

Abschlussbericht

Stand: 07/2014

Projekt:

»Veranstaltung von Umwelt-Talent-Schools an den Fraunhofer-Instituten in Freiburg, Bremen* und Oberhausen«

Az 28379

Laufzeit

36 Monate

Projektbeginn

01.01.2011

Projektende

31.12.2013

Kostenneutrale Laufzeitverlängerung bis:

30. Juni 2014

wurde bewilligt

Bewilligungsempfänger:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.

Hansastr. 27 c

80686 München

Tel.: 089/1205 -2152

Fax: 089/1205-77-2152

Projektleitung:

Michael Vogel

Ansprechpartnerin:

Dr. Birgit Geiselbrechtinger

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens:

Es werden in einem Zeitraum von drei Jahren an drei verschiedenen Fraunhofer-Instituten insgesamt neun Umwelt-Talent-Schools (UTS)* durchgeführt, deren Workshops die Themenschwerpunkte Umwelt-, Natur- und Klimaschutz im Kontext der angewandten Forschung haben. Die Schülerinnen und Schüler sollen Arbeitsmethoden der Forschung und Entwicklung kennen lernen und die Möglichkeit erhalten, Akteure in den jeweiligen Arbeitsumfeldern der Institute hautnah zu erleben.

** Das Fraunhofer-Institut IWM-H in Halle (Saale) musste leider im Jahr 2011 auf Grund zu geringer Anmeldezahlen aus dem Projekt aussteigen. Eingesprungen ist dafür das Fraunhofer-Institut IFAM in Bremen.*

1. Umwelt-Talent-School am Fraunhofer IFAM in Bremen

1.1 Allgemeines und Vorbereitung

- 1.1.1 Teilnehmerakquise
- 1.1.2 Teilnehmerstruktur
- 1.1.3 Betreuung

1.2. Ablauf der Umwelt-Talent-School

- 1.2.1 Unterkunft
- 1.2.2 Ablauf der Workshop-Tage
- 1.2.3 Präsentationen

1.3 Die Workshops

- 1.3.1 Allgemeine Informationen
- 1.3.2 Elektromobilität bewegt – bald auch Dich?
- 1.3.3 Lacke – kann ansprechendes Aussehen der Umwelt nützen?
- 1.3.4 Herstellung von Rotorblättern – wieviel Chemie steckt in der Windkraft?

1.4 Interdisziplinarität

1.5 Auswertung der Umwelt-Talent-School / Fazit

1. Umwelt-Talent-School am Fraunhofer IFAM in Bremen

1.1 Allgemeines und Vorbereitung

Die Umwelt-Talent-School fand vom 02.06 bis zum 04.06.2014 zum 2. Mal am Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung in Bremen statt.

Dieses Jahr haben 28 Schüler/innen an den folgenden 2 Workshops teilgenommen

- Workshop 1: Elektromobilität bewegt – bald auch Dich? (15)
- Workshop 2: Lacke – kann ansprechendes Aussehen der Umwelt nützen?
(Hat wegen zu geringer TN-Zahl nicht stattgefunden)
- Workshop 3: Herstellung von Rotorblättern – wieviel Chemie steckt in der Windkraft? (13)

1.1.1 Teilnehmerakquise

Die zentralen Marketingmaßnahmen durch die Fraunhofer-Zentrale in München wurden vom Fraunhofer IFAM durch die folgenden spezifischen Werbeaktivitäten für die Umwelt-Talent-School am Standort Bremen begleitet und ergänzt:

- Ankündigung auf der Instituts-Homepage
- Pressemitteilung
- Postalisches Anschreiben von Schulen in der zweiten Januarhälfte 2014, wobei ein zur Verfügung gestellter Verteiler des Niedersächsischen Kultusministeriums genutzt wurde. Ebenso wurden alle Bremer Schulen angeschrieben.
- Werbung über Facebook über die Fraunhofer-Seite
- Werbung über Fraunhofer-myTalent-Portal und im myTalent-Newsletter

Aus den insgesamt bis zum Bewerbungsschluss (30.04.2014) eingegangenen Bewerbungen wurden alle, also 28, Schüler/innen zur Teilnahme an der Umwelt-Talent-School zugelassen.

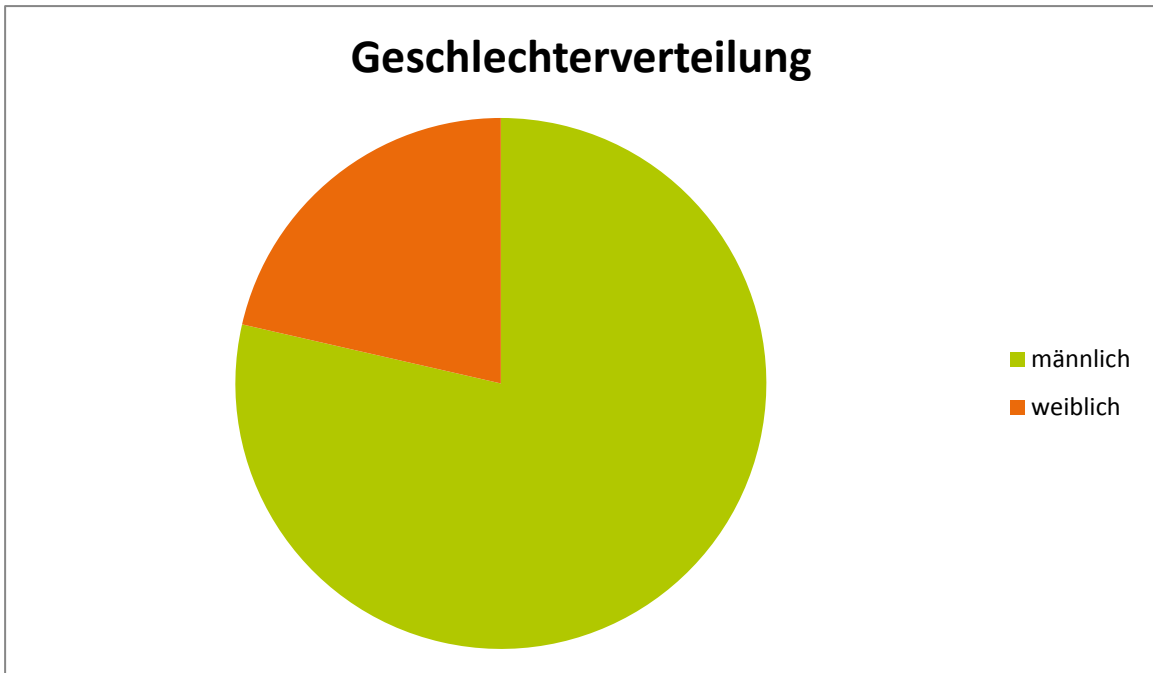
Die Teilnehmer hatten folgendermaßen von der Umwelt-Talent-School erfahren:

- Lehrer: 22
- Internet: 3
- Mitschüler: 1
- Eltern: 2

Die Verlegung der diesjährigen UTS in das für die niedersächsischen mündlichen Abiturprüfungen vorgesehene Zeitfenster hat sich tatsächlich als günstig für die Beteiligung an dieser Veranstaltung erwiesen: Die TN-Zahl konnte im Vergleich zum Vorjahr um fast 200 % erhöht werden.

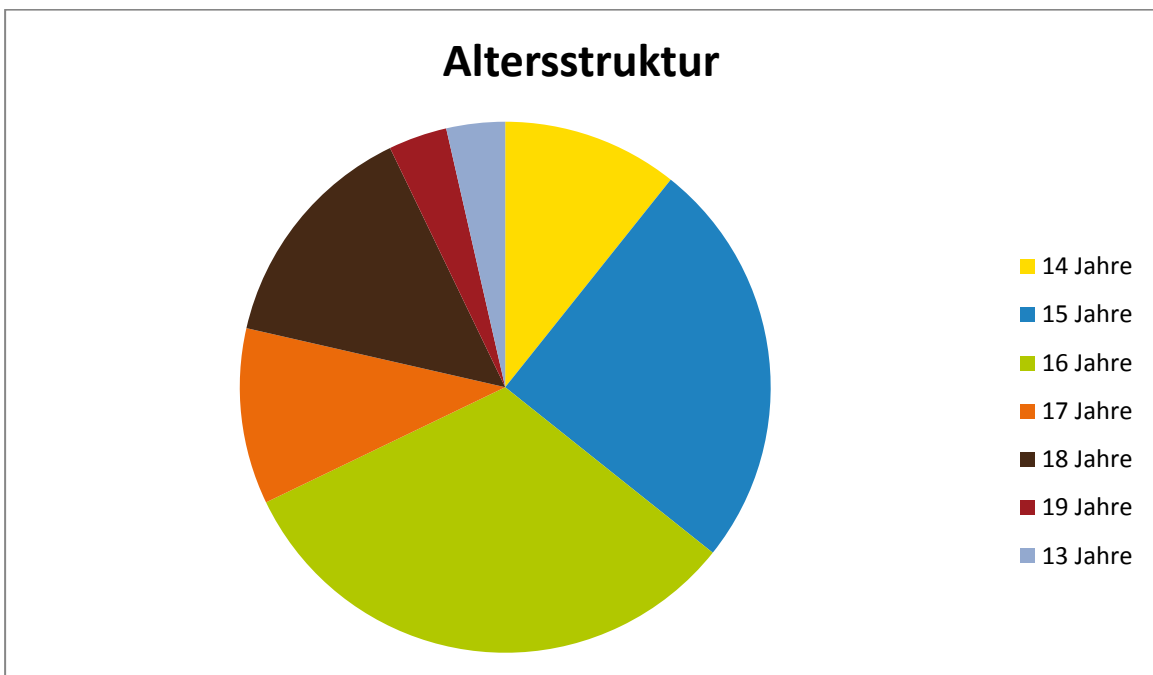
1.1.2 Teilnehmerstruktur

Insgesamt haben 28 Schüler/innen an der Umwelt-Talent-School teilgenommen. Davon waren 6 weiblich und 22 männlich.

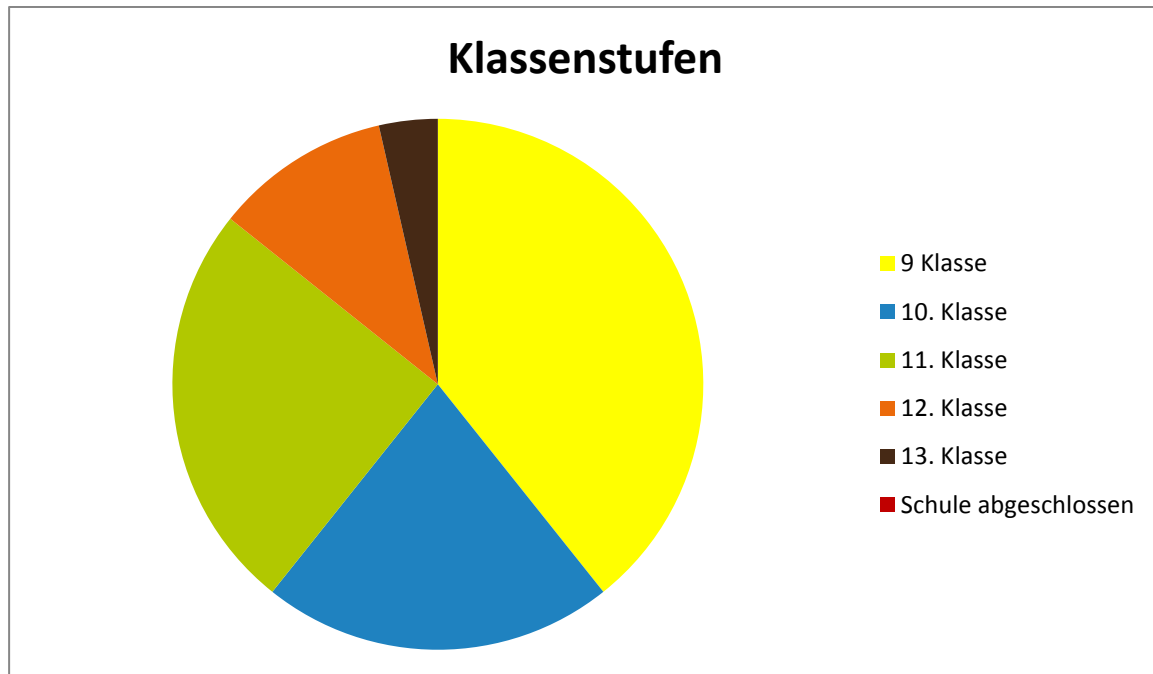


Die

Altersstruktur der Teilnehmenden ist folgendem Diagramm zu entnehmen. Das Durchschnittsalter betrug 15,9 Jahre.



Die Klassenstufen der Teilnehmenden sind in folgendem Diagramm abgebildet. 60,7 % der Teilnehmenden waren Schüler/innen der Oberstufen (10.-13. Klasse).



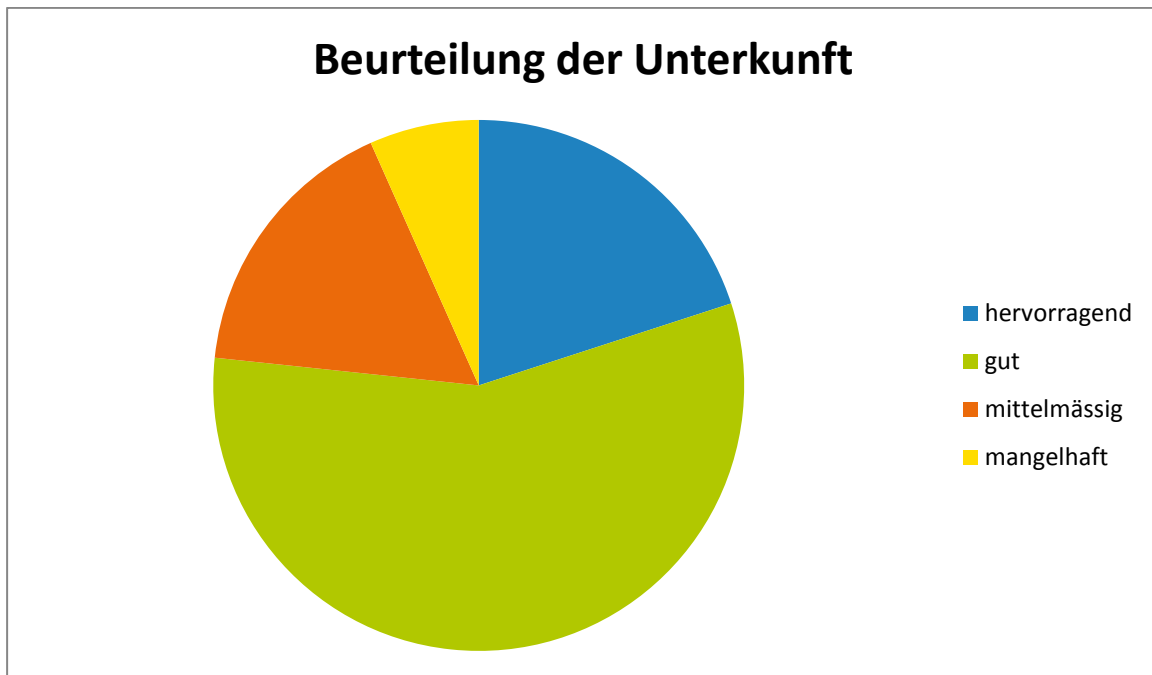
1.1.3 Betreuung

Die Teilnehmenden wurden außerhalb des Workshops von einer weiblichen und einem männlichen Abiturienten betreut, die sie auf allen außerinstitutionellen Wegen und Aktivitäten begleiteten. Die diesjährigen Betreuer konnten wir aus dem Fraunhofer-MINT-EC-Talents- Programm rekrutieren, in dessen Verlauf wir die Teilnehmenden 2 Jahre lang intensiv betreuen und kennenlernen konnten.

1.2. Ablauf der Umwelt-Talent-School

1.2.1 Unterkunft

Die Teilnehmenden waren während ihres Aufenthalts in der Jugendherberge Bremen, Kalkstraße 6, untergebracht. Der Großteil der Teilnehmenden reiste am ersten Workshopstag an, fünf Teilnehmende machten auf Grund ihrer langen Anreise aus Ost- und Süddeutschland von unserem Angebot Gebrauch, schon am Sonntagabend in der Jugendherberge einzuchecken. Das Betreuungsteam war auch am Vorabend schon anwesend.



1.2.2 Ablauf der Workshop-Tage

Die Umwelt-Talent-School im Fraunhofer IFAM in 2014 wurde vom 04.-06.06.2014 planmäßig durchgeführt. Eröffnet wurde die Talent-School von Beate Brede, Leiterin des Kunststoff-Kompetenzzentrums in der Abteilung „Weiterbildung und Technologietransfer“ und gleichzeitig Leiterin der Arbeitsgruppe „Nachwuchsförderung“ dieser Abteilung.

Es wurden die folgenden Workshops angeboten:

- Workshop 1: Elektromobilität bewegt – bald auch Dich?
- Workshop 2: Lacke – kann ansprechendes Aussehen der Umwelt nützen?
- Workshop 3: Herstellung von Rotorblättern – wieviel Chemie steckt in der Windkraft?

Auf Grund der zu geringen Bewerberzahl wurde schlussendlich der mit 3 Bewerbungen am wenigsten angewählte Lack-Workshop nicht durchgeführt; die Teilnehmenden, die dieses Thema als Erstwahl angegeben hatten, konnten jeweils im Workshop ihrer Zweitwahl teilnehmen.

Programmübersicht

1.Tag Montag, den 02.06.2014	
bis 9:30 Uhr	Anreise zum Fraunhofer IFAM
10:00 bis 10:30 Uhr	Begrüßung, Vorstellung
10:30 bis 12:45 Uhr	Beginn der Arbeit in den 3 Workshops
12:45 bis 13:30 Uhr	Mittagspause
13:30 bis 17:45 Uhr	Arbeit in den Workshops
17:45 bis 18:00 Uhr	Abschlussplenum des 1. Tages; anschließend Führung durch das Institut
ab ca. 18:45 Uhr	Fahrt zur Unterkunft, Abendessen, Abendprogramm

Abendprogramm: Nachtwächterführung durch Bremens Altstadt, anschließend gemütliches Beisammensein in einem Gruppenraum der Jugendherberge

2. Tag Dienstag, den 03.06.2014	
7:30 Uhr	Frühstück
8.30 Uhr	Transfer ins IFAM
09:00 bis 12:30 Uhr	Arbeit in den Workshops
12:30 bis 13:30 Uhr	Mittagspause
13:30 bis 16:30 Uhr	Arbeit in den Workshops
16:45 bis 18:30 Uhr	Fragestellungen einer ökologischen Ethik
18:30 bis 18:45 Uhr	Abschlussplenum des 2. Tages
18:45 bis 20:15 Uhr	Abendessen, „Get together“ mit Institutsleitern, Wissenschaftlern und Studenten aus dem IFAM
ca. 20:15 Uhr	Rückfahrt zur Unterkunft, Abendprogramm

3. Tag Mittwoch, den 04.06.2014	
7:30 Uhr	Frühstück und Räumen der Zimmer
8:30 Uhr	Transfer ins IFAM
09:00 bis 13:00 Uhr	Arbeit in den Workshops
13:00 bis 13:30 Uhr	Mittagspause
13:30 bis 15:00 Uhr	Arbeit in den Workshops
15:00 bis 16:00 Uhr	Abschlussplenum und Verabschiedung
ca. 16:00 Uhr	Ende der Veranstaltung und Abreise

1.2.3 Präsentationen

Am 06.06.2014 fanden ab 15 Uhr die Präsentationen zu den beiden Workshops statt. Hierbei war den Teilnehmenden die Aufgabe gestellt worden, im so genannten „Pecha Kucha“ – Format ihre Eindrücke dem Zuhörerkreis zu schildern, der aus den Teilnehmenden des jeweils anderen Workshops, IFAM-Mitarbeitern und zur Abholung angereisten Eltern bestand. Neben dem technischen Input, den die Teilnehmenden auch in dieser rein bildgestützten Präsentationsform erstaunlich korrekt rekapitulierten, und dem dargestellten „Kleinprojekt“ (Herstellung und Test von 2 verschiedenen Rotorblattarten (FVK, Gips) bzw. Programmierung und Testfahrt eines selbstgebautes Modell-E-Autos) konnte in dieser Darstellungsform auch die Atmosphäre des dreitägigen Workshops gut nachempfunden werden.

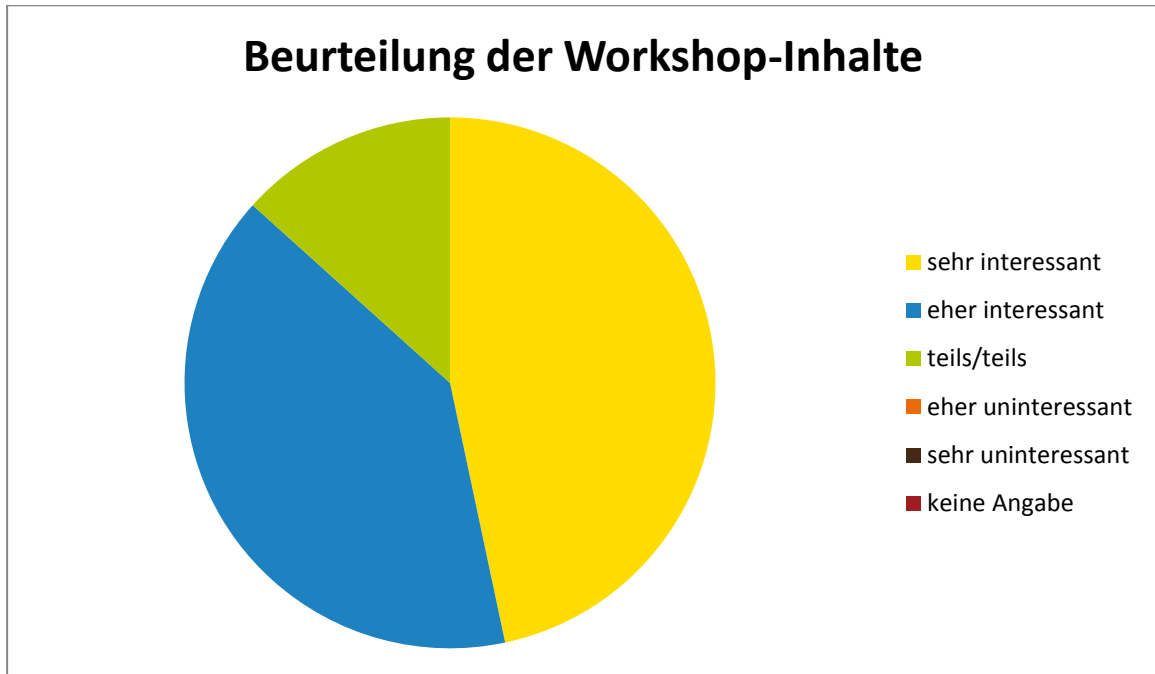
1.3 Die Workshops

1.3.1 Allgemeine Informationen

Insgesamt wurden drei Workshops zur Auswahl angeboten – von denen allerdings schlussendlich nur zwei durchgeführt wurden (s.o.). Auf unserer Homepage war zu jedem Workshop eine Beschreibung hinterlegt.

Die Inhalte der Workshops wurden von den Teilnehmenden wie folgt beurteilt:

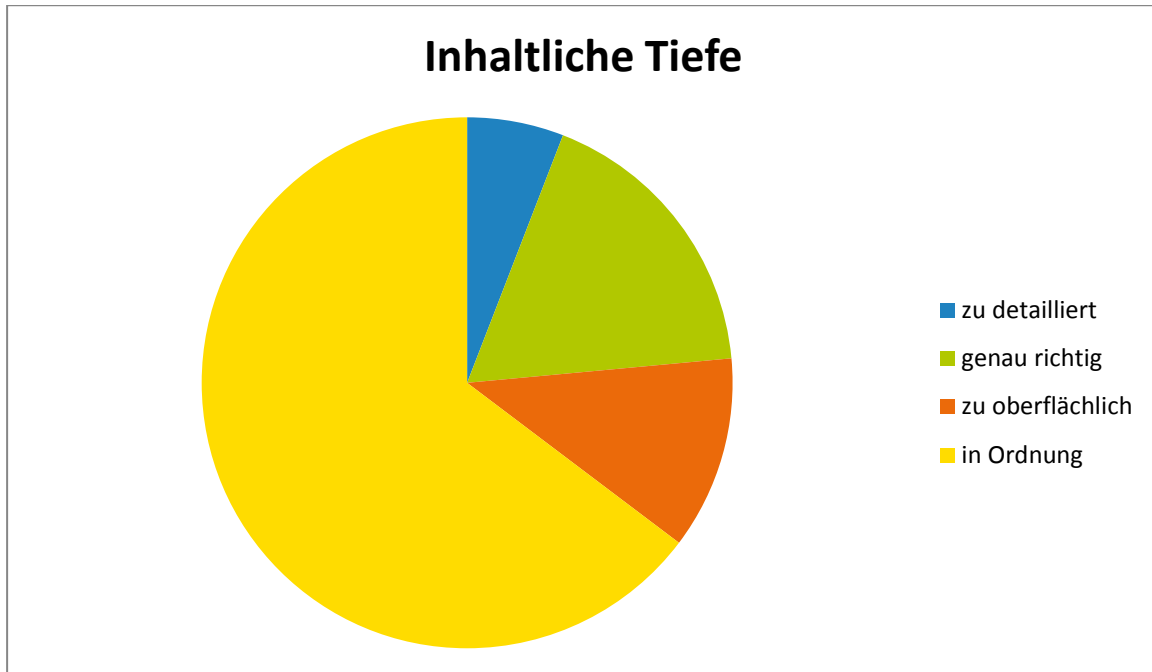
Workshop 1: Elektromobilität bewegt – bald auch Dich?



Das Auftreten der Workshop-Leiter/innen wurde zu 100% als sehr freundlich beurteilt.



Die inhaltliche Tiefe wurde von 15 % als genau richtig beurteilt.



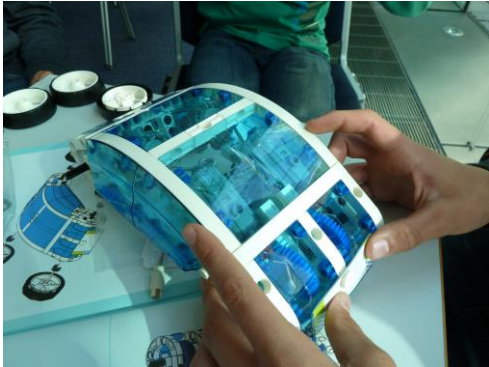
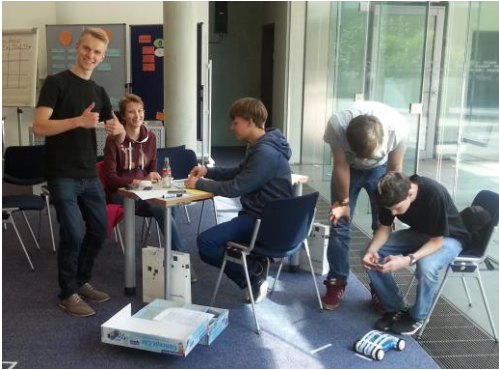
Das Arbeitsklima in den Workshops wurde von 73 % als sehr angenehm beurteilt:



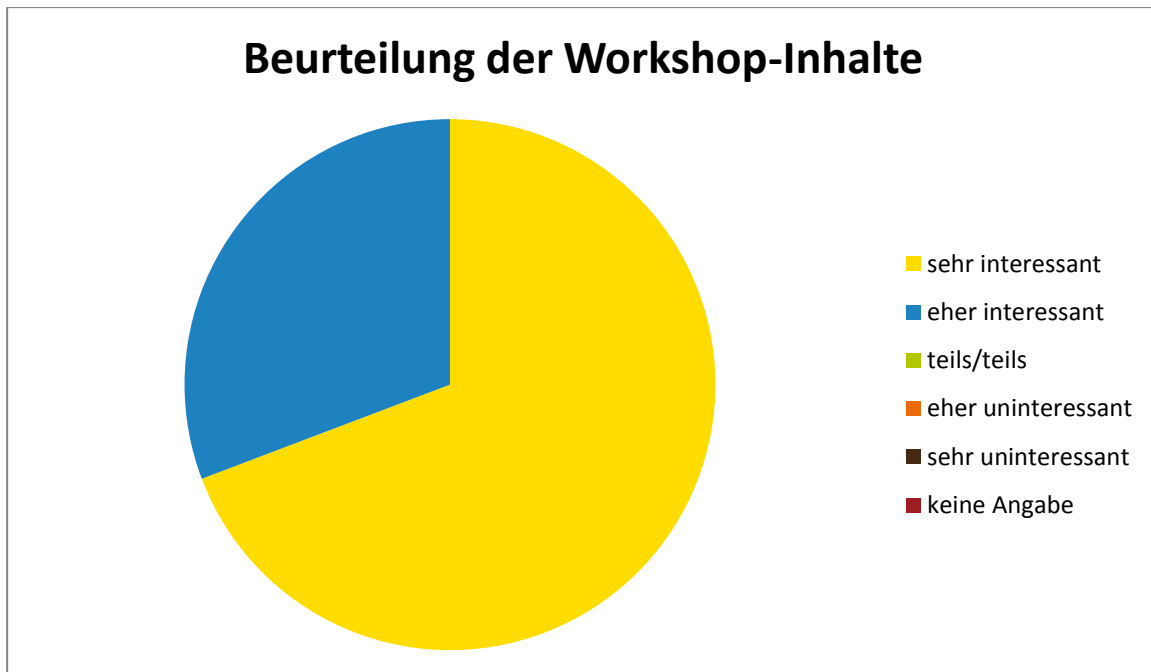
Insgesamt wurde der Workshop von 36,7 % als sehr gut beurteilt.



Einige Impressionen aus diesem Workshop:



Workshop 3: Herstellung von Rotorblättern – wieviel Chemie steckt in der Windkraft



Das Auftreten der Workshop-Leiter/innen wurde zu 83% als sehr freundlich beurteilt.



Die inhaltliche Tiefe wurde von 46,1 % als genau richtig beurteilt.



Das Arbeitsklima in dem Workshop wurde von 84,6 % als sehr angenehm beurteilt:



Insgesamt wurde der Workshop von 85,7 % als sehr gut beurteilt.



Einige Impressionen aus diesem Workshop:



1.3.2 Titel Workshop 1: Elektromobilität bewegt – bald auch Dich?

(Bericht von Workshop Leiter Stefan Sündermann)

Der Grundlagenteil diese Workshops wurde mit Präsentationen und praktischen Übungen zu folgenden Themen bestritten:

- Was bedeutet „Elektromobilität“? Chancen und Risiken? Aktuelle Probleme und Lösungsansätze...
- Wie kann eine Mobilität der Zukunft unter gesellschaftlichen und ökologischen Aspekten aussehen? Beispiel: CarSharing
- Vorstellung eines „echten Elektro-Schulungsfahrzeuges“ mit praktischen Demonstrationen zum Thema „Arbeiten unter Hochvolt“.
- Die Schüler konnten „Elektromobilität“, durch Probefahrten mit verschiedenen Elektroautos, selber erfahren. (Mitfahren!)

Da es sich bei dem Thema „Elektromobilität“ um ein relativ neues Themengebiet handelt, das noch nicht wirklich Eingang in schulische Curricula gefunden haben kann, sind wir beim inhaltlichen Design des Workshops von Nullanfängern ausgegangen.

Da es sicherheitstechnische Probleme hätte geben können, wenn wir an einem realen Elektroauto (bei ca. 400 Volt) gearbeitet hätten, haben wir uns entschlossen, das Thema mit einem Model (Kosmos – Concept Car) umzusetzen, an dem alle Inhalte der Schulung praktisch dargestellt werden konnten. Hierbei arbeiteten die Schüler in Gruppen von 3-4 Teilnehmenden.

Die Durchführung des Workshops gestaltete sich folgendermaßen:

- Im ersten praktischen Teil sollte jede Gruppen ein Model eines Elektrofahrzeuges zusammenbauen und parallel Fragen dazu beantworten. Die Fragen und die Zielsetzung des Fahrzeuges waren vorgegeben.
- Anschließend hat jede Gruppen einen ausgewählten Teil der Fragen den anderen Gruppen in einer kleinen Präsentation beantwortet und die Ergebnisse dargestellt. Die Präsentation erfolgte mit Karten und/oder angefertigten Zeichnungen auf Präsentationstafeln. Auf PowerPoint wurde bewusst verzichtet, da Schüler heute im Unterricht fast nur noch PowerPoint verwenden und praktische Kreativität beweisen sollten. Jede Gruppe hat diese Aufgabe sehr unterschiedlich, aber besser als erwartet gelöst.
- Ein weiterer praktischer Teil war die Programmierung der Fahrzeuge. Ziel war es, einen vorher von den Gruppen selber aufgebaute „Wegstrecke“ abzufahren, im so das Thema „Autonomes Fahren“ auch in der Praxis zu veranschaulichen. Daraus wurde ein Wettbewerb zwischen den einzelnen Gruppen entwickelt.
- Fragestellungen hierbei waren: Welche praktischen Probleme tauchen bei der Umsetzung auf? Wie können diese in der Gruppe unter zum Teil engen Zeitvorgaben gelöst werden? Organisation von Gruppenarbeit? Machen alle „alles“ oder wann ist Arbeitsteilung sinnvoll? Kann einer besser konstruieren, Fragen beantworten oder programmieren? Die Gruppen wurden individuell begleitet und trotz zu Anfang sehr unterschiedlicher Gruppen, kamen alle zu den gewünschten Ergebnissen.

Folgende Themenbereich wurden während des Workshops behandelt:

- Was für Antriebsarten gibt es bei Autos / Elektroautos?
- Was für Batteriespeicher / Motor-, bzw. Fahrzeugkonzepte gibt es?
- Welche Sicherheitsaspekte sind bei dieser Technologie zu beachten? Thema Hochvolt!
- Wie funktioniert „Autonomes Fahren“? Thema Sensorik an Fahrzeugen! Welche Sensoren sind bereits bekannt? Welche werden zusätzlich für autonom fahrende Fahrzeuge benötigt?
- Beispielhaft wurden Sensoren gezeigt, die bereits in aktuellen Fahrzeugen verbaut sind. Fragestellung: Wie sieht eigentlich ein „Abstandsensoren“ aus? Wie realisiere ich überhaupt so eine Funktion in der praktischen Anwendung?

O.a. Planung wurde im folgenden zeitlichen Rahmen mit geringfügigen Änderungen umgesetzt:

Wochentag	Zeit	Aktion	Bemerkung
Montag 2. Juni 2014	10:30 – 10:45	Begrüßung, Vorstellung des Ablaufs der UTS	rue/sdm
	10:45 – 11:15	Vorstellungsrunde rue/sdm Teilnehmer bekommen Namensschilder Kennenlernen: Jeder stellt Nachbarn vor (Name / Alter / Lieblingsfächer / Hobbys / Berufswunsch)	Gruppenbildung 4 Sorten Namensschilder! Kamera!
	11:15 – 11:30	Wo geht die berufliche Zukunft hin? Berufswunsch Ingenieur? Aussagen der Teilnehmer aufgreifen!	Wie arbeitet ein Ingenieur? Film geht doch? Internet?
	11:30 – 12:30	Impulsvortrag „Elektromobilität in der Zukunft“ Elektromobilität: Zukünftige Aufgaben für Ingenieure!	rue Vortrag sdm bereitet Praxis vor
	12:30 – 12:45	Diskussion/Ausblicke	
	12:45 – 13:30	Mittag (Haus am Walde)	
	13:30 – 14:30	„Praxis 1“ 3/3: Probefahrt mit E-Autos 6-8: „Demonstrator“, Strom / Spannung / HV Wechsel der Gruppen nach ca. 30 min.	Treffpunkt „Gildemeister“! Aufteilen in 3 Gruppen 3/3/6-8 sdm + rue, nb
	14:30 – 15:00	Fuhrparkbesichtigung Stromos / Delta / Think / ...	Manfred Wichmann bereitet Fuhrpark vor!
	15:00 – 15:15	Ortswechsel IFAM – Park	
	15:15 – 15:30	Vorstellung der Räume (kleine Führung?)	Beate Brede
	15:30 – 15:45	Pause (Kuchen / Getränke)	Wo? (Parkallee 3. Etage)
	15:45 – 16:00	Vorstellung des Projekts „Concept Car“ Wir arbeiten als Ingenieure!	Anschließend: Aufteilung in die 4 Gruppen!
	16:00 – 16:15	Film: „Autonomes Fahren“	Rue: Google, Audi oder MB
	16:15 – 16:30	Gruppenarbeit: Concept Car Auspacken / Beschreibung lesen - Was fehlt? Einer soll melden! - Ausgabe des fehlenden Teils!	Teamname! Fahrzeugname!

	16:30 – 17:45	- Austeilen der 12 Fragen zum Begleitheft - Jede Gruppe soll für jeweils 3 Fragen für den nächsten Tag eine kleine Präsentation von ca. 10 min. mit Präsentationskarten vorbereiten - Beginn des Zusammenbaus - Erste Fahrversuche	4 Gruppen! Selbstorganisation Zusammenbau / Fragen beantworten / Präsentation vorbereiten Austeilen der 4 iPads!
Dienstag	09:00 – 10:00	Gruppenarbeit (vom Vortag) Präsentation vorbereiten	Treffen am IFAM/Hörsaal
3. Juni 2014	10:00 – 11:00	Präsentation der 4 Gruppen (4x 10 Min.) Diskussion(20 Min.)	Präsentationskoffer
	11:00 – 11:30	Sensoren (Beispiele) in aktuellen PKW	sdm
	11:30 – 12:30	Ausblick Sensoren – Ausstellung IFAM	Volker Zöllmer???
	12:30 – 13:30	Mittag (Mensa)	
	13:30 – 15:15	Beginn der Challenge: „üben“	IFAM/Hörsaal
		15:15 – 15:30	Pause
	15:30 – 16:30	„fahren“	IFAM/Hörsaal Kamera! Bilder! Für morgen!
Mittwoch	09:00 – 10:00	Vortrag Co/2	rue
34. Juni 2014	10:00 – 12:00	„fahren“ Parcours 2	
	12:00 – 13:00	Vorbereitungszeit Abschlusspräsentation	
	13:00 – 13:30	Mittag (Mensa)	
	13:30 – 15:00	Abschlusspräsentation „Pecha Kucha“	
	15:00 – 16:00	Abschlussplenum	

1.3.3 Workshop 3: Herstellung von Rotorblättern – wie viel Chemie steckt in der Windkraft?

Der Workshop ist von einem Team aus 4 Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen der Abteilung „Weiterbildung und Technologietransfer“ und hier der Arbeitsgruppen „Kunststoffkompetenzzentrum“ und „Nachwuchsförderung“ gemeinsam ausgearbeitet und durchgeführt worden.

Das Ziel des Workshops war es, den Schülerinnen und Schülern Faserverbundkunststoffe als einen wichtigen Werkstoff von Windenergieanlagen näher zu bringen, seine Möglichkeiten und Grenzen aufzuzeigen und Denkanstöße zum Thema „was ist eigentlich „ökologisch?“ zu geben. Hiervon ausgehend hatten die Teilnehmenden die Gelegenheit, „natürliche“ Ersatzkomponenten bei der Herstellung von Rotorblättern auszuwählen und diese nach dem eigenhändigen Verbauen verschiedenen Belastungstests zu unterziehen.

Nach Verlauf der Diskussionen während des Workshops und nach Ablauf der Abschlusspräsentation kann dieses o.g. Ziel als erreicht angesehen werden.

Verzählt werden konnten die Workshopinhalte zum Thema Matrixsysteme mit Teilen der Organischen Chemie, die die Schüler schon aus der Schule kannten; im Vergleich zum Vorjahr wurden diese Theorieteile in einer didaktisch reduzierteren Form dargestellt, so dass auch die Teilnehmenden aus der 9. Jahrgangsstufe Anknüpfungspunkte zu ihrem Vorwissen fanden. Ausgehend von der Chemie der Matrixsysteme lernten die Schülerinnen und Schüler Komponenten, Herstellungsverfahren sowie Grenzen und Möglichkeiten der FVK-Technologie kennen. Das bisher immer noch problematische Recycling von FVK-Werkstoffen wurde ebenfalls thematisiert.

Besonderer Wert wurde bei der Konzeption des Workshops von vornherein auf hohe Praxisanteile gelegt: Die Teilnehmenden konnten selbst FVK-Verbunde herstellen und diese dann an Prüfmaschinen auf die erreichten Festigkeiten prüfen und die Ergebnisse analysieren. Hierbei sollten den Schülerinnen und Schülern Laborerfahrungen ermöglicht werden, die im schulischen Umfeld kaum zu machen sind, mit dem Ziel, ihren Horizont zu erweitern, was die Anforderungen und Möglichkeiten eines naturwissenschaftlichen Studiums betrifft. Im Vorfeld der Laborarbeiten, bei denen die Teilnehmenden auch mit Gefahrstoffen hantieren mussten, wurde eine dokumentierte Sicherheitseinweisung durchgeführt; die Einverständniserklärungen der Eltern von unter 18jährigen Teilnehmenden lag vor.

Der folgende „Stundenplan“ wurde mit geringfügigen zeitlichen Verschiebungen so auch umgesetzt:

Wochentag	Zeit	Thema	Bemerkung
Montag 2. Juni 2014	10:30 – 11:30	Begrüßung, Vorstellungsrunde Einstieg: Bilder zuordnen: Worin steckt FVK? Einführung in FVK, Geschichte, heutige Einsatzbereiche, Vergleich mit Naturprodukten, Aufbau einer Windenergieanlage	Einstieg/Partnerinterview/Bilder! ; kurz erwähnen, was FVK mit Rotorblättern zu tun hat
	11:45 – 12:45	Fasern, Eigenschaften und Materialien, Vor- und Nachteile von textilen Halbzeugen Darstellung von Drapierfähigkeit und Festigkeit	
	12:45 – 13:30	Mittag: Haus am Walde	
	13:30 – 14:00	Herstellung von Rotorblättern	Theoretisch
	14:00 – 14:45	Aufgabe: Welche Anforderungen an die Werkstoffe bestehen?	Bsp. Steifigkeit, Festigkeit, Umwelteinflüsse, Gewicht
	15:00 – 15:45	Ergebnisvorstellung, Ausarbeitung von Umwelteinflüssen (Salz, Wasser, Korrosion, Wind, Sonne etc.)	In 3er-Gruppen arbeiten lassen (1. Gruppe beginnt, 2. + 3. ergänzt)
	16:00 – 16:15	Einführung Laborarbeit, Arbeits- und Umweltschutz	Auf Formblatt unterschreiben lassen
	16:30 – 17:45	Versuche zur Wasseraufnahme, Zugversuche im Vergleich Matte aus NF/GF und UD-Gelege aus GF (Einspannlänge?)	Arbeitsanweisungen erstellen, TN einführen, Fasern auf Probe kleben
	ca.18:00-18:30	Institutsführung bzw. Film	
Dienstag 3. Juni 2014	09:00 – 12:30	Laminieren in der Parkallee Herstellung einer Platte aus GFK	Macht jeder TN; Rotorblatt in Gruppen
	12:30 – 13:30	Mittag: Mensa	
	13:30 – 16:30	Laminieren in der Parkallee Herstellung eines Rotorblattes aus GFK und Gips/Fasern	
	16:30-17:15	Kunststoff-Komponente: Matrixsysteme	
	17:30 -18:30	Einführung in eine ökologische Ethik (IFAM: Hörsaal)	
	ab ca. 18:30- ca. 20:15	Get together	
Mittwoch 4. Juni 2014	09:00 – 09:45	Auswertung der Versuche von Montag Besprechung der Praxis, gewonnene Erkenntnisse	TN auf Flipchart Erkenntnisse präsentieren lassen; Wiederholung und Zusammenfassung durch Dozenten
	10:00 – 10:45	Sandwichstrukturen, Aufbau, Sinn, Kernmaterialien	
	11:00 – 11:45	Aufgabe: Auswahl eines ökologischen Sandwichkerns für Rotorblätter	Preise und einige Daten werden geliefert
	12:00 – 12:30	Diskussion der Materialauswahl: Wie ökologisch ist Balsaholz?	
	12:30 – 13:00	Recycling: Probleme, aktuelle Forschung, Methoden, Möglichkeiten, Zukunft Ausblick Windenergie, FVK	Wird Recycling dem Werkstoff oder Werkstoff dem Recycling angepasst?
	13:00 – 14:00	Mittag/Mensa	
	14:00 – 15:30	Ausarbeitung einer Präsentation für das Abschlussplenum im IFAM	Schon am 1. Tag auf die Aufgabe hinweisen; Pecha Kucha!
	15:30 – 16:00	Abschlusspräsentationen	

1.4 Interdisziplinarität

In den Workshops wurde nicht nur zu den angebotenen Themen der angewandten Forschung gearbeitet, sondern es wurden auch übergreifende Sachverhalte wie Fragestellungen einer ökologischen Ethik interdisziplinär behandelt. Ausgangspunkt hierfür war die Frage: „Was soll ich tun?“ – Hier findet sich DIE Grundfrage der philosophischen Disziplin der Ethik, die in dem begleitenden Workshop am Dienstag behandelt wurde. In diesem übergreifenden Workshop wurden die Schülerinnen und Schüler an philosophische Denkmuster herangeführt und ihnen letztendlich Wege aufgezeigt, wie man begründete Stellungnahmen entwickeln kann zu Grundfragen einer ökologischen Ethik wie z.B.:

- Hat die Natur einen Wert an sich, der über die Bedürfnisbefriedigung des Menschen hinaus geht?
- In wieweit können Kosten-Nutzen-Analysen auf nichtmonetäre Werte angewendet werden?
- Gibt es ideologische Grenzen in der Ökologiedebatte?

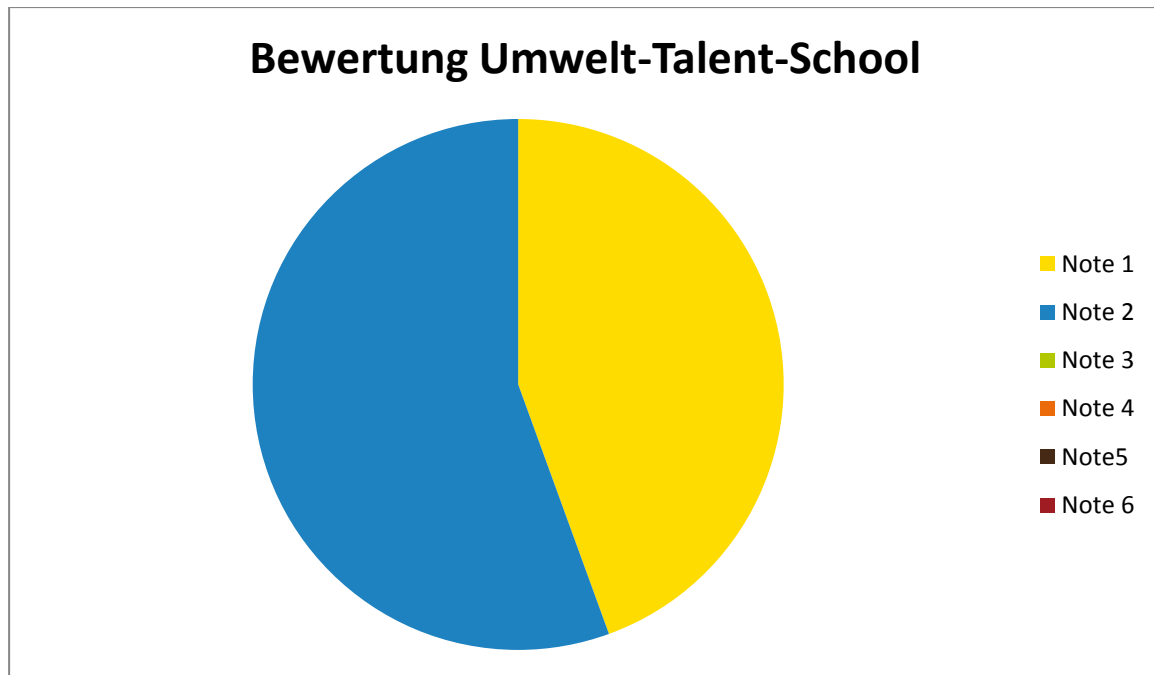
Diese Einheit sollte ihnen eine weitere Perspektive auf die Fragestellungen geben, die sie in den eher technisch- wissenschaftlich ausgerichteten Workshops bearbeiten konnten.

Den Teilnehmenden wurde das breite Forschungsspektrum der Fraunhofer-Gesellschaft vorgestellt – neben den Erläuterungen der unterschiedlichen Forschungsdisziplinen wurde auch das Thema der Finanzierung der einzelnen Institute sowie deren Verbindungen/Zusammenarbeit miteinander bzw. deren Zugehörigkeit zu unterschiedlichen Forschungsverbänden erläutert.

So konnten u.a. beim gemeinsamen „Get-together“ der Workshopteilnehmenden und verschiedener Fraunhofer- Mitarbeiter aus unterschiedlichen Abteilungen des Fraunhofer IFAM ihre Arbeit darstellen und so Einblicke in den realen Forscheralltag geben.

1.5 Auswertung der Umwelt-Talent-School / Fazit

Insgesamt bewerteten die Teilnehmenden die Umwelt-Talent-School folgendermaßen:



Die Durchschnittsnote betrug demnach 1,5.

In den Freitextfeldern der Fragebögen konnten die Schüler/innen notieren, was ihnen besonders gut und nicht so gut gefallen hat und welche Anregungen die Teilnehmenden geben möchten.

Hier einige Antworten:

Was hat dir besonders gut gefallen?

- Mir hat besonders gut gefallen, dass ich mit netten und interessierten Menschen arbeiten konnte und das Thema vertiefen konnte
- die Vorträge waren informativ, die Experimente waren lustig
- Dass man selber an Projekten arbeiten durfte
- Betreuung in der Jugendherberge; Praxis im Labor; Vorträge informativ, aber locker; Verpflegung im Institut; Essen in Uni, da man einen Eindruck von dem Unileben bekommen hat; Vortragsfolien ausgedruckt
- Die Verpflegung war hervorragend; Gespräche mit den Mitarbeitern; die Organisation war gut; die praktische Arbeit

- Selbständiges Experimentieren und Arbeiten; Erlangung von neuem Wissen; gute Atmosphäre zwischen Teilnehmern und Wissenschaftlern bzw. Betreuern; ausgedruckte Vorträge (Auseinandersetzung mit Thema auch später mal wieder)
- Eigenständiges Arbeiten und Verpflegung
- Verpflegung ☺; praktisches eigenständiges Arbeiten
- Laborarbeit; Get together; Betreuer; Kuchen; Tischkicker
- Die praktische Arbeit und die ganze Atmosphäre
- Werkstattleiter war super

Was hat dir nicht so gut gefallen?

- Das wir sehr viel Theorie gemacht haben
- Stress durch zu wenig Duschen, Essen in der Jugendherberge war etwas schlechter
- Unterkunft in 6-Bett-Zimmer
- Vorträge waren zum Teil zu lang und diese setzten teilweise gewisse chemische Grundlagen voraus, die nicht jeder wissen konnte
- Aufteilung von Theorie und Praxis
- Dass es so große Zimmer (Vierer und Sechser) in der Jugendherberge gab
- Das Bett war nicht so gut; die weiten Strecken zwischen den Gebäuden

Welche allgemeinen Anregungen oder Anmerkungen hast du?

- Ggf. ehemalige Wettbewerbsteilnehmer gezielt nach Interesse an der UTS anschreiben
- Schade, dass der Lacke-Workshop nicht stattgefunden hat
- Vielleicht bei den Abendveranstaltungen mehrere unterschiedliche Gruppen bilden (vor allem auf die Workshops bezogen), da man leider nicht alle kennen lernt und das schade ist
- Ich fand die Umwelt-Talent-School sehr interessant und habe nette Gespräche mit den netten Workshopteilnehmern/Ausbildern geführt und mit diesen neue Kontakte geknüpft
- Um die Arbeitsmoral zu steigern fehlt noch ein Billardtisch (!!)
- Ich finde, die Vorträge könnten gekürzt werden
- Insgesamt fand ich sie gut, doch ich kann jetzt erstmal nichts mehr über Autos hören

Eine abschließende Frage, die auch im Workshop zur ökologischen Ethik immer wieder aufkam, war, warum sich der/die Teilnehmer/in für ein aktuelles Umwelt-Forschungsthema interessiert. Diese Frage wurde überwiegend mit folgenden Aussagen beantwortet:

- Verantwortung für die Natur
- Langfristiges Eigeninteresse
- Wirtschaftliche Vorteile

Feedback des Instituts:

Vor allem die Kollegen, die den Workshop zur Elektromobilität durchgeführt haben und hiermit zum ersten Mal mit Schülerinnen und Schülern dieser Altersgruppe konfrontiert wurden, zeigten sich positiv überrascht von der Leistungsfähigkeit und Lernbereitschaft ihrer

Teilnehmer.

Alle anderen beteiligten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Fraunhofer IFAM, die an dieser UTS mitgewirkt haben, konnten schon diesbezügliche Erfahrungen mitbringen und zeigten sich demgemäß nicht mehr ganz so überrascht als vielmehr wieder erfreut über das große Interesse, das die Schülerinnen und Schüler an den behandelten Themen und Fragestellungen zeigten.

In einer etwaigen weiteren Auflage der Umwelt-Talent-School sollte überlegt werden, die Fragestellungen zu einer ökologischen Ethik auch Workshop begleitend darzustellen. So kann man der Gefahr begegnen, dass diese Einheit nur als „add-on“ wahrgenommen wird, wie es diesmal m.E. teilweise den Eindruck machte – bestärkt durch den Umstand, dass die Teilnehmenden schwer von den Modellautos bzw. aus dem Labor zu bekommen waren, was wiederum zu Zeitproblemen bei der Ethik-Einheit führte.

Erstaunt waren wir darüber, dass sich einige Teilnehmende negativ über die 4-6-Bett-Zimmer in der Jugendherberge geäußert haben, da sie dies als zu voll und vor allem zu laut einschätzten. Vielleicht setzt grad ein Bedürfniswechsel bei dieser Generation an, denn dies war das erste Mal in sieben Jahren Erfahrung mit dieser Zielgruppe, dass zu wenig Ruhe in der Nacht ein Problem darstellte. Bei einer etwaigen Neuauflage dieser Veranstaltung hieße es, dies zu berücksichtigen.

Anlage I - VIII

Fachvorträge:

Herstellung von Rotorblättern

- Wie viel Chemie steckt in der Windkraft?
- Sandwich-Strukturen
- Fasern und Textilien
- Aufbau von Polymeren
- Wie ökologisch ist Balsa-Holz?
- Entwicklung der Windenergie
- Wie viel Chemie steckt in der Windkraft?
- Recycling



Herstellung von Rotorblättern

-

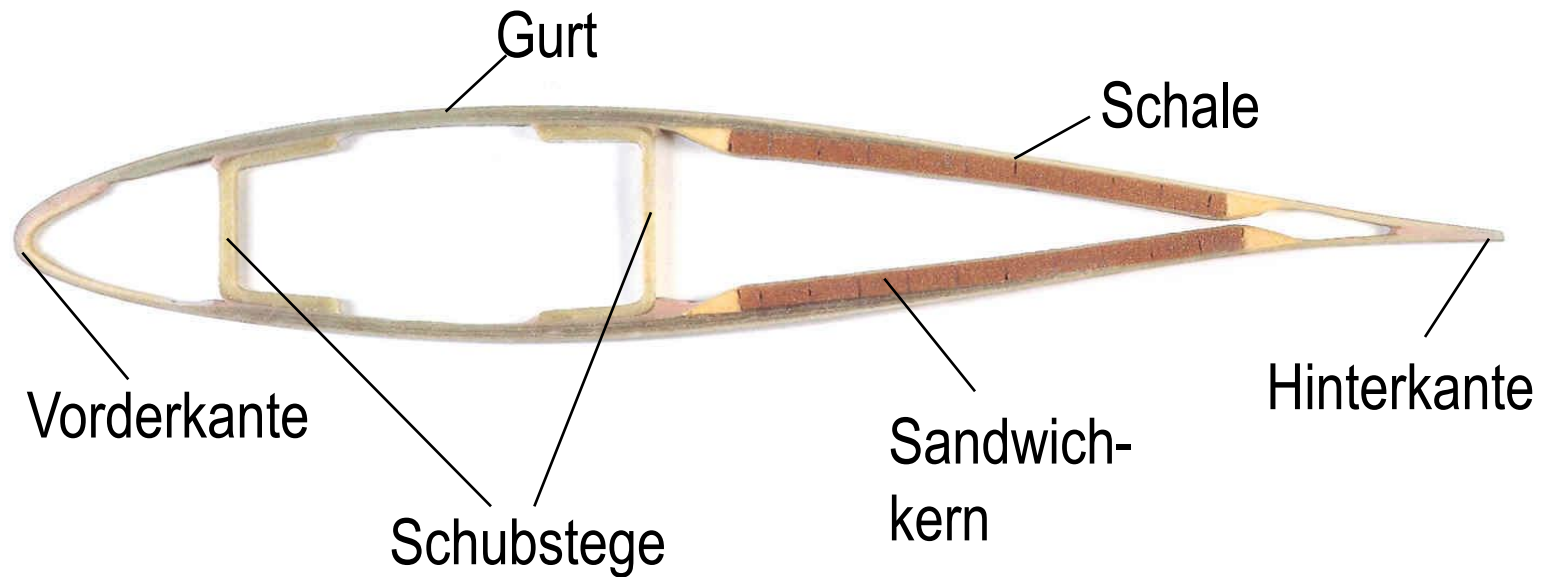
Wieviel Chemie steckt in der Windkraft?



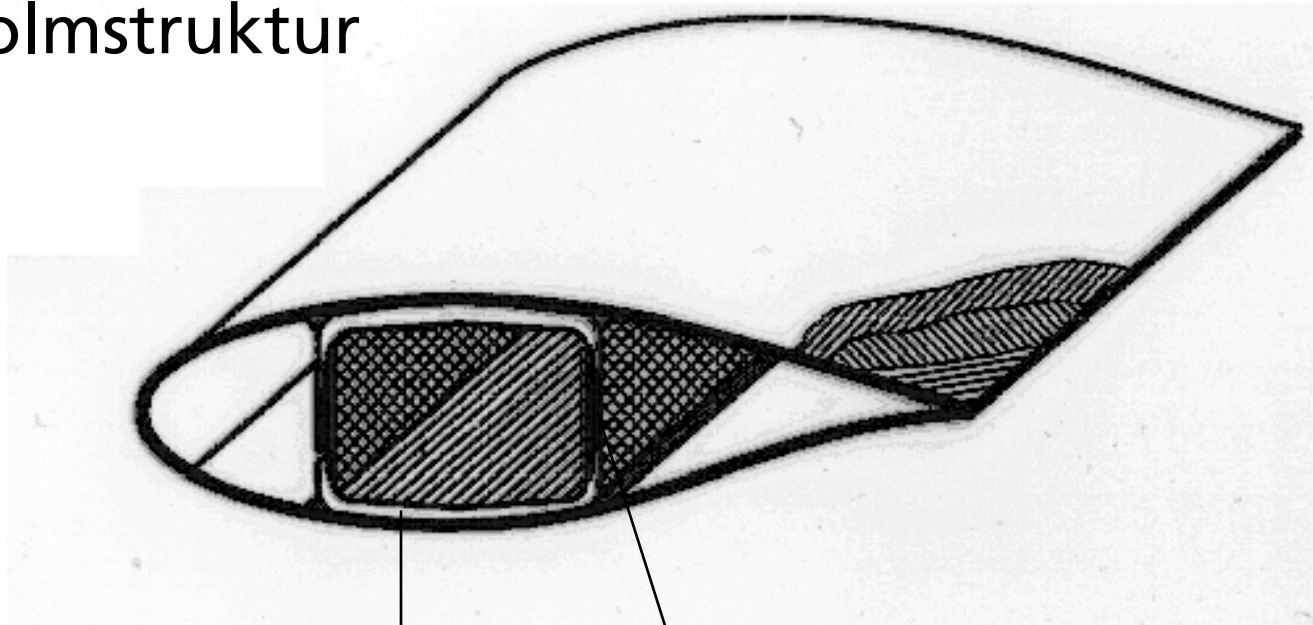
Herstellung von Rotorblättern

- Bauformen
- Fertigungsverfahren
- Lagenaufbau
- Anschluss an Gondel

Rotorblatt mit integrierten Gurten

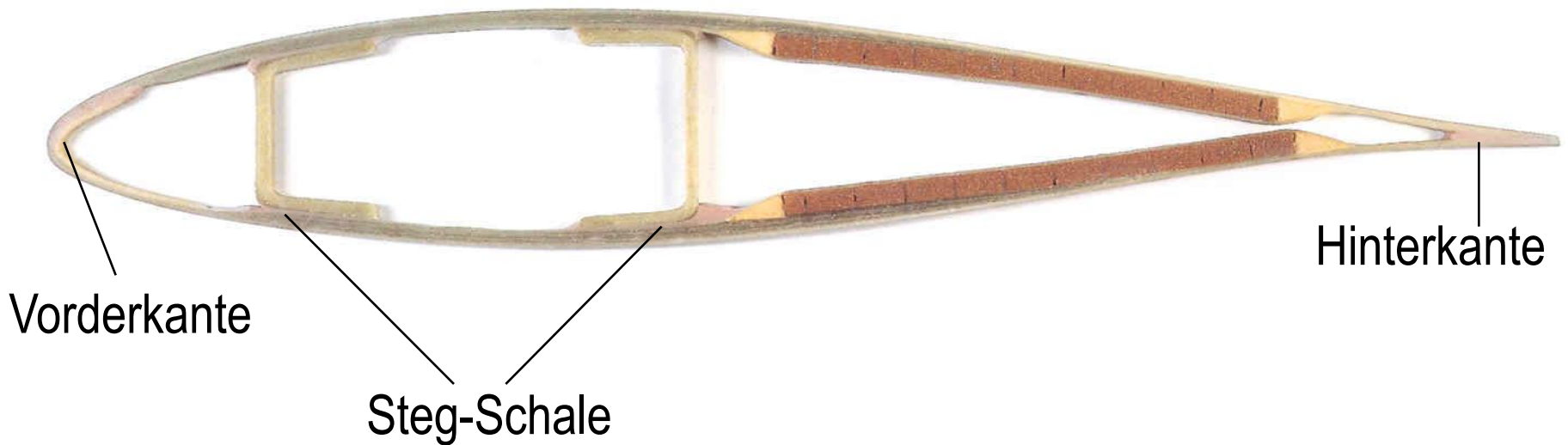


Rotorblatt mit Holmstruktur



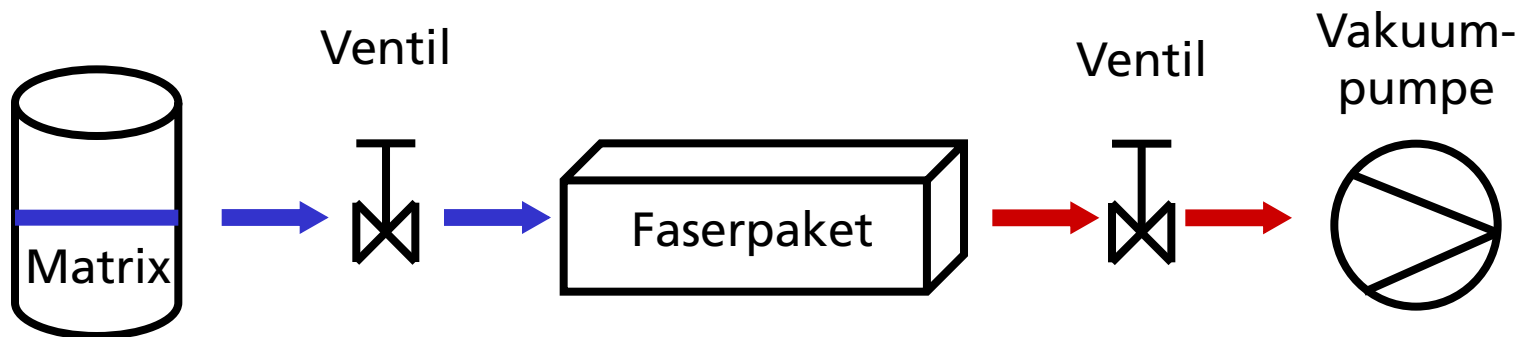
Gurte und Stege im
Holm integriert

Strukturelle Klebverbindungen am Beispiel eines Rotorblattes mit Schubstegen

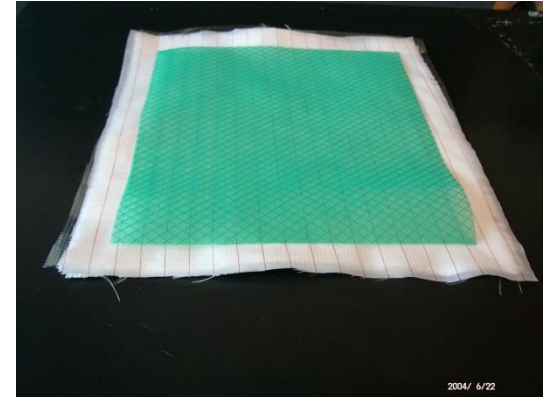


Vakuuminfusions-Verfahren

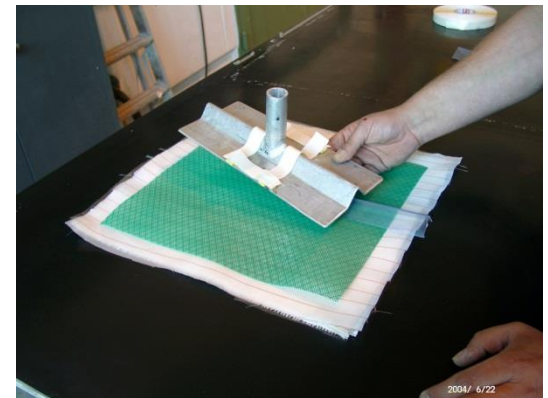
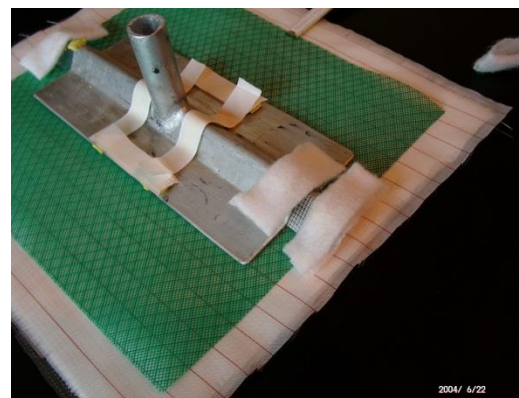
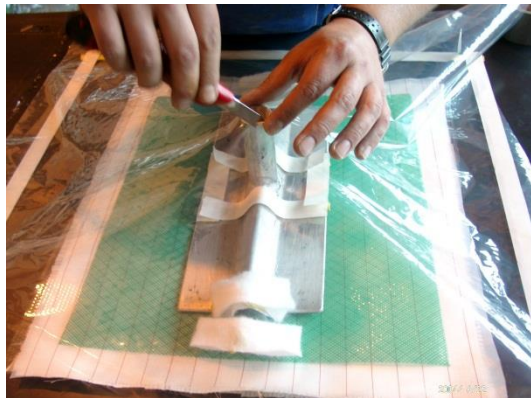
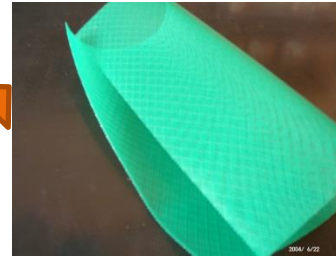
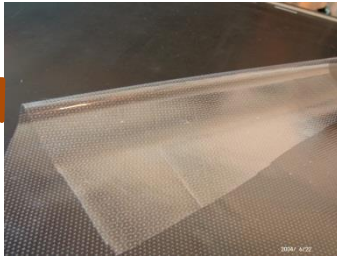
- Trockenes textiles Halbzeug wird in die Form eingelegt und anschließend mit der Matrix infundiert
- Matrix wird mittels Unterdruck durch das textile Halbzeug „gezogen“



Fertigungsverfahren: Lagenaufbau



Quelle: SGL Rotec

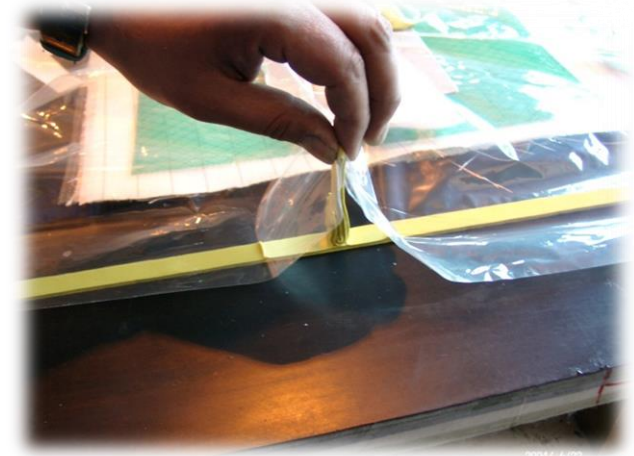


Klebtechnik und Oberflächen

Vakuuminfusions-Verfahren

Wichtig zu beachten:

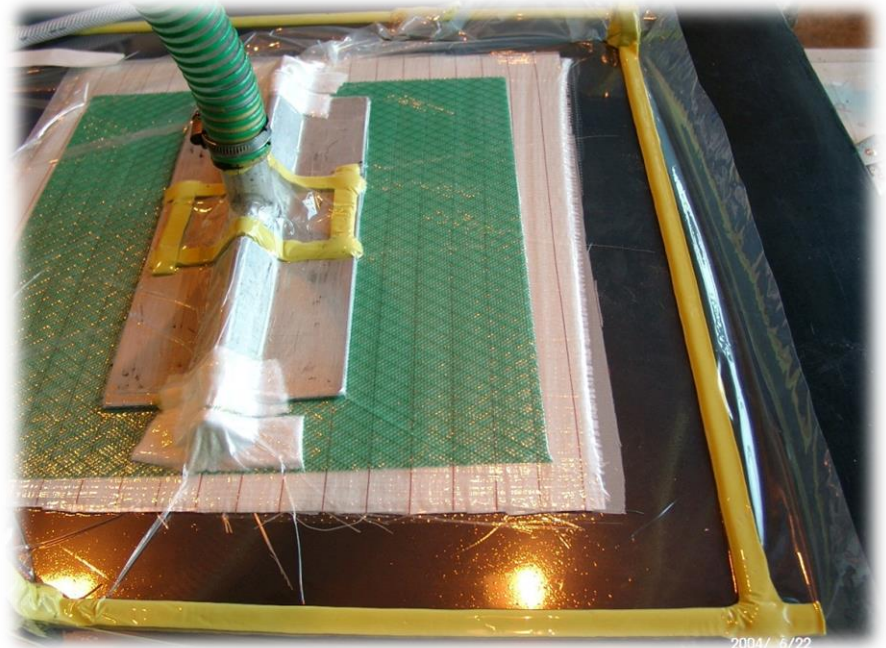
- Scharfe Kanten mit Saugfließ schützen
- Ansaugstutzen eintrennen
- Harzkanäle mit Gitterband umwickeln
- Für ein 100% dichtes Vakuum sorgen
- Vakuumtest durchführen
- Falten legen gegen Reißen
- Die Verteilung der Matrix im Glaspaket beobachten
- Eine Regulierung des Matrixflusses und des Unterdruckes ermöglichen



Quelle: SGL Rotec

Während der Infusion:

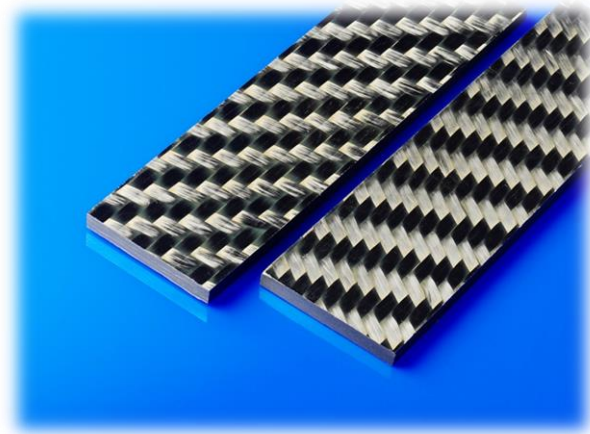
- Temperaturen prüfen, Vakuumdruck prüfen
- Füllstand in Matrixfässern prüfen
- Nicht auf das Bauteil steigen oder stützen.
- Keine scharfkantigen Gegenstände in der Nähe der Form aufbewahren
- Harzfront beobachten, besonders auf Bläschen und Einschlussgefahr
- Füllstand in Harzkanälen beobachten



Quelle: SGL Rotec

Generelles zum Vakuuminfusions-Verfahren

- Erzeugung einer hohen gleichbleibenden Qualität
- Optimierung des Faservolumengehaltes $> 50\%$
- Sehr emissionsarme Herstellung von Bauteilen möglich
- Ein Zusammenbruch des Vakuums oder das Einsaugen von Luft durch die Harzzufuhrkanäle bedeutet den Totalverlust des Bauteils
- Beschleunigung des Aushärtens durch Beheizung der Form



© Fraunhofer IFAM

Einlegen der Fasern in eine Form



Klebstoffauftrag





Blattverklebung

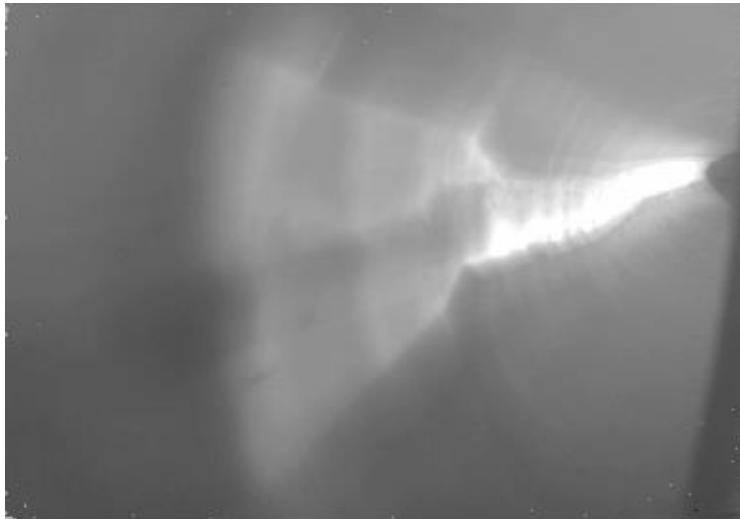




Endbearbeitung

- Besäumen
- Schleifen
- Lackieren

Maß- und Sichtprüfung



Anschluss eines 40m Rotorblattes

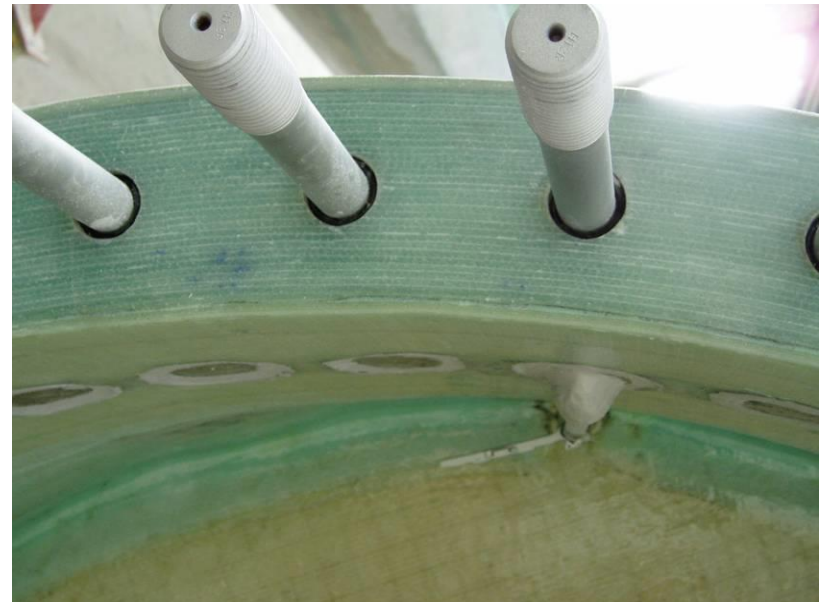
z. B. 90 eingeklebte
Gewindehülsen
(Metalleinsätze)

Befestigung an der
Nabe oder dem
Blattlager

© Vestas Deutschland



Blattanschluss mit Querbolzen



Maß- und Sichtprüfung

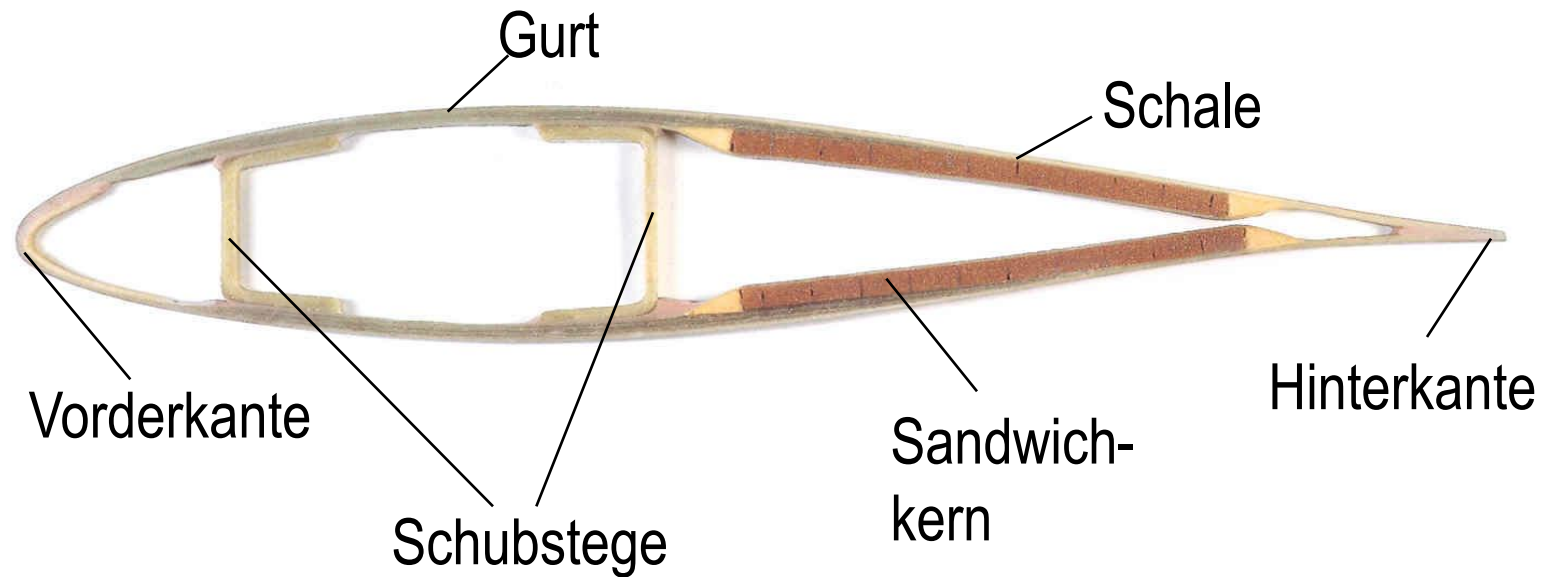
- Blattoberfläche
- Blattinnenraum





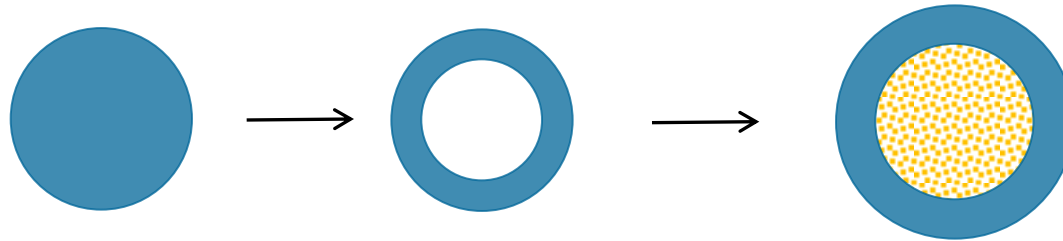
Herstellung von Rotorblättern - Sandwich-Strukturen

Rotorblatt mit integrierten Gurten

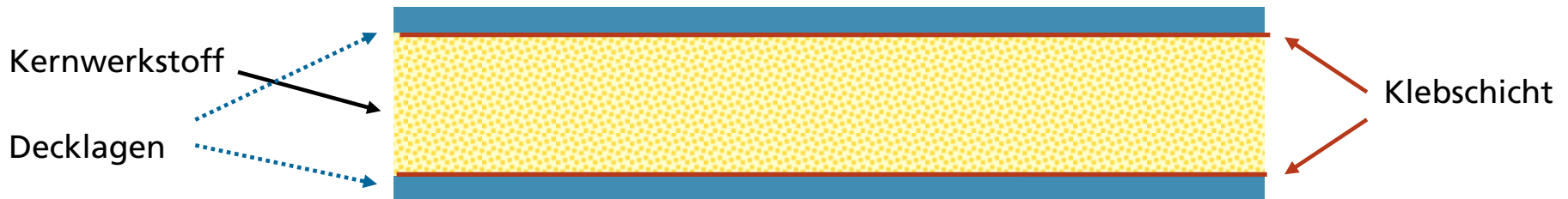


Gewichtseinsparung durch Sandwichstrukturen

- Ziel: Leichtbau durch Materialeinsparung
- Beispiel: Rohrquerschnitt vs. Vollprofil, deutlich weniger Gewicht beim Rohr

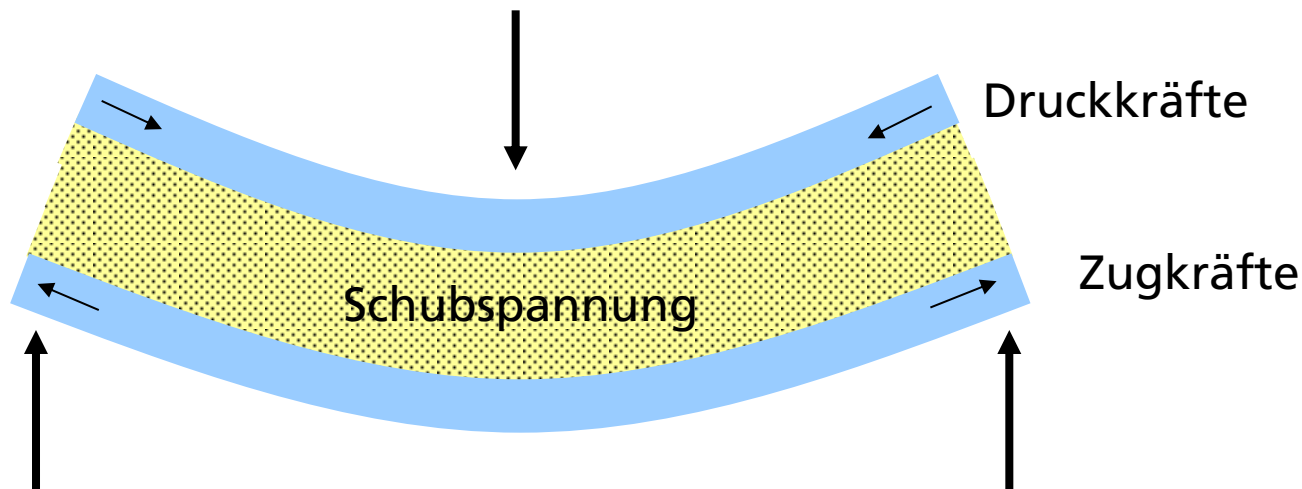


- Beulen und Knicken des Bauteils muss verhindert werden
- Lösung: Sandwichstrukturen

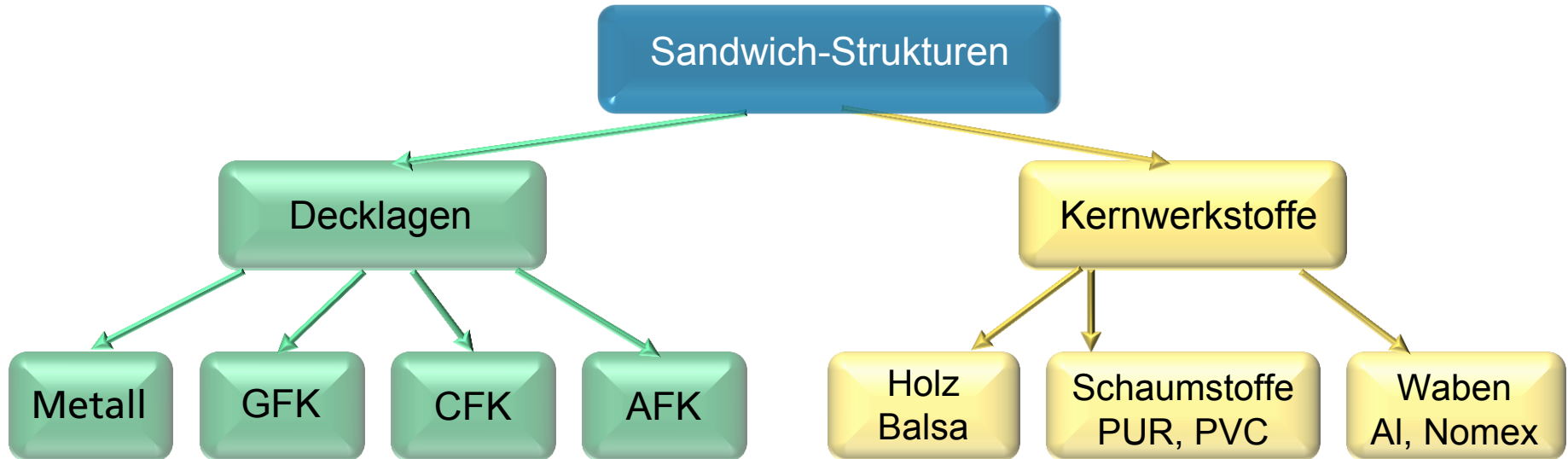


Aufbau einer Sandwichstruktur

- Zwei dünne Deckschichten zur Aufnahme von Normalspannungen
- Ein dicker Kern mit einer niedrigen Dichte übernimmt die Schubspannungen
- Klebschichten verbinden die Decklagen mit dem Kern



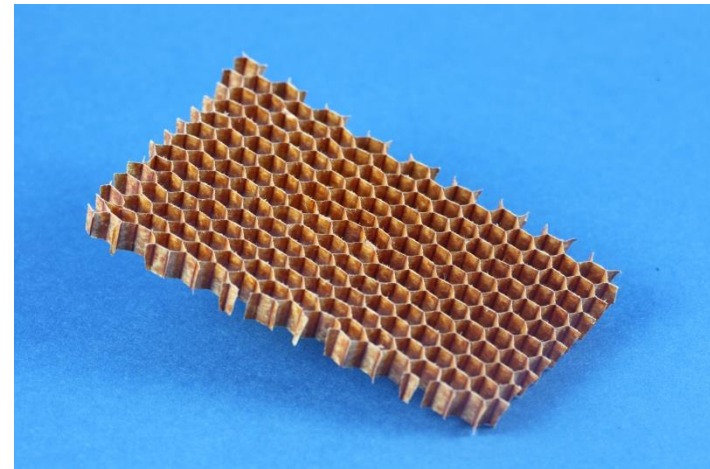
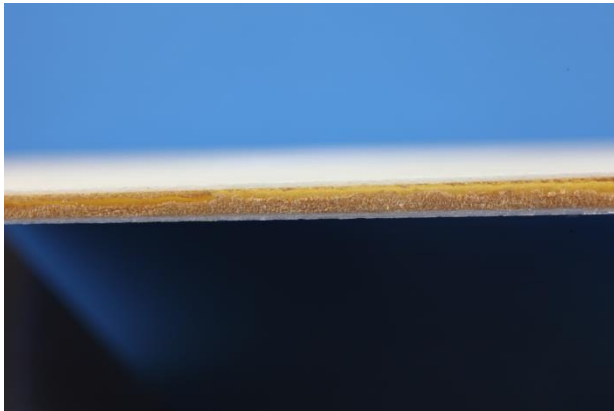
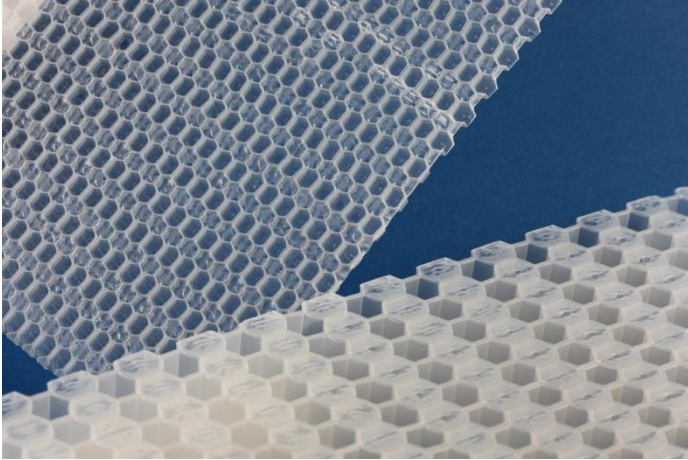
Zusammensetzung von Sandwichstrukturen



Anwendungsbeispiele

- Rotorblätter von Hubschraubern oder Windkraftanlagen
- Boots- und Schiffbau (z. B. Rumpf, Aufbauten, Innenausbau)
- Luftfahrt (z. B. Innenausbau von Flugzeugen)
- Schienenfahrzeuge (z. B. Fußböden, Trennwände)
- Tiefkühlaufbauten

Sandwich-Kernmaterialien



© Fraunhofer IFAM

Die **Sandwichbauweise** findet überwiegend Anwendung bei großflächigen Bauteilen mit großer Wanddicke, die ein geringes Gewicht und eine ausreichende Steifigkeit aufweisen müssen.

- besonders beul- und biegesteif
- wärmeisolierend

Typische Anwendungen:

- Außenhaut von Sportbooten und Schienenfahrzeugen
- Rotorblätter
- Surfbretter
- Dach, Seitenwand, Kühlaufbauten im Automobil

Konstruktive Möglichkeiten

Bauteileigenschaften können gezielt an die Anforderungen angepasst werden durch

- Fasermaterial
- Faservolumengehalt
- Matrix
- Laminataufbau
- Kernwerkstoffe
- Fertigungsverfahren

Durch die Komplexität der Bauteilauslegung und –fertigung ist eine interdisziplinäre Zusammenarbeit nötig, um FVK erfolgreich einzusetzen.



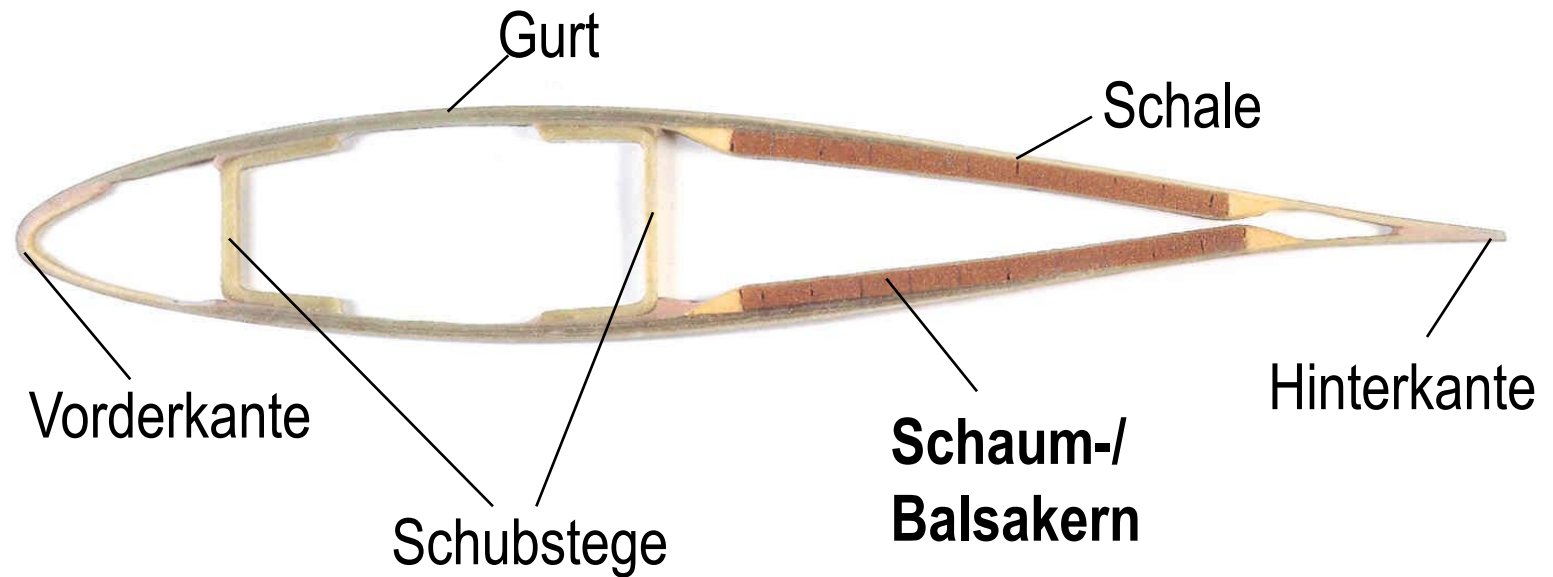
**Gibt es einen
ökologischen
Werkstoff
als Sandwich-
Material für
Rotorblätter?**

Vergleich von Materialkennzahlen

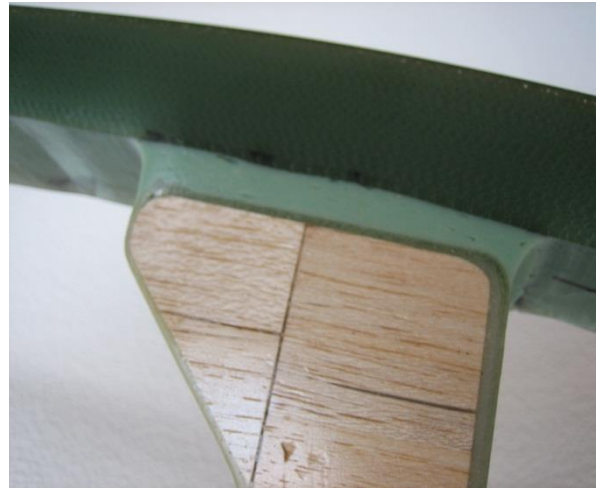
Material	Dichte [kg/m ³]	Schubmodul [MPa]	Preis pro m ²
Aluminiumwaben	19 – 84	50 – 450	30 - 100
PVC-Schaum	80 – 90	20 – 30	15 – 60
PET-Schaum	80 – 90	20 – 30	13 – 60
Balsa-Holz	100 – 250	100 – 300	11 – 80
Nomex-Waben*	24 – 114	28 – 40	5 - 50

*Nomex besteht aus Aramid-Papierwaben mit Phenolharz beschichtet

Rotorblatt mit integrierten Gurten

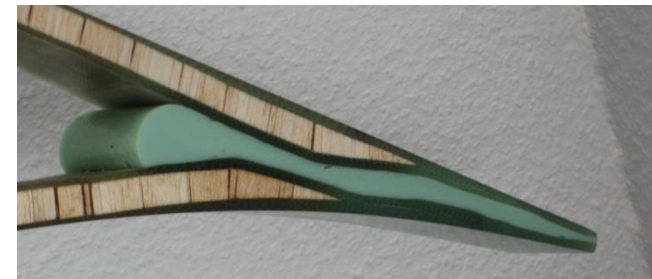


Sandwichstrukturen: Rotorblatt



Verbünde aus

- Holz
- Dickschichtklebungen
- Glasfaser-Gelegen





Herstellung von Rotorblättern - Fasern und Textilien

Fasern – vielfältige Anwendungsmöglichkeiten



Wofür werden Fasern in erster Linie eingesetzt?

> 90 % Kleidung

Wie viele Fasern verbraucht im Durchschnitt jeder Mensch pro Jahr?

ca. 10 kg

Wie viele Tonnen Fasern werden pro Jahr weltweit hergestellt?

ca. 70.000.000 t

Wie viele Tonnen Baumwollfasern werden pro Jahr weltweit verarbeitet?

ca. 25.000.000 t

Wie viele Tonnen Kohlenstofffasern werden pro Jahr weltweit hergestellt?

ca. 35.000 t



Eigenschaften von Fasern

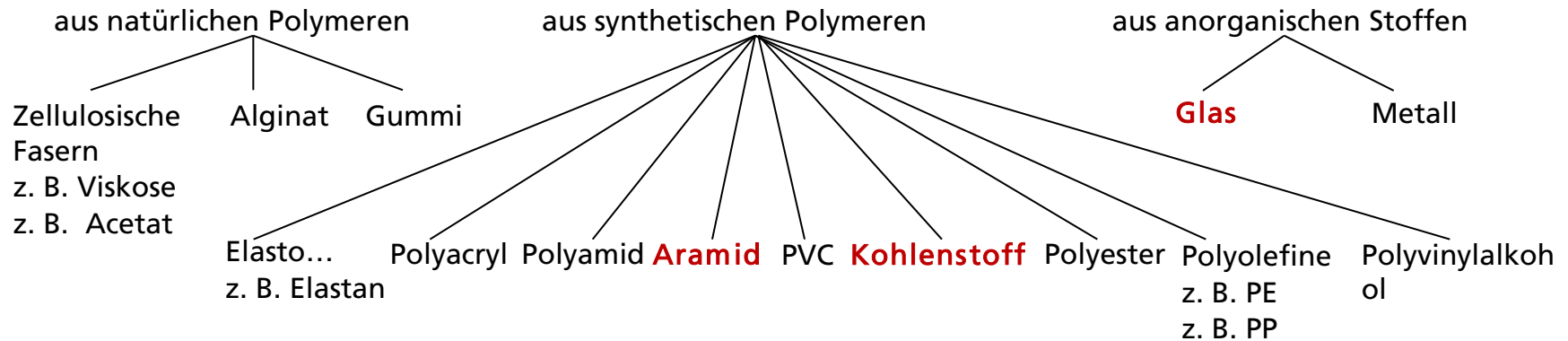
- hohe spezifische Steifigkeit
- 10 – 20x größer als Stahl
- hohe spezifische Festigkeit
- 10x größer als Stahl
- geringe Bruchdehnung
- 10 – 20 % von Stahl
- geringer richtungsabhängiger thermischer Ausdehnungskoeffizient
- 0 – 50 % von Stahl (auch negativ möglich)
- biegeschlaff

Aufgaben im Faserverbundbauteil

- Kraftübertragung
- Verstärkung

Fasern - Übersicht

Chemiefasern



Naturfasern



Typische Begriffe

spezifisch: bezogen auf das Gewicht

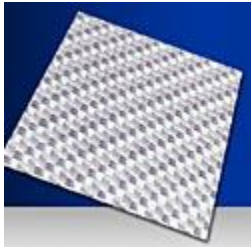
Die **Festigkeit** ist ein Maß für die ertragbaren Belastungen eines Werkstoffs, z. B. Zugfestigkeit.

Die **Steifigkeit** eines Materials hängt von der Elastizität des Materials ab (E-Modul); beim Bauteil auch von Größe und Form

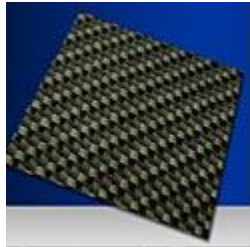
Steifigkeit: Widerstand eines Materials/Bauteils gegenüber Verformung

Wichtige Verstärkungsfasern

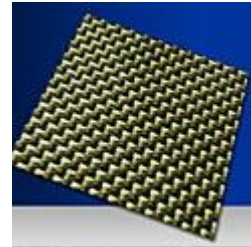
**Glas-
fasern**



**Kohlenstoff-
fasern**



**Aramid-
fasern**



**Natur-
fasern**



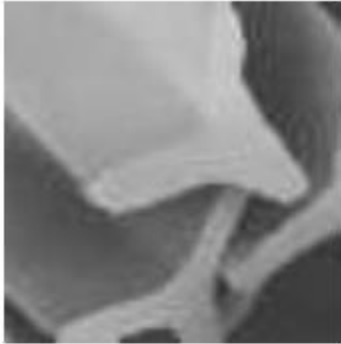
Fasern – Werkstoffvergleich

Reißlänge = Faserlänge in km, bei der ein Faden durch sein Eigengewicht reißt.

Werkstoff (Fasern)	Dichte [g/cm ³]	Zugfestigkeit [N/mm ²]	E-Modul [GPa]	Reißlänge [km]	Preis [€/kg]
Aluminium	2,7	300 - 700	70	max. 29	ca. 1
Stahl	7,8	1.800 – 2.200	210	max. 30	< 1
Magnesium	1,8	80 – 180	45	16 – 19	2 – 3
Kohlenstoff	1,7-1,9	2.400 – 7.000	230 – 935	150 – 380	17 – 80 (bis 1.000)
Aramid	1,4-1,5	2.500 – 3.500	80 – 185	180 - 240	20 – 30
Glas	2,6	1.800 – 3.000	70 – 90	70 - 120	1 – 3
Baumwolle	1,5	500	4 – 9	max. 40	2 – 3

Fasern – Struktur

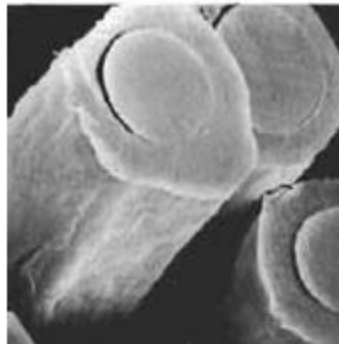
Sind Fasern immer rund und glatt?



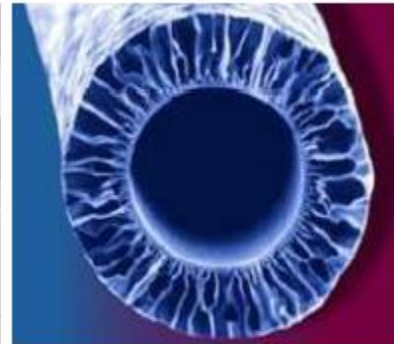
Technische Viskose



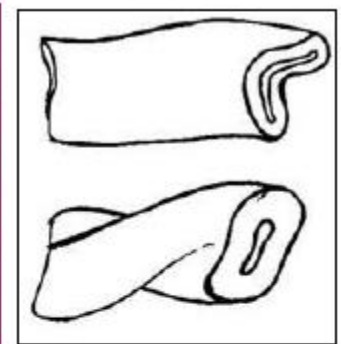
Wolle



Bikomponentenfaser



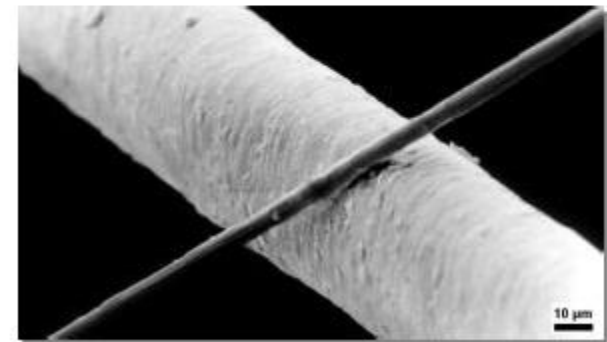
Hohlfasermembran



Baumwolle

Wie „dick“ sind Fasern - „Faserfeinheit“?

- ca. $60\mu\text{m}$ ein Menschenhaar (15 Haare = 1mm)
- Schurwolle ca. $20\mu\text{m}$ (1/3 eines Menschenhaars)
- Glasfaser ca. $20\mu\text{m}$
- Kohlenstofffaser ca. $6\mu\text{m}$ (1/10 Menschenhaar)



Haar und C-Faser

Fasern – Länge

Wie lang sind Fasern?

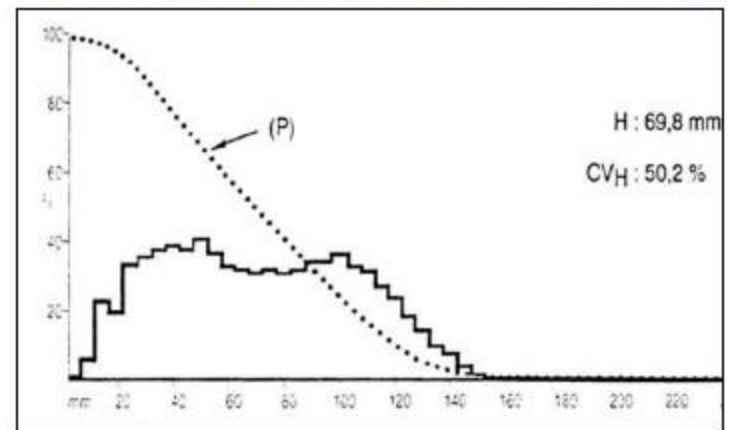
Längen und Längenverteilungen

in kurzfaserverstärktem Spritzguss ca. 2mm

Baumwolle 30mm

Wolle 55 - 120mm

synthetische Endlosfasern („Filamente“)



Längenverteilung bei Naturfasern, z.B. Wolle

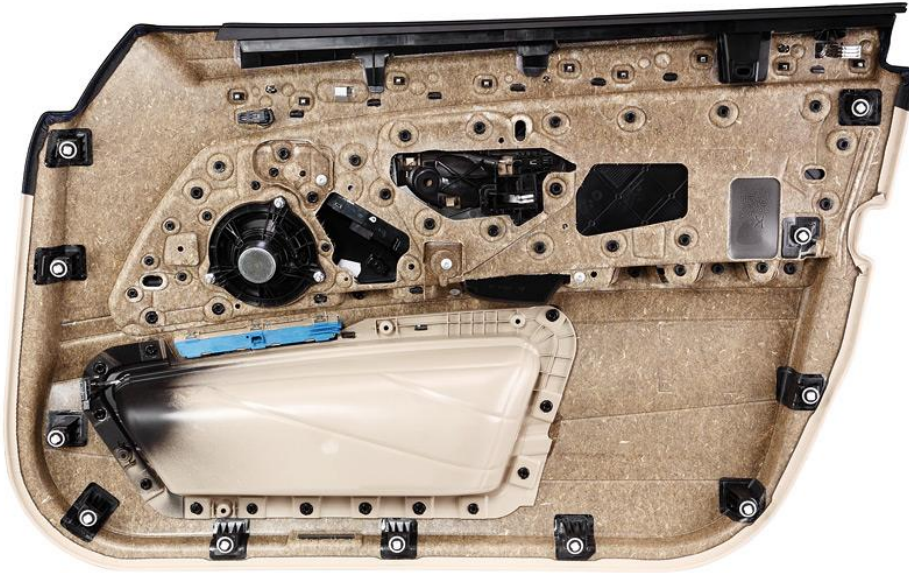
Naturfaserverstärkte Anwendungen



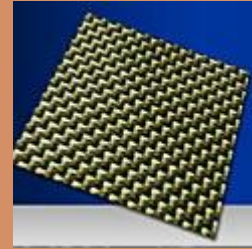
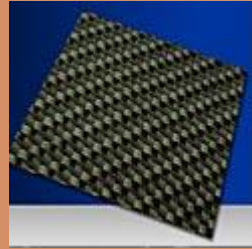
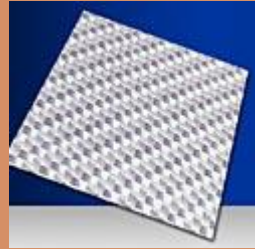
Naturfaserverstärkte Anwendungen



Naturfaserverstärkte Anwendungen



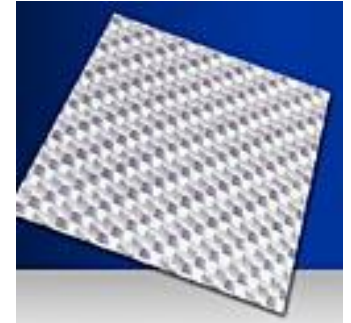
Fasern – Vergleich mit Stahl



Faser	Glas	Kohlenstoff	Aramid	Stahl
Dichte [g/cm ³]	2,5	1,8	1,5	7,8
E-Modul [GPa]	70 – 90	230 – 800	80 – 185	210
Zugfestigkeit [MPa]	3.400 – 4.800	2.300 – 6.400	3.400 – 3.800	1.800 – 2.200

Besondere Eigenschaften

- amorpher Aufbau ohne Orientierung
- isotrope Materialeigenschaften
- preisgünstig



Herstellung

- Schmelzspinnprozess, Ausgangsmaterial SiO_2 , mit Soda und/oder Pottasche versetzt
- Standardfaser: E-Glas (in GFK zu 90 % verwendet)

Typische Anwendungen

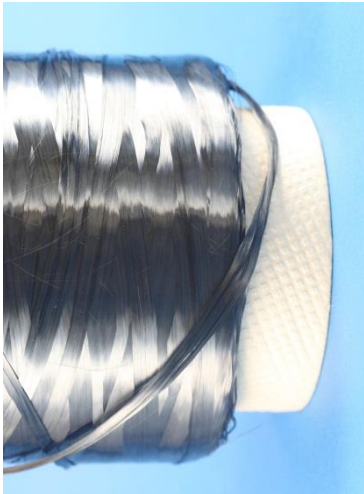
- z. B. Bootsbau oder Rotorblätter



© Fraunhofer IFAM

Textile Halbzeuge

- Rovings
- Matten
- Gelege
- Gewebe
- Geflechte



© Fraunhofer IFAM

Rovings

- Bündel unverdrillter Einzelfasern (Filamente)
- Weiterverarbeitung z.B. zu Gelegen und Geweben
- Verwendung in speziellen Fertigungsverfahren

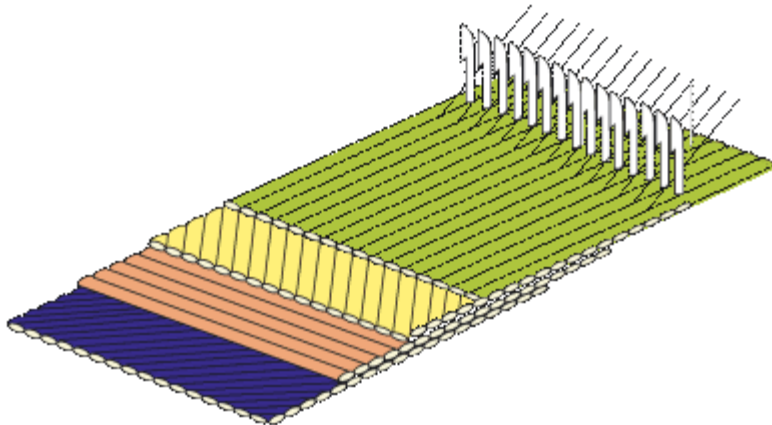
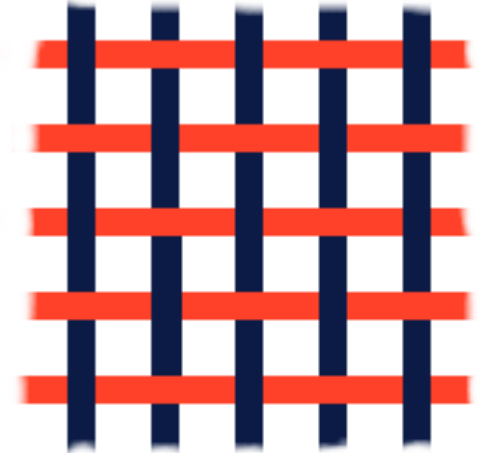
Matten (Schnitt- oder Endlosmatten)

- geschnittene oder endlose Fasern sind wirr, aber flächig verteilt
- Zusammenhalt durch Bindemittel



Gewebe

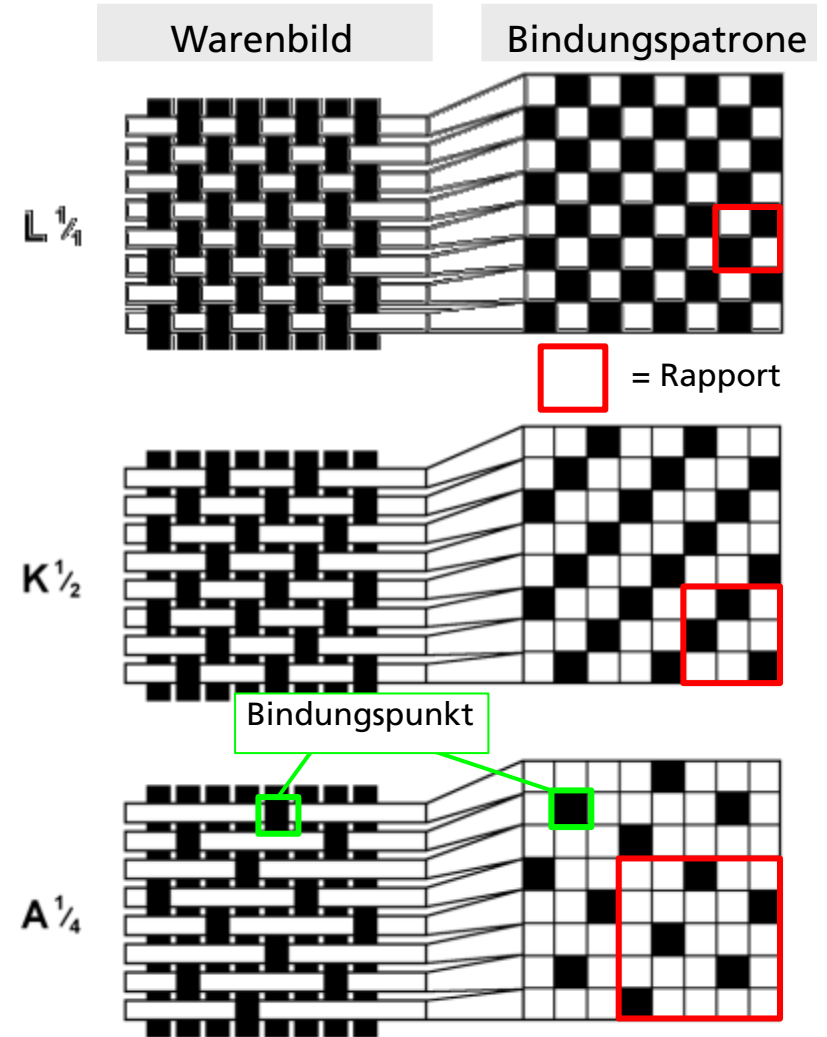
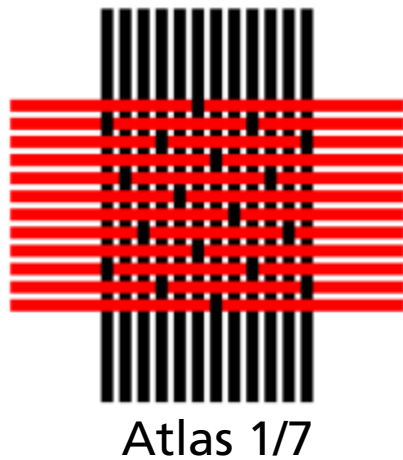
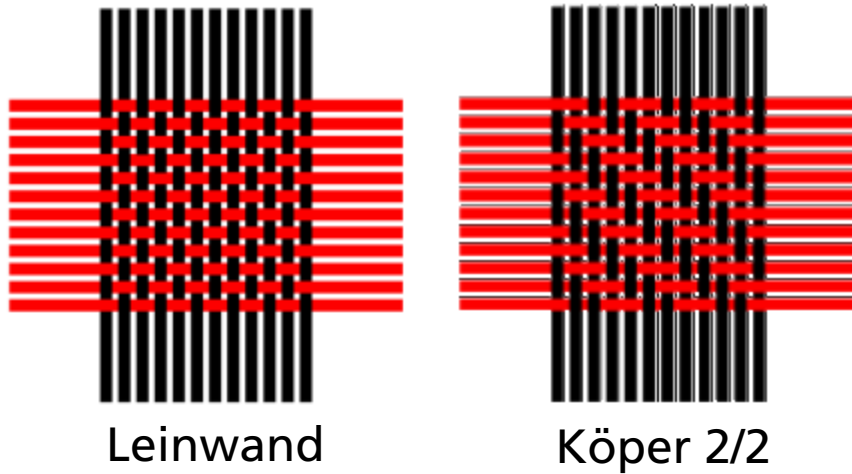
- Rovings sind im rechten Winkel miteinander verwoben (Kette und Schuss)
- verschiedene Bindungsarten möglich
- Fasern sind leicht gekrümmt, wellenförmiger Verlauf → leicht reduzierte Festigkeiten



Gelege

- Rovings werden nebeneinander gelegt und miteinander vernäht
- Fasern liegen gestreckt vor
- mehrere Lagen mit unterschiedlicher Orientierung möglich

Textile Halbzeuge



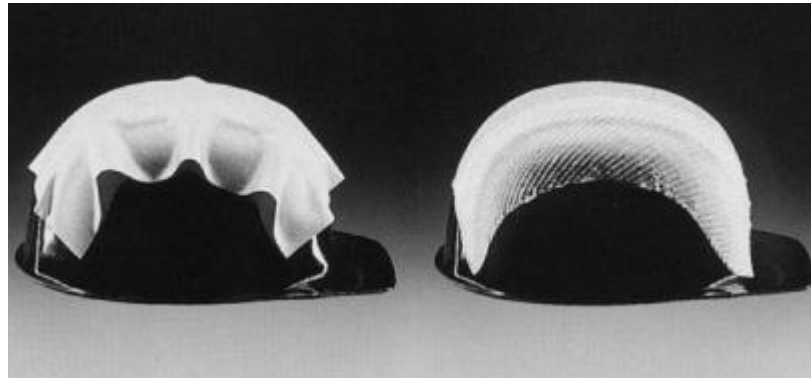
Geflechte

- Mit oder ohne 0 °-Fäden (Stehfäden)
- Winkel von 10 – 80 ° variierbar
- Flechtwinkel und Bedeckungsgrad hängen (ohne 0 °-Fäden) von einander ab
- Fasern haben wellenförmigen Verlauf



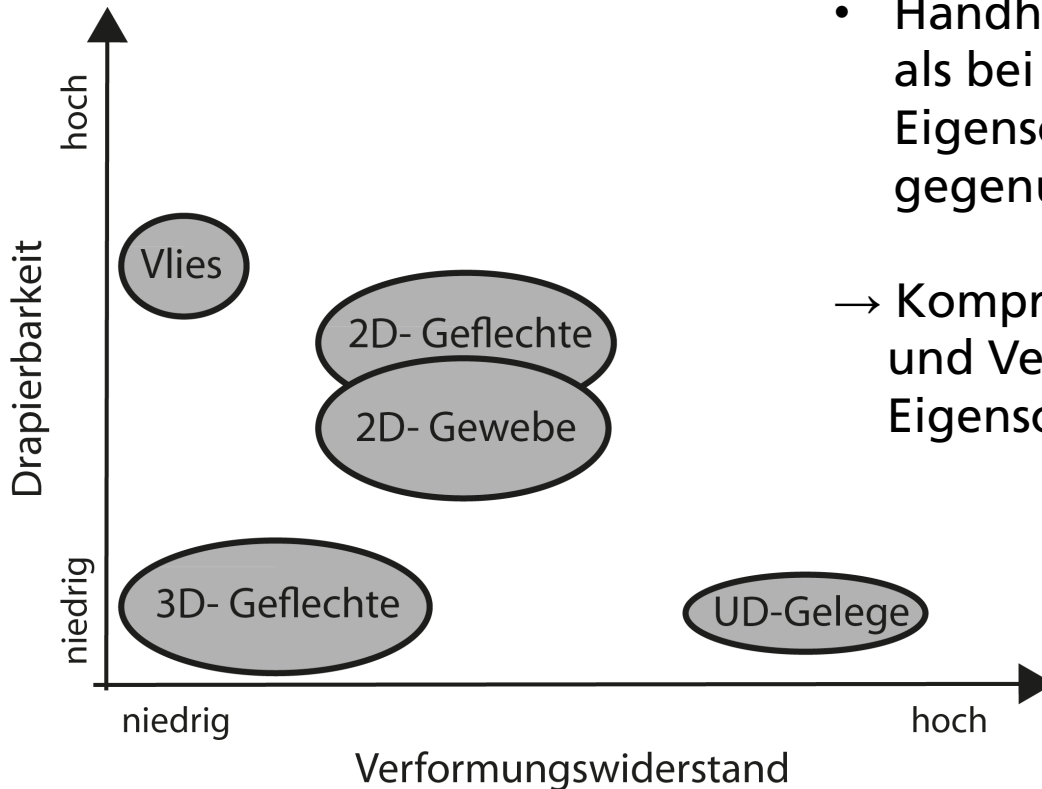
Drapierbarkeit:

Die Drapierbarkeit beschreibt die Eigenschaft eines Textils, sich an Konturen (stark) gekrümmter Oberflächen anzuschmiegen.



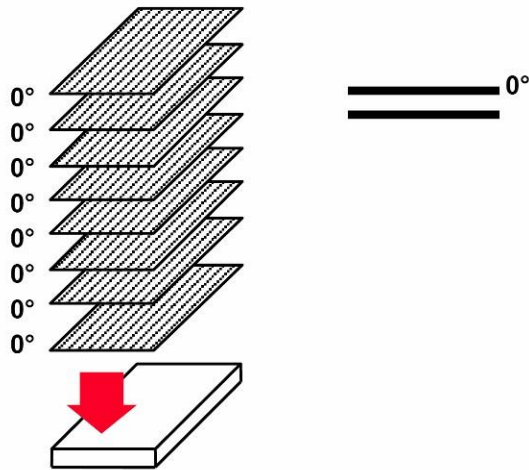
Leinwandbindung Körperbindung

Vergleich textiler Halbzeuge

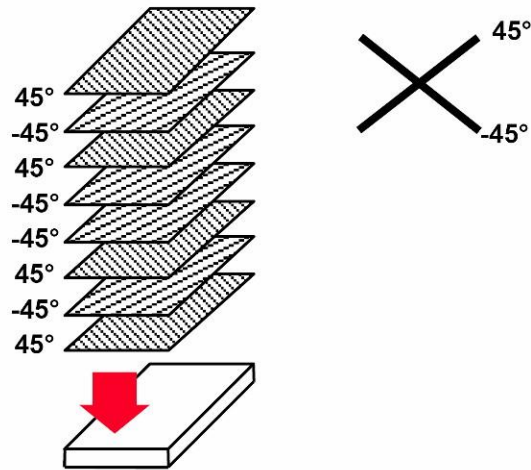


- Handhabung bei Geweben einfacher als bei Gelegen, aber mechanische Eigenschaften durch Umschlingungen gegenüber Gelegen reduziert
- Kompromiss zwischen Drapierbarkeit und Verschiebestabilität/mechanischen Eigenschaften

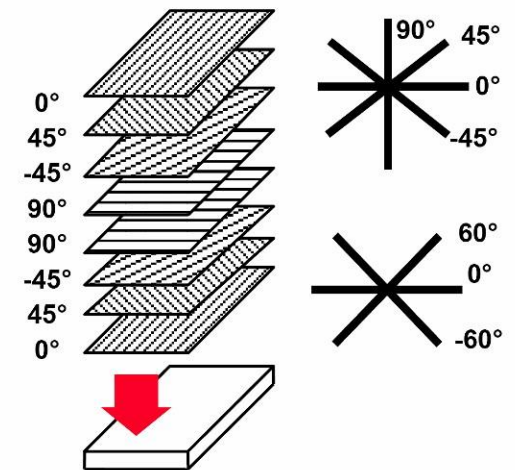
Unidirektionales Laminat



Bidirektionales Laminat

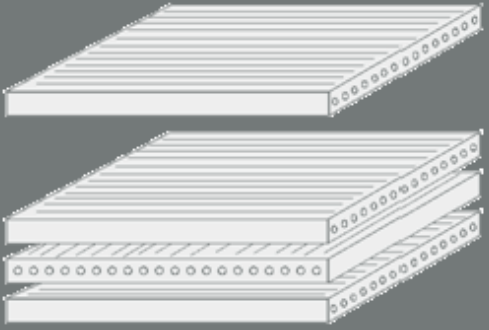
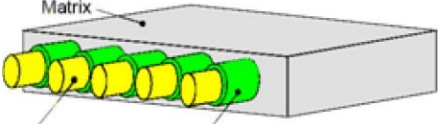
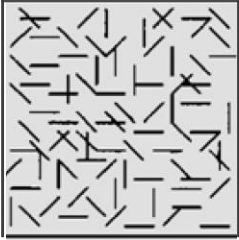
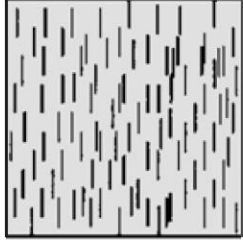
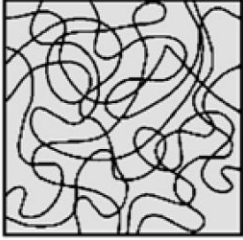
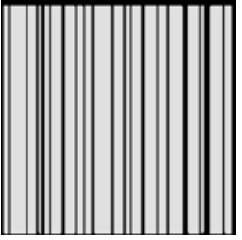


Quasi-isotropes Laminat



- der Werkstoff „Faserverbund“ entsteht erst bei der Formteilfertigung (im Gegensatz zu metallischen Werkstoffen)
- die Faser-Matrix-Verbunde sind schichtweise in Form von Laminaten erstellt
- die Einzelschichten besitzen definierte Faserausrichtungen (uni-, bi- oder multiaxial)
- die Einzelschicht wird als Lage oder lat. Lamina bezeichnet

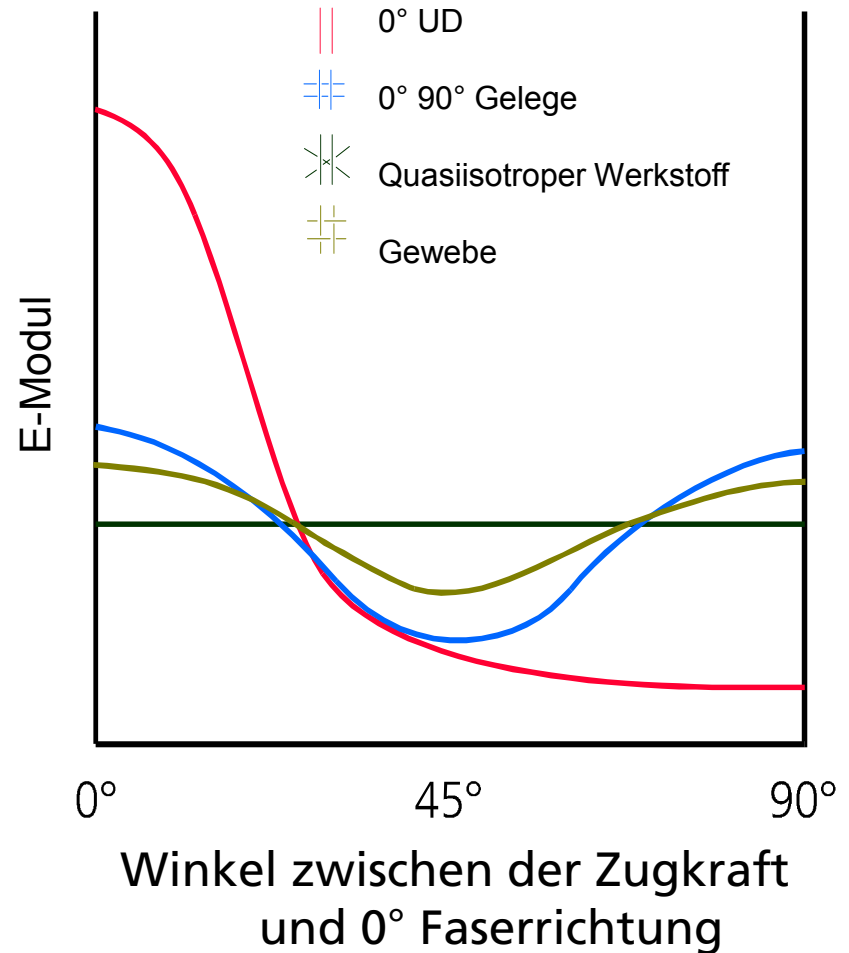
Laminataufbau

Werkstoff	Matrix	Faser		
	<ul style="list-style-type: none">+ Thermoplast+ Duroplast+ Metalle+ Keramiken	<ul style="list-style-type: none">+ Kohlenstofffaser+ Aramidfaser+ Borfaser+ Keramikfaser+ Glasfaser		
Verstärkungsformen	Kurzfasern		Langfasern	
 <p>Matrix</p> <p>Faser</p> <p>Schichte</p>	<p>nicht orientiert</p>  <p>orientiert</p> 	<p>nicht orientiert</p>  <p>orientiert</p> 		

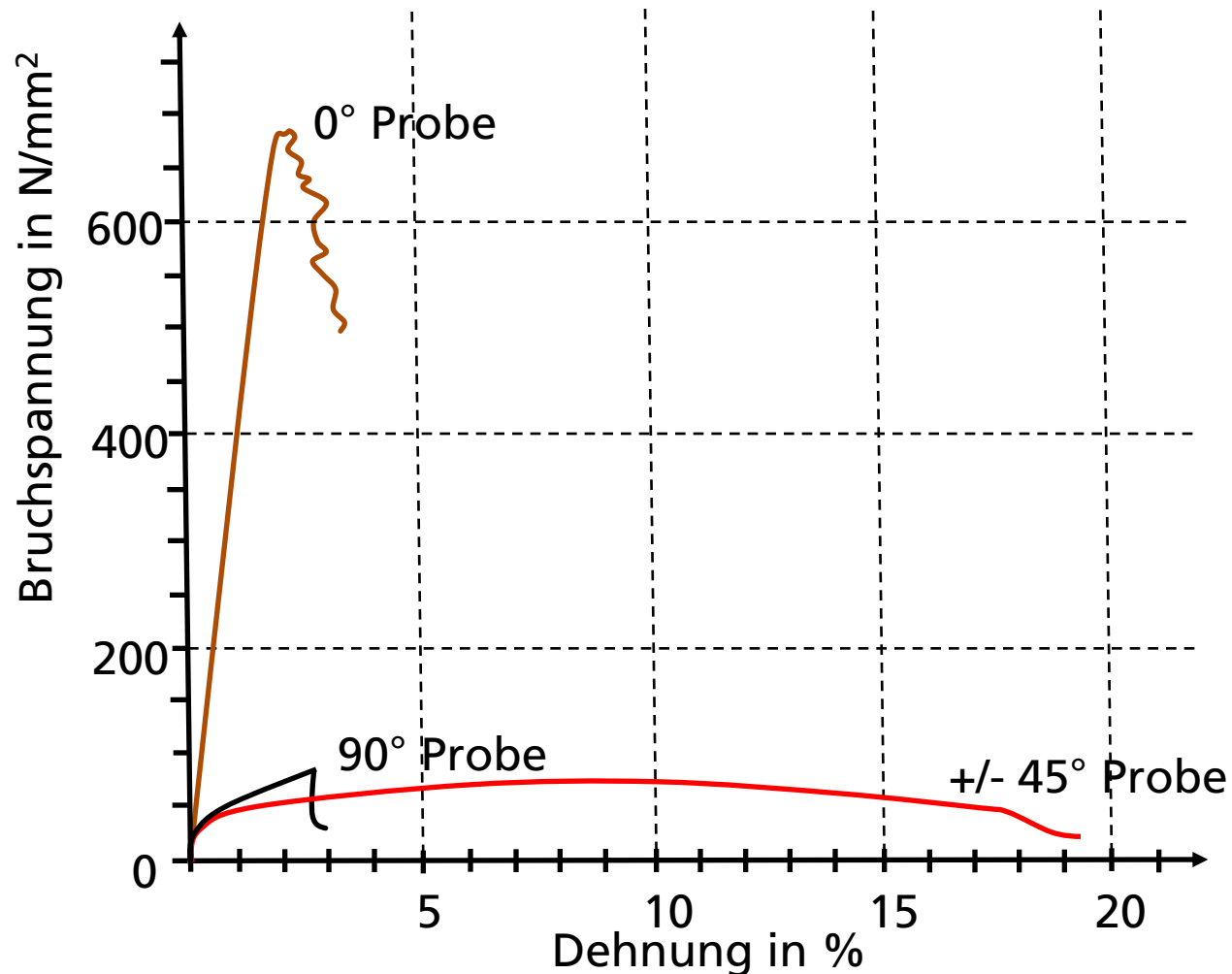
E-Modul von Laminaten

- der maximale E-Modul wird bei unidirektionaler Ausrichtung der Fasern erreicht.
- Mischungsregel in Faserrichtung:

$$E_{Lam} = E_{Faser} \varphi + (1 - \varphi) E_{Matrix}$$



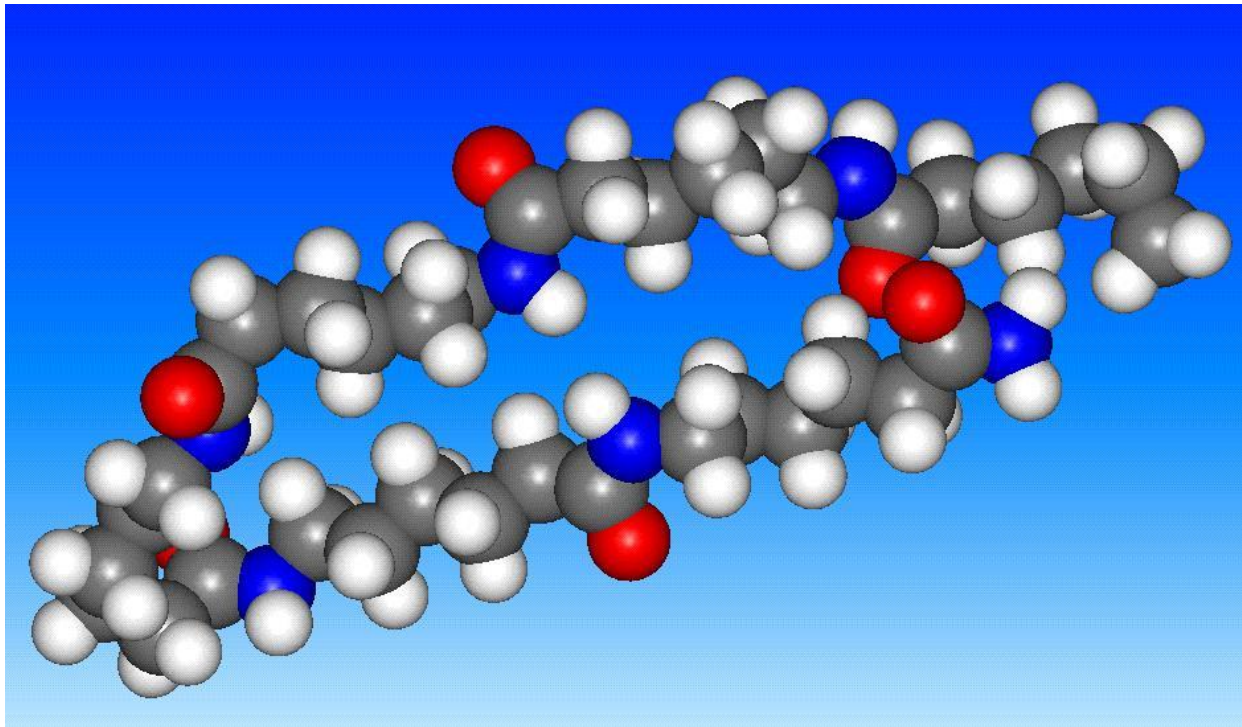
Dehnung und Spannung ist abhängig von der Faserrichtung

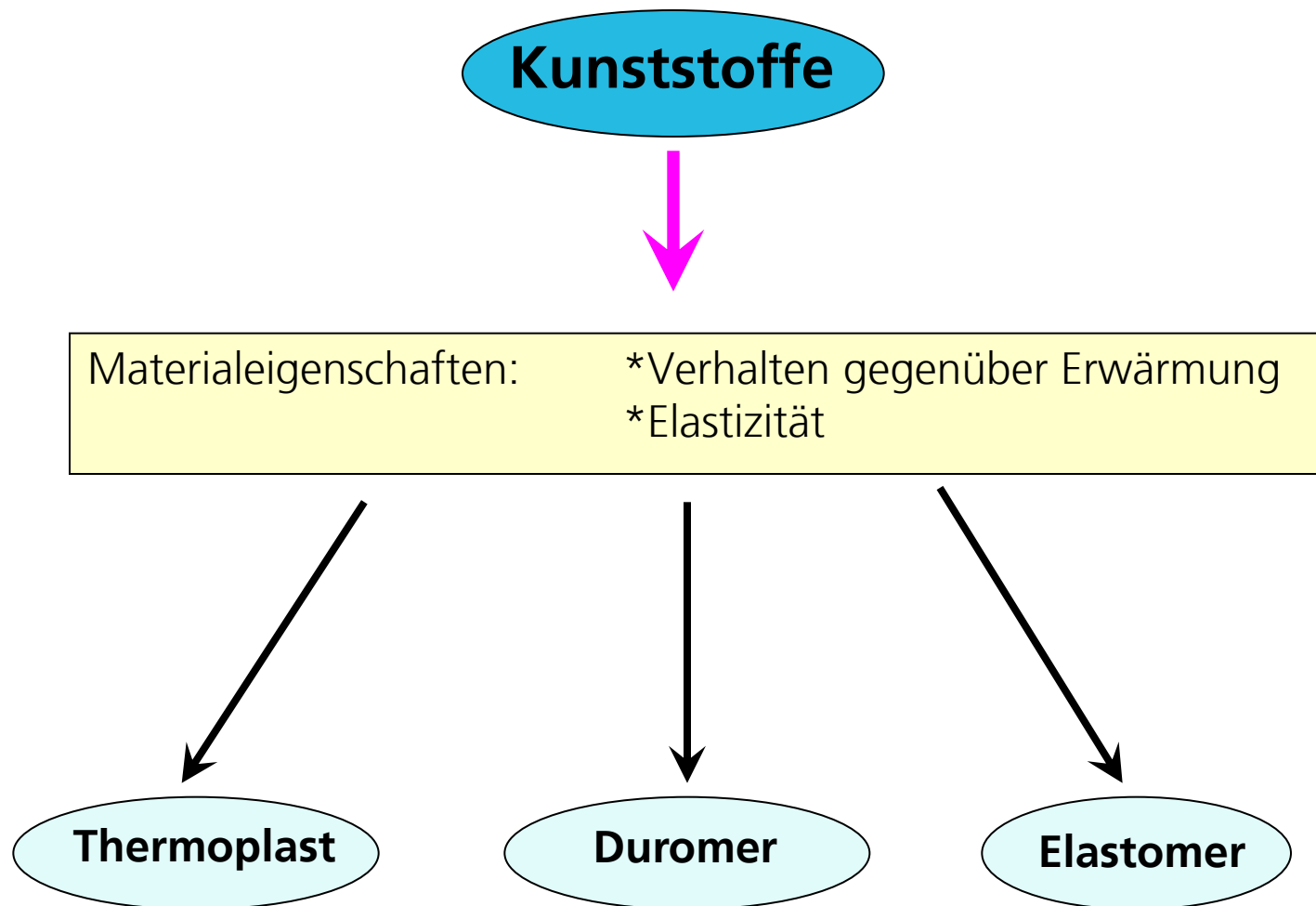




Noch Fragen?

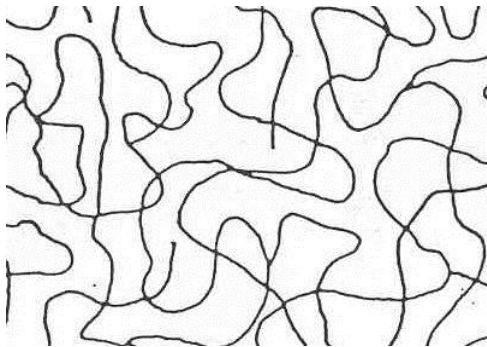
Aufbau von Polymeren





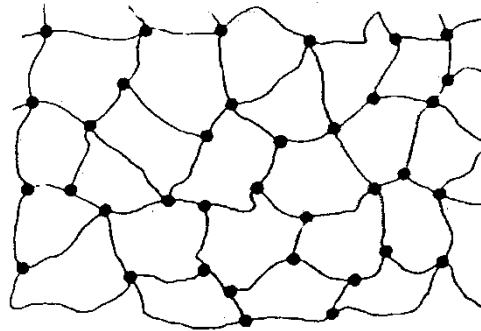
Kunststoffe (Polymere)

Thermoplaste



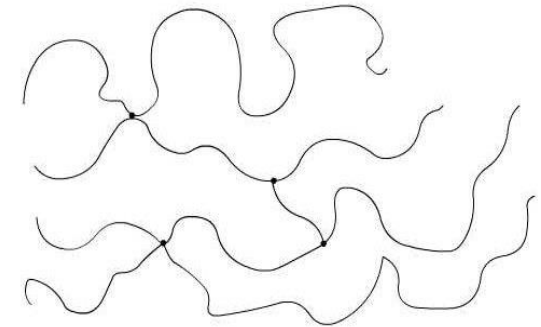
**unvernetztes Polymer
(gradlinig oder verzweigt)**

Duromere



**engmaschiges Netzwerk
engmaschig vernetztes Polymer**

Elastomere

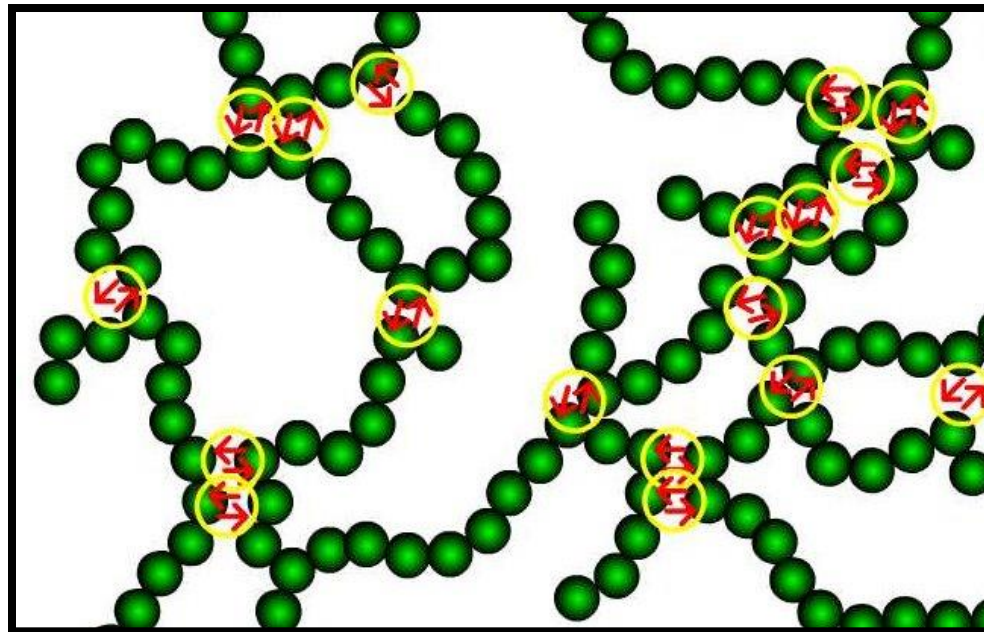


**weitmaschiges Netzwerk
weitmaschig vernetztes Polymer**

Kunststoffklassen: Thermoplast

Gestalt:

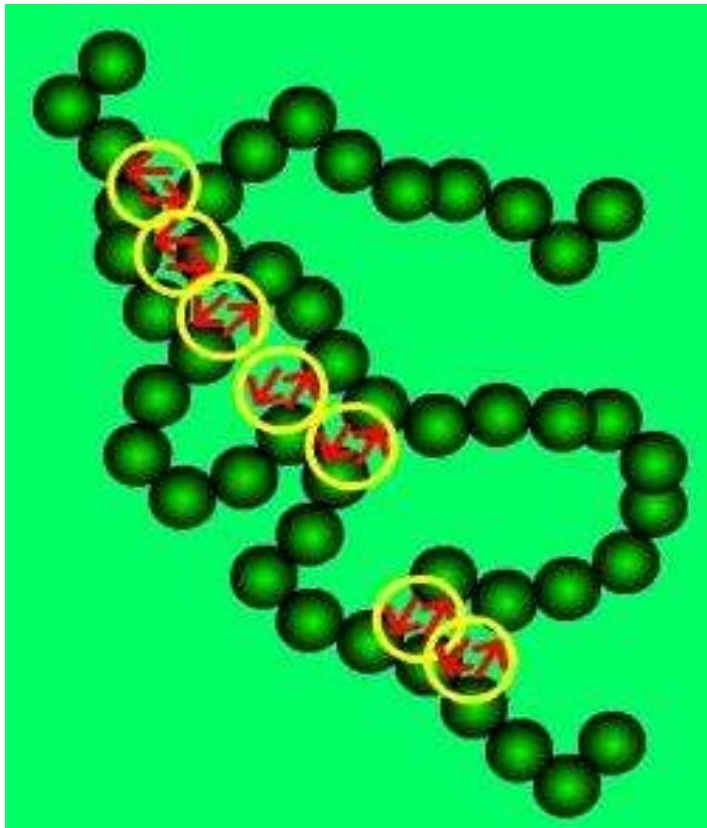
Thermoplaste sind **lineare** oder **verzweigte** Kettenmoleküle, deren Zusammenhalt untereinander durch **physikalische Wechselwirkungen** entsteht.



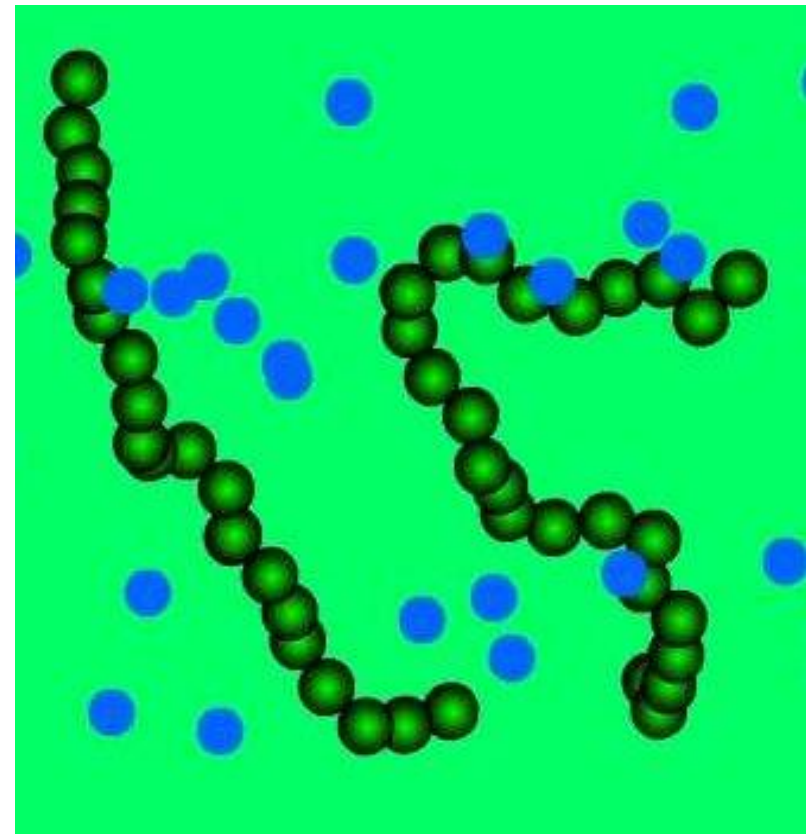
Aufbau



Kunststoffklassen: Thermoplast



 **physikalische Wechselwirkung (z.B. Anziehungskräfte zwischen Dipolen)**



 **Lösungsmittelmolekül**

Gestalt

Thermoplaste sind **lineare** oder **verzweigte** Kettenmoleküle, deren Zusammenhalt untereinander durch **physikalische Wechselwirkungen** entsteht.

Eigenschaften

- **schmelzbar**
- **schweißbar** (z.B. durch Ultraschall-, Vibrations-, Hochfrequenz oder Rotationsreibschweißen)
- **quellbar** in bestimmten Lösungsmitteln
- **löslich** in bestimmten Lösungsmitteln
- **neigen zum Kriechen**

Kunststoffklassen: Thermoplast

PE	- Polyethylen	PMMA	- Polymethylmethacrylat
PP	- Polypropylen	PBT	- Polybutylenterephthalat
PS	- Polystyrol	PA	- Polyamide
PVC-U	- Polyvinylchlorid, weichmacherfrei	PC	- Polycarbonat
PVC-P	- Polyvinylchlorid, weichmacherhaltig	POM	- Polyoxymethylen
ABS	- Acrylnitril-Butadien- Styrol-Copolymer	PTFE	- Polytetrafluorethylen
SAN	- Styrol-Acrylnitril- copolymer	PEEK	- Polyetheretherketon
CA	- Celluloseacetat	PSU	- Polysulfon
PVCA	- Polyvinylacetat	PPS	- Polyphenylensulfid
EVAC	- Ethylvinylacetat	PI	- Polyimid, thermoplastisch
PVAL	- Polyvinylalkohol	PEI	- Polyetherimid

Standardkunststoffe - bis 90°

Technische Kunststoffe - bis 140°C

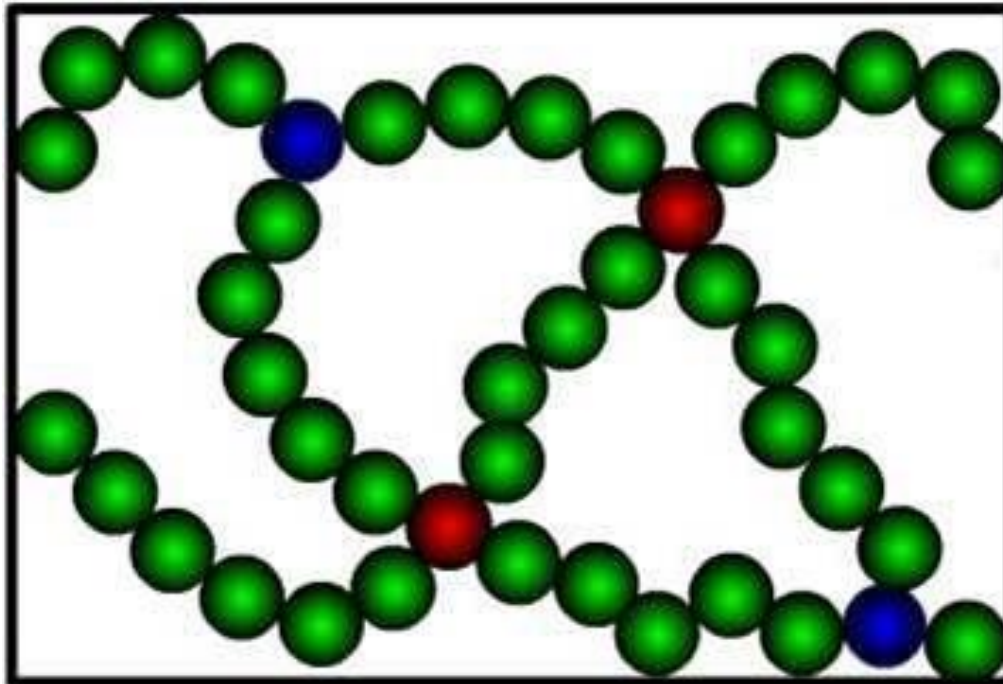
Hochtemperaturbeständige Kunststoffe - über 140°C

Kunststoffklassen: Duromer



Gestalt:

Duromere sind räumlich eng vernetzte Kettenmoleküle, deren Vernetzungspunkte aus chemischen Bindungen bestehen.



Gestalt

Duromere sind räumlich eng vernetzte Kettenmoleküle, deren Vernetzungspunkte aus chemischen Bindungen bestehen.

Eigenschaften

- nicht schmelzbar,
- im allgemeinen **nicht** schweißbar
- schwach quellbar
- unlöslich
- temperaturstandfest

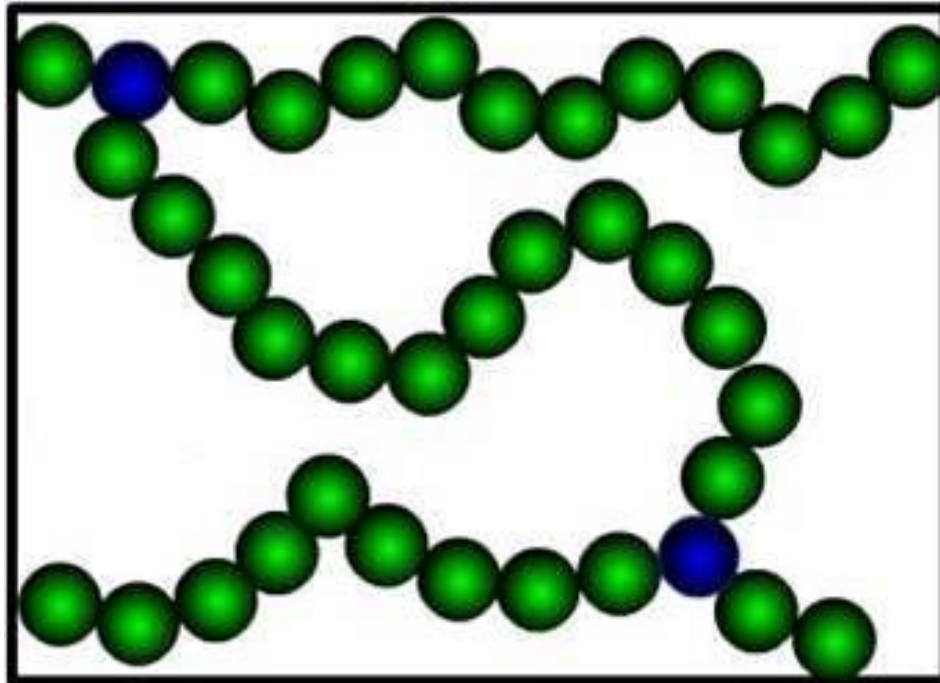
PF	- Phenol-Formaldehydharze
MF	- Melamin-Formaldehydharze
UF	- Harnstoff-Formaldehydharze
UP	- Ungesättigte Polyesterharze
PI	- Polyimide
EP	- Epoxidharze
PUR	- Polyurethane

Kunststoffklassen: Elastomer



Gestalt:

Elastomere sind **räumlich weit vernetzte** Kettenmoleküle, deren Vernetzungspunkte aus **chemischen Bindungen** bestehen.



Gestalt

Elastomere sind räumlich weit vernetzte Kettenmoleküle, deren Vernetzungspunkte aus chemischen Bindungen bestehen.

Eigenschaften

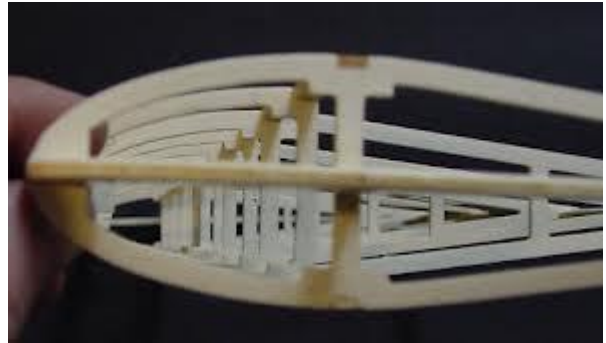
- nicht schmelzbar
- im allgemeinen **nicht** schweißbar
- quellbar in bestimmten Lösungsmitteln
- unlöslich
- gummielastisch
- neigen mehr zum Kriechen als Thermoplaste

Kunststoffklassen: Elastomer

NR	- Natural Rubber, Naturkautschuk
BR	- Butadien-Kautschuk
SBR	- Styrol-Butadien-Kautschuk
NBR	- Acrylnitril- Butadien-Kautschuk
CR	- Chloropren-Kautschuk
IR	- Isopren-Kautschuk
IIR	- Butylkautschuk, Isobutene-Isoprene-Rubber
EPDM	- Ethylen-Propylen-Dien-Terpolymer
ECO	- Epichlorhydrin-Kautschuk
Q	- Silikon-Kautschuke
AU	- Urethan-Kautschuk
TM	- Polysulfid-Kautschuk



Herstellung von Rotorblättern - Wie ökologisch ist Balsa-Holz?



Balsa-Holz

Besonderheiten: Balsa ist mit einer Rohdichte von im Mittel $0,15 \text{ g/cm}^3$ (150 kg/m^3) das **leichteste** der bekannten Holzgewächse. Zusammen mit seiner Schnellwüchsigkeit nimmt es damit eine Sonderstellung unter den Hölzern ein. Balsa ist von sehr geringer Dauerhaftigkeit und nicht witterungsfest.



Mikroschnitt

Herkunft: Südamerika

Geschichte: Schon die Inkas benutzten das Balsaholz für den Floßbau
Balsa (spanisch): Floß – Namensgebung geht auf die spanischen Eroberer zurück

Balsa-Holz - Standortbedingungen

- Der Baum bevorzugt tiefere Küstenlagen, insbesondere Flussniederungsböden.
- Optimales Wachstum und Holzqualität werden nur in Höhenlagen von ca. 80 bis 300 Meter auf leichten, tiefgründigen, gut drainierten und durchlüfteten, alluvialen („angeschwemmten“) Böden erreicht.
- Die klimatischen Ansprüche und die Lichtbedürftigkeit von Balsa sind sehr hoch.
- Benötigte Regenmenge: gleichmäßig ca. 1500 bis 2500 mm/Jahr
- Benötigter Temperaturbereich: ca. 22 bis 28° C
- Der Baum reagiert sehr empfindlich auf Ast- und Rindenverletzungen (Pilz- und Insektenbefall).



Balsa-Holz - Plantagenproduktion

Für die Aufzucht der Balsapflanzen haben sich zwei Verfahren etabliert:

- Direktsaat auf einer unkrautfreien, vorbereiteten Fläche im 3 x 3 Meter Verband, wobei die Pflanzen später vereinzelt werden müssen
- Aufzucht in Baumschulen und Auspflanzen der ca. 1 Monat alten Pflänzchen.

Die Pflanzfläche (die sogen. Corona) muss auf etwa 1 m² ständig von Unkräutern, insbesondere Schlingpflanzen, befreit werden.



Was bedeuten die Fakten der vorigen zwei Folien für unsere Ausgangsfrage:



Wie „ökologisch“ ist der Einsatz von Balsa-Holz?

Balsa-Holz - Plantagenproduktion

Greenfair/wissen.de:

Ein hoher Anteil der Lieferungen stammt aus **illegalen Quellen**. Ansonsten wird Balsa in der Regel in Plantagen angebaut. Diese Monokulturen bergen jedoch große ökologische Probleme, da sie den verstärkten Einsatz von Pestiziden (Schädlinganfälligkeit) und Düngern erfordern und für die Anlage solcher Pflanzungen **häufig Urwälder gerodet werden**. Sicherheit bietet hier nur das FSC-Siegel.



Probleme durch Balsa-Holz

- Monokulturen:
- Erfordern verstärkten Einsatz von Pestiziden (Schädlingsanfälligkeit) und Düngern
 - Für die Anlage der Plantagen wird häufig Regenwald abgeholzt (Gefahr für das Weltklima und die Flora-/Fauna-Artenvielfalt)
- Transport :
- Holzproduktion in Südamerika; Verwertung in Europa

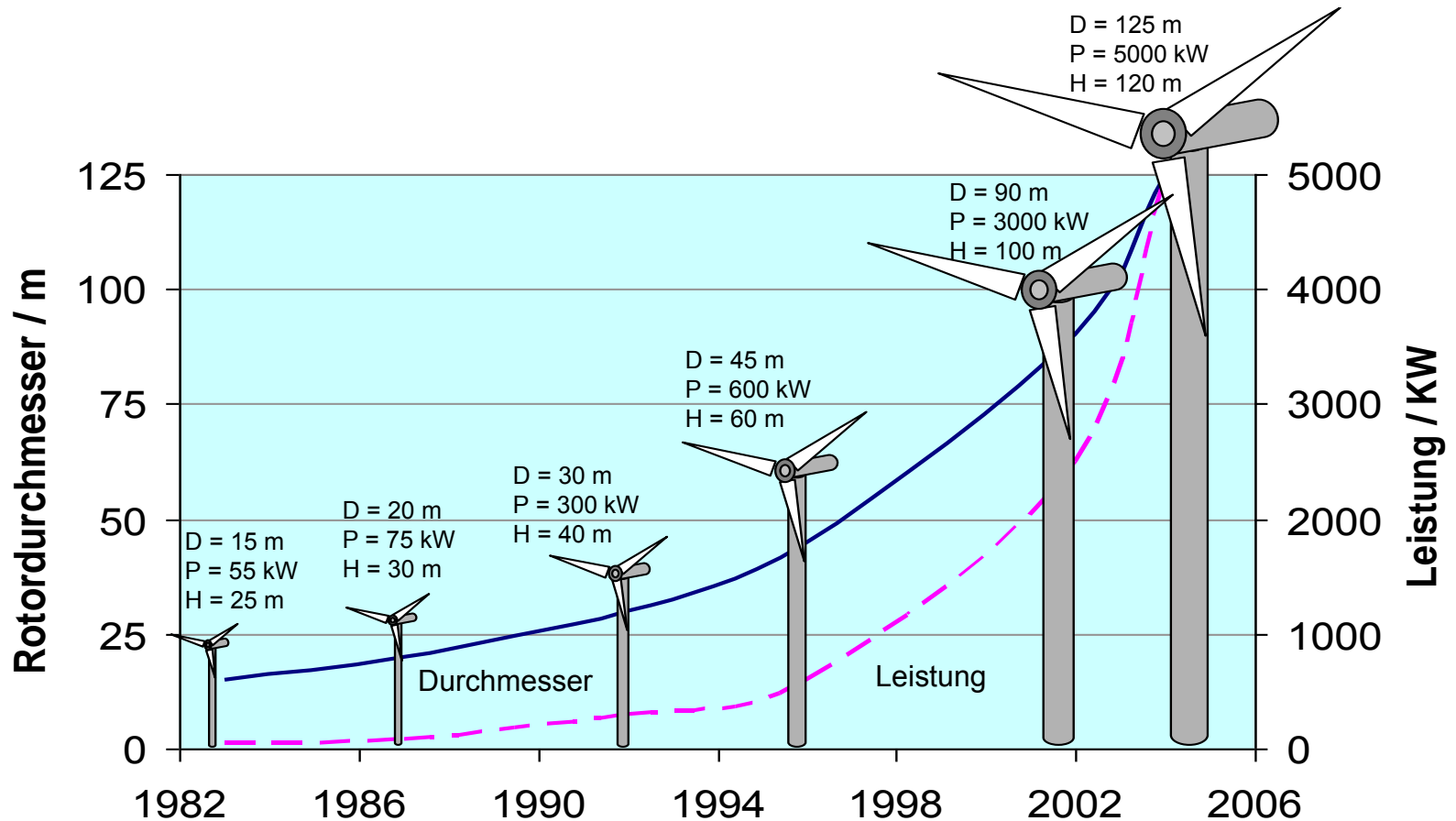
„ökologisch“?



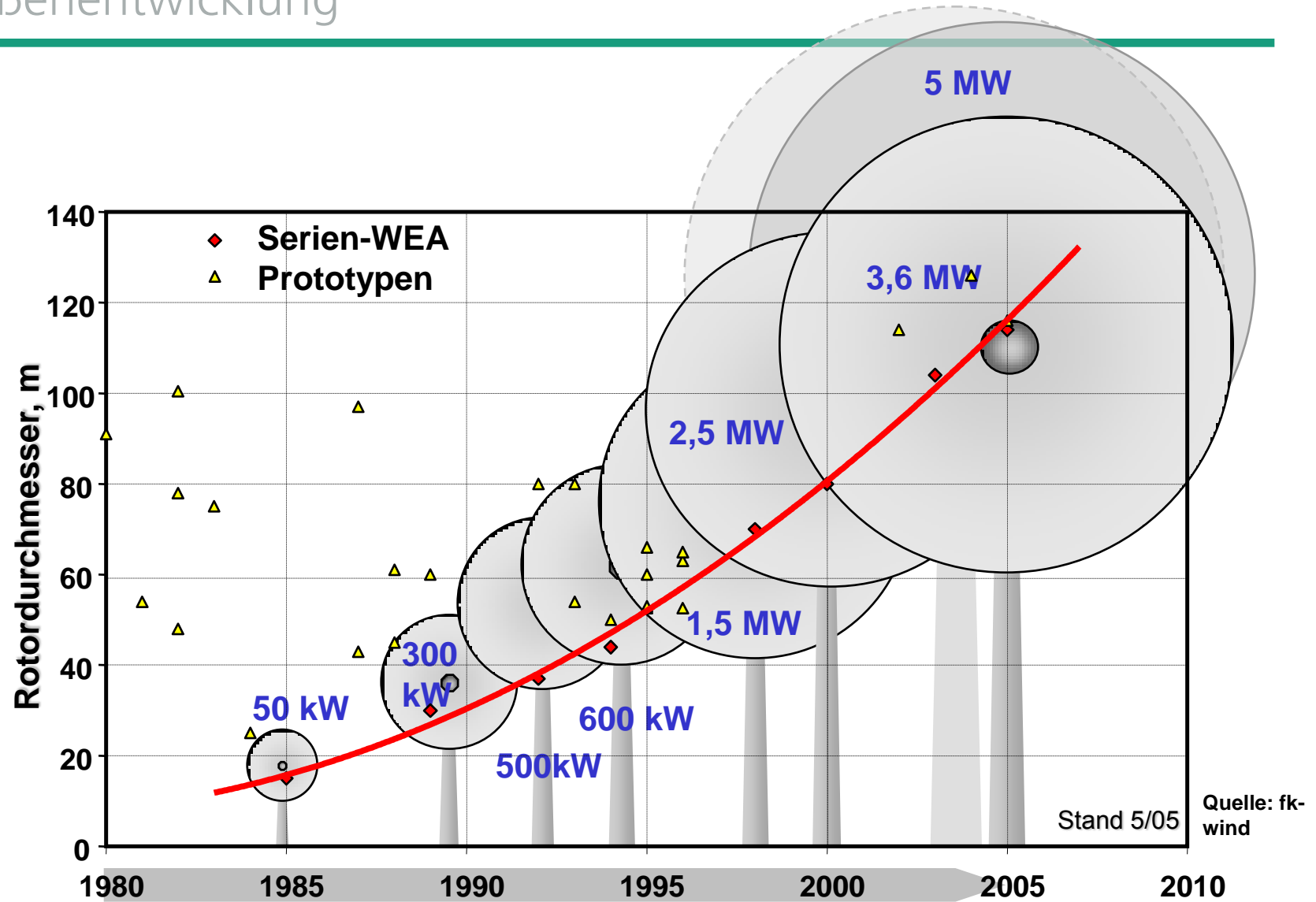


Herstellung von Rotorblättern - Entwicklung der Windenergie

Rotordurchmesser und Nennleistung



Größenentwicklung



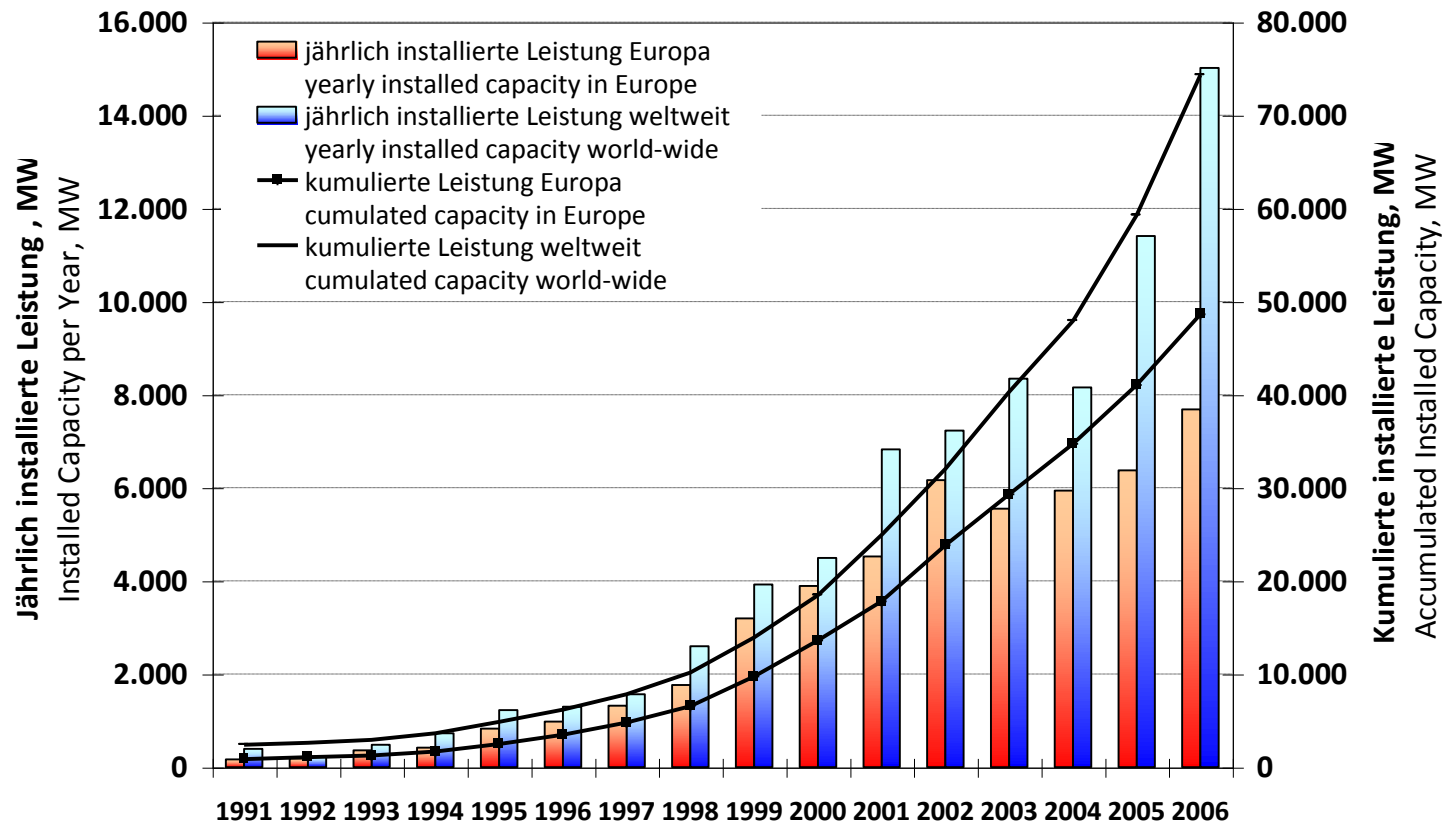
Weltweit sind über 240.000 Rotorblätter an Windenergieanlagen verbaut.

LM 75 ist das derzeit längste Rotorblatt.



© Fraunhofer IFAM

Installierte Leistung





Wie sieht die
Zukunft aus?

Wird die Landschaft
„verspargelt“?



Herstellung von Rotorblättern

-

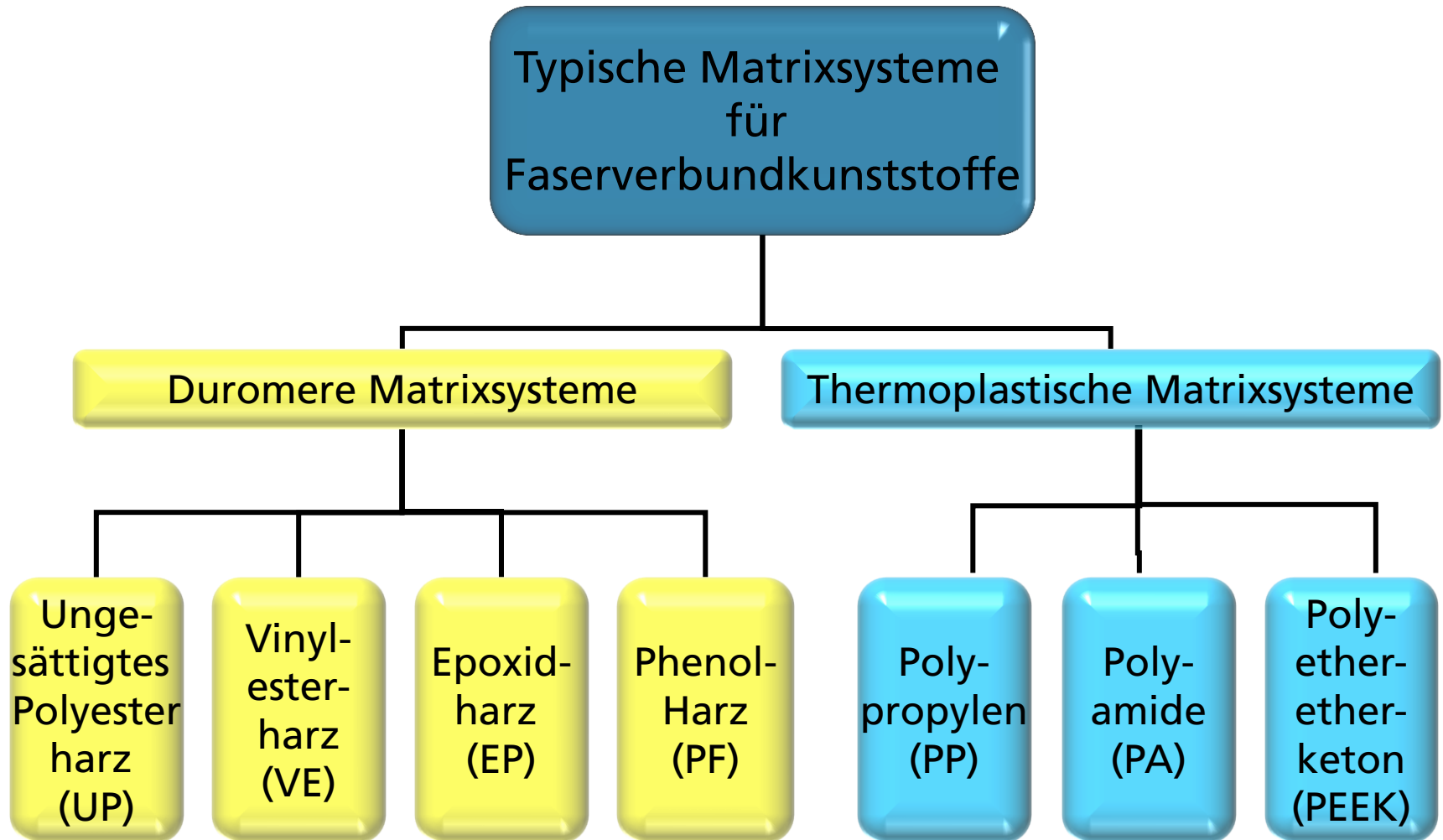
Wieviel Chemie steckt in der Windkraft?



© Fraunhofer IFAM

Matrixsysteme

- Eigenschaften und Aufgaben der Matrix
- Kriterien zur Matrixauswahl
- Entstehung von Polymeren
- Reaktion von UP- und EP-Harzen
- Aufbau von Polymeren



Eigenschaften der Matrix

- geringes Gewicht
- niedrige Festigkeit
- korrosionsbeständig



Aufgaben

- Fixierung der Fasern in der gewollten geometrischen Anordnung
- Übertragung von Kräften zwischen den Fasern und den Laminatschichten
- Abstützen der Fasern (Aufnahme/Einleitung von Druckkräften)
- Schutz der Fasern vor Umwelteinflüssen

Kriterien zur Matrixauswahl

- Herstellungsverfahren, gewünschte Stückzahl
- Preis
- Werkstoffeigenschaften der Matrix, z.B.
 - mechanische Eigenschaften (E-Modul, Bruchdehnung, ...)
 - Temperatureinsatzgrenzen
 - Beständigkeiten gegen Medien und Strahlung
- Fertigungseigenschaften, z.B.
 - Viskosität
 - Verarbeitungszeit
 - Aushärtebedingungen und –dauer
- Arbeitsschutz

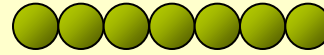
Was ist ein Kunststoff?

Polyethylen PE
Polyvinylchlorid PVC
Polyurethan PU
Polyamid
Polyester

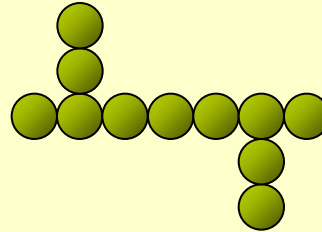
Polymere



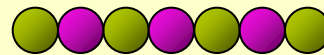
Monomer (einzelnes Molekül)



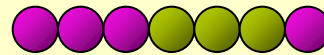
lineares Polymer
(„Kette“ aus Monomeren)



verzweigtes Polymer



Copolymer
(statistische Verteilung
von A und B)

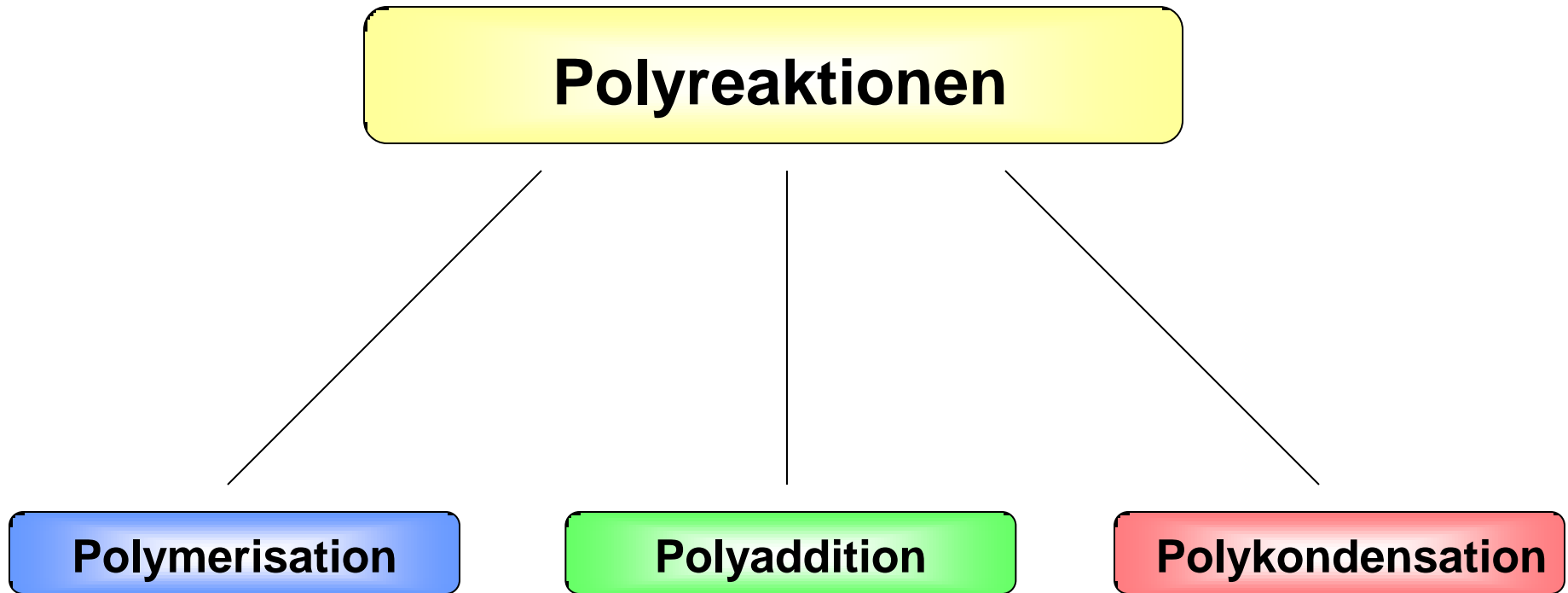


Blockpolymer

Kunststoffe – Begriffe und Definitionen

- Monomer** = Ausgangsprodukt, dessen Moleküle einzeln vorliegen und durch mindestens zwei funktionellen Gruppen („Arme“) durch eine chemische Reaktion ein Polymer bilden können.
- Polymer** = Großes Kettenmolekül oder auch Makromolekül genannt, das aus vielen tausend Monomeren besteht.
- Oligomer** = Polymer mit nur wenigen Monomereinheiten
- Copolymer** = Polymer, das sich aus verschiedenartigen (mindestens zwei) Monomersorten aufbaut.
- Prepolymer** = Polymer von geringer Kettenlänge.

- Erster Kunststoff **1862** Xylonit oder "Parkesine", eine durch Pflanzenöle und Kampfer elastisch gemachte Nitrocellulose: **Celluloid** (von Alexander Parkes)
- Erster vollsynthetischer Kunststoff **1910** durch kommerziell aus Phenol und Formaldehyd hergestellt: **Bakelit** (von L. H. Baekeland).

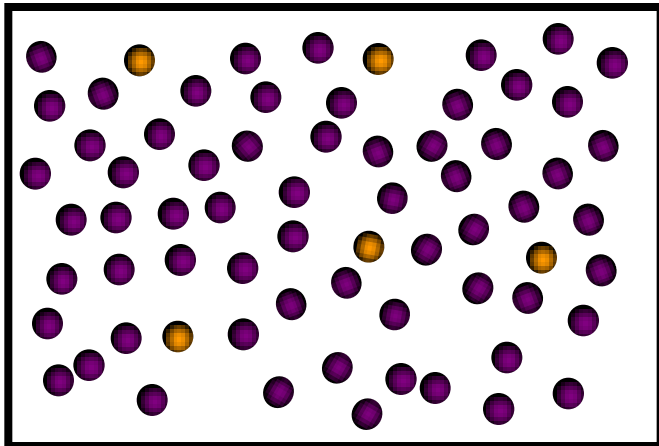


Polymerisation

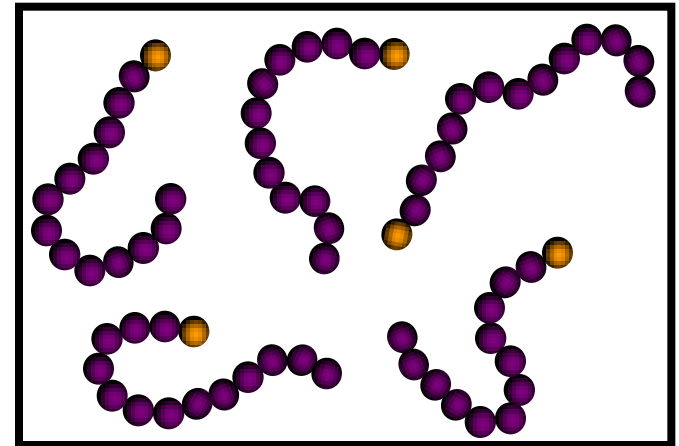
 Harzmonomer

 Härter

Beispiel:



Reaktion 
 Wärme



Hinweis: durch Polymerisation können auch vernetzte Polymere entstehen

Polymerisation

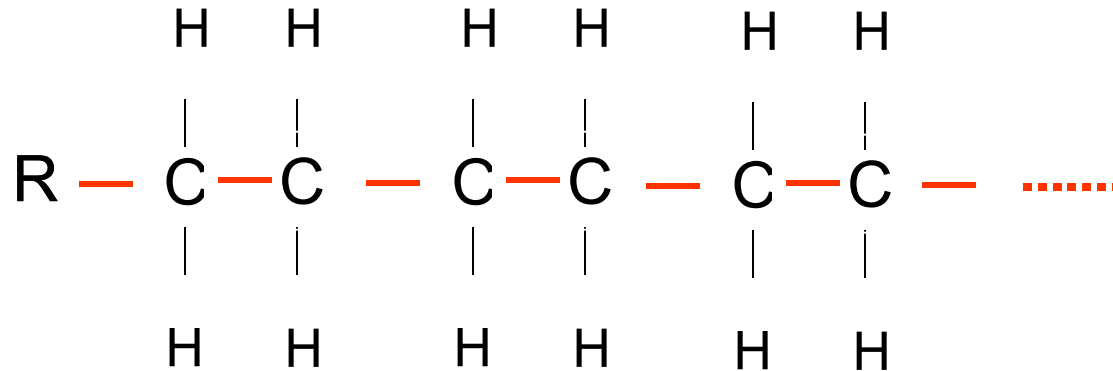
Harz: A
Härter: B



Polymer: B-A-A-A-A-A-A-...

- kleine Mischungsfehler verändern nur die Geschwindigkeit, aber nicht deutlich das Produkt (Härtermenge meist 1-5%)
- wenig Härter → langsame Reaktion
- viel Härter → schnelle Reaktion; dann allerdings größere Mengen an kürzeren Ketten

Entstehung von Kunststoffen – Polymerisation



Beispiel Polyethylen

Voraussetzungen

- Eine oder mehrere **Doppelbindungen** im Monomer
- Moleküle mit ungepaarten Elektronen (**Radikale**)
- Geeignete thermodynamische und sterische Verhältnisse (räumliche Zugänglichkeit der Doppelbindung muss gegeben sein)

Reaktionsverlauf

Startreaktion (Radikalbildung),
homolytische Spaltung kovalenter Bindungen mittels thermischer,
chemischer, elektrochemischer oder photochemischer Energie

————→ Kettenwachstum

————→ Kettenabbruch

Radikalische Polymerisation

Startreaktion



Radikalstarter

Startradikal

Radikalischer Rest

Addition des Startradikals an ein Monomer **A**



Radikal

Monomer

Radikalische Polymerisation

Kettenwachstum



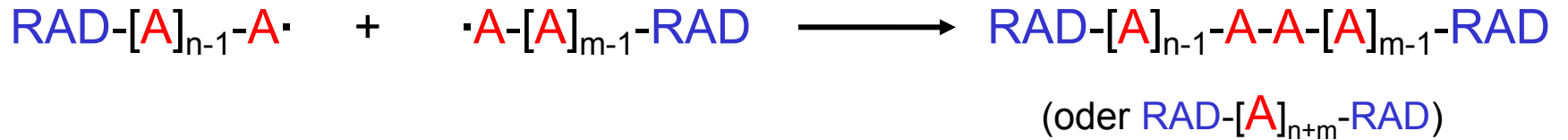
USW.

Kettenabbruch im Verlauf der Polymerisation

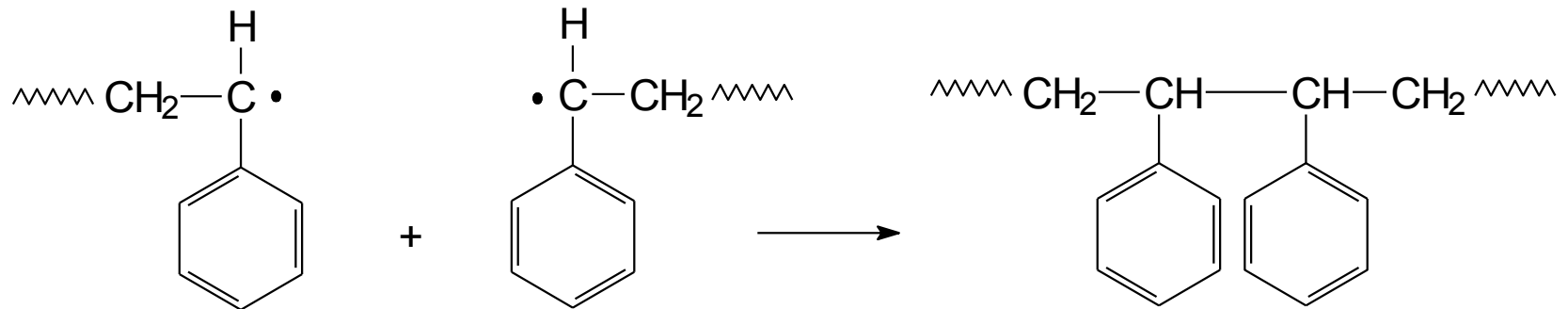
- **Rekombination** zweier Radikale
- **Disproportionierung** (Übertragung eines H-Atoms von einer Kette zur anderen)
- Einsatz von **Reglern** (Regelung der Molmasse bzw. des Polymerisationsgrades)
- Einsatz von **Inhibitoren** (Verhinderung unerwünschter Reaktionen, Lagerstabilität erhöht)
- **Verunreinigungen** (z.B. Luftsauerstoff)

Radikalische Polymerisation

Abbruch durch Rekombination

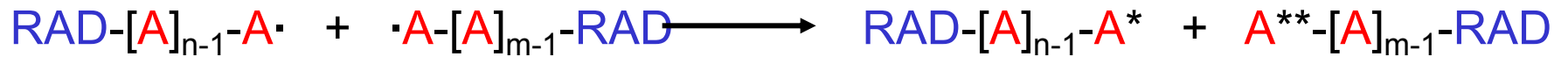


Beispiel: Polystyrol



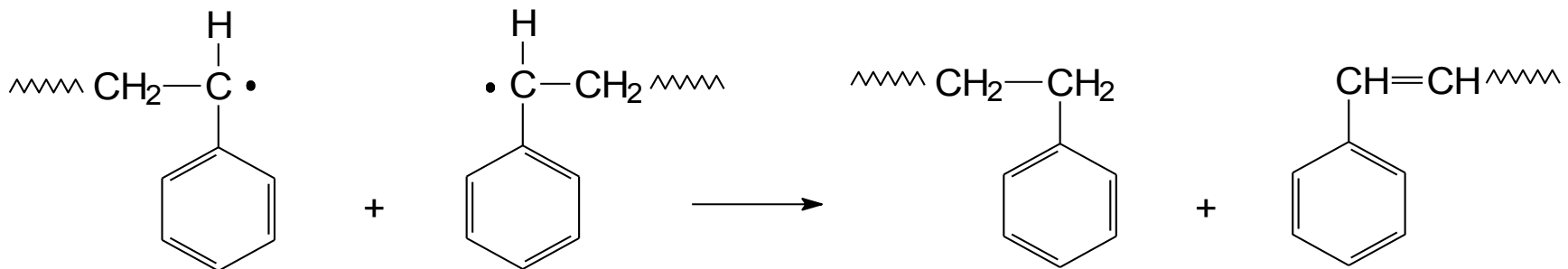
Radikalische Polymerisation

Abbruch durch Disproportionierung



A^* = A mit zusätzlichem Wasserstoffatom

A^{**} = A mit einem Wasserstoffatom weniger



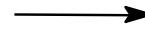
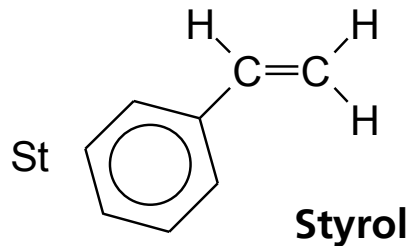
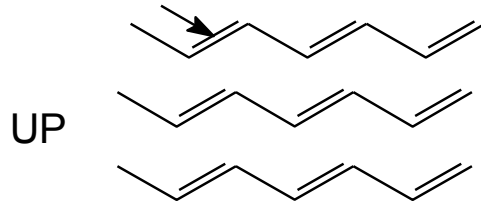
Beispiel: Polystyrol

Polymerisation: Ungesättigte Polyesterharze (UP)

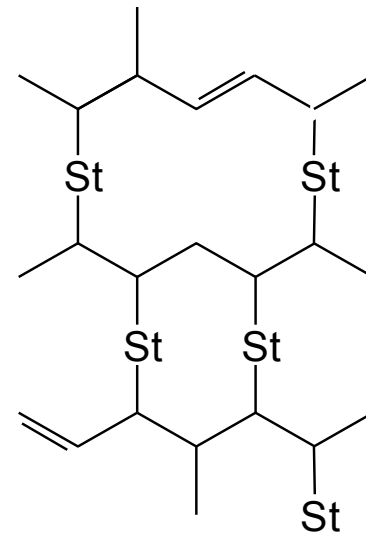
Härtungsreaktion:

Schematischer Verlauf der radikalischen Vernetzung mit Styrol

Doppelbindung



Styrol-vernetzter ungesättigter Polyester



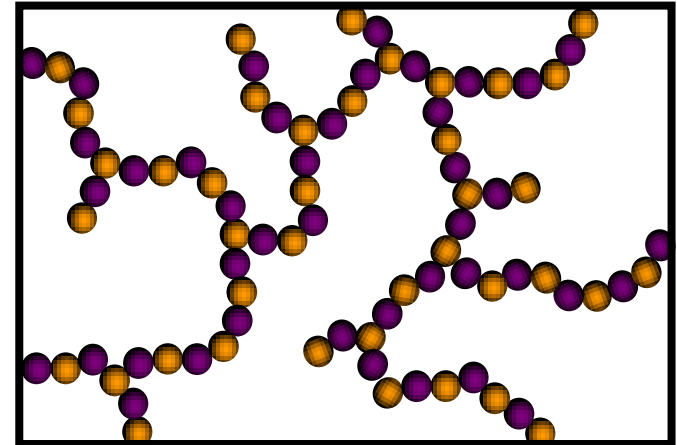
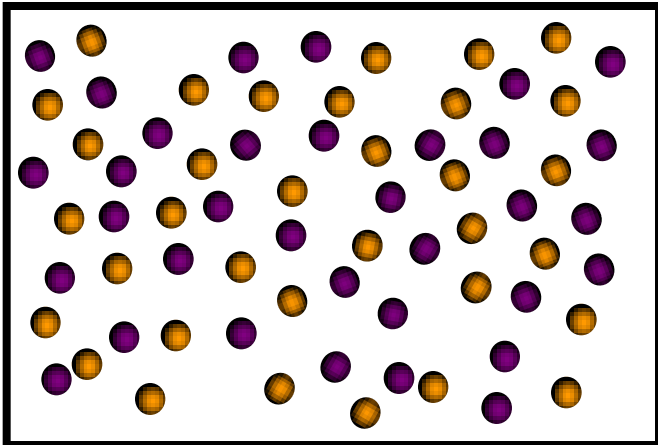
Entstehung von Kunststoffen – Polyaddition

Polyaddition

 Harzmonomer

 Härter

Beispiel:



Hinweis: durch Polyaddition können auch unvernetzte Polymere entstehen

Polyaddition

Harz: A
Härter: B



Polymer: ...-A-B-A-B-A-B-...

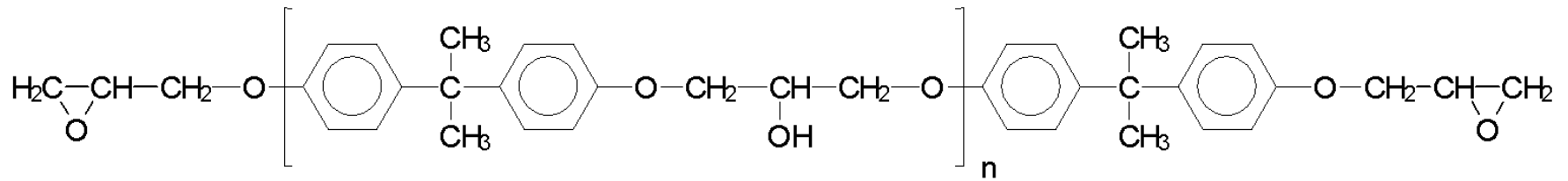
- Empfindlich gegenüber Mischungsfehlern
Mischungsverhältnis (je nach Hersteller verschieden) MUSS eingehalten werden, und es muss SEHR GUT gemischt werden.
- Zuviel Harz oder Härter bleibt als Flüssigkeit im Kunststoff zurück und macht den Kunststoff weich („Weichmachereffekt“).

Epoxidharze

Bestandteile:

- **Harz:** Di- oder Polyepoxide auf Basis von Bisphenol A, Novolaken etc.
- **Härter:** Polyamine, Mercaptane

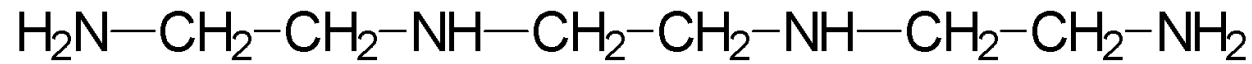
Polyaddition: Epoxidharze



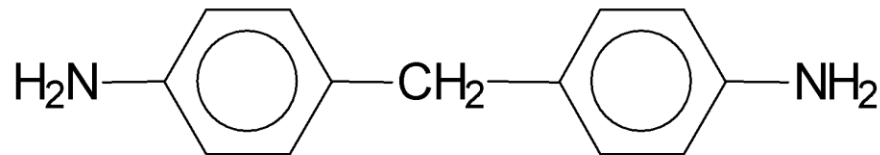
Partiell aromatisches Harz:

Prepolymer auf Basis von Bisphenol A

Härter für Epoxide:



Triethylentetramin

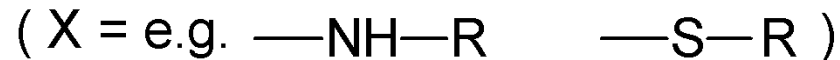
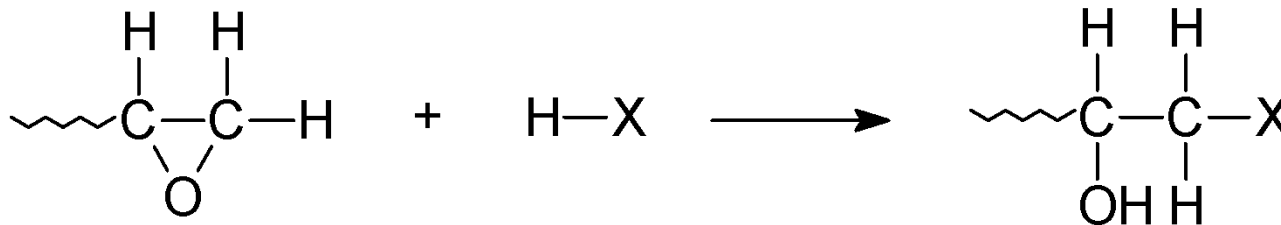


4,4'-Diaminodiphenylmethan

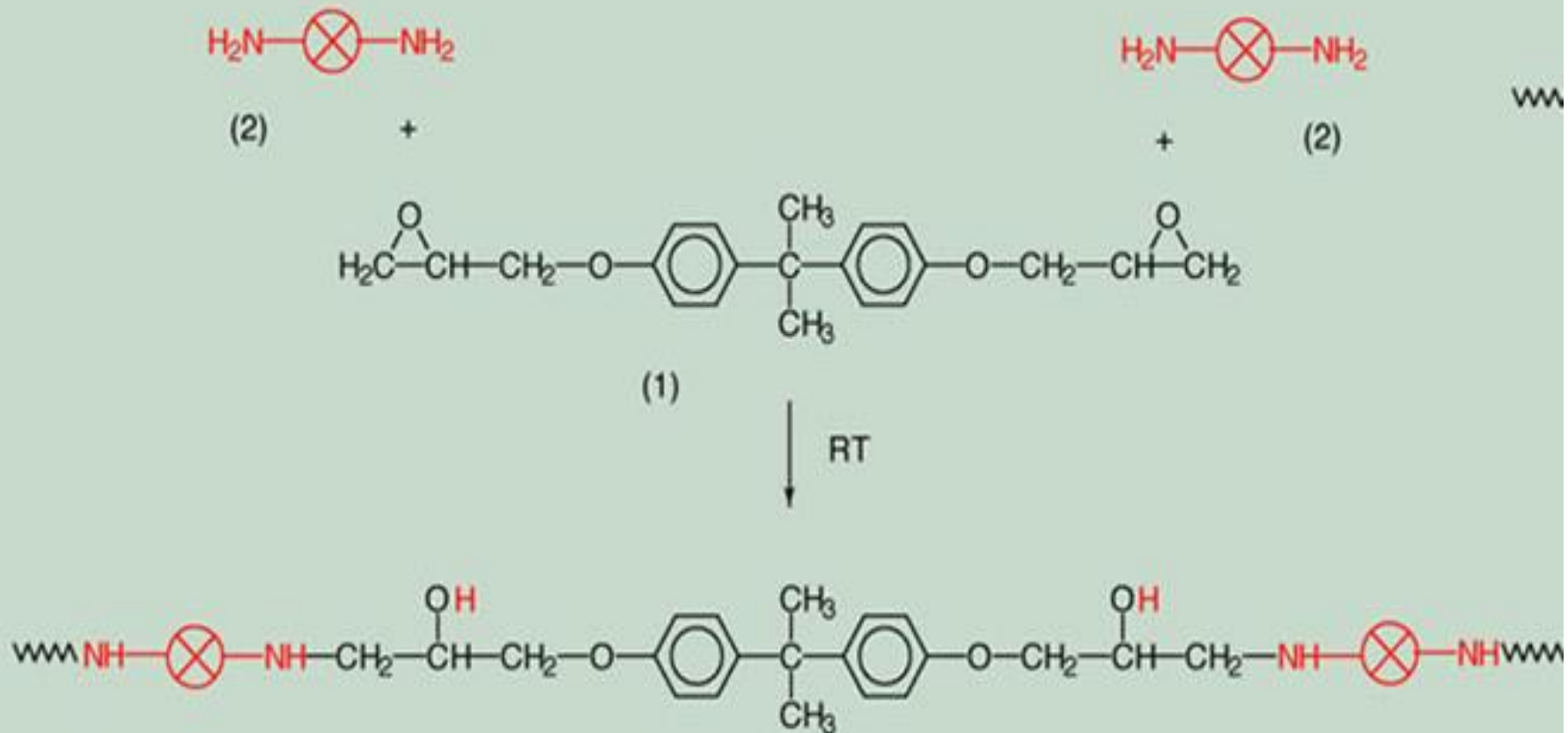
Polyaddition: Epoxidharze

Aushärtung:

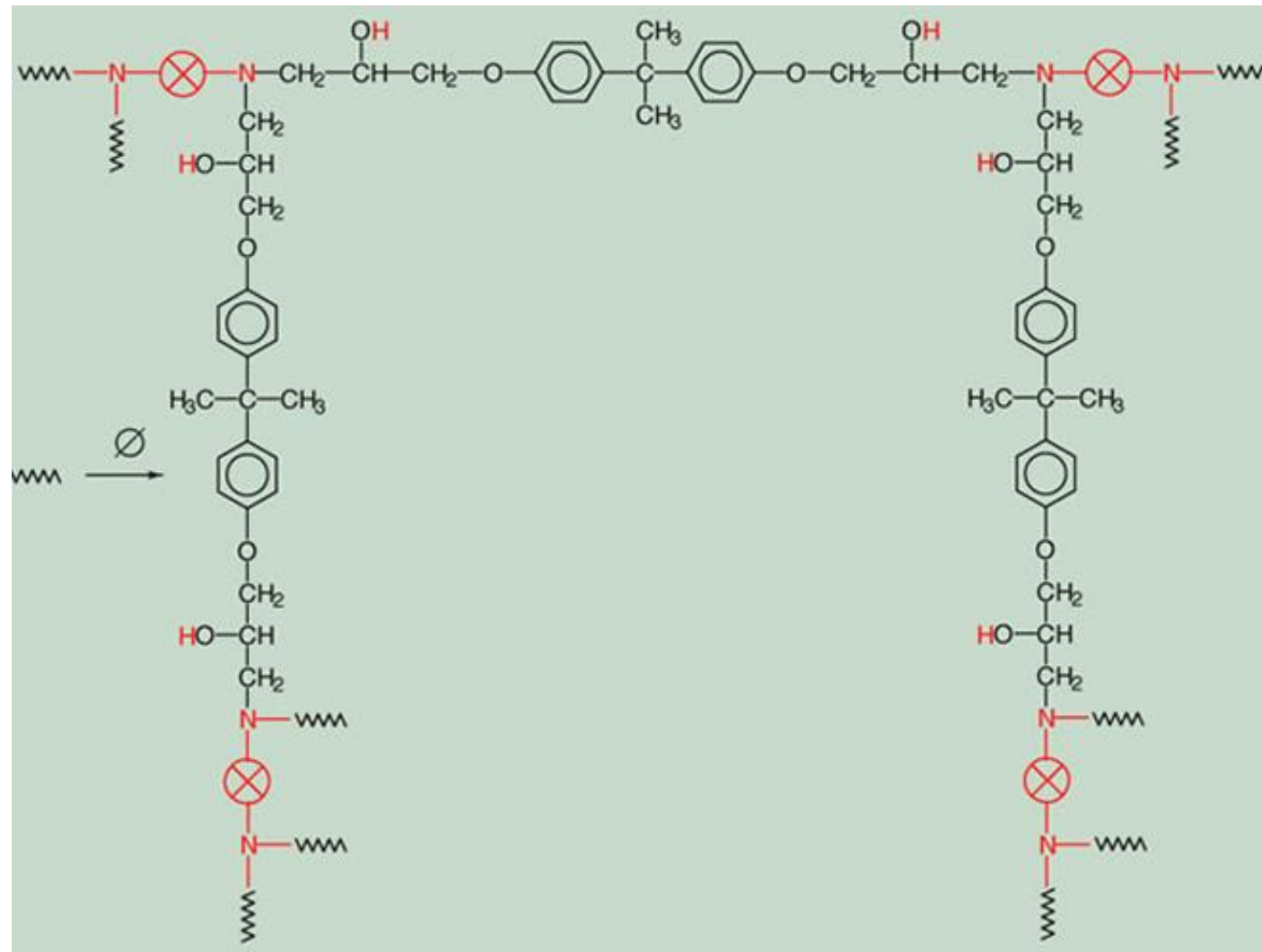
Am häufigsten finden mehrfunktionelle aliphatische oder aromatische Amine als Härter Verwendung, aber auch Mercaptane und andere.



Polyaddition: Epoxidharze – Diamin mit BPA-bis-Epoxid

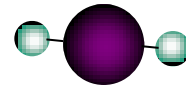


Polyaddition: Epoxidharze – Reaktion zum Duromer

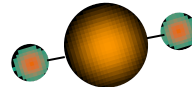


Polykondensation

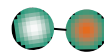
Polykondensation



Harzmonomer

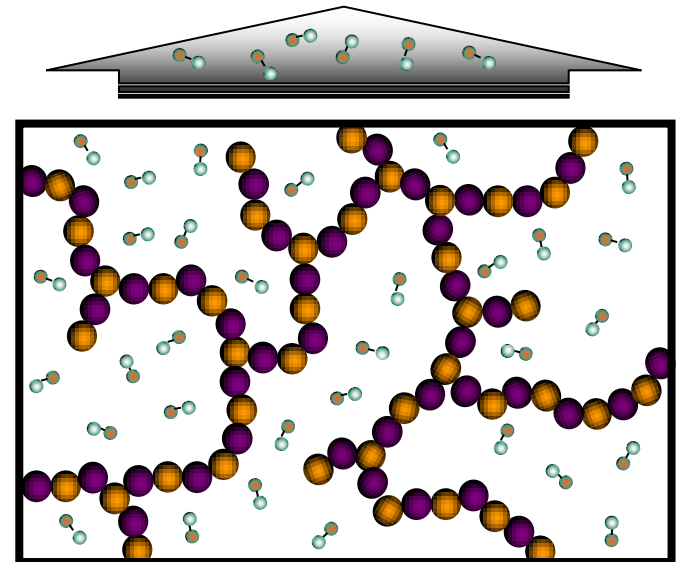
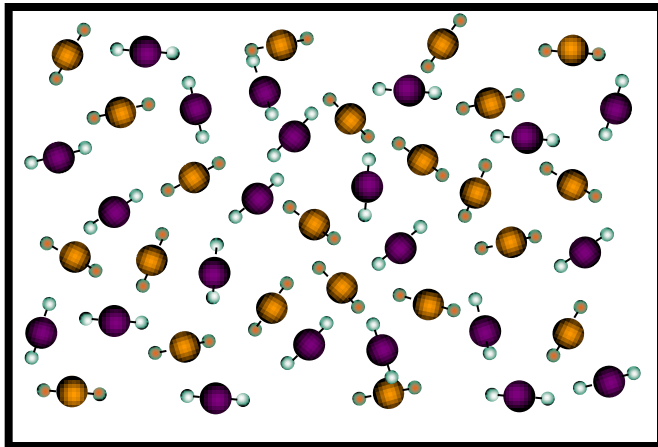


Härter



„Kondensat“ (kleines Molekül)

Beispiel:



Hinweis: durch Polykondensation können auch unvernetzte Polymere entstehen

Polykondensation

Harz: **x-A-x**

Härter: **y-B-y**



Polymer: ...-A-B-A-B-A-B-...

Kondensat: **x-y**

- Empfindlich gegenüber Mischungsfehler
Mischungsverhältnis (je nach Hersteller verschieden) MUSS eingehalten werden und es muss SEHR GUT gemischt werden
- Das Kondensat (Nebenprodukt) wandert bei den meisten Polykondensationsreaktionen durch den Kunststoff an die Oberfläche und wird mit der Zeit an die Umgebung abgegeben.

Wichtige Reaktionsharztypen

- | | |
|--|------------------|
| ● Ungesättigte Polyesterharze (UP-Harze) | Polymerisation |
| ● Vinylesterharze (VE-Harze) | Polymerisation |
| ● Epoxidharze (EP-Harze) | Polyaddition |
| ● Phenolharze (PF-Harze) | Polykondensation |



Herstellung von Rotorblättern

-

Wieviel Chemie steckt in der Windkraft?



Herstellung von Rotorblättern - Recycling

Wann wird recycelt?

- Sturmschaden
- Repowering
- Alterung



Welche Schwierigkeiten könnten beim Recycling von Rotorblättern auftreten?

Welche Schritte müssen durchlaufen werden?



© Fraunhofer IFAM

1. Abbau



2. Transport



3. Zerkleinern



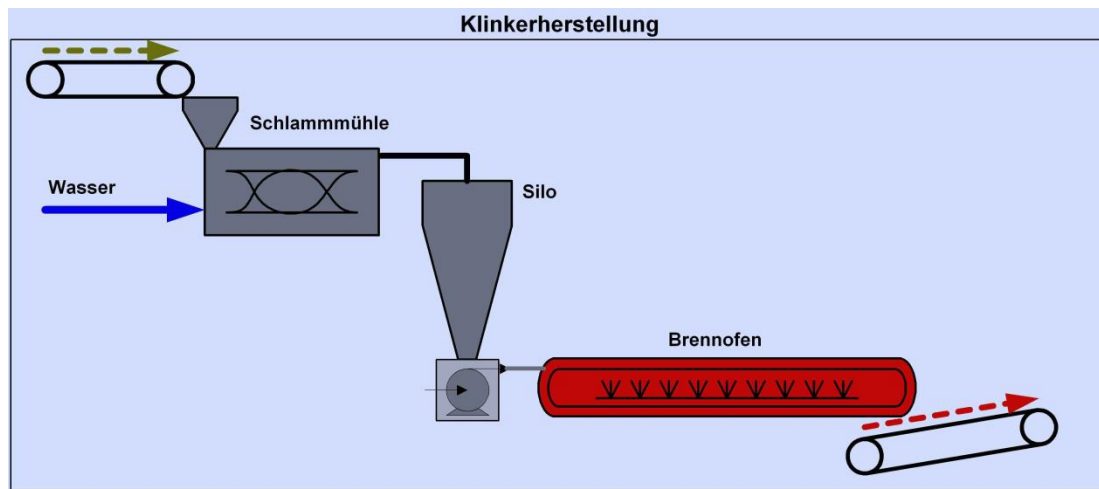
4. Verwerten

- Deponie?
- Verkauf?
- thermische Verwertung?
- stoffliche Verwertung?
- chemische Verwertung?



Zementherstellung

Die Rohstoffe (in der Regel Kalkstein, Ton, Sand, und Eisenerz) werden in abgebaut, vorzerkleinert und in das Zementwerk befördert. In einer Rohmühle werden alle Rohmaterialien zusammen vermahlen und gleichzeitig getrocknet. Das dabei entstehende Rohmehl wird dann in einem Ofen bei Temperaturen von ca. 1.400–1.450 °C zum „Klinker“ gebrannt, welcher anschließend im Kühler auf eine Temperatur von unter 200 °C abgekühlt wird. Die entstehenden Granalien werden anschließend z. B. mit Gips zum fertigen Zement vermahlen.

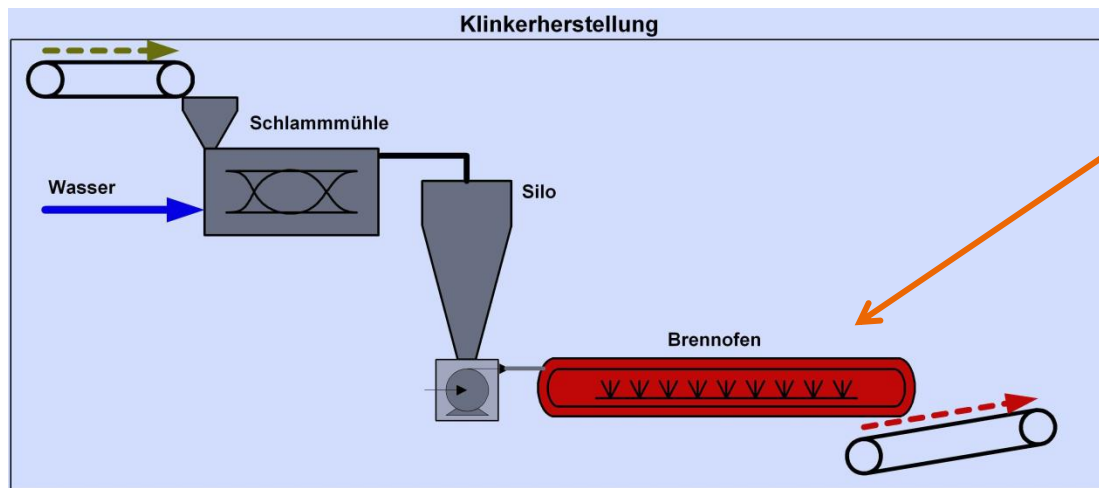


Zementherstellung

Möglichkeit:

Rotorblatt wird verbrannt, um den Brennofen zu beheizen.

50 % verbleibt als Schlacke (überwiegend Glas) und kann Sand in der Herstellung ersetzen.



Rotorblatt
zugeben



Wie sieht die
Zukunft aus?

Wird das Recycling
dem Material
angepasst oder das
Material dem
Recycling?