

# Liquid Cooling in Data Centers

Regeln wir  
Pumpen in  
Rechenzentren  
eigentlich nach der  
**richtigen Zielgröße?**

Mehr Volumenstrom bedeutet  
nicht automatisch bessere Kühlung.

**Aber warum eigentlich nicht?**

→ Ein neuer Blick auf  
hydraulische Optimierung für  
flüssigkeitsgekühlte Rechenzentren.



**RWS**  
COMFORT



Die richtige Frage.  
Bessere Entscheidungen.



Mehr Effizienz.  
Weniger Energie.



Intelligente Kühlung.  
Nachhaltige Leistung.



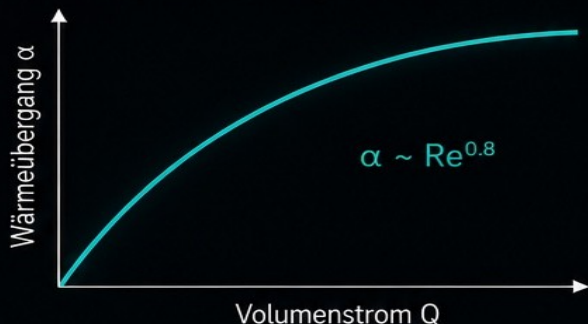
# Die Physik kennt ein Gesetz

Mehr Durchfluss bringt **nicht proportional** mehr **Nutzen**.

## WÄRMEÜBERGANG $\alpha$

(Thermischer Nutzen)

Steigt mit dem Durchfluss,  
aber immer langsamer.

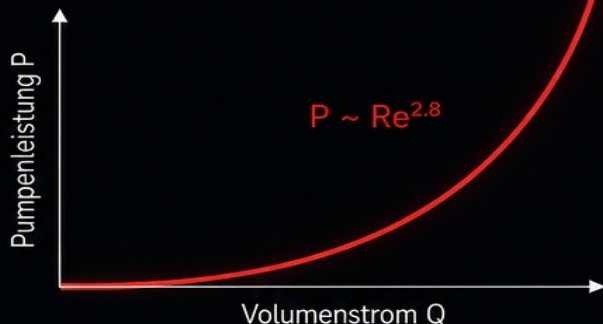


Der thermische Nutzen nimmt  
nur **verhältnismäßig wenig** zu.

## PUMPENLEISTUNG $P$

(Energieaufwand)

Steigt mit dem Durchfluss,  
aber immer stärker.



Der Energiebedarf steigt  
**überproportional** stark.



**Kernaussage:** Ab einem gewissen Punkt kostet  
**jeder zusätzliche Liter pro Sekunde** sehr viel mehr Energie –  
bei **kaum zusätzlichem Nutzen**.



Besonders relevant für Flüssigkeitskühlung in Rechenzentren:  
Energieeffizienz entscheidet über **Betriebskosten** und **Nachhaltigkeit**.



# Die Wärmekette im flüssigkeitsgekühlten Rechenzentrum

Jede Stufe beeinflusst die Gesamtleistung.

Die Pumpe ist nur ein Teil der Kette – aber **ein entscheidender**.

**1**  
**WÄRMEQUELLE**  
(CPU / GPU)



Die IT-Hardware erzeugt Wärme. Je höher die Leistung, desto **mehr Wärme** fällt an.

**2**  
**COLD PLATE**  
(WÄRMEÜBERTRAGER)



Die Wärme wird vom Chip auf das Kühlmittel übertragen. Je besser die **Übertragung**, desto **niedriger** die Chip-Temperatur.

**3**  
**KÜHLMITTEL**  
(FLUID)



Das Kühlmittel transportiert die Wärme zur CDU. Mehr Durchfluss hilft – aber mit **abnehmendem Zusatznutzen**.

**4**  
**PUMPE / CDU**  
(FÖRDERUNG)



Die Pumpe sorgt für den Durchfluss und überwindet den Druckverlust. Je höher der Durchfluss, desto **überproportional mehr Energiebedarf**.

**5**  
**WÄRMESENKE**  
(RÜCKKÜHLER)



Die Wärme wird an Luft oder Wasser abgegeben. Die **Effizienz** hängt von Umgebung und Auslegung ab.

**6**  
**UMGEBUNG**  
(ABLUFT / WASSER)



Die Wärme wird an die Umgebung abgeführt. Je kühler die Senke, desto besser die **Gesamtleistung**.



Die Gesamtleistung ist immer nur so gut wie das **schwächste Glied** der Kette.

Eine Überdimensionierung der Pumpe bringt selten mehr Kühlung, aber fast immer **mehr Energieverbrauch**.



Der Schlüssel ist nicht maximaler Durchfluss – sondern **optimaler Betriebspunkt**.

Dort, wo der zusätzliche Nutzen noch spürbar ist – aber der Energieaufwand nicht unverhältnismäßig steigt.



Mehr Kühleffekt pro Watt (höhere Effizienz)



Weniger Energieverbrauch



Niedrigere Betriebskosten



**RAPC setzt genau hier an:**

Für den **optimalen Betriebspunkt** in der gesamten Wärmekette.





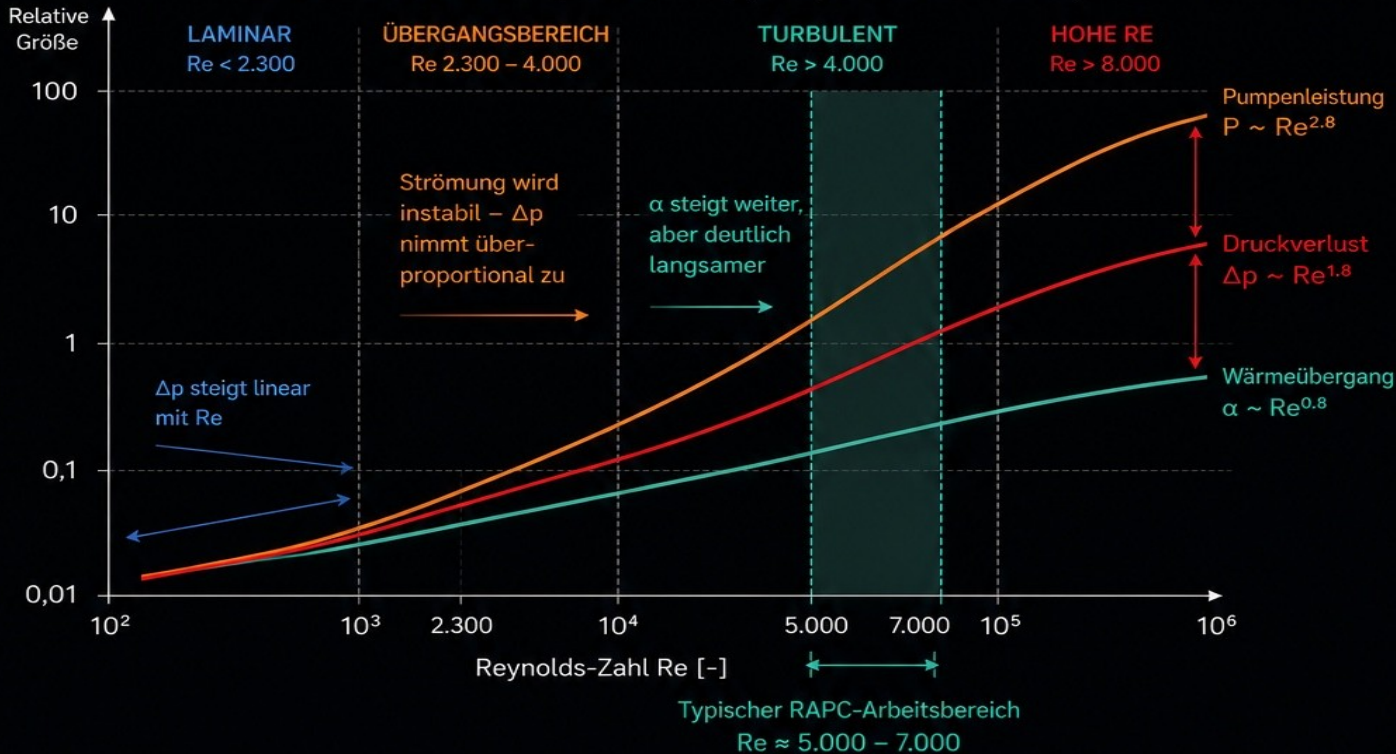
# Die wissenschaftliche Erklärung

Reynolds-Zahl bestimmt das Optimum zwischen Nutzen und Energieaufwand.



In flüssigkeitsgekühlten Rechenzentren entscheidet die Reynolds-Zahl ( $Re$ ) darüber, wie effektiv Wärme übertragen wird – und wie viel Energie die Pumpe benötigt.

Relativer Verlauf über der Reynolds-Zahl (doppelt logarithmische Darstellung)



## Wärmeübergang ( $\alpha$ )

Steigt nur verhältnismäßig wenig mit weiterem Durchfluss.

$$\alpha \sim Re^{0.8}$$



## Druckverlust ( $\Delta p$ )

Steigt überproportional. Jede Erhöhung des Durchflusses kostet deutlich mehr Energie.

$$\Delta p \sim Re^{1.8}$$



## Pumpenleistung ( $P$ )

Steigt extrem stark. Der Energiebedarf wächst überproportional.

$$P \sim Re^{2.8}$$



## Ziel von RAPC:

Der maximale Wärmeübergang pro eingesetzter Pumpenenergie – im optimalen  $Re$ -Bereich.

$$Re \approx 5.000 - 7.000$$

- ✓ Mehr Kühlleistung pro Watt Pumpenleistung
- ✓ Weniger Energieverbrauch
- ✓ Niedrigere Betriebskosten



RAPC nutzt diesen physikalischen Zusammenhang, um den Betriebspunkt dynamisch im optimalen Bereich zu halten – für maximale Effizienz in Data Centers.



# RAPC – Der kontinuierliche Weg zum optimalen Betriebspunkt

RAPC sucht und hält den Betriebspunkt am Maximum des hydraulischen Nutzens – selbstadaptiv und ohne zusätzliche Sensoren.



## WAS IST RAPC?

RAPC passt die Pumpenleistung **dynamisch** an die tatsächliche Strömungssituation an – basierend auf der Reynolds-Zahl ( $Re$ ).

Ohne zusätzliche Sensoren.

In Echtzeit. Selbstadaptiv.

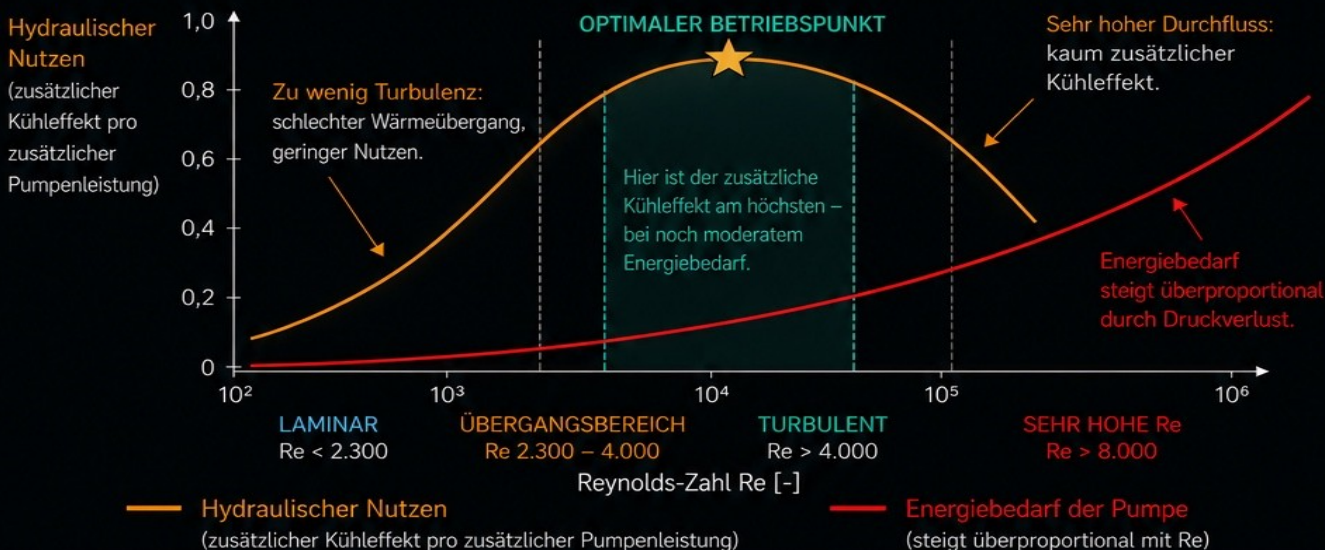
Kühlmittel Eintritt  
(niedriger Druck)

Austritt zum System / CDU  
(höherer Druck)



## RAPC findet den Betriebspunkt mit dem MAXIMUM DES HYDRAULISCHEN NUTZENS

Nicht der maximale Durchfluss ist das Ziel, sondern der **maximale Nutzen** pro zusätzlichem Energieeinsatz.



## SO ARBEITET RAPC



### 1. ANALYSIEREN

RAPC erfasst die Strömungssituation und erkennt, ob der Nutzen noch steigt.



### 2. BEWERTEN

RAPC bewertet den aktuellen Punkt im Verhältnis zum Nullgradienten (Maximum).



### 3. ANPASSEN

RAPC passt die Pumpenleistung an – in kleinen Schritten.



### 4. OPTIMIEREN

RAPC hält den Betriebspunkt am Maximum des hydraulischen Nutzens.

## DAS ERGEBNIS



**Mehr Effizienz**  
Mehr Kälteleistung pro Watt Pumpenleistung.



**Weniger Energie**  
Deutlich geringerer Energieverbrauch – rund um die Uhr.



**Niedrigere Kosten**  
Weniger Energie – niedrigere Betriebskosten (OPEX).



**Mehr Stabilität**  
Stabile Temperaturen und hohe Zuverlässigkeit im Dauerbetrieb.



**Nachhaltiger Betrieb**  
Weniger  $CO_2$ -Emissionen – für eine nachhaltige Zukunft.



**RAPC nutzt die Strömungsphysik** – nicht nur die Regeltechnik.  
Für den **optimalen Betriebspunkt** in der flüssigkeitsgekühlten Infrastruktur von morgen.

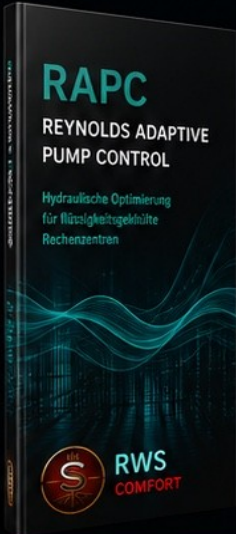




# Wie geht es jetzt weiter?

Lassen Sie uns die Zukunft gemeinsam gestalten.

RAPC bringt messbare Effizienzgewinne in Ihre Flüssigkeitskühlung – heute und in Zukunft.



## WHITEPAPER

### RAPC – Reynolds Adaptive Pump Control

Hydraulische Optimierung für flüssigkeitsgekühlte Rechenzentren

Freuen Sie sich auf Inhalte u. a. zu:

- ✓ Physikalische Grundlagen & Reynolds-Zahl
- ✓ Wärmeübertragung & Effizienz
- ✓ Pumpenenergie & Druckverlust
- ✓ Optimierungsprinzip von RAPC
- ✓ Anwendungsbeispiele & Ergebnisse
- ✓ Wirtschaftlichkeit & Nutzen



WHITEPAPER IN VORBEREITUNG



Bald verfügbar auf:

[www.rws-hvac-consultancy.de](http://www.rws-hvac-consultancy.de)



## LASSEN SIE UNS INS GESPRÄCH KOMMEN!

Sie entwickeln oder fertigen Pumpen, CDUs oder Flüssigkeitskühlungen?

Ich freue mich über den fachlichen Austausch mit Ihnen.



OEM-Partnerschaften



Technologiegespräche



Vorträge & Fachbeiträge



Gemeinsame Entwicklung

## Rolf Senczek

Dipl.-Ing. (TU)

RWS HVAC Consultancy

 [info@rws-hvac-consultancy.de](mailto:info@rws-hvac-consultancy.de)

 [www.rws-hvac-consultancy.de](http://www.rws-hvac-consultancy.de)

 Deutschland



## GESCHÜTZTE TECHNOLOGIE

Die zugrunde liegende Technologie von RAPC ist in Deutschland als Gebrauchsmuster geschützt.

Eingetragenes Gebrauchsmuster:  
DE 20 2025 002 842 U1



### Schutz für Innovation

RAPC basiert auf einer neuartigen, sensorlosen Optimierung nach der Reynolds-Zahl.



### Ihre Sicherheit

Eine Zusammenarbeit bietet Ihnen exklusive Nutzungsrechte und Planungssicherheit.



### Ihr Wettbewerbsvorteil

Setzen Sie auf eine effiziente, zukunftssichere und geschützte Technologie.

## BLEIBEN WIR IN KONTAKT



### Website

Mehr Informationen,  
Downloads und  
Kontaktformular

[www.rws-hvac-consultancy.de](http://www.rws-hvac-consultancy.de)



### LinkedIn

Folgen Sie mir für  
aktuelle Fachbeiträge  
und Insights

[linkedin.com/in/rolf-senczek](https://linkedin.com/in/rolf-senczek)



### E-Mail

Schreiben Sie mir  
direkt – ich antworte  
persönlich.

[info@rws-hvac-consultancy.de](mailto:info@rws-hvac-consultancy.de)



**RAPC nutzt die Strömungsphysik** – nicht nur die Regeltechnik.

Für den optimalen Betriebspunkt in der flüssigkeitsgekühlten Infrastruktur von morgen.

**RAPC**