



University of Twente

Dr. ir. A.B.J. Kokkeler
Energy Efficiency
and
Computer Architectures



University of Twente
The Netherlands

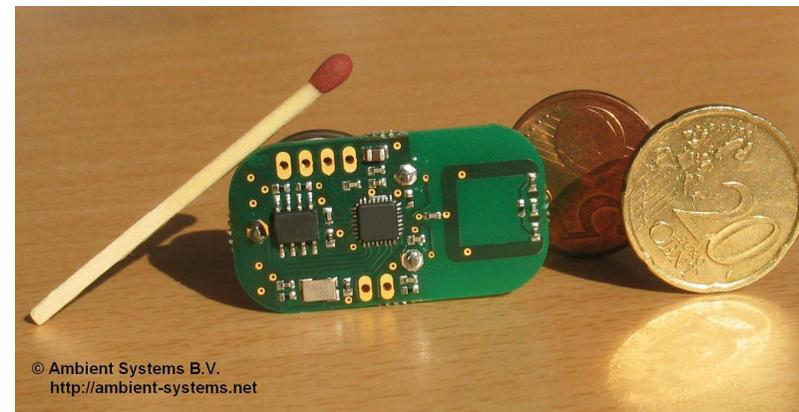
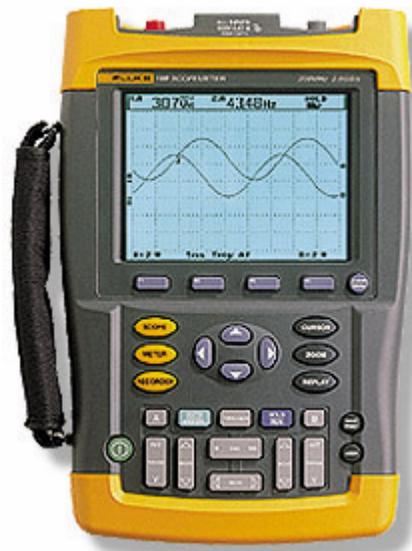
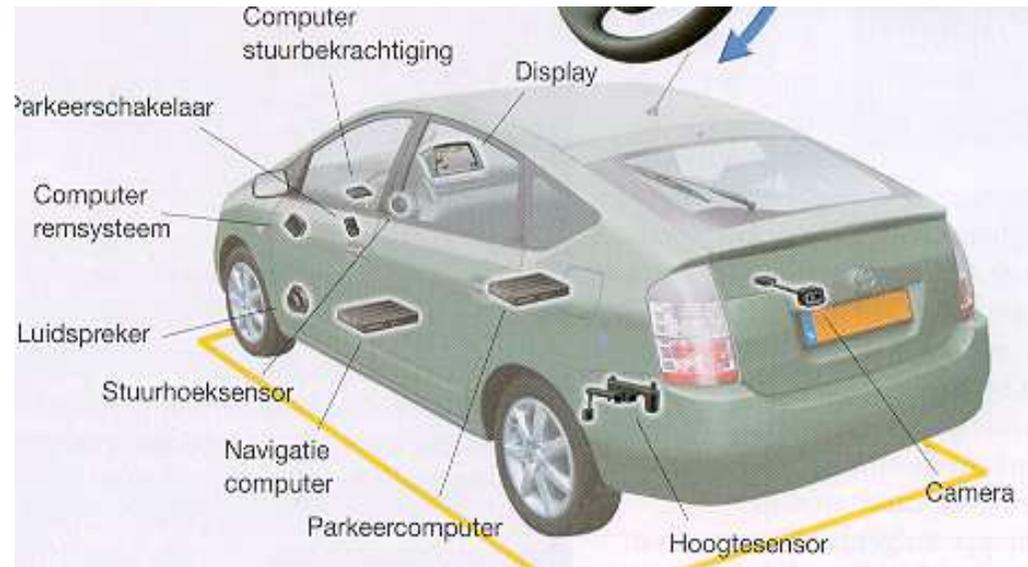


Outline

- n Energy Efficient Computer Architectures
- n Computer Architectures for Energy Efficiency
- n Conclusion



Computer Architectures and Embedded Systems





Why Energy Efficient Computer Architectures

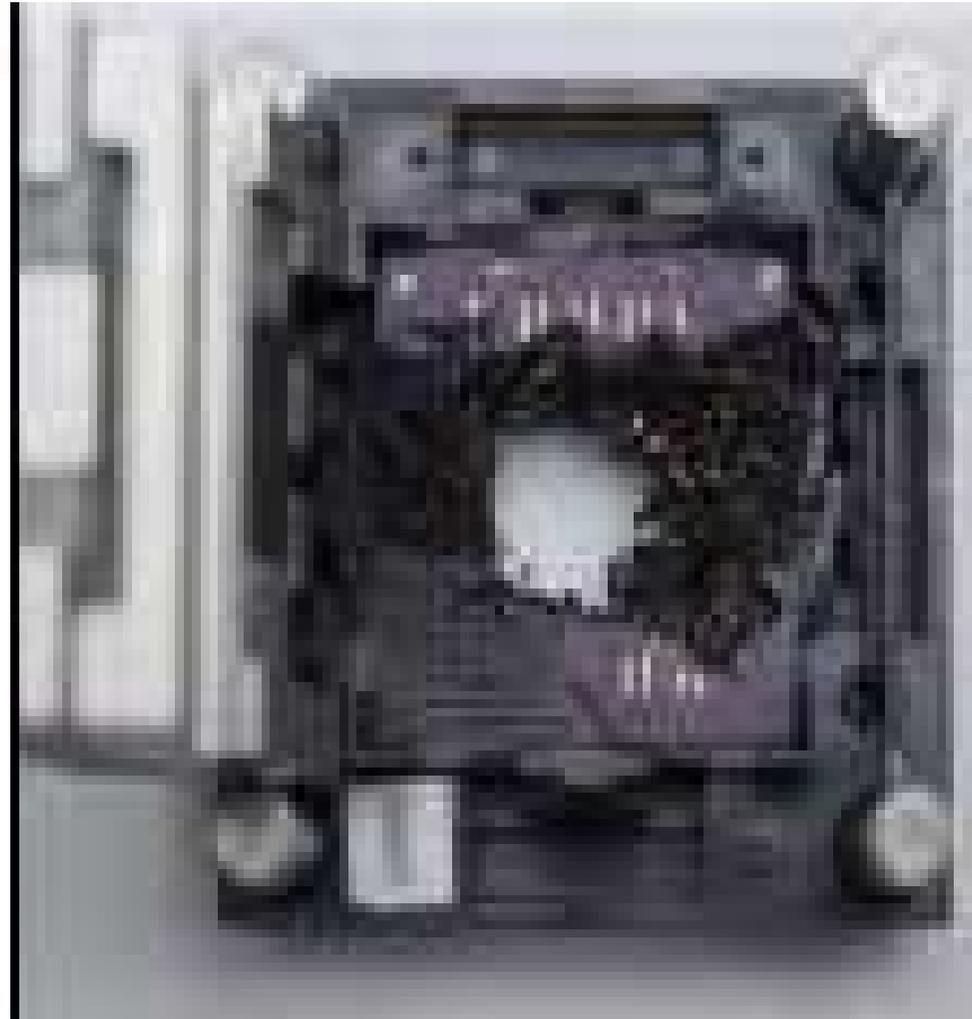
- n Functional requirements
 - n Battery lifetime
 - n Cooling capacity
 - n Feasibility
- n Economical/Environmental Considerations



Cooling Capacity We can't do without cooling

Quote: John Lazzaro
Berkeley

“Sad fact: Computers
turn electrical energy
into heat. Computation
is a byproduct.”



iPod nano ...



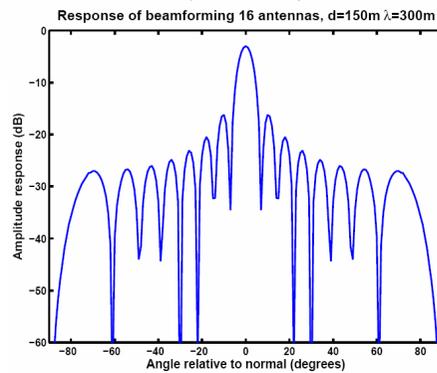
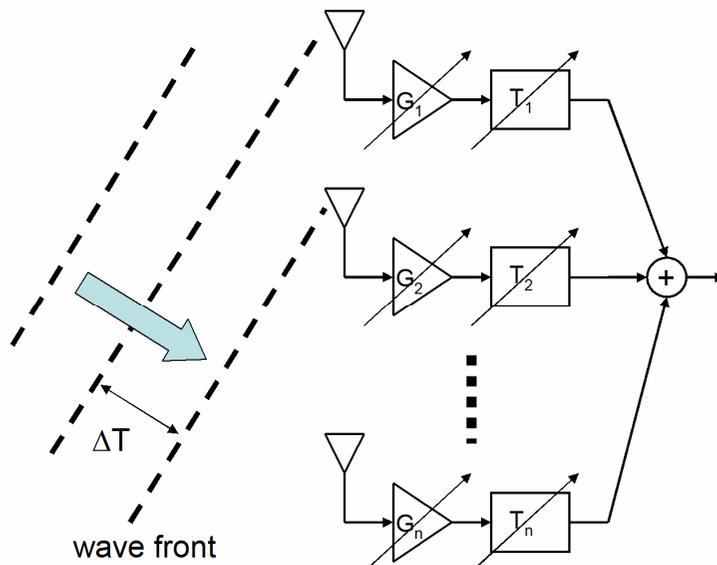
University of Twente
The Netherlands

But, users do not want fans
in their pockets





Feasibility: Beam forming





Energy in beam forming

	Phased array feed	Single feed dish	Aperture array <i>innovation path?</i>
Mult. in mul/s	248 peta	1.4 peta	95 peta
No. of FPGA's	6.2 M	34 k	2.4 M
Power, MW	311	1.7	119
Cost, G€	6.2	0.034	2.3

Notes: - these are order of magnitude estimates
- Moore's law not taken into account
- applying custom chips will reduce power dissipation

Source: SKA Signal Processing, A.J. Boonstra Astron



University of Twente

The Netherlands

Economical/Environmental: The energy bill of internet

DE VOLKSKRANT | Economie | 9
VRIJDAG 16 NOVEMBER 2007



Accent Computerpakhuis Google zoekt 'groen' voordeel in Groningen

AMSTERDAM Nederlandse internetters die volgend jaar een vraag stellen aan Google, krijgen misschien wel een antwoord uit de Femshaven.

In februari lekte uit dat het Californische internetbedrijf een oogje had laten vallen op Groningen. Donderdag maakte Google bekend dat de kogel door de kerk is. Het betreft in de loop van volgend jaar een deel van een nieuw computercentrum in de Femshaven. Er gaan vijf tot tien mensen aan de slag.

'We zitten het liefst dicht bij onze gebruikers' zegt de

van het Googleplex zijn zonnepanelen geïnstalleerd die 30 procent van de stroombehoefte dekken.

Hoeveel servers (netwerkcomputers) Google in Groningen gaat plaatsen, wil het bedrijf uit concurrentieoverwegingen niet zeggen. Ook het aantal datacentra is een bedrijfsgeheim. Er verrijft in ieder geval in België een nieuw computercentrum dat eigendom is van de Amerikanen. In Groningen huurt het bedrijf ruimte.

'We maken gebruik van eigen technologie'

INTERNET SLOOPT KLIMAAT

Uitstoot van CO2 bijna zo groot als het vliegverkeer

door Joris Polman

AMSTERDAM — De CO2-uit-

stoot is om een spaarlamp een uur lang te laten branden.

Dat blijkt uit onderzoek van Gartner, een van 's werelds grootste adviesbedrijven op het gebied van informatietechnologie. IT-bedrijven als Google, Yahoo en Microsoft, maar ook hoogwaardige dienstverlenende bedrijven en instellingen als banken en overhe-

'groene revolutie' staat. Dat is bitere noodzaak om meerdere redenen, zegt directeur Damian Schmidt. Strato is met bijna vijfhonderd medewerkers actief in zes Europese landen. Het bedrijf heeft meer dan 3,5 miljoen domeinen geregistreerd en verwerkt dagelijks meer dan 200 miljoen e-mails. De stroomrekeningen rij-

Andere IT-bedrijven kunnen niet achterblijven, zegt Schmidt. 'De meeste IT-bedrijven betrekken nog altijd goedkope stroom uit fossiele brandstoffen en kerncentrales. Zo heeft Google onlangs een nieuw datacenter gebouwd in de Amerikaanse staat Oregon ter grootte van twee voetbalvelden. De reden dat Google

als 100 miljoen huishoudens, blijkt uit berekeningen van Eko Hosting in Alkmaar.

Google is al behoorlijk 'groen'. Zijn Europese medewerkers krijgen gratis een fiets tot hun beschikking. Voor de werknemers op zijn hoofdkantoor in Californië heeft het bedrijf een eigen busproject opgezet voor het forensenverkeer. Op het dak

per definitie: 'Ons serverpark is juist verspreid, om storingen en uitval op te vangen.' Hoeveel computers schuilgaan achter Google's netwerk behoort ook tot het bedrijfsgeheim. Een schatting van onderzoeksbureau Gartner kwam tot zeker een miljoen - en elke drie maanden komen er 100 duizend bij. Peter van Ammelrooy



Trends Integrated Circuit Technology

- n Old: transistors are expensive, energy cheap
- n New: energy is expensive, transistors cheap

- n Old: Higher clockfrequency improves performance
- n New: clockfrequency limit is reached

- n Old: no need to parallelize
- n New: urgent need to parallelize

- n Old: processors are reliable
- n New: processors show statistic behavior



Myths and facts

- n Myths in energy reduction
 - n energy consumption is only a hardware problem
 - n time will solve the energy problem
- n Facts
 - n help from IC technology will slow down
 - n energy is a 'vertical' parameter and involves all layers
 - n communication requires more energy than processing:
Energy for 32 x 32 multiplication: 5.7 nJ.¹¹

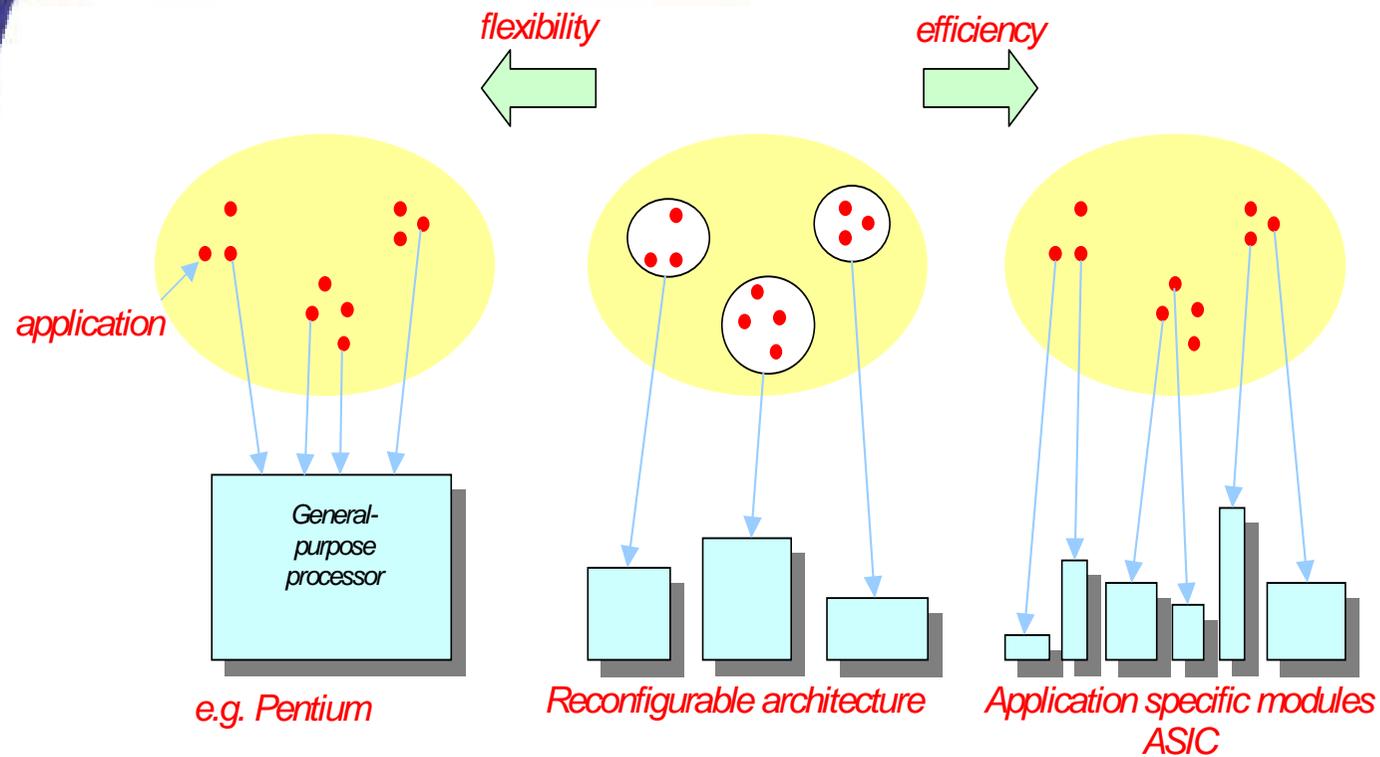


Basic rules of energy reduction

- n Do not do more than necessary
 - n do not optimize for 'worst case' but for the 'current case'
 - n React on the environment: adaptability (QoS)
- n Use Locality of reference
 - n avoid communication over long distances
 - n avoid off-chip communications (1000 times more expensive)
- n Take a holistic view
 - n Be energy aware at all levels of your system
 - n technological, system architecture, operating system, applications
- n Do the tasks at the most energy-efficient platform/way
 - n Heterogeneous architectures of **domain specific elements**
 - n Match algorithm with architecture

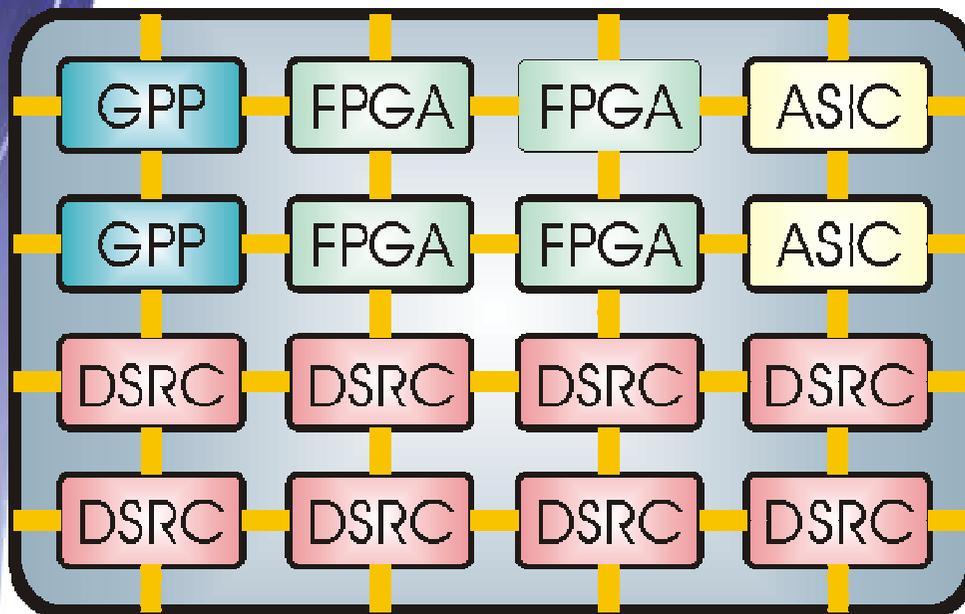


Reconfigurable architectures





Chameleon heterogeneous system-on-chip for mobile computing



- n General-purpose
- n Fine-grained
- n Coarse-grained
- n Application specific

DSRC = domain specific reconfigurable

- n Domain specific processing tiles connected by an on-chip interconnection network
- n Match algorithm with architecture



A tiled architecture

- n Inherently exploits locality of reference
 - n Reduces energy and delay costs
- n Tiles do not grow in complexity with technology
 - n Technology scales => more tiles on chip
- n On-chip network
 - n Higher bandwidth, lower power
- n Small design
 - n Can be highly optimized for low-power
 - n Identical tiles have to be verified only once
- n Partial and dynamic reconfiguration
- n Tile can have its own (configurable) clock domain
 - n Clock gating (clock consumes a lot of power)
 - n Dynamic voltage scaling



Montium Tile Processor

Goals

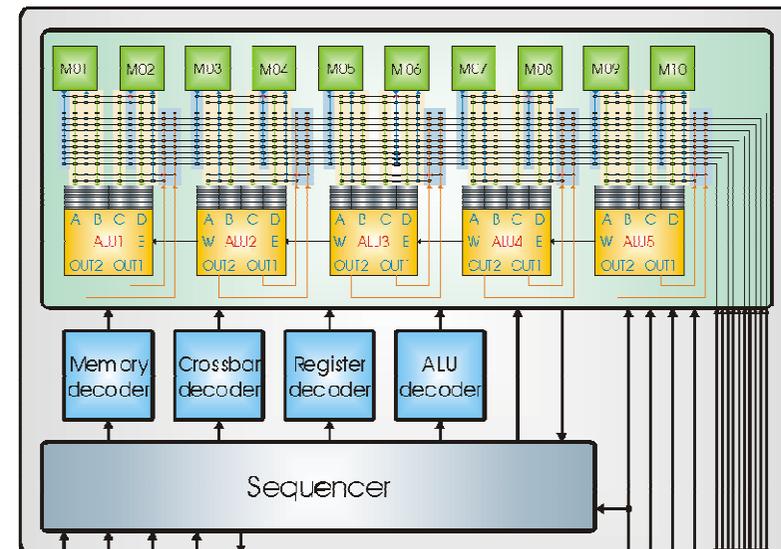
- n Energy-efficient
- n Flexible
- n Small overhead

n Algorithm domain

- n Digital Signal Processing
- n 2048p FFT, FIR, correlation, ...

n Features

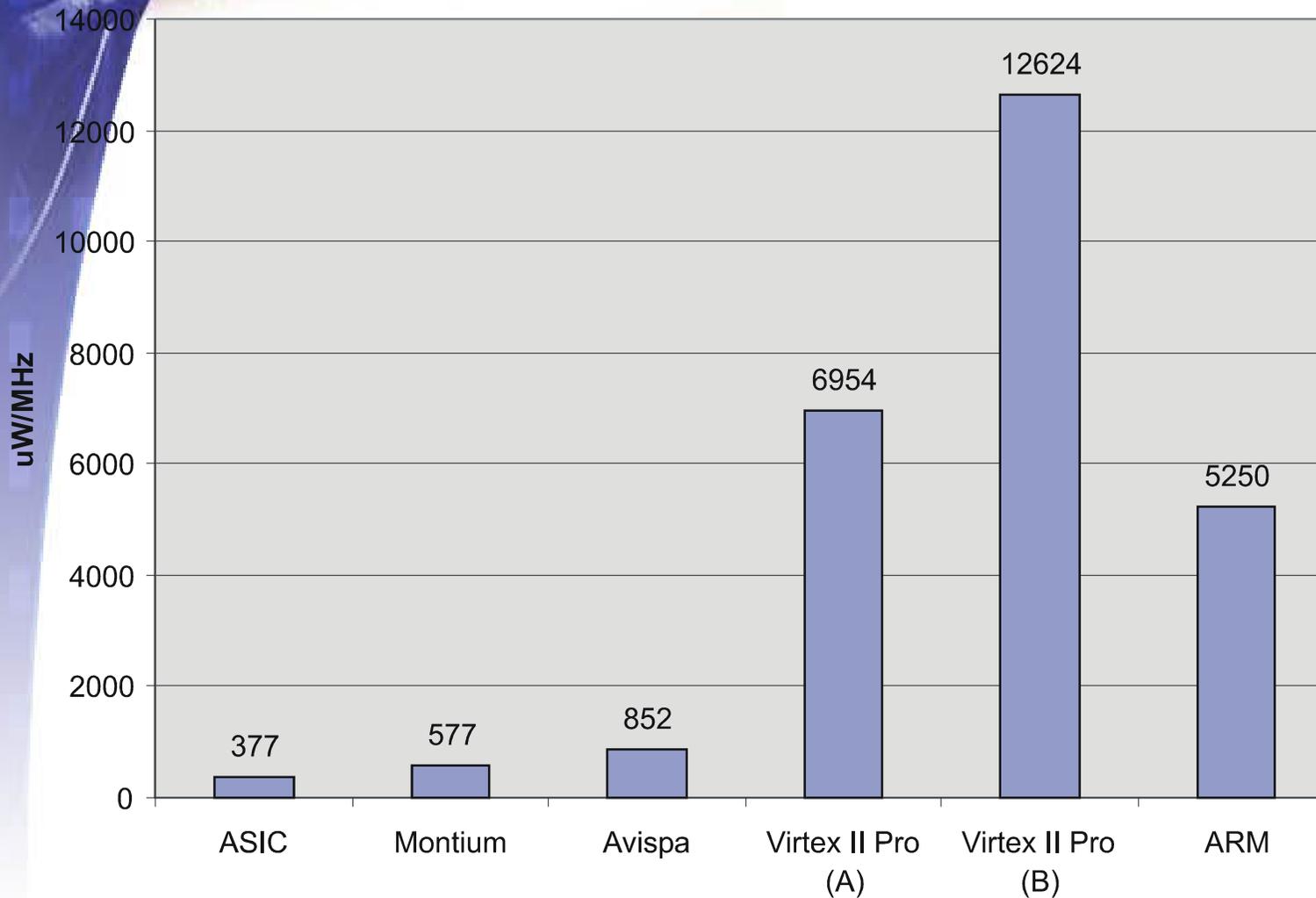
- n 16-bit datapath
- n Signed integer and signed fixed-point
- n Streaming I/O
- n Reconfigurable instruction set



Montium Tile Processor	
Process	0.12 μm
Voltage	1.10V
Energy	0.5 mW/MHz
Area (excluding wires)	1,8 mm ²
Clock speed	45-150 MHz

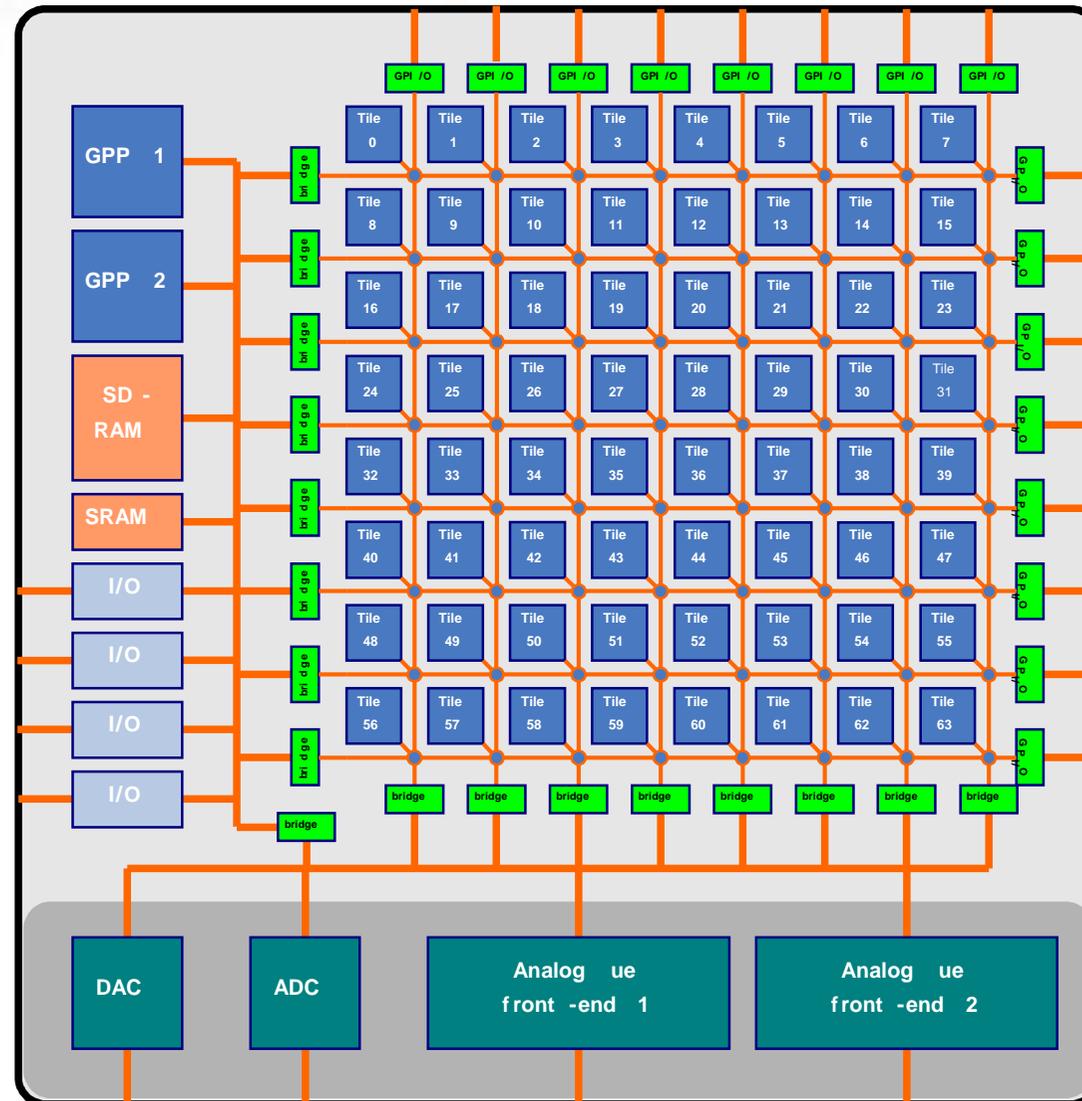


Energy consumption comparison FFT butterfly



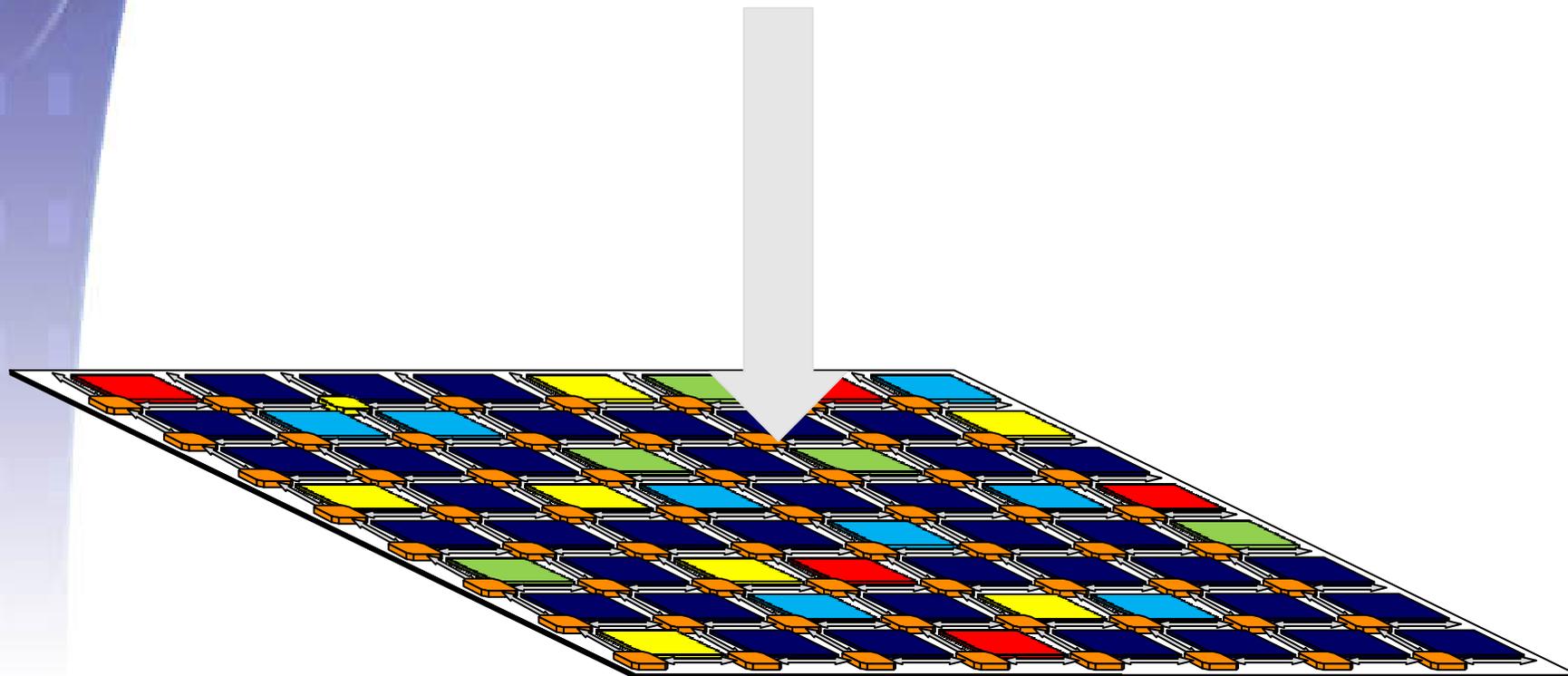
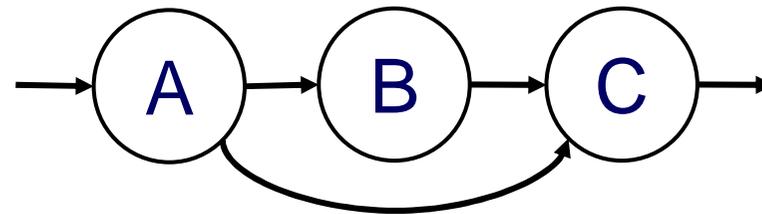


EU FP7 CRISP project





Mapping streaming applications to Heterogeneous Architectures



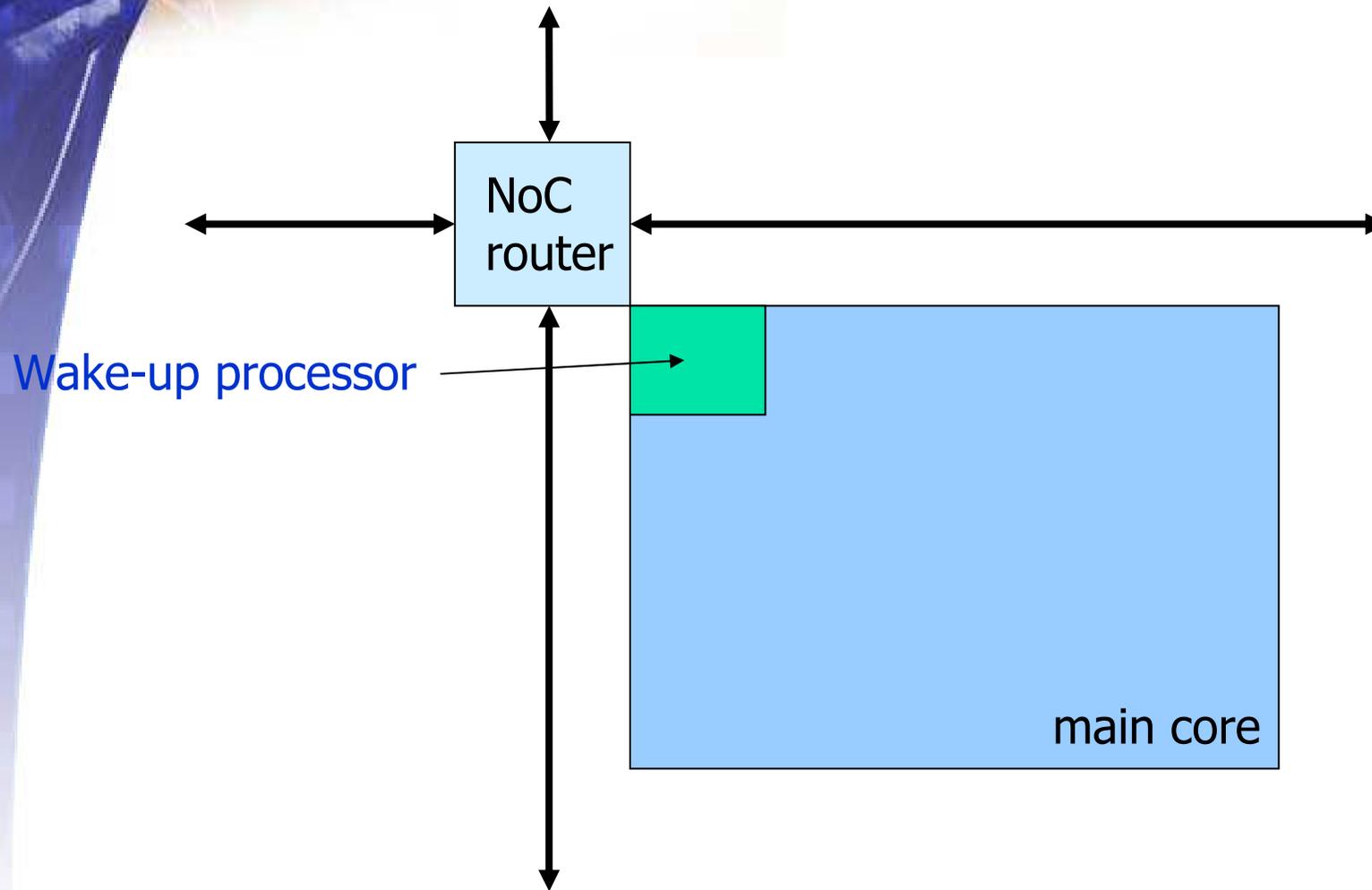


Design-time versus run-time

- n At run-time exact QoS requirements are known
- n Combination of applications is known;
- n Exploit dynamics of application;
- n Defect elements can be avoided, extending lifetime of the system, graceful degradation.



Logic to reduce energy consumption





University of Twente

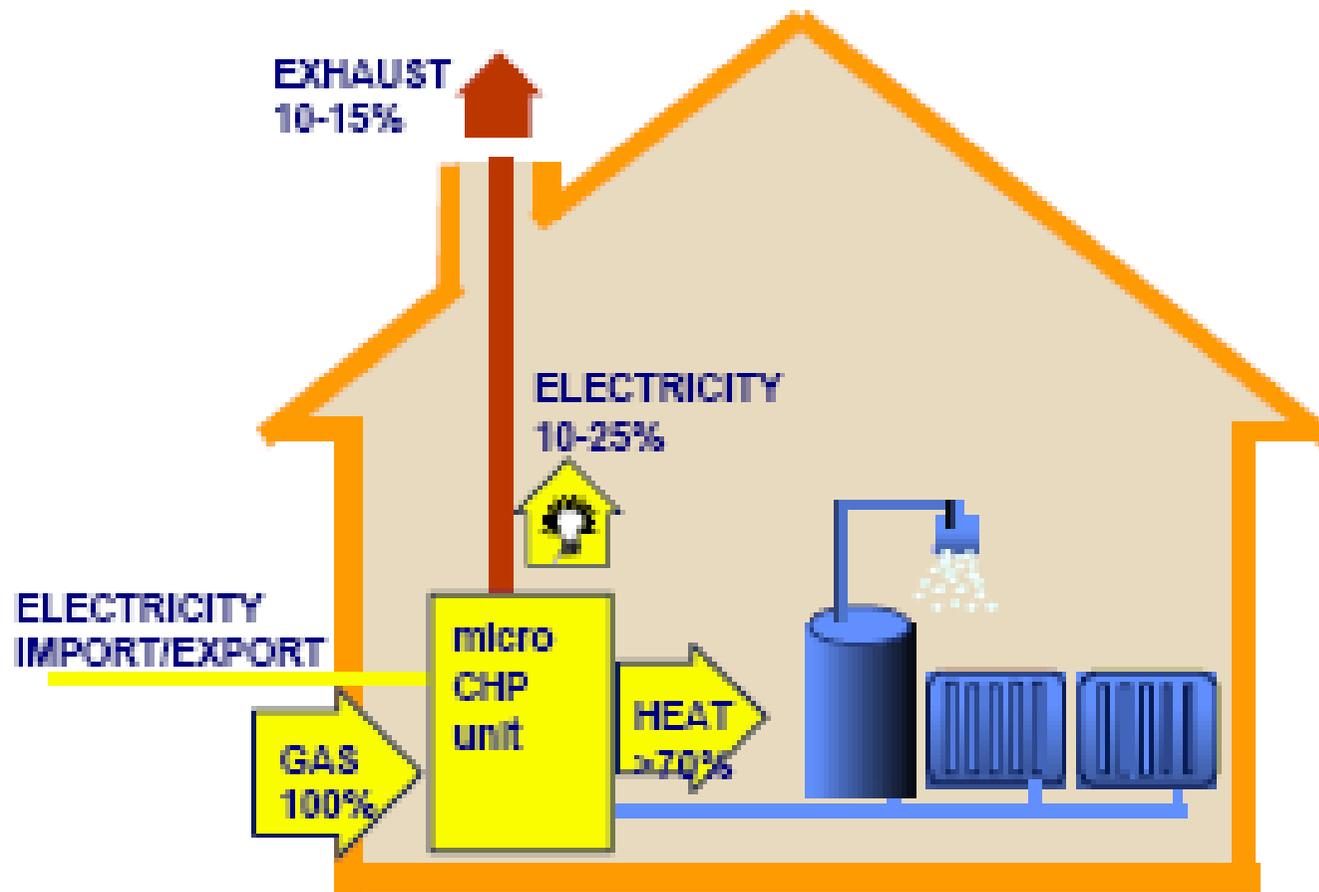
The Netherlands

Computer Architectures for Energy Efficiency

- n Use ICT technology to reduce energy consumption

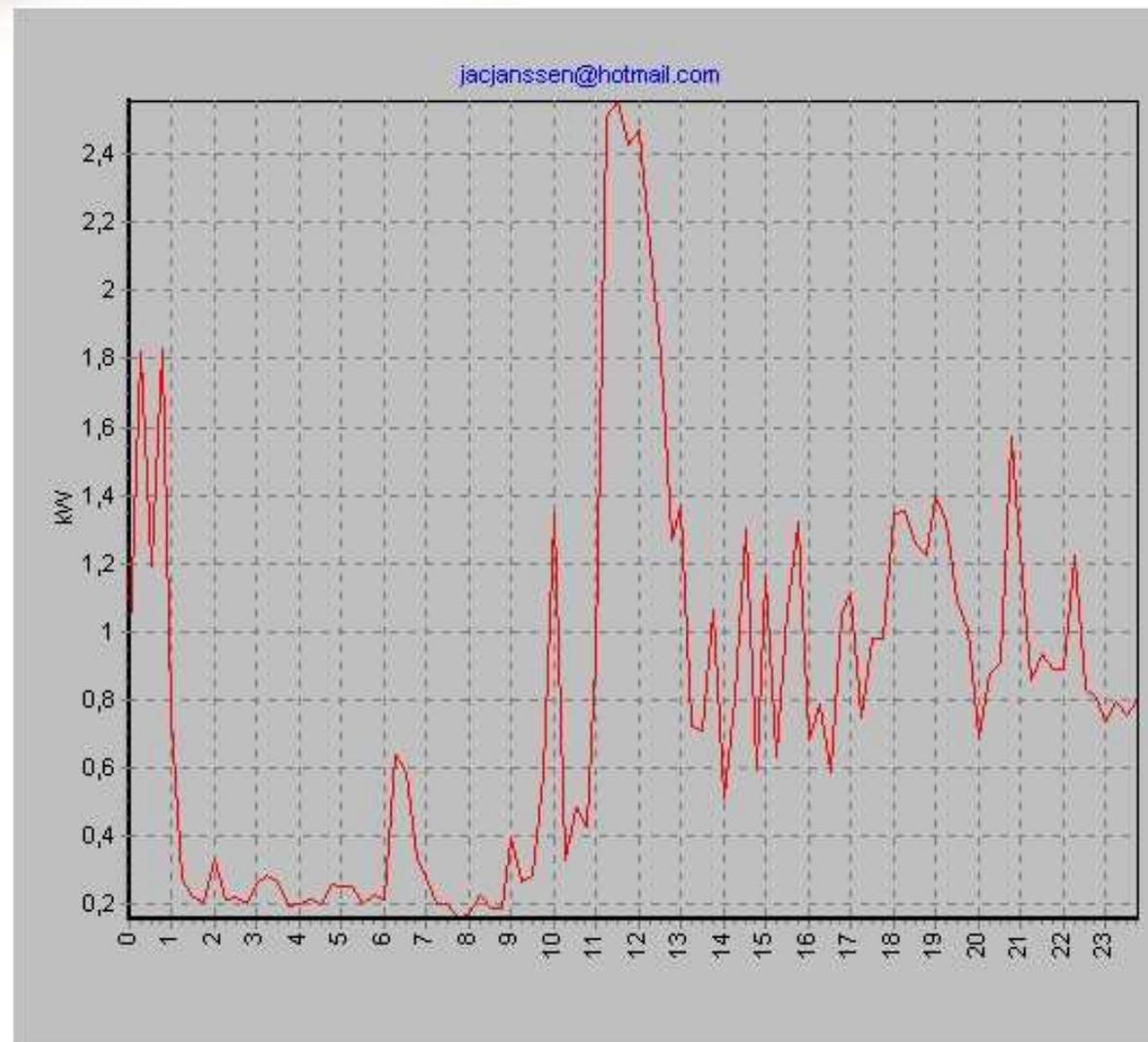


micro-CHP





Electricity usage of a household





ICT Techniques to reduce powerconsumption

- n Peakshaving: Control switching on devices to prevent peaks
- n Smart outlets: completely switch-off devices if possible



Conclusions

- n Energy reduction needs all levels
 - n Not just low-power circuits
 - n Holistic approach
 - n More gain at higher layers
- n Quality of Service is a tool to achieve an energy-efficient system
 - n Adaptability
- n Locality of reference is a key issue
- n Energy efficiency requires efficient ICT