

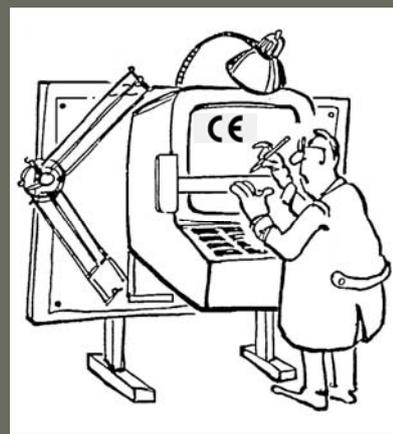
Guten Abend!



Konstruieren sicherheitsgerechter Produkte

Methoden und Beispiele aus dem Maschinenbau

Dr.- Ing. Alfred Neudörfer,
TU Darmstadt
Nagaoka University of Technology, Japan



These

Die Sicherheit
einer Maschine
lässt sich
weder
herbeiprüfen
noch
herbeizertifizieren,
sondern
muss erstmal
konstruiert werden!!

Prof. G. Pahl
TU Darmstadt



Weg zur CE-Kennzeichnung



Hersteller:

1. SCHRITT

Klärung folgender Fragen:

- Welchen **EG-Richtlinien** unterliegt das Produkt?
- Welche grundlegenden Anforderungen gelten?
- Welche Normen können herangezogen werden?
- Erfüllt das Produkt die Anforderungen?
- Ist eine benannte Stelle zu beteiligen?
- Ist eine CE-Kennzeichnung erforderlich?

2. SCHRITT : **Konstruktion**

- Erstellung einer (technischen) Dokumentation
- Ausfertigung der Konformitätserklärung durch den Hersteller

3. SCHRITT

- Anbringung der CE-Kennzeichnung

Vorberg RP KA

Maschinenrichtlinie 2006/42/EU



Vollständiger offizieller Titel der „neuen“ MRL:

Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung).

Ab 29.12. 2009!!

Bis 28.12. 2009

Ersatz für MRL 98/37/EWG

„Richtlinie zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten für Maschinen.“
Verwaltungsvorschrift = Gesetzestext + Anhänge → **Anhang I**

Geschichte der MRL: 89/392/EWG; 91/368/EWG; 93/44/EWG; 93/68/EWG; 98/37/EWG

Ziel der Maschinenrichtlinie



- **Sicherstellung des freien Warenverkehrs in Europa,**
- **Abbau technischer Handelshemmnisse in Europa durch**
 - Festlegung einheitlicher Sicherheitsanforderungen,
 - Festlegung einheitlicher formaler Anforderungen,
 - Abschaffung nationaler Detailregelungen.

Grenzen der Sicherheitstechnik



2. Die in dieser Richtlinie aufgeführten grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen sind bindend.

Es ist jedoch möglich, dass die damit gesetzten Ziele beim gegebenen Stand der Technik nicht erreicht werden.
In diesem Fall muss die Maschine soweit wie möglich auf diese Ziele hin konzipiert und gebaut werden.

Vorbemerkungen zum Anhang I der Maschinenrichtlinie

Der Sicherheitstechnik sind immer **Grenzen** gesetzt:

- technischer Art
- wirtschaftlicher Art
- durch Fehlverhalten der Nutzer

Noch so vollkommene Technik kann ihre Nutzer vom Mitdenken **nicht** befreien!

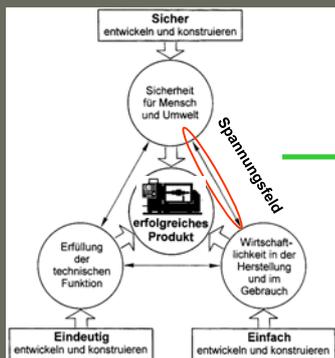
Grenzen der Sicherheitstechnik



Kein Recht auf Narrenfreiheit!!




Grenzen der Sicherheitstechnik



Anforderungen des Anhangs I der MRL müssen verantwortungsvoll umgesetzt werden, um den Stand der Techniksowie **technische und wirtschaftliche Erfordernisse** zu berücksichtigen.

Quelle: Amtliche Mitteilungen der BAUA „Anwendung der Maschinenrichtlinie“

Vorrichtungen zur Ausschließung jeglicher Gefahr dürfen nur soweit vorgeschrieben werden, wie dies die **Wirtschaftlichkeit** der Maschine nicht infrage stellt, d.h. **Kaufpreis und Betriebskosten** nicht unverhältnismäßig in die Höhe treibt.

Quelle: „EU-Veröffentlichung „Die Rechtsvorschriften der Gemeinschaft für Maschinen – Erläuterungen zu den Richtlinien 98/37/EG“

Anhang I, Allgemeine Grundsätze

- **Grenzen der Maschine**, einschl. bestimmungsgemäße Verwendung und vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendung **bestimmen**
- **Gefährdungen** und die mit ihnen verbundenen Gefährdungssituationen **ermitteln**
- **Risiken abschätzen** unter Berücksichtigung von Häufigkeit und Schwere möglicher Verletzungen
- **Risiken bewerten**, um zu ermitteln, ob einen Risikominderung erforderlich ist
- **Gefährdungen ausschalten** oder mit Schutzmaßnahmen mindern

Neue Aufgaben für die Konstruktion

Risiko,

...was ist das eigentlich?

1. Potential
2. Situation
3. Abwehrmöglichkeit



Risiko ist eine **Wahrscheinlichkeitsaussage** über Auswirkungen von Gefährdungen auf Mensch bzw. Umwelt

in einer fest umrissenen **Sachlage**, hergeleitet aus der Kombination der **Häufigkeit** und des **Schweregrades** möglicher **Verletzungen**, Gesundheits- oder Sachschädigungen sowie der **Möglichkeit** oder Unmöglichkeit technischer, organisatorischer oder personenbezogener **Schutz-** oder **Abwehrmaßnahmen**.

Risiko, was ist das?

Potential: Gefährdungsarten

Gefährdung

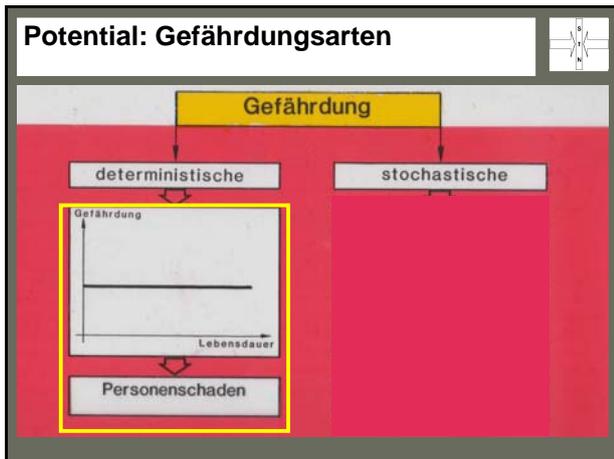
deterministische

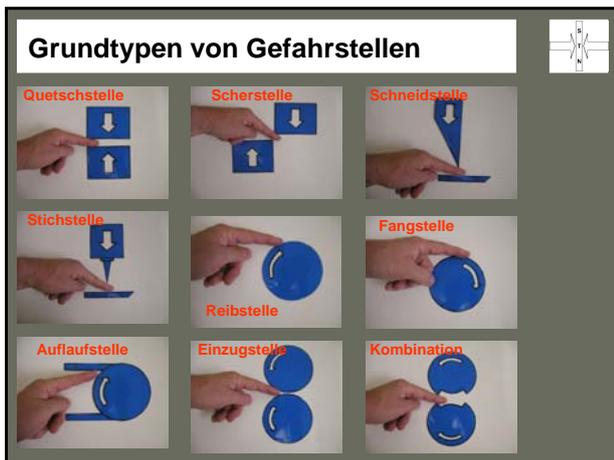
stochastische

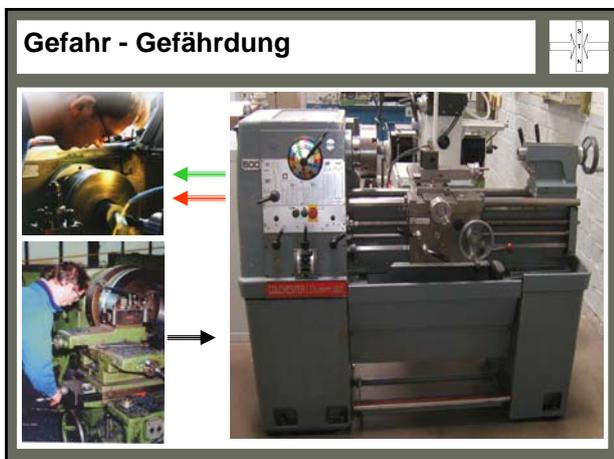
Sachschaden
Personenschaden

Stochastische Gefährdung

Dauerbruch einer Welle mit Passfeder







Fangstelle



Photo: Industriemagazin / Bildstock

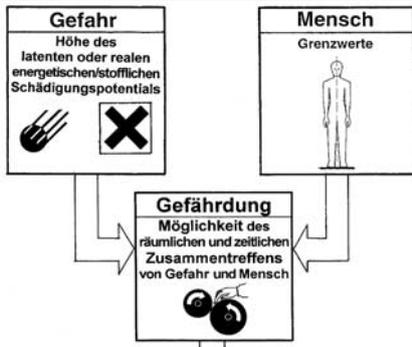
Wind Up Hazard / Fangstelle



Wind Up Hazard / Fangstelle



Wann wird Gefahr zur Gefährdung?





Gefährdung an einer Schneidstelle





Gefahr-Gefährdung-Risiko

Gefahr und **Gefährdung** folgen unerbittlichen Naturgesetzen. **Und die sind unverhandelbar!**

Risiko ist das Ergebnis menschlicher Überlegungen!



Risikobeurteilung im Konstruktionsprozess



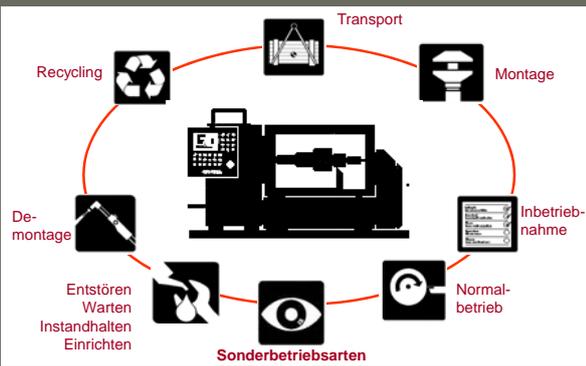
Iteratives Verfahren

während aller Phasen des Konstruktionsprozesses

Risikobeurteilungen müssen in zwei Ebenen erfolgen:

- in der **Zeitebene** der **Lebensphasen** der Maschine und dort jeweils
- in der **funktionalen Ebene** der **einzelnen Systeme** der Maschine.

Lebenslauf einer Maschine



Risikobeurteilung: Wann beginnen?



Spätestens nach der ersten 3D-Simulation!

Risikobeurteilung: Wie oft durchführen?

Funktionsstruktur

1. Konzeptphase 2. Entwurfsphase 3. Endabnahme

Risikobeurteilung ist ein planungs- und konstruktionsbegleitender Prozess!

Vorsicht ist geboten: Risikobeurteilungen können ins Absurde abgleiten!

Dokumentation der Risikobeurteilung

Gefährdungsanalyse/Risikobewertung/Schutzmaßnahmen										EU-Konformität			
Lebensphase: 4.1 Nutzung 4.1.1 Normalbetrieb		Maschinen-System: UST 2		Maschinen-Nr.: 3143157		Baujahr: 2003		Kunde:		Stand:		Blatt: 3 Folgt: 4	
Gefährdung		Schutzmaßnahmen		Risiko (nach Dr. Laatz)		Schutzmaßnahmen				Abnahme			
Nr.	Ort	Art	Verletz.	Erleg.	Abw.	Kl.	Schätzziel	Lösung	Norm	Gepr.	Foto	Anmerk.	
4.3.1	Wirkbereich am Siebblatt	Verletzungen bei unerwartet wiederkehrender Energie	V1	H2	U	R1	9	Zurückführung eingeleiteter Energie durch allpolige Trennung	Ziehen des Netzsteckers		4.3.1	Netzstecker übernimmt die Funktion des Hauptschalters	
4.3.2	Wirkbereich am Siebblatt	Verletzungen bei unerwartet wiederkehrender Energie	V1	H2	U	R1	9	Sicherung gegen unübliches oder unbefugtes Wiedereinschalten	Kapseln des Steckers		4.3.2	Kapselung des Steckers übernimmt die Funktion eines Schließers	
4.3.3		Elektrischer Schlag infolge des Durchfalgens des Kabels	V1	H3	M	R2	18	Äußerliche Trennung des Kabels vom Wirkbereich des Siebblattes	Kabelführung über federndes Element		4.3.3		

Dokumentation der Risikobeurteilung

Nr.	Ohne Schutzmaßnahme	Risiko- gruppe	Mit Schutzmaßnahme
4.3.3		R2=V1.H3.M	

Konstrukteure müssen Risiken beurteilen!

Dokumentation
Juristen

Verletzungsschwere
Unfallchirurgen

Eintrittswahrscheinlichkeit
Versicherungsmathematiker

vorhersehbare Fehlanwendung
Verhaltenspsychologen

entwickeln Prozesse, bauen Maschinen

Aus der Vogelwe

fliegen, **Aber: Wie gut können sie das alles? laufen,**

schwimmen,

tauchen.

Draht-Richt- und Abschneidmaschine:

Aufgabe:

Aus einem Drahtwickel → gerade, abgelängte Monierisen machen!

WAFIOS

Richtmaschine

1. Abhaspeln



WAFIOS



Richt- und Abschneidmaschine



Zuführung
Draht
Prozess
Entnahme

WAFIOS



Prozessbereich der Richtmaschine

Transport Eigentlicher Prozess Transport Messen Schneiden



Richtflügel
m = 60 kg
n = 7.000 1/min

Richtflügel



Einzustellen Fangstelle ! Gefahrquelle ! Einzustellen Schneidstelle

WAFIOS





Anhang I, Allgemeine Grundsätze

1. Der **Hersteller/Bevollmächtigter** hat dafür zu sorgen, dass eine **Risikobeurteilung** vorgenommen wird, um die für die Maschine geltenden **Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen zu ermitteln**.

Die Maschine muss dann unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Risikobeurteilung **konstruiert** und gebaut werden.

O-Ton der MRL 2006/42/EU

Iteration
(in der Mathematik):
Wiederholung einer immer gleichen Operation.

Aufgaben für die Konstruktion

Planung

Klären der Aufgabstellung
Anforderungsliste

Konzept

Kern des Problems
Gesamtfunktion
Teilfunktionen

Lösungsprinzipien für
Teilfunktionen
Neue Kombinationen

Entwurf

Grob-Entwurf
Teil-Entwürfe
Endgültiger Entwurf

Ausarbeitung

Fertigungsunterlagen
Dokumentation
Betriebsanleitung

Quelle: VDI 2221/2222

Vorsicht: Juristisches Glatteis!!



Es ist jeden Tag sichtbar
und auch kein Problem,
in Deutschland gegen Gesetze zu verstoßen
oder Anforderungen nicht zu erfüllen.

Ein Problem wird es dann,
wenn etwas unerwünschtes passiert ist.

Kreiselmäher



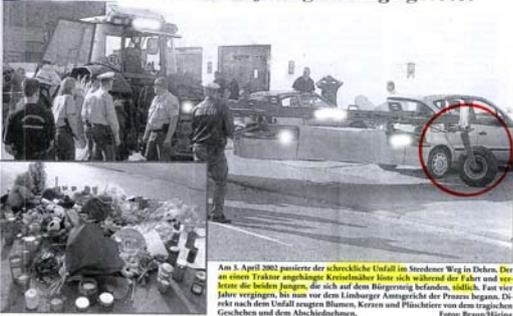
Kreiselmäher in Arbeitstellung



Kreiselmäher: Unfall mit Todesfolge



Kreiselwender schwenkte auf Bürgersteig: Ein elf- und ein 13-jähriger Junge getötet



Am 3. April 2002 passierte der schreckliche Unfall im Steinhofen Weg in Delfen. Der an einem Traktor angehängte Kreiselmäher kippte sich während der Fahrt und stürzte die beiden Jungen, die sich auf dem Bürgersteig befanden, stößte. Fast vier Jahre vergingen, bis nun vor dem Linsburger Amtsgericht der Prozess begann. Direkt nach dem Unfall regneten Blumen, Kerzen und Plüschtiere von dem tragischen Geschehen und dem Abschiednehmen.
Foto: Braun/Häring

Das strafrechtliche Ermittlungsverfahren



Beginn

- Einleitung von Amts wegen
- Anzeige durch Geschädigte (häufig Vorschaltverfahren für Schadensersatzklagen)
- Anzeige durch Mitarbeiter des Unternehmens

Eingriffsbefugnisse der Strafverfolgungsbehörden

- Durchsichtung und Beschlagnahme von Beweismitteln
- Vernehmung
- Einholen von Sachverständigengutachten

Durchsichtung der Herstellerfirma



Am 22.04.2002 erließ das Amtsgericht L. einen Durchsuchungsbeschluss gegen die Verantwortlichen der Firma , der zum Zweck hatte, insbesondere Konstruktionspläne, betreffend den Kreiselmäher , Protokolle über eine durchgeführte Gefahrenanalyse, technische und kaufmännische Unterlagen bzgl. des Kreiselmähers sowie das Auffinden von Unterlagen, die Auskunft darüber geben, wer für die Erstellung der konkreten Betriebsanleitung verantwortlich war, etc. aufzufinden.

Keine gefunden!!

..aber was anderes!!!

1. Verriegelung: Arbeitsstromprinzip

Rückstrahler in Beleuchtungs garnitur
161529, 121289

2x 122826

Transportstellung (Arbeitsstellung)

Hebel

Arretierzylinder
Nachlaufrad.
Druckzylinder
35/ 100

2. Probleme waren bekannt....

Mängelliste der DLG-Prüfstelle

..beweist durch neue Konstruktion, dass er auch gleich "richtig" hätte konstruieren können!

Hersteller reagiert nicht!!!

..heftet aber alles sorgfältig ab!

Beschwerden der ersten Benutzer (Landwirte)

Kritik in der Fachpresse

Prozess

Anhören

Zuordnen

Abwägen

Entscheiden

Geordnete Suche nach Wahrheit und Gerechtigkeit.

Im Ernstfall

Amtsgericht Limburg a.d. Lahn
 - Abteilung für Strafsachen -
 Geschäftsnummer:
 52 Ds - 3 Js 7676/02



Urteil
 Im Namen des Volkes

In der Strafsache
 betreffend

1. Josef [redacted] **Konstrukteur, 48 Jahre**
 Staatsangehörigkeit: deutsch,

2. Bernd [redacted] **Konstruktionsleiter, 63 Jahre**
 Staatsangehörigkeit: deutsch,
 wegen fahrlässiger Tötung

hat das Amtsgericht Limburg – Strafrichter –
 in den Sitzungen vom 01.02., 08.02., 15.02., 08.03., 13.03., 20.03. und 31.03.2006,
 7. Termin.



Urteil

am 31. März 2006 für Recht erkannt:

Die Angeklagten P. [redacted] und K. [redacted] sind jeweils der fahrlässigen Tötung schuldig.

Es werden Geldstrafen wie folgt festgesetzt:

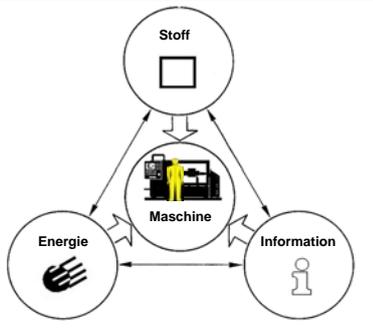
P. [redacted] 270 Tagessätze à 60,00 Euro = 16.200 Euro
 K. [redacted] 270 Tagessätze à 80,00 Euro = 21.600 Euro

Die Angeklagten haben die Kosten des Verfahrens, ihre eigenen notwendigen und die Auslagen der Nebenkläger zu tragen.

§§ 222, 40, 46 StGB, 465, 466, 472 StPO



Konstruieren einer Maschine



Ergebnis:
 sinnvolles Zusammenwirken der Grundgrößen

- Stoff
- Energie
- Information

in einem funktionierenden Ganzen, mit dem der Mensch in einem Arbeitssystem seine Arbeitsaufgabe effektiv und sicher erfüllen kann.

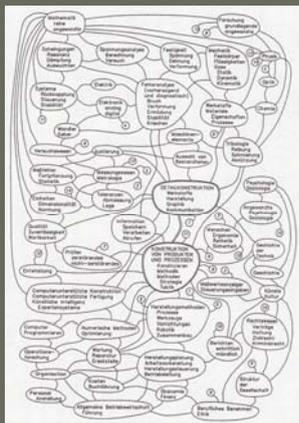


Konstruieren



„Das Schöne und zugleich Schwierige beim Entwerfen und Entwickeln, dem echten Konstruieren, ist die innige Verbindung von angewandter Wissenschaft, Intuition und auch handwerklichem Können. Fehlt eines von den dreien, gelingt das Werk nicht.“

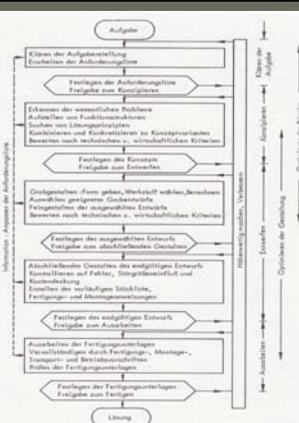
Gerhard Pahl, 1967



intuitiv und spontan

Egal, wie Sie konstruieren...

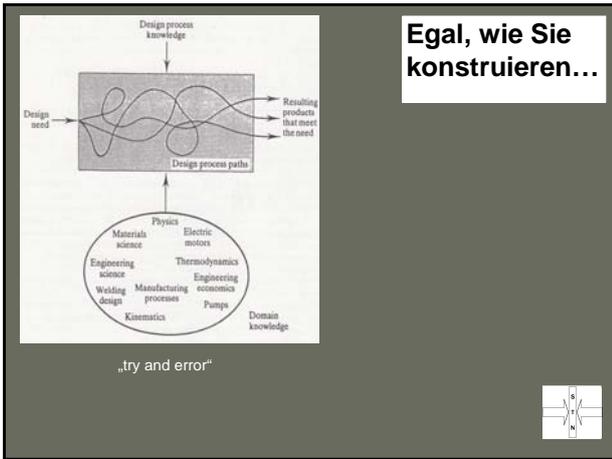




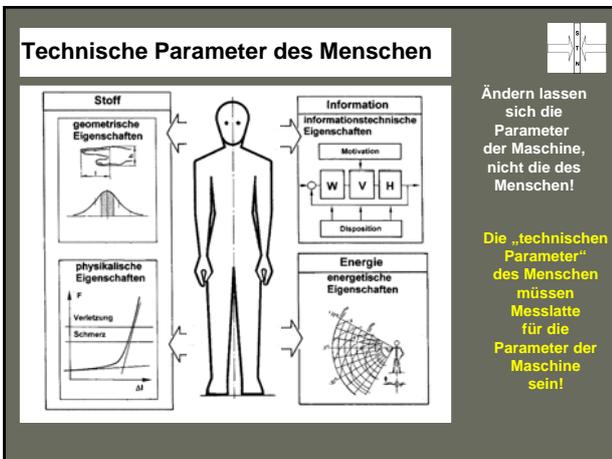
methodisch und systematisch

Egal, wie Sie konstruieren...







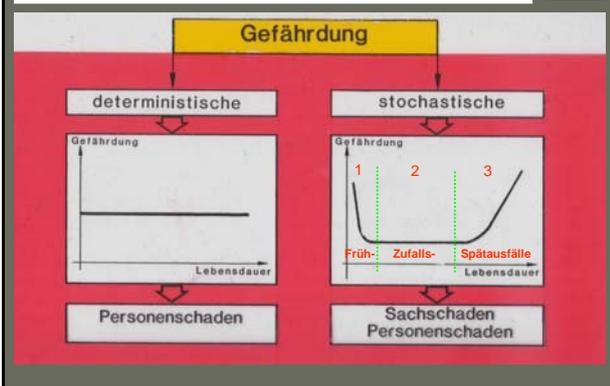


Mängel im menschengerechten Gestalten



Bild 3.3.-1, S. 47

Wir haben zwei Gefährdungsarten



Strategie für sicherheitsgerechtes Konstruieren

Prinzip des sicheren Bestehens

Grundsatz: Bauteile dürfen nicht versagen, d. h. weder brechen noch ausbeulen!

Ideales Verhalten von Bauteilen

E, I

$M_{max} = F \cdot l$

$G = \frac{M_{max}}{W_b}$

Bauteil Werkstoff

Spannung im Bauteil Festigkeit des Werkstoffs

(Un)Sicherheitsfaktor

Vorausdenken: Hebegeschirr

2500 kg

1m

2m

Relative Widerstandsmomente

Biegung

Querschnitte haben die gleiche Fläche

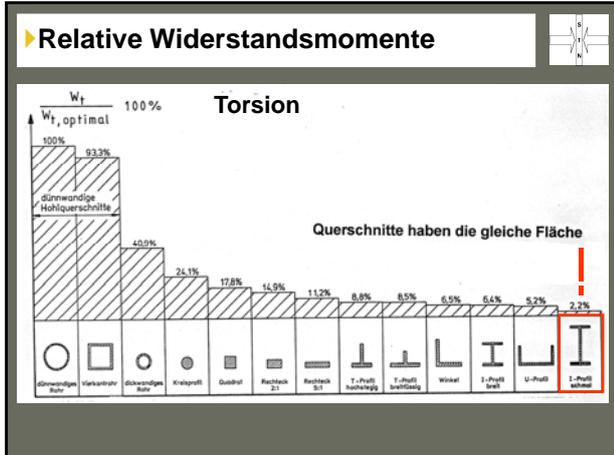
Profil	Relative Widerstandsmomente (%)
I-Profil standard	100%
U-Profil standard	81,34%
I-Profil breit	59,62%
Verkantete I-Profil	57,52%
Gewandflache Rohr	48,67%
Winkel	40,67%
Rechteck 9:1	30,97%
I-Profil Kopfblech	26,5%
I-Profil hochblech	21,15%
Abschraegtes Rohr	19,93%
Rechteck 3:1	19,59%
Quadrat	13,65%
Kreisprofil	11,7%

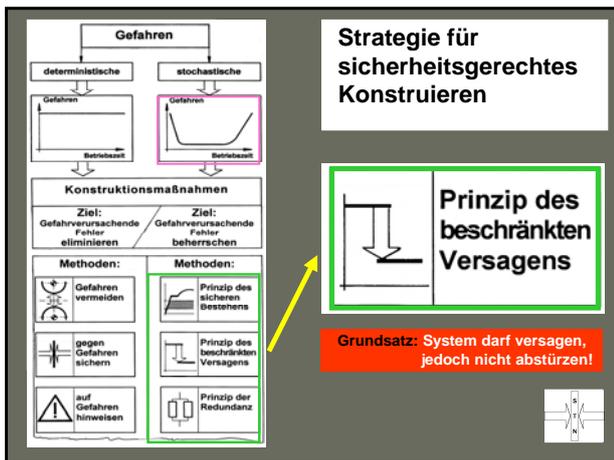
100% $W_{Bq, max}$
100% $W_{Bq, optimal}$

Zunehmend "Ausgenommene" Profile Zunehmend "Ausgebauchte" Profile

Randfaserverstärkung Mittenerstärkung

--- = Biegescheit







Gefahren

deterministische Gefahren vs stochastische Gefahren

Konstruktionsmaßnahmen

Ziel: Gefahrverursachende Fehler eliminieren vs Gefahrverursachende Fehler beherrschen

Methoden: Gefahren vermeiden, gegen Gefahren sichern, auf Gefahren hinweisen

Strategie für sicherheitsgerechtes Konstruieren

Prinzip der Redundanz

Grundsatz: Diversität, Diversität, und nochmals Diversität!!

Redundanz	Beispiel	Erläuterungen	
1	Nr.	3	
homogene	1 	Verdoppelung erhöht die Sicherheit nur dann, wenn keine systematischen Fehler auftreten können, z. B. Korrosion, Materialverwechslung, die beide Sicherheitseinrichtungen gleichzeitig unwirksam machen können.	<h3 style="text-align: center;">Prinzip der Redundanz</h3>
diversitäre	2 	Wechsel des Wirkprinzips macht ein gleichzeitiges Versagen der prinzipverschiedenen, gegenseitig unabhängigen Sicherheitseinrichtungen unterschiedlicher Hersteller unwahrscheinlich.	

Gefahren

deterministische Gefahren vs stochastische Gefahren

Konstruktionsmaßnahmen

Ziel: Gefahrverursachende Fehler eliminieren vs Gefahrverursachende Fehler beherrschen

Methoden: Gefahren vermeiden, gegen Gefahren sichern, auf Gefahren hinweisen

Strategie für sicherheitsgerechtes Konstruieren

Grundsatz:

Auf alles lässt sich hinweisen, fast alles lässt sich sichern. Aber: Vermeiden lässt sich nur das, was keine technologische Funktion hat!!

Vermiedene Quetschstelle

Vermeidbare Scher- und Quetschstelle

SCHNELLAUFTOR

Quelle: Papiermacher-BG

Spring-Rolle: Kraftfluss unterbrechen!

Springrollen

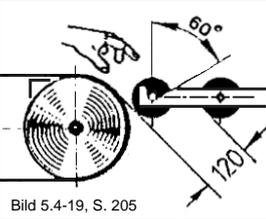
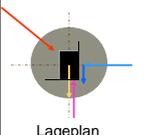
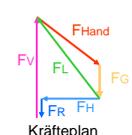



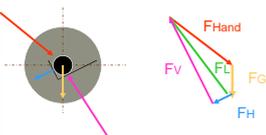
Bild 5.4-19, S. 205



Lageplan



Kräfteplan



Strategie für sicherheitsgerechtes Konstruieren

Gefahren

deterministische Gefahren

stochastische Gefahren

Konstruktionsmaßnahmen

Ziel: Gefahrverursachende Fehler eliminieren

Ziel: Gefahrverursachende Fehler beherrschen

Methoden:

- Gefahren vermeiden
- gegen Gefahren sichern
- auf Gefahren hinweisen
- Prinzip des sicheren Bestehens
- Prinzip des beschränkten Versagens
- Prinzip der Redundanz



gegen Gefahren sichern

Grundsatz:
Koinzidenz zwischen Gefahr und Mensch unterbinden!

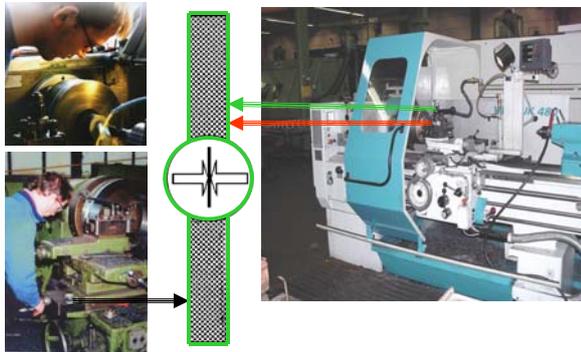
Gefahrstelle wird unerreichbar




Toyota Schulungszentrum Nagoya



Sichern: Schutzeinrichtungen

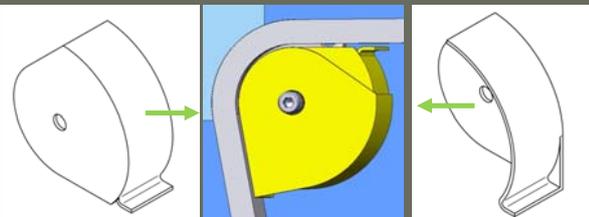


Werknorm: Einstellbarer Kettenschutz



Kampf Jagenberg

Werknorm: Einstellbarer Kettenschutz



Kampf Jagenberg

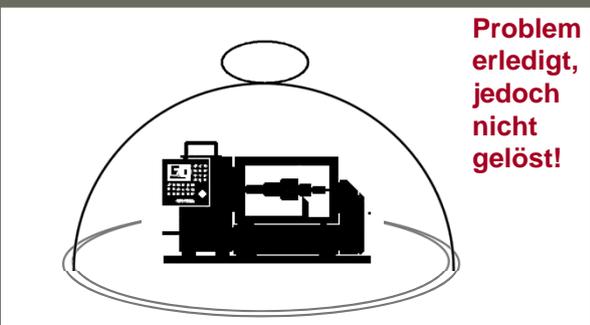
Tödlicher Unfall – Silo-Mischer



Tödlicher Unfall – Silo-Mischer



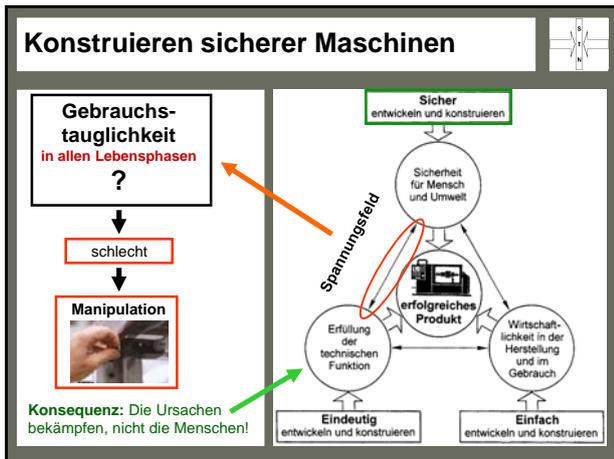
Maschine ist zwar 100%-tig **sicher**,



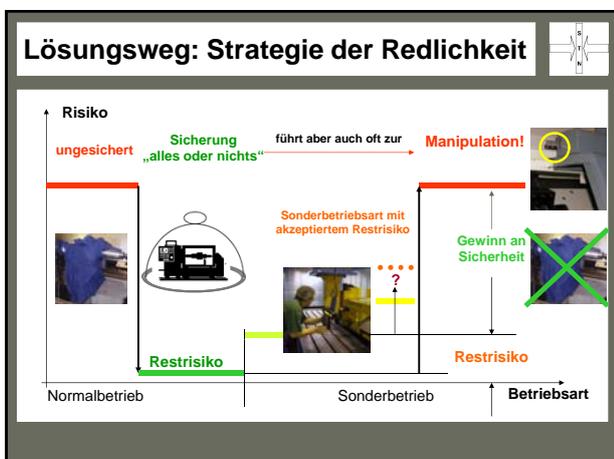
Problem erledigt, jedoch nicht gelöst!

Nach Drees, BOMAG

aber unbenutzbar!







Verriegelte Schutzrichtung



- 1. Schritt: Öffnen der Schutzrichtung
- 2. Schritt: Gefahren stoppen

Zweihandschaltung mit Schleppkabel



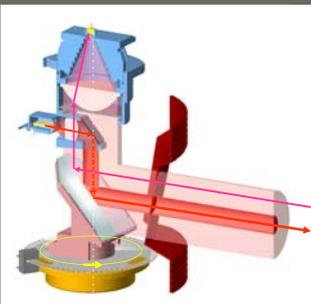
3. Schritt: Anschließen des Handterminals

4. Schritt: Weiterrücken

Quelle: Kolbus

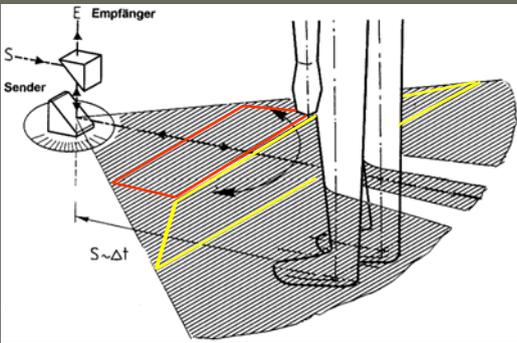
Laserscanner - S3000

Funktionsprinzip: Laufzeit des Lichtstrahls

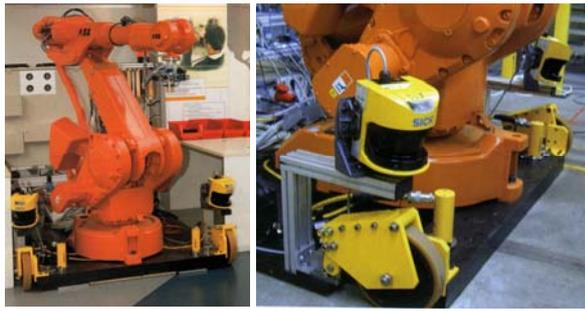


Quelle: SICK

BWS: Bereiche des Laser-Scanners



Einsatz von Laser-Scannern



Gefahren	
deterministische	stochastische
Konstruktionsmaßnahmen	
Ziel: Gefahrursachende Fehler eliminieren	Ziel: Gefahrursachende Fehler beherrschen
Methoden:	Methoden:

Strategie für sicherheitsgerechtes Konstruieren

auf Gefahren hinweisen

Grundsatz: Mit künstlichen Informationsquellen sicheres Verhalten bewirken!

Piktogramme		
 Warnung vor rotierenden Maschinenteilen	 Warnung vor Gefahr aus gespeicherter Energie	 Warnung vor sich lösenden Teilen
 Sicherheitsabstand einhalten	 Schutzvorrichtung nicht öffnen oder umgehen, während die Maschine nicht still ist	 Kein Spielzeug in dem Sicherheitsbereich. Sicherheitsvorrichtung nicht öffnen
 Warnung vor fliegenden Teilchen	 Achtung	 Warnung vor abkanten Stellen
 Augenschutz tragen	 Bedienungsanleitung lesen	 Schutzhandschuhe tragen

Sicherheitskennzeichnung


Zusammenfassung
<p>„Konstruieren sicherheitsgerechter Maschinen ist weder eine Schwarze Magie noch sind dazu Höhere Weihen notwendig!</p> <p>Es ist eine lösbare ingenieurmäßige Aufgabe!</p>

Jeder Vortrag hat was Gutes – sein Ende!



Vielen Dank für´s Mitdenken!



A.Neudoerfer@gmx.de
