

Systemintegration

Kapitel 1: Einführung

Systemintegration – eine Einführung

Was erreiche ich durch Systemintegration ? Einige Beispiele und Sichtweisen...

Informationstechnik, IT-Branche

„Die reibungsfreie Kommunikation heterogener Komponenten in komplexen Netzwerken“

Telekommunikation

„Die Verfügbarkeit unterschiedlichster Dienste und Funktionen auf einer Benutzerplattform“

Fertigungstechnik und Anlagenbau

„Das störungsfreie Zusammenwirken von Anlagen, Maschinen, Geräten und Steuerungselementen“

Produktentwicklung

„Das Zusammenfügen einer Vielzahl von Einzelkomponenten zu einem komplexen System“

Fertigungstechnik

„Die Integration verschiedenster Fertigungs-, Montage- und Prüfverfahren in einen effizienten Ablauf“

Systemintegration – eine Einführung

Die Quintessenz all dieser Sichtweisen.....Was ist eigentlich Systemintegration ?

Der Versuch einer Definition:

Systemintegration befaßt sich, je nach Ausrichtung, mit dem Zusammenführen...

- *unterschiedlicher Komponenten und Teilsysteme,*
- *unterschiedlicher Informationsquellen,*
- *unterschiedlicher Technologien,*
- *unterschiedlicher Abläufe*

...zu einem „reibungsfrei zusammenwirkenden System“.

Was macht eigentlich ein „reibungsfrei zusammenwirkendes System“ aus ?

- *Alle gewünschten Interaktionen der einzelnen Komponenten finden statt.*
- *Unerwünschte Interaktionen werden unterdrückt, kontrolliert bzw. kompensiert.*
- *Weitere vorhandene Interaktionen stören nicht die Systemfunktion.*

Systemintegration – eine Einführung

Das Problem in der Mikrotechnik

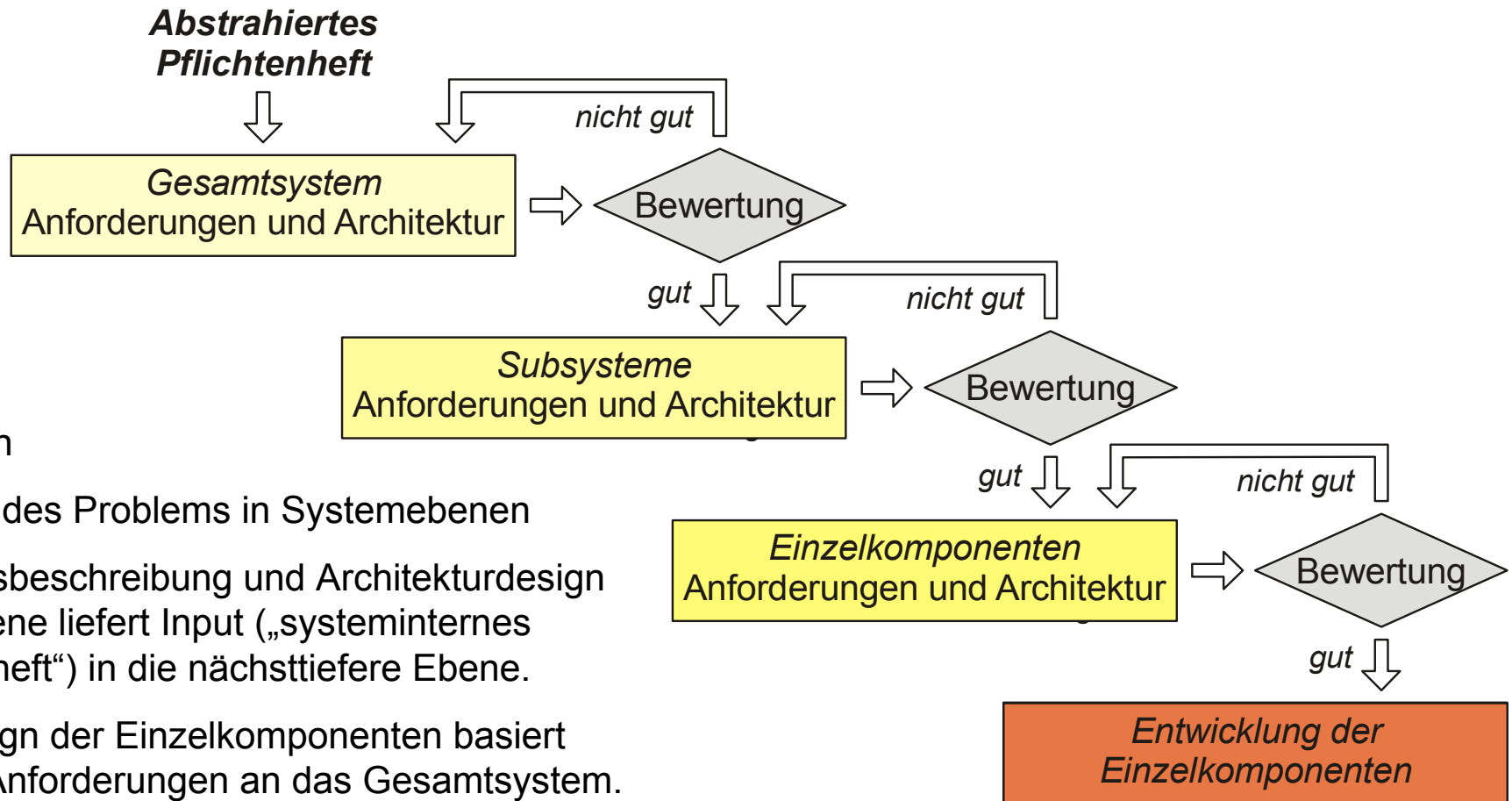
Mikrotechnische Systeme sind häufig gekennzeichnet durch...

- eine hohe räumliche und zeitliche Dichte der verschiedensten „Flüsse“ (Information, Stoffe, Energie,...),
- eine hohe Interaktionsdichte (nicht alle davon sind „gewünscht“),
- nichtvorhandene bzw. nichtstandardisierte Schnittstellen,
- unterschiedliche und z.T. sogar nichtkompatible Fertigungsprozesse der einzelnen Komponenten,
- eine z.T. sehr komplexe Montagetechnik.

Das macht die Sache zwar spannend, aber nicht unbedingt einfach....

Systemintegration – eine Einführung

Die „Top down“-Entwurfsstrategie



Eigenschaften

- Aufteilen des Problems in Systemebenen
- Funktionsbeschreibung und Architekturdesign jeder Ebene liefert Input („systeminternes Pflichtenheft“) in die nächsttiefere Ebene.
- Das Design der Einzelkomponenten basiert auf den Anforderungen an das Gesamtsystem.

Systemintegration – eine Einführung

Der Designprozeß „in einer Ebene“ – Was muß das Ergebnis sein ?

Auf jeder Ebene findet ein mehr oder weniger vollständiger Konstruktionsprozeß statt. Ergebnis ist:

- eine detaillierte Funktionsstruktur der jeweiligen Ebene,
- ein ausgearbeiteter Entwurf,
- die Definition interner und externer Schnittstellen,
- die Klärung der Partitionierungs- und Integrationsstrategie.

Systemintegration – eine Einführung

Designflow „in einer Ebene“

1. Planungsphase

- Anforderungen zusammenfassen

Anforderungsliste

2. Konzeptphase

- Funktionsanalyse des Problems
- Ideenfindung
- Auswahl geeigneter physikalischer Prinzipien
- Festlegung von Werkstoffen und Geometrie

Funktionsstruktur, Schnittstellen

Kreativitätstechniken

Wirkprinzip

Lösungskonzept

3. Entwurfsphase

- geometrisches Design und Integration
- Festlegung des Fertigungsprozesses und der AVT

4. Ausarbeitungsphase

Fertigungsunterlagen, Spezifikationen

Systemintegration – eine Einführung

Strukturierung der Konzeptphase

1. Abstraktion

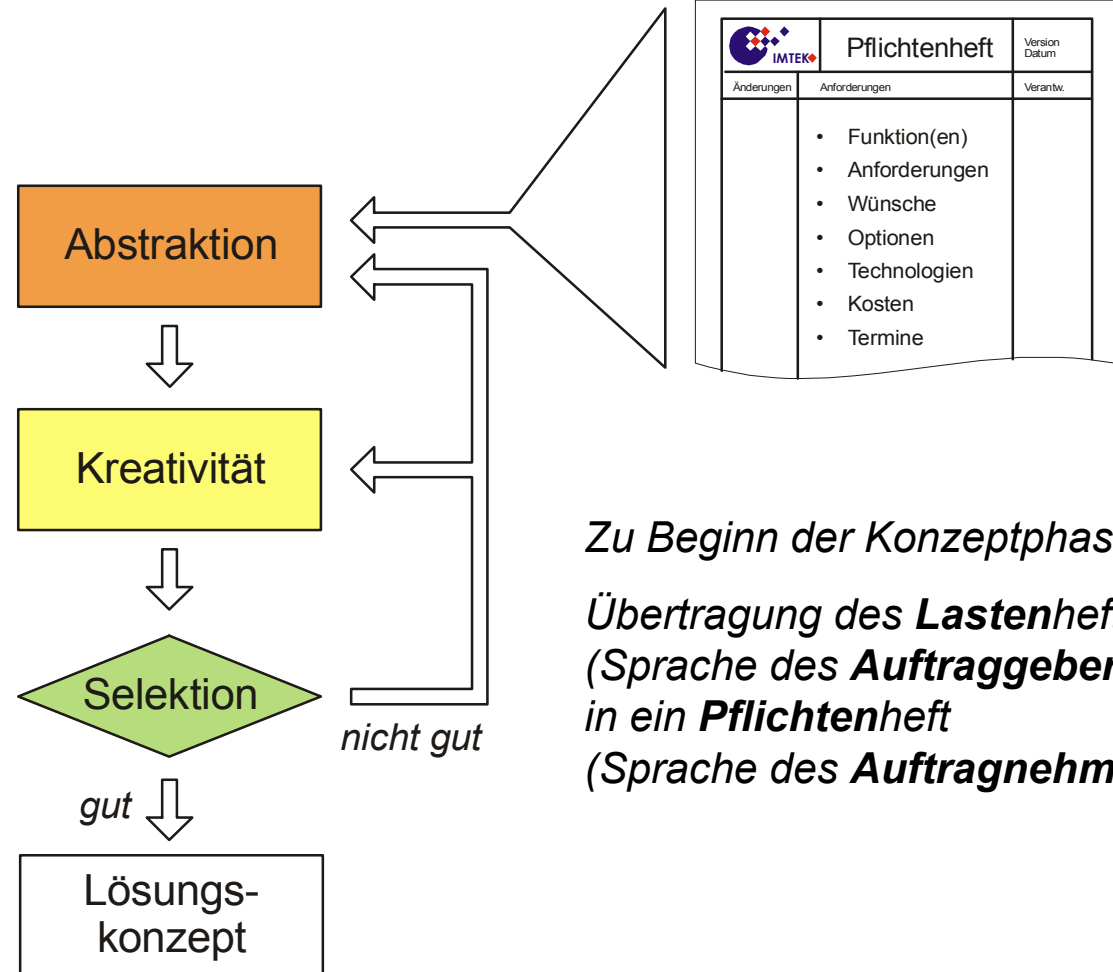
Finde das Kernproblem der Konstruktionsaufgabe !

2. Kreativität

Sammele mehrere Lösungen für das Kernproblem !

3. Selektion

Bewerte die Lösungen und wähle die „optimale“ Lösung !



Systemintegration – eine Einführung

Warum Abstraktion ?

Abstraktion vermeidet...

- Denkschemata und Konventionen, ("Das haben wir schon immer so gemacht",...)
- unbewußte oder bewußte Fixation, (Sie haben Ihre "tolle" Problemlösung schon gefunden,...)
- Vorurteile und Voreingenommenheit, ("not invented by me", "Das hat noch nie funktioniert",...)
- Sicherheitsbedürfnisse. ("Wir machen das so wie immer, dann geht nichts schief",...)

Abstraktion hilft...

- unwichtige Randbedingungen zu eliminieren
- den Kern eines Problems zu finden,
- das Problem insgesamt besser zu verstehen,
- die intuitive Kreativität zu wecken.

Systemintegration – eine Einführung

Ein Beispiel, was Fixation anrichten kann

Eine „fixierte“ Beschreibung einer Konstruktionsaufgabe ist z.B. die Aussage:

„Konstruiere eine Schraubverbindung !“....(wie immer)

Wesentlich „freier“ ist die abstrahierte Beschreibung des Problems:

„Suche eine zweckmäßige Lösung, Körper zur Kraftübertragung in definierter Lage zu verbinden !“

...denn nun sind plötzlich denkbar:

- Nieten,
- Kleben,
- Löten, Schweißen,
- Formschlußverbindungen,
- ...

Systemintegration – eine Einführung

Eine mögliche Vorgehensweise im Abstraktionsprozeß

- Stufe 1: eliminiere alle eigenen Präferenzen (Sicherheit, Fixation)
- Stufe 2: sammle die wichtigsten Aussagen für die Funktion
- Stufe 3: formuliere die Aussagen in qualitativen Stichpunkten
- Stufe 4: reduziere die Stichpunkte auf das Wesentliche
- Stufe 5: formuliere das Problem mit lösungsneutralen Begriffen

Systemintegration – eine Einführung

Ein Beispiel zur Abstraktion

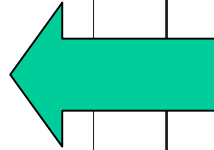
*Frage: Was ist hier die
abstrahierte Beschreibung
des Entwicklungszieles ?*

		Pflichtenheft Mikropumpe	Version Datum
Änderungen	Anforderungen		Verantw.
	• Förderrate: 0..1000 µl/min unidirektional, einstellbar auf 10% vom Endwert • Leckrate in Ruhe: < 10 µl/min bei 300 hPa am Auslaß • Medien: wässrige Medien, Viskosität 0,5..10 mPas, mit Luftblasen • Auslassdruck: -300..300 hPa • Energieversorgung: 9 V Gleichspannung; max. 100 mW in allen Betriebszuständen • Baugröße: <10 cm³		

Systemintegration – eine Einführung

Stufe 2: Sammle wichtige Aussagen

- *unidir. Förderrate: 0...1000 µl/min*
- *wässrige Medien mit Luftblasen*
- *max. Leckrate in Ruhe 10 µl/min*
- *max. Gegendruck 300 hPa*
- *Betriebsspannung 9V*
- *max. Verlustleistung 100 mW*
- *max. Baugröße 10 cm³*

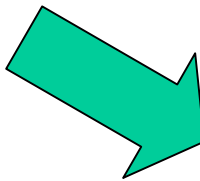


		Pflichtenheft Mikropumpe	Version Datum
Änderungen	Anforderungen		Verantw.
	• Förderrate: 0..1000 µl/min unidirektional, einstellbar in 10 Schritten • Leckrate in Ruhe: < 10 µl/min bei 300 hPa am Auslaß • Medien: wässrige Medien, Viskosität 0,5..10 mPas, mit Luftblasen • Auslassdruck: - 0..300 hPa • Energieversorgung: 9 V Gleichspannung; max. 100 mW in allen Betriebszuständen • Baugröße: <10 cm³		

Systemintegration – eine Einführung

Stufe 3: Formuliere die wichtigen Aussagen qualitativ

- unidir. Förderrate: 0...1000 µl/min
- wässrige Medien mit Luftblasen
- max. Leckrate in Ruhe 10 µl/min
- max. Gegendruck 300 hPa
- Betriebsspannung 9V
- max. Verlustleistung 100 mW
- max. Baugröße 10 cm³

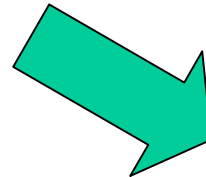


- *variable Förderrate*
- *Pumpe muß abschaltbar sein*
- *Fördern in einer Richtung*
- *selbstsperrend in der Gegenrichtung*
- *Förderung von wässrige Medien **und** Luft*
- *Fördern gegen einen externen Druck*
- *Betrieb mit elektrischer Energie*
- *beschränkte Baugröße*

Systemintegration – eine Einführung

Stufe 4: Reduziere auf das Wesentliche

- variable Förderrate
- Pumpe muß abschaltbar sein
- Fördern in einer Richtung
- passiv selbstsperrend in der Gegenrichtung
- Förderung von wässrige Medien **und** Luft
- Fördern gegen einen externen Druck
- Betrieb mit elektrischer Energie
- beschränkte Baugröße



- *variable Förderrate*
- *Fördern in einer Richtung*
- *passiv selbstsperrend in der Gegenrichtung*
- *Förderung von wässrige Medien **und** Luft*
- *Fördern gegen einen externen Druck*
- *Betrieb mit elektrischer Energie*
- *beschränkte Baugröße*

Systemintegration – eine Einführung

Stufe 5: Lösungsneutral formulieren

- variable Förderrate
- Fördern in einer Richtung
- passiv selbstsperrend
- wässrige Medien **und** Luft
- externer Gegendruck
- Betrieb mit elektrischer Energie
- beschränkte Baugröße

„Flüssigkeiten und Gase in einer Richtung mit unterschiedlichen Förderraten gegen einen Druck bewegen.“

„Fluß in der anderen Richtung selbsttätig sperren.“

„Elektrische Energie verwenden“

		Pflichtenheft Mikropumpe	Version Datum
Änderungen	Anforderungen		Verantw.
	• Förderrate: 0..1000 µl/min unidirektional, einstellbar auf 10% vom Endwert • Leckrate in Ruhe: < 10 µl/min bei 300 hPa am Auslaß • Medien: wässrige Medien, Viskosität 0,5..10 mPas, mit Luftblasen • Auslassdruck: -300..300 hPa • Energieversorgung: 9 V Gleichspannung; max. 100 mW in allen Betriebszuständen • Baugröße: <10 cm³		

Systemintegration – eine Einführung

Die Funktionsanalyse oder „Black-Box-Methode“

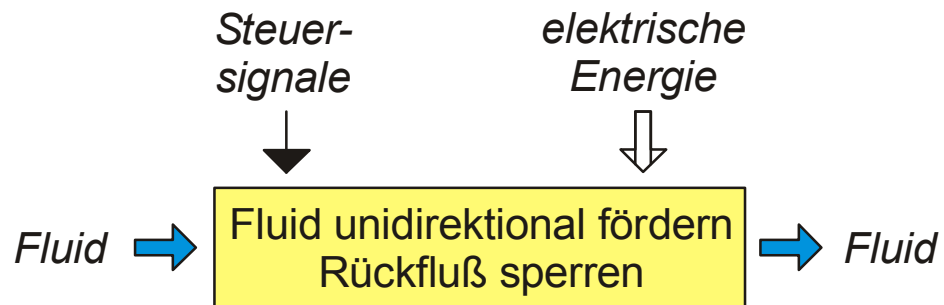
Die Abstraktion liefert nicht (wie das Lastenheft) technische Daten, sondern vielmehr eine Beschreibung der **gewünschten Funktion**. Damit bestehen die Voraussetzungen für eine Funktionsanalyse:

1. Abstrahierung des Konstruktionsproblems zur Findung der globalen Funktion(en)
2. Definition der globalen Flüsse
 - Stoffe
 - Energie
 - Information
3. Weitere Aufspaltung in möglichst grundlegende Teilfunktionen
4. Darstellung der...
 - Schnittstellen
 - internen Flüsse
 - Wirkungsbeziehungen.....zwischen den Teilfunktionen
5. Findung lösungsneutraler physikalischer Effekte für die Teilfunktionen
6. Darstellung der möglichen Wirkprinzipien für die Teilfunktionen

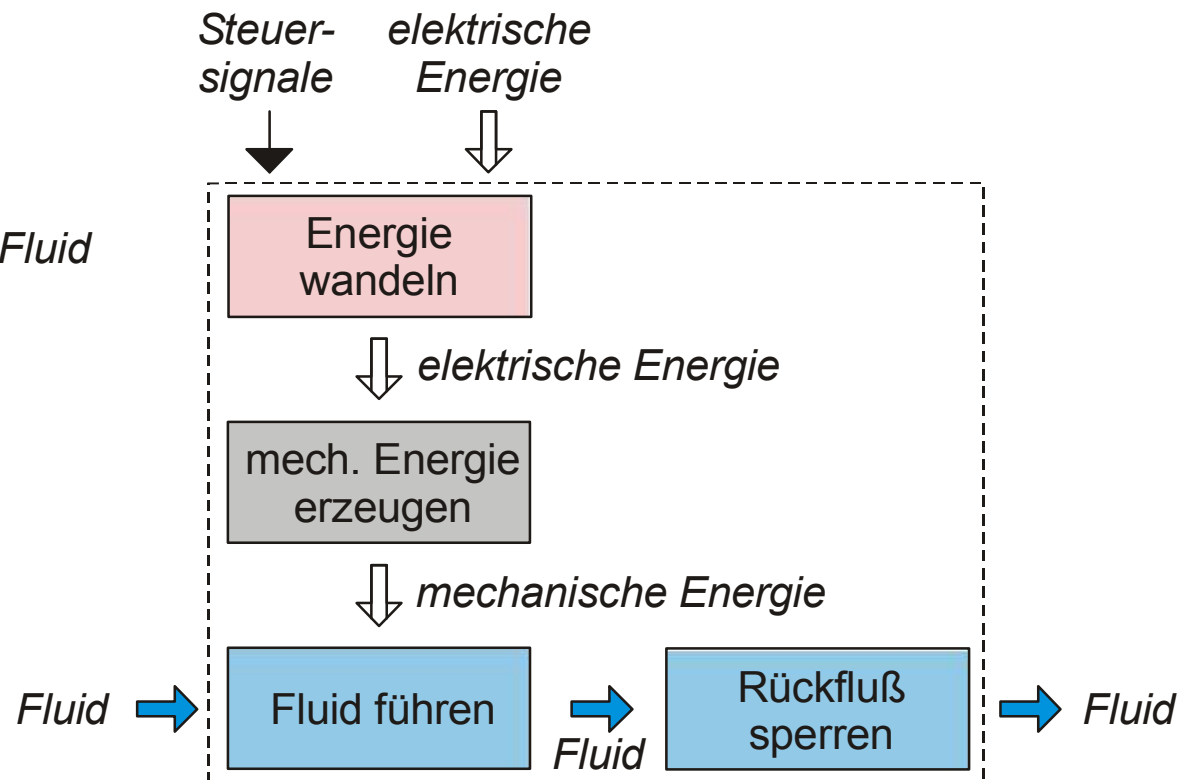
Systemintegration – eine Einführung

Ein Beispiel für die Funktionsanalyse

1. und 2. *Globales Funktionsschema der Mikropumpe mit globalen Flüssen*



3. und 4. *Detailliertes Funktionsschema der Mikropumpe mit internen Flüssen*



Systemintegration – eine Einführung

Was sind physikalische Effekte und was sind Wirkprinzipien ?

Der physikalische Effekt...

- ...beschreibt lediglich die durch die Physik (Chemie, Biologie,...) gegebene Abhängigkeit und Zuordnung der beteiligten Größen (Energie, Stoffe, Information).
- Sammlungen nutzbarer Effekte liegen im Maschinenbau in Katalogform vor.

Wirkprinzipien...

- ...beschreiben Abhängigkeiten und Zuordnungen der beteiligten Größen **für eine bestimmte Lösungsvariante**. Sie beziehen zusätzlich...
 - ➔ Werkstoffeigenschaften
 - ➔ Geometrie und
 - ➔ Bewegungsmechanismen.....der jeweiligen Lösungsvariante mit ein.
- Erst die Wirkprinzipien erlauben eine **vergleichende Bewertung von Lösungsvarianten**.
- Verschiedene Wirkprinzipien können auf demselben physikalischen Effekt beruhen und dennoch völlig unterschiedliche Ergebnisse liefern.

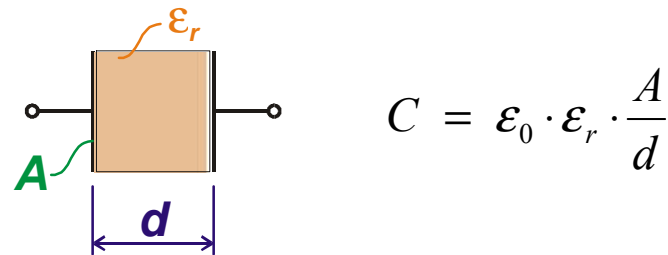
Systemintegration – eine Einführung

Physikalische Effekte und Wirkprinzipien – ein Beispiel

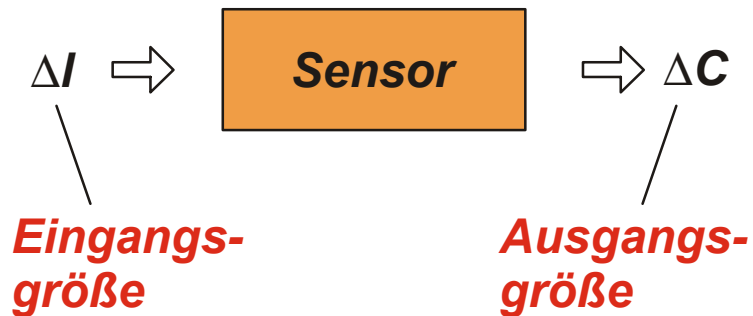
Das abstrahierte Problem:

Es soll ein Meßaufnehmer konstruiert werden, der eine Wegänderung Δl in eine Kapazitätsänderung ΔC umformt.

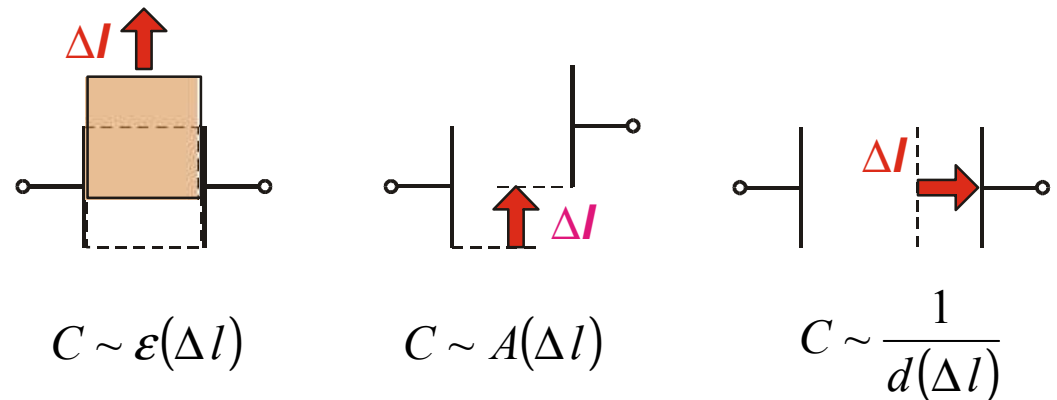
2. Physikalischer Effekt



1. Funktionsblock



3. Wirkprinzipien unterschiedlicher Lösungsvarianten



Systemintegration – eine Einführung

Wie erhalte ich die Wirkprinzipien meiner Lösungsvarianten ?

Die Quelle für das physikalische Wirkprinzip kann sehr unterschiedlich sein ! Mögliche sind...

- die direkte Auswertung physikalischer Gesetze,
- Netzwerkanalogien und -simulationen,
- numerische Modelle,
- Diskrete Methoden (z.B. FEM),
- Abschätzungen und Näherungslösungen.

Wichtig

Die Wahl der „richtigen Quelle“ bestimmt entscheidend den Aufwand, der zu treiben ist ! Es gilt natürlich:

„Soviel wie nötig, so wenig wie möglich !“

Mehr dazu in der übernächsten Vorlesung...

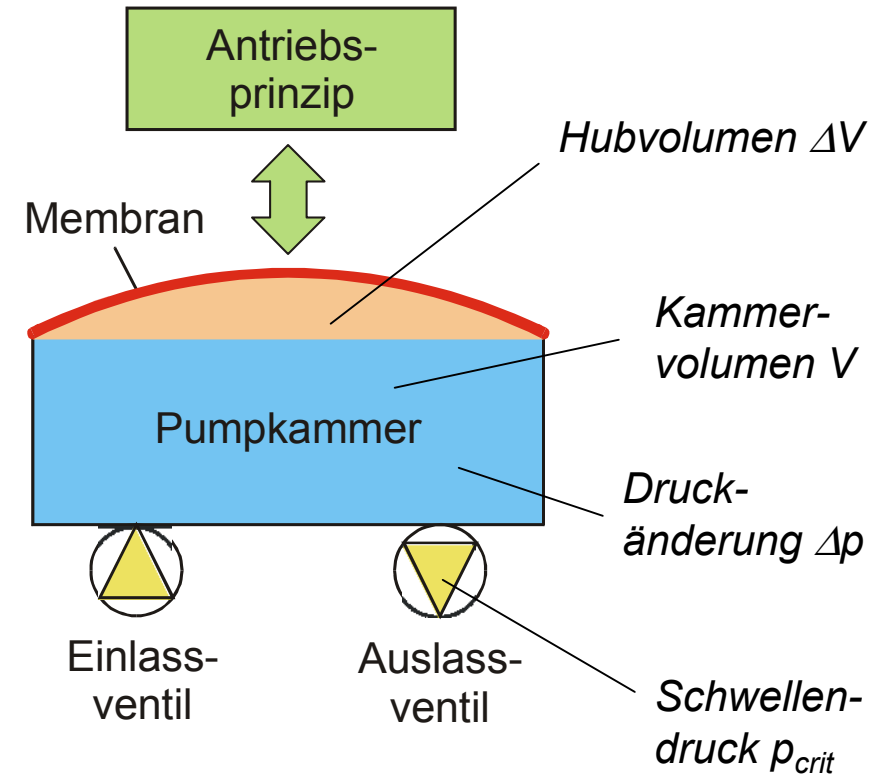
Systemintegration – eine Einführung

Ein Beispiel für ein analytisches Werkzeug

Welches Wirkprinzip macht eine Mikromembranpumpe selbstbefüllend und blasentolerant? Die Physik liefert...

$$|\Delta p| > p_{crit} \quad \Rightarrow \quad \left| \frac{\Delta V}{V} \right| = \varepsilon > \varepsilon_{crit} !$$

	Designregel	Δp_{krit}	
Flüssigkeitspumpe (ideal befüllt)	$\varepsilon > \kappa \Delta p_{krit} $	10 hPa	$\varepsilon > 5 \cdot 10^{-8}$
Gaspumpe	$\varepsilon > \frac{\Delta p_{krit}}{p_0}$	10 hPa	$\varepsilon > 0,01$
blasentolerante Flüssigkeitspumpe ("worst case" Annahme)	$\varepsilon > \frac{\Delta p_{krit}}{p_0}$	75 hPa	$\varepsilon > 0,075$



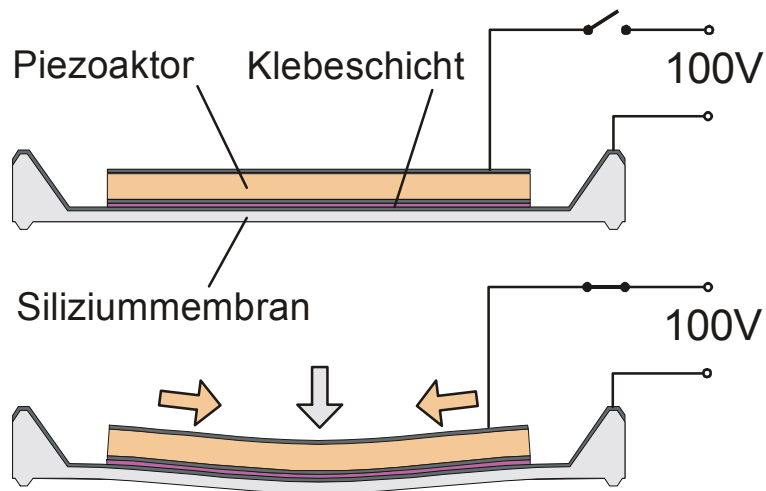
Überlegen Sie sich bitte einmal, welchen Aufwand Sie hier mit einer FEM-Modellierung gehabt hätten...

Systemintegration – eine Einführung

Ein Beispiel für den effizienten Einsatz eines numerischen Modells

Wie verhält sich der piezoelektrische Membranaktor der Mikromembranpumpe bei einer bestimmten geometrischen Auslegung ?

Wirkprinzip Membranaktor:

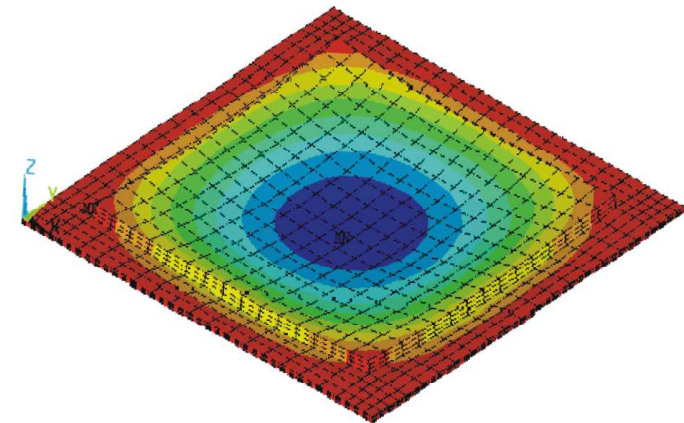


Wesentliche Entwurfparameter, z.B....

- Dimensionierung und Hub,
- Temperatureffekte,
- mechanische Spannungen...

sind analytisch kaum faßbar...

⇒ FEM-Modellierung



Systemintegration – eine Einführung

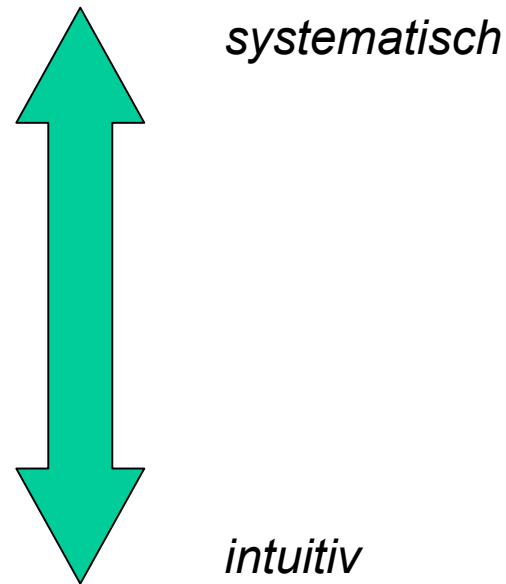
Einen Schritt zurück: Wie finde ich meine physikalischen Effekte und Lösungsvarianten ? Durch ...

Kreativitätstechniken

Kreativitätstechniken sind Methoden, die sowohl die intuitive als auch die systematische Kreativität stimulieren und steigern sollen.

Beispiele sind:

- morphologischer Kasten
- systematische Fragen (Osborn-Methode)
- Brainstorming
- 6-3-5-Methode
- Ideenbuch
- Mind map
- Bisoziation
- Reizwortmethode
- ...



Systemintegration – eine Einführung

Regeln für die Durchführung eines Brainstorming

- Gruppe aus 5 bis (maximal) 15 Personen, die möglichst aus verschiedenen Erfahrungsbereichen stammen sollen (Technik, Marketing,...)
- Ein Moderator erläutert das Problem und gibt den Einstieg. Wichtig ist:
 - ➔ *Der Moderator muß das Problem selbst sehr gut verstehen.*
 - ➔ *Der Moderator ist nur organisatorisch tätig und sorgt für "gutes Klima".*
 - ➔ *Der Moderator nimmt selbst nicht an der Ideenfindung teil.*
- Die Teilnehmer äußern alle Ideen, Einfälle, Assoziationen, etc., die ihnen zum Problem einfallen ("flood of ideas"). Dabei gilt:
 - ➔ *keine Rücksicht auf Vorurteile, Machbarkeit, Moral, Peinlichkeit,...*
 - ➔ *kein Bewerten, Kritisieren oder Belachen irgendeines Vorschlages.*
- Der Moderator notiert alle Ideen sichtbar (Flipchart, Tafel, Overhead,...) und kümmert sich um die Einhaltung der Regeln.
- Wenn keine Ideen mehr kommen, wird die Sitzung beendet. Eine Session sollte generell nicht länger als 30...45 Minuten dauern.

Systemintegration – eine Einführung

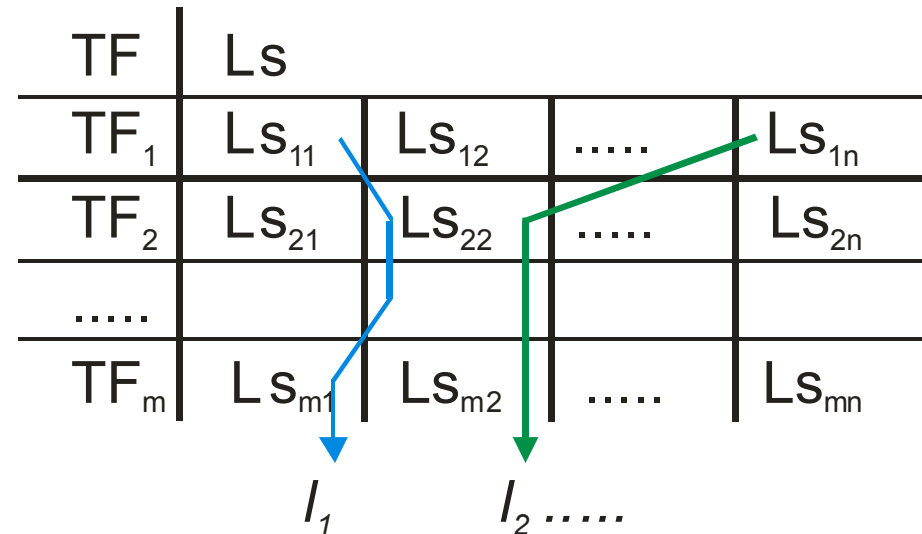
Der morphologische Kasten – ein Beispiel für ein systematisches Kreativitätswerkzeug

Prinzip

- Funktionsanalyse
- Sammeln von Lösungsvarianten für die Teilfunktionen
- systematische Kombination der Teillösungen zu Lösungsvarianten für das Gesamtsystem

Richtlinien (nicht nur) für die Mikrotechnik

- Kompatibilität der Teillösungen beachten
- Kompatibilität der Technologien beachten



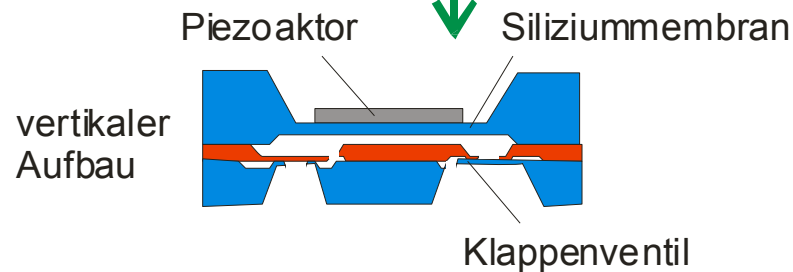
Theoretische (!) Anzahl L der Lösungen bei einer vollständig gefüllten (m x n) Matrix:

$$L = \underbrace{n \cdot n \cdot \dots \cdot n}_{n - \text{mal}} = n^m$$

Systemintegration – eine Einführung

Morphologischer Kasten für eine Mikropumpe

<i>Teilfunktion, Eigenschaft</i>	<i>Lösungen</i>			
Antriebsprinzip	thermisch	piezoelektrisch	elektrostatisch	elektromagn.
Ventiltyp	Membran	Klappe	Blende	Kugel
Membranmaterial	Kunststoff	Metall	Silizium	Glas
Ventilmaterial	Kunststoff	Metall	Silizium	
Aufbau	planar	vertikal	planar/vertikal	



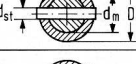
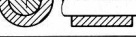
Systemintegration – eine Einführung

Konstruktionskataloge als Hilfsmittel zur Lösungsfindung

- Datenbank mit „vorgedachten Lösungsvarianten“
- im Maschinenbau in großer Breite verfügbar

Probleme

- hoher Aufwand für Erstellung und Pflege
- Veraltung des gesammelten Wissens
- kein „Querdenken“ über verschiedene Disziplinen

Gliederungsteil		Hauptteil			Zugriffsteil														Anhang			
Art des Flächen-schlusses	Art der Kraft-über-tragung	Gleichung	Benennung	Anordnungsbeispiel	Über-trag-bares Moment	Moment-über-tragung abhän-gig von	Axialkräfte	Ver-wend-barkeit bei	Wirkung bei Über-lastung	Verbin-dung zentrier-bar	Unwucht	Nabe axial ver-schieb-bar	Nabe ver-setz-bar	Verbin-dung nach-stellbar	Wellen-durch-messer [mm]	Werk-stoff	Herstel-lungs-aufwand	Mon-tage-aufwand	DIN Quelle (Her-steller)	Anwen-dungs-bei-spiele	Anmerkungen	
1	2	1	2	3	Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Normal (Form-schluß)	Un-mittel-bar	$M_t \leq K \cdot \frac{d_m}{2} \cdot A_T \cdot \tau_{zul}$ bzw. $M_t \leq K \cdot \frac{d_m}{2} \cdot A_P \cdot p_{zul}$	Keilwelle		1	groß	h, i, l	—	Stößen, Wechsel-last	ja	nein	bei Spiel-passung	ja	nein	10-150	Welle : 37 Cr 4 41 Cr 4 42 CrMo4	hoch	klein	5461/63 5471/72	Zahn-räder	Außen-Flanken-, Innenzentrierung möglich kurze Nabe möglich	
			Evolventen-zahnwelle		2			—											—	5480, 5482		
			Kerbwahn-welle		3			—											150-500	5481		
			P 3 - Polygon		4	e, l, i	mit-tel	Stößen, Wechsel-last	selbst-zentrie-rend	nein	bei Spiel-passung und ohne Last	ja, bei Kegel	10-100	klein aber Spezial-masch.	—	geeignet für kurze u. dünne Naben, Kegeliges Wellen-ende möglich, Profil räumen oder schleifen notwendig						
			PC 4- Polygon		5								—		10-100		—					
	Mittel-bar		Querstift		6	klein	d _{st} , D	Wellendurchmesser, Form-, Zentrierfaktor, Werkstoffwahl werden aufgenommen	—	Bruch	ja	ja	bei Spiel-passung	nein	ja, bei Kegel-stift	0,5-50	Stift: 40, 5 S, 6 S, 8 G, 9 S, 20 K St 50 K St 70 St 60	mittel	mittel	1,7 1470-77 1481, 6324, 7346	Kegel- und Kerbstift möglich Hebelbe-festigung, Werk-zeugma-schinen, Fahr-zeuge	
			Tangent-stift		7				—							—						
			Längsstift		8				—							mit-tel						—
			Paßfeder		9	h, l, b	—	—	—	nein	nein	Welle, Nabe : GG, GS St	klein	6888								
			Scheiben-feder		10									—	—	6888						

Systemintegration – eine Einführung

Moderne Hilfsmittel zur Problemanalyse und Lösungsfindung

Konstruktionskataloge stoßen bei der heutigen Innovationsbreite und -geschwindigkeit an Grenzen. Seit etwa 10 Jahren werden deshalb zusätzlich Verfahren der „Künstlichen Intelligenz“ eingesetzt. Ziele sind:

- automatisiertes Finden von technischem Wissen („web data mining“),
- automatisiertes Aufbereiten und „Verstehen“ von Dokumenten („semantic analysis“),
- automatisierte Analyse von Problemstellungen und Funktionsgraphen.

Vorteile

- Das „Querdenken“ über verschiedene Disziplinen findet sozusagen „automatisch“ statt.
- Automatisierung ist der einzige Weg, um der heutigen Datenflut gerecht zu werden.

Schwachstellen

- Menschliche Kreativität ist per Rechner unterstützbar, aber (bis heute ?) noch nicht ersetzbar.
- Man muß nach wie vor „selbst“ wissen, wo das Problem liegt und wonach man sucht !

Einer der Pioniere ist die Firma „Invention Machine“ (www.invention-machine.com) [CoBrain\Hiw.html](#)

Systemintegration – eine Einführung

Bewertung von Lösungsideen

Lösungsmatrix

- relevante Bewertungskriterien auswählen
(*Quellen: Pflichtenheft, Abstraktion*)
- Gewichtung einführen, z.B.
 - 1 = ungünstig*
 - 2 = eher ungünstig*
 - 3 = teils-teils*
 - 4 = eher günstig*
 - 5 = günstig*
- Lösungen und Bewertungen in Matrixform auftragen
- Matrix auswerten

Was hilft bei der Bewertung ?

- ein gelungener Abstraktionsprozeß (d.h. wissen, „worauf es ankommt“)
- eine „subjektive“, d.h. streng ziel- und anwendungsbezogene Kriterienwahl,
- quantitative (Vergleichs)Größen, die bereits in der Konzeptphase verlässlich vorliegen (Wert der Funktionsanalyse !).

Systemintegration – eine Einführung

Partitionierung und Integrationsstrategie

Die Aufstellung verschiedener Lösungsvarianten ist eng an den „Bauzusammenhang“ (ein Begriff aus der Konstruktionslehre) geknüpft. Der „Bauzusammenhang“ beschreibt die geometrische Lage und Verbindung verschiedener Lösungsvarianten in einer Komponente und somit die erste Stufe der Systemintegration.

Der Mikrosystemtechniker würde sagen:

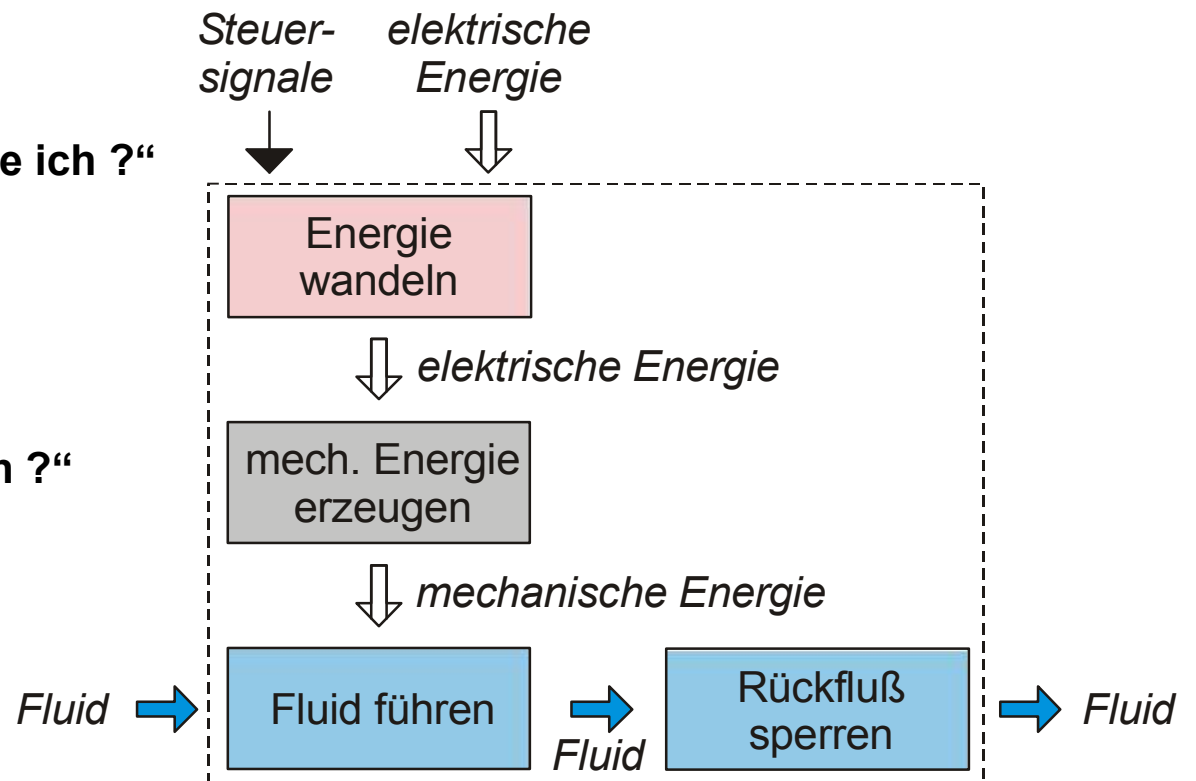
„Welche Partitionierungsstrategie wähle ich ?“

- stand-alone ?
- teilintegriert ?
- vollintegriert ?

„Welche Integrationsstrategie wähle ich ?“

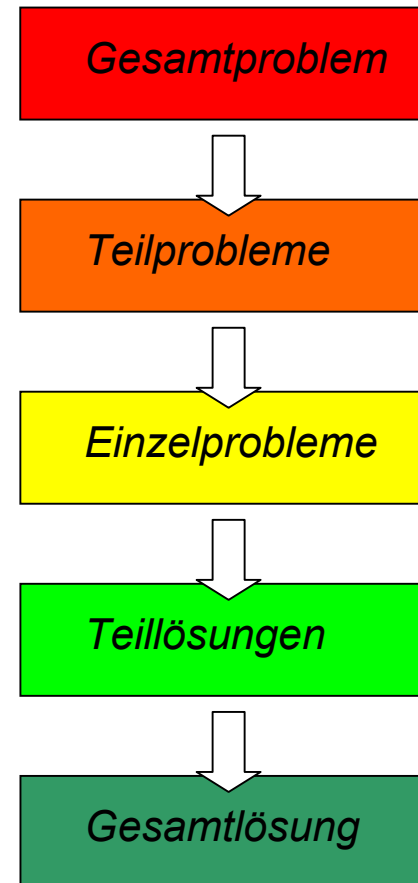
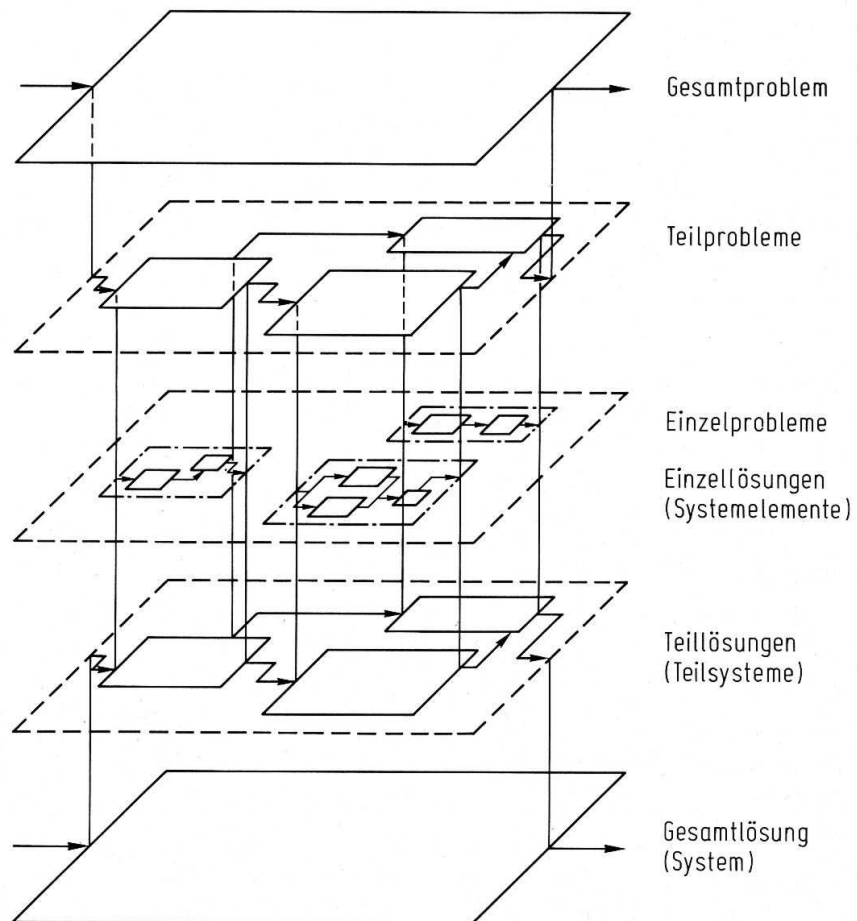
- monolithisch ?
- hybrid ?

Mehr dazu in der nächsten Vorlesung...



Systemintegration – eine Einführung

Zusammenfassung - Wie setzt man das „Top Down“-Konzept praktisch um ?



Periphere Schaltungstechnik

Inhalt der Veranstaltung

1. Einführung

Woiass

Block 1: Hybrid-diskrete Integration

2. Integrationsstrategien

Woiass

3. Formale Systembeschreibung

Woiass

4. Schnittstellen, Baukastenkonzepte

Woiass

5. Verifikation

Wilde

Block 2: monolithische Integration

6. Sichtmodelle der monolith. Integration

Manoli

7. Digitale Systeme

Manoli

8. Analoge Systeme und Schnittstellen

Manoli

9. Schaltungssimulation und VHDL

Manoli

Block 3: Anwendungsbeispiele

10. Anwendungsbeispiel 1

Zengerle

11. Anwendungsbeispiel 2

Urban

12. Schlusspräsentation

Wilde

Übung

Wilde

Fragen/Anregungen

Referenten

Folienkopien

www.imtek.de/deutsch/

→ **Lehre** → **Systemintegration**

Systemintegration - Integrationsstrategien

Kapitel 2: Partitionierungs- und Integrationsstrategien

Systemintegration - Integrationsstrategien

Partitionierung und Integrationsstrategie

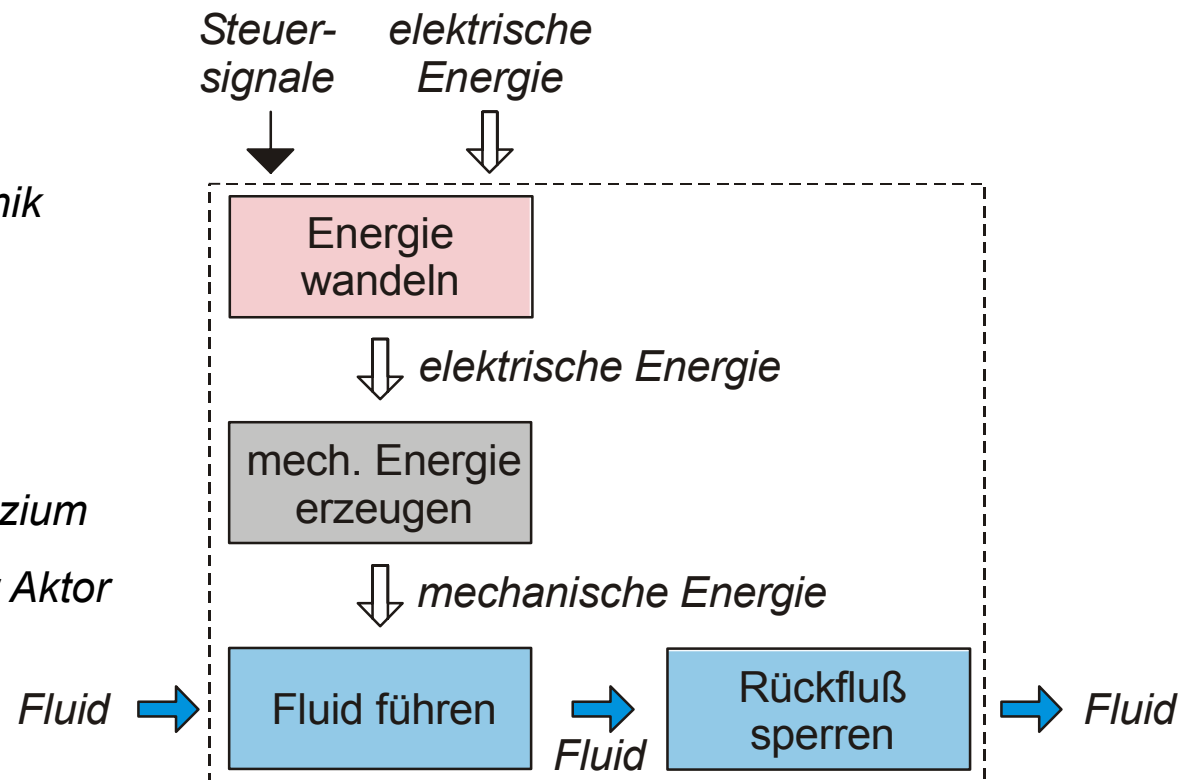
Bei unserer Mikropumpe müssen z.B. Elektronik Aktorik und Fluidik „zusammenarbeiten“. Dabei sind die folgende Fragen zu beantworten:

„Welche Partitionierungsstrategie?“

- stand-alone ?..... z.B. *externe Elektronik*
- teilintegriert ?.....z.B. *externer Aktor*
- vollintegriert ?.....“*all-in-one*“

„Welche Integrationsstrategie?“

- monolithisch ?....*1-Chip-Lösung in Silizium*
- hybrid ?.....z.B. *mesoskopischer Aktor auf Mikrosystem,...*



Systemintegration - Integrationsstrategien

Partitionierungsstrategien – Beispiele aus der Integration von Mikroelektronik und MST

Wir betrachten im folgenden beispielhaft die Integration von Sensoren und Aktoren. Die Frage ist dabei:

*Wie weit muß oder soll ich Mikroelektronik und MST auf der **funktionellen** Ebene integrieren ?*

*Wie **partitioniere** ich gegebenenfalls mein System „am besten“ ?*

Zur Auswahl stehen prinzipiell:

- „stand alone“-Konzept
- teilintegriertes Konzept
- vollintegriertes Konzept

Im Folgenden einige typische Beispiele...

Systemintegration - Integrationsstrategien

„Stand-alone“-Konzepte

In manchen Fällen ist die „Minimal-Integration“ oder sogar die „Nicht-Integration“ von ME und MST der beste Weg ! Einige Gründe dafür...

1. *Technologie*

- Die Herstellungs- und AVT-Prozesse von ME und MST sind absolut nicht kompatibel.
- Die benötigte MST und/oder ME ist sehr komplex und damit schwer co-integrierbar.
- Die Co-Integration erhöht die technische Komplexität und Fehleranfälligkeit.

2. *Kosten*

- Die integrierte Lösung bietet insgesamt Nachteile.

3. *anwendungsspezifische Kriterien*

- Wegwerf- und Einwegprodukte (Co-Integration kostet, nutzt aber wenig).
- Inkompatibilität der Performance (z.B. hohe Temperaturen am Sensor, unter denen die Elektronik leidet).

Systemintegration - Integrationsstrategien

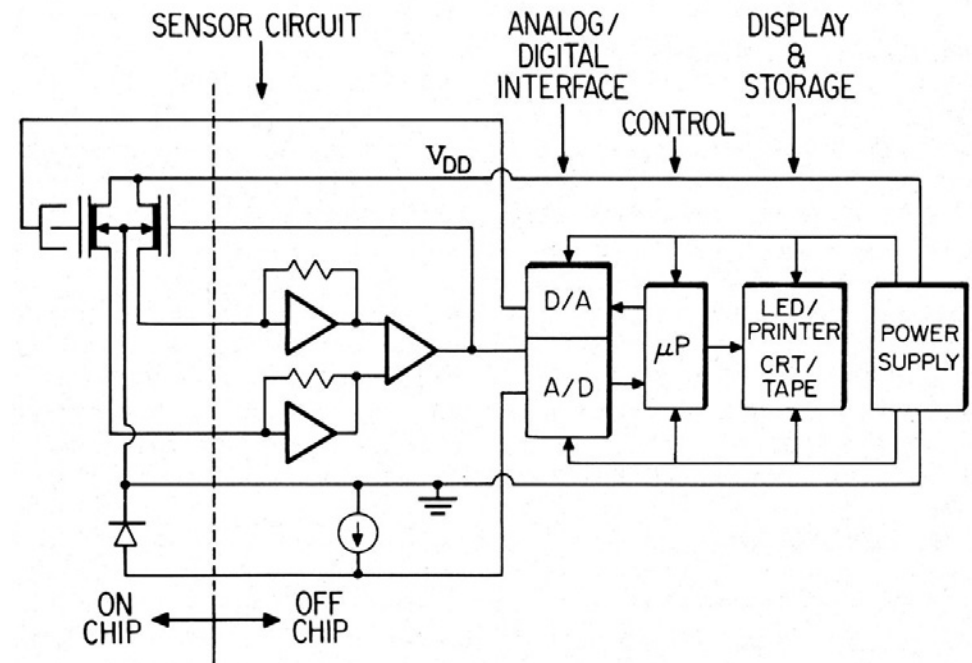
Ein typisches minimal integriertes Konzept

Ein Einweg-Polymerisationssensor auf kapazitiver Basis wird bewußt als Minimalkonzept realisiert. Lediglich ein FET-Differenzverstärker und ein Temperatursensor sind im Sensorkopf integriert.

Vorteile

- Die Minimalelektronik im Sensorkopf liefert maximalen Nutzen bei minimalem Aufwand.
- Es muß nicht jedesmal die gesamte (teure) Elektronik weggeworfen werden.
- Während des Polymerisationsprozesses liegen hohe Temperaturen am Sensorelement. Dies würde eine teure integrierte Hochtemperatur-elektronik erfordern.

⇒ **Ein günstig partitioniertes Minimalkonzept ist hier vorteilhaft !**



© MIT, Holometrix Micromet

Systemintegration - Integrationsstrategien

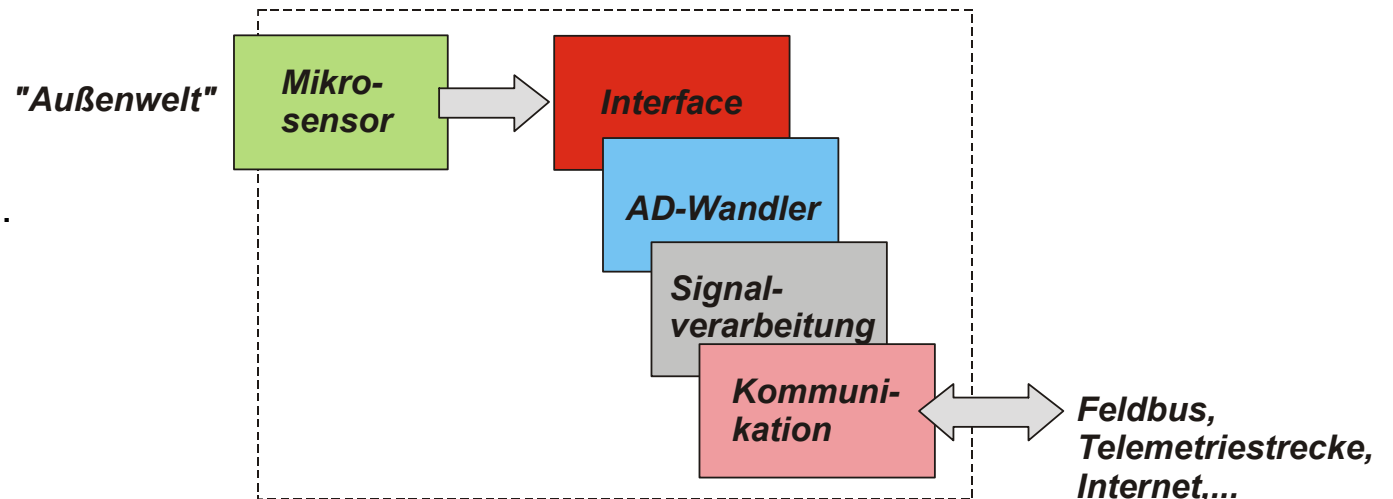
Vollintegrierte Konzepte - „Smart Sensor“ und „Smart Actuator“

Der anglikanische Begriff „Smart Sensor“ (bzw. „Smart Actuator“) bezeichnet die vollständige oder auch nur teilweise Integration folgender Funktionsblöcke auf engem Raum:

- Meßwandler (bzw. Aktorelement),
- Front-end-Interface,
- AD-Wandlung,
- Signalverarbeitung,
- Kommunikationseinrichtung.

Vorteile

- Adressierbarkeit
- Programmierbarkeit
- Kalibrierbarkeit
- Testoptionen



Systemintegration - Integrationsstrategien

Smart Sensors – ein „vollständiges“ Beispiel

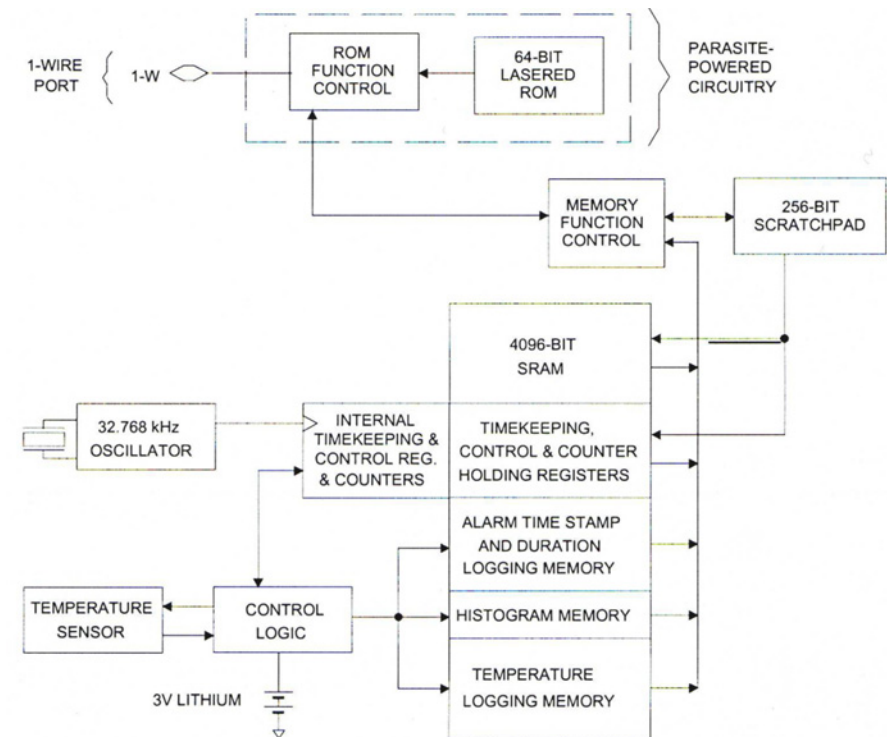
Monolithisch integrierter autonomer Temperaturlogger (Dallas Semiconductor, Thermochron iButton™) zur dezentralen Aufzeichnung von Temperaturverläufen (z.B. im Fracht- und Transportwesen)



Ø 17,35 mm

Integrierte Funktionen

- Temperatursensor
- Sensorinterface und AD-Wandlung
- programmierbare Echtzeituhr
- programmierbarer Datenlogger
- Datenspeicher und Histogrammfunktion
- 1-Draht-Businterface
- Langzeit-Energieversorgung (Lithiumzelle)



Systemintegration - Integrationsstrategien

Integrationsstrategien für Mikroelektronik und MST

Nach der Entscheidung für eine Integrationslösung stellt sich die Frage:

*Wie integriere ich Mikroelektronik und MST auf der **technischen** Ebene ?*

Zur Auswahl stehen prinzipiell:

- hybrid-diskretes Konzept
- hybrid-integriertes Konzept
- monolithisches Konzept

Im Folgenden wiederum einige typische Beispiele...

Systemintegration - Integrationsstrategien

Hybride versus monolithische Integration

Die vergleichbaren Technologien von MST und Mikroelektronik legen eine monolithische Integration nahe. Dies ist jedoch keineswegs immer der „optimale“ Weg“, eine Vielzahl von Anwendungen beruht auf hybrider Integration von MST-Komponente und zugehöriger Elektronik. Allgemein gilt:

Es gibt für diese Entscheidung keine „Kochrezepte“ und „Patentlösungen“ !

Die Vor- und Nachteile beider Wege müssen **für jede Anwendung separat** evaluiert werden. Wichtige Einflußfaktoren sind dabei:

- die **Gesamtkosten** (Entwicklung **und** Fertigung),
- eine explizit gewünschte oder inhärent vorhandene Flexibilität des Gesamtkonzeptes,
- die „echte“ (und nicht nur scheinbare !) Kompatibilität der Technologien,
- Stückzahleffekte,
- Fertigungsmöglichkeiten und Fertigungsphilosophie einer Firma (nicht zu unterschätzen !),
- viele anwendungsspezifische Kriterien.

Systemintegration - Integrationsstrategien

Einige Gründe und vorteilhafte Randbedingungen für eine monolithische Integration

1. *Technologie*

- Die Prozesse sind „wirklich“ kompatibel (z.B. MST-Backend oder MST-Frontend).
- Die Ausbeuten von MST und ME sind vergleichbar und hoch.
- Die Co-Integration erhöht den nicht den kostenbezogenen Flächenverbrauch.

2. *Kosten*

- Die integrierte Lösung bietet **insgesamt** Kostenvorteile (z.B. durch Reduzierung der AVT).
- Es sind Stückzahleffekte nutzbar (hohe Stückzahlen derselben Komponente).
- Der technische/finanzielle Aufwand für die Co-Integration bleibt im Rahmen.

3. *anwendungsspezifische Kriterien*

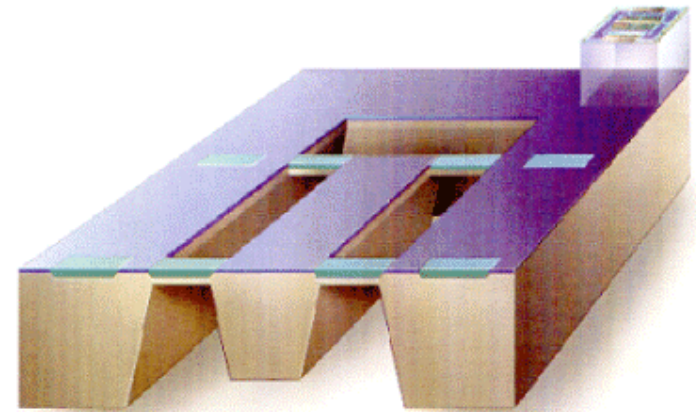
- Die integrierte Lösung bietet technische Vorteile (z.B. höhere Performance durch neue Features).
- Technische Probleme sind **nur so** zu lösen (z.B. geringe Sensorsignale bei hohem Störeinfluß)

Ansonsten: Vorsicht !!!.....Im folgenden einige Beispiele...

Systemintegration - Integrationsstrategien

Monolithische Integration – ein (hypothetischer) „bad case“

*Ein CMOS-Sensorinterface (Chipfläche 4 mm²) soll **monolithisch** auf einem anisotrop geätzten Beschleunigungssensor (Chipfläche 40 mm²) integriert werden (Grafik: Motorola).*



Nachteile

- extrem schlechte Flächennutzung des teuren CMOS-Prozesses (90% der Chipfläche werden „anderweitig“ genutzt, müssen aber in CMOS prozessiert werden).
- ungünstige Technologiepaarung (ein beidseitiger KOH-Prozeß und ein CMOS-Prozeß sind bestimmt nicht optimal kompatibel)
- kritische Gesamtausbeute (Ein einziger Ätzdefekt auf der „großen“ Fläche des Sensors kann das teure funktionierende ASIC zunichte machen).

⇒ **hybride Integration wäre besser !!!**

Systemintegration - Integrationsstrategien

Monolithische Integration – ein „necessary (?) case“

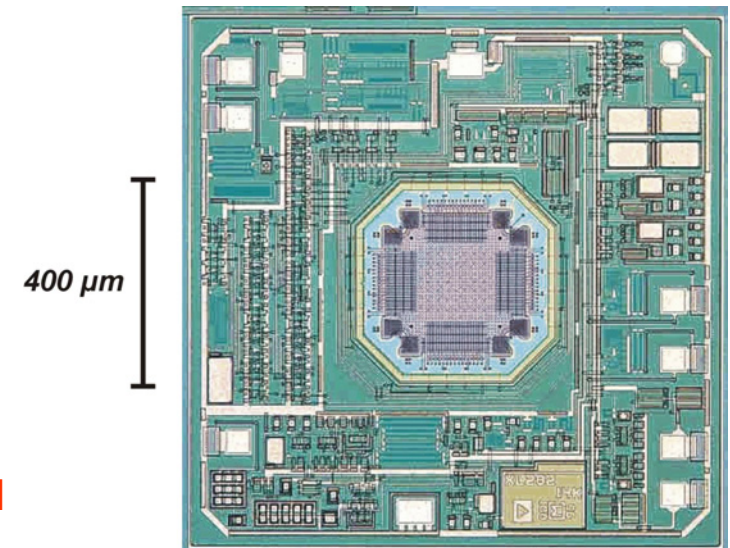
*Analog Devices baut im Kerngeschäft ICs. Für den dargestellten Beschleunigungssensor war damit monolithische Integration auf möglichst kleiner (da teurer) Chipfläche von Anfang an **Designvorgabe**. Die Konsequenzen...*

- kleine seismische Masse: 0,7 μg
- kleine Ablenkung: $\pm 5 \text{ nm}$ (bei $\pm 2 \text{ g}$!)
- Grundkapazität: 60 Femtofarad (10^{-15} F)
- Kapazitätssignal ΔC bei $\pm 2 \text{ g}$: 250 Attofarad (10^{-18} F)
- Auflösungsgrenze (0,0008 g): 90 Zetafarad (10^{-21} F)
- Streukapazität Bonddraht: $\approx 1 \text{ Picofarad}$ (10^{-12} F)

➔ extrem geringes Nutzsignal bei hohem Störpegel

Ergebnis:

- *der weltweit kleinste zweiachsige Beschleunigungssensor (Kompliment !), aber...*
- *keinerlei Flexibilität beim Integrationskonzept (Bei diesem Sensor geht es nur monolithisch !)*
- *eng vernetzte Fertigung von MST und ME (Prozeßänderungen sind nahezu unmöglich !)*



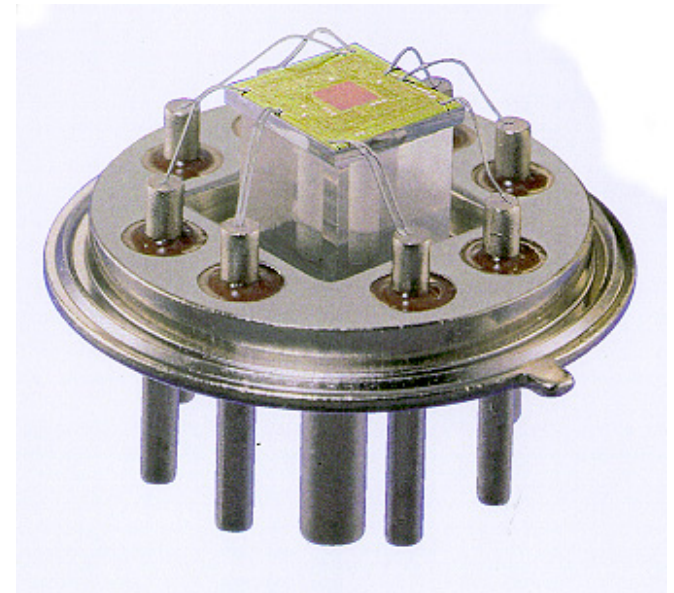
Systemintegration - Integrationsstrategien

Monolithische Integration – ein „good case“

MAP-Sensor (MAP = manifold absolute pressure) mit monolithisch integrierter Signalvorverarbeitung (Bosch)

Warum ist die monolithische Lösung hier „wirklich“ erfolgreich ?

- „echter“ separater MST-Backendprozeß
(KOH an der Waferückseite, ME an der Vorderseite)
 - ➔ *hohe Designflexibilität bei MST und ME*
 - ➔ *vergleichsweise geringer Zusatzaufwand*
 - ➔ *kein zusätzlicher Flächenverbrauch*
- vergleichsweise kleine MST- und ME-Strukturen
 - ➔ *gute Flächenausnutzung*
- Massenmarkt (Motormanagement)
 - ➔ *hohe Stückzahlen **derselben** Komponente*



Systemintegration - Integrationsstrategien

Einige Gründe und vorteilhafte Randbedingungen für eine hybride Integration

Wir haben gesehen, wann eine monolithische Integration Vorteile bringt und wann nicht und damit implizit bereits Gründe für eine hybride Integration erarbeitet. Einige **zusätzliche** Argumente sind:

1. *Technologie*

- Einzelkomponenten sind als Zukaufteile erhältlich („Warum fertigen, was man kaufen kann?“).
- Die eigene Fertigungstiefe oder Fertigungsphilosophie erlaubt kein monolithisches Konzept.
- Es sind bereits ausgereifte und optimierte Lösungen für MST oder ME vorhanden.

2. *Kosten*

- Der technische/finanzielle Aufwand für die Aufbau- und Verbindungstechnik bleibt im Rahmen.
- Die Entwicklungskosten einer hybriden Lösung sind **im allgemeinen** günstiger.
- Der Einkauf bei verschiedenen Zulieferern bietet Kostenvorteile.

3. *anwendungsspezifische Kriterien*

- Die hybride Lösung bietet technische Vorteile (z.B. höhere Flexibilität durch Baukastenlösungen).
- Technische Probleme sind nur so zu lösen.

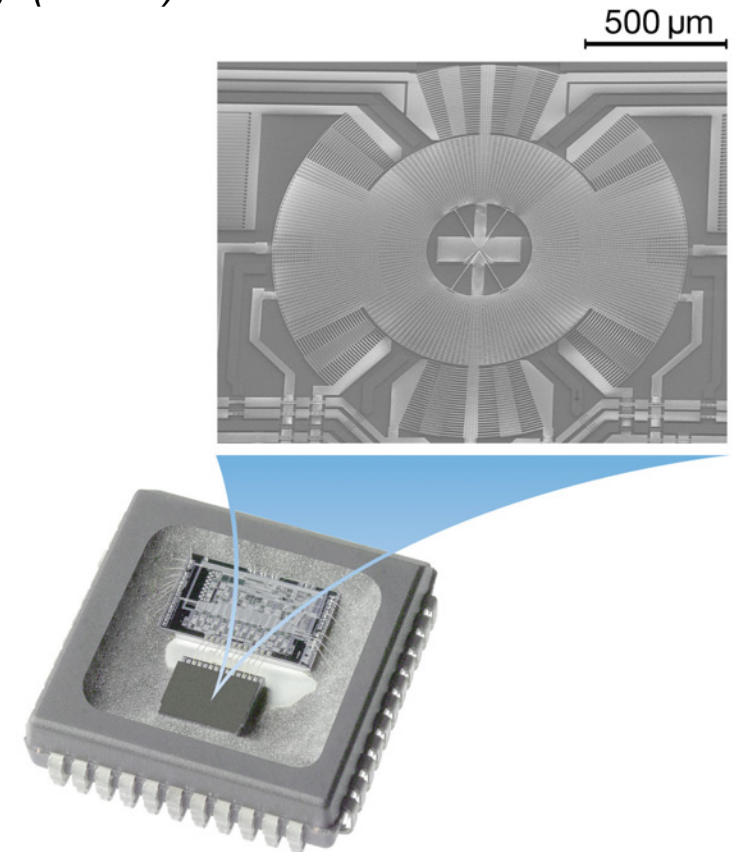
Systemintegration - Integrationsstrategien

Ein Beispiel für ein hybrid-integriertes Konzept

Drehratensensor mit Signalverarbeitungs-ASIC als 2-Chip-Lösung (Bosch)

Warum ist hier eine 2-Chip-Hybridlösung im Einsatz ?

- beliebige Kombination von Sensor und Elektronik
 - ➔ *hohe Designflexibilität*
 - ➔ *große Variantenvielfalt*
- monolithische Integration wäre nur durch starke Vernetzung der Fertigungsprozesse (OMM und CMOS) möglich
 - ➔ *höhere Ausbeute durch separate Prozesse*
 - ➔ *insgesamt günstigere Fertigungskosten*
- Massenapplikation (z.B. Überrollsensorik) für viele Kunden
 - ➔ *hohe Stückzahlen für einen MST/ME-Baukasten (ein ASIC mit verschiedenen Sensoren)*



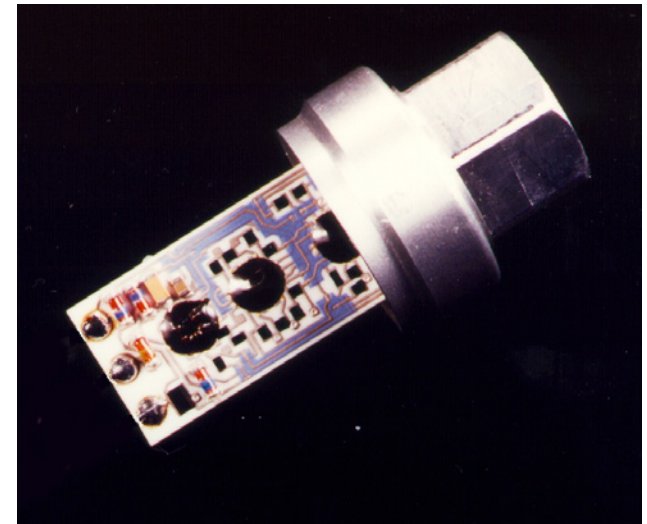
Systemintegration - Integrationsstrategien

Ein Beispiel für ein hybrid-diskretes Konzept

Hochdrucksensor für Automobil-Klimaanlagen mit hybrid integrierter Signalverarbeitung (Auftragsentwicklung des FhG-IMS München)

Durch nahezu beliebige Kombinationsmöglichkeiten von Sensor und Elektronik bewahrt sich der Hersteller (hier ein Mittelständler **ohne** eigene MST-Fertigung)...

- ➔ *extrem hohe Designflexibilität*
- ➔ *extrem große Variantenvielfalt*
- ➔ *hohe Flexibilität beim Einkauf (Sensor als Zukaufteil von verschiedenen MST-Herstellern)*
- ➔ *moderate Entwicklungskosten*
- ➔ *vergleichsweise günstige Fertigungskosten*
- ➔ *die beliebige Nutzung des Baubastenprinzips (d.h. verschiedenste Stückzahlen für verschiedenste Kunden !)*



Systemintegration - Integrationsstrategien

Was sind also bevorzugte Anwendungsbereiche für hybride und monolithische Integration ?

Monolithische Integration eignet sich *bevorzugt* bei...

- hohen Stückzahlen derselben Komponente,
- hohem Kostendruck,
- vertretbarem Zusatzaufwand in der Fertigungstechnologie,
- hoher inhärenter Flexibilität des Designkonzeptes („one concept fits all“).

Hybride Integration eignet sich *bevorzugt* bei...

- geringen und mittleren Stückzahlen,
- mäßigem (bis hohem) Kostendruck,
- vertretbarem Zusatzaufwand in der AVT,
- mäßiger Flexibilität des Designkonzeptes („Baukasten“ ist schneller als Neudesign).

Auch hier gilt, wie die Beispiele zeigen:

Ausnahmen bestätigen die Regel, z.B. finden sich „ausgerechnet“ in der von hohem Kostendruck geprägten Automobilindustrie sehr erfolgreiche Hybridkonzepte !

Systemintegration - Integrationsstrategien

Wie ist die Wechselwirkung zwischen Design, Layout, AVT und Systemintegration ?

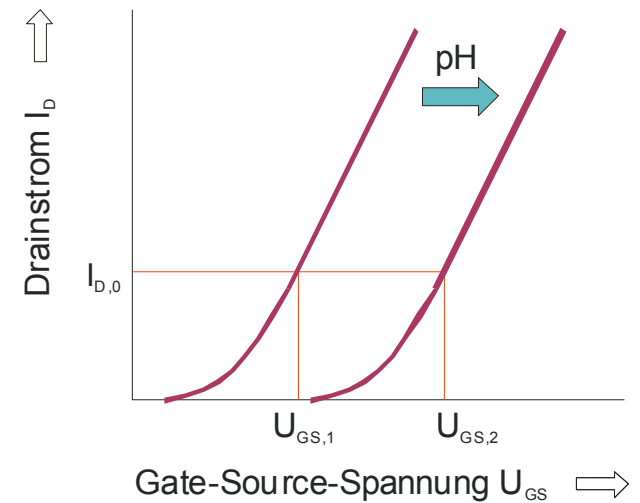
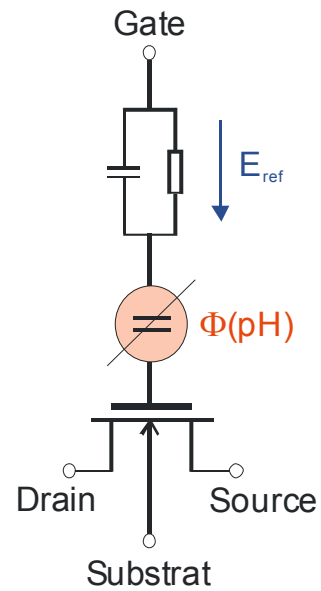
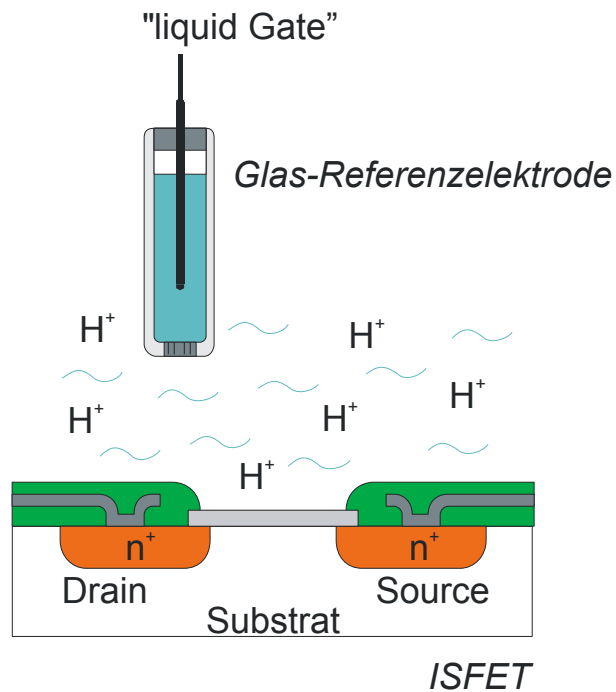
Design und Integration müssen in einer **Gesamtbetrachtung** gelöst werden.
Technische Ziele sind z.B.

- ein AVT-gerechtes Design,
- die Minimierung von unerwünschten Interaktionen im „integrierten System“,
- die Kompatibilität der verwendeten Materialien und Technologien,
- die Gestaltung der internen und externen Schnittstellen,
-

Im folgenden nur ein Beispiel zum AVT-gerechten Design...

Systemintegration - Integrationsstrategien

AVT-gerechtes Design – Beispiel Ionensensitiver Feldeffekttransistor



$$U_T = \underbrace{\beta \cdot 2,303 \cdot \frac{R \cdot T}{F} \cdot \log([H^+])}_{\Phi(pH)} + E_{Ref} + \dots$$

Systemintegration - Integrationsstrategien

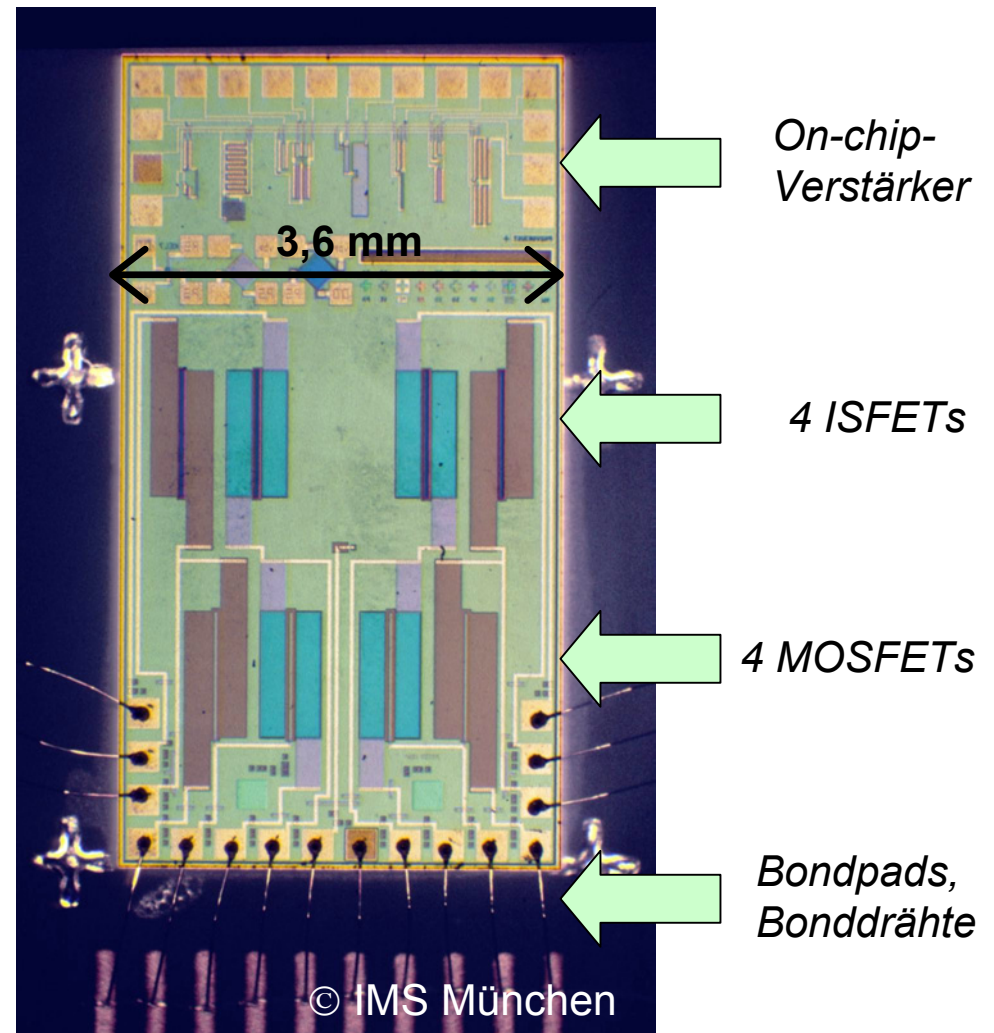
AVT für chemische Sensoren auf Chipbasis

- Montage und elektrische Kontaktierung des Chips,
- Schaffung eines **direkten Kontaktes** zwischen Sensorstruktur und Flüssigkeit,...
...andererseits aber...
- **hermetisch dichte Kapselung** von Chipkanten, Bonddrähten und on-chip-Elektronik...
*...und dies Alles **auf engem Raum** !*

Was ist zu tun ?

Die Anforderungen sind z.T. **gegensätzlich** und nicht einfach zu erfüllen. Das bedeutet:

Chipdesign und Gehäusungsprozeß müssen eng aufeinander abgestimmt werden !



Systemintegration - Integrationsstrategien

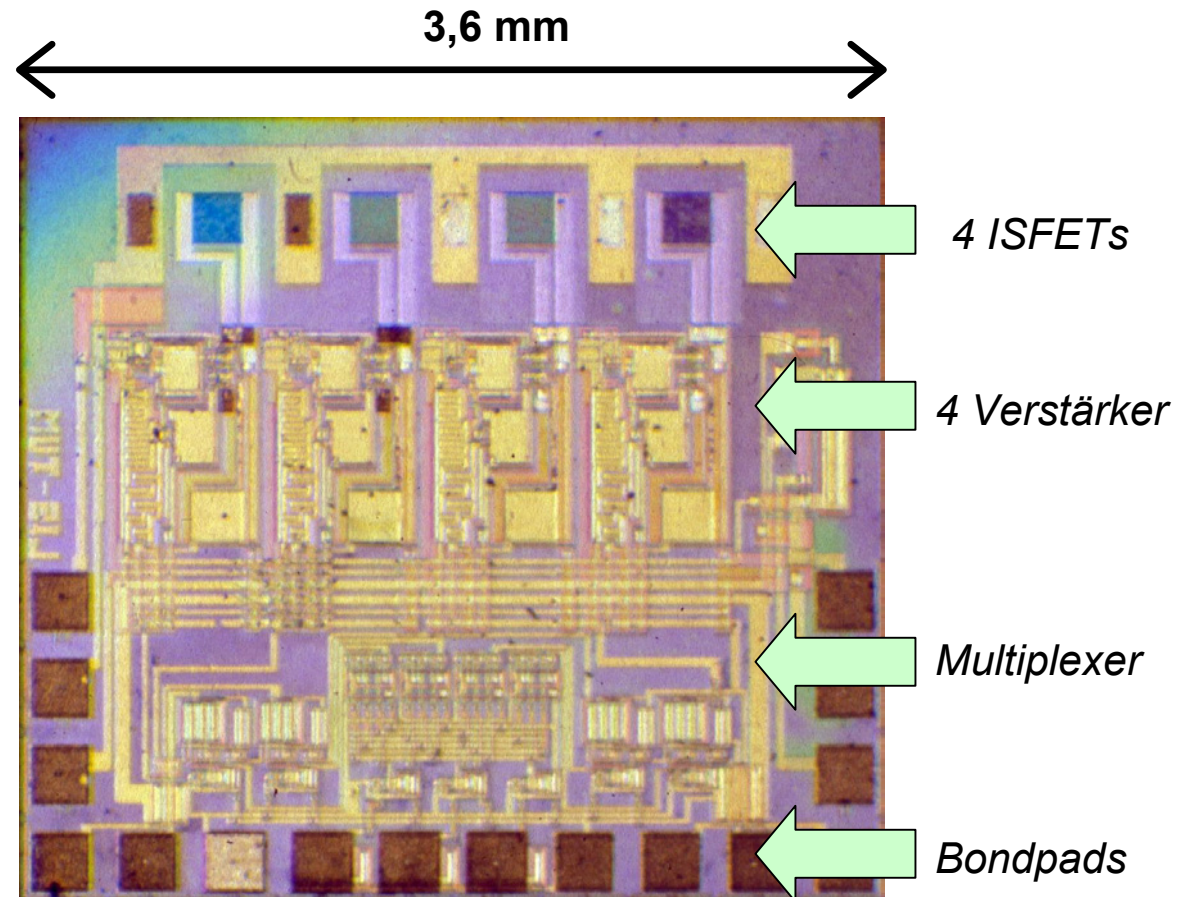
Design for AVT - ein „worst case“-Layout

Dieser hochintegrierte ISFET-Sensorchip wurde ohne Rücksicht auf die Gehäusung entworfen !

Probleme

- zu geringer Abstand zwischen den einzelnen ISFETs
- zu geringer Abstand zwischen den ISFETs und den Chipkanten
- zu geringer Abstand zwischen den ISFETs und der on-chip-Elektronik
- schlechte Chip-Passivierung im Bereich der Sensorfenster

Für die Gehäusung war letztlich eine Spezialentwicklung erforderlich !



© Siemens AG, TU München

Systemintegration - Integrationsstrategien

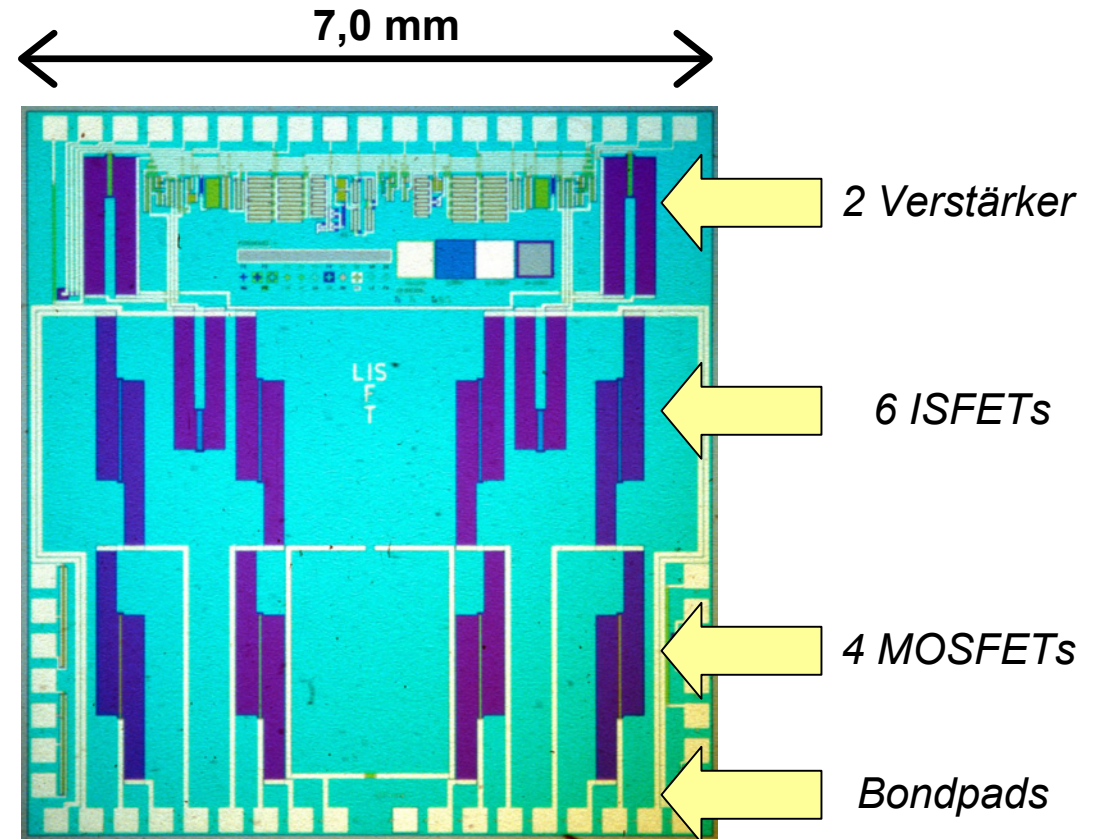
Design for AVT - ein „best-case“-Layout

Dieser ISFET-Sensorchip wurde speziell für die Belange der Gehäusung entworfen.

Designergebnis

- Ein ausreichender Abstand zwischen den ISFETs ermöglicht bis zu vier getrennte Sensorfenster.
- Es besteht allseitig ein ausreichender Abstand zwischen den ISFETs und der nächsten „schützenswerten Struktur“ (Chipkante, Bondpad oder Elektronik).
- Die Chip-Passivierung ist im Bereich der Sensorfenster sehr hochwertig (LPCVD-Nitrid).

Das Ergebnis ist eine sehr einfach und flexibel durchführbare Gehäusung !

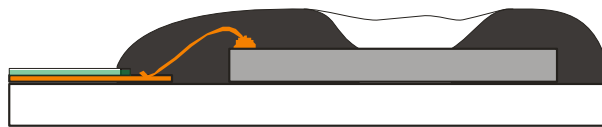
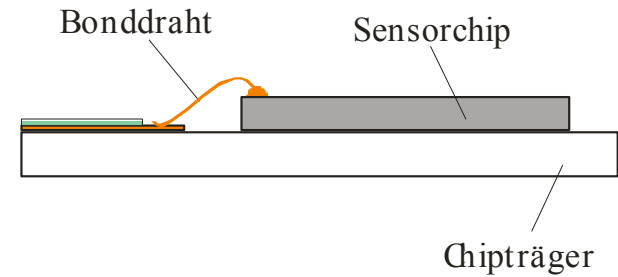


© TU München, FhG-IFT München

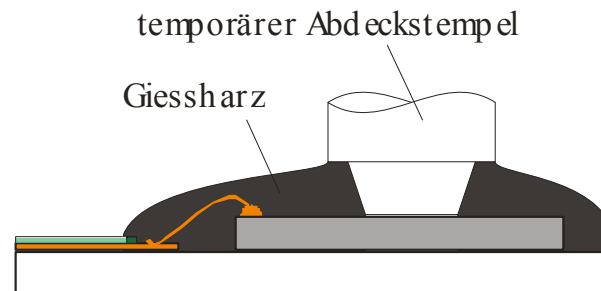
Systemintegration - Integrationsstrategien

Wie gehäust man denn nun einen chemischen Sensor ?

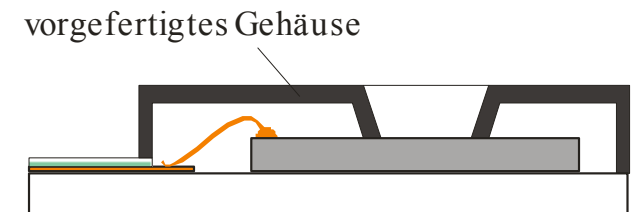
Hier nur drei Lösungsvarianten aus einer Vielzahl von Verfahren...



lokaler Verguß



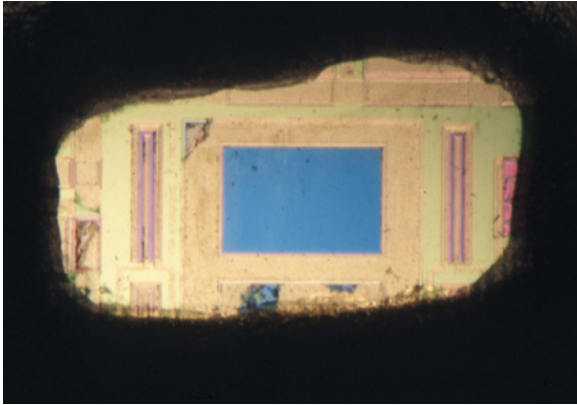
Glob-Top mit Stempelabdeckung



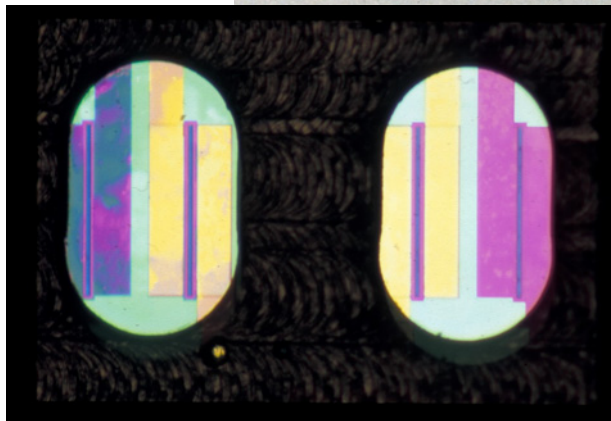
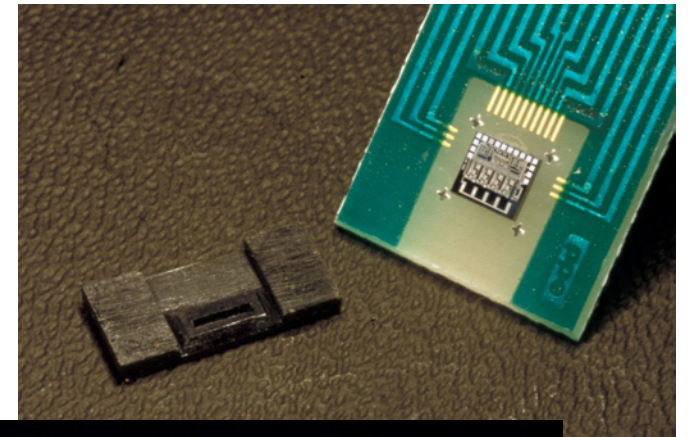
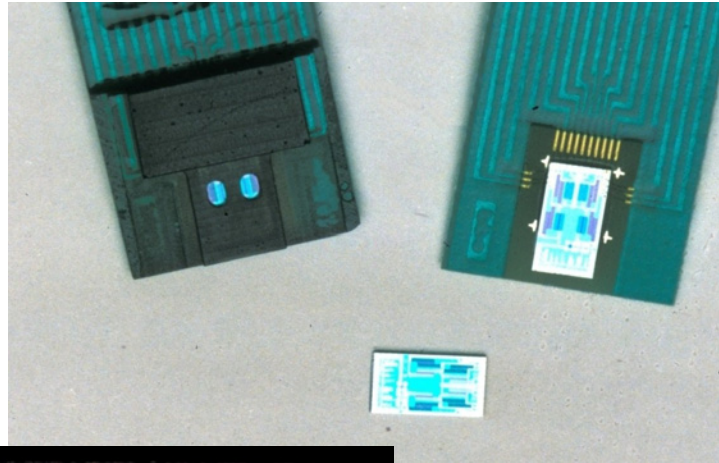
vorgefertigte Gehäuse

Systemintegration - Integrationsstrategien

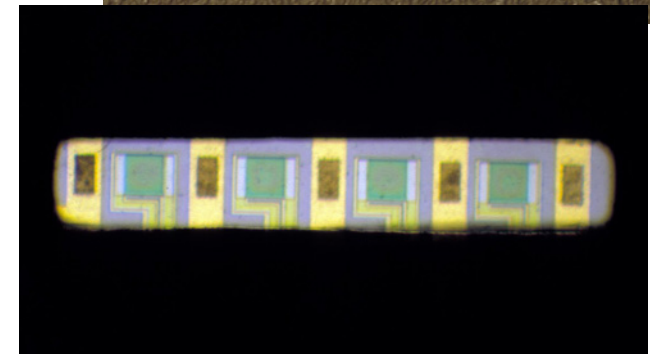
Einige Beispiele zur Gehäusung von ISFET-Sensoren



lokaler Verguß



Glob-Top



vorgefertigte Gehäuse

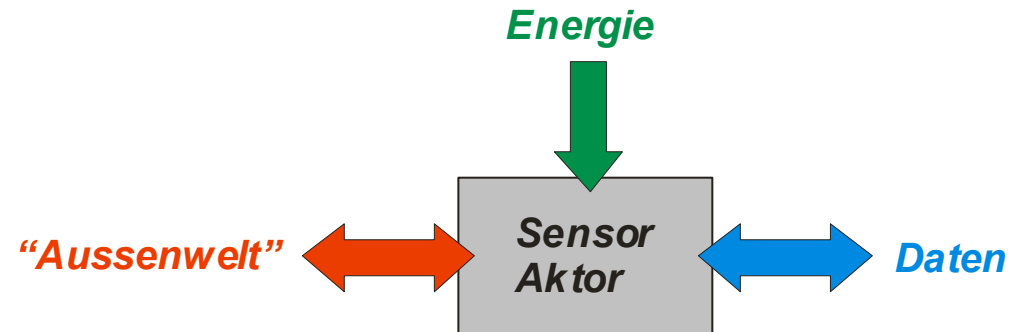
Systemintegration - Integrationsstrategien

Einige Aspekte und Fragen zu Schnittstellen

Wir nehmen wiederum Sensoren und Aktoren als Beispiel.

Die Funktionsanalyse eines typischen Sensors oder Aktors ergibt die folgenden Schnittstellen:

1. Kopplung zur Außenwelt
2. Energieversorgung
3. Datentransfer



Jede Schnittstelle hat wiederum ihre spezifischen Anforderungen, die in Summe den praktischen Entwurf definieren !

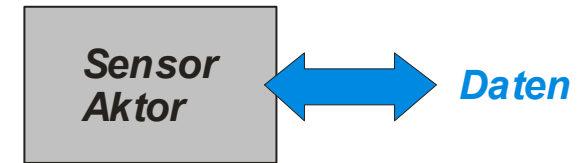
Im folgenden einige Beispiele zu

- *Energieversorgung*
- *Datentransfer*

Systemintegration - Integrationsstrategien

Einige mögliche Anforderungen und Fragestellungen zur Datenschnittstelle

- analoges oder digitales Eingangssignal/Ausgangssignal ?
- Art des Signals (elektrisch, optisch, drahtlos,...) ?
- Übertragungssicherheit und Redundanz ?
- Adressierbarkeit und Programmierbarkeit ?
- zulässige „number of wires“ ?
- ...



Die genannten Punkte bestimmen entscheidend die im Sensor/Aktor zu integrierende Signalverarbeitung und Schnittstellenanpassung (damit Partitionierung und Integration).

Einige Beispiele...

Systemintegration - Integrationsstrategien

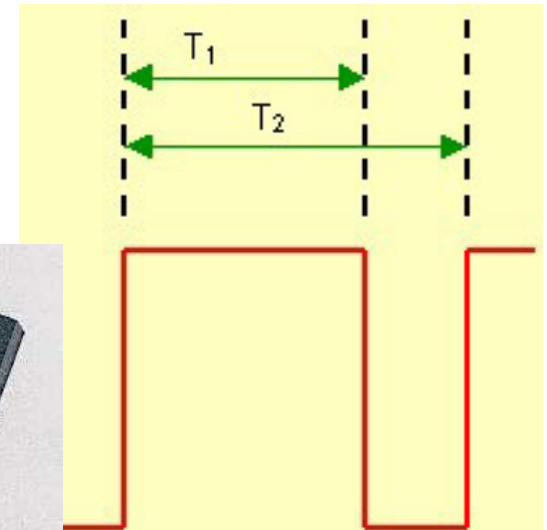
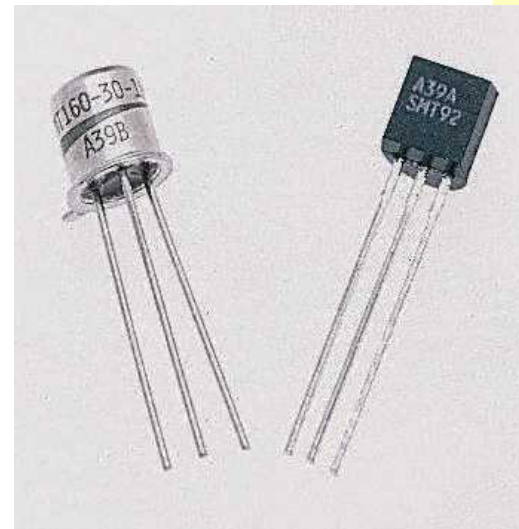
Monolithische Integration von Signalverarbeitung und Datenschnittstelle – ein Beispiel

Verschiedene Hersteller (z.B. Smartec oder Analog Devices) integrieren Temperatursensor und Tastverhältniswandlung monolithisch auf einem Chip. Das Tastverhältnis des digitalen Ausgangssignals ist ein direktes Maß für die gemessene Temperatur.

$$\frac{T_1}{T_2} = 0,32 + 0,0047 \cdot \vartheta [^{\circ}\text{C}]$$

Vorteile

- einfache monolithische Integration von Temperatursensor und Signalverarbeitung
- hohe Störsicherheit durch digitales Signal
- einfache Auswertung mittels Mikrocontroller
- keinerlei zusätzliche Elektronik erforderlich
- „quasi-analoges“ Ausgangssignal durch Tiefpaßfilterung einfach erhältlich



© Smartec

Systemintegration - Integrationsstrategien

Hybride Integration von Signalverarbeitung und Schnittstellenanpassung – ein Beispiel

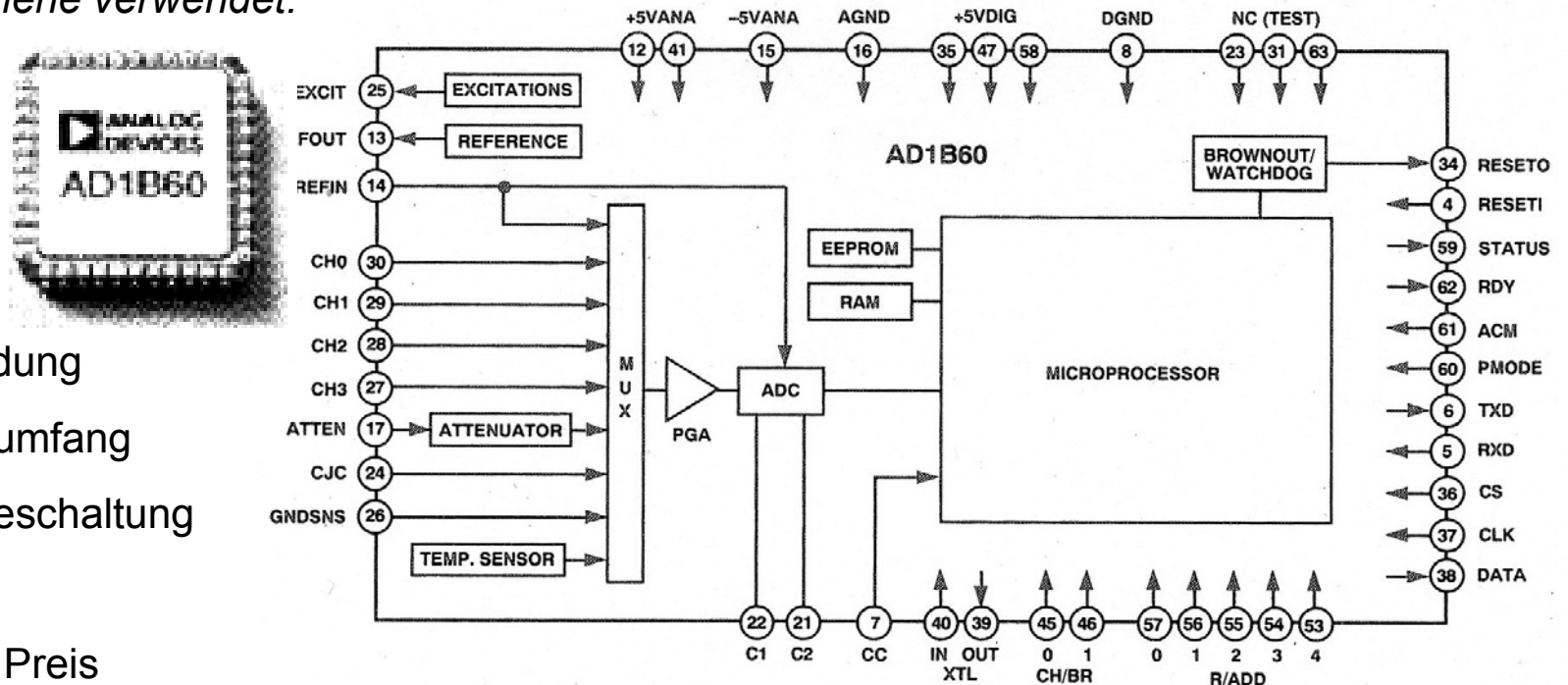
Verschiedene Hersteller bieten speziell konfigurierte ASICs bzw. Hybrid-Bausteine für die Signalverarbeitung und Schnittstellenanpassung an (hier z.B. der „historische“ AD1B60 von Analog Devices). In letzter Zeit werden für diesen Zweck vermehrt „reine“, d.h. frei programmierbare Mikrocontroller mit geeigneter Peripherie verwendet.

Vorteile

- hohe Flexibilität
- einfache Anwendung
- hoher Funktionsumfang
- geringe Zusatzbeschaltung

Nachteile

- häufig ein hoher Preis
- begrenzte Programmierbarkeit (im Vergleich zum „reinen“ Mikrocontroller)



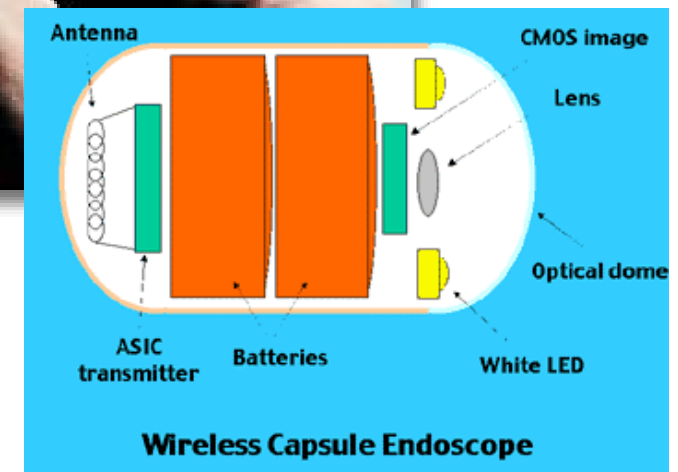
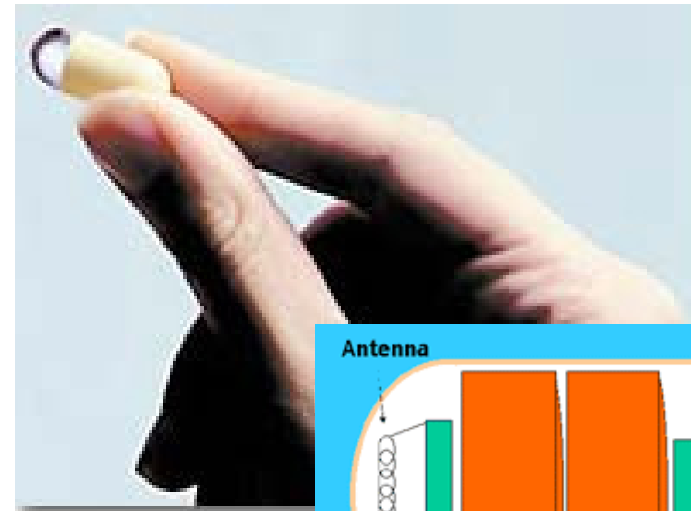
© Analog Devices

Systemintegration - Integrationsstrategien

Einige Beispiele für Sensoren mit Funkschnittstellen



*LKW-Reifendrucksensor
mit drahtloser Schnittstelle
© Wabco*



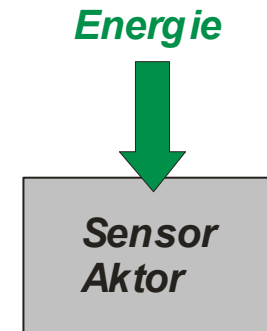
*CMOS-Kamera zur in-situ
Untersuchung des Darmtraktes
© Given Imaging*

Systemintegration - Integrationsstrategien

Einige mögliche Anforderungen und Fragestellungen zur Energieversorgung

- lokale Versorgung (Batterie, Solarzelle,...) oder externe Einspeisung ?
- welche Energieform (elektrisch, optisch,...) ?
- welches Übertragungsmedium (drahtgebunden, elektromagnetisch, optisch,...) ?
- kontinuierliche oder diskontinuierliche Versorgung ?
- Spannungspegel und Leistungsverbrauch ?
- ...

Wiederum nur einige Beispiele...

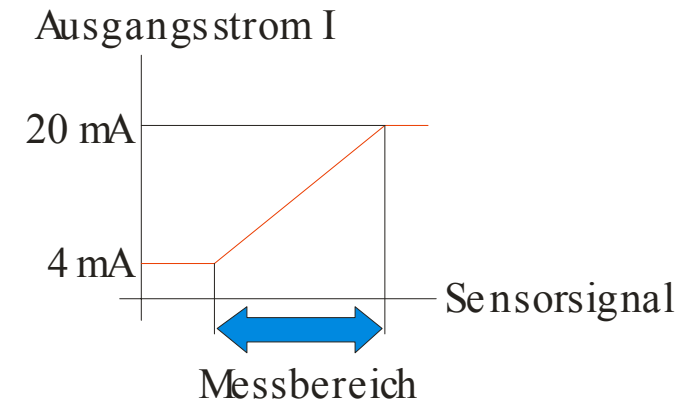


Systemintegration - Integrationsstrategien

Die 20 mA-Schnittstelle als Beispiel einer drahtgebundenen Fernspeisung

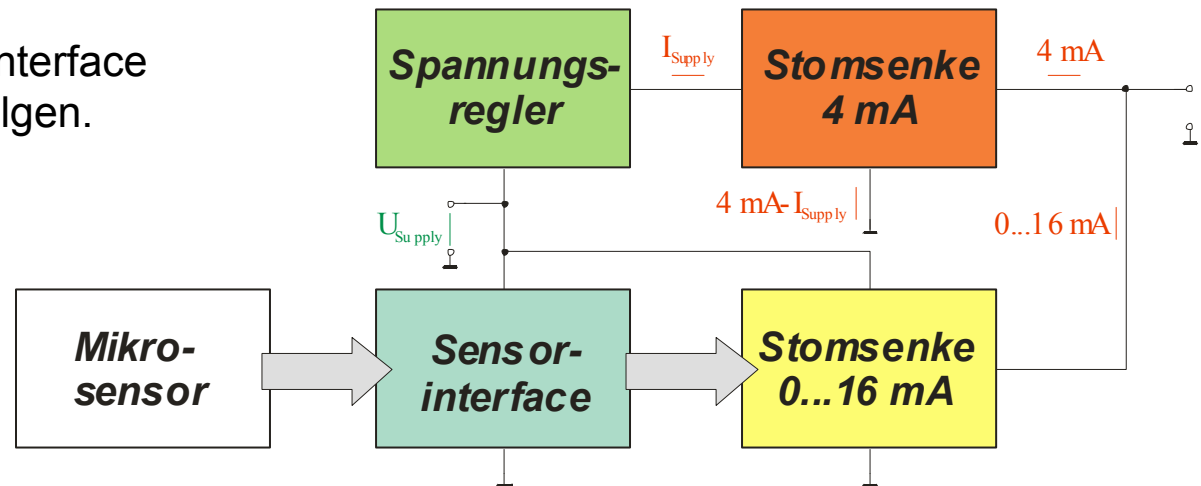
Eigenschaften

- Die Schnittstelle stelle eine Stromsenke dar.
- Es fließt ständig ein „Grundstrom“ von 4 mA.
- Das Sensorsignal (unipolar oder bipolar) wird für alle Sensoren einheitlich auf einen Strombereich von 4...20 mA abgebildet.



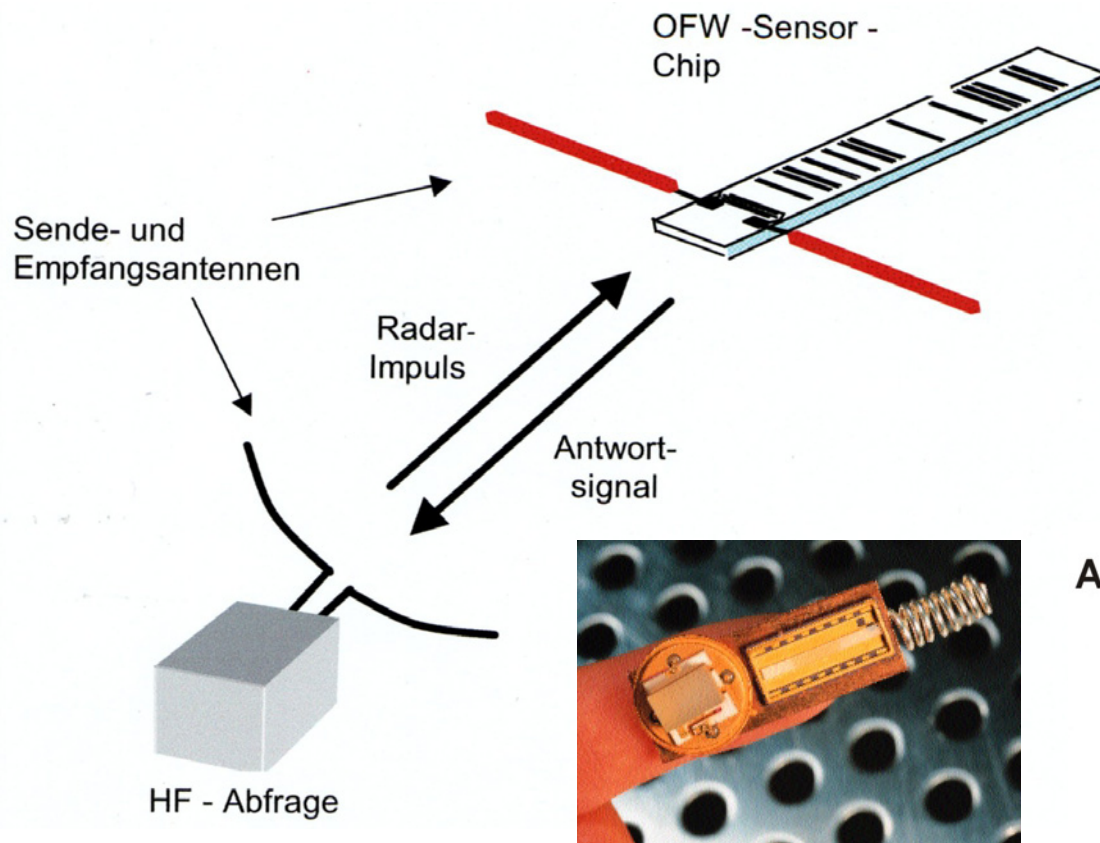
Vorteile

- Die Energieversorgung des Sensorinterface kann aus der Datenschnittstelle erfolgen.
- echter Zweidrahtbetrieb
- Erkennung von Drahtbruch (Ausfall des Grundstroms)
- Kompensation der Leitungslänge durch die Stromspeisung.

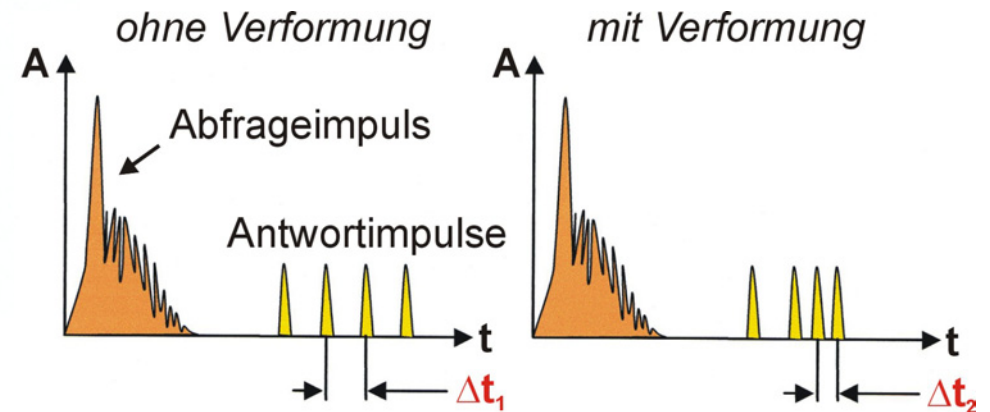


Systemintegration - Integrationsstrategien

„Passives“ Sensorsystem mit kombinierter hochfrequenter Energieversorgung und Datenübertragung



Die Oberflächenwellen(OFW)-Sensoren der Firma Siemens reagieren auf mechanische Verformung (z.B. Wärmedehnung) mit einer Änderung ihres hochfrequenztechnischen Verhaltens. Die Sensoren „reflektieren“ ihre Impulsantwort. Als Reaktion auf einen hochfrequenten Abfrageimpuls entsteht ein Impulstelegramm, dessen Zeitabstände die sensorische Information beinhalten.

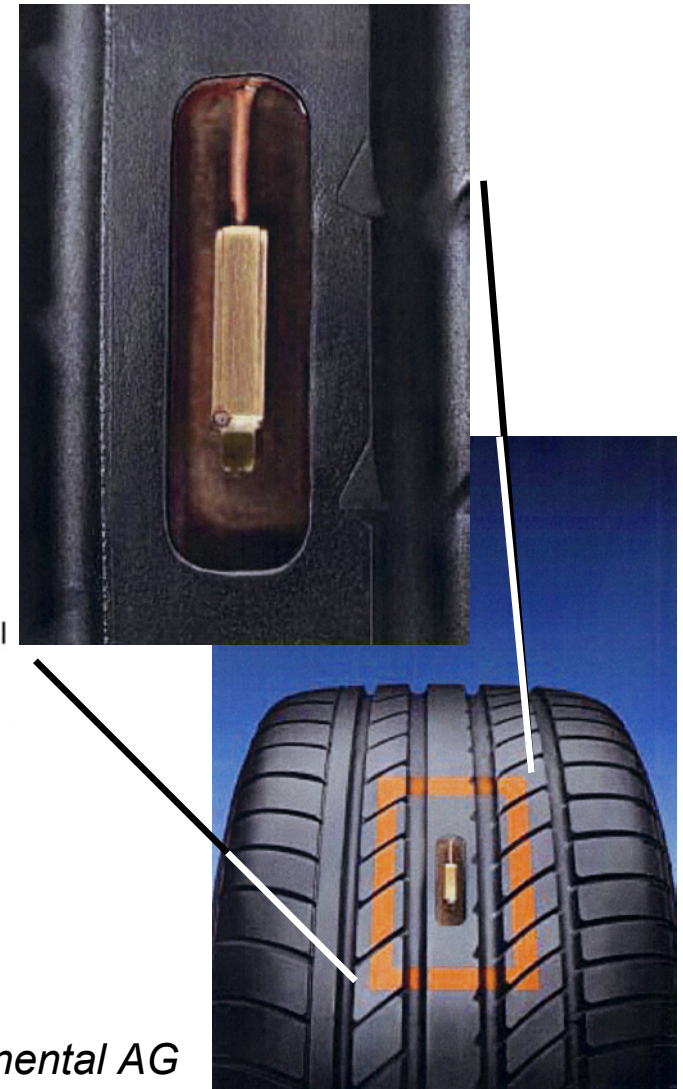
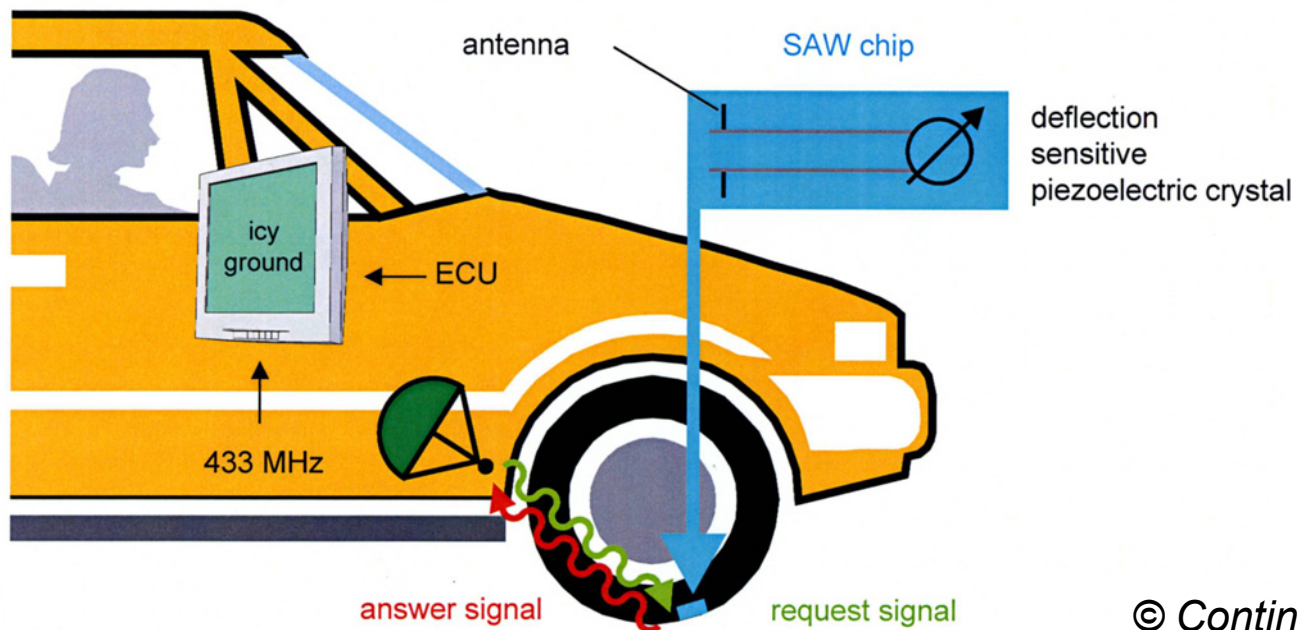


Systemintegration - Integrationsstrategien

Der Continental-Reifensensor

Meßgrößen

- Reifendruck (kommendes Reifenversagen)
- Reibwert zur Strasse (Eiswarnung)



© Continental AG

Systemintegration - Integrationsstrategien

Zusammenfassung: Welche Auswirkungen hat die Wahl von Partitionierungs- und Integrationsstrategie ?

Die Entscheidung für ein bestimmtes Konzept ist fundamental und hat vielfältige Auswirkungen !

Die Partitionierungs- und Integrationsstrategie wird durch verschiedenste Faktoren beeinflusst bzw. nimmt Einfluß auf diese, so z.B.

- technische Aspekte (Performance, Eigenschaften, Einsatzbereich,...)
- kommerzielle Aspekte (Entwicklungskosten, Systempreis,...)
- „politische“ und strategische Aspekte (Fertigungsphilosophie, Marktstrategie,...)

Die Partitionierungs- und Integrationsstrategie darf nicht isoliert betrachtet werden. Sie muß integraler Bestandteil des gesamten Designprozesses sein, da sie nahezu ***alle technischen Aspekte*** der Systemintegration bestimmt. Zu nennen sind...

- das gesamte Design der Einzelkomponententen,
- die verwendbaren Fertigungstechnologien,
- die gesamte Aufbau- und Verbindungstechnik,
- die Gestaltung der internen und externen Schnittstellen.

Systemintegration – Modellierung und Optimierung

Kapitel 3: Modellierung und Optimierung

Systemintegration – Modellierung und Optimierung

„Ich modelliere, also bin ich ?!“

Das Erdenken von „Modellen“ ist zutiefst menschlich !



*Die Göttin Nut als Personifikation des Himmels
Totenbuch der Nesitanebtaschru, Tochter des Pinudjem I.,
König von Oberägypten, ca. 1065 - 1045 v. Chr.*

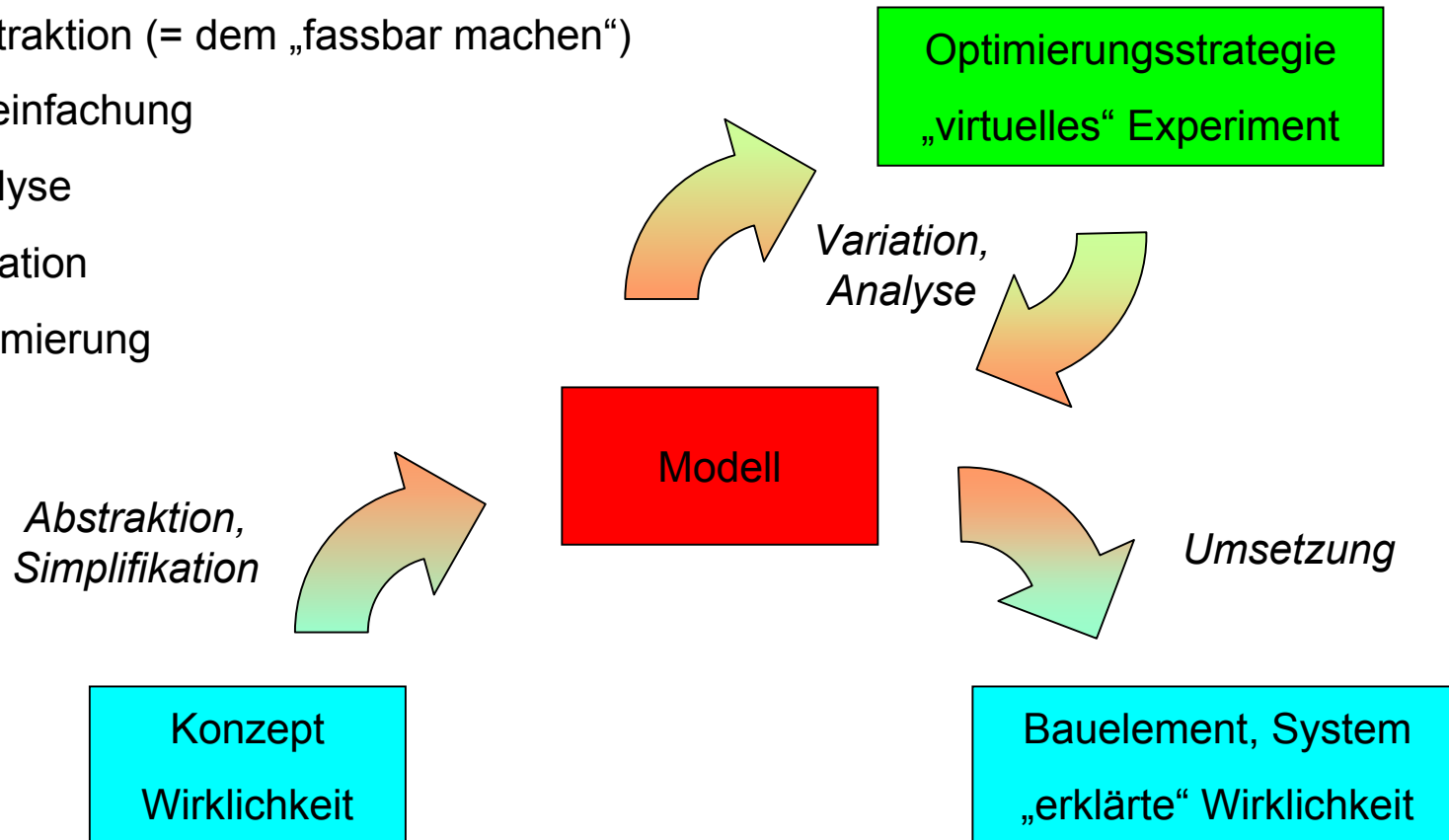


*B.F. Skinner, „Futurum 2“
Das Modell einer
behaviouristischen Gesellschaft*

Systemintegration – Modellierung und Optimierung

Wozu dienen technische Modelle ?

- Abstraktion (= dem „fassbar machen“)
- Vereinfachung
- Analyse
- Variation
- Optimierung



Systemintegration – Modellierung und Optimierung

Welche Art von Modellen kennen wir ?

Graphische Modelle

- Funktionsschema
- Zustandsdiagramm
- ...

Mathematische Modelle

- Zustandstabellen
- „Übertragungsfunktion“
- Analogien
- ...

(diskrete) numerische Modelle

- Struktursimulation (z.B. FEM)
- Fluidsimulation,
- ...

Die Art des Systems und das Ziel der Analyse bestimmen die Art des Modells !

Systemintegration – Modellierung und Optimierung

Wie „modellieren“ wir in der Systemintegration ?

- | | |
|--------------------------|--|
| 1. Funktionsschema | graphisches Abbild der Interaktionen und Ströme |
| 2. physikalische Gesetze | Beschreibung der grundlegenden Zusammenhänge |
| 3. Wirkprinzipien | Anpassung der Physik an die Systemgegebenheiten |
| 4. Blockschaltbild | Funktionsschema mit integrierten Wirkprinzipien |
| 5. Systemanalyse | Simulationen, Analysen auf der Basis des Blockschaltbildes |

Systemintegration – Modellierung und Optimierung

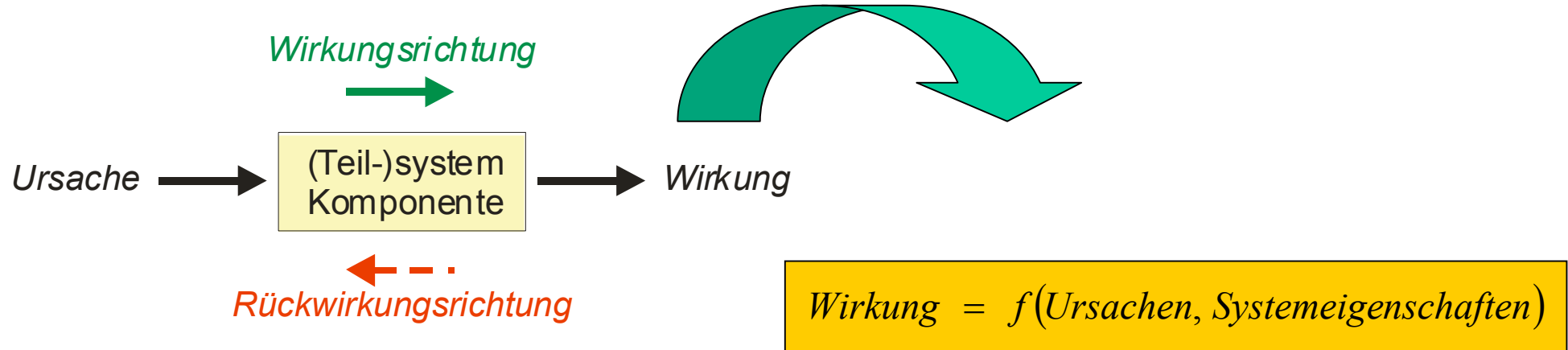
Wirkprinzipien und Kausalzusammenhänge

Im Rahmen der Funktionsanalyse erstellen wir ein Funktionsschema. Dieses versinnbildlicht u.a. auch...

.....**den Kausalzusammenhang**....

...der verschiedenen Teilsysteme bzw. Einzelkomponenten.

Die mathematische Modellierung der Kausalzusammenhänge geschieht mit Hilfe der Wirkprinzipien. Dies gilt für die (gewünschte) Wirkungsrichtung ebenso wie für die (in der Regel unerwünschte) Rückwirkungsrichtung.



Systemintegration – Modellierung und Optimierung

Physikalische Effekte und Wirkprinzipien - Wiederholung

Physikalische Effekte...

...beschreiben lediglich die durch die Physik (Chemie, Biologie,...) gegebene Abhängigkeit und Zuordnung der beteiligten Größen (Energie, Stoffe, Information).

Wirkprinzipien...

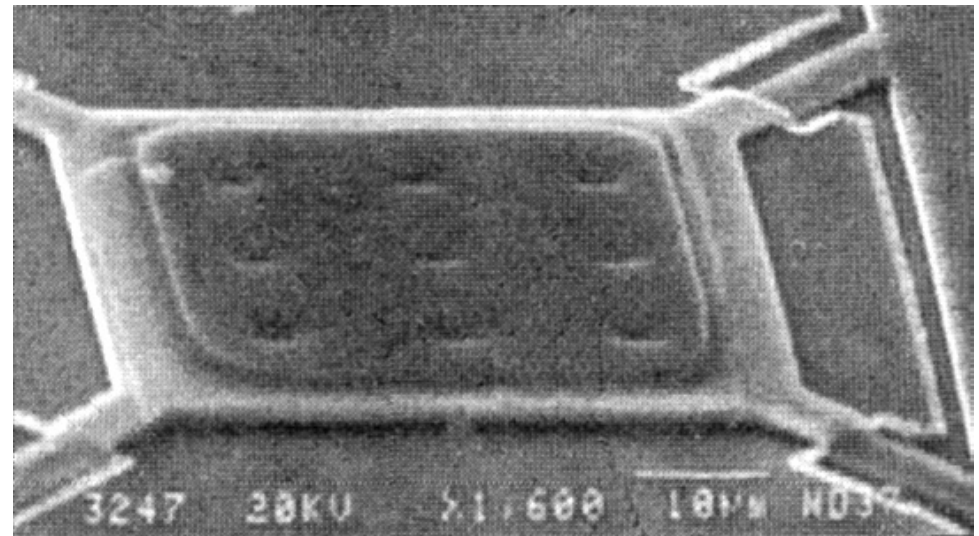
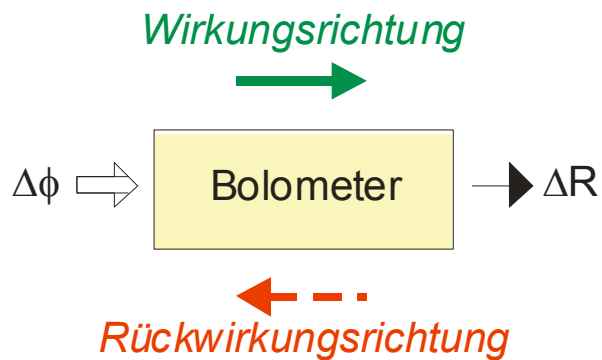
...beschreiben Abhängigkeiten und Zuordnungen der beteiligten Größen **für ein bestimmtes System**. Sie beziehen zusätzlich...

- ➡ Werkstoffeigenschaften
- ➡ Geometrie und
- ➡ Bewegungsmechanismen.....des Systems mit ein.

Systemintegration – Modellierung und Optimierung

Von der Physik zum (analytischen) Modell – Beispiel IR-Bolometer

Wir analysieren, modellieren und optimieren das Verhalten der IR-Bolometer des IMEC.
Die Daten stammen aus Sensors & Actuators A66 (1998), pp. 193-199.



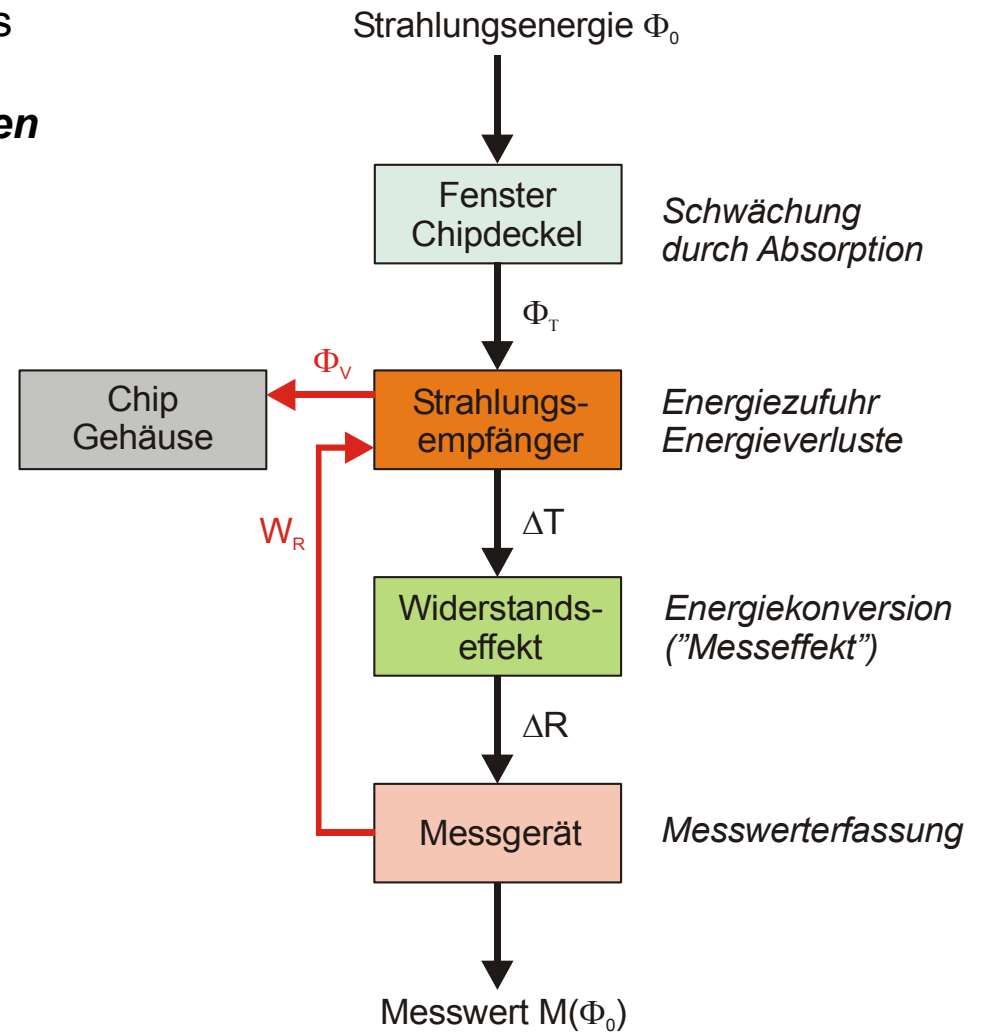
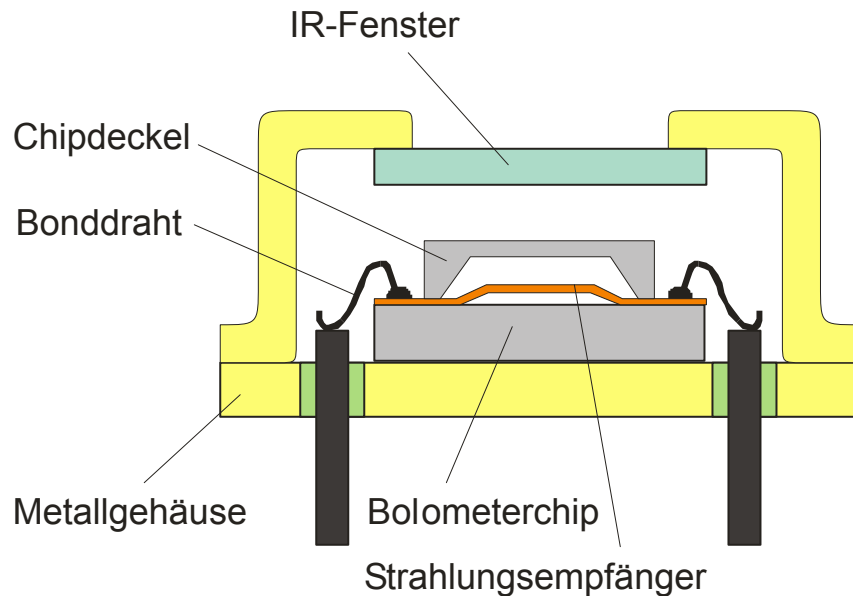
Funktionsprinzip

Die Bolometer des IMEC bestehen aus quadratischen Strahlungsempfängern, die freischwebend - und damit thermisch gut isoliert - an zwei Balken über dem Siliziumsubstrat hängen. Das Strukturmaterial ist „dünnes“ SiGe (Dicke 100...1000 nm), dessen elektrischer Widerstand R von der Temperatur der Absorberfläche und damit von der eingestrahlten Wärmeleistung Φ abhängt.

Systemintegration – Modellierung und Optimierung

Die thermischen Systemeigenschaften des Bolometers

Wir erstellen zunächst ein Modell für die **thermischen Systemeigenschaften** des Bolometers:



Systemintegration – Modellierung und Optimierung

(Mögliche) physikalische Prinzipien der Funktionsblöcke

1. Fenster und Chipdeckel

- *Reflektion*
- *Absorption*

$$\begin{aligned}\Phi_R &= r \cdot \Phi_0 \\ \Phi_T &= \Phi_0 \cdot \exp(-\alpha \cdot d)\end{aligned}$$

2. Strahlungsempfänger

- *Reflektion und Absorption*
- *Wärmestrahlung*
- *Wärmeleitung*

$$\begin{aligned}\Phi_E &= \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T^4 - T_U^4) \\ d \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right) &= -\lambda \cdot \text{grad}(T) \cdot d \cdot A\end{aligned}$$

3. Widerstandseffekt

- *Materialgesetz für SiGe*

$$\rho(T) = \rho_0 \cdot \exp\left(\frac{E_A}{k \cdot T}\right)$$

4. Messgerät

- *Übertragungsfunktion*

$$z.B. \quad U = R \cdot I$$

Systemintegration – Modellierung und Optimierung

Vom physikalischen Prinzip zum Wirkprinzip

Das Wirkprinzip bezieht die Eigenschaften des Systems mit ein.

Wie erhält oder beschreibt man die Systemeigenschaften ? Durch...

- bekannte Materialparameter,
- bekannte Geometrieparameter,
- Messergebnisse,
- Experimente,
- Simulationsergebnisse,....

Systemintegration – Modellierung und Optimierung

Modellbildung auf der Basis von bekannten Material- und Geometrieparametern

Frage: Auf welchem Wirkprinzip beruht die Transmission durch das IR-Fenster (z.B. CaF_2) ?

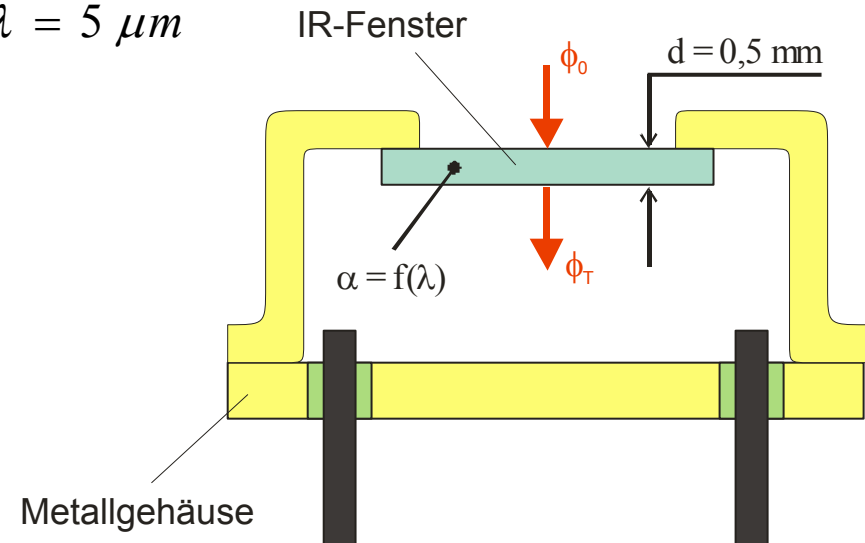
- physikalisches Prinzip

$$\Phi_T = \Phi_0 \cdot \exp(-\alpha \cdot d)$$

- Materialparameter CaF_2 $\alpha = 0,062 \text{ 1/mm}$ bei $\lambda = 5 \mu\text{m}$
- Geometrieparameter CaF_2 $d = 0,5 \text{ mm}$

$$\Rightarrow \Phi_T = 0,94 \cdot \Phi_0$$

*„Das war aber einfach.“....schade,
dass es nur selten so funktioniert !*



Systemintegration – Modellierung und Optimierung

Modellbildung durch Abstraktion und Vereinfachung

Frage: Wie ist das thermische Verhalten des Strahlungsempfängers ?

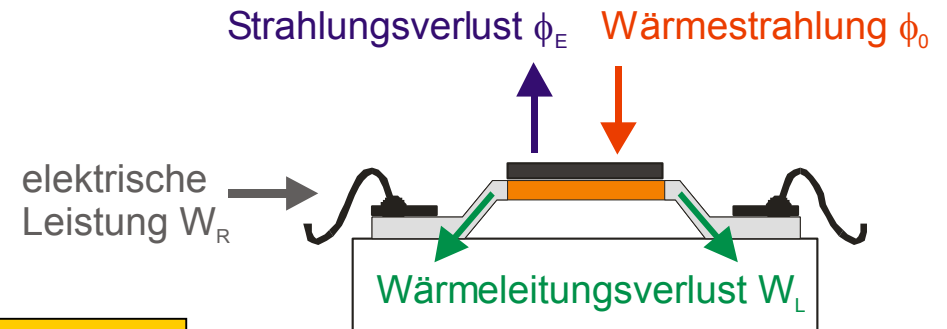
(mögliche) physikalische Prinzipien

- Wärmestrahlung
- Wärmeleitung
- Elektrische Leistung

$$\Phi_E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T^4 - T_U^4)$$

$$d \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right) = - \lambda \cdot \text{grad}(T) \cdot dA$$

$$W_R = U_B \cdot I_B$$



Das vollständige Modell lautet damit:

$$\Phi(t) + W_R(t) = W(t) = C \cdot \frac{d(T - T_U)}{dt} + G \cdot [T(t) - T_U] + \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot [T^4(t) - T_U^4]$$

Systemintegration – Modellierung und Optimierung

Simplifikation - Wie vereinfachen wir unser Modell ?

Frage: Muß der Verlust durch Wärmestrahlung wirklich berücksichtigt werden ?

Wir wollen geringe Strahlungspegel messen. Dies bedeutet, daß sich die aktive Fläche des Bolometers wohl nur sehr gering über die Umgebungstemperatur erwärmen wird. Strahlungsverluste können dadurch in erster Näherung gegenüber den Wärmeleitungsverlusten vernachlässigt werden.

Das vereinfachte Modell lautet damit:

$$\Phi(t) + W_R(t) = W(t) = C \cdot \frac{d(T - T_U)}{dt} + G \cdot [T(t) - T_U]$$

$\Phi(t)$Strahlungs leistung

$W_R(t)$...elektri sche Leistung vom Messgerät

C thermische Kapazität des Empfängers

G thermische r Leitwert der Aufhängung

$T(t)$Tempe ratur des Strahlungs empfängers

T_UUmgebungstemp eratur

Systemintegration – Modellierung und Optimierung

Experimente zur Ermittlung von Modellparametern (= Systemeigenschaften)

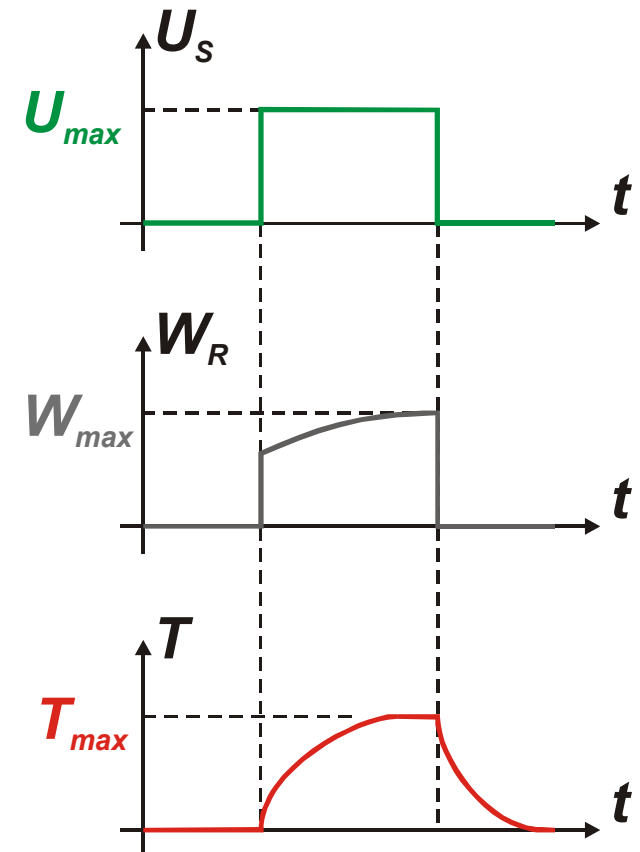
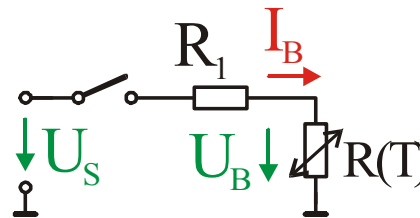
*Frage: Wie groß ist unser Systemparameter G ?
(die thermische Leitfähigkeit)*

Wir nutzen die Tatsache, dass das Bolometer auf Strahlung **und** auf elektrische Leistung reagiert !

Durch Anlegen eines genügend langen Spannungspulses U_S treiben wir die Mikrostruktur in ein thermisches Ungleichgewicht.
Nach Bestimmung von $T_{\max}$ über $R(T)$ erhält man:

$$W_{\max} = \underbrace{C \cdot \frac{d(T - T_U)}{dt}}_{\rightarrow 0} + G \cdot [T_{\max} - T_U]$$

$$\Rightarrow G = \frac{W_{\max}}{T_{\max} - T_U} \approx 4,3 \cdot 10^{-6} \frac{W}{K}$$



Systemintegration – Modellierung und Optimierung

Ein nichtlineares Problem

Frage: Wie groß ist unser Systemparameter C (die thermische Kapazität) ?

Wir können C leider nicht direkt aus unserem Experiment bestimmen, da mit diesem Aufbau eine **Rückwirkung** zwischen eingespeister Leistung W_R und Widerstand $R(T)$ besteht:

$$R(T) = R_0 \cdot \exp\left(\frac{E_a}{kT}\right) \quad W_R = U_B \cdot I_B = \frac{U_B^2}{R(T)} \quad W(T) = C \cdot \frac{d(T - T_U)}{dt} + G \cdot [T - T_U]$$

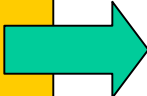
$$\Rightarrow C \cdot \frac{d(T - T_U)}{dt} = \frac{V_B^2 \cdot R(T_U) \cdot \exp\left(\frac{E_a}{kT} - \frac{E_a}{kT_U}\right)}{\left[R(T_U) \cdot \exp\left(\frac{E_a}{kT} - \frac{E_a}{kT_U}\right) + R_1^2\right]^2} - G \cdot (T - T_U)$$

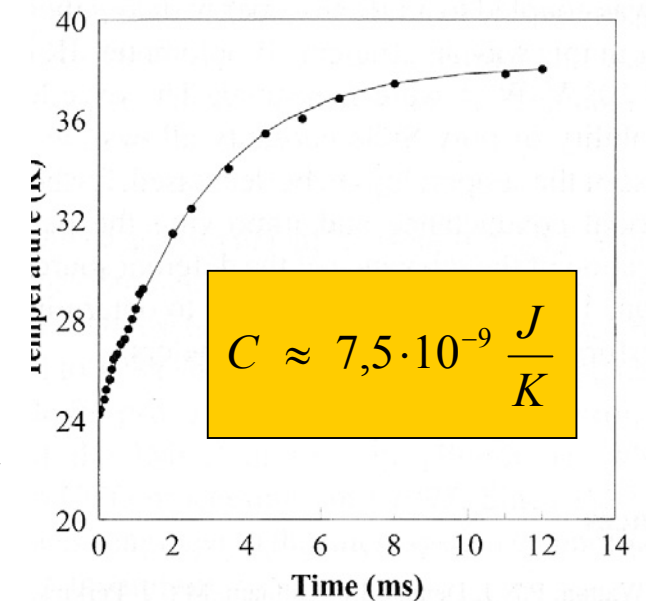
Systemintegration – Modellierung und Optimierung

Wie löst man nichtlineare Probleme ?

1. Linearisieren und integrieren
2. numerische Lösung

Die numerische Integration liefert hier für einen bestimmten Wert des Parameters C einen „best fit“ für das Messergebnis T(t).

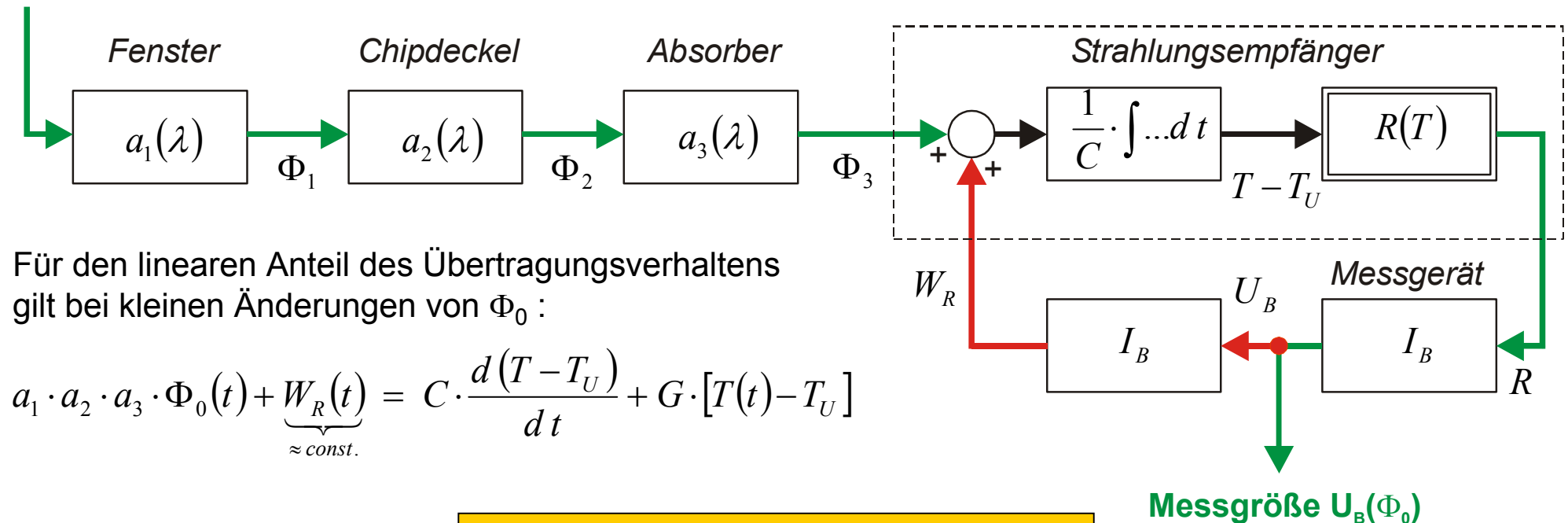
$$C \cdot \frac{d(T - T_U)}{dt} = \frac{V_B^2 \cdot R(T_U) \cdot \exp\left(\frac{E_a}{kT} - \frac{E_a}{kT_U}\right)}{\left[R(T_u) \cdot \exp\left(\frac{E_a}{kT} - \frac{E_a}{kT_U}\right) + R_1^2\right]^2} - G \cdot (T - T_U)$$




Systemintegration – Modellierung und Optimierung

Detailliertes Blockschaltbild des Bolometers

Strahlungsenergie Φ_0



Nach Laplace-Transformation erhält man die Übertragungsfunktion:

$$T(p) - T_U = \frac{a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot \Phi_0(p) + W_R}{G \cdot \left(1 + p \cdot \frac{C}{G}\right)}$$

Systemintegration – Modellierung und Optimierung

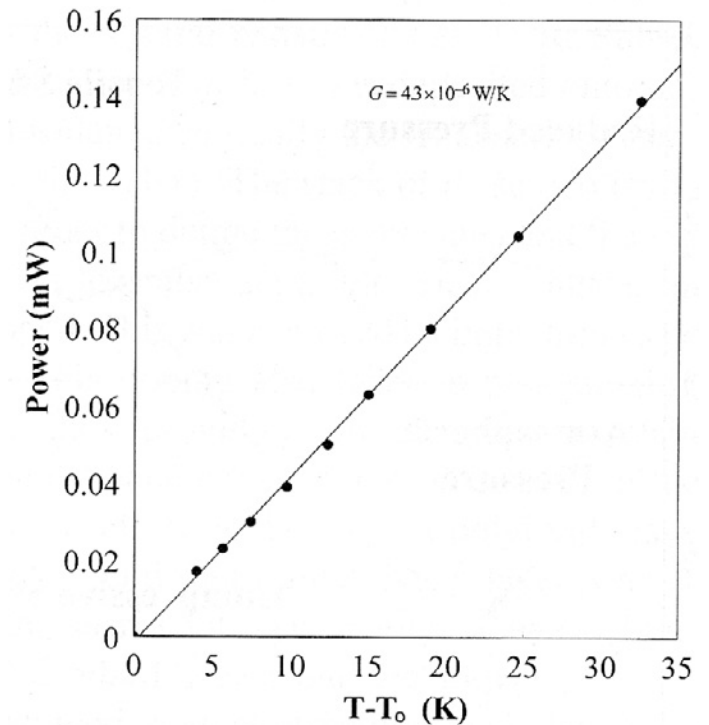
Verifikation des Modells

Frage: War unsere Vereinfachung (Wegfall der Strahlungsverluste) gerechtfertigt ?

Bei Strahlungspegeln in der Größenordnung von μW gilt:

$$T_{\max} - T_U = \frac{W_{\max}}{G}$$

$$\left. \begin{array}{l} W_{\max} = 10^{-6} \text{ W} \\ G = 4,3 \cdot 10^{-6} \text{ W/K} \end{array} \right\} \Rightarrow T - T_U = 0,23 \text{ K}$$



$$\Rightarrow \Phi_{E,\max} = \underset{=1}{\varepsilon} \cdot \sigma \cdot A \cdot (T^4 - T_U^4) \approx 2,6 \cdot 10^{-9} \text{ W} \ll W_{\max}$$

Systemintegration – Modellierung und Optimierung

Modellbildung mit Hilfe physikalischer Analogien

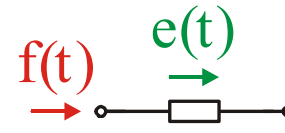
Thermische, fluidische, mechanische oder elektrische Systeme können in ihrem Verhalten vereinheitlicht betrachtet werden. Man geht dabei von folgender Beobachtung aus:

1. Es existieren stets

- Potentialgrößen $e(t)$ (z.B. *elektrisches Potential, Druck, Temperatur,...*)
- Flussgrößen $f(t)$ (z.B. *elektrischer Strom, Massenstrom, Wärmestrom,...*)

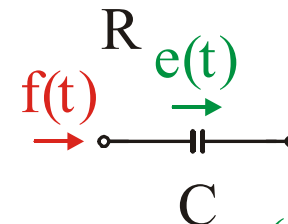
2. Die Elemente dieser Systeme wirken als...

- energieverzehrendes Element („Widerstand“)



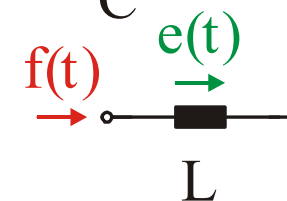
$$e(t) = R \cdot f(t)$$

- potentielle Energie speicherndes Element („Kapazität“)



$$e(t) = \frac{1}{C} \cdot \int f(t) \cdot dt$$

- kinetische Energie speicherndes Element („Induktivität“)



$$f(t) = \frac{1}{L} \cdot \int e(t) \cdot dt$$

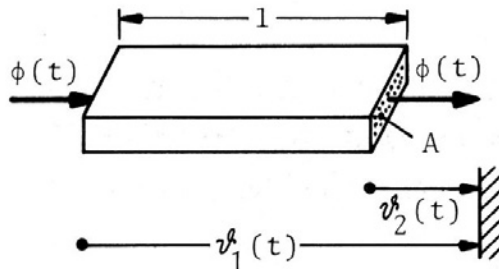
Systemintegration – Modellierung und Optimierung

Analogiemodelle für thermische Systeme

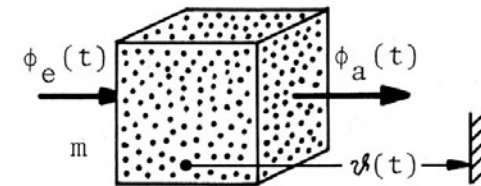
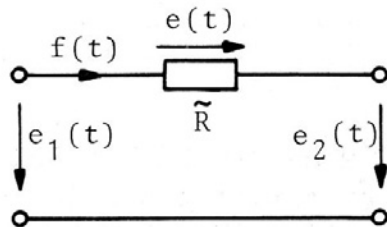
1. Potential- und Flussgrößen

- Potentialgröße $e(t)$ *Temperatur $T(t)$*
- Flussgröße $f(t)$ *Wärmestrom $\phi(t)$*

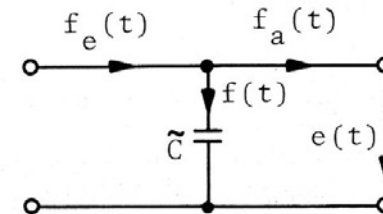
2. Relevante thermische Elemente



thermischer Widerstand: $R = \frac{l}{\lambda \cdot A} = \frac{1}{G}$



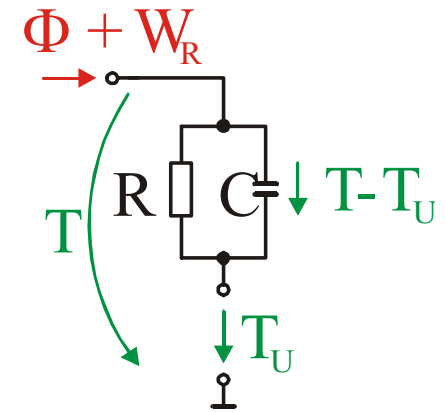
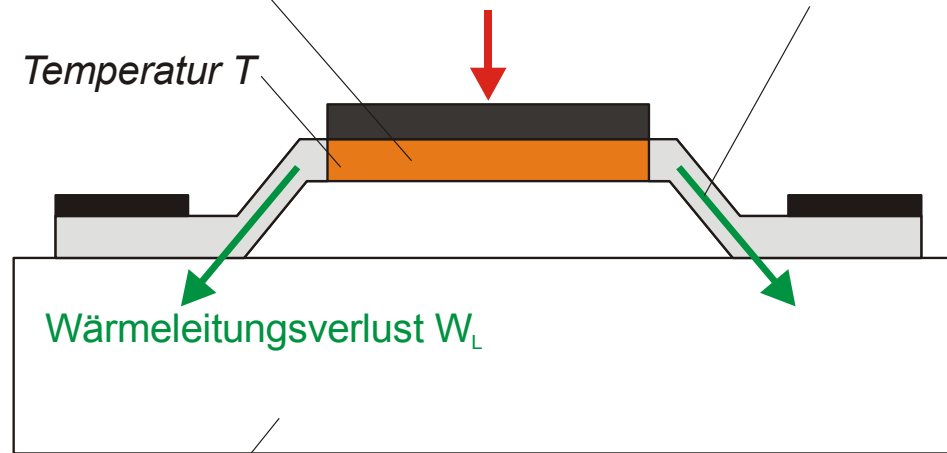
thermische Kapazität: $C = m \cdot c$



Systemintegration – Modellierung und Optimierung

Ein Analogiemodell für unser Bolometer

thermische Kapazität C Wärmestrom $\Phi + W_R$ thermischer Widerstand R



$$\Rightarrow T - T_U = \frac{R \cdot \frac{1}{p \cdot C}}{R + \frac{1}{p \cdot C}} \cdot (\Phi + W_R) = \frac{1}{G \cdot \left(1 + p \cdot \frac{C}{G}\right)} \cdot (\Phi + W_R)$$

Systemintegration – Modellierung und Optimierung

Methoden zur Designoptimierung

1. „Prädiktives“ bzw. „wissensbasiertes“ Vorgehen

- Analyse des Modells in Hinblick auf das gewünschte Verhalten
- Extraktion der kritischen Parameter (Geometrie, Werkstoffeigenschaften,...)
- Optimierung der kritischen Parameter
- „Übersetzung“ der kritischen Parameter in die reale Welt (Geometrieauslegung, Werkstoffwahl,...)

2. „Iteratives“ bzw. „evolutionäres“ Vorgehen

- Festlegung von Kenngrößen für das gewünschte Verhalten
- Festlegung eines Ausgangszustandes (Geometrie, Werkstoffeigenschaften,...)
- Variation des Zustandes
- Prüfung auf Verbesserung
- Falls keine weitere Verbesserung, weitere Variation

Systemintegration – Modellierung und Optimierung

Eine prädiktive Strategie zur geometrischen Optimierung unseres Bolometers

Unser Ziel ist ein möglichst empfindliches, schnelles und mechanisch robustes Bolometer.

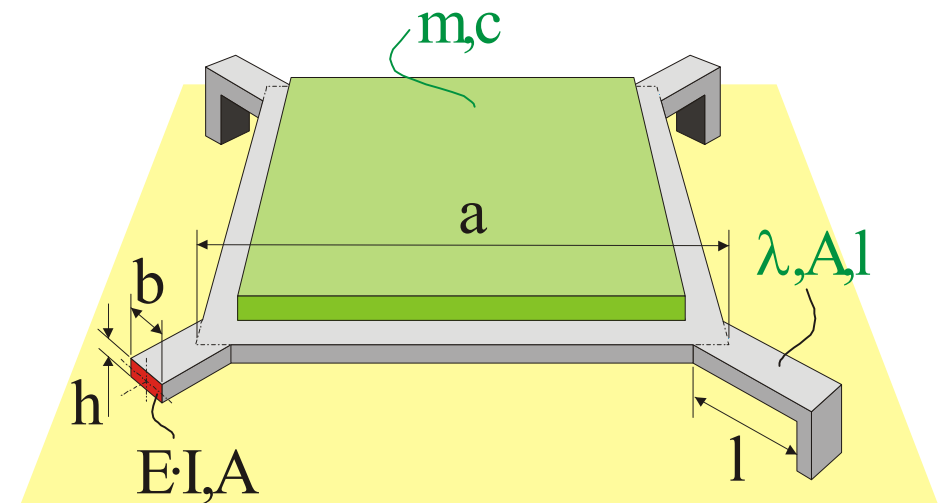
$$T(p) - T_U = \frac{1}{G} \cdot \frac{a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot \Phi(p) + W_R}{1 + p \cdot \frac{C}{G}}$$

1. Thermische Empfindlichkeit S_0 des Bolometers

$$S_0 = \frac{a_1 \cdot a_2 \cdot a_3}{G} = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot \frac{l}{\lambda \cdot (4 \cdot A)}$$

2. Thermische Zeitkonstante τ des Bolometers

$$\tau = \frac{C}{G} = \frac{m \cdot c \cdot l}{\lambda \cdot (4 \cdot A)}$$



Für die Optimierungsgrößen gilt damit:

$$S_0 \approx \frac{l}{A}$$

$$\tau \approx \frac{a^2 \cdot h \cdot l}{A}$$

Systemintegration – Modellierung und Optimierung

Die mechanischen Systemeigenschaften des Bolometers

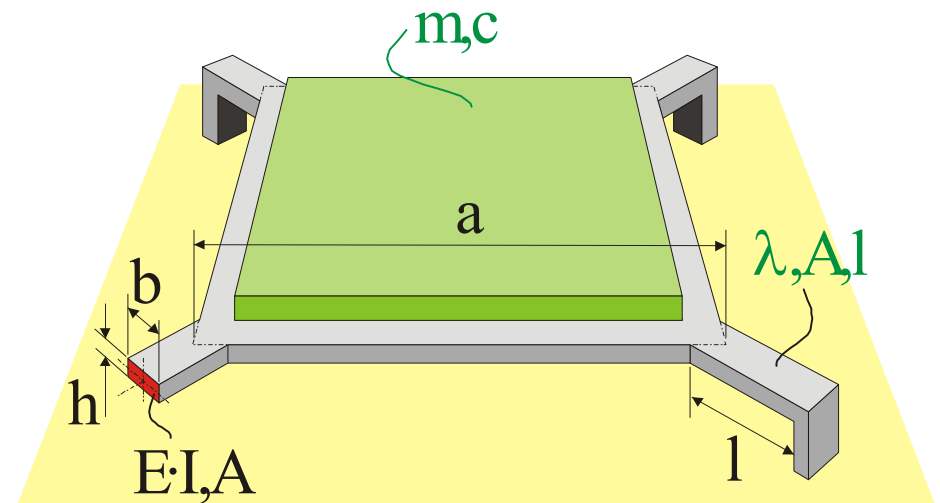
Aus der technischen Mechanik kennen wir das Verhalten von Platte und Biegebalken unter Last:

1. Durchsenkung einer an den Ecken gelagerten Platte unter der Flächenlast q :

$$w_{\max} = \alpha \cdot \frac{q \cdot (1 - \nu^2)}{E} \cdot \frac{a^4}{h^3}$$

2. Durchsenkung eines beidseitig fest eingespannten Rechteckbalkens unter der Last F :

$$w_{\max} = \frac{F}{12 \cdot E} \cdot \frac{l^3}{I} = \frac{F}{E} \cdot \frac{l^3}{A \cdot h^2}$$



Für die mechanische Steifigkeit gilt damit:

$$\frac{1}{w_{\text{Platte}}} \approx \frac{h^3}{a^4}$$

$$\frac{1}{w_{\text{Balken}}} \approx \frac{A \cdot h^2}{l^3}$$

Systemintegration – Modellierung und Optimierung

Anforderungen an die relevanten Designparameter

$$S_0 \approx \frac{l}{A}$$

$$\tau \approx \frac{a^2 \cdot h \cdot l}{A}$$

$$\frac{1}{w_{Balken}} \approx \frac{A \cdot h^2}{l^3}$$

$$\frac{1}{w_{Platte}} \approx \frac{h^3}{a^4}$$

	Balkenfläche A	Plattenmass a	Balkenlänge l	Strukturhöhe h
hohe Empfindlichkeit S_0	klein	-----	gross	klein
kleine Zeitkonstante τ	gross	klein	klein	klein
hohe Steifigkeit $1/w_{Balken}$	gross	-----	klein	gross
hohe Steifigkeit $1/w_{Platte}$	-----	klein	-----	gross

Systemintegration – Modellierung und Optimierung

Dimensionierung und Optimierung

	Balkenfläche A	Plattenmass a	Balkenlänge l	Strukturhöhe h
hohe Empfindlichkeit S_0	klein	-----	gross	klein
kleine Zeitkonstante τ	gross	klein	klein	klein
hohe Steifigkeit $1/w_{\text{Balken}}$	gross	-----	klein	gross
hohe Steifigkeit $1/w_{\text{Platte}}$	-----	klein	-----	gross

Dimensionierung und Optimierung

- **Balkenquerschnitt A :** Kompromisswert, da ein nichtlösbarer Zielkonflikt für S_0 und τ besteht
- Empfindlichkeit S_0 Vergrösserung der **Balkenlänge l .**
- Zeitkonstante τ Verkleinerung der **Strukturhöhe h** , um Δl zu kompensieren ($\tau \approx h \cdot l$).

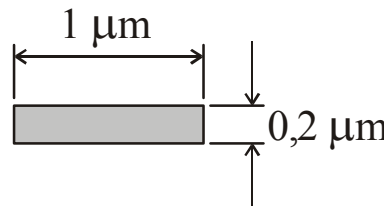
Problem

Bei diesem Design nimmt mit bei Zunahme von l und Abnahme von h die mechanische Steifigkeit ab !!
 Die Frage ist: **Wie ist trotzdem eine mechanisch steifere Struktur zu erreichen ?**

Systemintegration – Modellierung und Optimierung

Die zweite Bolometer-Generation des IMEC – steife Strukturen bei kleiner Strukturhöhe

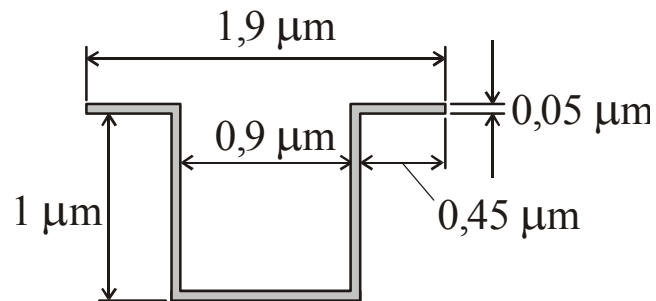
*Ein exzellentes Beispiel für ein konsequentes „mechanical engineering“ !“ Es werden U-Profile für die Balkenaufhängung **und** zur Versteifung der Membran eingesetzt. Ein Vergleich ergibt Überraschendes...*



$$A = 0,2\ \mu\text{m}^2$$

$$I = 0,008\ \mu\text{m}^4$$

$$\tau \approx 33\ \text{ms}$$

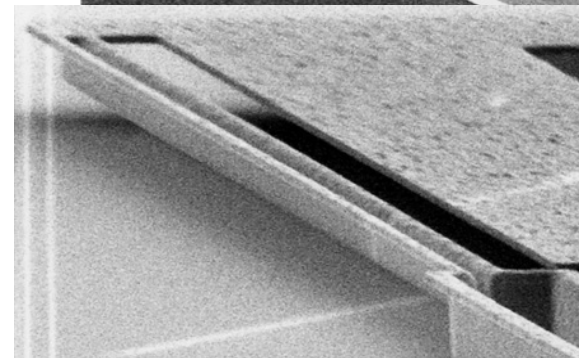
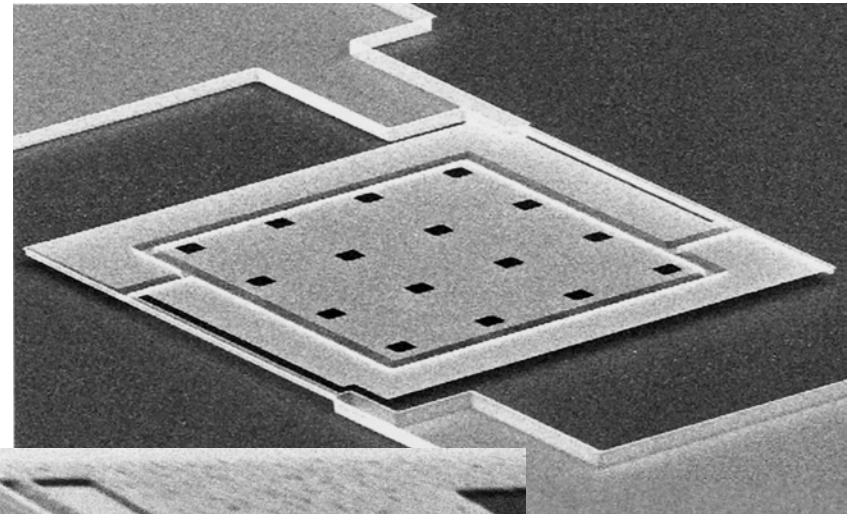


$$A = 0,2\ \mu\text{m}^2$$

$$I = (50 \cdot 0,008)\ \mu\text{m}^4$$

$$\tau \approx (33 / 4)\ \text{ms}$$

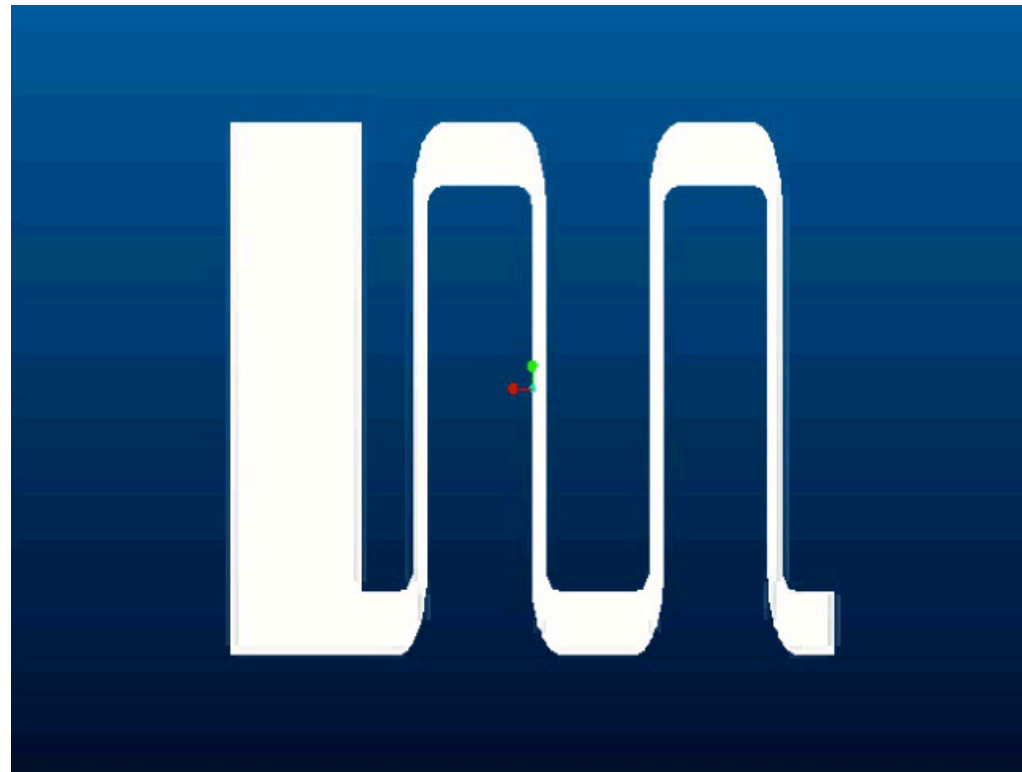
Das Ergebnis ist ein 4-fach schnelleres thermisches Ansprechen bei gleichzeitig 50-fach höherer mechanischer Steifigkeit !



Systemintegration – Modellierung und Optimierung

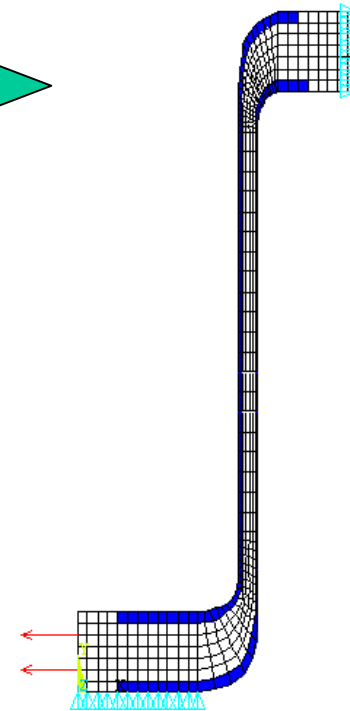
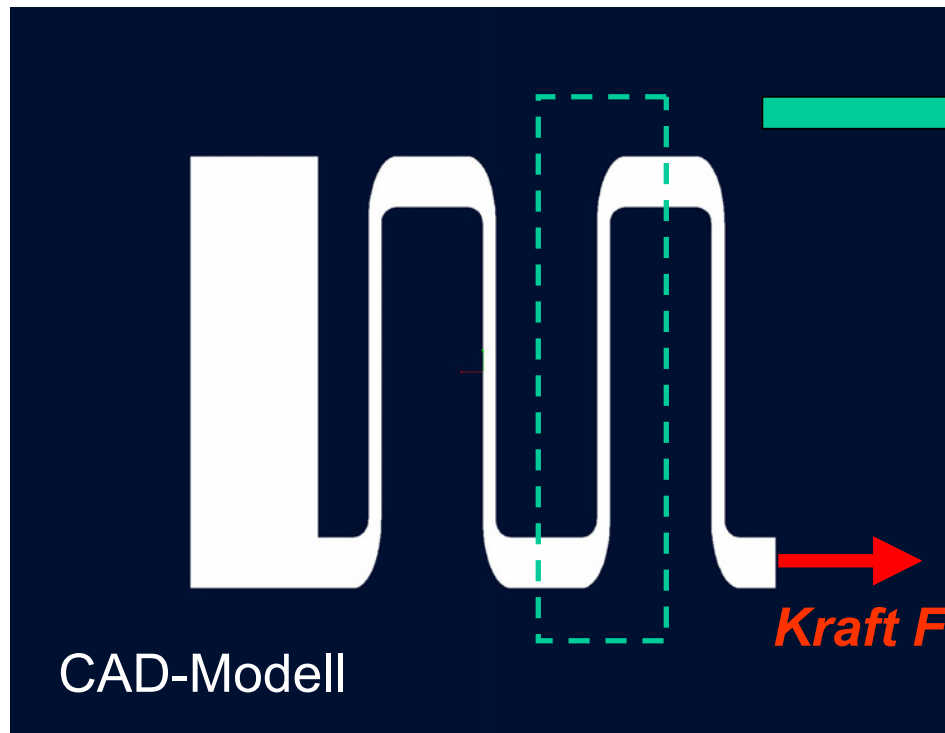
Iterative Optimierung – ein Beispiel

Ihre Aufgabe ist die Geometrieoptimierung einer hochbelasteten Balkenfeder zur Erhöhung der Bruchgrenze. Die Federkonstante soll gleich bleiben.

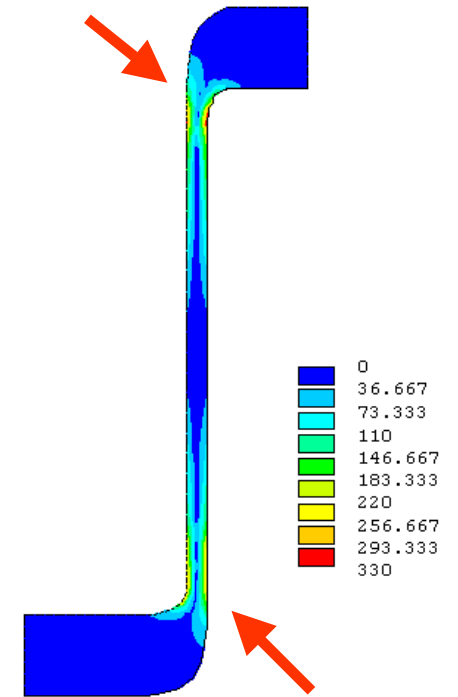


Systemintegration – Modellierung und Optimierung

Simulation des Belastungsverhaltens mittels FEM

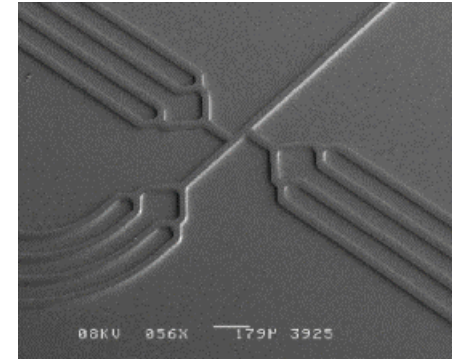


**Überlastung
und Bruch !**

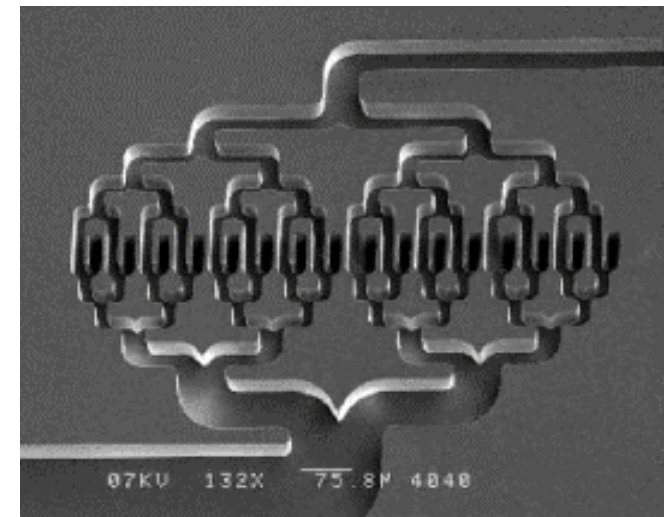


Systemintegration – Modellierung und Optimierung

Evolutionäre Bauteileoptimierung analog zu natürlichen Wachstumsprozessen...



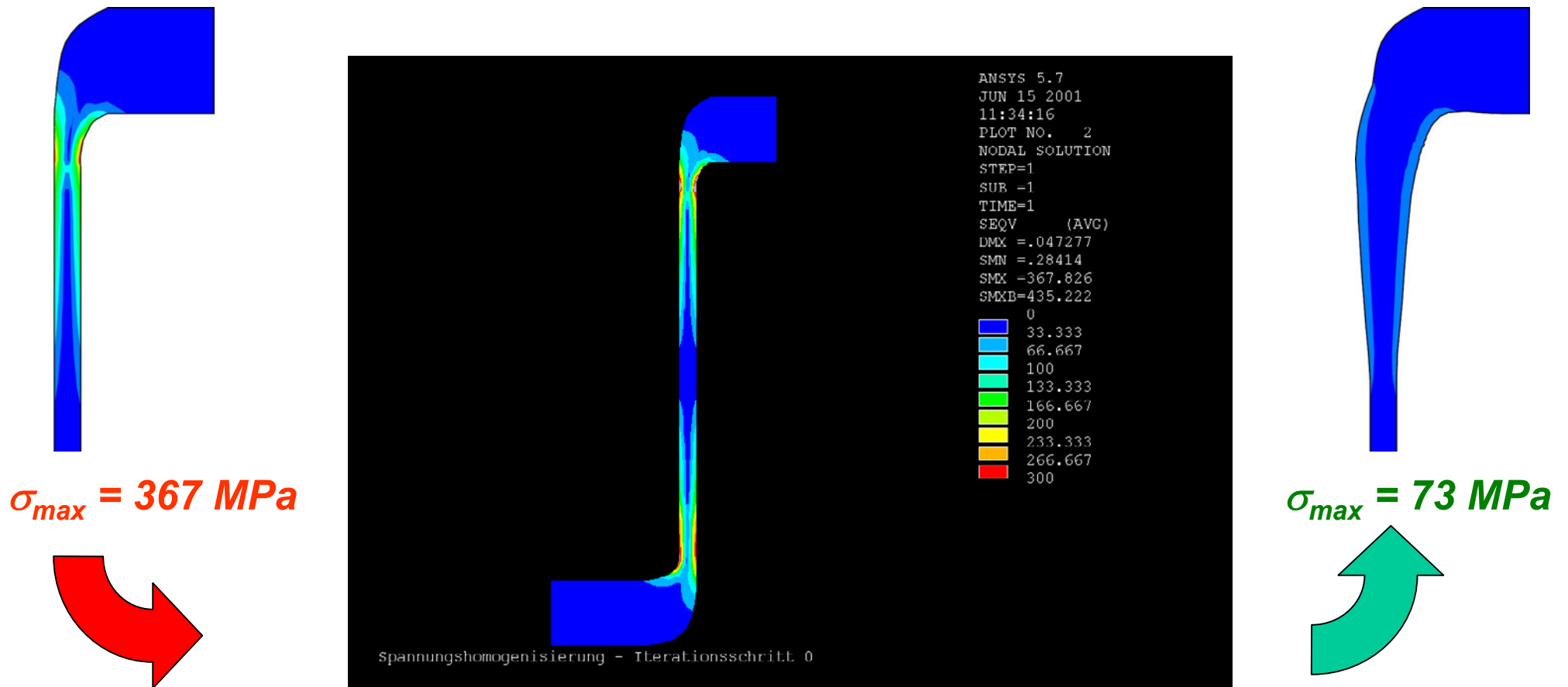
© Kymata



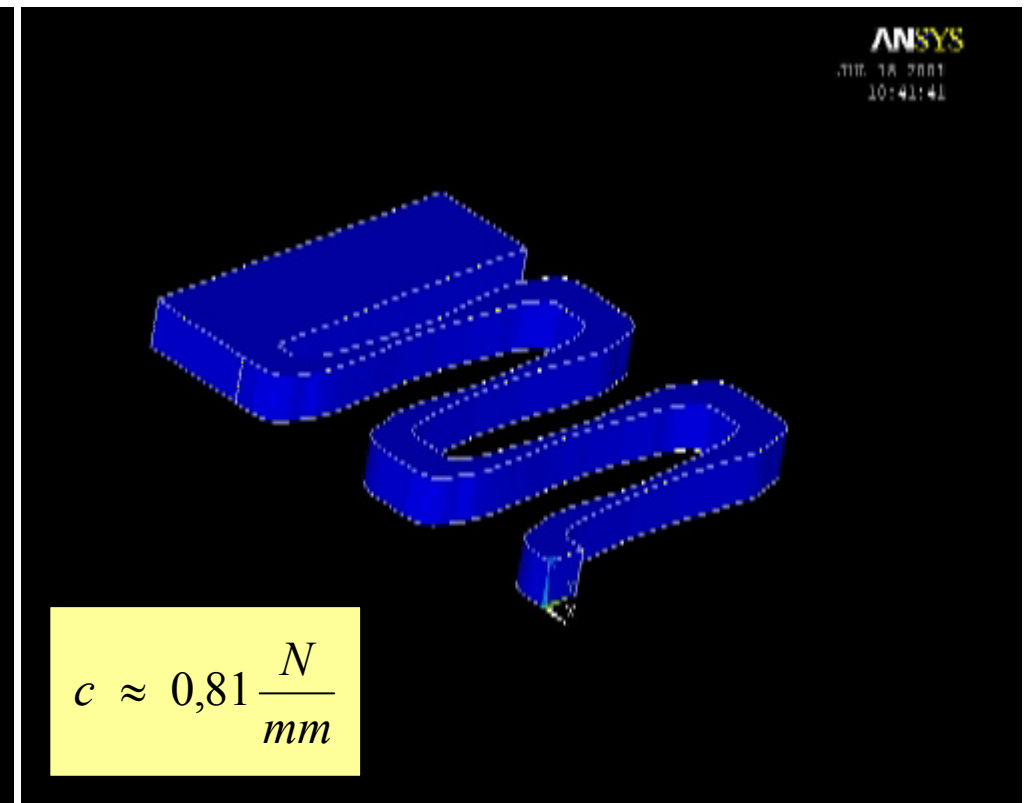
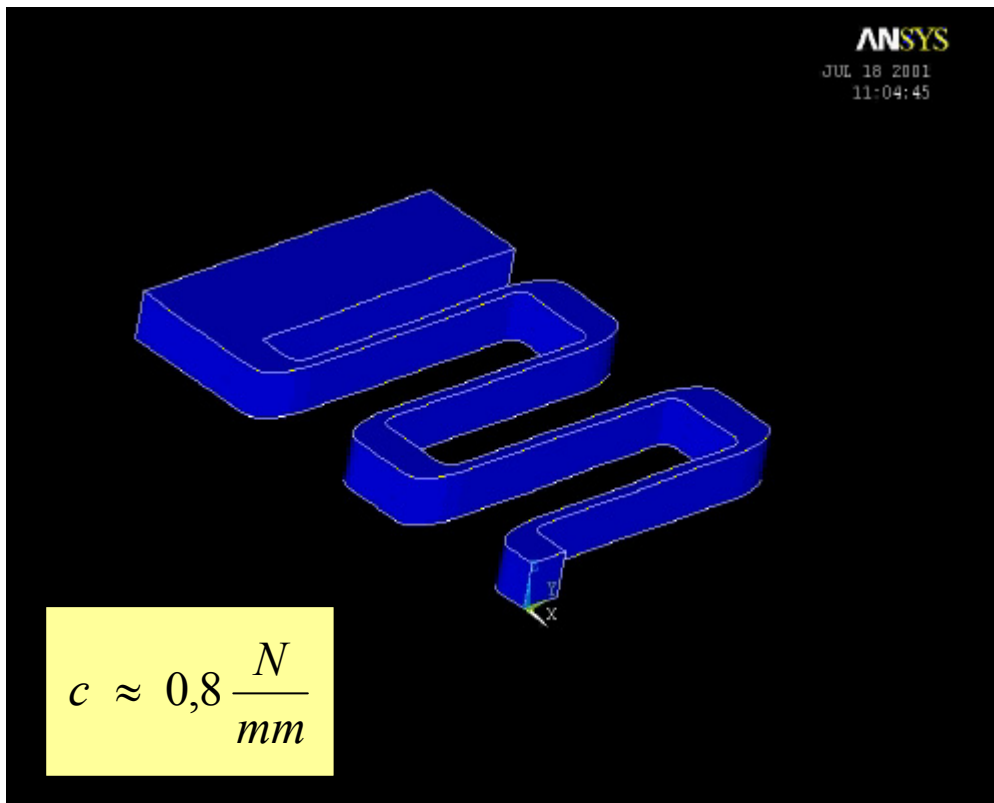
...wie ist das in der Mikrotechnik zu schaffen ?

Systemintegration – Modellierung und Optimierung

Optimierung durch „Biologisches Wachstum“



Systemintegration – Modellierung und Optimierung



Systemintegration – Modulare Konzepte

Kapitel 4: Modulare Konzepte

Systemintegration – Modulare Konzepte

Anforderungen und Fragestellungen der modularen Integration

- Bausteinkonzept oder Plattformkonzept ?
- Integration der „internen“ Schnittstellen in das Gesamtkonzept ?
- Gestaltung der externen Schnittstellen ?
- permanente oder „lösbare“ modulare Integration ?
- Kompatibilität der Einzelkomponenten ?
- Minimierung unerwünschter Wechselwirkungen ?
- ...

Systemintegration – Modulare Konzepte

Integrations- und Schnittstellenproblematik

Viele Probleme der modularen Integration sind de facto Schnittstellenprobleme !

Problemgebiete

- Geometrie der Einzelkomponenten,
- Design und Topologie der Einzelkomponenten,
- Austauschbarkeit,
- Führung von Stoff- , Energie- und Datenströmen,
- Aufbau- und Verbindungstechnik,
- ...

Die „optimale“ Gestaltung der internen und externen Schnittstellen ist oft genug entscheidend für den kommerziellen Erfolg eines Systems ! Die Makrowelt liefert genügend Beispiele...

Systemintegration – Modulare Konzepte

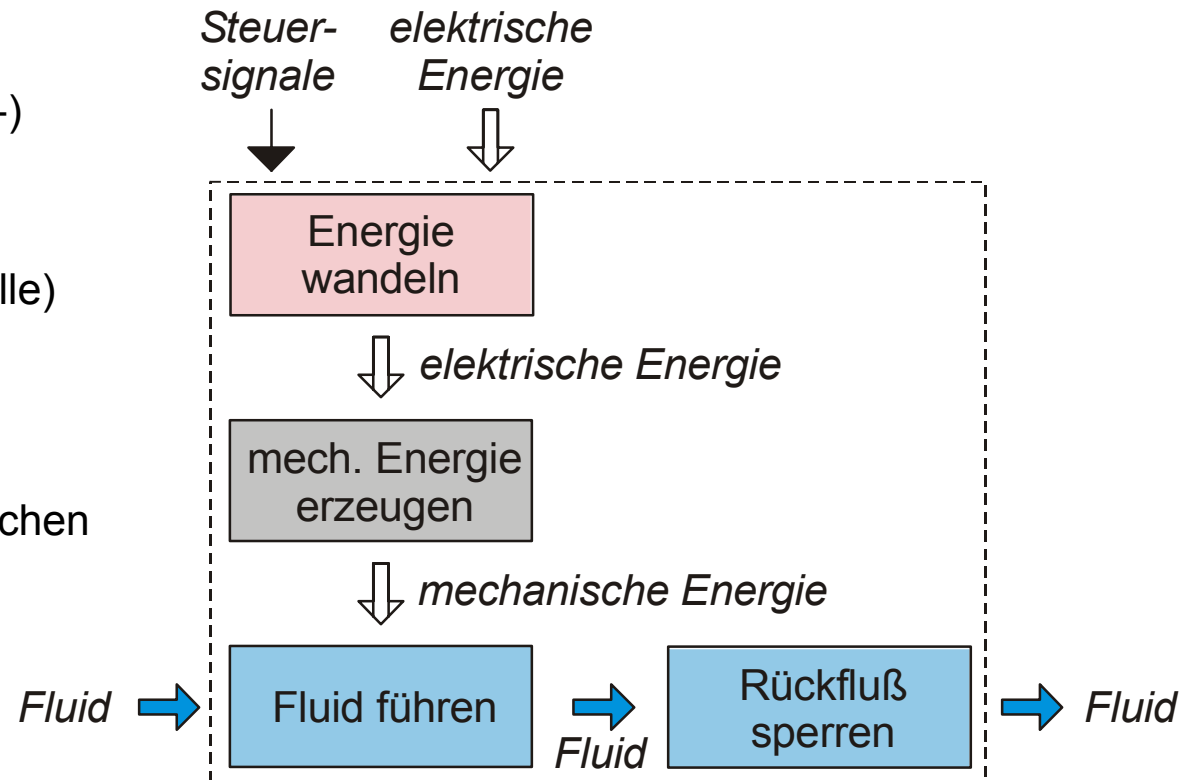
Welche Arten von Schnittstellen kennen wir ?

Wir unterscheiden bei Mikro- (und Makro-) systemen zwischen

- externen Schnittstellen (hier z.B. Fluideinlass, externe Datenschnittstelle)
- internen Schnittstellen (hier z.B. die Energieversorgung des Aktors)

Des weiteren ist generell zu trennen zwischen

- lösbaren Schnittstellen,
- permanenten Schnittstellen.

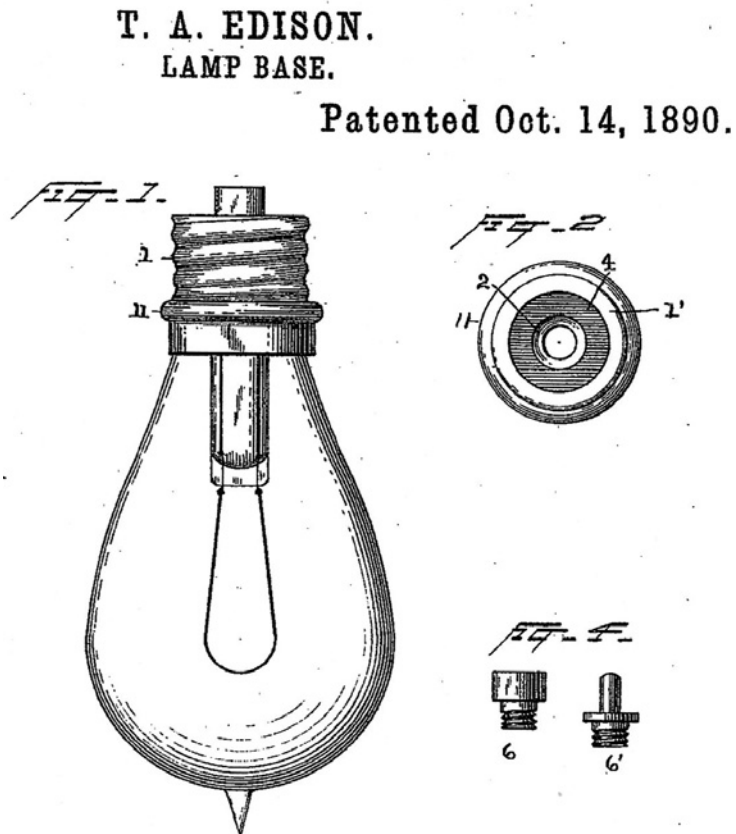


Systemintegration – Modulare Konzepte

Standardisierte Schnittstellen in der Makrotechnik...

- sind seit langem etabliert,
- häufig international genormt,
- über Generationen kompatibel,
- heute für uns „selbstverständlich“

Nur ein Beispiel: der „E“-Sockel...



Edisons US-Patent 438.310 und eine frühe Glühlampe mit „Edison-Sockel“ (Frankreich, um 1890)

Systemintegration – Modulare Konzepte

„Echte“ Schnittstellendefinitionen in der Mikrotechnik...

- sind bisher kaum verfügbar,
- nicht genormt,
- wenig flexibel,
- häufig nicht für die Austauschbarkeit von Komponenten ausgelegt.

Das Resümee...

- Die Schnittstellenproblematik wurde in der Mikrotechnik lange nicht angegangen.
- Schnittstellen werden häufig nur für ein bestimmtes Integrationskonzept entwickelt.
- Erst in jüngerer Zeit existieren Ansätze zu „universellen“ Schnittstellen- und Integrationskonzepten.

Im folgenden einige Beispiele....

Systemintegration – Modulare Konzepte

Das MATAS-Konzept – ein Beispiel für eine hybride Plattform-Technologie

Einige Namen und Fakten

- Name: MATAS = „**M**odular **A**ssembly Technology for Hybrid **μTAS**“
- Entwickler: Universität Twente in Kooperation mit verschiedenen Firmen und Instituten
- Promoter: 3T BV (Enschede, Niederlande)
- Anwendung: Mikroanalysensysteme (μ TAS = „micro total analysis system“)
- Beginn: etwa 1996

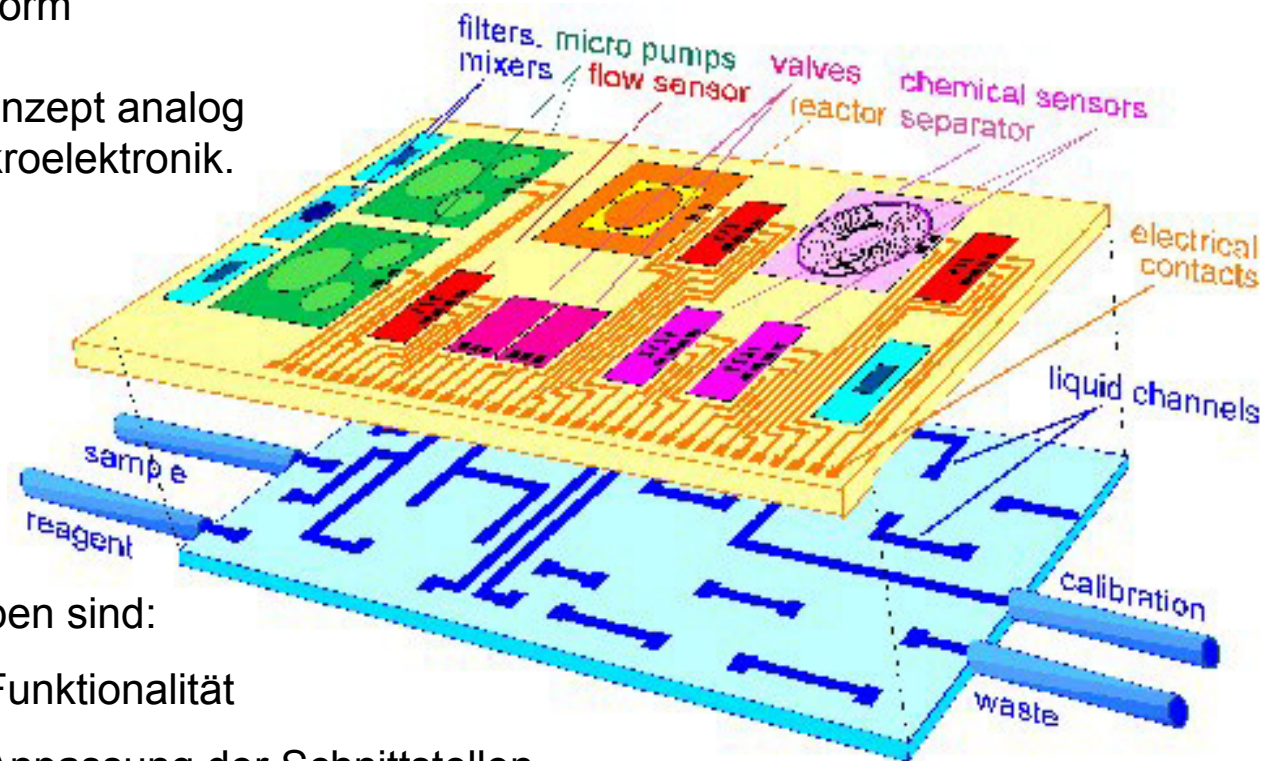
Problemstellung und Anspruch sind die planare hybride Integration von...

- Mikrosensoren,
- Mikroaktoren,
- mikrofluidischen Komponenten,
- Mikroelektronik.

Systemintegration – Modulare Konzepte

Prinzipieller Aufbau der MATAS-Plattform

MATAS ist ein planares Plattformkonzept analog zur Leiterplattentechnologie der Mikroelektronik.



Die Strukturebenen und ihre Aufgaben sind:

- | | |
|-----------------------------|--|
| 1. Einzelkomponente | Funktionalität |
| 2. Komponentengehäuse | Anpassung der Schnittstellen |
| 3. elektrische Leiterplatte | elektrische Verbindung,
mechanischer Träger |
| 4. fluidische Leiterplatte | fluidische Verbindung |

© 3T BV, Enschede, NL

Systemintegration – Modulare Konzepte

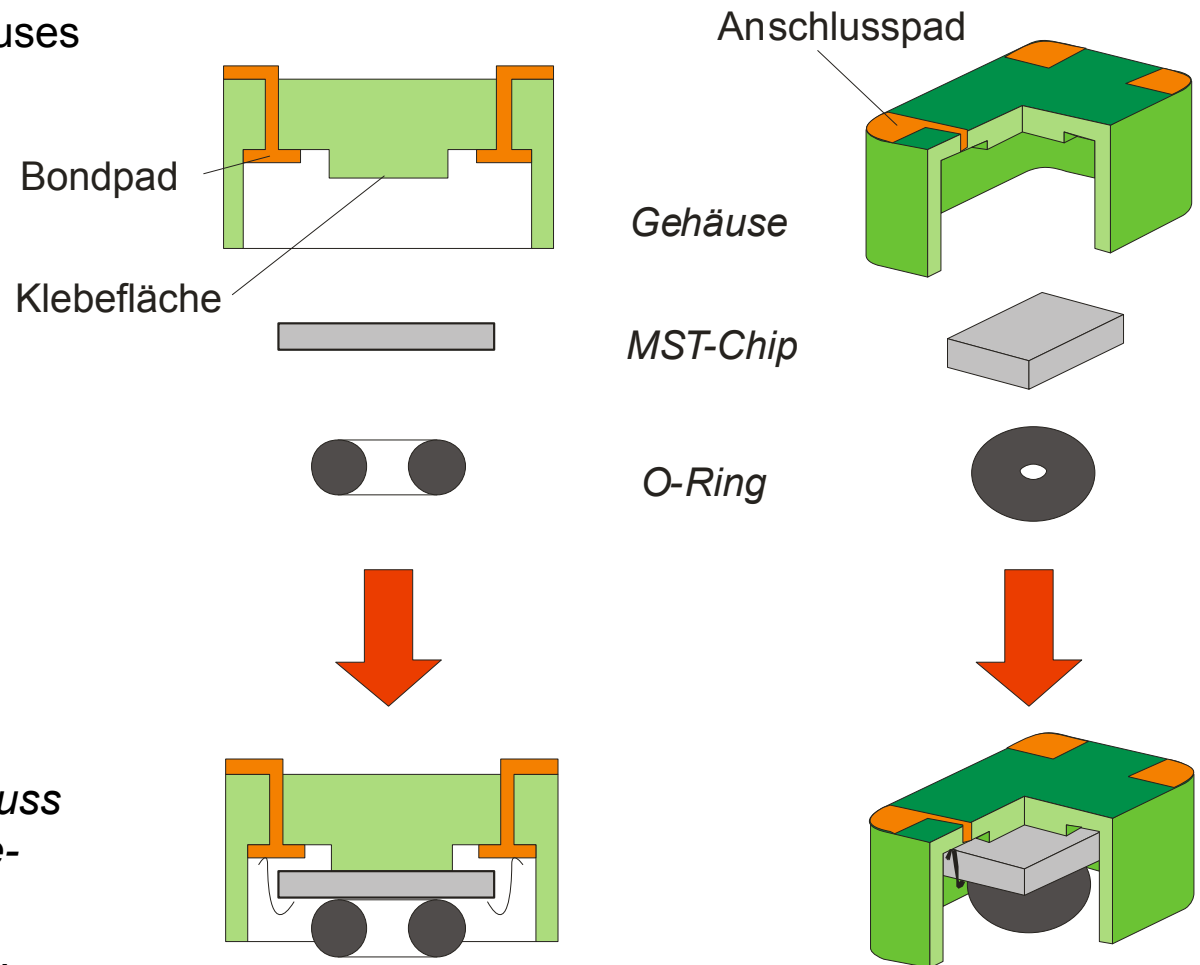
MATAS - Aufbau eines Komponentengehäuses

Das Komponentengehäuse übernimmt folgende Aufgaben:

- Packaging des MST-Chips
- Anpassung der Chipgeometrie an definierte Abmessungen (Standardisierung)
- Anpassung der elektrischen Schnittstelle

Anmerkung

Die Lage der fluidischen Schnittstellen muss vom Chipdesigner nach bestimmten Kriterien festgelegt werden. Nicht jeder Chip „passt“...siehe gehäusegerechtes Design.

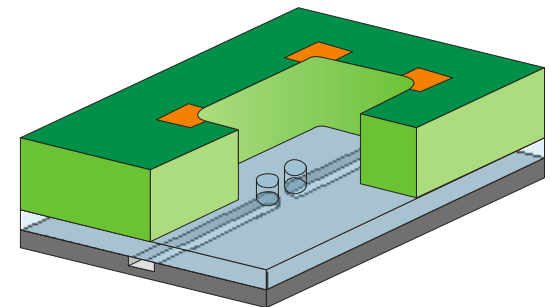
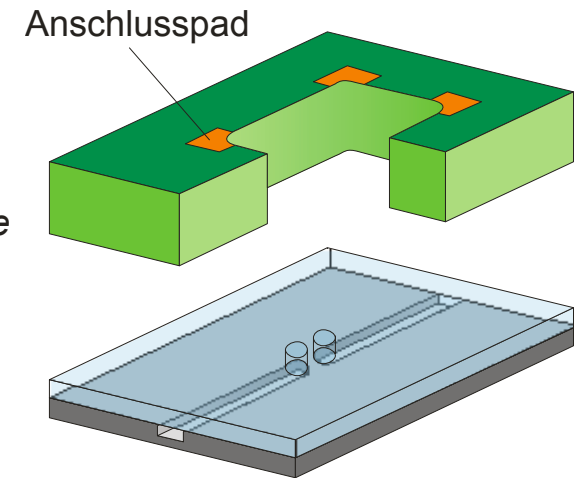
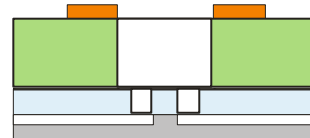
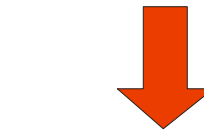
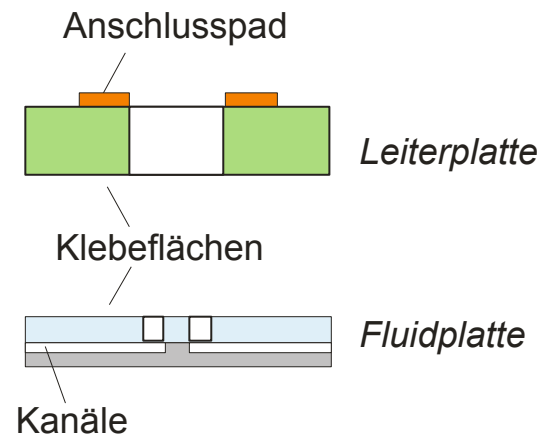


Systemintegration – Modulare Konzepte

MATAS - Aufbau der fluidisch-elektrischen Leiterplatte

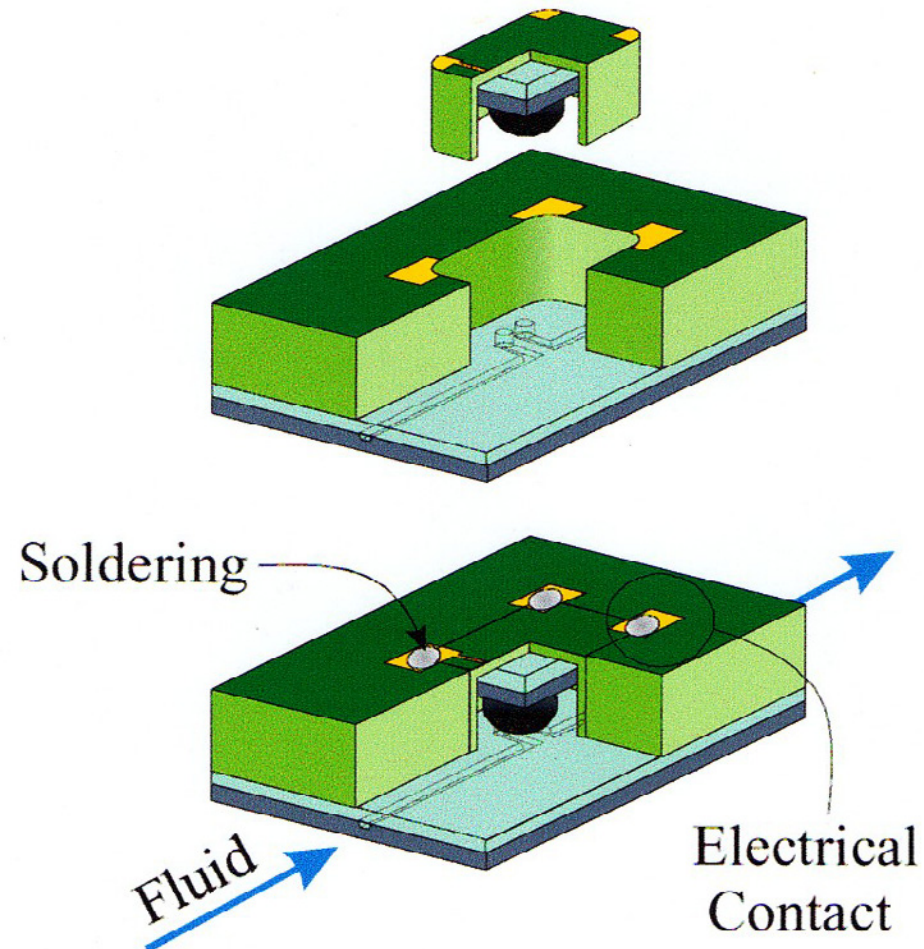
Die Leiterplatte übernimmt folgende Aufgaben:

- Positionierung,
 - mechanische Halterung,
 - elektrische Verbindung,
 - fluidische Verbindung
- ...der gehäusten MST-Chips



Systemintegration – Modulare Konzepte

MATAS – Beispiel eines Modul-Assembly

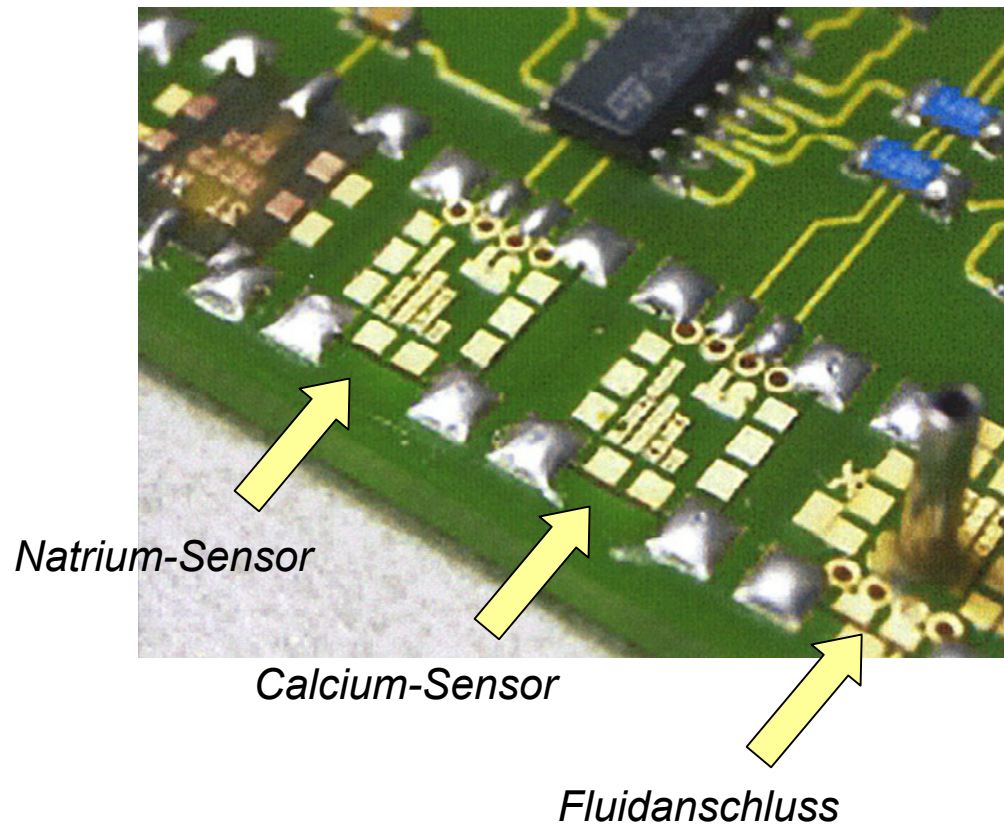


© 3T BV, Enschede, NL

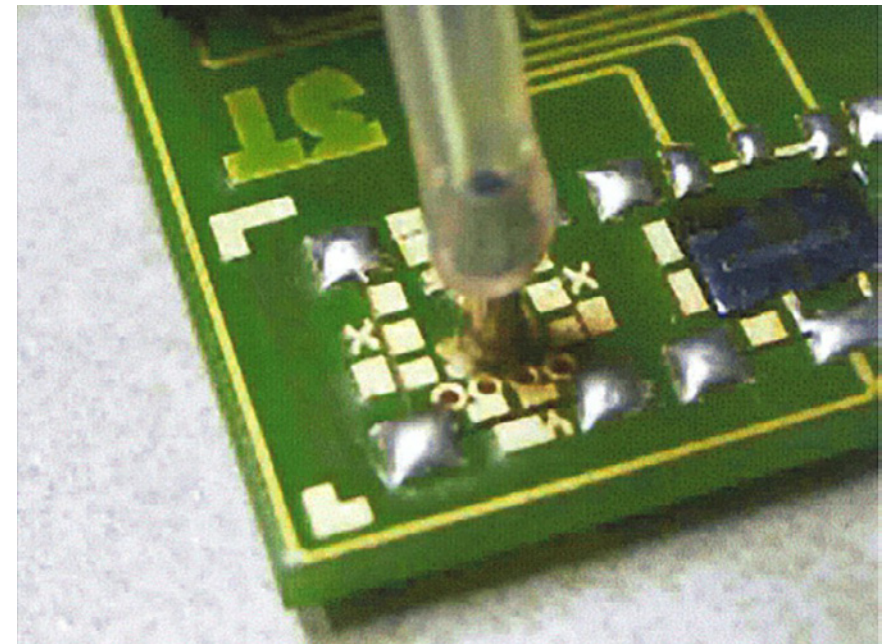
Systemintegration – Modulare Konzepte

MATAS – Applikationsbeispiele

Module eines Wasserhärte-Sensors



Detailansicht eines Fluidanschlusses



© 3T BV, Enschede, NL

Systemintegration – Modulare Konzepte

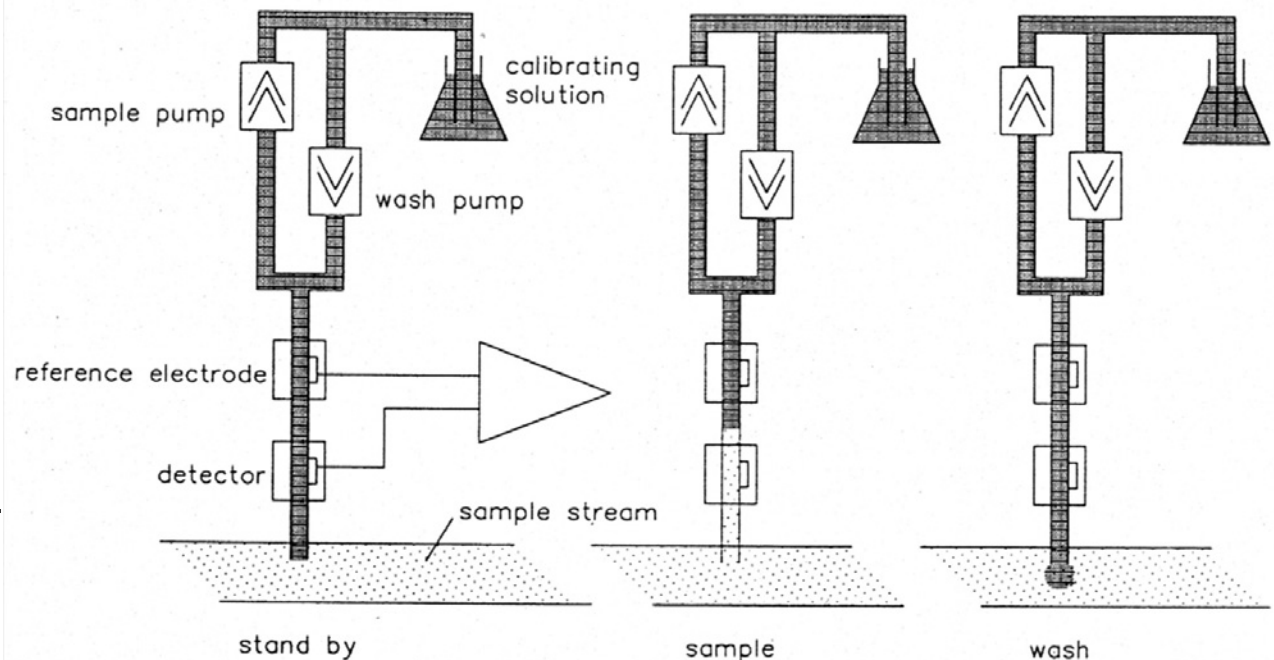
Das IMT-Analysensystem – ein Beispiel für ein (frühes) dreidimensionales Modulkonzept

Problemstellung und Anspruch sind die vertikale hybride Integration von...

- Mikropumpen,
- chemischen Mikrosensoren,
- Fluidkanälen,
-

.....z.B. zur Realisierung des nebenstehenden Analysenzyklus.

Es findet keinerlei Integration von Elektronik statt !



Bart van der Schoot et al., Sensors and Actuators B, 15-16 (1993), pp. 211-213

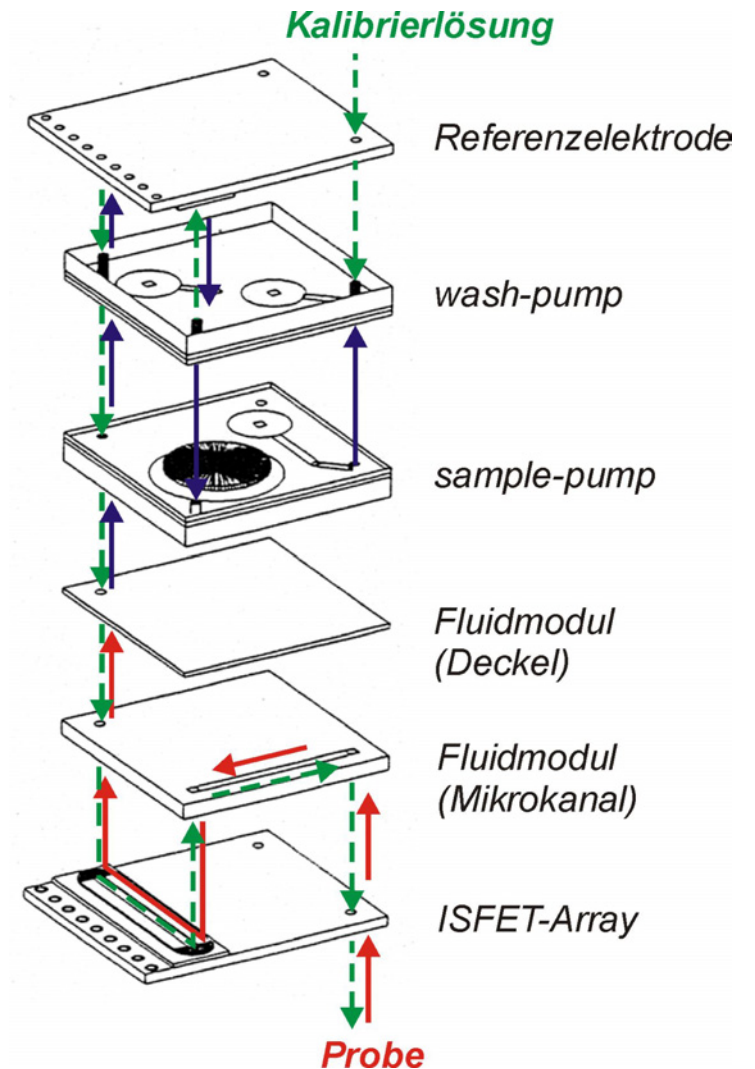
Systemintegration – Modulare Konzepte

Prinzipieller Aufbau des IMT-Konzeptes

Es liegt ein vertikales Modulkonzept zugrunde.

Die Strukturebenen und ihre Aufgaben sind:

1. Modul (mit Träger) fluidische Funktion (aktiv oder passiv),
Fluidleitung zu den Nachbarmodulen,
fluidische Abdichtung,
elektrische Kontaktierung,
mechanische Positionierung.
2. Modulrahmen mechanischer Träger,
Alignment aller Module,
Fluidanschlüsse nach aussen,
unterstützt die fluidische Dichtung.

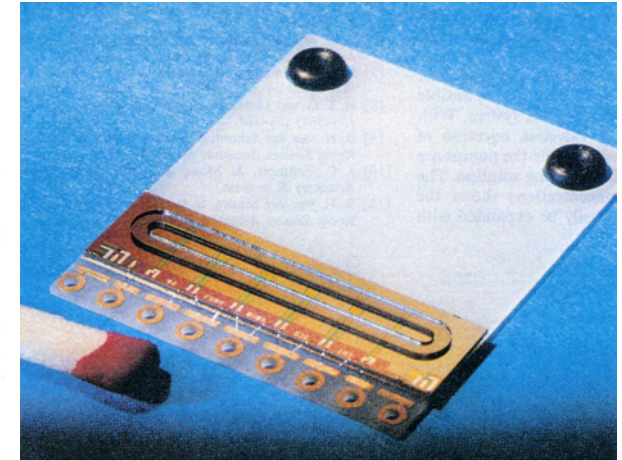
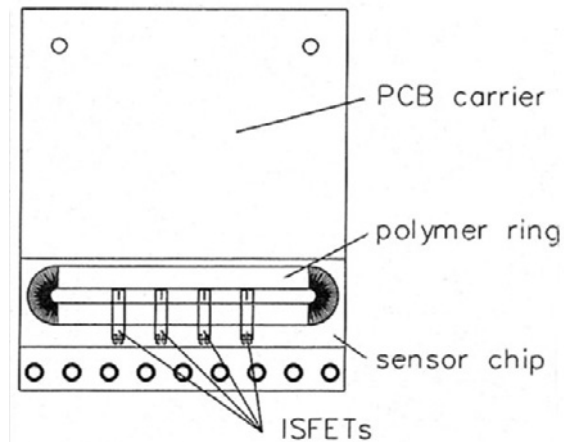


Systemintegration – Modulare Konzepte

IMT-Analysensystem – Aufbau der Module

Die Module beinhalten je nach Bedarf...

- aktive Komponenten (z.B. Pumpe),
- elektrische Anschlüsse,
- passive Elemente (z.B. Kanäle),
- fluidische Durchgangskanäle.

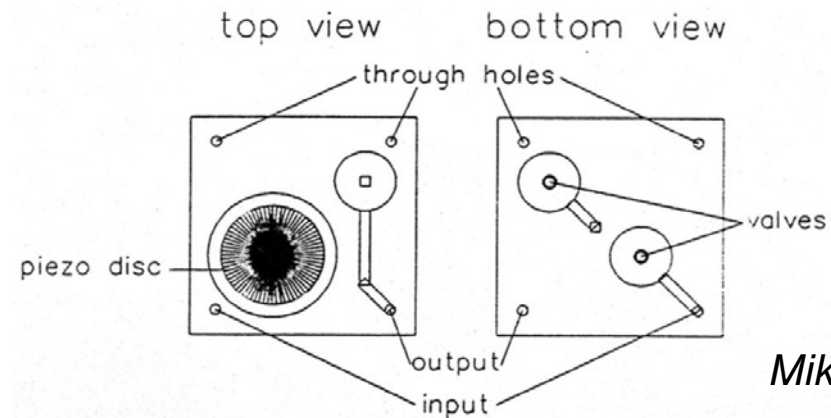


ISFET-Array © IMT

Die Fluidkomponenten haben einheitliche Seitenabmessungen (hier 22 x 22 mm²), jedoch unterschiedliche Dicke.

Durchgangskanäle, Einlässe und Auslässe sind in regelmässigem Raster angeordnet.

Die Dichtung geschieht über Presspassung (Silizium-Silizium) bzw. mit Silicon-Dichtungen zwischen den Fluidkomponenten.



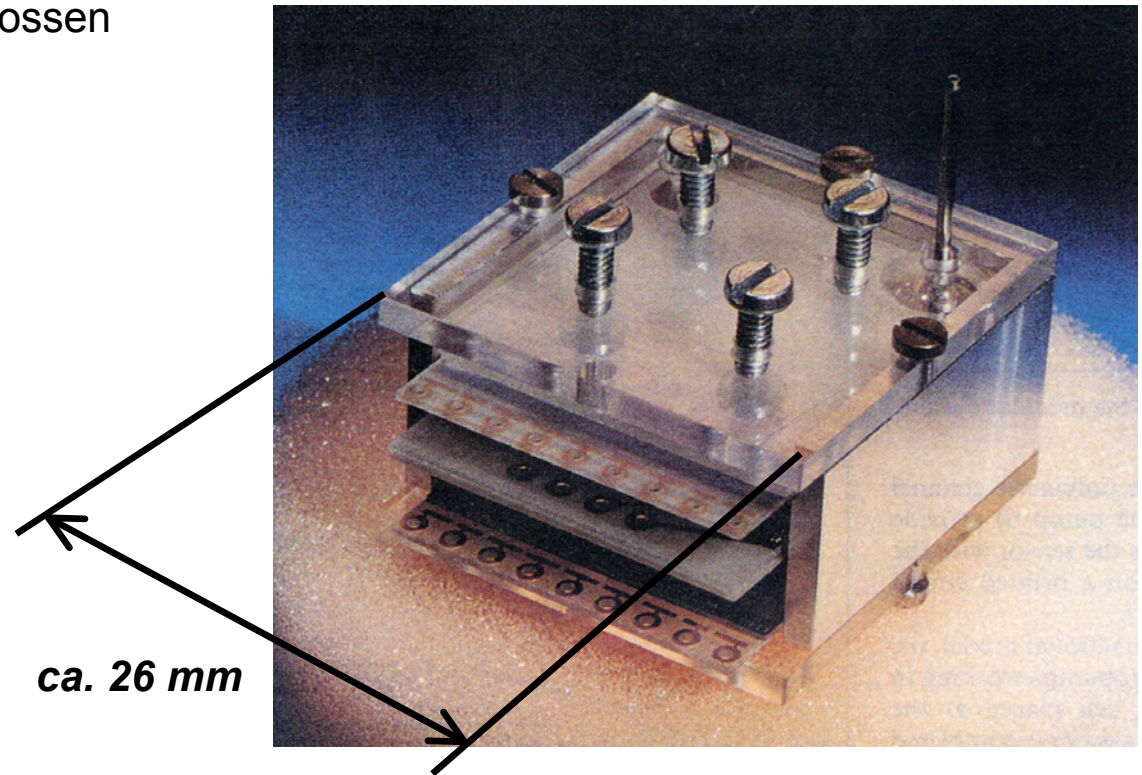
Mikropumpe

Systemintegration – Modulare Konzepte

IMT-Analysensystem – Modulrahmen

Der Modulrahmen nimmt die einheitlich grossen Einzelmodule auf. Seine Funktionen sind:

- mechanische Halterung,
- Justage aller fluidischen Durchgänge,
- fluidisches Interface nach aussen,
- Dichtung durch Erzeugung eines gemeinsamen Anpressdrucks auf alle Module und deren Dichtungen.



© IMT, Neuchatel, CH

Systemintegration – Modulare Konzepte

Match-X – das derzeit „aktuellste“ Modulkonzept

Einige Namen und Fakten

- Name: Match-X = „**Match the unknown**“ (sehr philosophisch !)
- Entwickler: ein Konsortium von 22 deutschen Firmen und Instituten
- Promoter: VDMA (Verein Deutscher Maschinen- und Anlagenbauer)
- Anwendung: Mikrosystemtechnik in voller Breite
- Beginn: Gründung der **aktuellen** Initiative im April 2002, verschiedene Vorläufer

Problemstellung und Anspruch sind die modulare hybride Integration von...

- Mikrosensoren,
- Mikroaktoren,
- mikrofluidischen Komponenten,
- Mikroelektronik.



Systemintegration – Modulare Konzepte

Ziel des Match-X-Konzeptes

Der Anspruch ist hoch. Ein Zitat aus dem bereits bestehenden VDMA-Einheitsblatt 66305 („the X-file“):

„Zweck...ist die Sicherstellung der Kompatibilität von Match-X-Bausteinen **unterschiedlicher Hersteller** zueinander. Dies geschieht durch **Definition der Schnittstellen** zwischen den Match-X-Bausteinen und, wo notwendig, der **Fertigungstechnologien**. Somit wird der **Anwender** in die Lage versetzt, aus den Funktionsbausteinen **Gesamtsysteme konfigurieren zu können**.“



Systemintegration – Modulare Konzepte

Struktur des Match-X-Konzeptes

Der aktuelle Entwicklungsstand ist im VDMA-Einheitsblatt 66305 dargestellt, einer Art Normentwurf. Folgende Problemgebiete wurden berücksichtigt:

Schnittstellen

- Geometrische Schnittstellen
- Elektrische Schnittstellen
- Fluidische Schnittstellen,
- Optische Schnittstellen,
- Mechanische Schnittstellen
- Technologische Schnittstellen (am Gehäuse)
- Thermische Schnittstellen.

Match-X-Baukasten

- Bausteinklassen
- Gehäuseklassen
- Baustadien (Idee, Muster, Produkt)

*Im Folgenden nur **einige Ausschnitte** aus dem Normvorschlag, der inzwischen 178 (!) Seiten umfasst...*



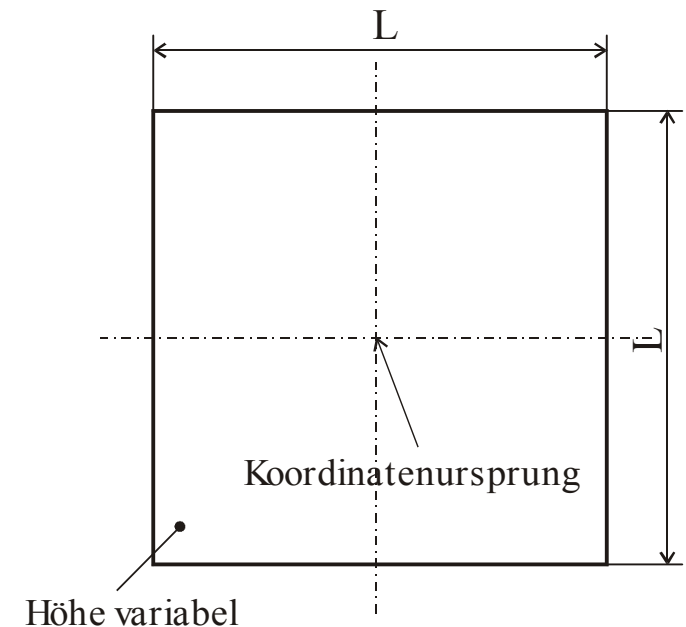
Systemintegration – Modulare Konzepte

Match-X – geometrische Schnittstelle

Folgende Standardisierung wird vorgeschlagen:

- neun quaderförmige Module mit variabler Höhe
- quadratische Grundfläche (neun vereinheitlichte Kantenlängen als Vielfache von 2,5 mm)
- Der Koordinatenursprung für die Bemassung liegt im Zentrum des Quadrates.
- Die Lage von Beschriftungsfeldern wird festgelegt.

Bezugsmass [mm]	Länge L (=Breite) [mm]	Toleranz [mm]
25,0 x 25,0	25,0	$\pm 0,2$
22,5 x 22,5	22,5	$\pm 0,2$
20,0 x 20,0	20,0	$\pm 0,2$
⋮	⋮	⋮
7,5 x 7,5	7,5	$\pm 0,2$
5,0 x 5,0	5,0	$\pm 0,2$

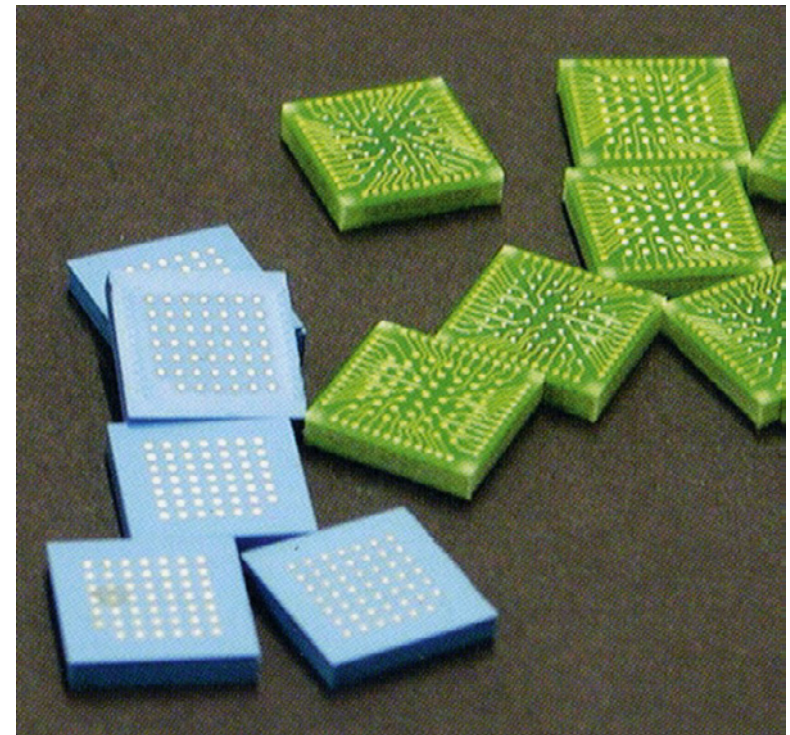
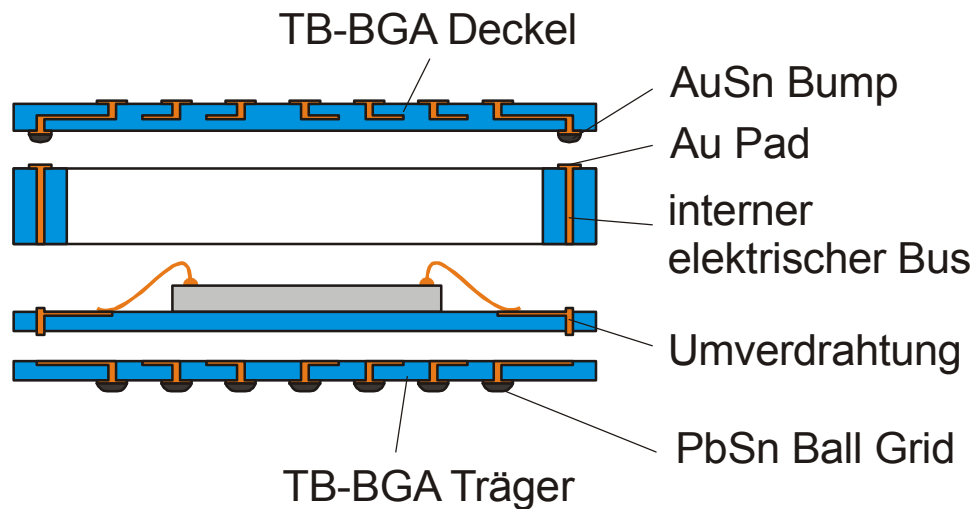


Systemintegration – Modulare Konzepte

Match-X – interner Aufbau eines elektrischen Modulgehäuses

Der Aufbau der Modulgehäuse orientiert sich an einem etablierten Standards der Halbleiterindustrie, dem Ball Grid Array (BGA). Es bestehen Variationsmöglichkeiten bezüglich des Gehäusematerials:

- Low Temperature Cofired Ceramics (LTCC) (siehe Photo, links)
- FR4-Platinenwerkstoff (siehe Photo, rechts)

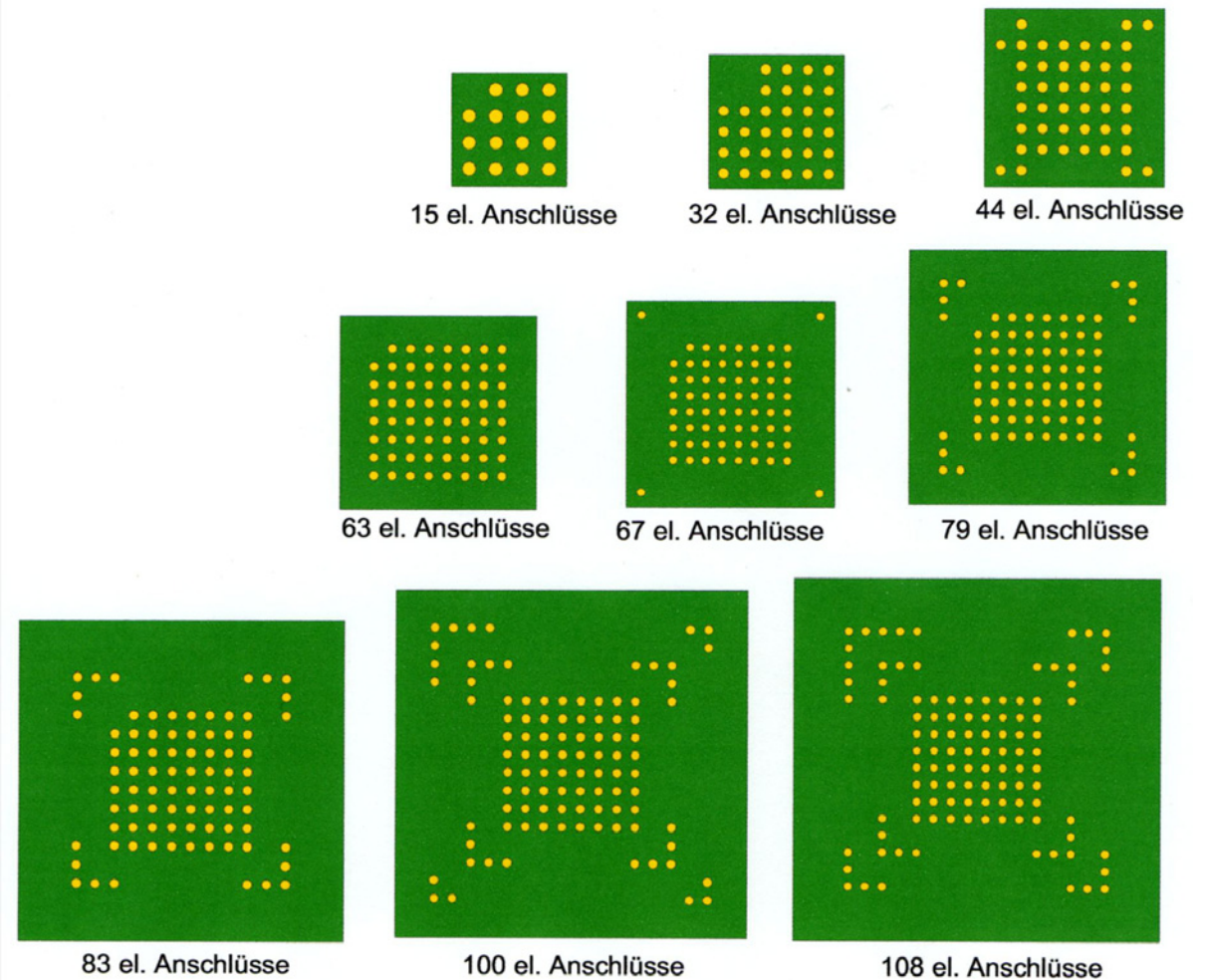


Systemintegration – Modulare Konzepte

Match-X – elektrische Schnittstelle

Für alle Bausteine ist eine elektrische Verdrahtung nach folgendem Schema vorgeschlagen:

- Einheitliches Rastermass der Pins
- Verwendung eines einheitlichen Bussystems, um ein Stacking von Bausteinen zu ermöglichen
- Einteilung der Bausteine in sog. „Kompatibilitätsklassen“, die Auskunft über die Kombinierbarkeit geben.

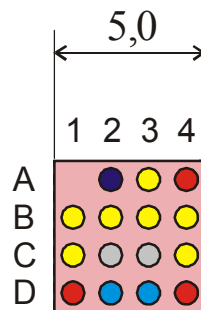


Systemintegration – Modulare Konzepte

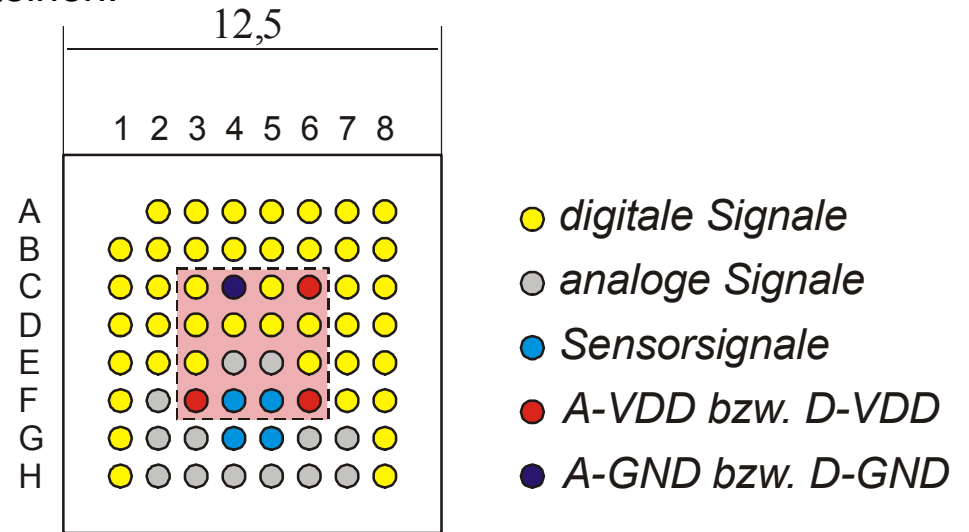
Match-X – Pin-Belegung und Stacking

Für alle Bausteine bestehen folgende Vorgaben für die elektrische Pin-Belegung:

- räumliche Trennung analoger und digitaler Signale,
- Definition eines „reduzierten Bus“, zugleich Pinbelegung für den kleinsten Baustein. Dies erlaubt die Stapelung von Bausteinen.



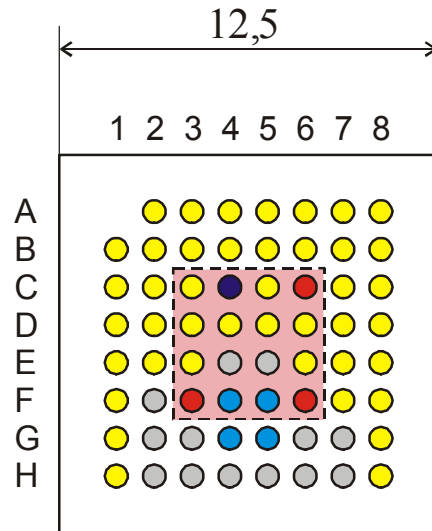
5 mm-Baustein mit reduziertem Bus



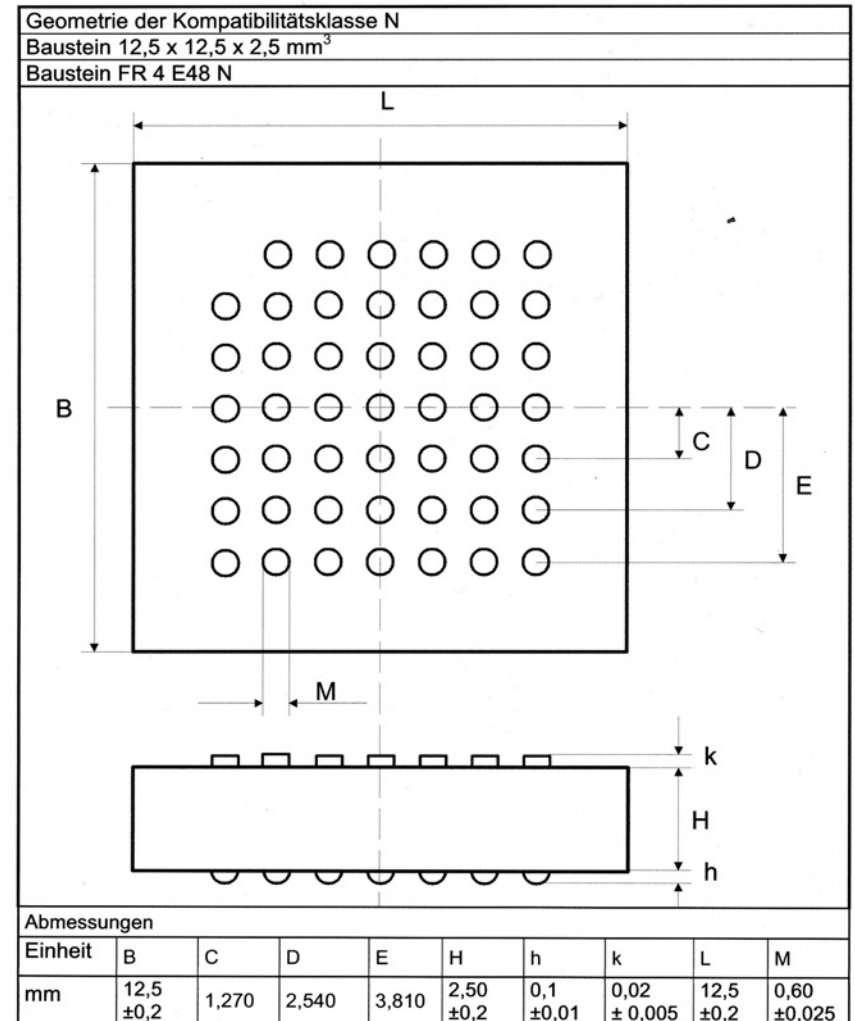
20 mm-Baustein mit reduziertem Bus und Partitionierung von analogen und digitalen Signalen

Systemintegration – Modulare Konzepte

Match-X – Ein Beispiel für eine rein elektrische Schnittstellendefinition



- digitale Signale
- analoge Signale
- Sensorsignale
- A-VDD bzw. D-VDD
- A-GND bzw. D-GND

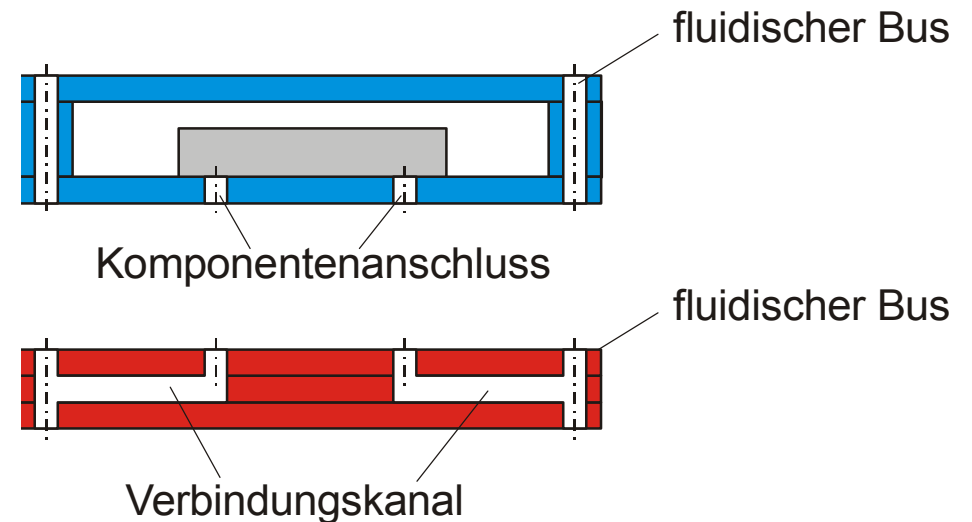


Systemintegration – Modulare Konzepte

Match-X – fluidische Schnittstelle

Die fluidische Schnittstelle ist analog zur elektrischen Schnittstelle konzipiert. Sie besteht aus...

- einem vertikalen „fluidischen Bus“, der durch alle Bausteine läuft,
- lokalen Komponentenanschlüssen an den Bausteinen,
- „fluidischen Umverdrahtungs-Bausteinen“, die über Kanäle in der Horizontalen die Komponentenanschlüsse mit dem fluidischen Bus verbinden.



Die Verbindungsbausteine sind nicht genormt, Sie können separat vorliegen (siehe Graphik) oder Bestandteil des Komponentengehäuses sein.

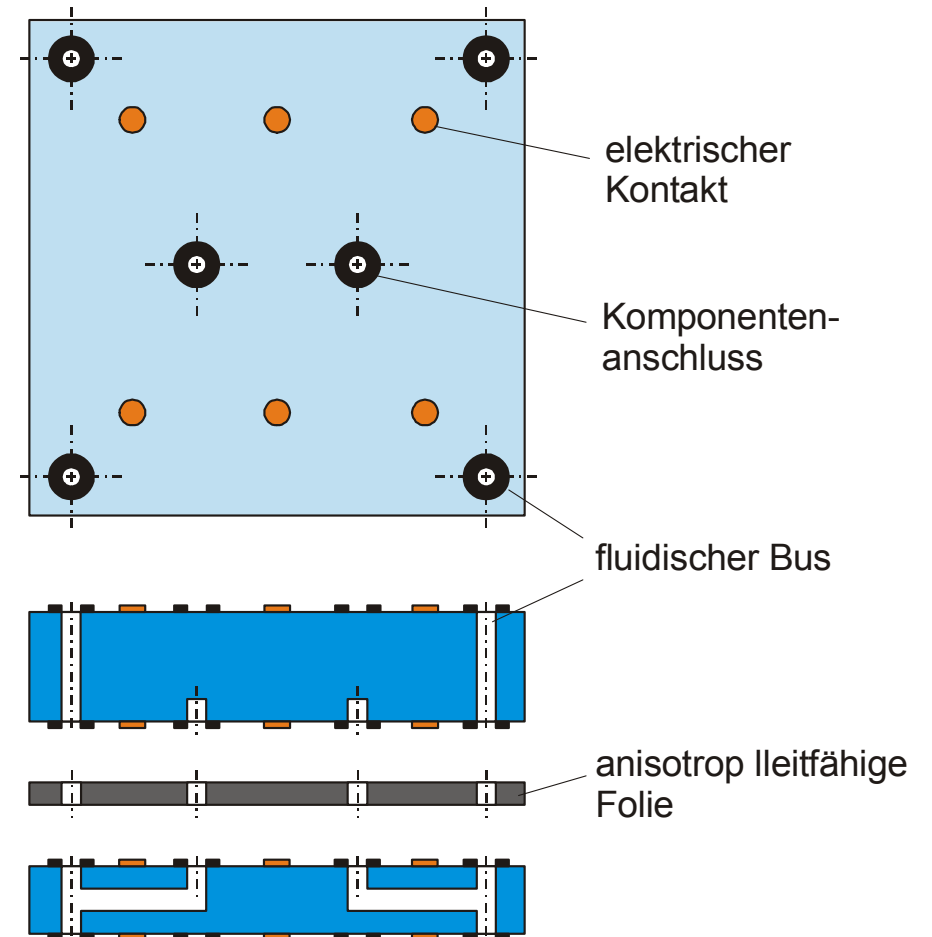
Systemintegration – Modulare Konzepte

Match-X – Vorschläge zur fluidischen Abdichtung

Folgende Konzepte sind möglich:

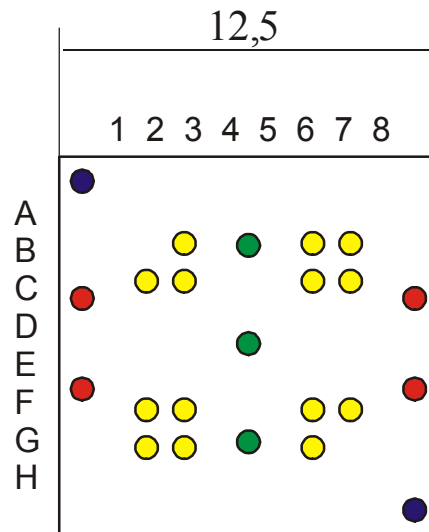
- permanente Montage durch Löt- bzw. Klebeverbindung,
- lösbare Montage unter Einsatz von gestanzten Dichtfolien,
- lösbare und gleichzeitig elektrisch leitende Verbindung durch gestanzte anisotrop leitenden Folien.

Für alle genannten Fälle werden (lötbare) hervorstehende Dichtringe um die Fluidports vorgeschlagen.

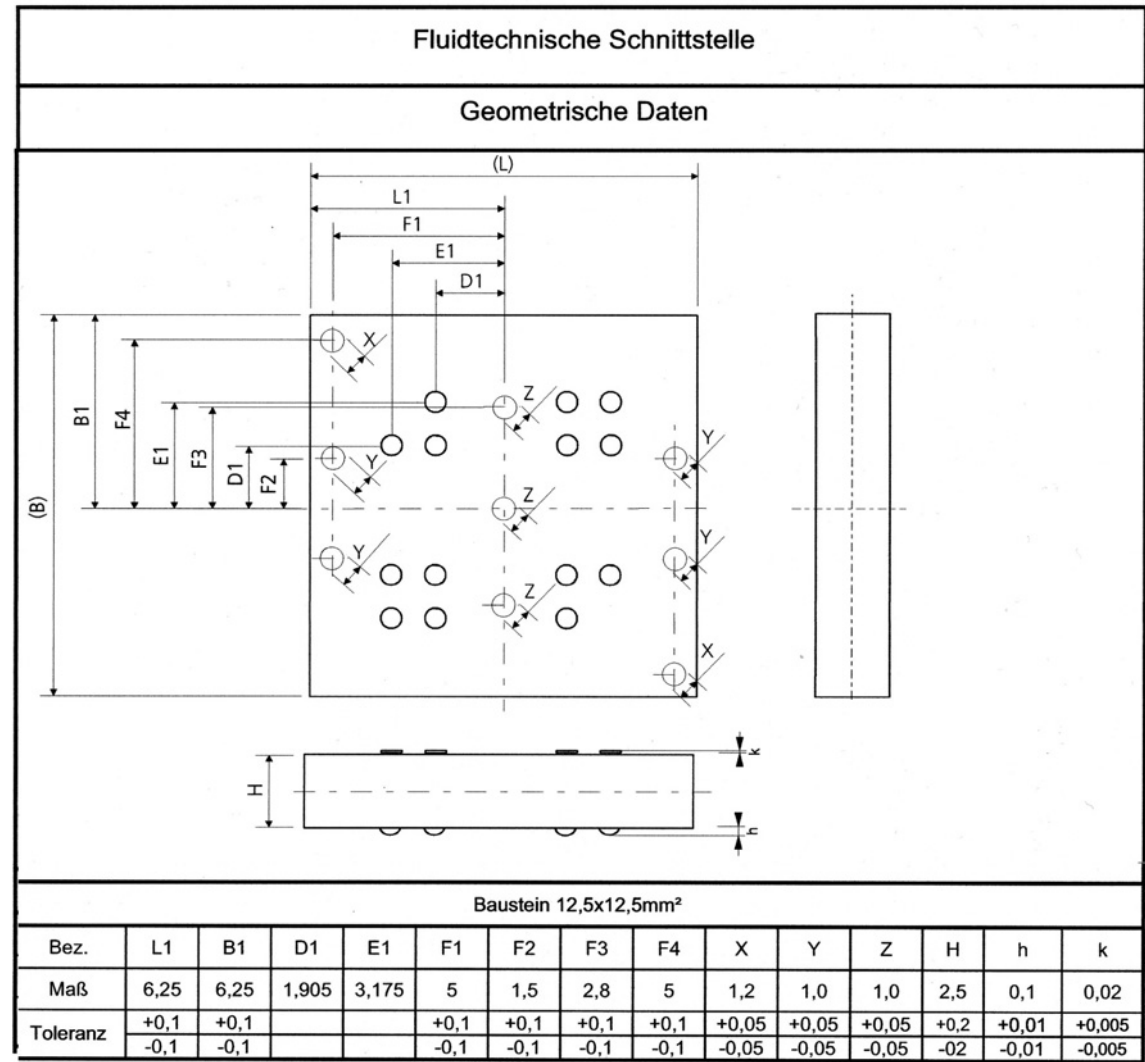


Systemintegration – Modulare Konzepte

Match-X – Ein Beispiel für eine fluidisch-elektrische Schnittstellendefinition



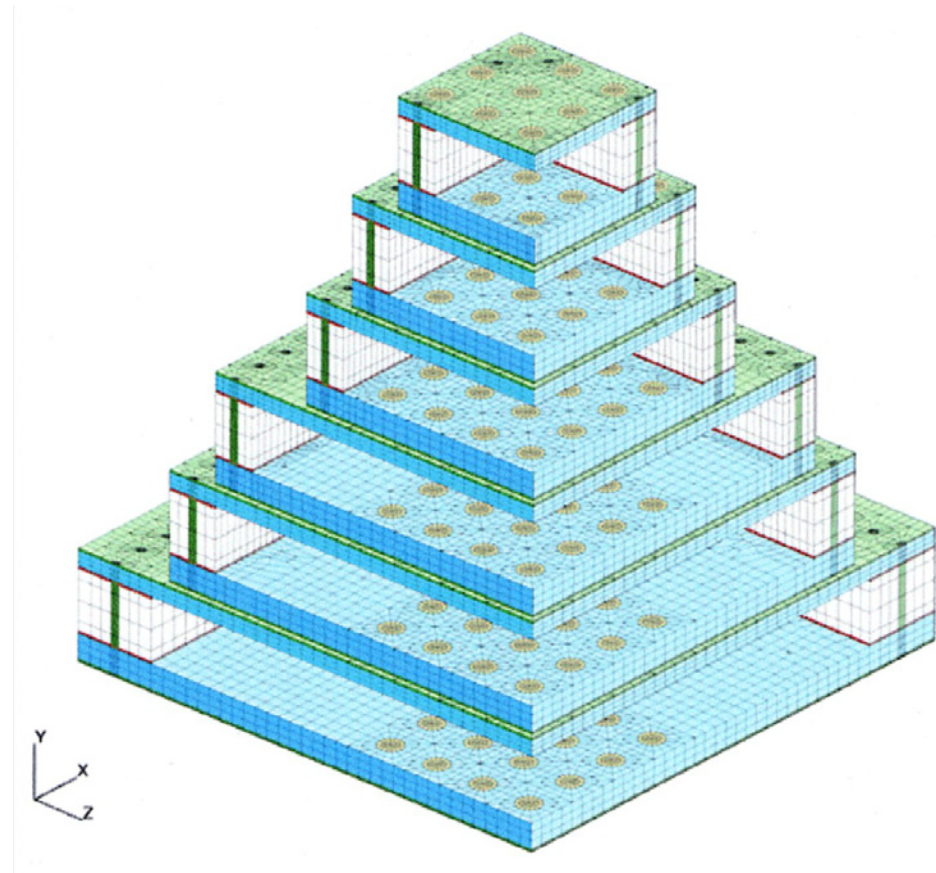
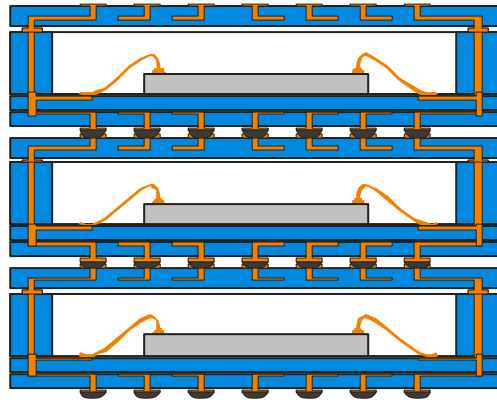
- elektrische Anschlüsse
- fluidischer Bus X
- fluidischer Bus Y
- fluidische Komponentenanschlüsse



Systemintegration – Modulare Konzepte

Match-X – vertikale Integration

Die Einführung des reduzierten Bus erlaubt – zumindest bei rein elektrischer Verdrahtung – auch das Stacking von Bausteinen verschiedener Grösse.

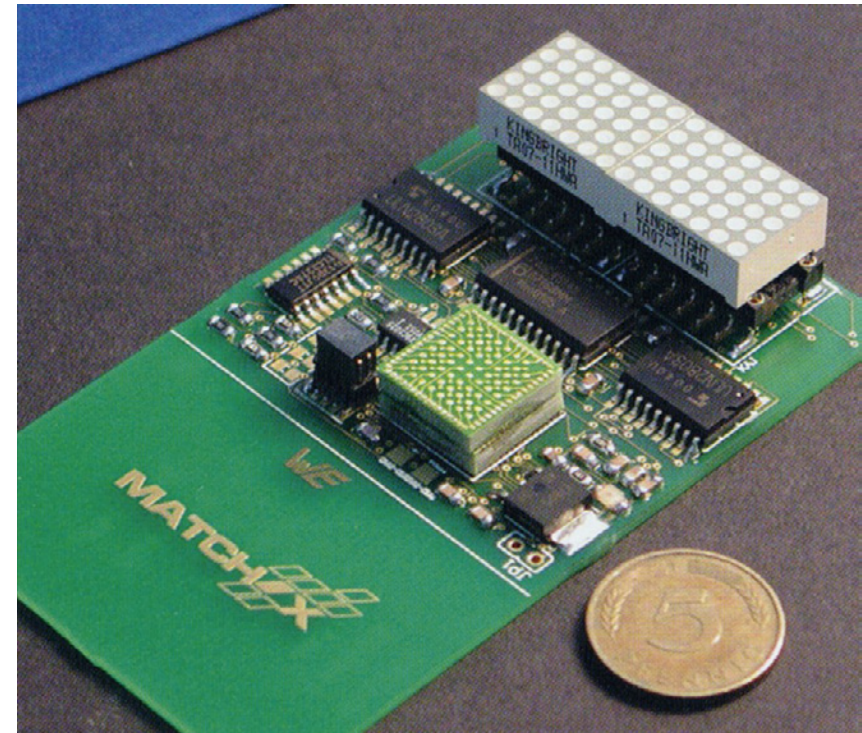


Systemintegration – Modulare Konzepte

Match-X – horizontale Integration

Die Bausteine werden – analog zur Leiterplattentechnologie – auf einer gemeinsamen Plattform angeordnet. Dies erlaubt auch die einfache Kombination mit Standard-Halbleitern.

Eine Kombination von horizontaler und vertikaler Integration ist - wie hier gezeigt - natürlich beliebig möglich.



© FhG-IZM, Berlin

Systemintegration – Modulare Konzepte

Industrielle Konzepte zur hybriden Integration

Industrielle Methoden der hybriden Systemintegration verwenden z.T. , jedoch nicht ausschliesslich (!), Baukastenprinzipien. Daneben werden Wege gegangen, die z.T. völlig von einem Baukastenkonzept abweichen. Hier nur eine kleine Auswahl:

- „Baukästen“ auf der Basis von Standard-Gehäusetechniken,
- Adaption von Standard-Technologien für die MST-Integration,
- „Design follows function“ - Adaption des MST-Designs an Standard-Fertigungstechnologien.

Im Folgenden einige Beispiele...

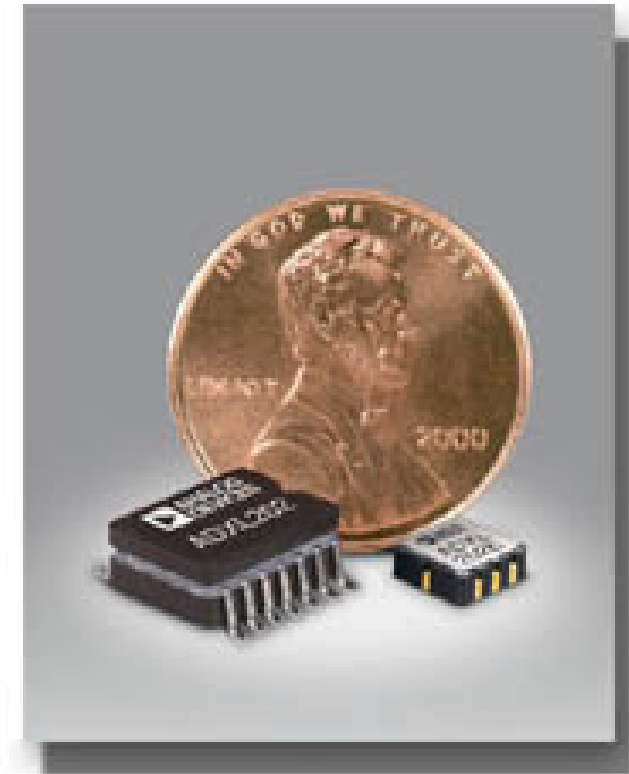
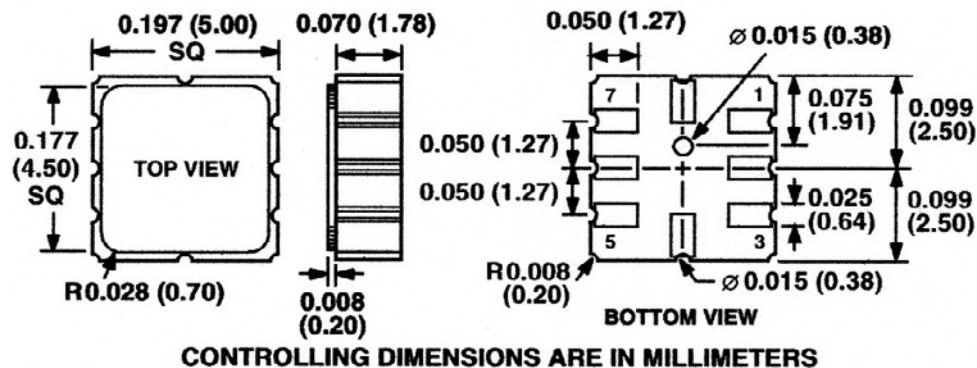
Systemintegration – Modulare Konzepte

„Standard-Gehäusungstechniken“ für Mikrosysteme

Für verschiedene Mikrokomponenten werden mittlerweile Standard-Halbleitergehäuse eingesetzt. Dies bietet folgende Vorteile:

- einfache Co-Integration mit Mikroelektronik,
- Verwendung desselben Maschinenparks (z.B. Bestückungsautomaten),
- hohe Zuverlässigkeit der Gehäusetechnologie.

8-Terminal Ceramic Leadless Chip Carrier (E-8)



z.B. ADXL 202 – ein Beschleunigungssensor der Firma Analog Devices im „Standard-Gehäuse“

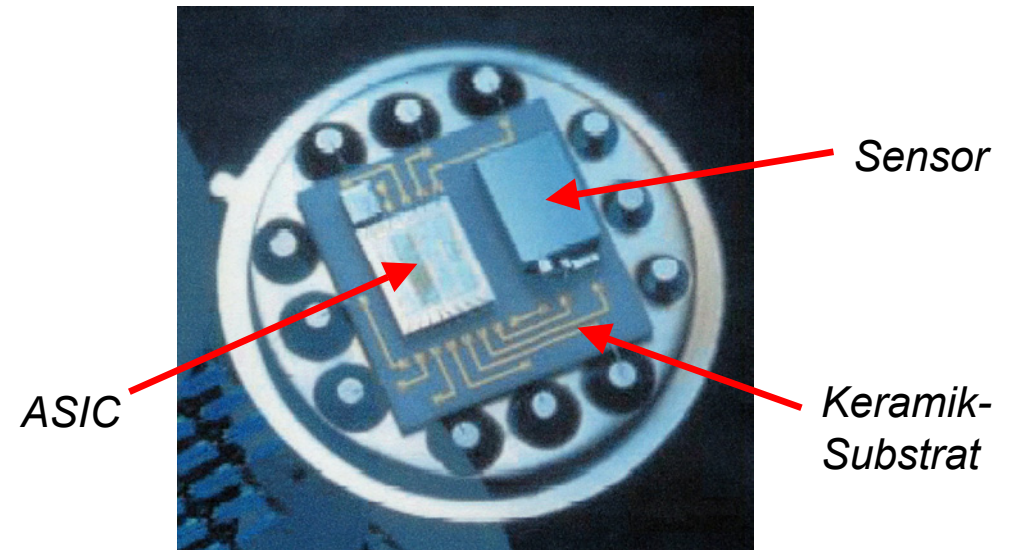
Systemintegration – Modulare Konzepte

„Standard-Technologien“ für hybride Mikrosysteme

Die Chip-on-board-Technik ist ein gutes Beispiel für eine Standardverfahren der Hybridtechnik, das inzwischen weit verbreitet für die Integration von Mikrosystemen eingesetzt wird. Die MST-Komponenten werden hierfür in der Regel separat verkappt und können dann wie normale Chips gehandhabt werden.



MST-Hybridbaugruppen in COB-Technik (© Bosch)

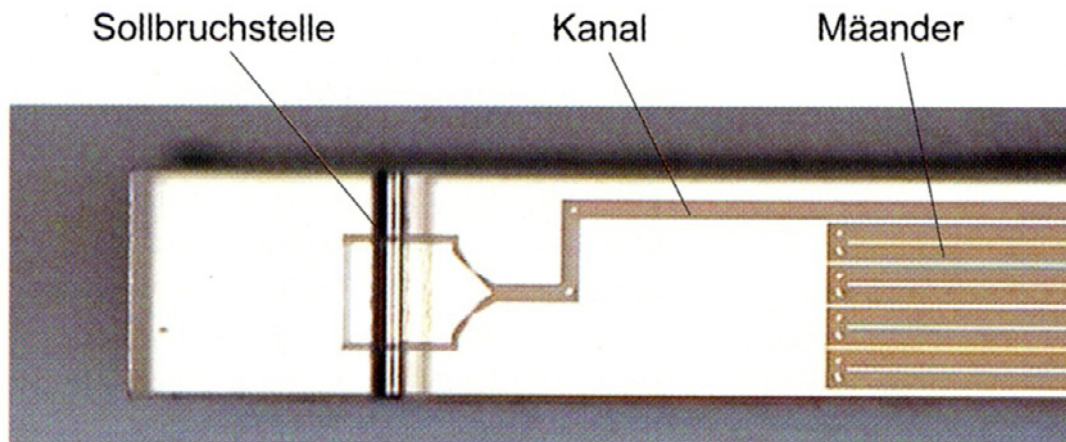


Beschleunigungssensor mit ASIC (© Colybris)

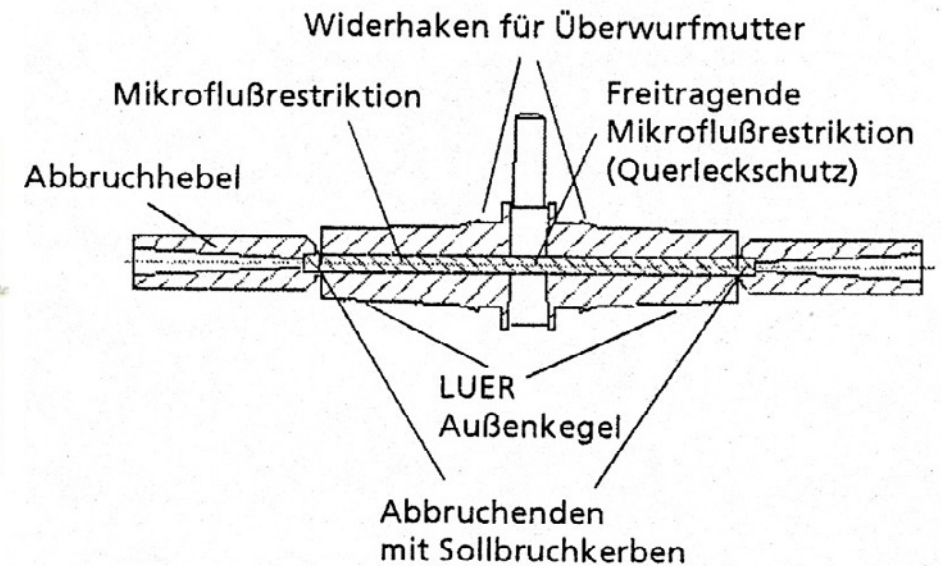
Systemintegration – Modulare Konzepte

„Design (and integration) follows function“ – nicht umgekehrt !

*Der hier vorliegende Mikrokanal-Chip, ein Einwegartikel, wurde **speziell** für die Spritzguss-Gehäusung entworfen. Nur so ist eine Kombination mit einem standardisierten Fluidverbindersystem der Medizintechnik, dem LUER-System, **kostengünstig** möglich !*



Chipfoto mit gesägter Sollbruchstelle (© FhG-IMS)



gehäuter Chip im Querschnitt (© FhG-IMS)

Systemintegration

Die „Konstruktion von Mikrosystemen“ dankt für Ihre Aufmerksamkeit !

1. Einführung

Woias

Block 1: Hybrid-diskrete Integration

2. Partitionierung und Integration

Woias

3. Modellierung und Optimierung

Woias

4. Modulare Konzepte

Woias

5. Verifikation

Wilde

Block 2: monolithische Integration

6. Sichtmodelle der monolith. Integration

Manoli

7. Digitale Systeme

Manoli

8. Analoge Systeme und Schnittstellen

Manoli

9. Schaltungssimulation und VHDL

Manoli

Block 3: Anwendungsbeispiele

10. Anwendungsbeispiel 1 Zengerle

11. Anwendungsbeispiel 2 Urban

12. Schlusspräsentation Wilde

Übung

Wilde

Fragen/Anregungen

Referenten

Folienkopien

www.imtek.de/deutsch/

→ Lehre → Systemintegration