

Wintersemester 2010/2011

Strömungsmaschinen I

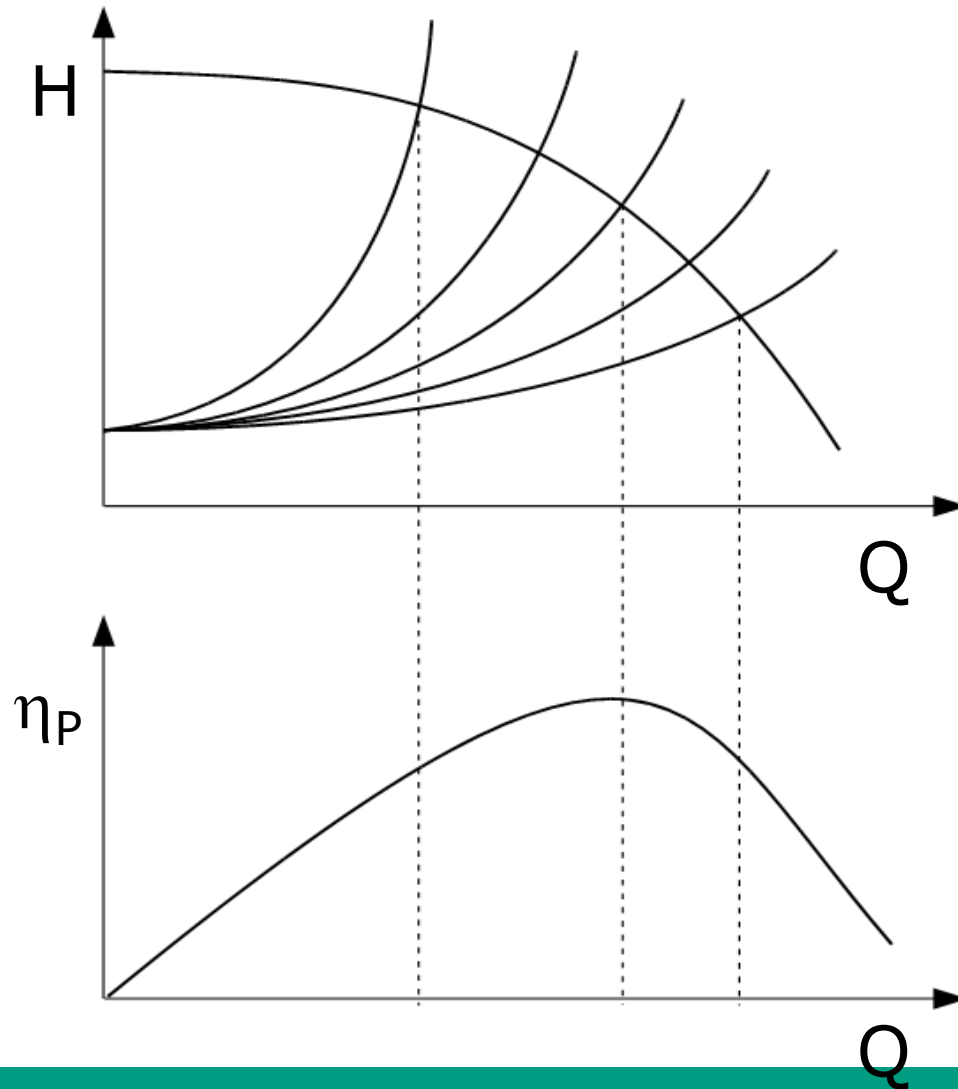
Prof. Dr. Hendrik Wurm

Lehrstuhl für Strömungsmaschinen

Regelung von Pumpen

Life Cycle Cost (LCC)

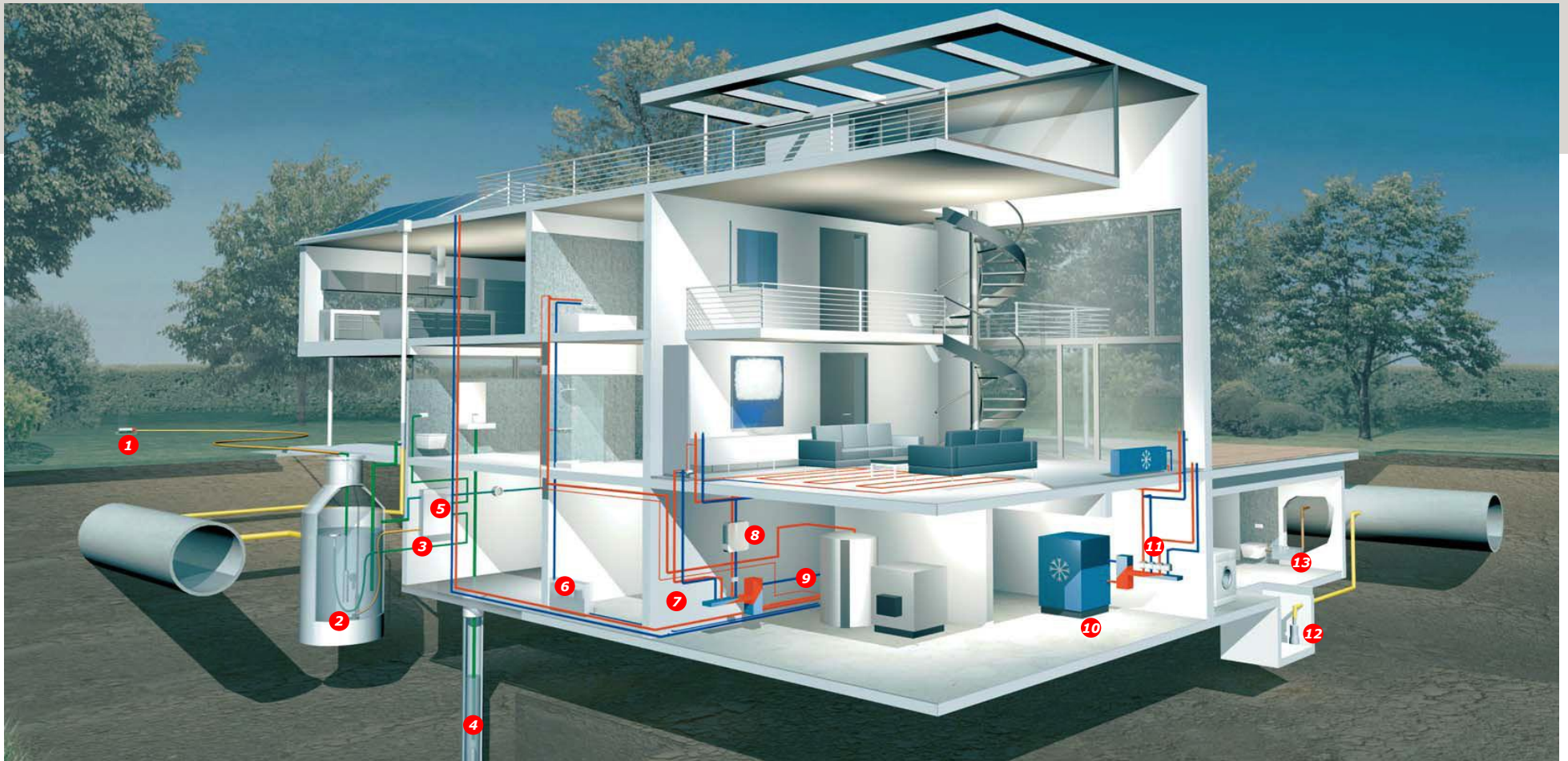
Wo arbeitet die Pumpe?





Municipal water management.





Building service.

PUMPENERGIE

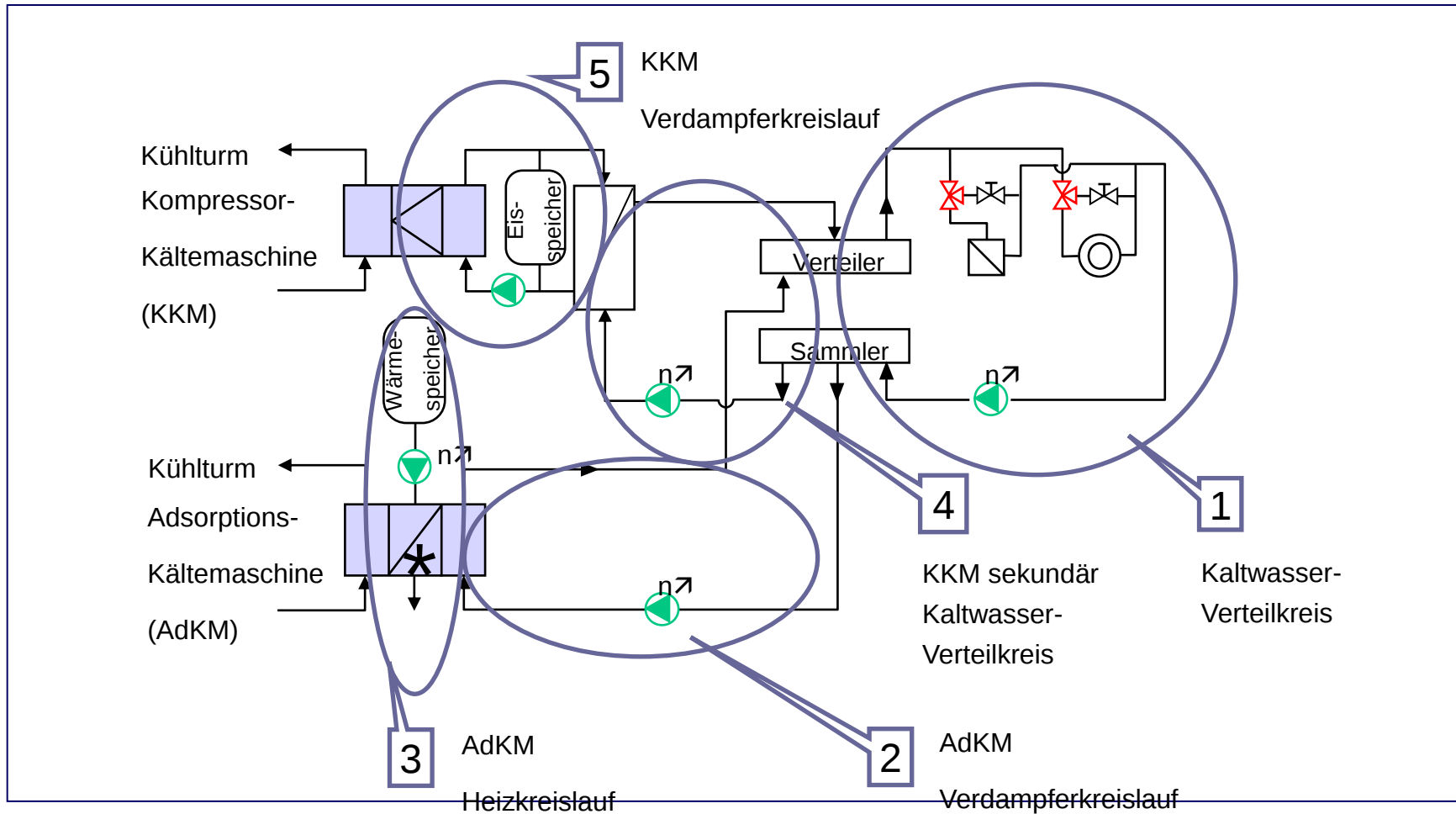
► Kälteversorgungsanlage zur Klimatisierung

der **Universität GH Essen**

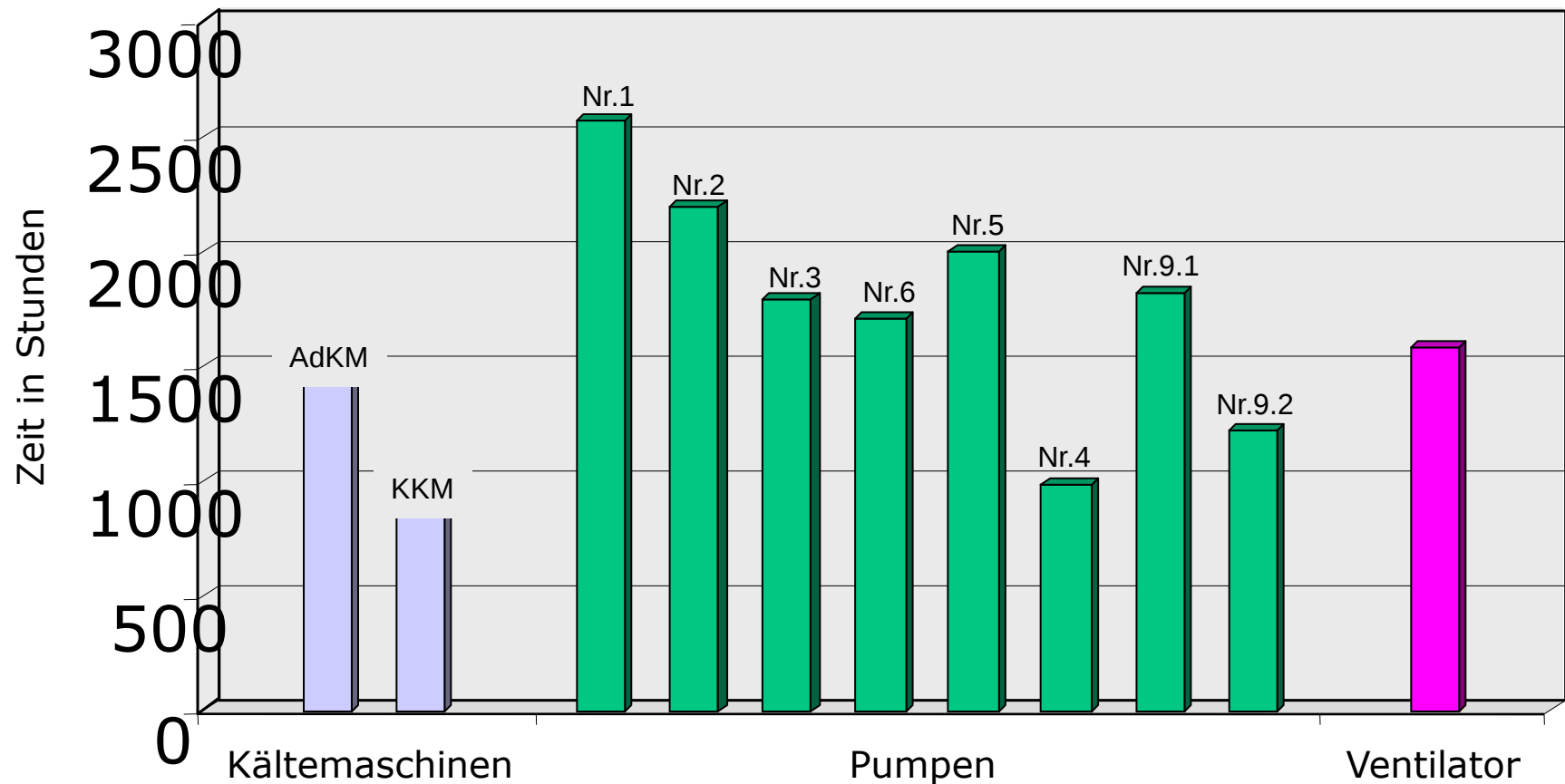


► **Malteser-Krankenhaus
Kamenz**

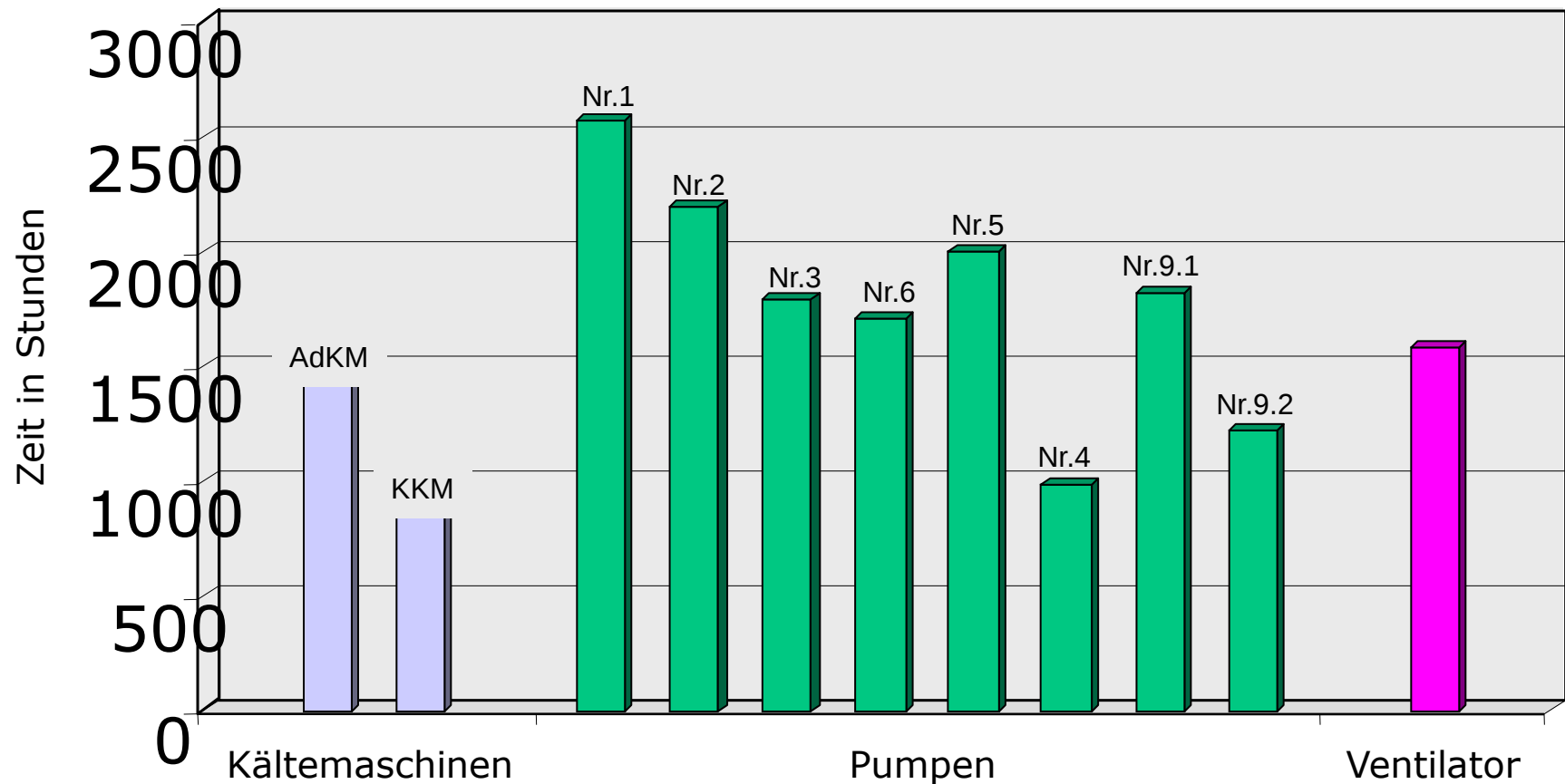
Kühlkreisläufe eines Gebäudes



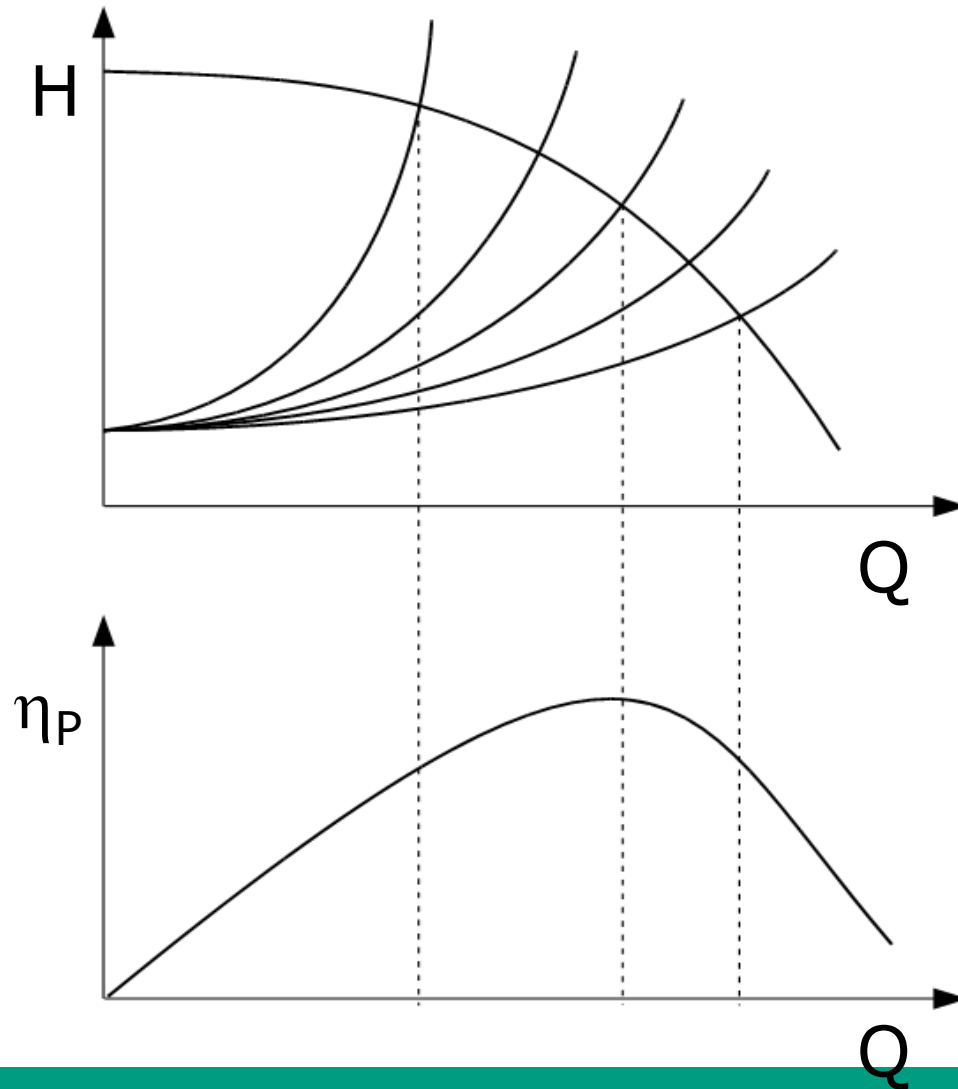
Untersuchungen im Feldbereich – Laufzeiten der Pumpen im Vergleich zu den Laufzeiten der Kältemaschinen; September 2000 bis August 2001



Untersuchungen im Feldbereich – Laufzeiten der Pumpen im Vergleich zu den Laufzeiten der Kältemaschinen; September 2000 bis August 2001



Wo arbeitet die Pumpe?



Mögliche Messgrößen – direkte Erfassung

- Druck p oder Differenzdruck dp
- Volumenstrom

Mögliche Messgrößen – direkte Erfassung

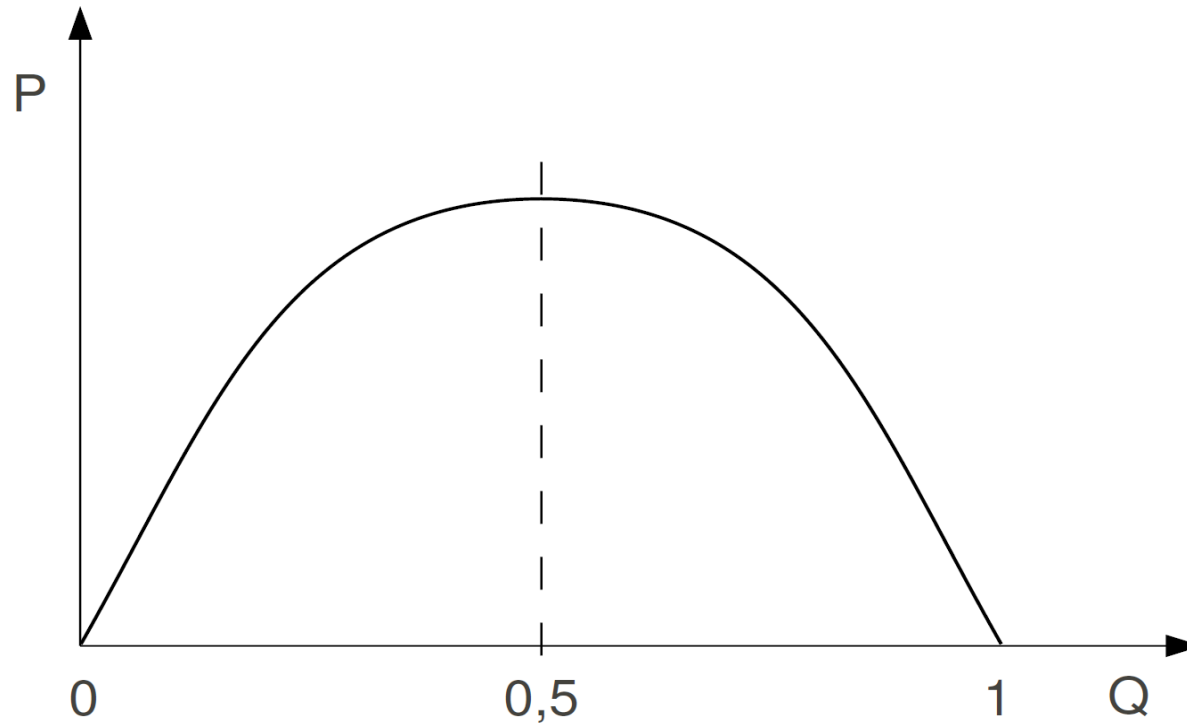
- Druck p oder Differenzdruck dp – möglich, aber teuer
- Volumenstrom – möglich, aber teuer

Ziel für „Standardpumpen“ ist: Kosten für die Messtechnik der Erfassung Größen, die für die Regelung benötigt werden betragen max. 5% der Produktkosten.

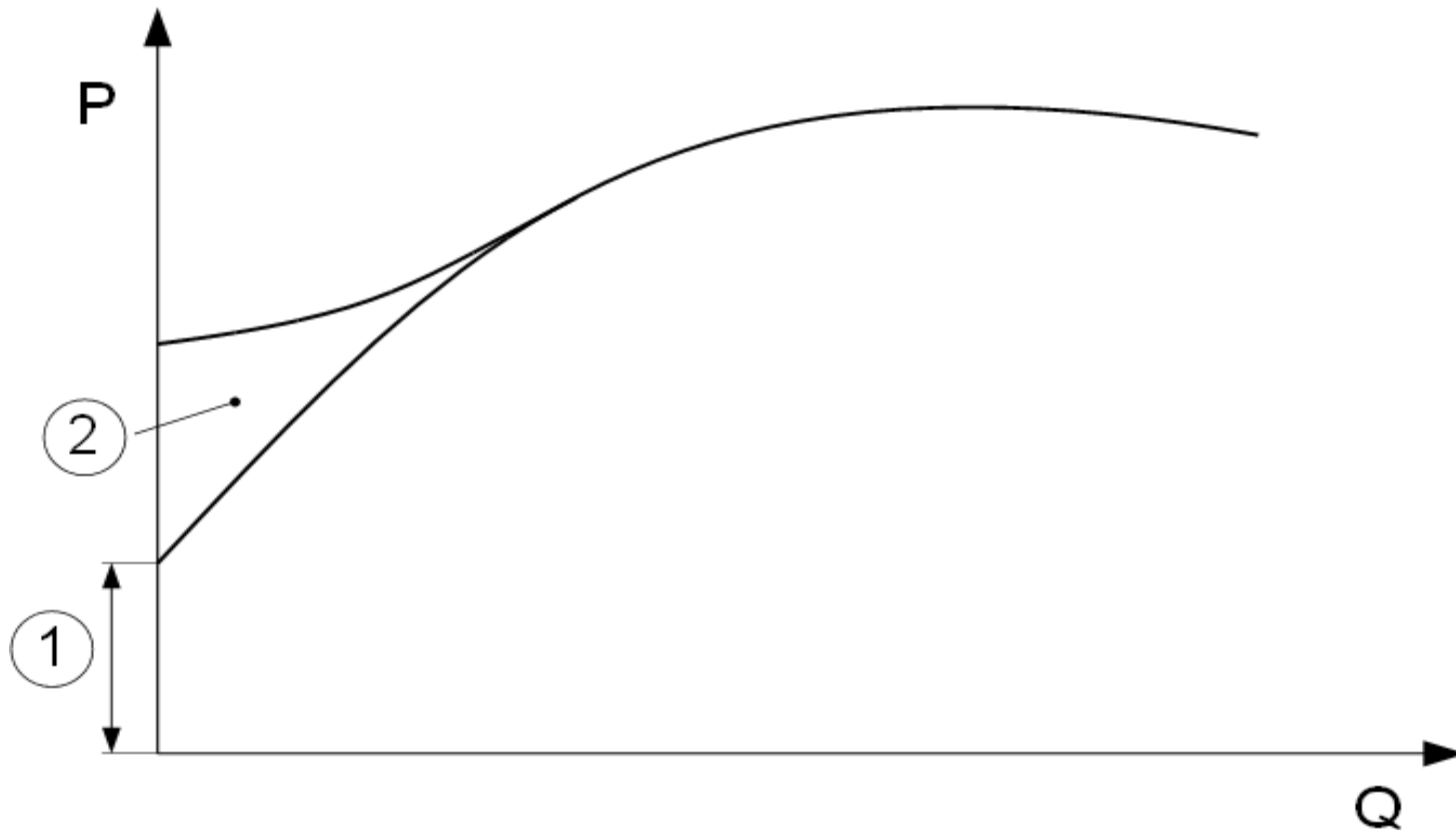
Mögliche Messgrößen – indirekte Erfassung

- Motorleistung, Motordrehmoment
- Pumpenleistung
- Verschiebung von Spannungs- und Stromsignal im Motor
- andere indirekte Größen und Kombinationen

Leistungskennlinie - theoretisch



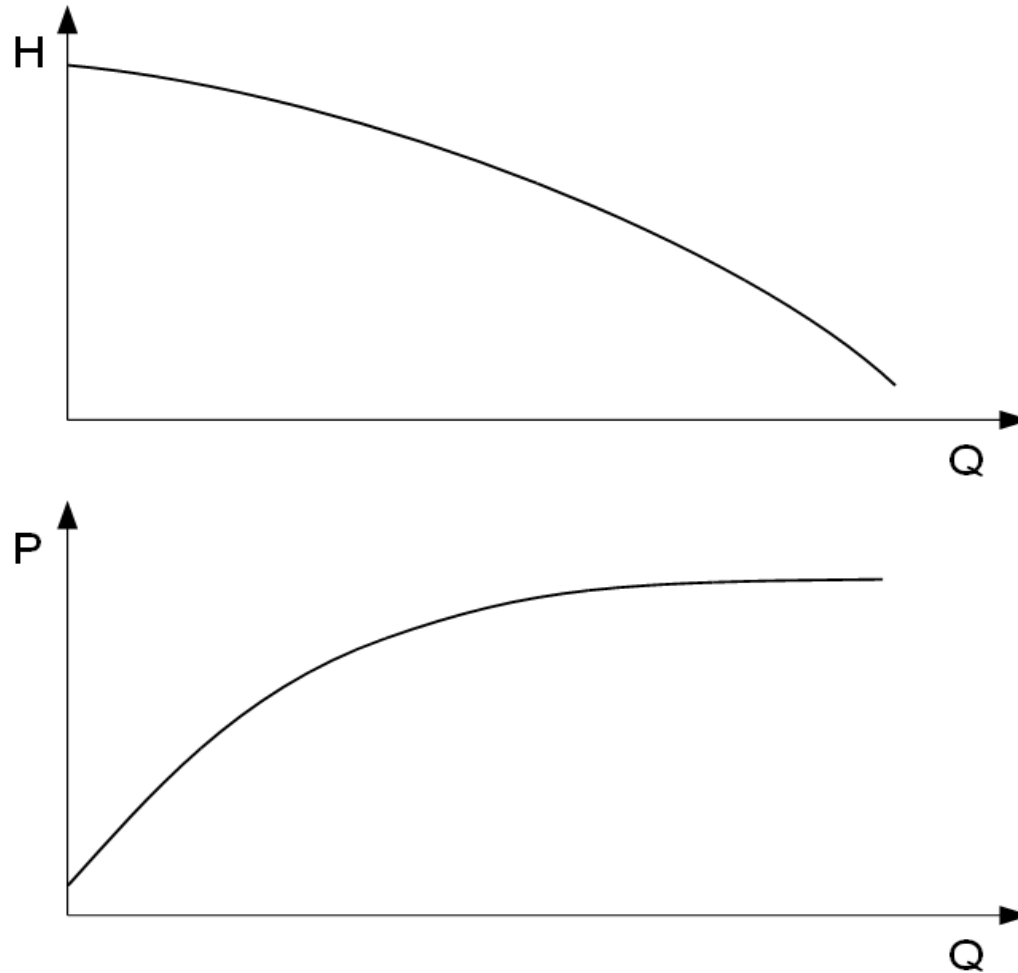
Leistungskennlinie - real



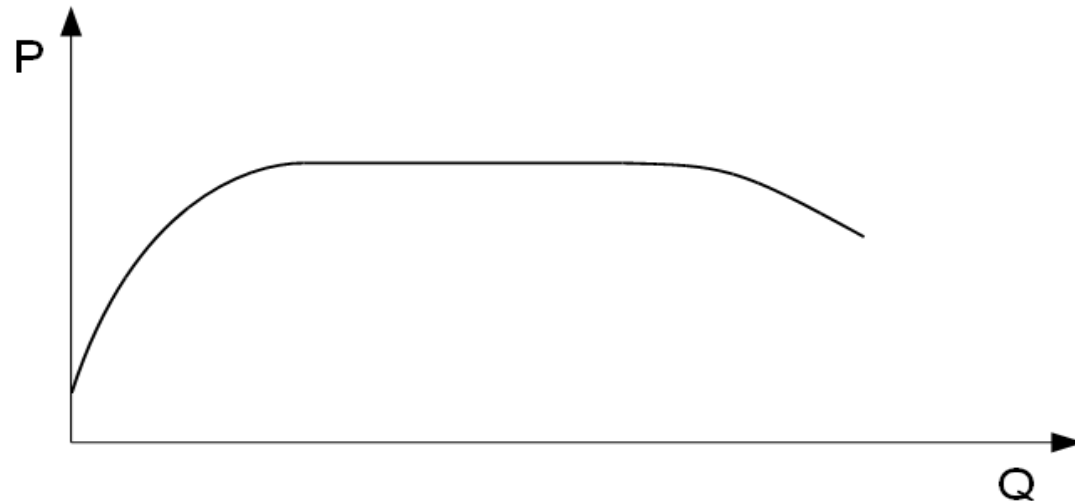
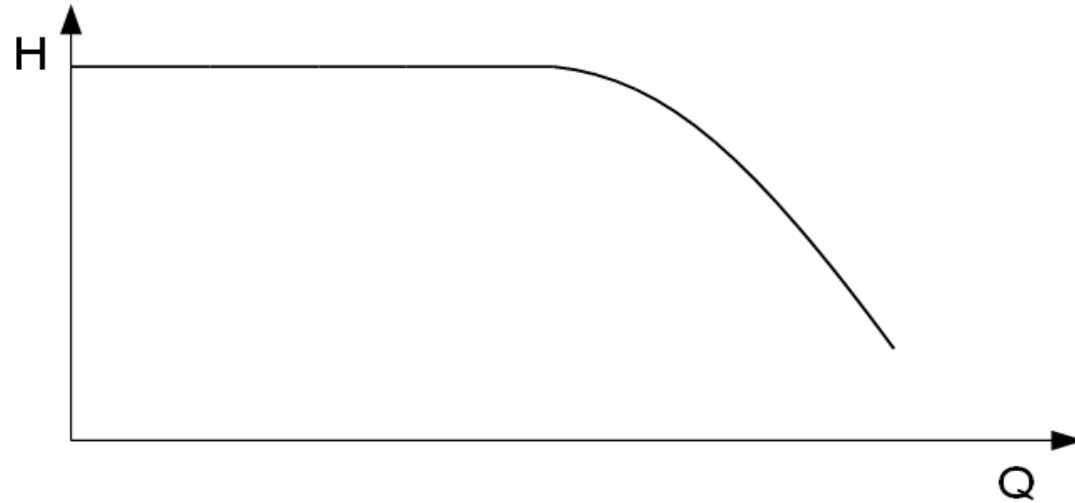
① $P_{\text{Radreib}} + P_m + P_{\text{Anderes}}$

② Verluste / Leistungsverbrauch durch Rezirkulation

Zusammenhang P - Q - H



Problem der Doppeldeutigkeit



- Schaufelzahl
- Austrittswinkel
- Austrittsbreite b_2

Stabile Leistungskennlinien erreicht man tendenziell bei kleiner Schaufelzahl, kleinem Austrittswinkel und kleiner Austrittsbreite.

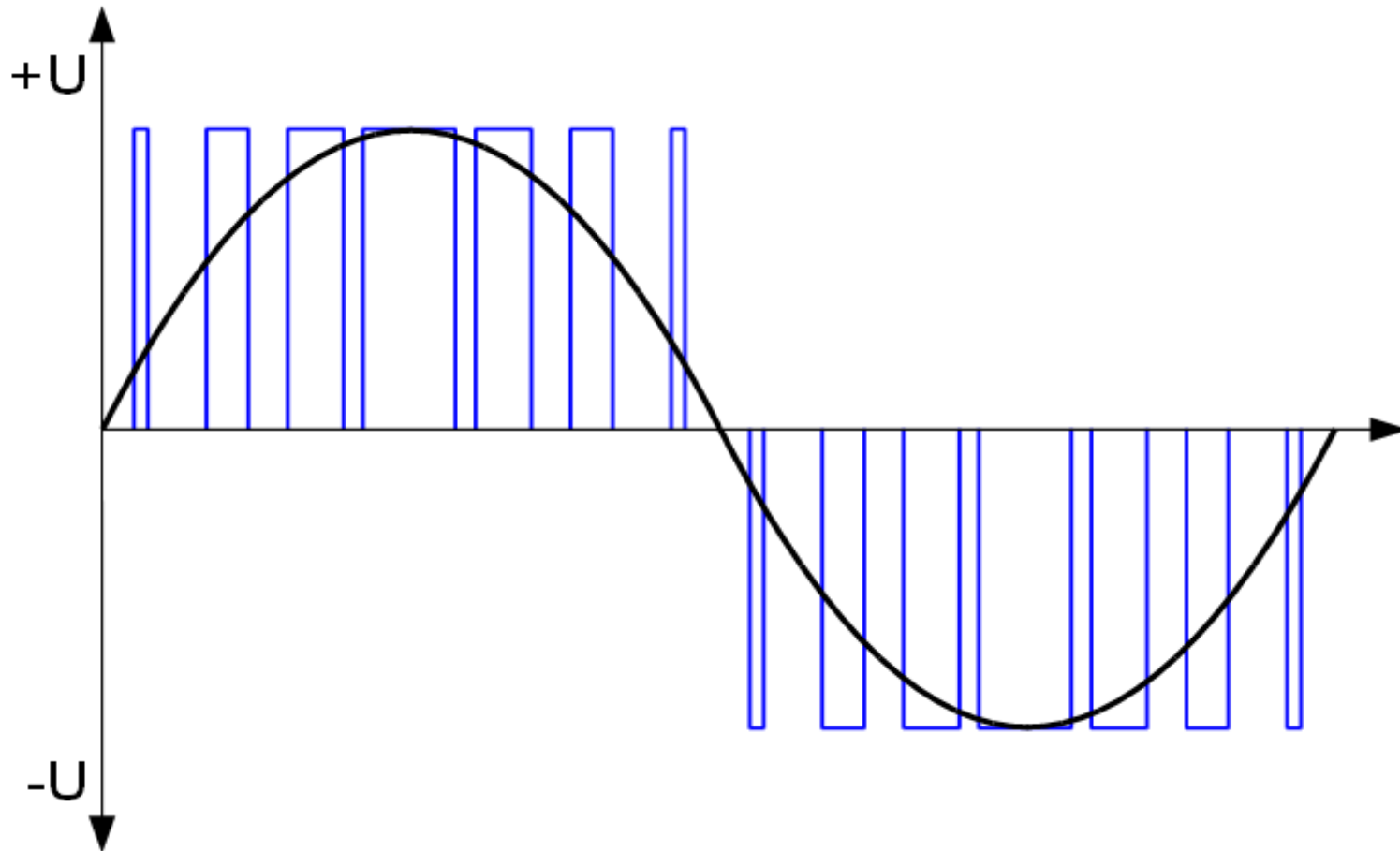
Realisierung heute

- für Massenprodukte > 1 Mio. Stück/a indirekte Messung (Bestimmung von Motorstrom und –spannung – Berechnung der Leistung – Rückrechnung auf Volumenstrom)
- bei kleineren Stückzahlen i.d.R. Messung des Differenzdruckes direkt am Pumpenflansch

Variation der Drehzahl - Prinzip

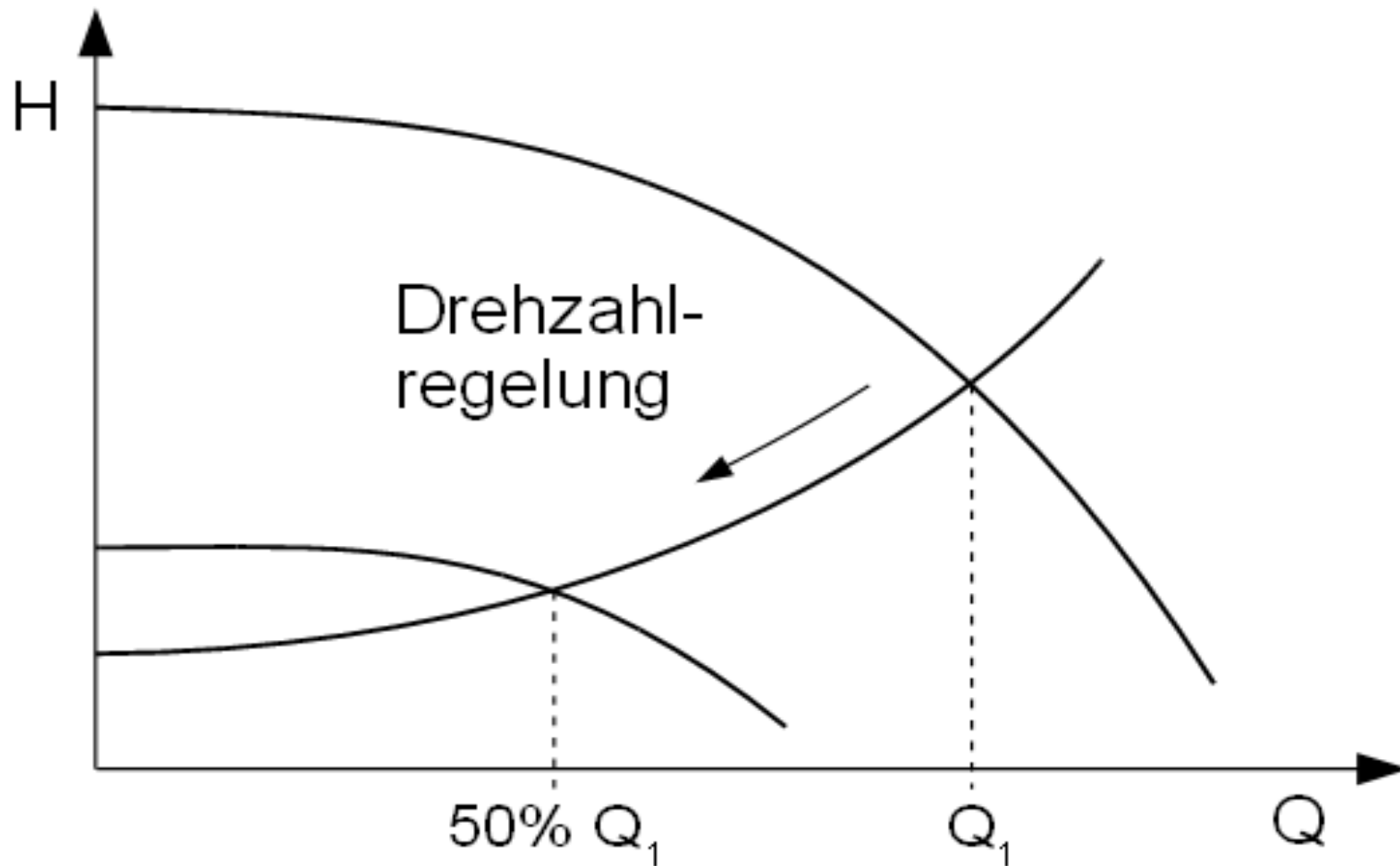
- ungeregelter Motor: Ansteuerung der Spulen mit 3~ Netzspannung
- geregelter Motor: Umwandlung der 3~ Netzspannung in Gleichspannung – Glättung – Erzeugung eines variablen Spannungssignals mit variabler Frequenz – mit dieser werden dann die Motorwicklungen gespeist

Pulsweitenmodulation - PWM

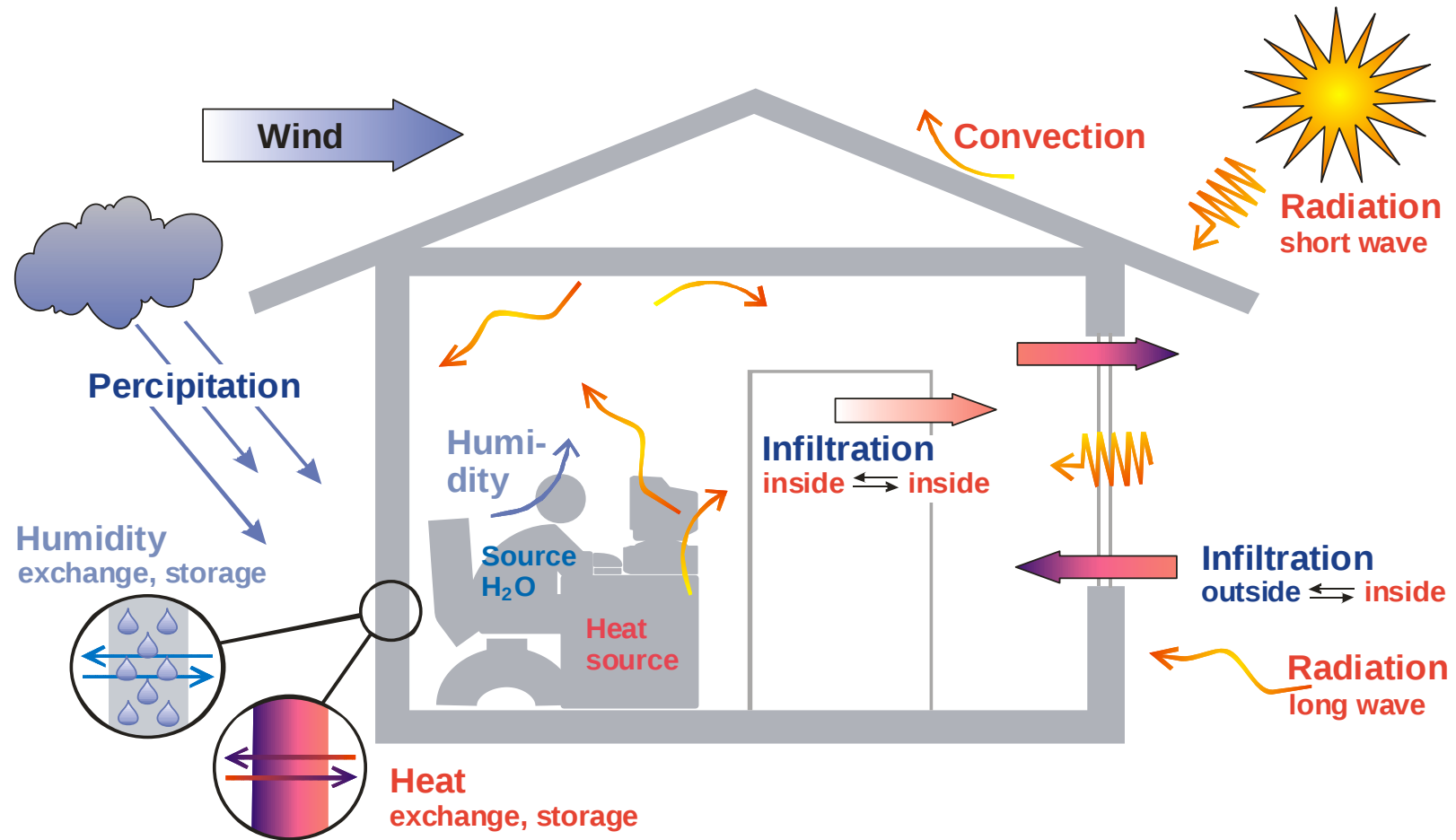


Modulation der Pulsbreite

Effekt einer „simplen“ Drehzahlregelung

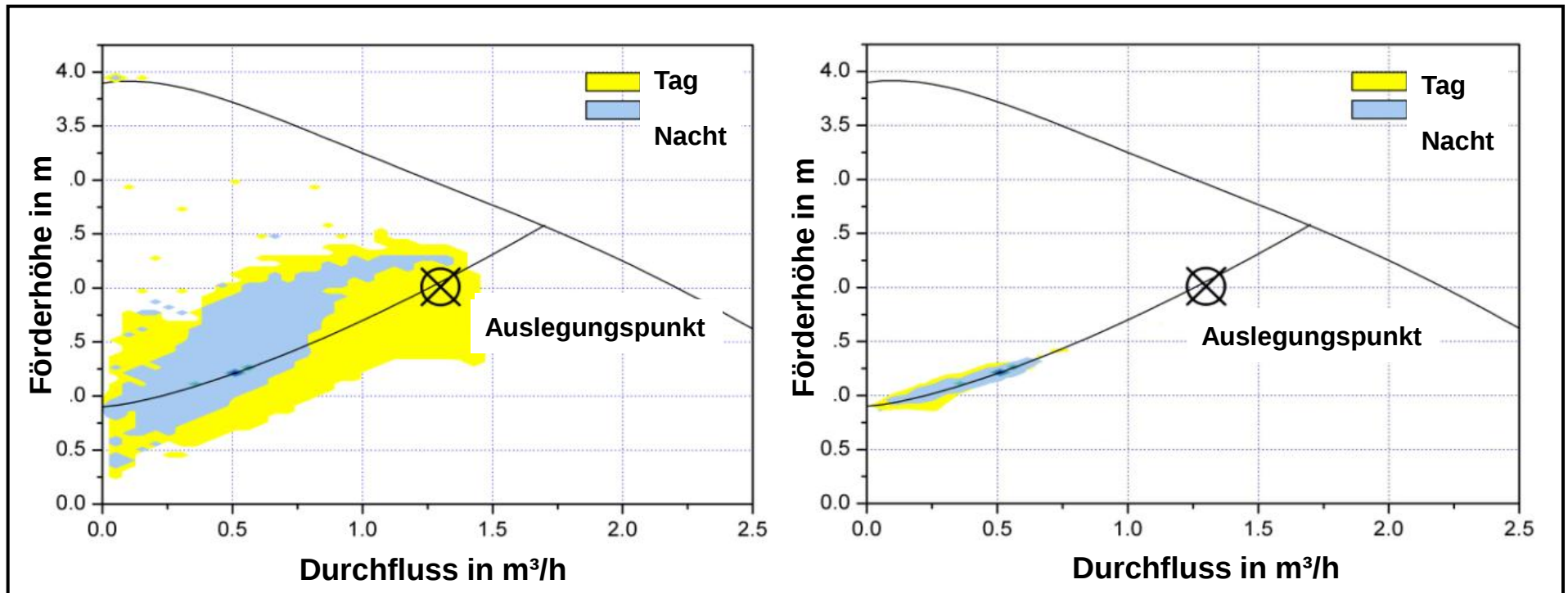


Numerische Systemanalyse von Gebäuden

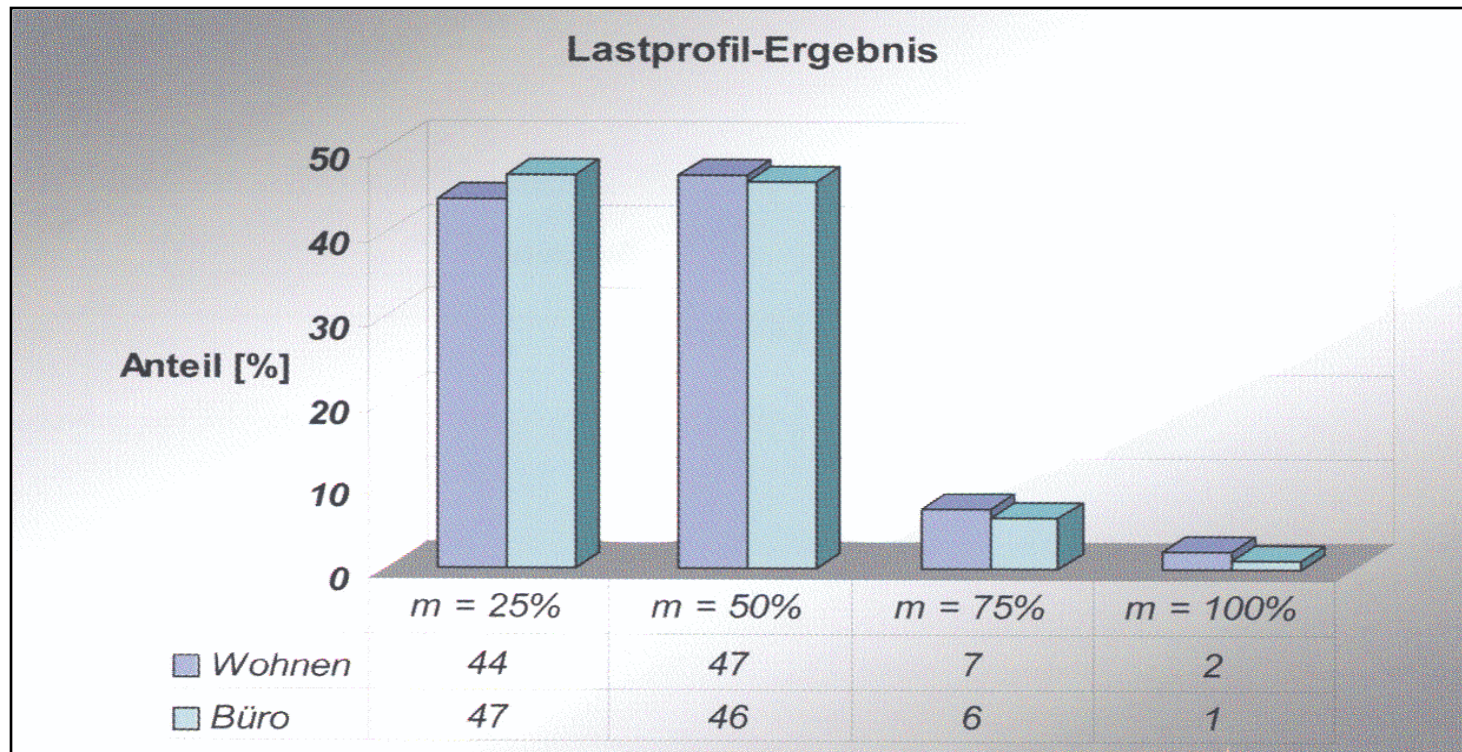


Quelle: Richter, W.: unveröffentlichter Forschungsbericht der TU Dresden an die WILO AG

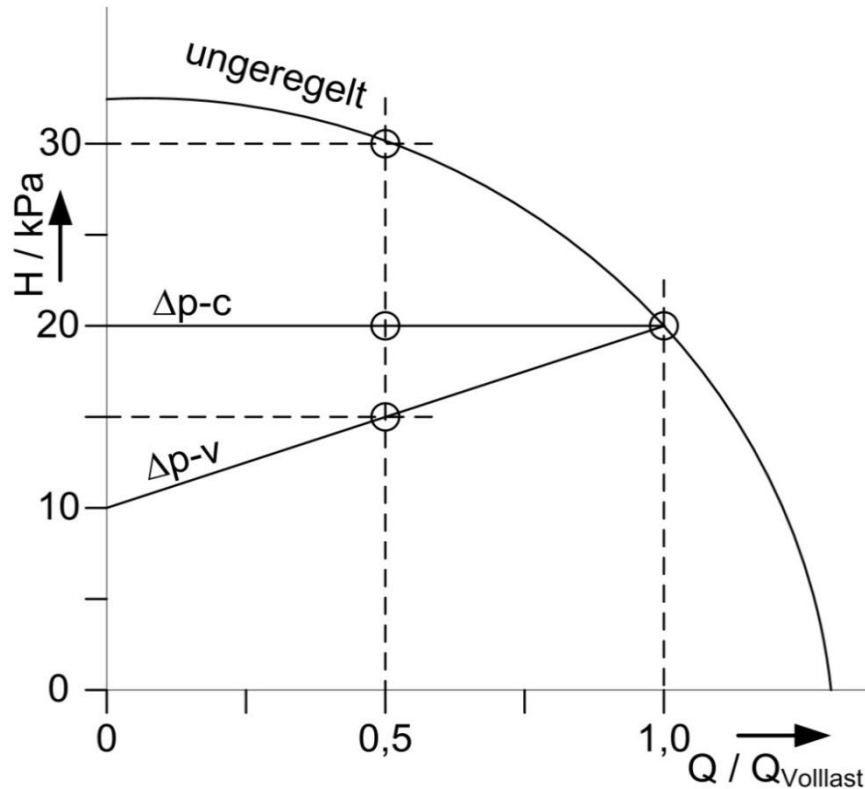
Analyse der Betriebspunkte der Heizungsumwälzpumpe in einem Heizungssystem



Europäisches Lastprofil – Ergebnis der Untersuchungen von Heizungssystemen



Auswahl: $\Delta p\text{-c}$ oder $\Delta p\text{-v}$?



Auslegung:

Druckabfall an den Ventilen
bei Vollast 50%

Ziel der Pumpenregelung:

Vermeidung zu hoher

Drücke an den Ventilen
bei Teillast

Anwendung

Anwendungs-
regler

Motorregler

Pumpe

Regelungsarten

- $\Delta p-v$
- $\Delta p-c$
- PID
- ...

Beobachter

- $Q(P)$
- $Q(H)$
- ...

Management

- Master/Slave
- Spitzenlast
- ...

Bedienung

Fehlermanagement

Antriebsregelung

- Leistungsfaktor
- Feldorientierte
Regelung
- ...

Regelaufgaben

Quelle: Große-Westhoff, WILO SE



Spannungsversorgung

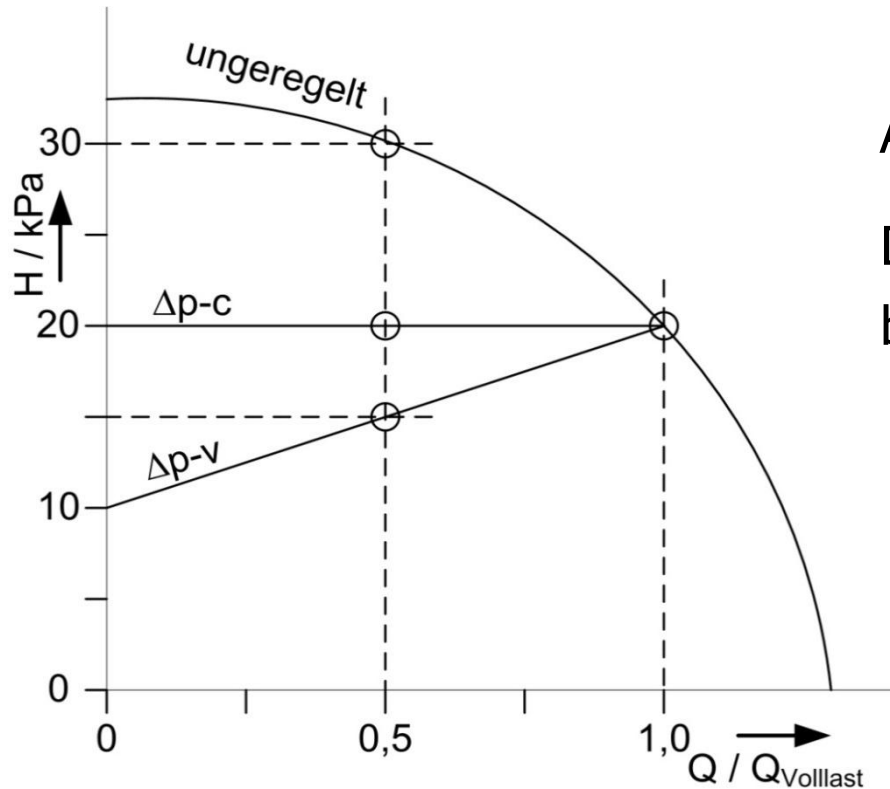
IR-Modul / Display

- 0 ... 10 V
- SSM, SBM
- Extern ON / OFF

LON-Modul

- KM-BUS
- PLR

Auswahl: Δp -c oder Δp -v?



Auslegung:

Druckabfall an den Ventilen
bei Vollast 50%

Ziel der Pumpenregelung:

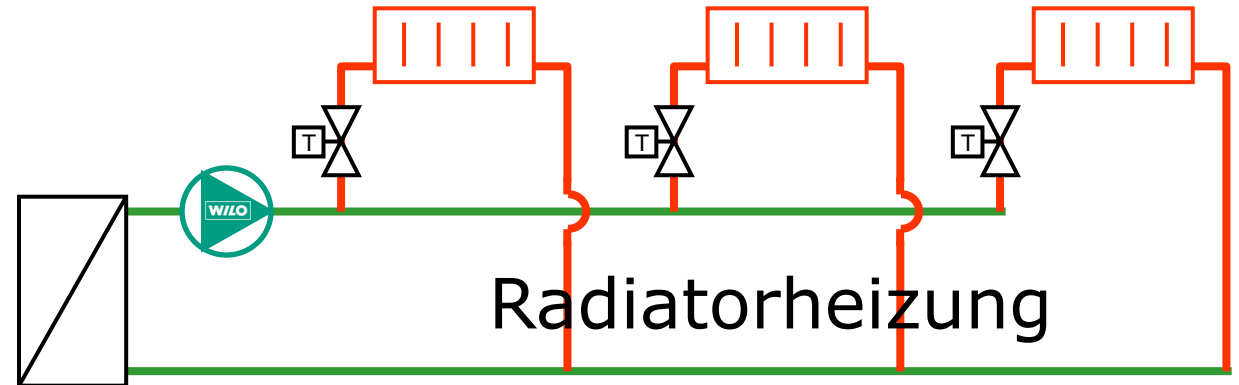
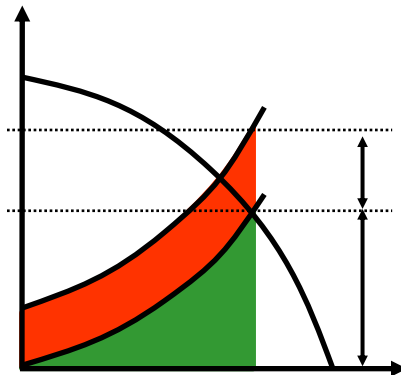
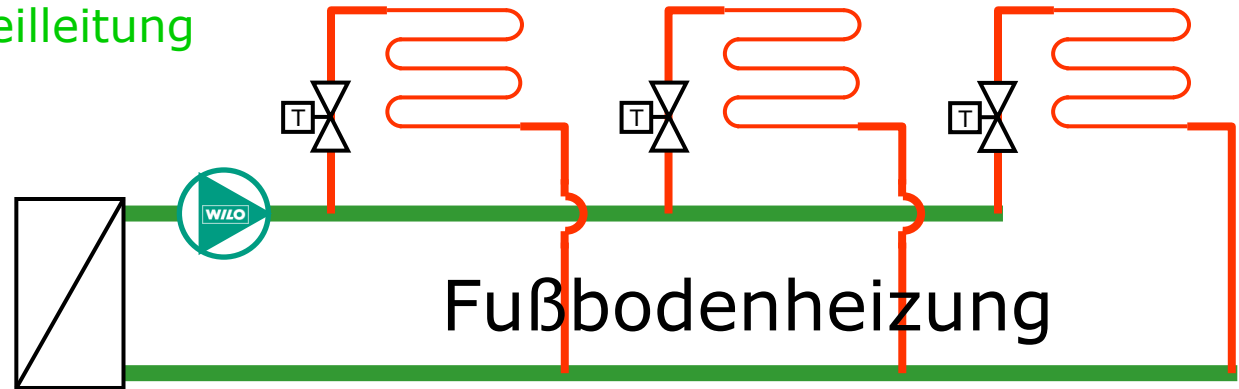
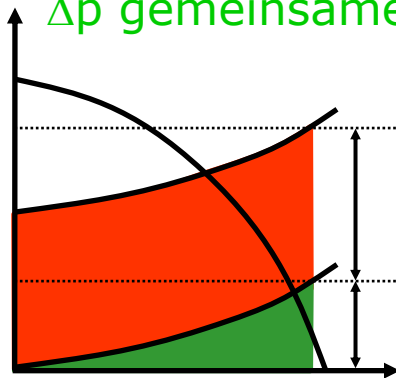
Vermeidung zu hoher

Drücke an den Ventilen
bei Teillast

Anwendungsbeispiel für Δp -c und Δp -v

Δp Ventil + Verbraucher

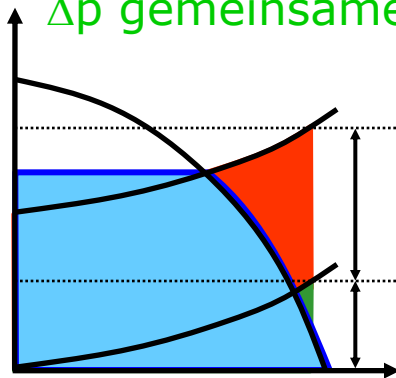
Δp gemeinsame Verteilleitung



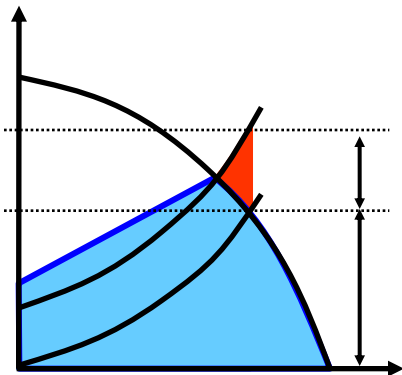
Anwendungsbeispiel für Δp -c und Δp -v

Δp Ventil + Verbraucher

Δp gemeinsame Verteilleitung



Geringe Änderung des Systemdrucks bei
Volumenstromänderung $\rightarrow \Delta p$ -c



Starke Änderung des Systemdrucks bei
Volumenstromänderung $\rightarrow \Delta p$ -v

Auswahlregeln Δp -c oder Δp -v

Gemeinsamer Widerstand dominant: Δp -v

Beispiel: - Fernwärmeübergabe

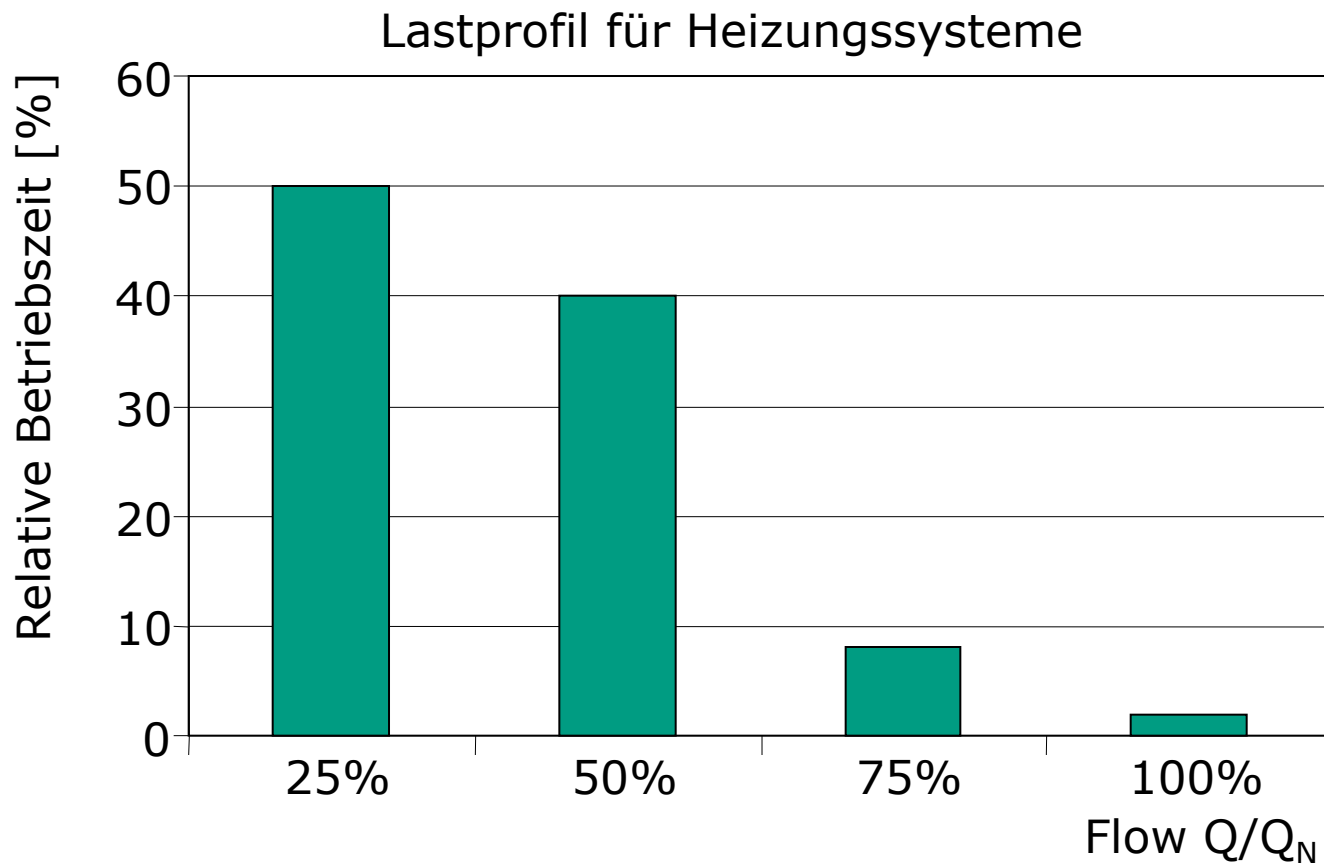
- Tichelmannkreis
- Zweirohrkreis

Dezentrale Widerstände dominant: Δp -c

Beispiel: - Wohnungsverteiler

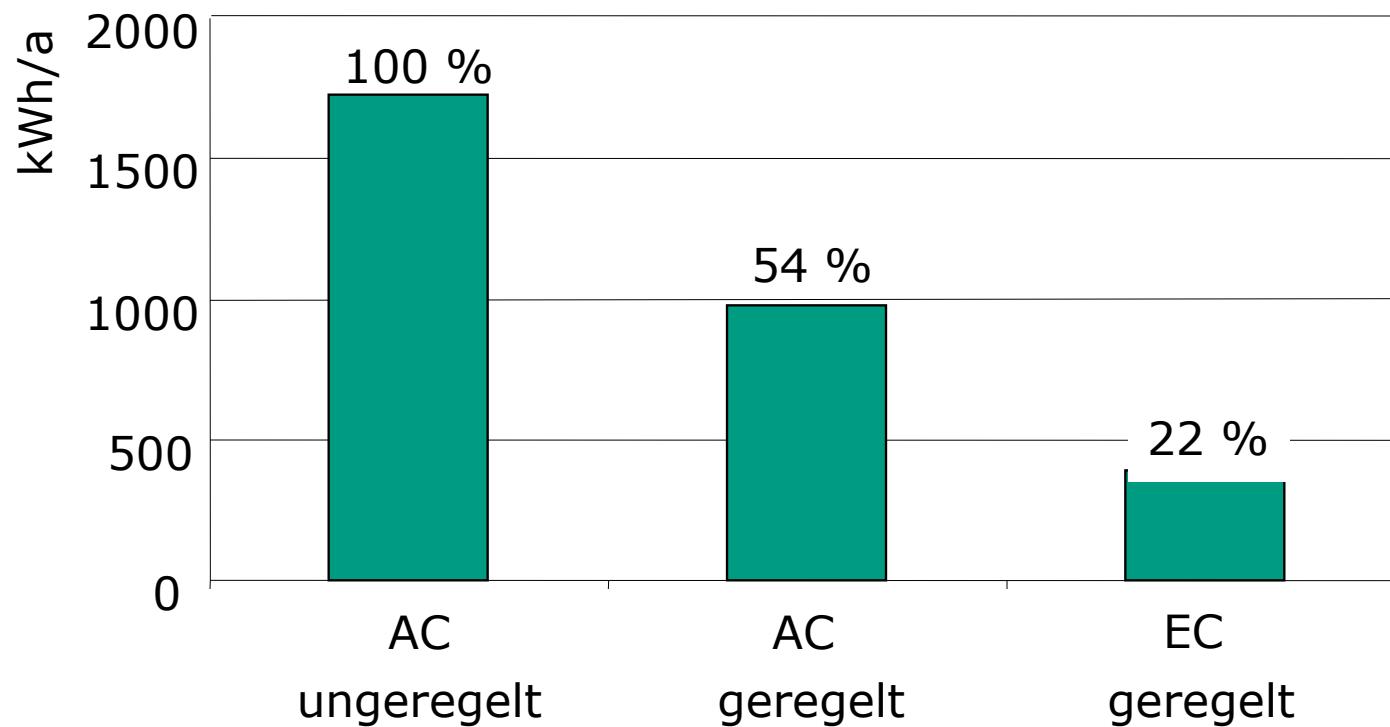
- Fußbodenheizung
- ehem. Schwerkraftheizung

Europaweit standardisiertes Lastprofil



Einspareffekte

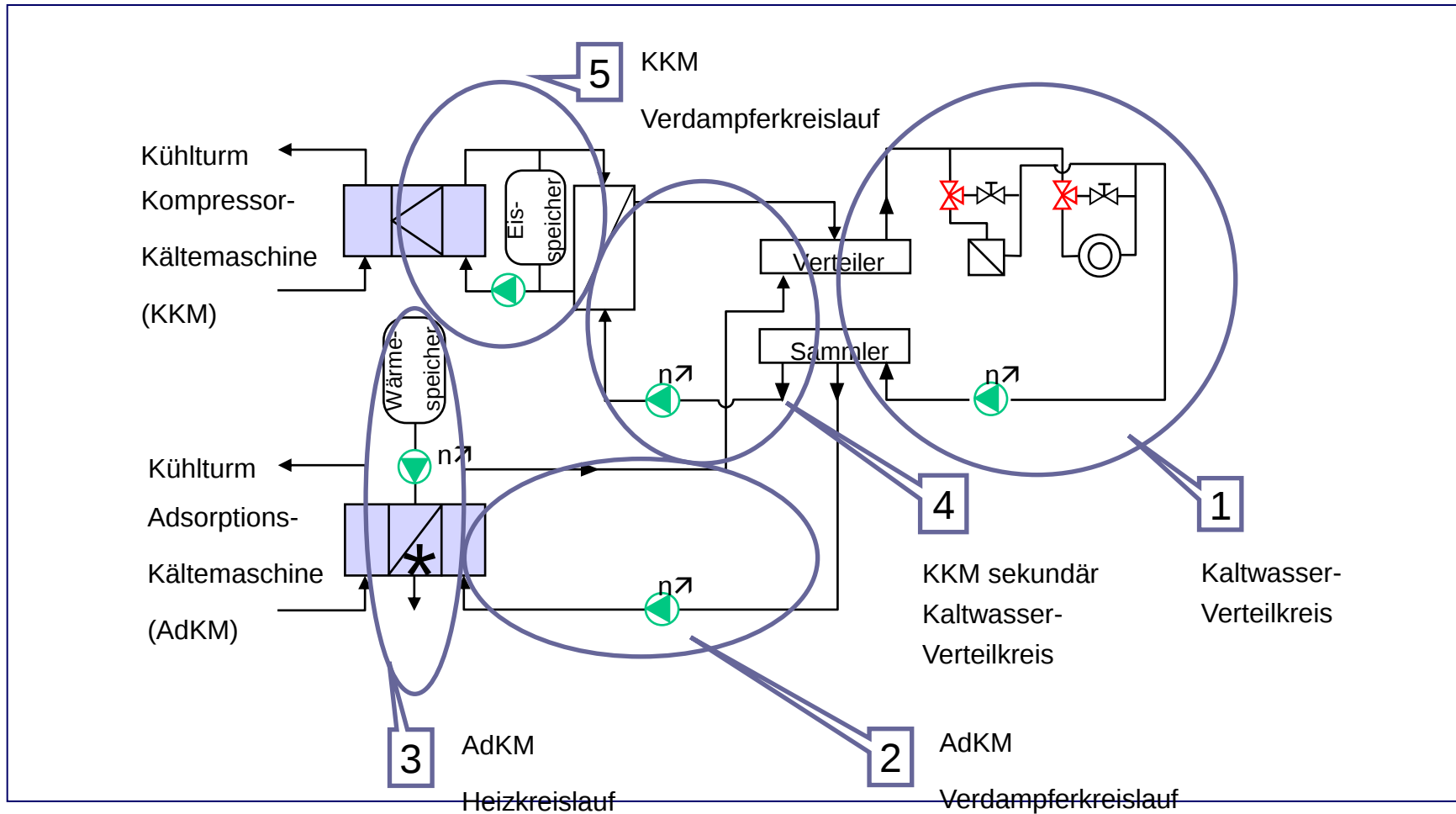
Jährlicher Energieverbrauch



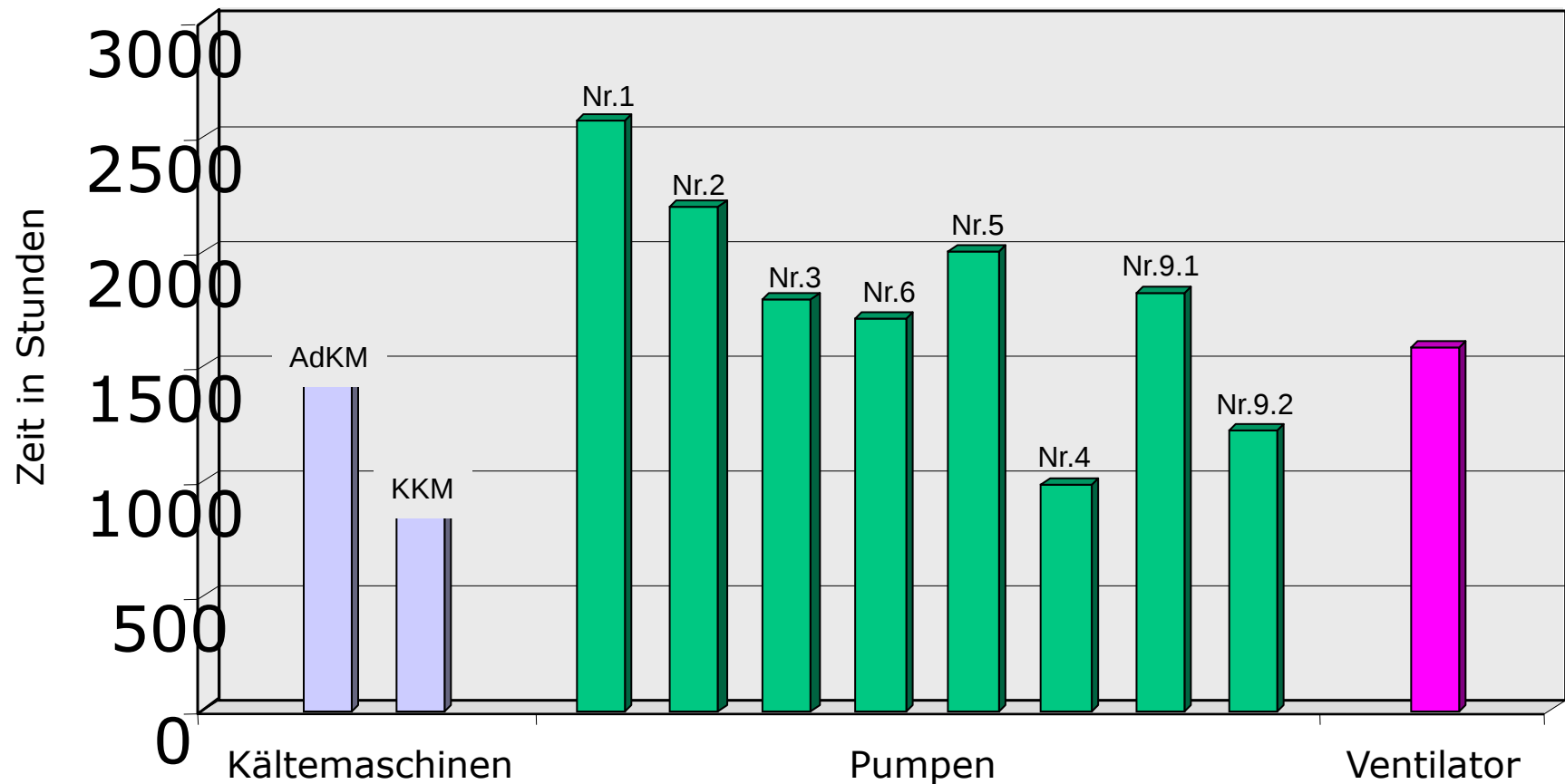
Einbindung in die übergeordnete Leittechnik

- für Massenprodukte > 1 Mio. Stück/a indirekte Messung (Bestimmung von Motorstrom und –spannung – Berechnung der Leistung – Rückrechnung auf Volumenstrom)
- bei kleineren Stückzahlen i.d.R. Messung des Differenzdruckes direkt am Pumpenflansch

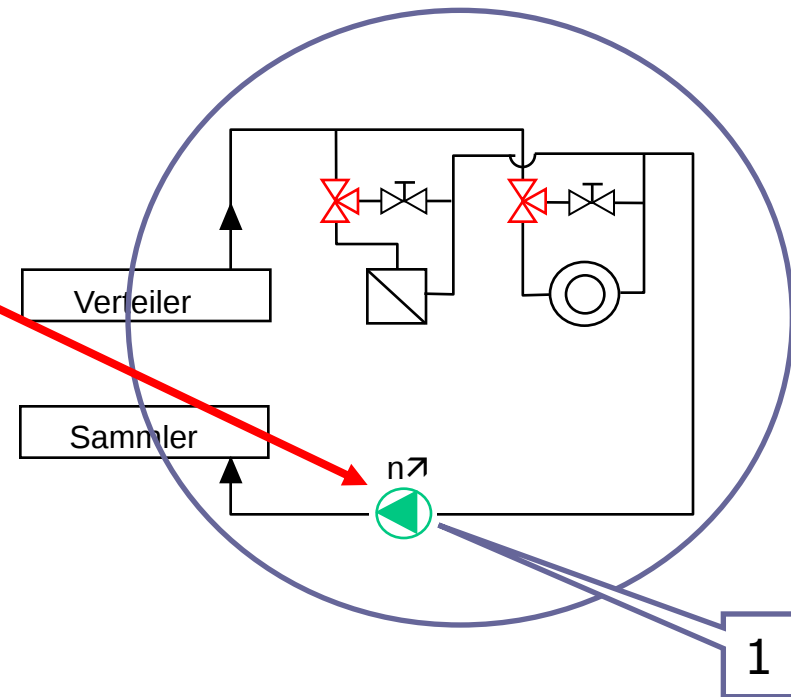
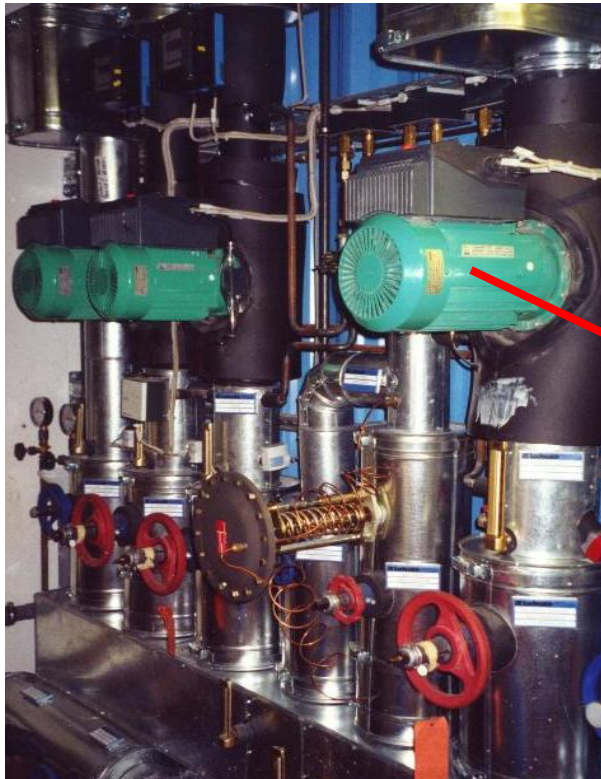
Kühlkreisläufe eines Gebäudes



Untersuchungen im Feldbereich – Laufzeiten der Pumpen im Vergleich zu den Laufzeiten der Kältemaschinen; September 2000 bis August 2001



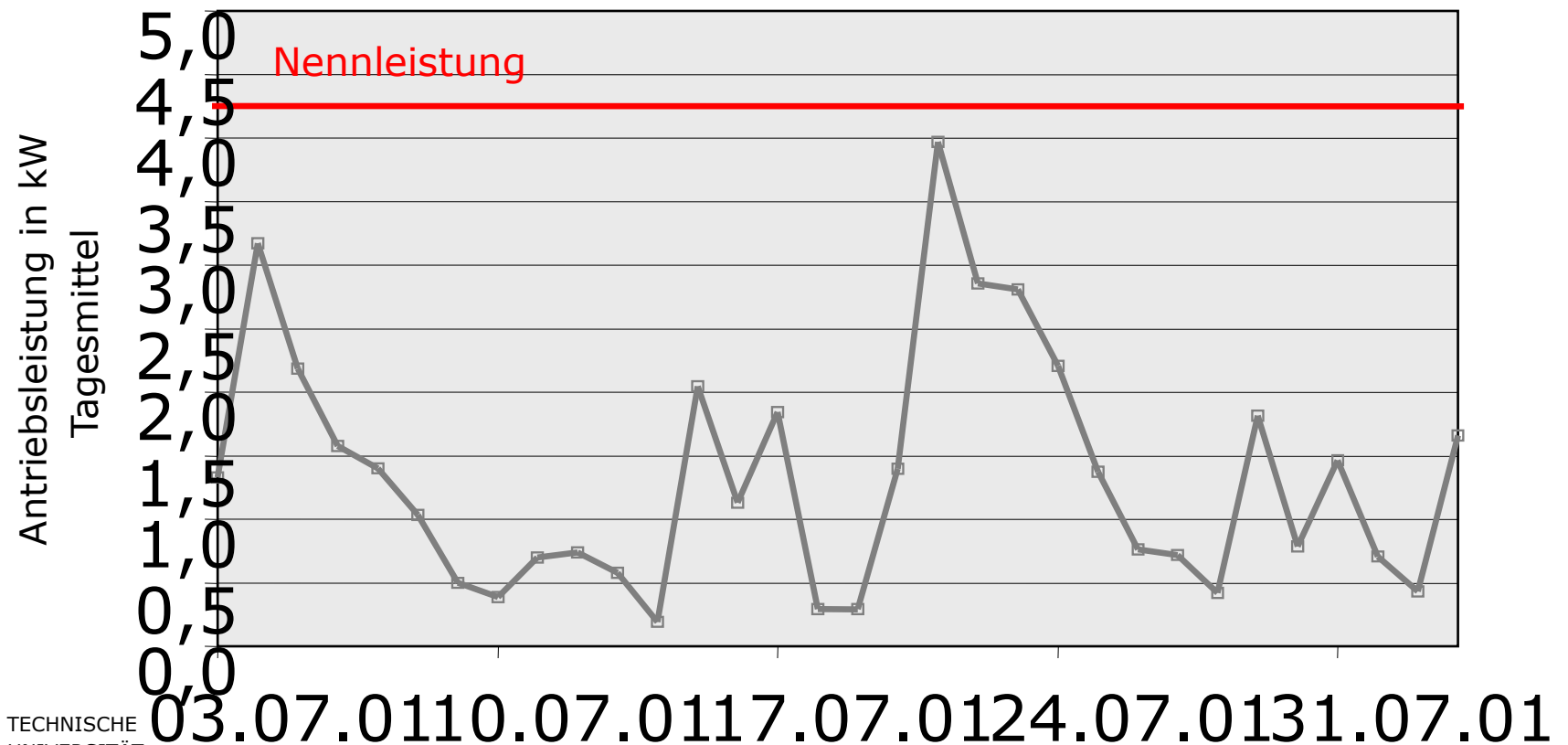
Untersuchungen im Feldbereich – Ansicht und Schaltschema der Pumpe Nr.1 im Kaltwasser-Verteilkreis



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN

Untersuchungen im Feldbereich – Gemessene Leistung an der geregelten

Pumpe im Juli 2001 (Kaltwasser-Verteilkreis Pumpe Nr.1)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN

Standardisierte Einbindung von Pumpen in Leittechniksysteme

- vorhandenen Building Management Systeme

LON

BACNET

Ethernet

EIB

- Bussysteme allgemein

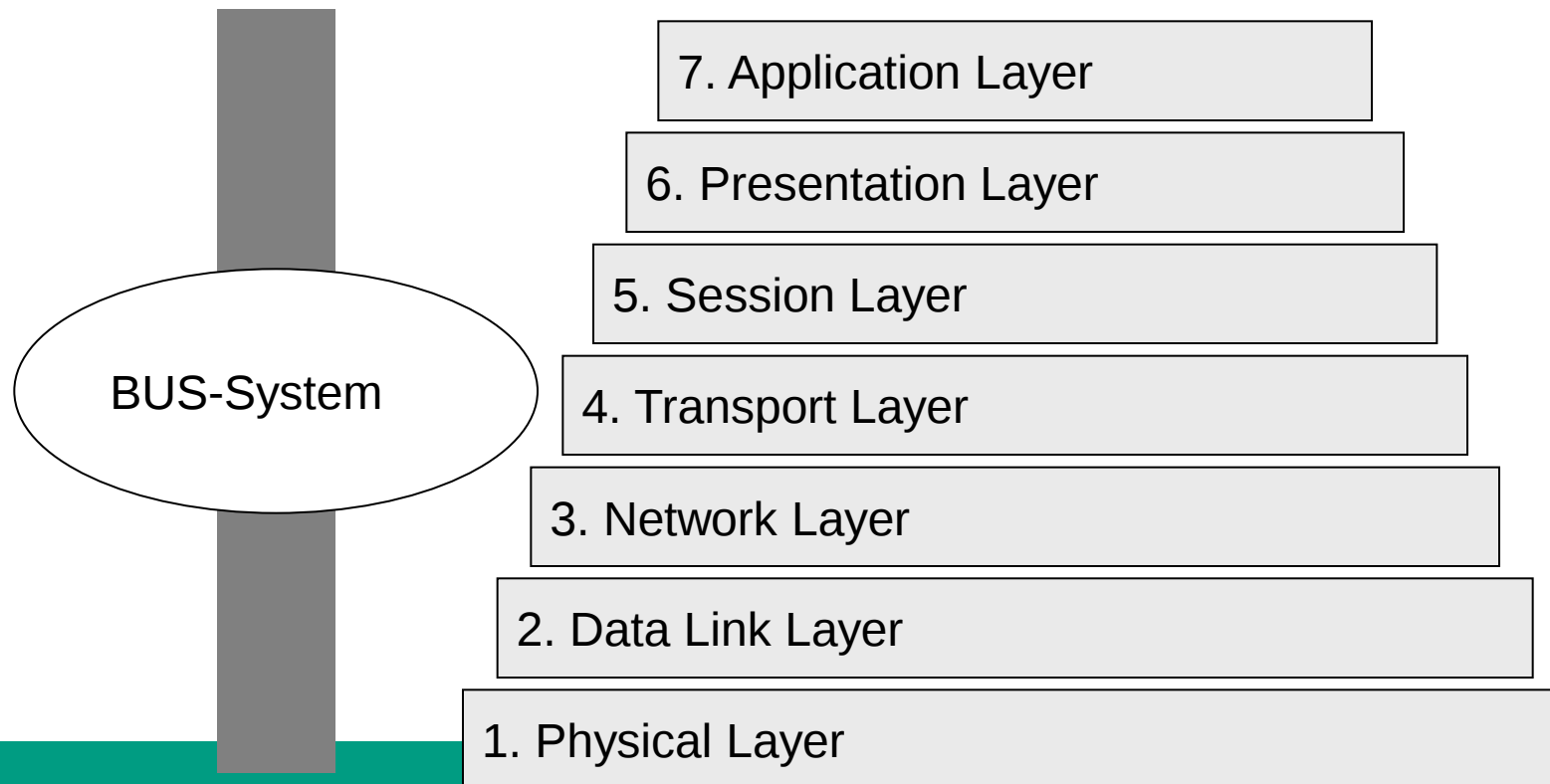
CAN

Profibus etc.

Standardisierte Einbindung von Pumpen in Leittechniksysteme

- VDMA-Datenprotokoll im ISO-OSI-Modell

Vollständige Beschreibung eines BUS-Systems in
7 Schichten

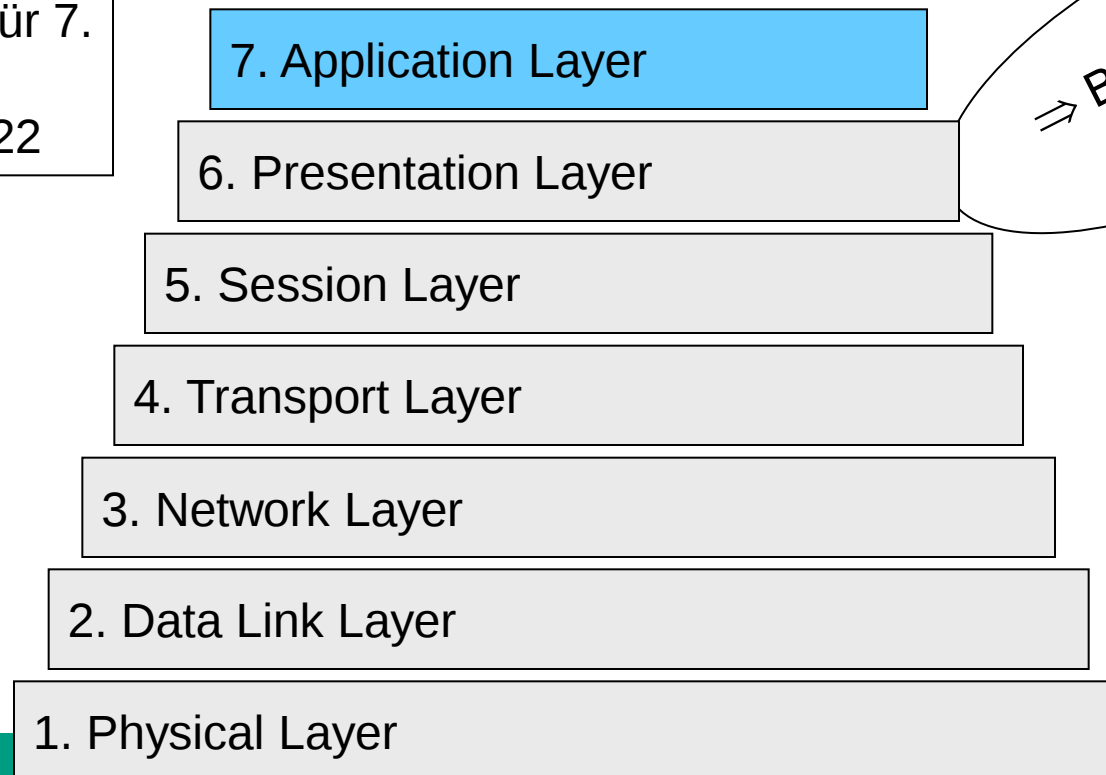


Standardisierte Einbindung von Pumpen in Leittechniksysteme

- VDMA-Datenprotokoll im ISO-OSI-Modell

Vollständige Beschreibung eines BUS-Systems in
7 Schichten

Datenprotokolle für 7.
Schicht in VDMA
Einheitsblatt 24222



⇒ BUS-System
unabhängig

Standardisierte Einbindung von Pumpen in Leittechniksysteme

Datenpunkte für Pumpen und zugehörige Systeme
festgelegt

Beispiele : LON , KM-Bus

Standardisierte Einbindung von Pumpen in Leitechniksysteme

- Anwendungen

Großgebäude z.B. Flughäfen

Überwachung

Regelung

Diagnose

von Pumpen

Standardisierte Einbindung von Pumpen in Leitechniksysteme

- Produktbeispiel : WILO-Stratos



Interface-Modul: LON

Standardisierte Einbindung von Pumpen in Leittechniksysteme

- Pumpensteuerung über Gebäudeleittechnik (Beispiele)
 - Steuerbefehle wie Ein/Aus, Min-Betrieb, Max-Betrieb
 - Auswahl der Regelungsart wie Konstantdruck, Proportionaldruck, etc.
 - Sollwertvorgabe
 - Störungsquittierung

Standardisierte Einbindung von Pumpen in Leitechniksysteme

- Pumpenmeldungen über Gebäudeleitechnik (Beispiele)
 - Förderhöhe
 - Förderstrom
 - Pumpentemperatur
 - Drehzahl
 - Leistungsaufnahme
 - Betriebsstunden
 - Betriebszustand
 - Störmeldung und Störursache

Parallelpumpenmanagement

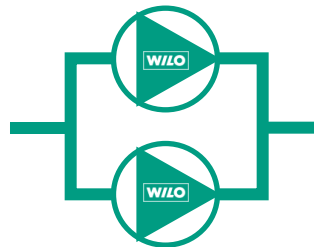
Einsatz von parallel geschalteten Pumpen

- Single-, Doppel- oder Trippelbetrieb in Abhängigkeit der vorliegenden Last
- Reparatur und Austausch von Pumpen im Betrieb möglich

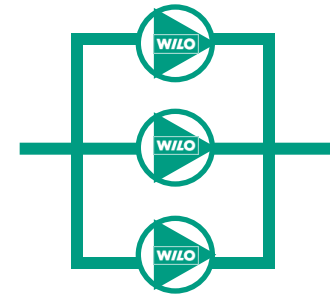
Einzelbetrieb



Doppelbetrieb



Trippelbetrieb



Doppelpumpenmanagement

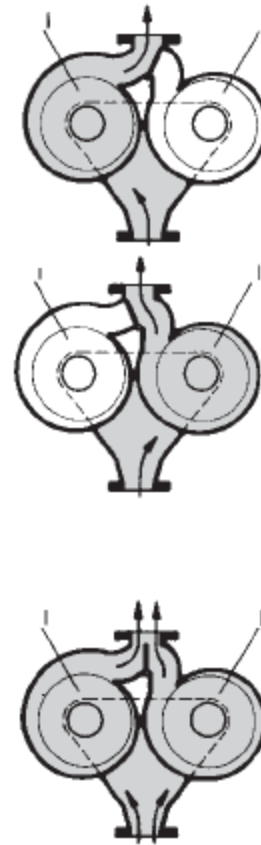
- **Haupt/Reserve:**

Es erfolgt alle 24h ein Betriebswechsel der Pumpen, um einen gleichmäßigen Verschleiß zu gewährleisten.

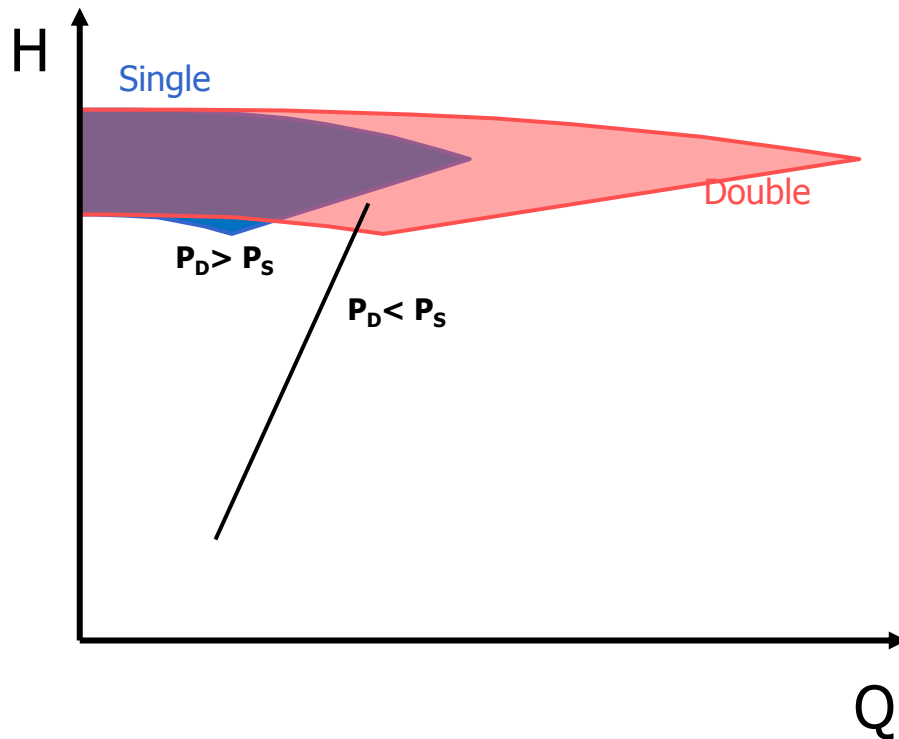
→ Redundantes System

- **Haupt/Spitzenlast:**

Betrieb beider Pumpen bei Spitzenlast



Wirkungsgradoptimierte Zuschaltung der Spitzenlastpumpe



Umsetzung bei Trockenläuferpumpen

- Umschaltgerade zur Wirkungsgradoptimierung: $H(Q) = H_0 + m$

Life Cycle Costs (LCC)

- LCC- Betrachtungen sind Grundlage bei Angeboten für Großprojekte

Flughäfen

Wasserversorgung oder Abwasserentsorgung von Städten

► Industrie

Hersteller – Planer – Investor – Betreiber

► Gebäudetechnik

Hersteller – Planer – Investor – Betreiber oder

Hersteller – Großhandel – Installateur – Betreiber oder

Hersteller – OEM – Betreiber

Einflussparameter:

- Erstkosten
- Installation
- Energie
- Betriebskosten
- Wartungskosten
- Stillstandskosten
- Ausbau und Stilllegung

Erstkosten

- Planung
- Ausschreibung
- Preis
- Test
- Hilfseinrichtungen

Installationskosten

- Fundament, Gebäude
- Anschluss (mechanisch, elektrisch)
- Anschluss Hilfssysteme
- Test
- Schulung

Betriebskosten

- Personalkosten, die für Betrieb der Pumpen anfallen
- Energiekosten

Wartungs- und Reparaturkosten

- Personalkosten
- Ersatzteilkosten
- Transportkosten
- Ein- und Ausbaukosten

- Geschätzte Kosten bei unerwartetem Ausfall
(inkl. Produktion)
- Ausbau und Stilllegung inkl. Umweltkosten

Dominierender Parameter

In der Regel werden die LCC durch die Energiekosten dominiert.

Der Preis repräsentiert meist nur ca. 3% der LCC!

Beispiel Bohrlochpumpe zur Wasserversorgung

Preis ca. 20 000 €

Gesamtenergieverbrauch für 10 Jahre Laufzeit

	0,10 €/kWh	0,15 €/kWh
• ETAP = 75 % $\Rightarrow$ 3437 MWh $\Rightarrow$	343 700 €	515 550 €
• ETAP = 78 % $\Rightarrow$ 3305 MWh $\Rightarrow$	330 500 €	495 750 €
• ETAP = 81 % $\Rightarrow$ 3183 MWh $\Rightarrow$	318 300 €	477 450 €