




FEM, DIC, und Fensterentwicklung

Virtuelle Guided Tour- Fenster Frontale 2020
 Marcus Schiere
 Berner Fachhochschule, Architektur, Holz, und Bau

1

Fensterentwicklung mit FEM und DIC

- ▶ Hersteller wollen verlässliche Informationen über ihre Fenster hinsichtlich der Festigkeit
- ▶ Wie ging es früher
 - ▶ Ermittlung der Widerstandsfähigkeit gegen Lasten in der Flügelebene (Racking)



Berner Fachhochschule | Haute école spécialisée bernoise | Bern University of Applied Sciences

2

Fensterentwicklung mit FEM und DIC

- ▶ Wie ging es früher
 - ▶ Festigkeitsprüfungen der Bänder



Berner Fachhochschule | Haute école spécialisée bernoise | Bern University of Applied Sciences

3

Einführung

- ▶ Wie ging es früher
 - ▶ Grössentabellen aufgrund der Versuche

Glasgewicht in N/m²

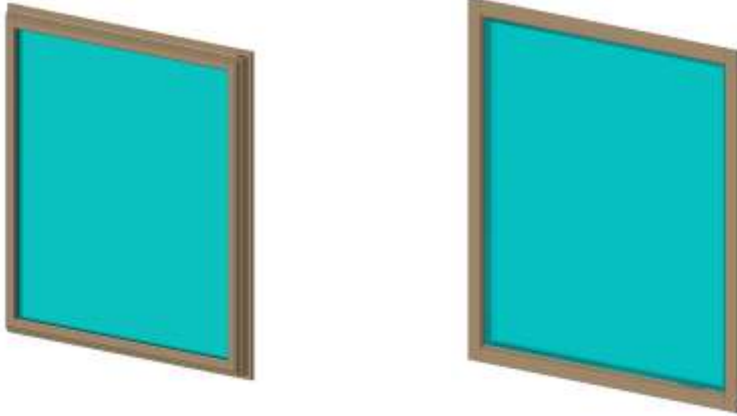
Flügelhöhe t in mm	Flügelbreite b in mm																							
	400	600	800	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600	2700	2800	2900	3000
600	800	800	800	686	516	397	312	250	203	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
800	800	800	800	800	627	493	395	321	264	220	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1000	800	800	800	800	800	800	800	647	526	433	361	304	259	222	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1100	800	800	800	800	800	800	800	795	646	533	444	374	318	273	236	205	0	0	0	0	0	0	0	0
1200	800	800	800	800	800	800	800	800	758	638	532	448	381	327	282	246	215	0	0	0	0	0	0	0
1300	800	800	800	800	800	800	800	800	788	699	625	526	447	384	331	288	252	222	0	0	0	0	0	0
1400	800	800	800	800	800	800	800	800	800	722	646	581	516	442	382	332	291	256	227	201	0	0	0	0
1500	800	800	800	800	800	800	800	800	800	738	662	597	540	492	434	378	331	291	257	0	0	0	0	0
1600	800	800	800	800	800	800	800	800	800	751	674	608	552	503	460	422	371	327	289	257	0	0	0	0
1700	800	800	800	800	800	800	800	800	800	759	682	617	560	511	468	430	396	363	321	286	255	0	0	0
1800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	764	688	623	566	517	474	436	402	372	345	315	281	252	0	0
1900	800	800	800	800	800	800	800	800	800	766	691	626	570	521	478	440	407	377	350	326	304	275	0	0
2000	800	800	800	800	800	800	800	800	800	765	691	628	572	524	481	443	410	380	353	329	307	287	269	0
2100	800	800	800	800	800	800	800	800	800	762	690	627	573	525	483	445	412	382	355	331	310	290	270	0
2200	800	800	800	800	800	800	800	800	800	758	687	626	572	525	483	446	413	383	357	333	311	0	0	0
2300	800	800	800	800	800	800	800	800	800	752	683	622	570	523	482	446	413	384	358	334	312	0	0	0
2400	800	800	800	800	800	800	800	800	800	744	677	618	567	521	481	445	413	384	358	334	313	0	0	0
2500	800	800	800	800	800	800	800	800	800	736	671	613	563	518	479	443	412	383	357	334	313	0	0	0
2600	800	800	800	800	800	800	800	800	800	727	663	608	558	515	476	441	410	382	356	334	313	0	0	0
2700	800	800	800	800	800	800	800	800	800	788	718	656	601	553	510	472	438	408	380	355	333	312	0	0
2800	800	800	800	800	800	800	800	800	800	776	707	647	594	547	506	468	435	405	378	353	331	311	0	0
2900	800	800	800	800	800	800	800	800	800	763	697	638	587	541	501	464	432	402	376	351	330	310	0	0
3000	800	800	800	800	800	800	800	800	800	751	686	629	579	535	495	460	428	399	373	349	328	308	0	0
3100	800	800	800	800	800	800	800	800	800	738	675	620	571	528	489	455	424	395	370	347	325	306	0	0
3200	800	800	800	800	800	800	800	800	800	794	725	664	611	563	521	484	450	419	392	367	344	323	304	0
3300	800	800	800	800	800	800	800	800	800	778	712	653	601	555	514	477	444	415	388	363	341	320	302	0
3400	800	800	800	800	800	800	800	800	800	763	699	642	592	547	507	471	439	410	384	360	338	318	0	0
3500	800	800	800	800	800	800	800	800	800	749	686	631	582	539	500	465	434	405	379	356	334	0	0	0

Berner Fachhochschule | Haute école spécialisée bernoise | Bern University of Applied Sciences

4

FEM Modell

- ▶ Geometrie
 - ▶ Cadwork, Autocad
 - ▶ Rhino Ausgabe .3dm Datei



Berner Fachhochschule | Haute école spécialisée bernoise | Bern University of Applied Sciences

5

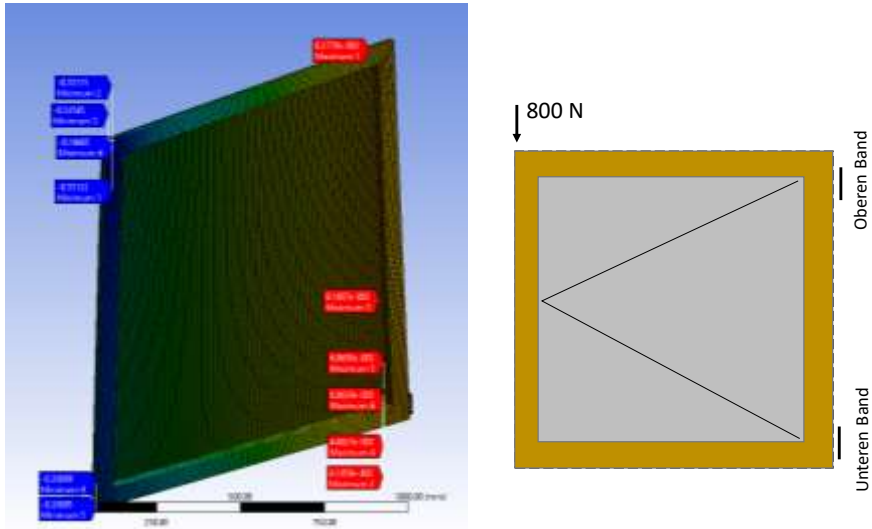
FEM Modell

- ▶ Materialkennwerte
 - ▶ Holz
 - ▶ Glas
 - ▶ Dichtstoff Randverbund
 - ▶ Verklebung Glas mit Fensterflügel
- ▶ Lagerbedingungen
 - ▶ Modellierung als festes Auflager
 - ▶ Bänder wurden nicht modelliert
- ▶ Lasten
- ▶ Netz generieren

Berner Fachhochschule | Haute école spécialisée bernoise | Bern University of Applied Sciences

6

FEM Modell

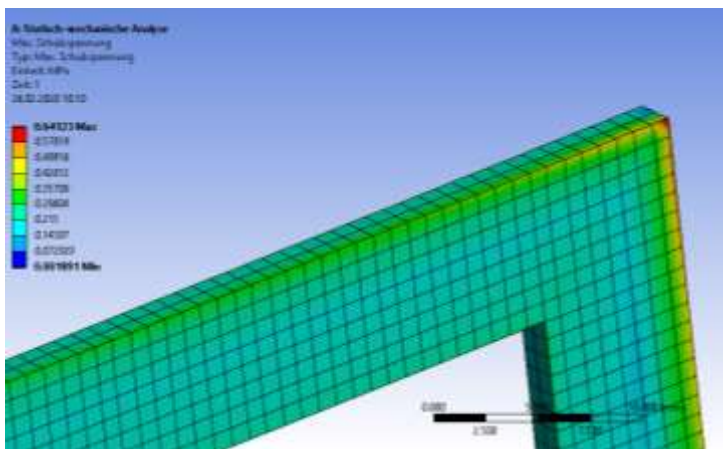


Berner Fachhochschule | Haute école spécialisée bernoise | Bern University of Applied Sciences

7

FEM Modell

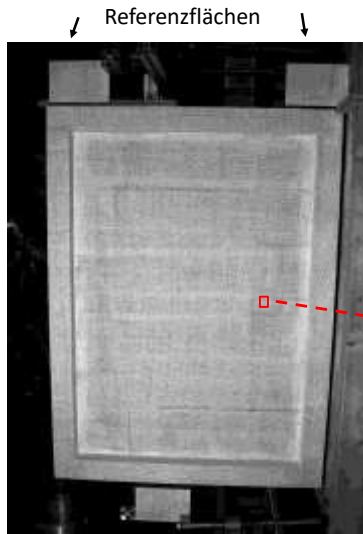
- ▶ Spannungsverteilung in der Klebefuge
- ▶ Optimierung der Fugen



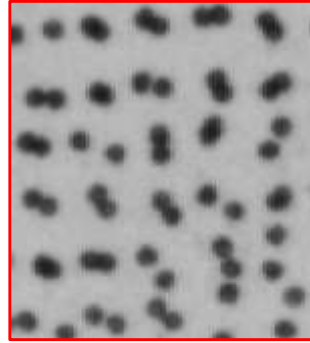
Berner Fachhochschule | Haute école spécialisée bernoise | Bern University of Applied Sciences

8

Digital Image Correlation (DIC)



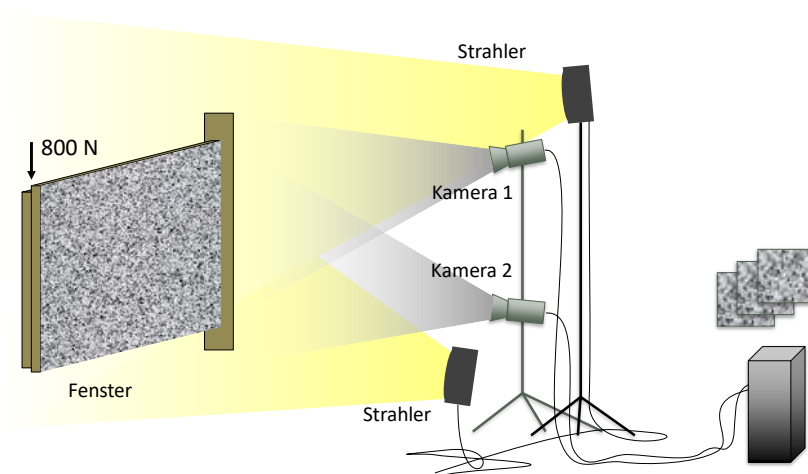
$\sigma = 0.01 \text{ px}$
 Kamera = 3000 px x 4000 px
 Bild = 0.8 m x 1.1 m
 1 px = 0.27 mm
 $\sigma = 2.7 \text{ }\mu\text{m}$



Berner Fachhochschule | Haute école spécialisée bernoise | Bern University of Applied Sciences

9

Messprinzip DIC (Stereo)

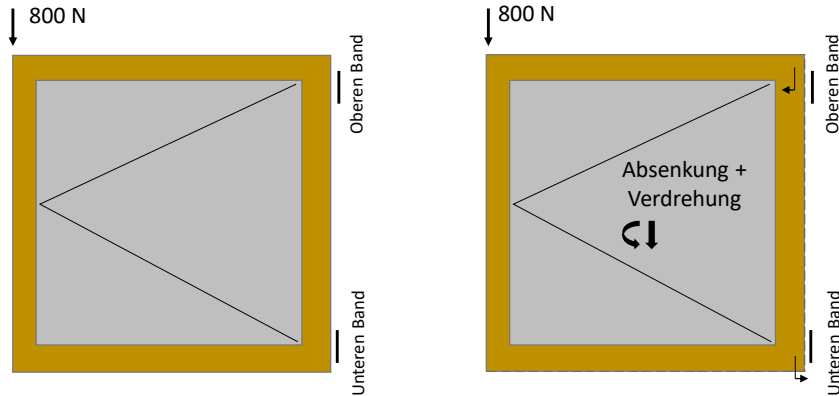


Berner Fachhochschule | Haute école spécialisée bernoise | Bern University of Applied Sciences

10

Steifigkeit der Bänder

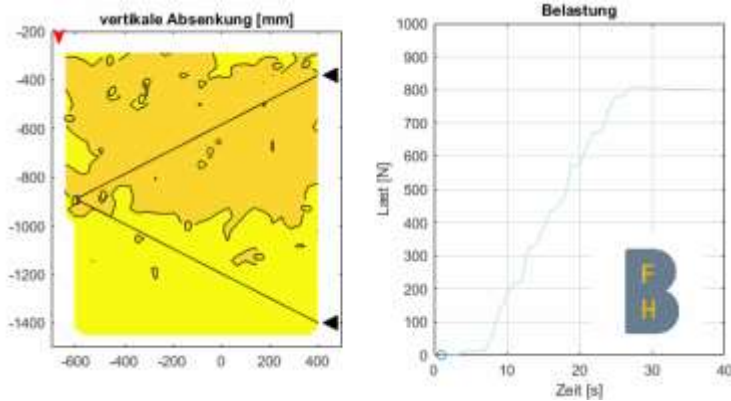
- ▶ Absenkungen/Verdrehungen der Bänder müssen vom Gesamtverformungen abgezogen werden.



Berner Fachhochschule | Haute école spécialisée bernoise | Bern University of Applied Sciences

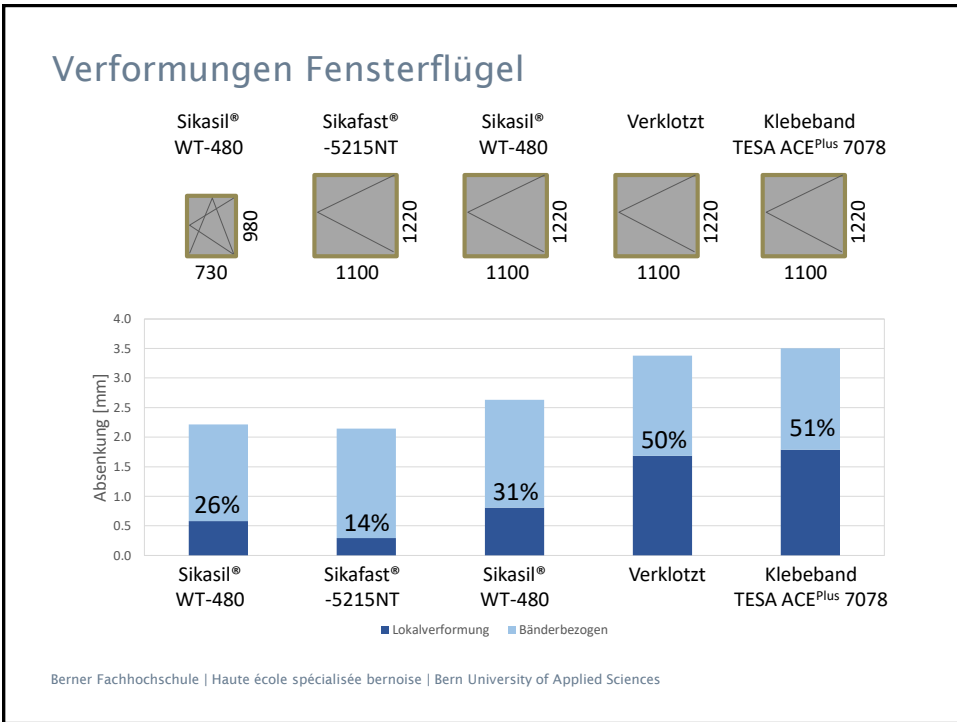
11

Verformungen Fensterflügel

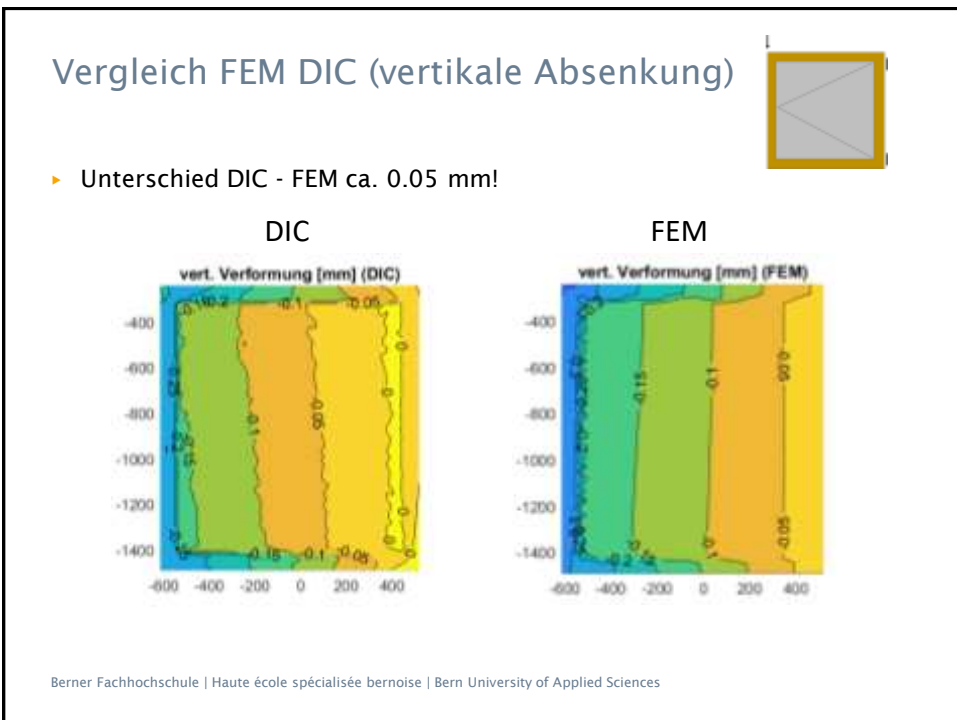


Berner Fachhochschule | Haute école spécialisée bernoise | Bern University of Applied Sciences

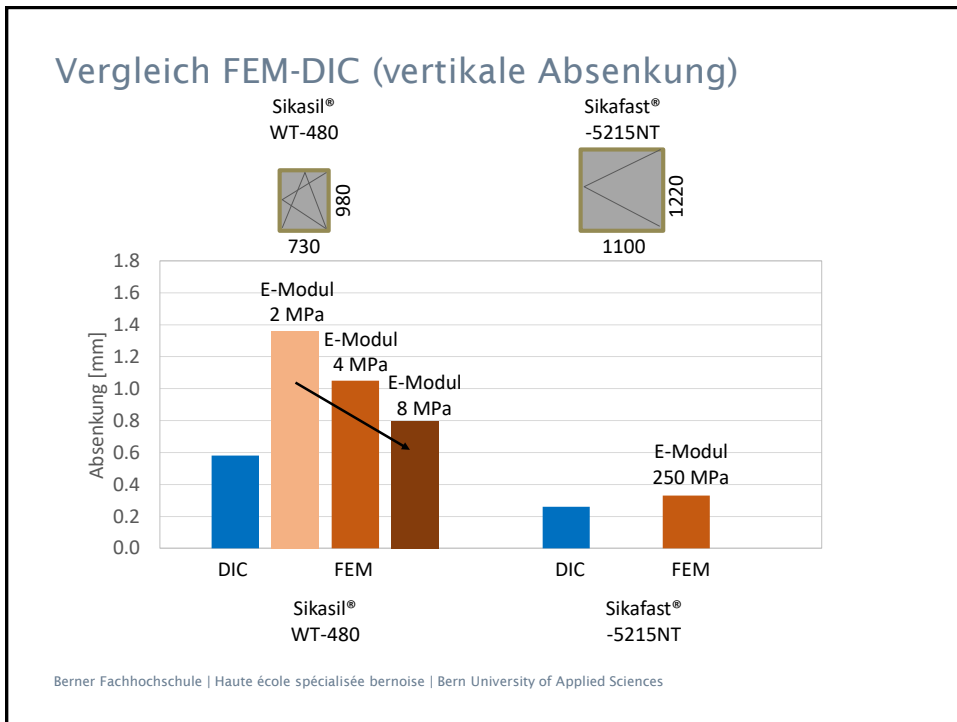
12



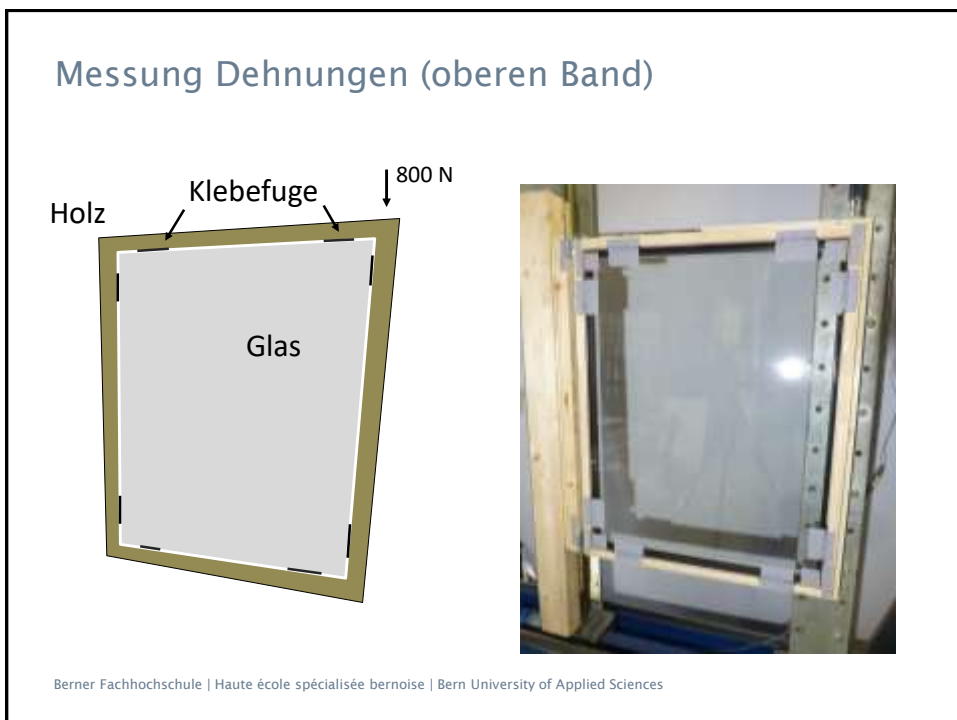
13



14



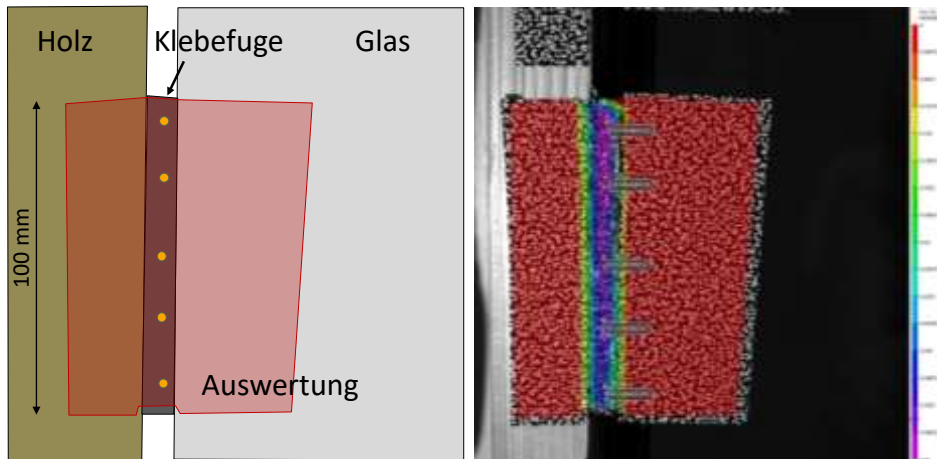
15



16

Messung Dehnungen (oberen Band)

- ▶ 'Dehnmessstreifen' alle 20 mm, Axial- und Schubdehnung



Berner Fachhochschule | Haute école spécialisée bernoise | Bern University of Applied Sciences

17

Was gibt es noch zu tun?

- ▶ Materialkennwerte
 - ▶ Klebstoffe (Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften)
- ▶ Bänder
 - ▶ Grossen Beitrag auf die Gesamtverformung
- ▶ Modellierung der Lagerbedingungen (Bänder)
- ▶ Verformung aus der Ebene (Klärungsbedarf)
 - ▶ Nur exzentrische Krafteinleitung verantwortlich?
 - ▶ Andere Einflüsse?
- ▶ Optimierung der Verklebung

Berner Fachhochschule | Haute école spécialisée bernoise | Bern University of Applied Sciences

18

Danksagung

- ▶ Berner Fachhochschule
(Bevilligung Projekt)
- ▶ G.Baumgartner AG, Hagendorn
(Prüfkörper)
- ▶ Siegenia-Aubi AG, Uetendorf
(Beschlag)
- ▶ Tesa Tape Schweiz AG, Urdorf
(Klebeband)

Berner Fachhochschule | Haute école spécialisée bernoise | Bern University of Applied Sciences