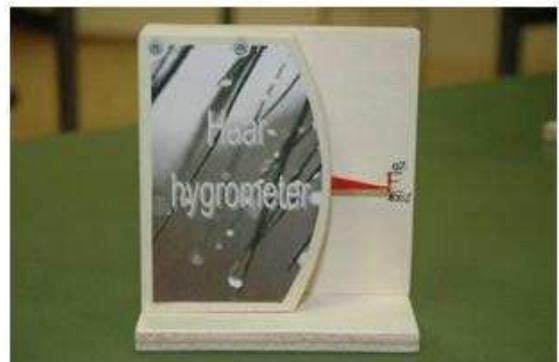


**Das Fügen von  
Holz – Kunststoff – Metall  
mit NwT-geeigneten Methoden**

- Modellbau jenseits von  
Nagel und Heißkleber

Praktische Anleitungen  
Reinhard Hampel, Scheffel-Gymnasium, Bad Säckingen



Pdf-Datei dieses Heftes bei:

<http://www.scheffलगym.de/de/kollegium/fachschaften.php> > Fachschaft NwT

## **Das Fügen von Werkstücken - jenseits von Nagel und Heißkleber**

Die Standards NwT geben vor, dass die Schülerinnen und Schüler technische Produkte praktisch herstellen sollen. Hierzu ist ein Mindestmaß an handwerklichen Fertigkeiten besonders beim Fügen, dem Zusammenbauen von Einzelteilen notwendig.

Neben den fachlichen Inhalten einer Unterrichtseinheit sollten die Lehrenden auch auf die Vermittlung einfacher handwerklicher Methoden achten. Dabei sind fachgerechte Materialauswahl, effiziente Materialausnutzung, fachgerechte Bearbeitung mit Handwerkzeugen, den für Schüler/innen zugelassenen Maschinen (siehe FoBi: *Sicherheit beim Umgang mit Maschinen*) und die Verwendung angemessener Verbindungsmittel (Nägel, Schrauben, Leime, Klebstoffe etc.) zu beachten. Im Unterschied zum Technikunterricht an Werkrealschulen oder technischen Gymnasien haben diese handwerklichen Fügemethoden im NwT-Unterricht der allgemeinbildenden Gymnasien nur eine unterstützende Hilfsfunktion.

Im NwT-Unterricht steht nicht die präzise Bemaßung und Verbindung eines Werkstücks an erster Stelle, sondern die modellhafte Verdeutlichung einer technischen Anwendung. Beobachtungen zeigen jedoch bei Schülerarbeiten manchmal nur einfach zusammengenagelte (Spanplatten-) Holzkonstruktionen. Des Öfteren sind heißgeklebte Teile zu sehen, da Schüler ohne eine gewisse Lenkung oft den Weg des geringsten Widerstands gehen und ihr technisches Modell *im Nullkommanix* zusammenkleben oder nageln. Umso enttäuschter sind sie anschließend, wenn sich herausstellt, dass diese Verbindungen nicht belastbar sind, oft ein großes Spaltmaß haben, welches die Funktion beeinträchtigen kann und weil heißgeklebte und genagelte Produkte optisch wenig ansprechend sind.

Dieses Heft soll den Unterrichtenden helfen, die für **NwT geeigneten Fügeverfahren** einzuüben und anschauliche Modelle davon für ihren Unterricht herzustellen. Auch werden konkrete praktische Fragen nach Materialien, Werkzeugen, Verbindungselementen etc. beantwortet.

## Was bedeutet NwT-geeignetes Fügen?

1. Es dürfen **nur für Schüler/-innen zugelassene Maschinen** eingesetzt werden. > <http://www.schule-bw.de/unterricht/faecher/nwt/hilf/hilfe3/>
2. Die **Maschinenbenutzung ist klassenstufenabhängig** und schränkt die Fügemethoden ein, da nur Tischbohrmaschine, Dekupiersäge, Akkuschauber und Teller- bzw. Bandschleifer verwendet werden können. Nut- und Federverbindungen oder Zinkungen, die den Einsatz von Kreissäge oder Oberfräse verlangen, sind somit nur beschränkt herstellbar, wenn gute und scharfe Sägen – am besten Japan/Zug-Sägen - vorhanden sind und die Länge der Verbindung 15 - 20 cm nicht überschreitet.
3. Da in NwT als dem technisch-naturwissenschaftlichen Fach am Gymnasium nur die Grundlagen praktischen technischen Arbeitens vermittelt werden können, sollten **nur einfache, grundlegende Verbindungen** angewandt werden. **Möglichst geringer Zeitaufwand bei der Herstellung** ist ein weiterer wichtiger Aspekt. Ich halte es nicht für sinnvoll, nur aus Gründen der Optik schwierig herzustellende Verbindungen wie z.B. Zinken anzuwenden.
4. Verbindungen sollten so beschaffen sein, dass sie **einfach und innerhalb 1-2 Unterrichtsstunden fertig zu stellen** sind, dass also keine stundenlangen Aushärtephasen in Pressen oder Schraubzwingen nötig sind, wie z.B. bei reinen Leimverbindungen mit Weißleim. Verbindungen sollten möglichst schnell nach ihrer Herstellung belastbar sein, damit der **Arbeitsfluss nicht unnötig unterbrochen** wird.
5. **Grundlegende Prinzipien beim Fügen in NwT** sollten sein:
  - Möglichst wenige Werkstoffe sind lagermäßig vorzuhalten
  - möglichst eine beschränkte Anzahl verschiedener Verbindungsmittel vorhalten (z.B. nur *Torx*-Schrauben bestimmter Durchmesser und Länge)
  - möglichst nur konventionelle Werkzeuge (Schraubendreher, Leimzwinde)
  - möglichst keine zusätzlichen Hilfsmittel/~werkzeuge (deshalb rate ich vom Holzdübeln ab, da Schüler/innen dafür spezielle Dübel-Lehren benötigen)
  - Das Fügen sollte nicht ‚als Hausaufgabe‘ gegeben werden (Aufsichtspflicht)

Auf solche Art hergestellten Fügungen sollten materialgerecht, haltbar, präzise (gymnasial angepasst s.o.) und schnell herzustellen sein; optisch sind sie sicherlich nicht in jedem Fall die ansprechendste Lösung (sichtbare Schraubenköpfe).

## Welche Materialien sollten für das praktische technische Arbeiten in NwT lagermäßig vorgehalten werden?

Zuallererst: **Welche Materialien nicht?**

- Keine Buchen- bzw. Eichenbretter bzw. -leimhölzer > **Bearbeitungsverbot!**
- Keine Spanplatten (schlecht zu bearbeiten, hohes Gewicht,
  - in Hirnholz-Kanten kann nicht geschraubt werden)
- Möglichst kein Stahlblech (hohe Verletzungsgefahr beim Bearbeiten)
- PVC: Erhitzen/Verschweißen > vermeiden: giftige Dämpfe! Bohren, Kleben ok.

**Welches sind für NwT geeignete Werkstoffe?**

Sie sollten einfach zu beschaffen sein (örtlicher Holzhandel, Baumarkt) und preisgünstig sein. Empfehlenswert ist die Anschaffung ganzer Werkstoffplatten (Holz meist 1250 x 2500 mm in 8 Teile aufgetrennt). Weiterverarbeitung in schuleigenem Sägeraum (nur lizenzierte Kollegen/innen! > NwT-Fobi: Bedienung von Sägemaschinen) oder fertiges Zusägen der Teile durch den Verkäufer (Aufpreis?).

**Naturholz:**

- Kanthölzer, Leisten z.B. (gehobelte Dachlatten) aus Fichte/Tanne (Fi/Ta)
- gehobelte Bretter aus Fi/Ta 18mm (können auch Leimholz-Reste sein)
- Profilleisten (Winkel, Dreieck, Rund, Halbrund, 4-kant) aus Fi/Ta
  - Buche: nur Stäbe wenn unbedingt nötig (Stabilität) und **nicht schleifen!**
  - Kiefer: nutzbar aber: harzreich > verklebt evtl. Sägen/Bohrer

**Holzwerkstoffe:**

- Pappel-Sperrholz (4 oder 6 mm und 10 mm) leicht, **preisgünstigstes Material**
  - nicht unbedingt verwindungssteif bei großen Teilen (> technisch versteifen)
- Birke-Multiplex (9 und 18 mm) rel. schwer; für präzise & hochbelastbare Konstruktionen; **relativ teuer** (nur für Spezialaufgaben)
- Reste von Fichte-Leimholz 18 mm (alte Regalbretter > Kollegium fragen)
- evtl. Birken-Sperrholz 3-lagig (4 mm) rel. preisgünstig; für feine Details
- eventuell OSB Platten (18mm, *Oriented Strand Board*) für Großkonstruktionen

**Metall:**

- Aluminiumblech 0,8 - 2 mm mit glatter oder geprägter Oberfläche; gut zu bearbeiten
- Aluminium-Profile (Winkelprofile, T und H-Profile, Rundrohr)
- u.U. Kupferblech (gut zu bearbeiten)
- u.U. Stahlwinkel mit Schraublöchern, Profile (Ablängen mit einer Hand-Metallsäge)

## **Kunststoffe:**

- Plexiglas (Acrylglas) gezogen (4 mm) Baumarktware (z.B. *Gutagliss*) preisgünstig; muss sehr langsam gesägt/gebohrt werden > schmilzt leicht
- Plexiglas (Acrylglas) gegossen (4, 10 mm, auch farbig) CNC-frästauglich; etwas teurer; z.B. bei: [www.muero-fraeser.de](http://www.muero-fraeser.de) (R. Müller, LS-Stuttgart)
- Hartschaumstoff (z.B. *Styrodur*) (z.B. 20 mm); preiswert; stabil & belastbar
- PVC-Rohrmaterial (Vorsicht beim Erhitzen/Schweißen > Abgase absaugen!)
- PE Polyethylen Rohre, Flaschen etc.

## **Welche Verbindungselemente und -materialien sollten vorgehalten werden?**

- Weißleim (z.B. *Ponal-Express*) für alle Holzverbindungen; aber auch Hartschaum; möglichst Leim mit kurzer Abbindezeit (in kleinen Flaschen) bevorraten!
- Universalklebstoff (*UHU-Hart*) für gering belastete Kleinteile
- Sekundenkleber (Cyanacrylat) nur für Sonderfälle und nur unter direkter Beaufsichtigung durch Lehrer/in
- TORX-Schrauben (Durchmesser 3,0 bzw. 3,5; Länge 16, 20, 25, 30 35, 40) sollten jeweils im 100er/200er Pack besorgt werden. Beschränkung auf TORX hilft den Schülern ungemein > kein Durchdrehen der Bits, kein Rausrutschen...
- Gewindeschrauben & Muttern & Unterlegscheiben ( M4, M5, M6; div. Längen)
- eventuell Schloss-Schrauben M4 - M6 in diversen Längen

Auf Ausnahmefälle beschränken:

- Drahtstifte/Nägeln z.B. für einfachste Drehgelenke oder Achsen, aber nicht unbedingt zum Fügen vor Verbindungen (s.o.)
- Heißkleber zum Verbinden unterschiedlichster Werkstoffe > z.B. Stoff mit Holz

## **Warum nicht nageln?**

Werkstücke, die in NwT hergestellt werden, sind meist kleiner als 30x30x30cm. Bei solch kleinen Werkstücken ist Nageln zu grob, die dünnen Materialien (vor allem Sperrholz) reißen leicht aus. Nagelverbindungen sind bei dünnen Materialien nicht haltbar, können nicht belastet werden. Bei Scherkräften verschieben sich die Konstruktionen. Wichtigstes Argument gegen das Nageln ist aber, dass dabei große Kräfte aufgewandt werden, die die kleinen Werkstücke meist beschädigen; auch kann so kaum ein Mindestmaß an Präzision erreicht werden, was z.B. bei Messgeräten (UE *Vermessung*) wichtig ist.

## Warum nicht heißkleben?

Heißkleber trägt ca. 0,5 – 1mm im Zwischenraum der Verbindung auf und führt so zu Ungenauigkeiten. Tropfender oder herausquellender Heißkleber verursacht böse Brandverletzungen (vor allem weil er an der Haut kleben bleibt und nicht schnell entfernt werden kann). Technisch ist er nicht hoch belastbar, vor allem bei schlagartiger Belastung (Herunterfallen!) brechen heißgeklebte Verbindungen meist. Darüber hinaus sind stundenlang laufende Heißklebegeräte mit ihrem hohen Stromverbrauch nicht im Sinne einer Erziehung zu verantwortungsvoller Energienutzung.

## Welche Werkzeuge & Maschinen werden benötigt?

Bohrungen werden grundsätzlich an der **Tischbohrmaschine** (z.B. *Optimum*) ausgeführt. In Ausnahmefällen (und bei kleinen Durchmessern) können Akkubohrer eingesetzt werden. Viele Sägeschnitte können mit der elektrischen **Dekupiersäge** (z.B. *Hegner, Proxxon*) vorgenommen werden – auch in Metall oder Kunststoff (spezielle Sägeblätter; Geschwindigkeit regeln!). Schnitte (z.B. Überblattungen, Nuten, Falze) in Holz sind am besten mit **japanischen Zugsägen** („*Kataba*“, ohne Rücken, ca. 16 € Baumarkt) auszuführen, die einen sehr feinen und sauberen Schnitt ermöglichen. Eine el. Stichsäge ist in NwT beim Bearbeiten von Kleinteilen wenig hilfreich. **Stechbeitel** (4 – 20 mm) und Holzklüpfel werden für die Ausarbeitung von Falzen, Nuten etc. benötigt. **Akkuschrauber** mit *TORX* Bits und **TORX Handschraubendreher** (auch Bits?) für Verbindungen mit Holzschrauben und 6-kant Schraubenschlüssel oder 6-kant Bits für Maschinenschrauben und Muttern. **Feilen, Raspeln** und **Schleifklötze** mit Schleifpapier oder eine **Band - Tellerschleifmaschine** können Feinheiten abschleifen. Das Schleifen sollte wegen des gesundheitsschädlichen Staubs auf ein absolutes Mindestmaß beschränkt bleiben; Schleifmaschinen dürfen nur mit Absaugung betrieben werden (Klasse M). **Blechscherer, Nietzange** und **Abkantgerät** (40cm) für die Metallbearbeitung. Ein **Gewindeschneidsatz** zum Gewindeschneiden in Metallen und Plexi/Acryl. Für das Kunststoff-Schweißen benötigt man **Heißdrahtbiegegerät** und **Heißluftgebläse** (Schutzhandschuhe, div. Düsen). Unbedingt notwendig ist eine große Anzahl von Schraubzwingen und/oder Leimklemmen. **Stahlmaße** (30/40cm), **Schreinerwinkel, Streichmaße, Winkellehren, Zirkel** zum Anreißen (Anzeichnen).

Hilfreich sind (aus Multiplex selbst hergestellte) kleine 90°-Winkel zum Verleimen

Alle Maschinen/Werkzeuge werden erklärt in: *LS-Heft NwT 2 Technisches Arbeiten*

## Welche Materialien womit fügen?

**Holz und Holzwerkstoffe** sollten grundsätzlich mit einem schnell aushärtenden Weißleim (z.B. *Ponal Express*) verleimt werden. Die Verleimung muss ca. 15 Min. gepresst werden (Leim-, Schraubzwingen, Schraubstock etc.). Wenn gleichzeitig die Verbindung verschraubt wird, kann sie sofort leicht belastet werden, es kann sofort weitergearbeitet werden. Im Obermaterial vorbohren, sonst ‚zieht‘ die Schraube nicht!

### Holz > leimen und schrauben

**Kunststoffe** sind differenziert zu betrachten: Jeder Kunststoff benötigt einen speziellen Kleber! Plexi/Acry-Materialien können mit einem passenden Kleber (z.B. *Uhu* oder *Pattex* Spezialkleber) verklebt werden. Allerdings sind die Aushärtezeiten meist sehr lang. Cyanacrylat (Sekundenkleber) härten zwar schneller aus, sind aber teuer. Angebrochene Tübchen trocknen schnell bis zur Unbrauchbarkeit aus und die Verwendung dieser Klebstoffe sollte immer genauestens beaufsichtigt werden (kaum möglich auch bei 15 Schülern). Beim Verschweißen mit Heißdraht/Heißluftgebläse auf persönl. Sicherheit achten. Geschweißte Verbindungen sind nicht sehr belastbar. Außerdem sind Maßveränderungen beim Schweißen zu beachten (>Teststück)

**Hartschaum** (*Styrodur*) kann mit Holz-Weißleim (pressen; Abbindezeit länger als bei Holz!) oder mit Bau-Silikon (Kartusche, Abbindezeit ca. 24 Std.!) geklebt werden. Harte Kunststoffe können mit Gewindeschrauben verbunden werden, bzw. es kann ein Innengewinde in eines der beiden Plexi/ Acrylteile geschnitten werden (M6 ist ratsam, da Kernloch dabei exakt 5mm ist).

### Kunststoffe > passende Kleber / schweißen / schrauben

**Metallteile** (in NwT meist Aluminium) können miteinander entweder mit Gewindeschrauben und Muttern (wieder lösbar) oder unlösbar aber schnell mit Blindnieten gefügt werden. Werden Metallteile an Holz gefügt, können Holzschrauben verwendet werden. Kupferbleche und -drähte können verlötet werden (Kartuschen-Lötbrenner). Metalle können auch mit je einem Umschlag (wie eine ‚Kappnaht‘) verpresst werden.

### Metalle > schrauben / nieten / umschlagen & verpressen

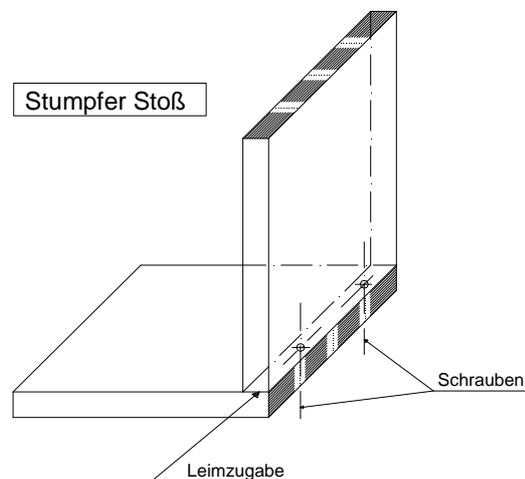
## Die für NwT empfehlenswerten Verbindungen:

### 1 a. *Stumpfer Stoß*

Die in NwT häufig anwendbare und schnellste Verbindung bei Gehäuseecken: Zwei flächige Holzteile werden miteinander verleimt, ohne weitere Vorarbeiten; die Sägeschnitte müssen gerade sein. Allerdings ist ein stumpfer Stoß nicht besonders belastbar bei geringen Materialstärken (4 mm und dünner), da nicht zusätzlich geschraubt werden kann (geringster Schraubendurchmesser meist 3,0).

Um exakte Winkel zu erzeugen sollten Hilfswinkel (aus Multiplex) bereitstehen, die mit Schraubzwingen/Leimklammern eingesetzt werden können. Um die Abbindezeit beim Verleimen zu umgehen und um die Stabilität zu erhöhen, sollten **stumpfe Stöße zusätzlich verschraubt** werden („oberes“ Teil vorbohren).

1. Anriss 2. zuschneiden auf dem Riss im abfallenden Holz 3. Obermaterial vorbohren 4. verleimen und schrauben oder mit geeigneten Hilfswinkeln pressen.



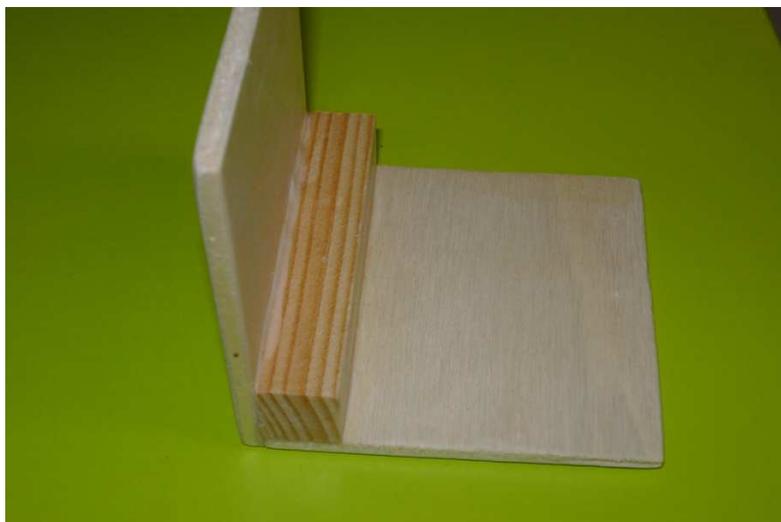
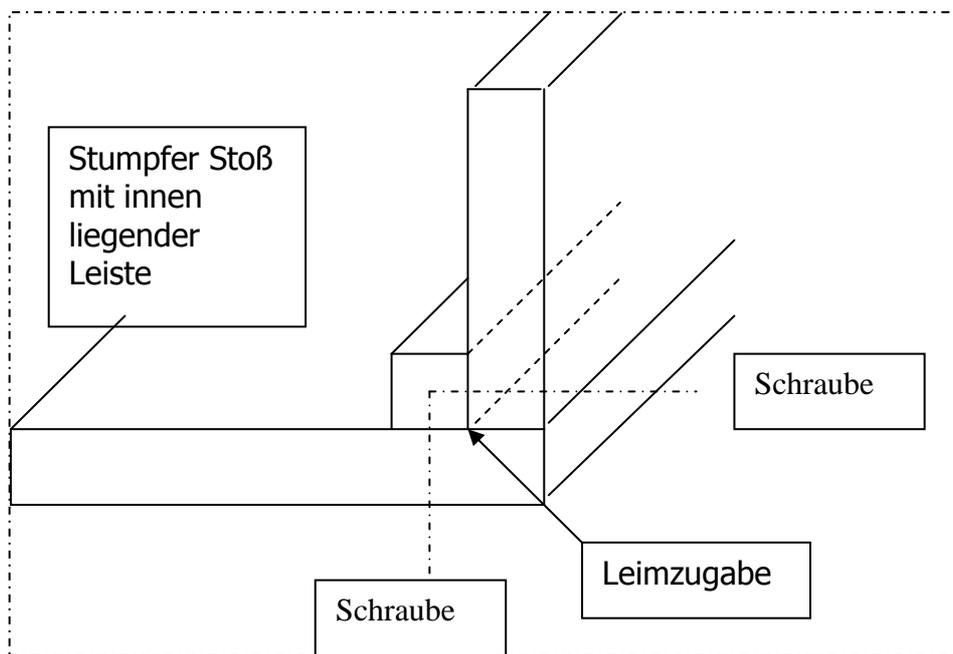
Stumpfer Stoß, geleimt und verschraubt

2 Kanthölzer/Bretter sollten aber nicht in einer Ebene (z.B. zum Verlängern) stumpf gestoßen werden, da dies kaum stabil ist. Hier sollte man Überblatten ↓.

## 1 b. *Stumpfer Stoß* mit innen liegenden Kantleisten

Wenn dünne Plattenwerkstoffe (z.B. 3-lagiges Sperrholz 3 oder 4mm) winkelig miteinander verbunden werden sollen, kann man eine quadratische Leiste innen in die Kanten einbauen. Die Leiste muss bündig eingeleimt und dann von außen verschraubt werden (z.B. mit 3,0 x 20). Wenn die Materialstärke & das Material des Plattenwerkstoffs es zulassen, kann auch von innen verschraubt werden.

1. Anriss 2. zuschneiden auf dem Riss im abfallenden Holz 3. Obermaterialien vorbohren 4. verleimen, winkelgenau pressen und verschrauben

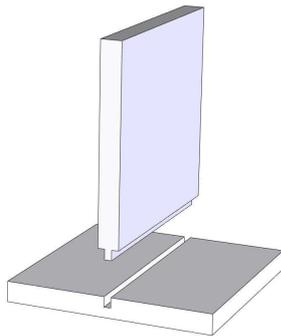


Stumpfer Stoß, innenliegende Leiste, 6mm & 3mm Sperrholz

## 2 Einnuten eines stumpfen Endes sowie Nut und Feder Verbindung und Falz

Belastbarer als stumpfe Stöße und Überblattungen sind Einnutungen (für T-förmige Verbindungen sowie Kastenecken), weil sie eine größere Leimfläche besitzen. Die **Nut** ist so breit wie das einzusetzende Brett und  $\frac{1}{2}$  so tief wie die Materialstärke des Unterbretts. An das einzusetzende Brett kann aber auch erst eine Feder angeschnitten werden ( $\frac{1}{3}$  Materialstärke); die Nut ist dann so breit wie diese Feder (zeitaufwändiger und auch schwieriger).

1. Anriss
2. Nut längs mit Japansäge auf dem Riss im abfallenden Holz einschneiden
3. Nut mit passendem Stechbeitel ausarbeiten (4. evtl. Feder an zweites Brett mit Japansäge anschneiden – Längsschnitt auf der Hirnholzkante ist relativ schwierig)
5. prüfen und ggf. nacharbeiten
6. Leimen und pressen bzw. schrauben

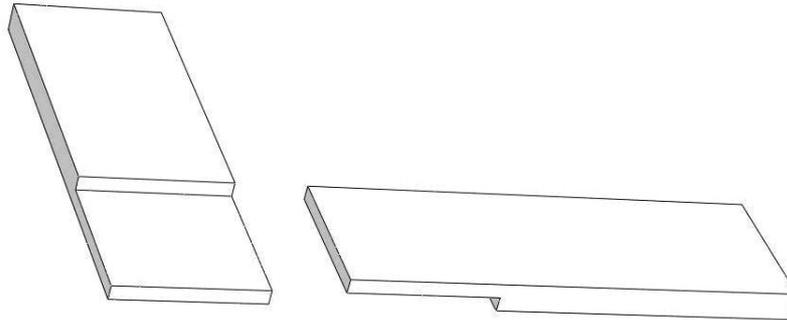


- 1) Einnutung (Feder in  $\frac{1}{3}$  Mat. Stärke) 2) Einnutung eines stumpfen Endes  
Nut breit wie stumpfes Ende (verschraubt)

Wird keine Nut im unteren Holz eingeschnitten, sondern nur der Rand des Werkstücks im Dickenmaß des einzusetzenden Brettes Material auf  $\frac{1}{2}$  Materialstärke zurückgeschnitten, hat man einen **Falz** geschaffen, in den das einzusetzende Brett eingelegt, verleimt - und evtl. verschraubt - werden kann. Dies ist z.B. beim Bau eines Gehäuses/Kastens anzuwenden, wenn die Materialstärke des Bodens dünner als die Materialstärke der Gehäusewände ist.

### 3 Überblattung, Schlitz & Zapfen & Überkämmung

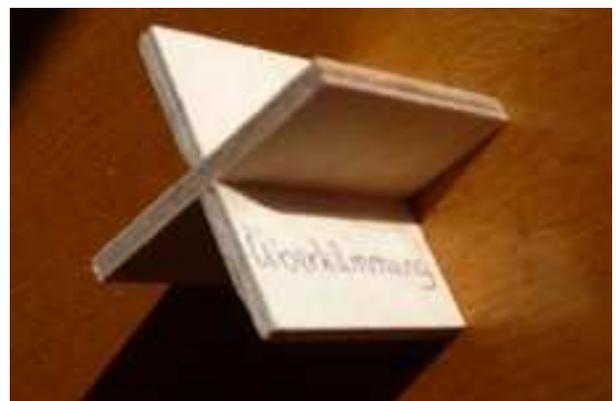
Bei der **Überblattung** wird von den zu verbindenden Teilen jeweils die obere / untere Hälfte auf einer gewissen Fläche abgesägt. 1. Anriss: Länge der Überblattung entspricht Materialbreite; Beide Hölzer auf halber Materialdicke anreißen; abfallende Hölzer markieren! 2. Zuerst längs schneiden auf dem Riss im abfallenden Holz 4. Absetzen (quer schneiden) dabei leicht hinterschneiden 5. Prüfen und ggf. nacharbeiten 6. leimen & pressen bzw. schraube



Einfache Überblattung

Bei höheren Belastungen kann mit „**Schlitz und Zapfen**“ verbunden werden (Drittelteilung der Hölzer) 1. Anriss Holz 1: Materialstärke dritteln > Mittelteil bleibt als „Zapfen stehen; Anriss Holz 2: Materialstärke dritteln > beide Seitenteile bleiben, Mittelteil = Schlitz 2. zuerst längs im abfallenden Holz schneiden 3. Zapfen (Holz 1) quer absetzen & Nut (Holz 2) mit passenden Stechbeitel ausarbeiten 5. Prüfen und ggf. nacharbeiten 6. Leimen & pressen bzw. schrauben.

Bei einer **Überkämmung** in beide Hölzer Schlitz in Materialstärke auf die Hälfte der Länge der Überkämmung einschneiden, mit Stechbeitel ausnehmen, zusammenstecken & verleimen. Dies ergibt z.B. sehr stabile Unterkonstruktionen



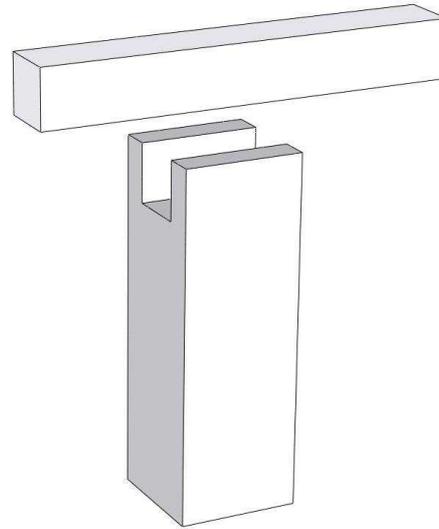
#### 4. Einhalsungen

Beim orthogonalen Fügen von Leisten/Kanthölzern sollten möglichst keine stumpfen Stöße verwendet werden, da diese nur sehr geringe Belastbarkeit aufweisen, wenn sie nur geleimt werden und wegen der Materialstärken keine Schrauben verwendet werden können.

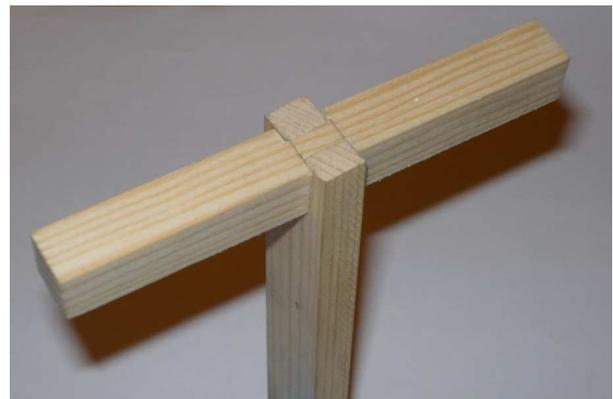
*Einhalsungen* und *Stirnversatz* (5.) sind hierbei hilfreich.

1. Anriss 2. Längs auf dem Riss im abfallenden Holz schneiden 3. Ausnehmen mit Stechbeitel und quer absetzen mit Säge bzw. Nut mit passendem Stechbeitel ausarbeiten 4. Prüfen und gegebenenfalls überarbeiten 5. Verleimen & pressen.

Doppelte Einhalsung (z.B. bei gleichen Materialabmessungen): Anriss stehendes Holz: Materialstärke vierteln: äußere  $\frac{1}{4}$  bleiben erhalten, innere  $\frac{2}{4}$  werden als Nut in der Materialhöhe des liegenden Holzes ausgenommen. Anriss liegendes Holz: Materialstärke an gewünschter Position vierteln (:auf Länge der Materialstärke des stehenden Holzes) die beiden äußeren Viertel werden ausgenommen (Säge & Stechbeitel), die inneren  $\frac{2}{4}$  bleiben stehen. Ggf. nacharbeiten, leimen, pressen.



Einfacher Hals: liegendes Holz schwächer als stehendes Holz.

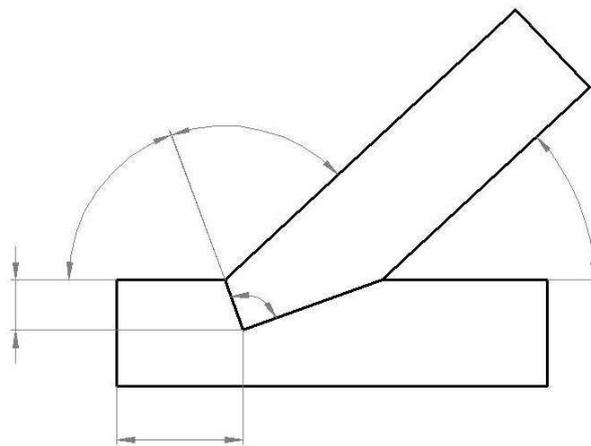


Doppelte Einhalsung verleimt (kann gut Zug & Scherkräfte aufnehmen)

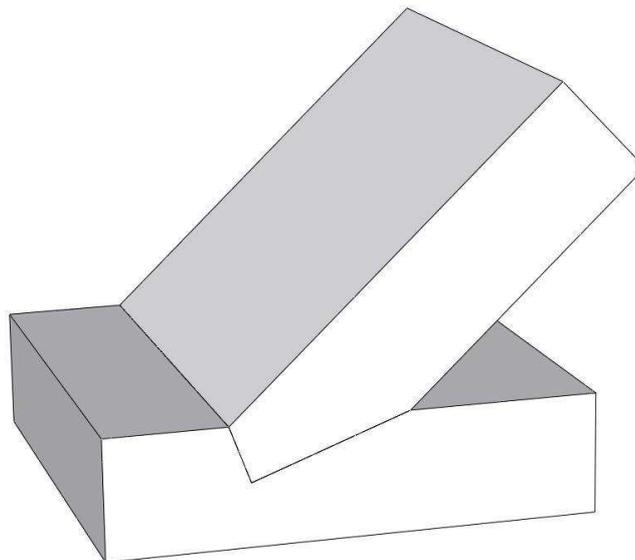
## 5. Stirnversatz (Fügen von Leisten unter einem Winkel)

Müssen Leisten/Kanthölzer Druckkräfte ableiten, so ist ein Stirnversatz hilfreich. Das Ende des Druckbalkens erhält eine Stirn, in der Winkelhalbierenden des Winkels  $\beta$ . Die Stirn bildet einen  $90^\circ$  Winkel mit der Unterseite des Versatzes. Die Tiefe des Versatzes im liegenden Holz  $t$  beträgt  $\frac{1}{3} - \frac{1}{4}$ . Wichtig ist eine ausreichende Vorholzlänge, da bei zu geringer Bemessung und hohem Druck dieses Vorholz abgeschert werden kann. Gegen Zugkräfte kann der Versatz zusätzlich verschraubt werden.

1. Winkelberechnungen & Anriss
2. Zuschneiden auf den Rissen im abfallenden Holz
3. Prüfen und gegebenenfalls überarbeiten
5. Verleimen und pressen – eventuell verschrauben



Stirnversatz  $90^\circ$ , Stirn = Winkelhalbierende, Tiefe ca.  $\frac{1}{3}$



## 5 b. Knotenbleche / Nagelverbinder (Fügen von Leisten unter einem Winkel)

Fachwerke bei Brückenträgern, Dach-Tragwerke oder Türmen kann man auch mit sogenannten Knoten'blechen' ausführen, die beidseitig auf die Knoten

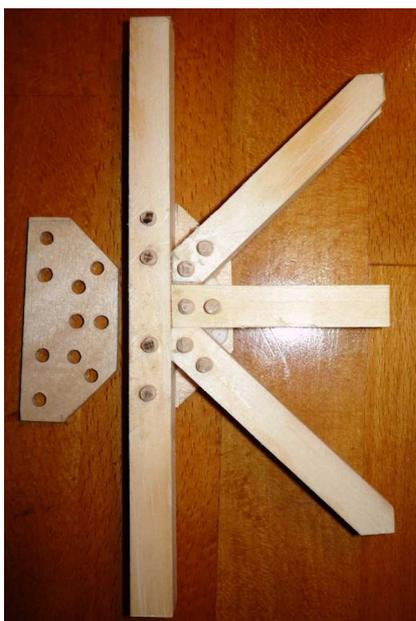
(Zusammentreffen von Leisten) aufgeleimt werden. Sie heißen „Bleche“, da sie im Stahlbau aus Stahlblechen bestehen. Im modernen Holzbau sind sie als sogenannte Nagelverbinder (Stahlblech mit zahlreichen Löchern) weitverbreitet. Jede Leiste ist mit zwei dünnen Holz-Rundprofilen („Niete“) zu sichern. Wahlweise sind auch Maschinenschrauben mit Muttern als Sicherung denkbar > Knoten' wieder lösbar.

Vorteil von Knotenverbindungen: 1. die Querschnitte der Leisten werden nicht geschwächt 2. die Kraftübertragung am Knoten wird auf einen größeren Bereich verteilt > hoch belastbar 3. Stöße der Leisten im Knoten sind nur als einfache stumpfe Stöße auszuführen. 4. Optik realer Stahlkonstruktionen

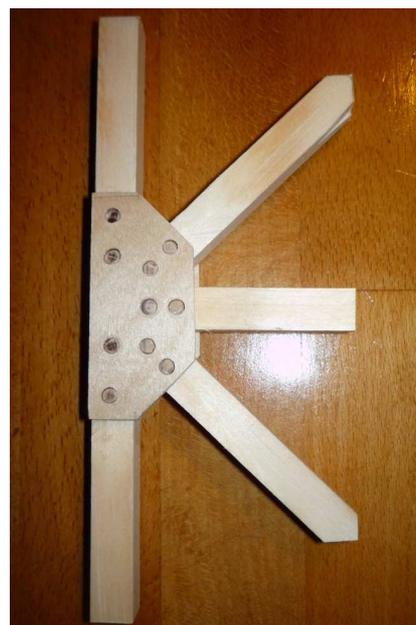
Nachteil: zeit- & materialaufwändig

1. Winkelberechnungen & Anriss 2. Zuschneiden von Leisten und Knotenblechen (4mm Pappelsper Holz) 3. Prüfen und evtl. überarbeiten 4. Winkelgenaues Ausrichten der Leisten, Verleimen & Anpressen der Knotenbleche 5. Bohren durch Knotenbleche und Leisten: Einleimen von Rundholz-Abschnitten z.B. 4 – 6 mm Ø.

TIPP: Dünne Leisten schneidet man gut und schnell mit sogenannten Leistenscheren (Sehen aus wie Amboss-Rosenscheren mit Winkelanschlag > im guten Fachhandel)



Knoten offen

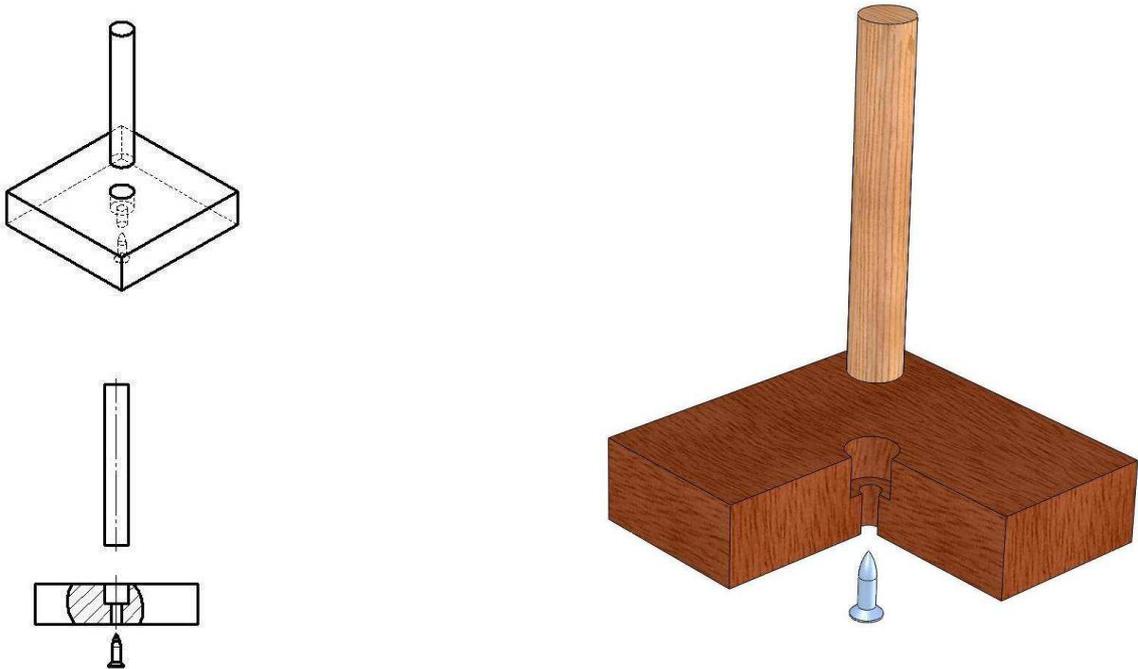


Knoten verleimt

## 6. Rundmaterialien einsetzen

Rundmaterialien wie Fichte oder Buchen-Rundstäbe (10 – 30 mm) sollten nicht mit einem stumpfen Stoß mit einem Plattenmaterial verbunden werden, da dies kaum belastbar ist. Besser ist es, die Rundstäbe in das Plattenmaterial einzusetzen. Im Plattenmaterial wird ein Sackloch im Rundmaterialdurchmesser mit einem Spiral-Holzbohrer oder besser mit einem Forstnerbohrer auf die halbe Tiefe des Plattenmaterials gebohrt, das Rundmaterial eingeleimt und von hinten verschraubt.

1. Anriss 2. Ankörnen des Mittelpunktes 3. Bohren des Sacklochs auf halbe Tiefe 4. Im Mittelpunkt auf Schraubendurchmesser (z.B. 3 mm) durchbohren 5. Leimen und von der Plattenrückseite schrauben (ein Rundstab aus dem Hartholz Buche muss ggf. auch vorgebohrt werden).



Sackloch im Plattenwerkstoff, Rundstab & Schraube

Sollen Rundhölzer mit Rundhölzern verbunden werden, so eignet sich eine Überblattung, die verleimt und gegebenenfalls verschraubt wird (siehe 3a).

## 7. Das Nieten von Metallblechen (alternativ: Verschrauben mit Gewindeschrauben)

Schnell und sauber können Metallbleche mit Blindniete verbunden werden. (Singular: **der Niet**, Plural: 2 Niete – eine Niete ist etwas völlig Anderes ☺). Problematisch ist nur, dass man zur fachgerechten Ausführung sowohl eine Nietzange, als auch genau passende Bohrer benötigt (Durchmesser z.B. 3,4 mm; siehe Packungsaufdruck Blindniete). Diese Bohrer sind zwar nicht teuer, aber sie sollten immer direkt bei der Nietzange aufbewahrt werden und nur für Niet-Löcher verwendet werden, sonst sind sie schnellstens bei den ‚normalen‘ Bohrern verschwunden und unauffindbar.

1. Anriss der Löcher 2. Bleche passgenau übereinander & pressen 3. oberes Blech ankörnen 4. Bohren durch beide Bleche (Schutzbrille) 5. Blindniet einsetzen. 6. Mit Nietzange Niet fest verpressen 7. Dorn entfernen



Blindniete, Nietzange, passende Bohrer

Es können statt Niete auch Gewindeschrauben & -muttern verwendet werden; dies ist jedoch zeitaufwändiger und etwas teurer, aber Gewindeschrauben können natürlich recycelt werden, die Verbindung ist wieder lösbar. Zum Verschrauben mit Gewindeschrauben Vorgehensweise ist von 1. -4. gleich. Eventuell Spannringe oder Kontermuttern zum sicheren Befestigen der Muttern verwenden.

## 8. Schneiden und Biegen von Metallblechen

Metallbleche wie Alu, Messing, Kupfer - und wenn unbedingt erforderlich auch dünnes Stahlblech - können leicht winkelig gebogen werden. Das erleichtert das Herstellen von Konstruktionen aus Blech, da so keine Eckverbindungen erforderlich sind. Allerdings lassen sich saubere Kanten bzw. Winkel in Metallen nur mit einem Abkantgerät erzielen (30 cm breit ab ca. 60,- €). Zusätzlich wird für den Zuschnitt eine Hand-Blechscherer oder eine Tafel-Blechscherer benötigt. Dünne Alu-, Kupfer- & Messingbleche und -profile können die Schüler/innen aber auch mit der Dekupiersäge zuschneiden (Schutzbrille, Metallsägeblatt, Geschwindigkeit regeln, evtl. Schneidöl verwenden, Blech/Profil mit den Händen fest auf den Säge Tisch pressen) Materialzugaben für Biegungen müssen einberechnet bzw. abgeschätzt werden. Deshalb sollte man Testbiegung vornehmen und so die Zugaben ermitteln.



Das Biegen von Alublech im Abkantgerät



Tafel-Blechscherer zum Zuschneiden von Alublech

## 9. Das Fügen von Kunststoffen

**Duroplaste** (z.B., Polyester PES, Kunstharze z.B. Epoxid, Polyurethanharz) sind nichtschmelzend, und können deshalb nur mit speziellen Klebstoffen geklebt werden (immer die Probe machen). Kosten für Spezialkleber einkalkulieren.

Eine weitere Möglichkeit ist, sie wie Metallbleche mit Gewindeschrauben zu verschrauben. Wenn es die Materialstärke zulässt, kann man im unteren Material ein Innengewinde schneiden und erspart sich so die Gewindemutter. Ein Vernieten ist meist wegen der hohen Sprödigkeit nicht gut möglich.

**Thermoplaste** (z.B. Polyamid PA, Polypropylen PP, PVC, PET) können neben dem oben genannten Kleben und Schrauben auch durch Erhitzen mit einem Heißluftgerät oder an einem Heißdraht geschmolzen und daraufhin sofort aneinandergespresst und so verschweißt werden. Auch ein Verschrauben mit selbst geschnittenem Innengewinde ist möglich, allerdings nicht sehr belastbar.

Weitere Informationen zu Kunststoffen z.B.: <http://de.wikipedia.org/wiki/Kunststoff>  
und: <http://de.wikipedia.org/wiki/Kunststoffverarbeitung>

---

*Texte, Zeichnungen und Bilder: R. Hampel, 2010 [hampel@scheffeligym.de](mailto:hampel@scheffeligym.de)  
Ergänzung 5 b. Knotenbleche im November 2012*

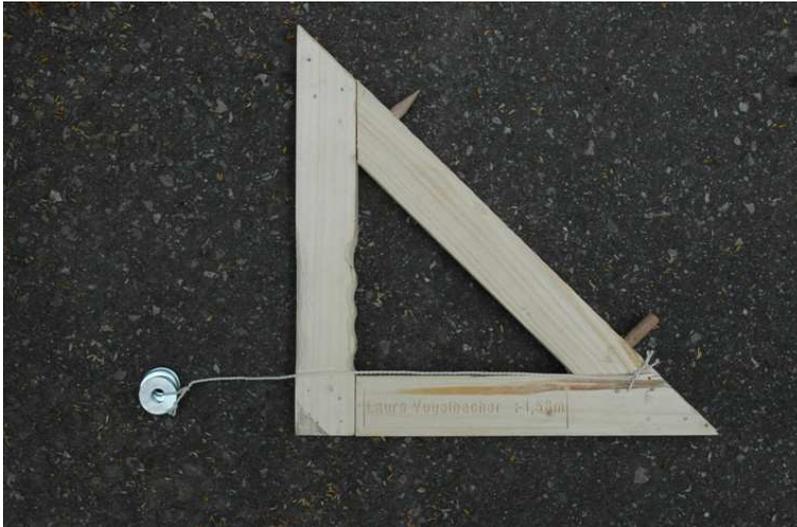
Weitere Informationen zum Thema Fügen verschiedener Materialien z.B. :

1. <http://www.schreiner-seiten.de/verbindungen/index.php>
2. <http://www.modellbau-quedlinburg.de>
3. <http://de.wikipedia.org/wiki/Holzverbindung>
4. <http://de.wikipedia.org/wiki/Fertigungsverfahren>

Maschinen- & Materialbeschaffung; Übersichtsliste mit Internet-Links & Adressen:  
<http://www.ls-bw.de/allg/beratung/anschrif.pdf> (März 2010)

**Im Anhang Bilder von NwT Werkstücken zur Information und Anregung  
sowie eine fakultative Hausaufgabe zum Füge-Heft ☺**

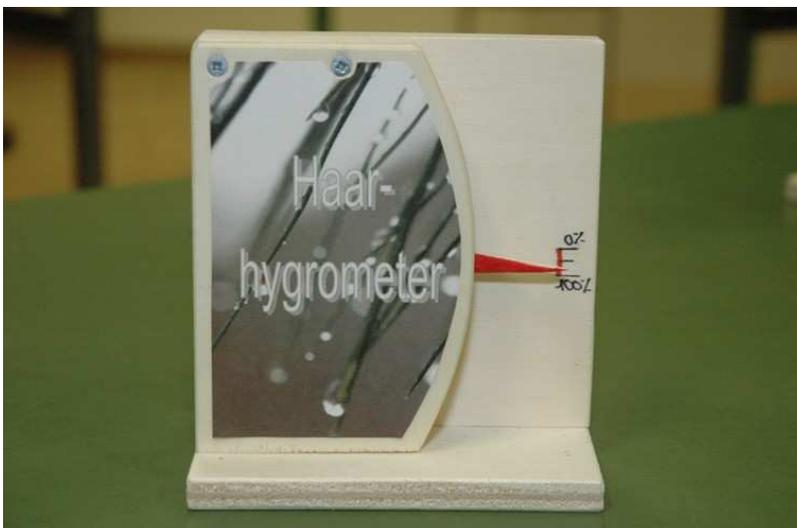
## Anhang: Bilder von NwT-Werkstücken



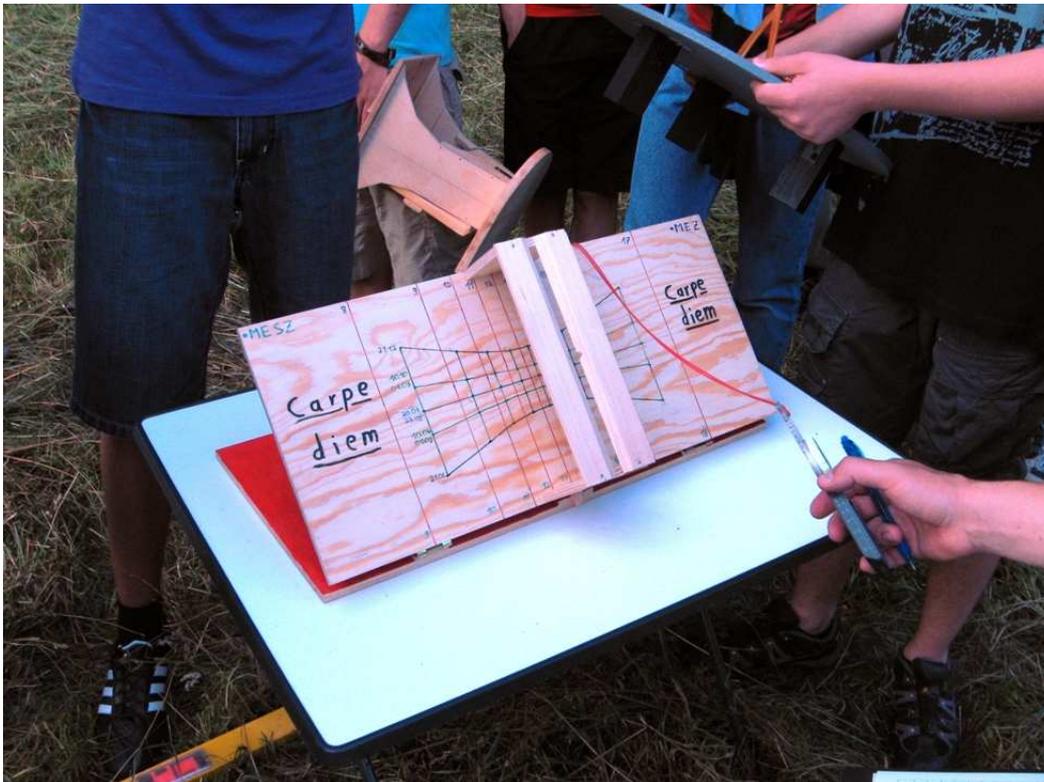
Förderdreieck (Fichte; gehobelt): 90° und 45° Überblattungen genagelt & geleimt & CNC Fräsung, Lot (Klasse 8). Besser ist natürlich, die Überblattung zu leimen und zu verschrauben (Torx 3,5 x 20)



Römische Groma mit 90° Überblattung (verleimt) aus Hartholz & CNC-Fräsung (Klasse 8)



Haarhygrometer (Pappelsperholz) mit stumpfen Stößen geleimt und verschraubt (Klasse 8)



Sonnenuhren mit stumpfen Stößen verleimt & geschraubt Kiefersperrholz & Fichte(Klasse 9)



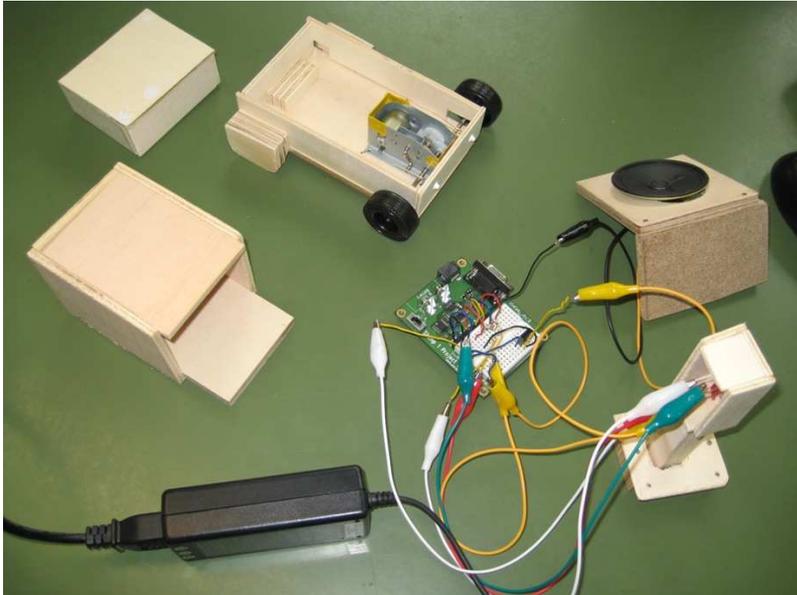
Sonnenuhr aus Kupferblechstreifen genietet & Gewindestahl sowie & Kiefer-Sperrholz stumpf gestoßen & geschraubt (Klasse 9)



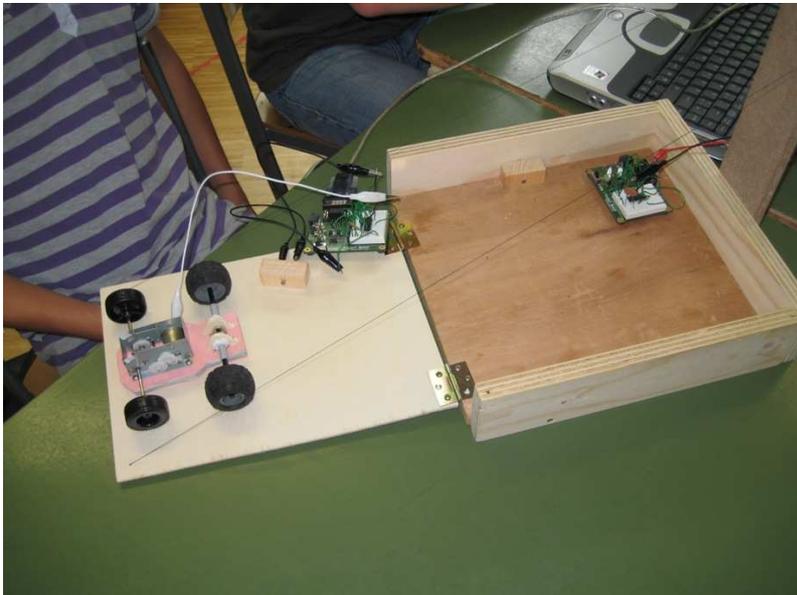
Wasserturm 1m hoch, Balsaholz mit Überblattungen, Einhaslungen, stumpfe Stöße, geleimt (Klasse 9)



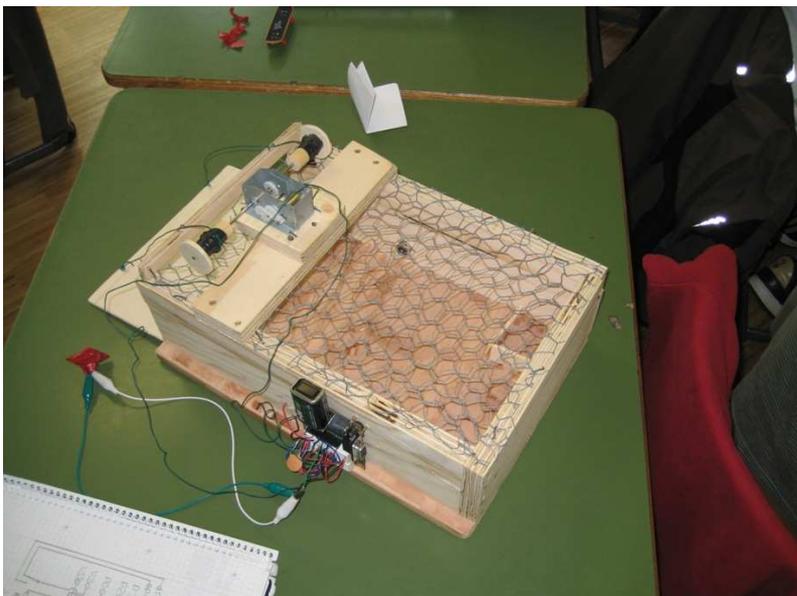
Stumpfe Stöße (Pappelsperholz) geleimt an Microcontroller- gesteuertem Fahrzeug (Lehrerarbeit)



Gehäuse für Mikrocontroller gesteuerte Geräte stumpfe Stöße geleimt & z.T. geschraubt (Klasse 9)



Von Mikrocontroller gesteuerte Garage: stumpfe Stöße geleimt & z.T. geschraubt (Klasse 9)



Mausefalle (Kiefersperrholz) mit Mikrocontroller: stumpfe Stöße verleimt & geschraubt. (Klasse 9)

## **„Hausaufgabe“ im Anschluss an die Füge Fortbildung (fakultativ):**

Bauen Sie einen Kasten mit Deckel (Innenmaß etwas größer als A 4) aus Sperrholz (Pappel 10 mm oder Birke Multiplex 9 mm) zur Aufbewahrung der von ihnen hergestellten Modell der verschiedenen Verbindungsmöglichkeiten.

Wenden Sie bei der Herstellung eine oder auch zwei geeignete Fügemethoden an.

Die in diesem Kasten enthaltenen Modelle können Ihre Schülerinnen und Schülern als Anschauungsmodelle bei der Herstellung der eigenen Konstruktionen nutzen. Zusätzlich sollte dieser Kasten die laminierten Blätter S. 7 – 15 enthalten, damit die Herstellung einer Verbindung Schritt für Schritt nachvollzogen werden kann. Die Seite 16 sollte laminiert zur Nietzange, den Nietbohrern und Nieten in einen gesonderten Aufbewahrungskasten.

Empfehlung: Ein Schiebedeckel aus 4 mm Plexiglas – geführt in einer Nut in den Seitenwangen und in der Rückseite des Kastens - sieht optisch gut aus. Allerdings kann eine solche Nut nur mit einer Kreissäge hergestellt werden, da sie zu lang ist für eine Handsäge. Falls Ihnen eine Ausbildung an einer schuleigenen Format- oder Tischkreissäge schriftlich bestätigt wurde, können Sie die Nut mit der Kreissäge schneiden. Wenn nicht: Bitten Sie eine/n Kollegen/in, der/die diese Ausbildung besitzt, um Hilfe, oder:

Die NwT Fachschaft der Schule bittet um eine ganztägige Fortbildung für max. 4 Kollegen/innen zur Bedienung von Kreissäge und Bandsäge beim NwT-Fachreferenten des jeweiligen RP oder direkt beim zuständigen Technik-Multiplikator.