



# MATHEMATICS APPLIED IN ENERGY INDUSTRY

**31st Conference of Slovak Mathematicians  
Jasna pod Chopkom, Nov. 18 - 21, 1999**

**$H^2$**  natural gas industry

**$H^2$**  classical engineering mathematics

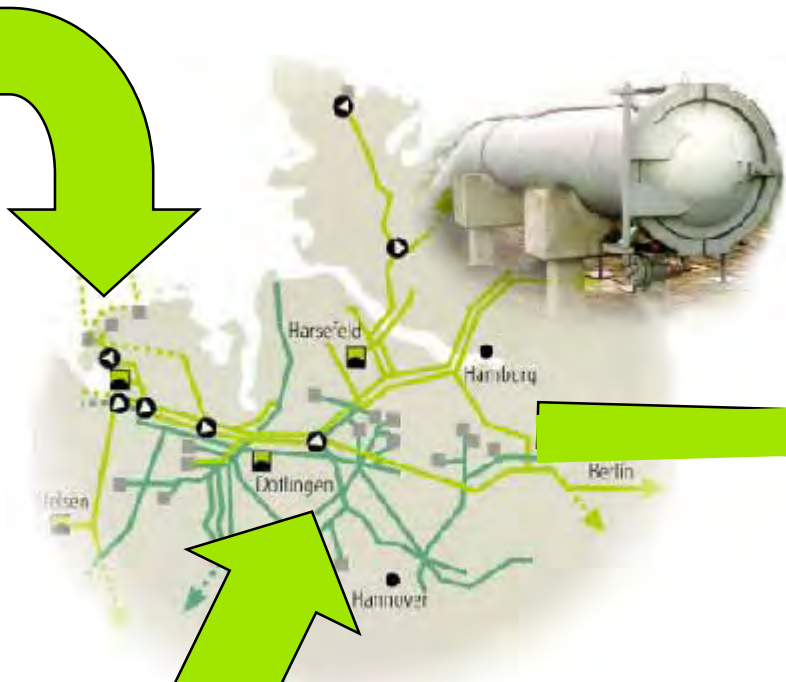
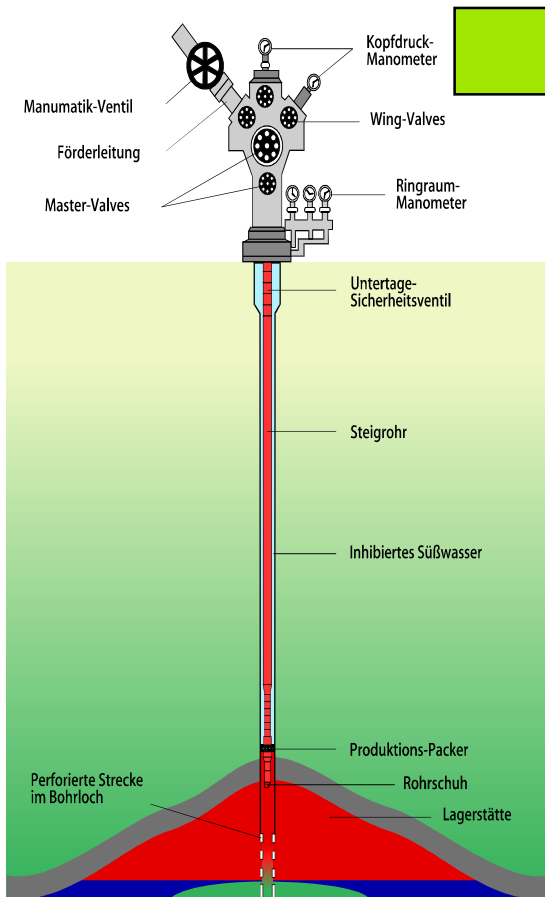
**$H^2$**  AI („modern things“ ...)

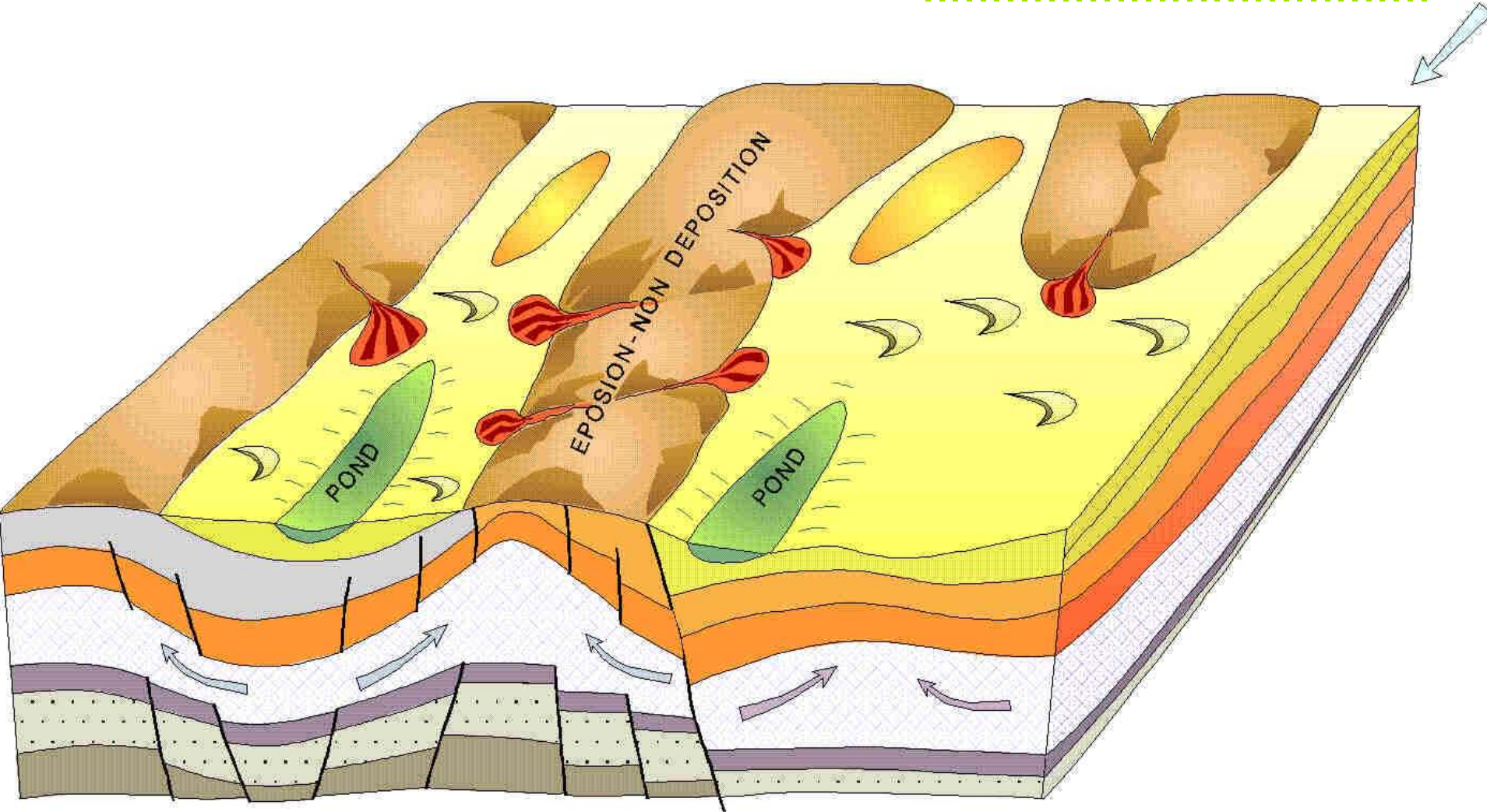
**$H^2$**  category theory / topology /  
convergence theory

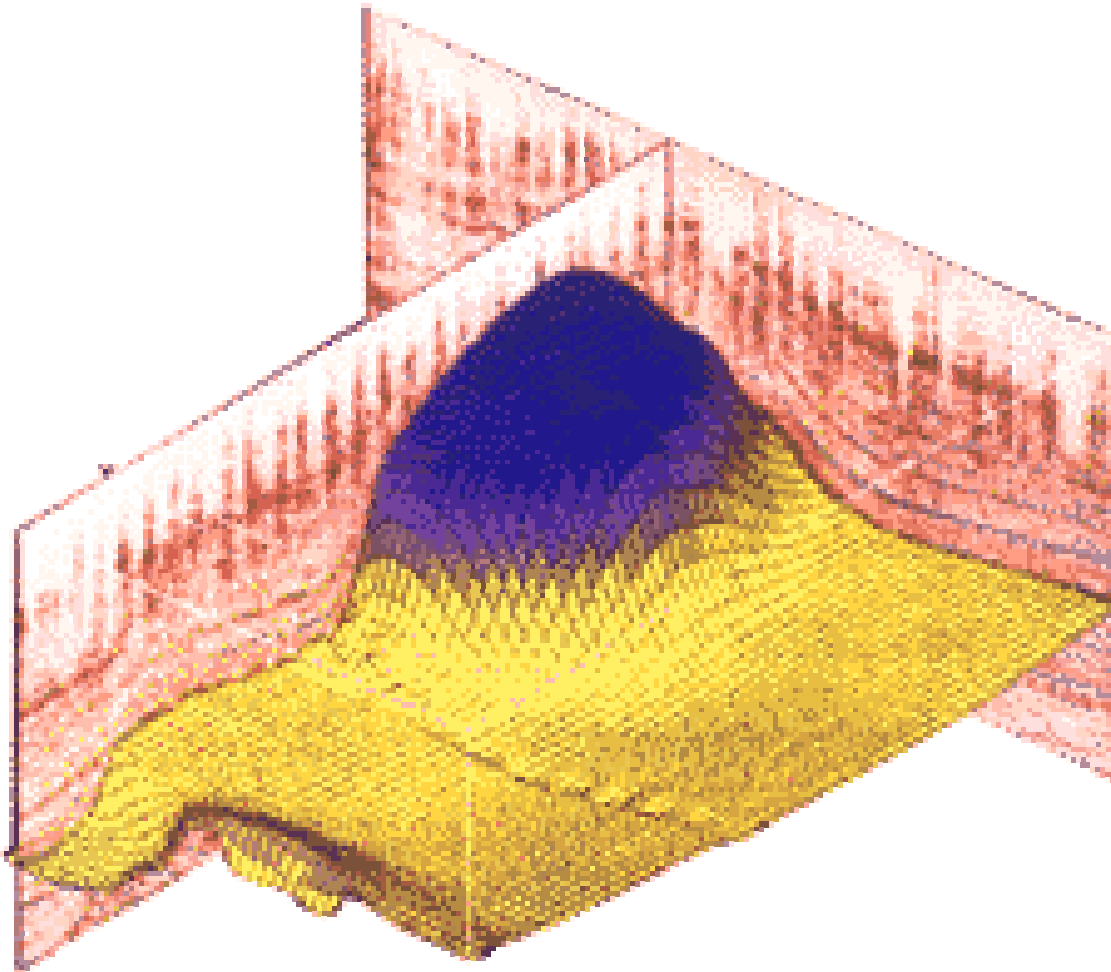
**$H^2$**  applications / optimisation

# MATHEMATICS APPLIED IN ENERGY INDUSTRY

## math in the whole chain ...

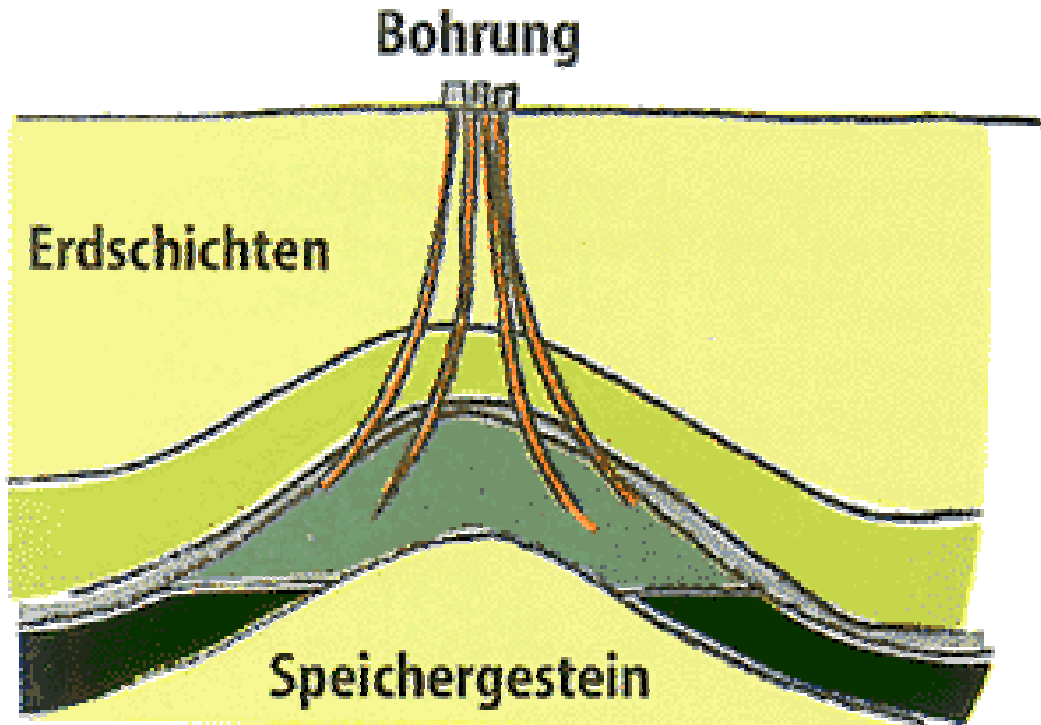




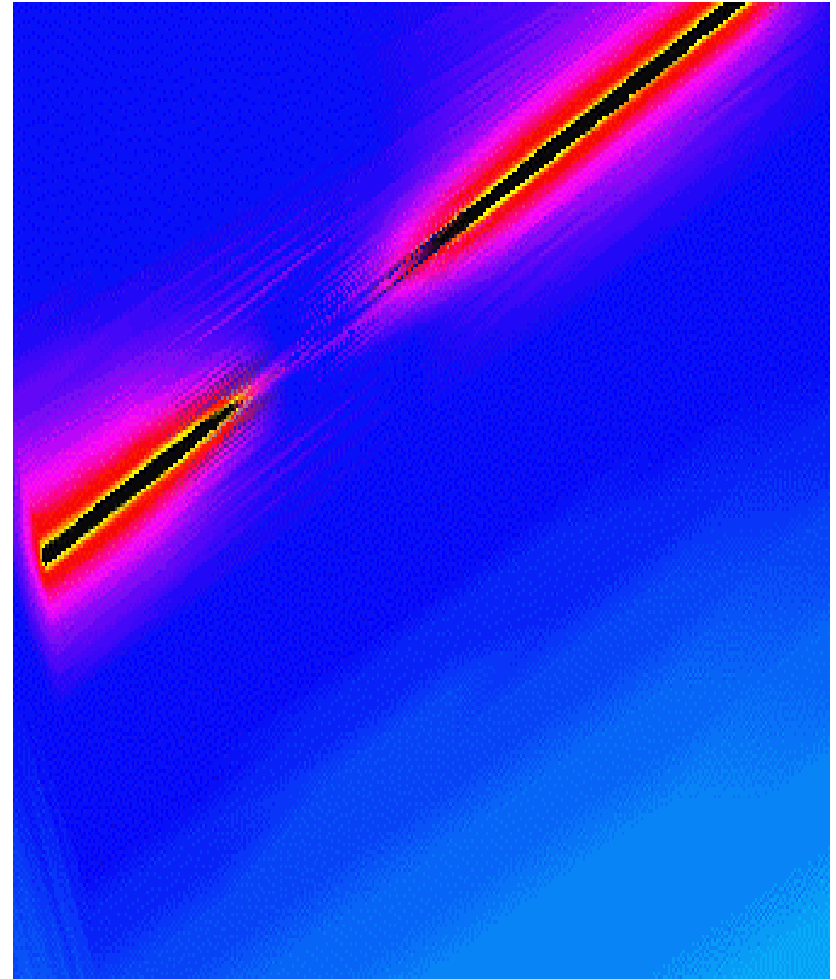
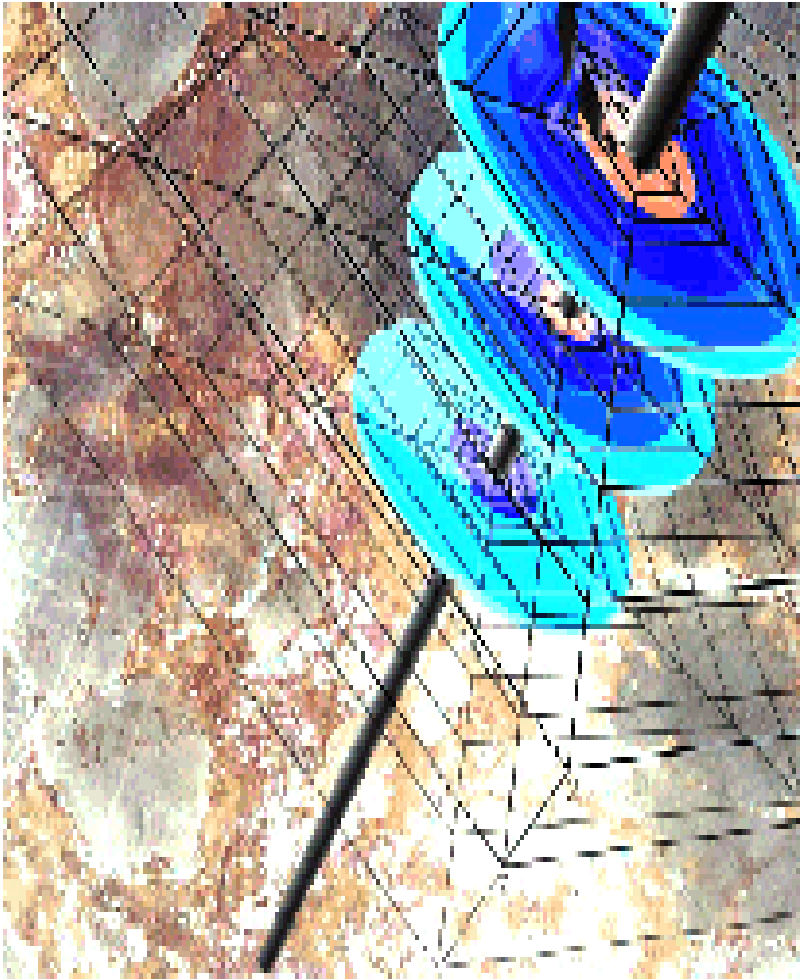


- interpolation algorithms
- number crunching
- visualisation
- today short distances  
=> no interpolation ...
- even 4D started

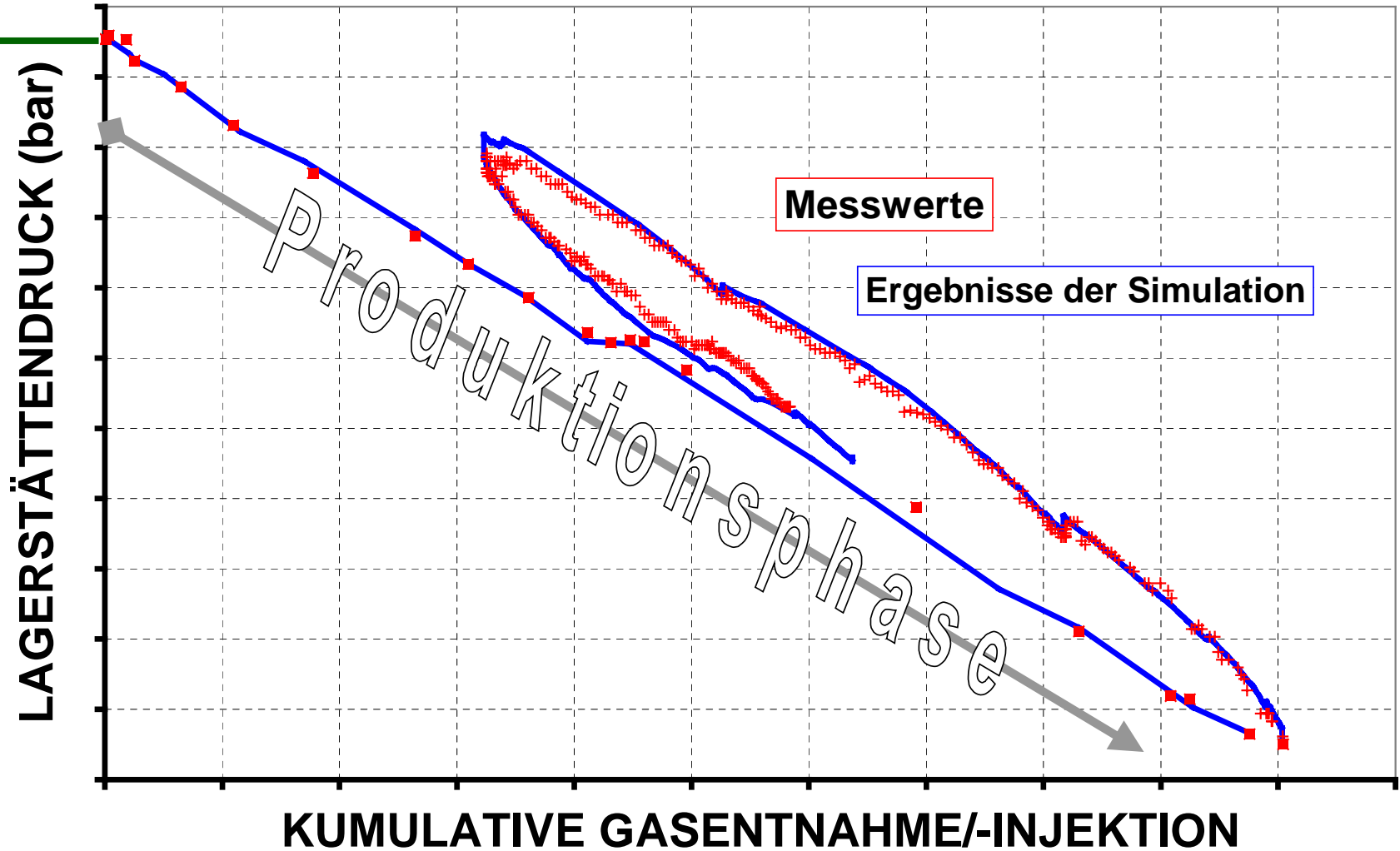
## PORENSPEICHER



- modelling
- reservoir simulation
- diff. equations
- numerics:
  - linear solver
  - parallelisation
- statistics: correlation analysis, monte carlo, ... determination of reserves, reliability, ...
- interpolation
- optimisers: simplex, some non linear in dev.
- visualisation
  
- same for pore storages

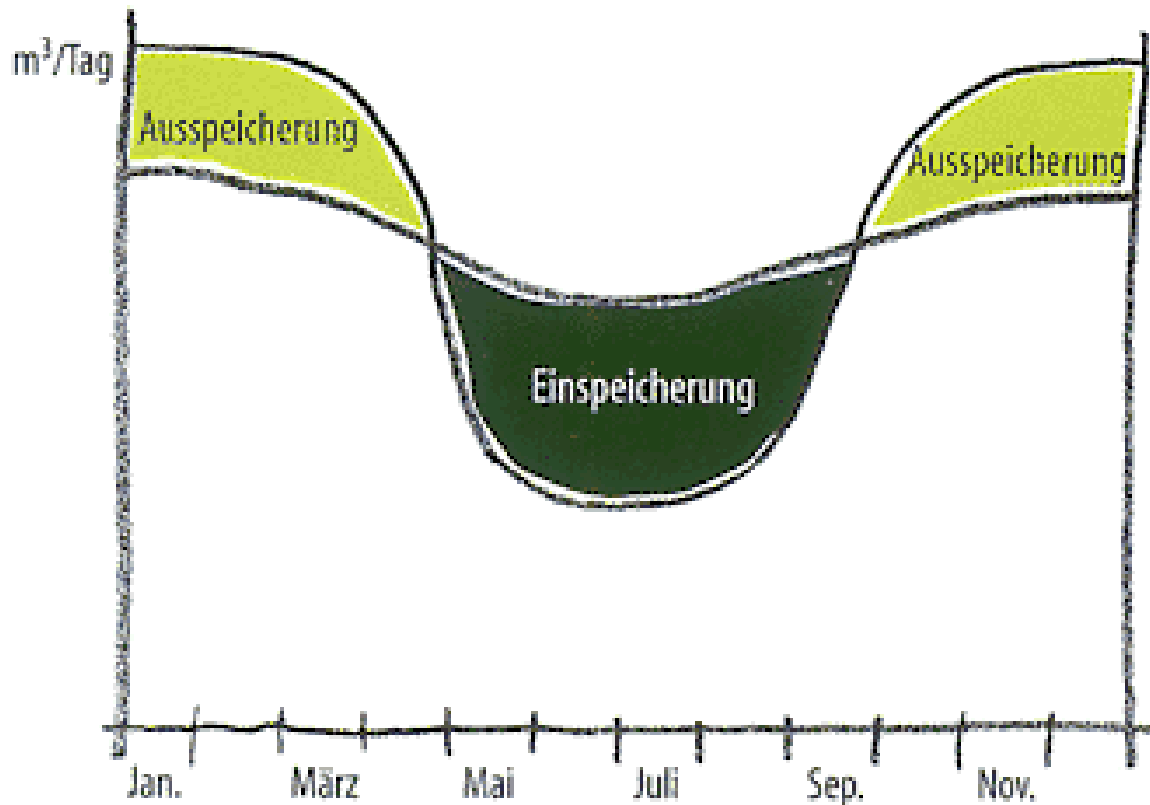


statistics: history match ... UGS



UGS: load balancing

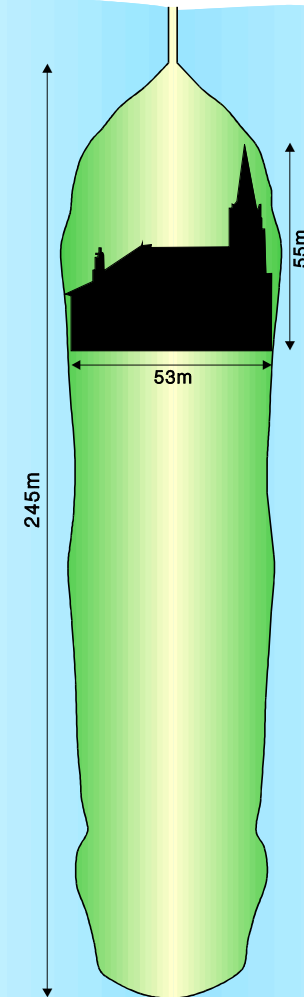
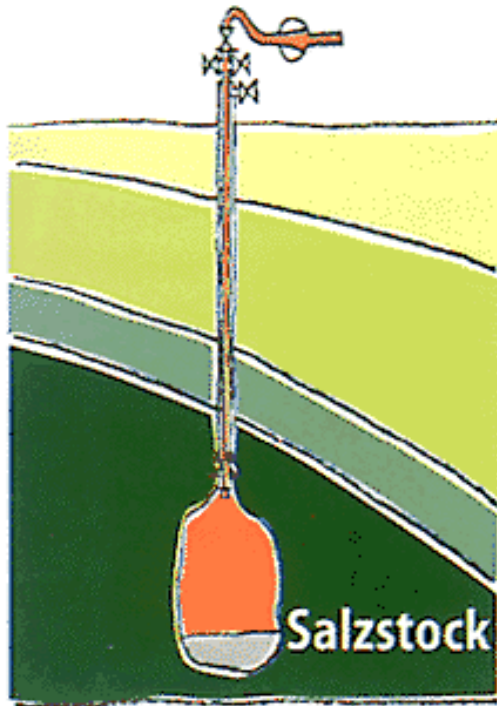
STRUKTURAUSGLEICH DURCH  
PORENSPEICHER



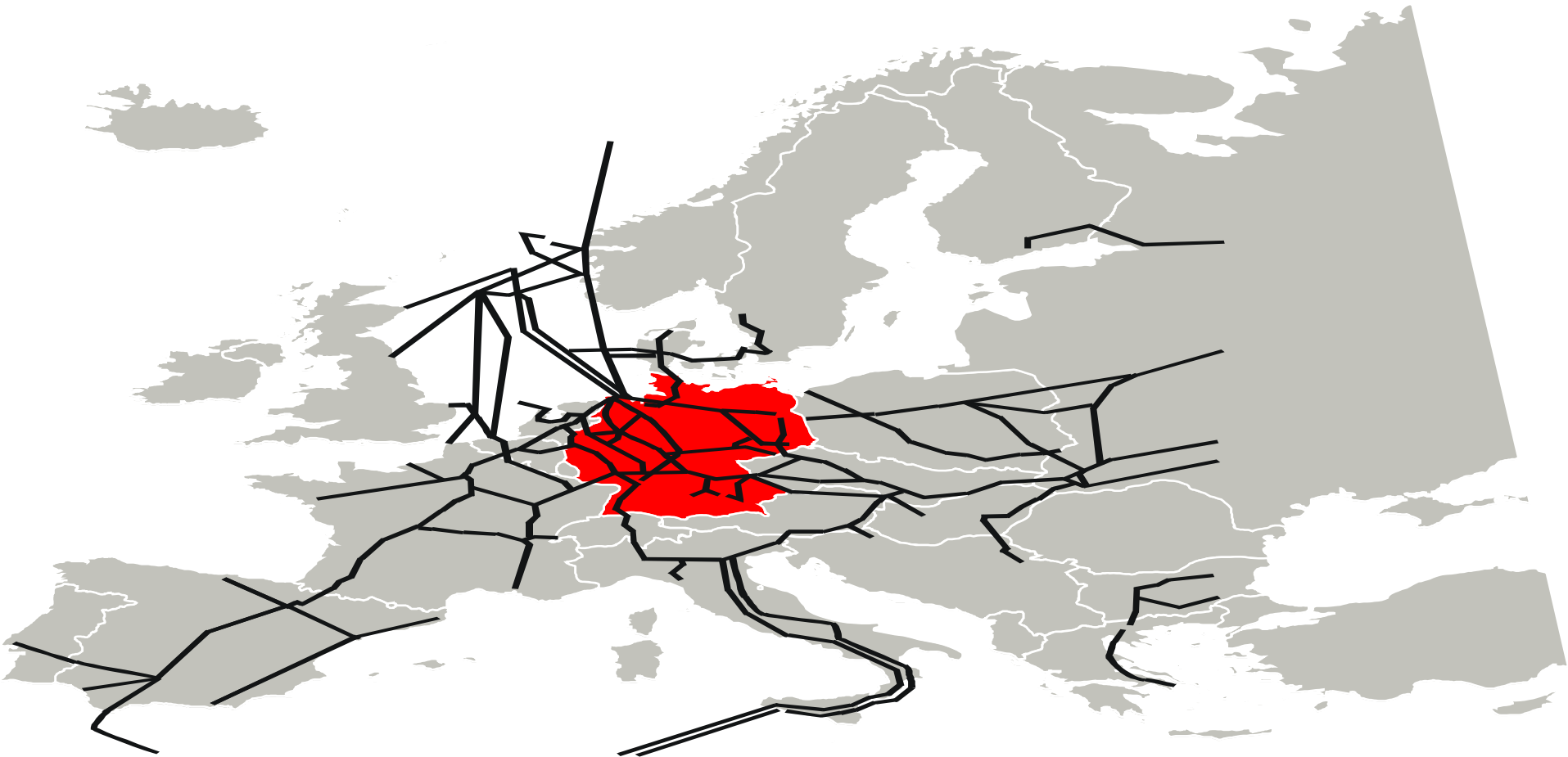
## UGS: cavities

- modelling: FEM even for rock mechanics
- simulation: thermodynamics / climate not solved yet

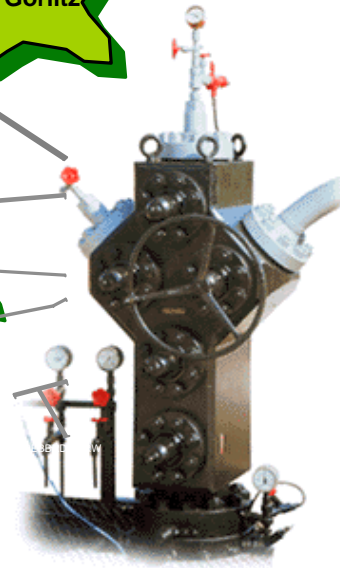
### KAVERNENSPEICHER



UGS Harsefeld - Kaverne K1 Größenvergleich mit St. Mariae u. Bartholomae



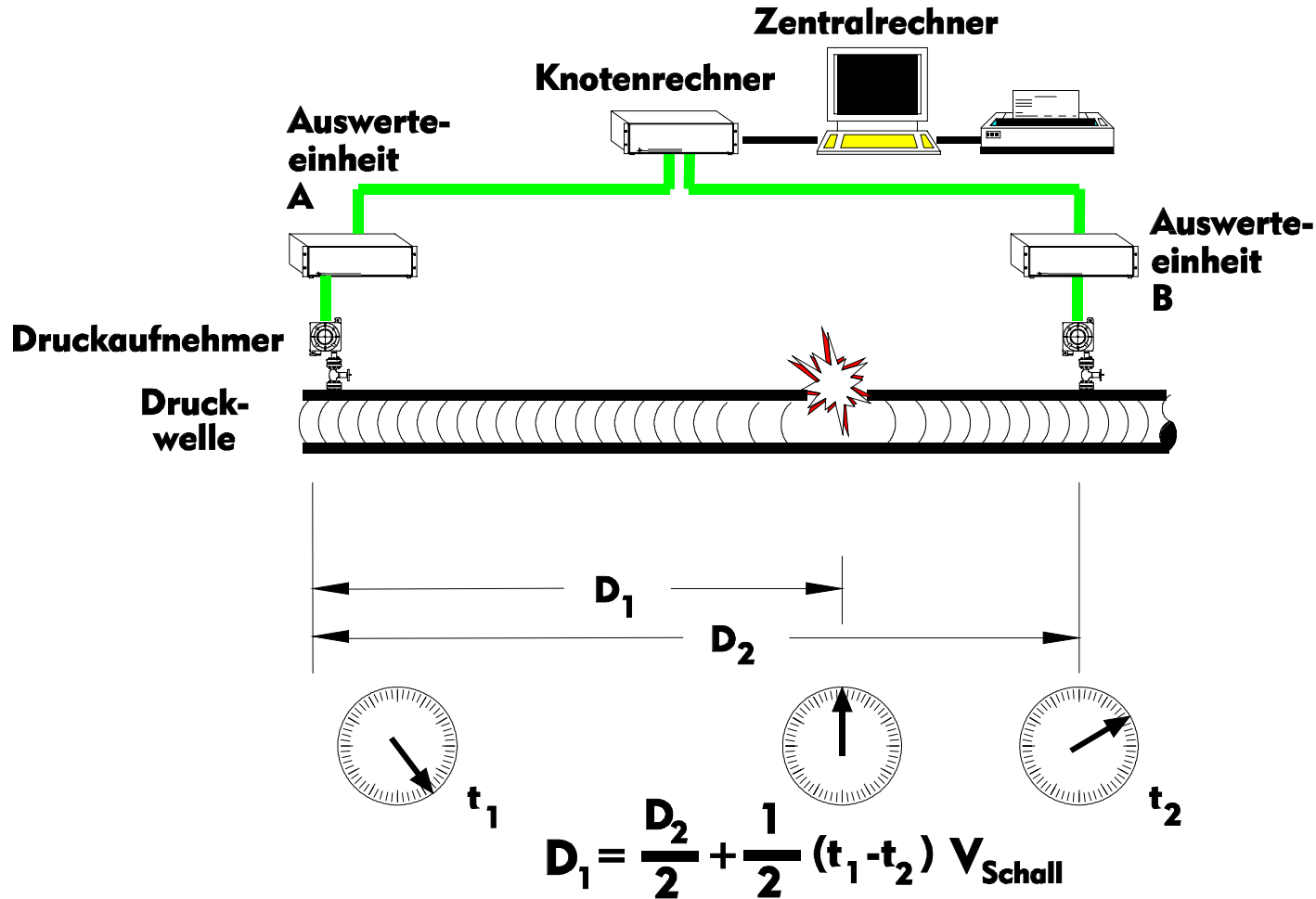
## BEB's infrastructure



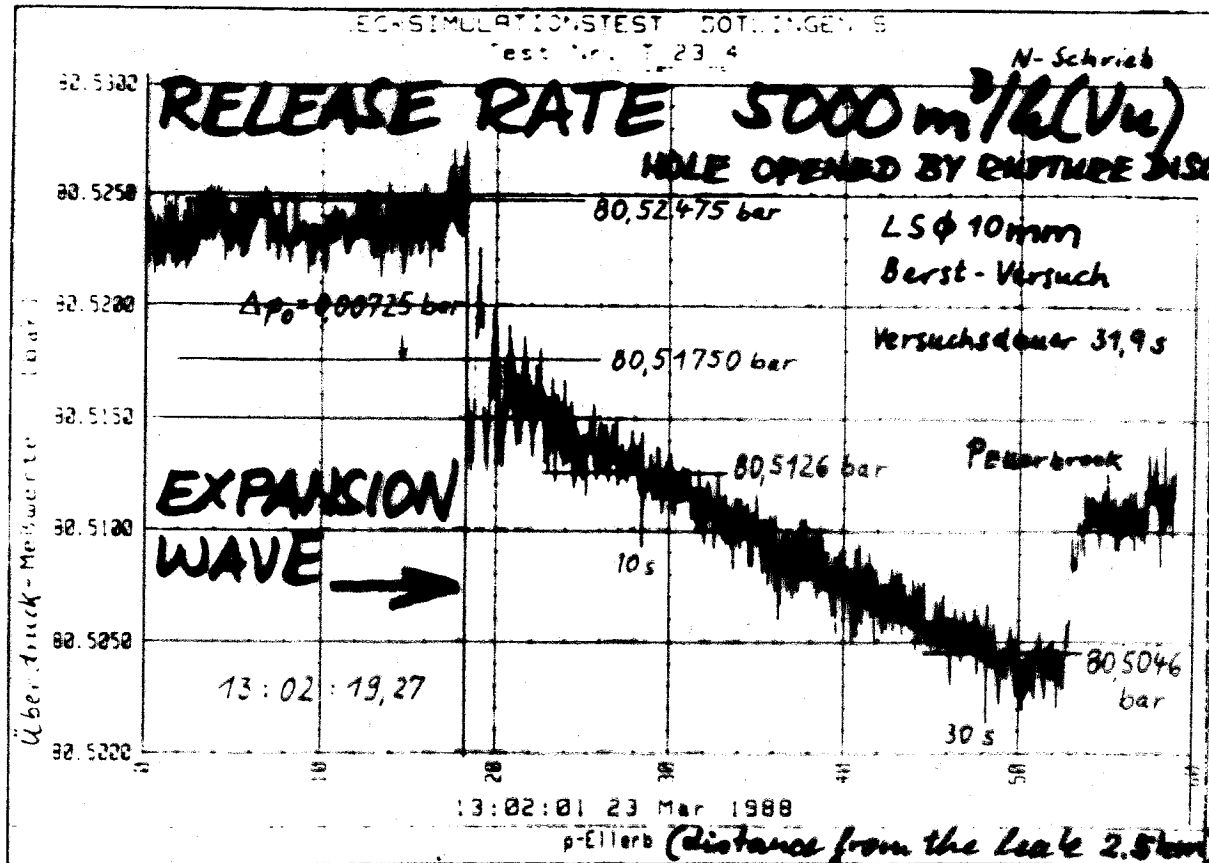
## keyfigures 1998

- transported volumes
  - ca.  $26 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{a}$
  - $4.8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{h}$  (peak)
- transportsystem
  - ca. 3500 km pipelines
  - 7 compressorstations, 19 units
  - 230 stations
- production system
  - ca. 200 wells
  - ca. 1400 km pipelines
- underground storage
  - 2 pore storages
  - 2 cavern locations
  - working gas volume  $2.7 \times 10^9 \text{ m}^3$
  - withdrawal cap.  $1.8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{h}$

## leak detection



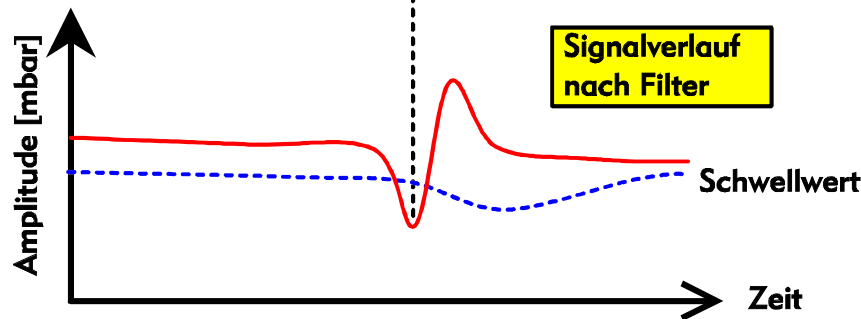
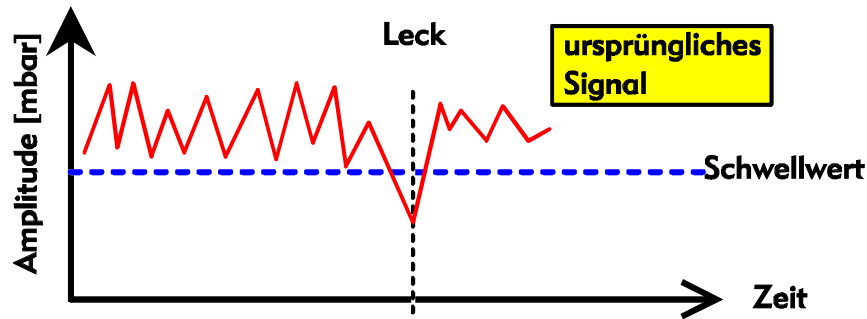
leak detection



12 3/4" - L<sub>5</sub>



## leak detection, operating, ...



- Digitalfilter :  
Ausfiltern von  
Störsignalen  
Kreuzkorrelation  
mit vorgegebenem  
Lecksignalprofil

- verbesserte  
Zeitabfragefolge

- dynamische  
Schwellwerteinstellung

other techniques in dev.: neuronal nets, rule based systems, adaptive systems, fuzzy control, ... for unmanned operation (smell, sound, ...)



- Kontinuitätsbedingung: Zu einer bestimmten Zeit  $t$  wird eine sich in einem abgegrenzten Volumen  $V(t)$  befindliche Gasmasse  $m$  als ein System kontinuierlich verteilter Massenelemente betrachtet. Von dem Volumen  $V(t)$  wird angenommen, daß es ausgefüllt ist und keine Hohlräume besitzt.
- Der Massenerhaltungssatz bzw. die Kontinuitätsgleichung besagt nun, daß in einem abgegrenzten Gasvolumen Masse weder verlorengehen noch entstehen kann.

- Nach dem Newtonschen Grundgesetz der Mechanik (Impulssatz) ist die zeitliche Änderung des Impulses  $I$  einer Masse  $m$ , die sich in einem abgegrenzten Volumen  $V(t)$  befindet gleich der auf das System wirkenden resultierenden Kraft  $F$ .

## simulation of gas nets

- Mit Hilfe des Massenerhaltungssatzes, des Impulssatzes, der thermischen Zustandsgleichung und den Transportgleichungen gelangt man durch geeignete mathematische Umformungen zu den Leitungsdifferentialgleichungen:

z. Druckänderung

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{c^2}{A} \frac{\partial q}{\partial x} = 0$$

(Kontinuitätsgleichung)

örtl. Flußänderung

z. Flußänderung

$$\frac{\partial q}{\partial t} + A \frac{\partial p}{\partial x} + \lambda \frac{c^2}{2 D/A} \frac{|q|q}{p} = 0$$

(Bewegungsgleichung)

örtl. Druckänderung

Rohrreibung

- Diese Gleichungen stellen die nichtlinearen, partiellen Leitungsdifferentialgleichungen vom hyperbolischen Typ dar, und sind die Grundlage zur Berechnung der durchströmten Rohrleitungen.

- Durch Diskretisierung (ersetzen von Differentialquotienten durch Differenzenquotienten) des Ortes in der Kontinuitätsgleichung und der Bewegungsgleichung erhält man ein gewöhnliches Differentialgleichungssystem.
- Es gilt nun, ein für die Lösung eines nichtlinearen, steifen Differentialgleichungssystems geeignetes Zeitintegrationsverfahren zu finden.

numerisches Verfahren

- Das genaueste absolut stabile lineare Mehrschrittverfahren der Ordnung 2 ist die Trapezregel:

$$X_{n+1} - X_n = \frac{h}{2} [f(t_n, X_n) + f(t_{n+1}, X_{n+1})]$$

- \$\$ via polynoms ...
- monte carlo for reliability; open OR methods like „shortest path“: analogue for debottlenecking of topology of a given net and also looking for „most important objects“
- optimisers: simplex, net flow, closed loop
- forecasting: statistics, time series, Box-Jenkins, AI







Agenda „main part“

**$H^2$**  category theory / topology /  
convergence theory

**$H^2$**  applications / optimisation

## topology: visualisation, navigation

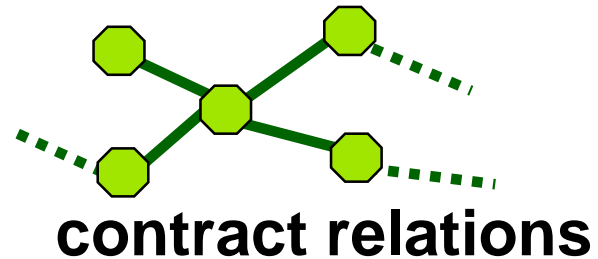
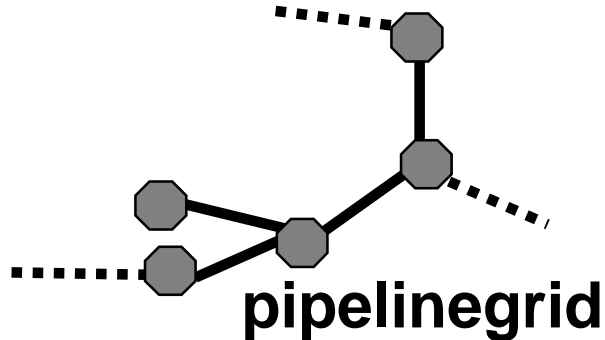
Rechnerunterstützung (möglichst grafisch) so, daß

- ≅ strecken, stauchen, verschieben, ...(verzerren) anordnen, umsortieren, gruppieren, ...
-  Teilnetze einfach konstruier und wählbar
-  komplexe Netze aus Teilen zusammensetzbar
-  vereinfachte/abstrahierte Sichten einfach erzeugbar ("Quotientennetze")
-  diverse Sichten (physikalische & logische: Pipelinenetz, Vertragsnetz, Tauschbeziehungen, ...) einfach konstruier-, darstell- und verknüpfbar



weitere Anregungen ??? Alles analog auch für "Daten"

topologies

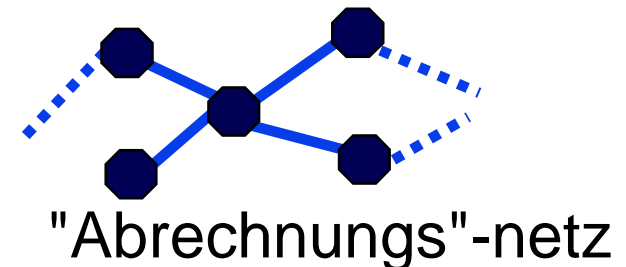
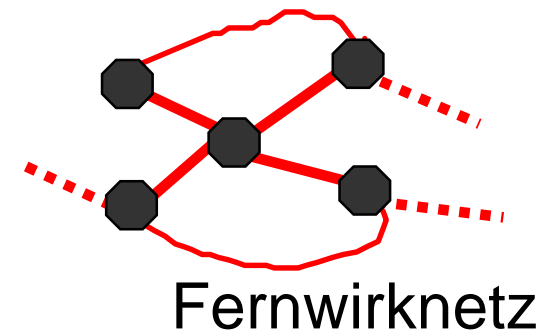
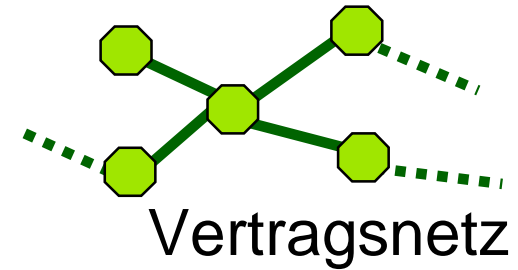
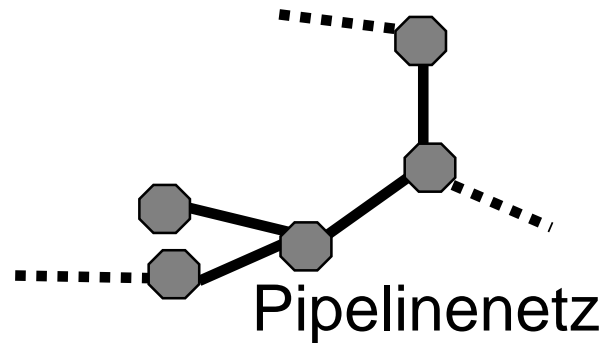


## New topological features required:

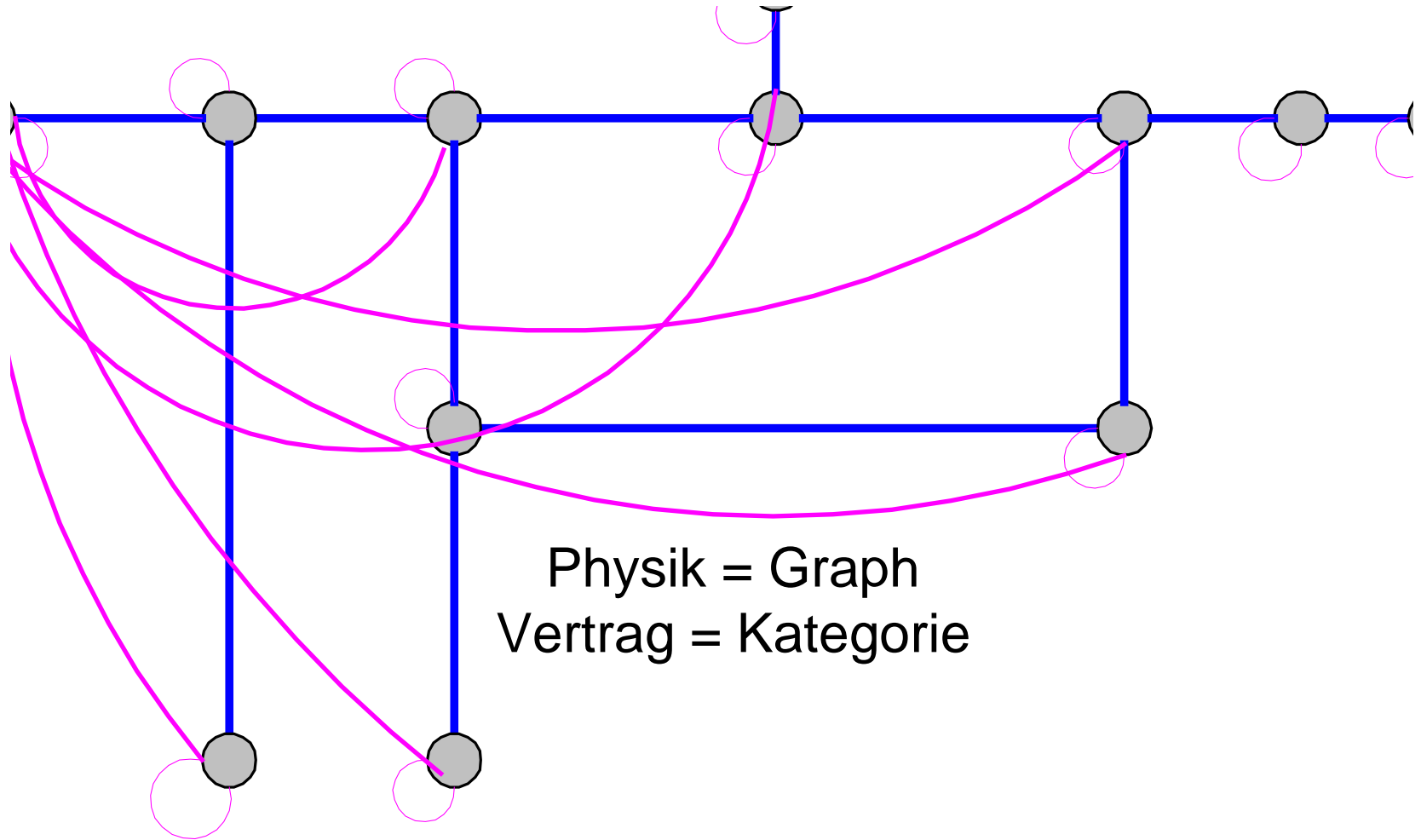
- part of grid (sub spaces)
- product of grids (products)
- simplifying grids (quotients)
- gluing together of grids (coproducts)

## topologische-Oberfläche: Objekte

- **Kunden**
- Marktdaten, Prognosen, ...
- Anfragen
- **Verträge**
- Bestellungen
- Bestätigungen
- Disposition
- **Bezug**
- Stationen
- Messschienen
- Leitungen
- Verdichter
- Speicher, ...
- Ferwirktechnik (Router, Adressen, ...)
- **Dispatching: Prozesssteuerung (SCADA, ...)**
- Gasnetzsimulation
- Prognosen
- **Lieferung**
- technische Mengen-/Leistungsermittlung
- Vertragszuordnung (Allokation)
- **Abrechnung, Kassieren**



## graphs & cats ...



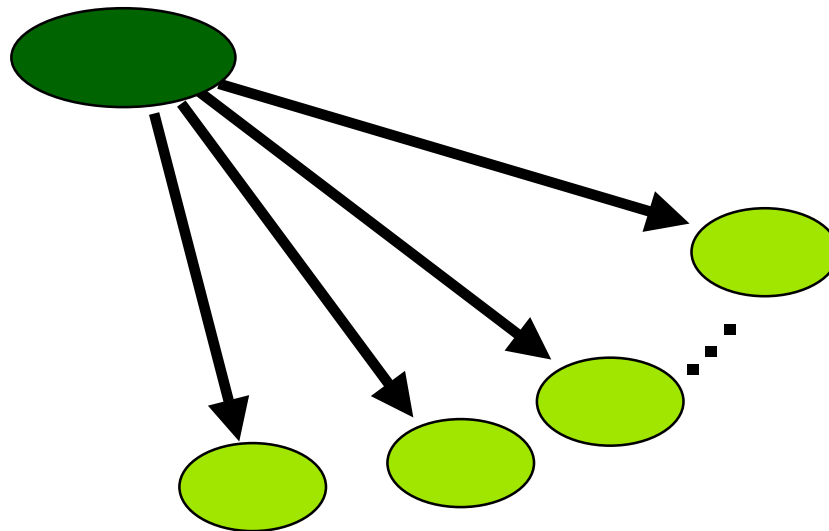
## $H^2$ category theory

- ✧ topological categories
- ✧ quasitopoi

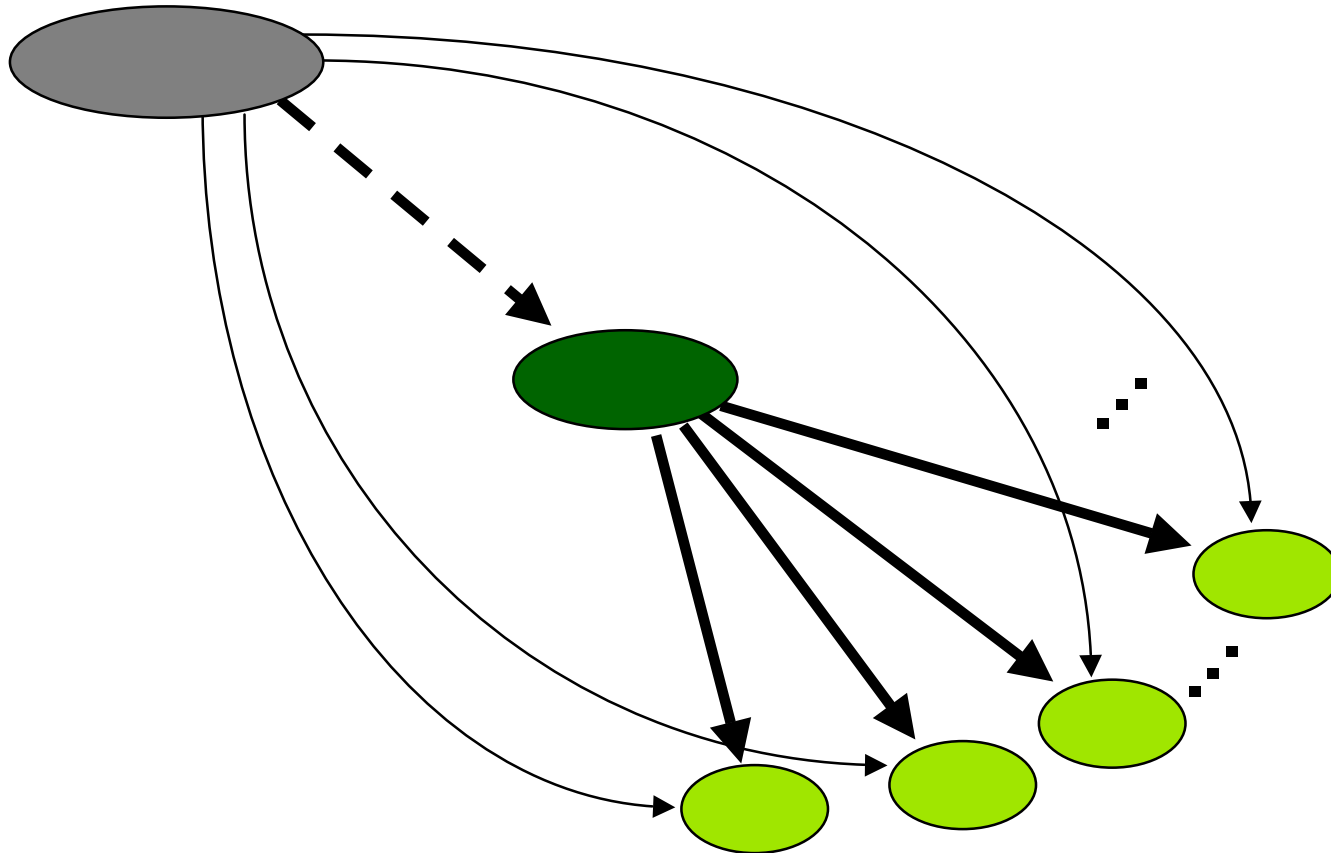
## $H^2$ applications / optimisation

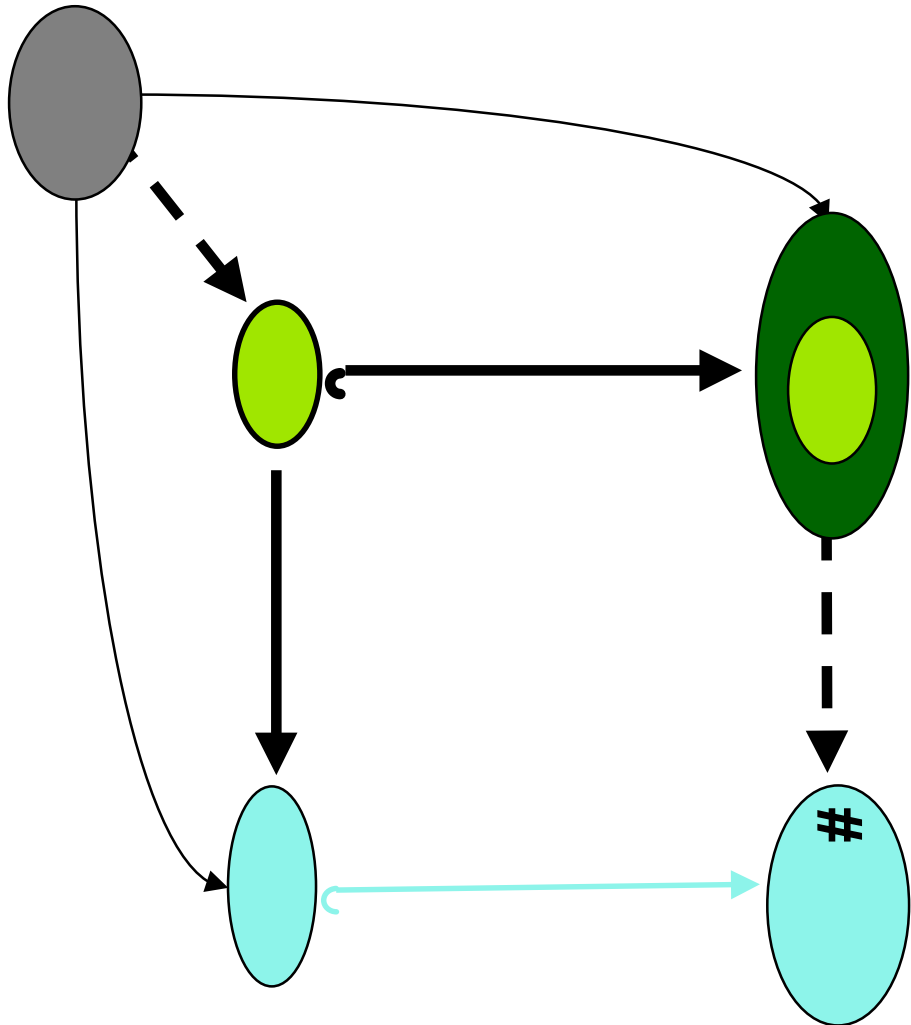
- ✧ load balancing
- ✧ bin packing
- ✧ demand/supply balancing
- ✧ forecasting

## top cats: initial structures



## top cats: initial structures







viva PreTOP ...

in practice:

Lim etc.

- 👁 look for non idempotent hull operators
- 👁 look for "partial knowledge"
- 👁 look for extensions

pretologies have the "build in"  
iterative process, in particular  
needed, if no direct solutions are  
possible and/or known !!!

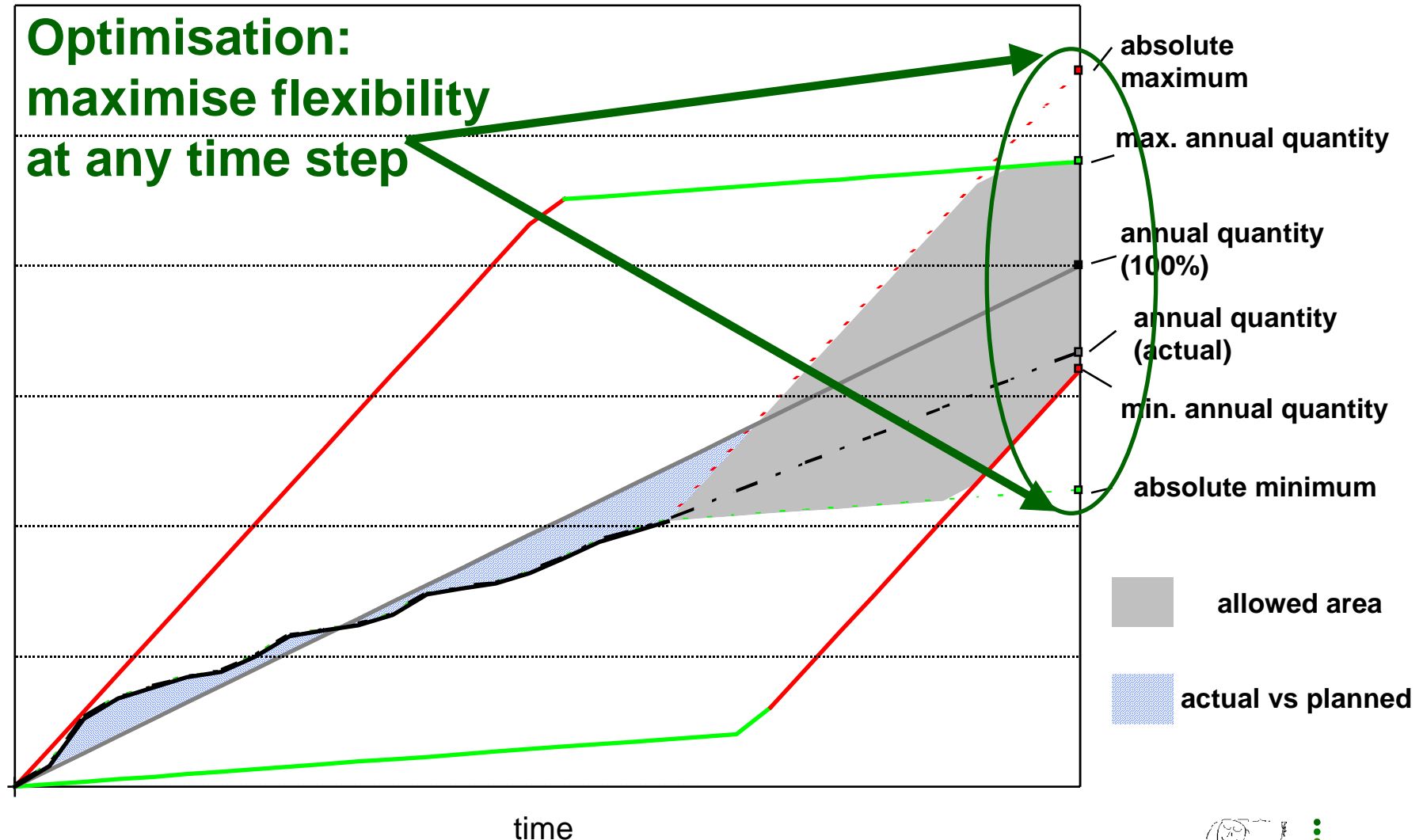
agenda

- $H^2$**  category theory
- ✧ topological categories
  - ✧ quasitopoi

- $H^2$**  applications / optimisation
- ✧ load balancing
  - ✧ bin packing
  - ✧ demand/supply balancing
  - ✧ forecasting

side constraints: production/contracts

**Optimisation:  
maximise flexibility  
at any time step**



agenda

- $H^2$**  category theory
- ✧ topological categories
  - ✧ quasitopoi

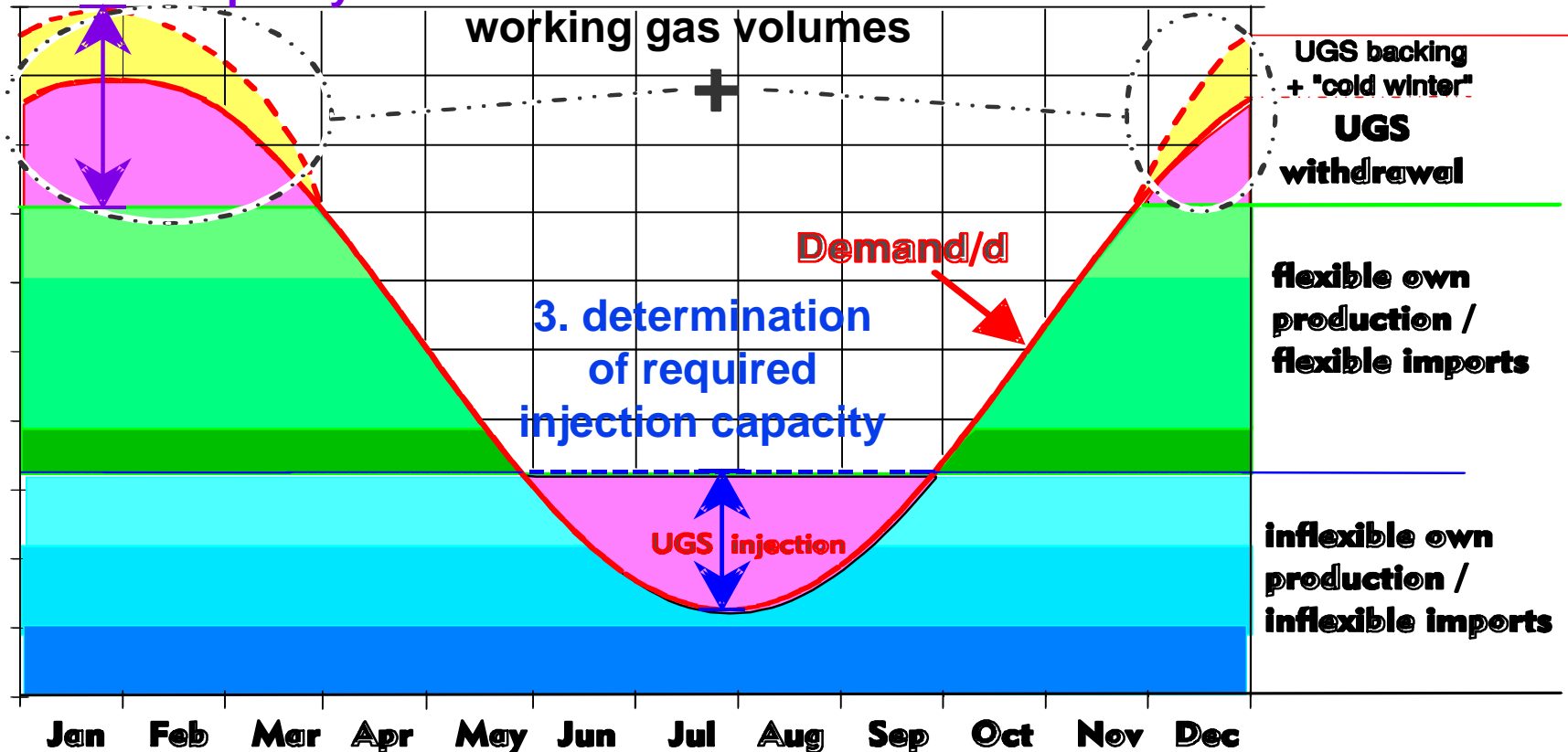
- $H^2$**  applications / optimisation
- ✧ load balancing
  - ✧ bin packing
  - ✧ demand/supply balancing
  - ✧ forecasting

## load balancing

2. determination of required withdrawal capacity

1. determination of required working gas volumes

3. determination of required injection capacity



agenda

- $H^2$**  category theory
- ✧ topological categories
  - ✧ quasitopoi

- $H^2$**  applications / optimisation
- ✧ load balancing
  - ✧ bin packing
  - ✧ demand/supply balancing
  - ✧ forecasting

## applications of bin packing

### $H^2$ category theory

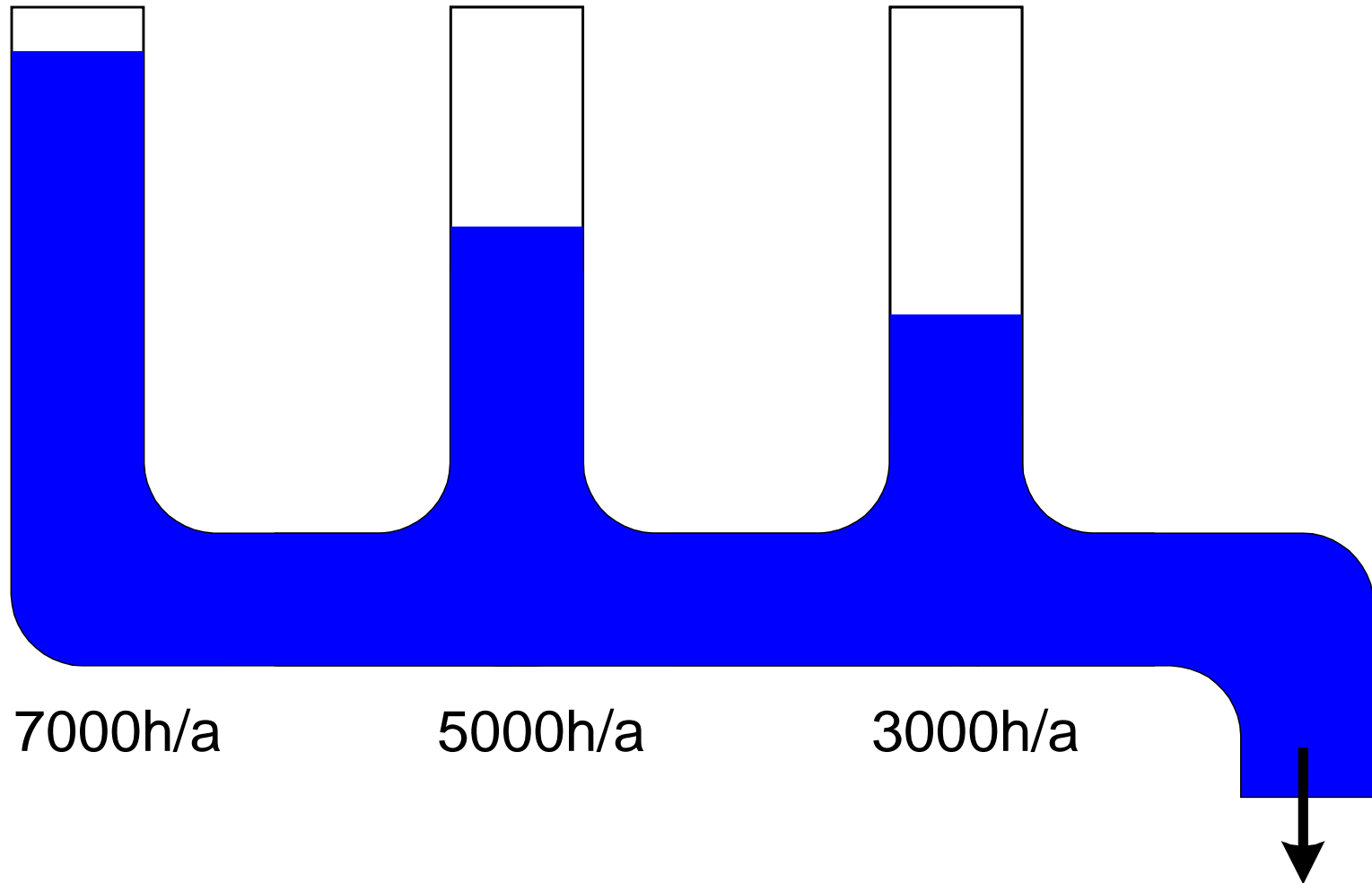
- ✧ topological categories
- ✧ quasitopoi

### $H^2$ applications / optimization

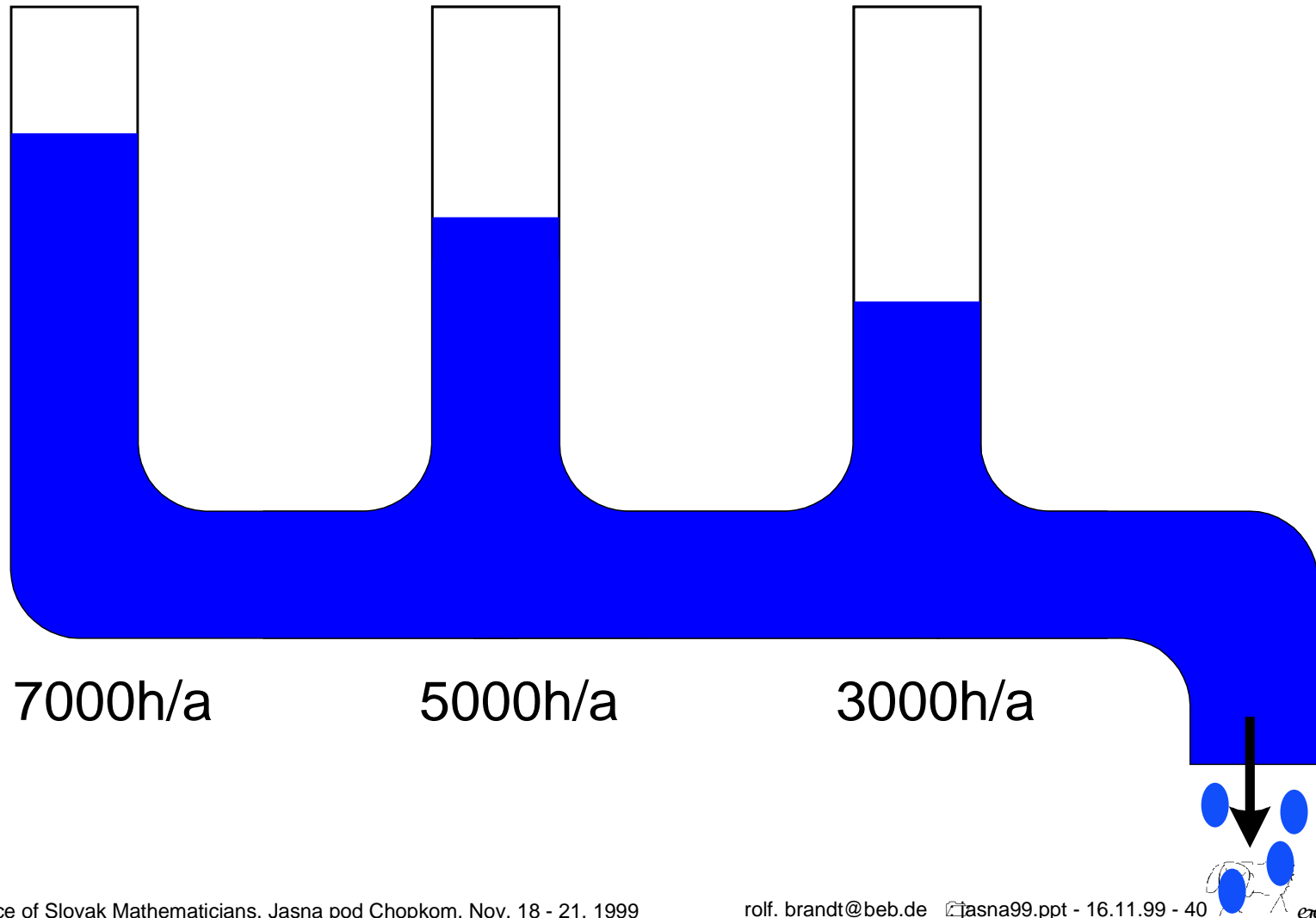
- ✧ load balancing
- ✧ **bin packing**
- ✧ demand/supply balance
- ✧ forecasting

- ✌ wired circuit boards
- ✌ space technology
- ✌ logistics (“decide as late as possible ...”)
- ✌ ...
- ✌ balancing of energy grids

communicating tubes = bin packing

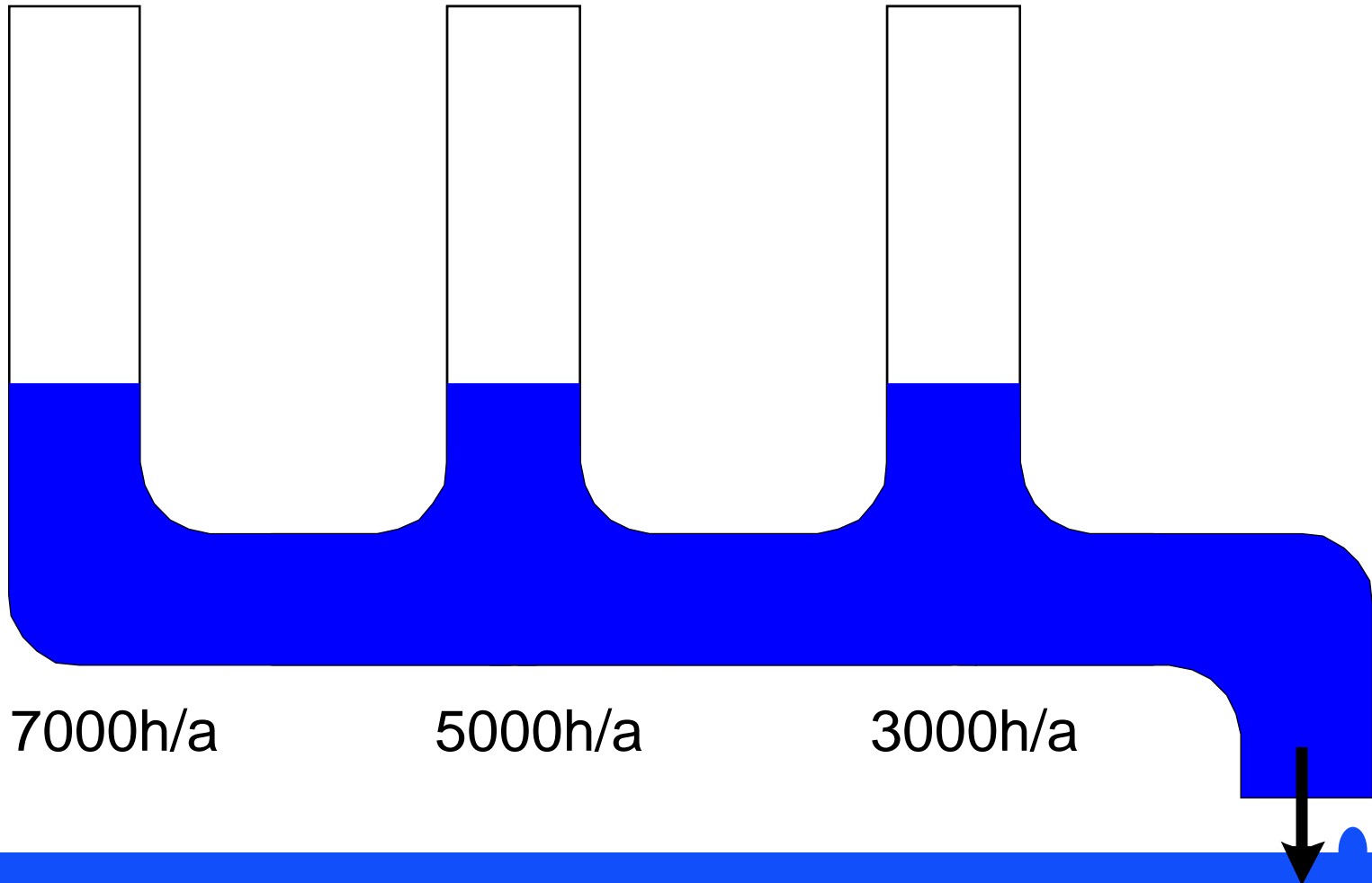


communicating tubes = bin packing



# MATHEMATICS APPLIED IN ENERGY INDUSTRY

communicating tubes = bin packing



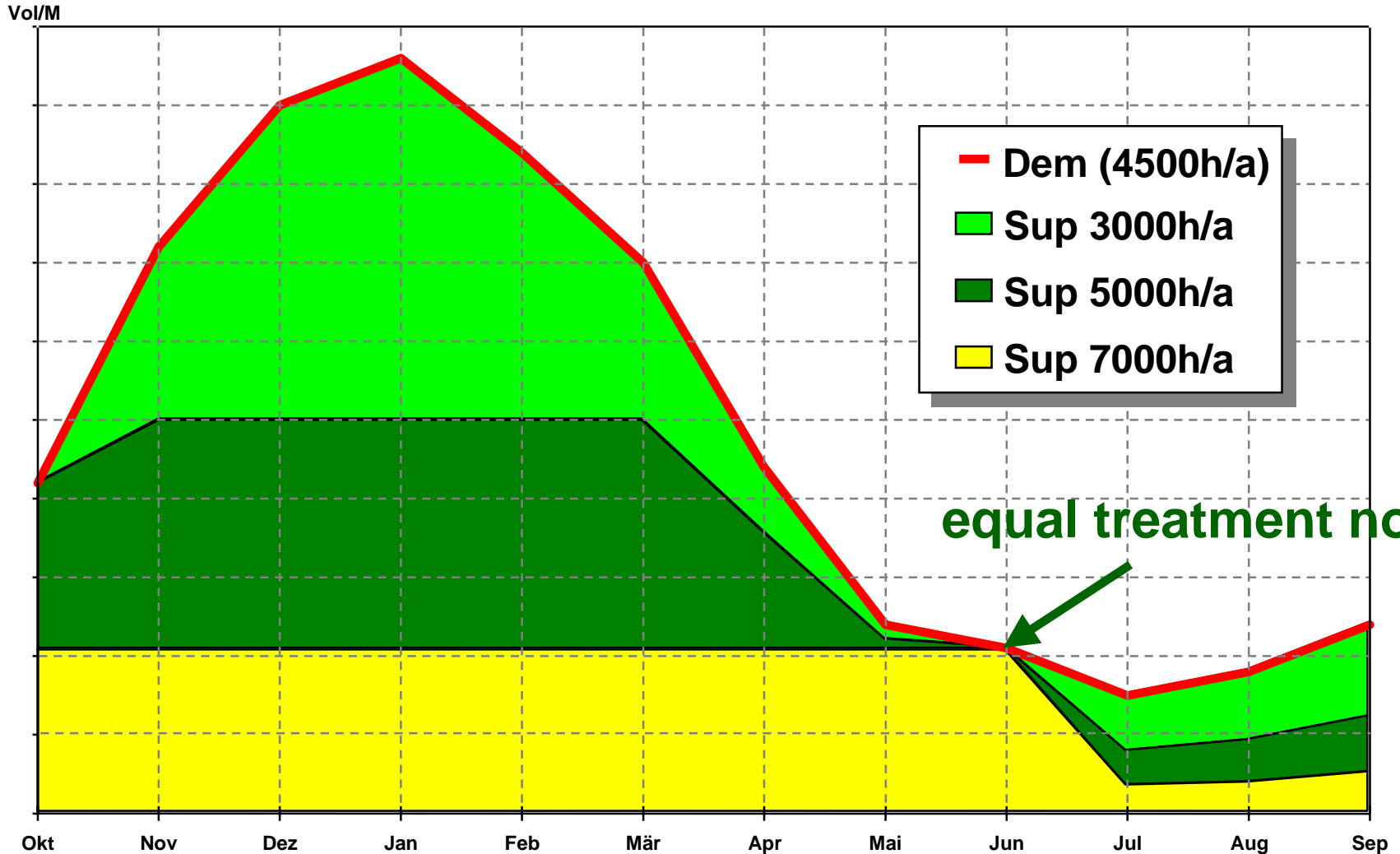
agenda

$H^2$  category theory

- ✧ topological categories
- ✧ quasitopoi

$H^2$  applications / optimisation

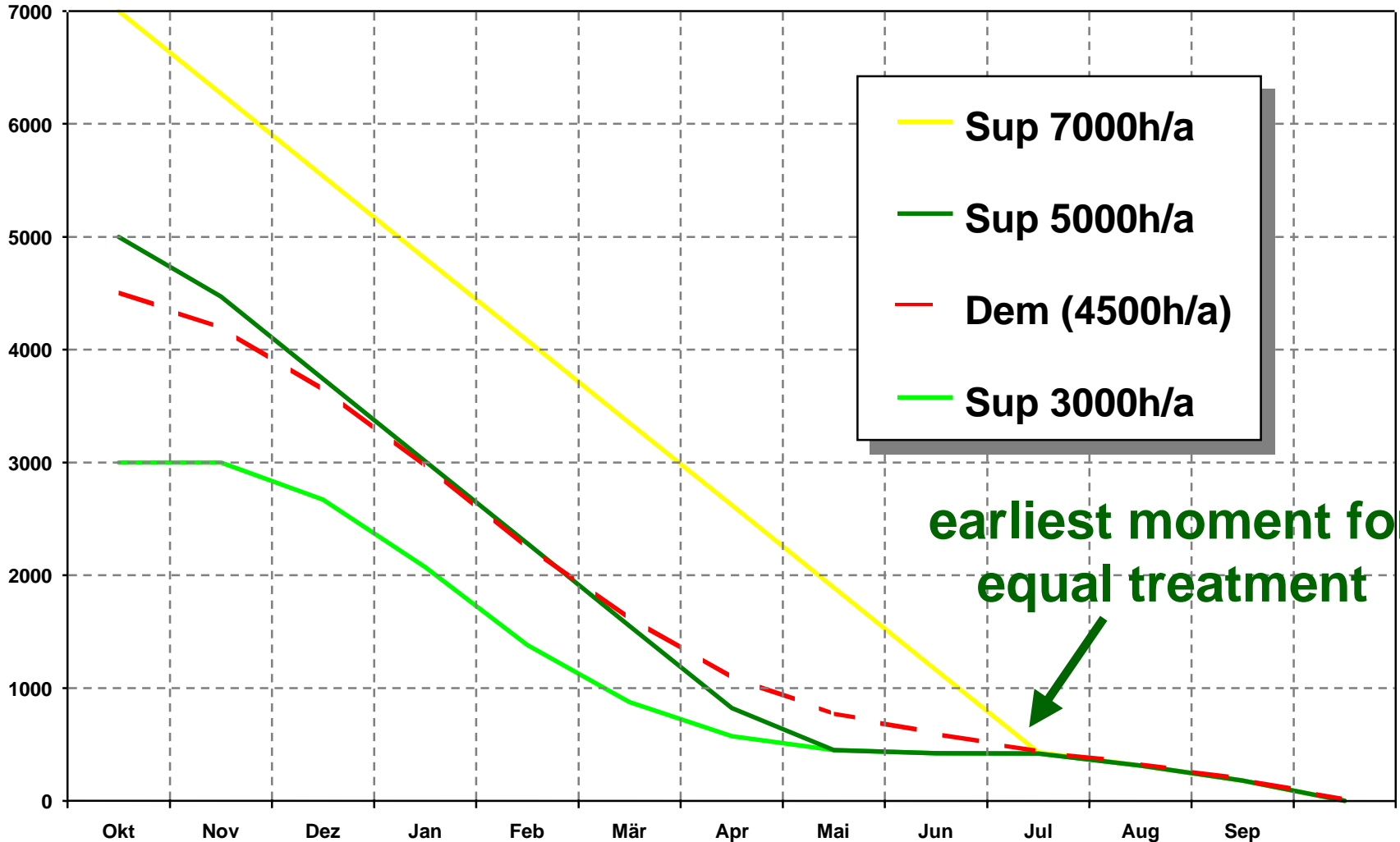
- ✧ load balancing
- ✧ bin packing
- ✧ demand/supply balancing
- ✧ forecasting



# MATHEMATICS APPLIED IN ENERGY INDUSTRY

equal treatment as soon as possible

Rest Bh (Monatsbeginn)



**earliest moment for equal treatment**

agenda

$H^2$  category theory

- ✧ topological categories
- ✧ quasitopoi

$H^2$  applications / optimisation

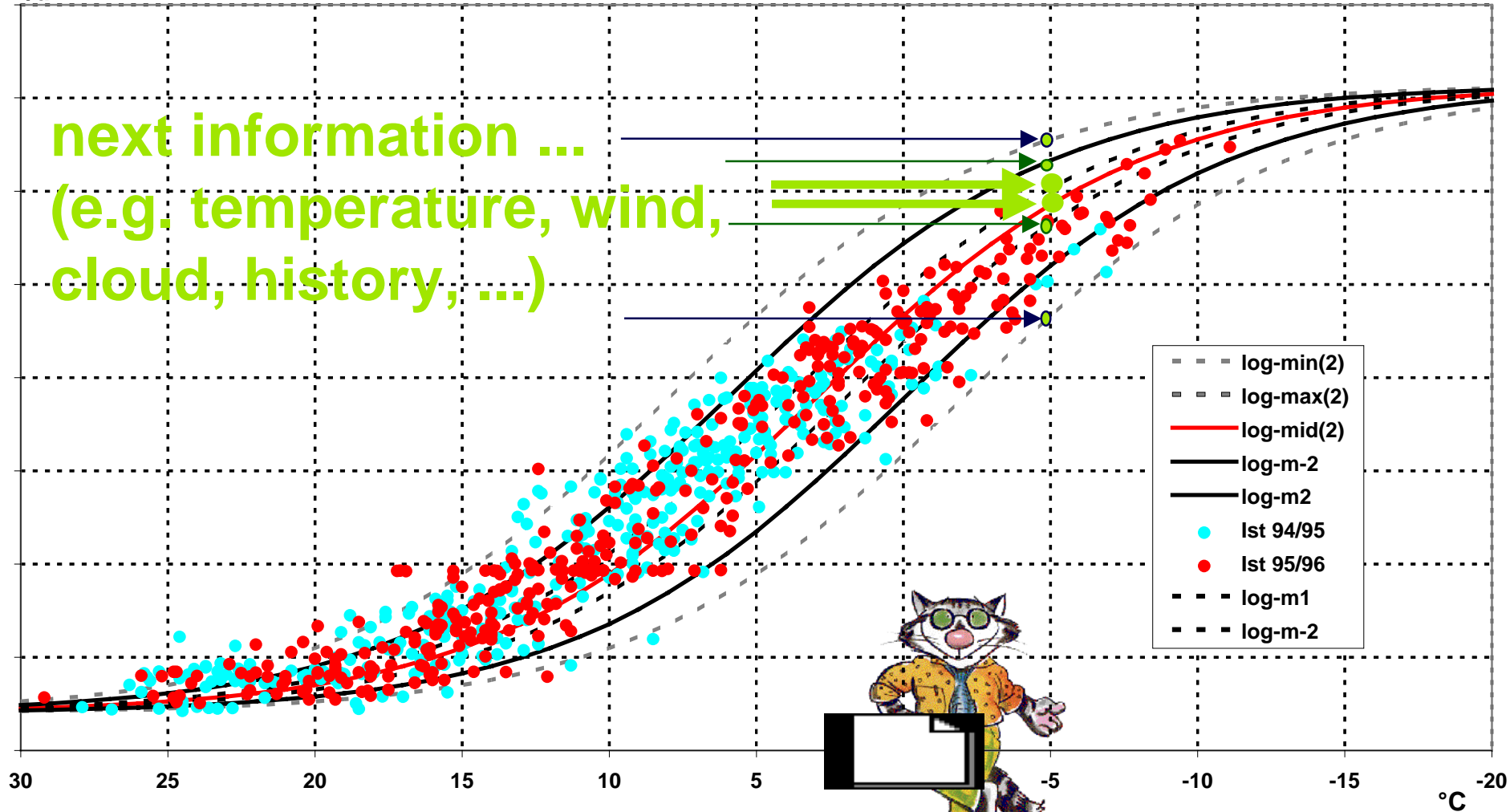
- ✧ load balancing
- ✧ bin packing
- ✧ demand/supply balancing
- ✧ forecasting

# MATHEMATICS APPLIED IN ENERGY INDUSTRY

## forecasting energy over temperature

m<sup>3</sup>/d

next information ...  
(e.g. temperature, wind,  
cloud, history, ...)



... thank you  
for your  
kind  
attention ...

