellen und die EU-Vorgaben umzusetzen. Um die Versorgungssicherheit gewährleisten zu können und die Importe von fossiler Energie zu reduzieren, wird auf erneuerbare Energieträger, inländische Energieversorgung, Energiesparen sowie Energieforschung und neue Energietechnologien gesetzt. Folgende Rahmenpunkte wurden in der österreichischen Energiestrategie festgelegt:

-) Versorgungssicherheit
-) Umweltverträglichkeit
-) Kosteneffizienz
-) Energieeffizienz
-) Sozialverträglichkeit
-) Wettbewerbsfähigkeit

(vgl. [8] S.2)

Österreich ist im Rahmen des Klima- und Energiepakets der Europäischen Union verpflichtet, den Anteil von erneuerbaren Energieträgern auf 34%, bezogen auf den Bruttoendenergieverbrauch, bis 2020 zu erhöhen und die Treibhausgasemissionen die nicht dem Emissionshandel unterliegen, um 16% bis 2020 zu verringern (Basis 2005).

Weitere internationale Ziele sind, den Anteil an erneuerbaren Energiequellen im Verkehrssektor auf 10% zu erhöhen. Dieses Ziel soll durch den Einsatz von biogenen Treibstoffen und Elektromobilität verwirklicht werden. Für die dem EU-Emissionshandel unterliegenden Sektoren wird eine EU-weite Verringerung der Treibhausgase um 21% gegenüber 2005 angestrebt. Ein weiteres Ziel, stellt die Erhöhung der Energieeffizienz auf 20% bis 2020 in allen Bereichen des Energieverbrauchs dar.

Stabilisierung des Endenergieverbrauchs

Der Energieverbrauch steigt ständig an. Als Ziel gilt hier den Energieverbrauch auf Basis des Jahres 2005 bis 2020 zu stabilisieren. Das bedeutet, dass der Endverbrauch im Jahr 2020 bei 1.100 PJ liegen soll. Im Jahr 2005 lag der Endenergieverbrauch bei 1.106 PJ. (vgl. [7] S.3,6; [8] S.3,4)

Die Energiepolitik Österreichs ist auf drei Strategiesäulen aufgebaut.



Abb.1.2: Strategiesäulen (vgl. [9] S.31)

1 Steigerung der Energieeffizienz

Die Steigerung der Energieeffizienz soll durch unterschiedliche Maßnahmen erreicht werden. Bei Gebäuden soll der Wärme- und Kühlbedarf verringert werden und als Baustandard sollen Fast-Null-Energiehäuser gelten. Durch Energieberatung und Energiemanagementsysteme soll der Energieverbrauch von Haushalten und Betrieben verringert werden. Als Schwerpunkte gelten hier, der Stromverbrauch und die Nutzung der Abwärme. Als eine weitere Maßnahme gelten die effiziente Mobilität, sowie ein effizienter Primärenergieeinsatz und die Abwärmee-nutzung bei energieintensiven Unternehmen, der Energiewirtschaft, Haushalten und Gewerbebetrieben. (vgl. [7] S.4)

2 Ausbau erneuerbarer Energien

Durch den Ausbau der erneuerbaren Energien werden die Eigenversorgung und die Versorgungssicherheit erhöht. Weiters können durch den Ausbau die Wettbewerbsfähigkeit erhöht werden, Arbeitsplätze geschaffen und die energie- und klimapolitischen Ziele erreicht werden. Bei der Stromerzeugung spielen die vorhandenen Potenziale von Wasserkraft, Windkraft, Biomasse und Photovoltaik eine große Rolle. Die Raumwärme soll in Zukunft mit Hilfe von regionalen Konzepten durch Biomasse, Abwärme und KWK in Form von Fernwärme oder Einzelheizungen auf Basis von Solarthermie, Biomasse oder Umgebungswärme bereitgestellt werden. Die von der EU geforderten 10% erneuerbare Energie im Verkehrssektor sollen durch Biotreibstoffe und E-Mobilität realisiert werden. (vgl. [7] S.4)

3 Sicherstellung der Energieversorgung

Wichtig sind hier ein geringer Energieverbrauch, die Nutzung und der Ausbau von Energieressourcen, die Sicherstellung von notwendigen Importen und eine vorhandene Infrastruktur für Transport und Speicherung. (vgl. [7] S.5)

Die Ziele der österreichischen Energiestrategie, basierend auf den drei Strategiesäulen, sollen durch folgende Maßnahmen in den kommenden Jahren realisiert werden.

Die Maßnahmen werden in folgende Bereiche unterteilt:

-)Übergreifende Maßnahmen
-)Gebäude
-)Mobilität
-)Produktion & Dienstleistungen in Industrie und Gewerbe & Kleinverbrauch
-)Energiebereitstellung
-)Energieversorgungssicherheit

(vgl. [9] S.36)

Zu den übergreifenden Maßnahmen zählen:

-) Energieeffizienzpaket
-) Klimaschutzgesetz
-) Screening der Förderinstrumente
-) Ökologische Steuerreform
-) Energieraumplanung
-) Forcierung der österreichischen Energietechnologieentwicklung sowie der europäischen und internationalen Kooperationen
-) Initiativen für Forschung, Technologie und Innovation
-) Bewusstseinsbildung, Bildung, Aufbau von Humankapital

(vgl. [9] S. 42-51)

Die Maßnahmen im Gebäudebereich sind:

-) Weiterentwicklung der rechtlichen Vorgaben im Gebäudebereich
-) Weiterentwicklung der Förderkriterien und -instrumente im Gebäudebereich
-) Steuerliche Anreize für die thermisch energetische Sanierung im Rahmen eines eigenständigen Absetzbetrages
-) Maßnahme für einen forcierten Einsatz von Solarthermie, Wärmepumpen und Biomasseheizungsanlagen in Gebäuden und Betrieben
-) Begleitende Maßnahmen zur Steigerung des Qualitätsmanagements, Forcierung von Contracting und Energy-Service-Companies

(vgl. [9] S. 52-60)

Maßnahmen für Produktion & Dienstleistungen in Industrie und Gewerbe & Kleinverbrauch sind:

-) Energieberatung für KMU und Haushalte; Einführung von Energiemanagementsystemen und Energiekonzepten
-) Energieeffizienz in Gewerbe und Produktion durch Standards und steuerliche Anreize
-) Ökologisierung der öffentlichen Beschaffung
-) Beschleunigung der Einführung energieeffizienter Geräte im Haushalt
-) Forcierung des Einsatzes von hocheffizienten Informations- und Kommunikationstechnologien

(vgl. [9] S. 61-66)

Maßnahmen, die die Mobilität betreffen sind:

-) Erstellung eines Mobilitätskonzeptes des Bundes und der Länder
-) Neuorientierung der Verkehrs- und Raumplanung sowie Neuordnung der Rahmenbedingungen für den ruhenden Verkehr

-) Ausbau und Vernetzung von öffentlichem Verkehr und kombinierten Systemen für den Personenverkehr
-) Erhöhung des Anteils energieeffizienter und umweltfreundlicher Transportmodi im Güterverkehr
-) Mobilitätsmanagement
-) Steuerliche Anreize für eine energieeffiziente Mobilität
-) Forcierung der schrittweisen, flächendeckenden Einführung von Elektromobilität in Österreich
-) Umsetzung der EU-Erneuerbaren-Richtlinie zur Erhöhung des Anteils von erneuerbaren Energieträgern im Verkehrssektor auf 10 Prozent
-) Förderung von Fahrzeugen mit emissionsarmen und energieeffizienten Antrieben in Flotten von Unternehmen, Gebietskörperschaften und von privaten Fahrzeughaltern

(vgl. [9] S. 67-78)

Die Energiebereitstellung kann durch folgende Maßnahmen gesichert werden:

-) Strom aus Wasserkraft
-) Ökostromgesetz
-) Andere Erneuerbare für Strom
-) Die Mobilisierung von Biomasse und der Einsatz in Nah- und Fernwärmenetzen (inkl. Mikronetzen)
-) Einsatz von Biomethan in allen Anwendungssegmenten durch Schaffung nachfrageseitiger Instrumente
-) Förderung von Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)
-) Diversifizierung des Energieträgereinsatzes und Fuel-Switch bei konventionellen Kraftwerken sowie Carbon Capture and Storage (CCS)
-) Energieraumplanung in der Wärmeversorgung

(vgl. [9] S. 79-90)

Maßnahmen zur Energieversorgungssicherheit:

-) Ausbau der österreichischen Übertragungs- und Verteilernetze
-) Fernwärme- und Fernkälteausbau
-) Verfügbarkeit von konventionellen Energieträgern sicherstellen
-) Ausbau und Absicherung der Speicherkraftwerke zur Integration der erneuerbaren Energien („umweltfreundliche Stromspeicher“)
-) Bessere Planung der Pelletsversorgung für den Ausbau der Biomassennutzung im Raumwärmebereich
-) Entwicklung von Smart Grids in Österreich
-) Smart-Metering (vgl. [9] S. 91-96)

Vor allem die Maßnahmen im Gebäudebereich sind notwendig, um die vorgegebenen Ziele erreichen zu können. Ziel ist eine Verringerung des Endenergieverbrauchs um 10% bis 2020. In der EU-Richtlinie „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“ ist vorgesehen, dass bis 2020 Neubauten als „Fast-Nullenergiegebäude“ realisiert werden. Fast-Nullenergiegebäude können durch einen sehr niedrigen Energieverbrauch und durch den Einsatz von erneuerbaren Energien verwirklicht werden. Neben Neubauten muss die Anzahl der durchgeführten Sanierungen steigen. (vgl. [9] S.52-60, [7] S.8-10)

Bei der Sanierung oder dem Neubau von Nichtwohngebäuden müssen die Anforderungen an die Qualität ebenso verbessert werden.

Durch die gesetzten Ziele werden erneuerbare Energieträger, im Gebäudebereich, in Zukunft immer häufiger eingesetzt werden.

Neben der Bereitstellung von Wärme, spielt auch die Stromerzeugung durch erneuerbare Energie eine wichtige Rolle. Neben dem weiteren Ausbau von Windkraft, Wasserkraft und Bioenergie liegt ein großes Potenzial in der Photovoltaik. Bis 2020 ist ein Ausbau der Photovoltaik auf 7 - 11 PJ möglich. Um das Ziel von 11 PJ erreichen zu können, ist es notwendig jährlich 254 MW zu installieren. (vgl. [6] S.40)

In Kapitel 2 wird deshalb ein Überblick über die unterschiedlichen Formen von erneuerbarer Energie gegeben. Die Photovoltaik wird in Kapitel 3 gesondert betrachtet.

Erneuerbare Energie

2.1) Energie

Unter Energie versteht man die Fähigkeit eines Systems, Arbeit zu verrichten. Man unterscheidet mechanische, thermische, elektrische, chemische Energie, Kernenergie und Strahlungsenergie. Die Arbeitsfähigkeit äußert sich in Kraft, Wärme und Licht. Die chemische Energie sowie die Kern- und Strahlungsenergie wird zuerst in mechanische und thermische Energie umgewandelt. Angegeben wird die Energie in Joule.

$$1\text{ J} = 1\text{ Ws} = 1\text{ Nm} = 1\text{ kg}\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Elektrische Energie wird in Kilowattstunden (kWh) angegeben. (vgl.[40] S.2, [68] S.2)

2.2) Energieträger

Energieträger sind Stoffe, die direkt oder durch Umwandlung End- bzw. Nutzenergie liefern. Die Unterteilung erfolgt nach dem Grad der Umwandlung in Primär-, Sekundär- und Endenergieträger.

2.2.1) Primärenergieträger

Als Primärenergieträger werden Stoffe bezeichnet, die noch keiner Umwandlung unterzogen wurden.

Primärenergie: z.B. Windkraft, Solarstrahlung

Primärenergieträger: z.B. Steinkohle, Erdöl, Biomasse

Primärenergie bzw. Primärenergieträger werden direkt oder durch eine oder mehrere Umwandlungen zu Sekundärenergie oder Sekundärenergieträgern.

2.2.2) Sekundärenergieträger

Sekundärenergieträger sowie Sekundärenergie werden direkt oder durch Umwandlungen von Primärenergieträgern oder anderen Sekundärenergieträgern gewonnen.

Sekundärenergieträger bzw. -energien: z.B. Heizöl, elektrische Energie

Sekundärenergieträger bzw. Sekundärenergien werden durch Umwandlung zu anderen Sekundärenergien bzw. Sekundärenergieträgern oder zu Endenergieträgern bzw. -energien.

2.2.3) Endenergieträger

Endenergieträger sind Energieträger, die vom Endverbraucher bezogen werden.

Ebenso wird die Endenergie (Energieinhalt der Endenergieträger bzw. Energieinhalt der Energieströme) von Endverbrauchern genutzt. Sie entsteht aus Sekundär- oder Primärenergieträgern bzw. -energien.

Endenergieträger bzw. Endenergie: z.B. Heizöl im Öltank, Hackschnitzel bei der Feuerungsanlage.

Bei der Umwandlung von Primärenergie zu Endenergie bzw. von Primärenergie zu Sekundärenergie und weiter zu Endenergie entstehen Verluste:

-) Umwandlungsverluste
-) Verteilungsverluste
-) Eigenbedarf
-) nicht-energetischer Verbrauch

2.2.4) Nutzenergie

Die Nutzenergie ist jene Energie, welche nach der letzten Umwandlung beim Endverbraucher für vielseitige Bedürfnisse zur Verfügung steht. Nutzenergie wird z.B. für Wärme, Licht, usw. verwendet. Durch diese letzte Umwandlung entstehen weitere Verluste.

2.2.5) Fossil biogene, fossil mineralische und erneuerbare Energieträger

Weiters unterscheidet man zwischen fossil biogenen, fossil mineralischen und erneuerbaren Energien bzw. Energieträgern:

-) Fossil biogene Energieträger:

Unter fossil biogenen Energievorräten versteht man flüssige und gasförmige Kohlenwasserstoffe sowie Kohle. Wobei z.B. Braunkohle als Primär- und Benzin als Sekundärenergieträger gilt.

-) Fossil mineralische Energieträger:

Von fossil mineralischen Energieträgern spricht man bei Stoffen, die durch Kernspaltung oder Kernverschmelzung Energie freisetzen. Zu diesen Stoffen zählt unter anderem Uran.

-) Erneuerbare Energie:

Darunter werden Primärenergien verstanden, die als unendlich anzusehen sind.

Im weitesten Sinn versteht man darunter:

-) Wasserkraft
-) Windkraft
-) Solarenergie
-) Geothermie
-) Biomasse

(vgl. [40] S. 2-4)

2.3) Erneuerbare Energie

2.3.1) Wasserkraft

2.3.1.1) Geschichte

Am Beginn der Wasserkraftnutzung steht das Wasserrad. Mit Hilfe des Wasserrades wurden unter anderem Schöpfwerke, Mühlsteine, Hammerwerke und Sägen betrieben. Wassergetriebene Schöpfwerke können bis in das 3. Jahrhundert vor Christus zurück verfolgt werden. Beschreibungen nach wurde ein Schöpfwerk mit Hilfe eines unterschlächtigen Wasserrades betrieben. Durch unterschlächtige Wasserräder wurden auch Mühlsteine betrieben. Etwa im 5. Jahrhundert nach Christus traten overschlächtige Wasserräder auf. Bei diesen Wasserrädern gelangt das Wasser am Scheitel in Zellen, nach einer Vierteldrehung verlässt das Wasser wieder das Rad. In Mitteleuropa gab es die ersten wasserbetriebenen Mühlen im 9. Jahrhundert. Zuerst wurden sie nur zum Mahlen von Getreide und zum Heben von Lasten eingesetzt. Später wurden sie auch zum Hämmern, Walken, Sägen usw. eingesetzt. Durch das Wasserrad wird die Lageenergie des Wassers in Bewegungsenergie umgewandelt.

Nach dem Ende des 2. Weltkrieges verschwanden die Wasserräder immer mehr. Entscheidend für die Wasserkraftnutzung war die Erfindung der Wasserturbinen. Im Jahr 1849 wurde vom Engländer Francis eine Überdruckturbine, die Francisturbine entwickelt. Die Peltonturbine wurde vom Amerikaner Pelton 1890 und die Kaplan turbine vom Österreicher Kaplan 1913 entwickelt. Bei der Erzeugung von Strom aus Wasserkraft wurden zunächst die Wasserräder weiter verwendet. Diese trieben Generatoren an, welche die Drehung des Rades in elektrischen Strom umwandelten. Später wurden sie durch Turbinen ersetzt. (vgl. [68] S. 403,404)



Abb. 2.1: Wassermühlen; Abbildung links: © Verbund [63]

2.3.1.2) Wasser

Wasser ist auf der Erde in fester, flüssiger oder gasförmiger Form vorhanden. Die Nutzung des Wassers als erneuerbare Energie ist durch den Wasserkreislauf möglich. Durch die Sonneneinstrahlung verdunstet das Wasser auf der Erdoberfläche. Das verdunstete Wasser gelangt in die Atmosphäre und geht dann in Form von Niederschlägen (Regen, Schnee, Tau usw.) wieder nieder. (vgl. [40] S.79,80; [68] S.115,116)

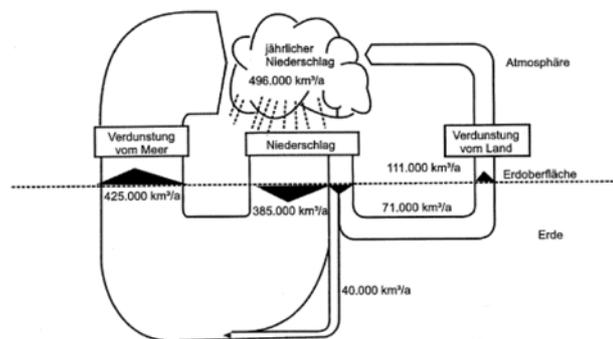


Abb. 2.2: Wasserkreislauf (vgl. [68] S.115)

2.3.1.3) physikalische Grundlage

Durch Wasserkraftanlagen wird die potentielle Energie des Wassers in elektrische Energie umgewandelt. Die theoretische Leistung des Wassers ergibt sich aus:

$$P_{w,th} = \rho_W g Q (h_{OW} - h_{UW})$$

- $P_{w,th}$ = theoretische Leistung des Wassers
 - ρ_W = Dichte des Wassers
 - Q = Durchflussmenge
 - g = Erdbeschleunigung
 - h_{OW}, h_{UW} = geodätische Höhe des Ober- bzw. Unterwassers
- (vgl. [40] S. 84, 347)

Die theoretische Leistung kann jedoch nicht zur Gänze genutzt werden, da es zu Verlusten in der gesamten Anlage kommt. Mit Hilfe von Beiwerten werden die Verluste ξ in der Berechnung berücksichtigt. Mit Hilfe der erweiterten Bernoulli - Gleichung kann dies veranschaulicht werden.

$$\frac{p}{\rho_W g} + h + \frac{v_W^2}{2g} + \Sigma h_v = const = H_0$$

$$\text{mit } h_v = \xi \frac{v_W^2}{2g}$$

- p = hydrostatische Druck
- ρ_W = Dichte des Wassers
- g = Erdbeschleunigung
- h = Fallhöhe
- v_W = Fließgeschwindigkeit
- h_v = Verlusthöhen

Stellt man nun die Energiebilanz zwischen zwei Punkten, die sich vor und nach der Wasserkraftanlage befinden, auf werden die Verluste durch entsprechende Terme berücksichtigt.

$$\frac{p_1}{\rho_{W,1}g} + h_1 + \frac{v_{W,1}^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho_{W,2}g} + h_2 + \frac{v_{W,2}^2}{2g} + \xi \frac{v_{W,2}^2}{2g} = \text{const}$$

p_1, p_2	=	hydrostatische Druck im Punkt 1 und 2
$\rho_{W,1}, \rho_{W,2}$	=	Dichte des Wassers
g	=	Erdbeschleunigung
h_1, h_2	=	geodätische Höhe im Punkt 1 und Punkt 2
v_{W1}, v_{W2}	=	Fließgeschwindigkeit im Punkt 1 und Punkt 2
ξ	=	Verlustbeiwert

(vgl. [40] S. 347)

Folgende Verluste können auftreten:

-) Einlaufverluste
-) Rechenverluste
-) Nischenverluste
-) Krümmerverluste
-) Verluste durch Verschlussorgane
-) Verluste durch Querschnittserweiterung bzw. -verengung
-) Verluste durch Verzweigungen der Rohrleitung
-) Ausflussverluste
-) Rohrreibungsverluste

(vgl. [40] S. 348,349; vgl. [32])

Die tatsächlich nutzbare Leistung des Wassers ergibt sich somit aus der theoretischen Leistung abzüglich aller Verluste.

$$P_{W,tat} = \rho_{Wg}Q[(h_{OW} - h_{UW}) - \Sigma h_v]$$

$P_{w,tat}$	=	tatsächliche Leistung des Wassers
ρ_W	=	Dichte des Wassers
Q	=	Durchflussmenge
g	=	Erdbeschleunigung
h_{ow}, h_{uw}	=	geodätische Höhe des Ober- bzw. Unterwassers
h_v	=	Verlusthöhen

(vgl. [40] S. 350,351)

2.3.1.4) Bauformen

Wasserkraftanlagen können in Hoch-, Mittel und Niederdruckanlagen unterschieden werden. Die Einteilung erfolgt durch die Fallhöhen. Zu den Niederdruckanlagen, deren Fallhöhe unter 15 m liegt, werden Flusskraftwerke und Ausleitungskraftwerke gezählt. Der Durchfluss ist bei diesen Anlagen relativ groß und die Speichermöglichkeit eher gering, was meist auf die Topographie zurückzuführen ist. Flusskraftwerke werden meist direkt in den Flusslauf gebaut.



Abb. 2.3: Flusskraftwerk; Abbildung: © BMLFUW 1998-2010 [5]

Das Stauwehr und das Krafthaus sind nebeneinander quer zur Fließrichtung des Flusses angeordnet. Eine weitere Unterteilung kann durch die Anordnung von Wehranlage, Krafthaus und Schleusen für die Schifffahrt getroffen werden. Man unterscheidet folgende Bauweisen:

Blockbauweise: die Anordnung von Krafthaus und Stauwehr erfolgt blockweise. Alle Maschinensätze werden in einem Krafthaus seitlich angeordnet.

Buchtenkraftwerke: das Krafthaus befindet sich in einer künstlich angelegten Bucht

Zwillingskraftwerke: bei dieser Bauweise wird das Kraftwerk zweigeteilt, das heißt es befindet sich je ein Krafthaus an jeder Uferseite.

Pfeilerkraftwerke: entlang der Anlagenachse, welche quer zur Fließrichtung liegt, wechseln sich Wehrfelder und Pfeiler, in welchen die Turbinen untergebracht sind ab.

überströmbare Bauweise: diese Kraftwerke bestehen aus einem Baukörper, welcher drei Aufgaben, die Unterbringung der Maschinensätze, die Stauhaltung und die Hochwasserentlastung übernimmt. Durch diese Bauweise lässt sich der Platzbedarf minimieren.

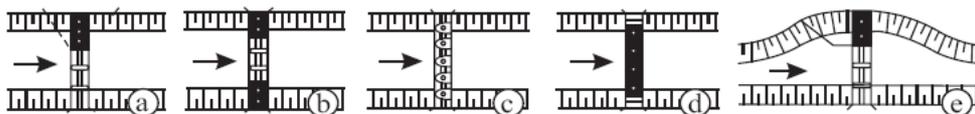


Abb. 2.4: Bauweisen: a) Blockbauweise, b) Zwillingsbauweise, c) Pfeilerkraftwerk, d) überströmbare Bauweise, e) Buchtenkraftwerk; (vgl. [27] S.104)



Abb. 2.5: Laufkraftwerk Freudenau Abbildung: © Verbund [63]

Ausleitungskraftwerke stellen eine Sonderform der Flusskraftwerke dar. Nach der Stauanlage verbleibt nur der Mindestwasserabfluss im Flusslauf zurück. Die zur Energieerzeugung genutzte Durchflussmenge wird über einen Triebwasserweg dem Krafthaus, welches außerhalb des Flussbettes situiert ist, zugeführt. Die zur Energiegewinnung verwendete Wassermenge wird nach dem Krafthaus wieder in das ursprüngliche Flussbett zurück geführt.

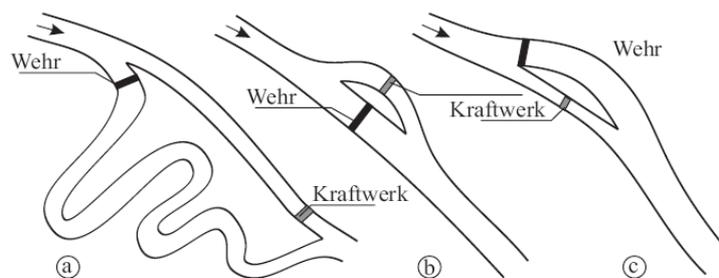


Abb. 2.6: Formen von Ausleitungskraftwerken: a) Kanalkraftwerk, b) Schleifenkraftwerk, c) Schlingenkraftwerk; (vgl. [27] S.109)

Von Mitteldruckanlagen spricht man bei einer Fallhöhe zwischen 15 m und 50 m. Diese Anlagen treten oft bei Speicherkraftwerken mit niedrigen Talsperren oder bei Laufkraftwerken mit höheren Wehren auf. Bei Mitteldruckanlagen wird das Wasser über ein Einlaufbauwerk mit Rechen und Schütz durch eine Triebwasserleitung zum Krafthaus, welches am Fuß der Sperre angeordnet ist, geleitet.

Bei Fallhöhen über 50 m spricht man von Hochdruckanlagen. Ein meist geringer Durchfluss wird mit Hilfe der großen Fallhöhe zur Energiegewinnung genutzt. (vgl. [27] S. 99-144)

Pumpspeicherkraftwerke zählen zu den Hochdruckanlagen. Um den Strombedarf in Spitzenzeiten abdecken zu können, werden mit überschüssig erzeugtem Strom Speicherpumpen betrieben, dadurch werden die Stauseen wieder gefüllt. Zu Spitzenzeiten fließt das zurückgepumpte Wasser wieder durch die Turbine um den Spitzenbedarf in der Versorgung abzudecken. Zwischen Ober- und Unterbecken findet ein Wälzbetrieb statt.

(vgl. [27] S. 114, 115; [61] S. 446)

Kleinwasserkraftanlagen

In Österreich werden Anlagen mit einer Leistung von weniger 10 MW als Kleinwasserkraftanlagen bezeichnet. 2008 gab es in Österreich 2600 anerkannte Kleinwasserkraftanlagen, die Engpassleistung betrug insgesamt 1.179,3 MW. Kleinwasserkraftwerke werden laut Einspeisetarifverordnung in vier Kategorien eingeteilt. Man unterscheidet bestehende Anlagen, neue Anlagen, revitalisierte Anlagen: 1) Revitalisierung > 50%, welche wie Neuanlagen einzustufen sind und 2) Revitalisierung > 15%. Ende 2008 gab es in Österreich 2.005 anerkannte bestehende, 276 anerkannte neue, 130 anerkannte neue aus Revitalisierung > 50% und 189 anerkannte revitalisierte Kleinwasserkraftanlagen. (vgl. [17] S. 55-66)

2.3.1.5) Bestandteile einer Wasserkraftanlage

-) Staubauwerk und Speicher

Durch das Staubauwerk wird das Wasser aufgestaut. Dadurch kann der kontrollierte Abfluss zum Krafthaus gewährleistet werden. Mit dem Staubauwerk wird der Wasserspiegel auf einem gewissen Niveau gehalten. Hochwasser müssen über das Staubauwerk abgeführt werden können. Es gibt unterschiedlichste Ausführungen von Staubauwerken darunter fallen alle

Varianten von Wehren, Dämmen und Staumauern.

Die Speicherung des Wassers in einem Stausee ist notwendig, um Schwankungen die durch den unterschiedlichen Bedarf an Strom und auch durch das vorhandene Wasserangebot entstehen können auszugleichen. Natürliche oder künstliche Seen werden als Tages- bis hin zu Mehrjahresspeicher genutzt. (vgl. [40] S. 358)

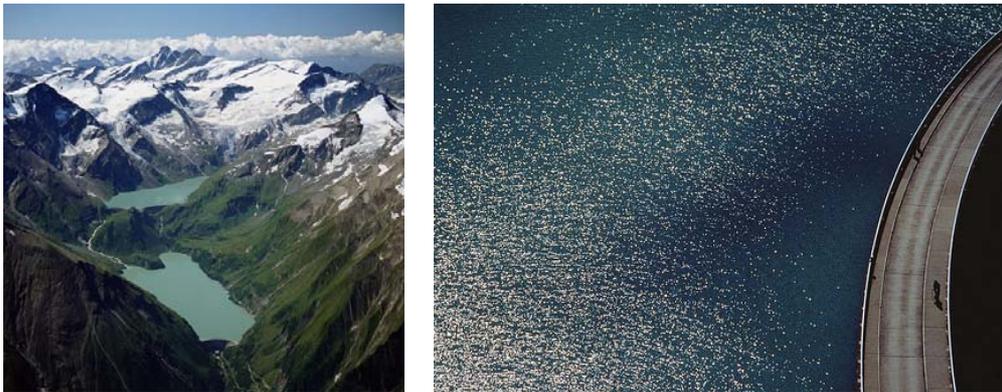


Abb. 2.7: links: Jahresspeicher Kaprun; rechts Wasserspeicher Abbildung: © Verbund [63]

-) Einlaufbauwerk

Über das Einlaufbauwerk wird das Wasser zur Turbine geleitet. Das Bauwerk ist mit einem Rechen, der das Treibgut fernhält sowie Verschlussorganen durch die die Wasserzufuhr zum Krafthaus unterbunden wird, um Reparatur und Wartungsarbeiten durchführen zu können, versehen. (vgl. [40] S. 360)

-) Triebwasser-/Druckrohrleitung

Das Triebwasser kann über einen Triebwasserkanal oder eine Druckrohrleitung zur Turbine gelangen. Dadurch werden größere Entfernungen überbrückt. Das Wasser kann über einen offenen Triebwasserkanal, einen Freispiegelstollen oder eine Druckrohrleitung geführt werden. Entlang des Triebwasserweges kommt es z.B. durch das Einlaufbauwerk zu Verlusten.

(vgl. [40] S. 360)

-) Krafthaus

Im Krafthaus befinden sich die Turbine, falls erforderlich das Getriebe, der Generator sowie Verschluss- und Regelorgane. (vgl. [40] S. 361)

-) Turbine

Man unterscheidet Gleichdruckturbinen wie die Peltonturbine und die Durchströmturbine, sowie Überdruckturbinen wie die Kaplan- und Francisturbine. Bei Gleichdruckturbinen ist der Druck vor und nach der Turbine gleich groß. Bei Überdruckturbinen ist der Druck beim Eintritt größer als beim Austritt.

Kaplanturbinen werden bei niedrigen Fallhöhen eingesetzt. Die Regulierung erfolgt über verstellbare Leit- und Laufschaufeln. Die Kaplanturbine hat eine vertikale Achse und wird radial angeströmt. Anlagen mit horizontalen Achsen zu denen die Propeller-, Rohr-, Hegelrad-, S- und Straflo-Turbinen gezählt werden, werden axial durchströmt.



Abb. 2.8: Kaplan-Turbine Abbildung: © Verbund [63]

Francisturbinen werden für Fallhöhen zwischen 40 m und 700 m angewandt. Sie bestehen aus einem Leit- und einem Laufrad. Das Wasser strömt radial in die Laufradschaufeln und axial wieder aus. Da die Laufradschaufeln nicht wie bei der Kaplanturbine verstellt werden können, werden zur Regelung des Triebwassers die Leitschaufeln verstellt.

Die Peltonturbine gehört zu den Gleichdruckturbinen und eignet sich für Fallhöhen zwischen 300 - 2000 m und bei stark schwankenden Zuflüssen. Das Laufrad wird tangential vom Wasser, welches durch Düsen geleitet wird angeströmt. Beim Austritt des Wassers aus den Düsen wird die Druckenergie in Geschwindigkeitsenergie umgewandelt, welche beim Aufprall auf die Schaufeln des Laufrades in mechanische Energie umgewandelt wird. Das Wasser gelangt dann in ein Auffangbecken unterhalb des Laufrades. Auch bei Kleinwasserkraftanlagen kann die Peltonturbine eingesetzt werden. Ab einer Fallhöhe von 30 m ist dies bereits möglich.



Abb. 2.9: Peltonturbine Abbildung: eurosolar.at/Kleinwasserkraft Österreich [23]

Durchströmturbinen finden ihre Anwendung oft in Kleinwasserkraftanlagen. Sie sind wie die Peltonturbinen für schwankende Zuflüsse geeignet. Das Wasser, das dem walzenförmigen Laufrad zugeführt wird, strömt von außen nach innen und vom Radinneren wieder nach außen. (vgl. [61] S. 448)

-) Getriebe und Generator

Durch das Getriebe wird die Drehzahl erhöht und es können genormte Generatoren verwendet werden. Die Umwandlung der mechanischen Energie in elektrische Energie erfolgt durch den Generator. (vgl. [40] S. 368,369)

-) Transformator

Mit Hilfe des Transformators kann die Spannung der erzeugten elektrischen Energie an die Netzspannung angepasst werden. (vgl. [40] S. 369)

2.3.1.6) Nutzung

Die potentielle Energie des Wassers wird zuerst in Druckenergie vor der Turbine umgewandelt. In der Turbine wird diese Energie durch die Drehbewegung in mechanische Energie umgewandelt. Falls erforderlich, kann durch ein Getriebe die Drehzahl an den Generator angepasst werden, welcher dann die mechanische Energie in elektrische Energie umwandelt. Während der Umwandlung von der potentiellen Energie des Wassers in elektrische Energie treten Verluste auf, wodurch sich die eigentlich zur Verfügung stehende Energie verringert. (vgl. [40] S. 370,371)

2.3.1.7) Wasserkraft in Österreich

Insgesamt bestand der Wasserkraftwerkspark in Österreich Ende 2008 aus 2.544 Anlagen inklusive der Kraftwerke, die eine Engpassleistung unter 1 MW haben und die keinem Kraftwerkstyp eindeutig zugeordnet werden können. Die Jahreserzeugung bei den Speicherkraftwerken betrug 12.454 GWh und bei den Laufkraftwerken 28.223 GWh. Insgesamt haben alle 2.544 Anlagen eine Engpassleistung von 12.381 MW und erzeugen jährlich 40.677 GWh Strom. Die Anzahl der Anlagen, die Engpassleistung und die jährliche Erzeugung in jeder Engpassleistungsklasse sind in Tab. 2.1 dargestellt.

Engpassleistungsklasse Einteilung in MW	Laufkraftwerke			Speicherkraftwerke			Wasserkraftwerke gesamt		
	Anzahl [Stk]	Engpassleistung [MW]	Jahreserzeugung [GWh]	Anzahl [Stk]	Engpassleistung [MW]	Jahreserzeugung [GWh]	Anzahl [Stk]	Engpassleistung [MW]	Jahreserzeugung [GWh]
bis 1	320	112	1.584	9	5	17	329	118	1.601
1 - 2,5	145	233	1.074	14	22	83	159	255	1.157
2,5 - 5	50	171	811	9	32	116	59	204	927
5 - 10	26	194	932	10	76	199	36	270	1.131
10 - 20	36	533	2.533	15	225	675	51	758	3.208
20 - 30	19	470	2.244	11	296	569	30	766	2.813
30 - 40	6	208	970	5	173	311	11	381	1.281
40 - 50	11	485	2.281	4	189	385	15	674	2.666
50 - 80	6	432	1.863	7	493	1.220	13	925	3.083
80-100	3	264	1.213	3	283	773	6	547	1.986
100-200	4	706	4.551	6	815	1.596	10	1.521	6.147
200-300	4	1.027	6.138	7	1.715	3.117	11	2.742	9.255
über 300	1	328	2.030	6	2.683	3.393	7	3.011	5.423
stat. Differenz							1.807	209	
Summe	631	5.164	28.223	106	7.008	12.454	2.544	12.381	40.677

Tab. 2.1: Anzahl, Engpassleistung und Jahreserzeugung der Wasserkraftwerke in Österreich 2008 vgl.[16]

Wie in Abb. 2.10 grafisch dargestellt, gab es Ende 2008 in Österreich insgesamt 613 Laufkraftwerke und 106 Speicherkraftwerke. Die meisten Laufkraftwerke, 320 Stück, gibt es in der Engpassleistungsklasse bis 1 MW. 15 Speicherkraftwerke befinden sich in der Engpassleistungsklasse von 10 MW bis 20 MW. Die wenigsten Anlagen gibt es in der Engpassleistungsklasse von 80 MW bis 100 MW, jeweils 3 Lauf- und Speicherkraftwerke. Die wenigsten Laufkraftwerke sind in der Engpassleistungsklasse über 300 MW zu finden.

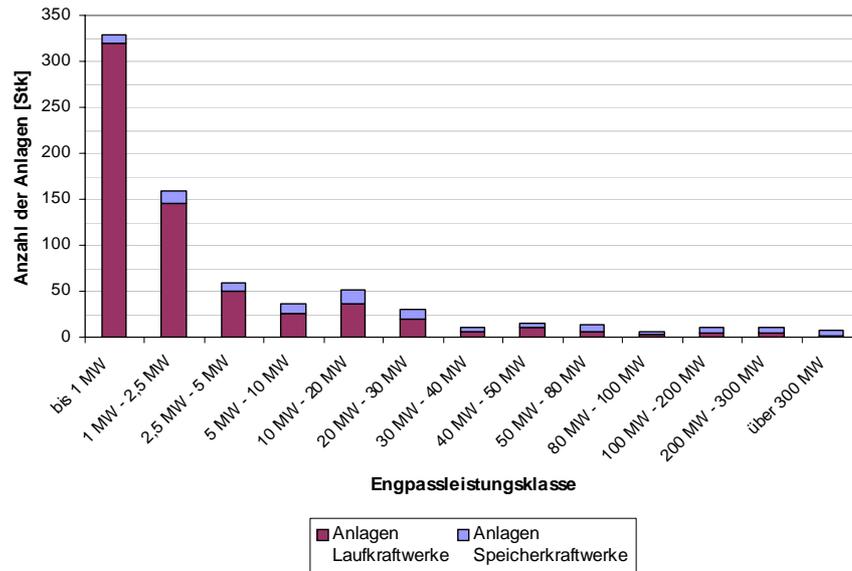


Abb. 2.10: Anzahl Laufkraftwerke und Speicherkraftwerke 2008 Datenquelle vgl. [16]

In Abb. 2.11 sind die Jahreserzeugung und die Engpassleistung in den unterschiedlichen Engpassleistungsklassen dargestellt. Insgesamt wurden Ende 2008 40.677 GWh Strom erzeugt. Die Anlagen haben gesamt eine Engpassleistung von 12.381 MW. Die Jahreserzeugung in der Leistungsklasse von 200 MW bis 300 MW betrug 9.255 GWh, in der Klasse von 2,5 MW bis 5 MW waren es 927 GWh. Die Engpassleistung der Anlagen unter 1 MW die keinem Kraftwerkstyp zugeordnet werden können liegt bei 290 MW, die Jahreserzeugung ist bereits in der Jahreserzeugung der anderen Kraftwerken enthalten.

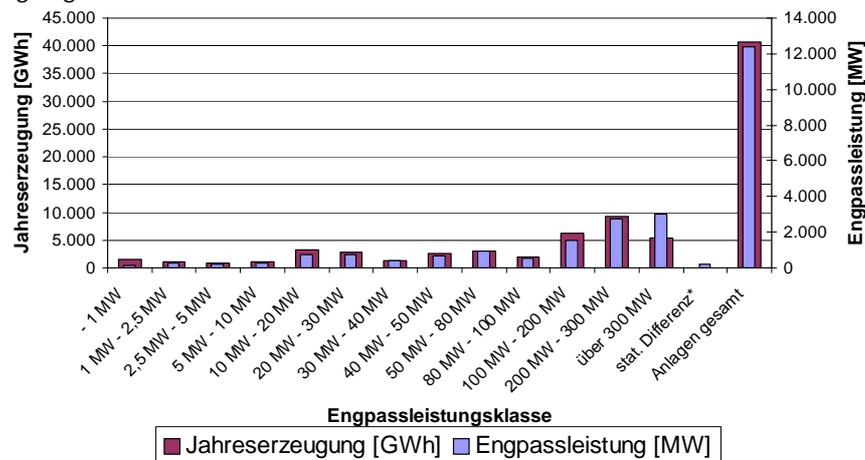


Abb. 2.11: Jahreserzeugung und Engpassleistung der gesamten Wasserkraftwerke 2008 vgl. [16]

2.3.2) Windkraft

2.3.2.1) Geschichte

Windenergie ist eine der ältesten Energieformen. Der Beginn der Nutzung der Windkraft, in Form von einfachen Windmühlen geht in den arabischen Raum zurück. Mit Hilfe von Windmühlen wurde mechanische Arbeit, wie das Mahlen von Getreide und das Pumpen von Wasser durchgeführt. Die ältesten Mühlen sind aus Persien (Getreidemühlen), Tibet (Gebetsmühlen) und China (zum Wasserpumpen) bekannt. In Europa sind Windmühlen seit dem 12. Jahrhundert bekannt. Windmühlen wurden auch zum Dreschen, Sägen sowie Hämmern eingesetzt. Windkraftanlagen entwickelten sich aus der Windmühlentechnik heraus. Die Windkraftnutzung zur Stromerzeugung begann knapp vor 1900 in Dänemark. Durch die Windkraft konnte die Elektrifizierung am Land gleich schnell oder sogar früher als in den Städten erfolgen. Die Windkraftanlagen wurden dann jedoch von Kohlekraftwerken verdrängt. Einen wahren Aufschwung erlebte die Windkraftnutzung erst mit der Energiekrise 1973/74. In Dänemark sollten nur noch Atomkraftwerke gebaut werden, um die Abhängigkeit von Erdöl zu reduzieren. Aufgrund dieser Tatsache wurden von einigen Personen eigene Energiekonzepte ausgearbeitet. 1976 entstand dann die erste netzgekoppelte Windkraftanlage (WKA). Anfangs lag die Größe bei 22 kW und 15 m Durchmesser. Der Durchbruch der Windkrafttechnologie erfolgte 1985 durch Steuerab-schreibungs-Regelungen in Kalifornien. Die Windkraft wurde zu einem lukrativen Geschäft für die Dänen, welche zum Massenproduzenten wurden. Als das Steuermodell ein-gestellt wurde, fand der Boom ein Ende. Die Anlagen hatten bis dorthin eine Größe von 125 kW bei einem Durchmesser von 20 m. Zeitgleich wurden in den USA und Deutschland, im Rahmen von staatlichen Förderprogrammen, Pilotanlagen mit einer Größe von bis zu 4500 kW und einem Rotordurchmesser von bis zu 120 m gebaut. Die Windkraftnutzung wurde in Dänemark in kleinerem Rahmen, unterstützt von der Politik, fortgesetzt. Die Windenergie wurde als heimische und umweltfreundliche Energieform anerkannt, was wiederum verschiedene Förderungen nach sich zog. Ende des Jahres 2000 wurden bereits 16% des dänischen Strombedarfs durch Windenergie gedeckt. In der Geschichte der Windkraft spielt auch Deutschland eine wichtige Rolle. 1991 wurde durch das Stromeinspeisungsgesetz Anlagenbetreibern ein wirtschaftlicher Einspeisetarif zugesichert. Heute ist Deutschland mit einer installierten Leistung von 25.777 MW Spitzenreiter. (vgl. [37], [38], [69])



Abb. 2.12: Windrad Podersdorf Abbildung: eurosolar.at/Ing. Martin Litschauer [23]

2.3.2.2) Wind

Windenergie ist Energie die indirekt aus Sonnenenergie entsteht. Durch verschiedene physikalische Vorgänge in der Atmosphäre wird das Wetter beeinflusst und dadurch Luftbewegungen hervorgerufen. Die unterschiedliche Erwärmung der Atmosphäre verursacht, dass durch

Temperatur- und Druckunterschiede die Luftmassen in Bewegung gebracht werden. Heiße Luft ist leichter und steigt auf. Es entsteht ein Tiefdruckgebiet an der Erdoberfläche, aus einer Hochdruckregion strömt Luft nach. Man unterscheidet globale Luftströmungen und Winde, sowie lokale Winde.

-) globale Winde

Die Sonneneinstrahlung ist im Bereich des Äquators am Höchsten. Dort steigt heiße und feuchte Luft auf und es entstehen Tiefdruckgebiete. Es strömt Luft von Norden und Süden nach und es entstehen Passate. Aufgrund der Corioliskräfte, die durch die Erdrotation hervorgerufen werden, werden Luftmassen bei der Bewegung nach Norden auf der nördlichen Hemisphäre ostwärts, bei Strömung nach Süden westwärts abgelenkt. Geostrophische Winde, das sind Luftströmungen in großer Höhe, wirken auf die Windverhältnisse in der Nähe der Erdoberfläche ein. Diese sind für Windkraftanlagen maßgebend.

-) Lokale Winde

Land-See-Winde entstehen durch die unterschiedlichen Eigenschaften der Oberflächen. Die Landfläche erwärmt sich schneller als die Wasseroberfläche. Dadurch steigen tagsüber Luftmassen auf, man spricht von Thermik, welche dann Winde vom See zum Land verursachen. Man spricht von Seewinden. In der Nacht kann das Wasser die Wärme länger speichern als die Erdoberfläche. Über dem See steigt die wärmere Luft auf und kältere Luft vom Land strömt nach, es entsteht eine Luftbewegung in Richtung des Wassers, sogenannte Landwinde.

Berg-Tal-Winde werden durch unterschiedliche Sonneneinstrahlung hervorgerufen. Am Morgen, bei Sonnenaufgang, erwärmen sich die Hänge und Gipfel stärker als das Tal. Die Talwinde bilden sich, wenn die aufsteigenden Luftmassen über den erwärmten Hängen und Gipfel durch Luftmassen aus dem Tal ersetzt werden. Bei Bergwinden verhält es sich genau umgekehrt. Die Luft über Hängen und Gipfel kühlt nach Sonnenuntergang schneller ab, als die Luft über dem Tal, wodurch die kühlere Luft der Hänge und Gipfel ins Tal strömt.

Die lokalen Windgeschwindigkeiten sind abhängig von der Erdoberfläche. Gebiete in der Nähe von Wasser und glatte Landflächen bieten bessere Verhältnisse für die Windenergienutzung als Gebiete mit Bäumen, Gebäuden und Erhebungen. (vgl. [31] S. 46-49)

2.3.2.3) physikalische Grundlage

Die strömenden Luftmassen welche kinetische Energie enthalten, werden für die Energiegewinnung durch Windkraftanlagen verwendet. Da sich die Wind- und Betriebsverhältnisse ständig ändern, wird meist die Leistung betrachtet. Die kinetische Leistung des Windes wird durch die Luftdichte, die Winddurchtrittsfläche (Rotorkreisfläche) und die Windgeschwindigkeit bestimmt.

$$P_{Wi} = \frac{1}{2} \rho_{Wi} A_R v_{Wi,1}^3$$

P_{Wi} = kinetische Leistung des Windes

ρ = Dichte

A_R = Rotorkreisfläche

$v_{Wi,1}$ = ungestörte Windgeschwindigkeit

Hieraus erkennt man deutlich, dass die Leistung von der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit abhängt.

Die durch den Rotor entzogene Leistung $P_{W_{i,ent}}$ ergibt sich aus der Windgeschwindigkeit weit vor und weit nach dem Rotor, der Rotorkreisfläche und der Luftdichte.

$$P_{W_{i,ent}} = \frac{1}{2} \rho_{Wi} \left(\frac{v_{Wi,1} + v_{Wi,2}}{2} \right)^2 A_R (v_{Wi,1}^2 - v_{Wi,2}^2)$$

- $P_{W_{i,ent}}$ = durch den Rotor entzogene Leistung
- ρ = Dichte
- A_R = Rotorkreisfläche
- $v_{Wi,1}$ = Windgeschwindigkeit weit vor dem Rotor
- $v_{Wi,2}$ = Windgeschwindigkeit weit nach dem Rotor

Um die nutzbare Leistung einer Windkraftanlage ermitteln zu können, muss ein theoretischer Leistungsbeiwert c_p eingeführt werden. Dieser Beiwert gibt das Verhältnis zwischen der entziehbaren Leistung $P_{W_{i,ent}}$ und der theoretischen maximalen Windleistung P_{Wi} an.

$$c_{p,th} = \frac{P_{W_{i,ent}}}{P_{Wi}} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{v_{Wi,2}}{v_{Wi,1}} \right) \left(1 - \frac{v_{Wi,2}^2}{v_{Wi,1}^2} \right)$$

- $c_{p,th}$ = theoretischer Leistungsbeiwert
- $P_{W_{i,ent}}$ = durch den Rotor entzogene Leistung
- P_{Wi} = kinetische Leistung des Windes
- $v_{Wi,1}$ = Windgeschwindigkeit weit vor dem Rotor
- $v_{Wi,2}$ = Windgeschwindigkeit weit nach dem Rotor

Für die Windkraftnutzung soll dem Wind so viel Leistung wie möglich entzogen werden. Die durch die Rotorebene strömenden Windmassen können jedoch dort nicht vollkommen abgebremst werden, sie müssen jedoch verringert werden, um die Leistung entziehen zu können. Beträgt die Windgeschwindigkeit nach dem Rotor $v_{Wi,2}$ ein Drittel der Windgeschwindigkeit vor dem Rotor $v_{Wi,1}$, so wird der theoretische Leistungsbeiwert $c_{p,th}$ maximal. Der maximale Leistungsbeiwert liegt bei $16/27$ bzw. bei $0,593$. Dies bedeutet, dass die theoretisch maximale Entnahmelistung bei 60% der theoretischen Windleistung liegt. 40% der theoretischen Windleistung sind nicht nutzbar. Diese Herleitung wurde von Albert Betz (1885 - 1968) erstmals im Jahr 1919 formuliert und wird als Betz'sches Gesetz oder Betz'sche Theorie bezeichnet. In erweiterten Theorien werden die Drallverluste berücksichtigt, welche bei niedrigen Schnelllaufzahlen die Leistung mindern. Die Schnelllaufzahl λ , ist als das Verhältnis der Geschwindigkeit der Rotorblattspitze v_u zur Windgeschwindigkeit in der Rotorebene $v_{Wi,Rot}$ definiert.

$$v_u = d_{Rot} \pi n$$

- v_u = Geschwindigkeit der Rotorblattspitze
- d_{Rot} = Rotordurchmesser
- n = Rotordrehzahl

$$\lambda = \frac{v_u}{v_{Wi, Rot}}$$

v_u	=	Geschwindigkeit der Rotorblattspitze
λ	=	Schnelllaufzahl
$v_{Wi, Rot}$	=	Windgeschwindigkeit in der Rotorebene

Der Leistungsbeiwert wird durch Strömungsverluste durch Drall und Reibung des Rotorblattes beeinflusst. Mechanische Verluste wie Lager- und Getriebereibung und Verluste im elektrischen Teil der Anlage fließen durch entsprechende Wirkungsgrade $\eta_{\text{mech.-elekt.}}$ in die Berechnung ein. Die nutzbare Leistung einer Windkraftanlage ergibt sich aus folgender Gleichung.

$$P_{WKA} = c_p \eta_{\text{mech.-elekt.}} P_{Wi}$$

P_{WKA}	=	nutzbare Leistung der Windkraftanlage
c_p	=	Leistungsbeiwert
$\eta_{\text{mech.-elekt.}}$	=	Wirkungsgrad mechanischer und elektrischer Anlagen
P_{Wi}	=	kinetische Leistung des Windes

Die Energieentnahme ist durch das Auftriebs- und Widerstandsprinzip möglich. Durch die Anströmung des Rotorflügels entsteht an der Unterseite des Flügels ein Überdruck, an der Oberseite ein Unterdruck, dies bewirkt den Auftrieb. Zuzug des Auftriebs, erfolgt die Drehung der Rotorflügel, wobei der Widerstand berücksichtigt werden muss. Am Rotorblatt wirkt die resultierende Anströmgeschwindigkeit v_{RES} , welche sich aus der Windgeschwindigkeit an der Turbine $v_{Wi, Rot}$ und der örtlichen Umfangsgeschwindigkeit bildet. Die resultierende Anströmgeschwindigkeit wirkt der Rotordrehgeschwindigkeit entgegen und steht in Abhängigkeit des Blattradius. Maximale Werte erreicht man an der Blattspitze, in Nabennähe sind die Werte klein. Die Auftriebskraft ist wesentlich größer als die Widerstandskraft. Beide Kräfte bilden gemeinsam die Kraft F_{AW} , deren Komponente in tangentialer Richtung die Drehung des Rotors hervorruft. Durch die axiale Komponente entsteht eine Belastung und Biegung der Rotorblätter und Schubkräfte am Turmkopf. (vgl. [40] S. 277-291, [31] S. 55-59)

2.3.2.4) Bauformen

-) Anlagen mit vertikalen Achsen

Zu diesen Anlagen zählt man Schalenkreuze, Savonius-Rotoren und Darrieus-Rotoren. Schalenkreuze werden als Messsysteme für Windgeschwindigkeiten verwendet. Der Savonius-Rotor wurde vom Finnen Sigurd Johannes Savonius (1884 - 1931) (vgl. [69]) um 1925 erfunden. Er besteht aus zwei Kreisscheiben, die an der vertikalen Achse angebracht sind, zwischen diesen Kreisscheiben befinden sich zwei oder mehrere halbkreisförmige Flügel. Die Anwendungen sind zahlreich unter anderem verwendet man diese Rotoren als Lüfterlaufrad bei Kühlfahrzeugen. Schalenkreuze und Savonius-Rotoren nutzen das Widerstandsprinzip. Der Erfinder des Darrieus-Rotors war der Franzose Georges Jean-Marie Darrieus (1888-1979) (vgl. [69]). Beim Darrieus-Rotor sind die Blätter am oberen und unteren Ende der vertikalen

Achse befestigt und gebogen. Sie folgen der Form einer Kettenlinie. Sie bestehen meist aus zwei oder drei Blättern. Die mechanischen und elektrischen Komponenten können am Boden angebracht werden. Darrieus-Rotoren haben geringe Schnelllaufzahlen, können nicht von selbst anlaufen und die Drehzahl bzw. die Leistungsabgabe kann nicht geregelt werden, da das Verstellen der Rotorblätter nicht möglich ist. Eine weitere Variante stellt der H-Darrieus-Rotor dar. Dieser Rotor hat ungebogene Blätter und die Form ähnelt einem H, wodurch er seinen Namen erhielt. Ein Vorteil der Vertikalachsenrotoren ist, dass der Rotor nicht zur Windrichtung nachgeführt werden muss. Nachteilig ist, dass diese Rotoren nicht von selbst anlaufen können, die Blattanstellwinkel während der Drehung ständig verändert werden und dass die Windgeschwindigkeiten an den Blättern nicht gleich sind, da sich die Blätter gegenseitig beeinflussen. Ein Blatt befindet sich im Lee (windabgewandte Seite) des anderen, was wiederum bedeutet das die Leistungserzeugung auf dieser Seite geringer ist als auf der anderen. Am Markt konnten sich bis jetzt Vertikalachsenrotoren nicht durchsetzen.

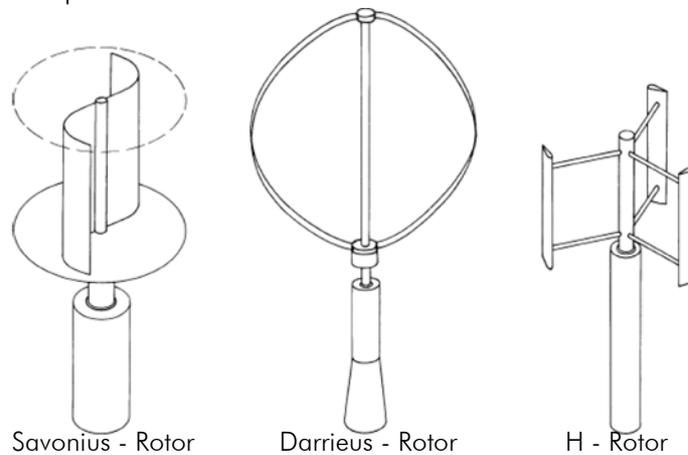


Abb. 2.13: Rotoren mit vertikaler Achse (vgl. [30] S.66)

-) Anlagen mit horizontaler Achse

Hierzu zählen Ein-, Zwei- oder Dreiblattrotoren als Schnellläufer oder Vielblattrotoren als Langsamläufer. Schnellläufer sind Anlagen mit hohen Drehzahlen und wenigen Rotorblättern, Langsamläufer haben eine geringe Drehzahl und eine hohe Blattanzahl. Derzeit werden fast ausschließlich Windkraftanlagen mit horizontaler Achse betrieben. (vgl. [40] S. 292,293; [31] S. 60-66; [30] S. 66,68,159,161)



Abb. 2.14: Windrad; Windpark Bruck/Leitha Abbildung: © Verbund [63]

2.3.2.5) Bestandteile einer Windkraftanlage

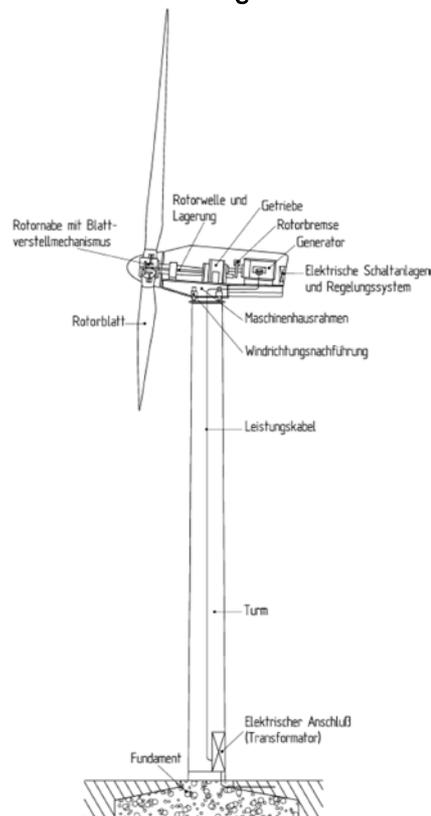


Abb. 2.15: Bestandteile einer Windkraftanlage mit horizontaler Achse (vgl. [30] S.71)

-) Gondel

In der Gondel (Maschinengondel) befinden sich der Generator und wenn vorhanden das Getriebe. Bei Anlagen mit Getriebe werden die Drehzahlen des Rotors mit Hilfe des Getriebes auf eine höhere Drehzahl gebracht, somit können standardisierte Generatoren (Drehzahl zwischen 1000 und 1500 U/min) verwendet werden. Für Anlagen ohne Getriebe werden die Generatoren (langsamlaufend) speziell hergestellt. Diese werden dann direkt mit dem Rotor betrieben.

-) Rotor, Rotorblätter und Rotornabe

Durch den Rotor wird die im Wind enthaltene Energie in eine Drehbewegung umgewandelt. Die Rotorblätter und die Rotornabe sind Bestandteile des Rotors. Man unterscheidet Ein-, Zwei-, Drei- und Mehrblattrotoren. Für die netzgekoppelte Stromerzeugung werden vorwiegend Dreiblattrotoren verwendet. Bei Einblattrotoren hat man einen geringeren Materialaufwand, da nur ein Rotorblatt verwendet wird. Nachteil dieser Rotorform ist, dass man für den Flügel ein Gegengewicht und eine robuste Rotornabe benötigt, um die Exzentrizitäten auszugleichen. Weiters werden diese Rotoren in der Landschaft oft als störend empfunden, da der Lauf eher unruhig ist und der Geräuschpegel (Schnelllaufzahl 14 - 16) hoch ist. Zweiblattrotoren ersparen sich im Vergleich zum Dreiblattrotor ein Rotorblatt, jedoch ist der Aufwand für die Rotornabe aufgrund der Dynamik wesentlich höher als bei einem Dreiblattrotor. Zweiblattrotoren erreichen eine Schnelllaufzahl von 8 bis 14, jedoch spielt die Geräuschemission hier bereits eine untergeordnete Rolle. Dreiblattrotoren weisen geringere schwingungsdynamische

Probleme auf. Bei Schnelllaufzahlen von 6 bis 10 haben sie Blattspitzen-geschwindigkeiten, die noch nicht sehr hoch sind. Dadurch kann eine hohe Geräuscent-wicklung vermieden werden. Dreiblattrotoren weisen bei zunehmendem Rotordurchmesser ein immer ruhigeres Laufbild auf. Für die Rotorblätter werden meist glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) verwendet. Die Rotornabe stellt die Verbindung der Rotorblätter mit der Rotorwelle dar. Bei einer starren oder gelenklosen Nabe sind Wartung und Herstellung sowie der Verschleiß gering jedoch kommt es zu hohen Belastungen der Rotorblätter und der Maschinenteile. Diese starre oder gelenklose Nabe wird vorwiegend für Dreiblattrotoren und zum Teil auch für Zweiblattrotoren verwendet. Zum Unterschied dazu werden bei Pendelnaben die Rotorblätter pendelnd aufgehängt. Dadurch ist eine bestimmte Bewegung um die Rotorwelle möglich, wodurch asymmetrische Lasten reduziert werden können. Durch eine mechanische oder hydraulische Dämpfung wird eine zu große Bewegung der Rotorblätter vermieden. Die Schlag- und/oder Schwenkgeleknabe findet meist bei Einblattrotoren Verwendung. Die Rotorblätter werden durch Schlaggelenke an der Nabe befestigt. Hier ist der Aufwand für Herstellung und Wartung hoch.



Abb. 2.16: Windpark Bruck/Leitha Abbildung: © Verbund [63]

-) Getriebe

Ein Getriebe wird benötigt, wenn keine speziellen Generatoren zum Einsatz kommen. Die Bewegungsenergie der Rotors muss in elektrische Energie umgewandelt werden. Es wird eine Drehzahl von 1000 - 1500 U/min benötigt, die Rotordrehzahlen liegen aber üblicherweise zwischen 10 - 50 U/min. Durch das Getriebe wird die Drehzahl auf 1000 - 1500 U/min hochgesetzt. Das Getriebe verbindet die Windturbinenwelle und die Generatorwelle und ist Teil des Triebstranges. Das Getriebe befindet sich in der Gondel und wird häufig auch als ein Hauptlager des Rotors verwendet. Zum Einsatz kommen Stirnrad- oder Planetengetriebe, wobei auch eine Kombination dieser beiden Systemen möglich ist.

-) Generator

Durch den Generator wird mechanische in elektrische Energie umgewandelt. Bei Anlagen ohne Getriebe werden spezielle Generatoren, für getriebe lose Anlagen werden gängige Drehstromgeneratoren verwendet. Man unterscheidet Synchron- und Asynchrongeneratoren. Synchrongeneratoren bestehen ebenso wie Asynchrongeneratoren aus einem feststehenden Stator und einem drehbaren Läufer bzw. Rotor. Die Unterschiede liegen im Aufbau des Läufermagnetfeldes (Erregung). Bei einem Synchrongenerator wird durch Gleichstrom und Schleifringe ein Magnetfeld in der Läuferwicklung aufgebaut, beim Asynchrongenerator wird die Wicklung im Läufer kurzgeschlossen (direkt oder über einen Widerstand) und nach Anschluss an ein Drehstromnetz wird in der Wicklung eine Spannung induziert. Durch den Kurzschluss in der Wicklung fließt Strom welcher ein Magnetfeld zur Folge hat.

-) Windnachführungseinrichtung

Durch diese Einrichtung werden die Gondel sowie der Rotor in die exakte Windrichtung gebracht. Die Gondel wird durch ein Verstellgetriebe, welches am Turm angebracht ist, ausgerichtet. Die Nachführung erfolgt mechanisch, hydraulisch oder elektro-mechanisch. Um eine höhere Lebensdauer der Zahnräder gewährleisten zu können, sind Haltebremsen angebracht. Die Steuerung der Windnachführungseinrichtung erfolgt über ein Regelungssystem, welches mit Daten von Windrichtungsmessanlagen versorgt wird.

-) Turm

Durch den Turm wird der Rotor in der entsprechenden Höhe, da die mittlere Windgeschwindigkeit mit der Höhe zunimmt, über dem Boden angebracht. Die wichtigste Funktion des Turmes ist die Ableitung der statischen und dynamischen Belastungen über das Fundament in den Untergrund. Bei der Wahl der Turmgröße sind folgende Punkte maßgebend: die Eigenschwingung des Gesamtsystems, der Transport, die Abmessungen, das Gewicht, die Art und Weise der Errichtung sowie die Zugänglichkeit zur Gondel. Türme werden aus Stahl oder Beton hergestellt. Es kommen Spann-, Ort- oder Fertigteilibetontürme zum Einsatz. Aus Stahl werden Gittertürme, abgespannte Türme und Stahlrohrtürme (meist konisch) hergestellt.

-) Fundament

Angewandt werden Flach- oder Tiefgründungen. Entscheidende Kriterien sind die Bodenbeschaffenheiten, die Belastungen, die Größe der Anlage, sowie die Kosten. Flachgründungen werden als kreisrunde, recht- oder mehreckige Plattenfundamente ausgeführt. Bei Tiefgründungen werden die Fundamentplatten mit Pfählen versehen, welche die Lasten in tiefere Bodenschichten abtragen. Verwendet werden Bohr- oder Rammpfähle.

(vgl. [40] S. 294-305; [31] S. 72-90; [30] S.500-502)

2.3.2.6) Offshore - Windenergieanlagen

Da die mittleren Windgeschwindigkeiten an Land geringer sind und immer weniger Standorte für Windenergieanlagen an Land vorhanden sind, werden zunehmend Anlagen auf See betrieben (Offshore). Zwischen dem Betrieb auf Land und auf See gibt es folgende Unterschiede: Bei Anlagen auf Land wird versucht, die Schallemissionen so gering wie möglich zu halten, auf See sind diese Anforderungen nicht so hoch. Alle Anlagenteile einer Offshore-Anlage benötigen einen Korrosionsschutz aufgrund der hohen Luftfeuchtigkeit und Salz. Bei Anlagen auf See muss weiters die Übertragung von Körperschall berücksichtigt werden, da dieser Einfluss auf die Fauna hat. Alle elektrischen Anlagenteile sind vor Gischt und Ablagerungen zu schützen, dies wird durch einen vollständigen Abschluss gegen die Außenluft oder einen leichten Unterdruck erreicht. Weiters muss jede Anlage auf See eine Landungsplattform für Personal und Material aufweisen. Aufgrund der erschwerten Zugänglichkeit muss die Notstromversorgung höher dimensioniert werden als auf Land. Die wichtigsten Punkte um dieselbe Anlagenverfügbarkeit bei Offshore-Anlagen wie bei Onshore-Anlagen erreichen zu können sind:

-) alle Komponenten sollen zuverlässig, robust und langlebig sein
-) die Zugänglichkeit der Anlage muss gewährleistet sein
-) längere Wartungs- und Serviceintervalle (eine Wartung alle zwei Jahre), was eine gute Fernüberwachung erfordert. (vgl [40] S. 307-309)

2.3.2.7) Nutzung

Um den Wind in elektrische Energie umwandeln zu können sind mehrere Stufen notwendig. Die kinetische Energie des Windes wird über den Rotor in mechanische Energie umgewandelt. Ein zwischengeschaltetes Getriebe erhöht die Drehzahl auf den Wert, welcher von Synchron- oder Asynchrongeneratoren gefordert wird. Ist kein Getriebe zwischengeschaltet ist der Generator an die Drehzahl angepasst. Durch den Generator wird die mechanische Energie in elektrische Energie umgewandelt. In vielen Fällen wird für die Netzeinspeisung ein Wandler benötigt um die Ausgangsspannung der Netzspannung anpassen zu können. Die einfachste Form stellt hier ein Transformator dar. Es werden ca. 30% bis 45% der im Wind enthaltenen Energie in elektrische Energie umgewandelt. Der theoretisch maximale Wert liegt bei 59,3% (Betz'sche Leistungsbeiwert). Dieser Wert wird aufgrund aerodynamischer, mechanischer und elektrischer Verluste nicht erreicht. (vgl. [40] S. 310-313)

2.3.2.8) Windkraft in Österreich

In Tab. 2.2 sind die Windkraftanlagen und die gesamte installierte Leistung für die Jahre 2000 bis 2009 dargestellt.

Jahr	Anlagen gesamt	gesamte installierte Leistung
	[Stk]	[MW]
2000	119	77,00
2001	135	94,00
2002	164	139,00
2003	318	415,00
2004	424	606,17
2005	531	818,90
2006	607	964,50
2007	612	981,50
2008	618	994,90
2009	617	994,60

Tab. 2.2: Windkraftanlagen und installierte Leistung in Österreich 2000 bis 2009 [38]

In den Jahren 2000 bis 2002 wurden in Österreich 45 Anlagen mit einer Leistung von 62 MW errichtet. Im Jahr 2003 gab es einen Aufschwung, der auf das am 1.1.2003 in Kraft getretene Ökostromgesetz und die ebenfalls in Kraft getretene Einspeisetarifverordnung zurückzuführen ist. Allein in diesem Jahr wurde die installierte Leistung von 139 MW um 276 MW auf 415 MW erhöht. Insgesamt konnten 2003 154 Anlagen errichtet werden. Auch im Jahr 2004 konnte man diesen Trend fortsetzen. Insgesamt gab es 2004 424 Anlagen mit einer installierten Gesamtleistung von 606,17 MW. Im Jahr 2005 wurden weitere 117 Anlagen mit einer Leistung von 217,8 MW errichtet. Im Jahr 2006 stieg die Anzahl der Windkraftanlagen auf 607 an, weitere 145,6 MW konnten installiert werden. Wie in den Jahren zuvor wurden die meisten Anlagen in Niederösterreich neu installiert. Aufgrund der Ökostromgesetzesnovelle 2006 ging die Anzahl der neu installierten Anlagen zurück.

Im Jahr 2008 gab es in Österreich 618 Anlagen mit einer installierten Leistung von 994,90 MW. 2009 wurde keine Windkraftanlage errichtet. 617 Anlagen mit einer installierten Leistung von 994,6 MW sind laut Stand Februar 2010 in Betrieb (vgl. Abb. 2.17). Durch diese Windräder wird 3% des österreichischen Stromverbrauchs gedeckt.

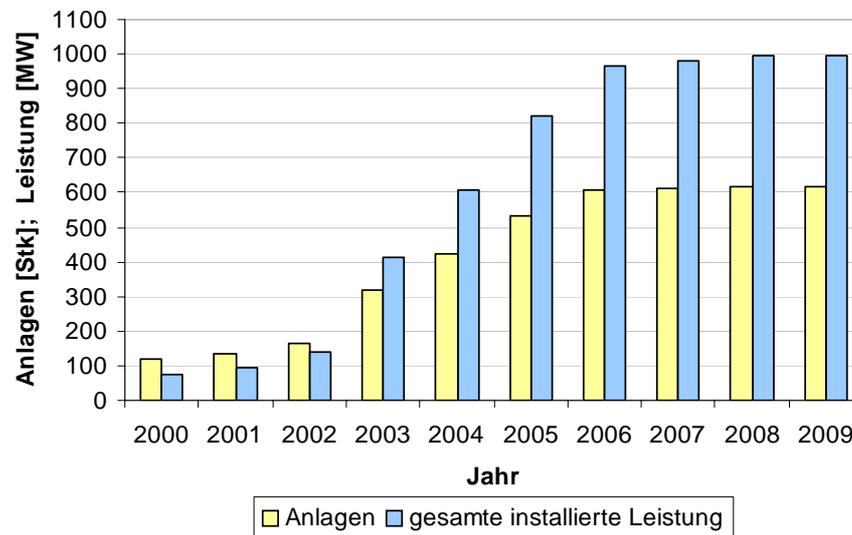


Abb. 2.17: Windkraft in Österreich 2000 bis 2009 [38]

In Abb. 2.18 ist die Verteilung der 617 Windkraftanlagen in Österreich auf die Bundesländer dargestellt. In Niederösterreich gibt es die meisten Windkraftanlagen. In 108 Windparks sind insgesamt 345 Anlagen mit einer installierten Leistung von 541,3 MW in Betrieb. Die Steiermark liegt mit 33 Anlagen und einer installierten Leistung von 49,8 MW an dritter Stelle. An letzter Stelle liegt Kärnten mit einer Anlage und einer installierten Leistung von 0,5 MW. (vgl. [38])

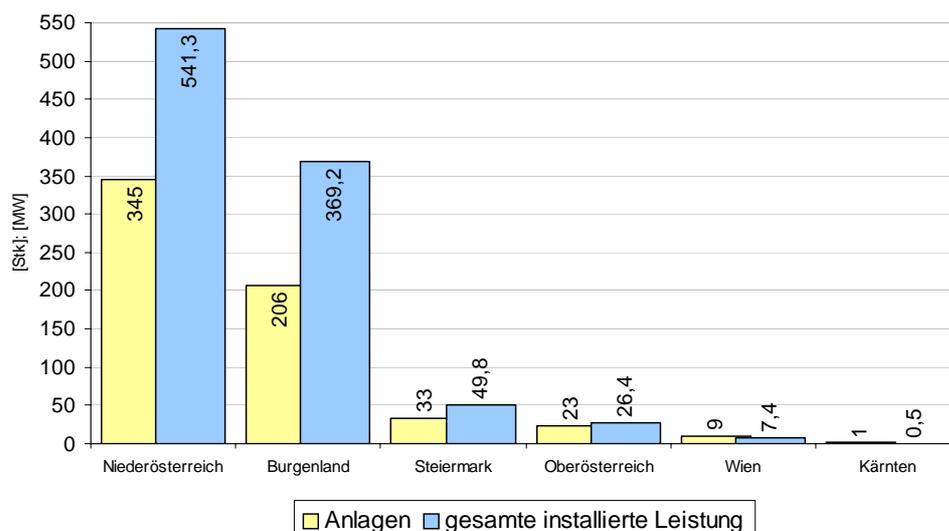


Abb. 2.18: Verteilung der Windkraftanlagen und der installierten Leistung getrennt nach Bundesländern 2009 [38]

2.3.3) Solarthermie

2.3.3.1) Geschichte

Die solarthermische Nutzung begann ca. 1500 vor unserer Zeitrechnung in Ägypten. Es wurden Techniken zur Glas- und Spiegelherstellung entwickelt. Mit Brennsiegeln und Brennlinen wurde das Sonnenlicht konzentriert und man konnte hohe Temperaturen erzielen. Die konzentrierte Strahlung wurde zum Entzünden von Feuer verwendet. Die erste solarbetriebene Wasserpumpe wurde im Jahr 1615 konstruiert. Bei der Weltausstellung 1878 in Paris wurde die erste solarbetriebene Dampfmaschine vom Franzosen August Mouchot vorgestellt. 1912 wurde durch Frank Shuman aus Philadelphia bei Kairo ein Kraftwerk mit Parabolrinnen-Spiegel und Verdampferrohr errichtet, welches eine Leistung von etwa 88 kW aufweisen konnte. Neben solaren Kraftwerken wurden in den USA ab 1890 auch solarthermische Trinkwassererwärmungsanlagen gebaut. Eine intensive Beschäftigung mit der Solarthermie begann ab 1970 in Deutschland. Es traten jedoch immer wieder große Probleme mit dem Material auf. Durch die Erkenntnisse zum Klimawandel hat die Solarthermie mittlerweile einen sehr großen Stellenwert in der thermischen Energieversorgung. (vgl. [68] S. 174-176)

2.3.3.2) physikalische Grundlage

Durch Solaranlagen wird die Solarstrahlung in Wärme umgewandelt. Bei dieser Umwandlung spricht man von photothermischer Wandlung. Grundsätzlich wird durch den Absorber ein Teil der Strahlung absorbiert und in Wärme umgewandelt. Durch einen idealen Absorber wird die kurzwellige Strahlung vollständig absorbiert, die langwellige Strahlung wird hingegen ab einer bestimmten Grenzwellenlänge vollständig reflektiert. Neben der Absorption und der Reflexion unterscheidet man noch die Emission, die von einem Körper an die Umgebung abgestrahlte Leistung, und die Transmission. Bei der Transmission wird die Strahlung durchgelassen. (vgl. [40] S. 137,138)

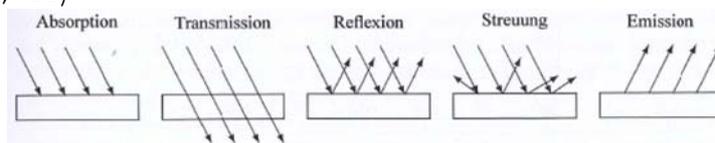


Abb. 2.19: Strahlung (vgl. [68] S.55)

Die allgemeine Energiebilanz eines Mediums, welches Strahlung absorbiert und in Wärme umwandelt lautet:

$$\dot{G}_{G, Abs} = \dot{Q}_{Konv, Abs} + \dot{Q}_{Str, Abs} + \dot{Q}_{Refl, Abs} + \dot{Q}_{Leit, Abs} + \dot{Q}_{Nutz}$$

$\dot{G}_{G, Abs}$	=	gesamte auf die Absorberfläche auftreffende Strahlung
$\dot{Q}_{Konv, Abs}$	=	Konvektionsverluste des Absorbers an die Außenluft
$\dot{Q}_{Str, Abs}$	=	langwellige Abstrahlung des Absorbers
$\dot{Q}_{Refl, Abs}$	=	Reflexionsverluste des Absorbers
$\dot{Q}_{Leit, Abs}$	=	Wärmeleitungsverluste
\dot{Q}_{Nutz}	=	nutzbarer Wärmestrom

Durch den Kollektor fließt ein Wärmeträgermedium wodurch die nutzbare Wärme abgeführt werden kann.

$$\dot{Q}_{\text{Nutz}} = c_p \dot{m} (\theta_{\text{aus}} - \theta_{\text{ein}})$$

Die Energiebilanz des Kollektors ergibt sich somit aus:

$$\dot{G}_{G, \text{Abs}} + c_p \dot{m} \theta_{\text{ein}} = c_p \dot{m} \theta_{\text{aus}} + \dot{Q}_{\text{Konv, Abs}} + \dot{Q}_{\text{Str, Abs}} + \dot{Q}_{\text{Refl, Abs}} + \dot{Q}_{\text{Leit, Abs}}$$

$\dot{G}_{G, \text{Abs}}$ = gesamte auf die Absorberfläche auftreffende Strahlung

c_p = spezifische Wärmekapazität

\dot{m} = Massenstrom des Wärmeträgermediums

θ_{ein} = Eintrittstemperatur des Wärmeträgermediums

θ_{aus} = Austrittstemperatur des Wärmeträgermediums

$\dot{Q}_{\text{Konv, Abs}}$ = Konvektionsverluste des Absorbers an die Außenluft

$\dot{Q}_{\text{Str, Abs}}$ = langwellige Abstrahlung des Absorbers

$\dot{Q}_{\text{Refl, Abs}}$ = Reflexionsverluste des Absorbers

$\dot{Q}_{\text{Leit, Abs}}$ = Wärmeleitungsverluste

\dot{Q}_{Nutz} = nutzbarer Wärmestrom

(vgl. [40] S. 140)

2.3.3.3) Bestandteile einer solarthermischen Anlage

Eine solarthermische Anlage besteht aus einem Kollektor, einem Wärmeträgermedium, Leitungen, einem Wärmeübertrager, einem Speicher, einer Pumpe sowie Mess- und Regeleinrichtungen.

Die Solarstrahlung wird in einem Kollektor zum größten Teil in Wärme umgewandelt. Der Kollektor setzt sich bei den meisten Bauarten aus folgenden Bauteilen zusammen: einem Absorber, einer transparenten Abdeckung, einem Gehäuse und einer Wärmedämmung. Der Absorber wandelt die kurzwellige Strahlung in Wärme um. Das Absorptionsvermögen muss im Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichts hoch und im Wellenlängenbereich der Wärmestrahlung niedrig sein. Eine gute Wärmeleitfähigkeit und Temperaturbeständigkeit sind weitere Anforderungen an das verwendete Absorbermaterial. Eingesetzt werden vorwiegend Metalle und Kunststoffe. Das Material wird entweder schwarz angestrichen oder selektiv beschichtet. Die Temperatur im Absorber liegt zwischen 130 °C und 200 °C. Die transparenten Abdeckungen bestehen aus Glas oder Kunststoff. Wichtig ist hier, dass die Abdeckung eine hohe Lichtdurchlässigkeit aufweist, die vom Absorber reflektierte Strahlung durch die Abdeckung zurückgehalten wird und die konvektiven Wärmeverluste an die Umgebung reduziert werden. Am Häufigsten wird Sicherheitsglas, welches eine hohe Lichtdurchlässigkeit und Hagelbeständigkeit aufweist, verwendet. Durch das Gehäuse erhält der Kollektor seine mechanische Festigkeit und Dichtheit. Gehäuse werden aus Aluminium, verzinktem Stahlblech, Kunststoff oder Holz hergestellt. Bei der Aufdach- und Indachmontage werden unterschiedliche Gehäuse verwendet. Bei der Aufdachmontage ist an der Rückseite des Gehäuses eine Wanne angebracht. Weiters sind eine Wärmedämmung, Rohre zur Zu- und Abfuhr des Wärmeträgermittels und Befestigungseinrichtungen am Kollektor bzw. am Gehäuse angebracht. Unterscheidungen bei den Kollektorbauarten gibt es aufgrund der Strahlungsaufnahme und des Wärmeträgermediums. Es gibt vier Grundbauarten, nicht strahlungskonzentrierende Flüssigkeits- oder Luft-

kollektoren und strahlungskonzentrierende Flüssigkeits- oder Luftkollektoren. Zu den nicht strahlungskonzentrierenden Flüssigkeitskollektoren werden unter anderem Flachkollektoren, Vakuum-Flachkollektoren und Vakuum-Röhrenkollektoren gezählt. Nicht strahlungskonzentrierende Luftkollektoren werden nur selten eingesetzt. Ein Vorteil ist die einfachere Bauweise da es zu keinen Frost-, Überhitzungs- und Korrosionsproblemen kommen kann und Leckagen unproblematischer sind. Nachteile sind aber die notwendigen großen Kanäle und die notwendige Antriebsleistung der Ventilatoren. Bei den strahlungskonzentrierenden Flüssigkeits- und Luftkollektoren wird die Strahlung mit Hilfe von Spiegel reflektiert und auf den Absorber konzentriert. Die erreichbaren Temperaturen im Absorber sind von der Konzentration abhängig. Theoretisch könnte eine Temperatur erreicht werden die der Oberflächentemperatur der Sonne (ca. 5785°C) entspricht, die realen Temperaturen sind aber deutlich niedriger. Unterschieden werden bei dieser Bauweise feststehende und ein- oder zweiachsig nachgeführte Systeme. In Abhängigkeit von den erreichbaren Temperaturen werden flüssige oder gasförmige Arbeitsmittel eingesetzt. (vgl. [40] S. 144-150)

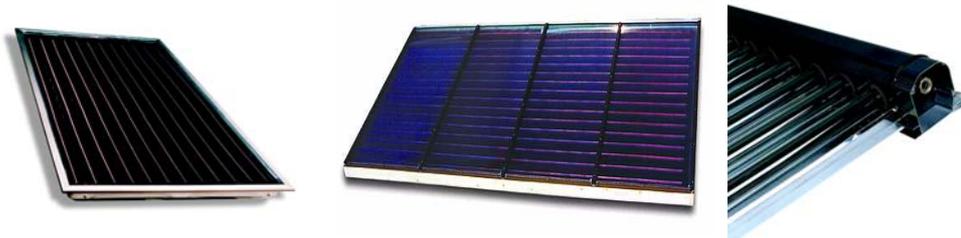


Abb. 2.20: links: Flachkollektor für Aufdachmontage; Mitte: Flachkollektor für Dachintegration; rechts: Vakuumröhrenkollektor Abbildung: energytech.at/Sonnenkraft Vertriebs GmbH [19]

Das Wärmeträgermedium sollte ungiftig, biologisch abbaubar und nicht brennbar sein.

Gefordert werden eine hohe Wärmekapazität und eine niedrige Viskosität. Das Wärmeträgermedium darf bei Betriebstemperatur nicht siedeln oder gefrieren und die Korrosion in den Leitungen darf durch das Arbeitsmittel nicht begünstigt werden. Es wird meist eine Mischung aus Wasser und Frostschutzmittel verwendet. (vgl. [40] S. 160)

Die Leitungen stellen die Verbindung zwischen dem Kollektor und dem Speicher dar. Als Material werden Kupfer, Edelstahl-Wellrohre, Stahl oder Polyethylen verwendet. Das eingesetzte Material ist von der Anlagengröße und dem Absorbermaterial abhängig. Eine Dämmung der Leitungen ist notwendig, um die Wärmeverluste zu reduzieren. (vgl. [40] S. 160,161)

Durch den Wärmeübertrager kann die Wärme von einem Medium zum anderen übertragen werden. (vgl. [40] S. 161)

Im Speicher wird die im Kollektor erzeugte Wärme gespeichert. Die gespeicherte Wärme kann dann verwendet werden, wenn sie benötigt wird. Für das eingesetzte Wärmespeichermaterial ist die Wärmekapazität, darunter versteht man die Wärmemenge die notwendig ist, um die Temperatur einer bestimmten Stoffmenge um 1 K zu erhöhen, die wichtigste Kenngröße. Die Wärmekapazität wird in $[\text{kJ}/(\text{m}^3\text{K})]$ bzw. in $[\text{kWh}/(\text{m}^3\text{K})]$ angegeben. Man unterscheidet Flüssigkeitsspeicher (Wasserspeicher), welche am Häufigsten eingesetzt werden, Feststoffspeicher und Latentwärmespeicher. Ein Wasserspeicher besteht aus einem Kaltwasserzu- und einem Warmwasserablauf sowie einem Wärmeübertrager. Ein weiterer Wärmeübertrager oder Heizstab wird in manchen Fällen zur Nachheizung eingesetzt. (vgl. [40] S. 153-157)

Pumpen werden bei solarthermischen Anlagen mit Zwangsumlauf eingesetzt, wodurch der Kreislauf erhalten bleibt. Die Leistung der Pumpe richtet sich nach der Durchflussmenge.

Üblich ist bei Trinkwarmwasseranlagen ein Durchfluss von 30 bis 50 l/(hm²_{Kollektorfläche}), was als High-Flow-Anlage bezeichnet wird. Hingegen beträgt der Durchfluss bei Low-Flow-Anlagen 10 bis 15 l/(hm²_{Kollektorfläche}). Den Strom für den Antrieb der Pumpen erhält man entweder aus dem öffentlichen Netz oder man erzeugt den Strom mit einer Photovoltaikanlage.

(vgl. [40] S. 162)

Durch Messeinrichtungen werden die Temperatur des Speichers und des Kollektors gemessen. Diese Temperaturen werden miteinander verglichen und entweder wird die Pumpe bei höheren Kollektor-Temperaturen in Betrieb genommen oder bei höheren Speichertemperaturen ausgeschaltet. Weiter müssen im Speicher und im Kollektorkreislauf gewisse Grenztemperaturen eingehalten werden. Dadurch wird verhindert, dass sich z.B. im Speicher Kalk ablagert oder das Wärmeträgermedium zu verdampfen beginnt. (vgl. [40] S. 158)

2.3.3.4) Nutzung

Durch die solarthermische Anlage wird die Strahlungsenergie in Wärme umgewandelt. Die solare Strahlung wird durch den Absorber absorbiert. Die Wärme, welche durch den Temperaturanstieg im Absorber entsteht, wird an ein Wärmeträgermedium, welches die Absorberrohre durchströmt, abgegeben. Durch das Wärmeträgermedium wird die Wärme zu einem Wärmeübertrager transportiert, der die Wärme dann an einen Speicher abgibt. Die gespeicherte Wärme wird dann bei Bedarf an den Verbraucher abgegeben.

Die Nutzung von solarthermischen Anlagen ist vielfältig. Anwendung finden diese Anlagen bei der Freibadbeheizung, in Haushalten zur Trinkwassererwärmung oder als Kombination mit zusätzlicher Heizungsunterstützung und in Nahwärmenetzen.

Die Nutzung einer solarthermischen Anlage zur solaren Freibadbeheizung ist ideal, da die Nachfrage an Wärme und das Angebot an Strahlung zeitlich übereinstimmen. Als Wärmespeicher dient hier das mit Wasser gefüllte Freibadbecken. Verwendet werden einfache nicht abgedeckte Absorbermatten, die am Dach oder einer Freifläche des Bades installiert werden. Diese kostengünstige Variante ist möglich, da die Wassertemperatur (max. 28°C) im Becken eher gering ist. Um die auftretenden Konvektions-, Abstrahlungs- und Verdunstungsverluste zu reduzieren, kann das Becken in der Nacht abgedeckt werden.



Abb. 2.21: Schwimmbadabsorber Abbildung: energytech.at/Firma Kalkgruber [19]

In den meisten Haushalten wird die Solarthermie für die Trinkwarmwasserbereitstellung oder als Kombinationssystem für die Warmwasserbereitstellung und Heizungsunterstützung verwendet. (vgl. [40] S. 163, 167-169)

Bei einem solarunterstützten Nahwärmesystem beziehen mehrere Häuser die Wärme von einer einzigen Solaranlage. Systeme mit und ohne Langzeitwärmespeicherung können unterschieden werden. (vgl. [40] S. 172)

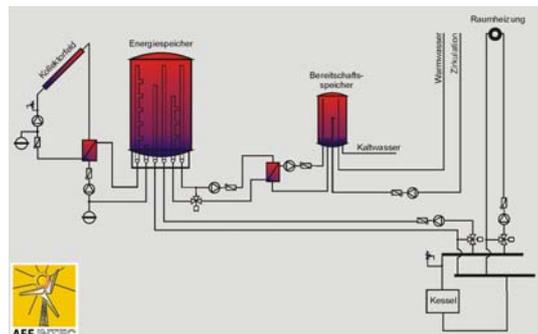


Abb. 2.22: Hydrauliksystem für Ein- und Mehrfamilienhäuser Abbildung: energytech.at/AEE Intec [19]

2.3.3.5) Solarthermie in Österreich

In der Tabelle 2.3 sind die Kollektortypen nach installierter Kollektorfläche [m²] und nach thermischer Leistung [MW_{th}] getrennt für die Jahre 1998 bis 2008 dargestellt. Die thermische Leistung ergibt sich durch die Multiplikation der Kollektorfläche mit dem Faktor 0,7 d.h. 1m² Fläche entspricht einer Leistung von 0,7 kW_{th}. 2008 wurden in Österreich Sonnenkollektoren mit einer thermischen Leistung von 254,0 MW_{th}, was einer Kollektorfläche von 362.923 m² entspricht, installiert. Aufgeschlüsselt in die einzelnen Kollektortypen, bedeutet das eine thermische Leistung von 240,5 MW_{th} bei den verglasten Flachkollektoren, von 2,9 MW_{th} bei den Vakuumrohr-Kollektoren und von 10,7 MW_{th} bei den unverglasten Kollektoren. Unter unverglasten Flachkollektoren werden meist Kunststoffkollektoren zur Schwimmbaderwärmung verstanden. Der verglaste Flachkollektor wurde im Jahr 2008 mit 94,7% der neu installierten Fläche am Öftesten installiert.

Jahr	verglaster Flachkollektor		Vakuumrohr-Kollektor		unverglaster Flachkollektor		Gesamt	
	[m ²]	[MW _{th}]	[m ²]	[MW _{th}]	[m ²]	[MW _{th}]	[m ²]	[MW _{th}]
1998	163.024	114,1	2.640	1,8	32.302	22,6	197.966	138,6
1999	138.750	97,1	2.398	1,7	16.920	11,8	158.068	110,6
2000	150.543	105,4	2.401	1,7	14.738	10,3	167.682	117,4
2001	157.860	110,5	2.220	1,6	9.067	6,3	169.147	118,4
2002	151.000	105,7	2.050	1,4	10.550	7,4	163.600	114,5
2003	165.200	115,6	1.720	1,2	9.900	6,9	176.820	123,8
2004	180.000	126,0	2.594	1,8	8.900	6,2	191.494	134,0
2005	235.148	164,6	1.857	1,3	6.070	4,2	243.075	170,2
2006	289.745	202,8	2.924	2,0	6.935	4,9	299.604	209,7
2007	277.620	194,3	3.399	2,4	8.662	6,1	289.681	202,8
2008	343.617	240,5	4.086	2,9	15.220	10,7	362.923	254,0

Tab. 2.3: installierte Kollektorfläche und thermische Leistung unterschiedlicher Kollektortypen für die Jahre 1998 - 2008 [2]

In Abbildung 2.23 sind die Werte aus der Tabelle 2.3 grafisch dargestellt. Der verglaste Flachkollektor wurde im Jahr 2008 mit 94,7% der neu installierten Fläche am Öftesten eingesetzt. Im Jahr 2008 wurden 343.617 m² verglaste Flachkollektoren, 4.086 m² Vakuumrohr-Kollektoren und 15.220 m² unverglaste Kollektoren installiert. Durch die steigenden Energiepreise und den Ausbau der Einsatzbereiche der Solarthermie werden seit 2002 wieder steigende Verkaufszahlen verzeichnet. Nach einem leichten Rückgang gab es 2008 ein Marktwachstum von 25%.

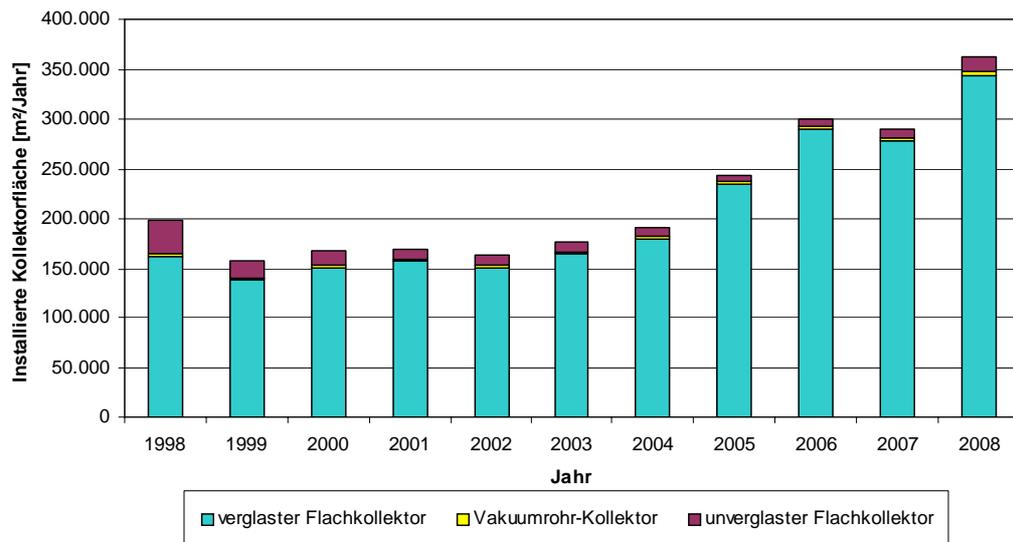


Abb. 2.23: installierte Kollektorfläche 1998 - 2008 [2]

2008 wurde in Österreich eine Kollektorfläche von 343.617 m² neu installiert. Davon wurden 38% zur Warmwasserbereitung und 62% zur Warmwasserbereitung und Raumheizung verwendet, wie in Abbildung 2.24 dargestellt. Hier zeichnet sich ein klarer Trend zu den Kombianlagen ab. Bei Einfamilienwohnhäuser kann man für Anlagen zur Warmwasserbereitung etwa 6 m² Kollektorfläche und für Kombianlagen 15 bis 20 m² Kollektorfläche annehmen.

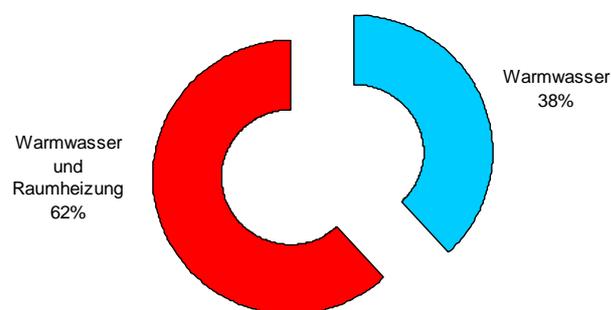


Abb. 2.24: Anteil Warmwasser- und Kombianlagen 2008 [2]

(vgl. [2] S. 32-36, 43)

2.3.4) Geothermie

Als Geothermie bezeichnet man die Nutzung der im Untergrund gespeicherten thermischen Energie. Es kann sowohl Wärme als auch Strom erzeugt werden. (vgl. [68] S. 255)

2.3.4.1) Geschichte

Die Geothermie wird seit dem Bestehen der Menschheit genutzt. Die ersten passiven Anwendungen waren Erdhöhlen, die Schutz vor Kälte boten sowie Erdlöcher, die im Sommer zur Lagerung von Nahrung verwendet wurden. Heißwasserquellen wurden zum Reinigen, Kochen und Wärmen genutzt. Zu Beginn der Renaissance begann man sich mit der Geothermie bewusst auseinander zu setzen. Im Jahr 1680 beschrieb der Physiker Boyle erstmals die Temperaturzunahme im Erdinneren. Erkenntnisse erhielt man aus dem Bergbau, jedoch waren noch keine geeigneten Techniken zur Messung vorhanden. Die erste Tiefenbohrung mit einer Endteufe von 1271 m wurde in der Zeit von 1869 und 1871 vorgenommen, in der genaue Temperaturmessungen durchgeführt wurden. Im Jahr 1904 wurde von Graf Ginori Conti die wahrscheinlich erste Maschine zur geothermischen Stromerzeugung vorgeführt. Durch den Dampf einer geothermischen Quelle wurde ein Dampfmotor betrieben. 1945 ging in den USA die erste geothermische Wärmepumpe, welche auch zur Kühlung verwendet wurde, in Betrieb. Erst nach der Ölkrise beschäftigte man sich wieder mehr mit der Nutzung von Erdwärme. Es folgt ein kurzer Aufschwung, der jedoch durch technische Probleme, die die neue Technologie mit sich zog rasch abflaute. Durch den Klimawandel und aufgrund der geringer werdenden Reserven an fossilen Energieträgern wurde die Nutzung der Erdwärme ab 1995 vorangetrieben. (vgl. [68] S. 258-261).

2.3.4.2) Systemelemente

Geothermie kann zur Wärmegewinnung, zur Kühlung und zur Stromerzeugung genutzt werden. Weiters unterscheidet man zwischen der oberflächennahen und der tiefen Erdwärme. Wärmequellenanlagen und Wärmepumpen bilden ein Gesamtsystem, durch das die Umgebungsluft, das Grundwasser oder die im Erdreich gespeicherte Wärme zu Nutzenergie umgewandelt wird.

Durch Wärmequellenanlagen wird dem Boden thermische Energie entzogen und der Anlage zugeführt. Man unterscheidet bei der oberflächennahen Erdwärme geschlossene Systeme wie Erdwärmesonden und Erdkollektoren sowie offene Systeme zu denen die hydrothermische Nutzung durch Grundwasserbrunnen gezählt werden. Eine weitere Wärmequelle bildet die Luft.

Erdwärmesonden

Erdwärmesonden werden bei der oberflächennahen Geothermie vertikal ins Erdreich, meist bis zu einer Tiefe von 100 m, eingebracht. Man unterscheidet zwei Bauformen: Rohrsonden und Heatpipe- oder Wärmerohrsonden. Rohrsonden werden direkt von der Flüssigkeit durchströmt. Man verwendet entweder zwei U-förmig gebogene Rohre, die parallel durchströmt werden oder Koaxialrohre. Unter Heatpipe- oder Wärmerohrsonden versteht man geschlossene Rohre, in denen ständig Verdampfungs- und Kondensationsvorgänge stattfinden. Die entzogene Energie des Erdreichs wird an einen Sekundärkreislauf oder direkt an die Wärmepumpe abgegeben. Weiters können auch Gründungspfähle von Bauwerken zur thermischen Nutzung ver-

wendet werden, man spricht von sogenannten Energiepfählen. (vgl. [40] S. 411-416; [68] S. 295, 298; [64] S. 18,19)

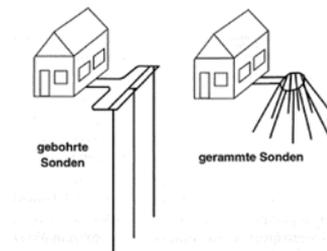


Abb. 2.25: Anordnung von gebohrten und gerammten Sonden (vgl. [40] S. 412)

Erdkollektoren

Rohre werden in einer Tiefe von ca. 1,2 m bis 1,5 m unter der Erdoberfläche horizontal verlegt. Als Richtwert für die Kollektorfläche kann man das 1,5 bis 2-fache der Wohnfläche, welche beheizt werden muss, annehmen. Verwendet werden meist Kapillarrohmatten oder horizontal verlegte Rohre. Aus Kostengründen wird oft eine mäanderförmige Verlegung der Rohre gewählt. Es werden auch einige Sonderformen angeboten, zu denen Erdwärmekörbe, Graben- und Spiralkollektoren zählen. Erdwärmekörbe bestehen aus spiralförmig, auf einem konischen Gestell aufgewickelten Rohren, welche in einer Tiefe von 2,5 m Tiefe angebracht werden. Mit diesen Erdwärmekörben wird dem Erdreich mehr Wärme entzogen als zulässig ist, daher sind diese Körbe für Anlagen die neben der Wärmeerzeugung auch zur Kühlung verwendet werden geeignet. Durch die Kühlung kann die Abwärme im Sommer in das Erdreich zurückgeführt werden. Mit Graben- oder Spiralkollektoren kann die benötigte Fläche verringert werden. Bei Grabenkollektoren werden in einem etwa 3 m tiefen und 2,5 m breiten Graben die Rohre an den schrägen Seitenwänden verlegt. Bei Spiralkollektoren, welche in den USA stark verbreitet sind, unterscheidet man zwei wesentliche Bauarten. Bei der Slinky Bauart wird eine Rolle Kunststoffrohr auf den Boden oder die Wandseite des Grabens gelegt und seitlich auseinander gezogen. Svec - Kollektoren werden bei ihrer Produktion auf eine Walze aufgewickelt. Im Graben wird das Rohr wie eine Schraubenfeder auseinandergezogen und fixiert. Bei diesen Kollektoren können Probleme bei der Entlüftung auftreten. Auch diese Kollektoren sind besser für Anlagen, die zum Heizen und Kühlen verwendet werden, geeignet.

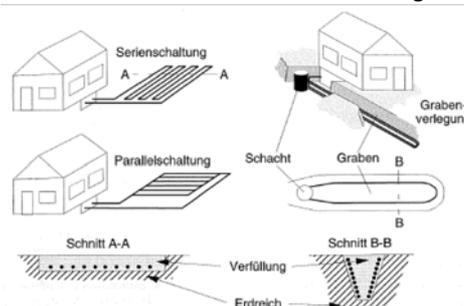


Abb. 2.26: horizontale Wärmeübertragung (vgl.[40] S. 410)

Für die Gewinnung der Wärme aus dem Erdreich und die Beförderung der Wärme von der Wärmequelle bis zur Wärmepumpe gibt es zwei Möglichkeiten. In einem Zwischenkreislauf wird durch eine Soleflüssigkeit, das Wärmeträgermedium, die Wärme aus dem Erdreich aufgenommen und an den Verdampfer der Wärmepumpe abgegeben. Im Gegensatz dazu

befindet sich bei der Direktverdampfung das Arbeitsmittel der Wärmepumpe in den Rohren der Wärmequellenanlage, wo es auch zur Verdampfung und somit zum Wärmeentzug kommt. Demzufolge befindet sich der Verdampfer der Erdwärmepumpe im Erdreich.

(vgl. [40] S. 409-411; [68] S. 308-310; [46] S. 95; [64] S. 16,17)

Grundwasserbrunnen

Grundwasser ist zur thermischen Nutzung sehr gut geeignet, da das Grundwasser eine relativ konstante Temperatur von 9 °C bis 10 °C aufweist. Zur Nutzung benötigt man einen Förderbrunnen, dem das Wasser entnommen wird und einen Schluckbrunnen, durch den das Wasser wieder dem Grundwasser zugeführt wird. Das entnommene Wasser aus dem Förderbrunnen wird über das Rohrsystem dem Verdampfer der Wärmepumpe zugeführt. Dort wird die Wärme an das Kältemittel der Wärmepumpe abgegeben. Die Ergiebigkeit des Grundwasserleiters, die Wasserqualität, die Tiefe in der das Grundwasser vorhanden ist, sowie wasserrechtliche Bestimmungen sind wichtige Punkte, die berücksichtigt werden müssen. Zwischen Förderbrunnen und Schluckbrunnen muss ein genügend großer Abstand bestehen, um die erneute Förderung des bereits abgekühlten Wassers zu verhindern (hydraulischer Kurzschluss). Um den Zutritt von Sauerstoff zu verhindern, sollten geschlossene Rohrsysteme verwendet werden.

(vgl. [40] S. 416; [68] S. 313; [64] S. 20-22)

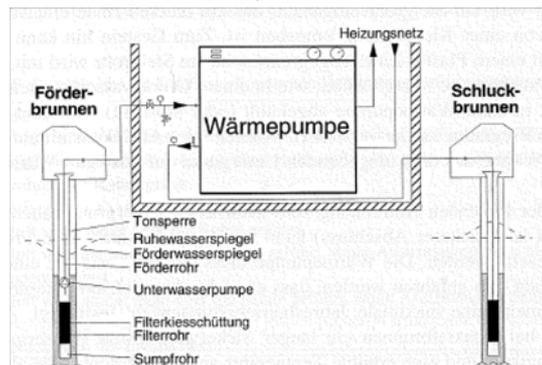


Abb. 2.27: Schema Grundwasser-Wärmepumpenanlage (vgl. [40] S.417)

Weitere Systeme zur Nutzung der oberflächennahen Erdwärme sind: die Grundwassernutzung durch Koaxialbrunnen, die Nutzung von Gruben- und Tunnelwasser und die Luftvorerwärmung bzw. -kühlung. Eine eindeutige Zuordnung zu geschlossenen oder offenen Systemen ist hier nicht möglich. (vgl. [40] S. 418)

Wärmepumpe

Durch einen thermodynamischen Prozess kann die geothermische Energie nutzbar gemacht werden, eine direkte Nutzung ist nur selten möglich. Die erreichbare Temperatur liegt bei der oberflächennahen Erdwärme etwa bei 25°C. Für Heizzwecke ist diese Temperatur zu gering. Durch eine Wärmepumpe wird ein Wärmestrom niedriger Temperatur durch mechanische Arbeit auf eine höhere Temperatur gebracht. Die Anlagen bestehen aus einem Verdichter, einem Verdampfer bzw. Verflüssiger und einer Drossel (Kompressionswärmepumpe). Im Wärmepumpenkreislauf zirkuliert ein Kältemittel, das einen sehr tiefen Siedepunkt aufweist. Verflüssiger und Verdampfer werden auch als Wärmeübertrager bezeichnet. Die Verbindung zwischen Wärmequelle und Wärmepumpe bildet der Verdampfer. Im Verdampfer wird das Kältemittel vollständig durch die zugeführte Wärme der Wärmequelle verdampft. Im Verdichter wird das gasförmige Kältemittel angesaugt und verdichtet, wodurch ein höherer Druck entsteht

und somit die Temperatur ansteigt. Es werden vollthermische, halbthermische und offene Verdichter verwendet, welche sich durch die Anbringung und Lage des Antriebsmotors unterscheiden. Unterschiedliche Bauformen wie Hubkolben-, Scroll-, Schrauben- und Turboverdichter werden eingesetzt. Im Verflüssiger wird das überhitzte Kältemittel durch Abgabe von Wärme an den Heizkreislauf abgekühlt und vollständig kondensiert. Das Drossel- oder Expansionsventil entspannt und reguliert den Kältemittelstrom. Bei Wärmepumpen unterscheidet man Sole/Wasser-Wärmepumpen, Wasser/Wasser-Wärmepumpen, Luft/Wasser-Wärmepumpen, Luft/Luft-Wärmepumpen und als besondere Bauart der Luft/Wasser-Wärmepumpe die Warmwasser-Wärmepumpe. Auch in der Betriebsweise gibt es Unterschiede. Bei der monovalenten Betriebsweise wird die benötigte Heizwärme allein durch die Wärmepumpe bereitgestellt. Bei der bivalenten Betriebsweise kommt die Wärmepumpe gemeinsam mit anderen Anlagen zur Wärmeerzeugung zum Einsatz.

(vgl. [40] S. 420-423,430,431; [68] S. 275,276,278,279; [64] S. 22,23; [18] S. 46-51)

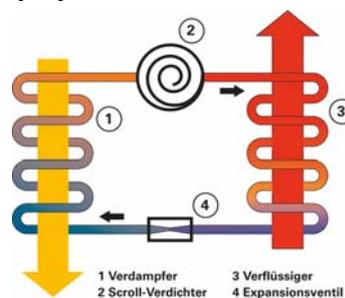


Abb. 2.28: Funktionsprinzip Wärmepumpenkreislauf; Abbildung: Viessmann Werke [65]

Für die Nutzung der tiefen Erdwärme werden tiefe Erdwärmesonden oder Thermalwasser verwendet. Die geothermische Energie wird für Heizung, Warmwasser und Stromerzeugung genutzt. Die Nutzung wird durch Nah- bzw. Fernwärmenetze ermöglicht. Anlagen mit tiefen Erdsonden und Anlagen mit Thermalwasser werden vorwiegend zur Deckung der Grundlast eingesetzt. (vgl. [40] S. 457)

Thermalwasser

Das Thermalwasser wird im tieferen Untergrund durch Bohrungen erschlossen. Durch Pumpen wird das Thermalwasser übertage gefördert. Eine geothermische Heizzentrale bildet die Verbindung zwischen dem Fernwärmenetz und dem geförderten Thermalwasser. Die Wärme des Thermalwassers wird möglichst direkt an einen Heizwasserkreislauf abgegeben und über das Nah- bzw. Fernwärmenetz verteilt. Der Einsatz von Wärmepumpen sollte nur zur weiteren Abkühlung des Thermalwassers erfolgen. Das abgekühlte Thermalwasser wird dann wieder dem Untergrund zugeführt. Die Verbindung zwischen dem Nah- bzw. Fernwärmenetz und der Heizungsanlage bilden die Hausübergabestationen. Fließt das Heizwasser direkt durch die Heizungsanlage, spricht man von direkten Systemen. Die Temperatur wird durch die Zufuhr von kälterem Wasser geregelt. Befindet sich hingegen ein Wärmeübertrager zwischen Heizungsanlage und dem Fernwärmenetz, spricht man von indirekten Systemen. Der benötigte Strom, der vorwiegend zur Wasserförderung und zur Injektion benötigt wird, wird meist durch ein Blockheizkraftwerk (BHKW) bereitgestellt. Das BHKW ist in der Heizzentrale angeordnet. (vgl. [40] S. 457,469,470; [64] S. 36,48)

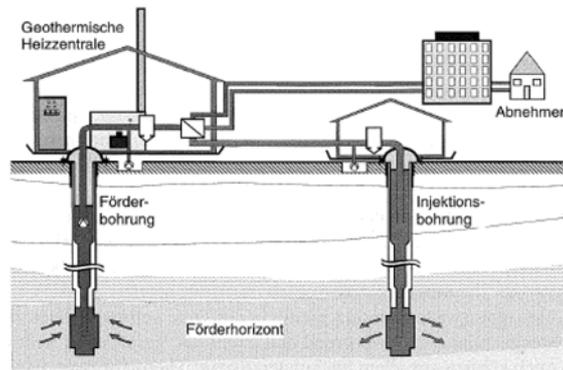


Abb. 2.29: geothermische Heizzentrale zur Nutzung von Thermalwasser (vgl. [40] S. 458)

Tiefe Erdsonde

Kann durch eine Bohrung kein Thermalwasser erschlossen werden, kann diese Bohrung für die Einbringung einer tiefen Erdsonde verwendet werden. Die Temperatur der bereitgestellten Wärme liegt unter 100°C. Die Funktionsweise ist gleich wie bei Erdsonden, die zur Nutzung der oberflächennahen Erdwärme verwendet werden. Die übliche Tiefe für die Bohrung liegt zwischen 1000 und 4000 m. Bei Anlagen mit tiefen Erdsonden ist eine Wärmepumpe notwendig, um die gewonnene Wärme auf die notwendige Temperatur des Nahwärmenetzes zu bringen, und um das Wärmeträgermedium, meist aufbereitetes Wasser, abzukühlen. Der Abstand zweier Sonden sollte mindestens 100 m betragen um eine gegenseitige Beeinflussung zu verhindern. Die tiefe Geothermie ist zur Stromerzeugung und für die Direktheizung aufgrund der Temperaturen, die zwischen 130 °C und 350 °C liegen, einsetzbar.

(vgl. [40] S. 490-492; [64] S. 51,52; [46] S. 7)

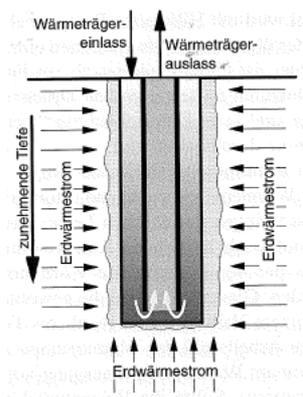


Abb. 2.30: Sonde zur Nutzung der tiefen Erdwärme (vgl. [40] S. 491)

2.3.4.3) Nutzung

Zum Heizen und für die Warmwasserbereitung können folgende Systeme verwendet werden:

-) Direktverdampfung vgl. 2.3.4.2
-) Heizungsanlage mit Luft/Luft - Wärmepumpe

Die Luft ist Energiequelle und Wärmeträger zugleich. Auch bei tiefen Temperaturen kann der Luft noch genügend Wärme entzogen werden. Die Energie der Abluft kann für die Warmwasserbereitung verwendet werden. Eingesetzt werden diese Anlagen bei Häusern mit einem geringen Heizenergiebedarf, sowie einem kontrollierten Lüftungssystem. Die Zuluft wird nach der Rückgewinnung der Abluftwärme durch den Kondensator der Wärmepumpe erwärmt. Ist genügend Wärme zum Heizen vorhanden, schaltet die Wärmepumpe auf den Kondensator der Warmwasserbereitung um. Bei diesen Anlagen können zusätzlich thermische Solaranlagen zur Warmwasserbereitung im Winter und Photovoltaikanlagen zur Erzeugung des von der Wärmepumpe benötigten Stroms, installiert werden. (vgl. [40] S. 427,428; [18] S. 51)

-) Heizungsanlage und Kühlung mit Sole/Wasser-Wärmepumpe

Als Wärmequelle dient das Erdreich. Diese Anlagen werden vorwiegend zum Heizen verwendet. Die Warmwasserbereitung kann über die Wärmepumpe oder einen weiteren Wärmeerzeuger erfolgen. In Verbindung mit einem Niedertemperatur-Heizsystem z.B. einer Fußbodenheizung kann auf einen Pufferspeicher verzichtet werden, da diese eine große Speicherwirkung hat. Erdwärmepumpen können auch zur Kühlung verwendet werden. In diesem Fall wird der Betrieb der Wärmepumpe umgekehrt. Die Wärme aus dem Gebäude wird an das Erdreich abgegeben. (vgl. [40] S. 428,429; [18] S. 46)

-) Anlagen mit Wasser/Wasser-Wärmepumpen

Die Wärmequelle ist hier das Grundwasser. Abwasser oder Oberflächengewässer können ebenfalls als Wärmequelle genutzt werden. Diese Anlagen werden zum Heizen und zum Kühlen verwendet. Das Grundwasser wird für Heizzwecke abgekühlt und im Sommer zur Kühlung erwärmt. (vgl. [18] S. 46)

-) Anlagen mit Luft/Wasser-Wärmepumpe

Wärmequelle ist die Umgebungsluft, die angesaugte Luft wird am Wärmeübertrager der Wärmepumpe vorbeigeleitet. Der Luft wird dadurch Wärme entzogen und die kalte Luft wird wieder ins Freie zurückgeleitet. Der Aufwand sowie die Anschaffungskosten sind geringer als bei anderen Wärmepumpen-Anlagen. (vgl. [18] S. 46,49)

-) Erzeugung von Strom durch Geothermie

Durch das Hot Dry Rock-Verfahren (HDR) wird Wasser über eine Injektionsbohrung in eine heiße, poröse Gesteinsschicht eingepresst und in einem Aquifer erhitzt. Das heiße Wasser wird dann über Förderbohrungen wieder entnommen. Entweder wird das Wasser zum Heizen genutzt oder zur Dampferzeugung verwendet. Bei einer direkten Nutzung des Wassers gibt es zwei Nachteile. Erstens lösen sich im Wasser mineralische Stoffe die bei der Förderung ausfallen können, was wiederum zu einem Inkrutieren der Rohre führen kann. Zweitens wird bei der Förderung durch Reibungsdruckverluste das Wasser entspannt. Durch eine Druckhaltung muss der Druck über dem Siededruck gehalten werden, um eine Dampfbildung und eventuell Kavitation zu verhindern. Eine indirekte Nutzung des heißen Wassers durch Wärmeübertrager ist vorteilhafter. Um Strom zu erzeugen, wird durch das heiße Wasser ein Verdampfer beheizt.

Der erzeugte Dampf des Arbeitmittels, meist Wasser, wird dann in einer Dampfturbine entspannt. Man spricht von einem Dampfkreisprozess. (vgl. [46] S. 9,10)

Mechanische Arbeit kann auch durch den ORC-Prozess (Organic Rankine Cycle) erzeugt werden. Angewandt wird dieses Verfahren bei niedrigen Prozesstemperaturen, deshalb ist es notwendig, ein organisches Arbeitsmittel zu verwenden, welches die nötigen Eigenschaften aufweist. Das verdampfte organische Arbeitsmittel wird in einer Turbine entspannt, wodurch mechanische Arbeit entsteht, welche an den Generator abgegeben und somit Strom erzeugt wird.

Wird als Arbeitsmittel Ammoniak (NH₃) verwendet spricht man vom Kalina-Prozess. Der NH₃-Dampf wird in Wasser gelöst und vor der Turbine werden durch einen Separator alle flüssigen Bestandteile abgeschieden. Das dampfförmige NH₃ wird in der Turbine entspannt. Die flüssigen Komponenten werden zur Vorerwärmung genutzt.

(vgl. [40] S. 514-516; [46] S. 14,15,17,18;[64] S. 59,60; [39] S. 564-567)

2.3.4.4) Geothermie in Österreich

Im Jahr 2007 wurden in Österreich 15.241 Stück Wärmepumpen aller Kategorien verkauft. 2008 konnte man eine Steigerung der Verkaufszahlen von 23,4% verzeichnen. Insgesamt wurden 2008 in Österreich 18.690 Stück Wärmepumpen neu installiert. Die Verkaufszahlen der Jahre 1998 bis 2008 sind in Tabelle 2.4 dargestellt.

Jahr	Brauchwasser [Stk]	Lüftung [Stk]	Heizung [Stk]	Entfeuchtung [Stk]	Gesamt [Stk]
1998	2.940	0	1.879	81	4.900
1999	2.708	0	1.904	111	4.723
2000	2.690	80	2.025	90	4.885
2001	2.810	120	2.660	120	5.710
2002	2.420	160	3.200	100	5.880
2003	2.761	221	3.953	113	7.048
2004	2.962	258	4.748	96	8.064
2005	3.253	349	6.193	105	9.900
2006	3.942	723	8.515	79	13.259
2007	4.264	486	10.398	93	15.241
2008	5.579	488	12.623	keine Angabe	18.690

Tab. 2.4: Anzahl der verkauften Wärmepumpenanlagen in den Jahren 1998 - 2008 [2]

In Abbildung 2.31 sind die Werte der Tabelle 2.4 grafisch dargestellt. Das Wachstum im Vergleich zum Jahr 2007 war bei den Heizungs- und Brauchwasserwärmepumpen am Größten. Bei den Heizungswärmepumpen wurden im Jahr 2008 12.623 Stück in Österreich installiert. Gegenüber 2007 bedeutet das eine Steigerung von 21,4%. Das Wachstum bei den Brauchwasserwärmepumpen betrug gegenüber 2007 30,8% was einer Stückzahl von 5.579 entspricht. Bei den Lüftungswärmepumpen blieben die Verkaufszahlen nahezu konstant. 2008 gab es keine Angaben zu den Wärmepumpen zur Schwimmbadentfeuchtung. Ab dem Jahr 2000 kann ein starkes Marktwachstum beobachtet werden. Die Gründe für dieses Wachstum liegen in der Weiterentwicklung der Technologie, den bevorzugten Einsatz in energieeffizienten

Gebäuden und den energiepolitischen Anreizen. Im Jahr 2008 waren insgesamt 156.482 Wärmepumpen in Österreich in Betrieb, wobei eine technische Lebensdauer von 20 Jahren angenommen wurde. Es konnten insgesamt 1.210 GWh Umgebungswärme nutzbar gemacht werden und es wurde eine CO₂-Nettoeinsparung (Strombedarf für Antrieb ist berücksichtigt) von 497.297t erzielt.

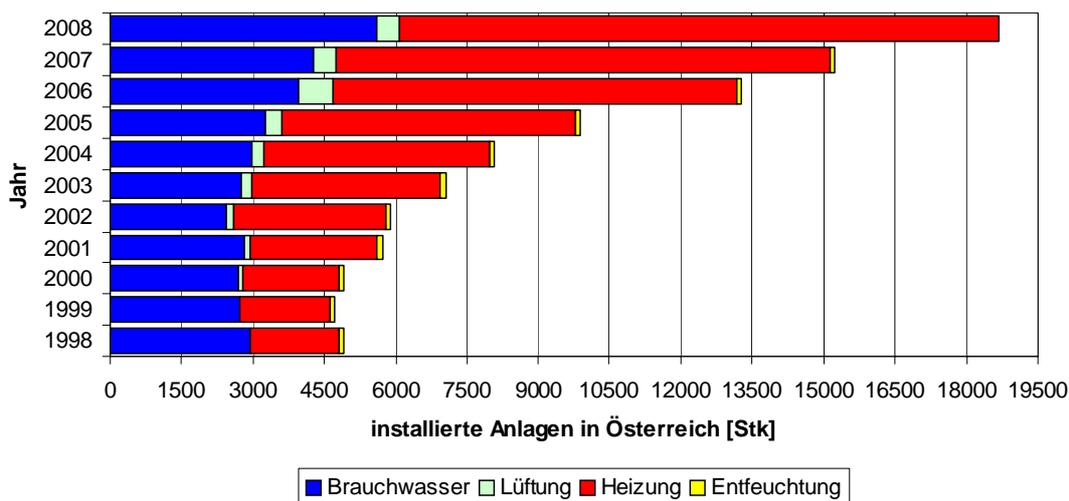


Abb. 2.31: Entwicklung des Wärmepumpen-Inlandsmarktes von 1998 bis 2008 nach Kategorien; [2]

In Tabelle 2.5 werden Heizungswärmepumpen inklusive der Wohnraumlüftung aller Leistungsklassen in den Jahren 2007 und 2008 nach der Art der Wärmequelle dargestellt. Der meist verkaufte Wärmepumpen-Typ 2008 war die Sole/Wasser Wärmepumpe. Der Marktanteil betrug 45%. Bei den Luft/Wasser Wärmepumpen ist das stärkste Wachstum in der Leistungsklasse bis 20kW zu verzeichnen. Im Vergleich zu 2007, 1.755 Stück, konnte hier eine Steigerung von 108,4% auf 3.657 Stück erreicht werden. In der Leistungsklasse 20-80kW wurden 2008 400 Luft/Wasser Wärmepumpen verkauft, ein Plus von 13,3% gegenüber dem Jahr 2007. Bei einer Leistung > 80kW sind die Zahlen jedoch rückgängig. Die Veränderung von 2007 auf 2008 betrug minus 100% in absoluten Zahlen bedeutet das, dass 2008 keine Luft/Wasser Wärmepumpen mit einer Leistung > 80kW verkauft wurden. In Summe wurden 2008 4.057 Stück Luft/Wasser Wärmepumpen verkauft.

Typ	Anzahl 2007 [Stk]	Anteil 2007 [%]	Anzahl 2008 [Stk]	Anteil 2008 [%]
Direktverdampfung	1.274	11,7%	1.181	9,0%
Luft/Luft	486	4,5%	488	3,7%
Luft/Wasser	2.110	19,4%	4.057	30,9%
Wasser/Wasser	1.413	13,0%	1.480	11,3%
Sole/Wasser	5.601	51,5%	5.905	45,0%
Summe	10.884	100,0%	13.111	100,0%

Tab. 2.5: Anzahl der Wärmepumpen nach unterschiedlichen Wärmequellen in den Jahren 2007 und 2008 [2]

In Abbildung 2.32 werden die Häufigkeit der Wärmepumpensysteme in den Jahren 2007 und 2008 gegenübergestellt. Hier ist der Anstieg der Luft/Wasser Wärmepumpen deutlich sichtbar.

Der Marktanteil betrug 2008 30,9%. Mit 5.905 Stück und einem Marktanteil von 45% ist die Sole/Wasser Wärmepumpe wie 2007 das am Häufigsten verkaufte Wärmepumpensystem. Insgesamt wurden 2008 13.111 Heizungswärmepumpen inklusive Wohnraumlüftung unabhängig vom Typ und der Leistungsklasse verkauft.

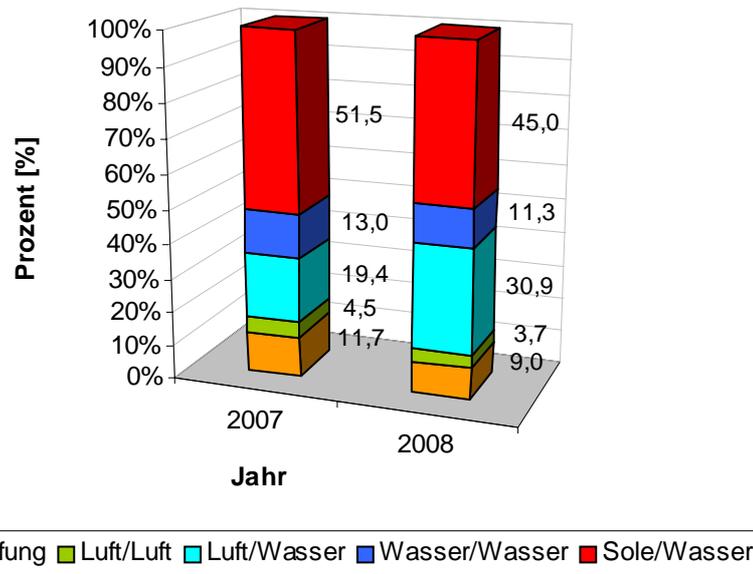


Abb. 2.32: Wärmepumpensysteme 2007 und 2008 [2]

-) Zukünftige Entwicklung

In Österreich kommen meist Heizungswärmepumpen, Brauchwasserwärmepumpen oder Kombigeräte zum Einsatz. Als Wärmequellensysteme werden Erdkollektoren, Tiefensonden, Grundwasserbrunnen oder Luft-Wärmetauscher verwendet. Ein Zukunftstrend zeigt sich beim Einsatz der Wärmepumpen in der Wohnraumklimatisierung. Ein weiteres Anwendungsgebiet der Wärmepumpe wird in der Altbausanierung in Bezug auf die Entfeuchtung liegen. Durch neue Technologien können neue Wärmequellensysteme in geothermischen oder tiefbau-technischen Bereichen genutzt werden. Eine Kombination von bereits bekannten Technologien z.B. die Kopplung von Wärmepumpe und solarthermischen Anlagen wird angestrebt. (vgl. [2] S. 51-58, 67,68)

2.3.5) Biomasse

2.3.5.1) Geschichte

Biomasse wurde von den Menschen von jeher genutzt. Mit Holz und Torf war es möglich Nahrung zuzubereiten und für Wärme zu sorgen. Durch Feuer war es möglich, Geräte und Werkzeuge durch geschmolzenes Metall herzustellen. (vgl. [68] S. 323-325)

2.3.5.2) Biomasse

Als Biomasse versteht man Stoffe mit organischer Herkunft. Zur Biomasse zählen die Phyto- und Zoomasse sowie die daraus entstandenen Rückstände, Nebenprodukte und Abfälle, abgestorbene, noch nicht fossile Phyto- und Zoomasse und Stoffe, die durch technische Umwandlung und stoffliche Nutzung anfallen. Wird die Biomasse direkt durch Photosynthese gebildet, spricht man von Primärprodukten. Dazu zählen die gesamte Pflanzenmasse, land- sowie forstwirtschaftliche Produkte aus Energiepflanzen und pflanzliche Rückstände aus Land- und Forstwirtschaft, Industrie und Haushalt. Durch Ab- oder Umbau der organischen Substanzen in höhere Organismen entstehen Sekundärprodukte. Darunter fallen unter anderem die gesamte Zoomasse, deren Exkremente sowie Klärschlamm. (vgl. [40] S. 93, 645; [39] S. 2,3)]

Einteilung der Biomasse in angebaute Biomasse, in Nebenprodukte, Rückstände und Abfälle sowie in die sonstige Biomasse. (vgl. [39] S. 75, 77, 88, 89, 92, 99, 103, 109, 112, 115, 135, 137-143, 148, 157-158)



Abb. 2.33: angebaute Biomasse: Mais



Abb. 2.34: Nebenprodukte, Rückstände, Abfälle: Baumschnitt, Getreidestroh, Schwemmholz



Abb. 2.35: sonstige Biomasse: Gülle

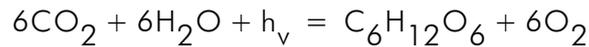
forstwirtschaftlich produzierte Lignocellulosepflanzen	Wald	Brennholz	angebaute Biomasse
landwirtschaftlich produzierte Lignocellulosepflanzen	schnellwachsende Baumarten Kurzumtriebsplantagen	Pappel, Weide	
	Energiepflanzen	Miscanthus (Elefantengras), Knautgras, Rohrschwinger	
	Futtergräser		
	Getreidepflanzen	Roggen, Weizen, Triticale	
	Ölpflanzen	Raps, Sonnenblume	
Zucker- und Stärkepflanzen	Zuckerrübe, Kartoffel, Mais		
holzartige Biomasse	Durchforstungs- und Waldrestholz		Nebenprodukte, Rückstände, Abfälle
	Landschaftspflegeholz	Baumschnitt, Schwemmholz, Straßenbegleitholz	
	Industrierestholz	Schwarte, Späne, Rinde, Schleifstaub	
	Altholz		
halmgutartige Biomasse	Stroh	Getreidestroh, Maisstroh	
	Halmgüter aus Landschaftspflege	Grasschnitt	
	Exkremate aus Nutztierhaltung	Gülle, Mist	sonstige Biomasse
	Siedlungsabfälle	organische Hausmüllfraktion	
	Rückstände, Nebenprodukte, Abfälle aus Industrie und Gewerbe	Gemüsereste, Schlachthofabfälle	
	organisch belastete Abwasser	Klärgas, Klärschlamm	

Tab. 2.6: Einteilung Biomasse in angebaute Biomasse, in Nebenprodukte, Abfälle und Rückstände, und in sonstige Biomasse (vgl. [39])

2.3.5.3) Grundlage

Photosynthese

Die gesamte Biomasse wird durch die Photosynthese gebildet. Bei diesem Prozess wird Lichtenergie in chemische Energie umgewandelt. Kohlenstoffdioxid und Wasser werden mit Hilfe der Lichtenergie in Hexosen bzw. Zucker und Sauerstoff umgewandelt. Wobei das Licht von Chlorophyll, einem grünen, lichtabsorbierenden Pigment absorbiert wird.



CO_2 = Kohlenstoffdioxid

H_2O = Wasser

h_ν = Licht

$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ = Glukose

O_2 = Sauerstoff

Glukose gehört zu den Kohlenhydraten und liefert somit Energie.

(vgl. [40] S. 93-95; [68] S. 100-101)

2.3.5.4) Umwandlung

Um feste, flüssige oder gasförmige Sekundärenergieträger zu erhalten, kann man drei verschiedene Umwandlungsverfahren unterscheiden. Nach der Umwandlung besitzen die Energieträger zuvor festgelegte Eigenschaften.

-) thermo-chemische Umwandlung

Bei diesem Verfahren werden feste Energieträger, meist durch Wärme, in feste, flüssige oder gasförmige Sekundärenergieträger umgewandelt. Zu dieser Art der Veredelung zählen die Vergasung, die Pyrolyse sowie die Verkohlung.

Bei der thermo-chemischen **Vergasung** werden Festbrennstoffe in brennbare Gase transformiert. Die Umwandlung erfolgt bei sehr hohen Temperaturen. Der gebundene Kohlenstoff wird durch Zugabe von Sauerstoff in Kohlenstoffmonoxid umgewandelt. Eingesetzt werden die niederkalorischen Gase in Brennern zur Bereitstellung von Wärme und in der Stromerzeugung. Die Erzeugung von Strom erfolgt mit Hilfe von Gasmotoren oder -turbinen oder durch Brennstoffzellen. Durch weitere Umwandlung des Gases können auch flüssige Sekundärenergieträger hergestellt werden, welche in Blockheizkraftwerken oder auch im Verkehrssektor eingesetzt werden.

Bei der **Pyrolyse** werden die festen organischen Stoffe durch thermische Energie verflüssigt. Ziel ist es, einen möglichst hohen Anteil an flüssigen Bestandteilen zu erhalten. Die Zersetzung erfolgt unter Sauerstoffabschluss. Beim pyrolytischen Abbau wird die Biomasse in feste (zB Holzkohle), flüssige (zB Bioöl) und gasförmige (zB Kohlenstoffmonoxid) Rückstände zerlegt, die getrennt genutzt werden können. Die flüssigen Sekundärenergieträger werden als Brennstoff in Feuerungsanlagen oder als Treibstoff für Motoren, die zur Kraft- und/oder Wärmebereitstellung genutzt werden, verwendet.

Bei der **Verkohlung** soll der Anteil an umgewandelten Festbrennstoffen (Holzkohle) möglichst hoch sein. Die Veredelung erfolgt wieder mit Hilfe von Wärme, welche auch durch die teilweise Verbrennung des Ausgangsmaterials bereitgestellt wird. Der so entstandene verkohlte Festbrennstoff kann zur Bereitstellung von Wärme genutzt werden.

Vergasung, Pyrolyse und Verkohlung unterscheiden sich dadurch, dass bei der thermochemischen Umwandlung entweder der Anteil an den gasförmigen, den flüssigen oder den festen Bestandteilen maximiert wird. Die Prozesse finden bei unterschiedlichen Temperaturen und unterschiedlichem Sauerstoffbedarf statt. (vgl. [40] S. 648,649; [68] S. 325-327; [39] S. 5,6)

-) physikalisch-chemische Umwandlung

Durch die physikalisch-chemische Umwandlung erhält man Energieträger auf Pflanzenölbasis. Die ölhaltige Biomasse (z.B. Raps) muss zuerst getrennt werden. Erfolgt die Trennung durch Auspressen erhält man im Fall von Raps das Rapsöl und den Rapskuchen, der den festen Pressrückstand darstellt. Eine weitere Möglichkeit stellt die Herauslösung der einzelnen Bestandteile mit geeigneten Lösungsmitteln dar (Extraktion). Lösungsmittel und Öl müssen dann wieder von einander getrennt werden. Den festen Rückstand bezeichnet man als Extraktionsschrott, der häufig als Futtermittel genutzt wird. Die Pflanzenöle sind entweder direkt nach der Gewinnung oder nach einer weiteren chemischen Umwandlung in Motoren oder Heizkraftwerken als Treib- und Brennstoff einsetzbar. (vgl. [40] S. 649; [39] S. 6)

-) bio-chemische Umwandlung

Durch Mikroorganismen wird die Biomasse in Sekundärenergie umgewandelt. Unterschieden werden die alkoholische Gärung, der anaerobe Abbau und der aerobe Abbau.

Bei der **Alkoholgärung** wird zucker-, cellulose- und stärkehaltige Biomasse mit Hilfe von z.B. Hefe in Ethanol (C_2H_5OH) umgewandelt. Die Biomasse muss vorher entsprechend aufbereitet werden. Der entstandene Alkohol wird durch Destillation abgetrennt. Das am Ende des Prozesses durch Absolutierung gewonnene reine Bioethanol wird als Treib- oder Brennstoff zur End- bzw. Nutzenergiebereitstellung eingesetzt. Durch den **anaeroben Abbau** wird Biogas erzeugt. Die Umwandlung erfolgt durch bestimmte Bakterien und unter Sauerstoffabschluss. Biogas besteht zu 2/3 aus Methan (CH_4). Dieser natürliche Prozess findet unter anderem am Grund von Seen sowie in Bio- und Klärgasanlagen oder in Deponien statt. Das Gas kommt in Motoren oder in Gasbrennern zum Einsatz. Beim **aeroben Abbau** findet ebenfalls durch Bakterien, jedoch mit Hilfe von Sauerstoff eine Umwandlung statt. Bei diesem Prozess wird Wärme freigesetzt, die durch Wärmepumpen nutzbar gemacht werden kann.

(vgl. [40] S. 649,650; [68] S. 348; [39] S. 6,7)

2.3.5.5) Nutzung

Als fester, flüssiger oder gasförmiger Brennstoff kann Biomasse zur Erzeugung von Wärme und Strom sowie als Kraftstoff eingesetzt werden. Bei der Wärmeerzeugung werden vorwiegend biogene Festbrennstoffe (Stückholz, Pellets, usw.), sowie Biogas und zu einem kleinen Anteil flüssige Brennstoffe verwendet. Die Stromerzeugung kann mit festen, flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen erfolgen. Neben der Erzeugung von Wärme und Strom ist auch die Bereitstellung von Kraftstoffen (z.B. Biodiesel) möglich.

Erzeugung von Wärme durch Biomasse:

Unterschiedliche Heizsysteme können zur Wärmebereitstellung genutzt werden. Sie reichen von offenen Kaminen, Kachelöfen, Zentralheizungssystemen mit Hackgut oder Pellets, bis hin zu Nah- und Fernwärmesystemen.

Stückholz kann als ein Meter langes Scheitholz oder als ofenfertiges Stückholz mit einer Länge von 25, 33 oder 50 cm bezogen werden. Die Abgabe erfolgt üblicherweise in Raummetern

(rm). Der Wassergehalt sollte 20 Prozent nicht überschreiten, was jedoch eine Lagerung von mindestens zwei Jahren erfordert. Der Energieinhalt bei einem Raummeter Fichte liegt bei 1350 kWh, das entspricht 135 Liter Heizöl. Als Richtwert gilt hier 1.000 Liter Heizöl entsprechen rund 7,5 rm Fichte oder 5 rm Buche. Einige Anbieter in Österreich verkaufen Qualitätsbrennholz unter dem geschützten Gütesiegel „Ofenholz“.



Abb. 2.36: Brennholz während Lagerung

Als Hackgut bzw. Hackschnitzel wird maschinell zerkleinertes Holz verstanden. Gehandelt werden Hackschnitzel in Schüttraummeter (Srm). Der Energieinhalt von einem Srm Buche beträgt 1060 kWh bzw. 106 Liter Heizöl bei einem Wassergehalt von 35 Prozent. Als Richtwert kann angenommen werden, dass 13,5 Srm Fichte bzw. 10 Srm Buche rund 1000 Liter Heizöl entsprechen. Qualitätshackgut wird unter dem geschützten Gütesiegel „Holzschnitzel“ angeboten.



Abb. 2.37: Waldhackgut Abbildung: © BMLFUW 1998 - 2010/Kern [5]

Pellets werden aus Restholz hergestellt. Die zylindrischen Presslinge haben einen Durchmesser von vier bis zehn Millimeter und eine Länge von 10 bis 50 Millimeter. Die Lagerung erfolgt in Säcken, in Silos, in Erdtanks oder in einem eigenen Lagerraum. Als Richtwert gilt: 2000 kg Pellets entsprechen ungefähr 1000 Liter Heizöl.



Abb. 2.38: Pellets Abbildung: Viessmann Werke [65]

Pellets- und Hackschnitzelfeuerungen funktionieren nach einem ähnlichen Prinzip. Die Hackschnitzel oder Pellets werden von einem Lagerraum automatisch zum Brenner befördert.

Bei Nah- und Fernwärmesystemen werden einzelne Objekte, bis hin zu ganzen Dörfern mit Wärme versorgt. Über die Heizzentrale, einem Biomasseheizwerk, gelangt das warme Wasser über isolierte Leitungen zu den einzelnen Abnehmern, wo die Wärme an die einzelnen Heizsysteme abgegeben wird. Das abgekühlte Wasser wird wieder zur Heizzentrale zurückgeführt. (vgl. [51], [52])

Erzeugung von Wärme und Strom durch Biomasse:

Bei der Erzeugung von Strom durch Biomasse entsteht immer Wärme. Bei gleichzeitiger Wärmebereitstellung und Stromerzeugung spricht man von Kraft-Wärme-Kopplung. Biogas

wird in Blockheizkraftwerken (BHKW) zur gleichzeitigen Erzeugung von Strom und Wärme genutzt.

Erzeugung von Strom durch Biomasse:

Bei der Umwandlung von Biomasse in Strom kommen verschiedene Verfahren zum Einsatz. Die Produktion von Strom kann durch den Dampfkreisprozess, die Vergasung, den Sterlingmotor oder über den ORC-Prozess (Organic-Ranking-Cycle) erfolgen.

Bei Dampfkreisprozessen wird aus einem in einem geschlossenen Kreislauf befindlichen, flüssigen Arbeitsmittel Dampf erzeugt. Der Dampf wird in einer Dampfturbine oder einem Dampfmotor entspannt, wobei mechanische Energie an die Turbine abgegeben und über einen Generator Strom erzeugt wird. Das Arbeitsmittel, meist gereinigtes Wasser, wird danach kondensiert und wieder der Wärmequelle zugeführt.

Der ORC-Prozess basiert auf dem gleichen Prinzip wie der Dampfkreisprozess, jedoch wird hier ein organisches Arbeitsmittel, welches niedrige Siede- und Kondensationstemperaturen aufweist, eingesetzt. Die bei der Verbrennung von Biomasse entstehende Wärme wird für die Erwärmung eines Thermoöls verwendet. Das Thermoöl weist eine bestimmte maximale Temperatur auf, welche sich auf das organische Arbeitsmittel bezieht. Durch das Thermoöl wird die Wärmeenergie in einem Verdampfer an das Arbeitsmittel übergeben. Nach der Verdampfung des organischen Arbeitsmittel, wird der Dampf in einer Dampfturbine entspannt und mechanische Energie freigesetzt. Von der Turbine wird die mechanische Arbeit an den Generator weitergeleitet. Handelt es sich um eine Kraft-Wärme Kopplung wird das Arbeitsmittel in einem Heizkondensator kondensiert und die daraus entstehende Wärme kann in ein Nahwärmenetz eingespeist werden. Das Kondensat wird wieder dem Verdampfer zugeführt und der Kreislauf ist geschlossen.

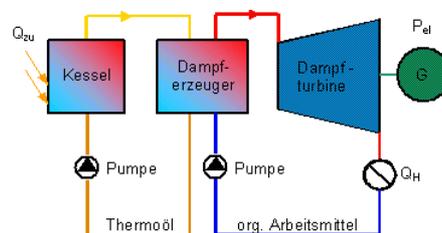


Abb. 2.39: Prinzip ORC Prozess; Abbildung: energytech.at [19]

Bei Stirlingmotoren wird eine konstante Menge eines Gases durch Zufuhr von Wärme ausgedehnt. Die Verbrennungsgaswärme von fester Biomasse kann unter anderem als Wärmequelle genutzt werden. Das Gas, welches durch zwei Kolben zwischen einem Ort mit hoher Temperatur und einem Ort niedriger Temperatur hin und her bewegt wird, erfährt durch die Temperaturänderung eine Volumsänderung. Die auf die Kolben ausgeübte Kraft wird an die Rotationswelle des Stirlingmotors übertragen und an einen angeschlossenen Generator weitergeleitet. Die Erzeugung von Kraft ist von der Wärmequelle getrennt, somit können auch andere Wärmequellen die z.B. aus industrieller Abwärme oder Solarenergie stammen genutzt werden. Das bei der Vergasung entstandene Produktgas kann durch interne oder externe Verbrennung zur Stromerzeugung genutzt werden. Die bei der externen Verbrennung des Gases in einem Brenner entstehende Wärme wird zur Erwärmung eines Arbeitsmittel genutzt, welches eine Kraftmaschine antreibt (vgl. z.B. Stirlingmotor). Bei der internen Verbrennung werden Motoren, Gasturbinen oder Brennstoffzellen eingesetzt. Die interne Verbrennung ist thermo-dynamisch

günstiger als die externe Verbrennung. (vgl. [39] S.551, 553,554,564-567,642,645; [49])

Erzeugung von Biokraftstoffen:

Biodiesel wird aus ölhaltigen Pflanzen (Raps, Sonnenblume) gewonnen. Er besteht aus Pflanzenöl, Methanol und einem Katalysator. In Österreich werden fünf Prozent Biodiesel bei allen Dieseltankstellen beigemischt. Bei einer höheren Beimischung entstehen geringere Mehrinvestitionen für Autos. Damit Biodiesel zu 100 Prozent verwendet werden kann erfordert es einer Freigabe durch den Motorenhersteller.



Abb. 2.40: links: Rapsfeld, rechts: Sonnenblume; Abbildung: eurosolar.at/Ing. Martin Litschauer [23]

Bioethanol wird aus stärke- und zuckerhaltigen Pflanzen gewonnen und ist ein hochwertiger Alkohol. Gewonnen wird Bioethanol durch die alkoholische Gärung. Bioethanol besitzt gute motorische Eigenschaften. Bei Benzin-Tankstellen werden bis zu fünf Prozent Ethanol beigemischt. Bei der Verwendung von reinem Bioethanol (Superethanol E85) müssen die Motoren angepasst werden und eigene Zapfsäulen sind erforderlich.

Biogas wird durch die anaerobe Gärung erzeugt. Dazu werden z.B. Gülle oder Silagen verwendet. Bestandteile von Biogas sind zu 60 Prozent Methan und 40 Prozent Kohlenstoffdioxid (CO₂). Biogas kann entweder in das Erdgasnetz eingespeist oder für Erdgasfahrzeuge verwendet werden. Es sind erdgastaugliche Fahrzeuge notwendig. Weitere Biokraftstoffe können eingesetzt werden, sie spielen aber zur Zeit noch eine untergeordnete Rolle. Dazu gehören Pflanzenöle, welche jedoch eine Umrüstung des Motors nach sich ziehen, flüssige oder gasförmige Treibstoffe, die durch die thermische Vergasung gewonnen werden, die Erzeugung von Ethanol aus zellulosehaltiger Biomasse (Ganzpflanzennutzung), die Biomasse - Verölung (Pyrolyse) und die Gewinnung von Wasserstoff aus Biomasse. (vgl. [50])

2.3.5.6) Biomasse in Österreich

Jahr	Stückholzkessel		Pelletsfeuerungen		Hackgutfeuerungen bis 100 kW		Hackgutfeuerungen 101 - 1000 kW		Hackgutfeuerungen > 1 MW	
	Anzahl [Stk]	Leistung [kW]	Anzahl [Stk]	Leistung [kW]	Anzahl [Stk]	Leistung [kW]	Anzahl [Stk]	Leistung [kW]	Anzahl [Stk]	Leistung [kW]
2001	5.314	163.138	4.932	88.928	2.344	107.775	301	70.272	54	130.613
2002	4.276	127.941	4.492	84.323	2.392	106.574	223	66.407	26	71.400
2003	4.144	125.963	5.193	100.035	2.558	122.710	332	93.885	36	124.950
2004	4.555	136.504	6.077	118.327	2.855	133.532	369	90.002	43	221.810
2005	6.078	175.308	8.874	170.991	3.856	193.369	653	222.400	78	336.500
2006	6.937	205.969	10.467	202.181	3.949	195.178	777	226.946	82	320.430
2007	4.835	128.749	3.915	73.704	3.056	143.289	522	157.663	88	197.900
2008	7.405	204.018	11.101	220.388	4.096	191.090	639	195.191	57	105.900

Tab. 2.7: Anzahl und Leistung der installierten Anlagen in Österreich 2001 - 2008; [45]

Bei Stückholzkessel nehmen die Verkaufszahlen seit 2004 immer zu (vgl. Tab. 2.7). Die Ausnahme bildet das Jahr 2007 wo der Absatz um 30% zurück ging. Jedoch konnte im Jahr 2008 eine Steigerung von 53% erzielt werden. Bei Pelletsfeuerungen konnte man im Jahr 2007 ebenfalls einen starken Rückgang bei den errichteten Anlagen verzeichnen, insgesamt wurden nur 3.915 Stück installiert. Die große Steigerung im Jahr 2008 auf 11.101 Anlagen, das entspricht einem Plus von 283% gegenüber dem Vorjahr, ist auf Liefer- und Preisgarantien der Hersteller und auf den hohen Ölpreis zurückzuführen. Seit 2006 werden Kaminöfen die mit Pellets betrieben werden extra erfasst. Bei den Hackgutfeuerungen bis 100 kW kann man ein stetiges Wachstum von 2 bis 4% pro Jahr, Ausnahme ist auch hier das Jahr 2007, beobachten. Im Jahr 2008 konnten insgesamt 4.096 Anlagen errichtet werden. Hackgutfeuerungen von 101 bis 1000 kW und über 1000 kW werden zur Wärmeversorgung von kommunalen Bauten, von Industrie- und Gewerbebauten, sowie bei Nah- und Fernwärmenetzen eingesetzt. Bei den mittleren Anlagen wurden im Jahr 2008 insgesamt 639 neue Anlagen errichtet. Gegenüber dem Jahr 2007 entspricht dies einem Plus von 22%. Ein Minus von 35% gegenüber 2007 gab es hingegen bei den Anlagen im großen Leistungsbereich. 2008 wurden insgesamt 57 Anlagen mit mehr als 1 MW installiert. Die Daten der Tabelle 2.7 sind in den Abbildungen 2.41 und 2.42 getrennt nach Anlagenzahl und installierter Leistung dargestellt.

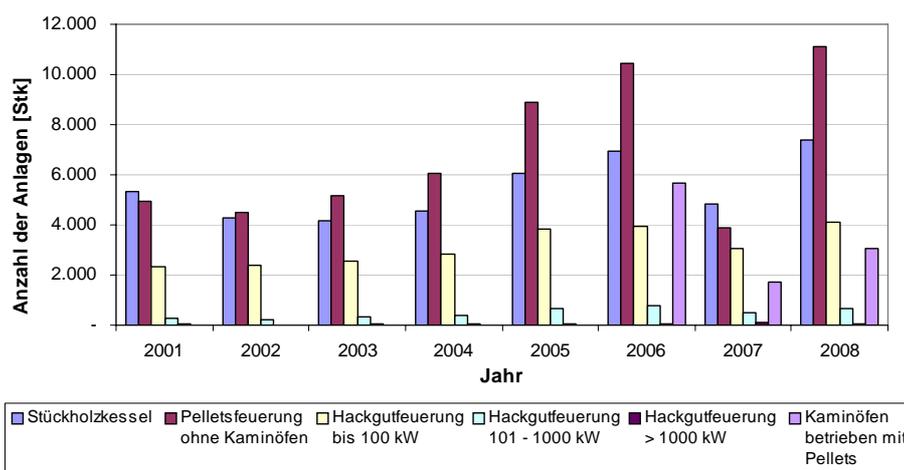


Abb. 2.41: Anzahl der errichteten Anlagen in Österreich in den Jahren 2001 bis 2008 [45]

In Abb. 2.42 ist die installierte Nennwärmeleistung in den Jahren 2001 bis 2008 grafisch dargestellt. Betrachtet wurden Stückholzkessel, Pelletsfeuerungen (Zentralheizungen bis 100 kW) und Hackgutfeuerungen, welche in drei Gruppen unterteilt sind. Vorallem in den Jahren 2005 und 2006 wurden Hackgut-Großanlagen mit einer großen Leistung installiert. 2005 betrug die gesamte installierte Leistung bei Hackgutfeuerungen über 1 MW in Österreich 336.500 kW und im Jahr 2006 320.430 kW. Im Vergleich dazu wurden im Jahr 2008 57 Anlagen mit einer Leistung von 105.900 kW installiert. Die in den Jahren 2005 und 2006 installierten Großanlagen wurden vor allem zur Stromerzeugung errichtet. Die 2008 installierte Gesamtleistung betrug 916.587 kW und setzt sich wie folgt zusammen: Stückholzkessel 204.018 kW, Pelletsfeuerung 220.388 kW, Hackgutfeuerung bis 100 kW 191.090 kW, Hackgutfeuerung 101 bis 1000 kW 195.191 kW und Hackgutfeuerungen > 1 MW 105.900 kW.(vgl. [45])

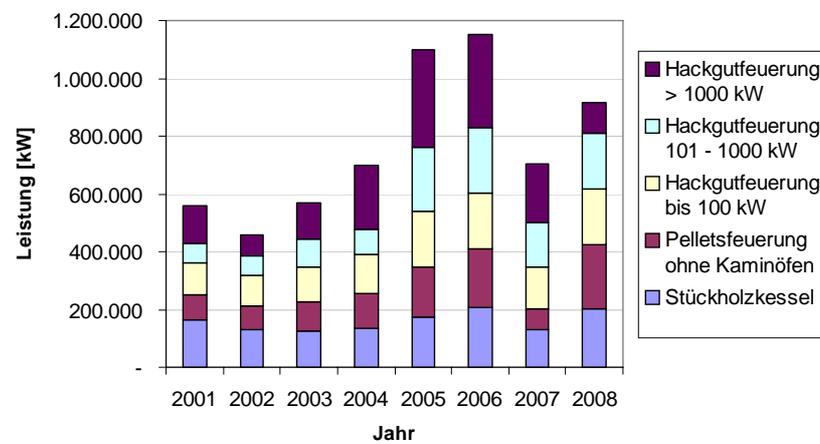


Abb. 2.42: installierte Nennwärmeleistung in den Jahren 2001 bis 2008 getrennt nach unterschiedlichen Feuerungsanlagen [45]

Photovoltaik

Mit Hilfe der Sonnenenergie kann entweder Wärme (vgl. Kapitel 1; 1.4.3) oder Strom bereitgestellt werden. Bei der Erzeugung von Strom durch Sonneneinstrahlung spricht man von Photovoltaik. Der Begriff Photovoltaik setzt sich aus dem griechischen Wort Photon (Licht) und dem Namen des italienischen Physikers Alessandro Volta (Einheit der elektrischen Spannung) zusammen. (vgl. [26] S. 8)

3.1) Sonne



Abb.3.1: Sonne

Die Sonne hat einen Radius von 696.000 km. Sie besteht aus 75% Wasserstoff, 23% Helium und 2% schwereren Elementen. Durch ständige Kernfusionprozesse im Inneren entsteht Energie. Die Sonne liefert mehr als 219.000 Billionen kWh pro Jahr an die Erde. Die Intensität der Strahlung außerhalb der Erdatmosphäre beträgt im Mittel 1.367 W/m^2 .

Die Erdoberfläche wird hingegen mit etwa 1.000 W/m^2 bestrahlt. Diese auftreffende Strahlung wird als Globalstrahlung bezeichnet. Die maximale Sonneneinstrahlung von 2.200 kWh/m^2 tritt in gewissen Gebieten von Australien, Süd- und Zentralafrika und Amerika auf.

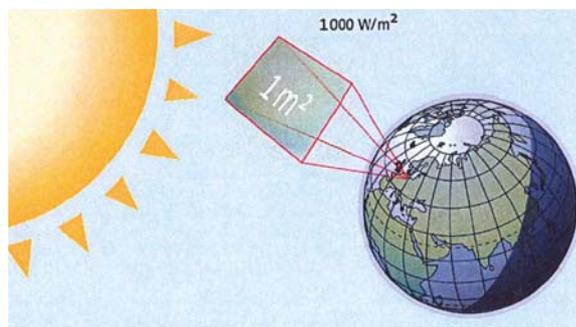


Abb.3.2: Globalstrahlung an der Erdoberfläche © Solarpraxis AG (vgl. [1] S. 17)

Die Verluste entstehen durch Absorption, Reflexion und Streuung, die in der Erdatmosphäre entstehen.

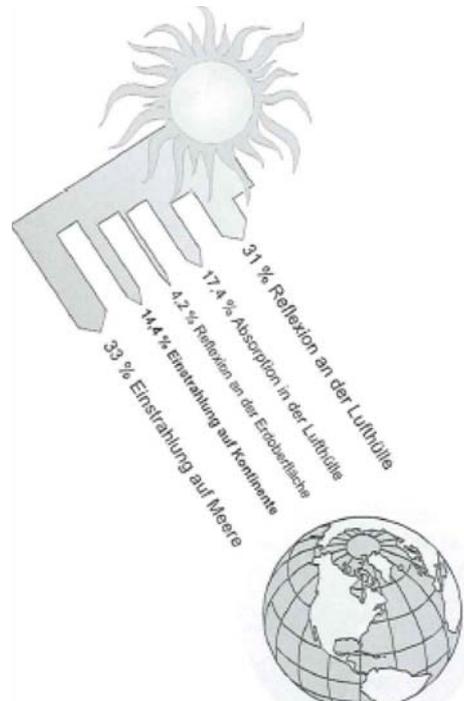


Abb.3.3: Verluste durch Absorption, Reflexion und Streuung (vgl. [26] Photovoltaikanlagen, Geist ISBN 978-89576-191-1)

Der Wert von 1.000 W/m² kann an klaren Tagen und hohem Sonnenstand erreicht werden. Bei Schlechtwetter verringert sich dieser Wert entsprechend.



Abb.3.4: Sonneneinstrahlung bei unterschiedlichem Wetter © Solarpraxis AG (vgl. [59] S. 17)

Man unterscheidet die direkte und die diffuse Strahlung, die zusammen die Globalstrahlung bilden. Bei uns überwiegt die diffuse Strahlung, die aber auch für die Nutzung der Sonnenenergie ausreicht. Selbst an schönen Tagen beträgt die diffuse Strahlung je nach Höhe 10 - 20%. Die Energie der Sonne kann direkt oder indirekt genutzt werden. Die Sonneneinstrahlung ist für die Entstehung von Wind, den Wasserkreislauf, für die Entstehung von Biomasse und für die Nutzung der oberflächennahe Geothermie verantwortlich. Somit sind Windkraft, Wasserkraft, Biomasse und Geothermie indirekt durch die Sonneneinstrahlung nutzbar. Bei der direkten Nutzung der Sonnenenergie kann man wiederum zwischen aktiver und passiver Nutzung unterscheiden. Aktiv kann die Sonnenenergie durch Erzeugung von Strom, Photovoltaik, und zur Erzeugung von Wärme, Solarthermie, genutzt werden. Eine passive Nutzung erfolgt z.B. durch die Gestaltung von Gebäuden. (vgl. [26] S.8; [59] S.23-25; [60]; [10]; [20])

3.2) Solarstrahlung in Österreich

Im Mittel beträgt die jährliche Sonneneinstrahlung 1.000 bis 1.100 kWh/m² in Österreich. Mit zunehmender Höhe steigt die Einstrahlung an, und es können Werte bis zu 1.400 kWh/m² erreicht werden. An einem schönen, klaren Tag wird in etwa soviel Energie auf Österreich gestrahlt, wie in einem Jahr verbraucht wird.

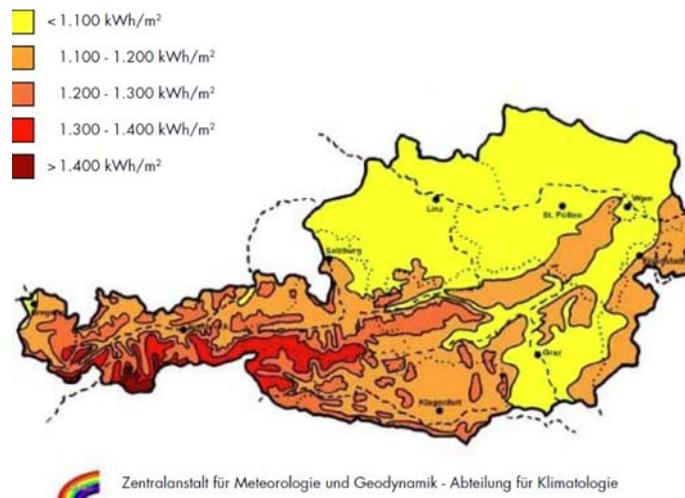


Abb.3.5: mittlere jährliche Summe der Globalstrahlung auf die horizontale Fläche in Österreich [62]

Die Sonneneinstrahlung von 1.000 kWh/m² jährlich, entspricht umgerechnet dem Energieinhalt von 100 Liter Öl pro m² jährlich. (vgl. [10]; [20])

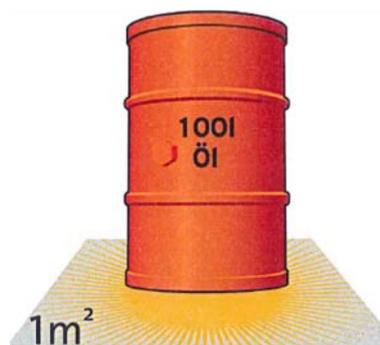


Abb.3.6: Einstrahlung von 1.000 kWh/m² entspricht 100 Liter Öl pro m² © Solarpraxis AG (vgl. [1] S. 23)

3.3) Geschichte der Photovoltaik

Alexandre Edmond Becquerel (1820-1891) entdeckte bereits 1839, dass durch den Einfluss von Licht gewisse Stoffe Elektrizität erzeugen. Mit Hilfe von elektrolytischen Experimenten konnte er feststellen, dass sich der Strom in der Versuchsanordnung je nach Beleuchtung ändert. Untersucht wurden Metallsalze und Metallelektroden in Elektrolyten. Wurde eine Elektrode mit Licht bestrahlt, floss zwischen den zwei, in einem Säurebad befindlichen Elektroden, Strom. Bei dieser Entdeckung spricht man vom Photoeffekt. Unterschieden wird zwischen dem äußeren und inneren Photoeffekt. Beim äußeren Photoeffekt (Becquerel 1839) treten Elektronen durch Lichteinfluss aus dem Feststoff aus, hingegen verbleiben beim inneren Photoeffekt die Elektronen im Feststoff und werden in einen energiereicheren Zustand übergeführt. Für die Photovoltaik ist der innere Photoeffekt maßgebend, welcher vom Briten Willoughby Smith im Jahr 1873 erstmals beschrieben wurde. Die erste Solarzelle aus Selen wurde im Jahr 1883 vom Amerikaner Charles Fritts hergestellt. Mit einer Modulfläche von 30 cm² konnte ein Wirkungsgrad von 1% erreicht werden. Erst Albert Einstein fand 1905 eine theoretische Erklärung für diesen Effekt. Die Erklärung basierte auf der Lichtquantenhypothese von 1905. 1921 erhielt er dafür den Nobelpreis für Physik. Nach Erfindung der Diode wurde die erste photovoltaische Solarzelle entwickelt. Solarzellen funktionieren nach dem umgekehrten Prinzip von Dioden. Wird die Solarzelle mit Sonnenlicht bestrahlt, entsteht durch die auftreffenden Photonen des Lichts ein Elektronenüberschuss bzw. -mangel in den unterschiedlichen Schichten der Solarzelle. Dadurch kommt es zu einer elektrischen Ladung. 1948 meldete Russell S. Ohl (1898 - 1967) für ein lichtempfindliches Silizium Bauelement ein Patent an. Von William Bradford Shockley (1910 - 1989) wurde 1949 eine Halbleiter-Halbleiter-Diode aus Germanium entwickelt. Dabei wurden durch eine unterschiedliche Dotierung mit Fremdstoffen Bereiche für positive und negative Ladungsträger geschaffen. Man spricht vom p-n Übergang. 1954 konnte von den Amerikanern Chapin, Fuller und Pearson die erste p-n Solarzelle aus Silizium präsentiert werden. Mit dieser Solarzelle konnte bereits ein Wirkungsgrad von 4-6% erreicht werden. Zuerst war die Anwendung auf Satelliten beschränkt. 1958 wurde der amerikanische Satellit Vanguard I mit Photovoltaikzellen ins All geschickt. Die Nutzung der Photovoltaik auf der Erde beschränkte sich zunächst nur auf die Versorgung von abgelegenen Objekten mit Strom. Inselanlagen wurden für Siedlungen, die vom nächsten Stromnetz weit entfernt waren, eingesetzt. Erst durch die Energiekrise erfuhr die Photovoltaik einen Aufschwung. Um den großen Aufwand bei der Fertigung zu reduzieren, wurden neue Technologien entwickelt und andere Materialien eingesetzt. In den 80ern begann man erste Großprojekte zu realisieren. 1982 wurde in Amerika das erste Solarkraftwerk mit einer Leistung von 1 MW in Betrieb genommen. Im folgenden Jahr wurde in Deutschland ein Kraftwerk mit 300 kW realisiert. Beide Anlagen speisten den Strom in das öffentliche Netz ein. 1987 wurde in der Schweiz das Projekt Megawatt gestartet. Es wurden auf 333 Gebäuden 3 kWp Anlagen installiert.

Durch das 1.000-Dächer Programm in Deutschland wurde 1990 das Stromeinspeisegesetz verabschiedet, worin die Einspeisung und Vergütung der erzeugten Energie geregelt wurde. 1999 folgte dem 1.000-Dächer Programm das 100.000 Dächer Programm. Bei der Entwicklung der Photovoltaik lag das Hauptaugenmerk zuerst auf der Verbesserung der Wirkungsgrade. Mittlerweile stehen jedoch die Material- und Kostenersparnis im Vordergrund.

(vgl. [26] S. 8, [59] S. 26-30, [66] S 3-6, [68] S.122,123)

3.4) Bestandteile einer Photovoltaikanlage

Eine Photovoltaikanlage besteht aus unterschiedlichen Anlageteilen wie in Abbildung 3.7 dargestellt.

- 1) Solargenerator
- 2) Generatoranschlusskasten
- 3) Wechselrichter
- 4) Einspeisezähler
- 5) Netzanschluss
- 6) Verbraucher

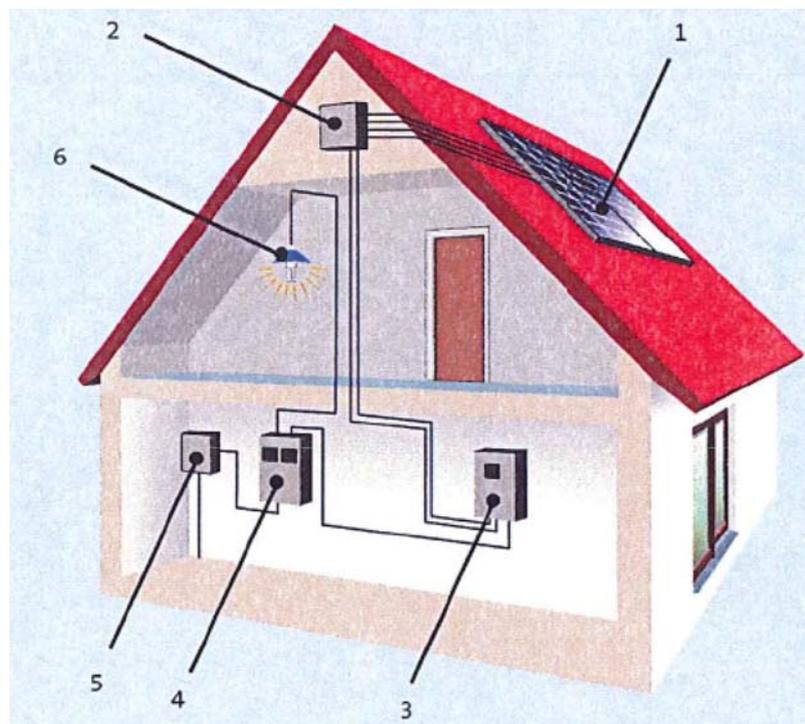


Abb.3.7: Bestandteile einer Photovoltaikanlage © Solarpraxis AG (vgl. [1] S. 129)

3.4.1) Die Solarzelle

Durch Solarzellen wird die Sonnenenergie in elektrische Energie umgewandelt, dabei wird Gleichstrom produziert. Die Solarzelle ist ein optoelektronisches Bauelement. Für die photovoltaische Energieumwandlung werden Halbleiterdioden eingesetzt. In die Zelle werden Fremdatome eingebracht, wodurch zwei Bereiche mit unterschiedlichen elektrischen Eigenschaften entstehen. Als Fremdatome werden zum Beispiel Bor und Phosphor eingesetzt, wodurch eine negative und eine positive Halbleiterschicht entsteht. An der Grenzschicht zwischen dem n-leitenden und dem p-leitenden Material (p-n-Übergang) entsteht ein elektrisches Feld, die Raumladungszone. Durch Licht erfolgt eine Trennung der elektrischen Ladungen in der Raumladungszone, und es entsteht eine Gleichspannung. Die Gleichspannung ist von der Stärke der Bestrahlung beinahe unabhängig. Man unterscheidet Solarzellen der 1. Generation, Massiv-Zellen aus Silizium- oder Galliumarsenid, der 2. Generation, Dünnschichtsolarmodulen, und der 3. Generation, bei der mehrere dünne Schichten von unterschiedlichen Materialien verwendet werden.

(vgl. [44] S. 10,11; [66] S. 43,179,180; [1] S. 137; [29] S. 78,79; [26] S.8)



Abb.3.8: Funktionsweise einer Solarzelle Quelle: Bosch vgl.: [3]

3.4.1.1) Arten und Herstellung von Solarzellen

Man unterscheidet monokristalline, polykristalline und Dünnschicht - Solarzellen. Am Häufigsten kommen Siliziumsolarzellen zum Einsatz. Silizium wird aus Siliziumdioxid (SiO_2) welches als Quarzsand oder als Quarzkristall in der Natur vorkommt, hergestellt. Durch Zugabe von Kohle wird Siliziumdioxid zu Rohsiliziums, welches eine Reinheit von rund 98% aufweist. Nach dem feinen Mahlen des Rohsiliziums wird Chlorwasserstoff hinzugegeben. Durch die Reaktion beider Stoffe miteinander entsteht Trichlorsilan (SiHCl_3). Die Flüssigkeit wird gereinigt und bei einer Temperatur von $1.000\text{ }^\circ\text{C}$ - $1.200\text{ }^\circ\text{C}$ entsteht aus dem gasförmigen SiHCl_3 und Wasserstoff H_2 hochreines polykristallines Silizium (Si).

Bei der Herstellung von **monokristallinen Solarzellen (c-Si)** wird das polykristalline Silizium geschmolzen. Aus dieser Schmelze werden dann sogenannte Einkristalle (monokristalline Stäbe) gezogen. Zwei unterschiedliche Verfahren sind von Bedeutung: das Zonenziehen und das Tiegelziehen. Beim Zonenziehen werden polykristalline Silizium-Stäbe in einer Schutzgasatmosphäre durch ein Heizelement geführt, wo eine schmale Zone aufgeschmolzen wird. Die Schmelze wird dann mit einem Impfkristall in Berührung gebracht und nimmt dessen Struktur an. Die Schmelze erstarrt und bildet so den Einkristall. Beim Tiegelziehen oder Czochralski-Verfahren befindet sich die Schmelze in einem Tiegel. Der Impfkristall wird aus der Schmelze herausgezogen und der Einkristall beginnt zu wachsen. Um unnötige Zwischenräume im Modul zu vermeiden, müssen die Einkristalle vor der Waferherstellung noch annähernd quadratisch zugesägt werden. Dadurch entsteht erheblicher Abfall, der dann bei der Waferherstellung durch die Dicke des Sägeblattes noch größer wird. Wafer sind dünne Silizium-Scheiben, die von den Stäben mit einer Dicke von 0,2 - 0,3 mm abgesägt werden. Je nach Herstellungsverfahren spricht man von CZ-Silizium-Scheiben (Czochralski) oder von FZ-Silizium-Scheiben (engl.: floating zone). Aus den Wafern werden nach mehreren Arbeitsschritten Solarzellen hergestellt. Bei den monokristallinen Solarzellen sind die Wafer silbrig glänzend. Die Herstellung von monokristallinen Zellen ist mit einem hohen Energie- und Zeitaufwand verbunden, jedoch weisen sie den höchsten Wirkungsgrad aller Zellen auf.

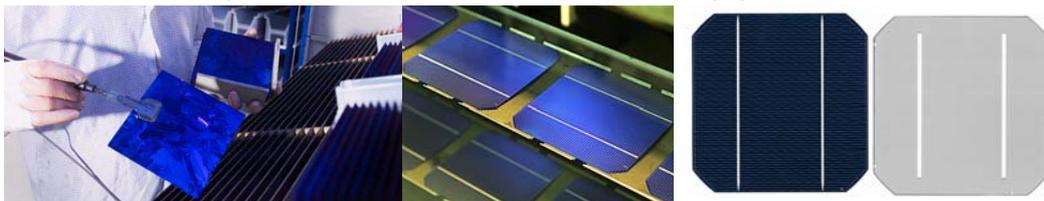


Abb.3.9: links: Siliziumwafer mitte: monokristalline Solarzelle Quelle: Bosch vgl. [3], rechts monokristalline Zelle Vorder- und Rückseite Quelle Q-Cells vgl. [54]

Bei der Produktion von **poly- oder multikristallinen Zellen (mc-Si)** kommt häufig das Blockgussverfahren zur Anwendung. Hierbei wird das hochreine polykristalline Silizium erhitzt und in quadratische Blöcke gegossen. Beim Erstarren werden die einzelnen Kristalle nur unregelmäßig angeordnet, dadurch entstehen polykristalline Siliziumstäbe. Diese Stäbe weisen bereits annähernd eine quadratische Form auf und können direkt in Wafer zersägt werden. Die Oberfläche der Wafer hat eine schillernde Struktur. Durch das Zersägen der Siliziumstäbe kommt es auch hier zu Verlusten. Zur Vermeidung dieser Verluste wurden verschiedene Verfahren entwickelt. Bei diesen Verfahren werden polykristalline Bänder aus Silizium gezogen. Beim EFG-Verfahren (engl.: edge-defined film-fed growth) werden dünne zylindrische, achteckige Rohre, Oktogon-Rohre, gezogen, aus denen die Wafer hergestellt werden.

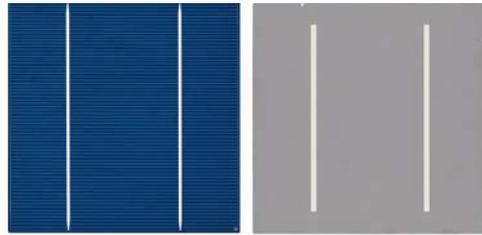


Abb.3.10: polykristalline Zelle Vorder- und Rückseite Quelle: Q-Cells vgl. [54]

Kugel-Solarzellen bestehen hingegen aus Siliziumkügelchen, die mit einem geringen Abstand zueinander, zwischen zwei Aluminiumfolien mit einer dazwischenliegenden Isolation eingepresst werden. Vorteile dieser Solarzellen sind die einfache Herstellung aus unreinem Silizium und ihre mechanische Flexibilität.

Bei Dünnschicht-Solarzellen ist der Materialverbrauch und somit auch der Aufwand an Energie bei der Herstellung geringer. Es werden Halbleitermaterialien eingesetzt, die nur eine geringe Schichtdicke aufweisen müssen, um die Photonen vollständig absorbieren zu können. Die Halbleitermaterialien werden auf Träger (Substrat) in dünnen Schichten, nur wenige μm , aufgedampft. Als Trägermaterial werden Glas, Keramik, Metall oder Kunststoff verwendet. Während der Herstellung können die einzelnen Solarzellen bereits in Serie geschaltet werden. Dünnschichtsolarzellen werden häufig aus amorphem Silizium ($\alpha\text{-Si}$), Cadmiumtellurid (CdTe) oder Kupferindiumdiselenid (CuInSe_2) hergestellt.

Amorphes Silizium hat eine ungeordnete Struktur, wodurch ungebundene Elektronen vorhanden sind. Diese ungebundenen Elektronen bilden gebrochene Bindungen, die zuerst zum Großteil mit Wasserstoff (H) gesättigt werden müssen, um das amorphe Silizium als Halbleitermaterial verwenden zu können. Dieses mit Wasserstoff gesättigte amorphe Silizium wird häufig als $\alpha\text{-Si:H}$ bezeichnet. Bei Solarzellen aus amorphem Silizium kommt es in den ersten Monaten zu einer Verringerung des Wirkungsgrads um bis zu 30%, danach stabilisiert sich der Wirkungsgrad.

Wird im Gegensatz zu amorphem Silizium **Cadmiumtellurid** als Halbleitermaterial verwendet, kommt es zu keiner Verringerung des Wirkungsgrades. Die Herstellung dieser Solarzellen durch das Vakuumverfahren, wobei das Material in Vakuumkammern bei einer gewissen Temperatur aufgebracht wird, ist einfach. Cadmiumtellurid-Zellen müssen als Sondermüll entsorgt werden, da Cadmium hochgiftig ist. Cadmiumtellurid gilt als sehr stabil, wodurch bei Normalbetrieb das Cadmium nicht in die Umwelt gelangen kann.

Dünnschichtsolarzellen aus **Kupferindiumdiselenid** werden auch kurz als CIS bezeichnet. Diese Zellen absorbieren rund 99% des Lichts und haben deshalb eine tiefschwarze Färbung. Hergestellt werden diese Zellen ebenfalls mit dem Vakuumverfahren bei einer Temperatur von rund $500\text{ }^\circ\text{C}$. Wird ein Teil des Indiums durch Gallium ersetzt spricht man von CIGS-Solarzellen.



Abb.3.11: Module mit CIGS-Solarzellen links: mit Rahmen, rechts: ohne Rahmen Quelle: Q-Cells vgl. [54]

Neben den oben angeführten Halbleitermaterialien kommt auch **mikrokristallines und mikromorphes Silizium** bei der Herstellung von Dünnschichtsolarzellen zum Einsatz. Bei mikrokristallinen Silizium-Solarzellen sind die Kristalle kleiner als bei den polykristallinen Solarzellen. Häufig werden mikrokristalline Solarzellen gemeinsam mit amorphen Solarzellen zu Tandem- oder Tripel-Zellen kombiniert.



Abb.3.12: mikromorphes Dünnschichtsolarmodul Quelle: Bosch vgl. [3]

Neben den monokristallinen, polykristallinen und Dünnschicht-Solarzellen wurden auch Solarzellen aus organischen Halbleitern entwickelt. Man unterscheidet **Solarzellen aus organischen Werkstoffen und nanokristalline Farbstoffsolarzellen**. Die Farbstoffsolarzellen, auch nach ihrem Erfinder Grätzel-Zellen genannt, funktionieren nach einem anderen Prinzip als die bisherigen Solarzellen. Durch elektrochemische Zellen wird die Sonnenenergie in chemische Reaktionsprodukte umgewandelt. Dieses Prinzip ist vergleichbar mit der Photosynthese. Sie bestehen aus einem Halbleiter, auf dem sich eine Schicht eines geeigneten Farbstoffes befindet und einer Elektrolytlösung. Die Herstellung dieser Farbstoffsolarzellen ist einfach und kostengünstig. Farbstoff-Solarzellen könnten in Zukunft in der gebäudeintegrierten Photovoltaik Anwendung finden.

Für Solarzellen aus organischen Werkstoffen werden zum Beispiel Pentacen und Thiophen, kristalline Polymere, als Halbleiter eingesetzt. Hergestellt werden Dünnschichtsolarzellen, die aus einer dünnen Schicht Pentacen besteht, die zwischen zwei Metall-Elektroden liegt. Organische Solarzellen sollen vor allem zur Versorgung elektronischer Geräte eingesetzt werden. Ein Vorteil der organischen Solarzellen liegt darin, dass der Wirkungsgrad mit steigender Temperatur zunimmt. Die Kosten für die organischen Solarzellen und Farbstoffsolarzellen sind jedoch höher als bei den anderen Typen von Solarzellen. Organische Solarzellen sind flexibel und semitransparent, wodurch sie für die unterschiedlichsten Anwendungen von Interesse sind. Weiters erfolgt die Herstellung über einen kontinuierlichen Beschichtungsprozess, wodurch auch eine großflächige Beschichtung möglich wird. Viele dieser Solarzellen befinden sich noch in der Entwicklung und stehen kurz vor der Markteinführung.



Abb.3.13: organische Solarzelle Quelle: Bosch vgl. [3]

Bei Hybrid HIT-Zellen werden kristalline und Dünnschichtsolarzellen miteinander kombiniert. Bei HIT-Zellen ist der Energie- und Materialaufwand geringer als bei anderen Zellen. Durch die Kombination beider Zellenarten ist der Energieertrag bei hohen Temperaturen höher als bei kristallinen Zellen. Der Wirkungsgrad dieser Zellen liegt bei 17,3%.

MIS-I-Bifacial Zellen (Metall-Insulator-Silicon Inversion) zählen zu den beidseitig aktiven Solarzellen. Sie haben eine photovoltaisch aktive Vorder- und Rückseite. Eingesetzt werden diese Zellen dort, wo die Strahlung auf die Vorder- und Rückseite treffen kann. Anwendungen sind z.B. Überdachungen und Lärmschutzwände. Der Material- und Energieaufwand bei diesen Zellen ist geringer als bei den mono- und polykristallinen.

(vgl. [29] S. 104-117; [1] S. 133-135; [66] S.78,79,95-97,173-178; [14]; [57]; [21])

3.4.2) Das Solarmodul

Photovoltaikmodule bestehen aus Solarzellen, einem Witterungsschutz, einem Überspannungsschutz, einer elektrischen Anschlussmöglichkeit und meist auch aus einem Rahmen und einer rückseitigen Folie oder Glasscheibe.

Bei der Herstellung von Solarmodulen werden die Solarzellen elektrisch miteinander verbunden. Werden die Zellen in Reihe geschaltet, wird die Spannung erhöht. Hingegen erhöht sich die Stromstärke bei einer Parallelschaltung. Um Schäden durch Beschattung zu vermeiden, werden die Zellen zu einzelnen Zellen-Strängen (engl.: string) mit jeweils 12 - 24 Zellen verbunden, die durch eine Bypassdiode abgesichert werden. Durch die Verschattung einer Zelle kommt es zu einer höheren Temperatur in der Zelle, da sich diese wie ein Verbraucher verhält. Als Folge kann die Zelle beschädigt werden, und es kommt zu einem Leistungsverlust des gesamten Moduls. Um ein Modul noch montieren zu können (Gewicht, Abmessungen), ist die Anzahl der verwendeten Solarzellen begrenzt. Die Abdeckung der Solarzellen erfolgt auf der Vorderseite mit einer gehärteten Solar-Glasscheibe mit einer Dicke von 3 - 4mm und auf der Rückseite mit einer Glasscheibe oder einer Kunststoffverbundfolie (Tedlarfolie). Das gehärtete Spezialglas an der Vorderseite bietet Schutz gegen Hagel und weist durch den geringen Eisenoxydanteil eine hohe Lichtdurchlässigkeit auf. Um der Witterung stand zu halten, werden die Solarzellen in ein EVA-Laminat (Ethylen-Vinyl-Acetat) geklebt, welches die Zellen luftdicht umschließt. Dabei werden die Solarzellen zwischen zwei EVA-Folien gelegt, das gesamte Modul wird dann bei einer Temperatur von 150°C laminiert, wodurch die beiden Folien sowie die Abdeckungen auf der Vorder- und Rückseite miteinander verbunden werden.

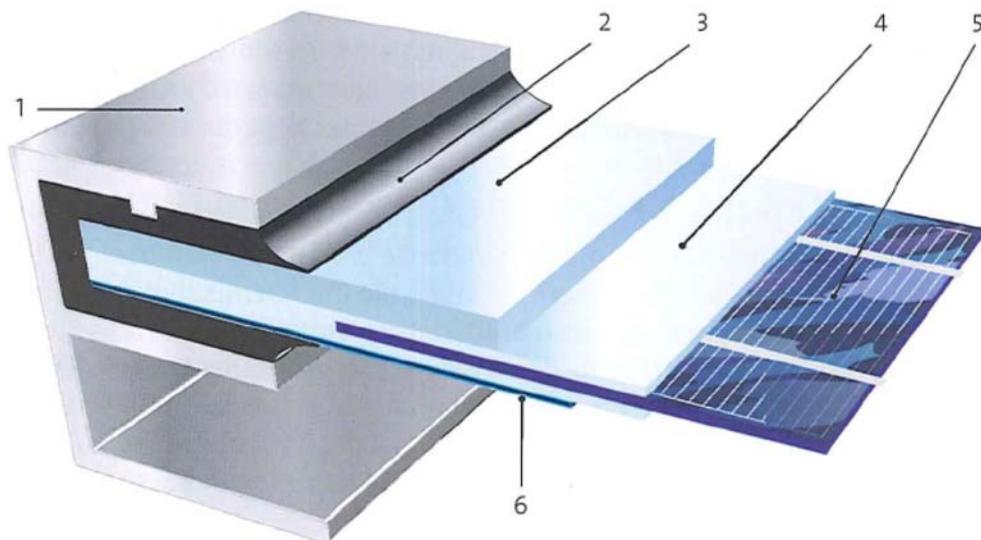


Abb.3.14: Glas - Folie Solarmodul © Solarpraxis AG (vgl. [59] S. 66)

Eine weitere Variante der Verkapselung stellt ein Verfahren mit Gießharz dar. Die Solarzellen liegen zwischen zwei Glasplatten, der Zwischenraum wird mit Gießharz gefüllt, welches dann thermisch oder durch UV-Licht ausgehärtet wird.

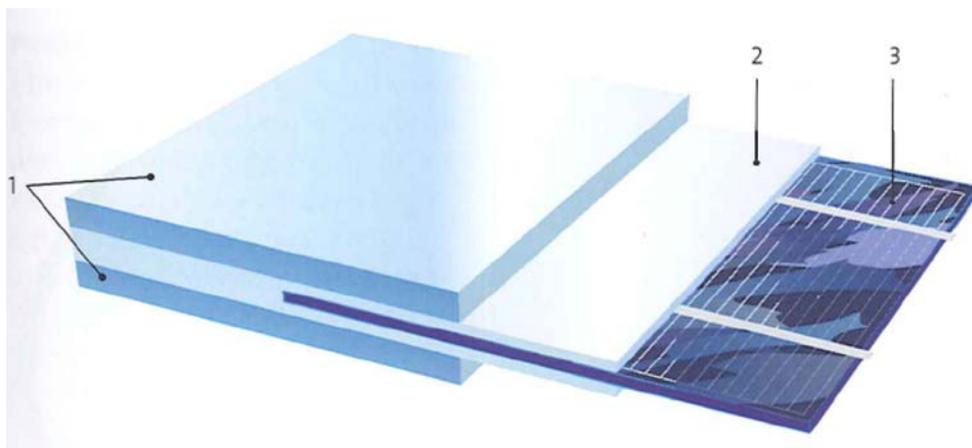


Abb.3.15: Verkapselung zwischen zwei Glasplatten © Solarpraxis AG (vgl. [59] S. 67)

Ob Module mit oder ohne Rahmen, die meist aus Aluminium bestehen, verwendet werden, ist von der Montage und der Anforderung an die Stabilität abhängig. Bei Modulen aus Dünnschichtsolarzellen werden auch Kunststoffrahmen eingesetzt. Module ohne Rahmen werden auch als Lamine bezeichnet. Rahmenlose Module müssen bis zum Einbau sehr sorgfältig behandelt werden, um einen Schaden durch Bruch zu verhindern. Bei Laminen rutscht der Schnee besser ab und es bildet sich auch keine Schmutzkante wie bei gerahmten Modulen. Vorteile von gerahmten Modulen sind die bessere Handhabung, die mechanische Festigkeit und der Blitzschutz. Der Abstand zwischen den Solarzellen und dem Rahmen sollte auf allen Seiten 5-15 mm betragen, da sich mit der Zeit eine Schmutzschicht bildet, welche zu einer Reduktion des Energieertrags führen kann. Die Anschlussdose ist entweder am Rahmen oder an der Modulrückseite angebracht. Als Standard gelten berührungs- und verpolungssichere

Anschlüsse. Werden mehrere Module zusammengeschaltet, spricht man von Solargeneratoren. (vgl. [1] S. 142,149; [29] S. 121-124, 142; [26] S. 12,14; [68] S. 149-150)

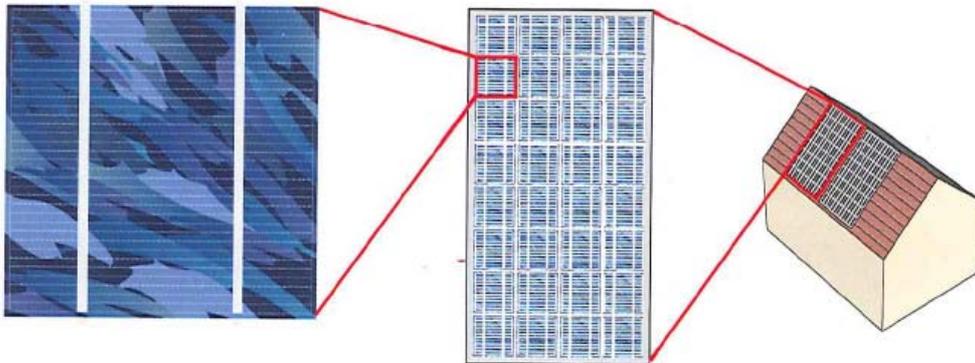


Abb.3.16: Zelle - Modul - Generator © Solarpraxis AG (vgl. [59] S. 31)

3.4.3) Wechselrichter (Inverter)

Durch den Wechselrichter wird der Gleichstrom in Ein- oder Dreiphasenwechselstrom umgewandelt. Der Wechselrichter erfüllt mehrere Aufgaben gleichzeitig. Er optimiert den Ertrag und wandelt Gleich- in Wechselstrom um, übernimmt die Einspeisung in das öffentliche Netz und hat Überwachungs- und Schutzaufgaben. Um den höchsten Ertrag erzielen zu können, wird durch den Wechselrichter der Arbeitspunkt auf der Generatorkennlinie, angesteuert der die höchste Leistung liefert. Dieser Punkt ist von der Strahlung abhängig und wird MPP (Maximum Power Point) genannt. Bei der Ansteuerung dieses Punktes spricht man von MPP-Tracking. Neben der Umwandlung von Gleich- in Wechselstrom wird durch den Wechselrichter auch die vorhandene Spannung an die Netzspannung angepasst und in das öffentliche Netz eingespeist. Weiters übernimmt der Wechselrichter auch die Netzüberwachung. Sollte es zu einer Abschaltung oder einem Ausfall des Netzes kommen, muss die Anlage sofort vom Netz genommen werden, selbiges gilt bei Spannungsabweichungen, Fehlerströmen und Frequenzänderungen. Unterschieden werden Zentral-, String- bzw. Multistring- und Modulwechselrichter. Bei einem Zentralwechselrichter werden alle Module an einen Wechselrichter angeschlossen, dazu ist ein Generatoranschlusskasten notwendig. Problematisch ist bei Zentralwechselrichtern die Verschattung einzelner Modulstränge, da der Ertrag der Anlage vermindert wird und ein Ausfall des Wechselrichters den Ausfall der gesamten Anlage bedeutet.

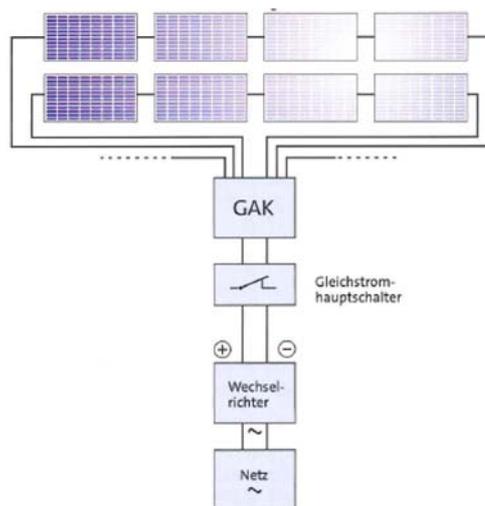


Abb.3.17: Zentralwechselrichter mit Generatoranschlusskasten © Solarpraxis AG (vgl. [59] S. 80)

Neben der möglichen Verschattung einzelner Module kann es durch höhere Generatorleistungen oder unterschiedlicher Ausrichtung und Neigung der Module erforderlich sein, die Module auf mehrere Wechselrichter zu verteilen. Bei Strangwechselrichtern wird jeder Modulstrang an einen eigenen Wechselrichter angeschlossen. Dadurch wird jeder Strang im maximalen Leistungspunkt betrieben und die Verluste durch Verschattung werden geringer. Durch Strangwechselrichter werden die Anlagen zuverlässiger und der Ertrag wird erhöht.

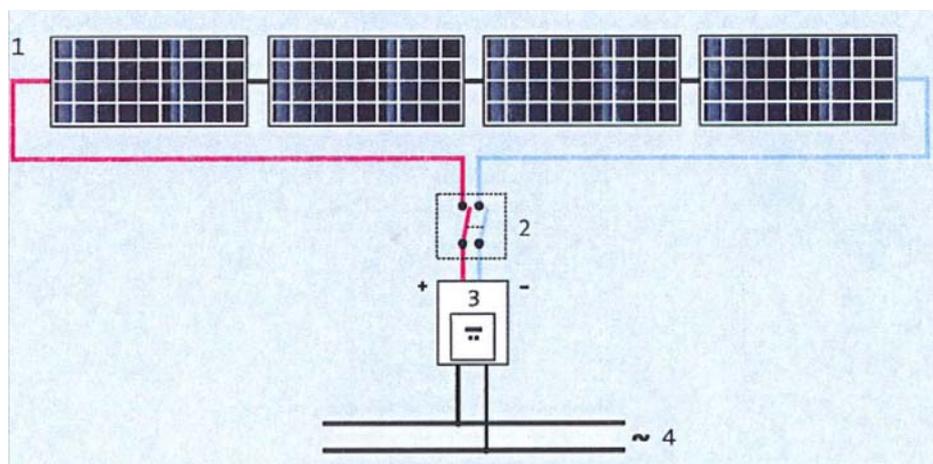


Abb.3.18: Stringwechselrichter © Solarpraxis AG (vgl. [1] S. 164)

Multistringwechselrichter stellen eine Kombination aus Zentral- und Stringwechselrichter dar. Eingesetzt werden diese bei Anlagen, bei denen die Module unterschiedlich geneigt und ausgerichtet sind, bei verschiedenen Modultypen, bei Verschattung oder wenn die Strings eine unterschiedliche Anzahl von Modulen aufweisen.

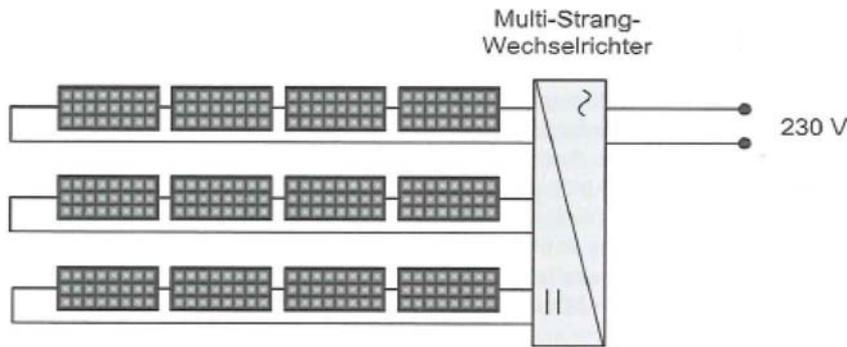


Abb.3.19: Multistringwechselrichter (vgl. [26] Photovoltaikanlagen, Geist ISBN 978-3-89576-191-1)

Bei Modulwechselrichtern hat jedes Modul einen eigenen genau auf das jeweilige Modul abgestimmten Wechselrichter. Der Wechselrichter ist im Modul integriert oder am Modul angebracht, dadurch kann die Gleichstromverkabelung entfallen. Bei Verschattung eines Moduls oder wenn ein Wechselrichter ausfällt wird die restliche Anlage dadurch nicht beeinflusst. Je nach Art der Verschaltung der Module untereinander, kommt es zu unterschiedlichen Spannungen und Stromstärken, die bei der Wahl des Wechselrichters berücksichtigt werden müssen.

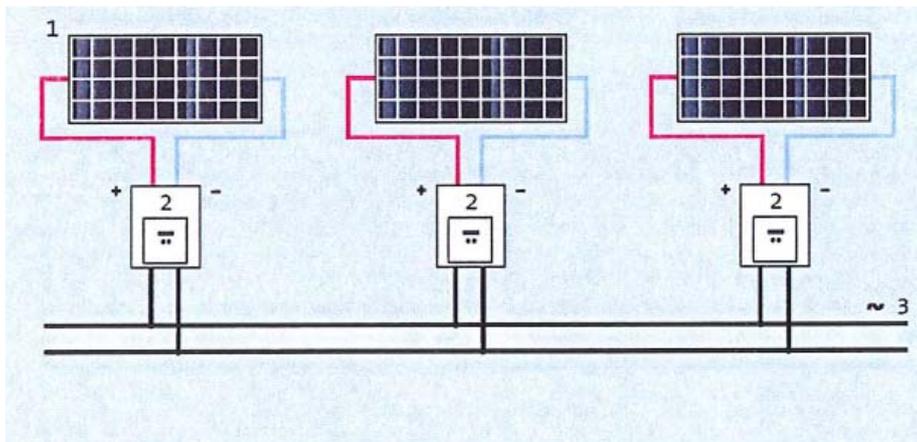


Abb.3.20: Modulwechselrichter © Solarpraxis AG (vgl. [1] S. 166)

Bei einer Parallelschaltung werden die Ströme erhöht und die Spannung bleibt gleich, bei der Reihenschaltung nimmt die Spannung zu und die Ströme bleiben gleich.

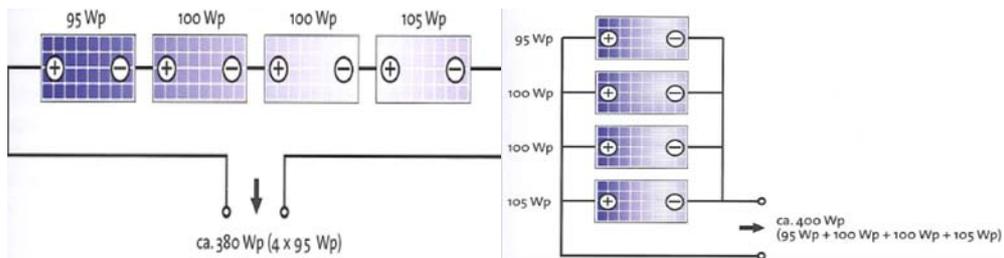


Abb.3.21: Reihen- und Parallelschaltung der Module © Solarpraxis AG (vgl. [59] S. 79)

Der Wechselrichter sollte wenn möglich nahe dem Generator und an einem kühlen, trockenen und gut belüfteten Ort montiert werden, um Verluste zu vermeiden. Es gibt auch Wechselrichter, die sich zur Außenmontage eignen. Hier sollte jedoch beachtet werden, dass diese nicht direkter Sonneneinstrahlung ausgesetzt werden. Weiters ist es wichtig, den Wechselrichter genau auf den Solargenerator, in Bezug auf Leistungs- und Spannungswerten, abzustimmen. (vgl. [1] S. 157-159, 164, 165, 168, 174; [26] S. 62,63)

3.4.4) Generatoranschlusskasten (GAK)

Durch den Generatoranschlusskasten werden mehrere Strings vor dem Wechselrichter zusammengeführt und parallel geschaltet. Bei mehreren Wechselrichtern verfügt jeder einzelne über einen GAK. Der Generatoranschlusskasten dient als Überspannungsschutz für Module und Wechselrichter. Zum Schutz der Solarmodule und Strangleitungen vor Überlastung werden Strangsicherungen, die den Modulen angepasst sind, verwendet. Weiters ist eine Überprüfung der einzelnen Strings auf Fehlerhaftigkeit möglich. Beim Anschluss der Stränge ist es wichtig, dass die Plus- und Minusseite strikt voneinander getrennt sind und auf eine kurzschluss- und erdschlussichere Ausführung ist zu achten. (vgl. [1] S. 176; [26] S. 104,106)

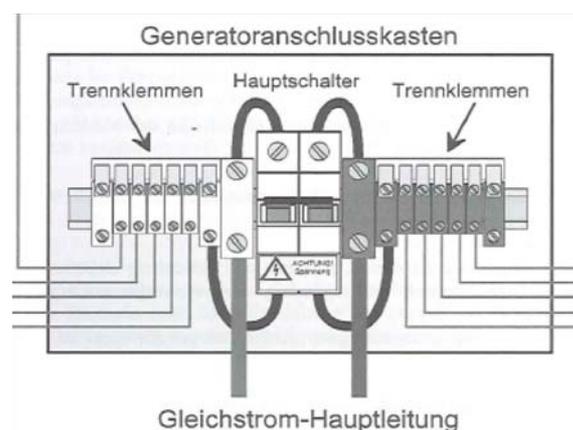


Abb.3.22: Generatoranschlusskasten (vgl. [26] Photovoltaikanlagen, Geist ISBN 978-3-89576-191-1)

3.4.5) Gleichstromhauptschalter

Da Photovoltaikanlagen wenn Licht auftrifft sofort unter Spannung stehen, ist ein Gleichstromhauptschalter notwendig, um den Wechselrichter zu installieren oder Wartungsarbeiten durchzuführen. Durch den Gleichstromhauptschalter wird der Photovoltaikgenerator vom Wechselrichter getrennt. Bei einer Trennung des Wechselrichters unter Spannung kann ein Lichtbogen entstehen, wodurch ein Brand ausgelöst werden könnte. Die Anbringung sollte direkt vor dem Wechselrichter erfolgen. Falls ein Generatoranschlusskasten vorhanden ist, ist der Hauptschalter meist in diesem integriert. In diesem Fall muss der Generatoranschlusskasten frei zugänglich sein. Auch Wechselrichter mit integriertem Gleichstromhauptschalter werden angeboten. Die Installation des Gleichstromhauptschalters ist bei jeder Anlage verpflichtend. (vgl. [1] S. 177,178; [26] S. 103)

3.4.6) Kabel

An die Verkabelung von Photovoltaikanlagen werden erhöhte Anforderungen gestellt. Verwendet werden einadrige, doppelt isolierte Kabel.

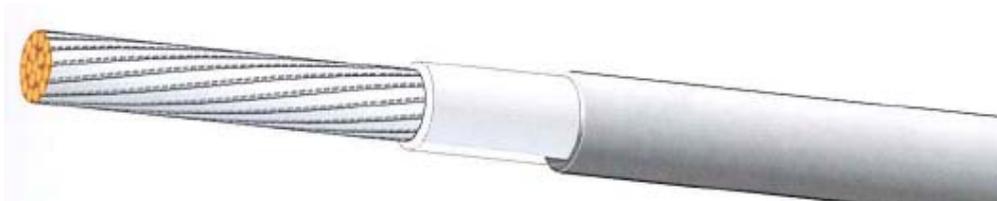


Abb.3.23: Aufbau Solarkabel © Solarpraxis AG (vgl. [59] S. 73)

Modul- und Strangleitungen stellen die Verbindung der Module untereinander und zum GAK dar. Kabel, die im Außenbereich verlegt werden, müssen gegenüber Witterung und UV-Licht beständig und für hohe Temperaturen geeignet sein. Gewisse Kabel bieten auch Schutz vor Nagetieren. Bei der gebäudeintegrierten Photovoltaik sind die Anforderungen an die Solarkabel geringer, diese müssen nicht UV-beständig sein und werden auf eine geringere Temperatur ausgelegt. Weiters sollten die Verkabelungen schwer brennbar, leicht und gut verlegbar sein. Solarkabel werden in den Farben rot, blau und schwarz hergestellt. Die Dimensionierung der Leitungen ist abhängig von der Leitungslänge und der Höhe des fließenden Stroms, wobei die Verluste so gering wie möglich gehalten werden sollten. Für die Leitungen gibt es unterschiedliche Anschlussmöglichkeiten. Die Ausführung der Anschlüsse muss sorgfältig erfolgen, da es hier zu großen Fehlerquellen kommen kann. Es kommen Schraubklemmen, Schraubverbindungen, Federzugklemmen und Steckverbinder zum Einsatz. Steckverbinder stellen die beste Anschlussmöglichkeit dar, da der Anschluss am Einfachsten, ungefährlich und der Kontakt am Sichersten ist. Die Leitungslänge zwischen den Modulen, GAK und dem Wechselrichter soll so kurz wie möglich sein, um die Verluste zu minimieren. Die Installation muss kurz- und erdschlussicher ausgeführt werden. (vgl. [1] 175; [26] S. 84-86; [59] S. 73-76)

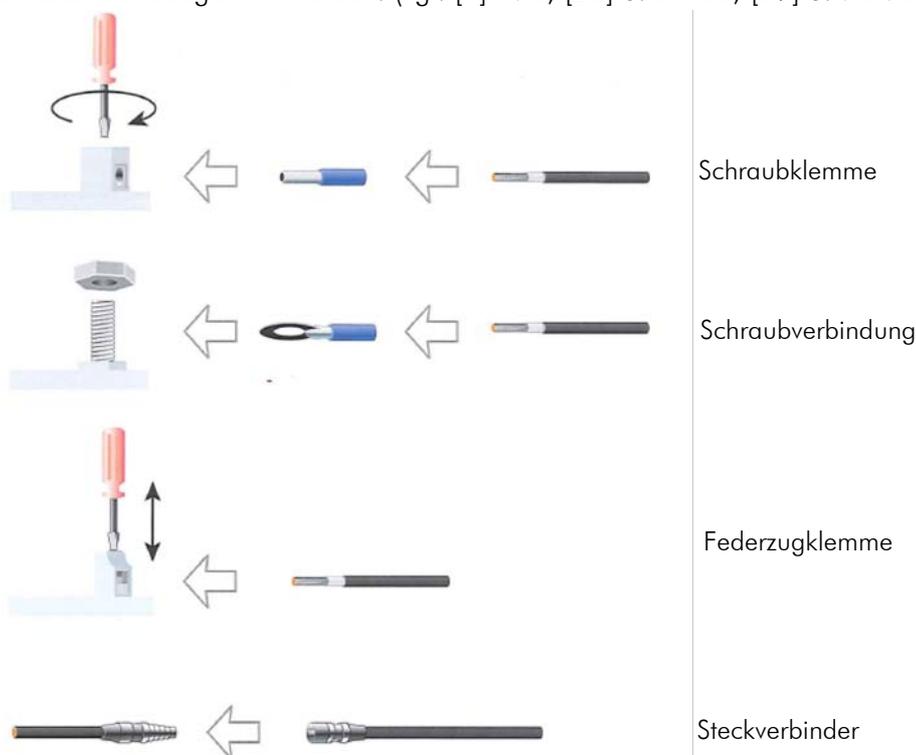


Abb.3.24: Verschiedene Verbindungsmöglichkeiten © Solarpraxis AG (vgl. [59] S. 74)

3.4.7) Einspeisezähler

Bei netzgekoppelten Anlagen wird ein Einspeisezähler benötigt.

3.5) Kenngrößen

Von den Herstellern werden in den Datenblättern unterschiedliche Kenngrößen angegeben.

3.5.1) Elektrische Kenngrößen

Diese Kenngrößen werden unter Standardtestbedingungen im Labor ermittelt. Die Ermittlung erfolgt bei einer konstanten Einstrahlung von 1.000 W/m^2 , einer Modultemperatur von $25 \text{ }^\circ\text{C}$ und der Air-Mass (AM) von 1,5. Die atmosphärische Massenzahl (AM) gibt an, wieviel Luftmasse durchstrahlt wird. AM 0 bedeutet Luftmasse 0, was für die Strahlung im Weltall gilt. Als AM 1,5 versteht man die Strahlung unter einem Winkel von $41,5^\circ$ wobei eine 1,5 größere Luftmasse durchstrahlt wird als am Äquator (AM 1). (vgl. [26] S.7,11)

3.5.1.1) Wirkungsgrad

Als eine wichtige Kenngröße gilt der Wirkungsgrad. Dabei werden der Zellen-, Modul und Systemwirkungsgrad unterschieden. Als Wirkungsgrad wird das Verhältnis zwischen abgegebener elektrischer Leistung der Zelle, des Moduls oder des Systems und der eingestrahlenen Leistung der Sonne in Prozent verstanden. Der Systemwirkungsgrad ist am Geringsten, da er sich auf die gesamte Anlage bezieht. Der Modulwirkungsgrad liegt unter dem Zellenwirkungsgrad, der am Höchsten ist. Der Wirkungsgrad des gesamten Systems ist aufgrund von Verschattung, Verlusten in den Leitungen und Umwandlungsverlusten am Geringsten.

Zellentyp	Zellenwirkungsgrad	Modulwirkungsgrad
Monokristallines Silizium	24%	15 - 18%
Polykristallines Silizium	18%	13 - 16%
Bandgezogenes Silizium EFG	18%	12 - 15%
Amorphes Silizium	11-12%	6 - 8%
Cadmiumtellurid	17%	9 - 10%
Kupferindiumdiselenid	18%	10 - 12%
Mikromorphes Tandemzellen	12%	6 - 9%

Tab.3.1: Modulwirkungsgrade der unterschiedlichen Zelltypen (vgl. [1] S.133,136)

Der maximale Wirkungsgrad von Wechselrichtern liegt bei 98%. Dieser wird aber nur unter einer bestimmten Leistung des Generators erreicht. Über den europäischen Wirkungsgrad kann ein durchschnittlicher Wert berechnet werden. Dafür werden unterschiedliche Punkte der Wirkungsgradkurve (Teillastwirkungsgrade) des Wechselrichters mit der erwarteten Einstrahlungssumme multipliziert.

$$\eta_{\text{Europa}} = \eta(P_5)0,03 + \eta(P_{10})0,06 + \eta(P_{20})0,13 + \eta(P_{30})0,10 + \eta(P_{50})0,48 + \eta(P_{100})0,20$$

Man erhält somit einen Wirkungsgrad über die gewonnene Energie des Jahres bei mitteleuropäischen Strahlungsverhältnissen. (vgl. [1] S. 131, 170; [26] S. 9; [59] S. 88)

3.5.1.2) Nennleistung/Spitzenleistung

Die Spitzenleistung wird in der Einheit Watt Peak (Wp) angegeben. Sie ergibt sich durch die Multiplikation der Spannung mit dem Strom. (vgl. [26] S. 10,11; [59] S. 70,71,201)

3.5.1.3) Kurzschlussstrom

Der Kurzschlussstrom (I_{SC}) ist jener Strom welcher bei Kurzschluss fließt. Dieser Wert ist wichtig für die Wahl des Wechselrichters. (vgl. [1] S. 150; [26] S. 11)

3.5.1.4) Leerlaufspannung

Die Leerlaufspannung (U_{OC} , V_{OC} , U_L) ist die Spannung in unbelastetem Zustand. Dieser Wert ist ebenfalls für die Auslegung des Wechselrichters notwendig. (vgl. [1] S. 150; [26] S. 10)

3.5.1.5) Strom und Spannung bei max. Leistung

Weitere Kenngrößen bilden der Strom (I_{MPP} , I_{mp}) und die Spannung (U_{MPP} , V_{mp}), welche bei maximaler Leistung auftreten. (vgl. [1] S. 150; [26] S. 10)

3.5.1.6) Temperaturkoeffizienten

Die Temperaturkoeffizienten werden für Leistung, Strom und Spannung angegeben. Diese Koeffizienten sind notwendig, da mit steigender Temperatur die Leistung sinkt und bei niedrigeren Temperaturen die Leistung ansteigt. (vgl. [1] S. 150)

3.5.2) weitere Angaben

-) Abmessungen
-) Gewicht
-) Zellentyp
-) Abdeckungen
-) Rahmen
-) Angaben zum Anschluss
-) Angaben zu Steckverbindungen
-) Brandschutzklasse
-) Zertifikate

3.6) Inselsysteme

Photovoltaik-Inselsysteme kommen zur Anwendung, wenn das öffentliche Stromnetz weit entfernt ist und ein Anschluss daher mit hohen Kosten verbunden wäre. Die Anwendung von Inselsystemen ist sehr vielseitig, unter anderem werden sie für die Versorgung von Verkehrsschildern und Parkscheinautomaten eingesetzt.

Wichtigster Bestandteil einer Photovoltaik-Inselanlage ist der Stromspeicher (Akkumulator). Die Speicherung der Energie ist notwendig, da die Zeit in der Strom erzeugt wird, nicht immer mit der Zeit des Stromverbrauchs, übereinstimmt. Weiters muss die Solarbatterie die Versorgung bei Schlechtwetter (Autonomietage) zur Gänze übernehmen. Die Autonomietage, welche bei

Betrieb in den Wintermonaten zunehmen, sind bei der Planung der Anlage zu berücksichtigen. Die autarken Inselanlagen müssen immer auf den vorhandenen Strombedarf ausgelegt werden. Ein späterer Ausbau der Anlage gestaltet sich meist schwierig. Meist werden zur Energiespeicherung Blei-Akkumulatoren eingesetzt. Vor Überlastung wird der Akku durch einen Laderegler geschützt. Der produzierte Gleichstrom muss durch den Wechselrichter in Wechselstrom umgewandelt werden. Die Auslegung der Wechselstromleitung sollte nach der Nennleistung aller Geräte, die sich gleichzeitig in Betrieb befinden, zuzüglich einer Reserve erfolgen.

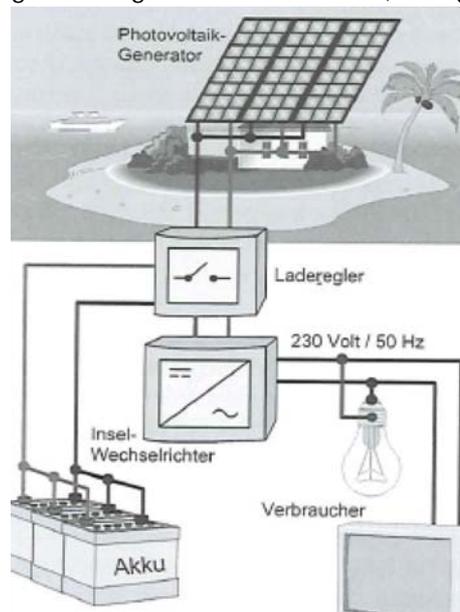


Abb.3.25: Inselanlage mit Akku (vgl. [26] Photovoltaikanlagen, Geist ISBN 978-3-89576-191-1)

Bei einem DC-gekoppelten System werden alle Komponenten, die Gleichstrom erzeugen und verbrauchen miteinander verbunden. Ein kleiner Wechselrichter ermöglicht auch den Betrieb von Geräten, die Wechselstrom benötigen. Viele Geräte können auch mit Gleichstrom betrieben werden, sie sind aber meist teurer, als wenn sie mit Wechselstrom betrieben werden. Mit Sinuswechselrichtern ist es möglich Wechselstromverbraucher zu betreiben. Es werden auch Inselwechselrichter eingesetzt, die mehrere Stromerzeuger miteinander koppeln, um den geringen Ertrag der Anlage im Winter auszugleichen. Weitere Stromerzeuger können z.B. Dieselgeneratoren oder auch Windkraftwerke sein.

Eine Kombination aus Inselanlage und netzgekoppelter Anlage ist ebenfalls möglich. Dabei wird ein Teil der erzeugten Energie in Akkus gespeichert. Bei Ausfall des öffentlichen Netzes übernimmt der Akku die Stromversorgung. [vgl. [26] S. 34,42,43; [29] S. 231,232; [59] S. 36,37)

3.7) Montagearten

Die Optionen einen Solargenerator zu montieren sind vielfältig. Es ist möglich, die Module auf dem Dach oder der Fassade anzubringen. Eine andere Möglichkeit bietet die gebäudeintegrierte Photovoltaik. Hier ersetzen die Module Dachziegel oder Fassadenelemente. Es kommen auch Solardachziegel zum Einsatz. Die Errichtung einer Solaranlage auf einer Freifläche stellt eine weitere Option dar.

3.7.1) Gestellmontage

Für die Befestigung auf Schrägdächern, Flachdächern und Fassaden kommen meist Gestelle zum Einsatz. Für die Metallkonstruktionen werden Aluminium, Edelstahl oder Titanzink verwendet. Die Aufdachmontage ist relativ einfach und unabhängig von der Dacheindeckung. Ein weiterer Vorteil der Gestellmontage ist die gute Hinterlüftung der Solarmodule. Für die Montage werden meist Dachhacken, die entweder an den Dachlatten oder am Sparren befestigt werden verwendet. Die genaue Stelle, an der der Solargenerator angebracht wird und wo die Dachhacken befestigt werden, muss zuvor festgelegt werden. Bei der Befestigung der Dachhacken auf den Dachlatten muss berücksichtigt werden, dass diese nicht für so hohe Beanspruchungen geeignet sind wie Sparren. Die Befestigung der Hacken auf den Latten hat den Vorteil, dass die Montage über die ganze Länge der Lattung erfolgen kann, hingegen ist man bei der Anbringung der Hacken auf den Sparren von deren Position abhängig. Die Dachhacken müssen mit großer Sorgfalt angebracht werden. Die Haken dürfen nicht auf den darunterliegenden Ziegeln aufliegen, weil dies aufgrund der Belastung zum Bruch führen könnte und das Dach somit undicht wäre. Eine weitere Möglichkeit der Montage bieten spezielle Dachziegel, wobei der normale Dachziegel einfach durch den Befestigungsziegel ersetzt wird. Auf den Befestigungsziegeln oder den Dachhaken werden dann die Tragschienen befestigt. Je nach System verlaufen die Tragschienen horizontal, vertikal oder kreuzweise.

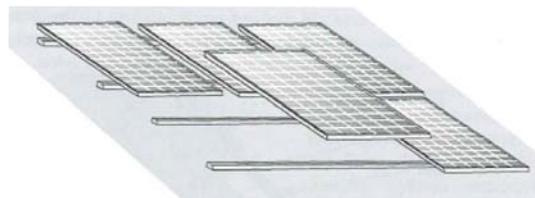


Abb.3.26: vertikale Montage auf Querträgerschienen
(vgl. [26] Photovoltaikanlagen, Geist ISBN 978-3-89576-191-1)



Abb.3.27: Modulhalterung auf Kreuzschienen
(vgl. [26] Photovoltaikanlagen, Geist ISBN 978-3-89576-191-1)

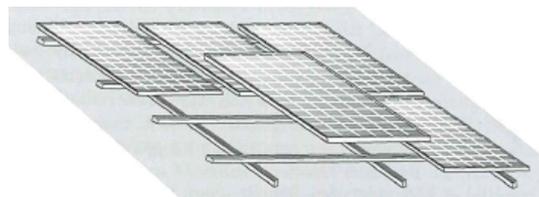


Abb.3.28: Montage auf Kreuzschienen
(vgl. [26] Photovoltaikanlagen, Geist ISBN 978-3-89576-191-1)



Abb.3.29: horizontale montage auf Vertikalschienen
(vgl. [26] Photovoltaikanlagen, Geist ISBN 978-3-89576-191-1)

Bei der Wahl des Montagesystems sollte darauf geachtet werden, dass vorhandene Unebenheiten des Daches ausgeglichen werden können, damit eine ebene Generatorfläche entsteht und dass einzelne Module entfernt werden können, falls Reparaturarbeiten am Dach vorgenommen werden müssen oder ein Modul defekt ist. Die Leitungen der Solargeneratoren werden entweder über Lüftungsziegel oder über eine Dachdurchführung unter den Solargeneratoren ins Innere geführt. Werden die Leitungen hinter den Modulen in das Gebäudeinnere geführt, sind diese nicht mehr sichtbar und die Leitungen sind besser vor Witterung geschützt, die Verlegung der Leitungen gestaltet sich jedoch schwieriger. Eine Durchführung der Leitungen zwischen den Ziegeln ist nicht möglich, da sich aufgrund der Ausdehnung der unterschiedlichen Materialien die Dachziegel bewegen können und dabei die Leitungen beschädigt werden könnten. Nach der Leitungsdurchführung ist darauf zu achten, dass alle Stellen wieder komplett abgedichtet werden.

Bei der Montage von Solargeneratoren auf Flachdächern wird die lose und die fest verankerte Montage unterscheiden. Die fest verankerte Montage kommt meist bei Neubauten, im Rahmen von Dachsanierungen oder bei Dächern, bei denen keine weiteren Lasten aufgebracht werden können zur Anwendung. Das Gestell wird dabei direkt mit der Dachkonstruktion verschraubt. Nach der Anbringung der Gestelle muss die Dachhaut wieder sorgfältig abgedichtet werden. Bei der losen bzw. schwimmenden Befestigung muss das Gestell hingegen mit zusätzlichem Gewicht beschwert werden (Schwerlastverfahren). Die schwimmende Befestigung findet meist bei bestehenden Gebäuden Anwendung bei denen eine zusätzliche Belastung möglich ist. Eine Möglichkeit ist, die Gestelle auf Betonelementen zu befestigen und diese auf das Dach zu stellen. Bei der schwimmenden Befestigung sind keine Dachdurchdringungen notwendig. Das zusätzliche Gewicht muss so hoch sein, dass die Solargeneratoren der maximalen Windlast standhalten. Bei dieser Art von Montage ist es sehr wichtig, die Statik des Daches aufgrund der zusätzliche Last zu überprüfen.

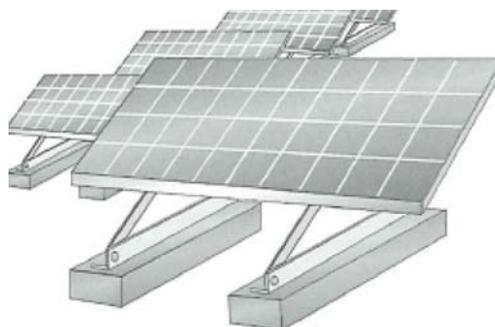


Abb.3.30: Schwerlastverfahren mit Betonschwellen
(vgl.[26] Photovoltaikanlagen, Geist ISBN 978-3-89576-191-1)

Werden die Solargeneratoren lose auf dem Dach montiert, können auch Montagewannen eingesetzt werden. Montagewannen eignen sich sehr gut für bekieste Dächer, da der vorhandene Kies direkt zur Beschwerung der Wannen genutzt werden kann und dadurch kein weiteres Material zur Beschwerung des Solargenerators benötigt wird. Auf den Wannen werden die Solarmodule installiert, wodurch sich ein beinahe geschlossenes System ergibt, welches dem Wind eine geringere Angriffsfläche bietet. Bei begrünten Dächern finden solche Systeme ebenfalls Anwendung. Bei Flachdächern können die Leitungen auch über eine Außenwand durch einen Wanddurchbruch ins Innere geführt werden.

3.7.2) Freiaufstellung

Einfacher ist hingegen die Montage von Solargeneratoren auf dem Boden. Die Gestelle werden häufig aus Holz hergestellt, die dann auf Betonfundamenten befestigt werden. Bei der Montage ist es wichtig, dass genügend Abstand zum Boden eingehalten wird um eine Verschattung durch wachsende Pflanzen zu verhindern. Neben dem Aspekt, dass sich die Montage auf dem Boden einfacher gestaltet als auf dem Dach, ist auch die Zugänglichkeit zu den Modulen für Wartung und Reinigung ständig gegeben.



Abb.3.31: Freiaufstellung © Solarpraxis AG (vgl. [1] S. 127)

3.7.3) Gebäudeintegration

Werden Photovoltaikmodule in die Gebäudehülle integriert, spricht man von gebäudeintegrierter Photovoltaik (GIPV). Die Module ersetzen dabei Komponenten der Bauteile. Bei der Integration von Photovoltaikmodulen können drei Herangehensweisen unterschieden werden.

Photovoltaik in konventionellen Baumaterialien

Die Photovoltaikmodule werden z.B. an die Form von Dachziegeln oder Fassadenelementen angepasst, um gleiche Elemente zu erhalten. Durch diese Vereinheitlichung müssen die Montagesysteme und Unterkonstruktionen nicht verändert werden.

Photovoltaik in vorgefertigten Bauteilen

Viele Bauteile werden bereits vorgefertigt an die Baustelle geliefert und werden dort montiert.

Photovoltaik als Teil individueller und multifunktionaler Gesamtlösungen

Hier übernehmen die Photovoltaikmodule nicht nur die Aufgabe der Stromerzeugung sondern auch andere Funktionen wie z.B. den Sonnenschutz.

Bei der Integration von Photovoltaikmodulen in Schrägdächern ist es meist nicht erforderlich,

die Unterkonstruktion zu verändern, da die Module eine geringe Tiefe und geringes Gewicht aufweisen. Schrägdächer bieten sich für die gebäudeintegrierte Photovoltaik an, weil diese Dächer nicht weiter genutzt werden und sie in dicht bebauten Gebieten oftmals die einzige Möglichkeit darstellen, Photovoltaikanlagen mit dem gewünschten Ertrag zu installieren.

Bei der Integration von Photovoltaik in Außenwänden werden Materialien durch die Photovoltaikmodule ersetzt. Durch die senkrechte Anordnung der Module kommt es zu einem verminderten Ertrag der Anlage. Um diesen Nachteil ausgleichen zu können, ist auf eine kostengünstige Herstellung der Wandmodule, eine gute Hinterlüftung und einfache Austauschbarkeit der PV-Module zu achten.

Vor allem die Integration von Photovoltaik in Glasfassaden bietet gestalterisch und in Bezug auf die Funktion eine interessante Möglichkeit. Zur Anwendung kommen multifunktionale Glaselemente, die zur Stromerzeugung genutzt werden und zusätzlich die Anforderungen an Brandschutz, Schallschutz und Wärmeschutz erfüllen. Die Gestaltungsmöglichkeiten sind vielfältig, da die Optik der Fassadenelemente und der PV-Module ähnlich ist.

Eine weitere Möglichkeit bietet die Verbindung von Photovoltaik und Sonnenschutz. Wobei feststehende, bewegliche und kombinierte Sonnenschutzsysteme unterschieden werden. Feststehende Sonnenschutzsysteme mit integrierter Photovoltaik bieten nur bei einem gewissen Einstrahlungswinkel Schutz, das heißt der Sonnenschutz sowie die Stromerzeugung sind nur zu gewissen Zeiten optimal, jedoch ist bei diesen Systemen der Wartungsaufwand gering.

Durch eine bessere Anpassung der beweglichen Systeme ist der Sonnenschutz über eine längere Zeit möglich und die Sonneneinstrahlung kann besser zur Stromproduktion genutzt werden. Nachteilig ist bei diesen Systemen aber die regelmäßige Wartung.

Kombinierte Systeme sind nicht für die Integration von Photovoltaik geeignet, da es zu Verschattung kommen kann.

(vgl. [1] S. 181; [26] S. 127-136; [59] S. 50-58; [47])

3.8) Ausrichtung der Module

Bei der Wahl des Montageortes der Solargeneratoren sollten einige Punkte berücksichtigt werden. Prinzipiell ist die Errichtung der Solaranlage überall möglich. Die Möglichkeiten der Anbringung sind vielfältig. Egal ob die Module auf dem Dach, an der Fassade oder auf einer freien Fläche montiert werden, sollten folgende Einflüsse berücksichtigt werden:

(vgl. [59] S. 47)

3.8.1) Ausrichtung

Von einer optimalen Ausrichtung spricht man, wenn der Solargenerator nach Süden zeigt. Ist diese exakte Ausrichtung nach Süden nicht möglich muss man eine Ertragsminderung in Kauf nehmen. Der mögliche Ertrag in Prozent bei nicht optimaler Ausrichtung ist in Abbildung 3.32 dargestellt. (vgl. [59] S. 59,60)

3.8.2) Neigung

Die optimale Neigung des Solargenerators beträgt 30° - 35° . In den Sommermonaten würde mit einem flacheren Winkel $< 30^\circ$ und in den Wintermonaten mit einem steileren Winkel $> 30^\circ$ mehr Ertrag erzielt. Fällt die Entscheidung auf ein nachgeführtes System kann der Er-

trag um 20 - 30% bezogen auf feste Systeme mit optimaler Südausrichtung erhöht werden. Nachgeführte Systeme sind mit Wartungskosten verbunden, deshalb ist es in den meisten Fällen besser, die Fläche der festen Systeme zu erhöhen und somit den Ertrag zu erhöhen. Wird der Generator in Teilflächen mit unterschiedlicher Neigung und Ausrichtung unterteilt, muss das bei der Wahl des Wechselrichterkonzeptes berücksichtigt werden. (vgl. [59] S. 59-61; [1] S. 228)

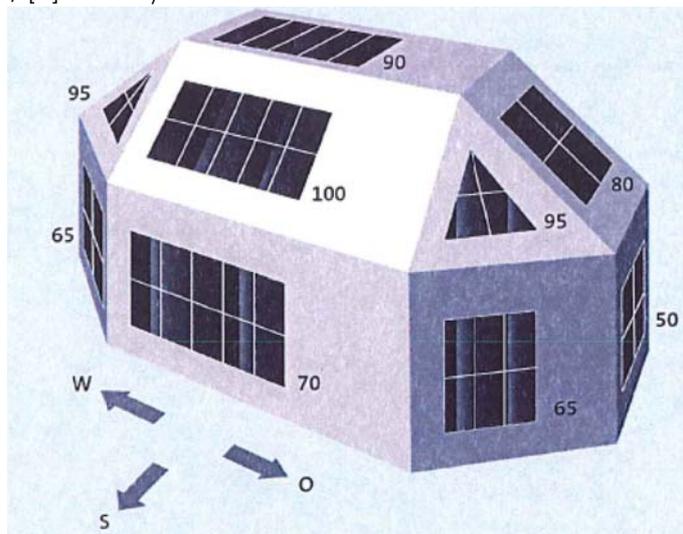


Abb.3.32: Prozentuale Einstrahlung bei nicht optimaler Ausrichtung der Module © Solarpraxis AG (vgl. [1] S. 228)

3.8.3) Fläche

Die benötigte Fläche ist abhängig von der Anlagengröße. Man benötigt für eine Spitzenleistung von 1kWp je nach verwendetem Material eine unterschiedliche Größe (vgl. Tabelle 3.2).

Material	Fläche pro kWp [m ²]
Monokristallin	7 - 9
Polykristallin	8 - 9
mikromorphe Tandemzelle	9 - 12
Dünnschicht: CIS	9 - 11
Dünnschicht CdTe	11 - 13
Dünnschicht: amorph (a-Si)	13 - 20

Tab.3.2: Benötigte Fläche für 1 kWp bei unterschiedlichem Material ([1] S. 133)

3.9) Verschattung, Blitzschutz

3.9.1) Verschattung

Verschattungen und Verschmutzungen können deutlich den Ertrag beeinflussen. Bei der Wahl des Montageortes ist es wichtig genau darauf zu achten, wodurch eine Verschattung entsteht oder künftig entstehen kann. Die Verschattung kann durch unterschiedliche Ursachen hervorgerufen werden. Unterschieden werden:

-) vorübergehende Verschattungen

Dazu zählen Verschattungen, die durch Schnee, Laub und Verschmutzungen wie Ruß, Staub oder Vogelkot entstehen. Bereits geringfügige Verschmutzungen (Blätter, Vogelkot, usw.) können den Ertrag der Anlage mindern. Damit eine Selbstreinigung des Generators durch den Regen stattfinden kann, ist eine Neigung von mindestens 10° erforderlich. Optimal sind Neigungen der Generatorfläche zwischen 20° und 30° . (vgl. [26] S.98,99)

-) Verschattung durch die Anlage selbst

Eigenverschattung tritt meist bei aufgeständerten Anlagen auf. Bei Anlagen auf Flachdächern oder Freiflächen ist auf genügend Abstand zwischen den Reihen zu achten. (vgl. [26] S. 100)

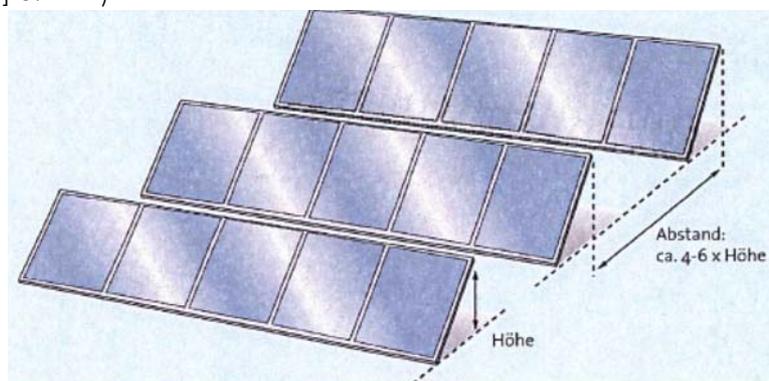


Abb.3.33: Mindestabstand der Modulreihen © Solarpraxis AG (vgl. [1] S. 226)

-) Verschattung verursacht durch den Standort

Darunter versteht man Verschattungen des Solargenerators, die durch Gebäude und Bäume, die sich in der näheren Umgebung befinden, entstehen. Dabei sollten auch das Wachstum der Bäume in den folgenden Jahren und zukünftige Bauvorhaben in der Nachbarschaft berücksichtigt werden. (vgl. [26] S. 101)

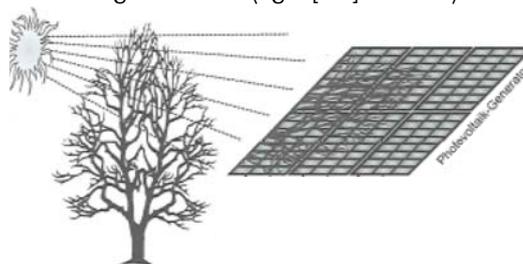


Abb.3.34: Verschattung durch Bäume
(vgl. [26] Photovoltaikanlagen, Geist ISBN 978-3-89576-191-1)

-) Verschattung, die durch Objekte am Gebäude verursacht wird

Diese Verschattungen entstehen durch Objekte, die sich auf dem Dach befinden. Dazu zählen unter anderem Kamine, Gaupen, Antennen usw. Wenn möglich sollten die Objekte versetzt oder zur Gänze entfernt werden. (vgl. [26] S. 102; [59] S. 47,48)

3.9.2) Blitzschutz

Die Montage einer Photovoltaikanlage bedeutet nicht, dass die Gefahr eines Blitzeinschlages erhöht wird, sofern das Gebäude kaum verändert wird. Anders verhält es sich bei einer Gestellmontage auf Flachdächern, da die Gestelle über den Dachaufbau ragen. Photovoltaikanlagen können durch einen direkten oder indirekten Blitzeinschlag beschädigt werden. Unterschieden wird der äußere und innere Blitzschutz. Über den äußeren Blitzschutz wird der Strom bei einem direkten Einschlag ins Erdreich abgeleitet. Ist kein Blitzschutz vorhanden, kann der Blitzstrom über die Montagegestelle und Module bis zum Netzanschluss vordringen, wodurch großer Schaden entsteht. Bei indirektem Blitzeinschlag treten in der Anlage Spannungen auf, die viel höher sind als die Betriebsspannung. Diese Überspannungen entstehen durch elektrische und magnetische Felder, die durch den Blitzeinschlag entstehen. Die Verlegung der Strangleitungen ist in Bezug auf Überspannung ebenfalls ein wichtiger Punkt. Die Plus- und Minusleitungen sollen nahe beieinander liegen damit die Fläche, die sie bilden, möglichst gering ist. Die Überspannung nimmt nämlich mit der von den Leitungen gebildeten Fläche zu. (vgl. [1] S. 190,191; [59] S. 99,100,103)

3.10) Photovoltaik in Österreich

Die jährlich installierte Leistung von Photovoltaikanlagen betrug im Jahr 2008 4.686 kW_{peak}, davon wurden autarke Anlagen mit einer Leistung von 133 kW_{peak} installiert, der Rest entfällt auf die netzgekoppelten Anlagen. Im Jahr 2003 konnten die meisten Anlagen installiert werden. Die installierte Leistung betrug 6.472 kW_{peak}. Nach einem Einbruch im Jahr 2006 (1564 kW_{peak}), nimmt die jährlich installierte Leistung kontinuierlich zu. In Tabelle 3.3 sind die installierten Leistungen in kW_{peak} der Jahre 1998 bis 2008 dargestellt. (vgl. [2])

Jahr	autark	netzgekoppelt	Gesamt
	[kW _{peak}]	[kW _{peak}]	[kW _{peak}]
1998	201	452	653
1999	200	541	741
2000	256	1.030	1.286
2001	186	1.044	1.230
2002	127	4.094	4.221
2003	169	6.303	6.472
2004	514	3.755	4.269
2005	250	2.711	2.961
2006	274	1.290	1.564
2007	55	2.061	2.116
2008	133	4.553	4.686

Tab.3.3: Jährliche installierte PV-Leistung in Österreich [kW_{peak}] Quelle: [2]

In der Abbildung 3.35 sind die Werte der Tabelle 3.3 grafisch dargestellt. Die größte Leistung von autarken Anlagen wurde im Jahr 2004, mit 514 kW_{peak}, installiert. Bei den netzgekop-

pelten Anlagen wurde im Jahr 2006 die höchste Leistung, nämlich 6.303 kW_{peak}, installiert. Insgesamt wurde 2008 eine Leistung von 4.686 kW_{peak} installiert, wobei 133 kW_{peak} auf autarke Anlagen und 4.553 kW_{peak} auf netzgekoppelte Anlagen entfallen. (vgl. [2])

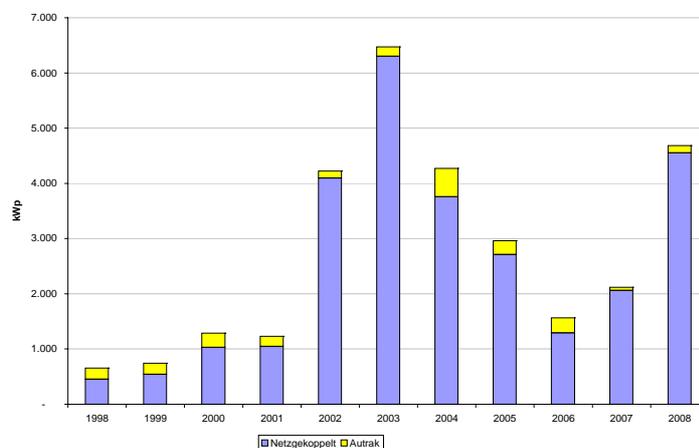


Abb.3.35: installierte PV-Leistung in Österreich 1998-2008 Quelle: [2]

In der Tabelle 3.4 ist die Gesamtleistung von in Betrieb befindlichen Anlagen dargestellt. Die erwartete Lebensdauer der Anlagen liegt bei 20 Jahren, deshalb wurde von der Annahme ausgegangen, dass sich noch alle Anlagen in Betrieb befinden. 2008 betrug die Leistung der Anlagen, die im Betrieb waren 32.387 kW_{peak}. Bei den autarken Anlagen waren Anlagen mit einer Leistung von 3.357 kW_{peak}, und bei den netzgekoppelten Anlagen waren Anlagen mit einer Leistung von 29.030 kW_{peak} in Betrieb. (vgl. [2])

Jahr	autark	netzgekoppelt	Gesamt
	[kW _{peak}]	[kW _{peak}]	[kW _{peak}]
1998	1.193	1.648	2.841
1999	1.393	2.189	3.582
2000	1.649	3.219	4.868
2001	1.835	4.263	6.098
2002	1.962	8.357	10.319
2003	2.131	14.660	16.791
2004	2.645	18.415	21.060
2005	2.895	21.126	24.021
2006	3.169	22.416	25.585
2007	3.224	24.477	27.701
2008	3.357	29.030	32.387

Tab.3.4: Leistung der in Betrieb befindlichen Anlagen Quelle: [2]

In Abbildung 3.36 sind die Werte der Tabelle 3.4 grafisch dargestellt.

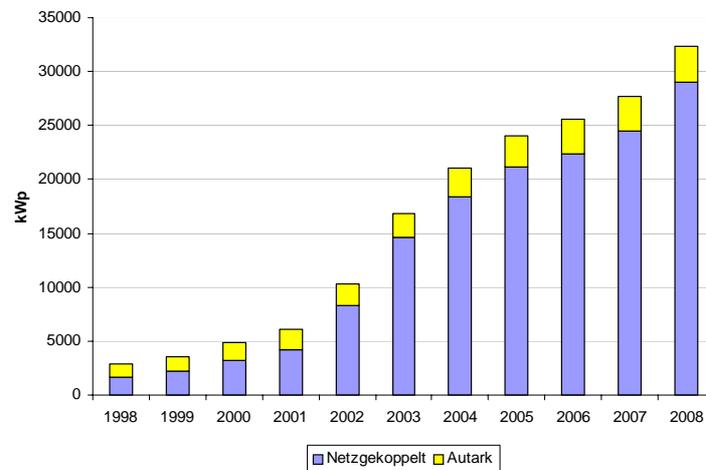


Abb.3.36: Gesamtleistung der in Betrieb befindlichen Anlagen Quelle: [2]

2008 war die polykristalline Zelle der meist verwendete Zellentyp, gefolgt von monokristallinen Zellen. An dritter Stelle liegen HIT-Zellen, die 2008 einen Anteil von 7% erreichen konnten. Bei 3% der installierten Zellen kommen amorphe und CIS/CdTe-Zellen zum Einsatz. (vgl. [2])

3.11) Systeme

Hier werden unterschiedliche Systeme verschiedener Anbieter vorgestellt.

-)Gebäudeintegrierte Photovoltaik

Indachanlagen:

Hier werden die Photovoltaikmodule direkt in den Dachaufbau integriert. Zur Anwendung kommen Module mit unterschiedlichen Abmessungen sowie unterschiedlichen Zellarten.



Abb.3.37: Integrierte Anlage Quelle: ertex-solar [22]

Meist werden komplette Systeme inklusive Montage angeboten.

Weiters sind diese Module in unterschiedlichen Farben, sowie mit unterschiedlichen Lichtdurchlässigkeiten erhältlich. Unterschiede in der Transparenz können durch einen größeren Zellabstand, durch transparente Zellen oder amorphes Silizium erreicht werden.



Abb.3.38: Ausführungen mit unterschiedlicher Transparenz, Quelle: ertex-solar [22]

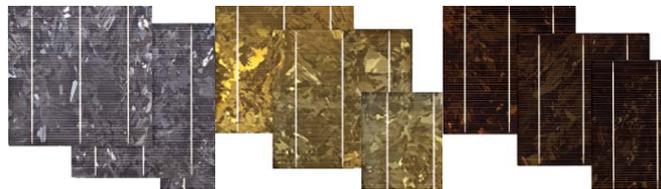


Abb.3.39: unterschiedliche Zellfarben Quelle: ertex-solar [22]

Sonderanfertigungen stellen in den meisten Fällen auch keine Probleme dar.

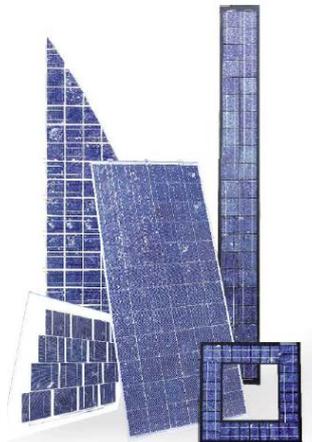


Abb.3.40: Unterschiedliche Formate Quelle: ertex-solar [22]

Solardachsteine / Solardachplatten:

Bei Solardachsteinen wird der vorhandene Dachstein durch einen Solardachstein in gleicher Form ersetzt. Ein Solardachstein entspricht ca. zwei Dachsteinen, jedoch kann dies von Model zu Model unterschiedlich sein. Bei Systemen mit Solardachsteinen werden für 1kWp ca. 96 Solardachsteine benötigt. Eine nachträgliche Errichtung einer Photovoltaikanlage ist möglich.

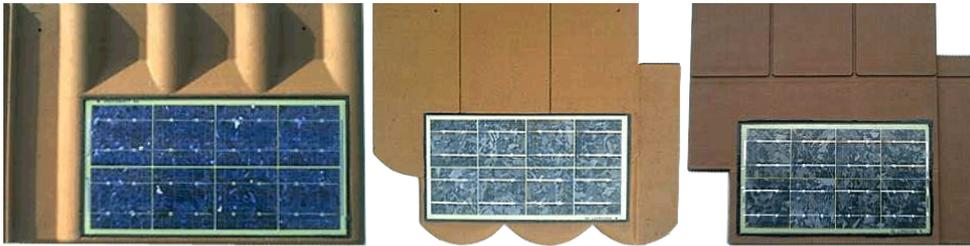


Abb.3.41: Links: SDS Frankfurter Pfanne mehrere Hersteller; mitte SDS Biber Hersteller INNOTEG; rechts SDS Wiener Tasche Hersteller INNOTEG, Quelle: www.solardachziegel.com [58]

Die Solardachsteine können um Dacheinbauten herum verlegt werden, wobei auf eine mögliche Verschattung zu achten ist.

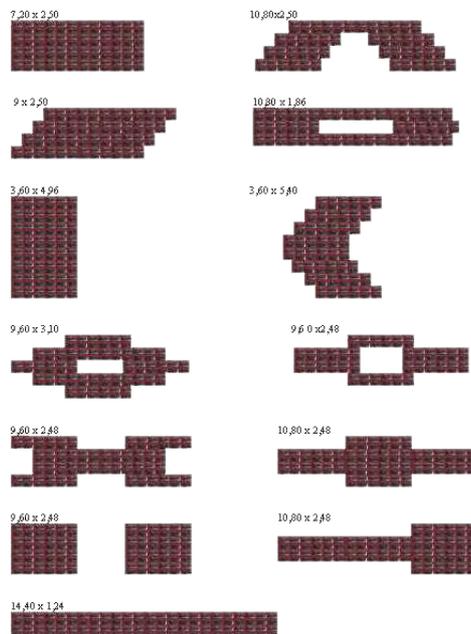


Abb.3.42: Unterschiedliche Verlegearten für 1kWp-Anlage Quelle: www. solardachziegel.com [58]

Solardachplatten werden wie Dachsteine verlegt. Für eine 1,5 kWp Anlage sind 80 Solardachplatten notwendig, das entspricht einer Fläche von 20 m². Eine Solardachplatte besteht aus 12 monokristallinen Zellen und hat eine Leistung von 18,75 Wp. (vgl. [53])



Abb.3.43: Solardachplatte Quelle: PREFA [53]



Abb.3.44: 3 kWp Anlage netzparallel/braun Quelle: PREFA [53]

Anwendung bei flachgeneigten Dächern:

Multifunktionale Dachabdichtungen

Diese Systeme dienen zur Dachabdichtung und gleichzeitig auch zur Stromerzeugung. Zur Anwendung kommen PV-Module, die aus in seriegelagerten Solarzellen bestehen. Zwischen allen Zellen sind Bypass-Dioden angeordnet. Die Zellen bestehen aus drei Siliziumschichten (Triple-Junction-Dünnschichttechnologie). Die flexiblen PV-Module werden auf den Dachabdichtungsbahnen aufgebracht.

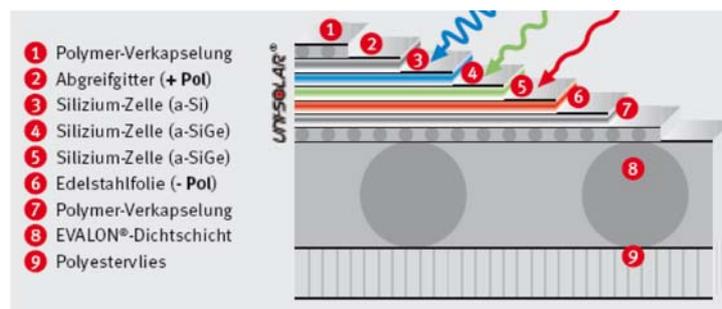
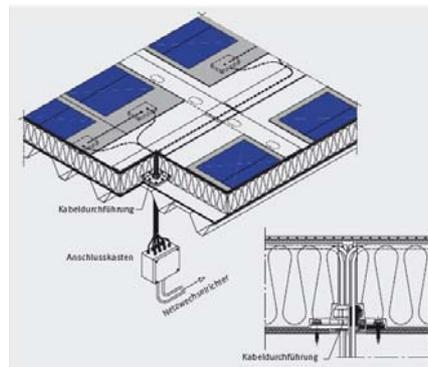


Abb.3.45: schichtweiser Aufbau einer EVALON® Solar-Bahn mit UNI-SOLAR®-PV-Modul Quelle: coverit [11]

Eingesetzt werden diese Dachbahnen auf nicht genutzten Dachflächen. Die Anwendung auf unterschiedlichen Dachformen wie Tonnen- Pult- Sattel- und Shed-Dächern ist möglich. Vor allem bei Industrie- und Gewerbebauten findet dieses System häufig Anwendung.

Montage

Um Pfützenbildungen zu vermeiden und den Wasserabfluss zu gewährleisten ist eine Dachneigung von $> 3^\circ$ erforderlich. Etwa 60% der Dachfläche werden mit multifunktionalen Dachbahnen belegt. Die Verlegung ist parallel und senkrecht zur Dachneigung möglich. Die restlichen Dachflächen (Ränder, Ecken) wird mit herkömmlichen Dachbahnen abgedichtet. An den Längsrändern werden die Bahnen mit einer Breite von 11 cm überlappt und auf mindestens 2 cm kraftschlüssig und wasserdicht verschweißt. Die Bahnen sind in unterschiedlichen Längen erhältlich. Die Bahnenenden werden stumpf gestoßen und mit einem 10 cm Zuschchnitt überschweißt. Die Lagesicherung erfolgt durch mechanische Befestigung. Die DC-Kabel werden an den PV-Modulen werkseitig angeschlossen und werden unter der Solar-Bahn erd- und kurzschlussicher lose verlegt. Am Bahnende werden die Kabel mehrerer Bahnen gemeinsam unter das Dach geführt.

Abb.3.46: Kabeldurchführung EVALON[®] Solar Quelle: coverit [11]

Anwendung auf Stehfalzdächern:

Dieses System findet Anwendung bei Aluminium Stehfalzdächern. Die minimale Dachneigung liegt bei 3°, die maximale bei 90°.



Abb.3.47: Anwendung Quelle PREFA [53]

Es werden Silizium-Dünnschichtlamine der Firma UNI-SOALR[®] eingesetzt.



Abb.3.48: PREFALZ Solar Solarlaminat Quelle: PREFA [53]

Die Module haben eine fixe Länge und können bei Scharenlängen > 3m bzw. > 5,8m angewendet werden. Die Modulbreite ist ebenfalls einheitlich, deshalb ist die benötigte Dachfläche von der Art der Dacheindeckung abhängig. Die Module weisen eine Nennleistung von 68 bzw. 136 Wp auf.

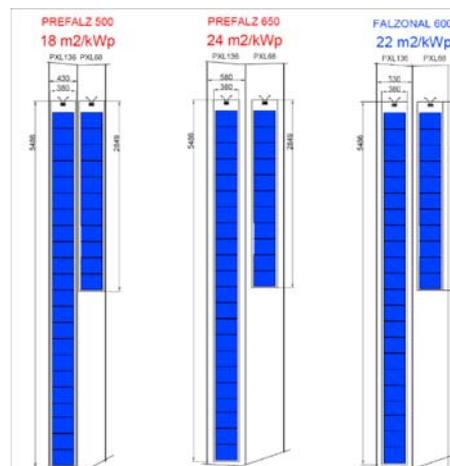


Abb.3.49: Flächenbedarf auf unterschiedlichen Untergründen Quelle: PREFA [53]

Montage

Nach der Fertigstellung der Dacheindeckung, werden die Module aufgeklebt. Die Montage darf nur von Fachpersonal durchgeführt werden. Unter keinen Umständen dürfen die Module gekürzt oder durchgeschnitten werden. Die Installationstemperatur muss zwischen 10°C und 40 °C, bei einer maximale Dachtemperatur von 85°C liegen. Die Verlegung kann nicht auf nassen und verschmutzten Oberflächen erfolgen. Durch das Verkleben, verbinden sich die Module vollständig mit dem Untergrund. Die Solarmodule werden nach der Montage mit witterungsbeständigen Solarkabel verbunden, die zusätzlich durch einen Kabelkanal aus Aluminium geschützt werden.



Abb.3.50: 3,05 kWp Anlage Quelle: PREFA [53]

•)Aufdach-Anlagen:

Die SOLYNDRA[®] Solar-Module bestehen aus Röhren, wodurch die Sonneneinstrahlung auf der gesamten Oberfläche genutzt werden kann. Die Röhren bestehen aus einem Innen- und einem Außenzylinder. Auf dem Innenzylinder ist eine Dünnschichtzelle aus Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid (CIGS) angebracht. Die Solarzelle wird von einer speziellen Silikonflüssigkeit und dem Außenzylinder geschützt. Durch den Außenzylinder wird das Licht gebrochen und zur Solarzelle geleitet. Gegen Feuchtigkeit werden die Rohre mit glasmetallischen Dichtungen an den Enden verschlossen.

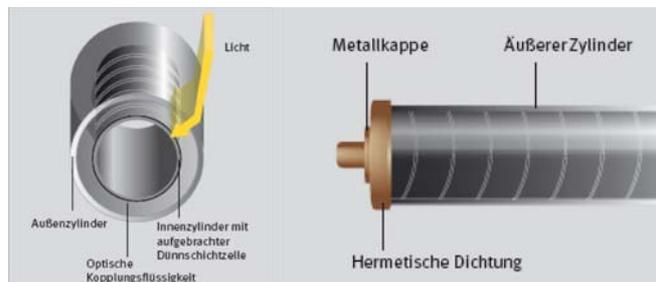


Abb.3.51: Querschnitt und Abdichtung der Röhren Quelle: coverit [11]

Weiters wird bei diesem System eine Dachbahn mit hoher Reflexion benötigt, auf der das Solarmodul mit Stellfüßen angebracht wird.

Die Strahlung wird an der Oberfläche der Dachbahn reflektiert und kann somit ebenfalls in Strom umgewandelt werden. Um eine hohe Reflexion gewährleisten zu können, ist eine regelmäßige Reinigung der Dachbahnen notwendig.



Abb.3.52: System SOLYNDRA[®] der Firma alwitra links: Aufstellfuß; rechts: höchste Reflexion durch weiße Dachbahn Quelle: coverit [11]

Durch die abschattungsfreie und dachparallele Montage, können die Dachflächen im Vergleich zu herkömmlichen Systemen besser genutzt werden. Da die Module aus Röhren bestehen, kann der Wind zwischen diesen hindurchströmen. Die Lagesicherheit ist durch das Eigengewicht gewährleistet. Durch die ständig zirkulierende Luft können niedrigere Betriebstemperaturen - auch bei hoher Einstrahlung - erreicht werden, wodurch ein höherer Ertrag erreicht wird.

Anwendungsbeispiel

Als Anwendungsbeispiel wurde ein 2-geschossiger Dachausbau bei einem Gründerzeithaus mit Standort Wien gewählt. Im Rahmen des Ausbaus sollen drei Wohnungen entstehen. Die maximale Länge des Gebäudes beträgt 37,38 m und die maximale Breite 14,50 m. Der Dachgeschossausbau wird mit Brettschichtholzrahmen der Festigkeitsklasse GL32h ausgeführt. Zwischen diesen Zweigelenrahmen werden im Bereich des Schrägdaches sowie des Flachdaches Brettsperreholzelemente eingehängt.

Auf der Süd-Ost-Seite, im Bereich des Schrägdachs und auf dem Flachdach werden zwei unterschiedliche Photovoltaiksysteme angebracht.

Zuerst werden die Lasten sowie das Eigengewicht der einzelnen Aufbauten für die statische Berechnung aufgestellt.

Die Berechnung der Brettsperreholzelement erfolgt mit Hilfe des Programms CLTdesigner [92] und die Schnittkräfte für den Rahmen werden mit RSTAB 7.03 [93] berechnet.

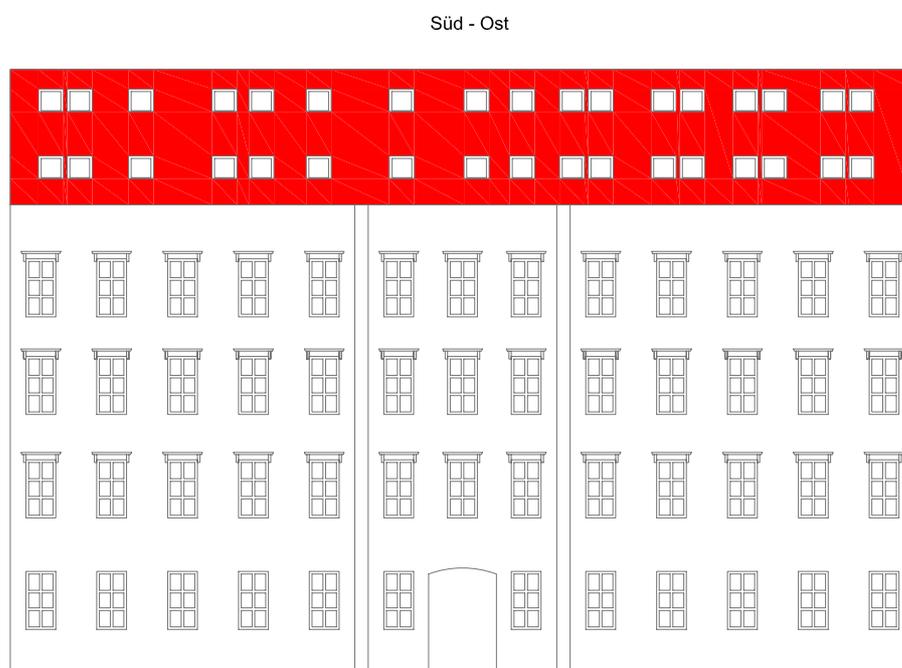


Abb.4.1: Ansicht Süd - Ost



Abb.4.2: Ansicht Nord - West



Abb.4.3: erstes Geschoss



Abb.4.4: zweites Geschoss

4.1) Photovoltaik - Anlage

Im vorderen Bereich (Süd-Ost) des Flachdaches, sowie am Schrägdach werden Photovoltaikmodule angebracht.

4.1.1) Photovoltaikanlage am Flachdach

Im Bereich des Flachdaches werden nur im vorderen Bereich (Süd-Ost Seite) Photovoltaikmodule angebracht, da es auf der Nord-West Seite zu Verschattungen durch die Kamine kommt.

Realisiert wird die Photovoltaikanlage mit multifunktionalen Dachbahnen. Diese Dachbahnen dienen gleichzeitig der Dachabdichtung und der Stromerzeugung. Erhältlich sind diese Solar-Dachbahnen in zwei unterschiedlichen Längen und Breiten(vgl. Anhang 6/1,2, [89] [90]).

Die Solarbahnen werden im inneren Bereich des Daches verlegt, an den Rändern wird eine herkömmliche Dachdichtungsbahn angebracht.

Im Bereich des Flachdaches steht eine Fläche von 75 m² zur Verfügung. Die Kabel werden unter den Bahnen ins Innere geführt.

4.1.1.1) Berechnung

		Modul 1	Modul 2
Bahnenbreite	[m]	1,05	1,05
Bahnenlänge	[m]	6	3,36
PV - Modul Breite	[m]	0,790	0,790
PV - Modul Länge	[m]	5,490	2,850
Gewicht	[kg/m ²]	4,33	4,17
Nennleistung	[Wp]	272	136

Tab.4.1: Technische Daten Modul 1 und 2 (vgl. Anhang,[11])

Angebracht werden auf der gesamten Fläche 12 Solarbahnen, 10 Stück des Moduls 1 und 2 Stück des Moduls 2. Die installierte Modulfläche beträgt 47,8 m², die benötigte Gesamtfläche beträgt 66,4 m² bei einer Überlappung von 11 cm entlang der Längsränder.

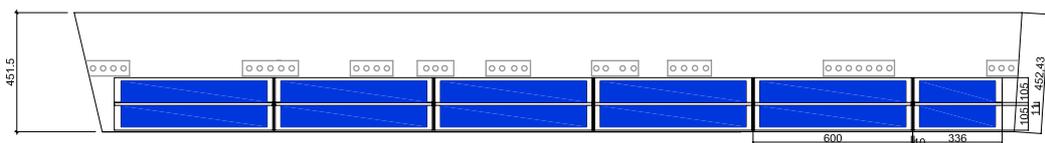


Abb.4.5: Anordnung der Solarbahnen auf dem Flachdach

Die Bahnen werden an den Enden stumpf gestoßen und mit einem 10 cm breiten Zuschnitt überschweißt. An den Längsrändern werden die Bahnen 11 cm überlappt.

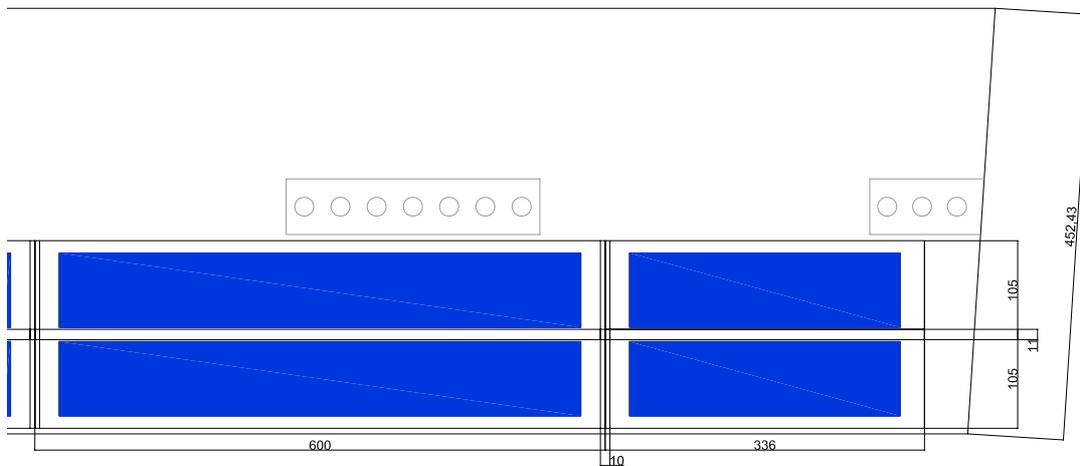


Abb.4.6: Abmessungen der multifunktionalen Bahnen

•) Gesamtleistung:

	Anzahl	Nennleistung	Gesamtleistung
	[Stk]	[Wp]	[kWp]
Modul 1	10	272	2,72
Modul 2	2	136	0,272
Summe			<u>2,99</u>

Tab.4.2: Gesamt-Nennleistung der Photovoltaikanlage am Flachdach

4.1.1.2) Eigengewicht und Aufbau

	Stärke [mm]	Wichte [kN/m ³]	Flächenlast [kN/m ²]
Dachbahn inkl. PV	6,9		0,043
OSB	12	6,5	0,078
Dämmung	140	0,3	0,042
Luft- /Dampfsperre	-----	-----	-----
BSP	125	5,5	0,688
Sparschalung (24/100) α=400	24	5,5	0,033
GKF	25		0,256
Summe			<u>1,14</u>

Tab.4.3: Eigengewicht Flachdach inkl. PV

4.1.2) Photovoltaikanlage am Schrägdach

Im Bereich des Schrägdaches werden Module mit monokristallinen Solarzellen installiert. Ein Modul besteht aus insgesamt 60 Zellen.(vgl. Anhang 6/3, [91])

4.1.2.1) Berechnung

Modul		
Laminat Breite	[m]	0,976
Laminat Höhe	[m]	1,623
Breite mit Rahmen	[m]	0,982
Höhe mit Rahmen	[m]	1,629
Gewicht	[kg/m ²]	20,7
Nennleistung	[Wp]	255

Tab.4.4: Technische Daten Photovoltaikmodul (vgl. Anhang 6/3, [91])

Angebracht werden auf einer Länge von ca. 32 m, 32 Module.

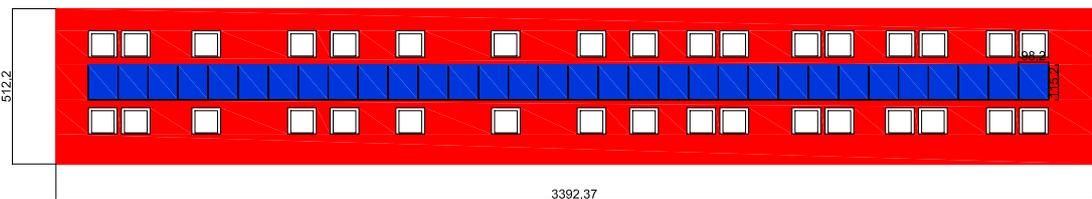


Abb.4.7: Anordnung der Photovoltaikmodule auf dem Schrägdach

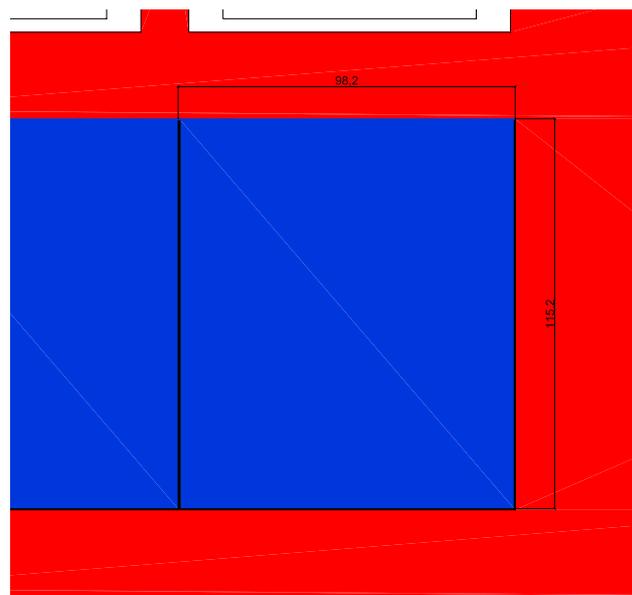


Abb.4.8: Abmessungen Modul am Schrägdach

•) Gesamtleistung:

	Anzahl	Nennleistung	Gesamtleistung
	[Stk]	[Wp]	[kWp]
Modul	32	255	8,16
Summe			<u>8,16</u>

Tab.4.5: Gesamt-Nennleistung der Photovoltaikanlage am Schrägdach

4.1.2.2) **Eigengewicht und Aufbau**

	Stärke [mm]	Wichte [kN/m ³]	Flächenlast [kN/m ²]
PV - Modul	35		0,129
Ziegellattung	40	5,5	0,031
Konterlattung	50	5,5	0,029
Unterdachbahn	-----	-----	-----
Dämmung	220	0,3	0,066
Luft-/Dampfbremse	----	----	----
BSP-Platte	125	5,5	0,688
Sparschalung (24/100) $\alpha = 400$	24	5,5	0,033
GFK	30		0,310
Summe			<u>1,29</u>

Tab.4.6: Eigengewicht der Schrägdachkonstruktion inkl. PV - Module

4.1.3) **Wechselrichter**

Die Anlagen werden auf drei Teilanlagen aufgeteilt. Zum Einsatz kommen zwei Wechselrichter die auf eine Anlagenleistung von 3500 - 5500 Wp ausgelegt sind für die Photovoltaikanlage im Bereich des Schrägdaches, wo je 16 Module eine Anlage bilden. Für die Photovoltaikanlage im Bereich des Schrägdaches wird ein Wechselrichter, der auf eine Anlagenleistung von 2500 - 3600 Wp ausgerichtet ist, verwendet. (vgl. [24])



Abb.4.9: Wechselrichter Quelle: Fronius (vgl. [24])

4.1.4) Gesamte installierte Leistung

Die Nennleistung der Module wird immer unter Standard-Testbedingungen ermittelt. Standardtest - Testbedingungen siehe Kapitel 3.5.1.

Die installierte Nennleistung der PV-Anlage am Flachdach beträgt 2,99 kWp und im Bereich des Schrägdaches 8,16 kWp. Somit ergibt sich eine gesamte installierte Leistung von rund 11,2 kWp. Da diese Leistung nur unter optimalen Testbedingungen erreicht werden kann, ist durch die Abweichung von der optimalen Ausrichtung mit Verlusten zu rechnen.

4.1.5) Verluste

Photovoltaikanlagen gelten als optimal ausgerichtet, wenn die Module exakt nach Süden zeigen und mit einer Neigung von 30° - 35° angebracht sind.

Das vorhandene Gebäude weist im Bereich des Schrägdaches eine Neigung von 45° auf und ist nach Süd - Ost ausgerichtet.

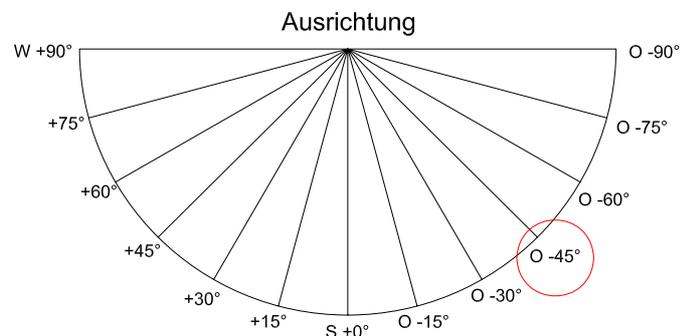


Abb.4.10: Ausrichtung des Gebäudes

Da die Module in beiden Bereichen nicht optimal ausgerichtet sind, muss die maximale Einstrahlung von 1.000 W/m² reduziert werden.

Wie aus Abbildung 4.11 und 4.12 hervorgeht, vermindert sich trotz der unterschiedlichen Neigung der Dächer die maximale Einstrahlung, in beiden Fällen, nur um 5% auf 950 W/m².

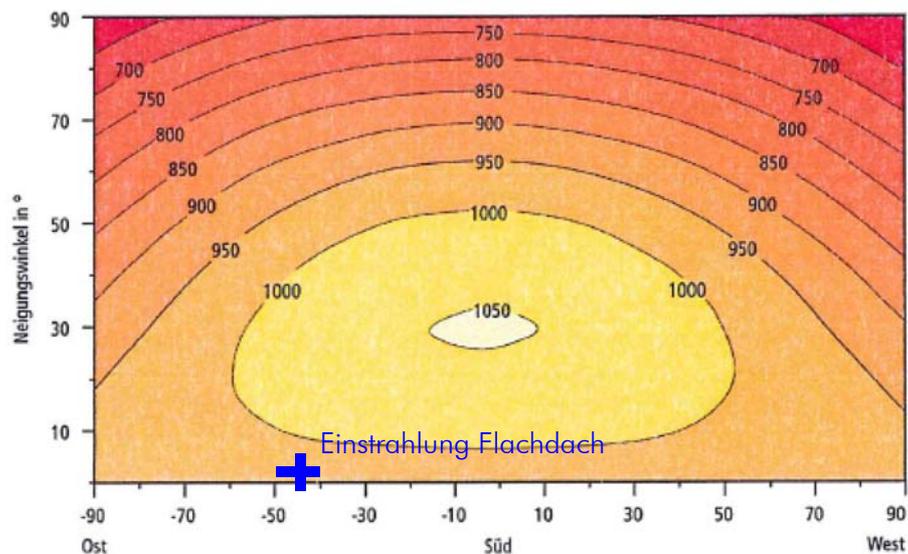


Abb.4.11: Einstrahlung bezüglich der Ausrichtung und der Neigung der Module auf dem Flachdach Abb.:© Solarpraxis AG (vgl. [1] S.229)

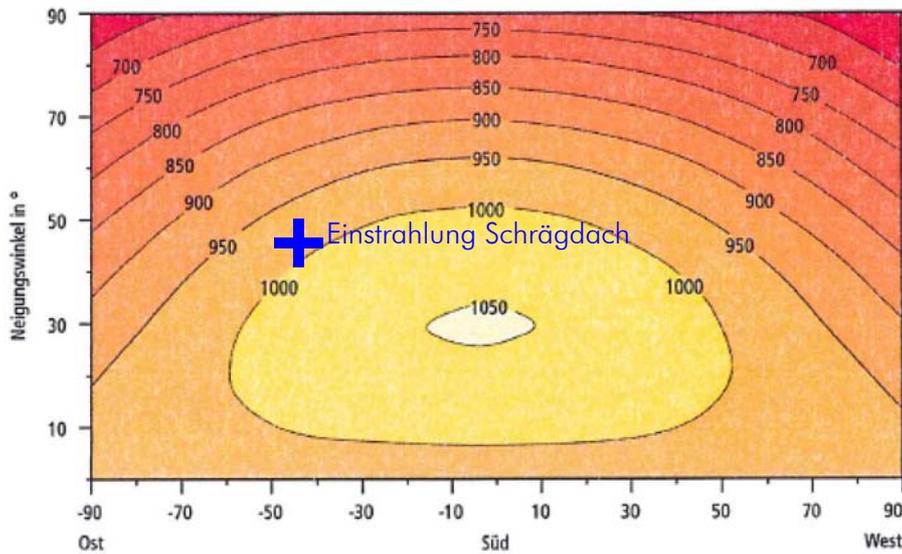


Abb.4.12: Einstrahlung bezüglich der Ausrichtung und der Neigung der Module auf dem Schrägdach, Abb.:© Solarpraxis AG (vgl. [1] S.229)

4.1.6) Ertrag

Bei optimaler Ausrichtung kann in Österreich mit einem Ertrag von etwa 1.000 kWh Strom pro installierter Spitzenleistung (kWp) und Jahr gerechnet werden.

PV - Anlage	installierte Leistung [kWp]	Ertrag pro kWp [kWh/kWp und a]	Ertrag durch nicht optimale Ausrichtung pro kWp [kWh/kWp und a]	Ertrag gesamt [kWh/a]
Flachdach	2,99	1.000	950	2.841
Schrägdach	8,16	1.000	950	7.752
Summe				<u>10.593</u>

Tab.4.7: Ertrag der PV - Anlagen

Für die beiden Photovoltaikanlagen ergibt sich somit ein Ertrag von 10.593 kWh pro Jahr. Im Schnitt verbraucht eine dreiköpfige Familie im Jahr 4.800 kWh. Der Jahresbedarf einer Familie an Strom kann somit durch eine Anlage mit einer Leistung zwischen 4 und 5 kWp produziert werden. (vgl. [15])

4.2) Lastaufstellung

4.2.1) Eigengewicht

Die Ermittlung des Eigengewichts erfolgt laut ÖNORM EN 1991-1-1 (vgl. [83]) und ÖNORM B 1991-1-1 (vgl. [74]).

Auf den folgenden Seiten werden die unterschiedlichen Aufbauten im Bereich des Flachdaches, des Schrägdaches und der Geschossdecke dargestellt. Das Konstruktionseigengewicht der Aufbauten mit den Photovoltaikmodulen wurde bereits unter 4.1 ermittelt.

4.2.1.1) Flachdach

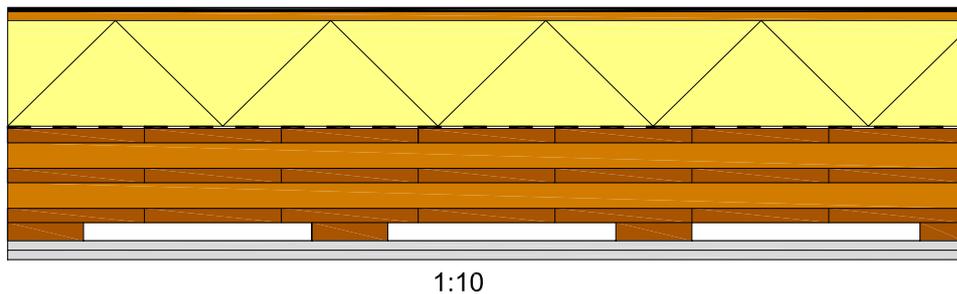


Abb.4.13: Detailansicht Flachdachaufbau

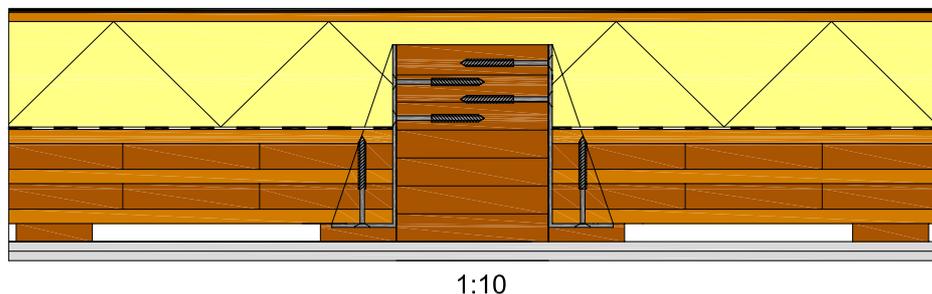


Abb.4.14: Detailansicht Flachdachaufbau in Richtung der Rahmen

	Stärke [mm]	Wichte [kN/m ³]	Flächenlast [kN/m ²]
Dachbahn	4		0,043
OSB	12	6,5	0,078
Dämmung	140	0,3	0,042
Luft-/Dampfsperre	-----	-----	-----
BSP	125	5,5	0,688
Sparschalung (24/100) α=400	24	5,5	0,033
GKF	25		0,256
Summe			<u>1,14</u>

Tab.4.8: Eigengewicht des Flachdachaufbaus

4.2.1.2) Schrägdach

Der Schrägdachaufbau besteht aus: Dachdeckung, Ziegellattung, Konterlattung, Unterdachbahn, Dämmung, Dampfbremse, BSP-Platte, Lattung und Gipskartonplatte.

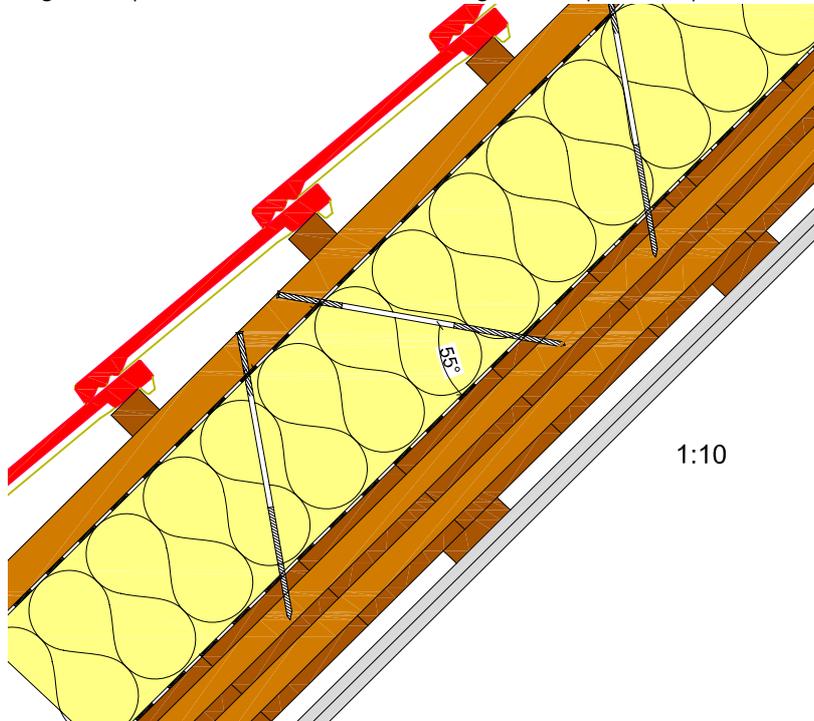


Abb.4.15: Detailansicht Schrägdachaufbau



1:10

Abb.4.16: Detailansicht Schrägdachaufbau in Richtung der Rahmenachse

Für die Dacheindeckung wurde folgender Dachstein gewählt.



Abb.4.17: Bramac Dachstein Tegalit (vgl. [4])

	Stärke [mm]	Wichte [kN/m ³]	Flächenlast [kN/m ²]
Dachdeckung	42		0,550
Ziegellattung	40		
Konterlattung	50	5,5	0,029
Unterdachbahn	-----	-----	-----
Dämmung	220	0,3	0,066
Luft-/Dampfbremse	----	----	----
BSP-Platte	125	5,5	0,688
Sparschalung (24/100) $\alpha = 400$	24	5,5	0,033
GFK	30		0,310
Summe			<u>1,68</u>

Tab.4.9: Eigengewicht der Konstruktion im Bereich des Schrägdaches

4.2.1.3) Geschossdecke

Die Geschossdecke ist wie folgt aufgebaut: Parkett, Trockenestrich, Trittschalldämmung, BSP-Platte, Lattung und Gipskartonplatte.

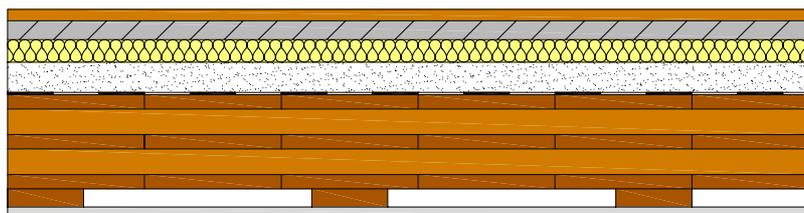


Abb.4.18: Detailansicht Geschossdecke

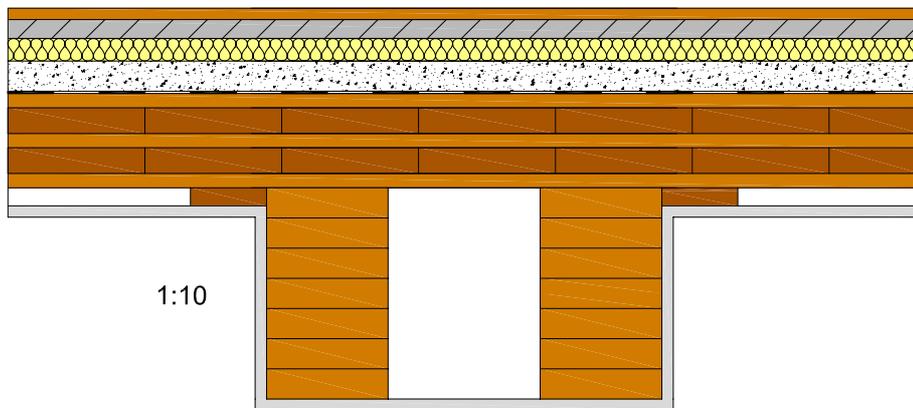


Abb.4.19: Detailansicht Geschossdecke in Richtung der Rahmenachse

	Stärke [mm]	Wichte [kN/m ³]	Flächenlast [kN/m ²]
Parkett	15	8	0,120
Trockenestrich	25		0,360
Trittschalldämmplatte	30	0,3	0,010
Schüttung	40		0,720
Rieselschutz	---	---	---
BSP-Platte	125	5,5	0,688
Sparschalung (24/100) $\alpha=400$	24	5,5	0,033
GKF	15		0,155
Summe			<u>2,09</u>

Tab.4.10: Eigengewicht der Konstruktion im Bereich der Geschossdecke

4.2.2) Nutzlast

Zur Bestimmung der charakteristischen Werte für Nutzlasten wird zu Beginn die Nutzungskategorie lt. [74] und [83] bestimmt.

4.2.2.1) Nutzungskategorie

Kategorie	Nutzungsmerkmal	Beispiele
A	Wohnflächen	A1: Räume in Wohngebäuden und -häusern, Stations- und Krankenzimmer in Krankenhäusern ¹⁾ , Zimmer in Hotels und Herbergen, Küchen, Toiletten
		A2: nicht ausbaubare Dachböden ²⁾
B	Büroflächen	B1: Büroflächen in bestehenden Gebäuden
		B2: Büroräume in Bürogebäuden ³⁾
C	Flächen mit Personenansammlungen (außer Kategorie A, B und D)	C1: Flächen mit Tischen u. dgl., z.B. in Schulen, Cafés, Restaurants, Speisesälen, Lesezimmern, Empfangsräumen ⁴⁾
		C2: Flächen mit fester Bestuhlung ⁵⁾⁶⁾ , z.B. in Kirchen, Theatern, Kinos, Konferenzräumen, Vorlesungssälen, Versammlungshallen, Wartezimmern, Bahnhofswartesälen
		C3: Flächen (Decken, Treppen, Zugangsflächen sowie Balkone und Loggien) ohne Hindernisse für die Beweglichkeit von Personen
		C3.1: Flächen mit mäßiger Personenfrequenz, z.B. in Museen, Ausstellungsräumen u. dgl. sowie Zugangsflächen in Bürogebäuden
		C3.2: Flächen mit möglicher hoher Personenfrequenz, z.B. Zugangsflächen in öffentlichen Gebäuden, Schulen und Verwaltungsgebäuden, Hotels, Krankenhäusern und Bahnhofshallen
		C4: Flächen mit möglicher körperlichen Aktivitäten, z.B. Tanzsäle, Turnsäle, Bühnen
D	Verkaufsflächen	D1: Flächen in Einzelhandelsgeschäften
		D2: Flächen in Kaufhäusern
<p>¹⁾ Krankenzimmer in Krankenhäusern sind jedoch der Kategorie C1 zuzuordnen, wenn die Verwendung von Behandlungs- und Diagnosegeräten nicht ausgeschlossen werden kann. ²⁾ Ausbaubare Dachböden sind der Kategorie C1 zuzuordnen. ³⁾ Zugangsflächen, Treppen und Balkone in Bürogebäuden sind im Allgemeinen der Kategorie C3.1 zuzuordnen. ⁴⁾ Es wird empfohlen, Flächen mit Tischen der Kategorie C3.1 zuzuordnen, wenn diese Fläche bei Entfernung der Tische Veranstaltungen mit mäßiger Personenfrequenz nicht auszuschließen sind. Dies gilt besonders für Schulen, Gaststätten, Restaurants, u.A. ⁵⁾ In Räumen mit fester Bestuhlung sind freie Flächen (Flächen ohne Bestuhlung), die 25m² überschreiten, der Kategorie C3.2 zuzuordnen. ⁶⁾ Tribünen mit festen Sitzen sind der Kategorie C2, sonst der Kategorie C5 zuzuordnen.</p>		
<p>ANMERKUNG 1: Terrassen und widmungsgemäß begehbare Dächer sind mindestens der Nutzungskategorie der anschließenden Räume zuzuordnen. ANMERKUNG 2: Für Flächen mit Nutzung als Archiv oder Bibliothek ist Tabelle 3 zu beachten. ANMERKUNG 3: Nichtbefahrbar außerhalb des Gebäude liegende Flächen (z.B. Kellerdecken unter Höfen und Gärten) müssen je nach Personenfrequenz den entsprechenden Kategorien zugeordnet werden.</p>		

Tab.4.11: Nutzungskategorien laut ([83], Tabelle 6.1)

4.2.3) Größe der Einwirkung

lt. ÖNORM EN 1991-1-1 6.3.1.2 (1)P

Für die angegebenen Nutzungskategorien sind für die Bemessung charakteristische Werte q_k (gleichmäßig verteilte Last) und Q_k (konzentrierte Einzellast) zu verwenden. (vgl. [83] S. 15)

Nutzungskategorien		q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
Kategorie A	A1 Decken Treppen in Wohnhäusern Balkone	2,0 3,0 4,0	2,0 2,0 2,0
	A2	1,5	2,0
Kategorie B	B1	2,0	2,0
	B2	3,0	3,0
Kategorie C	C1	3,0	3,0
	C2	4,0	4,0
	C3 C3.1 C3.2	4,0 5,0	4,0 5,0
	C4	5,0	4,0
	C5 Decken Treppen, Zugangsflächen Balkone (Loggien)	5,0 6,0 6,0	4,0 4,0 4,0
Kategorie D	D1	4,0	4,0
	D2	5,0	5,0

Tab.4.12: charakteristische Werte für Nutzlasten (lt. [74],[83])

4.2.3.1) Dachkonstruktion

Die Unterteilung erfolgt laut ([83] S.22) nach der Zugänglichkeit.

Nutzungskategorie	Nutzungsmerkmale
H	Nicht zugängliche Dächer außer für übliche Unterhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen
I	Zugängliche Dächer mit Nutzung nach den Nutzungskategorien A-D
K	Zugängliche Dächer mit besonderer Nutzung z.B. Hubschrauberlandeplätze

Tab.4.13: Nutzungsmerkmale Dächer [83]

Die Bemessungswerte für Nutzlasten auf Dächern der Kategorie I werden entsprechend ihrer Nutzungskategorie ermittelt.

Nutzungskategorien	q_k	Q_k
	[kN/m ²]	[kN]
Kategorie H	1,0 ¹⁾	1,5

Tab.4.14: Nutzlasten Kategorie H ([74] S.7)

¹⁾ q_k braucht nur auf eine max. Fläche $A = 18\text{m}^2$ in ungünstiger Position angesetzt werden. Gemäß englischer Originalfassung der ÖNORM EN 1991-1-1:2003 gilt unter Abschnitt 3.3.2(1): Auf Dächern müssen Nutzlasten nicht als gleichzeitig wirkend mit Schneelasten oder Windlasten angesetzt werden.

4.2.3.2) Zusammenfassung Nutzlasten

Kategorie		q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
A1	Decken	2,0	2,0
H	nicht zugängliche Dächer	1,0	1,5
I	zugängliche Dächer	2,0	2,0

Tab.4.15: Zusammenfassung der Bemessungswerte für Nutzlasten

4.2.4) Schnee

Die Ermittlung der Schneelast erfolgt nach ÖNORM EN 1991-1-3 [84] und ÖNORM B 1991-1-3 [75].

4.2.4.1) Schneelasten auf Dächern

Für ständige und veränderliche Bemessungssituationen gilt laut [84]

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$$

μ_i = der Formbeiwert für Schneelasten

s_k = der charakteristische Wert der Schneelast auf dem Boden

C_e = Umgebungskoeffizient

C_t = Temperaturkoeffizient

Für den Standort Wien gilt: $s_k = 1,37 \text{ kN/m}^2$

Laut [75] sind für den Umgebungskoeffizienten $C_e = 1,0$ und den Temperaturkoeffizienten $C_t = 1,0$ anzunehmen.

Der Formbeiwert für Schneelasten berechnen sich nach folgender Tabelle (vgl. [84] Tabelle 5.2)

Neigungswinkel α des Pultdaches	$0^\circ < \alpha < 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha > 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8\alpha/30$	1,6	---

Tab.4.16: Formbeiwerte für Schneelasten

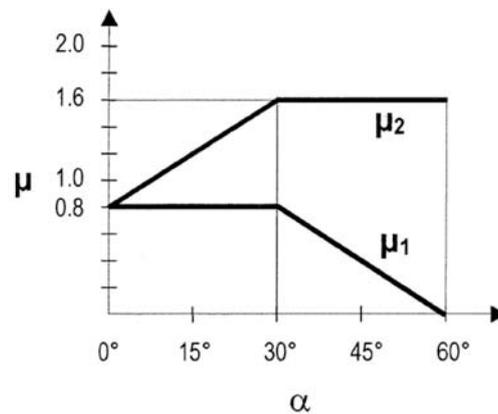


Abb.4.20: Formbeiwert Schneelasten

Somit ergibt sich für das Flachdach eine Schneelast von:

$$s = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,37 = 1,096 \cong 1,1 \quad [\text{kN/m}^2]$$

Laut ÖNORM EN 1991-1-3 Punkt 5.3.3 (2) gilt:

Werte nach Tabelle 5.2 (hier Tab.: 4.16) gelten, wenn das Abgleiten des Schnees vom Dach nicht behindert wird. Wenn Schneegitter oder anderwertige Aufbauten vorhanden sind oder an der Dachtraufe eine Aufkantung angeordnet ist, sollten die Formbeiwerte nicht unter 0,8 liegen.

Für den Formbeiwert wird $\mu = 0,8$ angenommen.

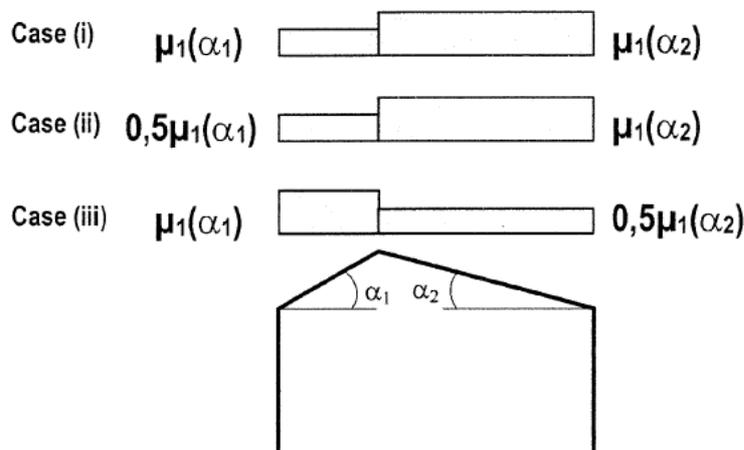


Abb.4.21: Unterschiedliche Fälle der Schneelastverteilung

Somit ergibt sich für das Satteldach:

$$s = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,37 = 1,096 \cong 1,1 \quad [\text{kN/m}^2]$$

bzw.

$$s = 0,5 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,37 = 0,548 \cong 0,55 \quad [\text{kN/m}^2]$$

4.2.5) Wind

Die Ermittlung der Windlasten erfolgt nach ÖNORM EN 1991-1-4 [85] und ÖNORM B 1991-1-4 [76].

4.2.5.1) Basiswindgeschwindigkeit lt. [76]

Standort: Wien, übrige Bezirke

Basiswindgeschwindigkeit: $v_{b,0} = 25,1 \text{ m/s}$

Basisgeschwindigkeitsdruck: $q_{b,0} = 0,39 \text{ kN/m}^2$

Die Basiswindgeschwindigkeit errechnet sich lt. [85]

$$v_b = c_{\text{dir}} \cdot c_{\text{season}} \cdot v_{b,0}$$

v_b = Basiswindgeschwindigkeit

$v_{b,0}$ = Grundwert der Basiswindgeschwindigkeit

c_{dir} = Richtungsfaktor

c_{season} = Jahreszeitenbeiwert

Laut [76] gilt:

Richtungsfaktor: $c_{\text{dir}} = 1,0$

Jahreszeitenbeiwert: $c_{\text{season}} = 1,0$

somit ergibt sich für $v_b = v_{b,0} = 25,1 \text{ m/s}$

und $q_b = q_{b,0} = 0,39 \text{ kN/m}^2$

4.2.5.2) Mittlerer Wind

Die mittlere Windgeschwindigkeit errechnet sich nach [85] wie folgt:

$$v_{m(z)} = c_{r(z)} \cdot c_{0(z)} \cdot v_b$$

- $c_{r(z)}$ = Rauigkeitsbeiwert
- $c_{0(z)}$ = Topographiewert
- $v_{m(z)}$ = mittlere Windgeschwindigkeit

-) Geländerauhigkeit

Laut [85] entspricht das Gebäude der Geländekategorie IV

Gelände	$\frac{q_p}{q_b} = \frac{q_p}{q_{b,0}}$	$c_r^2(z) = \frac{q_m}{q_b} = \frac{q_m}{q_{b,0}}$	$I_v(z)$	z_{min} [m]
II	$2,1 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,24}$	$\left(\frac{z}{10}\right)^{0,3}$	$0,18 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{-0,15}$	5
III	$1,75 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,29}$	$0,593 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,42}$	$0,29 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{-0,21}$	10
IV	$1,2 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,38}$	$0,263 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{0,64}$	$0,46 \cdot \left(\frac{z}{10}\right)^{-0,32}$	15

Tab.4.17: Geländekategorien und -parameter [76]

- c_r = Rauigkeitsbeiwert
- q = Spitzengeschwindigkeit
- q_m = mittlerer Geschwindigkeitsdruck
- $q_b = q_{b,0}$ = Referenzwert des Geschwindigkeitsdruck
- $I_v(z)$ = Turbulenzintensität
- z_{min} = minimale Höhe, bis zu der das jeweilige Profil gilt; darunter ist der Wert für z_{min} zu nehmen

Nach Tabelle 4.17 kann folgender Rauigkeitsbeiwert ermittelt werden:

$$c_{r(z)} = 0,67$$

-) Topographiewert

Laut [76] wird für den Topographiewert $c_0 = 1$ angesetzt.
Somit ergibt sich die mittlere Windgeschwindigkeit zu:

$$v_{m(z)} = 16,82 \text{ m/s}$$

4.2.5.3) Böengeschwindigkeitsdruck

Die Berechnung erfolgt gemäß Tabelle 4.17:

$$q_b = 0,64 \text{ kN/m}^2$$

4.2.5.4) Innendruckbeiwerte

Laut [76]

Bei geschlossenen Wohn- und Bürogebäuden mit Türen, Toren und Fenstern darf mit +0,2 und -0,3 gerechnet werden.

4.2.5.5) Außendruckbeiwerte

Die Außendruckbeiwerte werden aus der ([85] Tabelle 7.2 und Tabelle 7.4a) entnommen. Die Überlagerung der Innen- und Außendruckbeiwerte ist in Abb.4.19 dargestellt.

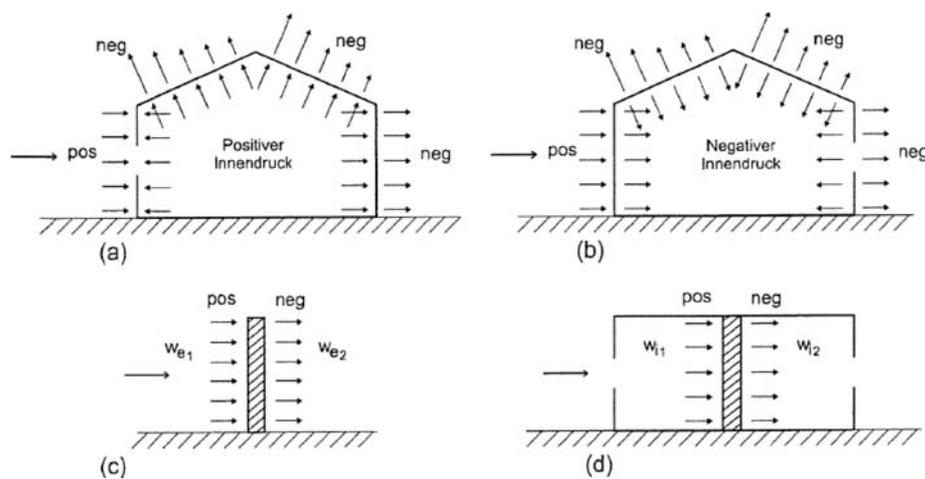


Abb.4.22: Überlagerung Innen- und Außendruck (vgl. [85] S.25)

4.2.5.6) Berechnung der Winddruckkräfte

-) Wind auf Satteldach

Windrichtung	senkrecht	parallel
Dachneigung	$\alpha = 45^\circ$	
Breite b	37,38m	4,24
Höhe h	22,92m	22,92
$e = \min \left\{ \begin{matrix} b \\ 2h \end{matrix} \right.$	$e = \min \left\{ \begin{matrix} 37,38 \\ 45,84 \end{matrix} \right.$	$e = \min \left\{ \begin{matrix} 4,24 \\ 45,84 \end{matrix} \right.$
e/4	9,35m	1,06m
e/10	3,74m	0,42m
e/2	18,69m	2,12m

Tab.4.18: Abmessungen zur Windberechnung

-) Anströmrichtung senkrecht zum First

Die Außendruckbeiwerte werden für Satteldächer, Anströmrichtung $\Theta = 0^\circ$, laut [85] Tabelle 7.4a - Außendruckbeiwerte für Sattel- und Trogdächer ermittelt.

Fläche	$c_{pe,10}$	$c_{pi} = +0,2$		$c_{pi} = -0,3$	
F	-0,0 bzw. +0,7	-0,2	+0,5	+0,3	+1,0
G	-0,0 bzw. +0,7	-0,2	+0,5	+0,3	+1,0
H	-0,0 bzw. +0,6	-0,2	+0,4	+0,3	+0,9
I	-0,2 bzw. +0,0	-0,4	-0,2	+0,1	+0,3
J	-0,3 bzw. +0,0	-0,5	-0,2	0,0	+0,3

Tab.4.19: Außendruckbeiwerte und summierte Druckbeiwerte senkrecht zum First

Laut [85] Tabelle 7.4a ANMERKUNG1:

„Für die Anströmrichtung $\Theta = 0^\circ$ und einen Neigungswinkel von $\alpha = -5^\circ$ bis $+45^\circ$ ändert sich der Druck schnell zwischen positiven und negativen Werten; daher werden sowohl der positive als auch der negative Wert angegeben. Bei solchen Dächern sind vier Fälle zu berücksichtigen, bei denen jeweils der kleinste bzw. größte Wert für die Bereiche F, G und H mit den kleinsten bzw. größten Werten der Bereiche I und J kombiniert werden. Das Mischen von positiven und negativen Werten auf einer Dachfläche ist nicht zulässig“.

Die resultierenden Winddruckkräfte errechnen sich zu:

$$w = c_p \cdot q_p$$

minimale Werte:

$$w_{F, G, H} = -0,2 \cdot 0,64 \cong -0,13 [\text{kN/m}^2]$$

$$w_I = -0,4 \cdot 0,64 \cong -0,26 [\text{kN/m}^2]$$

$$w_J = -0,5 \cdot 0,64 \cong -0,32 [\text{kN/m}^2]$$

maximale Werte:

$$w_{F, G} = 1,0 \cdot 0,64 \cong 0,64 [\text{kN/m}^2]$$

$$w_H = 0,9 \cdot 0,64 \cong 0,58 [\text{kN/m}^2]$$

$$w_{I, J} = 0,3 \cdot 0,64 \cong 0,19 [\text{kN/m}^2]$$

-) Anströmrichtung parallel zum First

Die Außendruckbeiwerte werden für Satteldächer, Anströmrichtung $\Theta = 90^\circ$, laut [85] Tabelle 7.4b - Außendruckbeiwerte für Sattel- und Trogdächer ermittelt.

Fläche	$c_{pe,10}$	$c_{pi} = +0,2$	$c_{pi} = -0,3$
F	-1,1	-1,3	-0,8
G	-1,4	-1,6	-1,1
H	-0,9	-1,1	-0,6
I	-0,5	-0,7	-0,2

Tab.4.20: Außendruckbeiwerte und summierte Druckbeiwerte parallel zum First

resultierende Winddruckkräfte:

$$w_F = -1,3 \cdot 0,64 \cong -0,83 [\text{kN/m}^2]$$

$$w_G = -1,6 \cdot 0,64 \cong -1,02 [\text{kN/m}^2]$$

$$w_H = -1,1 \cdot 0,64 \cong -0,70 [\text{kN/m}^2]$$

$$w_I = -0,7 \cdot 0,64 \cong -0,45 [\text{kN/m}^2]$$

•) Wind auf Flachdach

Windrichtung	senkrecht	parallel
Breite b	37,38m	4,24
Höhe h	22,92m	22,92
$e = \min \begin{cases} b \\ 2h \end{cases}$	$e = \min \begin{cases} 37,38 \\ 45,84 \end{cases}$	$e = \min \begin{cases} 4,24 \\ 45,84 \end{cases}$
e/4	9,35m	1,06m
e/10	3,74m	0,42m
e/2	18,69m	2,12m

Tab.4.21: Abmessungen zur Windberechnung

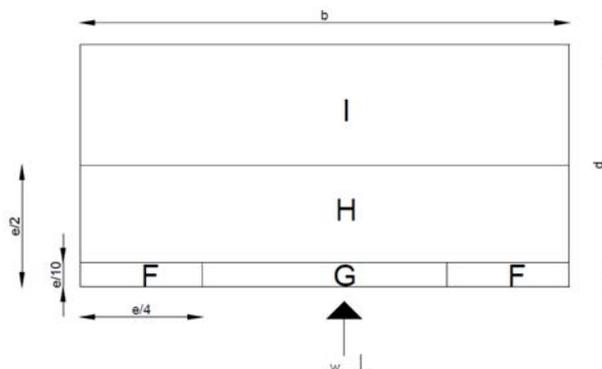


Abb.4.23: Einteilung der Flachdachfläche bei Anströmrichtung senkrecht

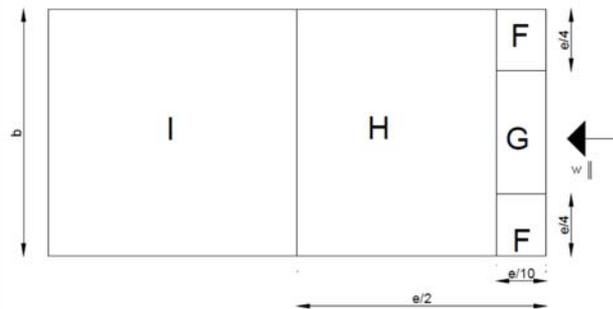


Abb.4.24: Einteilung der Flachdachfläche bei Anströmrichtung parallel

Die Außendruckbeiwerte werden für den Dachtyp „mansardenartig, abgeschrägter Traufbereich; $\alpha = 45^\circ$ “, laut [85] Tabelle 7.2 - Außendruckbeiwerte für Flachdächer, ermittelt.

Fläche	$c_{pe,10}$	$c_{pi} = +0,2$	$c_{pi} = -0,3$
F	-1,2	-1,4	-0,9
G	-1,3	-1,5	-1,0
H	-0,4	-0,6	-0,1
I	+0,2 bzw. -0,2	0,0 bzw. -0,4	0,5 bzw. -0,1

Tab.4.22: Außendruckbeiwerte Satteldach

Für den Bereich I sind laut [85] Tabelle 7.2 ANMERKUNG 3, beide Werte zu berücksichtigen.

$$w_F = -1,4 \cdot 0,64 \cong -0,90 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$w_G = -1,5 \cdot 0,64 \cong -0,96 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$w_H = -0,6 \cdot 0,64 \cong -0,38 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$w_I = -0,4 \cdot 0,64 \cong -0,26 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$w_I = 0,5 \cdot 0,64 \cong 0,32 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Anmerkung:

Aufgrund der Abmessungen des Gebäudes wurden nur die Bereiche F, G und H bei Wind senkrecht berücksichtigt.

4.3) Lastfallkombinationen

Zur Bemessung des Tragwerkes werden die Schnittgrößen zufolge unterschiedlicher Belastungen benötigt. Um die maßgebenden Beanspruchungen zu ermitteln werden unterschiedliche Lastfallkombinationen gebildet.

•) **Grenzzustand der Tragfähigkeit:**

Für Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind folgende Lastfallkombinationen zu bilden:

Ständige oder vorübergehende Lastfallkombination (Grundkombination):

$$\Sigma \gamma_{G,i} \cdot G_{k,i} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \Sigma \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Außergewöhnliche Lastfallkombination (Brand):

$$\Sigma G_{k,i} + \psi_{2,1} \cdot Q_{k,1} + \Sigma \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

•) **Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit**

Für Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sind folgende Lastfallkombinationen zu bilden:

charakteristische (seltene) Kombination:

$$\Sigma G_{k,i} + Q_{k,1} + \Sigma \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

quasi-ständige Kombination:

$$\Sigma G_{k,i} + \Sigma \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Teilsicherheitsbeiwerte:

γ_G für ständige Lasten:

$\gamma_G = 1,35$ bei ungünstiger Wirkung

$\gamma_G = 1,00$ bei günstiger Wirkung

γ_Q für veränderliche Lasten

$\gamma_Q = 1,50$ bei ungünstiger Wirkung

$\gamma_Q = 0$ bei günstiger Wirkung

Kombinationsbeiwerte im Hochbau:

Einwirkung	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Nutzlasten im Hochbau			
Wohngebäude	0,7	0,5	0,3
Schneelasten im Hochbau			
Höhe > 1000 m ü. NN	0,7	0,5	0,2
Höhe < 1000 m ü. NN	0,5	0,2	0
Windlasten im Hochbau	0,6	0,2	0

Tab.4.23: Kombinationsbeiwerte

4.4) Bemessung der Brettsperrholzelemente

[36]; [13]; [35]

4.4.1) Allgemein

Die nachfolgenden Formeln werden zur Berechnung der Querschnittswerte herangezogen. Zur einfachen und übersichtlichen Ermittlung der Querschnittswerte kann folgende Tabelle genutzt werden.

#	b	h	E_i	n_i	A_i	$n_i \cdot A_i$	e_i	$n_i \cdot A_i \cdot e_i$	$n_i \cdot A_i \cdot e_i^2$	J_i	$n_i \cdot J_i$	
	[mm]	[mm]	[N/mm ²]	[-]	[mm ²]	[mm ²]	[mm]	[mm ³]	[mm ⁴]	[mm ⁴]	[mm ⁴]	
n												
2												
1												
S					ΣA_i	$\Sigma n_i \cdot A_i$			$\Sigma n_i \cdot A_i \cdot e_i$	$\Sigma n_i \cdot A_i \cdot e_i^2$		

Tab.4.24: Tabelle zur Ermittlung der Querschnittswerte

- b = Breite [mm]
- h = Höhe der Einzelschicht [mm]
- E_i = E-Modul der Einzelschicht [N/mm²]
- E_{ref} = Referenz-Elastizitätsmodul [N/mm²]
- n_i = Verhältnis des E-Moduls der Einzelschicht zum Referenz-E-Modul mit:

$$n_i = \frac{E_i}{E_{ref}}$$

- A_i = Querschnittsfläche der Einzelschicht [mm²]
- e_i = Abstand vom Schwerpunkt der Einzelschicht zum Gesamtschwerpunkt [mm]
- J_i = Trägheitsmoment der Einzelschicht [mm⁴]

•) effektive Querschnittsfläche:

$$A_{eff} = \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{E_{ref}} \cdot A_i = \sum_{i=1}^n n_i \cdot A_i \quad [mm^2]$$

- A_{eff} = effektive Querschnittsfläche [mm²]
- E_i = Elastizitätsmodul der Einzelschicht [N/mm²]
- E_{ref} = Referenz-Elastizitätsmodul [N/mm²]
- n_i = Verhältnis des E-Moduls der Einzelschicht zum Referenz-E-Modul [-]
- A_i = Querschnittsfläche der Einzelschicht [mm²]

-) effektives Trägheitsmoment:

$$J_{\text{eff}} = \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{E_{\text{ref}}} \cdot J_i + \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{E_{\text{ref}}} \cdot A_i \cdot e_i^2 = \sum_{i=1}^n n_i \cdot J_i + \sum_{i=1}^n n_i \cdot A_i \cdot e_i^2 \quad [\text{mm}^4]$$

J_{eff}	=	effektives Trägheitsmoment [mm ⁴]
E_i	=	Elastizitätsmodul der Einzelschicht [N/mm ²]
E_{ref}	=	Referenz-Elastizitätsmodul [N/mm ²]
A_i	=	Querschnittsfläche der Einzelschicht [mm ²]
e_i	=	Abstand vom Schwerpunkt der Einzelschicht zum Gesamtschwerpunkt [mm]
n_i	=	Verhältnis des E-Moduls der Einzelschicht zum Referenz-E-Modul [-]

-) effektives statisches Moment:

$$S_{\text{eff}} = \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{E_{\text{ref}}} \cdot A_i \cdot e_i = \sum_{i=1}^n n_i \cdot A_i \cdot e_i \quad [\text{mm}^3]$$

S_{eff}	=	effektives statisches Moment [mm ³]
E_i	=	Elastizitätsmodul der Einzelschicht [N/mm ²]
E_{ref}	=	Referenz-Elastizitätsmodul [N/mm ²]
A_i	=	Querschnittsfläche der Einzelschicht [mm ²]
e_i	=	Abstand vom Schwerpunkt der Einzelschicht zum Gesamtschwerpunkt [mm]
n_i	=	Verhältnis des E-Moduls der Einzelschicht zum Referenz-E-Modul [-]

-) Ermittlung der Spannungen

Zunächst werden die Spannungen in den einzelnen Schichten für Normalkraft, Querkraft und Moment ermittelt.

Spannungsverlauf zufolge Normalkraft:

Druck:

$$\sigma_{c, i, d} = \pm \frac{N_{c, d} \cdot E_i}{(E \cdot A)_{\text{eff}}} \quad \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

Zug:

$$\sigma_{t, i, d} = \pm \frac{N_{t, d} \cdot E_i}{(E \cdot A)_{\text{eff}}} \quad \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

Schubspannungen zufolge Querkraft:

$$\tau_{i, d} = \frac{V_{\text{max}} \cdot (S_i \cdot E_i)}{J_{\text{eff}} \cdot b_i} \quad \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

Biegespannungen zufolge Moment:

$$\sigma_{f, i, d} = \pm \frac{M_d}{K_{\text{eff}}} \cdot E_i \cdot z_i \quad \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

-) Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS)

Beanspruchung als Platte

Zug mit Biegung:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{k_l \cdot f_{m,d}} \leq 1,0$$

Druck mit Biegung:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{k_l \cdot f_{m,d}} \leq 1,0$$

Schubnachweis:

$$\left(\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{drill,d}}{f_{v,d}} \right)^2 \leq 1,0$$

bei einachsig gespannten Platten wird der reine Schubnachweis geführt:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1,0$$

Rollschubnachweis in den Querlagen:

$$\frac{\tau_{R,d}}{f_{R,d}} \leq 1,0$$

Rollschub und Querzug:

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{f_{t,90,d}} + \frac{\tau_{R,d}}{f_{R,d}} \leq 1,0$$

Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS)

Folgende Nachweiskombinationen sind erforderlich:

Lastfallkombination		Ermittlung der Verformungen	Grenzwert
charakteristische Kombination	t = 0	w ₃	l/400
	t = ∞	w ₃ + k _{def} · (w ₁ + w ₂)	l/300
quasi-ständige Kombination	t = ∞	(w ₁ + w ₂) · (1 + k _{def}) - w ₀	l/250

Tab.4.25: Verformungsberechnung (vgl. [35] S. B.2/8)

4.4.2) Bemessung der Brettsperrholzelemente

Die Bemessung der Brettsperrholzelemente erfolgt mit Hilfe des Programms CLTdesigner [92]. Die Protokolle der genauen Berechnung befinden sich im Anhang 4.

Die Brettsperrholzelemente werden in der Festigkeitsklasse C24 ausgeführt.

C 24					$k_{mod} = 0,9$	$k_{mod} = 0,8$
Biegung		$f_{m,k}$	24,0	[N/mm ²]	17,28	15,36
Zug	parallel	$f_{t,0,k}$	14,0	[N/mm ²]	10,08	8,96
	rechtwinklig	$f_{t,90,k}$	0,4	[N/mm ²]	0,29	0,26
Druck	parallel	$f_{c,0,k}$	21,0	[N/mm ²]	15,12	13,44
	rechtwinklig	$f_{c,90,k}$	2,5	[N/mm ²]	1,80	1,60
Schub und Torsion		$f_{v,k}$	2,7	[N/mm ²]	1,94	1,73
Rollschub		$f_{r,k}$	1,0	[N/mm ²]	0,72	0,64
Elastizitätsmodul	parallel	$E_{0,mean}$	11.000	[N/mm ²]	$X_d = \frac{k_{mod} \cdot X_k}{\gamma_m}$ $\gamma_m = 1,25$	
	rechtwinklig	$E_{90,mean}$	370	[N/mm ²]		
		$E_{0,05}$	7.333	[N/mm ²]		
Schubmodul	parallel	$G_{0,mean}$	690	[N/mm ²]		
	rechtwinklig	$G_{90,mean}$	69	[N/mm ²]		
		$G_{0,05}$	460	[N/mm ²]		
Rohdichte		ρ_k	350	[kg/m ³]		

Tab.4.26: Festigkeitswerte der Festigkeitsklasse C 24

4.4.2.1) Bemessung der Geschossdecke:

Im Bereich der Geschossdecke werden drei Platten benötigt. Die Geschossdecke wird als Durchlaufträger modelliert.

Spannweite: 12,95m
4 Felder: Feld 1: 2,45m
Feld 2: 3,50m
Feld 3: 3,50m
Feld 4: 3,50m

Belastungen:	Eigengewicht der Platte	$g_k = 0,688 \text{ kN/m}^2$
	Eigengewicht des Aufbaus	$g_{k1} = 2,102 \text{ kN/m}^2$
	Nutzlast	$q_{k1} = 2,000 \text{ kN/m}^2$
	Zuschlag Zwischenwände	$q_{k2} = 0,500 \text{ kN/m}^2$

1 Allgemeines

Nutzungsklasse 1

2 Statisches System

Durchlaufträger mit 4 Feldern

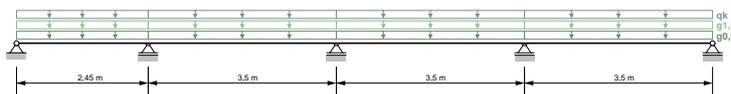
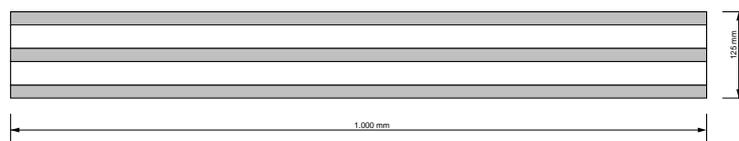


Abb.4.25: Auszug aus dem Bemessungsprotokoll Geschossdecke Seite 3

3 Querschnitt

benutzerdefinierter Querschnitt
5 Schichten (Breite: 1.000 mm / Höhe: 125 mm)



3.1 Schichtaufbau

Schicht	Höhe	Orientierung	Material
# 1	19 mm	0	C24
# 2	34 mm	90	C24
# 3	19 mm	0	C24
# 4	34 mm	90	C24
# 5	19 mm	0	C24

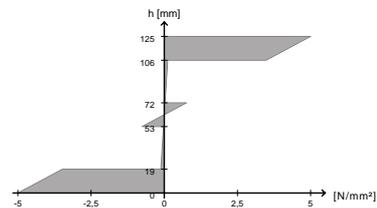
Abb.4.26: Auszug aus dem Bemessungsprotokoll Geschossdecke Seite 4

7 Ergebnisse

7.1 ULS

7.1.1 Biegung

Ausnutzung	29,6 %
k_{mod}	0,8
bei x	9,45 m
Grundkombination	$1,35 \cdot g_{0,k} +$ $1,35 \cdot g_{1,k} +$ $1,50 \cdot 1,00 \cdot q_k$



7.1.2 Schub

Ausnutzung	16,5 %
k_{mod}	0,8
bei x	9,45 m
Grundkombination	$1,35 \cdot g_{0,k} +$ $1,35 \cdot g_{1,k} +$ $1,50 \cdot 1,00 \cdot q_k$

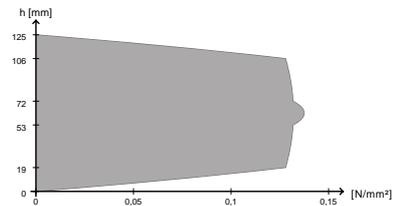
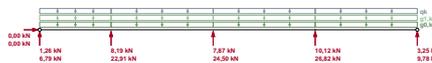


Abb.4.27: Auszug aus dem Bemessungsprotokoll Geschossdecke Seite 7

7.1.3 Auflagerpressung

Ausnutzung	4,4 %
k_{mod}	0,8
bei x	9,45 m
Grundkombination	$1,35 \cdot g_{0,k} +$ $1,35 \cdot g_{1,k} +$ $1,50 \cdot 1,00 \cdot q_k$



7.2 SLS

7.2.1 Durchbiegung

Ausnutzung	56,2 %
k_{def}	0,85
bei x	11,2 m
Endverformung $w_{net,fin} t = inf$	



Abb.4.28: Auszug aus dem Bemessungsprotokoll Geschossdecke Seite 8

4.4.2.2) Bemessung im Bereich des Flachdaches:

Bemessung der Brettsperrholzelemente im Bereich des Flachdaches:

Im Bereich des Flachdaches werden die Brettsperrholzelemente zwischen den BSH-Rahmen eingehängt. Die Brettsperrholzelemente werden deshalb als Einfeldträger modelliert.

Spannweite: 3,3 m

Belastungen:

Bei der Berechnung wurden zwei Lastfallkombinationen untersucht:

1. Eigengewicht und Nutzlast
2. Eigengewicht, Schnee und Wind

Für die Lasten wurden folgende Werte ermittelt:

Eigengewicht Platte:	g_{k1}	=	0,688 kN/m ²
Eigengewicht Konstruktion:	g_{k2}	=	0,354 kN/m ²
Nutzlast:	q_{k1}	=	2,000 kN/m ²
Schnee:	s_k	=	1,100 kN/m ²
Wind:	w_k	=	0,320 kN/m ²

Die maßgebende Lastfallkombination für die Brettsperrholzplatten im Bereich des Flachdaches bildet die Kombination aus Eigengewicht und Nutzlast



1 Allgemeines

Nutzungsklasse 1

2 Statisches System

Durchlaufträger mit 1 Feldern

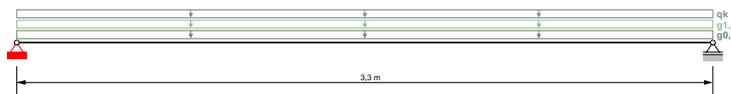
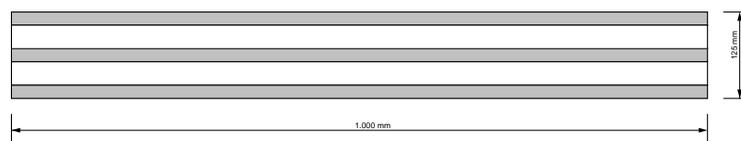


Abb.4.29: Auszug aus dem Bemessungsprotokoll Flachdach Seite 3

3 Querschnitt

benutzerdefinierter Querschnitt
5 Schichten (Breite: 1.000 mm / Höhe: 125 mm)



3.1 Schichtaufbau

Schicht	Höhe	Orientierung	Material
# 1	19 mm	0	C24
# 2	34 mm	90	C24
# 3	19 mm	0	C24
# 4	34 mm	90	C24
# 5	19 mm	0	C24

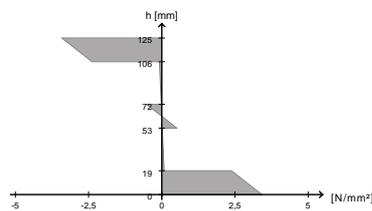
Abb.4.30: Auszug aus dem Bemessungsprotokoll Flachdach Seite 4

7 Ergebnisse

7.1 ULS

7.1.1 Biegung

Ausnutzung	20,2 %
k_{mod}	0,8
bei x	1,65 m
Grundkombination	$1,35 \cdot g_{0,k} + 1,35 \cdot g_{1,k} + 1,50 \cdot 1,00 \cdot q_k$



7.1.2 Schub

Ausnutzung	8,6 %
k_{mod}	0,8
bei x	0,0 m
Grundkombination	$1,35 \cdot g_{0,k} + 1,35 \cdot g_{1,k} + 1,50 \cdot 1,00 \cdot q_k$

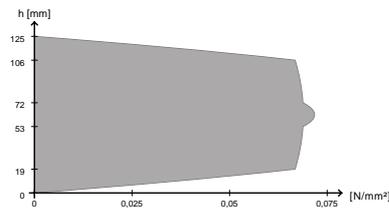


Abb.4.31: Auszug aus dem Bemessungsprotokoll Flachdach Seite 7

7.1.3 Auflagerpressung

Ausnutzung	4,8 %
k_{mod}	0,8
bei x	0,0 m
Grundkombination	$1,35 \cdot g_{0,k} + 1,35 \cdot g_{1,k} + 1,50 \cdot 1,00 \cdot q_k$



7.2 SLS

7.2.1 Durchbiegung

Ausnutzung	47,3 %
k_{def}	0,85
bei x	1,65 m
Endverformung $w_{net,fin}$	$t = inf$



Abb.4.32: Auszug aus dem Bemessungsprotokoll Flachdach Seite 8

4.4.2.3) Bemessung im Bereich des Schrägdaches:

Bemessung der Brettsperrholzelemente im Bereich des Schrägdaches:

Im Bereich des Schrägdaches werden die Brettsperrholzelemente zwischen den BSH-Rahmen eingehängt. Die Brettsperrholzelemente werden deshalb als Einfeldträger modelliert.

Spannweite: 3,3 m

Belastungen:

Bei der Berechnung wurden zwei Lastfallkombinationen untersucht:

1. Eigengewicht und Nutzlast
2. Eigengewicht, Schnee und Wind

Zur Bemessung der Platte müssen das Eigengewicht der Konstruktion, Nutzlast, Schnee und Wind zuerst in Lasten senkrecht zur Plattenebene umgerechnet werden.

Für die Lasten wurden folgende Werte ermittelt:

Eigengewicht Platte:	g_{k1}	=	0,688 kN/m ²
Eigengewicht Konstruktion:	g_{k2}	=	0,680 kN/m ²
Nutzlast:	q_{k1}	=	0,700 kN/m ²
Schnee:	s_k	=	0,778 kN/m ²
Wind:	w_k	=	0,640 kN/m ²

1 Allgemeines

Nutzungsstufe 1

2 Statisches System

Durchlaufträger mit 1 Feldern

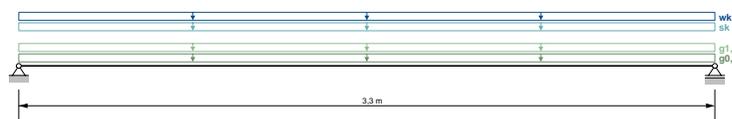
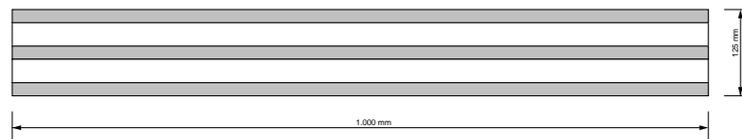


Abb.4.33: Auszug aus dem Bemessungsprotokoll Schrägdach Seite 3

3 Querschnitt

benutzerdefinierter Querschnitt
5 Schichten (Breite: 1.000 mm / Höhe: 125 mm)



3.1 Schichtaufbau

Schicht	Höhe	Orientierung	Material
# 1	19 mm	0	C24
# 2	34 mm	90	C24
# 3	19 mm	0	C24
# 4	34 mm	90	C24
# 5	19 mm	0	C24

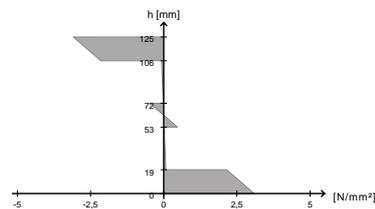
Abb.4.34: Auszug aus dem Bemessungsprotokoll Schrägdach Seite 4

7 Ergebnisse

7.1 ULS

7.1.1 Biegung

Ausnutzung	16,3 %
k_{mod}	0,9
bei x	1,65 m
Grundkombination	$1,35 \cdot g_{0,k} + 1,35 \cdot g_{1,k} + 1,50 \cdot 1,00 \cdot s_k + 1,50 \cdot 0,60 \cdot w_k$



7.1.2 Schub

Ausnutzung	6,9 %
k_{mod}	0,9
bei x	0,0 m
Grundkombination	$1,35 \cdot g_{0,k} + 1,35 \cdot g_{1,k} + 1,50 \cdot 1,00 \cdot s_k + 1,50 \cdot 0,60 \cdot w_k$

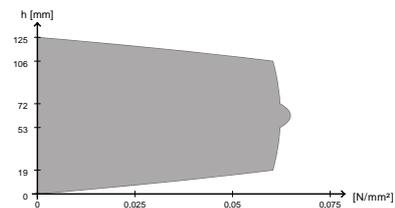
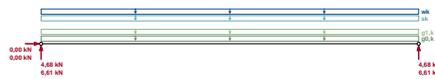


Abb.4.35: Auszug aus dem Bemessungsprotokoll Schrägdach Seite 7

7.1.3 Auflagerpressung

Ausnutzung	3,9 %
k_{mod}	0,9
bei x	0,0 m
Grundkombination	$1,35 \cdot g_{0,k} + 1,35 \cdot g_{1,k} + 1,50 \cdot 1,00 \cdot s_k + 1,50 \cdot 0,60 \cdot w_k$



7.2 SLS

7.2.1 Durchbiegung

Ausnutzung	45,0 %
k_{def}	0,85
bei x	1,65 m
Endverformung $w_{net,fin}$ t = inf	



Abb.4.36: Auszug aus dem Bemessungsprotokoll Schrägdach Seite 8

4.5) Bemessung des Brettschichtholz-Rahmens

[35]; [93]

Die Schnittkräfte des BSH-Rahmen wurden mit dem Programm RSTAB Version 7.03.0311 - Räumliche Stabwerke [93] berechnet. Für die Nachweise werden nur Auszüge aus dem Bemessungsprotokoll verwendet. Das Bemessungsprotokoll ist am Ende der Arbeit beigelegt (Anhang 5). Der Rahmen wurde als Zweigelenbogen modelliert. Für den Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit wurde die Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel durch den Verschiebungsmodul K_v und für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit der Verschiebungsmodul K_{ser} berücksichtigt.

4.5.1) Materialeigenschaften

Die Brettschichtholzrahmen werden in der Festigkeitsklasse GL32h ausgeführt.

GL 32h					$k_{mod} =$ 0,9
Biegung		$f_{m,k}$	32,0	[N/mm ²]	23,04
Zug	parallel	$f_{t,0,k}$	22,5	[N/mm ²]	16,20
	rechtwinklig	$f_{t,90,k}$	0,5	[N/mm ²]	0,36
Druck	parallel	$f_{c,0,k}$	29,0	[N/mm ²]	20,88
	rechtwinklig	$f_{c,90,k}$	3,3	[N/mm ²]	2,38
Schub und Torsion		$f_{v,k}$	3,0	[N/mm ²]	2,16
Rollschub		$f_{r,k}$	1,0	[N/mm ²]	0,72
Elastizitätsmodul	parallel	$E_{0,mean}$	13700	[N/mm ²]	$\chi_d = \frac{k_{mod} \cdot \chi_k}{\gamma_m}$ $\gamma_m = 1,25$
	rechtwinklig	$E_{90,mean}$	460	[N/mm ²]	
		$E_{0,05}$	11417	[N/mm ²]	
Schubmodul	parallel	$G_{0,mean}$	850	[N/mm ²]	
	rechtwinklig	$G_{90,mean}$	85	[N/mm ²]	
		$G_{0,05}$	708	[N/mm ²]	
Rohdichte		ρ_k	430	[kg/m ³]	

Tab.4.27: Festigkeitseigenschaften GL 32h

Für die Bemessung wurden folgende maßgebenden Schnittkräfte aus den unterschiedlichen Lastfallkombinationen ermittelt.
Normalkraft:

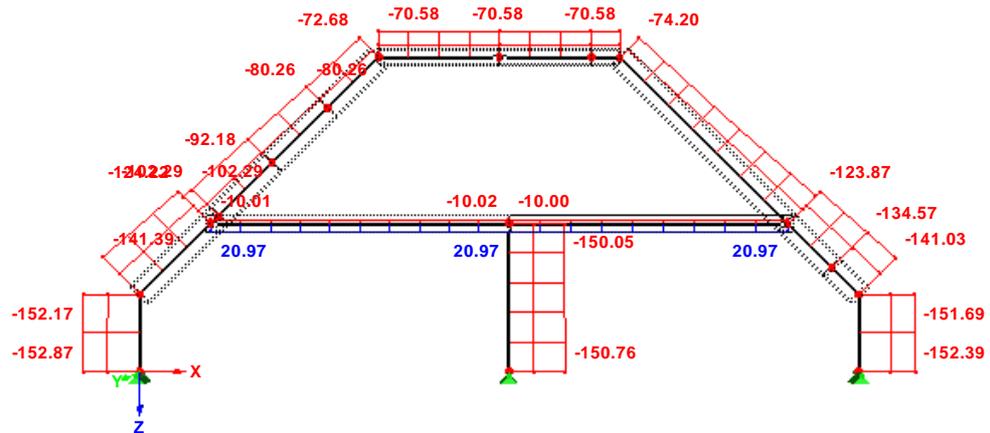


Abb.4.37: maximale und minimale Normalkräfte in [kN]

Querkraft:

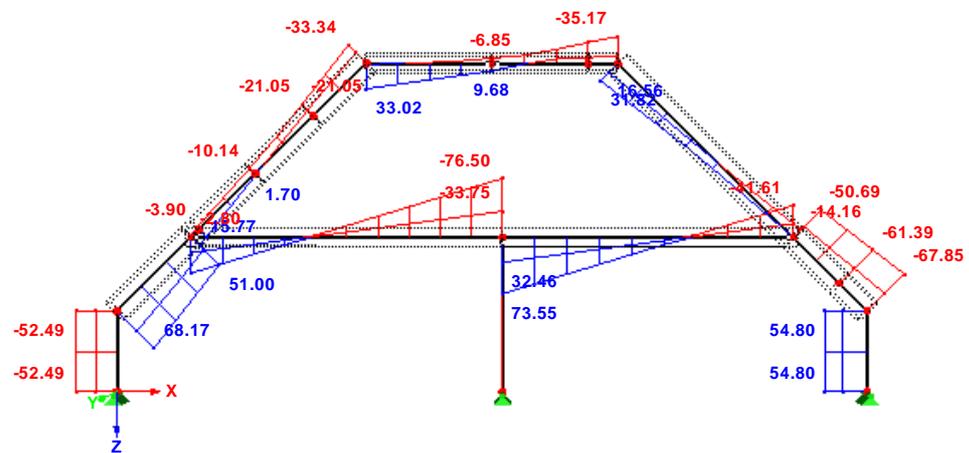


Abb.4.38: maximale und minimale Querkräfte in [kN]

Moment:

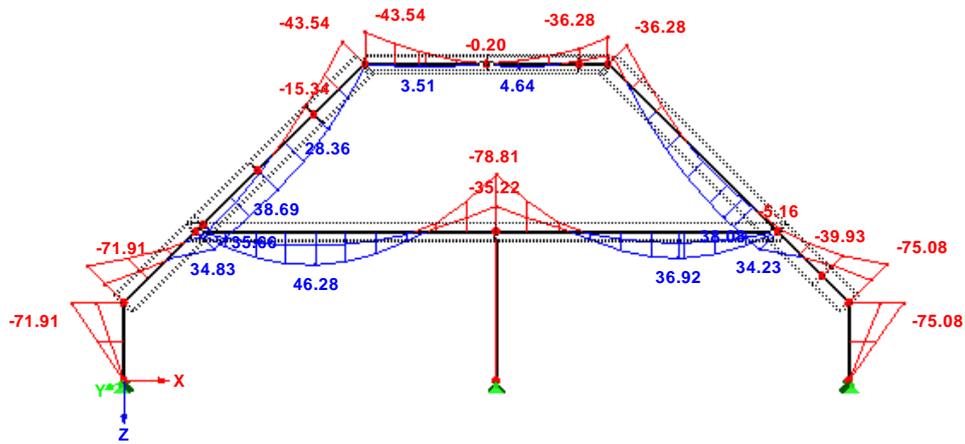


Abb.4.39: maximale und minimale Momente in [kN]

Auflagerreaktionen:

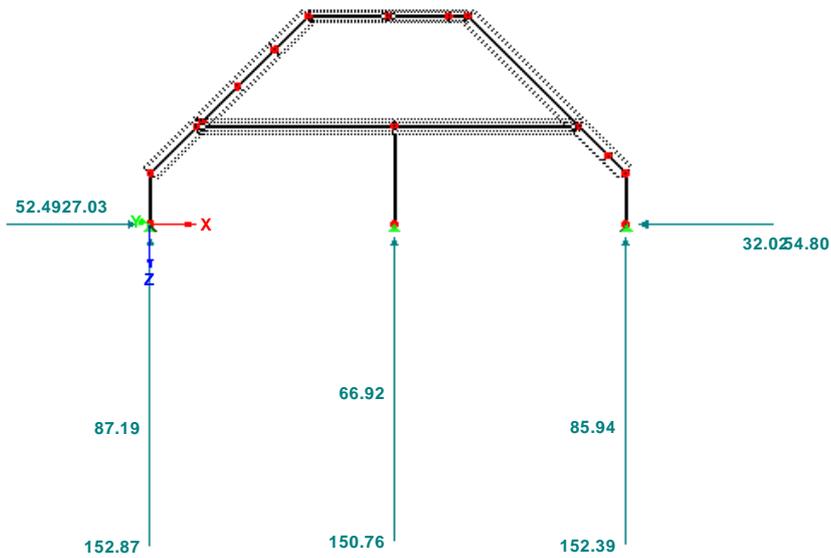
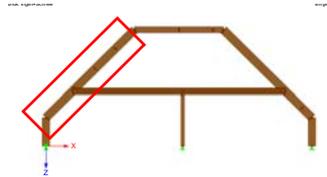


Abb.4.40: maximale und minimale Auflagerkräfte in [kN]

4.5.2) Bemessung im Bereich des Schrägdaches

4.5.2.1) Schnittkräfte Träger 1



Maßgebende Schnittkräfte zufolge unterschiedlicher Lastfallkombinationen:

Bemessungsschnittkräfte			
	N [kN]	V [kN]	M [kNm]
Max N	-24,80	-22,68	1,99
Min N	-141,39	68,17	-70,93
Max V	-141,39	68,17	-70,93
Min V	-65,33	-33,34	-21,47
Max M	-55,15	0,03	38,69
Min M	-136,00	61,59	-71,91

Tab.4.28: minimale und maximale Schnittkräfte im Träger 1

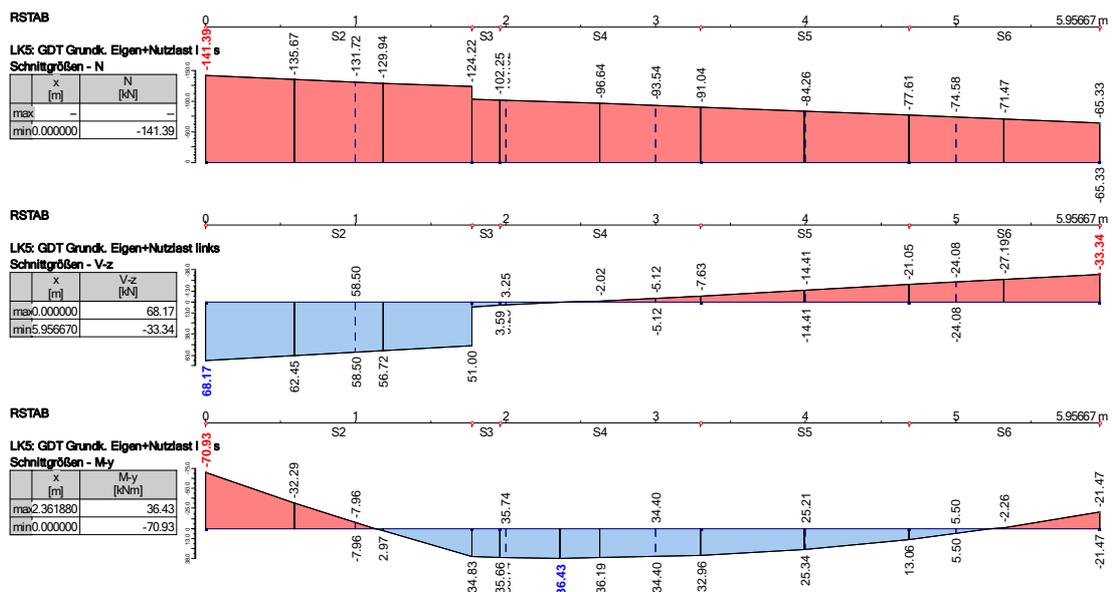


Abb.4.41: Schnittkräfte zufolge maximaler Normalkraft in Träger 1

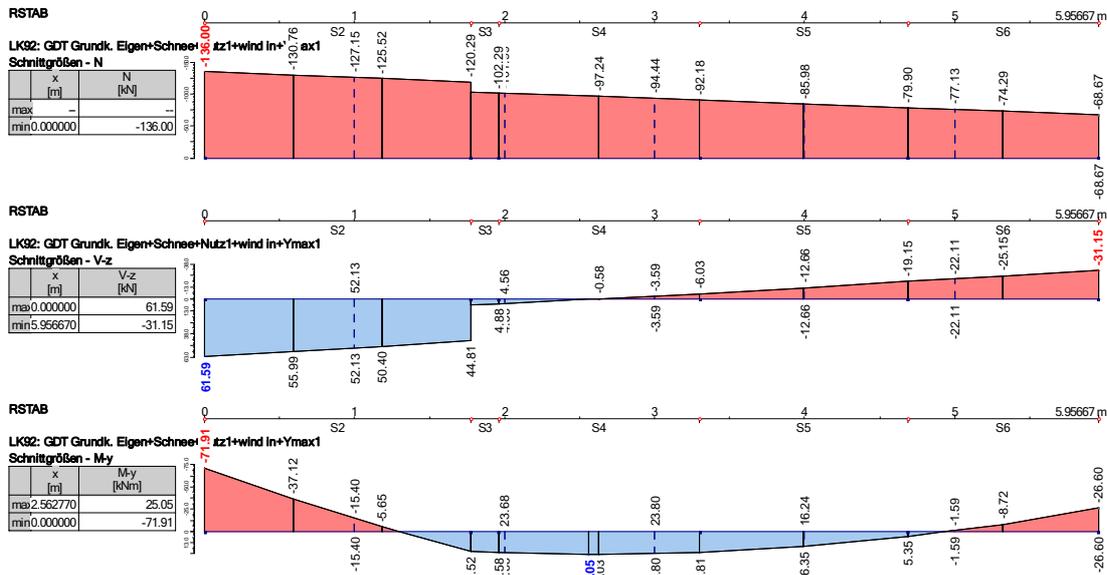


Abb.4.42: Schnittkräfte zufolge maximalen Moments im Träger 1

4.5.2.2) Querschnitt Träger 1

Gewählter Querschnitt: Rechteck 200/380
Material: GL 32h

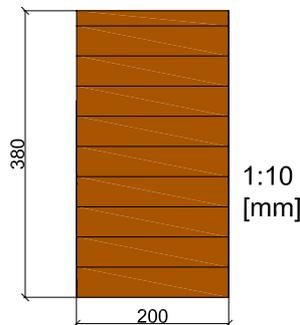


Abb.4.43: Querschnitt im Bereich des Trägers 1

Querschnittswerte:

A	$b \cdot h$	76.000	mm ²	I_y	$\frac{b \cdot h^3}{12}$	914533333,3	mm ⁴
W_y	$\frac{b \cdot h^2}{6}$	4813333,33	mm ³	I_z	$\frac{b^3 \cdot h}{12}$	253333333,3	mm ⁴
i_y	$\sqrt{\frac{I_y}{A}}$	109,696	mm	i_z	$\sqrt{\frac{I_z}{A}}$	57,735	mm

Tab.4.29: Querschnittswerte Träger 1

4.5.2.3) Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Querschnittsnachweise:

-) Bemessung zufolge maximaler Normalkraft:

$k_{\text{mod}} = 0,9$		
max N	-141,39	kN
zug. V	68,17	kN
zug M	-70,93	kNm

Tab.4.30: Bemessungsschnittkräfte zufolge maximaler Normalkraft im Träger 1

Zufolge dieses Lastfalls ergibt sich auch die maximale Querkraft.

Schub aus Querkraft:

$$\frac{1,5V_d}{\frac{A}{f_{v,d}}} \leq 1,0$$

$$\frac{1,5 \cdot 68,17 \cdot 10^3}{\frac{76000}{2,16}} = 0,623 \cong 0,62 \leq 1,0$$

Biegung und Druck:

$$\left(\frac{\frac{F_{c,0,d}}{A}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\frac{M}{W}}{f_{m,y,d}} \leq 1,0$$

$$\left(\frac{\frac{141,39 \cdot 10^3}{76000}}{20,88} \right)^2 + \frac{\frac{70,93 \cdot 10^6}{4813333,3}}{23,04} = 0,008 + 0,639 = 0,648 \cong 0,65 \leq 1,0$$

-) Stabilitätsnachweise:

Kombinierte Beanspruchung Knicken und Kippen

$$\frac{\frac{F_{c,0,d}}{A}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\frac{M}{W}}{k_{\text{crit}} \cdot f_{m,y,d}} \leq 1,0$$

Ermittlung des Knickbeiwert k_c :

Der Knickbeiwert wird mit Hilfe folgender Formeln berechnet.

-) Ermittlung der Knicklänge:

Die Knicklänge $l_{ky(z)}$ wird mit dem Zusatzmodul RSKNICK des Programms RSTAB 7.03 ermittelt.

-) Ermittlung des Trägheitsradius i_y bzw. i_z mit:

$$i_{y(z)} = \sqrt{\frac{I_{y(z)}}{A}}$$

-) Ermittlung der geometrischen Schlankheit

$$\lambda_{y(z)} = \frac{l_{k, y(z)}}{i_{y(z)}}$$

-) Ermittlung der relativen Schlankheit

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c, 0, k}}{E_{0, 05}}}$$

-) Ermittlung des Parameters k :

$$k = 0,5 \left[1,0 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2 \right]$$

-) Berechnung des Knickbeiwerts k_c :

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}}$$

$l_{ky(z)}$	=	Knicklänge um die y - bzw. z -Achse
$i_{y(z)}$	=	Trägheitsradius um die y - bzw. z -Achse
$I_{y(z)}$	=	Trägheitsmoment um die y - bzw. z -Achse
A	=	Querschnittsfläche
$\lambda_{y(z)}$	=	geometrische Schlankheit
λ_{rel}	=	relative Schlankheit
$f_{c,0,k}$	=	charakteristische Druckfestigkeit
$E_{0,05}$	=	5%-Fraktilwert des E-Modul
k	=	Parameter
β_c	=	materialabhängiger Imperfektionsbeiwert
		$\beta_c = 0,1$ für Brettschichtholz und Funierschichtholz
		$\beta_c = 0,2$ für Rund-, Voll- und Balkenschichtholz
k_c	=	Knickbeiwert

Die ermittelte Knicklänge $l_{k,y}$ beträgt 8,407 m.

geometrische Schlankheit:

$$\lambda_y = \frac{8407}{109,82} = 76,55$$

relative Schlankheit:

$$\lambda_{rel} = \frac{76,55}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{29}{11417}} = 1,22$$

Parameter k:

$$k = 0,5[1,0 + 0,1 \cdot (1,22 - 0,3) + 1,22^2] = 1,29$$

Knickbeiwert:

$$k_c = \frac{1}{1,29 + \sqrt{1,29^2 - 1,22^2}} = 0,59$$

$$\frac{141,39 \cdot 10^3}{76000} + \frac{70,93 \cdot 10^6}{4813333,3} = 0,151 + 0,639 = 0,79 \leq 1,0$$

-) Bemessung zufolge maximalen Moments

$k_{mod} = 0,9$		
max M	-71,91	kNm
zugeh. N	-136,00	kN
zugeh. V	61,59	kN

Tab.4.31: Bemessungsschnittkräfte zufolge maximalen Moments im Träger 1

Biegung und Druck:

$$\left(\frac{F_{c,0,d}}{A} \right)^2 + \frac{M}{f_{m,y,d}} \leq 1,0$$

$$\left(\frac{136,00 \cdot 10^3}{76000} \right)^2 + \frac{71,91 \cdot 10^6}{4813333,3} = 0,00734 + 0,648 = 0,655 \cong 0,66 \leq 1,0$$

-) Stabilitätsnachweise:

Kombinierte Beanspruchung Knicken und Kippen

$$\frac{\frac{F_{c,0,d}}{A}}{k_c \cdot f_{c,o,d}} + \frac{\frac{M}{W}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{\frac{136,00 \cdot 10^3}{76000}}{0,59 \cdot 20,88} + \frac{\frac{71,91 \cdot 10^6}{4813333,3}}{1,0 \cdot 23,04} = 0,1453 + 0,648 = 0,79 \leq 1,0$$

4.5.2.4) Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Lastfallkombination		Ermittlung der Verformungen	Grenzwert
charakteristische Kombination	t = 0	w ₃	l/300
	t = ∞	w ₃ + k _{def} · (w ₁ + w ₂)	l/200
quasi-ständige Kombination	t = ∞	(w ₁ + w ₂) · (1 + k _{def}) - w ₀	l/250

Tab.4.32: zulässige Verformungen

mit:

w₀ = Überhöhung in mm

w₁ = $\sum_{i \geq 1} G_{k,i}$

w₂ = $\sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$

w₃ = $Q_{k,i} + \sum_{i \geq 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$

k_{def} = Verformungsbeiwert

Mit Hilfe des Programmes RSTAB 7.03 wurden die Verformungen ermittelt.

Verformung	[mm]	x
w ₁	2,30	3,23 m
w ₂	0,36	
w ₃	11,48	

Tab.4.33: Ermittelte Verformungen im Träger 1

charakteristische Kombination:

t = 0:

$$w_3 = 11,48 \leq \frac{l}{300} = \frac{4181,7}{300} = 13,94 \text{ mm}$$

t = ∞:

$$w_3 + k_{\text{def}}(w_1 + w_2)$$

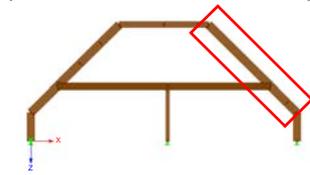
$$11,48 + 0,60 \cdot (2,3 + 0,36) = 13,08 \leq \frac{l}{200} = \frac{4181,7}{200} = 20,91 \text{ mm}$$

quasi-ständige Kombination:

$$(w_1 + w_2) \cdot (1 + k_{\text{def}}) - w_0$$

$$(2,3 + 0,36) \cdot (1 + 0,6) - 0 = 4,26 \leq \frac{l}{250} = \frac{4181,7}{250} = 16,73 \text{ mm}$$

4.5.2.5) Schnittkräfte Träger 2



Maßgebende Schnittkräfte zufolge unterschiedlicher Lastfallkombinationen:

Bemessungsschnittkräfte			
	N [kN]	V [kN]	M [kNm]
Max N	-30,91	16,56	-13,52
Min N	-141,03	-67,85	-70,89
Max V	-66,85	31,82	-14,23
Min V	-141,03	-67,85	-70,89
Max M	-99,23	-0,56	38,08
Min M	-134,16	-56,48	-75,08

Tab.4.34: maximale und minimale Schnittkräfte im Träger 2

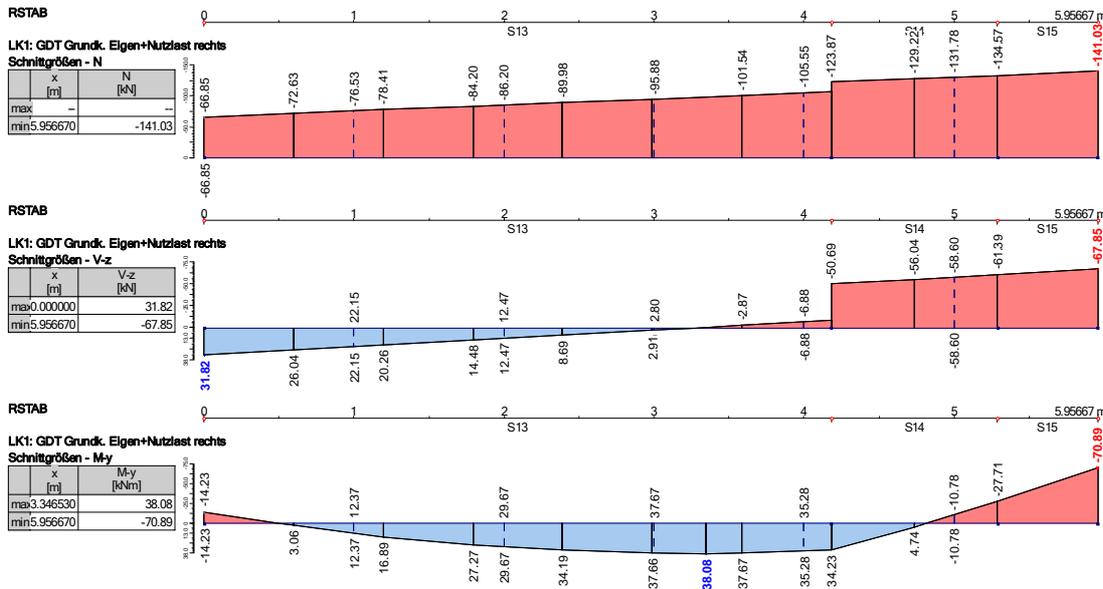


Abb.4.44: Schnittkräfte zufolge maximaler Normalkraft in Träger 2

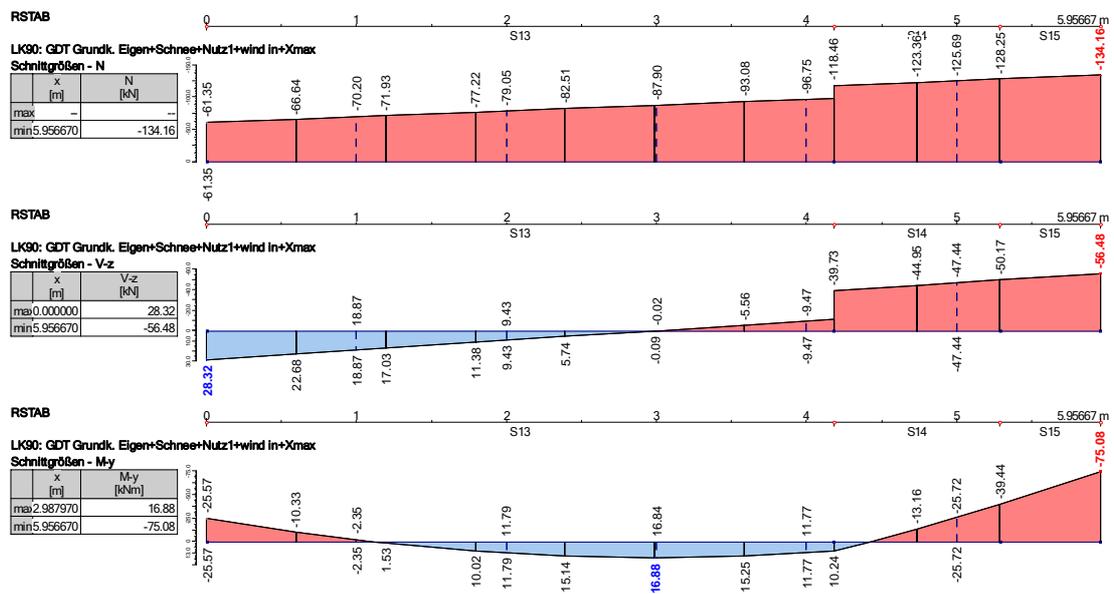


Abb.4.45: Schnittkräfte zufolge maximalen Moments im Träger 2

4.5.2.6) Querschnitt Träger 2

Gewählter Querschnitt: Rechteck 200/380
Material: GL 32h

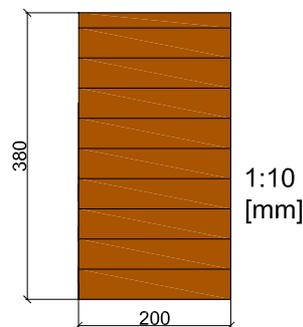


Abb.4.46: Querschnitt Träger 2

Querschnittswerte:

A	$b \cdot h$	76.000	mm ²	I_y	$\frac{b \cdot h^3}{12}$	914533333,3	mm ⁴
W_y	$\frac{b \cdot h^2}{6}$	4813333,33	mm ³	I_z	$\frac{b^3 \cdot h}{12}$	253333333,3	mm ⁴
i_y	$\sqrt{\frac{I_y}{A}}$	109,696	mm	i_z	$\sqrt{\frac{I_z}{A}}$	57,735	mm

Tab.4.35: Querschnittswerte Träger 2

4.5.2.7) Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Querschnittsnachweise:

Bemessung zufolge maximaler Normalkraft:

$k_{\text{mod}} = 0,9$		
max N	-141,03	kN
zug. V	-67,85	kN
zug M	-70,89	kNm

Tab.4.36: Bemessungsschnittkräfte zufolge maximaler Normalkraft im Träger 2

Zufolge diesem Lastfall ergibt sich auch die maximale Querkraft.

Schub aus Querkraft:

$$\frac{1,5V_d}{\frac{A}{f_{v,d}}} \leq 1,0$$

$$\frac{1,5 \cdot 67,85 \cdot 10^3}{\frac{76000}{2,16}} = 0,619 \cong 0,62 \leq 1,0$$

Biegung und Druck:

$$\left(\frac{\frac{F_{c,0,d}}{A}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\frac{M}{W}}{f_{m,y,d}} \leq 1,0$$

$$\left(\frac{\frac{141,03 \cdot 10^3}{76000}}{20,88} \right)^2 + \frac{\frac{70,89 \cdot 10^6}{4813333,3}}{23,04} = 0,0079 + 0,639 = 0,647 \cong 0,65 \leq 1,0$$

-) Stabilitätsnachweise:

Kombinierte Beanspruchung Knicken und Kippen

$$\frac{\frac{F_{c,0,d}}{A}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\frac{M}{W}}{k_{\text{crit}} \cdot f_{m,y,d}} \leq 1,0$$

Der Knickbeiwert wird wie unter 4.5.2.3 dargestellt ermittelt.

Die mit Hilfe von RSKNICK ermittelte Knicklänge $l_{k,y}$ beträgt 7,338 m.

geometrische Schlankheit:

$$\lambda_y = \frac{7338}{109,82} = 66,82$$

relative Schlankheit:

$$\lambda_{rel} = \frac{66,82}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{29}{11417}} = 1,07$$

Parameter k:

$$k = 0,5 \cdot [1,0 + 0,1 \cdot (1,07 - 0,3) + 1,07^2] = 1,11$$

Knickbeiwert:

$$k_c = \frac{1}{1,11 + \sqrt{1,11^2 - 1,07^2}} = 0,71$$

$$\frac{141,03 \cdot 10^3}{76000} + \frac{70,89 \cdot 10^6}{4813333,3} = 0,125 + 0,639 = 0,764 \cong 0,76 \leq 1,0$$

Bemessung zufolge maximalen Moment:

$k_{mod} = 0,9$		
max M	-75,08	kNm
zug. N	-134,16	kN
zug. V	-56,48	kN

Tab.4.37: Bemessungsschnittkräfte zufolge maximalen Moments im Träger 2

Biegung und Druck:

$$\left(\frac{F_{c,0,d}}{A} \right)^2 + \frac{M}{f_{m,y,d} \cdot W} \leq 1,0$$

$$\left(\frac{134,16 \cdot 10^3}{76000} \right)^2 + \frac{75,08 \cdot 10^6}{4813333,3 \cdot 23,04} = 0,00715 + 0,677 = 0,684 \cong 0,68 \leq 1,0$$

-) Stabilitätsnachweise:

Kombinierte Beanspruchung Knicken und Kippen

$$\frac{\frac{F_{c,0,d}}{A}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\frac{M}{W}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{134,16 \cdot 10^3}{0,71 \cdot 20,88} + \frac{75,08 \cdot 10^6}{1,0 \cdot 23,04} = 0,119 + 0,677 = 0,796 \cong 0,80 \leq 1,0$$

4.5.2.8) Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Mit Hilfe des Programmes RSTAB 7.03 wurden die Verformungen ermittelt.

Verformung	[mm]	x
w ₁	2,90	1,255 m
w ₂	0,18	
w ₃	12,6	

Tab.4.38: Ermittelte Verformungen im Träger 2

charakteristische Kombination:

t = 0:

$$w_3 = 12,60 \leq \frac{l}{300} = \frac{4181,7}{300} = 13,94 \quad [\text{mm}]$$

t = ∞:

$$w_3 + k_{def} \cdot (w_1 + w_2)$$

$$12,60 + 0,60 \cdot (2,90 + 0,18) = 14,45 \leq \frac{l}{200} = \frac{4181,7}{200} = 20,91 \quad [\text{mm}]$$

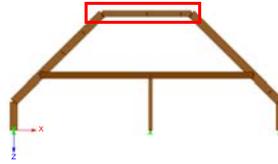
quasi-ständige Kombination:

$$(w_1 + w_2) \cdot (1 + k_{def}) - w_0$$

$$(2,90 + 0,18) \cdot (1 + 0,6) - 0 = 4,93 \leq \frac{l}{250} = \frac{4181,7}{250} = 16,73 \quad [\text{mm}]$$

4.5.3) Bemessung des Rahmenriegels

4.5.3.1) Schnittkräfte Rahmenriegel



Maßgebende Schnittkräfte zufolge unterschiedlicher Lastfallkombinationen:

Bemessungsschnittkräfte			
	N [kN]	V [kN]	M [kNm]
Max N	-33,57	1,50	1,99
Min N	-70,58	-26,64	-26,84
Max V	-69,77	33,02	-43,54
Min V	-69,77	-35,17	-36,28
Max M	-69,77	0,47	4,64
Min M	-69,77	33,02	-43,54

Tab.4.39: maximale und minimale Schnittkräfte im Riegel

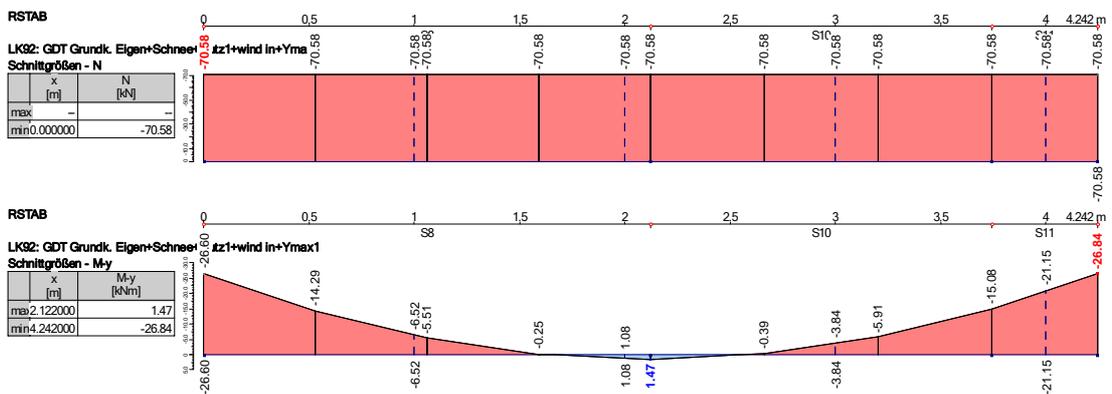


Abb.4.47: Schnittkräfte zufolge maximaler Normalkraft im Riegel

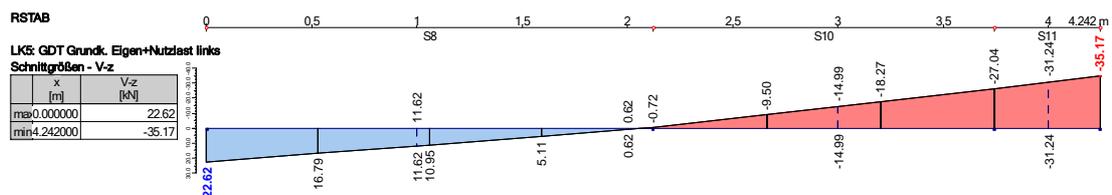


Abb.4.48: Schnittkräfte zufolge maximaler Querkraft im Riegel

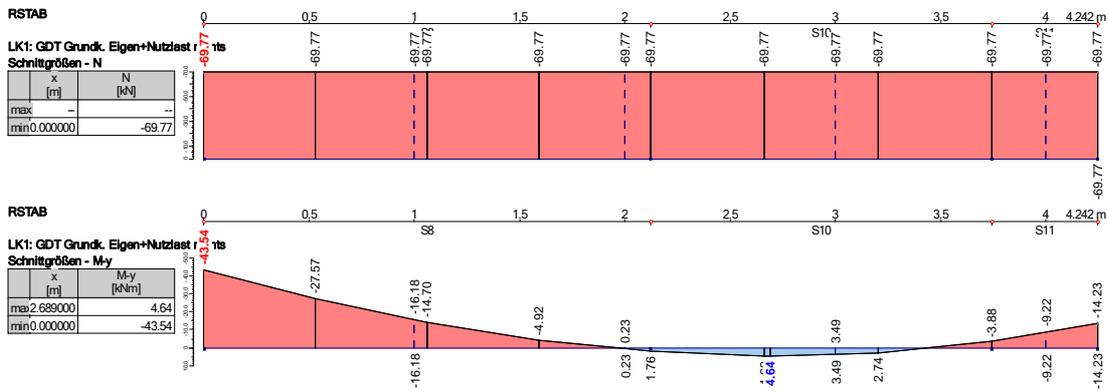


Abb.4.49: Schnittkräfte zufolge maximalen Moments im Riegel

4.5.3.2) Querschnitt Riegel

Gewählter Querschnitt: Rechteck 200/260; Material: GL 32h

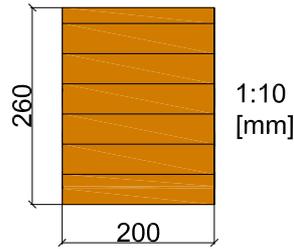


Abb.4.50: Querschnitt Rahmenriegel

Querschnittswerte:

A	$b \cdot h$	52.000	mm ²	I_y	$\frac{b \cdot h^3}{12}$	292933333,3	mm ⁴
W_y	$\frac{b \cdot h^2}{6}$	2253333,3	mm ³	I_z	$\frac{b^3 \cdot h}{12}$	173333333,3	mm ⁴
i_y	$\sqrt{\frac{I_y}{A}}$	75,056	mm	i_z	$\sqrt{\frac{I_z}{A}}$	57,74	mm

Tab.4.40: Querschnittswerte Riegel

4.5.3.3) Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Querschnittsnachweise:

$k_{\text{mod}} = 0,9$		
max V	-35,17	kN
zug. N	-69,77	kN
zug M	-36,28	kNm

Tab.4.41: Bemessungsschnittkräfte zufolge maximaler Querkraft im Riegel

Schub aus Querkraft:

$$\frac{1,5V_d}{\frac{A}{f_{v,d}}} \leq 1,0$$

$$\frac{1,5 \cdot 35,17 \cdot 10^3}{\frac{52000}{2,16}} = 0,469 \cong 0,47 \leq 1,0$$

Bemessung zufolge maximaler Normalkraft:

$k_{\text{mod}} = 0,9$		
max N	-70,58	kN
zug. V	-26,64	kN
zug M	-26,84	kNm

Tab.4.42: Bemessungsschnittkräfte zufolge maximaler Normalkraft im Riegel

Biegung und Druck:

$$\left(\frac{\frac{F_{c,0,d}}{A}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\frac{M}{W}}{f_{m,y,d}} \leq 1,0$$

$$\left(\frac{70,58 \cdot 10^3}{\frac{52000}{20,88}} \right)^2 + \frac{26,84 \cdot 10^6}{\frac{2253333,3}{1,1 \cdot 23,04}} = 0,0042 + 0,4699 = 0,474 \cong 0,47 \leq 1,0$$

-) Stabilitätsnachweise:

Kombinierte Beanspruchung Knicken und Kippen

$$\frac{\frac{F_{c,0,d}}{A}}{k_c \cdot f_{c,o,d}} + \frac{\frac{M}{W}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} \leq 1,0$$

Der Knickbeiwert wird wie unter 4.5.2.3 dargestellt ermittelt.

Die mit Hilfe von RSKNICK ermittelte Knicklänge $l_{k,y}$ beträgt 4,724 m.

geometrische Schlankheit: 75,056

$$\lambda_y = \frac{4724}{75,06} = 62,94$$

relative Schlankheit:

$$\lambda_{rel} = \frac{62,94}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{29}{11417}} = 1,01$$

Parameter k:

$$k = 0,5 \cdot [1,0 + 0,1 \cdot (1,01 - 0,3) + 1,01^2] = 1,05$$

Knickbeiwert:

$$k_c = \frac{1}{1,05 + \sqrt{1,05^2 - 1,01^2}} = 0,75$$

$$\frac{\frac{70,58 \cdot 10^3}{52000}}{0,75 \cdot 20,88} + \frac{\frac{26,84 \cdot 10^6}{2253333,33}}{1,0 \cdot 23,04} = 0,0867 + 0,5169 = 0,604 \cong 0,60 \leq 1,0$$

Bemessung zufolge maximalen Moment:

$k_{mod} = 0,9$		
max M	-43,54	kNm
zug. N	-69,77	kN
zug. V	33,02	kN

Tab.4.43: Bemessungsschnittkräfte zufolge maximalen Moments im Riegel

Biegung und Druck:

$$\left(\frac{F_{c,0,d}}{A} \right)^2 + \frac{M}{f_{m,y,d} \cdot W} \leq 1,0$$

$$\left(\frac{69,77 \cdot 10^3}{52000} \right)^2 + \frac{43,54 \cdot 10^6}{2253333,3} = 0,00413 + 0,762 = 0,767 \cong 0,77 \leq 1,0$$

•) Stabilitätsnachweise:

Kombinierte Beanspruchung Knicken und Kippen:

$$\frac{F_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d} \cdot A} + \frac{M}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d} \cdot W} \leq 1,0$$

$$\frac{69,77 \cdot 10^3}{0,75 \cdot 20,88 \cdot 52000} + \frac{43,54 \cdot 10^6}{1,0 \cdot 23,04 \cdot 2253333,3} = 0,0857 + 0,8386 = 0,924 \cong 0,92 \leq 1,0$$

4.5.3.4) Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Mit Hilfe des Programmes RSTAB 7.03 wurden folgende Verformungen ermittelt.

Verformung	[mm]	x
w ₁	2,20	4,242 m
w ₂	0,18	
w ₃	12,2	

Tab.4.44: Verformungen im Riegel

charakteristische Kombination:

t = 0:

$$w_3 = 12,20 \leq \frac{l}{300} = \frac{4242,0}{300} = 14,14 \quad [\text{mm}]$$

t = ∞:

$$w_3 + k_{def} \cdot (w_1 + w_2) = 12,20 + 0,60 \cdot (2,20 + 0,18) = 13,63 \leq \frac{l}{200} = \frac{4242,0}{200} = 21,21 \quad [\text{mm}]$$

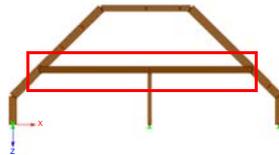
quasi-ständige Kombination:

$$(w_1 + w_2) \cdot (1 + k_{def}) - w_0$$

$$(2,20 + 0,18) \cdot (1 + 0,6) - 0 = 3,81 \leq \frac{l}{250} = \frac{4242,0}{250} = 16,97 \quad [\text{mm}]$$

4.5.4) Bemessung des Deckenbalkens

4.5.4.1) Schnittkräfte Deckenbalken:



Maßgebende Schnittkräfte zufolge unterschiedlicher Lastfallkombinationen:

	N [kN]	V [kN]	M [kNm]
Max N	20,97	32,65	-36,17
Min N	-10,02	-76,34	-77,96
Max V	18,03	73,55	-78,81
Min V	18,03	-76,50	-78,81
Max M	-1,09	-2,55	46,28
Min M	18,03	-76,50	-78,81

Tab.4.45: maximale und minimale Schnittkräfte des Deckenbalkens

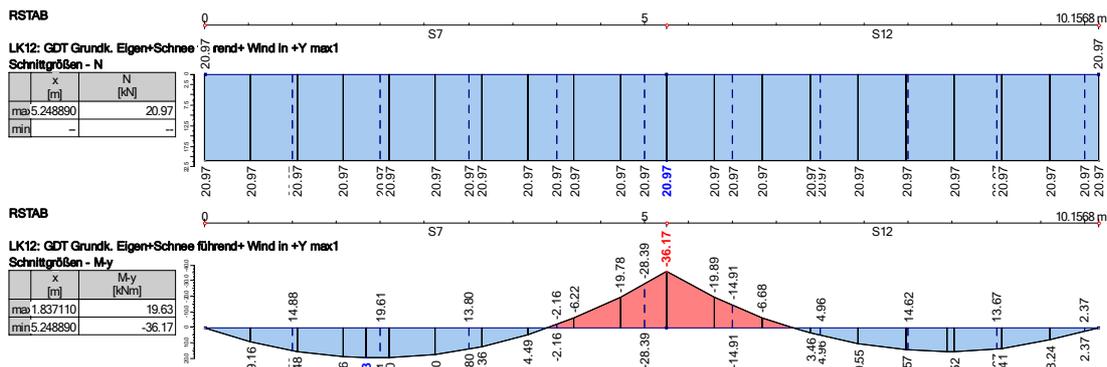


Abb.4.51: Schnittkräfte zufolge maximalem Zug im Balken

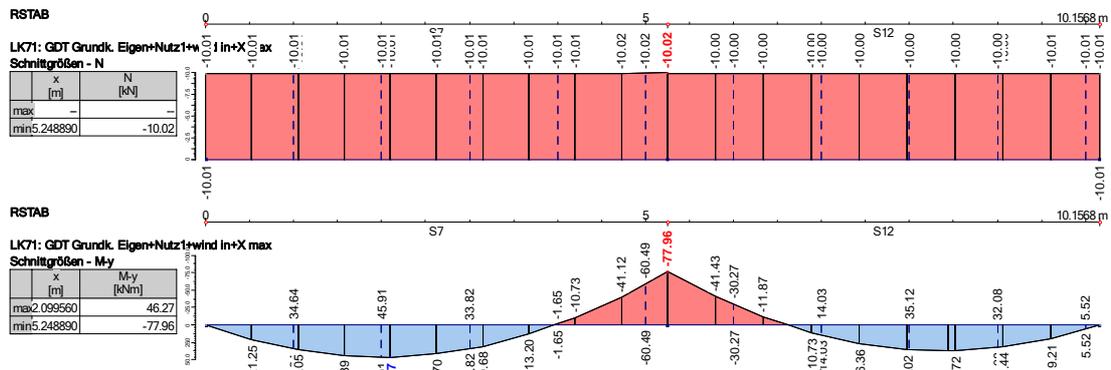


Abb.4.52: Schnittkräfte zufolge maximalem Druck im Balken

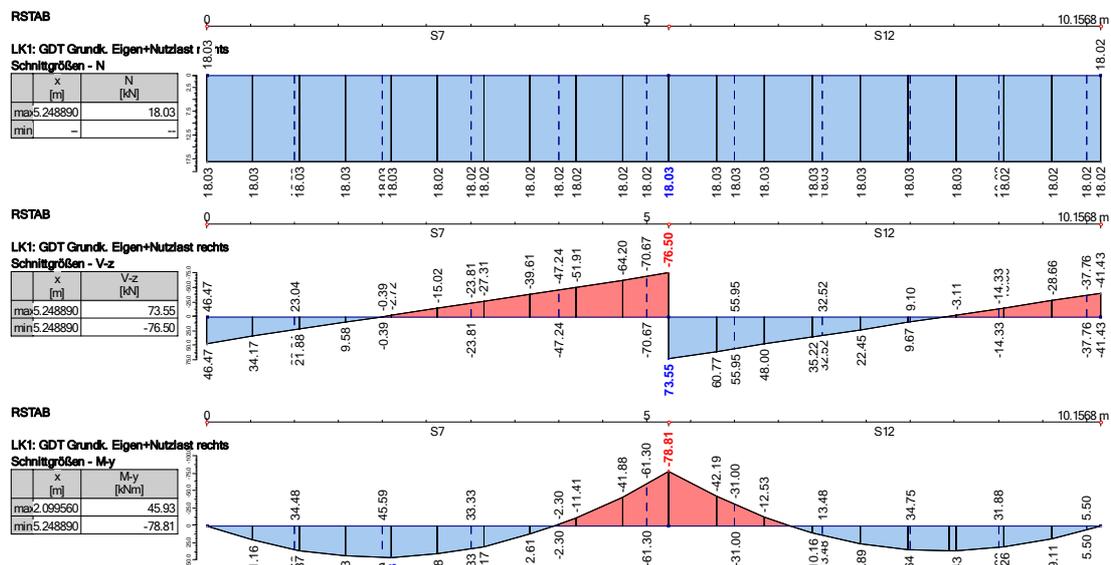


Abb.4.53: Schnittkräfte zufolge maximalem Moments im Balken

4.5.4.2) Querschnitt Deckenbalken

Gewählter Querschnitt: Doppelbalken 280/200/160
Material: GL 32h

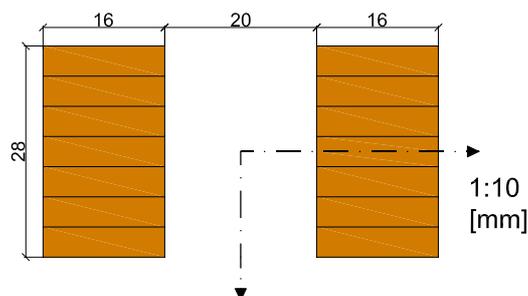


Abb.4.54: Querschnitt Deckenbalken

Querschnittswerte:

Gesamtquerschnitt				halber Querschnitt			
A	$b \cdot h$	89.600	mm ²	A	$b \cdot h$	44800	mm ²
W_y	$\frac{b \cdot h^2}{6}$	4181333,33	mm ³	W_y	$\frac{b \cdot h^2}{6}$	2090666,67	mm ³
i_y	$\sqrt{\frac{I_y}{A}}$	80,83	mm	i_y	$\sqrt{\frac{I_y}{A}}$	80,83	mm
I_y	$\frac{b \cdot h^3}{12}$	585386666,7	mm ⁴	I_y	$\frac{b \cdot h^3}{12}$	292693333,3	mm ⁴
I_z	$\frac{b^3 \cdot h}{12}$	764586666,7	mm ⁴	I_z	$\frac{b^3 \cdot h}{12}$	95573333,3	mm ⁴
i_z	$\sqrt{\frac{I_z}{A}}$	92,38	mm	i_z	$\sqrt{\frac{I_z}{A}}$	46,19	mm

Tab.4.46: Querschnittswerte Deckenbalken

Die Bemessung erfolgt am halben Querschnitt, mit den halben Schnittkräften.

4.5.4.3) Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Querschnittsnachweise:

Bemessung zufolge maximaler Zugkraft:

$k_{mod} = 0,9$		
max N	10,49	kN
zug. V	16,33	kN
zug M	-18,09	kNm

Tab.4.47: Bemessungsschnittkräfte zufolge Zug im Deckenbalken

Biegung und Zug:

$$\frac{F_{t,0,d}}{A} + \frac{M}{W} \leq 1,0$$

$$\frac{10,49 \cdot 10^3}{44800} + \frac{18,09 \cdot 10^6}{2090666,67} = 0,015 + 0,341 = 0,356 \cong 0,36 \leq 1,0$$

Bemessung zufolge maximaler Druckkraft:

$k_{\text{mod}} = 0,9$		
max N	-5,01	kN
zug. V	-38,17	kN
zug M	38,98	kNm

Tab.4.48: Bemessungsschnittkräfte zufolge Druck im Deckenbalken

Biegung und Druck

$$\left(\frac{F_{c,0,d}}{A} \right)^2 + \frac{M}{f_{m,y,d} \cdot W} \leq 1,0$$

$$\left(\frac{5,01 \cdot 10^3}{44800} \right)^2 + \frac{38,98 \cdot 10^6}{1,1 \cdot 23,04} = 0,00003 + 0,7357 = 0,7357 \cong 0,74 \leq 1,0$$

-) Stabilitätsnachweise:

Kombinierte Beanspruchung Knicken und Kippen:

$$\frac{F_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d} \cdot A} + \frac{M}{k_{\text{crit}} \cdot f_{m,y,d} \cdot W} \leq 1,0$$

Der Knickbeiwert wird wie unter 4.5.2.3 dargestellt ermittelt.

Die mit Hilfe von RSKNICK ermittelte Knicklänge $l_{k,y}$ beträgt 12,411 m.
geometrische Schlankheit:

$$\lambda_y = \frac{12411}{80,83} = 153,54$$

relative Schlankheit:

$$\lambda_{\text{rel}} = \frac{153,54}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{29}{11417}} = 2,46$$

Parameter k:

$$k = 0,5 \cdot [1,0 + 0,1 \cdot (2,46 - 0,3) + 2,46^2] = 3,63$$

Knickbeiwert:

$$k_c = \frac{1}{3,63 + \sqrt{3,63^2 - 2,46^2}} = 0,158 \leq 0,16$$

$$\frac{5,01 \cdot 10^3}{44800} + \frac{38,98 \cdot 10^6}{2090666,67} = 0,0335 + 0,8092 = 0,8427 \cong 0,84 \leq 1,0$$

Bemessung zufolge maximalen Moment:

k _{mod} = 0,9		
max M	39,41	kN
zug. V	-38,25	kN
zug N	9,02	kNm

Tab.4.49: Bemessungsschnittkräfte zufolge maximalen Moments im Deckenbalken

Bei dieser Lastfallkombination tritt auch die maximale Querkraft auf.

Schub aus Querkraft:

$$\frac{1,5V_d}{A} \leq 1,0$$

$$f_{v,d}$$

$$\frac{1,5 \cdot 38,25 \cdot 10^3}{44800} = 0,593 \cong 0,59 \leq 1,0$$

$$2,16$$

Biegung und Zug:

$$\frac{F_{t,0,d}}{A} + \frac{M}{W} \leq 1,0$$

$$f_{t,0,d} + f_{m,y,d}$$

$$\frac{9,02 \cdot 10^3}{44800} + \frac{39,41 \cdot 10^6}{2090666,67} = 0,0124 + 0,7438 \cong 0,76 \leq 1,0$$

$$16,20 \quad 1,1 \cdot 23,04$$

4.5.4.4) Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Mit Hilfe des Programmes RSTAB 7.03 wurden die Verformungen ermittelt.

Verformung	[mm]	x
w ₁	3,60	3,436 m
w ₂	0,90	
w ₃	9,50	

Tab.4.50: Verformungen im Deckenbalken

charakteristische Kombination:

t = 0:

$$w_3 = 9,50 \leq \frac{l}{300} = \frac{4907,9}{300} = 16,36 \quad [\text{mm}]$$

t = ∞:

$$w_3 + k_{\text{def}}(w_1 + w_2)$$

$$9,50 + 0,60 \cdot (3,60 + 0,90) = 12,20 \leq \frac{l}{200} = \frac{4907,9}{200} = 24,54 \quad [\text{mm}]$$

quasi-ständige Kombination:

$$(w_1 + w_2) \cdot (1 + k_{\text{def}}) - w_0$$

$$(3,60 + 0,90) \cdot (1 + 0,6) - 0 = 7,20 \leq \frac{l}{250} = \frac{4907,9}{250} = 19,63 \quad [\text{mm}]$$

4.5.5) Bemessung Stiel 1:

4.5.5.1) Schnittkräfte Stiel 1



Maßgebende Schnittkräfte zufolge unterschiedlicher Lastfallkombinationen:

Bemessungsschnittkräfte			
	N [kN]	V [kN]	M [kNm]
Max N	-86,49	-32,02	-43,87
Min N	-152,87	-51,77	0,00
Max V	-87,22	-27,03	0,00
Min V	-144,11	-52,49	0,00
Max M	-117,11	-38,91	0,00
Min M	-143,41	-52,49	-71,91

Tab.4.51: maximale und minimale Schnittkräfte im Stiel 1

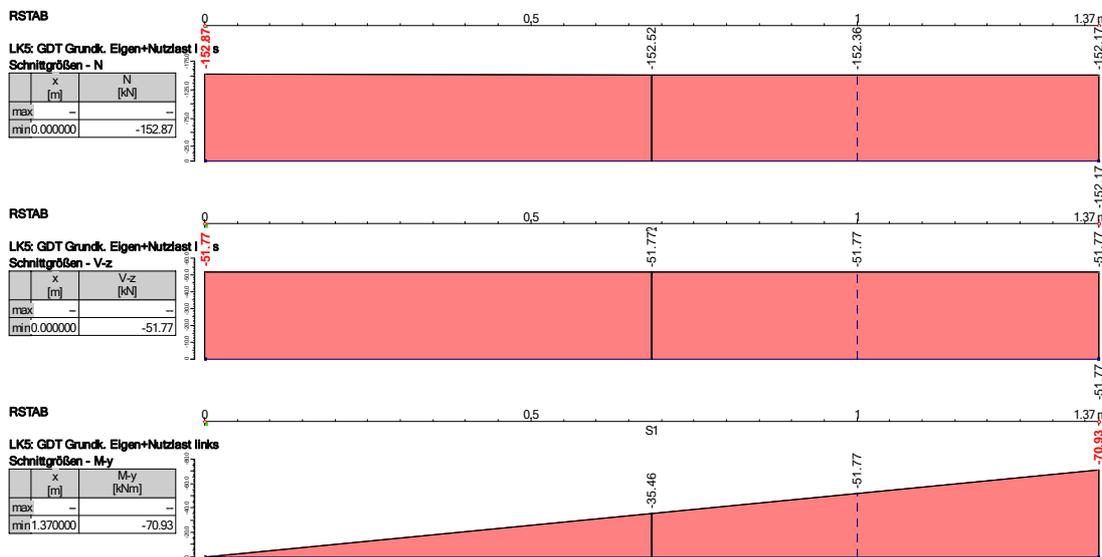


Abb.4.55: Schnittkräfte zufolge maximaler Normalkraft im Stiel 1

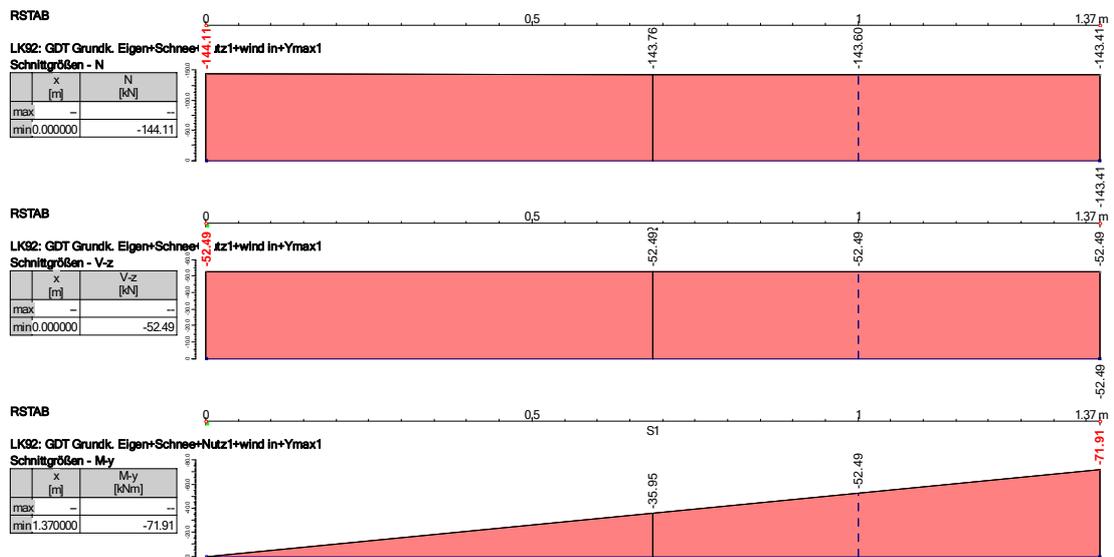


Abb.4.56: Schnittkräfte zufolge maximalen Moments im Stiel 1

4.5.5.2) Querschnitt Stiel 1

Gewählter Querschnitt: Rechteck 200/380
Material: GL 32h

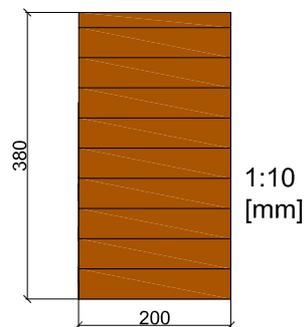


Abb.4.57: Querschnitt Stiel 1

Querschnittswerte:

A	$b \cdot h$	76.000	mm ²	I_y	$\frac{b \cdot h^3}{12}$	914533333,3	mm ⁴
W_y	$\frac{b \cdot h^2}{6}$	4813333,33	mm ³	I_z	$\frac{b^3 \cdot h}{12}$	253333333,3	mm ⁴
i_y	$\sqrt{\frac{I_y}{A}}$	109,696	mm	i_z	$\sqrt{\frac{I_z}{A}}$	57,735	mm

Tab.4.52: Querschnittswerte Stiel 1

4.5.5.3) Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Bemessung zufolge maximaler Druckkraft:

$k_{\text{mod}} = 0,9$		
max N	-152,87	kN
zug. V	-51,77	kN
zug. M	0,00	kNm

Tab.4.53: Bemessungsschnittgrößen zufolge maximaler Normalkraft in Stiel 1

Druck:

$$\frac{F_{c,0,d}}{A} \leq f_{c,0,d}$$

$$\frac{152,87 \cdot 10^3}{76000} \leq \frac{20,88}{20,88} = 0,096 \cong 0,10$$

•) Stabilitätsnachweis:

$$\frac{F_{c,0,d}}{k_c \cdot A} \leq f_{c,0,d}$$

Der Knickbeiwert wird wie unter 4.5.2.3 dargestellt ermittelt.

Die mit Hilfe von RSKNICK ermittelte Knicklänge $l_{k,y}$ beträgt 3,367 m.

geometrische Schlankheit:

$$\lambda_y = \frac{3367}{109,82} = 30,66$$

relative Schlankheit:

$$\lambda_{\text{rel}} = \frac{30,66}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{29}{11417}} = 0,492 \cong 0,49$$

Parameter k:

$$k = 0,5 \cdot [1,0 + 0,1 \cdot (0,49 - 0,3) + 0,49^2] = 0,629 \cong 0,63$$

Knickbeiwert:

$$k_c = \frac{1}{0,63 + \sqrt{0,63^2 - 0,49^2}} = 0,975 \cong 0,98$$

$$\frac{152,87 \cdot 10^3}{76000} = 0,098 \cong 0,10 \leq 1,0$$

$$0,98 \cdot 20,88$$

Bemessung zufolge maximalen Moments

k _{mod} = 0,9		
max M	-71,91	kN
zug. V	-52,49	kN
zug. N	-143,41	kNm

Tab.4.54: Bemessungsschnittkräfte zufolge maximalen Moments im Stiel 1

Bei dieser Lastfallkombination tritt auch maximale Querkraft auf.

Schub aus Querkraft:

$$\frac{1,5V_d}{\frac{A}{f_{v,d}}} \leq 1,0$$

$$\frac{1,5 \cdot 52,49 \cdot 10^3}{76000} = 0,479 \cong 0,48 \leq 1,0$$

$$2,16$$

Biegung und Druck:

$$\left(\frac{\frac{F_{c,0,d}}{A}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\frac{M}{W}}{f_{m,y,d}} \leq 1,0$$

$$\left(\frac{143,41 \cdot 10^3}{76000} \right)^2 + \frac{71,91 \cdot 10^6}{4813333,33} = 0,0082 + 0,6484 = 0,657 \cong 0,66 \leq 1,0$$

$$23,04$$

-) Stabilitätsnachweise

Kombinierte Beanspruchung Knicken und Kippen:

$$\frac{\frac{F_{c,0,d}}{A}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\frac{M}{W}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{\frac{143,41 \cdot 10^3}{76000}}{0,98 \cdot 20,88} + \frac{\frac{71,91 \cdot 10^6}{4813333,3}}{1,0 \cdot 23,04} = 0,0922 + 0,6484 \cong 0,74 \leq 1,0$$

4.5.5.4) Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Mit Hilfe des Programmes RSTAB 7.03 wurden die Verformungen ermittelt.

Verformung	[mm]	x
w ₁	1,60	1,37 m
w ₂	0,03	
w ₃	5,09	

Tab.4.55: Verformungen im Stiel 1

charakteristische Kombination:

t = 0:

$$w_3 = 5,09 \leq \frac{l}{300} = \frac{1370}{300} = 4,6 \quad [\text{mm}]$$

t = ∞:

$$w_3 + k_{def} \cdot (w_1 + w_2)$$

$$5,09 + 0,60 \cdot (1,60 + 0,03) = 6,07 \leq \frac{l}{200} = \frac{1370}{200} = 6,85 \quad [\text{mm}]$$

quasi-ständige Kombination:

$$(w_1 + w_2) \cdot (1 + k_{def}) - w_0$$

$$(1,60 + 0,03) \cdot (1 + 0,6) - 0 = 2,61 \leq \frac{l}{250} = \frac{1370}{250} = 5,48 \quad [\text{mm}]$$

4.5.6) Bemessung Stiel 2:

4.5.7) Schnittkräfte Stiel 2



Maßgebende Schnittkräfte zufolge unterschiedlicher Lastfallkombinationen:

Bemessungsschnittkräfte			
	N [kN]	V [kN]	M [kNm]
Max N	-85,24	37,20	-50,97
Min N	-152,39	51,75	0,00
Max V	-138,50	54,80	-75,08
Min V	-86,45	32,02	-43,87
Max M	-106,83	40,70	0,00
Min M	-138,50	54,80	-75,08

Tab.4.56: maximale und minimale Schnittkräfte in Stiel 2

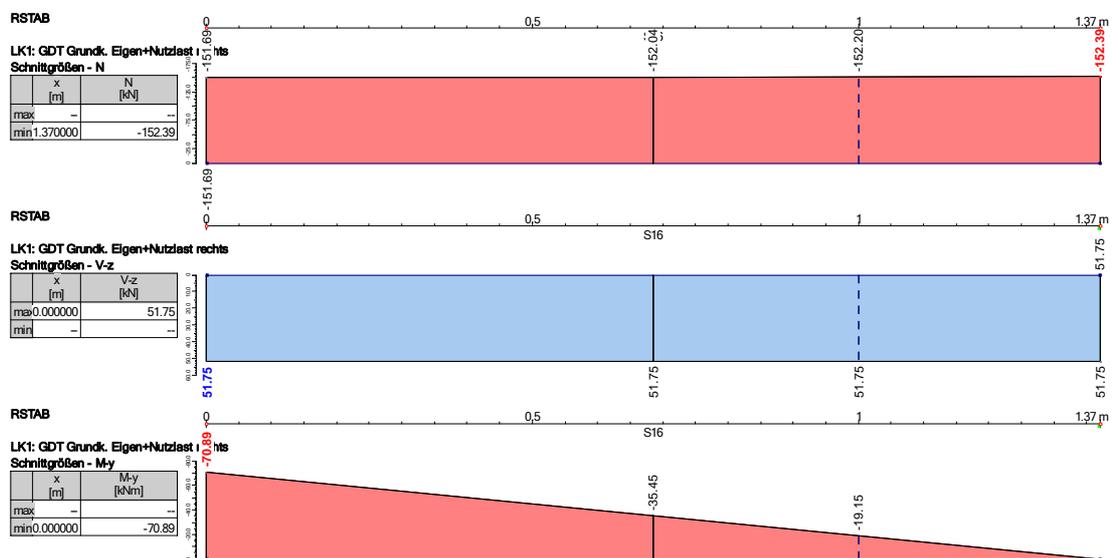


Abb.4.58: Schnittkräfte zufolge maximaler Normalkraft im Stiel 2

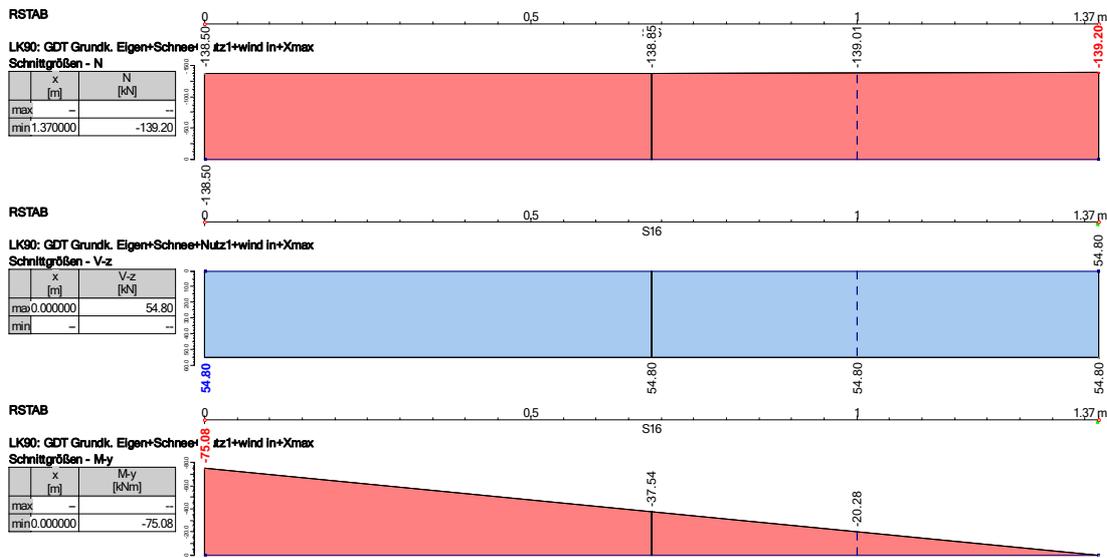


Abb.4.59: Schnittkräfte zufolge maximalen Moments im Stiel 2

4.5.7.1) Querschnitt Stiel 2

Gewählter Querschnitt: Rechteck 200/380
Material: GL 32h

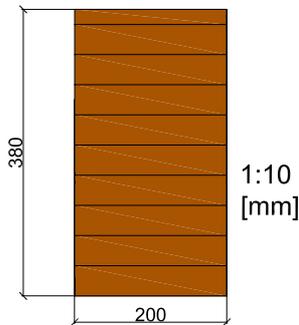


Abb.4.60: Querschnitt Stiel 2

Querschnittswerte:

A	$b \cdot h$	76.000	mm ²	I_y	$\frac{b \cdot h^3}{12}$	914533333,3	mm ⁴
W_y	$\frac{b \cdot h^2}{6}$	4813333,33	mm ³	I_z	$\frac{b^3 \cdot h}{12}$	253333333,3	mm ⁴
i_y	$\sqrt{\frac{I_y}{A}}$	109,696	mm	i_z	$\sqrt{\frac{I_z}{A}}$	57,735	mm

Tab.4.57: Querschnittswerte Stiel 2

4.5.7.2) Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Bemessung zufolge maximaler Druckkraft:

$k_{\text{mod}} = 0,9$		
max N	-152,39	kN
zug. V	51,75	kN
zug. M	0,00	kNm

Tab.4.58: Bemessungsschnittkräfte zufolge maximaler Normalkraft im Stiel 2

Druck:

$$\frac{F_{c,0,d}}{A} \leq f_{c,0,d}$$

$$\frac{152,39 \cdot 10^3}{76000} = 0,096 \cong 0,10$$

•) Stabilitätsnachweis:

$$\frac{F_{c,0,d}}{k_c \cdot A} \leq f_{c,0,d}$$

Der Knickbeiwert wird wie unter 4.5.2.3 dargestellt ermittelt.

Die mit Hilfe von RSKNICK ermittelte Knicklänge $l_{k,y}$ beträgt 3,336 m.

geometrische Schlankheit:

$$\lambda_y = \frac{3336}{109,82} = 30,38$$

relative Schlankheit:

$$\lambda_{\text{rel}} = \frac{30,38}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{29}{11417}} = 0,487 \cong 0,49$$

Parameter k:

$$k = 0,5 \cdot [1,0 + 0,1 \cdot (0,49 - 0,3) + 0,49^2] = 0,629 \cong 0,63$$

Knickbeiwert:

$$k_c = \frac{1}{0,63 + \sqrt{0,63^2 - 0,49^2}} = 0,975 \cong 0,98$$

$$\frac{152,39 \cdot 10^3}{76000} = 0,0979 \cong 0,10 \leq 1,0$$

$$\frac{0,98 \cdot 20,88}{0,98 \cdot 20,88}$$

Bemessung zufolge maximalen Moments

$k_{\text{mod}} = 0,9$		
max M	-75,08	kN
zug. V	54,80	kN
zug. N	-138,50	kNm

Tab.4.59: Bemessungsschnittkräfte zufolge maximalen Moments im Stiel 2

Bei dieser Lastfallkombination tritt auch die maximale Querkraft auf.

Schub aus Querkraft:

$$\frac{1,5V_d}{A} \leq 1,0$$

$$f_{v,d}$$

$$\frac{1,5 \cdot 54,80 \cdot 10^3}{76000} = 0,501 \cong 0,50 \leq 1,0$$

$$\frac{2,16}{2,16}$$

Biegung und Druck:

$$\left(\frac{F_{c,0,d}}{A} \right)^2 + \frac{M}{f_{m,y,d}} \leq 1,0$$

$$f_{c,0,d}$$

$$\left(\frac{138,50 \cdot 10^3}{76000} \right)^2 + \frac{75,08 \cdot 10^6}{4813333,33} = 0,0076 + 0,6770 = 0,6846 \cong 0,69 \leq 1,0$$

$$\frac{20,88}{20,88}$$

-) Stabilitätsnachweise:

Kombinierte Beanspruchung Knicken und Kippen

$$\frac{\frac{F_{c,0,d}}{A}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\frac{M}{W}}{k_{crit} \cdot f_{m,y,d}} \leq 1,0$$

$$\frac{138,50 \cdot 10^3}{76000} + \frac{75,08 \cdot 10^6}{4813333,3} = 0,0891 + 0,6770 = 0,766 \cong 0,77 \leq 1,0$$

$$\frac{0,98 \cdot 20,88}{1,0 \cdot 23,04}$$

4.5.7.3) Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Mit Hilfe des Programmes RSTAB 7.03 wurden die Verformungen ermittelt.

Verformung	[mm]	x
w ₁	1,40	1,37 m
w ₂	0,21	
w ₃	5,71	

Tab.4.60: Verformungen im Stiel 2

charakteristische Kombination:

t = 0:

$$w_3 = 5,71 \leq \frac{l}{300} = \frac{1370}{300} = 4,6 \quad [\text{mm}]$$

t = ∞:

$$w_3 + k_{def}(w_1 + w_2)$$

$$5,71 + 0,60 \cdot (1,40 + 0,21) = 6,68 \leq \frac{l}{200} = \frac{1370}{200} = 6,85 \quad [\text{mm}]$$

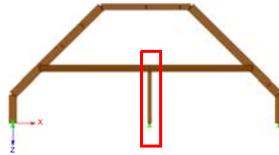
quasi-ständige Kombination:

$$(w_1 + w_2) \cdot (1 + k_{def}) - w_0$$

$$(1,40 + 0,21) \cdot (1 + 0,6) - 0 = 2,58 \leq \frac{l}{250} = \frac{1370}{250} = 5,48 \quad [\text{mm}]$$

4.5.7.4) Bemessung der Stütze

4.5.7.5) Schnittkräfte Stütze



$k_{mod} = 0,9$		
max N	-150,76	kN
zug. V	0,00	kN
zug. M	0,00	kNm

Tab.4.61: Bemessungsschnittkräfte zufolge der maximalen Normalkraft in der Stütze

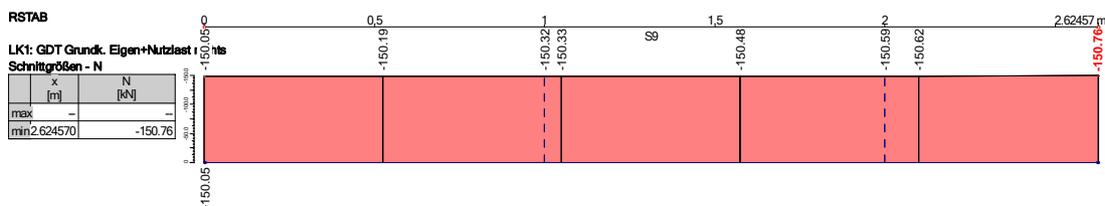


Abb.4.61: Schnittkräfte zufolge maximaler Normalkraft in der Stütze

4.5.7.6) Querschnitt Stütze

Gewählter Querschnitt: Rechteck 200/200

Material: GL 32h

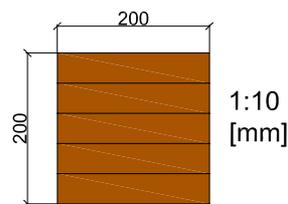


Abb.4.62: Querschnitt Stütze

Querschnittswerte:

A	$b \cdot h$	40.000	mm ²	I_y	$\frac{b \cdot h^3}{12}$	13333333,3	mm ⁴
W_y	$\frac{b \cdot h^2}{6}$	1333333,3	mm ³	I_z	$\frac{b^3 \cdot h}{12}$	13333333,3	mm ⁴
i_y	$\sqrt{\frac{I_y}{A}}$	57,74	mm	i_z	$\sqrt{\frac{I_z}{A}}$	57,74	mm

Tab.4.62: Querschnittswerte Stütze

4.5.7.7) Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Druck:

$$\frac{F_{c,0,d}}{A} \leq f_{c,0,d}$$

$$\frac{150,76 \cdot 10^3}{40000} \leq 20,88$$

•) Stabilitätsnachweis:

$$\frac{F_{c,0,d}}{k_c \cdot A} \leq f_{c,0,d}$$

Der Knickbeiwert wird wie unter 4.5.2.3 dargestellt ermittelt.

Die mit Hilfe von RSKNICK ermittelte Knicklänge $l_{k,y}$ beträgt 2,624 m.

geometrische Schlankheit:

$$\lambda_y = \frac{2624}{57,8} = 45,4$$

relative Schlankheit:

$$\lambda_{rel} = \frac{45,4}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{29}{11417}} = 0,728 \cong 0,73$$

Parameter k:

$$k = 0,5 \cdot [1,0 + 0,1 \cdot (0,73 - 0,3) + 0,73^2] = 0,788 \cong 0,79$$

Knickbeiwert:

$$k_c = \frac{1}{0,79 + \sqrt{0,79^2 - 0,73^2}} = 0,916 \cong 0,92$$

$$\frac{150,76 \cdot 10^3}{40000} \leq 0,92 \cdot 20,88$$

4.5.7.8) Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Mit Hilfe des Programmes RSTAB 7.03 wurden die Verformungen ermittelt.

Verformung	[mm]	x
w ₁	0,30	0,00 m
w ₂	0,18	
w ₃	9,0	

Tab.4.63: Verformungen in der Stütze

charakteristische Kombination:

t = 0:

$$w_3 = 9,00 \leq \frac{l}{300} = \frac{2624,6}{300} = 8,75 \text{ [mm]}$$

t = ∞:

$$w_3 + k_{\text{def}} \cdot (w_1 + w_2)$$

$$9,00 + 0,60 \cdot (0,30 + 0,18) = 9,29 \leq \frac{l}{200} = \frac{2624,6}{200} = 13,12 \text{ [mm]}$$

quasi-ständige Kombination:

$$(w_1 + w_2) \cdot (1 + k_{\text{def}}) - w_0$$

$$(0,30 + 0,18) \cdot (1 + 0,6) - 0 = 0,77 \leq \frac{l}{250} = \frac{2624,6}{250} = 10,50 \text{ [mm]}$$

4.5.8) Zusammenfassung der Ergebnisse

	Stabilitäts- nachweis	Verformungen					
		charakteristisch				quasi - ständig	
	max. Ausnutzung	t = 0		t = ∞		t = ∞	
		[%]	vorh.	Grenz- wert	vorh.	Grenz- wert	vorh.
Träger 1	79	11,48	13,94	13,08	20,19	4,26	16,73
Träger 2	80	12,6	13,94	14,45	20,19	4,93	16,73
Riegel	92	12,2	14,14	13,63	21,21	3,81	16,97
Deckenbalken	84	9,50	16,36	12,20	24,54	7,20	19,63
Stiel 1	74	5,09	4,60	6,07	6,85	2,61	5,48
Stiel 2	77	5,71	4,60	6,68	6,85	2,58	5,48
Stütze	20	9,00	8,75	9,29	13,2	0,77	10,15

Tab.4.64: Zusammenfassung der Ergebnisse

Bauphysikalische Berechnung

Im folgenden Kapitel werden bauphysikalische Berechnungen in Bezug auf das Anwendungsbeispiel durchgeführt. Für den Schrägdach- und den Flachdachaufbau werden Nachweise zum Wärmeschutz und Feuchteschutz erbracht. Für die Geschossdecke wird der Nachweis für den Trittschallschutz geführt.

5.1) Wärmeschutz

5.1.1) Wärmeübertragung

Die Wärmeübertragung kann auf drei unterschiedliche Weisen erfolgen. Man unterscheidet Transmission, Konvektion und Strahlung.

Transmission:

Dabei handelt es sich um den Transport der Wärme vom Innenraum, über Bauteile, zum Außenraum.

Konvektion:

Unter Konvektion wird der Wärmetransport durch Luftströmungen verstanden.

Strahlung:

Darunter wird der Wärmeeintrag durch Sonneneinstrahlung sowie der Wärmeaustausch, infolge von Infrarotstrahlung, verstanden.

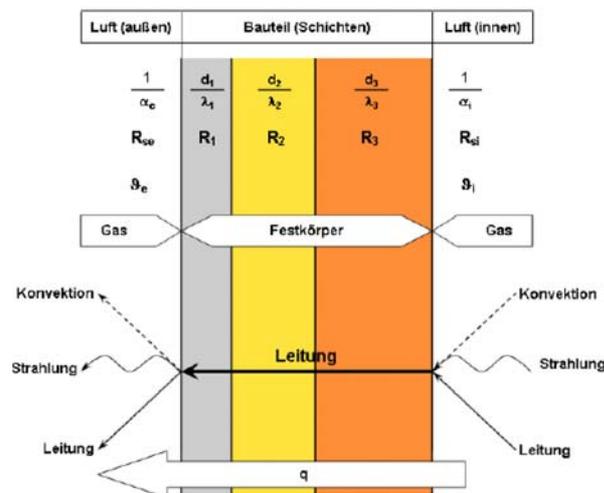


Abb.5.1: Wärmedurchgang durch einen Bauteil [25]

5.1.2) Kennwerte

5.1.2.1) Wärmeleitfähigkeit λ

Durch die Wärmeleitfähigkeit λ wird die Wärmemenge, die durch eine 1 m^2 große Fläche mit einer Dicke von einem Meter, bei einer Temperaturdifferenz von 1 K in 1 s fließt definiert. Die Wärmeleitfähigkeit wird in W/mK angegeben. Ein Stoff weist umso bessere wärmedämmende Eigenschaften auf umso kleiner sein λ – Wert ist.

Material	λ [W/mK]
Luft	0,026
Mineralfaser-Dämmstoff	0,040
Holz	0,16
Glas	0,80
Beton	2,10
Baustahl	60
Kunststoff	0,20
Ziegelmauerwerk	0,30
Aluminium	200

Tab.5.1: Richtwerte für die Wärmeleitfähigkeit unterschiedlicher Materialien ([25] S. 9-10)

5.1.2.2) Wärmedurchgangskoeffizient U

Durch den Wärmedurchgangskoeffizienten, auch als U -Wert bezeichnet, wird definiert, wieviel Wärme im stationären Zustand durch die Fläche von 1 m^2 eines Bauteils in 1 s übertragen wird, bei einem Temperaturunterschied von einem K. Ein kleiner U -Wert bedeutet eine gute Wärmedämmfähigkeit des Bauteils.

$$U = \frac{1}{R_T} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$$

U = Wärmedurchgangskoeffizient

R_T = Wärmedurchgangswiderstand

5.1.2.3) Wärmedurchgangswiderstand

Der Wärmedurchgangswiderstand wird aus den Wärmeübergangswiderständen und den Wärmedurchlasswiderständen der einzelnen Schichten gebildet.

$$R_T = R_{Si} + \sum_{i=1}^n R_i + R_{Se} \left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right]$$

R_T = Wärmedurchgangswiderstand

R_{Si} = Wärmeübergangswiderstand Innenraum

R_i = Wärmedurchlasswiderstand einer Schicht

R_{Se} = Wärmeübergangswiderstand Außenraum

In der nachfolgenden Tabelle sind die Wärmeübergangswiderstände nach der Richtung des Wärmestroms dargestellt.

	Wärmeübergangswiderstand in m ² K/W		
	aufwärts	horizontal	abwärts
R _{Si}	0,10	0,13	0,17
R _{Se}	0,04	0,04	0,04d

Tab.5.2: Wärmeübergangswiderstände ([55] S.21)

5.1.2.4) Wärmedurchlasswiderstand

homogene Schichten:

Bei homogenen Schichten wird der Wärmedurchlasswiderstand wie folgt ermittelt

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad \left[\frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}} \right]$$

R = Wärmedurchlasswiderstand einer Schicht

d = Schichtdicke

λ = Wärmeleitfähigkeit

Beim Wärmedurchlasswiderstand verhält es sich genau umgekehrt, als wie bei den vorherigen Kenngrößen. Hier gilt, je größer der Wert des Wärmedurchlasswiderstand ist, umso besser ist die Wärmedämmwirkung des Bauteils.

Für Bauteile, die aus mehreren homogenen Schichten bestehen, wird der Wärmedurchlasswiderstand durch die Addition der einzelnen Wärmedurchlasswiderstände gebildet.

$$R_t = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum \frac{d_n}{\lambda_n}$$

R_t = Wärmedurchlasswiderstand

inhomogene Schichten:

Bei Bauteilen mit inhomogenen Schichten ist die Ermittlung des U-Wertes etwas aufwendiger. Zur Bestimmung des Wärmedurchgangswiderstandes wird in diesem Fall ein oberer und unterer Grenzwert festgelegt. Der Mittelwert aus oberer und unterer Grenze ergibt dann den Wärmedurchgangswiderstand.

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} \left[\frac{\text{m}^2 \text{K}}{\text{W}} \right]$$

R_T = Wärmedurchgangswiderstand

R'_T = Oberer Grenzwert

R''_T = Unterer Grenzwert

Ermittlung des oberen Grenzwertes R'_T :

Dabei werden die Schichten in Abschnitte k unterteilt und deren Flächenanteile ermittelt, aus denen dann der obere Grenzwert berechnet werden kann.

$$R'_T = \sum \frac{1}{\frac{f_k}{R_{Tk}}}$$

f_k = Teilflächenfaktor des Bauteils

R_{Tk} = Wärmedurchgangswiderstand des Abschnitt k

Der Wärmedurchgangswiderstand der einzelnen Abschnitte wird wie unter Punkt 5.1.2.4 ermittelt.

Ermittlung der unteren Grenze R''_T :

Für die Berechnung des unteren Grenzwertes wird der Mittelwert der Wärmeleitfähigkeiten der einzelnen inhomogenen Schichten ermittelt.

$$\lambda_{f_1, f_2} = \lambda_1 \cdot f_1 + \lambda_2 \cdot f_2$$

$$R_T'' = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_{f_1 f_2}} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \dots + R_{Si} + R_{Se}$$

(vgl. [55] S. 25-28)

5.2) Feuchteschutz

Luft enthält stets eine unterschiedlich große Menge an Wasserdampf. Wodurch die Luftfeuchtigkeit bestimmt ist. Die Aufnahme von Wasserdampf ist jedoch beschränkt. Wird eine bestimmte Grenze überschritten, bildet sich aus dem Überschuss Kondensat. (vgl. [25]S. 19, [71] S. 55)

5.2.1) Kennwerte

5.2.1.1) Relative Luftfeuchtigkeit φ

Die relative Luftfeuchtigkeit stellt das Verhältnis zwischen Partialdruck und Sättigungsdruck dar. Die relative Luftfeuchtigkeit gibt an, wieviel Wasserdampf in der Luft bezogen auf die maximale Wasserdampfmenge vorhanden ist. Unter Sättigungsdruck wird der Wert verstanden, bei dem kein weiterer Wasserdampf in der Luft aufgenommen werden kann und es zur Kondensation des überschüssigen Wasserdampfes kommt. (vgl. [55] S.220, [71] S. 55, [25] S. 20,21)

$$\varphi = \frac{p}{p_{\text{sat}}}$$

φ	=	relative Luftfeuchtigkeit [%]
p	=	Partialdruck
p_{sat}	=	Sättigungsdruck

5.2.1.2) Taupunkt bzw. Taupunkttemperatur

Bildet sich Kondensat, so geschieht das bei einer gewissen Grenztemperatur, die auch als Taupunkttemperatur bezeichnet wird. Abhängig ist die Taupunkttemperatur von der Lufttemperatur und der relativen Feuchtigkeit.

Liegt die Oberflächentemperatur des Bauteils unter der Taupunkttemperatur der Luft, bildet sich Kondensat. (vgl. [55] S.222, [71] S. 56, [25] S. 22, [28] S. 218)

$$\vartheta_{\text{Tau}} = [\text{C}^\circ]$$

Zur Berechnung der Kondensation wird das Glaser-Verfahren herangezogen.

Mit Hilfe des Glaser - Verfahrens kann ein Bauteil entweder durch das grafische Verfahren oder das rechnerische Verfahren diffusionstechnisch beurteilt werden.

Beim grafischen Verfahren werden vier unterschiedliche Diagramme angewendet.

Diffusionsdiagramm:

In diesem Diagramm wird der Partialdruck bzw. der Sättigungsdruck sowie die äquivalenten Luftschichtdicken eingetragen.

Temperaturdiagramm:

Hier werden die Temperatur und die Wärmedurchlasswiderstände eingetragen.

Temperatur-/Dampfdruckdiagramm:

Ausgehend vom Temperaturdiagramm wird mit Hilfe der Sättigungsdampf-Kurve (100%) dieses Diagramms, der Sättigungsdampfdruckverlauf im Bauteil ermittelt. Dieser wird wiederum im Diffusionsdiagramm eingetragen.

Kondensatmengen-Jahresbilanzdiagramm:

Mit Hilfe des Temperaturdiagramms und des Diffusionsdiagramms kann der Bauteil beurteilt werden. Durch Verbinden der Werte der oben genannten Diagramme ergeben Schnittpunkte, die zu einem Polygonzug verbunden werden. Mit Hilfe der Lage des Polygonzugs kann der Bauteil beurteilt werden. Im Diagramm werden drei Bereiche unterschieden. (vgl. 5.3.1.3)

Beim rechnerischen Verfahren erfolgt die Ermittlung aller Werte über eine Tabelle.

Bei der Beurteilung der Aufbauten von Schrägdach und Flachdach werden die Werte mit Hilfe des rechnerischen Verfahrens (vgl. Tab. 8;11;12) ermittelt.

Zur weiteren Beurteilung werden die ermittelten Werte in das Diagramm zur Abschätzung der Wasserdampfkondensation (vgl. Abb.5.3; 5.5) eingetragen. (vgl. [41] S. F17-F19c)

5.2.1.3) Diffusionswiderstandszahl μ

Durch die Diffusionswiderstandszahl μ wird angegeben um wieviel größer der Dampfdiffusionswiderstand einer Schicht im Vergleich zu einer gleich dicken Luftschicht ist.

(vgl. [71] S.62, [28] S. 224)

5.2.1.4) wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d

Durch diesen Wert wird angegeben, wie dick eine Luftschicht sein muss, um den selben Durchlasswiderstand erreichen zu können.

$$s_{d,i} = \mu_i \cdot d_i \quad [\text{m}]$$

s_d	=	wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke
μ_i	=	Diffusionswiderstandszahl einer Bauteilschicht
d_i	=	Dicke einer einzelnen Schicht

(vgl. [55] S. 228, [78])

5.3) Bauteilberechnung

5.3.1) Schrägdach

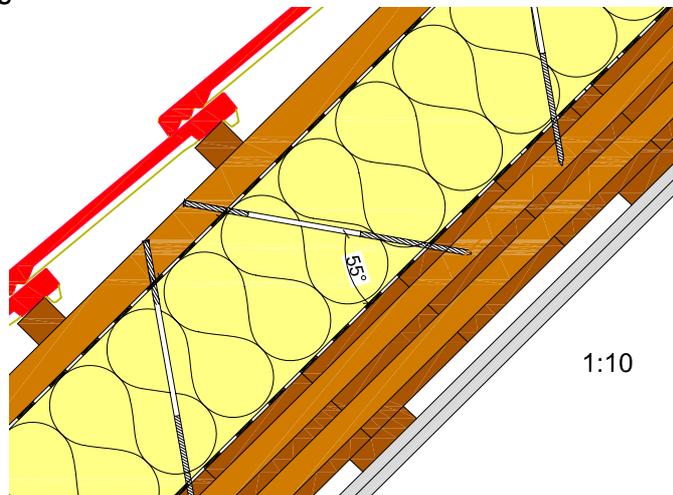


Abb.5.2: Detail Aufbau Schrägdach M 1:10

Beim Aufbau des Schrägdaches handelt es sich um einen inhomogenen Aufbau. Bei der Berechnung müssen Konterlattung, Ziegellattung und Dachdeckung nicht berücksichtigt werden.

	d [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]	μ [-]
Unterdachbahn	----	----	----	---
Mineralwolle	0,220		0,035	1
Luft-/Dampfbremse $s_d = 2$	0,001	----	----	2000
BSP-Platte	0,125	500	0,130	50
Sparschalung	0,024	500	0,130	50
Gipskartonplatte	0,030		0,250	10

Tab.5.3: Aufbau und Materialeigenschaften Schrägdach

5.3.1.1) Berechnung des U-Wertes

Die Berechnung des U-Wertes erfolgt mit dem Formblatt des Instituts für Hochbau und Bauphysik.

Berechnung der Flächenanteile für die Berechnung des U-Wert:

	Länge [m]	Anteil [%]	f_k [-]
Gesamt	3,5	100	1
Dämmung	3,3	94,3	0,943
BSH	0,2	5,7	0,057

Tab.5.4: Flächenanteil Dämmung bzw. BSH

U-Wert - Berechnung homogener (Anteil 2 = 0) und inhomogener Bauteile

Bauteil:												
Nr.	Schichtaufbau von außen nach innen bzw. oben nach unten	Dicke d m	Anteil 1 %	Anteil 2 %	λ_1 W/mK	λ_2 W/mK	$(d/\lambda)_1$ m ² K/W	$(d/\lambda)_2$ m ² K/W	d/λ'' m ² K/W			
1	Dämmung / BSH	0,220	94,3	5,7	0,035	0,130	6,286	1,692	5,444			
2	BSP - Platte / BSH	0,125	94,3	5,7	0,130	0,130	0,962	0,962	0,962			
3	Sparschalung / Luftschicht / BSH	0,024	94,3	5,7	0,130	0,130	0,185	0,185	0,185			
4	GKF	0,030	100	0	0,250	0,250	0,120	0,120	0,120			
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
Wärmeübergangswiderstände		in m ² K/W		$R_{se} =$	0,040	$R_{si} =$	0,1	$R_T =$	7,692	3,098	6,850	
Oberer R_T bzw. unterer Grenzwert $R_{T''}$ des Wärmedurchgangswiderstandes		in m ² K/W						$R_T =$	7,093	$R_{T''} =$	$R_{T''} = R_T$	
Wärmedurchgangswiderstand $R_T = (R_T' + R_T'') / 2$		in m ² K/W								6,971		
Wärmedurchgangskoeffizient U		in W/m ² K = 1/R _T								0,143		

$$R_T = R_{se} + R_{si} + \Sigma (R = d/\lambda)$$

$$1/R_{T''} = \Sigma f_m/R_{T,m} \text{ für m nebeneinander liegende Bereiche}$$

$$R_{T''} \text{ für j hintereinander liegende Schichten mit } \lambda_j'' = \Sigma f_m \cdot \lambda_m$$

nach: ÖNORM EN ISO 6946

Tab.5.5: U-Wert-Berechnung Schrägdach inhomogener Aufbau; Formblatt [34]

5.3.1.2) Feuchteberechnung

[78],[79]

Außenluft:

Für die Feuchteberechnung wird zuerst die Monatsmitteltemperatur der Außenluft ermittelt. Da es in Österreich große Unterschiede bezüglich des mittleren vertikalen Temperaturgradienten gibt, werden sieben Regionen unterschieden. Weiters ist die Monatsmitteltemperatur von der Seehöhe abhängig. (vgl. [78] S.9)

Region Nord - außerhalb von Föhngebieten (N)				
	a	b	Seehöhe	Θ
Schicht 1 (unter 750m)	°C	Grad/100m	(100m)	°C
Jänner	-0,921	-0,423	1,90	-1,72
Februar	1,114	-0,458	1,90	0,24
März	5,189	-0,521	1,90	4,20
April	10,221	-0,613	1,90	9,06
Mai	14,881	-0,602	1,90	13,74
Juni	18,009	-0,610	1,90	16,85
Juli	19,671	-0,597	1,90	18,54
August	19,232	-0,607	1,90	18,08
September	15,356	-0,495	1,90	14,42
Oktober	9,884	-0,413	1,90	9,10
November	4,782	-0,486	1,90	3,86
Dezember	1,292	-0,556	1,90	0,24
Jahr	9,893	-0,532	1,90	8,88

Tab.5.6: Monatsmittelwert der Temperatur

Die relative Luftfeuchtigkeit der Außenluft wird in den Monaten Jänner bis April und September bis Dezember mit 80% angenommen. In den restlichen Monaten werden 75% angesetzt.

Innenluft:

In Wohnungen wird die Innenlufttemperatur mit 20°C angenommen.

Die relative Luftfeuchtigkeit wird mit 65% angenommen, wenn die Außenlufttemperatur zwischen 0°C und 10°C liegt. Bei Temperaturen unter 0°C wird die relative Luftfeuchtigkeit pro °C unter Null um einen Prozentpunkt verringert.

Wasserdampf-Sättigungsdruck p_{sat} :

Für die Berechnung von p_{sat} werden folgende zwei Formeln verwendet:

$$p_{\text{sat}} = 610,5e^{\frac{17,269\Theta}{237,3 + \Theta}} \text{ [Pa]} \quad (\Theta \geq 0^\circ\text{C})$$

$$p_{\text{sat}} = 610,5e^{\frac{21,875\Theta}{265,5 + \Theta}} \text{ [Pa]} \quad (\Theta \leq 0^\circ\text{C})$$

Das in Tab.: 5.8 verwendete Formblatt wurde lt. [79] erstellt.

Seehöhe: 190m					Außentemperatur $\vartheta_e = -1,73^\circ\text{C}$							
Bereich	Temperatur ϑ in $^\circ\text{C}$		Wärmeüb. in $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$		Rel. Luftfeuchte φ in %	W.-Sättigungsdruck p_{sat} in Pa		W.-Teildruck p in Pa				
innen	$\vartheta_i = 20$	$R_{\text{si}} = 0,25$	$\varphi_i = 63,28$	$p_{\text{sat},i} = 2336,95$	$P_i = P_{\text{sat},i} \cdot \varphi_i / 100 = 1478,82$							
außen	$\vartheta_e = -1,72$	$R_{\text{se}} = 0,04$	$\varphi_e = 80$	$p_{\text{sat},e} = 529,35$	$P_e = P_{\text{sat},e} \cdot \varphi_e / 100 = 423,48$							
Differenz	$\Delta\vartheta = \vartheta_i - \vartheta_e = 21,72$						$\Delta p = p_i - p_e = 1055,34$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Schichte	d_i	$\lambda_{n,i}$	$R_{t,i}$	$(\Delta\vartheta)_i$	ϑ_{i+1}	$p_{\text{sat},i+1}$	$f_{t,i}$	$s_{d,i}$	$(\Delta p)_i$	p_{i+1}	$p > p_{\text{sat}}$
		m	$W/(m \cdot K)$	$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$	K	$^\circ\text{C}$	Pa	-	m	Pa	Pa	
i	Innenluft	-	-	-	-	20,000	2336,95	-	-	-	-	-
0	Wärmeübergangswiderstand innen	-	-	0,250	0,692	19,308	2238,71	-	-	-	1478,82	
1	GKF	0,030	0,250	0,120	0,332	18,976	2192,84	10	0,300	39,69	1439,13	
2	Sparschalung	0,024	0,130	0,185	0,511	18,465	2123,89	50	1,200	158,78	1280,35	
3	BSP	0,031	0,130	0,240	0,665	17,799	2036,96	50	1,563	206,74	1073,61	
4	BSP	0,031	0,130	0,240	0,665	17,134	1953,16	50	1,563	206,74	866,87	
5	BSP	0,031	0,130	0,240	0,665	16,469	1872,40	50	1,563	206,74	660,12	
6	BSP	0,031	0,130	0,240	0,665	15,803	1794,57	50	1,563	206,74	453,38	
7	MW	0,008	0,035	0,242	0,669	15,134	1719,18	1	0,008	1,12	452,26	
8	MW	0,008	0,035	0,242	0,669	14,465	1646,58	1	0,008	1,12	451,14	
9	MW	0,008	0,035	0,242	0,669	13,796	1576,68	1	0,008	1,12	450,02	
10	MW	0,008	0,035	0,242	0,669	13,127	1509,40	1	0,008	1,12	448,90	
11	MW	0,008	0,035	0,242	0,669	12,457	1444,65	1	0,008	1,12	447,79	
12	MW	0,008	0,035	0,242	0,669	11,788	1382,35	1	0,008	1,12	446,67	
13	MW	0,008	0,035	0,242	0,669	11,119	1322,43	1	0,008	1,12	445,55	
14	MW	0,008	0,035	0,242	0,669	10,450	1264,80	1	0,008	1,12	444,43	
15	MW	0,008	0,035	0,242	0,669	9,781	1209,39	1	0,008	1,12	443,31	
16	MW	0,008	0,035	0,242	0,669	9,111	1156,12	1	0,008	1,12	442,19	
17	MW	0,008	0,035	0,242	0,669	8,442	1104,94	1	0,008	1,12	441,07	
18	MW	0,008	0,035	0,242	0,669	7,773	1055,75	1	0,008	1,12	439,95	
19	MW	0,008	0,035	0,242	0,669	7,104	1008,51	1	0,008	1,12	438,83	
20	MW	0,008	0,035	0,242	0,669	6,435	963,13	1	0,008	1,12	437,71	
21	MW	0,008	0,035	0,242	0,669	5,766	919,57	1	0,008	1,12	436,59	
22	MW	0,008	0,035	0,242	0,669	5,096	877,75	1	0,008	1,12	435,47	
23	MW	0,008	0,035	0,242	0,669	4,427	837,61	1	0,008	1,12	434,35	
24	MW	0,008	0,035	0,242	0,669	3,758	799,11	1	0,008	1,12	433,23	
25	MW	0,008	0,035	0,242	0,669	3,089	762,17	1	0,008	1,12	432,11	
26	MW	0,008	0,035	0,242	0,669	2,420	726,75	1	0,008	1,12	430,99	
27	MW	0,008	0,035	0,242	0,669	1,750	692,79	1	0,008	1,12	429,87	
28	MW	0,008	0,035	0,2418	0,669	1,081	660,24	1	0,008	1,12	428,75	
29	MW	0,008	0,035	0,242	0,669	0,412	629,05	1	0,008	1,12	427,63	
30	MW	0,008	0,035	0,242	0,669	-0,257	597,69	1	0,008	1,12	426,51	
31	MW	0,008	0,035	0,242	0,669	-0,926	565,49	1	0,008	1,12	425,39	
32	MW	0,008	0,035	0,242	0,669	-1,595	534,87	1	0,008	1,12	424,27	
33	Unterdachb.	0,000	0,02	0,005	0,014	-1,609	534,26	60	0,006	0,79	423,48	
34	Wärmeübergangswiderstand außen	-	-	0,040	0,111	-1,720	529,35	-	-	-		
e	Außenluft	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\Sigma d_j =$		0,399	$\frac{7,847}{7,557} = \Sigma R_{t,i} + R_{\text{si}} + R_{\text{se}} = 1/U$			$\frac{7,976}{7,557} = \Sigma s_{d,i}$						
			$0,127 = U \text{ in } W/(M^2 \cdot K)$		Weitere Rechnung erforderlich: nein							

Tab.5.7: Temperatur- und Wasserdampfdiffusionsberechnung

5.3.1.3) Abschätzung der Wasserdampfkondensation

Zur Abschätzung der Wasserdampfkondensation wird das Verhältnis von Wärmedurchlasswiderstand zu Wärmeübergangswiderstand sowie das Verhältnis der Diffusionswiderstände ermittelt und in einem Diagramm eingetragen (vgl. Abb.5.3).

$$\frac{R_i}{R} = \frac{\frac{d_i}{\lambda_i}}{\frac{1}{U}} \cdot 100$$

R_i	=	Wärmeübergangswiderstand [m ² K/W]
R	=	Wärmedurchgangswiderstand [m ² K/W]
d_i	=	Dicke der Einzelschicht [m]
λ_i	=	Wärmeleitfähigkeit [-]
U	=	Wärmedurchgangskoeffizient

$$\frac{r_i}{r} = \frac{\mu_i \cdot d_i}{\Sigma(\mu_i \cdot d_i)}$$

r_i	=	Diffusionswiderstand der Einzelschicht [m]
r	=	Diffusionswiderstand gesamt [m]
μ_i	=	Diffusionswiderstandzahl [-]
d_i	=	Dicke der Einzelschicht [m]

5.3.1.4) Diagramm zur Abschätzung der Wasserdampfkondensation

Das Diagramm zur Abschätzung der Wasserdampfkondensation ist in drei Bereiche unterteilt.

G_k	=	Kondensatmenge
G_v	=	Verdunstungsmenge

Bereich 1: $G_k = 0$

Liegt die Kurve in diesem Bereich gilt der Bauteil als geeignet, da praktisch kein Kondensat auftritt.

Bereich 2: $G_k < G_v$

Bei Kurven in diesem Bereich, kann die im Winter auftretende Kondensatmenge, während der Sommermonate zur Gänze austrocknen.

Bereich 3: $G_k > G_v$

In diesem Bereich kann das entstandenen Kondensat während der Sommermonate nicht rück-trocknen. Der Bauteil ist nicht geeignet.

In Abb. 5.3 ist die Kurve des Schrägdachaufbaus dargestellt (rote Linie). Der Aufbau ist geeignet, da die Kurve zur Gänze im Bereich $G_k = 0$ verläuft.

Trotzdem wird eine Dampfbremse zwischen Brettsperrholz und Dämmung angebracht, wodurch sich der Kurvenverlauf (grüne Linie) nochmals ändert.

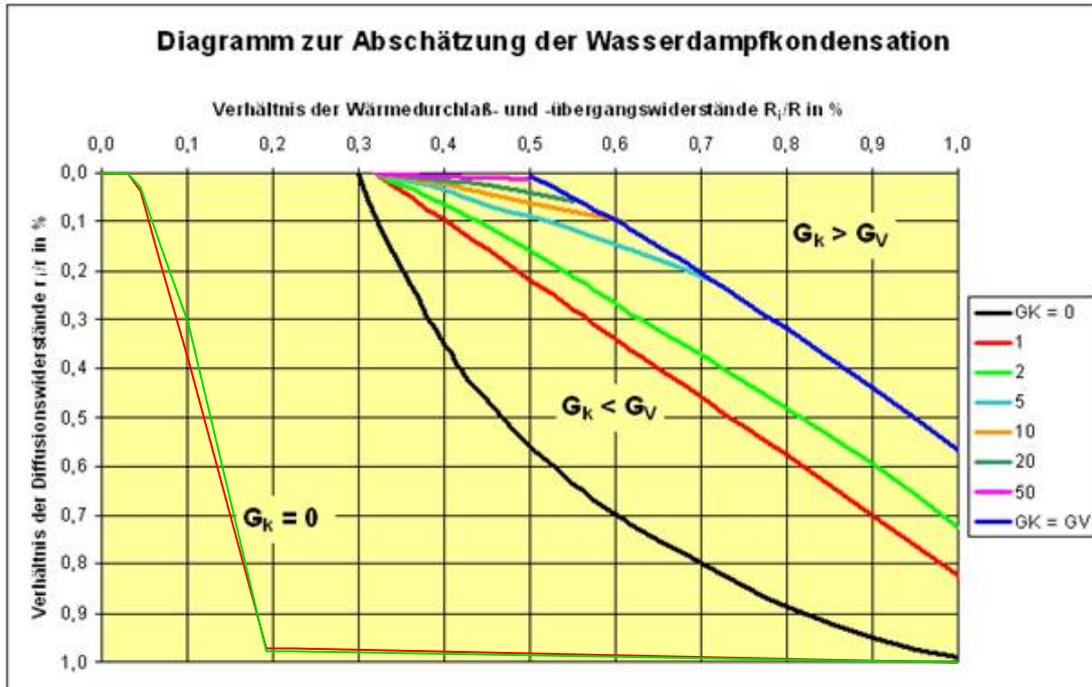
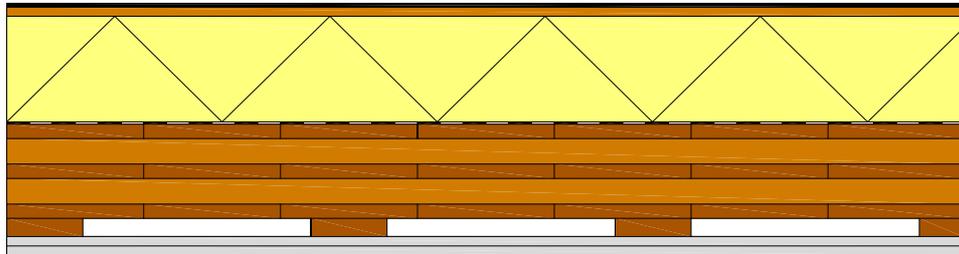


Abb.5.3: Wasserdampfkondensation im Bereich Schrägdach; rot ohne, grün mit Dampfbremse

5.3.2) Flachdach



M 1:10

Abb.5.4: Detail Aufbau Flachdach M 1:10

	d [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]	μ [-]
Dachbahn inkl. PV	0,0069		---	20.000
OSB	0,012	650	0,130	200
Dämmung	0,140	0,3	0,026	1
Luft-/Dampfsperre $s_d > 1500m$	-----	1000	----	----
BSP	0,125	500	0,130	50
Sparschalung	0,024	500	0,130	50
GKF	0,025	----	0,250	10

Tab.5.8: Aufbau und Materialeigenschaften Flachdach

5.3.2.1) Berechnung des U-Wertes



Institut für Hochbau und Bauphysik
 Lessingstrasse 25 und Inffeldgasse 24
 http://www.ihb.tugraz.at A-8010 Graz

U-Wert - Berechnung
 homogener (Anteil 2 = 0) und inhomogener Bauteile

Bauteil:														
Nr.	Schichtaufbau	Dicke d	Anteil 1	Anteil 2	λ_1	λ_2	$(d/\lambda)_1$	$(d/\lambda)_2$	d/λ''					
	von außen nach innen bzw. oben nach unten	m	%	%	W/mK	W/mK	m ² /K/W	m ² /K/W	m ² /K/W					
1	OSB	0,012	100	0	0,130	0,130	0,092	0,092	0,092					
2	Dämmung / BSH	0,140	94,3	5,7	0,026	0,130	5,385	1,077	4,385					
3	BSP - Platte / BSH	0,125	94,3	5,7	0,130	0,130	0,962	0,962	0,962					
4	Sparschalung / Luftschicht / BSH	0,024	94,3	5,7	0,130	0,130	0,185	0,185	0,185					
5	GKF	0,025	100	0	0,250	0,250	0,100	0,100	0,100					
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
Wärmeübergangswiderstände		in m ² /K/W		$R_{se} =$	0,040	$R_{si} =$	0,1	$R_T =$	6,863	2,555	5,863			
Oberer $R_{T'}$ bzw. unterer Grenzwert $R_{T''}$ des Wärmedurchgangswiderstandes		in m ² /K/W						$R_T =$	6,261	$R_{T'}$	$R_{T''}$			
Wärmedurchgangswiderstand $R_T = (R_{T'} + R_{T''}) / 2$		in m ² /K/W								6,062				
Wärmedurchgangskoeffizient U		in W/m ² K								0,165				

$R_T = R_{se} + R_{si} + \Sigma (R = d/\lambda)$
 $1/R_{T'} = \Sigma f_m / R_{T,m}$ für m nebeneinander liegende Bereiche
 $R_{T''}$ für j hintereinander liegende Schichten mit $\lambda_j'' = \Sigma f_{j,m} \cdot \lambda_m$

nach: ÖNORM EN ISO 6946

Tab.5.9: U-Wert-Berechnung Flachdach inhomogener Aufbau; Formblatt [34]

5.3.2.2) Feuchteberechnung

Die Feuchteberechnung erfolgt zuerst mit Flachdachaufbau ohne Dampfsperre. Bei der Berechnung ist im Bereich der Dämmung der Wasserdampf-Teildruck größer als der Wasserdampf-Sättigungsdruck wodurch Kondensat entsteht. Weitere Berechnungen sind erforderlich.

Seehöhe: 190m						Außentemperatur $\theta_e = -1,73^\circ\text{C}$						
Bereich	Temperatur θ in $^\circ\text{C}$		Wärmeüb. in $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$		Rel. Luftfeuchte φ in %	W.-Sättigungsdruck p_{sat} in Pa			W.-Teildruck p in Pa			
innen	$\theta_i = 20$		$R_{\text{si}} = 0,25$		$\varphi_i = 63,28$	$P_{\text{sat},i} = 2336,95$			$P_i = P_{\text{sat},i} \cdot \varphi_i / 100 = 1478,82$			
außen	$\theta_e = -1,72$		$R_{\text{se}} = 0,04$		$\varphi_e = 80$	$P_{\text{sat},e} = 529,35$			$P_e = P_{\text{sat},e} \cdot \varphi_e / 100 = 423,48$			
Differenz	$\Delta\theta = \theta_i - \theta_e = 21,72$								$\Delta p = p_i - p_e = 1055,34$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Schichte	d_j	λ_{nj}	R_{ij}	$(\Delta\theta)_j$	θ_{j+1}	$P_{\text{sat},j+1}$	μ_j	s_{dj}	$(\Delta p)_j$	P_{j+1}	$P > P_{\text{sat}}$
				d_j/λ_j	$(\Delta v/(1/U)) \cdot R_{i,j}$	$\theta_{r,\Sigma}(\Delta\theta)_i$	ÖNORM B 8110-2, Anh. A		$\mu_j d_j$	$(\Delta p/\Sigma s_{dj}) \cdot s_{dj}$	$p_{r,\Sigma} \Delta p_i$	
		m	W/(m.K)	$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$	K	$^\circ\text{C}$	Pa	-	m	Pa	Pa	
i	Innenluft	-	-	-	-	20,00	2336,95	-	-	-	-	
0	Wärmeübergangswiderstand innen	-	-	0,250	0,737	19,26	2232,39	-	-	-	1478,82	
1	GKF	0,030	0,25	0,120	0,354	18,91	2183,67	10	0,300	2,14	1476,69	
2	Sparschalung	0,024	0,13	0,185	0,545	18,36	2110,54	50	1,200	8,54	1468,15	
3	BSP	0,031	0,13	0,240	0,709	17,66	2018,53	50	1,563	11,12	1457,03	
4	BSP	0,031	0,13	0,240	0,709	16,95	1930,05	50	1,563	11,12	1445,91	
5	BSP	0,031	0,13	0,240	0,709	16,24	1844,99	50	1,563	11,12	1434,79	
6	BSP	0,031	0,13	0,240	0,709	15,53	1763,23	1	0,006	0,05	1423,67	
7	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	14,81	1683,27	1	0,006	0,05	1423,62	
8	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	14,08	1606,50	1	0,006	0,05	1423,58	
9	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	13,36	1532,82	1	0,006	0,05	1423,53	
10	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	12,64	1462,13	1	0,006	0,05	1423,49	
11	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	11,92	1394,31	1	0,006	0,05	1423,44	x
12	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	11,20	1329,27	1	0,006	0,05	1423,40	x
13	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	10,47	1266,92	1	0,006	0,05	1423,35	x
14	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	9,75	1207,15	1	0,006	0,05	1423,30	x
15	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	9,03	1149,87	1	0,006	0,05	1423,26	x
16	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	8,31	1095,00	1	0,006	0,05	1423,21	x
17	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	7,59	1042,45	1	0,006	0,05	1423,17	x
18	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	6,87	992,13	1	0,006	0,05	1423,12	x
19	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	6,14	943,96	1	0,006	0,05	1423,08	x
20	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	5,42	897,86	1	0,006	0,05	1423,03	x
21	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	4,70	853,76	1	0,006	0,05	1422,99	x
22	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	3,98	811,58	1	0,006	0,05	1422,94	x
23	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	3,26	771,26	1	0,006	0,05	1422,90	x
24	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	2,53	732,71	1	0,006	0,05	1422,85	x
25	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	1,81	695,87	1	0,006	0,05	1422,81	x
26	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	1,09	660,67	1	0,006	0,05	1422,76	x
27	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	0,37	629,29	1	0,006	0,05	1422,72	x
28	PUR	0,006	0,026	0,2308	0,681	-0,31	594,98	1	0,006	0,04	1422,67	x
29	OSB	0,012	0,13	0,0923	0,272	-0,58	581,74	200	2,400	17,08	1405,59	x
30	Dichtungsb.	0,007	0,02	0,3450	1,018	-1,60	534,58	20000	138,000	982,11	423,48	
31	Wärmeübergangswiderstand außen	-	-	0,040	0,118	-1,72	529,35	-	-	-		
e	Außenluft	-	-	-	-			-	-	-		
$\Sigma d_j =$		0,338		7,364	$=\Sigma R_{ij} + R_{si} + R_{se} = 1/U$				148,290	$=\Sigma s_{dj}$		
				7,114	$=\Sigma R_{ij} = R_t$							
				0,136	$=U$	in W/(M ² .k)			Weitere Rechnung erforderlich:		ja	

Tab.5.10: Temperatur- und Wasserdampfdiffusionsberechnung Flachdach

Weitere Berechnungen ergeben, dass der Bauteil mit diesem Aufbau nicht geeignet ist (vgl. Abb.5.5 rote Linie). Es wird zwischen der Dämmung und der Brettsperrholzplatte eine Dampfsperre angeordnet und der Bauteil neu berechnet. Durch die Anordnung der Dampfsperre kommt es zu keiner Kondensatbildung im Bauteil. Somit ist dieser Aufbau geeignet. (vgl. Tab.5.12 sowie Abb.5.5 grüne Linie)

Seehöhe: 190m					Außentemperatur $\Theta_e = -1,73^\circ\text{C}$								
Bereich	Temperatur Θ in $^\circ\text{C}$		Wärmeüb. in $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$		Rel. Luftfeuchte φ in %		W.-Sättigungsdruck p_{sat} in Pa			W.-Teildruck p in Pa			
innen	$\Theta_i = 20$		$R_{\text{si}} = 0,25$		$\varphi_i = 63,28$		$P_{\text{sat},i} = 2336,95$			$P_i = P_{\text{sat},i} \cdot \varphi_i / 100 = 1478,82$			
außen	$\Theta_e = -1,72$		$R_{\text{se}} = 0,04$		$\varphi_e = 80$		$P_{\text{sat},e} = 529,35$			$P_e = P_{\text{sat},e} \cdot \varphi_e / 100 = 423,48$			
Differenz	$\Delta\Theta = \Theta_i - \Theta_e = 21,72$		$R_{\text{se}} = 0,04$		$\varphi_e = 80$					$\Delta p = p_i - p_e = 1055,34$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Schichte	d_j	λ_{nj}	R_{ij}	$(\Delta\Theta)_j$	Θ_{j+1}	$P_{\text{sat},j+1}$	μ_j	s_{dj}	$(\Delta p)_j$	P_{j+1}	$P > P_{\text{sat}}$		
	m	$W/(m \cdot K)$	$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$	K	$^\circ\text{C}$	Pa	-	m	Pa	Pa			
i	Innenluft	-	-	-	-	20,00	2336,95	-	-	-	-	-	
0	Wärmeübergangswiderstand innen	-	-	0,250	0,737	19,26	2232,40	-	-	-	-	1478,82	
1	GKF	0,030	0,25	0,120	0,354	18,91	2183,68	10	0,300	0,192	-	1478,63	
2	Sparschalung	0,024	0,13	0,185	0,544	18,36	2110,55	50	1,200	0,768	-	1477,86	
3	BSP	0,031	0,13	0,240	0,709	17,66	2018,55	50	1,563	1,000	-	1476,86	
4	BSP	0,031	0,13	0,240	0,709	16,95	1930,08	50	1,563	1,000	-	1475,86	
5	BSP	0,031	0,13	0,240	0,709	16,24	1845,02	50	1,563	1,000	-	1474,86	
6	BSP	0,031	0,13	0,240	0,709	15,53	1763,27	50	1,563	1,000	-	1473,86	
7	Dampfsperre	0,000	0,2	0,001	0,001	15,53	1763,10	-	1500,000	960,397	-	513,46	
8	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	14,81	1683,15	1	0,006	0,004	-	513,46	
9	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	14,08	1606,39	1	0,006	0,004	-	513,45	
10	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	13,36	1532,72	1	0,006	0,004	-	513,45	
11	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	12,64	1462,04	1	0,006	0,004	-	513,45	
12	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	11,92	1394,23	1	0,006	0,004	-	513,44	
13	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	11,20	1329,20	1	0,006	0,004	-	513,44	
14	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	10,47	1266,85	1	0,006	0,004	-	513,43	
15	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	9,75	1207,08	1	0,006	0,004	-	513,43	
16	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	9,03	1149,81	1	0,006	0,004	-	513,43	
17	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	8,31	1094,95	1	0,006	0,004	-	513,42	
18	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	7,59	1042,40	1	0,006	0,004	-	513,42	
19	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	6,86	992,09	1	0,006	0,004	-	513,41	
20	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	6,14	943,92	1	0,006	0,004	-	513,41	
21	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	5,42	897,83	1	0,006	0,004	-	513,41	
22	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	4,70	853,74	1	0,006	0,004	-	513,40	
23	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	3,98	811,56	1	0,006	0,004	-	513,40	
24	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	3,26	771,24	1	0,006	0,004	-	513,39	
25	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	2,53	732,69	1	0,006	0,004	-	513,39	
26	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	1,81	695,86	1	0,006	0,004	-	513,39	
27	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	1,09	660,67	1	0,006	0,004	-	513,38	
28	PUR	0,006	0,026	0,245	0,722	0,37	629,28	1	0,006	0,004	-	513,38	
29	PUR	0,006	0,026	0,2308	0,681	-0,31	594,97	1	0,006	0,004	-	513,37	
30	OSB	0,012	0,13	0,0923	0,272	-0,58	581,73	200	2,400	1,537	-	511,84	
31	Dichtungsbl.	0,007	0,02	0,3450	1,017	-1,60	534,58	20000	138,000	88,357	-	423,48	
32	Wärmeübergangswiderstand außen	-	-	0,040	0,118	-1,72	529,35	-	-	-	-	-	
e	Außenluft	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
$\Sigma d_j =$		0,338	$7,365 = \Sigma R_{ij} + R_{si} + R_{se} = 1/U$							1648,290	$= \Sigma s_{dj}$		
			$7,115 = \Sigma R_{ij} = R_t$										
			$0,136 = U$		in $W/(M^2 \cdot K)$					Weitere Rechnung erforderlich:		nein	

Tab.5.11: Temperatur- und Wasserdampfdiffusionsberechnung Flachdach mit Dampfsperre

5.3.2.3) Abschätzung der Wasserdampfkondensation

Wie in Abb. 5.3 klar ersichtlich (rote Linie), ist dieser Aufbau nicht geeignet. Das Kondensat im Bauteil kann während der Sommermonate nicht austrocknen. Nach der Anordnung einer Dampfsperre ist der Bauteil geeignet.

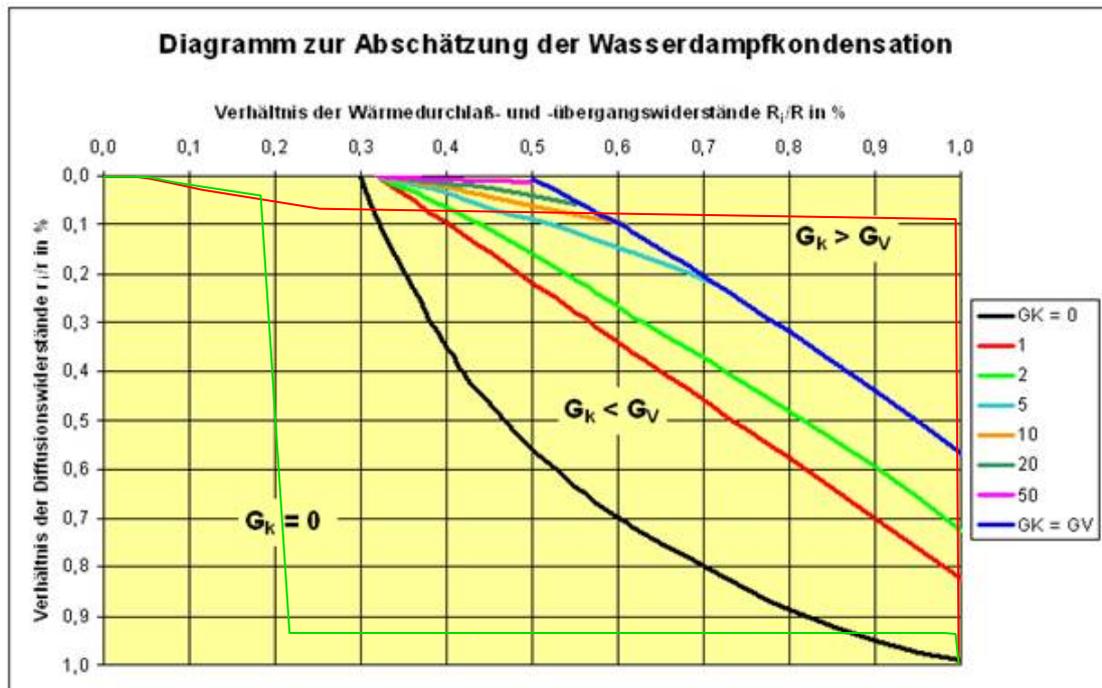
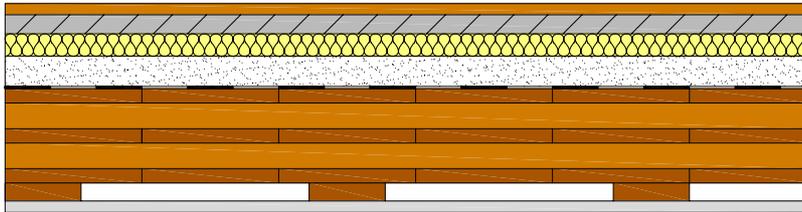


Abb.5.5: Wasserdampfkondensation im Bereich Flachdach: rot ohne, grün mit Dampfsperre

5.3.3) Geschossdecke



M 1:10

Abb.5.6: Detail Aufbau Geschossdecke M 1:10

	d [m]	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]	μ [-]
Trockenestrich	0,025	900	0,210	8
Trittschalldämmplatte	0,030	68	0,033	1
Schüttung	0,040	1800	0,700	2
Rieselschutz	- - -	636	0,200	423
BSP-Platte	0,125	500	0,130	50
Sparschalung	0,024	500	0,130	50
GKF	0,015	800	0,250	10

Tab.5.12: Aufbau und Materialeigenschaften Geschossdecke

5.3.3.1) Berechnung des U-Wertes



Institut für Hochbau und Bauphysik
Lessingstrasse 25 und Inffeldgasse 24
http://www.ihb.tugraz.at A-8010 Graz

U-Wert - Berechnung
homogener (Anteil 2 = 0) und inhomogener Bauteile

Bauteil:										
Nr.	Schichtaufbau von außen nach innen bzw. oben nach unten	Dicke d m	Anteil 1 %	Anteil 2 %	λ_1 W/mK	λ_2 W/mK	$(d/\lambda)_1$ m ² K/W	$(d/\lambda)_2$ m ² K/W	d/λ'' m ² K/W	
1	Trockenestrich	0,025	100	0	0,210		0,119			
2	Trittschalldämmplatte	0,030	100	0	0,033		0,909			
3	Schüttung	0,040	100	0	0,700		0,057			
4	Rieselschutz	0,001	100	0	0,200		0,005			
5	BSP - Platte	0,125	100	0	0,130		0,962			
6	Sparschalung / Luftschicht	0,024	100	0	0,130		0,185			
7	GKF	0,015	100	0	0,250		0,060			
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
Wärmeübergangswiderstände in m ² K/W		$R_{se} = 0,170$		$R_{si} = 0,13$		$R_T = 2,596$		$R_T'' = R_T'' = R_T''$		
Oberer R_T' bzw. unterer Grenzwert R_T'' des Wärmedurchgangswiderstandes in m ² K/W										
Wärmedurchgangswiderstand $R_T = (R_T' + R_T'') / 2$ in m ² K/W								0,000		
Wärmedurchgangskoeffizient U in W/m ² K = 1/R _T								0,385		

$R_T = R_{se} + R_{si} + \Sigma (R = d/\lambda)$
 $1/R_T' = \Sigma f_{mp}/R_{T,m}$ für m nebeneinander liegende Bereiche
 R_T'' für J hintereinander liegende Schichten mit $\lambda_j'' = \Sigma f_m \cdot \lambda_m$

nach: ÖNORM EN ISO 6946

Tab.5.13: U-Wert-Berechnung Geschossdecke homogener Aufbau; Formblatt [34]

5.3.3.2) Trittschallschutz Geschossdecke

-)Höchstzulässiger bewerteter Standard-Trittschallpegel $L'_{n,T,w}$:

In Räumen angrenzender Nutzungseinheiten (Wohnungen, Schulen, Kindergärten, Krankenhäusern, Heimen, Verwaltungs- und Bürogebäuden und vergleichbare Nutzung)

48 dB

-)Bewerteter Standard-Trittschallpegel $L'_{n,T,w}$:

$$L'_{n,T,w} = L_{n,eq,w} - \Delta L_w + k - 10 \lg V + 14,9 \quad [\text{dB}]$$

$$L_{n,eq,w} = 164 - 35 \lg m' \quad [\text{dB}]$$

$$\Delta L_w = 14,6 + 16 \lg m' - 15 \lg s' \quad [\text{dB}]$$

- $L_{n,eq,w}$ = äquivalenter bewerteter Norm-Trittschallpegel der Rohdecke
 ΔL_w = bewertete Trittschallminderung durch die Deckenauflage in dB
 V = Rauminhalt des Empfangsraum in m^3
 k = Korrekturfaktor für die Trittschallübertragung über die massiven flankierenden Bauteile in dB
 m' = flächenbezogene Masse in kg/m^2
 s' = dynamische Steifigkeit in MN/m^3
 (vgl. [41]S. S46,[80],[81],[82])

5.3.3.3) Berechnung des Standard Trittschallpegels

äquivalenter bewerteter Norm-Trittschallpegel der Rohdecke

$$m' = d \cdot \rho = 0,125 \cdot 550 = 68,8 \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$$

$$L_{n,eq,w} = 164 - 35 \lg 68,8 = 99,7 \quad [\text{dB}]$$

bewertete Trittschallminderung durch die Deckenauflage

Trittschalldämmung:

$$s' = 10 \quad [\text{MN}/\text{m}^3]$$

Trockenestrich:

$$m' = d \cdot \rho = 0,025 \cdot 960 = 24,0 \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$$

$$\Delta L_w = 14,6 + 16 \lg 24 - 15 \lg 10 = 21,68 \quad [\text{dB}]$$

Korrekturfaktor und Rauminhalt

Der Korrekturfaktor wird mit 2 dB und der Rauminhalt mit 30 m³ angenommen.

Bewerteter Standard-Trittschallpegel:

$$L'_{nT,w} = 99,7 - (21,68) + 2 - 10\lg 30 + 14,9 = 80,1 \quad [\text{dB}]$$

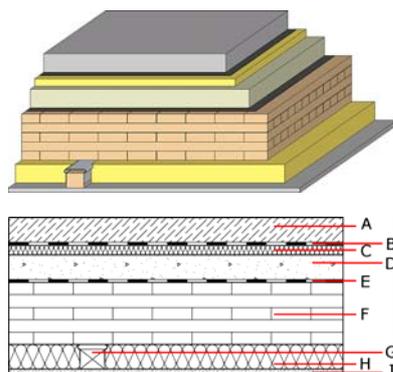
Der berechnete Standard-Trittschallpegel liegt über den geforderten 48 dB.

Empfohlener Aufbau um die 48 dB erreicht werden. vgl. [12]. Für die statische Berechnungen wird jedoch der vorhandene Aufbau beibehalten.

dataholz.com

Bezeichnung: tdm mae01a-00
Stand: 08.09.2010
Quelle: Holzforschung Austria
Bearbeiten: HFA, SP

Trenndecke -Holzmassivbau, abgehängt, nass



Bemerkung: ACHTUNG! In diesem Fall wurde der bewertete Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$ gemessen. Aus datenbank-technischen Gründen scheint der $L_{nT,w}$ Wert auf $L'_{nT,w}$ zu arbeiten. Dies zu entschuldigen.

Bauphysikalische und ökologische Bewertung

Brandschutz	REI	
keine Leistung festgestellt; REI-Angaben können noch keine gemacht werden, da die jeweiligen Klassifizierungs- und Prüfberichte noch nicht vorliegen. Die notwendigen Prüfungen gemäß europäischen Normen wurden jedoch bereits erfolgreich durchgeführt.		
Wärmeschutz	U [W / m ² K]	0,29
	Diffusionsverhalten	geeignet
	m _{w,B,D} [kg/m ²]	15,7
Speichermasse m _{asse} oben: 103,4 kg/m ² Berechnung durch HFA		
Schallschutz	R _w [C ₂]	58 (-)
	I _{nT,w} [C ₂]	48 (0)
Beurteilung durch TU-GRAZ		
Ökologie*	O ₂ K _{en}	11,4
Bezeichnung durch B0		

Baustoffangaben zur Konstruktion, Schichtaufbau
(von außen nach innen, Maße in mm)

Schicht	Dicke	Baustoff	Wärmeschutz				Brandverhaltenskl. EN
			λ	μ m in - max	ρ	c	
A	50,0	Zementestrich od. Anhydritestrich	1,330	50 -100	2000	1,080	A1
B		Trennschicht Kunststoff	0,200	1000000	1400	1,400	E
C	30,0	Trittschalldämmung MW-T	0,035	1	68	1,030	A1
D	50,0	Schüttung	0,700	2	1800	1,000	A1
E		Rieselschutz	0,200	423	636	0,000	E
F	125,0	Massivholz (z.B. Brettsperrholz)	0,130	50	500	1,600	D
G	70,0	Holz-Fichte Lattung (40/50) auf Schwingbügeln	0,130	50	500	1,600	D
H	50,0	Glaswolle (D 040; R=16)	0,040	1	16	1,030	A1
I	12,5	GKF oder	0,250	10	800	1,050	A2
I	12,5	Gipsplatte	0,320	21	1000	1,100	A2

Abb.5.7: Aufbau Trenndecke mit gefordertem Standard-Trittschallpegel 48 dB

Detailausbildung

[35],[67],[73],[77],[86],

Im folgenden Kapitel werden die unterschiedlichen Verbindungen im Bereich des Rahmens dargestellt.

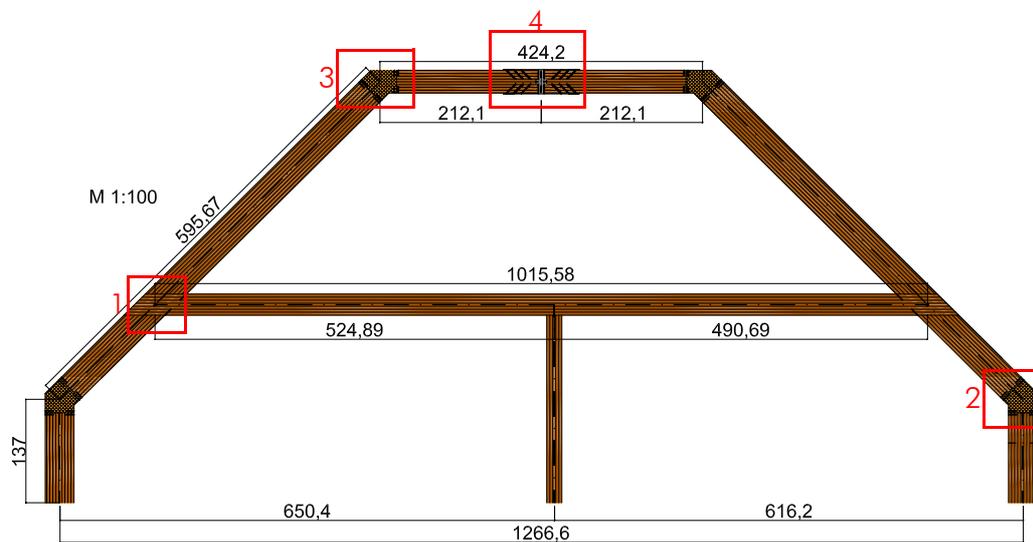


Abb.6.1: BSH-Rahmen M 1:100

-) Verbindung Brettsperrholzplatten - Rahmen
im Bereich des Schrägdaches
im Bereich des Flachdaches
-) Verbindung Deckenbalken - Rahmen siehe Abb.6.1: 1
-) Verbindung biegesteifes Rahmeneck Stiel - Träger siehe Abb.6.1: 2
-) Verbindung biegesteifes Rahmeneck Träger - Rahmenriegel siehe Abb.6.1: 3
-) Verbindung Montagestoß im Bereich des Rahmenriegels siehe Abb.6.1: 4

6.1) Verbindung Brettsperrholzplatte - Rahmen

[35],[77],[86],[87]

Die Brettsperrholzplatten werden durch einen Winkel an den Rahmen befestigt. Als Verbindungsmittel wurden Schrauben mit einem Durchmesser von 10 mm gewählt. Untersucht wird der Anschluss im Bereich des Flachdaches und des Schrägdaches.

6.1.1 Anschluss im Bereich des Flachdaches

Gewählt: pro Anschluss 2 Teilgewinde - Schrauben 10,0 x 120 mm sowie eine Teilgewindeschraube 10,0 x 120 mm zur Sicherung der Platte auf dem Anschlusswinkel. An den Winkel sind Steifen angebracht und werden alle Meter am Träger befestigt. Die Brettsperrholzplatte wird zur Montage im Bereich der Steifen eingefräst.

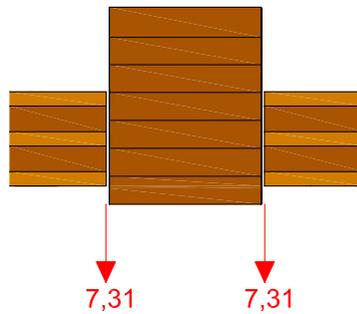
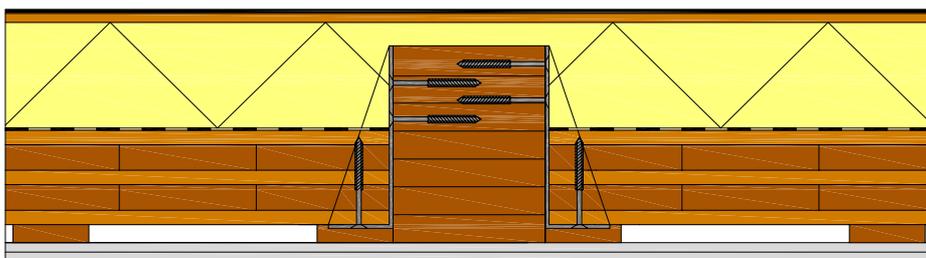


Abb.6.2: zu übertragende Kräfte in kN

Pro Anschluss müssen 7,31 kN aufgenommen werden. (vgl. Anhang 4/3)



1:10

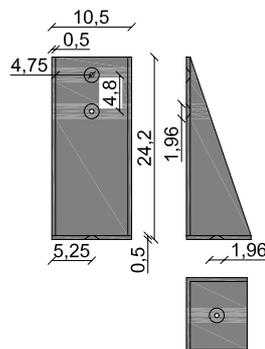


Abb.6.3: Anschluss BSP-Platte Träger und Darstellung Winkel M 1:10

6.1.1.1 Abstände

Abstand		selbstbohrende Holzschraube	Sechskant- Holzschraube
		vorgebohrt	vorgebohrt
a1	in Faserrichtung	$(3 + 2 \cos \alpha) \cdot d$	
a2	rechtwinklig zur Faser	$3d$	
a3,t	belastetes Hirnholzende	$(7 + 5 \cos \alpha) \cdot d$	$\max \begin{cases} 7d \\ 80\text{mm} \end{cases}$
a3,c	unbelastetes Hirnholzende	$7d$	$\max \begin{cases} 7d \cdot \sin \alpha \\ 3d \end{cases}$
a4,t	belasteter Rand	$(3 + 4 \sin \alpha) \cdot d$	$3d$
a4,c	unbelasteter Rand	$3d$	

Tab.6.1: Abstände für Holzschrauben

Der Winkel α zwischen der Kraft und der Faserrichtung beträgt 90° .

Mindestabstände:

Abstand in Faserrichtung:

$$a_1 = (3 + 2 \cos \alpha) \cdot d = (3 + 2 \cos 90) \cdot 10 = 30 \quad [\text{mm}]$$

Abstand rechtwinklig zur Faser:

$$a_2 = 3d = 3 \cdot 10 = 30 \quad [\text{mm}]$$

Abstand belastetes Hirnholzende:

$$a_{3,t} = 80 \quad [\text{mm}]$$

Abstand unbelastetes Hirnholzende:

$$a_{3,c} = 3d = 3 \cdot 10 = 30 \quad [\text{mm}]$$

Abstand zum belasteten und unbelasteten Rand:

$$a_{4,t} = a_{4,c} = 3d = 3 \cdot 10 = 30 \quad [\text{mm}]$$

Für die weitere Bemessung sind Schrauben mit einem Durchmesser < 8 mm wie Nägel und > 8 mm wie Stabdübel zu behandeln.

6.1.1.2 Lochleibungsfestigkeit $f_{h,0,k}$

8.2.5 Charakteristischer Wert der Lochleibungsfestigkeit $f_{h,k}$

(1) Für stiftförmige Verbindungsmittel dürfen die charakteristischen Werte der Lochleibungsfestigkeit $f_{h,k}$ gemäß Tabelle 8.2 angenommen werden.

	1	2	3
	Holzprodukt	Verbindungsmittel	Lochleibungsfestigkeit $f_{h,0,k}$
1	Schnittholz (SH) Brettschichtholz (BSH) Brettsperrholz (BSP) ¹⁾ Furnierschichtholz (FSH)	Stabdübel, Passbolzen, Bolzen, eingeklebte Stahlstangen, Nägel vorgebohrt	$f_{h,0,k} = 0,082 (1 - 0,01 d) \rho_k$
		Nägel nicht vorgebohrt, Klammern	$f_{h,k} = 0,082 \cdot d^{-0,3} \cdot \rho_k$
2	Furniersperrholz (FSP)	Stabdübel, Passbolzen, Bolzen, eingeklebte Stahlstangen, Nägel vorgebohrt	$f_{h,k} = 0,11 (1 - 0,01 \cdot d) \rho_k$
		Nägel nicht vorgebohrt, Klammern	$f_{h,k} = 0,11 d^{-0,3} \cdot \rho_k$
3	Spansperrholz (SSP)	Stabdübel, Passbolzen, Bolzen, eingeklebte Stahlstangen, Nägel vorgebohrt	$f_{h,k} = 50 \cdot d^{-0,5} \cdot t^{0,2}$
		Nägel nicht vorgebohrt, Klammern	$f_{h,k} = 65 \cdot d^{-0,7} \cdot t^{0,1}$

¹⁾ Bei der Ermittlung des Bemessungswertes der Tragfähigkeit R_d sind die Schichten rechtwinklig zu den Deckschichten nicht in Rechnung zu stellen.

ANMERKUNG: Schrauben sind je nach Durchmesser Stabdübeln oder Nägeln zuzuordnen. Schrauben mit einem $d \leq 8$ mm sind als Nägel und mit $d > 8$ mm als Stabdübel zu betrachten.

ρ_k ... charakteristischer Wert der Rohdichte in kg/m^3

d ... Verbindungsmitteldurchmesser in mm

t ... Dicke der Spansperrholzplatte in mm

Tabelle 8.2 Charakteristische Werte der Lochleibungsfestigkeit $f_{h,k}$ in N/mm^2

Abb.6.4: Charakteristische Werte Lochleibungsfestigkeit [35]

Aufgrund des Durchmessers von 10 mm werden die Schrauben Stabdübeln zugeordnet.

Charakteristischer Wert der Lochleibungsfestigkeit in Faserrichtung:

$$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01 d) \cdot \rho_k = 0,082(1 - 0,01 \cdot 10) \cdot 430 = 31,73 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Der Kraftangriff erfolgt unter dem Winkel $\alpha = 90^\circ$, weshalb die Lochleibungsfestigkeit noch umgerechnet werden muss.

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{31,73}{1,5 \cdot \sin 90^\circ{}^2 + \cos 90^\circ{}^2} = 21,16 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Bemessungswert der Lochleibungsfestigkeit:

$$f_{h,\alpha,d} = \frac{f_{h,\alpha,k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{21,16 \cdot 0,8}{1,25} = 13,54 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

6.1.1.3 Charakteristisches Fließmoment

Der Wert für das charakteristische Fließmoment wird der technischen Zulassung [87] entnommen.

$$M_{y,k} = 30000 \quad [\text{Nmm}]$$

Bemessungswert des Fließmoment

$$M_{y,d} = \frac{M_{y,k}}{\gamma_{M,St}} = \frac{30000}{1,1} = 27272,7 \quad [\text{Nmm}]$$

6.1.1.4 Bemessungswert der Tragfähigkeit

Bei dieser Verbindung handelt es sich um eine **einschnittige Holz - Stahl - Verbindung** mit einem außenliegenden dünnen Stahlblech.

Als dünnes Stahlblech gelten Bleche, deren Dicke kleiner oder gleich der Hälfte des Durchmessers der Schraube ist.

$$\left(t \leq \frac{d}{2} \right)$$

8.2.4.2 Einschnittige Verbindungen

(1) Der Bemessungswert der Tragfähigkeit einer einschnittigen Stahlblech-Holz-Verbindung mit dünnem Stahlblech ($t \leq 0,5 d$) ist als Mindestwert aus den nachstehenden Gleichungen zu ermitteln:

$$R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} (\sqrt{2} - 1) \cdot f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d \\ \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{h,1,d} \cdot d} + \Delta R_d \end{array} \right.$$

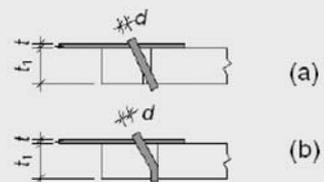


Abb.6.5: Einschnittige Stahl - Holz -Verbindung [35]

Die Dicke des Stahlbleches wurde mit 5 mm gewählt.

Der Bemessungswert der Tragfähigkeit kann bei einschnittigen Verbindungen um den Wert ΔR_d erhöht werden.

$$\Delta R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} R_d \\ 0,25 \cdot R_{ax,d} \end{array} \right\}$$

R_d = Bemessungswert der Tragfähigkeit

$R_{ax,d}$ = Bemessungswert der axialen Schraubentragfähigkeit

$R_{ax,k}$ laut technischer Zulassung:

$$R_{ax,k} = \frac{f_{1,k} \cdot d \cdot l_{ef}}{\sin^2 \alpha + \frac{4}{3} \cos^2 \alpha} = \frac{14,79 \cdot 10 \cdot 70}{\sin^2 90 + \frac{4}{3} \cos^2 90} = 10353 \text{ N}$$

mit:

$$f_{1,k} = 80 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 = 80 \cdot 10^{-6} \cdot 430^2 = 14,79 [\text{N}/\text{mm}^2]$$

l_{ef} = Gewindelänge

$$R_{ax,d} = \frac{R_{ax,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{10353 \cdot 0,8}{1,25} = 6625,9 \quad [\text{N}]$$

$$\Delta R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} 2717,6 \\ 0,25 \cdot 6625,9 = 1656,5 \end{array} \right\}$$

$$R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} (\sqrt{2} - 1) \cdot 13,54 \cdot 115 \cdot 10 = 6449,7 \quad [\text{N}] \\ \sqrt{2 \cdot 27272,7 \cdot 13,54 \cdot 10} + 1656,5 = 4374,12 \quad [\text{N}] \end{array} \right.$$

Gruppenwirkung n_{ef} :

$$n_{ef} = \left[n^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a_1}{10 \cdot d}} \right] \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90} = 1 \cdot \frac{90}{90} = 1$$

Tragfähigkeit pro Reihe:

$$R_{d, \text{Reihe}} = 1 \cdot 1 \cdot 4374,12 = 4374,12 \quad [\text{N}]$$

Tragfähigkeit gesamt:

$$R_{d, \text{gesamt}} = 2 \cdot 4374,12 = 8748,2 \quad [\text{N}]$$

6.1.1.5 Nachweis

$$F_d \leq R_{d, \text{gesamt}}$$

$$7,31 \text{ [kN]} \leq 8,75 \text{ [kN]}$$

6.1.1.6 Quersugnachweis für den Träger

6.7.5 Queranschlüsse

(1) Bei Bauteilen mit Rechteckquerschnitt, die durch eine Krafteinleitung rechtwinklig zur Faserrichtung beansprucht sind (siehe Bild 6.17), dürfen die dadurch verursachten Quersugspannungen wie folgt berücksichtigt werden: Bei Queranschlüssen mit $a > 0,7 h$ ist kein Nachweis erforderlich. Queranschlüsse mit $a < 0,2 h$ dürfen nur durch kurzzeitige Lastenwirkungen (z. B. Windsogkräfte) beansprucht werden.

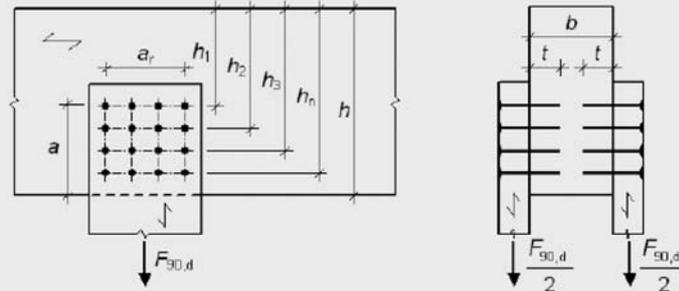


Abb.6.6: Queranschlüsse [35]

Bei diesem Anschluss ist die oberste Verbindungsmittelreihe 23,67 cm vom beanspruchten Rand, der Unterkante des Trägers entfernt. Bei einem Abstand der obersten Verbindungsmittelreihe von $a > 0,7h$ muss nur der Nachweis der Verbindungsmittel geführt werden.

$$a > 0,7 \cdot h \rightarrow 23,67 > 0,7 \cdot 26 = 18,2 \quad [\text{cm}]$$

6.1.2 Anschluss im Bereich des Schrägdachs

Gewählt: pro Anschluss 2 Teilgewinde - Schrauben 10,0 x 120 mm sowie eine Teilgewinde-schraube 10,0 x 120mm zur Sicherung der Platte auf dem Anschlusswinkel. Am Winkel sind steifen angebracht. Die Brettsperrholzplatte wird zur Montage im Bereich der Steifen eingefräst.

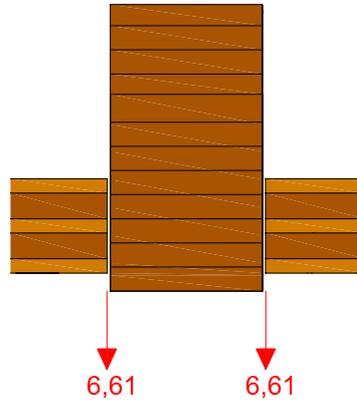
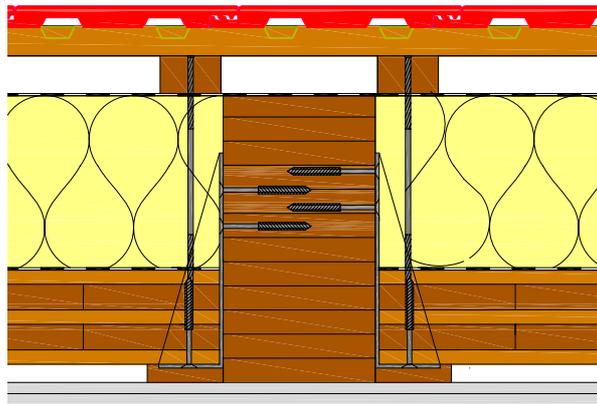


Abb.6.7: zu übertragende Kräfte

Pro Anschluss müssen 6,61 kN aufgenommen werden. (vgl. Anhang 4/2)



1:10

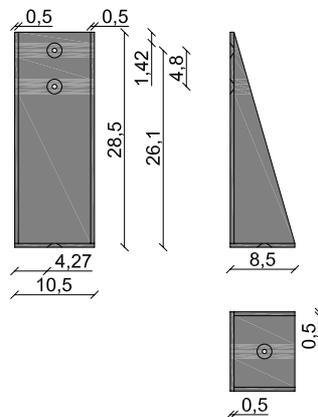


Abb.6.8: Anschluss BSP-Platte-Träger und Darstellung Winkel M 1:10

6.1.2.1 Berechnung der Bemessungswerte

Die Berechnung, der zur Bemessung notwendigen Werte erfolgt wie unter Punkt 6.1.1 dargestellt.

Mindestabstände	in Faserrichtung	a_1	30	mm
	rechtwinklig zur Faserrichtung	a_2	30	mm
	belastetes Hirnholzende	$a_{3,t}$	80	mm
	unbelastetes Hirnholzende	$a_{3,c}$	30	mm
	be- und unbelasteter Rand	$a_{4,t}$ $a_{4,c}$	30	mm
Lochleibungsfestigkeit	in Faserrichtung	$f_{h,0,k}$	31,73	N/mm ²
	unter einem Winkel zur Faser	$f_{h,\alpha,k}$	21,16	N/mm ²
charakteristisches Fließmoment		$M_{y,k}$	30000	Nmm
Bemessungswert Fließmoment		$M_{y,d}$	27272,7	Nmm
Tragfähigkeit Herausziehen		$R_{a,x,k}$	10353	N
Gruppenwirkung		n_{ef}	1	-

Tab.6.2: Zusammenfassung der unter 6.1.1 ermittelten Werte

Im Bereich des Schrägdaches muss eine Kraft von 6,61 kN pro Anschluss übertragen werden. Diese Kraft ergibt sich aus der Lastfallkombination Eigengewicht, Schnee und Wind. Durch diese Kombination ergibt sich ein k_{mod} von 0,9, wodurch die Bemessungswerte neu berechnet werden müssen.

Bemessungswert der Lochleibungsfestigkeit:

$$f_{h, \alpha, d} = \frac{f_{h, \alpha, k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{21,16 \cdot 0,9}{1,25} = 15,2 \quad [\text{N}/(\text{mm}^2)]$$

$$R_{ax, d} = \frac{R_{ax, k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{10353 \cdot 0,9}{1,25} = 7454,2 \quad [\text{N}]$$

$$\Delta R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} 2879,4 \\ 0,25 \cdot 7454,2 = 1863,6 \end{array} \right\}$$

$$R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} (\sqrt{2} - 1) \cdot 15,2 \cdot 115 \cdot 10 = 7240,5 \quad [\text{N}] \\ \sqrt{2 \cdot 27272,7 \cdot 15,2 \cdot 10} + 1863,6 = 4743 \quad [\text{N}] \end{array} \right.$$

Tragfähigkeit pro Reihe:

$$R_{d, \text{Reihe}} = 1 \cdot 1 \cdot 4743 = 4743 \quad [\text{N}]$$

Tragfähigkeit gesamt:

$$R_{d, \text{gesamt}} = 2 \cdot 4743 = 9486 \quad [\text{N}]$$

6.1.2.2 Nachweis

$$F_d \leq R_{d, \text{gesamt}}$$

$$6,61 [\text{kN}] \leq 9,49 [\text{kN}]$$

6.1.2.3 Quersugnachweis für den Träger

Die oberste Verbindungsmittelreihe ist 28,0 cm vom beanspruchten Rand, der Unterkante des Trägers, entfernt. Bei einem Abstand der obersten Verbindungsmittelreihe von $a > 0,7h$ muss nur der Nachweis der Verbindungsmittel geführt werden.

$$a > 0,7 \cdot h \rightarrow 28,0 > 0,7 \cdot 38 = 26,6 \quad [\text{cm}]$$

6.2) Verbindung Deckenbalken - Träger

Die Verbindung wird als gelenkige, einschnittige Stahl-Holz-Verbindung mit Nägel ausgeführt. Die Stabkräfte werden über Nagelbleche angeschlossen die in weiterer Folge über den Gelenkbolzen übertragen werden. Auf den Nagelblechen sind Lochleibungsverstärkungen angeschweißt. (vgl. [72] S.6)

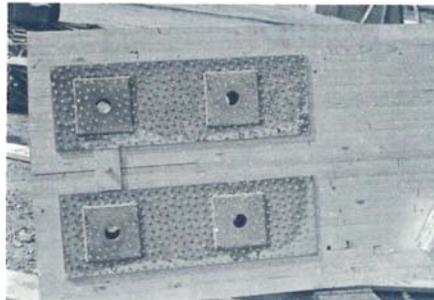


Abb.6.9: Nagelbleche mit angeschweißter Lochleibungsverstärkung (vgl. [72])

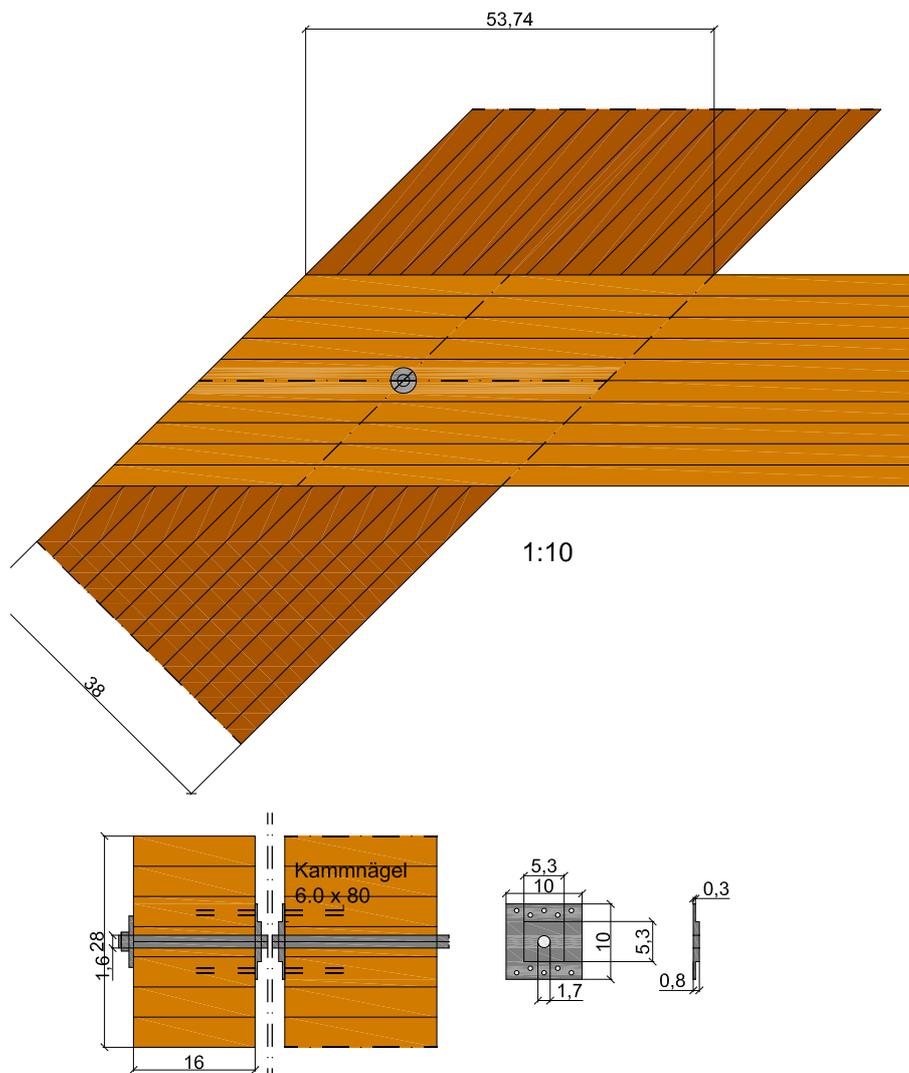


Abb.6.10: Anschluss Deckenbalken-Träger

6.2.1 Abstände

Die Mindestabstände werden lt. [77] ermittelt.

- $a_1 = 25,26\text{mm}$
- $a_2 = 23,87\text{mm}$
- $a_{3,t} = 48,30\text{mm}$
- $a_{3,c} = 42,00\text{mm}$
- $a_{4,t} = 41,50\text{mm}$
- $a_{4,c} = 18,00\text{mm}$

Bei Stahl-Holz-Verbindungen dürfen die Abstände a_1 und a_2 mit 0,7 multipliziert werden.

- $a_1 = 17,68\text{mm}$
- $a_2 = 16,71\text{mm}$

6.2.2 Bemessungswert der Tragfähigkeit

8.2.4.2 Einschnittige Verbindungen

(1) Der Bemessungswert der Tragfähigkeit einer einschnittigen Stahlblech-Holz-Verbindung mit dünnem Stahlblech ($t \leq 0,5 d$) ist als Mindestwert aus den nachstehenden Gleichungen zu ermitteln:

$$R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} (\sqrt{2}-1) \cdot f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d \\ \sqrt{2 \cdot M_{y,d} \cdot f_{h,1,d} \cdot d} + \Delta R_d \end{array} \right.$$


Abb.6.11: einschnittige Stahl-Holz-Verbindung [35]

Die Dicke des Stahlbleches wurde mit 5mm gewählt.

Charakteristischer Wert der Lochleibungsfestigkeit in Faserrichtung:

$$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d) \cdot \rho_k = 0,082(1 - 0,01 \cdot 6) \cdot 430 = 33,14 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Bemessungswert der Lochleibungsfestigkeit:

$$f_{h,0,d} = \frac{f_{h,0,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{33,14 \cdot 0,9}{1,25} = 23,86 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Der Bemessungswert der Tragfähigkeit kann bei einschnittigen Verbindungen um den Wert ΔR_d erhöht werden.

$$\Delta R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot R_d \\ 0,25 \cdot R_{ax,d} \end{array} \right.$$

R_d = Bemessungswert der Tragfähigkeit

$R_{ax,d}$ = Bemessungswert der axialen Schraubentragfähigkeit

$R_{ax,k}$ laut technischer Zulassung:

$$R_{ax,k} = f_{1,k} \cdot d \cdot l_{ef} = 9,25 \cdot 6 \cdot 77 = 4274 \text{ N}$$

mit:

$$f_{1,k} = 50 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 = 80 \cdot 10^{-6} \cdot 430^2 = 9,25 [\text{N/mm}^2]$$

$$R_{ax,d} = \frac{R_{ax,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{4274 \cdot 0,9}{1,25} = 3077,3 \quad [\text{N}]$$

$$\Delta R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot 2223,1 = 1111,6 \\ 0,25 \cdot 3077,3 = 769,3 \end{array} \right\}$$

$$R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} (\sqrt{2} - 1) \cdot 23,86 \cdot 77 \cdot 6 = 4566,0 \quad [\text{N}] \\ \sqrt{2 \cdot 17261,0 \cdot 23,86 \cdot 6} + 769,3 = 2992,40 \quad [\text{N}] \end{array} \right.$$

Gruppenwirkung n_{ef} :

Da die Nägel um den Durchmesser d versetzt angeordnet sind darf mit dem doppelten Abstand a_1 gerechnet werden.

$$n_{ef} = \left[n^{0,9} \sqrt[4]{\frac{2 \cdot a_1}{10 \cdot d}} \right] \cdot \frac{90 - \alpha}{90} + n \cdot \frac{\alpha}{90} = 5^{0,9} \sqrt[4]{\frac{2 \cdot 18}{10 \cdot 6}} \cdot \frac{90 - 77,89}{90} + 5 \cdot \frac{77,89}{90} = 4,8$$

Tragfähigkeit pro Reihe:

$$R_{d, \text{Reihe}} = 1 \cdot 4,8 \cdot 2992,4 = 14363,5 \quad [\text{N}]$$

Tragfähigkeit gesamt:

$$R_{d, \text{gesamt}} = 2 \cdot 14363,5 = 28727,04 \quad [\text{N}]$$

6.2.2.1 Nachweis

$$F_d \leq R_{d, \text{gesamt}}$$

$$23,85 [\text{kN}] \leq 28,70 [\text{kN}]$$

6.2.3 Bemessung Bolzen

Der Bolzen wird auf Abscheren beansprucht. (vgl. [86])

$$F_{v,Rd} = 0,6 \cdot A \cdot 640 / \gamma_{M2} = 0,6 \cdot 201 \cdot 640 / 1,25 = 61747,3 [\text{N}/\text{mm}^2]$$

6.2.3.1 Nachweis

$$F_d \leq R_{d,\text{gesamt}}$$

$$23,85 [\text{kN}] \leq 61,75 [\text{kN}]$$

6.3) Bemessung Rahmeneck

6.3.1 Verbindung Stiel - Träger

Die Rahmenecken werden biegesteif, in Form von Keilzinkenstößen und einem Zwischenstück aus Funiersperrholz (BFU) ausgeführt.

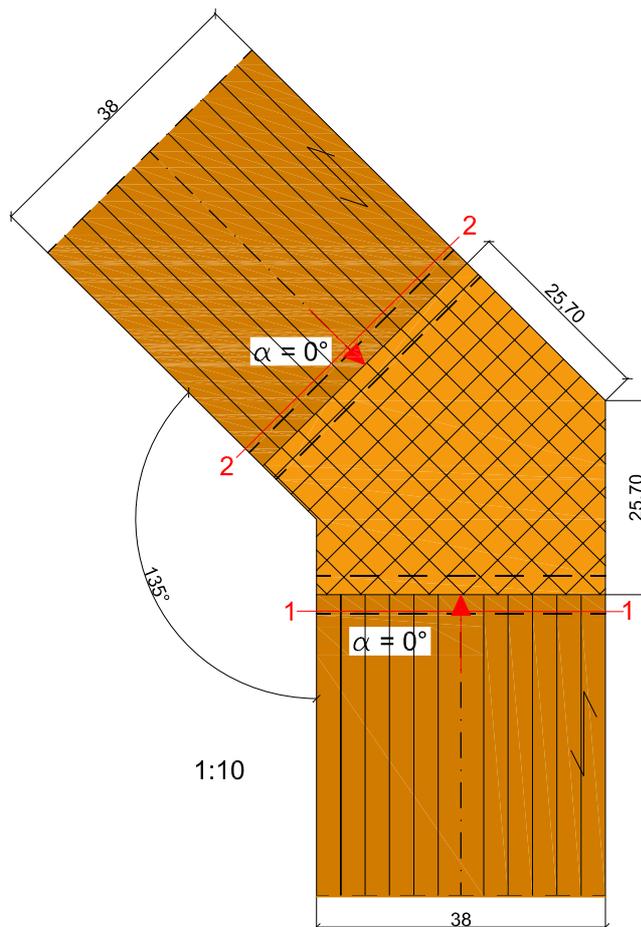


Abb.6.12: Rahmeneck mit Keilzinkung und Zwischenstück aus BFU

6.3.2 Nachweis

Der Nachweis erfolgt laut DIN 1052 [73].

$$\frac{f_{c,0,d}}{f_{c,\alpha,d}} \cdot \left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \right) \leq 1,0$$

mit:

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\sqrt{\left(\frac{f_{c,0,d}}{2 \cdot f_{c,90,d}} \cdot \sin^2 \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{c,0,d}}{2 \cdot f_{v,d}} \sin \alpha \cdot \cos \alpha \right)^2 + \cos^4 \alpha}}$$

- $f_{c,0,d}$ = Druck parallel
- $f_{c,\alpha,d}$ = Druckfestigkeit unter dem Winkel α
- $\sigma_{c,0,d}$ = Normalspannung
- $\sigma_{m,d}$ = Biegespannung
- $f_{m,d}$ = Biegefestigkeit
- $f_{v,d}$ = Schub- und Torsionsfestigkeit
- $f_{c,90,d}$ = Druckfestigkeit rechtwinkelig
- k_c = Knickbeiwert

Bei der Berechnung der Spannungen muss die Querschnittsschwächung durch die Keilzinkung berücksichtigt werden. Ohne genaueren Nachweis werden die Querschnittswerte um 20% verringert.

Infolge von Ästen im Bereich der Keilzinken, müssen die Festigkeiten der vorhandenen Festigkeitsklasse auf die nächst niedrigere Festigkeitsklasse reduziert werden.

Festigkeitsklasse	vorh. GL 32h	GL 28h	k_{mod} = 0,9
$f_{c,0,d}$	20,88	19,08	
$f_{c,90,d}$	2,38	2,16	
$f_{m,d}$	23,04	20,16	
$f_{v,d}$	2,16	2,16	

Tab.6.3: Festigkeitswerte GL 32h und GL 28h

Laut [67 S. 98] sind für Rahmenecken Zinkenprofile mit einer Länge von 50 mm einem t von 12 mm und einem b von 2 mm üblich.

Der Verschwächungsgrad ergibt sich zu:

$$v = \frac{b}{t} = \frac{2}{12} = 0,17$$

Reduzierte Querschnittswerte:

Ohne genauen Nachweis kann die Querschnittsschwächung mit 20% angenommen werden.

Hier wird der oben ermittelte Verschwächungsgrad verwendet.

-) Stiel und Träger

Träger und Stiel haben den selben Querschnitt; $b = 200 \text{ mm}$, $h = 380 \text{ mm}$.

$$A = (1 - v) \cdot b \cdot h = 0,83 \cdot 200 \cdot 380 = 63080 \quad [\text{mm}^2]$$

$$W_y = \frac{(1 - v) \cdot b \cdot h^2}{6} = \frac{0,83 \cdot 200 \cdot 380^2}{6} = 3995066,7 \quad [\text{mm}^3]$$

6.3.2.1 zufolge der Schnittkräfte in 1-1

N	M
- 138,50 kN	- 75,08 kNm

Der Winkel zwischen Krafrichtung und Faserrichtung beträgt $\alpha = 0^\circ$

Berechnung der Druckfestigkeit unter einem Winkel $f_{c,\alpha,d}$:

Aufgrund des Winkel zwischen Krafrichtung und Faserrichtung $\alpha = 0^\circ$ ergibt sich folgende reduzierte Formel:

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\sqrt{\cos^4 \alpha}} = \frac{19,08}{1} = 19,08 \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$\frac{f_{c,0,d}}{f_{c,\alpha,d}} \cdot \left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \right) \leq 1,0$$

Nachweis:

$$\frac{19,08}{19,08} \cdot \left(\frac{138,50 \cdot 10^3}{63080} + \frac{75,08 \cdot 10^6}{3995066,7} \right) = 1 \cdot (0,117 + 0,932) = 1,05$$

Anmerkung: Erforderlicher Nachweis ist geringfügig überschritten.

6.3.2.2 zufolge der Schnittkräfte in 2-2

N	M
- 134,16 kN	- 75,08 kNm

Druckfestigkeit unter einem Winkel $f_{c,\alpha,d}$:

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\sqrt{\cos^4 \alpha}} = \frac{19,08}{1} = 19,08 \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$\frac{f_{c,0,d}}{f_{c,\alpha,d}} \cdot \left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \right) \leq 1,0$$

$$\frac{19,08}{19,08} \cdot \left(\frac{134,16 \cdot 10^3}{0,71 \cdot 19,08} + \frac{75,08 \cdot 10^6}{20,16} \right) = 1 \cdot (0,157 + 0,932) = 1,09$$

Anmerkung: Erforderlicher Nachweis ist geringfügig überschritten.

6.3.3 Verbindung Träger Riegel

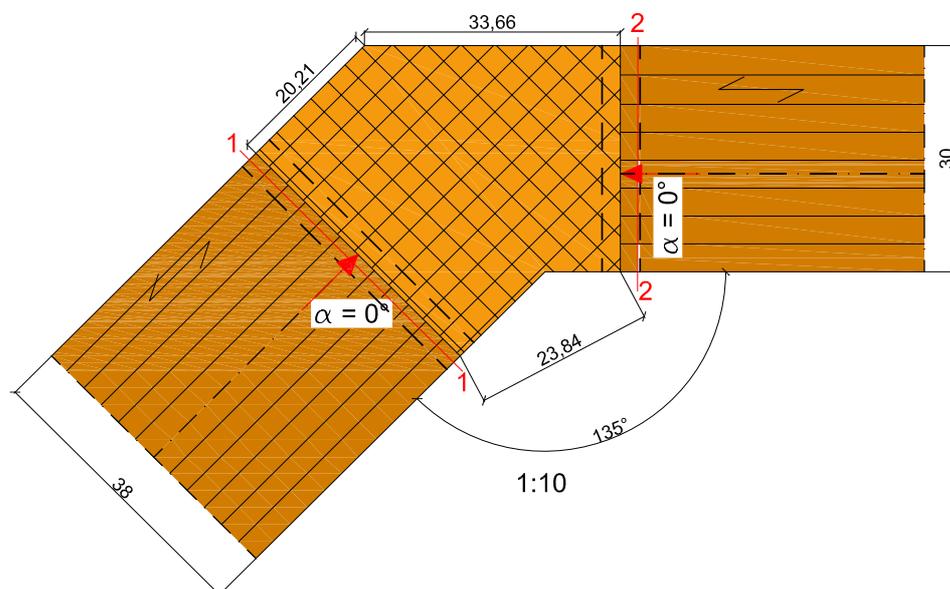


Abb.6.13: Rahmeneck mit Keilzinkung und Zwischenstück aus BFU

Reduzierte Querschnittswerte:

-) Träger

Träger - Querschnitt; $b = 200 \text{ mm}$, $h = 380 \text{ mm}$.

$$A = (1 - v) \cdot b \cdot h = 0,83 \cdot 200 \cdot 380 = 63080 \quad [\text{mm}^2]$$

$$W_y = \frac{(1-\nu) \cdot b \cdot h^2}{6} = \frac{0,83 \cdot 200 \cdot 380^2}{6} = 3995066,7 \quad [\text{mm}^3]$$

•) Riegel

Riegel - Querschnitt; $b = 200 \text{ mm}$, $h = 260 \text{ mm}$.

$$A = (1-\nu) \cdot b \cdot h = 0,83 \cdot 200 \cdot 260 = 43160 \quad [\text{mm}^2]$$

$$W_y = \frac{(1-\nu) \cdot b \cdot h^2}{6} = \frac{0,83 \cdot 200 \cdot 260^2}{6} = 1870266,67 \quad [\text{mm}^3]$$

6.3.4 Nachweis

6.3.4.1 zufolge der Schnittkräfte in 1-1

N	M
- 72,68 kN	-43,54 kNm

Der Winkel zwischen Krafrichtung und Faserrichtung beträgt $\alpha = 0^\circ$

Berechnung der Druckfestigkeit unter einem Winkel $f_{c,\alpha,d}$:

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\sqrt{\cos^4 \alpha}} = \frac{19,08}{1} = 19,08 \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$\frac{f_{c,0,d}}{f_{c,\alpha,d}} \cdot \left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \right) \leq 1,0$$

Nachweis:

$$\frac{19,08}{19,08} \cdot \left(\frac{\frac{72,68 \cdot 10^3}{63080}}{0,59 \cdot 19,08} + \frac{\frac{43,54 \cdot 10^6}{3995066,7}}{20,16} \right) = 1 \cdot (0,102 + 0,541) = 0,64$$

6.3.4.2 zfolge der Schnittkräfte in 2-2

N	M
- 69,77 kN	- 43,54 kNm

Druckfestigkeit unter einem Winkel $f_{c,\alpha,d}$:

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\sqrt{\cos^4 \alpha}} = \frac{19,08}{1} = 19,08 \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$\frac{f_{c,0,d}}{f_{c,\alpha,d}} \cdot \left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \right) \leq 1,0$$

$$\frac{19,08}{19,08} \cdot \left(\frac{69,77 \cdot 10^3}{0,75 \cdot 19,08} + \frac{43,54 \cdot 10^6}{20,16} \right) = 1 \cdot (0,113 + 1,155) = \underline{1,27} \quad \times$$

Da der Nachweis nicht erfüllt werden konnte, ist es im Bereich des Riegels notwendig den Querschnitt zu erhöhen. Als neuer Querschnitt wird ein Rechteckquerschnitt mit einer Breite von 200mm und einer Höhe von 300mm gewählt.

Riegel - Querschnitt; $b = 200 \text{ mm}$, $h = 300 \text{ mm}$.

$$A = (1 - v) \cdot b \cdot h = 0,83 \cdot 200 \cdot 300 = 49800 \quad [\text{mm}^2]$$

$$W_y = \frac{(1 - v) \cdot b \cdot h^2}{6} = \frac{0,83 \cdot 200 \cdot 300^2}{6} = 2490000 \quad [\text{mm}^3]$$

$$\frac{19,08}{19,08} \cdot \left(\frac{69,77 \cdot 10^3}{0,75 \cdot 19,08} + \frac{43,54 \cdot 10^6}{2490000} \right) = 1 \cdot (0,098 + 0,867) = \underline{0,97}$$

6.4) Montagestoß Riegel

In der Mitte des Rahmenriegels wird ein Montagegelenk eingeführt. Gewählt wurde eine Stahl-Holz Verbindung mit Vollgewinde-Holzschrauben, die unter einem Winkel von 45° eingetrieben werden. Verwendet werden insgesamt 12 Schrauben mit einem Durchmesser von 10mm. Diese Schrauben werden durch das Moment und die auftretende Normalkraft auf Herausziehen beansprucht. Die Querkraft wird über das angeschlossene Stahlblech in den Riegel übertragen.

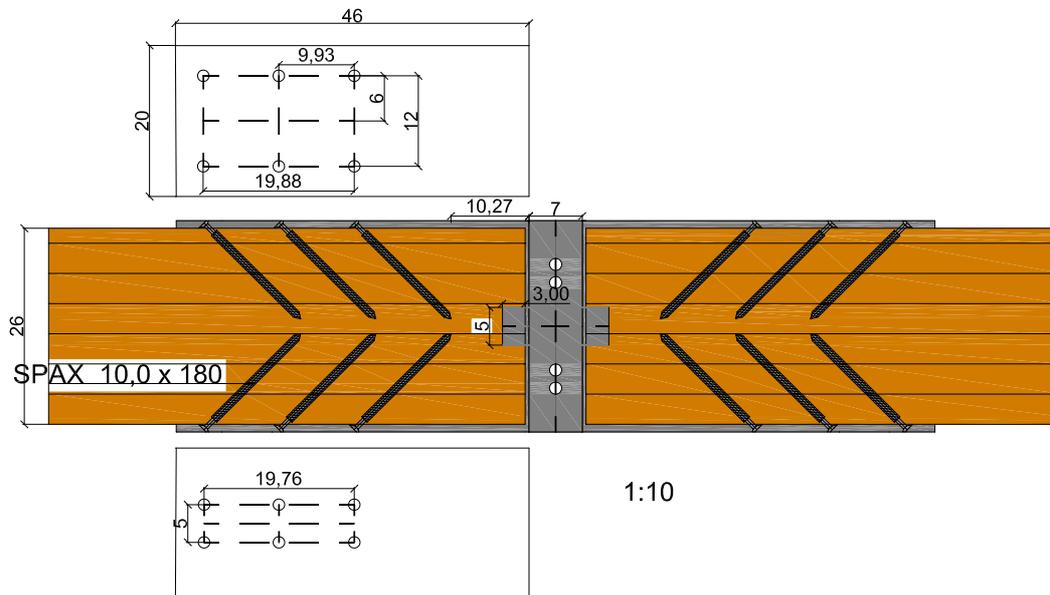


Abb.6.14: Ausbildung Montagestoß

6.4.1 Abstände

Die Mindestabstände wurden lt. [77]

$$\begin{aligned}
 a_1 &= 7d = 70\text{mm} \\
 a_{1,CG} &= 10d = 100\text{mm} \\
 a_2 &= 5d = 50\text{mm} \\
 a_{2,CG} &= 4d = 40\text{mm}
 \end{aligned}$$

6.4.2 Bemessungswert der Tragfähigkeit auf Herausziehen

Der charakteristische Wert der Tragfähigkeit wird zufolge der technischen Zulassung [88] ermittelt. Der kleinere Wert aus den beiden Tragfähigkeiten ist der maßgebende.

$$R_{ax,k} = \frac{f_{1,k} \cdot d \cdot l_{ef}}{\sin^2 \alpha + \frac{4}{3} \cos^2 \alpha} = \frac{14,79 \cdot 10 \cdot 165}{\sin^2 45 + \frac{4}{3} \cos^2 45} = 20917,3 \text{ [N]}$$

Der charakteristische Wert des Ausziehparameters wird mit Hilfe der technischen Zulassung [88] ermittelt.

$$f_{1,k} = 80 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 = 80 \cdot 10^{-6} \cdot 430^2 = 14,79 [\text{N}/\text{mm}^2]$$

$$R_{ax, k} = \frac{R_{t, u, k}}{\gamma_{M, \text{Stahl}}} = \frac{28000}{1,3} = 21538,5 \text{ N}$$

Die Tragfähigkeit einer Schraube auf Herausziehen ergibt sich somit zu:

$$R_{ax, d} = \frac{R_{ax, k} \cdot k_{\text{mod}}}{\gamma_M} = \frac{20917,3 \cdot 0,9}{1,25} = 15060,5 \text{ [N]}$$

Nachweis:

vorhandene maßgebende Schnittkräfte

N	M
kN	kNm
-67,77	1,76

Das Moment wird als Kräftepaar mit einem Abstand von 0,13 m angesetzt.

Die vorhandene Kraft, die die Schraube auf Herausziehen beansprucht ergibt sich wie folgt:

$$\frac{6,94}{\cos 45} = 9,81 \text{ [kN]}$$

Nachweis der Tragfähigkeit pro Schraube:

$$F_{a(x, d)} = 9,81 \leq R_{ax, d} = 15,1 \text{ [kN]}$$

Gesamttragfähigkeit der Verbindung:

Pro Reihe werden 3 Schrauben hintereinander in Faserrichtung angeordnet.

$$n_{ef} = n^{0,9} = 3^{0,9} = 2,69$$

$$R_{d, \text{ges}} = 2,69 \cdot 4 \cdot 15060,5 = 162050,4 \cong 162,1 \text{ [kN]}$$

Schlussbetrachtung

Der Einsatz von erneuerbarer Energie im Gebäudebereich gewinnt immer mehr an Bedeutung. Der Energieverbrauch soll bis 2020 im Bereich Gebäude um 10% verringert werden. Zur Erreichung dieses Zieles ist es notwendig, dass Neubauten als „Fast-Nullenergiegebäude“ ausgeführt werden und die Anzahl der Sanierungen bei Wohngebäuden ansteigt. Auch die baulichen Anforderungen an Nichtwohngebäude hinsichtlich ihrer Qualität müssen verbessert werden.

Durch den Einsatz von erneuerbaren Energieträgern im Gebäudebereich ist es möglich, Wärme und Strom zu erzeugen. Zu den erneuerbaren Energien zählen Wasserkraft, Windkraft, Solarthermie, Photovoltaik, Geothermie und Biomasse. Die Wasserkraft, die Windkraft und die Photovoltaik werden zur Stromerzeugung genutzt. Durch Solarthermie wird Wärme bereitgestellt und durch Biomasse und Geothermie kann sowohl Wärme als auch Strom, durch unterschiedliche Verfahren produziert werden. Wichtig ist hier, dass alle Formen der erneuerbaren Energie, abgesehen von der tiefen Erdwärme, direkt oder indirekt von der Sonneneinstrahlung abhängen.

Ein großes Potenzial liegt in der Stromerzeugung durch die Photovoltaik. Ein Ausbau bis 11 PJ ist bis 2020 möglich, wobei eine jährliche Installation von 254 MW notwendig wäre.

Bei den am Schrägdach und am Flachdach angebrachten Photovoltaikanlagen müssen trotz der nicht optimalen Ausrichtung, welche bei einer Ausrichtung der Module nach Süden und bei einer Dachneigung von 35° erreicht wird, nur 5% Verluste in Kauf genommen werden. Die drei geplanten Wohneinheiten können beinahe zur Gänze mit Strom, welcher von den Photovoltaikanlagen produziert wird, versorgt werden.

Die Umsetzung eines Dachausbaus mit Brettschichtholz-Rahmen in Verbindung mit Brettsperrholzelementen stellt eine gute Möglichkeit dar.

Bei der Bemessung der Rahmen stellen die Verbindungen das größte Problem dar. Bei einem Dachausbau mit diesem System ist es notwendig die Verbindungen der einzelnen Rahmenknoten genau zu betrachten.

Vor allem die Keilzinkenverbindung der biegesteifen Rahmenecken erweist sich, aufgrund der vorgeschriebenen Abminderung des Querschnitts um rund 20% und der Abminderung der Festigkeitswerte auf die nächst niedere Festigkeitsklasse, als schwierig.

Im Bereich des Montagestoßes ist es notwendig die Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel in der statischen Berechnung zu berücksichtigen.

Die Verbindung von Träger und Deckenbalken wird gelenkig, mit Hilfe von Nagelblechen die die Normal- und Querkräfte übertragen ausgeführt. Bei der Verwendung von Schrauben, Paßbolzen oder Stabdübel entsteht zufolge der Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel eine Momentenbeanspruchung. Das vorhandene Moment, kann über die Verbindungsmittel nicht aufgenommen werden, da die Mindestabstände nicht mehr eingehalten werden können.

Aus bauphysikalischer Sicht werden die Anforderungen bezüglich Wärme- und Feuchteschutz erfüllt. Der Trittschallschutz-Nachweis der Geschossdecke konnte aufgrund der zu geringen Masse der Brettsperrholzelemente mit dem vorgesehenen Aufbau nicht erfüllt werden. Ein Vorschlag für einen geeigneten Aufbau, um die geforderten 48 dB zu erreichen, wurde gegeben.

1 Literatur- und Quellenverzeichnis

1 Literaturverzeichnis

- [1] ANTONY Falk; DÜRSCHNER Christian; REMMERS Karl-Heinz: Photovoltaik für Profis Verkauf, Planung und Montage von Solaranlagen; 2. vollständig überarbeitete Auflage, Solarpraxis AG Berlin 2009, ISBN 978-3-933634-24-5
- [2] BIERMAYR Peter; WEISS Werner; BERGMANN Irene; GLÜCK Natalie; STUKELJ Simon; FECHNER Hubert: Erneuerbare Energie in Österreich Marktentwicklung 2008 Photovoltaik, Solarthermie und Wärmepumpen Erhebung für die internationale Energie-Agentur (IEA); Herausgeber: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie Berichte aus Energie- und Umweltforschung 16/2009
- [3] BOSCH SOLAR ENERGY AG; Bilder; <http://www.bosch-presse.de/TBWebDB/bosch-pbj/de-DE/CategoryBrowse.cfm?CFID=10258221&CFTOKEN=a68c72fe6de58afd-75E54CF7-9C2F-BC44-C080A7FD6CDFB6A0&cid=302> Zugriff: 25.09.2010
- [4] BRAMAC; Dachsysteme International GmbH; www.bramac.at/produkte/dachsteine/bramac-tegalit.html#ifmltcontent-125-4 Zugriff: 25.09.2010
- [5] BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND ENERGIE; www.lebensministerium.at/Umwelt/Fotoservice/Umwelt/Energie; <http://fotoservice.lebensministerium.at/imagecatalogue/image/list/17185>; letzter Zugriff: 25.09.2010
- [6] BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT; Erneuerbare Energie 2020 Potenziale und Verwendung in Österreich; März 2009; http://energiestrategie.at/images/stories/pdf/02_bmlfuw_09erneuerbare2020.pdf; Zugriff:25.09.2010
- [7] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, FAMILIE UND JUGEND, BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT; Eckpunkte der Energiestrategie Österreich; www.energiestrategie.at/images/stories/pdf/PKPapier/eckpunkte_energiestrategie_100311.pdf; Zugriff: 25.09.2010
- [8] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, FAMILIE UND JUGEND, BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT; Eckpunkte für eine Energiestrategie Österreich; www.energiestrategie.at/images/stories/eckpunkte_energiestrategie.pdf; Zugriff: 25.09.2010
- [9] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, FAMILIE UND JUGEND, BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT; EnergieStrategie Österreich Maßnahmenvorschläge; März 2010; www.energiestrategie.at/images/stories/pdf/longversion/energiestrategie_oesterreich.pdf; Zugriff: 25.09.2010

-
- [10] BUNDESVERBAND PHOTOVOLTAIC AUSTRIA; 100% saubere Energie - so geht es;
[http://www.pvaustria.at/upload131/
Artikel_100%20Prozent%20saubere%20Energie%20so%20geht%20es.pdf](http://www.pvaustria.at/upload131/Artikel_100%20Prozent%20saubere%20Energie%20so%20geht%20es.pdf);
Zugriff:25.09.2010
- [11] COVERIT; Flachdachabdichtungs GmbH; www.coverit.at
- [12] DATAHOLZ; Trenndecke - Holzmassivbau, abgehängt, nass, [http://www.dataholz.com/
Public/pdfcache/de/tdmnxa01a-0.pdf](http://www.dataholz.com/Public/pdfcache/de/tdmnxa01a-0.pdf); letzter Zugriff: 25.09.2010
- [13] DELLA PIETRA Regina; Dachgeschossausbauten mit Brettsperrholz; Masterarbeit, Institut für Holzbau und Holztechnologie, Juni 2010
- [14] DRACHMANN Philip; Farbstoff-Solarzellen und Organische Photovoltaik: Dritte Generation der Dünnschicht-Technologie vor dem Durchbruch 19.11.2009; Der Solarserver Das Internetportal zur Sonnenenergie; Solar-Report; [http://www.solarserver.de/solarmagazin/
index.html](http://www.solarserver.de/solarmagazin/index.html); letzter Zugriff: 25.09.2010
- [15] ENERGIEBERATUNG NIEDERÖSTERREICH; [www.energieberatung-noe.at/
start.asp?b=6655](http://www.energieberatung-noe.at/start.asp?b=6655); letzter Zugriff: 25.09.2010
- [16] ENERGIE-CONTROL GmbH: Engpassleistung nach Größenklassen; [www.e-control.at/
Statistik/Elektrizitätsstatistik/Bestandstatistik/Verteilungs- und Erzeugungsanlagen 2008/
Engpassleistung nach Größenklassen](http://www.e-control.at/Statistik/Elektrizitätsstatistik/Bestandstatistik/Verteilungs-undErzeugungsanlagen2008/EngpassleistungnachGrößenklassen); [http://e-control.at/portal/page/portal/medienbi-
bliothek/statistik/dokumente/xls/strom/2008/BeStGesKW1EPLKls-2008.xls](http://e-control.at/portal/page/portal/medienbibliothek/statistik/dokumente/xls/strom/2008/BeStGesKW1EPLKls-2008.xls); letzter
Zugriff: 26.09.2010
- [17] ENERGIE-CONTROL GmbH: Ökostrombericht 2009; [www.e-control.at/Publikationen/
Berichte/Ökostromberichte/Ökostrombericht2009](http://www.e-control.at/Publikationen/Berichte/Ökostromberichte/Ökostrombericht2009); [http://www.e-control.at/portal/
page/medienbibliothek/oekoenergie/dokumente/pdfs/Oekostrombericht%202009.pdf](http://www.e-control.at/portal/page/medienbibliothek/oekoenergie/dokumente/pdfs/Oekostrombericht%202009.pdf);
letzter Zugriff: 26.09.2010
- [18] ENERGIESPARRATGEBER HSH INSTALLATÖR
- [19] ENERGYTECH.AT; www.energytech.at/Bilder
- [20] ENERGYTECH.AT; energytechnology austria; TechnologiePortrait Photovoltaik arsenal research; <http://www.energytech.at/pdf/photovoltaik.pdf>; letzter Zugriff:26.09.2010
- [21] ENERGYTECH.AT; energytechnology austria; Zellenarten für gebäudeintegrierte Photovoltaik, 04/06; http://www.energytech.at/pdf/artikel2_pv.pdf; letzter Zugriff: 26.09.2010;
- [22] ERTEX SOLARTECHNIK GmbH; www.ertex-solar.at und Daten CD ertexsolar, BIPV, Building, Integrated, Photovoltaics;
- [23] EUROSOLAR AUSTRIA: www.eurosolar.at/EE-Fotoarchiv; [http://www.eurosolar.at/
index.php?option=com_content&task=view&id=26&Itemid=22](http://www.eurosolar.at/index.php?option=com_content&task=view&id=26&Itemid=22), letzter Zugriff:
26.09.2010
- [24] FRONIUS INTERNATIONAL GmbH; www.fronius.com
- [25] GAMERITH Horst, HASLER Ewald: Enzyklopädie der Bauphysik; Skriptenreihe des Institutes für Hoch- und Industriebau S-8-31/2004
- [26] GEIST Hans-Joachim: Photovoltaik-Anlagen planen montieren prüfen warten, 3. Auflage 2009 Elektor Verlag GmbH ISBN 978-3-89576-191-1

- [27] GIESECKE Jürgen; MOSONYI Emil: Wasserkraftanlagen: Planung, Bau, Betrieb, Springer Verlag 2009 ISBN 978-3-54-88988-5
- [28] GÖSELE Karl; SCHÜLE Walter: SCHALL WÄRME FEUCHTE Grundlagen, Erfahrungen und praktische Hinweise für den Hochbau, 8. Auflage 1985 © 1985 Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin ISBN 3-7625-2323-1
- [29] HÄBERLIN Heinrich: Photovoltaik Strom aus Sonnenlicht für Verbundnetz und Inselanlagen; 1. Auflage 2007; AZ Verlag AG ISBN AZ Verlag 978-3-905214-53-9
- [30] HAU Erich: Windkraftanlagen, Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit 4. Auflage Springer Verlag 2009 ISBN 978-3-540-72150-5
- [31] HEIER Siegfried: Nutzung der Windenergie; 5. erweiterte und vollständig überarbeitete Auflage Verlag Solarpraxis AG 2007; ISBN 978-3-934595-63-5
- [32] HEIGERTH Günther, Vorlesungsskriptum Hydraulik WS 2002/2003 Technische Universität Graz, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft
- [33] HELPGV.AT: Klimawandel und seine Folgen; <http://www.help.gv.at/Content.Node/100/Seite.1000200.html>; letzter Zugriff: 26.09.2010
- [34] INSTITUT FÜR HOCHBAU UND BAUPHYSIK, Technische Universität Graz: Formblatt U-Wert Berechnung homogen inhomogen
- [35] INSTITUT FÜR HOLZBAU UND HOLZTECHNOLOGIE; SCHICKHOFER Gerhard: Holzbau Nachweisführungen für Konstruktionen aus Holz; Technische Universität Graz Skriptum 2008/09 Version 1.3.1
- [36] INSTITUT FÜR HOLZBAU UND HOLZTECHNOLOGIE; Holzbau 2 Studienblätter; MOOSBRUGGER Thomas S-4-04/2007
- [37] INTERESSENSGEMEINSCHAFT WINDKRAFT ÖSTERREICH: [www.ig-windkraft.at/Alles über Windkraft/Geschichte der Windkraft](http://www.ig-windkraft.at/Alles%20über%20Windkraft/Geschichte%20der%20Windkraft); [http://www.ig-windkraft.at/index.php?xmlval_ID_KEY\[0\]=1045](http://www.ig-windkraft.at/index.php?xmlval_ID_KEY[0]=1045); letzter Zugriff: 26.09.2010
- [38] INTERESSENSGEMEINSCHAFT WINDKRAFT ÖSTERREICH: [www.ig-windkraft.at/Windkraft aktuell/Wind in Zahlen](http://www.ig-windkraft.at/Windkraft%20aktuell/Wind%20in%20Zahlen); [http://www.ig-windkraft.at/index.php?xmlval_ID_KEY\[0\]=1045](http://www.ig-windkraft.at/index.php?xmlval_ID_KEY[0]=1045); letzter Zugriff: 26.09.2010
- [39] KALTSCHMITT Martin; HARTMANN Hans, HOFBAUER Hermann (Hrsg.): Energie aus Biomasse Grundlagen, Technik, Verfahren; 2. neu bearbeitete Auflage; Springer Berlin Heidelberg 2009 ISBN 978-3-540-8594-6 (Print) ISBN 978-3-540-8595-3 (online)
- [40] KLATSCHMITT Martin; STREICHER Wolfgang; WIESE Andreas (Hrsg.): Erneuerbare Energien Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte; 4. Auflage Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1993,1997,2003 und 2006 ISBN-10 3-540-28204-1; ISBN-13 978-3-540-28204-4
- [41] KAUTSCH Peter, Vorlesungsunterlage Bauphysik LV 219.060 SS2002; Institut für Hochbau & Industriebau
- [42] KLEINE ZEITUNG: Artikel: Klimabericht zeichnet ein Horrorszenario; Ausgabe vom 25. November 2009

-
- [43] KLIMABÜNDNIS ÖSTERREICH GMBH: Der Treibhauseffekt - Das globale Problem des 21. Jahrhunderts; <http://www.klimabuendnis.at/start.asp?ID=102802&b2=0>; Zugriff: 26.09.2010
- [44] KONRAD Frank; Planung von Photovoltaik-Anlagen Grundlagen und Projektierung; 1. Auflage April 2007; Friedr. Vieweg&Sohn Verlag/GWV Fachverlage GmbH ISBN 978-3-8348-0106-7
- [45] LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERÖSTERREICH: Biomasse-Heizungserhebung 2008; [www.lk-noe.at/Downloads/LK Service/Umwelt&Energie/Erneuerbare Energie/Biomasse-Heizungserhebung 2008 pdf](http://www.lk-noe.at/Downloads/LK_Service/Umwelt&Energie/Erneuerbare_Energie/Biomasse-Heizungserhebung_2008.pdf), Zugriff:25.09.2010
- [46] LOOSE Peter: Erdwärmenutzung Versorgungstechnische Planung und Berechnung; 2. überarbeitete Auflage; C. F. Müller Verlag, Hüthig Verlag, Heidelberg 2007; ISBN 978-3-880-7811-9
- [47] LUGMAIR Andreas; FECHNER Hubert; TSCHERNIGG Gundula; Gebäudeintegrierte Photovoltaik; 04/2006; [energytech.at](http://www.energytech.at), [energytechnology austria](http://www.energytechnology.austria); http://www.energytech.at/pdf/artikel_pv0604.pdf; Zugriff: 26.09.2010
- [48] MITTEILUNG DER KOMMISSION AN DEN EUROPÄISCHEN RAT UND DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT, Eine Energiepolitik für Europa {SEK(2007)12}, Brüssel, den 10.01.2007 KOM(2007) 1 endgültig,
- [49] ÖSTERREICHISCHER BIOMASSE - VERBAND: Folder „Best Policy“ für energetische Biomasse-Nutzung http://www.biomasseverband.at/static/mediendatenbank/root01/7.%20Publikationen/Energie-Info_0106.pdf; Zugriff: 26.09.2010
- [50] ÖSTERREICHISCHER BIOMASSE - VERBAND: Folder Biokraftstoffe <http://www.biomasseverband.at/static/mediendatenbank/root01/7.%20Publikationen/Biotreibstoffe.pdf>; Zugriff: 26.09.2010
- [51] ÖSTERREICHISCHER BIOMASSE - VERBAND: Folder Heizen mit Holz <http://www.biomasseverband.at/static/mediendatenbank/root01/7.%20Publikationen/Heizen%20mit%20Holz.pdf>; Zugriff: 26.09.2010
- [52] ÖSTERREICHISCHER BIOMASSE - VERBAND: Folder Holzpellets <http://www.biomasseverband.at/static/mediendatenbank/root01/7.%20Publikationen/Pelletsfalter.pdf>; Zugriff: 26.09.2010
- [53] PREF A Aluminiumprodukte GmbH; www.prefa.at
- [54] Q-CELLS SE; Bilder; http://www.qcells.de/de/unternehmen/presse/media_und_download/bilder/index-4.html; letzter Zugriff: 26.09.2010
- [55] RICCABONA Christoph; BEDNAR Thomas: BAUKONSTRUKTIONSLEHRE 4 Bauphysik, 7., völlig neu überarbeitete Auflage Wien 2008 © MANZ Verlag Schulbuch GmbH, Wien 2008 ISBN 978-3-7068-3270-0
- [56] RICHTLINIE 2009/28/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DER RATES vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinie 2001/77/EG und 2003/30/EG

- [57] SCHARBER M. et al: Die Plastiksolarzelle Entwicklung einer flexiblen Einkapselung zur Erhöhung der Lebenszeit in atmosphärischer Umgebung, Herausgeber: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie Berichte aus Energie- und Umweltforschung 16/2007
- [58] SED ProduktionsgesmbH; <http://www.solardachstein.com>; letzter Zugriff: 26.09.2010
- [59] SELTMANN Thomas: Photovoltaik: Strom ohne Ende Netzgekoppelte Solarstromanlagen optimal Bauen und nutzen; 4. vollständig überarbeitete Auflage, Solarpraxis AG, Berlin ISBN 978-3-934595-89-7
- [60] SOLAR GRAZ GmbH; Die Kraft der Sonne; http://www.solar-graz.at/home/wissenswertes_und_downloads/index.php; letzter Zugriff: 26.09.2010
- [61] STRAUß Karl: Kraftwerkstechnik zur Nutzung fossiler, nuklearer und regenerativer Energiequellen 6. aktualisierte Auflage Springer Verlag 2009 ISBN 978-3-642-01430-7
- [62] SUN4ENERGY PHOTOVOLTAIK; www.photovoltaik.at/Download/S4eP_Einstrahlungskarte.pdf; letzter Zugriff: 26.09.2010
- [63] VERBUND: www.verbund.at/Unternehmen/Medien/Fotos&Grafiken/flickr.com; Zugriff: 26.09.2010
- [64] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE: Erdwärme, Teil IV der Reihe Regenerativ Energien; 1. Auflage 1998; ISBN 3-931384-12-8
- [65] VISSMANN WERKE GmbH&CoKG; www.viessmann.at/Presse/Pressebilder; <http://www.viessmann.at/de/press/pressebilder.html>; Zugriff: 26.09.2010
- [66] WAGEMANN Hans-Günther; ESCHRICH Heinz: Photovoltaik Solarstrahlung und Halbleitereigenschaften Solarzellenkonzepte und Aufgaben, 1. Auflage Juni 2007, B. G. Deubner Verlag ISBN 978-3-8351-0168-5
- [67] WERNER Gerhard; ZIMMER Karlheinz: Holzbau 1 Grundlagen DIN 1052 (neu 2008) und Eurocode 5, 4., neu bearbeitete Auflage © 2009,2004,1999,1996 Springer-Verlag Berlin Heidelberg ISBN 978-3-540-95858-1
- [68] WESSELACH Viktor; SCHABBACH Thomas: Regenerative Energietechnik; Springer Verlag 2009 ISBN 978-3-540-95881-9
- [69] WIKIPEDIA: Die freie Enzyklopädie; <http://www.de.wikipedia.org>; gesucht nach: Geschichte der Windenergienutzung; Savonius; Darrieus;
- [70] WOOD IN SUSTAINABLE DEVELOPMENT CEI-BIOS ROADMAP 2010, Dem Klimawandel mit Holz entgegen; www.cei-bois.org; Zugriff: 26.09.2010
- [71] ZÜRCHER Christoph; FRANK Thomas: Bauphysik Bau und Energie, Leitfaden für Planung und Praxis 2., durchgesehene und aktualisierte Auflage 2004 © vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, Herausgeber Christoph Zürcher ISBN 3-7281-2922-4
- [72] INFORMATIONSDIENST HOLZ, Anschlüsse im Ingenieur-Holzbau, Entwicklungsgemeinschaft Holzbau (EGH) in der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung, München; Mai 1987 ISSN-Nr. 0446-2114

2 Normen

- [73] DIN 1052: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken - Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau; Dezember 2008
- [74] ÖNORM B 1991-1-1 Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau - Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1991-1-1 und nationale Ergänzungen
- [75] ÖNORM B 1991-1-3 Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen - Schneelasten - Nationale Festlegungen zur ÖNORM EN 1991-1-3, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen
- [76] ÖNORM B 1991-1-4 Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten - Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1991-1-4 und nationale Ergänzungen
- [77] ÖNORM EN 1995-1-1 Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten
- [78] ÖNORM B8110-2 Ausgabe: 2003-07-01 Wärmeschutz im Hochbau Teil 2 Wasserdiffusion und Kondensationsschutz
- [79] ÖNORM B8110-2 Beiblatt 1 Ausgabe: 2003-07-01 Wärmeschutz im Hochbau Teil 2 Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz- Formblatt für die Temperatur- und Wasserdampfdiffusions-Berechnung
- [80] ÖNORM B8115-1 Ausgabe 2002-02-01, Schallschutz und Raumakustik im Hochbau Teil 1: Begriffe und Einheiten
- [81] ÖNORM B8115-2 Schallschutz und Raumakustik im Hochbau, Teil 2: Anforderungen an den Schallschutz
- [82] ÖNORM B8115-4 Ausgabe 2003-09-01, Schallschutz und Raumakustik im Hochbau Teil 4: Maßnahmen zur Erfüllung der schalltechnischen Anforderungen
- [83] ÖNORM EN 1991-1-1 „Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen - Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau“
- [84] ÖNORM EN 1991-1-3 „Eurocode 1: Grundlagen der Tragwerksplanung und Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-3: Einwirkungen auf Tragwerke - Schneelasten“
- [85] ÖNORM EN 1991-1-4 „Eurocode 1: Grundlagen der Tragwerksplanung und Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Einwirkungen auf Tragwerke - Windlasten“
- [86] ÖNORM EN 1993-1-8 Ausgabe: 2005-11-01 Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten, Teil 1-8: Bemessung von Anschüssen

3 Technische Zulassung

- [87] Deutsches Institut für Bautechnik, Zulassungsnummer: Z-9.1-449, Antragsteller: SPAX International GmbH & Co. KG, Zulassungsgegenstand: SPAX® Schrauben als Holzverbindungsmittel
- [88] Deutsches Institut für Bautechnik, Zulassungsnummer: Z-9.1-519, Antragsteller: SPAX International GmbH & Co. KG, Zulassungsgegenstand: SPAX® Schrauben als Holzverbindungsmittel

4 Datenblätter

- [89] EVALON® SOLAR; Multifunktionale Dachbahnen; enthalten in Produktprospekt EVALON Solar; www.alwitra.de/index.php?id=Evalon-Solar, letzter Zugriff: 25.09.2010
- [90] PRODUKTDATENBLATT 1343 Evalon® V Solar; www.alwitra.de/index.php?id=Evalon-Solar letzter Zugriff: 25.09.2010
- [91] SOLARSTROMMODUL PVT-2xx MAE-C; www.pvt-austria.at/fileadmin/downloads/Datenblaetter/PVAT-2xxMAE-C_235-255_10_de.pdf Zugriff: 03.10.2010; PVT-Austria Photovoltaik Technik GmbH letzter Zugriff: 25.09.2010

5 EDV -Programme

- [92] CLTdesigner; www.cltdesigner.at;
- [93] Dlubal RSTAB 7.03; Das Programm zur Berechnung und Bemessung räumlicher Stabwerke, www.dlubal.de;

2 Abbildungsverzeichnis

1 Energiestrategie Europa und Österreich

Abb.1.1:	Zunahme der Kohlenstoffdioxid-Konzentration [70]	1
Abb.1.2:	Strategiesäulen (vgl. [9] S.31)	5

2 Erneuerbare Energie

Abb.2.1:	Wassermühlen; Abbildung links: © Verbund [63]	13
Abb.2.2:	Wasserkreislauf (vgl. [68] S.115)	14
Abb.2.3:	Flusskraftwerk; Abbildung: © BMLFUW 1998-2010 [5]	16
Abb.2.4:	Bauweisen: a) Blockbauweise, b) Zwillingsbauweise, c) Pfeilerkraftwerk, d) überströmbare Bauweise, e) Buchtenkraftwerk; (vgl. [27] S.104)	16
Abb.2.5:	Laufkraftwerk Freudenau Abbildung: © Verbund [63]	16
Abb.2.6:	Formen von Ausleitungskraftwerken: a) Kanalkraftwerk, b) Schleifenkraftwerk, c) Schlingenkraftwerk; (vgl. [27] S.109)	17
Abb.2.7:	links: Jahresspeicher Kaprun; rechts Wasserspeicher Abbildung: © Verbund [63]	18
Abb.2.8:	Kaplan-Turbine Abbildung: © Verbund [63]	19
Abb.2.9:	Pelton-turbine Abbildung: eurosolar.at/Kleinwasserkraft Österreich [23]	19
Abb.2.10:	Anzahl Laufkraftwerke und Speicherkraftwerke 2008 Datenquelle vgl. [16]	21
Abb.2.11:	Jahreserzeugung und Engpassleistung der gesamten Wasserkraftwerke 2008 vgl. [16]	21
Abb.2.12:	Windrad Podersdorf Abbildung: eurosolar.at/Ing. Martin Litschauer [23]	22
Abb.2.13:	Rotoren mit vertikaler Achse (vgl. [30] S.66)	26
Abb.2.14:	Windrad; Windpark Bruck/Leitha Abbildung: © Verbund [63]	26
Abb.2.15:	Bestandteile einer Windkraftanlage mit horizontaler Achse (vgl. [30] S.71)	27
Abb.2.16:	Windpark Bruck/Leitha Abbildung: © Verbund [63]	28
Abb.2.17:	Windkraft in Österreich 2000 bis 2009 [38]	31
Abb.2.18:	Verteilung der Windkraftanlagen und der installierten Leistung getrennt nach Bundesländern 2009 [38]	31
Abb.2.19:	Strahlung (vgl. [68] S.55)	32
Abb.2.20:	links: Flachkollektor für Aufdachmontage; Mitte: Flachkollektor für Dachintegration; rechts: Vakuumröhrenkollektor Abbildung: energytech.at/Sonnenkraft Vertriebs GmbH [19]	34
Abb.2.21:	Schwimmbadabsorber Abbildung: energytech.at/Firma Kalkgruber [19]	35
Abb.2.22:	Hydrauliksystem für Ein- und Mehrfamilienhäuser Abbildung: energytech.at/AEE Intec [19]	36
Abb.2.23:	installierte Kollektorfläche 1998 - 2008 [2]	37
Abb.2.24:	Anteil Warmwasser- und Kombianlagen 2008 [2]	37
Abb.2.25:	Anordnung von gebohrten und gerammten Sonden (vgl. [40] S. 412)	39
Abb.2.26:	horizontale Wärmeübertrage (vgl.[40] S. 410)	39

Abb.2.27:	Schema Grundwasser-Wärmepumpenanlage (vgl. [40] S.417)	40
Abb.2.28:	Funktionsprinzip Wärmepumpenkreislauf; Abbildung: Viessmann Werke [65]	41
Abb.2.29:	geothermische Heizzentrale zur Nutzung von Thermalwasser (vgl. [40] S. 458)	42
Abb.2.30:	Sonde zur Nutzung der tiefen Erdwärme (vgl. [40] S. 491)	42
Abb.2.31:	Entwicklung des Wärmepumpen-Inlandsmarktes von 1998 bis 2008 nach Kategorien; [2]	45
Abb.2.32:	Wärmepumpensysteme 2007 und 2008 [2]	46
Abb.2.33:	angebaute Biomasse: Mais	47
Abb.2.34:	Nebenprodukte, Rückstände, Abfälle: Baumschnitt, Getreidestroh, Schwemmh Holz	47
Abb.2.35:	sonstige Biomasse: Gülle	47
Abb.2.36:	Brennholz während Lagerung	51
Abb.2.37:	Waldhackgut Abbildung: © BMLFUW 1998 - 2010/Kern [5]	51
Abb.2.38:	Pellets Abbildung: Viessmann Werke [65]	51
Abb.2.39:	Prinzip ORC Prozess; Abbildung: energytech.at [19]	52
Abb.2.40:	links: Rapsfeld, rechts: Sonnenblume; Abbildung: eurosolar.at/Ing. Martin Litschauer [23]	53
Abb.2.41:	Anzahl der errichteten Anlagen in Österreich in den Jahren 2001 bis 2008 [45]	54
Abb.2.42:	installierte Nennwärmeleistung in den Jahren 2001 bis 2008 getrennt nach unterschiedlichen Feuerungsanlagen [45]	55

3 Photovoltaik

Abb.3.1:	Sonne	57
Abb.3.2:	Globalstrahlung an der Erdoberfläche © Solarpraxis AG (vgl. [1] S. 17)	57
Abb.3.3:	Verluste durch Absorption, Reflexion und Streuung (vgl. [26] Photovoltaikanlagen, Geist ISBN 978-89576-191-1)	58
Abb.3.4:	Sonneneinstrahlung bei unterschiedlichem Wetter © Solarpraxis AG (vgl. [59] S. 17)	58
Abb.3.5:	mittlere jährliche Summe der Globalstrahlung auf die horizontale Fläche in Österreich [62]	59
Abb.3.6:	Einstrahlung von 1.000 kWh/m ² entspricht 100 Liter Öl pro m ² © Solarpraxis AG (vgl. [1] S. 23)	59
Abb.3.7:	Bestandteile einer Photovoltaikanlage © Solarpraxis AG (vgl. [1] S. 129)	61
Abb.3.8:	Funktionsweise einer Solarzelle Quelle: Bosch vgl.: [3]	62
Abb.3.9:	links: Siliziumwafer mitte: monokristalline Solarzelle Quelle: Bosch vgl. [3], rechts monokristalline Zelle Vorder- und Rückseite Quelle Q-Cells vgl. [54]	63
Abb.3.10:	polykristalline Zelle Vorder- und Rückseite Quelle: Q-Cells vgl. [54]	64
Abb.3.11:	Module mit CIGS-Solarzellen links: mit Rahmen, rechts: ohne Rahmen Quelle: Q-Cells vgl. [54]	65
Abb.3.12:	mikromorphes Dünnschichtsolarmodul Quelle: Bosch vgl. [3]	65
Abb.3.13:	organische Solarzelle Quelle: Bosch vgl. [3]	66
Abb.3.14:	Glas - Folie Solarmodul © Solarpraxis AG (vgl. [59] S. 66)	67
Abb.3.15:	Verkapselung zwischen zwei Glasplatten © Solarpraxis AG (vgl. [59] S. 67)	67
Abb.3.16:	Zelle - Modul - Generator © Solarpraxis AG (vgl. [59] S. 31)	68
Abb.3.17:	Zentralwechselrichter mit Generatoranschlusskasten © Solarpraxis AG (vgl. [59] S. 80)	69
Abb.3.18:	Stringwechselrichter © Solarpraxis AG (vgl. [1] S. 164)	69
Abb.3.19:	Multistringwechselrichter (vgl. [26] Photovoltaikanlagen, Geist ISBN 978-3-89576-191-1)	70

Abb.3.20:	Modulwechselrichter © Solarpraxis AG (vgl. [1] S. 166).....	70
Abb.3.21:	Reihen- und Parallelschaltung der Module © Solarpraxis AG (vgl. [59] S. 79)	70
Abb.3.22:	Generatoranschlusskasten (vgl. [26] Photovoltaikanlagen, Geist ISBN 978-3-89576-191-1)	71
Abb.3.23:	Aufbau Solarkabel © Solarpraxis AG (vgl. [59] S. 73)	72
Abb.3.24:	Verschiedene Verbindungsmöglichkeiten © Solarpraxis AG (vgl. [59] S. 74)	72
Abb.3.25:	Inselanlage mit Akku (vgl. [26] Photovoltaikanlagen, Geist ISBN 978-3-89576-191-1)	75
Abb.3.26:	vertikale Montage auf Querträgerschienen (vgl. [26] Photovoltaikanlagen, Geist ISBN 978-3-89576-191-1).....	76
Abb.3.27:	Modulhalterung auf Kreuzschienen (vgl. [26]Photovoltaikanlagen, Geist ISBN 978-3-89576-191-1).....	76
Abb.3.28:	Montage auf Kreuzschienen (vgl. [26] Photovoltaikanlagen, Geist ISBN 978-3-89576-191-1).....	76
Abb.3.29:	horizontale montage auf Vertikalschienen (vgl. [26] Photovoltaikanlagen, Geist ISBN 978-3-89576-191-1).....	77
Abb.3.30:	Schwerlastverfahren mit Betonschwellen (vgl.[26] Photovoltaikanlagen, Geist ISBN 978-3-89576-191-1).....	77
Abb.3.31:	Freiaufstellung © Solarpraxis AG (vgl. [1] S. 127)	78
Abb.3.32:	Prozentuale Einstrahlung bei nicht optimaler Ausrichtung der Module © Solarpraxis AG (vgl. [1] S. 228)	80
Abb.3.33:	Mindestabstand der Modulreihen © Solarpraxis AG (vgl. [1] S. 226)	81
Abb.3.34:	Verschattung durch Bäume (vgl. [26] Photovoltaikanlagen, Geist ISBN 978-3-89576-191-1).....	81
Abb.3.35:	installierte PV-Leistung in Österreich 1998-2008 Quelle: [2].....	83
Abb.3.36:	Gesamtleistung der in Betrieb befindlichen Anlagen Quelle: [2]	84
Abb.3.37:	Integrierte Anlage Quelle: ertex-solar [22]	84
Abb.3.38:	Ausführungen mit unterschiedlicher Transparenz, Quelle: ertex-solar [22]	85
Abb.3.39:	unterschiedliche Zellfarben Quelle: ertex-solar [22]	85
Abb.3.40:	Unterschiedliche Formate Quelle: ertex-solar [22]	85
Abb.3.41:	Links: SDS Frankfurter Pfanne mehrere Hersteller; mitte SDS Biber Hersteller INNOTEK; rechts SDS Wiener Tasche Hersteller INNOTEK, Quelle: www.solardachziegel.com [58]	86
Abb.3.42:	Unterschiedliche Verlegearten für 1 kWp-Anlage Quelle: www. solardachziegel.com [58]	86
Abb.3.43:	Solardachplatte Quelle: PREFA [53]	86
Abb.3.44:	3 kWp Anlage netzparallel/braun Quelle: PREFA [53]	87
Abb.3.45:	schichtweiser Aufbau einer EVALON® Solar-Bahn mit UNI-SOLAR®-PV-Modul Quelle: coverit [11].....	87
Abb.3.46:	Kabeldurchführung EVALON® Solar Quelle: coverit [11]	88
Abb.3.47:	Anwendung Quelle PREFA [53]	88
Abb.3.48:	PREFALZ Solar Solarlaminat Quelle: PREFA [53]	88
Abb.3.49:	Flächenbedarf auf unterschiedlichen Untergründen Quelle: PREFA [53]	89
Abb.3.50:	3,05 kWp Anlage Quelle: PREFA [53].....	89
Abb.3.51:	Querschnitt und Abdichtung der Röhren Quelle: coverit [11]	90
Abb.3.52:	System SOLYNDRA® der Firma alwitra links: Aufstellfuß; rechts: höchste Reflexion durch weiße Dachbahn Quelle: coverit [11]	90

4 Anwendungsbeispiel

Abb.4.1:	Ansicht Süd - Ost	91
Abb.4.2:	Ansicht Nord - West	92
Abb.4.3:	erstes Geschoss	93
Abb.4.4:	zweites Geschoss	94
Abb.4.5:	Anordnung der Solarbahnen auf dem Flachdach	95
Abb.4.6:	Abmessungen der multifunktionalen Bahnen.....	96
Abb.4.7:	Anordnung der Photovoltaikmodule auf dem Schrägdach.....	97
Abb.4.8:	Abmessungen Modul am Schrägdach.....	97
Abb.4.9:	Wechselrichter Quelle: Fronius (vgl. [24]).....	98
Abb.4.10:	Ausrichtung des Gebäudes	99
Abb.4.11:	Einstrahlung bezüglich der Ausrichtung und der Neigung der Module auf dem Flachdach Abb.:© Solarpraxis AG (vgl. [1] S.229)	99
Abb.4.12:	Einstrahlung bezüglich der Ausrichtung und der Neigung der Module auf dem Schrägdach,Abb.:© Solarpraxis AG (vgl. [1] S.229)	100
Abb.4.13:	Detailansicht Flachdachaufbau	101
Abb.4.14:	Detailansicht Flachdachaufbau in Richtung der Rahmen	101
Abb.4.15:	Detailansicht Schrägdachaufbau	102
Abb.4.16:	Detailansicht Schrägdachaufbau in Richtung der Rahmenachse	102
Abb.4.17:	Bramac Dachstein Tegalit (vgl. [4])	103
Abb.4.18:	Detailansicht Geschossdecke	103
Abb.4.19:	Detailansicht Geschossdecke in Richtung der Rahmenachse	104
Abb.4.20:	Formbeiwert Schneelasten	108
Abb.4.21:	Unterschiedliche Fälle der Schneelastverteilung	108
Abb.4.22:	Überlagerung Innen- und Außendruck (vgl. [85] S.25).....	111
Abb.4.23:	Einteilung der Flachdachfläche bei Anströmrichtung senkrecht	114
Abb.4.24:	Einteilung der Flachdachfläche bei Anströmrichtung parallel	115
Abb.4.25:	Auszug aus dem Bemessungsprotokoll Geschossdecke Seite 3	122
Abb.4.26:	Auszug aus dem Bemessungsprotokoll Geschossdecke Seite 4	122
Abb.4.27:	Auszug aus dem Bemessungsprotokoll Geschossdecke Seite 7	123
Abb.4.28:	Auszug aus dem Bemessungsprotokoll Geschossdecke Seite 8	123
Abb.4.29:	Auszug aus dem Bemessungsprotokoll Flachdach Seite 3	124
Abb.4.30:	Auszug aus dem Bemessungsprotokoll Flachdach Seite 4	125
Abb.4.31:	Auszug aus dem Bemessungsprotokoll Flachdach Seite 7	126
Abb.4.32:	Auszug aus dem Bemessungsprotokoll Flachdach Seite 8	126
Abb.4.33:	Auszug aus dem Bemessungsprotokoll Schrägdach Seite 3	127
Abb.4.34:	Auszug aus dem Bemessungsprotokoll Schrägdach Seite 4	128
Abb.4.35:	Auszug aus dem Bemessungsprotokoll Schrägdach Seite 7	129
Abb.4.36:	Auszug aus dem Bemessungsprotokoll Schrägdach Seite 8	129
Abb.4.37:	maximale und minimale Normalkräfte in [kN].....	131
Abb.4.38:	maximale und minimale Querkräfte in [kN]	131
Abb.4.39:	maximale und minimale Momente in [kN]	132
Abb.4.40:	maximale und minimale Auflagerkräfte in [kN]	132
Abb.4.41:	Schnittkräfte zufolge maximaler Normalkraft in Träger 1	133
Abb.4.42:	Schnittkräfte zufolge maximalen Moments im Träger 1	134
Abb.4.43:	Querschnitt im Bereich des Trägers 1	134
Abb.4.44:	Schnittkräfte zufolge maximaler Normalkraft in Träger 2	140
Abb.4.45:	Schnittkräfte zufolge maximalen Moments im Träger 2	141
Abb.4.46:	Querschnitt Träger 2	141
Abb.4.47:	Schnittkräfte zufolge maximaler Normalkraft im Riegel.....	145
Abb.4.48:	Schnittkräfte zufolge maximaler Querkraft im Riegel.....	145

Abb.4.49:	Schnittkräfte zufolge maximalen Moments im Riegel	146
Abb.4.50:	Querschnitt Rahmenriegel	146
Abb.4.51:	Schnittkräfte zufolge maximalem Zug im Balken	150
Abb.4.52:	Schnittkräfte zufolge maximalem Druck im Balken	151
Abb.4.53:	Schnittkräfte zufolge maximalem Moments im Balken	151
Abb.4.54:	Querschnitt Deckenbalken	151
Abb.4.55:	Schnittkräfte zufolge maximaler Normalkraft im Stiel 1	156
Abb.4.56:	Schnittkräfte zufolge maximalen Moments im Stiel 1	157
Abb.4.57:	Querschnitt Stiel 1	157
Abb.4.58:	Schnittkräfte zufolge maximaler Normalkraft im Stiel 2.....	161
Abb.4.59:	Schnittkräfte zufolge maximalen Moments im Stiel 2	162
Abb.4.60:	Querschnitt Stiel 2.....	162
Abb.4.61:	Schnittkräfte zufolge maximaler Normalkraft in der Stütze.....	166
Abb.4.62:	Querschnitt Stütze	166

5 Bauphysikalische Berechnung

Abb.5.1:	Wärmedurchgang durch einen Bauteil [25]	171
Abb.5.2:	Detail Aufbau Schrägdach M 1:10	177
Abb.5.3:	Wasserdampfkondensation im Bereich Schrägdach; rot ohne, grün mit Dampfbremse	182
Abb.5.4:	Detail Aufbau Flachdach M 1:10.....	183
Abb.5.5:	Wasserdampfkondensation im Bereich Flachdach: rot ohne, grün mit Dampfsperre.....	187
Abb.5.6:	Detail Aufbau Geschossdecke M 1:10	188
Abb.5.7:	Aufbau Trenndecke mit gefordertem Standard-Trittschallpegel 48 dB.....	191

6 Detailausbildung

Abb.6.1:	BSH-Rahmen M 1:100	193
Abb.6.2:	zu übertragende Kräfte in kN.....	194
Abb.6.3:	Anschluss BSP-Platte Träger und Darstellung Winkel M 1:10	195
Abb.6.4:	Charakteristische Werte Lochleibungsfestigkeit [35]	196
Abb.6.5:	Einschnittige Stahl - Holz -Verbindung [35]	197
Abb.6.6:	Queranschlüsse [35]	199
Abb.6.7:	zu übertragende Kräfte	200
Abb.6.8:	Anschluss BSP-Platte-Träger und Darstellung Winkel M 1:10.....	200
Abb.6.9:	Nagelbleche mit angeschweißter Lochleibungsverstärkung (vgl. [72])	203
Abb.6.10:	Anschluss Deckenbalken-Träger	203
Abb.6.11:	einschnittige Stahl-Holz-Verbindung [35]	204
Abb.6.12:	Rahmeneck mit Keilzinkung und Zwischenstück aus BFU	206
Abb.6.13:	Rahmeneck mit Keilzinkung und Zwischenstück aus BFU	209
Abb.6.14:	Ausbildung Montagestoß	212

3 Tabellenverzeichnis

1 Energiestrategie Europa und Österreich

Tab. 1.1:	Importabhängigkeit und vorhandene Reserven (vgl. [48] S.32)	3
Tab. 1.2:	nationale Gesamtziele, Anteil von Energie aus erneuerbaren Quellen am Endenergieverbrauch 2020 (vgl. [56])	4

2 Erneuerbare Energie

Tab. 2.1:	Anzahl, Engpassleistung und Jahreserzeugung der Wasserkraftwerke in Österreich 2008 vgl.[16]	20
Tab. 2.2:	Windkraftanlagen und installierte Leistung in Österreich 2000 bis 2009 [38]	30
Tab. 2.3:	installierte Kollektorfläche und thermische Leistung unterschiedliche Kollektortypen für die Jahre 1998 - 2008 [2]	36
Tab. 2.4:	Anzahl der verkauften Wärmepumpenanlagen in den Jahren 1998 - 2008 [2]	44
Tab. 2.5:	Anzahl der Wärmepumpen nach unterschiedlichen Wärmequellen in den Jahren 2007 und 2008 [2]	45
Tab. 2.6:	Einteilung Biomasse in angebaute Biomasse, in Nebenprodukte, Abfälle und Rückstände, und in sonstige Biomasse (vgl. [39])	48
Tab. 2.7:	Anzahl und Leistung der installierten Anlagen in Österreich 2001 - 2008; [45]	53

3 Photovoltaik

Tab. 3.1:	Modulwirkungsgrade der unterschiedlichen Zelltypen (vgl. [1] S.133,136)	73
Tab. 3.2:	Benötigte Fläche für 1 kWp bei unterschiedlichem Material ([1] S. 133)	80
Tab. 3.3:	Jährliche installierte PV-Leistung in Österreich [kWpeak] Quelle: [2]	82
Tab. 3.4:	Leistung der in Betrieb befindlichen Anlagen Quelle: [2]	83

4 Anwendungsbeispiel

Tab. 4.1:	Technische Daten Modul 1 und 2 (vgl. Anhang,[11])	95
Tab. 4.2:	Gesamt-Nennleistung der Photovoltaikanlage am Flachdach	96
Tab. 4.3:	Eigengewicht Flachdach inkl. PV	96
Tab. 4.4:	Technische Daten Photovoltaikmodul (vgl. Anhang 6/3, [91])	97
Tab. 4.5:	Gesamt-Nennleistung der Photovoltaikanlage am Schrägdach	98
Tab. 4.6:	Eigengewicht der Schrägdachkonstruktion inkl. PV - Module	98
Tab. 4.7:	Ertrag der PV - Anlagen	100
Tab. 4.8:	Eigengewicht des Flachdachaufbaus	101
Tab. 4.9:	Eigengewicht der Konstruktion im Bereich des Schrägdaches	103

Tab. 4.10:	Eigengewicht der Konstruktion im Bereich der Geschossdecke	104
Tab. 4.11:	Nutzungskategorien laut ([83], Tabelle 6.1).....	105
Tab. 4.12:	charakteristische Werte für Nutzlasten (lt. [74],[83]).....	106
Tab. 4.13:	Nutzungsmerkmale Dächer [83].....	106
Tab. 4.14:	Nutzlasten Kategorie H ([74] S.7)	107
Tab. 4.15:	Zusammenfassung der Bemessungswerte für Nutzlasten	107
Tab. 4.16:	Formbeiwerte für Schneelasten	108
Tab. 4.17:	Geländekategorien und -parameter [76].....	110
Tab. 4.18:	Abmessungen zur Windberechnung	112
Tab. 4.19:	Außendruckbeiwerte und summierte Druckbeiwerte senkrecht zum First.....	112
Tab. 4.20:	Außendruckbeiwerte und summierte Druckbeiwerte parallel zum First	113
Tab. 4.21:	Abmessungen zur Windberechnung	114
Tab. 4.22:	Außendruckbeiwerte Satteldach.....	115
Tab. 4.23:	Kombinationsbeiwerte	116
Tab. 4.24:	Tabelle zur Ermittlung der Querschnittswerte	117
Tab. 4.25:	Verformungsberechnung (vgl. [35] S. B.2/8).....	119
Tab. 4.26:	Festigkeitswerte der Festigkeitsklasse C 24	120
Tab. 4.27:	Festigkeitseigenschaften GL 32h.....	130
Tab. 4.28:	minimale und maximale Schnittkräfte im Träger 1	133
Tab. 4.29:	Querschnittswerte Träger 1	134
Tab. 4.30:	Bemessungsschnittkräfte zufolge maximaler Normalkraft im Träger 1	135
Tab. 4.31:	Bemessungsschnittkräfte zufolge maximalen Moments im Träger 1	137
Tab. 4.32:	zulässige Verformungen	138
Tab. 4.33:	Ermittelte Verformungen im Träger 1	139
Tab. 4.34:	maximale und minimale Schnittkräfte im Träger 2.....	140
Tab. 4.35:	Querschnittswerte Träger 2	141
Tab. 4.36:	Bemessungsschnittkräfte zufolge maximaler Normalkraft im Träger 2.....	142
Tab. 4.37:	Bemessungsschnittkräfte zufolge maximalen Moments im Träger 2	143
Tab. 4.38:	Ermittelte Verformungen im Träger 2	144
Tab. 4.39:	maximale und minimale Schnittkräfte im Riegel.....	145
Tab. 4.40:	Querschnittswerte Riegel.....	146
Tab. 4.41:	Bemessungsschnittkräfte zufolge maximaler Querkraft im Riegel.....	147
Tab. 4.42:	Bemessungsschnittkräfte zufolge maximaler Normalkraft im Riegel	147
Tab. 4.43:	Bemessungsschnittkräfte zufolge maximalen Moments im Riegel.....	148
Tab. 4.44:	Verformungen im Riegel	149
Tab. 4.45:	maximale und minimale Schnittkräfte des Deckenbalkens	150
Tab. 4.46:	Querschnittswerte Deckenbalken	152
Tab. 4.47:	Bemessungsschnittkräfte zufolge Zug im Deckenbalken	152
Tab. 4.48:	Bemessungsschnittkräfte zufolge Druck im Deckenbalken	153
Tab. 4.49:	Bemessungsschnittkräfte zufolge maximalen Moments im Deckenbalken	154
Tab. 4.50:	Verformungen im Deckenbalken.....	155
Tab. 4.51:	maximale und minimale Schnittkräfte im Stiel 1	156
Tab. 4.52:	Querschnittswerte Stiel 1	157
Tab. 4.53:	Bemessungsschnittgrößen zufolge maximaler Normalkraft in Stiel 1	158
Tab. 4.54:	Bemessungsschnittkräfte zufolge maximalen Moments im Stiel 1	159
Tab. 4.55:	Verformungen im Stiel 1	160
Tab. 4.56:	maximale und minimale Schnittkräfte in Stiel 2	161
Tab. 4.57:	Querschnittswerte Stiel 2	162
Tab. 4.58:	Bemessungsschnittkräfte zufolge maximaler Normalkraft im Stiel 2	163
Tab. 4.59:	Bemessungsschnittkräfte zufolge maximalen Moments im Stiel 2.....	164
Tab. 4.60:	Verformungen im Stiel 2	165
Tab. 4.61:	Bemessungsschnittkräfte zufolge der maximalen Normalkraft in der Stütze.....	166
Tab. 4.62:	Querschnittswerte Stütze	166

Tab. 4.63:	Verformungen in der Stütze	168
Tab. 4.64:	Zusammenfassung der Ergebnisse	169

5 Bauphysikalische Berechnung

Tab. 5.1:	Richtwerte für die Wärmeleitfähigkeit unterschiedlicher Materialien ([25] S. 9-10)	172
Tab. 5.2:	Wärmeübergangswiderstände ([55] S.21)	173
Tab. 5.3:	Aufbau und Materialeigenschaften Schrägdach.....	177
Tab. 5.4:	Flächenanteil Dämmung bzw. BSH	177
Tab. 5.5:	U-Wert-Berechnung Schrägdach inhomogener Aufbau; Formblatt [34]	178
Tab. 5.6:	Monatsmittelwert der Temperatur.....	179
Tab. 5.7:	Temperatur- und Wasserdampfdiffusionsberechnung.....	180
Tab. 5.8:	Aufbau und Materialeigenschaften Flachdach.....	183
Tab. 5.9:	U-Wert-Berechnung Flachdach inhomogener Aufbau; Formblatt [34]	184
Tab. 5.10:	Temperatur- und Wasserdampfdiffusionsberechnung Flachdach.....	185
Tab. 5.11:	Temperatur- und Wasserdampfdiffusionsberechnung Flachdach mit Dampfsperre	186
Tab. 5.12:	Aufbau und Materialeigenschaften Geschossdecke	188
Tab. 5.13:	U-Wert-Berechnung Geschossdecke homogener Aufbau; Formblatt [34]	189

6 Detailausbildung

Tab. 6.1:	Abstände für Holzschrauben.....	195
Tab. 6.2:	Zusammenfassung der unter 6.1.1 ermittelten Werte	201
Tab. 6.3:	Festigkeitswerte GL 32h und GL 28h	207

4 CLT - Eingabedaten

1 Geschossdecke



Projekt
Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse

Inhaltsverzeichnis

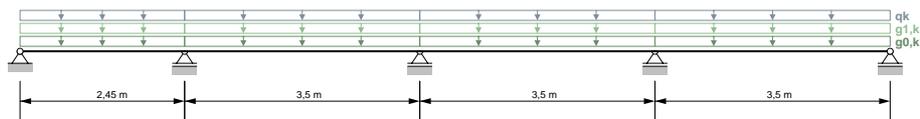
1 Allgemeines	3
2 Statisches System	3
2.1 Auflagerbreiten	3
3 Querschnitt	4
3.1 Schichtaufbau	4
3.2 Materialparameter	4
3.3 Querschnittswerte	5
4 Lasten	5
5 Brandangaben	6
6 Schwingungsangaben	6
7 Ergebnisse	7
7.1 ULS	7
7.1.1 Biegung	7
7.1.2 Schub	7
7.1.3 Auflagerpressung	8
7.2 SLS	8
7.2.1 Durchbiegung	8

1 Allgemeines

Nutzungsklasse 1

2 Statisches System

Durchlaufträger mit 4 Feldern

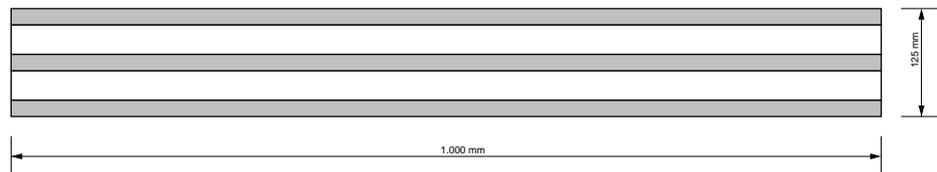


2.1 Auflagerbreiten

Auflager	x	Breite
A	0,0 m	0,2 m
B	2,45 m	0,2 m
C	5,95 m	0,2 m
D	9,45 m	0,2 m
E	12,95 m	0,1 m

3 Querschnitt

benutzerdefinierter Querschnitt
5 Schichten (Breite: 1.000 mm / Höhe: 125 mm)



3.1 Schichtaufbau

Schicht	Höhe	Orientierung	Material
# 1	19 mm	0	C24
# 2	34 mm	90	C24
# 3	19 mm	0	C24
# 4	34 mm	90	C24
# 5	19 mm	0	C24

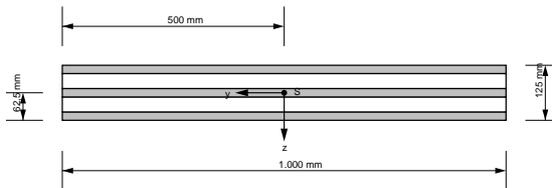
3.2 Materialparameter

Materialparameter für C24	
Biegefestigkeit	24,0 N/mm ²
Zugfestigkeit parallel	14,0 N/mm ²
Zugfestigkeit senkrecht	0,4 N/mm ²
Druckfestigkeit parallel	21,0 N/mm ²
Druckfestigkeit senkrecht	2,5 N/mm ²
Schubfestigkeit	4,0 N/mm ²
Rollschubfestigkeit	1,0 N/mm ²

Materialparameter für C24	
Elastizitätsmodul parallel	11.000,0 N/mm ²
5%-Quantile des Elastizitätsmodul parallel	7.400,0 N/mm ²
Elastizitätsmodul senkrecht	370,0 N/mm ²
Schubmodul	690,0 N/mm ²
Rollschubmodul	69,0 N/mm ²
Dichte	350,0 kg/m ³
Mittelwert Dichte	420,0 kg/m ³

3.3 Querschnittswerte

EA_{ef}	6,522E8 N
EJ_{ef}	1,213E12 N·mm ²
GA_{ef}	1,118E7 N



4 Lasten

Feld	$g_{0,k}$	$g_{1,k}$	q_k	Kategorie	s_k	Höhe/Region	w_k
1	0,6875 kN/m	1,398 kN/m ²	2,5 kN/m ²	A			
2	0,6875 kN/m	1,398 kN/m ²	2,5 kN/m ²	A			
3	0,6875 kN/m	1,398 kN/m ²	2,5 kN/m ²	A			
4	0,6875 kN/m	1,398 kN/m ²	2,5 kN/m ²	A			

5 Brandangaben

Keine Angaben vorhanden

6 Schwingungsangaben

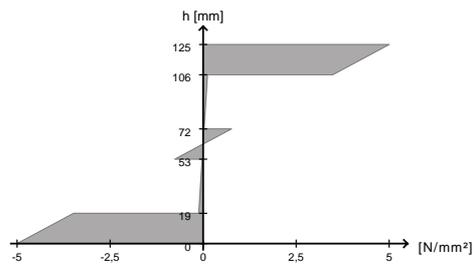
Keine Angaben vorhanden

7 Ergebnisse

7.1 ULS

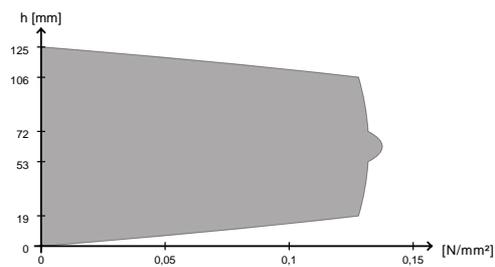
7.1.1 Biegung

Ausnutzung	29,6 %
k_{mod}	0,8
bei x	9,45 m
Grundkombination	$1,35 \cdot g_{0,k} +$ $1,35 \cdot g_{1,k} +$ $1,50 \cdot 1,00 \cdot q_k$



7.1.2 Schub

Ausnutzung	16,5 %
k_{mod}	0,8
bei x	9,45 m
Grundkombination	$1,35 \cdot g_{0,k} +$ $1,35 \cdot g_{1,k} +$ $1,50 \cdot 1,00 \cdot q_k$



7.1.3 Auflagerpressung

Ausnutzung	4,4 %
k_{mod}	0,8
bei x	9,45 m
Grundkombination	$1,35 \cdot g_{0,k} +$ $1,35 \cdot g_{1,k} +$ $1,50 \cdot 1,00 \cdot q_k$



7.2 SLS

7.2.1 Durchbiegung

Ausnutzung	56,2 %
k_{def}	0,85
bei x	11,2 m
Endverformung $w_{net,fin} \quad t = inf$	



2 Schrägdach



Projekt

Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse

Inhaltsverzeichnis

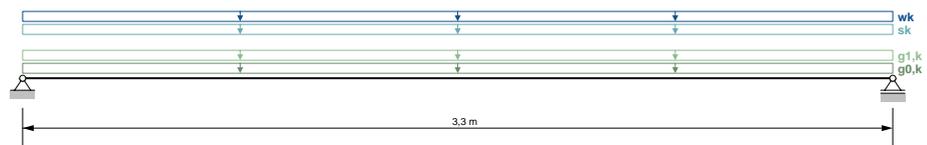
1 Allgemeines	3
2 Statisches System	3
2.1 Auflagerbreiten	3
3 Querschnitt	4
3.1 Schichtaufbau	4
3.2 Materialparameter	4
3.3 Querschnittswerte	5
4 Lasten	5
5 Brandangaben	6
6 Schwingungsangaben	6
7 Ergebnisse	7
7.1 ULS	7
7.1.1 Biegung	7
7.1.2 Schub	7
7.1.3 Auflagerpressung	8
7.2 SLS	8
7.2.1 Durchbiegung	8

1 Allgemeines

Nutzungsklasse 1

2 Statisches System

Durchlaufträger mit 1 Feldern

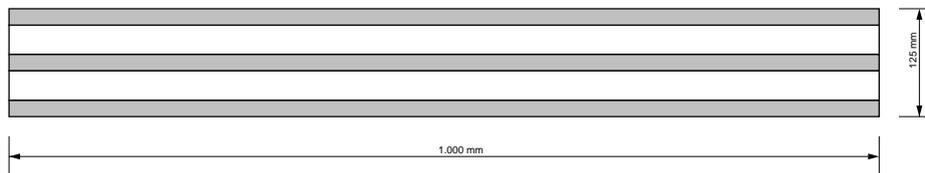


2.1 Auflagerbreiten

Auflager	x	Breite
A	0,0 m	0,05 m
B	3,3 m	0,2 m

3 Querschnitt

benutzerdefinierter Querschnitt
 5 Schichten (Breite: 1.000 mm / Höhe: 125 mm)



3.1 Schichtaufbau

Schicht	Höhe	Orientierung	Material
# 1	19 mm	0	C24
# 2	34 mm	90	C24
# 3	19 mm	0	C24
# 4	34 mm	90	C24
# 5	19 mm	0	C24

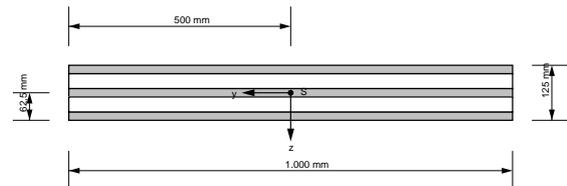
3.2 Materialparameter

Materialparameter für C24	
Biegefestigkeit	24,0 N/mm ²
Zugfestigkeit parallel	14,0 N/mm ²
Zugfestigkeit senkrecht	0,4 N/mm ²
Druckfestigkeit parallel	21,0 N/mm ²
Druckfestigkeit senkrecht	2,5 N/mm ²
Schubfestigkeit	4,0 N/mm ²
Rollschubfestigkeit	1,0 N/mm ²

Materialparameter für C24	
Elastizitätsmodul parallel	11.000,0 N/mm ²
5%-Quantile des Elastizitätsmodul parallel	7.400,0 N/mm ²
Elastizitätsmodul senkrecht	370,0 N/mm ²
Schubmodul	690,0 N/mm ²
Rollschubmodul	69,0 N/mm ²
Dichte	350,0 kg/m ³
Mittelwert Dichte	420,0 kg/m ³

3.3 Querschnittswerte

EA_{ef}	6,522E8 N
EJ_{ef}	1,213E12 N·mm ²
GA_{ef}	1,118E7 N



4 Lasten

Feld	$g_{0,k}$	$g_{1,k}$	q_k	Kategorie	s_k	Höhe/Region	w_k
1	0,6875 kN/m	0,988 kN/m ²			0,778kN/m ²	<1000m	0,64 kN/m ²

5 Brandangaben

Keine Angaben vorhanden

6 Schwingungsangaben

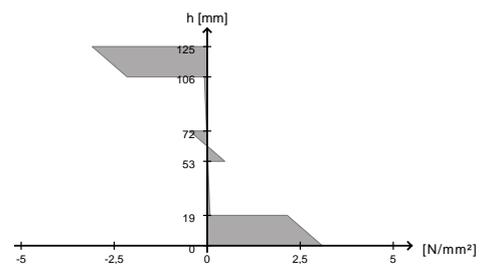
Keine Angaben vorhanden

7 Ergebnisse

7.1 ULS

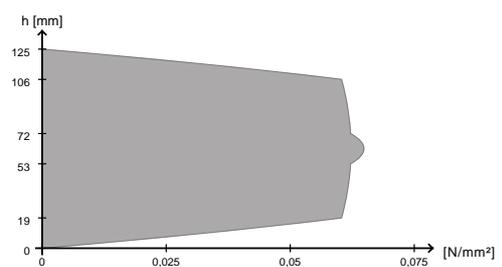
7.1.1 Biegung

Ausnutzung	16,3 %
k_{mod}	0,9
bei x	1,65 m
Grundkombination	$1,35 \cdot g_{0,k} +$ $1,35 \cdot g_{1,k} +$ $1,50 \cdot 1,00 \cdot s_{k} +$ $1,50 \cdot 0,60 \cdot w_k$



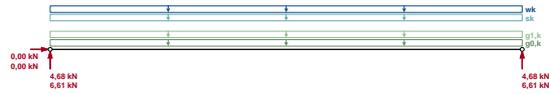
7.1.2 Schub

Ausnutzung	6,9 %
k_{mod}	0,9
bei x	0,0 m
Grundkombination	$1,35 \cdot g_{0,k} +$ $1,35 \cdot g_{1,k} +$ $1,50 \cdot 1,00 \cdot s_{k} +$ $1,50 \cdot 0,60 \cdot w_k$



7.1.3 Auflagerpressung

Ausnutzung	3,9 %
k_{mod}	0,9
bei x	0,0 m
Grundkombination	$1,35 \cdot g_{0,k} +$ $1,35 \cdot g_{1,k} +$ $1,50 \cdot 1,00 \cdot s_k +$ $1,50 \cdot 0,60 \cdot w_k$



7.2 SLS

7.2.1 Durchbiegung

Ausnutzung	45,0 %
k_{def}	0,85
bei x	1,65 m
Endverformung $w_{net,fin}$ t = inf	



3 Flachdach



Projekt

Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse

Inhaltsverzeichnis

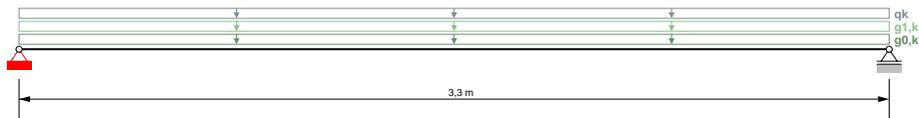
1 Allgemeines	3
2 Statisches System	3
2.1 Auflagerbreiten	3
3 Querschnitt	4
3.1 Schichtaufbau	4
3.2 Materialparameter	4
3.3 Querschnittswerte	5
4 Lasten	5
5 Brandangaben	6
6 Schwingungsangaben	6
7 Ergebnisse	7
7.1 ULS	7
7.1.1 Biegung	7
7.1.2 Schub	7
7.1.3 Auflagerpressung	8
7.2 SLS	8
7.2.1 Durchbiegung	8

1 Allgemeines

Nutzungsstufe 1

2 Statisches System

Durchlaufträger mit 1 Feldern

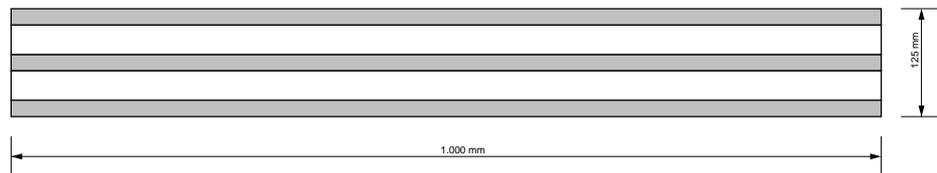


2.1 Auflagerbreiten

Auflager	x	Breite
A	0,0 m	0,05 m
B	3,3 m	0,2 m

3 Querschnitt

benutzerdefinierter Querschnitt
5 Schichten (Breite: 1.000 mm / Höhe: 125 mm)



3.1 Schichtaufbau

Schicht	Höhe	Orientierung	Material
# 1	19 mm	0	C24
# 2	34 mm	90	C24
# 3	19 mm	0	C24
# 4	34 mm	90	C24
# 5	19 mm	0	C24

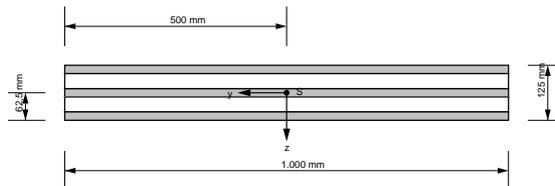
3.2 Materialparameter

Materialparameter für C24	
Biegefestigkeit	24,0 N/mm ²
Zugfestigkeit parallel	14,0 N/mm ²
Zugfestigkeit senkrecht	0,4 N/mm ²
Druckfestigkeit parallel	21,0 N/mm ²
Druckfestigkeit senkrecht	2,5 N/mm ²
Schubfestigkeit	4,0 N/mm ²
Rollschubfestigkeit	1,0 N/mm ²

Materialparameter für C24	
Elastizitätsmodul parallel	11.000,0 N/mm ²
5%-Quantile des Elastizitätsmodul parallel	7.400,0 N/mm ²
Elastizitätsmodul senkrecht	370,0 N/mm ²
Schubmodul	690,0 N/mm ²
Rollschubmodul	69,0 N/mm ²
Dichte	350,0 kg/m ³
Mittelwert Dichte	420,0 kg/m ³

3.3 Querschnittswerte

EA_{ef}	6,522E8 N
EJ_{ef}	1,213E12 N·mm ²
GA_{ef}	1,118E7 N



4 Lasten

Feld	$g_{0,k}$	$g_{1,k}$	q_k	Kategorie	s_k	Höhe/Region	w_k
1	0,6875 kN/m	0,374 kN/m ²	2 kN/m ²	A			

5 Brandangaben

Keine Angaben vorhanden

6 Schwingungsangaben

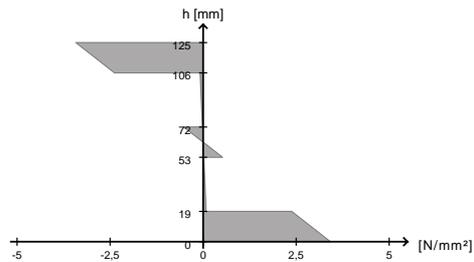
Keine Angaben vorhanden

7 Ergebnisse

7.1 ULS

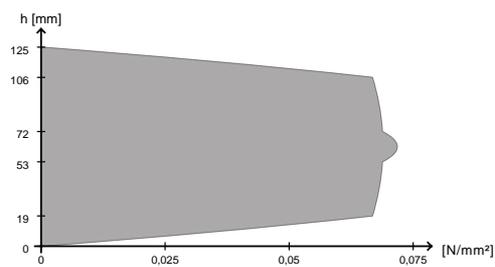
7.1.1 Biegung

Ausnutzung	20,2 %
k_{mod}	0,8
bei x	1,65 m
Grundkombination	$1,35 \cdot g_{0,k} +$ $1,35 \cdot g_{1,k} +$ $1,50 \cdot 1,00 \cdot q_k$



7.1.2 Schub

Ausnutzung	8,6 %
k_{mod}	0,8
bei x	0,0 m
Grundkombination	$1,35 \cdot g_{0,k} +$ $1,35 \cdot g_{1,k} +$ $1,50 \cdot 1,00 \cdot q_k$



7.1.3 Auflagerpressung

Ausnutzung	4,8 %
k_{mod}	0,8
bei x	0,0 m
Grundkombination	$1,35 \cdot g_{0,k} +$ $1,35 \cdot g_{1,k} +$ $1,50 \cdot 1,00 \cdot q_k$



7.2 SLS

7.2.1 Durchbiegung

Ausnutzung	47,3 %
k_{def}	0,85
bei x	1,65 m
Endverformung $w_{net,fin} \quad t = inf$	



5 RSTAB - Eingabedaten

1 Rahmenberechnung



Technische Universität Graz Institut f. Holzbau
Lessingstraße 25/III, 8010 GRAZ
Tel: 316873/6702 - Fax: 316873/6707

Seite: 1/6
Blatt: 1

STRUKTUR

Projekt: **Dachausbau**

Position: **Dachausbau Rahmen**

Datum: 07.10.2010

INHALT

Struktur	1
Knoten	1
Materialien	1
Querschnitte	1
Stabendgelenke	1
Stäbe	1
Knotenlager	2
Stabsätze	2
Belastung	2
LF 1 - Eigengewicht	2
LF 2 - Nutzlast rechts	2
LF 3 - Schnee	2
LF 4 - Schnee halb	3

INHALT

LF 5 - Wind in +X max	3
LF 6 - Wind in +X min	3
LF 7 - Wind in +Y max1	3
LF 8 - Wind in +Y max2	4
LF 9 - Wind in +Y min1	4
LF 10 - Wind in +Y min2	4
LF 11 - Nutzlast1	4
LF 12 - Nutzlast links	4
LF 13 - Schnee halb links	5
Ergebnisse - LF-Kombinationen	5
Stabsätze - Schnittgrößen	5
Querschnitte - Schnittgrößen	5
Knoten - Lagerkräfte	6

KNOTEN

Knoten Nr.	Bezugs-Knoten	Koordinaten System	Knotenkoordinaten		Kommentar
			X [m]	Z [m]	
1	-	Kartesisch	0.000000	0.000000	
2	-	Kartesisch	0.000000	-1.370000	
3	-	Kartesisch	1.255115	-2.625114	
4	-	Kartesisch	1.386000	-2.756000	
5	-	Kartesisch	2.333000	-3.703000	
6	-	Kartesisch	3.313997	-4.683998	
7	-	Kartesisch	4.212000	-5.582000	
8	-	Kartesisch	6.334000	-5.582000	
9	-	Kartesisch	6.504000	0.000000	
10	-	Kartesisch	6.504005	-2.624569	
11	-	Kartesisch	7.954000	-5.582000	
12	-	Kartesisch	8.454000	-5.582000	
13	-	Kartesisch	11.411940	-2.624059	
14	-	Kartesisch	12.193500	-1.842501	
15	-	Kartesisch	12.666000	0.000000	
16	-	Kartesisch	12.666000	-1.370000	

MATERIALIEN

Material Nr.	Material-Bezeichnung	Elast.-Modul E [kN/cm ²]	Schubmodul G [kN/cm ²]	Sp. Gewicht γ [kN/m ³]	Wärmedehnz. α [1/°C]	Beiwert γ_M [-]
1	Brettschichtholz GL32h ÖNORM B 1995-1-1:2009-07	1370.00	85.00	5.00	5.0000E-06	1.250

QUERSCHNITTE

Quers. Nr.	Querschnitts-Bezeichnung	Mater. Nr.	I _T [cm ⁴] A [cm ²]	I _y [cm ⁴] A _y [cm ²]	I _z [cm ⁴] A _z [cm ²]
1	Rechteck 200/380	1	760.00	91453.34	633.33
2	Rechteck 200/380	1	760.00	91453.34	633.33
3	Rechteck 200/260	1	520.00	29293.33	433.33
4	2B 280/200/160	1	896.00	58538.67	746.67
5	Rechteck 200/200	1	400.00	13333.33	333.33

STABENDGELENKE

Gelenk Nr.	Bezugs-system	Gelenk / Feder [kN/m], [kNm/rad]		
		N	V _z	M _y
1	Lokal x,y,z	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	380.000
2	Lokal x,y,z	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	380.000
3	Lokal x,y,z	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Lokal x,y,z	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	551.000
5	Lokal x,y,z	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

STÄBE

Stab Nr.	Stabtyp	Knoten		Drehung Typ	Drehung β [°]	Querschnitt		Gelenk		Exz. Nr.	Teil. Nr.	Länge L [m]	Z
		Anfang	Ende			Anfang	Ende	Anfang	Ende				
1	Balkenstab	1	2	Winkel	0.00	1	1	-	-	-	-	1.3700	Z
2	Balkenstab	2	3	Winkel	0.00	2	2	-	-	-	-	1.7749	XZ
3	Balkenstab	3	4	Winkel	0.00	2	2	-	-	-	-	1.8510	XZ
4	Balkenstab	4	5	Winkel	0.00	2	2	-	-	-	-	1.3392	XZ
5	Balkenstab	5	6	Winkel	0.00	2	2	-	-	-	-	1.3873	XZ





Technische Universität Graz Institut f. Holzbau
 Lessingstraße 25/III, 8010 GRAZ
 Tel: 316873/6702 - Fax: 316873/6707

Seite: 2/6
 Blatt: 1

BELASTUNG

Projekt: **Dachausbau** Position: **Dachausbau Rahmen**

Datum: 07.10.2010

STÄBE

Stab Nr.	Stabtyp	Knoten		Drehung		Querschnitt		Gelenk		Exz. Nr.	Teil. Nr.	Länge L [m]	
		Anfang	Ende	Typ	β [°]	Anfang	Ende	Anfang	Ende				
6	Balkenstab	6	7	Winkel	0.00	2	2	-	-	-	-	1.2699	XZ
7	Balkenstab	3	10	Winkel	0.00	4	4	3	-	-	-	5.2466	X
8	Balkenstab	7	8	Winkel	0.00	3	3	-	1	-	-	2.1219	X
9	Balkenstab	10	9	Winkel	0.00	5	5	5	-	-	-	2.6245	Z
10	Balkenstab	8	11	Winkel	0.00	3	3	2	-	-	-	1.6200	X
11	Balkenstab	11	12	Winkel	0.00	3	3	-	-	-	-	5.0000	X
12	Balkenstab	10	13	Winkel	0.00	4	4	-	3	-	-	4.9079	X
13	Balkenstab	12	13	Winkel	0.00	2	2	-	-	-	-	4.1831	XZ
14	Balkenstab	13	14	Winkel	0.00	2	2	-	-	-	-	1.1052	XZ
15	Balkenstab	14	16	Winkel	0.00	2	2	-	-	-	-	6.6821	XZ
16	Balkenstab	16	15	Winkel	0.00	1	1	-	-	-	-	1.3700	Z

KNOTENLAGER

Lager Nr.	Knoten Nr.	Lagerdrehung [°] um Y	Lagerung bzw. Feder [kN/m] [kNm/rad]		
			u_x	u_z	φ_y
1	9	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	15	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

STABSÄTZE

Satz Nr.	Stabsatz-Bezeichnung	Typ	Stab Nr.	Länge [m]
1	Hauptträger links	Stabzug	2,6	5.956667
2	Hauptträger rechts	Stabzug	13-15	5.956667
3	Rahmenriegel	Stabzug	8,10,11	4.242001
4	Deckenriegel	Stabzug	7,12	10.156824

LF1
Eigengewicht

KNOTENLASTEN

LF1

Nr.	An Knoten Nr.	Kraft[kN]		Moment[kNm] M_y
		P_x	P_z	
1	2,16	0.000	1.732	0.000

STABLASTEN

LF1

Nr.	Beziehen auf	An Stäben Nr. An Stabs. Nr.	Last-Art	Last-Verlauf	Last-Richtung	Bezugs-Länge	Lastparameter		
							Symbol	Wert	Einheit
1	Stäbe	2,3,5,6,13-15	Kraft	Konstant	Z	Wahre Länge	p	5.866	kN/m
2	Stäbe	4	Kraft	Konstant	Z	Wahre Länge	p	4.503	kN/m
3	Stäbe	8,10,11	Kraft	Konstant	Z	Wahre Länge	p	3.999	kN/m
4	Stäbe	7,12	Kraft	Konstant	Z	Wahre Länge	p	7.184	kN/m

LF2
Nutzlast rechts

KNOTENLASTEN

LF2

Nr.	An Knoten Nr.	Kraft[kN]		Moment[kNm] M_y
		P_x	P_z	
1	16	0.000	1.100	0.000

STABLASTEN

LF2

Nr.	Beziehen auf	An Stäben Nr. An Stabs. Nr.	Last-Art	Last-Verlauf	Last-Richtung	Bezugs-Länge	Lastparameter		
							Symbol	Wert	Einheit
1	Stäbe	8,13-15	Kraft	Konstant	Z	Wahre Länge	p	3.500	kN/m
2	Stäbe	10,11	Kraft	Konstant	Z	Wahre Länge	p	7.000	kN/m
3	Stäbe	7,12	Kraft	Konstant	Z	Wahre Länge	p	8.750	kN/m

LF3
Schnee

KNOTENLASTEN

LF3

Nr.	An Knoten Nr.	Kraft[kN]		Moment[kNm] M_y
		P_x	P_z	
1	2,16	0.000	0.820	0.000



RSTAB 7.03.0311 - Räumliche Stabwerke

www.dlupal.de



Technische Universität Graz Institut f. Holzbau
Lessingstraße 25/III, 8010 GRAZ
Tel: 316873/6702 - Fax: 316873/6707

Seite: 3/6
Blatt: 1

BELASTUNG

Projekt: **Dachausbau** Position: **Dachausbau Rahmen** Datum: 07.10.2010

STABLASTEN LF3

Nr.	Beziehen auf	An Stäben Nr. An Stabs. Nr.	Last- Art	Last- Verlauf	Last- Richtung	Bezugs- Länge	Lastparameter		
							Symbol	Wert	Einheit
1	Stäbe	2-6,8,10,13-15	Kraft	Konstant	Z	Projektion Z	p	3.850	kN/m
2	Stäbe	11	Kraft	Konstant	Z	Projektion Z	p	3.850	kN/m

LF4
Schnee halb

KNOTENLASTEN LF4

Nr.	An Knoten Nr.	Kraft[kN]		Moment[kNm] M _y
		P _x	P _z	
1	2	0.000	0.820	0.000
2	16	0.000	0.410	0.000

STABLASTEN LF4

Nr.	Beziehen auf	An Stäben Nr. An Stabs. Nr.	Last- Art	Last- Verlauf	Last- Richtung	Bezugs- Länge	Lastparameter		
							Symbol	Wert	Einheit
1	Stäbe	2-6,8	Kraft	Konstant	Z	Projektion Z	p	3.850	kN/m
2	Stäbe	10,11,13-15	Kraft	Konstant	Z	Projektion Z	p	1.930	kN/m

LF5
Wind in +X max

KNOTENLASTEN LF5

Nr.	An Knoten Nr.	Kraft[kN]		Moment[kNm] M _y
		P _x	P _z	
1	2	0.475	0.475	0.000
2	16	-0.141	0.141	0.000

STABLASTEN LF5

Nr.	Beziehen auf	An Stäben Nr. An Stabs. Nr.	Last- Art	Last- Verlauf	Last- Richtung	Bezugs- Länge	Lastparameter		
							Symbol	Wert	Einheit
1	Stäbe	2-5	Kraft	Konstant	z	Wahre Länge	p	2.240	kN/m
2	Stäbe	6	Kraft	Konstant	z	Wahre Länge	p	2.030	kN/m
3	Stäbe	8,10	Kraft	Konstant	z	Wahre Länge	p	-2.240	kN/m
4	Stäbe	11	Kraft	Konstant	z	Wahre Länge	p	-0.224	kN/m
5	Stäbe	13-15	Kraft	Konstant	z	Wahre Länge	p	0.665	kN/m

LF6
Wind in +X min

KNOTENLASTEN LF6

Nr.	An Knoten Nr.	Kraft[kN]		Moment[kNm] M _y
		P _x	P _z	
1	16	0.707	-0.707	0.000
2	2	-0.098	-0.098	0.000

STABLASTEN LF6

Nr.	Beziehen auf	An Stäben Nr. An Stabs. Nr.	Last- Art	Last- Verlauf	Last- Richtung	Bezugs- Länge	Lastparameter		
							Symbol	Wert	Einheit
1	Stäbe	2-6	Kraft	Konstant	z	Wahre Länge	p	-0.460	kN/m
2	Stäbe	8,10	Kraft	Konstant	z	Wahre Länge	p	-3.360	kN/m
3	Stäbe	11	Kraft	Konstant	z	Wahre Länge	p	-1.330	kN/m
4	Stäbe	13,14	Kraft	Konstant	z	Wahre Länge	p	-1.120	kN/m
5	Stäbe	15	Kraft	Konstant	z	Wahre Länge	p	-0.910	kN/m

LF7
Wind in +Y max1

KNOTENLASTEN LF7

Nr.	An Knoten Nr.	Kraft[kN]		Moment[kNm] M _y
		P _x	P _z	
1	2	0.142	0.142	0.000
2	16	-0.142	0.142	0.000





Technische Universität Graz Institut f. Holzbau
 Lessingstraße 25/III, 8010 GRAZ
 Tel: 316873/6702 - Fax: 316873/6707

Seite: 4/6
 Blatt: 1

BELASTUNG

Projekt: **Dachausbau** Position: **Dachausbau Rahmen** Datum: 07.10.2010

STABLASTEN LF7

Nr.	Beziehen auf	An Stäben Nr. An Stabs. Nr.	Last- Art	Last- Verlauf	Last- Richtung	Bezugs- Länge	Symbol	Lastparameter Wert	Einheit
1	Stäbe	2-6,13-15	Kraft	Konstant	z	Wahre Länge	p	0.670	kN/m
2	Stäbe	8,10,11	Kraft	Konstant	z	Wahre Länge	p	1.120	kN/m

LF8
 Wind in +Y max2

KNOTENLASTEN LF8

Nr.	An Knoten Nr.	Kraft[kN]		Moment[kNm]
		P _x	P _z	M _y
1	2	0.142	0.142	0.000
2	16	-0.142	0.142	0.000

STABLASTEN LF8

Nr.	Beziehen auf	An Stäben Nr. An Stabs. Nr.	Last- Art	Last- Verlauf	Last- Richtung	Bezugs- Länge	Symbol	Lastparameter Wert	Einheit
1	Stäbe	2-6,13-15	Kraft	Konstant	z	Wahre Länge	p	0.670	kN/m
2	Stäbe	8,10,11	Kraft	Konstant	z	Wahre Länge	p	-0.224	kN/m

LF9
 Wind in +Y min1

KNOTENLASTEN LF9

Nr.	An Knoten Nr.	Kraft[kN]		Moment[kNm]
		P _x	P _z	M _y
1	2	-0.335	-0.335	0.000
2	16	0.335	-0.335	0.000

STABLASTEN LF9

Nr.	Beziehen auf	An Stäben Nr. An Stabs. Nr.	Last- Art	Last- Verlauf	Last- Richtung	Bezugs- Länge	Symbol	Lastparameter Wert	Einheit
1	Stäbe	2-6,13-15	Kraft	Konstant	z	Wahre Länge	p	-1.580	kN/m
2	Stäbe	8,10,11	Kraft	Konstant	z	Wahre Länge	p	-0.910	kN/m

LF10
 Wind in +Y min2

KNOTENLASTEN LF10

Nr.	An Knoten Nr.	Kraft[kN]		Moment[kNm]
		P _x	P _z	M _y
1	2	-0.335	-0.335	0.000
2	16	0.335	-0.335	0.000

STABLASTEN LF10

Nr.	Beziehen auf	An Stäben Nr. An Stabs. Nr.	Last- Art	Last- Verlauf	Last- Richtung	Bezugs- Länge	Symbol	Lastparameter Wert	Einheit
1	Stäbe	2-6,13-15	Kraft	Konstant	z	Wahre Länge	p	-1.580	kN/m

LF11
 Nutzlast1

STABLASTEN LF11

Nr.	Beziehen auf	An Stäben Nr. An Stabs. Nr.	Last- Art	Last- Verlauf	Last- Richtung	Bezugs- Länge	Symbol	Lastparameter Wert	Einheit
1	Stäbe	7,12	Kraft	Konstant	z	Wahre Länge	p	8.750	kN/m

LF12
 Nutzlast links

KNOTENLASTEN LF12

Nr.	An Knoten Nr.	Kraft[kN]		Moment[kNm]
		P _x	P _z	M _y
1	2	0.000	1.100	0.000



RSTAB 7.03.0311 - Räumliche Stabwerke

www.dlubal.de



Technische Universität Graz Institut f. Holzbau
Lessingstraße 25/III, 8010 GRAZ
Tel: 316873/6702 - Fax: 316873/6707

Seite: 5/6
Blatt: 1

ERGEBNISSE

Projekt: **Dachausbau** Position: **Dachausbau Rahmen**

Datum: 07.10.2010

■ **STABLASTEN**

LF12

Nr.	Beziehen auf	An Stäben Nr. An Stabs. Nr.	Last- Art	Last- Verlauf	Last- Richtung	Bezugs- Länge	Lastparameter Symbol	Wert	Einheit
1	Stäbe	2-6,8	Kraft	Konstant	Z	Wahre Länge	p	3.500	kN/m
2	Stäbe	10,11	Kraft	Konstant	Z	Wahre Länge	p	7.000	kN/m
3	Stäbe	7,12	Kraft	Konstant	Z	Wahre Länge	p	8.750	kN/m

LF13
Schnee halb links

■ **KNOTENLASTEN**

LF13

Nr.	An Knoten Nr.	Kraft[kN] P _x	P _z	Moment[kNm] M _y
1	16	0.000	0.820	0.000
2	2	0.000	0.410	0.000

■ **STABLASTEN**

LF13

Nr.	Beziehen auf	An Stäben Nr. An Stabs. Nr.	Last- Art	Last- Verlauf	Last- Richtung	Bezugs- Länge	Lastparameter Symbol	Wert	Einheit
1	Stäbe	10,11,13-15	Kraft	Konstant	Z	Projektion Z	p	3.850	kN/m
2	Stäbe	2-6,8	Kraft	Konstant	Z	Projektion Z	p	1.930	kN/m

■ **STABSÄTZE - SCHNITTGRÖSSEN**

Lastfallkombinationen

Stab Nr.	LK	Knoten Nr.	Stelle x [m]	Querkräfte [kN]		Momente M _y [kNm]	Zugehörige Lastfälle
				N	V _z		
Stabzug-Nr. 1: Hauptträger links							
6	LK89	7	1.269970	MAX N	-24.804	-22.68	1.99 LF1,5
2	LK89	2	0.000000	MIN N	-141.39	68.17	-70.93 LF1,12
2	LK89	2	0.000000	MAX V _z	-141.39	68.17	-70.93 LF1,12
6	LK89	7	1.269970	MIN V _z	-65.33	-33.34	-21.47 LF1,12
4	LK89	5	1.339260	MAX M _y	-55.15	0.03	38.69 LF1,4,5,11
2	LK89	2	0.000000	MIN M _y	-136.00	61.59	-71.91 LF1,3,7,11
Stabzug-Nr. 2: Hauptträger rechts							
13	LK89	12	0.000000	MAX N	-30.914	16.56	-13.52 LF1,5
15	LK89	16	0.668217	MIN N	-141.03	-67.85	-70.89 LF1,2
13	LK89	12	0.000000	MAX V _z	-66.85	31.82	-14.23 LF1,2
15	LK89	16	0.668217	MIN V _z	-141.03	-67.85	-70.89 LF1,2
13	LK89	12	3.346530	MAX M _y	-93.23	-0.56	38.08 LF1,2
15	LK89	16	0.668217	MIN M _y	-134.16	-56.48	-75.08 LF1,3,5,11
Stabzug-Nr. 3: Rahmenriegel							
8	LK89	7	0.000000	MAX N	-33.574	1.50	1.99 LF1,5
8	LK89	7	0.000000	MIN N	-70.58	26.53	-26.60 LF1,3,7,11
8	LK89	7	0.000000	MAX V _z	-69.77	33.02	-43.54 LF1,2
11	LK89	12	0.500000	MIN V _z	-69.77	-35.17	-36.28 LF1,12
10	LK89	10	0.567000	MAX M _y	-69.77	0.47	4.64 LF1,2
8	LK89	7	0.000000	MIN M _y	-69.77	33.02	-43.54 LF1,2
Stabzug-Nr. 4: Deckenriegel							
12	LK89	10	0.000000	MAX N	20.974	32.65	-36.17 LF1,3,7
7	LK89	10	5.248890	MIN N	-10.024	-76.34	-77.96 LF1,5,11
12	LK89	10	0.000000	MAX V _z	18.03	73.55	-78.81 LF1,2
7	LK89	10	5.248890	MIN V _z	18.02	-76.50	-78.81 LF1,2
7	LK89	10	2.099560	MAX M _y	-1.09	-2.55	46.28 LF1,11
7	LK89	10	5.248890	MIN M _y	18.02	-76.50	-78.81 LF1,2

■ **QUERSCHNITTE - SCHNITTGRÖSSEN**

Lastfallkombinationen

Stab Nr.	LK	Knoten Nr.	Stelle x [m]	Querkräfte [kN]		Momente M _y [kNm]	Zugehörige Lastfälle
				N	V _z		
Querschnitt-Nr. 1: Rechteck 200/380							
16	LK89		0.000000	MAX N	-85.244	37.20	-50.97 LF1,5
1	LK89		0.000000	MIN N	-152.874	-51.77	0.00 LF1,12
16	LK89		0.000000	MAX V _z	-138.50	54.80	-75.08 LF1,3,5,11
1	LK89		0.000000	MIN V _z	-144.11	-52.48	-0.00 LF1,3,7,11
1	LK89		0.000000	MAX M _y	-117.11	-38.91	0.00 LF1,5,11,13
16	LK89		0.000000	MIN M _y	-138.50	54.80	-75.08 LF1,3,5,11
Querschnitt-Nr. 2: Rechteck 200/380							
6	LK89		1.269970	MAX N	-24.804	-22.68	1.99 LF1,5
2	LK89		0.000000	MIN N	-141.39	68.17	-70.93 LF1,12
2	LK89		0.000000	MAX V _z	-141.39	68.17	-70.93 LF1,12
15	LK89		0.668217	MIN V _z	-141.03	-67.85	-70.89 LF1,2
4	LK89		1.339260	MAX M _y	-55.15	0.03	38.69 LF1,4,5,11
15	LK89		0.668217	MIN M _y	-134.16	-56.48	-75.08 LF1,3,5,11
Querschnitt-Nr. 3: Rechteck 200/260							
8	LK89		0.000000	MAX N	-33.574	1.50	1.99 LF1,5
8	LK89		0.000000	MIN N	-70.58	26.53	-26.60 LF1,3,7,11
8	LK89		0.000000	MAX V _z	-69.77	33.02	-43.54 LF1,2
11	LK89		0.500000	MIN V _z	-69.77	-35.17	-36.28 LF1,12
10	LK89		0.567000	MAX M _y	-69.77	0.47	4.64 LF1,2



RSTAB 7.03.0311 - Räumliche Stabwerke

www.dlupal.de



Technische Universität Graz Institut f. Holzbau
 Lessingstraße 25/III, 8010 GRAZ
 Tel: 316873/6702 - Fax: 316873/6707

Seite: 6/6
 Blatt: 1

ERGEBNISSE

Projekt: **Dachausbau** Position: **Dachausbau Rahmen** Datum: 07.10.2010

■ **QUERSCHNITTE - SCHNITTGRÖSSEN** Lastfallkombinationen

Stab Nr.	LK	Knoten Nr.	Stelle x [m]	Querkräfte [kN]		Momente M _y [kNm]	Zugehörige Lastfälle
				N	V _z		
8	LK89		0.000000	MIN M _y	-69.77	33.02	-43.54 LF1,2
Querschnitt-Nr. 4: 2B 280/200/160							
12	LK89		0.000000	MAX N	20.97	32.65	-36.17 LF1,3,7
7	LK89		5.248890	MIN N	-10.02	-76.34	-77.96 LF1,5,11
12	LK89		0.000000	MAX V _z	18.03	73.55	-78.81 LF1,2
7	LK89		5.248890	MIN V _z	18.02	-76.50	-78.81 LF1,2
7	LK89		2.099560	MAX M _y	-1.09	-2.55	46.28 LF1,11
7	LK89		5.248890	MIN M _y	18.02	-76.50	-78.81 LF1,2
Querschnitt-Nr. 5: Rechteck 200/200							
9	LK89		0.000000	MAX N	-66.21	0.00	0.00 LF1,5
9	LK89		2.624570	MIN N	-150.76	0.00	0.00 LF1,2
9	LK89		0.000000	MAX V _z	-66.38	0.00	0.00 LF1,3,5
9	LK89		0.000000	MIN V _z	-150.05	0.00	0.00 LF1,2
9	LK89		0.000000	MAX M _y	-124.98	0.00	0.00 LF1,7,11,13
9	LK89		0.000000	MIN M _y	-149.94	0.00	0.00 LF1,12

■ **KNOTEN - LAGERKRÄFTE** Lastfallkombinationen

Knoten Nr.	LK		Lagerkräfte [kN]		Lagermomente M _y [kNm]	Zugehörige Lastfälle
			P _x	P _z		
1	LK89	Max P _x	-27.03	87.22	0.00	LF1,5
		Min P _x	-52.49	144.11	0.00	LF1,3,7,11
		Max P _z	-51.77	152.87	0.00	LF1,12
		Min P _z	-32.02	87.19	0.00	LF1,8
9	LK89	Max P _x	0.00	67.19	0.00	LF1,13
		Min P _x	0.00	125.50	0.00	LF1,4,5,11
		Max P _z	0.00	150.76	0.00	LF1,2
		Min P _z	0.00	66.92	0.00	LF1,5
15	LK89	Max P _x	54.80	139.20	0.00	LF1,3,5,11
		Min P _x	32.02	87.15	0.00	LF1,8
		Max P _z	51.75	152.39	0.00	LF1,2
		Min P _z	37.20	85.94	0.00	LF1,5



RSTAB 7.03.0311 - Räumliche Stabwerke

www.dlupal.de

6 technische Datenblätter

1 PRODUKTDATENBLATT 1343 Evalon® V Solar

Produktdatenblatt nach CE
Ausgabe: Aug 08
Produkt: EVALON® V Solar



1343

Produktbezeichnung:	EVALON® V Solar Kunststoffdachbahn nach DIN V 20000-201 DE/E1 EVA-BV-K(PV)-1,8 mit zusätzlich werkseitig aufgebrauchten PV-Modulen
Hersteller/Lieferant:	alwitra GmbH & Co. Am Forst 1 D – 54296 Trier
Herstellerwerk:	Werk Hermeskeil
Art der Anwendung:	Das Produkt dient zur Abdichtung von nicht genutzten Dächern in flacher und geneigter Form und zur direkten Umwandlung von solarer Strahlungsenergie in elektrischen Strom (Errichtung dachintegrierter PV-Anlagen). Bei der Verarbeitung ist die Verlegeanleitung des Herstellers einzuhalten.
FPC Zertifikat Nr.:	1343 – BPR – 06-1432
FPC Zertifizierungs-Erteilung:	06
Europäische Normen:	EN 13956, IEC 61646/CEC 701, geprüft Schutzklasse II für PV-Anlagen bis 1000 VDC (Betriebsspannung)
Produktbeschreibung:	Bitumenverträgliche EVA-Dachbahn, mit effektiver Dicke der homogenen Dichtschicht 1,8 mm und unterseitiger Kaschierung aus Polyestervlies, in unterschiedlichen Farben hergestellt; auf der Oberseite mit integrierten Photovoltaik (PV)-Modulen, die durch werkseitig an der Unterseite angebrachte Anschlussdosen und -kabeln angeschlossen werden. Nennleistung (bei STC) der Module je nach Größe 136 W _p bis 432 W _p
Standard-Bahnenabmessungen:	Längen: 6 m, 3,36 m Breiten: 1,05 m, 1,55 m Dicke: 1,8 mm Dichtschicht + Kaschierung + PV Modul

Eigenschaft ^a	Prüfverfahren	Einheit (Grenzabweichung)	Wert	Art der Ergebnisse
Verhalten bei äußerer Brandeinwirkung ^b	ENV 1187 DIN 4102-7		bestanden	
Reaktion bei Brandeinwirkung	EN 13501-1		Klasse E	EN 13501-1
Wasserdichtheit	EN 1928 Verfahren B	kPa	≥ 400 ^c	MLV
Schälwiderstand der Fügenaht	EN 12316-2	N/50 mm	≥ 80	MLV
Scherfestigkeit der Fügenaht	EN 12317-2	N/50 mm	≥ 200 ^d	MLV
Höchstzugkraft	EN 12311-2	N/50 mm	≥ 500	MLV
Höchstzugkraftdehnung	EN 12311-2	%	≥ 60	MLV
Widerstand gegen stoßartige Belastung	EN 12691 Verfahren A	mm	≥ 300	MLV
Widerstand gegen statische Belastung	EN 12730 Verfahren B	kg	≥ 20	MLV
Weiterreißwiderstand	EN 12310-2	N	≥ 80	MLV
Maßhaltigkeit	EN 1107-2	%	≤ 1	MLV
Falzen bei tiefen Temperaturen	EN 495-5	°C	≤ - 25	MLV

Produkt Datenblatt nach CE
 Ausgabe: Aug 08
 Produkt: EVALON® V Solar



Produktbezeichnung: EVALON® V Solar
 Kunststoffdachbahn nach DIN V 20000-201 DE/E1 EVA-BV-K(PV)-1,8
 mit zusätzlich werkseitig aufgetragenen PV-Modulen

Eigenschaft ^a	Prüfverfahren	Einheit (Grenzabweichung)	Wert	Art der Ergebnisse
UV-Bestrahlung	EN 1297	Visuelle Beurteilung		bestanden
Wasserdampfdurchlässigkeit	EN 1931	μ (± 30%)	ca. 20.000	MDV
Dauerhaftigkeit (Verhalten bei Beanspruchung durch UV-Bestrahlung, erhöhte Temperatur und Wasser)	EN 1297	Visuelle Beurteilung	-	bestanden
Verhalten bei Einwirkung von Bitumen	EN 1548			bestanden
^a Prüfung/Eigenschaft der vlieskaschierten Bahn ^b Prüfungen nach DIN 4102-7 oder ENV 1187 mit unterschiedlicher Schichtenfolge. Damit ist die Anforderung in Deutschland erfüllt ^c Anforderung nach DIN V 20000-201 ^d bzw. Abriss außerhalb der Fügenaht (Anforderung nach DIN V 20000-201/EN 12 317-2)				

Haftungsausschluss: Die vorstehenden Angaben, insbesondere die Vorschläge für Verarbeitung und Verwendung unserer Produkte, beruhen auf unseren Kenntnissen und Erfahrungen im Normalfall, vorausgesetzt die Produkte wurden sachgerecht gelagert und angewandt. Wegen unterschiedlichen Materialien, Untergründen und abweichenden Arbeitsbedingungen kann eine Gewährleistung eines Arbeitsergebnisses oder eine Haftung, aus welchem Rechtsverhältnis auch immer, weder aus diesen Hinweisen, noch aus einer mündlichen Beratung begründet werden, es sei denn, dass uns insoweit Vorsatz oder grobe Fahrlässigkeit zur Last fällt. Hierbei hat der Anwender nachzuweisen, dass schriftlich alle Kenntnisse, die zur sachgemäßen und erfolgversprechenden Beurteilung durch alwitra erforderlich sind, alwitra rechtzeitig und vollständig im Rahmen der Beurteilungsanfrage übermittelt wurden. Der Anwender hat die Produkte auf ihre Eignung für den vorgesehenen Anwendungszweck zu prüfen. Änderungen der Produktspezifikationen bleiben vorbehalten. Schutzrechte Dritter sind zu beachten. Im Übrigen gelten unsere jeweiligen AGB's. Es gilt das jeweils neueste lokale Produkt Datenblatt, das bei uns angefordert werden sollte.

alwitra GmbH & Co. Klaus Göbel
 Am Forst 1 Telefon +49 651 9102 0
 54296 Trier Telefax +49 651 9102 500
 www.alwitra.de

Stand August 2008 Technische Änderungen vorbehalten

PDB13956-201 EVALON V Solar Seite 2 von 2

2 EVALON® SOLAR; Multifunktionale Dachbahnen



LIEFERPROGRAMM				
EVALON® V-Solar	EVALON® V-Solar 408	EVALON® V-Solar 272	EVALON® V-Solar 204	EVALON® V-Solar 136
Bahnenbreite	1,55 m	1,05 m	1,55 m	1,05 m
Bahnenlänge	6 m		3,36 m	
Nennstärke - ges. einschl. PV-Modul und Kaschierung - der Dachbahnen-Dichtschicht	5,1 +/- 1 mm 1,8 mm			
Masse (Flächengewicht)	4,30 kg/m ²	4,33 kg/m ²	4,03 kg/m ²	4,17 kg/m ²
PV-Modul, Nennbreite x Nennlänge	1185 mm x 5490 mm	790 mm x 5490 mm	1185 mm x 2850 mm	790 mm x 2850 mm
Dachflächenbedarf (bei 11 cm Nahtüberlappung)	21,18 m ² /kWp	20,74 m ² /kWp	23,72 m ² /kWp	23,22 m ² /kWp
DC-Anschlusskabel (werkseitig)	doppelt verstärkt isoliert, einadrig, flexibel 5 m / 2 x 4,0 mm ²			
DC-Kabeldurchführung (dezentral)	für bis zu 8 DC-Anschlusskabel			
DC-Anschlusskasten	mit Klemmen zur Reihenschaltung (Strangbildung)			
DC-Feldanschlusskasten	zur Aufnahme von bis zu 6 DC-Anschlusskästen, mit Schweißflansch zum Anschluss an Dachabdichtung			
DC-Freischaltbox 530 V (mit Lasttrennschalter)	Klemmen zum parallelen Strang-Anschluss und zum Wechselrichter-Anschluss, max. 8 Stränge, mit integrierter 8A-DC-Sicherung je Strang			
Netzgeführte DC/AC-String-Wechselrichter mit galvanischer Trennung und integrierter ENS	Fronius IG, mit AC-Nennleistungen von 1.300 W bis 4.600 W			
Netzgeführte DC/AC-String-Wechselrichter mit galvanischer Trennung und mit AC-seitiger selbsttätiger Freischaltstelle	Fronius IG Plus, mit AC-Nennleistungen von 3.500 W bis 8.000 W (mit integrierter DC-Freischaltstelle und integrierbaren 8A-DC-Sicherungen)			
Netzgeführte DC/AC-Zentralwechselrichter mit galvanischer Trennung	AC-Nennleistungen von 24.000 W bis 40.000 W			

Technische Daten		EVALON® V-Solar 408	EVALON® V-Solar 272	EVALON® V-Solar 204	EVALON® V-Solar 136	
PV-Modul	Prüfung nach	Prüfungsergebnis				
	Leistung bei STC (P _{max} MPP)	DIN EN 61646 Prüfung 10.2 bei STC	408 W _p (= 3 x 136 W _p)	272 W _p (= 2 x 136 W _p)	204 W _p (= 3 x 68 W _p)	136 W _p (= 2 x 68 W _p)
	Leerlaufspannung	DIN EN 61646 Prüfung 10.2 bei STC	138,6 V	92,4 V	69,3 V	46,2 V
	Kurzschlussstrom		5,1 A	5,1 A	5,1 A	5,1 A
	Spannung im MPP	99 V	66 V	49,5 V	33 V	
	Stromstärke im MPP	4,13 A	4,13 A	4,13 A	4,13 A	
Temperaturkoeffizient (bezüglich Leistung)	DIN EN 61646 Prüfung 10.4	-0,21% pro °C				
Schutzklasse	DIN EN 50178	II bis 1000 V DC				
EVALON® V-Bahn	Höchstzugkraft	EN 12311-2	≥ 500 N/50 mm			
	Höchstzugkraftdehnung		≥ 60%			
	Reaktion bei Brandeinwirkung	EN 13501-1	Klasse E			
	Widerstand gegen stoßartige Belastung	EN 12691 Verfahren A	≥ 300 mm			
	Verhalten bei Einwirkung von Bitumen	prEN 1548	bestanden			
Verhalten bei äußerer Brandeinwirkung (für Deutschland DIN 4102-7)	ENV 1187/EN 13501-5 DIN 4102-7	Klasse B _{ROOF} (t1) Widerstandsfähig gegen Flugfeuer und strahlende Wärme gemäß Allgemein bauaufsichtlicher Prüfzeugnisse				

- (1) Alle Daten resultieren aus Prüfungen und entsprechen dem derzeitigen Stand. Abweichungen innerhalb der Toleranzgrenzen sind möglich. Für P_{max} MPP gilt ± 5%.
 (2) Aufgrund der Rückstromfestigkeit von 8A wird bei parallelem Anschluss von 3 und mehr Strängen der Einsatz von DC-Sicherungen oder Sperrdioden gefordert.
 (3) Während den ersten 8-10 Betriebswochen werden die angegebenen elektrischen Werte überschritten. P_{max} MPP kann um bis zu 15%, Spannung im MPP kann um bis zu 11% und Stromstärke im MPP kann um bis zu 4% höher sein.

EVALON® Solar ist CE konform und vom TÜV nach IEC 61646/IEC 61730 sowie als Schutzklasse II-Betriebsmittel zertifiziert. Das integrierte Managementsystem des Herstellers ist vom TÜV nach DIN EN ISO 9001 – Qualitätsmanagementsysteme – und DIN EN ISO 14001 – Umweltmanagementsysteme.



alwitra GmbH & Co. · Postfach 3950 · D-54229 Trier
 Telefon 06 51/9102-0 · Telefax 06 51/9102-500 · alwitra@alwitra.de · www.alwitra.de

Technische Änderungen vorbehalten

3 SOLARSTROMMODUL PVT-2xx MAE-C



Solarstrommodul PVT-2xxMAE-C mit monokristallinen Power Zellen 156 x 156 mm



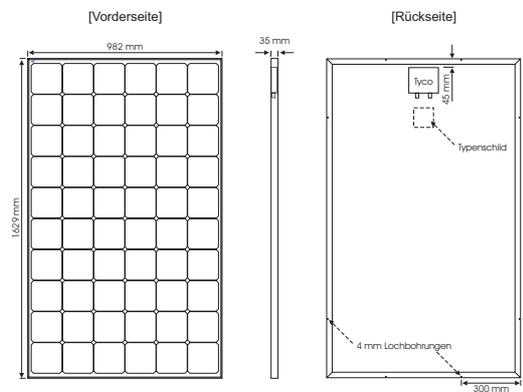
Österreichische Qualität, die überzeugt

- + Hochleistungszellen der weltweit führenden Zellhersteller
- + Geringe Messtoleranzen zur Leistungsermittlung von +/- 3 %
- + Hochfester Aluminiumrahmen mit Entwässerungsbohrungen gegen Frostschäden
- + Antireflex Solarglas 4 mm ESG für höchste Ertragswerte, 4,5 kN/m²
- + hohe Flächenbelastbarkeit für ein großes Einsatzgebiet
- + Tyco Anschlussdose IP65 mit Solarlock-System
- + Geeignet für Windgeschwindigkeiten bis zu 135 km/h
- + Hagelsicher bis zu einem maximalen Korndurchmesser von 28 mm
- + Zertifiziert nach IEC 61215 Ed.2 durch Prüfinstitut Arsenal Research Wien
- + Zertifiziert nach Schutzklasse II 1000 V durch Prüfinstitut TGM Wien
- + Leistungsgarantie 10 Jahre auf 90 % und 25 Jahre auf 80 % (von Pmin)*
- + 5 Jahre erweiterte, freiwillige Produktgarantie
- + Made in Austria, 100 % Wertschöpfung aus Österreich

Technische Daten:

- Solarzellen:** Monokristallin, 156 x 156 mm, 60 Stück
- Frontseite:** 4 mm ESG-Sicherheitsglas, eisenarm
- Einbettung:** EVA-Schmelzfolie
- Rückseite:** Verbundfolie weiß
- Rahmen:** Aluminium hell eloxiert, stranggepresst
- Abmessungen Rahmen:** 1629 x 982 x 35 mm
- Abmessungen Laminat:** 1623 x 976 x 5,4 mm
- Anschluss:** Tyco-Anschlussdose IP65
- Dioden:** 3 Stück Bypassdioden
- Kabel:** Tyco Solarkabel 4 mm²
- Kabellänge:** 1200 mm, optional 1800 mm
- Steckverbindungen:** Tyco Solarlok
- Modulgewicht:** 20,7 kg
- Systemspannung:** max. 1000 V
- Zertifikate:** IEC 61215 Ed.2, SK II 1000V, CE
- Produktgarantie:** 5 Jahre
- Leistungsgarantie:** 10 Jahre 90 %, 25 Jahre 80% (von Pmin)*

Abmessungen:



Elektrische Daten:

	Modultype	Effizienz	Pmpp	Vmpp	Imp	Voc	Isc
gemessen bei STC (Standard Test Conditions) 1000 W/m ² , 25°C, AM 1,5	PVT-2xxMAE-C	14,69 %	235 Wp	30,00 V	7,80 A	36,40 V	8,50 A
	PVT-2xxMAE-C	15,00 %	240 Wp	30,30 V	7,90 A	36,50 V	8,55 A
Temperaturkoeffizienten:	PVT-2xxMAE-C	15,31 %	245 Wp	30,60 V	8,00 A	36,60 V	8,60 A
	PVT-2xxMAE-C	15,62 %	250 Wp	30,90 V	8,10 A	36,80 V	8,65 A
Pmpp:	-0,40 % / K						
Voc:	-0,33 % / K						
Isc:	+0,04 % / K						

Die Nennleistung unterliegt einer Fertigungstoleranz von +/- 3 %. Alle elektrischen Einzelwerte +/- 10 %. Jedes Modul wird vor Auslieferung einem optischen, mechanischen und elektrischen Qualitätstest unterzogen.



Technische Änderungen im Rahmen der Produktentwicklung sowie Fehler und Irrtümer vorbehalten. Stand: 09/2010
Genauere Informationen zu unseren Garantiebestimmungen entnehmen Sie bitte unseren aktuellen Garantieurkunden.
) bezieht sich auf die Minimalleistung Pmin (- 3 % von Pmpp)

Dies ist eine Veröffentlichung des

FACHBEREICHS INGENIEURBAUKUNST (IBK) AN DER TU GRAZ

Der Fachbereich Ingenieurbaukunst umfasst die dem konstruktiven Ingenieurbau nahe stehenden Institute für Baustatik, Betonbau, Stahlbau & Flächentragwerke, Holzbau & Holztechnologie, Materialprüfung & Baustofftechnologie, Baubetrieb & Bauwirtschaft, Hochbau & Industriebau, Bauinformatik und Allgemeine Mechanik der Fakultät für Bauingenieurwissenschaften an der Technischen Universität Graz.

Dem Fachbereich Ingenieurbaukunst ist das Bautechnikzentrum (BTZ) zugeordnet, welches als gemeinsame hochmoderne Laboreinrichtung zur Durchführung der experimentellen Forschung aller beteiligten Institute dient. Es umfasst die drei Laboreinheiten für konstruktiven Ingenieurbau, für Bauphysik und für Baustofftechnologie.

Der Fachbereich Ingenieurbaukunst kooperiert im gemeinsamen Forschungsschwerpunkt „Advanced Construction Technology“. Dieser Forschungsschwerpunkt umfasst sowohl Grundlagen- als auch praxisorientierte Forschungs- und Entwicklungsprogramme.

Weitere Forschungs- und Entwicklungskooperationen bestehen mit anderen Instituten der Fakultät, insbesondere mit der Gruppe Geotechnik, sowie nationalen und internationalen Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft.

Die Lehrinhalte des Fachbereichs Ingenieurbaukunst sind aufeinander abgestimmt. Aus gemeinsam betreuten Projektarbeiten und gemeinsamen Prüfungen innerhalb der Fachmodule können alle Beteiligten einen optimalen Nutzen ziehen.

Durch den gemeinsamen, einheitlichen Auftritt in der Öffentlichkeit präsentiert sich der Fachbereich Ingenieurbaukunst als moderne Lehr- und Forschungsgemeinschaft, welche die Ziele und Visionen der TU Graz umsetzt.

Nummerierungssystematik der Schriftenreihe

S – Skripten, Vorlesungsunterlagen | F – Forschungsberichte
V – Vorträge, Tagungen | D – Diplomarbeiten

Institutskennzahl:

1 – Allgemeine Mechanik | 2 – Baustatik | 3 – Betonbau
4 – Holzbau & Holztechnologie | 5 – Stahlbau & Flächentragwerke
6 – Materialprüfung & Baustofftechnologie | 7 – Baubetrieb & Bauwirtschaft
8 – Hochbau & Industriebau | 9 – Bauinformatik

Fortlaufende Nummer pro Reihe und Institut / Jahreszahl