

Schneelastprüfung von thermischen Kollektoren, neues Prüfverfahren für alpine Verhältnisse

Dr. Andreas Bohren¹, Dr. Thomas Tschan²

¹Institut für Solartechnik SPF, Oberseestrasse 10, CH-8640 Rapperswil
andreas.bohren@spf.ch, www.spf.ch

²Ernst Schweizer AG, Metallbau, Bahnhofplatz 11, CH-8908 Hedingen
thomas.tschan@schweizer-metallbau.ch, www.schweizer-metallbau.ch

Einleitung

Die Statistiken der Schweizer Gebäudeversicherungen der letzten Winter zeigen, dass in erhöhten Lagen, die Schadenssummen durch Schneelastschäden an Solaranlagen kaum mehr vernachlässigbar sind. Das ist einerseits erfreulich weil es zeigt, dass immer mehr Solaranlagen installiert werden. Andererseits ist es auch ein Hinweis darauf, dass die standardisierten Prüfungen nur begrenzt dazu geeignet sind Schneelastschäden zu vermeiden. Die Statistiken zeigen auch, dass die Schäden kaum vom Alter der Anlage beeinflusst werden. Auch neue Anlagen werden durchaus zu schwach aufgebaut. Alpine Regionen in Mitteleuropa haben im Winter oft einen sehr hohen Strahlungseintrag der vergleichbar ist mit Standorten in Südeuropa. Alpine Regionen sind darum grundsätzlich gut geeignet für Solaranlagen (Abb. 1). Es ist darum wichtig, dass Kollektoren, PV Module und Montagesysteme verfügbar sind die auch in diesen Regionen den zu erwartenden Schneelasten standhalten können. Schneelastschäden sind allerdings auch aus Regionen mit deutlich weniger extremen Bedingungen bekannt. Auch für diese Regionen ist es deshalb wichtig geeignete Prüfverfahren zur Verfügung zu haben die eine verlässliche Aussage über die effektive Schneelastbeständigkeit ermöglichen.

Die in den anwendbaren Normen (z.B. EN12975, ISO9806, IEC 61215, IEC 61646, CAN F378, CSTBat E330, RAL GZ966) vorgesehenen Prüflasten und Prüfmethoden sind sehr uneinheitlich. Die maximalen Prüflasten betragen in allen Normen 5400 Pa. Grundsätzlich sind aus unserer Sicht drei Faktoren dafür ausschlaggebend, dass diese Prüfungen offenbar keine ausreichende Schneelastsicherheit sicherstellen:

Prüflasten: Die Prüflasten sind oft viel zu klein für die zu erwartenden Schneelasten. Die Tabelle in Abb. 2 zeigt die nach der Schweizer SIA261 zu erwartenden Schneehöhen und Schneelasten in Abhängigkeit der Schneeart und der Höhe über Meer. Aus dieser Tabelle erkennt man, dass es durchaus bewohnte Gebiete gibt mit

Schneelasten deutlich über den Normwerten: z.B. Davos (1600 m.ü.M.) mit ca. 8000Pa, St. Moritz (>1800 m.ü.M) mit ca. 11000Pa. Ähnliche Tabellen und Karten sind für alle Regionen in Mitteleuropa verfügbar.

Senkrechte Belastung: Die in den erwähnten Normen aufgeführten Standardprüfverfahren (pneumatische Zylinder; Beladen mit Sand, Kies oder Wasser; Luftdruck, etc.) erzeugen immer eine rein senkrechte Belastung (Abb. 3, Abb. 4, Abb. 5). Die realen Kräfte aus Schneelasten ergeben sich allerdings mit der Dachneigung und sind niemals senkrecht. Gerade bei thermischen Kollektoren müssen deshalb ganz andere Kräfte auf das ganze Kollektorgehäuse und auch die Montagesysteme berücksichtigt werden.

Montagesystem: Schneelastschäden werden oft durch ungenügendes Montagmaterial, bzw. durch ungünstige Kombinationen von Montagmaterial und Kollektor verursacht. Aus einleuchtenden Gründen (Reduktion des Prüfaufwandes) können in aller Regel nicht alle Montagesysteme für einen Kollektor/PV-Modul geprüft werden. Selbst wenn das Montagmaterial und der Kollektor jeweils für sich eine hohe Belastbarkeit aufweisen würden, so kann deren Kombination immer noch mechanisch ungünstig sein.

Ebenso aus Kostengründen werden in aller Regel immer nur einzelne Kollektoren geprüft, bei Grossflächenkollektoren manchmal auch nur kleinere Musterkollektoren. Dabei ist dann nicht immer sichergestellt, dass diese Resultate auch auf ein ganzes Feld oder den realen Grosskollektor tatsächlich übertragbar sind.

Lösungsansätze

In dem hier vorgestellten Projekt wurde eine Anlage realisiert die verschiedene der oben erwähnten Schwachpunkte der Normprüfungen eliminiert. Ziel war es alle nach SIA261 vernünftig vorkommenden Schneelasten (gleichmässig auf der Abdeckung festgefrorener Schnee) mit einem Sicherheitsfaktor von 1.5 abzudecken. Das bedeute also Schneelasten bis etwa 20kN/m^2 , Schneelasten beliebig entsprechend der Dachneigung einstellbar und Grossflächenkollektoren bis zu einer Grösse von etwa 12m^2 können geprüft werden. Die verfügbaren Standardmethoden wurden analysiert und aus verschiedenen Gründen verworfen. Die naheliegende Lösung der Belastung mit Gewichten (z.B. Sandsäcken) ist kaum gleichmässig zu realisieren. Um das Abrutschen der Sandsäcke zu verhindern müssen ausserdem auf der Glasoberfläche Halterungen befestigt werden die wiederum das Resultat beeinflussen. Eine Belastung von 12m^2 Fläche mit bis zu 20kN/m^2 ist im Endeffekt auch von der Durchführung her unrealistisch. Die auch am SPF zur Verfügung

stehende Belastung mit pneumatischen Zylindern ist sehr kostenintensiv wenn grössere Flächen belastet werden sollen. Versuche haben auch gezeigt, dass bei der nichtsenkrechten Belastung die Saugnäpfe ab einem gewissen Winkel versagen. Um das zu verhindern müssten die Saugnäpfe grösser gewählt werden was wiederum einen Einfluss auf die Mechanik der Abdeckung hat. Ebenso sind natürlich nur glatte Oberflächen für den Einsatz von Saugnäpfen geeignet. Vakuumröhrenkollektoren können damit nicht geprüft werden. Die konventionellen standardisierten Methoden mussten alle verworfen werden.

In dem neu entwickelten Prüfverfahren werden die bei einer bestimmte Dachneigung Kraftkomponenten senkrecht und parallel zur Kollektoroberfläche aufgeteilt (Abb. 6). Die senkrechte Kraftkomponente (Normalkraft) wird durch ein aufblasbares Luftkissen erzeugt. Dazu wird der Prüfling in einer nach oben abgeschlossen mechanisch stabilen Kammer aufgebaut. Der Luftdruck im Kissen das auf dem Prüfling liegt, wird geregelt um die gewünschte senkrechte Schneelast zu simulieren. Um die maximale Belastung von 20kN/m^2 zu erreichen genügt dazu bereits ein Überdruck von 200mbar. Für kleinere Lasten sind also relativ kleine Drücke sehr genau einzuregulieren. Wenn das Luftkissen aus einem geeigneten Material hergestellt wird, verteilt sich die Kraft sehr gleichmässig auf die Oberfläche des Kollektors und es können auch ohne weitere Einschränkungen Vakuumröhrenkollektoren und andere Prüflinge mit unebener Oberfläche getestet werden.

Die Kraftkomponenten parallel zur Oberfläche simulieren die Hangabtriebskräfte. Diese werden mit besonders beschichteten, sehr gut haftenden Glasfaserbändern die durch Seilwinden gezogen werden, aufgebracht. Wichtig dabei ist, dass die Haftung der Glasfaserbänder auf dem Glas keine zusätzliche mechanische Stärkung des Glases bewirkt. Würden zum Beispiel die Bänder einfach festgeklebt, würde dies zu einer Verfälschung der Resultate führen, da die Mechanik durch das Kleben beeinflusst wird. Für die Beschichtung der Bänder sind speziell dafür geeignete Silikongemische entwickelt worden, die mit weiteren Komponenten versetzt sind. Die Haftung dieser Bänder ist natürlich von der Glasoberfläche und auch vom senkrechten Druck abhängig. Mit der gefundenen Beschichtung konnten bisher aber alle gewünschten Belastungsprofile bedient werden. Der Aufbau der Anlage ist in den Abbildungen Abb. 7 - Abb. 10 illustriert.

Prüfungen und Experimente

Im Rahmen des Projektes wurden verschiedene Kollektoren und PV Systeme verschiedener Hersteller aufgebaut und nach individuellen Vorgaben geprüft. Die

Prüflinge werden im Allgemeinen auf einem realen Unterdach mit originalem Montagmaterial befestigt. Das wichtigste Ziel der bisherigen Prüfungen war jeweils die Überprüfung der Einsatzgrenzen, das Auffinden allfälliger Schachstellen sowie die Wirkung von Weiterentwicklungen zu untersuchen. Um einen maximalen Nutzen aus diesen Versuchen zu erhalten, sind verschiedene Kameras im Einsatz, die fast beliebig platziert werden können. Zusätzlich sind frei platzierbare Distanzsensoren verfügbar, die es erlauben die Deformationen und Bewegungen während der Belastung sehr genau zu messen. Diese Aufzeichnungen (Bilder und Distanzsensoren) werden nach den Tests jeweils in einem Zeitrafferfilm zusammengefasst und dem Auftraggeber zur Verfügung gestellt (Abb. 11). So lässt sich die Entstehung eines Schadens durch die simulierte Schneelast aus nächster Nähe im Zeitraffer mitverfolgen. Damit können dann vom Auftraggeber wichtige Erkenntnisse über die Schachstellen, Verbesserungsmöglichkeiten, Montagefehler u.s.w. gewonnen werden.

Mit der neuen Testanlage können beliebige Belastungszyklen die aus verschiedenen Kräften und Neigungswinkeln bestehen, abgefahren werden. Abb. 11 zeigt einen Screenshot eines der erwähnten Zeitrafferfilme einer typischen zyklischen Prüfung bei der die Dachneigung und die Belastung durch verändern der beiden Kraftkomponenten gesteuert wird. Der Prüfling ist ein kleines Feld von PV Modulen die auf einem simulierten Dach mit Ziegeln aufgebaut sind. Die Kamera ist unter den Modulen zwischen den Ziegeln platziert. Auf der rechten Seite sind die aktuellen Messdaten wie Auslenkung der Distanzsensoren, einwirkende Kräfte, simulierte Dachneigung, usw. aufgezeichnet. Auf dem Bild wird gerade eine extreme Dachneigung von 75° geprüft.

In den standardisierten Normprüfungen dauert die Prüfung maximal eine Stunde. In verschiedenen Prüfungen mit der neuen Anlage wurde festgestellt, dass bei grösseren Belastungen die Deformationen am Kollektor und am Montagesystem sehr langsam zunehmen können. Ein Versagen kann auch erst nach mehreren Stunden konstanter Belastung auftreten. Ein typisches Beispiel ist in Abb. 12 gezeigt. Ein normaler Flachkollektor wird während mehreren Stunden kontinuierlich belastet. Nach mehr als sieben Stunden bricht die Abdeckung dann ohne ersichtlichen Auslöser. Die Analyse der Auslenkungsdaten der Distanzsensoren zeigt dann allerdings, dass sich der Kollektor während der langen Belastungszeit kontinuierlich weiter deformiert hatte. Nach einer gewissen Zeit ist dann die Schwelle erreicht und es kommt zum Bruch. Wird die Prüfung wie in den Normen vorgegeben, nach einer Stunde oder sogar früher beendet, würde man davon ausgehen, dass der Kollektor der entsprechenden Last standhalten kann. Da Schneelasten in aller Regel

über Stunden und Tage andauern, kann ein eine kurze Prüfung zu Fehleinschätzungen führen. Eine wichtige Erkenntnis ist daraus zu ziehen: Solange das Gehäuse und das Montagematerial nicht in einer Endposition ankommen, muss die Prüfung weitergeführt werden. Um dies festzustellen sind Auslenkungssensoren unbedingt notwendig. Die langsame Deformation des Prüflings (im gezeigten Beispiel sind das weniger als 1mm/h) kann von Auge unmöglich erfasst werden.

Zertifizierungsprogramm

Die Prüfanlage wurde mit der Absicht aufgebaut, Schneelastschäden dadurch zu reduzieren, dass die Hersteller die Möglichkeit haben ihre Produkte unter realen Bedingungen zu prüfen. Zusammen mit dem Dachverband der Schweizerischen Gebäudeversicherungen (Vereinigung kantonaler Feuerversicherungen) wird zukünftig eine standardisierte Prüfung angeboten. Damit sollen Kombinationen von Kollektoren, PV Modulen und Montagesystemen ermittelt und publiziert werden, für die man bei entsprechenden Schneehöhen davon ausgehen kann, dass weder die Anlage beschädigt wird, noch strukturellen Schäden an den Gebäuden zu erwarten sind. Die zertifizierten Produkte werden dann in einer Datenbank veröffentlicht die den Bauherren als Auswahlhilfe dienen können bei Anlagen in Gebieten mit erhöhten Anforderungen. Die Schadenssumme soll dadurch deutlich reduziert werden.

Schlussfolgerung

Mit der neu entwickelten Anlage zur Prüfung von realen Schneelasten können erstmals thermische Sonnenkollektoren, PV Module bis zu 12m² Fläche, mit fast beliebigen Dachneigungen und Kräften bis zu 20kN/m² geprüft werden. Das neu entwickelte Verfahren simuliert realistisch festgefrorener Schnee und kann ohne Einschränkung auch auf Vakuumröhrenkollektoren angewendet werden. Die zur Verfügung stehenden Kameras und Sensoren ermöglichen ein genaues Studium der Schwachstellen und des Verhaltens der Prüflinge unter Belastung.

Die normierten Prüfungen sind in verschiedenen Belangen noch nicht dazu geeignet die Schneelastbeständigkeit für alpine Gebiete zu bewerten. Für diese Gebiete wird ein besonderes Zertifizierungsverfahren angeboten das von den Schweizer Gebäudeversicherungen unterstützt wird.

Danksagung

Die Arbeiten werden mit Mitteln des Schweizer Bundesamtes für Energie (bfe), der Kommission für Technologie und Innovation KTI, der Firma Ernst Schweizer AG, Bahnhofplatz11 CH-8908 Hedingen sowie der Hochschule für Technik hsr in CH8640-Rapperswil finanziert. Das auf diesen Projekten aufbauende Zertifizierungsprogramm wird durch ein Projekt der Präventionsstiftung der Kantonalen Gebäudeversicherungen, Bundesgasse 20, CH-3001 Bern unterstützt.

Abbildungen

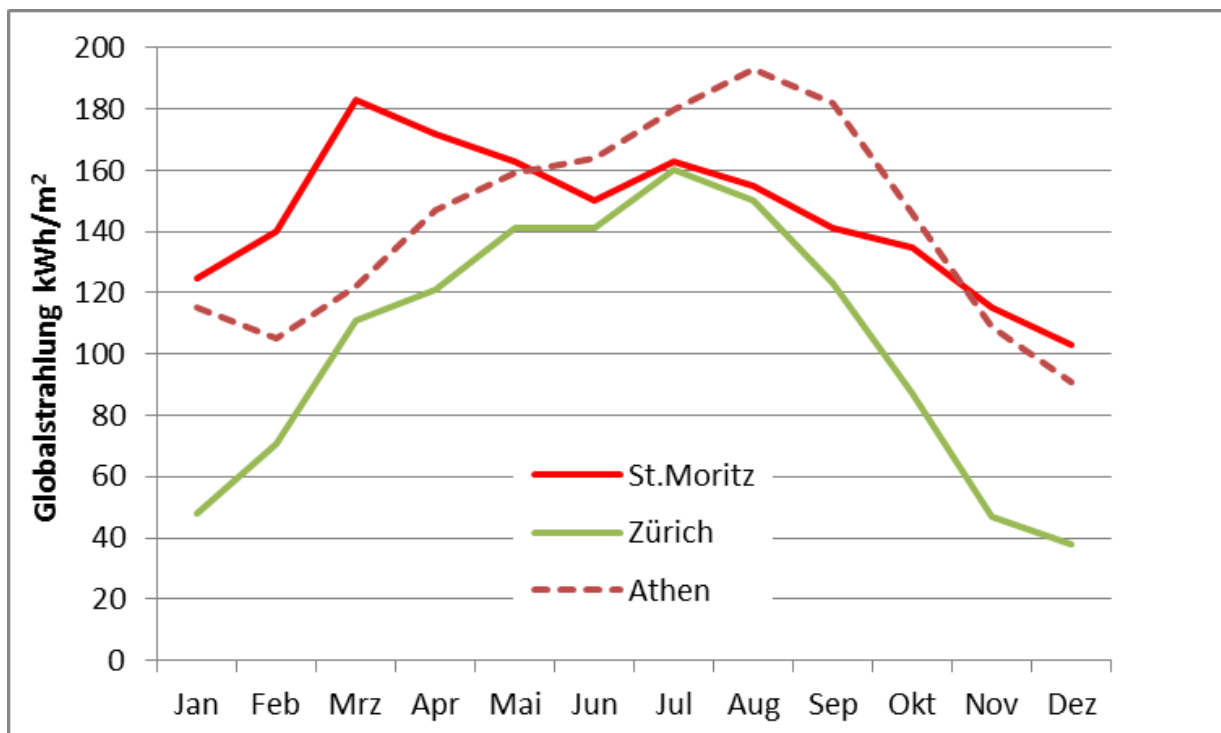


Abb. 1: Globaleinstrahlung auf eine 45° geneigte Ebene für verschiedene Standorte. In den Wintermonaten hat die Station St. Moritz die höchsten Strahlungswerte (Daten, SPF-InfoCD).

Schneart (Richtwert Raumlast)		Neuschnee (1.0 kN/m ³)	Filzschnee (2.0 kN/m ³)	Altschnee (3.5 kN/m ³)	Nassschnee (4.0 kN/m ³)
Korrigierte massgebende Höhe in m ü. M.	Schneelast in kN/m²	Schneehöhe in m			
400	0.92	0.92	0.46	0.26	0.23
500	1.22	1.22	0.61	0.35	0.31
600	1.58	1.58	0.79	0.45	0.40
700	2.00	2.00	1.00	0.57	0.50
800	2.49	2.49	1.25	0.71	0.62
900	3.04	3.04	1.52	0.87	0.76
1000	3.67	3.67	1.84	1.05	0.92
1100	4.35		2.18	1.24	1.09
1200	5.10		2.55	1.46	1.28
1300	5.92		2.96	1.69	1.48
1400	6.80		3.40	1.94	1.70
1500	7.75		3.87	2.21	1.94
1600	8.76			2.50	2.19
1700	9.84			2.81	2.46
1800	10.98			3.14	2.75
1900	12.19			3.48	3.05
2000	13.46			3.85	3.37

Abb. 2: Massgebende Richtwerte nach SIA261 für verschiedene geografische Lagen und verschiedene Schneetypen. Anhand dieser Tabelle können die Zahlen einfach auf die Schneelastwerte übertragen werden die sich aus den Eurocodes ergeben.



Abb. 3 Links: Belastungsanlage mit pneumatischen Zylindern

Abb. 4 Mitte: Belastung mit Wassersäcken

Abb. 5 Rechts: Belastung Unterdruck nach CSTBat E330

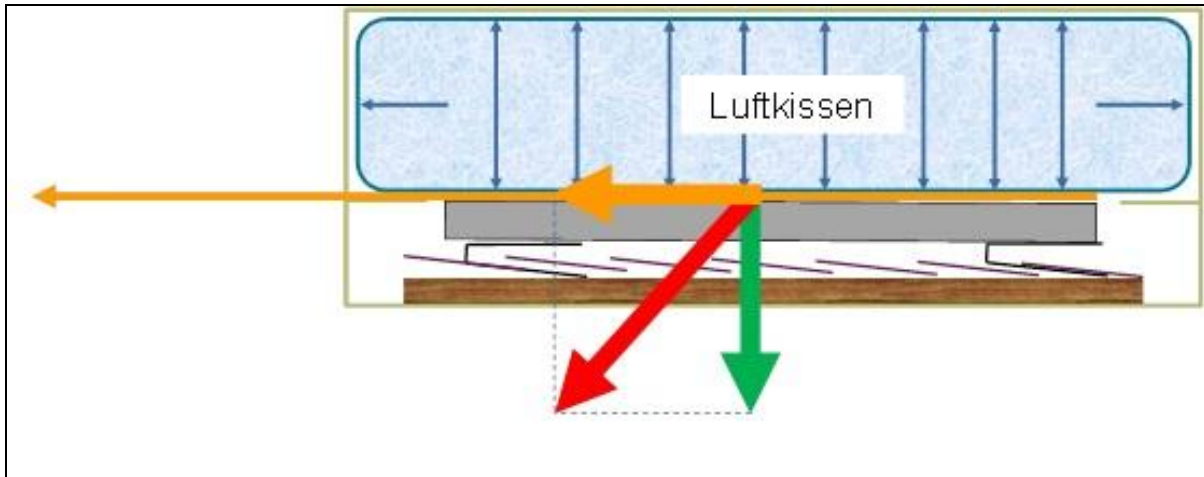


Abb. 6: Schematische Darstellung der Prüfanlage. Der Prüfling wird horizontal mit seinem Montagesystem auf einem simulierten Dachunterbau aufgebaut. Über dem Kollektor wird das Luftkissen platziert um die Normalkraft auf den Prüfling aufzubringen. Auf der Kollektoroberfläche werden die beschichteten Glasfaserbänder platziert und mit Seilwinden die Kraft eingeleitet. Die Summe und das Verhältnis der beiden Kräfte definieren die simulierte Schneemenge und die Dachneigung.



Abb. 7 oben links: Aufbau eines Röhrenkollektors in der Prüfanlage. Auf jeder Röhre wird ein beschichtetes Haftband aufgelegt.

Abb. 8 oben rechts: Die beschichteten Haftbänder werden über Kraftsensoren und Flaschenzügen mit Seilwinden verbunden.

Abb. 9 unten links: Das Luftkissen wird über den Prüfling gelegt und aufgeblasen.

Abb. 10 unten rechts: Der Deckel der Anlage wird geschlossen. Die Anlage ist bereit.



Abb. 11: Beispiel einer Prüfung eines PV Moduls auf einem simulierten Ziegeldach. Screenshot des Resultatfilmes. Die Kamera ist unter den Modulen zwischen den Ziegeln platziert. Auf der rechten Seite sind die aktuellen Messdaten wie Auslenkung der Distanzsensoren, einwirkende Kräfte, simulierte Dachneigung, u.s.w. aufgezeichnet. Auf dem Bild wird gerade eine extreme Dachneigung von 75° simuliert.

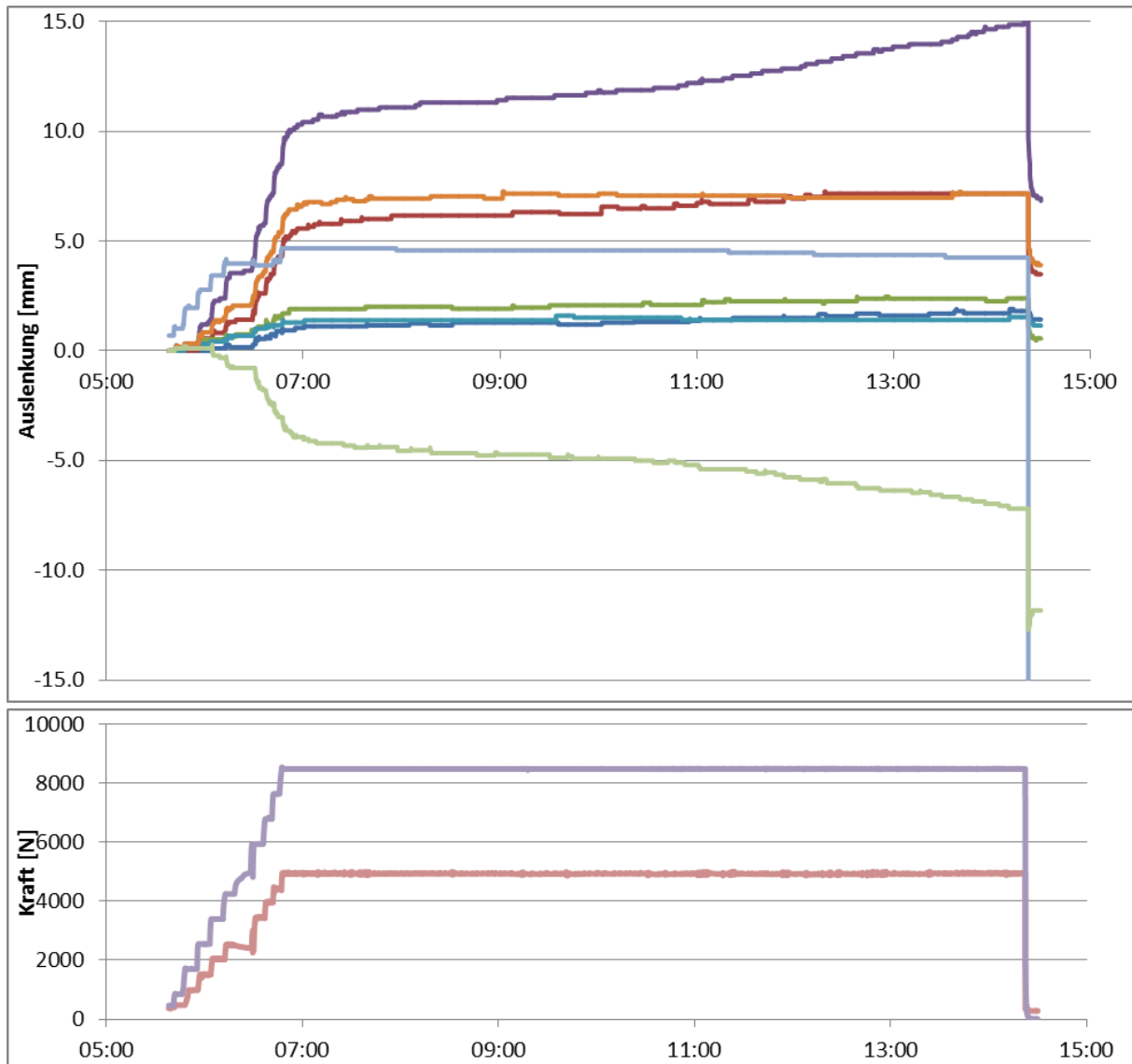


Abb. 12: Die Grafik oben zeigt den zeitlichen Verlauf der Auslenkung der Distanzsensoren die an verschiedenen Punkten platziert wurden. Im unteren Teil der Grafik sind die Kräfte (Normalkraft und Hangabtriebskraft) auf den Kollektor aufgezeichnet. Auf der unteren Grafik ist gut ersichtlich, dass die Kräfte auf den Kollektor über mehrere Stunden stabil gehalten wurden. Der Kollektor deformiert sich aber weiterhin immer stärker und nach mehr als sieben Stunden Belastung kommt es zum Bruch der Abdeckung.