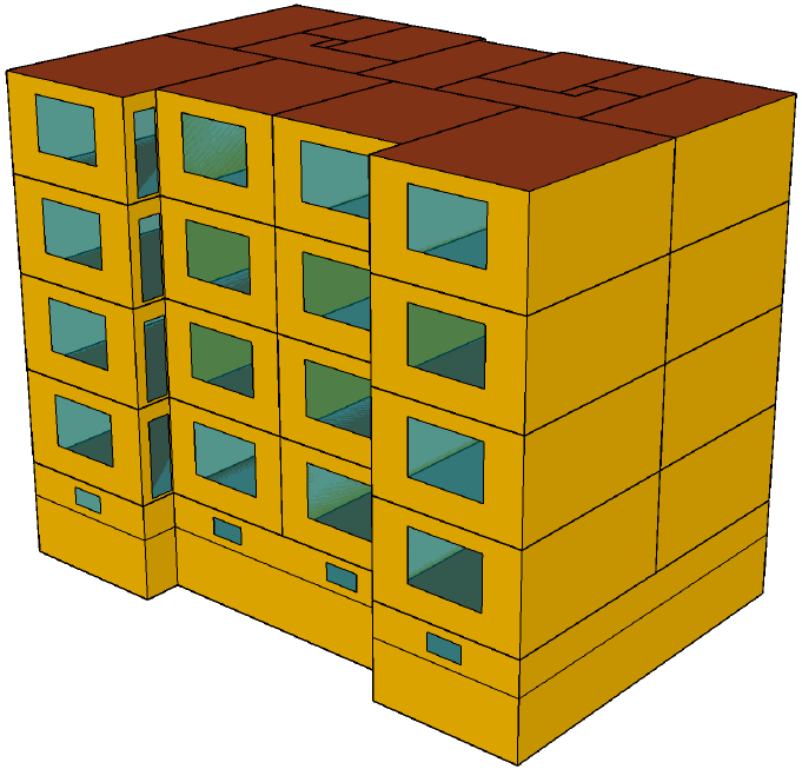


Simulation von Gebäuden und Verteilnetzen

Oliver Mercker

Leibniz Universität Hannover

Teil I:
Simulationsprogramm

Warum simulieren?
Wer viel misst, …

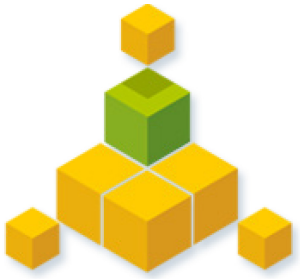
- **Ausgangssituation**
  - Hohe Dynamik von Angebot und Last
  - Wärmekapazität der Gebäudemasse(n)
  - Wechselwirkung zw. mehr/weniger beheizten vs. unbeheizten Zonen
  - Dynamische Interaktion von Gebäude & Anlagentechnik
    → Monats- und tageweise rechnen reicht nicht aus!

  - Prinzipiell ist Nutzbarkeit von Verteilverlusten nicht messbar
  - Wie gehen wir mit „Abweichungen“ um?
    → Nutzerverhalten: Temperatur und Lüftung
    → Mängel in Anlagen: Hydraulik, Dämmung und Regelung

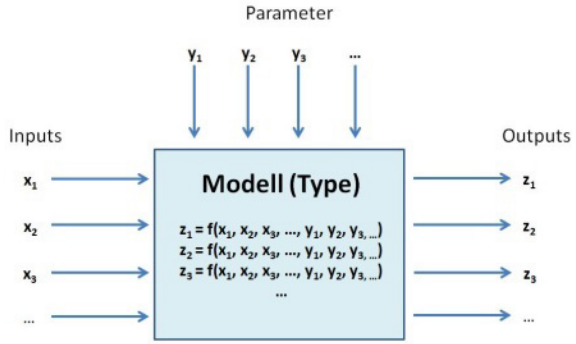
- **Vorteile der Simulation**
  - Klare Randbedingungen → Vergleichbarkeit → Effekte analysierbar!
- **ABER:** Simulation muss/sollte noch validiert werden!

TRNSYS I
Allgemeines

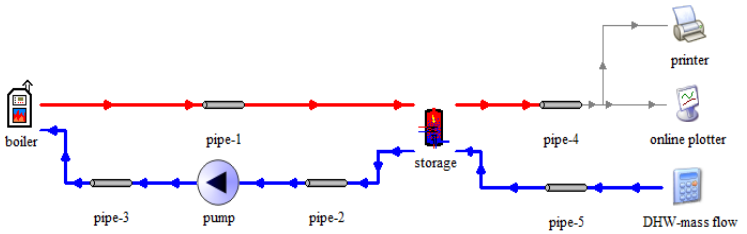
- **Was ist TRNSYS?**
  - TRNSYS = TRaNsient SYstem Simulation program
  - Software zur Simulation komplexer Systeme
  - Schwerpunkt: Kombination Gebäude & therm. Anlagen



- **Funktionsweise**
  - Modelle = f(..): Outputs = f(Inputs, Parameter)
  - Simulation = Iterative Lösung des Gl.-Systems
  - Jahressimulationen in „kurzer Zeit“



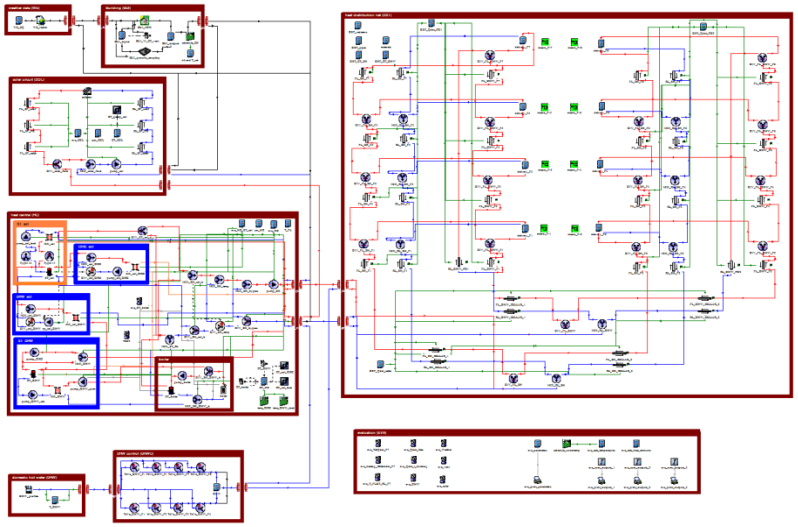
- **Entscheidender Vorteil**
  - Integrierte Betrachtung von detailliertem Gebäude, TWW- und RH-Bedarf (und Deckung) sowie Anlagentechnik
  - Hohe zeitliche Auflösung



TRNSYS II

Besonderheiten unserer Simulationen

- **Zeitschritt**
  1 min
- **Detaillierte Zonierung**
  52 thermische Zonen („Räume“)
- **Detaillierte Abbildung Verteilnetz**
  Über 100 Rohrabschnitte (**Aufputz!**)
- Berücksichtigung kapazitiver Effekte



- **Warum der Aufwand?**
  - Raumweise Temperaturanalyse (z. B.: Überhitzung!)
  - Detailanalyse Wärmeverteilverluste TWW & RH
  - Realistischere dynamische Wechselwirkungen

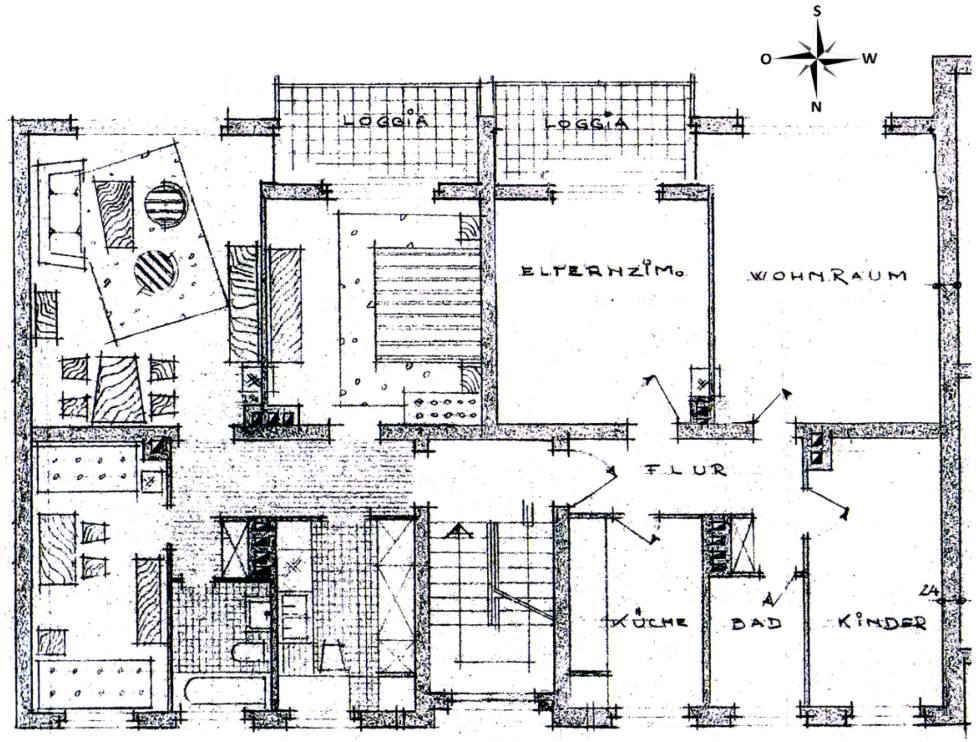
TRNSYS III
Annahmen & Vereinfachungen

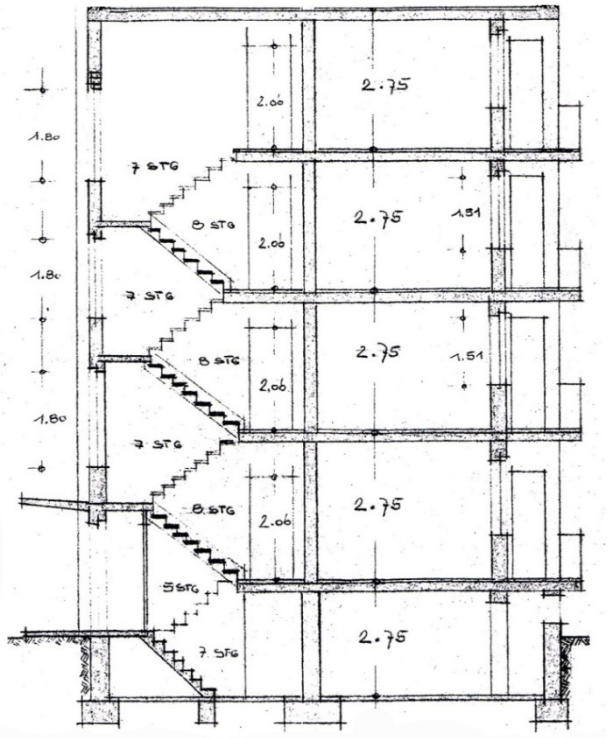
- **Anlagentechnik (zeigt den „idealen“ Fall)**
  - Heizkörpergröße, VL-Temperatur und Volumenstrom exakt ausgelegt und (in jedem Fall) dem Bedarf angepasst
  - Heizkörper-Thermostat arbeitet exakt (auf Solltemperatur)
  - 100% Rohrleitungsdämmung, optimale Leitungsführung
  - Große Wärmeübertrager in Wohnungsstationen
  - ***Fazit:*** Real werden höhere Verteilverluste auftreten!

- **Nutzer*innenverhalten (ebenfalls „idealisiert“)**
  - Solltemperatur in Wohnung soll ganzjährig erreicht werden
    → Standardfall: Beheizte Räume haben gleiche Solltemperatur (20 °C)
  - TWW-Bedarf soll zu 100 % bei Nutztemperatur gedeckt werden
  - ***Fazit:*** „Standardisierte*r“ Nutzer*in ermöglicht Vergleichbarkeit

Teil II:
Gebäudemodell und Anlagentechnik

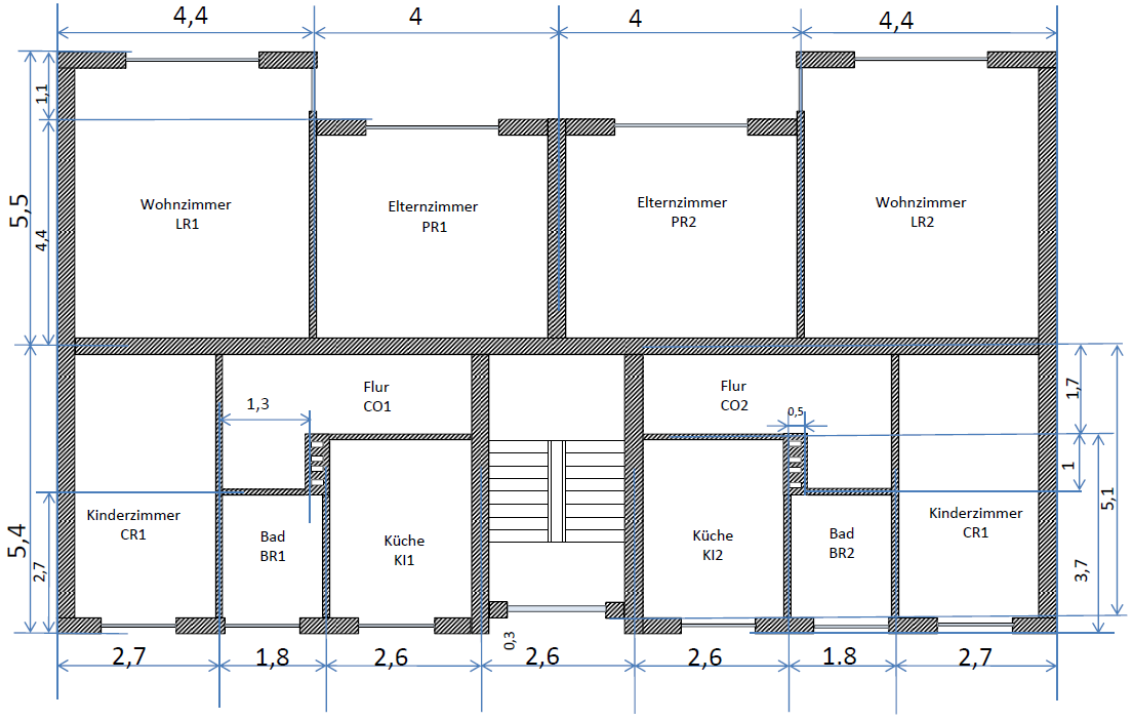
Gebäude
Geometrie & Wandaufbau

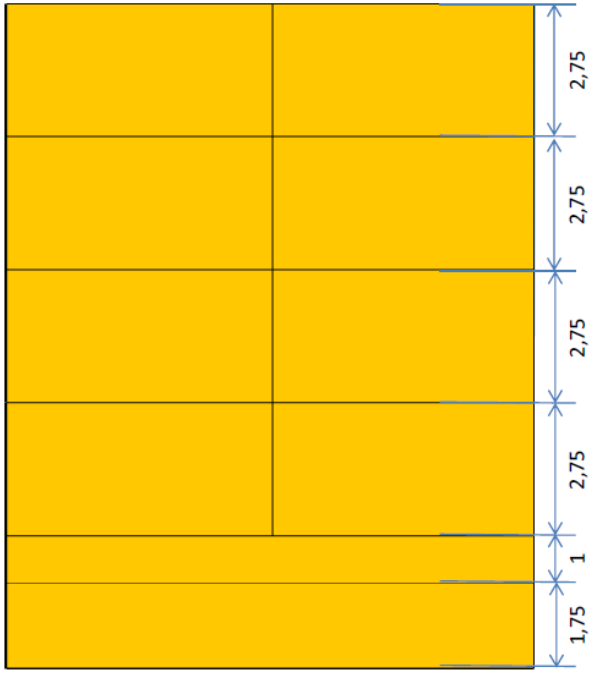




- In Anlehnung an reales MFH, Baujahr 1960 (repräsentativ, lt. Statistiken)
- Sowie nach EnEV 2014 gedämmt
- 8WE auf 4 Etagen mit Keller, 1 Eingang, ca. 650 m² Nfl. (EnEV)
- Erweiterbar!

Gebäude
Geometrie & Wandaufbau





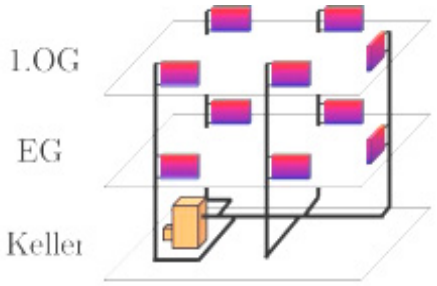
- In Anlehnung an reales MFH, Baujahr 1960 (repräsentativ, lt. Statistiken)
- Sowie nach EnEV 2014 gedämmt
- 8WE auf 4 Etagen mit Keller, 1 Eingang, ca. 650 m² Nfl. (EnEV)
- Erweiterbar!

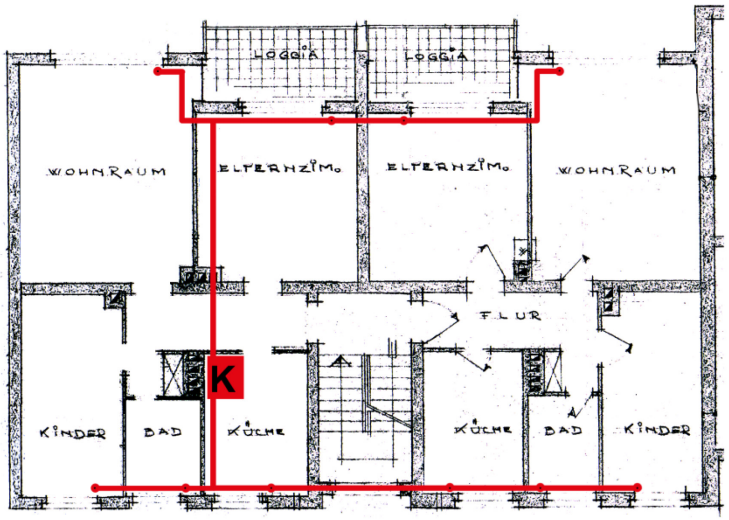
Verteilnetze
Unterscheidungskriterien

- **Anzahl der Rohrleitungen**
  - Vierleiternetz (4L): Heizungs-VL & -RL; TWW-VL & -Zirkulation
  - Zweileiternetz (2L): Gemeinsamer VL & RL (Heizungswasser)

- **Art der Verlegung**
  - Steigleitungsnetz: 4L
  - Etagenringverteilung: 4L oder 2L

Steigleitungsnetz [SLN]





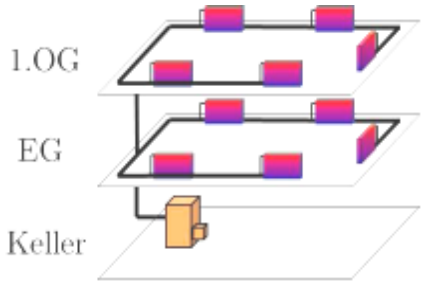
Leibniz Universität Hannover

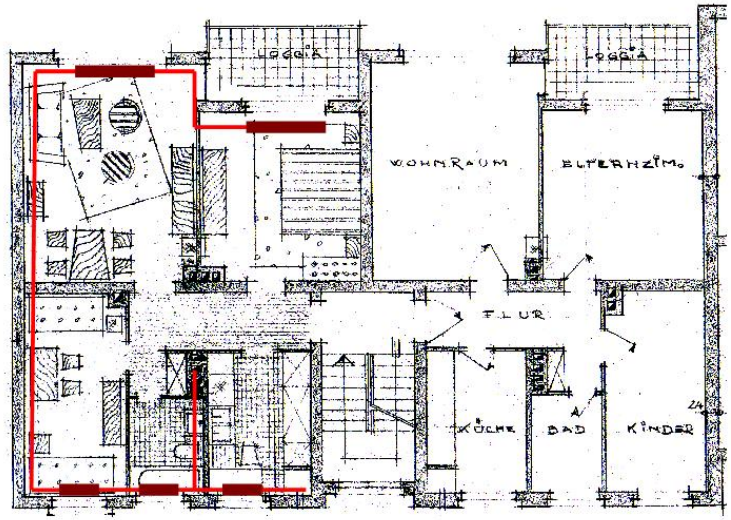
Verteilnetze
Unterscheidungskriterien

- **Anzahl der Rohrleitungen**
  - Vierleiternetz (4L): Heizungs-VL & -RL; TWW-VL & -Zirkulation
  - Zweileiternetz (2L): Gemeinsamer VL & RL (Heizungswasser)

- **Art der Verlegung**
  - Steigleitungsnetz: 4L
  - Etagenringverteilung: 4L oder 2L

Etagenringverteilung [ERV]





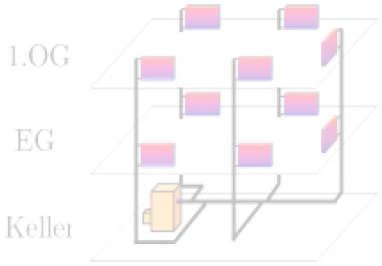
Leibniz Universität Hannover

Wärmeversorgungskonzepte I

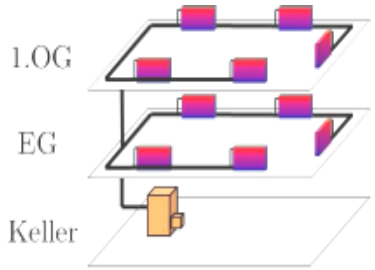
4-Leiter-Netz (4L)

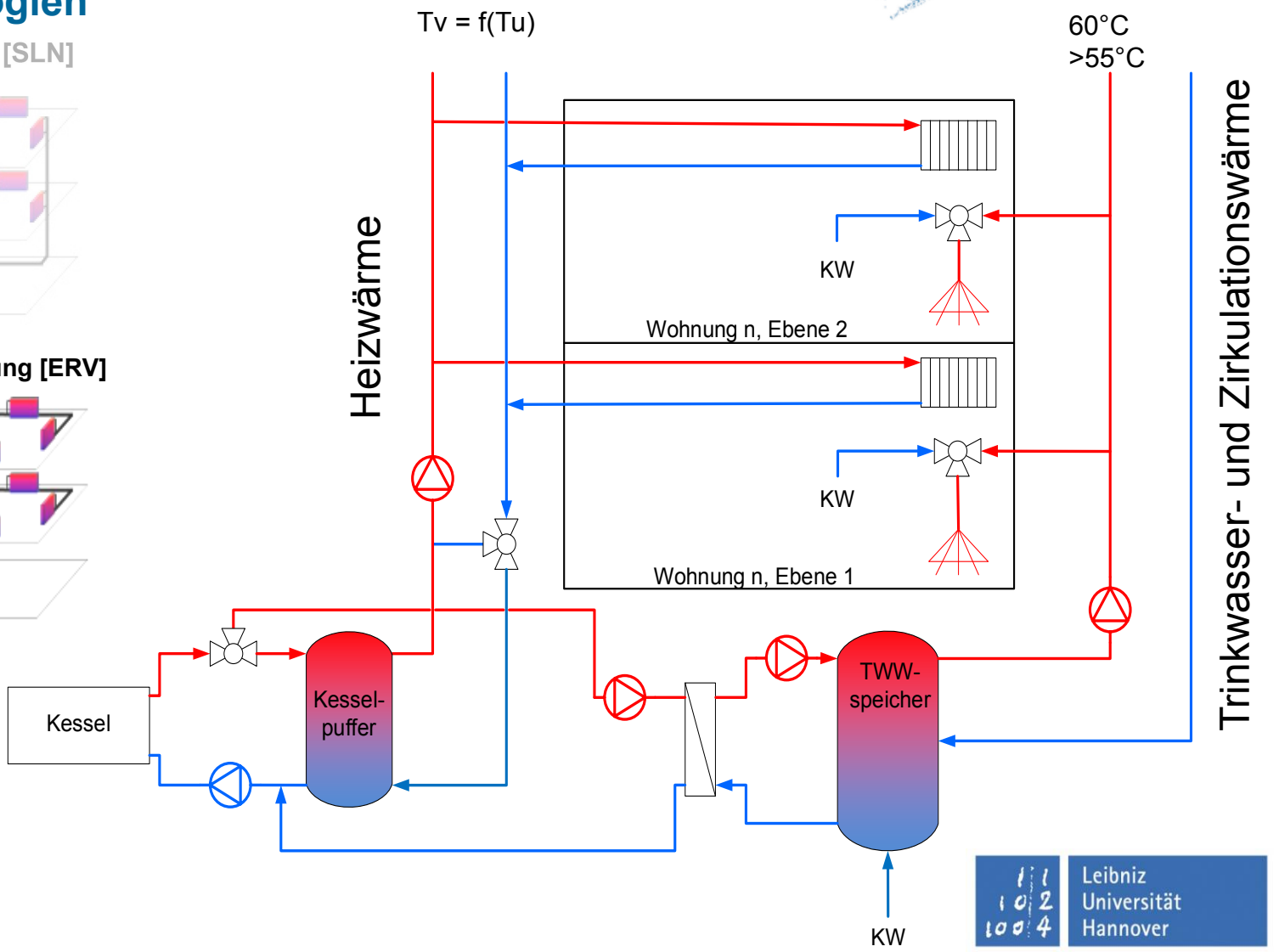
Netz-Topologien

Steigleitungsnetz [SLN]



Etagenringverteilung [ERV]

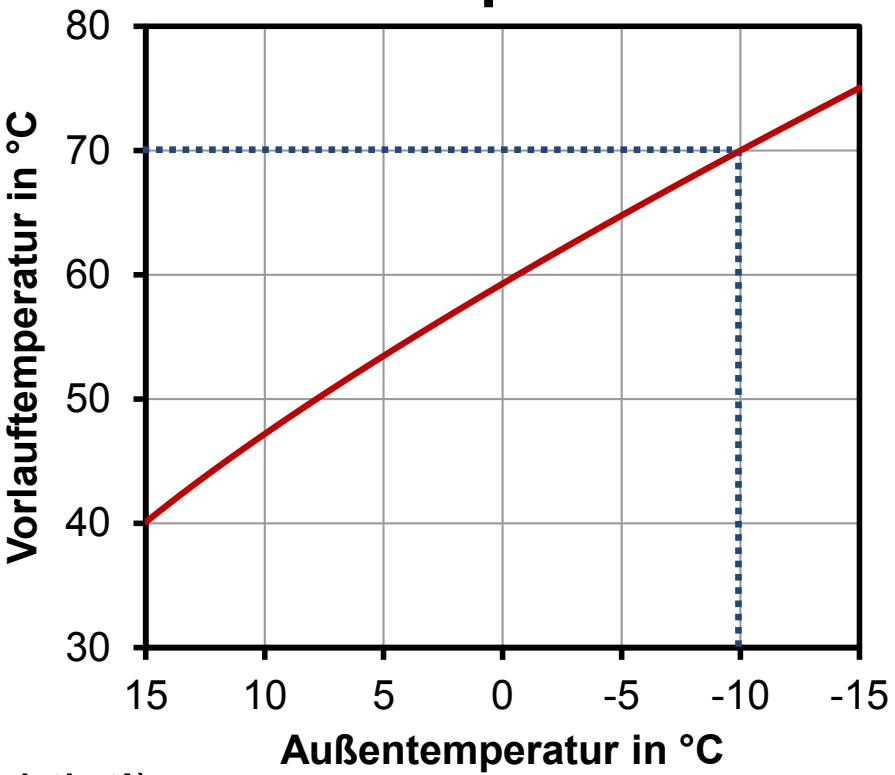




Wärmeversorgung I
Heizung

- **Heizlastbestimmung (TRNSYS)**
  - Stationäre Berechnung unter Auslegungsbedingungen
- **Wärmeerzeuger**
  - „Exakt“ dimensioniert
  - Guter Gas-Brennwertkessel
  - Moduliert von 20 bis 100 %
- **Wärmeabgabe**
  - Heizkörper (Kapazität berücksichtigt!)
  - Überdimensionierung von 20 % (Aufheizreserve, IWU)

Beispiel: 4L-Netz

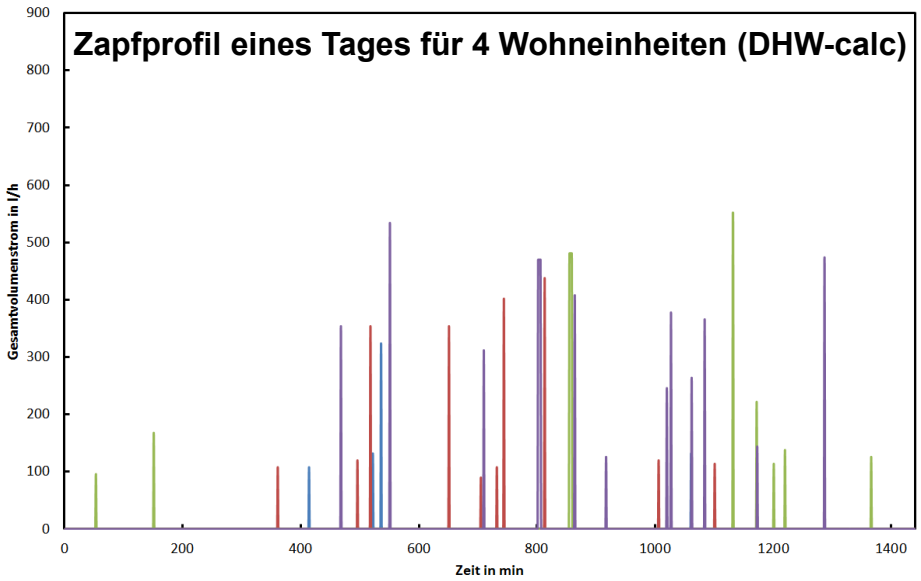


Wärmeversorgung II
Trinkwarmwasser

- ***Kaltwassertemperatur***
  Jahreszeitlich variabel
  Ca. 10 °C im Mittel

- ***Zapftemperatur***
  Sollwert: 45 °C (fix!)

- ***TWW-Nutzwärmebedarf***
  EnEV-Wert: 12,5 kWh/(m² a)
  Entspricht ca. 8100 kWh/a (Gesamt-MFH) bzw. 55 l/d pro Wohnung



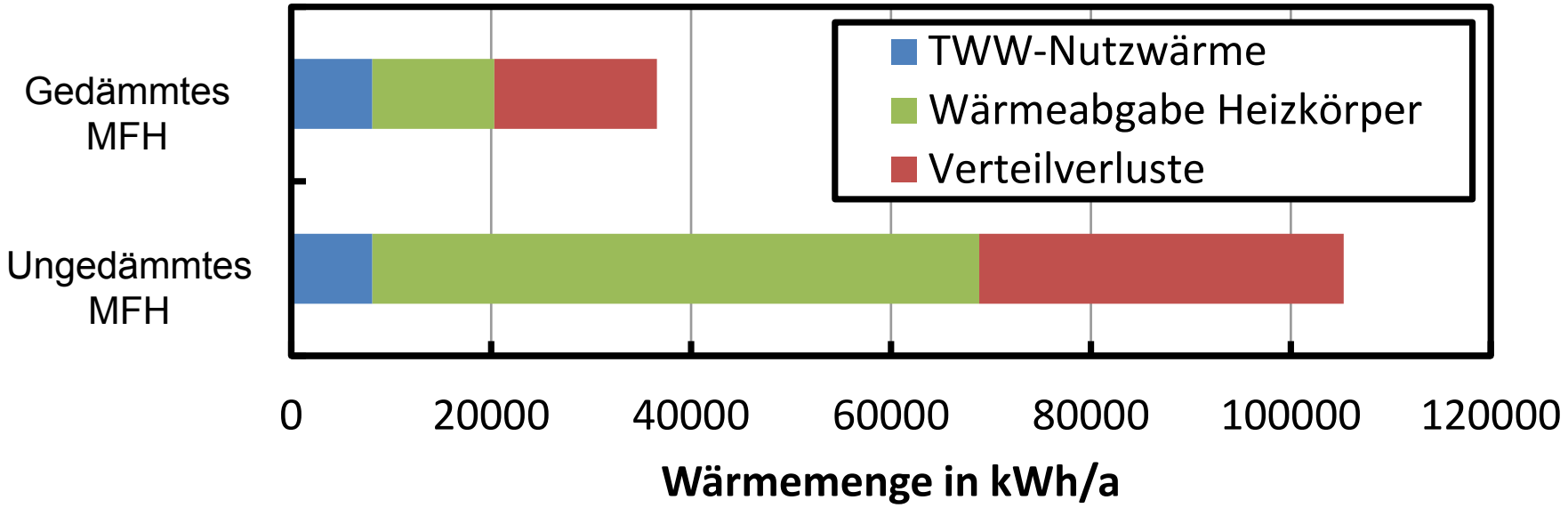
- ***Zapfprofile***
  Wohnungsweise mit DHW-calc erzeugt
  Zapfraten: 90… 900 l/h (pro WE)

Leibniz Universität Hannover

Energiebilanz MFH mit 4L-Netz

Vergleich der Gebäudestandards

Beispiel: 4L-Netz, ERV



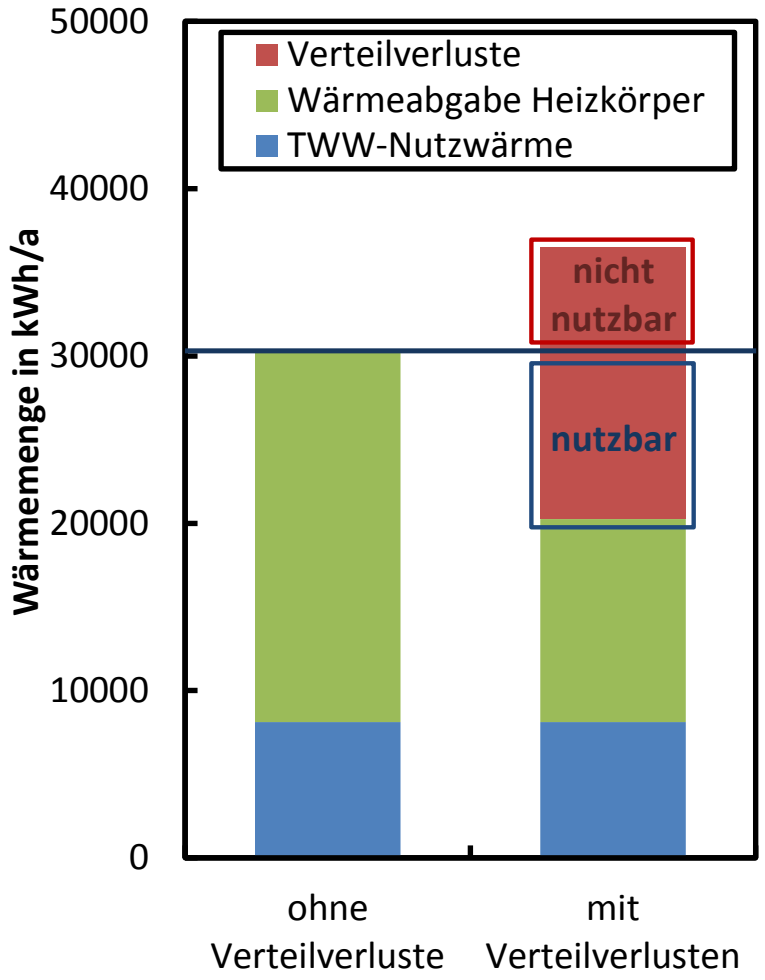
Wärmebedarf gesamt, nach Wärmeerzeuger*)		Anteil Verteilverluste
• ***Ungedämmt***	163 kWh/(m² a)	35 %
• ***Gedämmt***	56 kWh/(m² a)	44 %

*) Von Wärmeerzeuger(n) abgegebene Wärmemenge

Nutzbarkeit von Verteilverlusten I

Vergleich mit Referenz ohne Verluste

Beispiel: 4L, ERV, gedämmt



$$Nutzungsfaktor = \frac{nutzbare\ Verluste}{gesamte\ Verluste}$$

- Nutzungsfaktor hier: 63 %
  (Ungedämmtes MFH: 79 %)
- Anteil der Verteilverluste am Bedarf, hier: 44 % (ungedämmt: 35 %)!

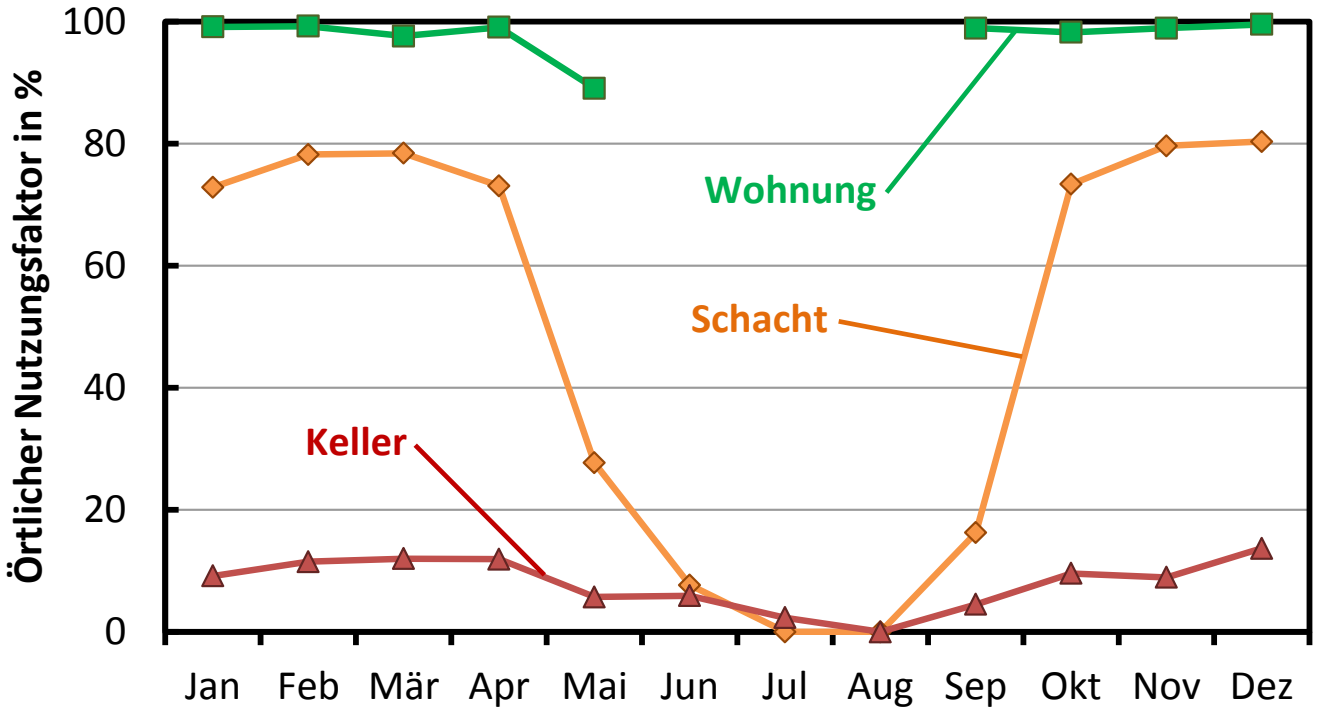
→ Hoher Anteil ungeregelter Wärme schon im betrachteten Idealfall
→ Steigt mit Gebäudedämmstandard

*) Von Wärmeerzeuger(n) abgegebene Wärmemenge

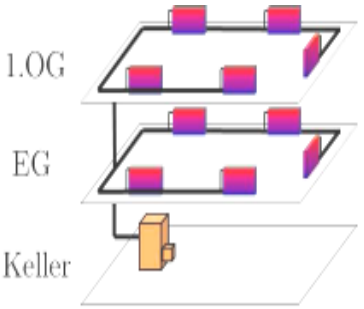
Nutzbarkeit von Verteilverlusten II

Zeitliche und örtliche Auflösung

Beispiel: 4L, ERV, gedämmt



Etagenringverteilung [ERV]



- Massiver Einbruch der Nutzungsfaktoren in Übergangszeiten
- **Im Jahresmittel:** Keller 8 % / Schacht 53 % / Wohnung 99 %
- Dämmung der Rohrleitungen in Wohnungen hier nicht wichtig (ggfs. doch bei Zonierung innerhalb Wohnung!)

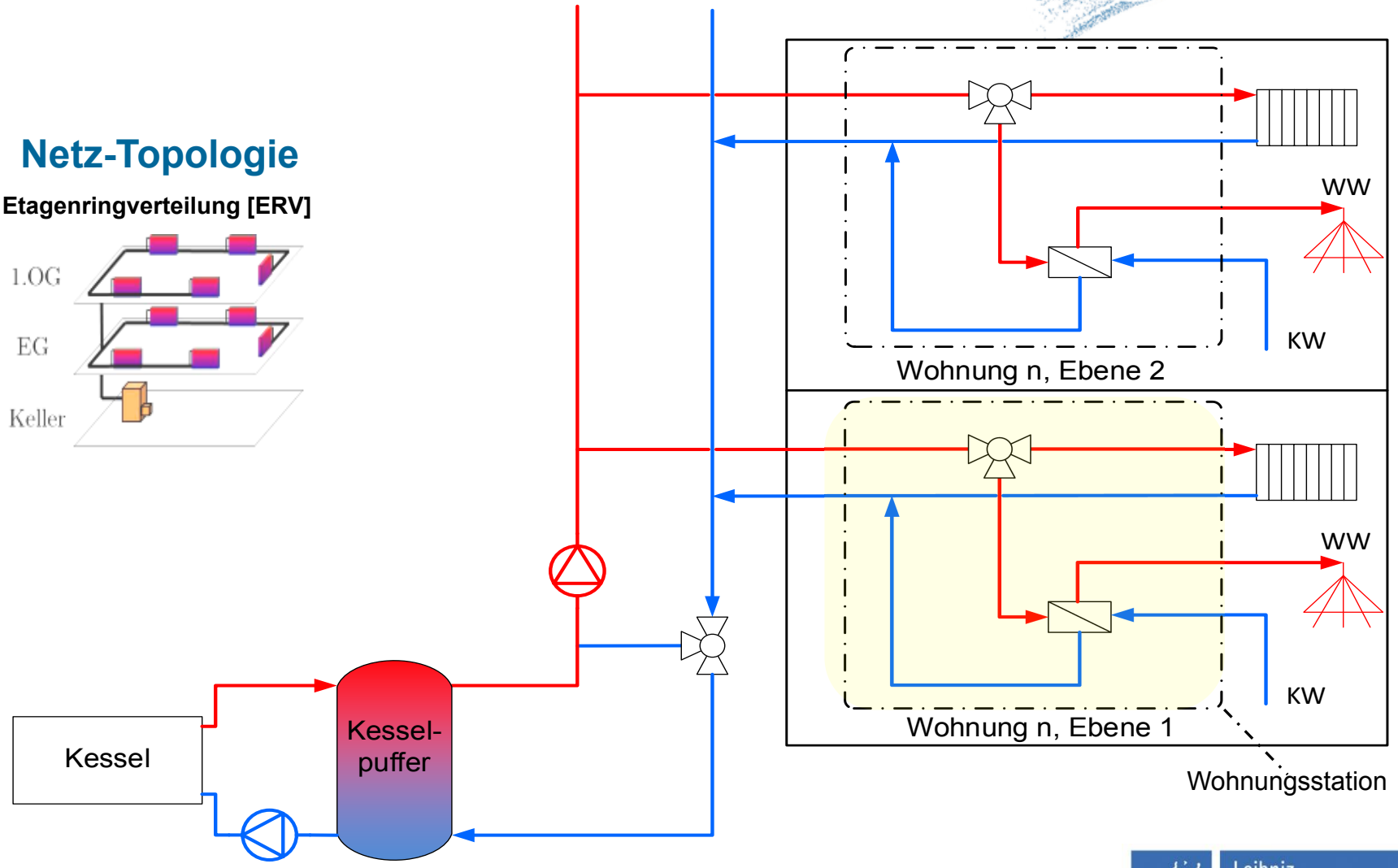
Leibniz Universität Hannover

Wärmeversorgungskonzepte II

2-Leiter-Netz (2L)

Netz-Topologie

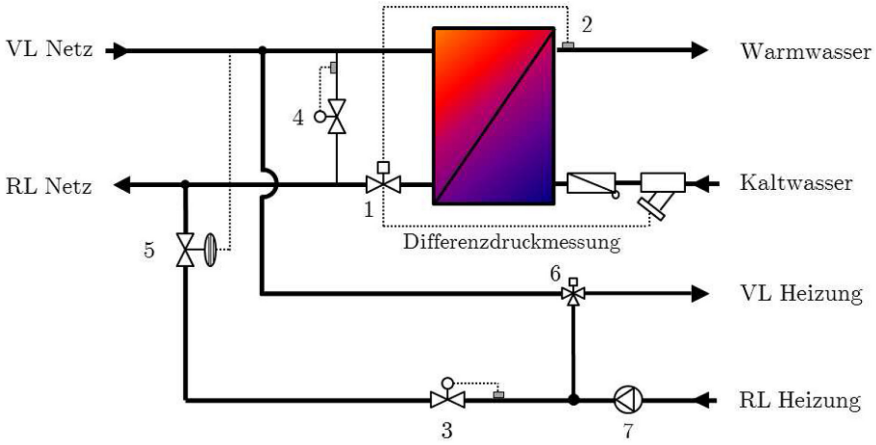
Etagenringverteilung [ERV]



Leibniz Universität Hannover

Besonderheit 2L-Netz

Wohnungsstationen für 2L

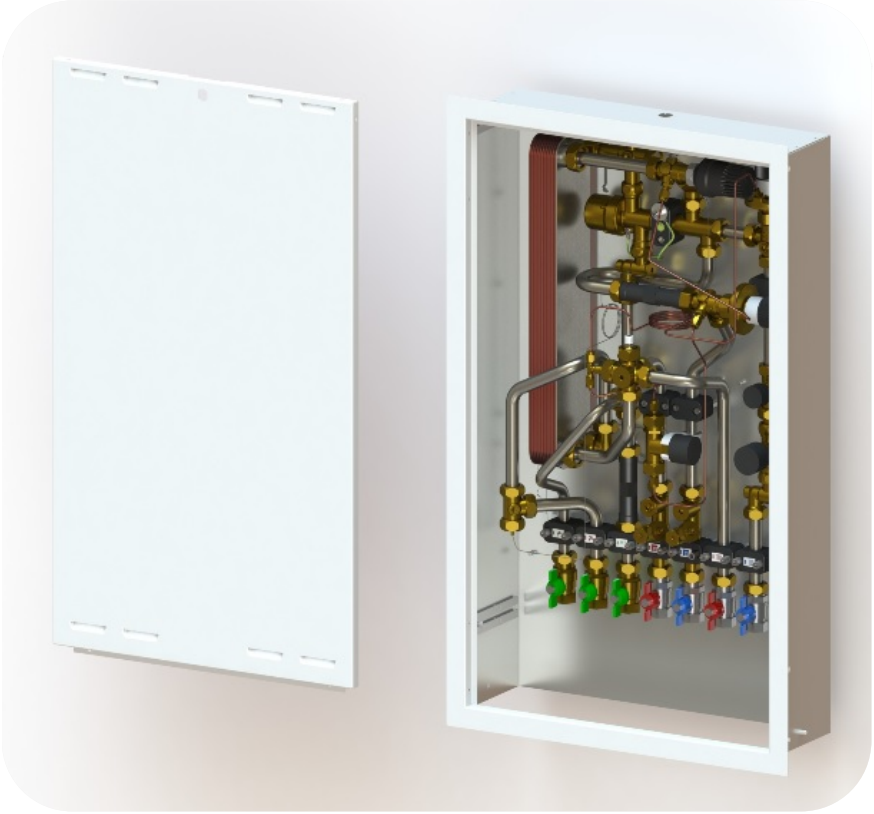


1) Durchflussregler für Primärseite
2) Temperaturfühler
3) Rücklauftemperaturbegrenzer
4) Zirkulationsbrücke
5) Differenzdruckregler
6) Rücklaufbeimischer
7) Heizkreispumpe

- Bis zur Wohnungsstation reine Verteilung von Heizungswasser
- TWW-Bereitung dezentral in WE mittels Plattenwärmeübertragern (→ Vortrag zu Ergebnissen)
- Übergabe der Heizwärme an WE
- **Optional**
  - Zirkulationsbrücke
  - Elektro-Durchlauferhitzer

Besonderheit 2L-Netz

Wohnungsstationen für 2L

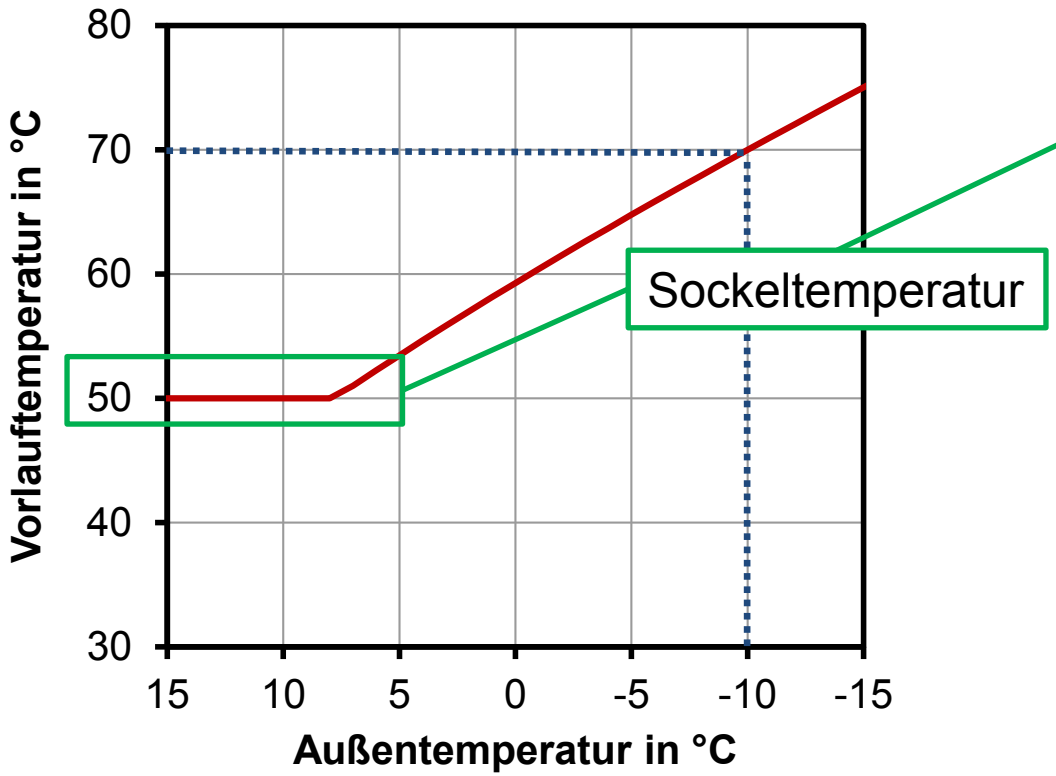


Quelle: Delta Systemtechnik

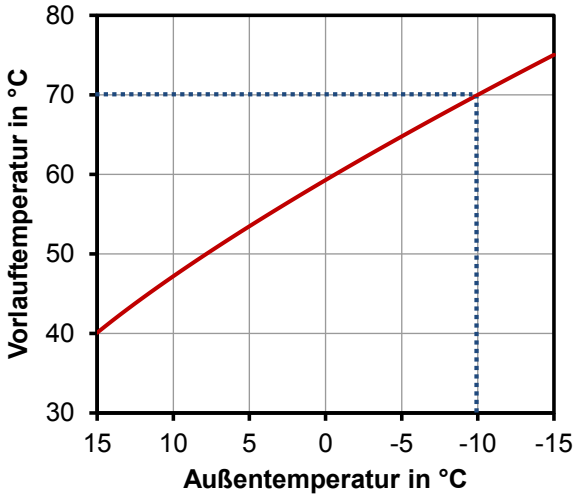
- Bis zur Wohnungsstation reine Verteilung von Heizungswasser
- TWW-Bereitung dezentral in WE mittels Plattenwärmeübertragern (→ Vortrag zu Ergebnissen)
- Übergabe der Heizwärme an WE
- **Optional**
  - Zirkulationsbrücke
  - Elektro-Durchlauferhitzer

Netztypen VI
Heizkurve für 2L

Beispiel: 2L-Netz



- **TWW-Bereitung sichern**
  - Min. T_{VL} = 50 °C
  - Darüber wie im 4L
- **Zur Erinnerung (4L)**



Solarthermische Unterstützung I
Dimensionierung

- **Flachkollektoren**
  - Neigung: 45°
  - Südausrichtung

- **Dimensionierung nach VDI 6002 (Auslastung = $70\,\frac{\mathrm{l}}{\mathrm{m^2 d}}$)**
  - Nach Warmwasserbedarf bei Sommerschwachlast
  - Kollektorfläche: 5… 8 m² (entspricht 0,5 m² pro Person – Maximum!)

- **Varianten:** 16/24/32/48/96 m²

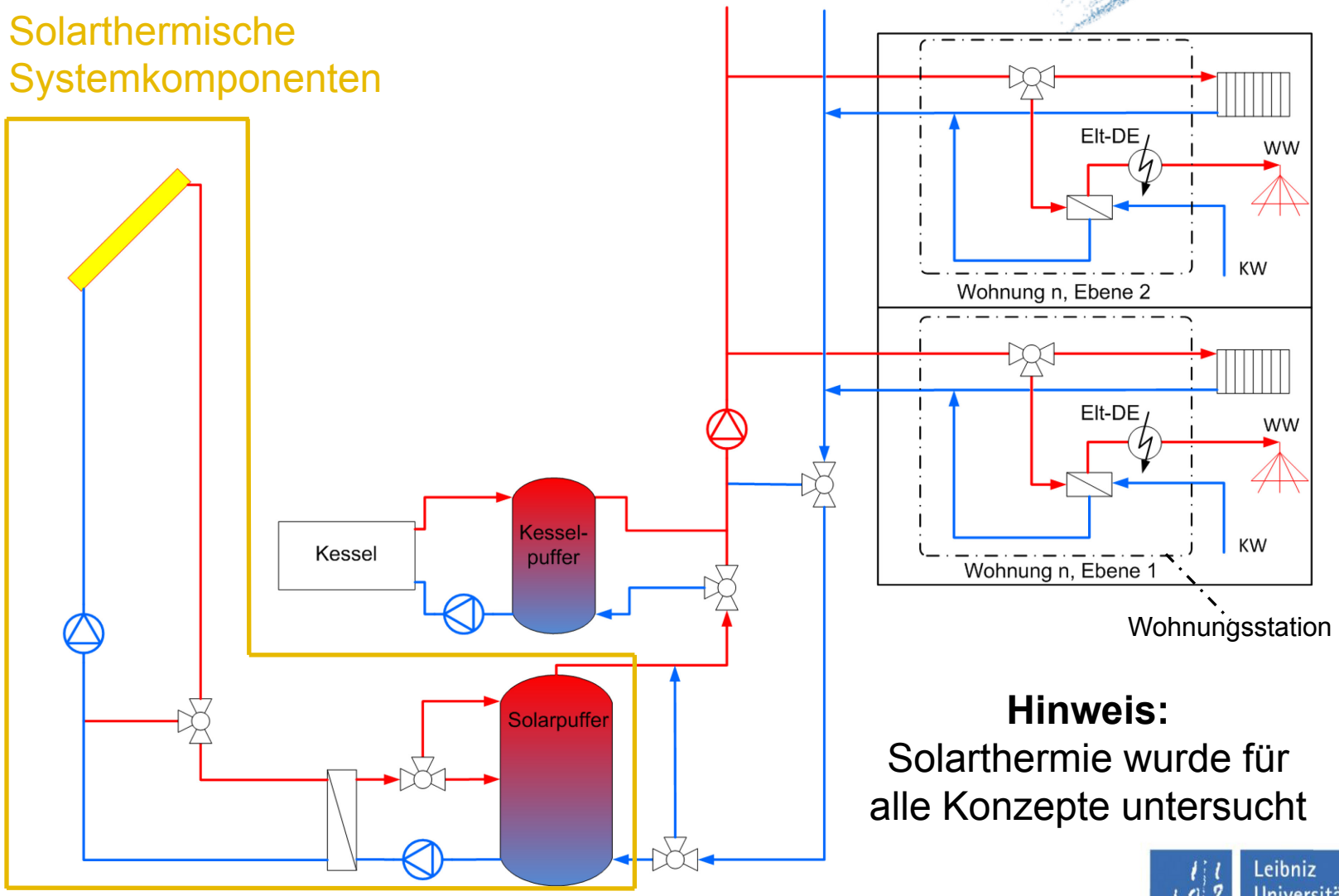
- **Speichervolumen spezifisch:** 50 l/m² (→ 400 … 4800 l)

Leibniz Universität Hannover

Solarthermische Unterstützung II

Bsp. Solar unterstütztes 2L

Solarthermische Systemkomponenten



Hinweis:
Solarthermie wurde für alle Konzepte untersucht

Teil III:
Zeit für ein Zwischenfazit

Zusammenfassung

- **Was wir können**
  - Detaillierte Abbildung verschiedener Systeme und Netztypen (Gebäude + Anlagentechnik integriert!)
  - Dynamische Simulation im Minutenzeitschritt unter Berücksichtigung kapazitiver Effekte
  - Untersuchungen an „kleinem“ MFH-Modell mit 8 WE im unsanierten und sanierten Zustand (erweiterbar)
  - Detaillierte Analyse der Höhe und Nutzbarkeit von Verteilverlusten und weiterer „Effizienzgrößen“
  - ***Kurz:*** Detailliert, integriert, dynamisch

Ende

Zeit für Fragen & Diskussion

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Leibniz Universität Hannover

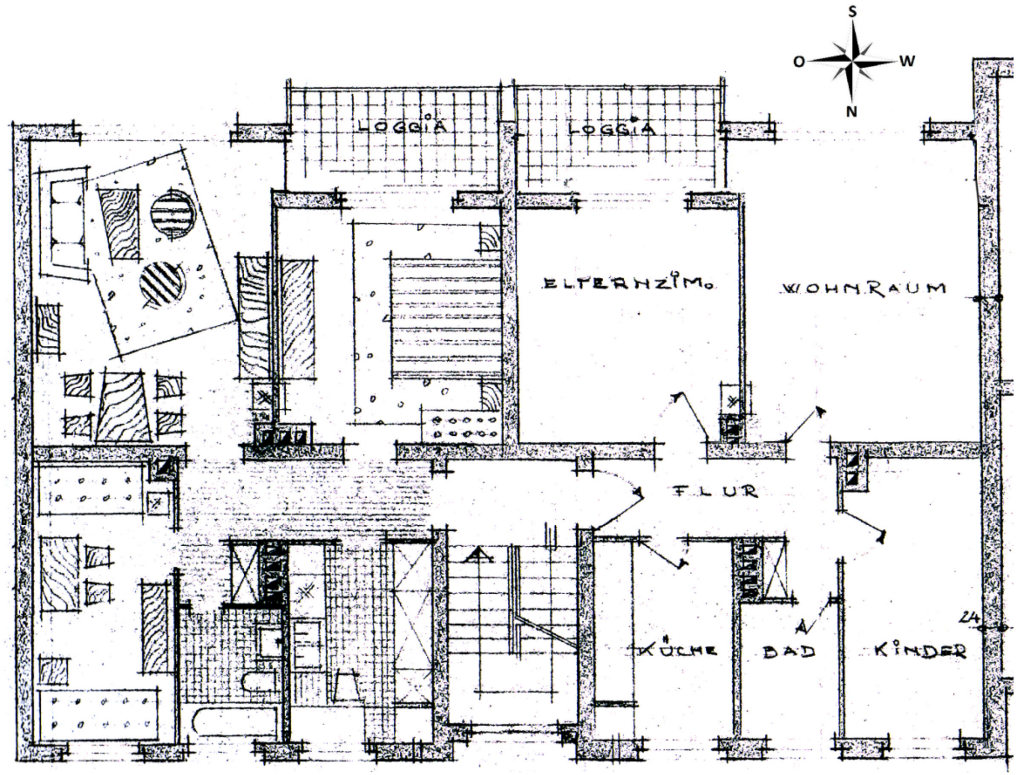
Anhang

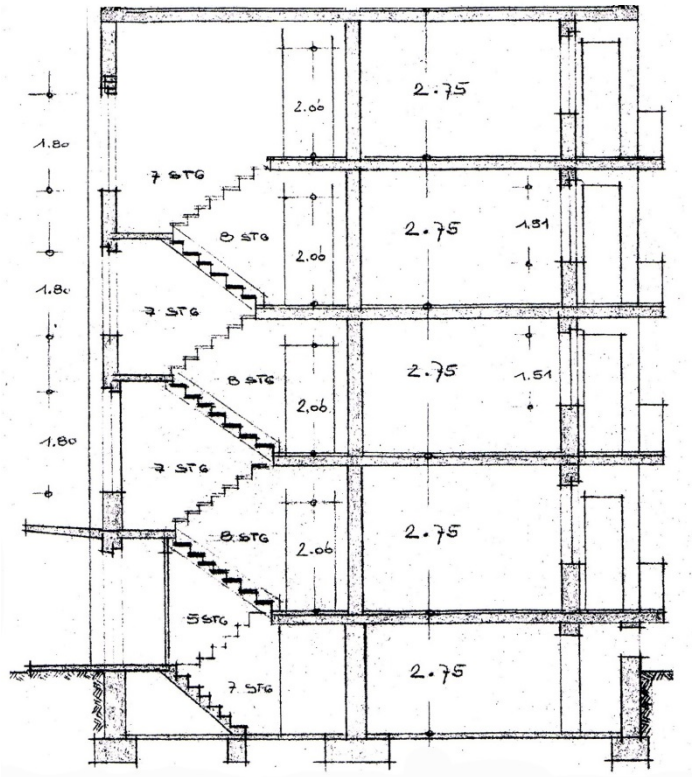
- **Gebäude**
  Grundriss, Daten, U-Werte, weitere Randbedingungen & Standort
- **TWW-Zapfprofile**
  Gleichzeitigkeit, Tagesverlauf für 4 WE & Monatsverlauf für 8 WE
- **Netztypen**
  Leitungslängen
- **Solareinbindung im 4L-Netz**
- **TRNSYS**
  Deckaufbau & Modellfunktion

Leibniz Universität Hannover

Gebäude I
Grundriss

- Reales MFH in Hannover als Ausgangspunkt





Leibniz Universität Hannover

Gebäude II
Daten

Etagen	4 + Keller (unbeheizt)
Wohnungen	8
Wohnfläche[1)]	8 x 65 m² = 520 m²
Räume je Wohnung	5 + Flur
Aufbauten nach Baualtersklasse	1960er
Bewohner*innen	8 x 2 = 16

[1)] **Nicht nach DIN V 4701-10:** Nutzfläche (A_N) = 0,32 m^{-1} · Umbautes Volumen (V_e)

- **Datenbasis:** Angaben des Statistischen Bundesamts
- **Wandaufbauten:** Typisch für jeweilige Baualtersklasse nach Angaben des Institut für Wohnen und Umwelt (IWU)

Leibniz Universität Hannover

Gebäude III
U-Werte

Bauteil	U-Wert in W / (m² K)	
	Unsaniert	Energetisch saniert
Dach	1,46	0,19
Außenwand	1,37	0,22
Kellerdecke	1,42	0,28
Fenster	2,83	1,27

- **Unsaniert:** Entsprechend Angaben des IWU (Ausnahme)
- **Saniert:** Mindestanforderungen EnEV 2014 erfüllt

Gebäude IV
Weitere Randbedingungen

- Möbel & Treppe über Wärmekapazitäten berücksichtigt
- Keine Wärmebrücken
- Keller als ein Raum = gut „durchlüftet“

- Kein Belegungsprofil
- Interne Gewinne von 3 W / m²
- ***Luftwechselrate***
  - Im Normalfall = 0,4 h^{-1}
  - bei Übertemperatur = 2 h^{-1}

Gebäude V
Standort / Wetterdaten

- ***Standort***
  - Zürich (gemäßigtes, mitteleuropäisches Klima)

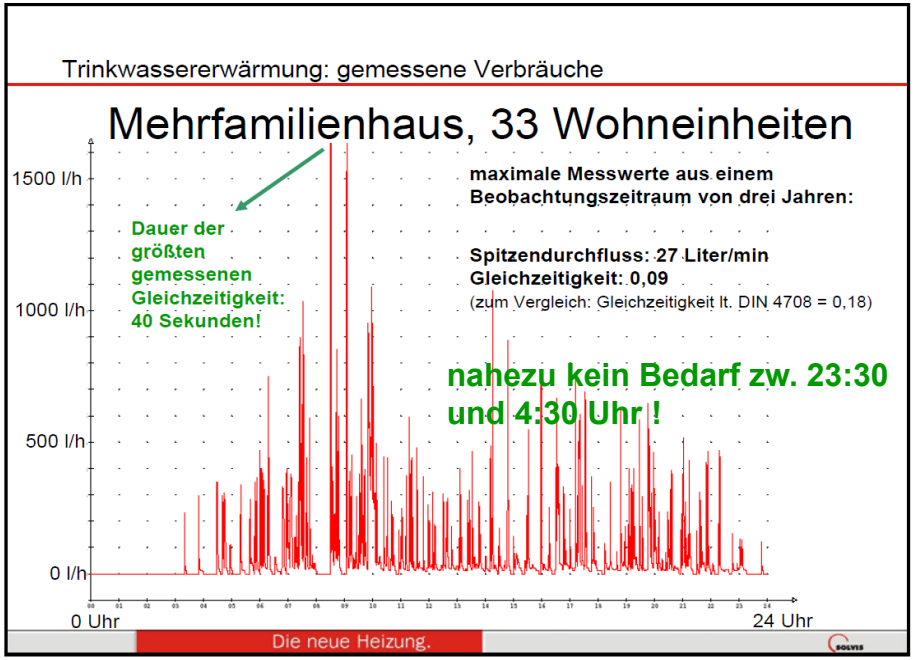
- ***Wetterdatensatz***
  - Meteonorm (Stundenwerte, Stand 2003)
  - Jahresmitteltemperatur: 9,07 °C
  - Minimaltemperatur: -9,70 °C
  - Maximaltemperatur: 29,20 °C
  - Mittlere jährliche Einstrahlung: 1087 kWh/m²

- Stundenwerte auf Minutenwerte interpoliert (TRNSYS)

Wärmeversorgung IV

Zapfprofil und Gleichzeitigkeit

- ***Zapfprofil für jede Wohnung mit DHWcalc***
  - Maximaler Zapfvolumenstrom (gesamt): 1325 l/h
  - Maximaler Gleichzeitigkeitsfaktor: 20 % (REC: 50 %)
  - **Aber:**



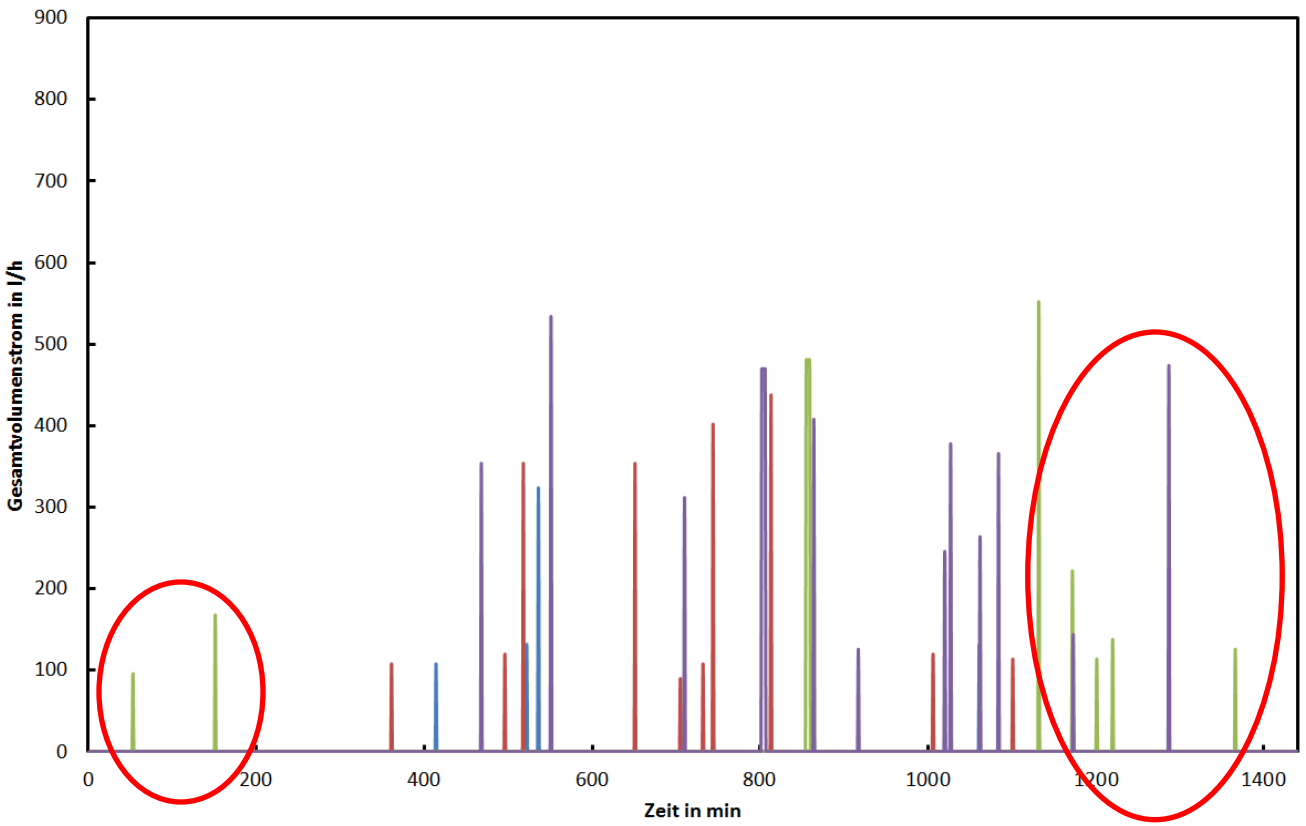
Quelle: SOLVIS

Zahl der Wohnungen n	Gleichzeitigkeitsfaktor φ
1	1,15
2	0,86
4	0,65
6	0,56
8	0,5
10	0,47
12	0,47
15	0,44
18	0,42
20	0,4
25	0,38
30	0,36
40	0,33
50	0,32
60	0,31

Wärmeversorgung V

Tagesverlauf TWW-Zapfprofil

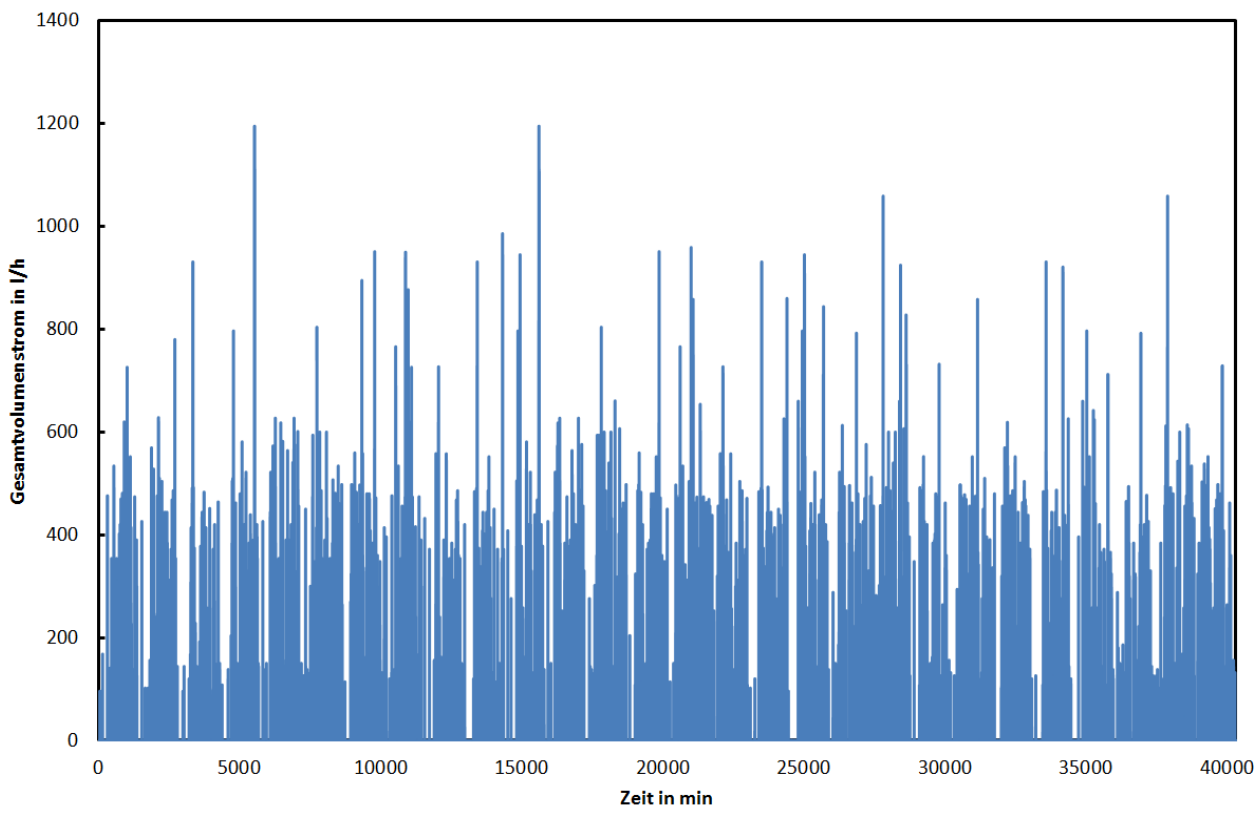
- ***Zapfprofil Tagesverlauf für 4 Wohneinheiten***



Wärmeversorgung VI

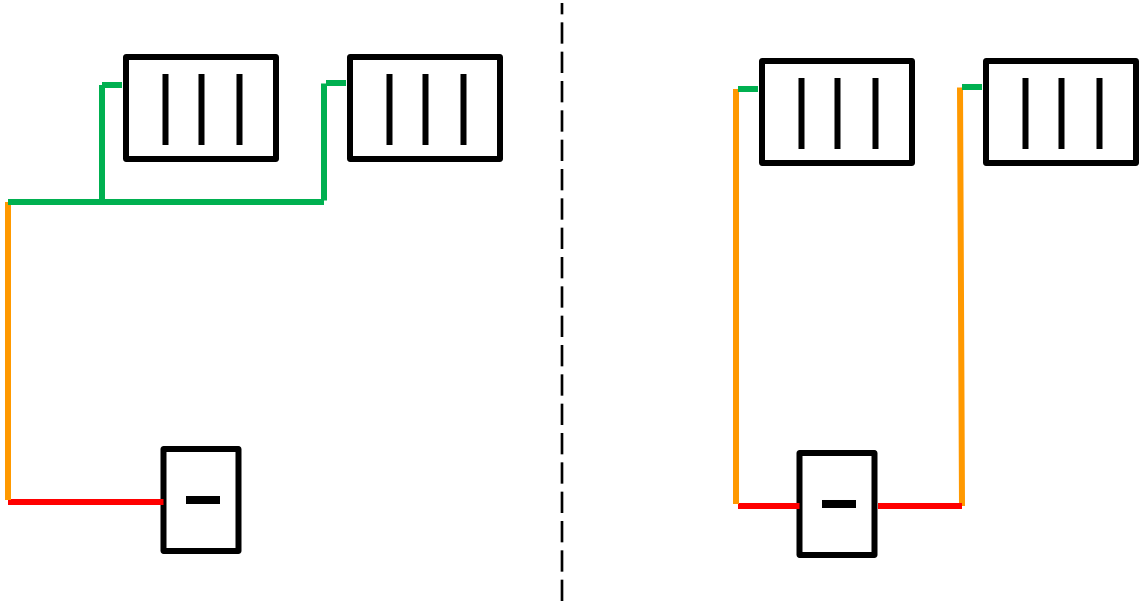
Monatsverlauf TWW-Zapfprofil

- ***Zapfprofil Monatsverlauf für 8 Wohneinheiten***



Netztypen III

Leitungslängen im 4L

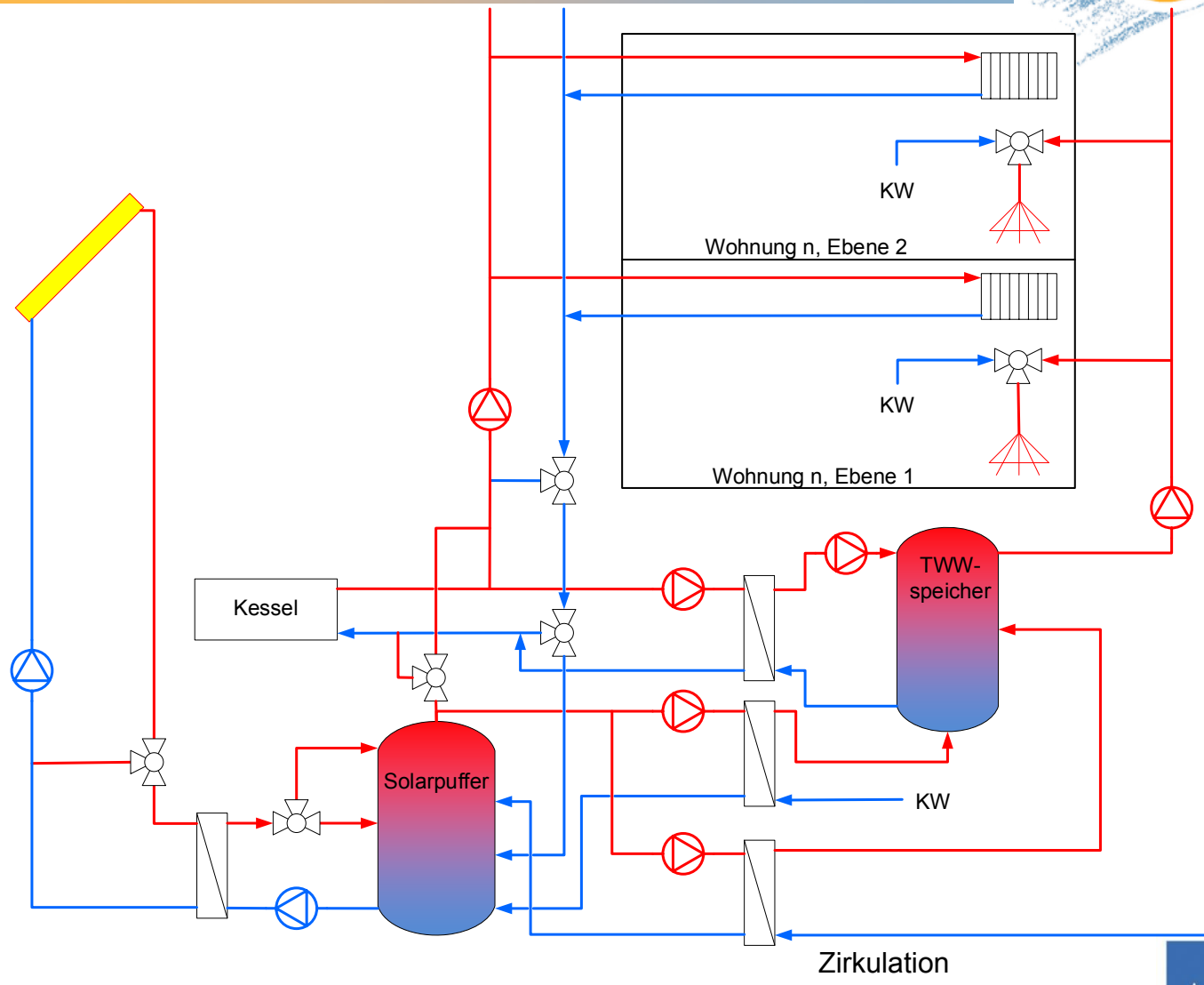


	Etagenringverteilung	Steigleitungsverteilung
Verteilleitungen	36 m	60 m
Steigleitungen	44 m	220 m
Anbindeleitungen	375 m	0 m

Hinweis: Längenangaben = Summe von VL & RL

Solareinbindung II

Solar unterstütztes 4L - Überblick

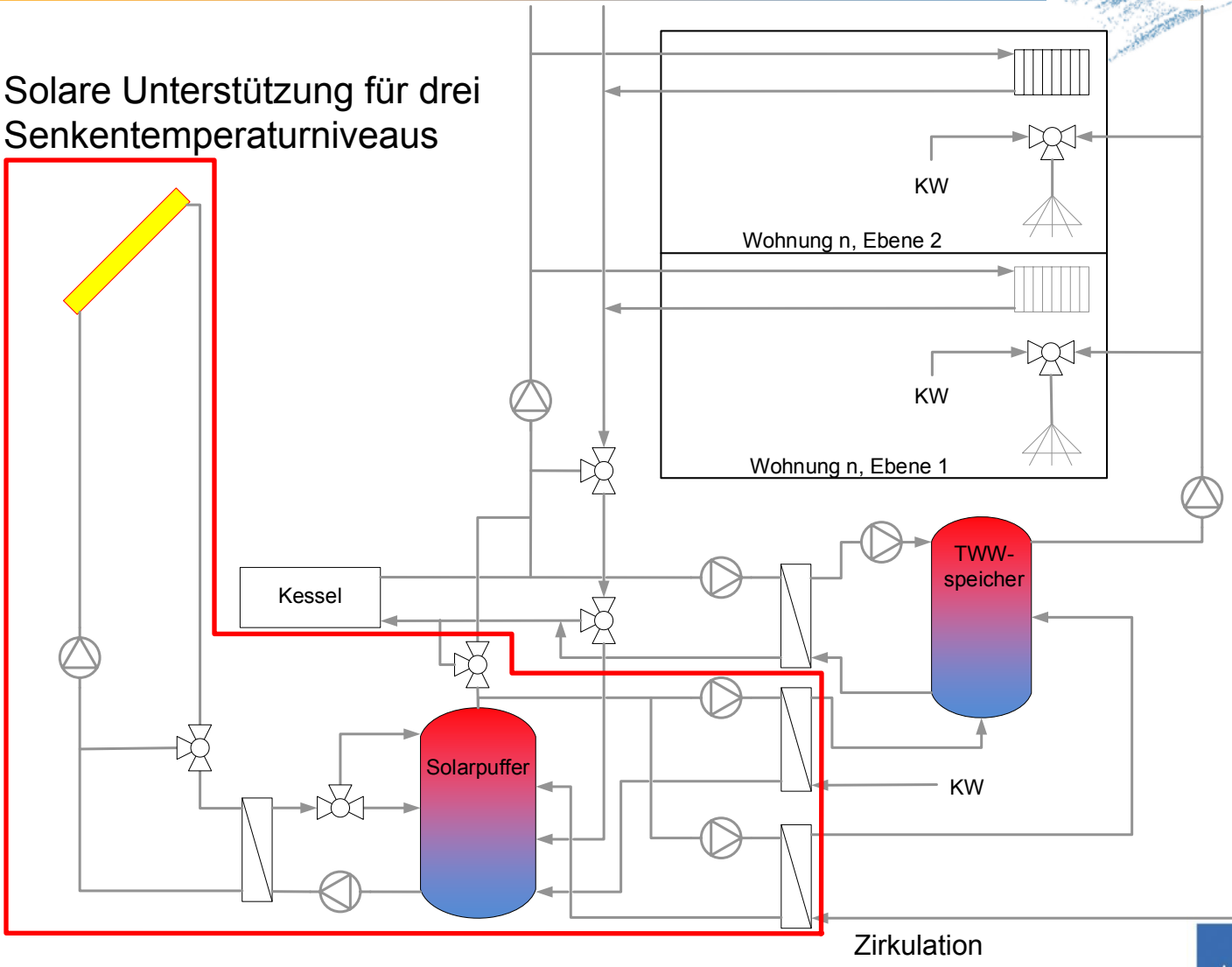


Leibniz Universität Hannover

Solareinbindung III

Solar unterstütztes 4L - Systemgrenze

Solare Unterstützung für drei Senkentemperaturniveaus

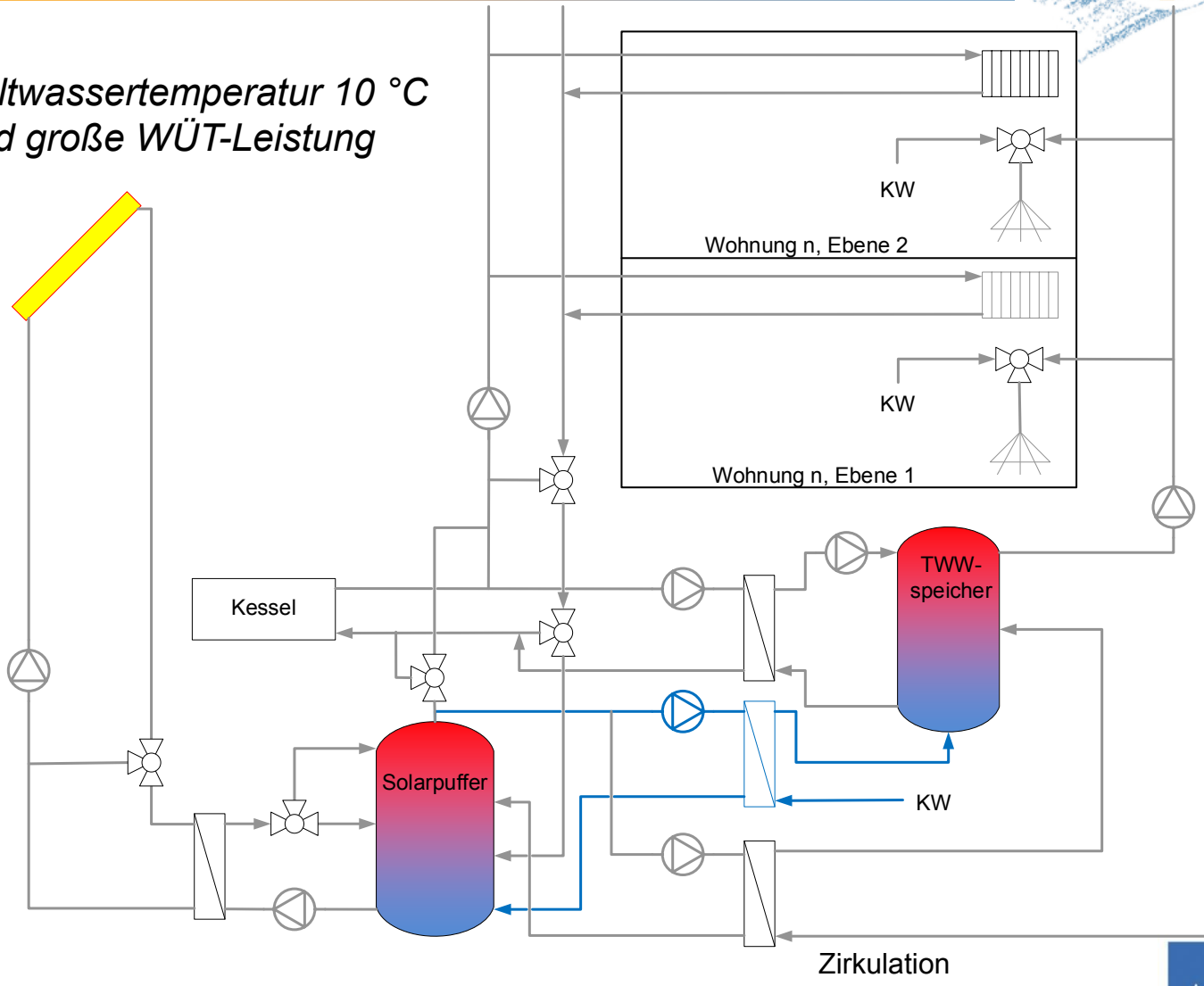


Leibniz Universität Hannover

Solareinbindung IV

Solar unterstütztes 4L - TWW

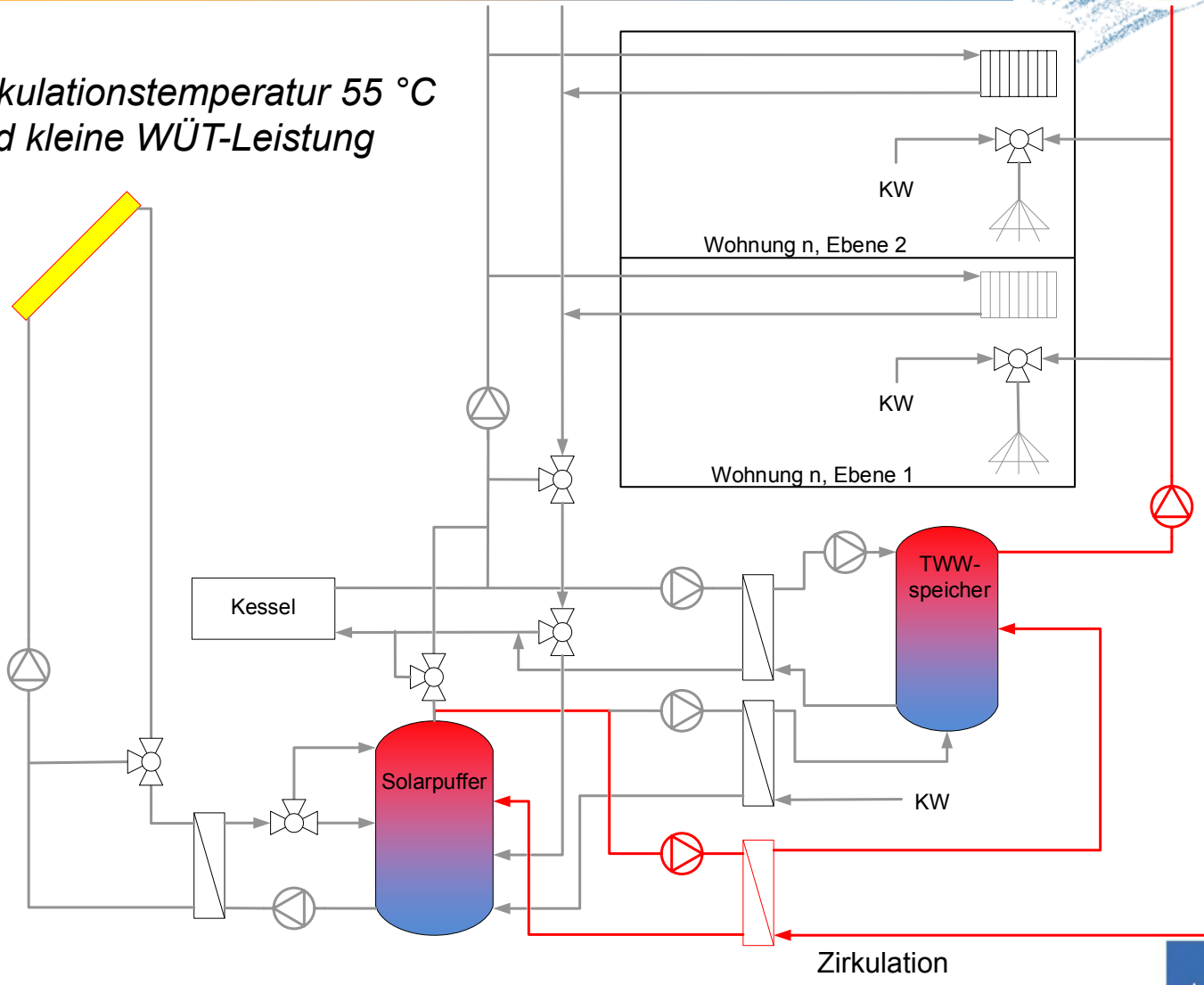
Kaltwassertemperatur 10 °C
und große WÜT-Leistung



Solareinbindung V

Solar unterstütztes 4L - Zirkulation

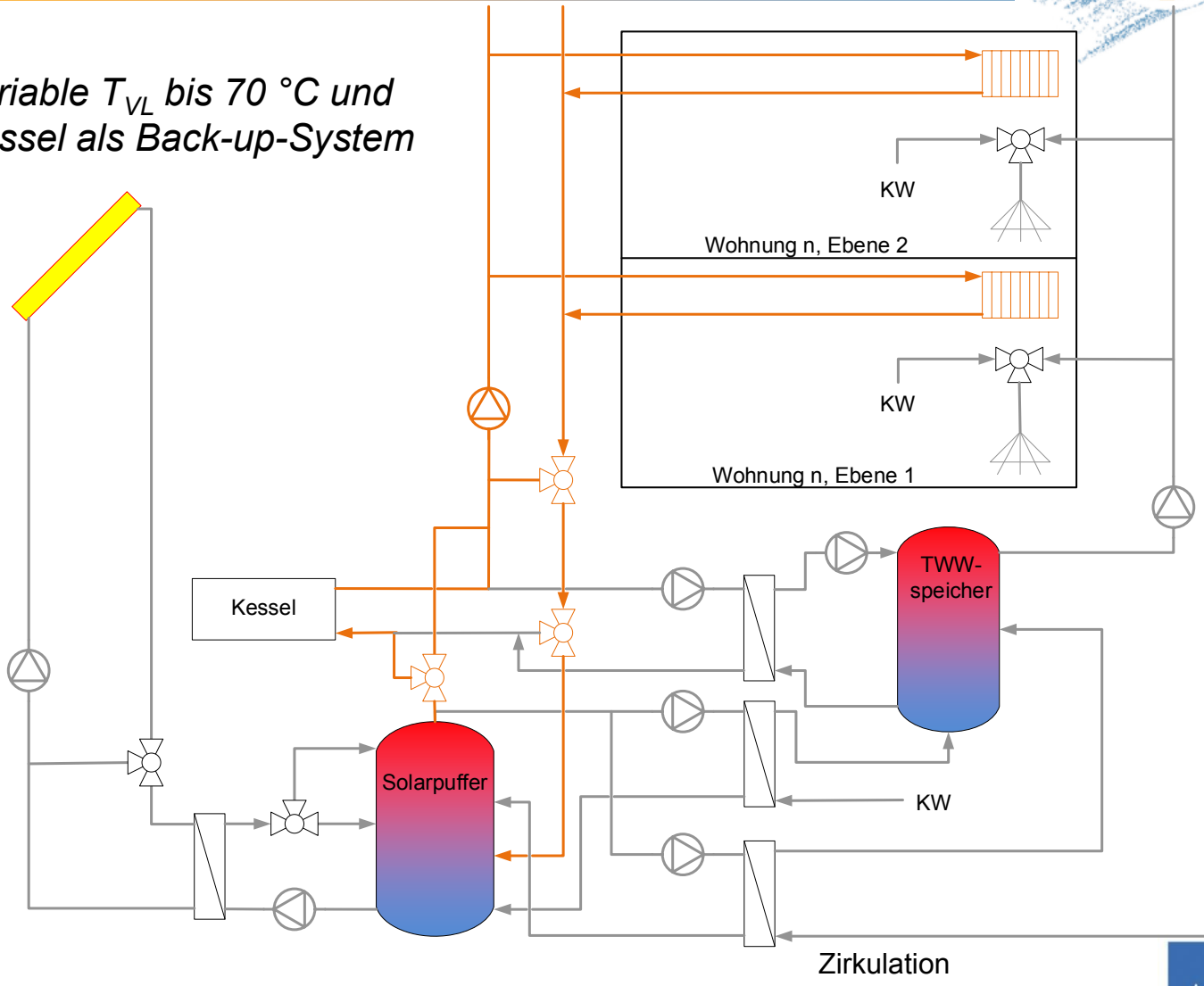
Zirkulationstemperatur 55 °C
und kleine WÜT-Leistung



Solareinbindung VI

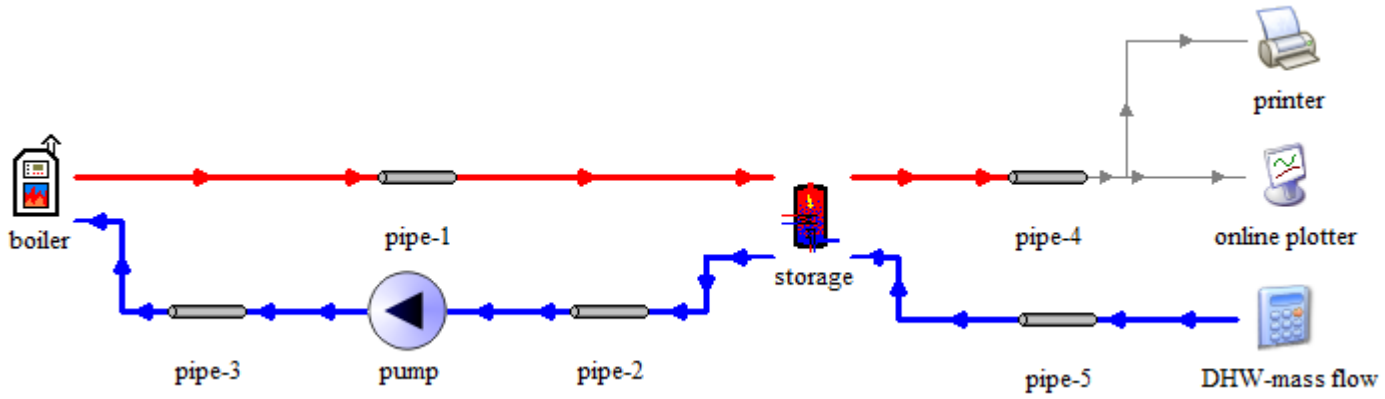
Solar unterstütztes 4L - Heizwärme

Variable T_{VL} bis 70 °C und Kessel als Back-up-System

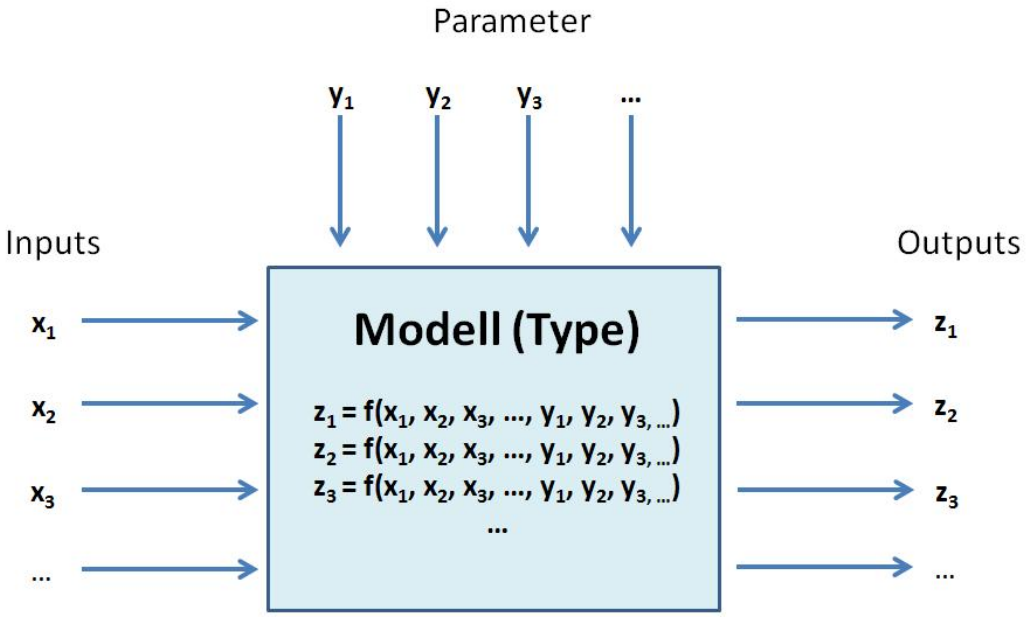


TRNSYS II
Deckaufbau

- ***Nomenklatur***
  - Einzelkomponente = Type
  - Verschaltung von Einzelkomponenten = Deck
  - Verbindungslinie für Information, Masse und Energie



TRNSYS III
Modellfunktion



- ***Am Beispiel eines einfachen Rohr-Types***
  - Inputs: T_{in}, $\dot{m}$ und T_{amb}
  - Parameter: L_{pipe}, $U_{L,pipe}$, c_{fluid} und d_i
  - Outputs: T_{out} und Q_{loss}

Leibniz Universität Hannover