Der energieautarke digitale Schreibstift

Visionen und Ausblicke auf den Schulunterricht im Jahr 2020

Mikrosystemtechnik für die Mensch-Maschine-Interaktion

Vortrag zum norddeutschen Mikroelektronik-Tag "Microtec Nord"

Norman Marenco, 21.9.2015

© Fraunhofer ISIT

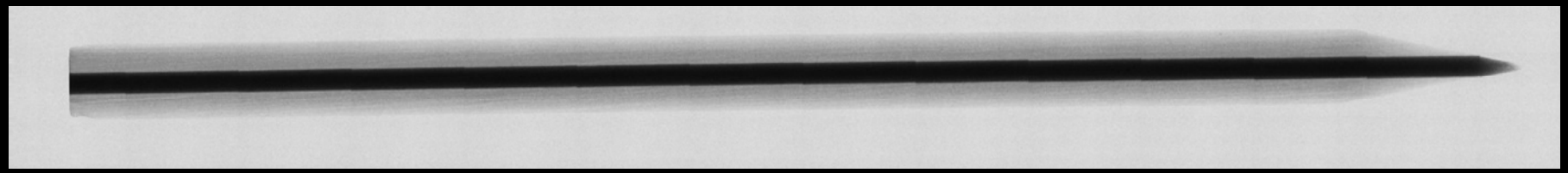
Fraunhofer ISIT

I am a lead pencil – the ordinary wooden pencil familiar to all boys and girls and adults who can read and write. Writing is both my vocation and my avocation; that's all I do.

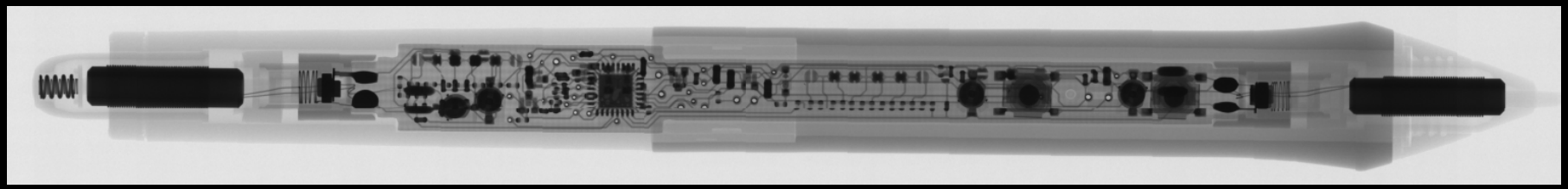
"I, Pencil" (Leonard Read, 1958)

My 'lead' itself - it contains no lead at all - is complex.

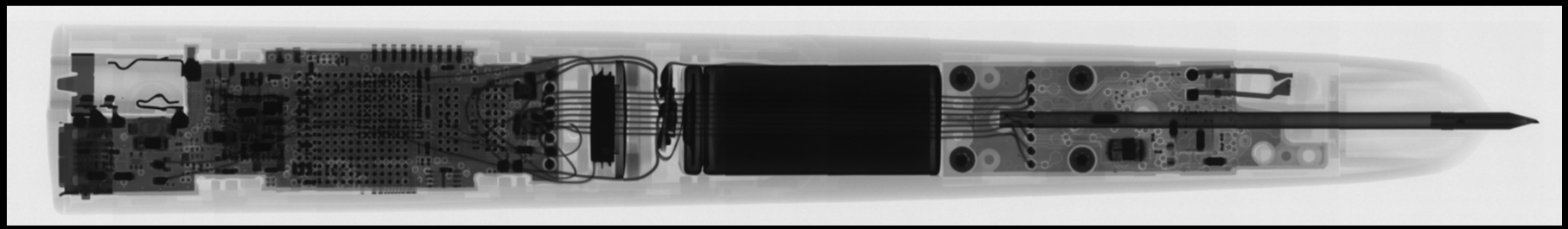
I, Pencil, am a complex combination of miracles



"Blei"-Stift



Wacom Intuos Stylus



Livescribe Echo

Who wants a stylus?

Steve Jobs , 2007

2012

Mittwoch, 27. Juni 2012 0,70 €

Bild

UNABHÄNGIG · ÜBERPARTEILICH

FRANKFURT

www.bild.de

Auf zum Halbfinale gegen Italien

20 EM-Reisen zu gewinnen

Und für welches Land spielen Sie?

EUR 25 Bonus

www.bwin.com/25

bwin

ALARM!

Handschrift stirbt aus!

bwin

NACHRICHTEN

EU-Beitritt für Montenegro?

Prozess vertagt

Arbeitsgerichte ohne Papier

Schafik verlässt Ägypten

FOTO DES TAGES

BILD schreibt die Seite 1

Deutsche sind in Kauflaune

Weniger Ferien für Bundestag

Frauen schlucken mehr Psycho-Pillen

60 Jahre BILD. 60 Tage geschenkt.

power to you

2015

Projektsteckbrief "Digistift"

Energieautarker Digitaler Schreibstift für den Schulunterricht

Förderung:
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Innovationsfeld "Mensch-Technik-Interaktion für den demographischen Wandel"

Laufzeit:
März 2013 bis Februar 2016 (30+6 Monate)

Projektvolumen:
1,6 M€ mit 52% Förderanteil

ISIT-Budget:
284 T€ + 65k€ Eigenmittel Systemintegration

Verbundkoordinator:
STABILO International GmbH

Projektträger:
VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.
© Fraunhofer ISIT 2013
Fraunhofer ISIT

Stabilo-Vision der Zukunft des Schulunterrichts

Schulklassen werden Tablet-PCs nutzen, um interaktive und aktuelle Medien nutzen zu können. Die Schüler sollen jedoch aus Gründen der Ergonomie und feinmotorischen Entwicklung weiterhin möglichst viel auf Papier schreiben, statt auf Tastaturen oder Touchscreens zu tippen.

- Ideales Eingabemedium ist ein Stift, der die Handschrift digital an einen PC übertragen kann.
- Ergonomische Aspekte fordern einen leichten, schlanken, kabellosen Stift.
- Wirtschaftliche und praktische Gründe verbieten teures Spezialpapier und hohen Verbrauch an Primärbatterien.

Mensch-Technik-Interaktion

Energieautarke Mobilität

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.

© Fraunhofer ISIT 2013

Fraunhofer ISIT

DIGISTIFT: ISIT-Teilprojekt "Energy Harvesting"

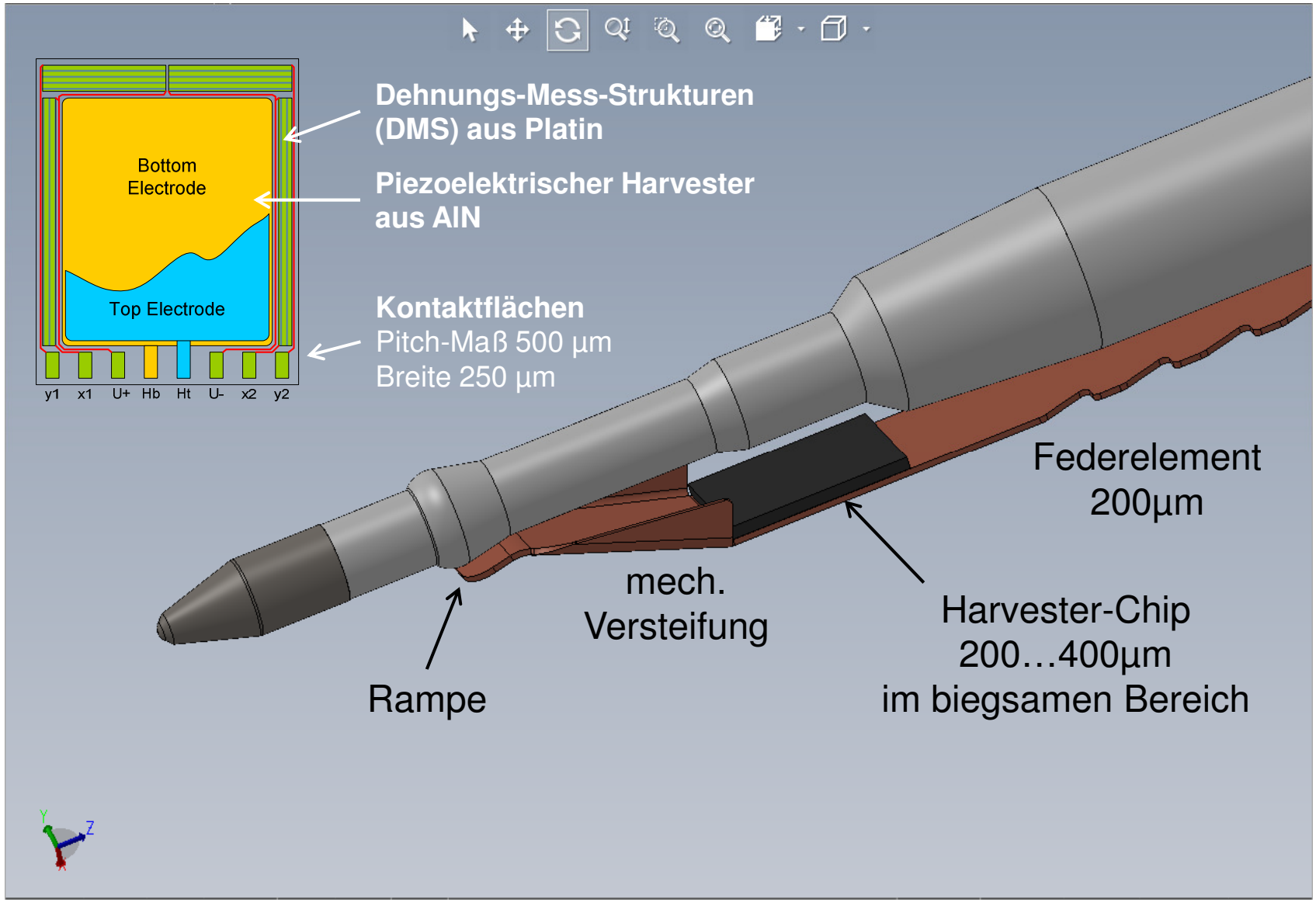
- Solarzellen (Sanyo a-Si)
- Li-Akku (Panasonic)

- Basis "SensorTag" (Texas Instrum.)
- Neue SW für Kraft-Messung, Power-Mgm., Piezomessung.

- Power-Mgm.: Solare Energie-gewinnung, Speicherung (Maxim-IC)
- Wake-Up Signal
- Messung der Piezo-Energiegewinne

- Piezo-Chip mit Kraftmessung (ISIT-Fertigung)
- Biegefedern (Stabilo)
- Gehäuse+Integration (Stabilo&ISIT)

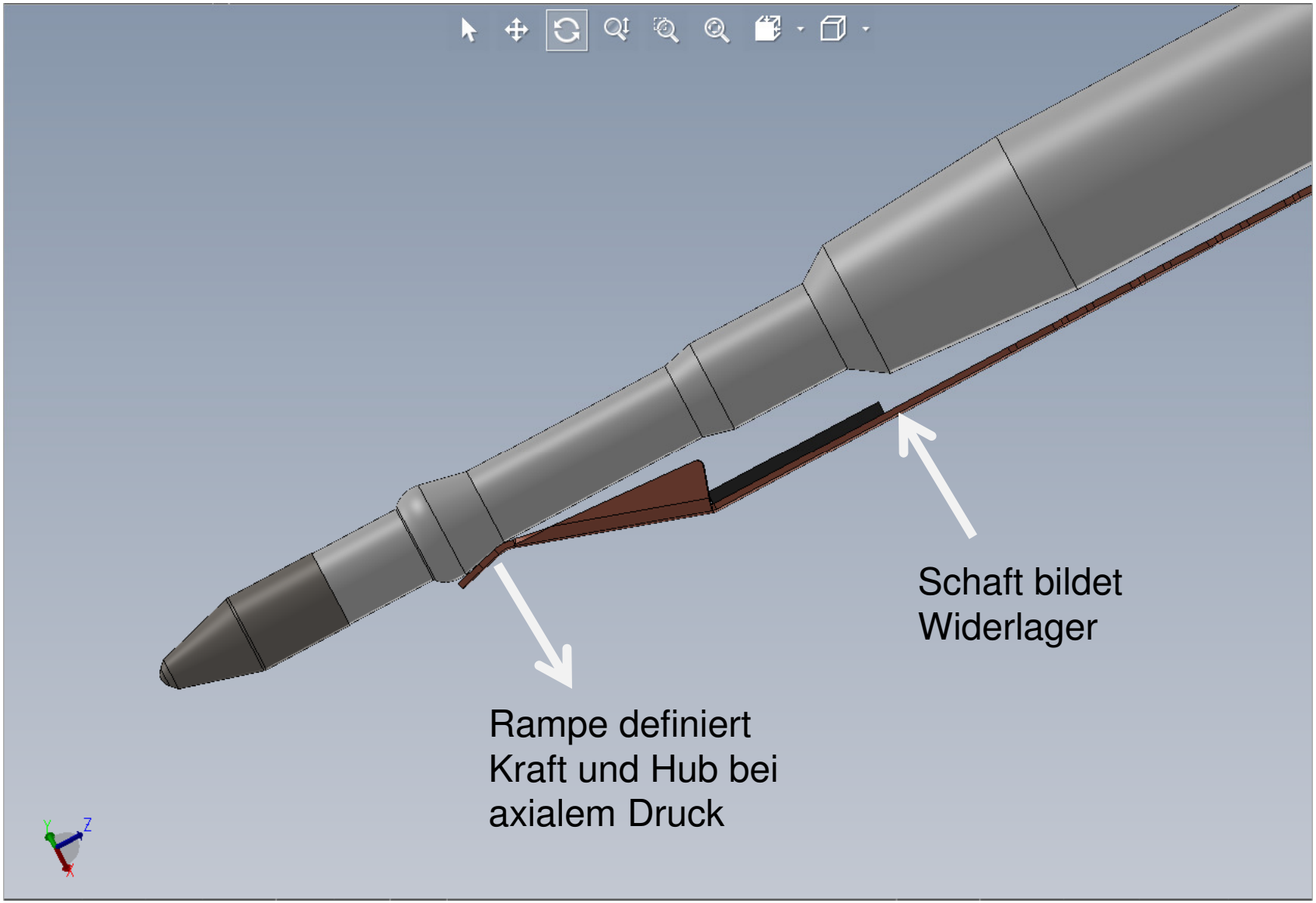
All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.
© Fraunhofer ISIT 2013
Fraunhofer ISIT



All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.

© Fraunhofer ISIT 2013

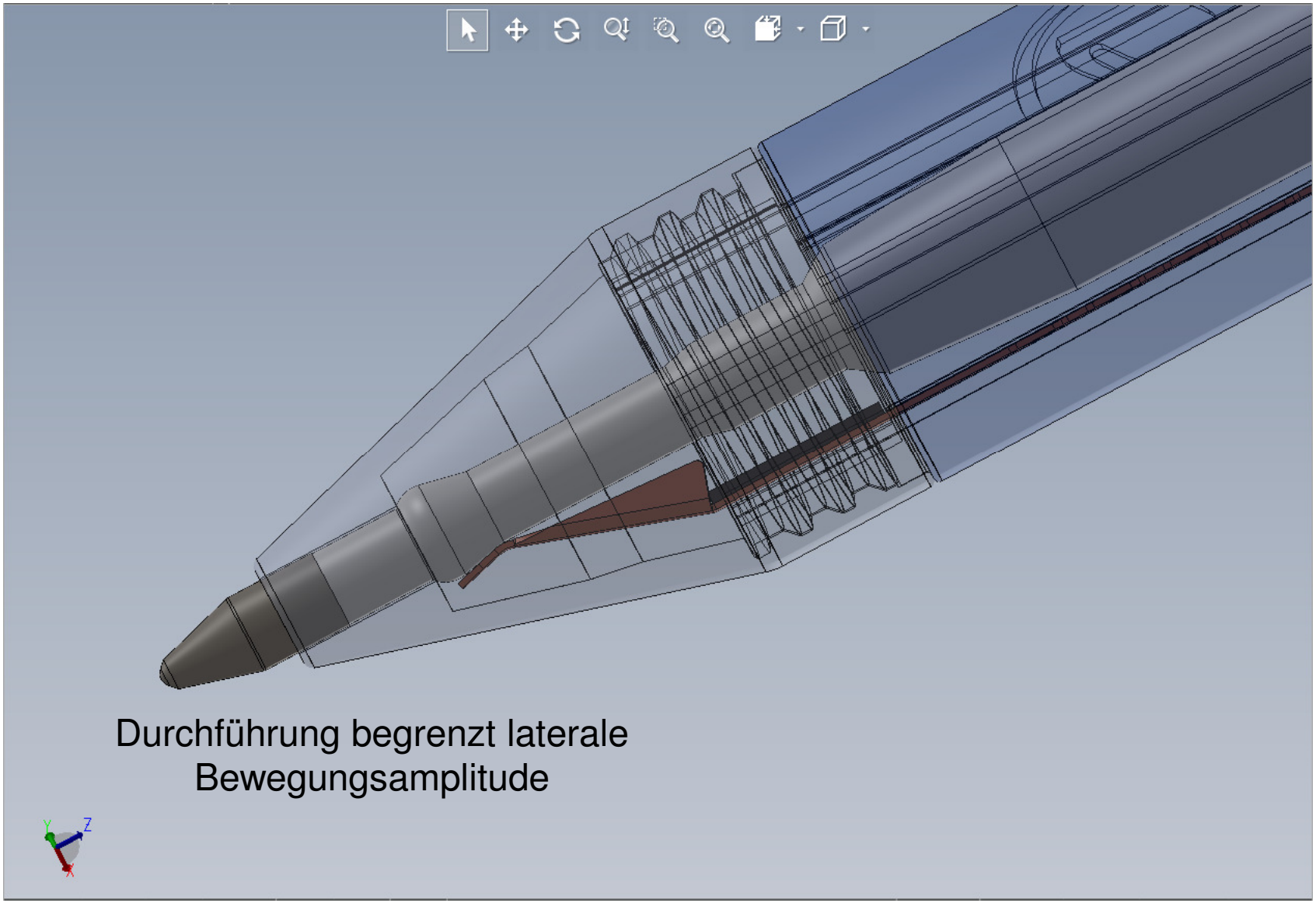
Fraunhofer ISIT



All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution,
as well as in the event of applications for property rights.

© Fraunhofer ISIT 2013

Fraunhofer
ISIT

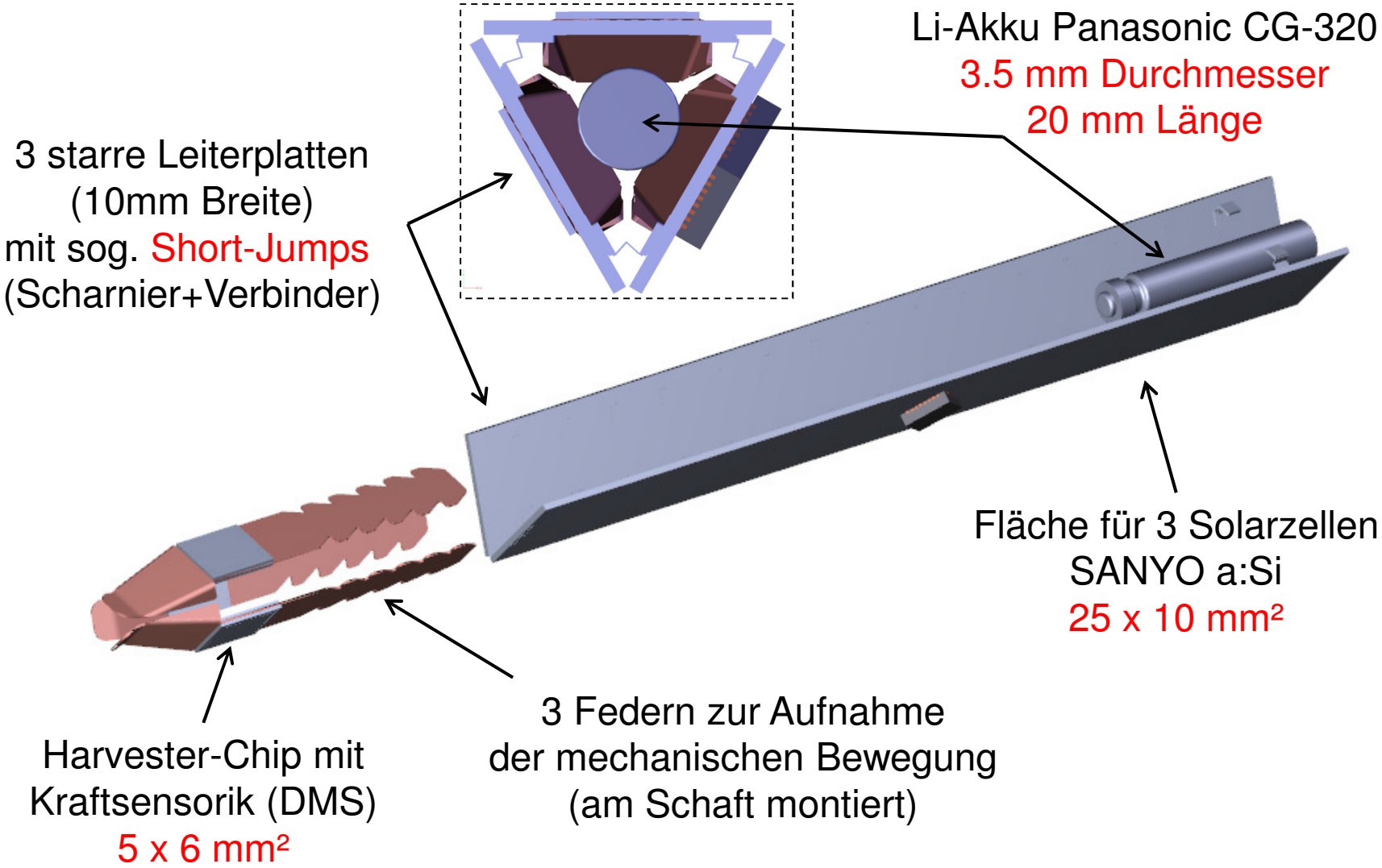


All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution,
as well as in the event of applications for property rights.

© Fraunhofer ISIT 2013

Fraunhofer
ISIT

Konzept zum Aufbau des Stiftes



All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.
© Fraunhofer ISIT 2013
Fraunhofer ISIT

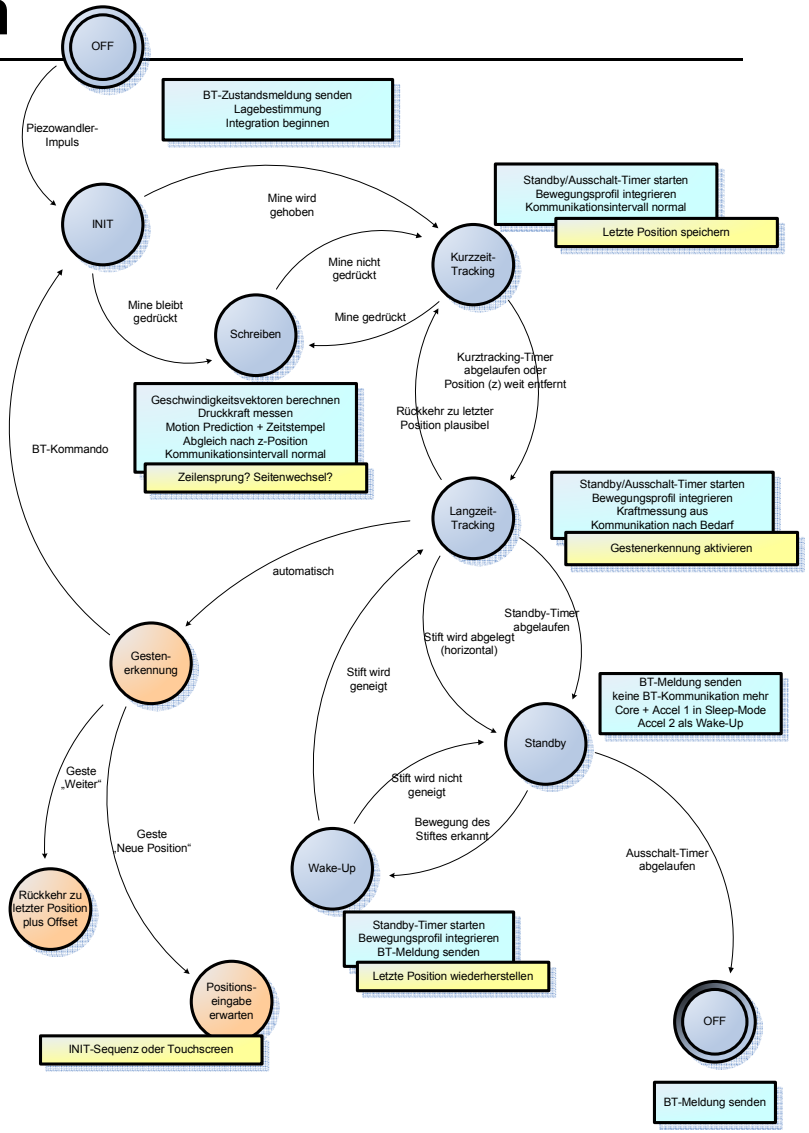
Energiebedarf der Komponenten

Entscheidende Faktoren:

- Auswahl der Komponenten
- Häufigkeit der Kommunikationen
- Übergänge der Betriebszustände
- Geschalteter OFF-Modus (<1µW)
- Messung der Druckkraft gepulst

Bisher grobe Abschätzung 350µW:

- Core 100µW
- Wireless 150µW
- Accel 100 µW
- Gyro noch zu energieaufwändig! (> 3 mW)



9.8.2012 Norman Marenco, Fraunhofer ISIT

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.

© Fraunhofer ISIT 2013

Fraunhofer ISIT

Wie viel Energie können Wearables "ernten"?

Solar (c:Si und a:Si Solarzellen)

outdoor	60…120 µW/cm²
indoor	4…16 µW/cm²
gemischt	30…40 µW/cm²

Messung mit Lichtsensor!
Angenommene Wirkungsgrade:
Tageslicht c:Si 10% a:Si 5%
Kunstlicht c:Si 5% a:Si 10%

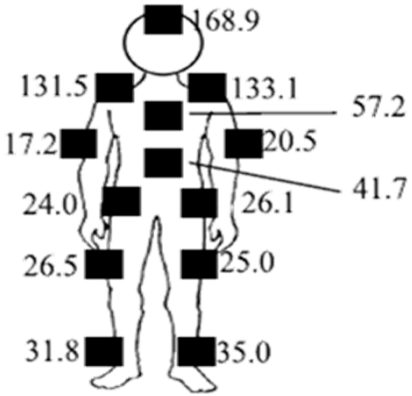
Kinetisch (Schwinger, ca. 3Hz)

am Körper getragen

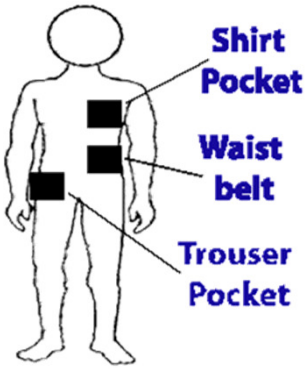
Ruhen	< 5 µW
Gehen	120…280 µW
Rennen	540…910 µW

an Objekten installiert

beabsichtigtes Schütteln	>3000 µW
Schreibbewegung	10-15 µW
Drehstuhl, Bücher, Türen	< 10 µW



Sarik *et al.*:
"More than Meets the Eye - A Portable Measurement Unit for Characterizing Light Energy Availability", 2013



Gorlatova *et al.*:
"Movers and Shakers: Kinetic Energy Harvesting for the Internet of Things", 2014

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.
© Fraunhofer ISIT 2013
Fraunhofer ISIT

Kinetisches Harvesting: Kraft statt Schwingung

Abschätzung nach Gorlatova für Indoor-Harvester:

Schwingung ca. 3 Hz 10-15 µW

*Abschätzung zu Kraft-Harvester **an der Mine** des Stiftes:*

laterale Kräfte 30 µW → 0.1N * 100µm mit 3.0 Hz

axiales Einfedern 50 µW → 1.0N * 100µm mit 0.5 Hz

Wirkungsgrad 10…20% (?) → 8…16 µW beim Schreiben erzeugt

Annahme 1: Geringe Kraft

Ca. 10 µW gilt für einen routinierten Schreiber.

*→ Schulkinder evtl. Faktor 2-3 höher, d.h. **bis zu 30µW möglich**.*

Annahme 2: Gleitende Reibung

Papier und Mine erzeugen Vibrationen von einigen 10 Hz!

*→ Höherer Energieeintrag ist möglich, **evtl. bis 100µW**.*

Erwartete Piezospannung mit ISIT Harvester-Chip:

AlN: ca. 17 V

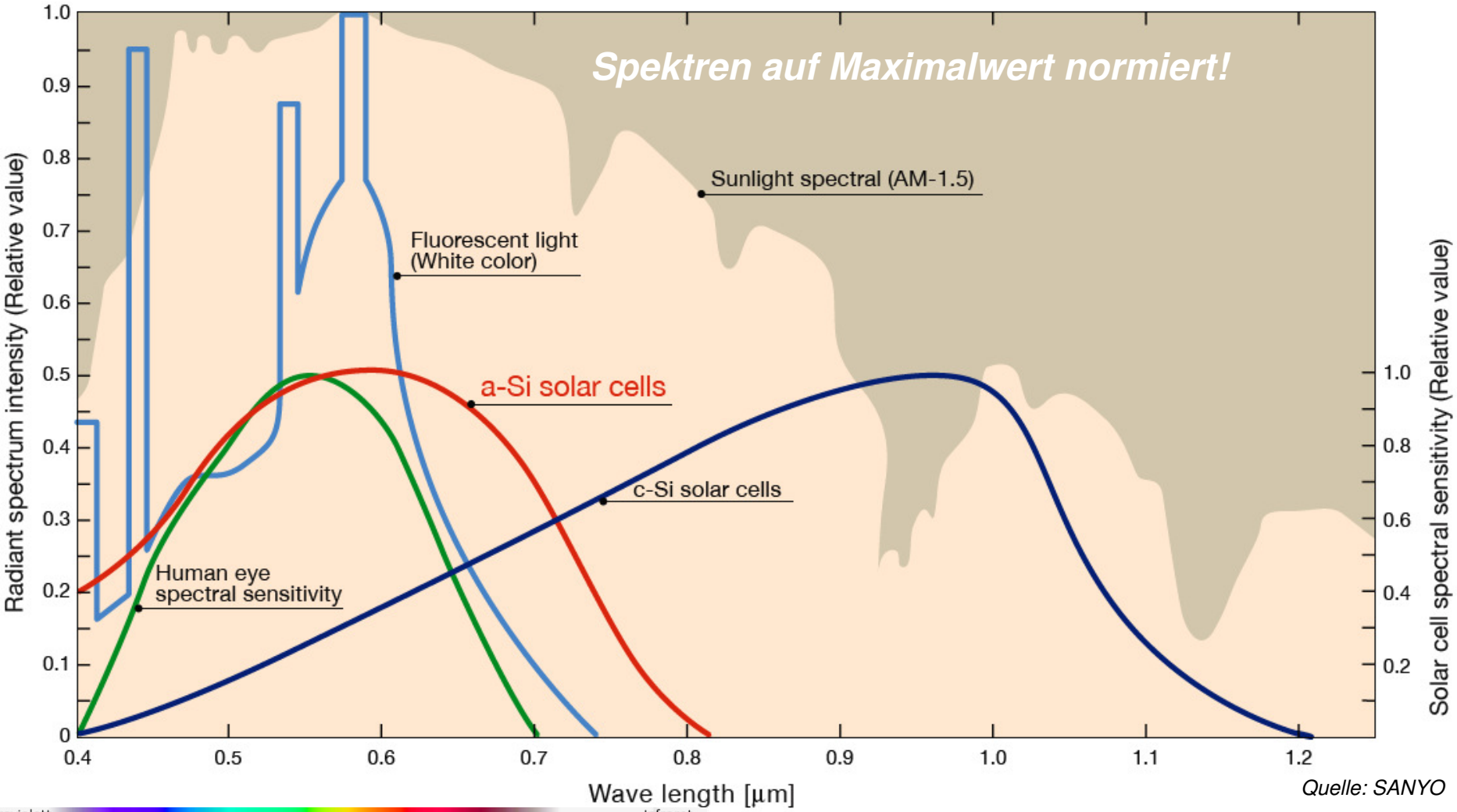
(PZT: ca. 1.6 V)

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.

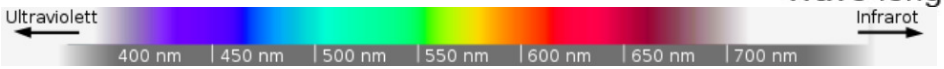
© Fraunhofer ISIT 2013

Fraunhofer ISIT

Solarzellen in Innen- und Außenanwendungen



Quelle: SANYO



All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.

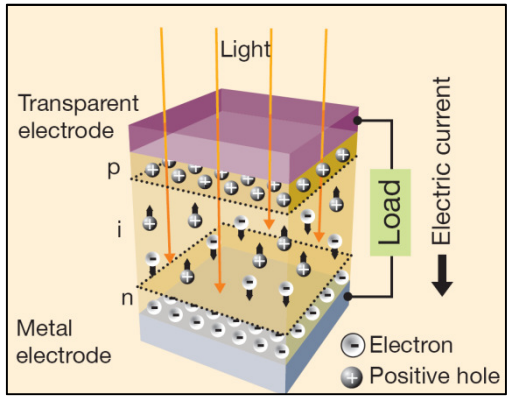
© Fraunhofer ISIT 2013

Fraunhofer ISIT

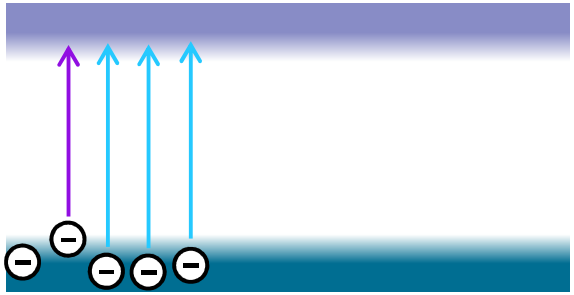
Bandlücken (spektrale Sensitivität) von Photodioden

Diode (kleine Leistung)

- p-n Übergang
- monokristallin, kleine Fläche
  → *kaum Störstellen, d.h. scharfe Bandkante*

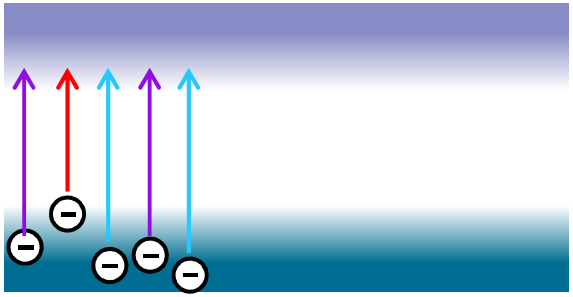


monokristalline Solarzelle



- p-n Übergang
- mono- oder polykristallin, große Fläche
  → *viele Störstellen, d.h. zusätzliche Energieniveaus nahe der Bandkanten*
- hohe Transmission
  Absorptionstiefe ca. 30µm
  → ***Wafer-Prozess***

amorphe Solarzelle



- p-i-n Übergang
  intrinsischer Bereich durch Schichtabscheidung definiert
- amorphes Gefüge, große Fläche
  → *kurze Gitterbereiche und viele Störstellen, d.h. unscharfe Bandlücke*
- starke Absorption
  Absorptionstiefe ca. 1 µm
  → ***Dünnschicht-Prozess***

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.

© Fraunhofer ISIT 2013

Fraunhofer ISIT

Solares Harvesting: Energie auf Vorrat tanken

Abschätzung nach Sarik:
indoor-Solarzelle a:Si 4-16 µW/cm² (bei 5% Wirkungsgrad)
→ ISIT-Messung: 20…30 µW/cm² unter Schreibtischlampe

Abschätzung der verfügbaren Solarfläche:
3 Module im Stift hinten 2…6 cm² → 10…100 µW

Annahme 1: Nicht optimale Flächenausnutzung und Abschattung
Design mit 6…8 cm² exponierter Zellfläche vorstellbar
→ 100 µW ist ein realistischer Wert.
Annahme 2: Verwendung von Silizium-Solarzellen
Neue Indoor-Zellen können 3…6 mal höhere Ausbeute erzielen! (Sharp)
→ bis zu 600µW erreichbar!

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.
© Fraunhofer ISIT 2013
Fraunhofer ISIT

ISIT-Systemintegration für Wearables, IoT…

Harvester

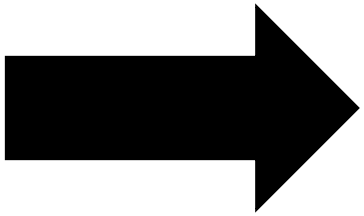
Energiespeicher

Sensorik

Kommunikation

Prozessor

Modularisierung



MotionCore

SmartForce

LightStore

PenPower

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.

© Fraunhofer ISIT 2013

Fraunhofer ISIT

Modulare ISIT Systemplattform für Wearables

SmartForce

Kraftmessung

3x DMS-Kraftsensoren

PenPower

Wake-Up, Startlogik, Ladezustand

3x Piezo-Harvester

LightStore

CC2650 (Texas Instruments)

Main CPU
ARM
Cortex M3

RF Core
BTLE, ZigBee
+ Controller

Peripherie-module
GPIOs
UART, I²C
Timer
Watchdog
…

Sensor Controller
ADC
Comparator
Const.Curr.
…
+ Controller

Core-Spannungsregler
1.8V (V_{GPIO} extern)

24 MHz

32 kHz

MotionCore

SensorTag "light"

Bluetooth LE
SMD-Antenne

I2C/SPI Bus

9D Inert. Sens.
InvenSense
MPU-9250

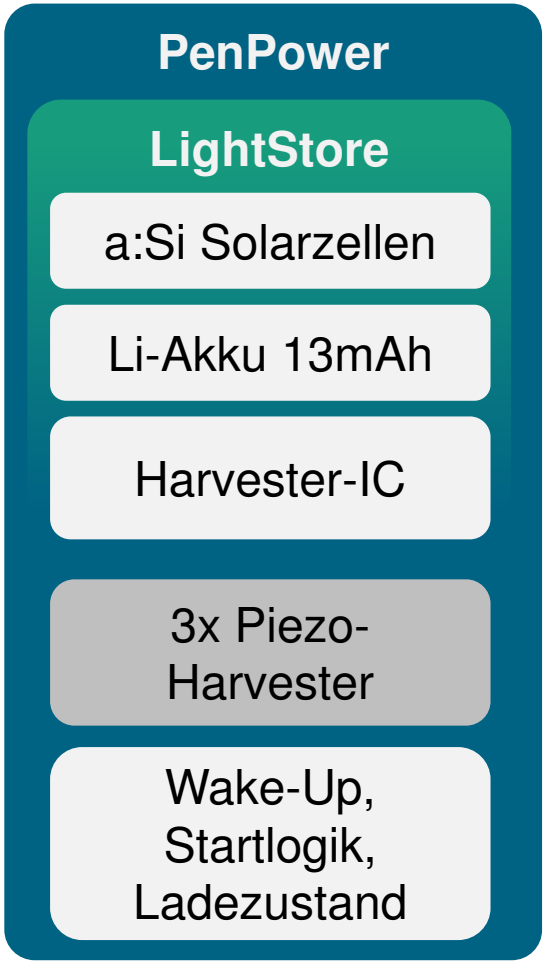
Lichtsensor

9D Inert. Sens.
Bosch
BMI160

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.
© Fraunhofer ISIT 2013

Fraunhofer ISIT

Konzept des PenPower / LightStore Moduls



DIGISTIFT soll eine Studie über den Einsatz regenerativer Energiequellen ermöglichen!

→ Solares Laden: Risikoarm umsetzbar, da jederzeit unter starker Lichtquelle aufgeladen werden kann.

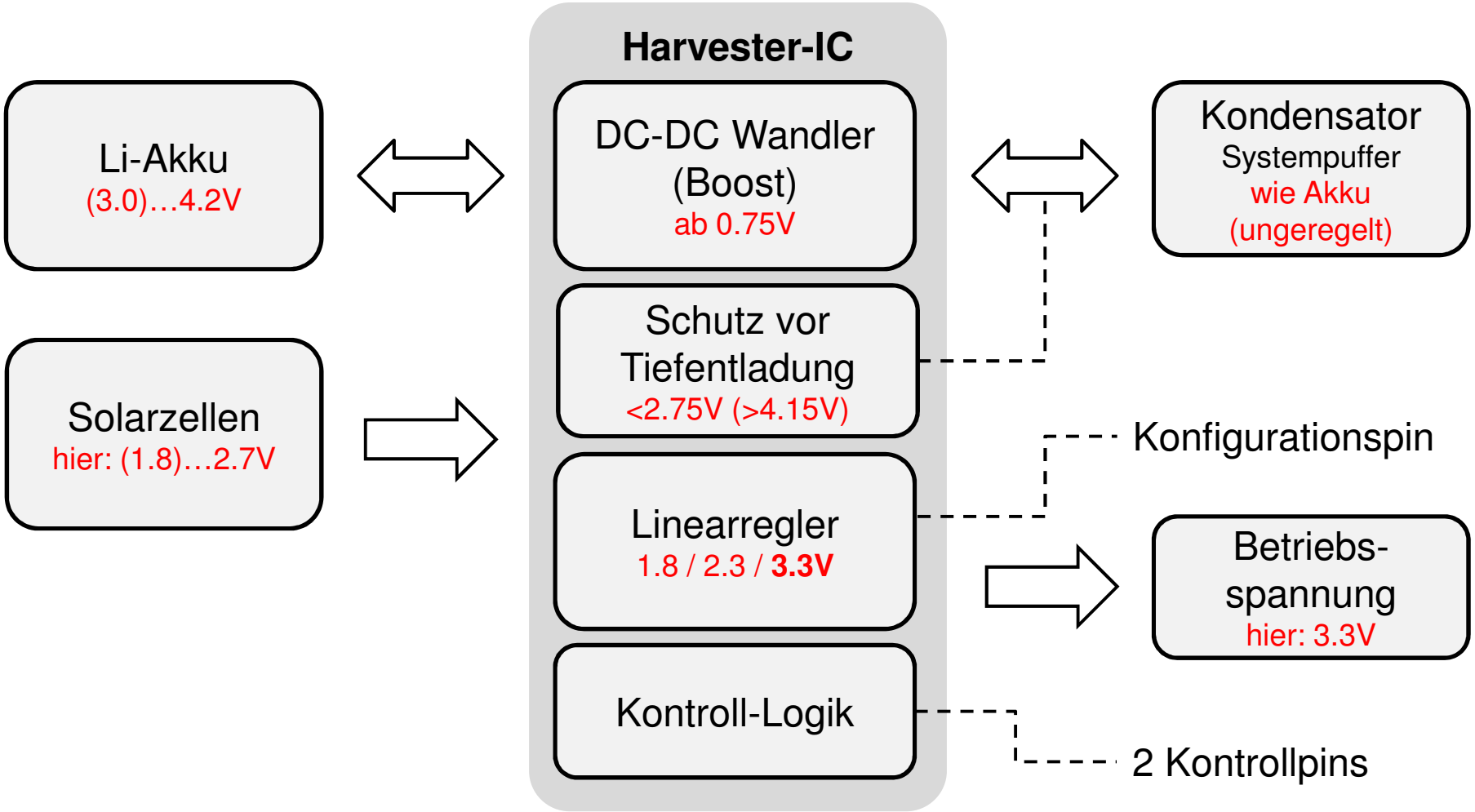
→ Piezo-Harvester: Viele Ungewissheiten, d.h. Priorität ist das MESSEN des Energieeintrags anstelle der Nutzung der Energie.

→ Wake-Up Generator mit Piezo-Harvester: Um den Wandler nicht durch die Messung zu belasten, wird das Signal impedanzverstärkt an ADC gegeben.

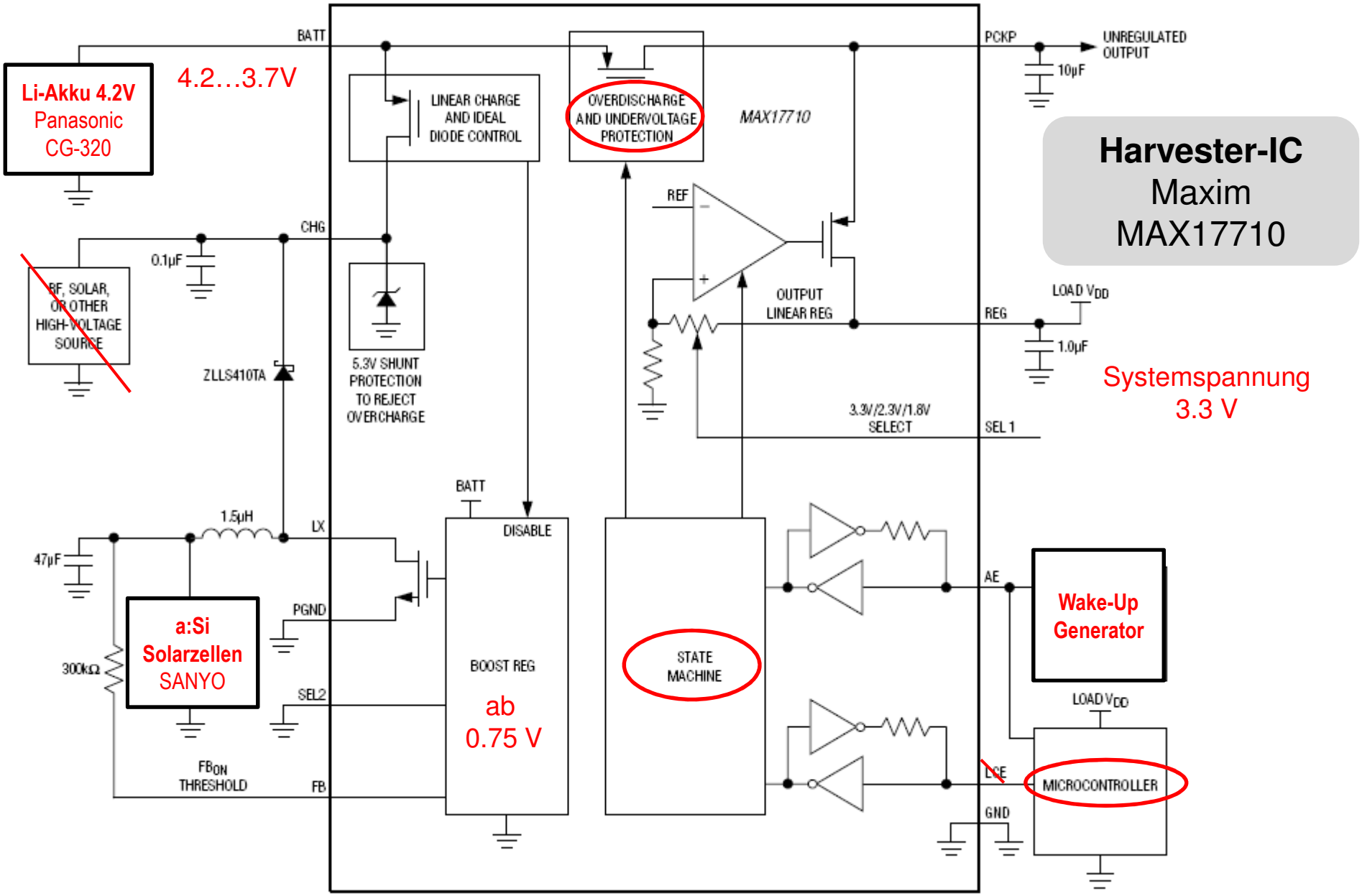
→ Kombinierter IC (Maxim) übernimmt Harvesting, Batterieladung und -überwachung sowie Bereitstellen *einer* Systemspannung.

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.
© Fraunhofer ISIT 2013
Fraunhofer ISIT

Power-Supply mit Maxim MAX17710



All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.
© Fraunhofer ISIT 2013
Fraunhofer ISIT

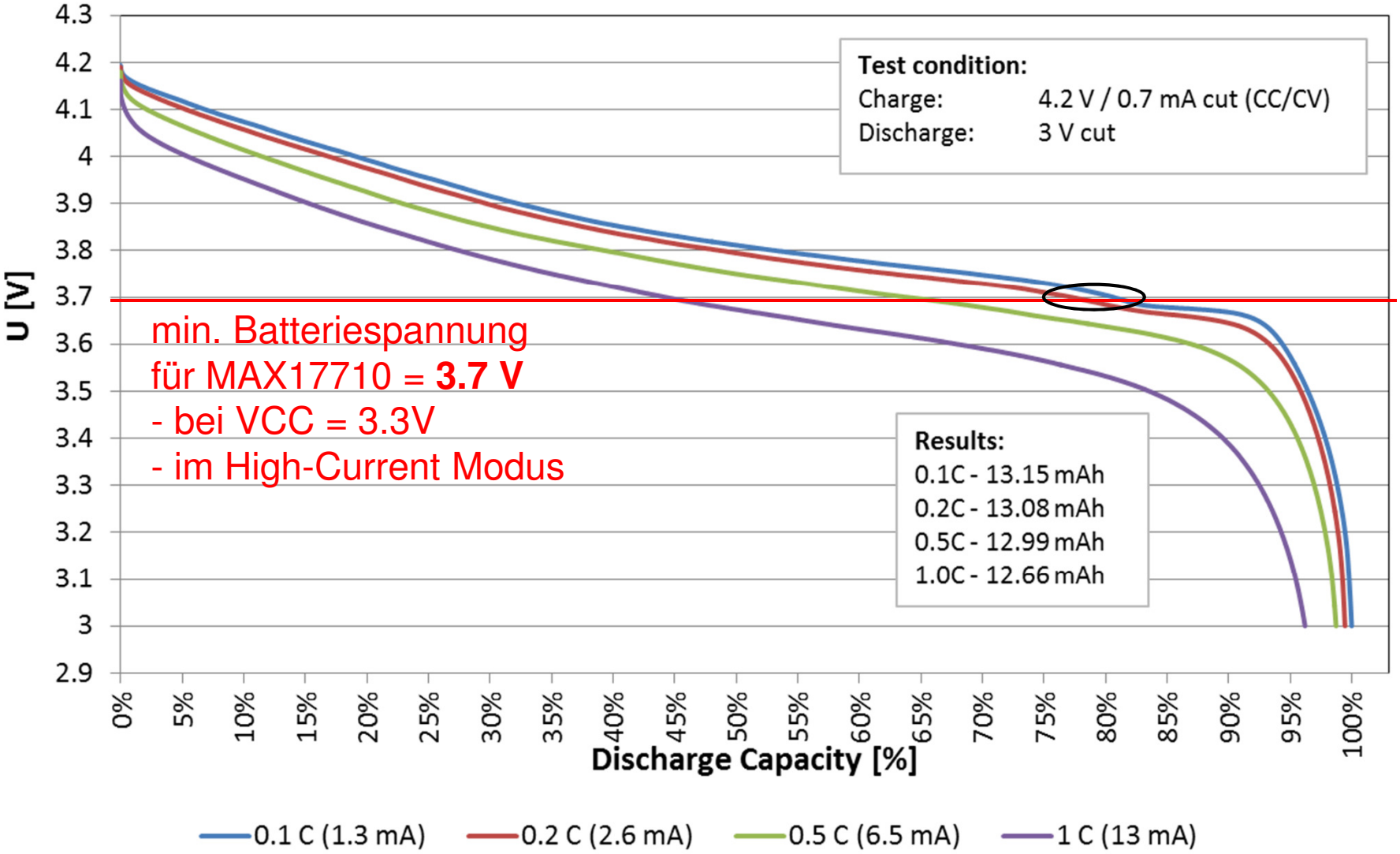


All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.

© Fraunhofer ISIT 2013

Fraunhofer ISIT

Panasonic CG-320 Entladekurven (von ISIT geprüft)



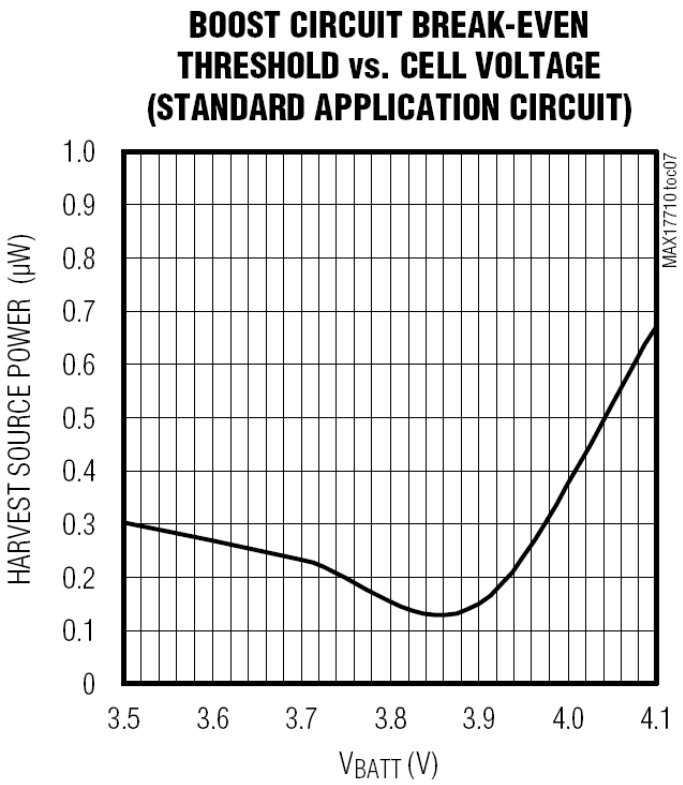
All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.

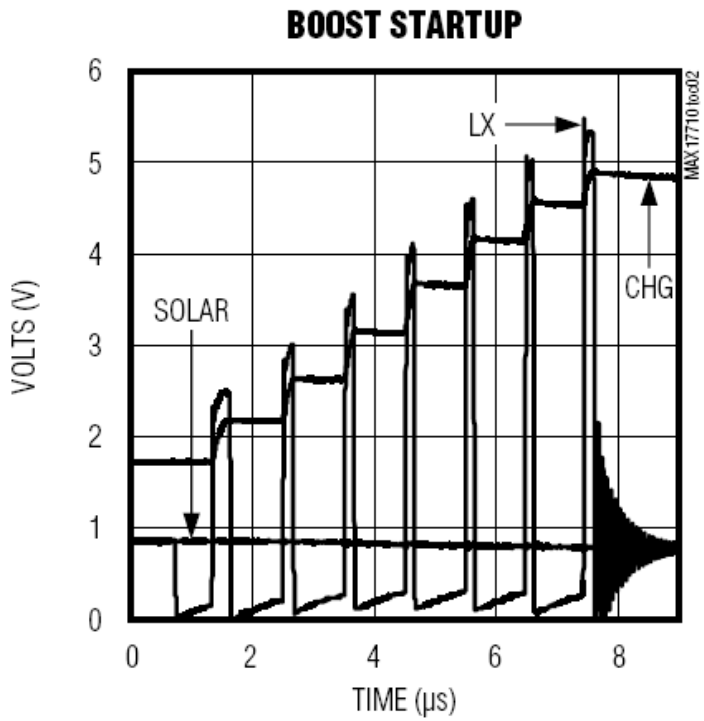
© Fraunhofer ISIT 2013

Fraunhofer ISIT

Boost-Wandler des MAX17710

Boost-Konverter startet Harvesting schon unter 1 µW!



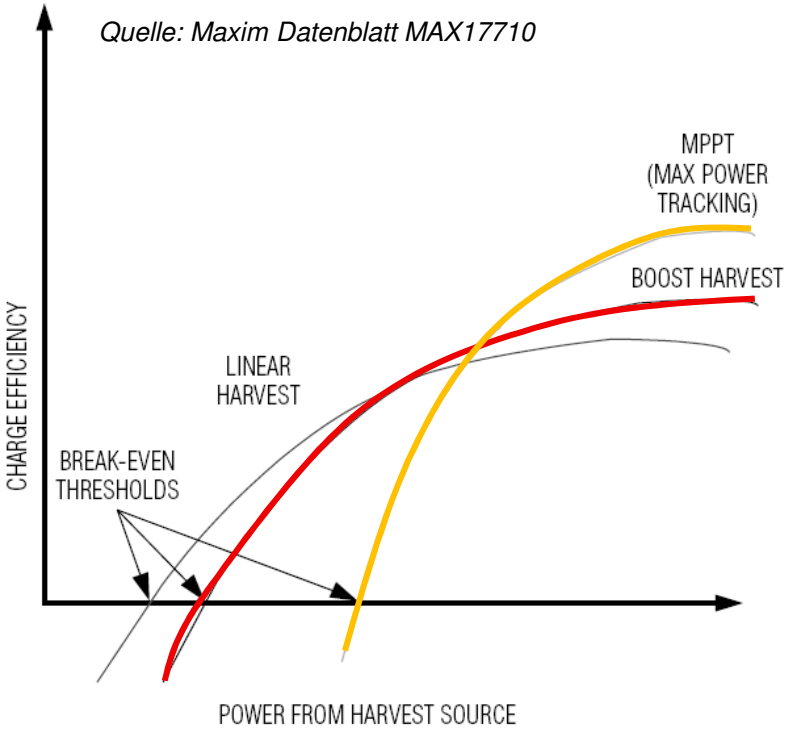


All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.

© Fraunhofer ISIT 2013

Fraunhofer ISIT

Warum kein Maximum Power-Point Tracking?



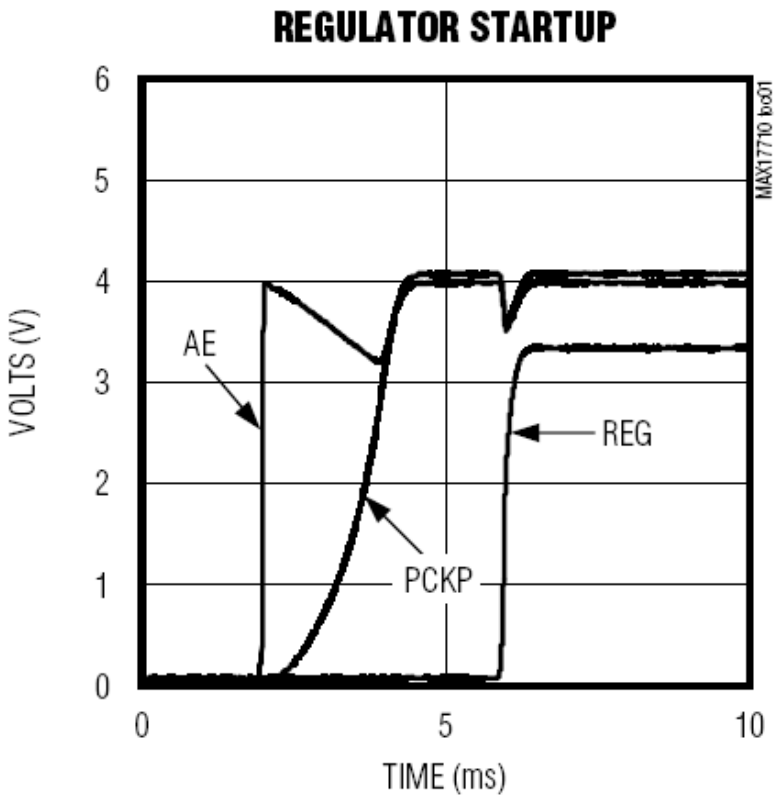
MPPT erhöht die Harvester-Effizienz, benötigt aber selbst Energie zur Messung und Kontrolle der Entnahme.

→ In extremen Low-Power Anwendungen ist der Verbrauch des MPPT höher als der Effizienzgewinn!

→ Für diese Anwendung wurde deshalb der LTC3105 (Linear Technology) nicht eingesetzt!

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.
© Fraunhofer ISIT 2013
Fraunhofer ISIT

Aktivieren des MAX17710 / Wake-Up Schaltung



Normaler Startvorgang:
Bei ausreichender Batteriespannung wird der Pufferkondensator über PCKP geladen und der VCC-Spannungsregler aktiviert.

Wake-Up Schaltung:
Pin "AE" (Open Collector) muß aktiv auf Low gezogen werden, um das Einschalten zu unterbinden!

Die Wake-Up Schaltung nutzt einen Komparator, um AE so lange aktiv auf Low zu halten, bis der Piezo-Harvester einen Spannungspuls erzeugt.

Nachteil: Dauerhafter Stromfluß <100nA.

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.
© Fraunhofer ISIT 2013
Fraunhofer ISIT

Versorgung der Sensormodule

MotionCore

9D Inert. Sens.
InvenSense
MPU-9250

Lichtsensor

9D Inert. Sens.
Bosch
BMI160

Durch den geringen Energiebedarf der Sensor-ICs können diese über die High-Current GPIOs des CC2650 versorgt werden!
(Schaltungsvorschlag vom SensorTag übernommen.)

SmartForce

3x DMS-Kraftsensoren

Die DMS-Messbrücken werden gepulst angesteuert. Die Verstärker bleiben inkl. Puffer an VCC (sehr niedriger Ruhestrom im Disable-Mode)

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.
© Fraunhofer ISIT 2013
Fraunhofer ISIT

Zusammenfassung

- Im BMBF-Projekt DIGISTIFT untersucht das ISIT Aspekte der energieautarken Mensch-Technik Interaktion. Das Projekt wurde intern zum Leitprojekt "Systemintegration" erweitert.
- Es wird ein Chip in einfacher Technologie entwickelt, der einen Piezo-Harvester und Dehnungsmeßstrukturen beinhaltet (Status: Fab-Out).
- Als Demonstrator wird ein Stift gebaut, um den energieautarken Betrieb von aktuellen Prozessor, Sensoren und Funkschnittstelle mit Solarzellen zu testen (Status: PCB Layout fertig).
- Am Demo-Stift soll weiterhin der ISIT-Chip getestet werden, d.h. die Kraftmessung und die Messung der piezoelektrischen Energieeinträge.
- Die Module MotionCore, SmartForce und LightStore stehen nach dem Projekt für andere ISIT-Demonstratoren zur Verfügung.

All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for property rights.
© Fraunhofer ISIT 2013
Fraunhofer ISIT