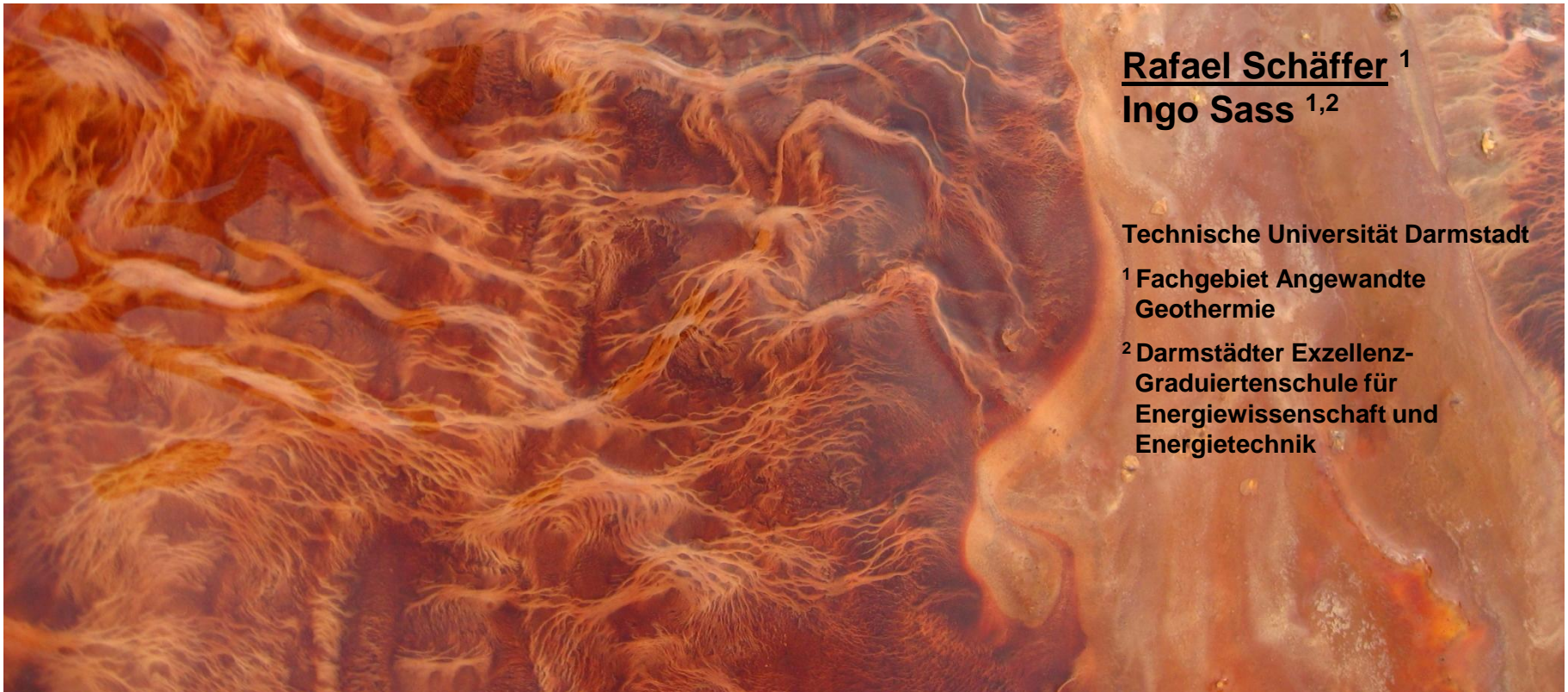


Nutzung hydrothermaler Vorkommen in öffentlichen Schwimmbädern



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

*Der Geothermiekongress, Essen, 29. November 2018
Forum F15 – Wissenschaft in der praktischen Anwendung*



Rafael Schäffer ¹
Ingo Sass ^{1,2}

Technische Universität Darmstadt

¹ Fachgebiet Angewandte
Geothermie

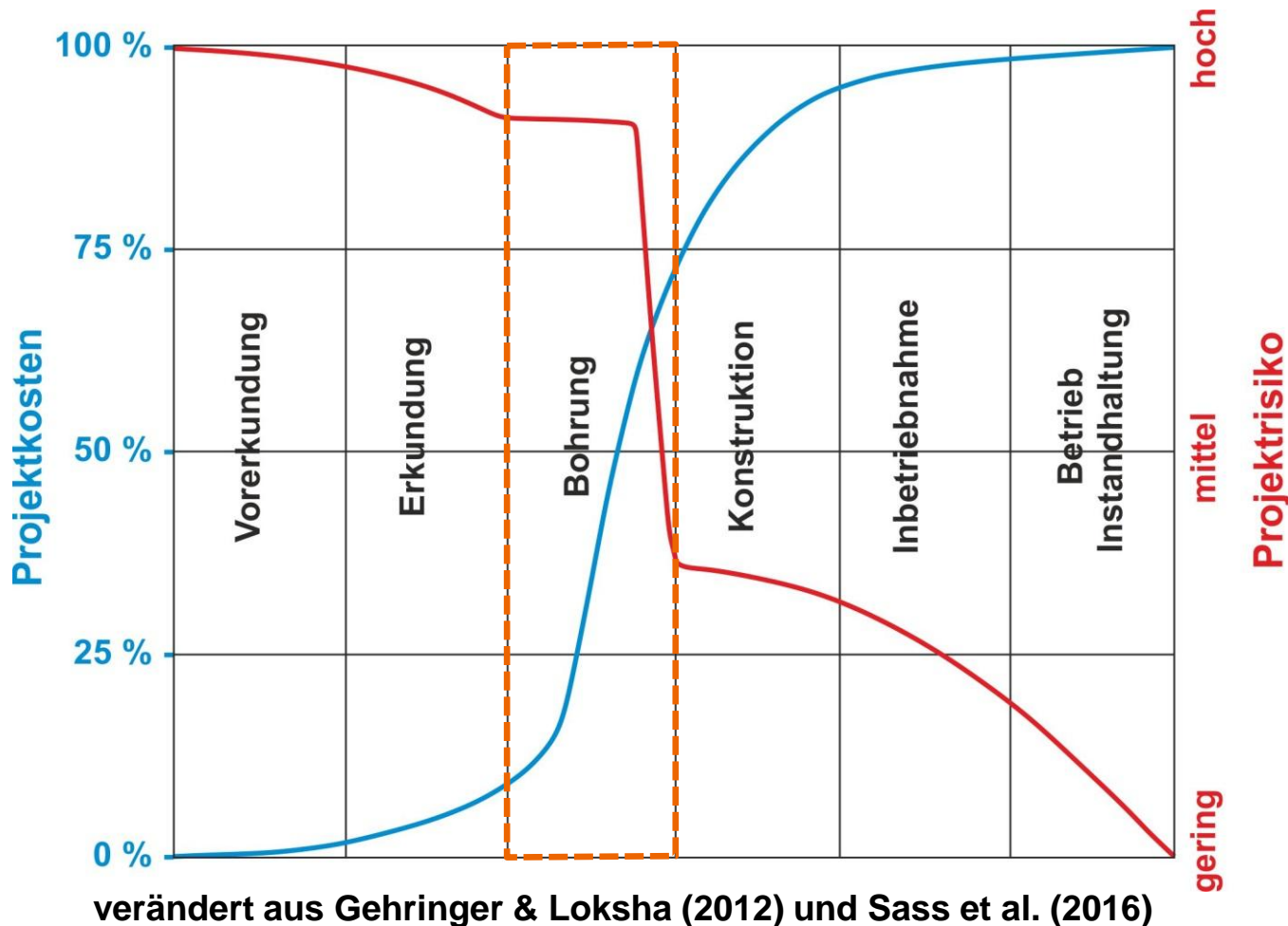
² Darmstädter Exzellenz-
Graduiertenschule für
Energiewissenschaft und
Energietechnik

Ablagerungen des König-Heinrich-Sprudels, Bad Soden-Salmünster, Bildbreite ca. 30 cm

Kosten und Risiken tiefer Geothermieprojekte



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Bohrung

- ca. $\frac{2}{3}$ Kosten
- hohes Risiko

Konzept

Ertüchtigung bestehender Bohrungen aus der Balneologie, der Kohlenwasserstoff-exploration oder dem Bergbau (z.B. Caulk & Tomac 2017).

Ausgangslage in Schwimmbädern



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Sachlage

- **4.600** Hallen- und Freibäder in Deutschland (DGB 2017)
- **550 Mio.** Besucher jährlich (Saunus 2005, DGB 2017)
- **5,1 TWh/a** Wärme- und ca. **1,8 TWh/a** Stromverbrauch (Saunus 2005)
- **4,1 %** des Nettowärme- bzw. **0,3 %** Nettostromverbrauches in Deutschland (AGEB 2018)

Investitionsbedarf

- Viele Bäder aus den 70er und 80er Jahren, großer **Renovierungs- und Neubaubedarf**
- **9,7 Mrd. €** **Investitionsstau** kommunaler Bäder und Sportstätten (KfW 2017)
- Beispiel Hessen: **50 Mio. €** im Hallenbadinvestitionsprogramm (2007-2012), **105** geförderte Projekte
- Weitere **50 Mio. €** im Schwimmbad Investitions- und Modernisierungsprogramm II (2019-2024)

⇒ **Investitionsstau für energetische Sanierung und Festschreibung der Geothermie nutzen**



Sinter in Rohrleitungen



**Alte
Bausubstanz**



**Renovierungsbedürftige Fassungstechnik,
verbesserbarer hygienischer Zustand**

Energetische Sanierung von Schwimmbädern



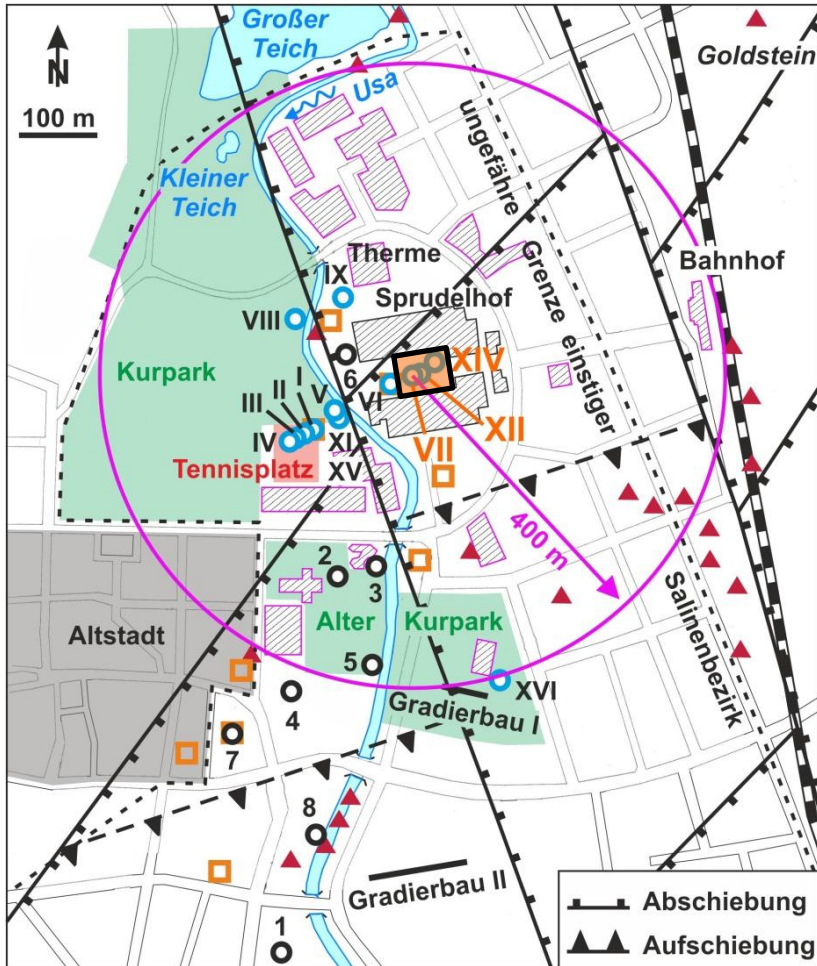
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Ganzjährig **hoher Wärmebedarf** bei **geringen Vorlauftemperaturen** der Heizungsanlagen
- Ideal für dezentrale, grundlastfähige **Geothermie**
- Derzeit nutzen **etwa 2 %** der Schwimmbäder Geothermie (GeotIS, Agemar et al. 2014a/b)
- In Leitfäden zur Sanierung wird Geothermie bislang kaum berücksichtigt (z.B. Energieagentur NRW 2012)
- Ansatz von Betreibern: Einsatz von Solarenergie oder Maßnahmen zur Energieeinsparung (z.B. Ahrens et al. 2011, Jacob-Freitag 2012, Berliner Bäderbetriebe 2016)
- **Einsatz von Geothermie** ausdrücklich in **VDI 2089-2 (2009)**: „Technische Gebäudeausrüstung von Schwimmbädern – Effizienter Einsatz von Energie und Wasser in Schwimmbädern“ **gefordert**

Fallbeispiel 1: Sprudelhof Bad Nauheim, weltweit einzigartige Jugendstil-Anlage



Thermalwasservorkommen Bad Nauheim



- ▲ Mineralwasserquelle, Mofetten
- Schachtbrunnen (vermutlich vor 1800)
- Mineralwasserbohrungen (1816-1911)
- Sprudelbohrungen (1822-1904)
- Therme am Park seit 01.01.2016 geschlossen
- **Neubau** in Planung
- **Neuerschließung** („Sprudel XVII“) in Vorbereitung
- Danach Rückbau Sprudel VII, XII und XIV
- **Viele potenzielle Wärmeabnehmer in der Nähe**
- **Bestehendes Nahwärmenetz**

verändert aus Kümmerle (1976), Schäffer & Sass (2016)

Szenarienbetrachtung „Sprudel XVII“



| | Temperatur (°C) | Schüttung (L/s) | Sprunghöhe (m ü. GOK) | Hydrothermales Potenzial (MW) (GWh/a) | |
|------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------------|---|------|
| Historische (Maximal-)Werte | | | | | |
| -Sprudel VII (1847) | 32,2 | 24,7 | 5,2 | | |
| -Sprudel XII (1855) | 37,5 | 13,9 | 16 | | |
| -Sprudel XIV (1900) | 32,5 | 9,2 | frei auslaufend | | |
| Mittelwerte 2013-2016 | | | | | |
| -Sprudel VII | 30,6 | 4,47 | -2 bis 1 | | |
| -Sprudel XII | 32,6 | 8,16 | -2 bis 1 | | |
| Ungünstiger Ansatz | 30,0 | 5 | über GOK | 0,41 | 3,58 |
| Planungsansatz | 32,5 | 10 | über GOK | 0,92 | 8,06 |
| Realistischer Ansatz | 33,0 | 15 | über GOK | 1,53 | 12,4 |

Wirtschaftliche Betrachtung

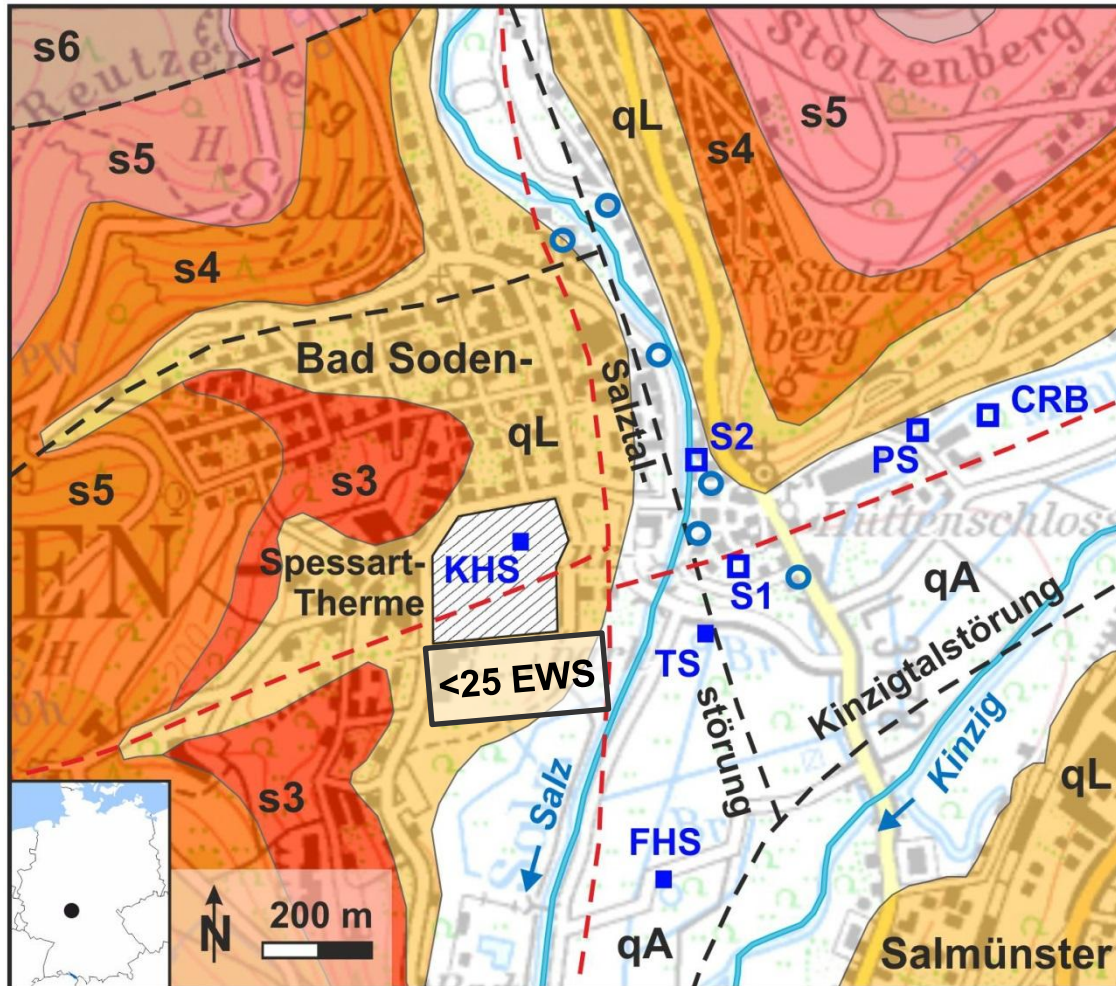
| Kennwert | Einheit | Ungünstiger Ansatz | Planungs- ansatz | Realistischer Ansatz |
|---|---------|-----------------------|---------------------|-------------------------|
| Leistung Wärmeübertrager | kW | 357 | 816 | 1.670 |
| Arbeit Wärmeübertrager | GWh/a | 3,1 | 7,2 | 14,6 |
| Einsparung Wärme* | €/a | 185.000 | | |
| Stromkosten Wärmepumpen* | €/a | 80.000 | | |
| Verkaufserlöse Wärmeüberschuss* | €/a | 30.000 | 300.000 | 810.000 |
| Bilanz | €/a | 135.000 | 405.000 | 915.000 |
| Investitionen (Wärmeübertrager, Sprudelhof etc.) | € | 3.900.000 | | |
| Amortisierung | a | 29,0 | 9,5 | 4,2 |
| CO ₂ -Einsparung** | t/a | 420 | 1.800 | 4.300 |


*Gemäß den Preisen der Stadtwerke Bad Nauheim 2017

**Ausgehend vom BHKW Bad Nauheim (Nahwärmenetz) und vom Strommix der Stadtwerke Bad Nauheim

- **3,3 GWh/a** Sprudelhof ohne energetische Sanierung (Oehlert & Beldermann 2010)
- **2,5 – 3,9 GWh/a** Neubau Therme am Park
- Einspeisung überschüssiger Wärme in das bestehende Nahwärmenetz

Fallbeispiel 2: Spessart-Therme Bad Soden-Salmünster



 Störung, vermutet
(HLB 1998, Mestwerdt 1927)

 Alte Mineralwasserquellen

 Sprudelbohrungen außer
Betrieb

PS Pacificus-Sprudel, 1906/07
Teufe 406 m

 Sprudelbohrungen in Betrieb

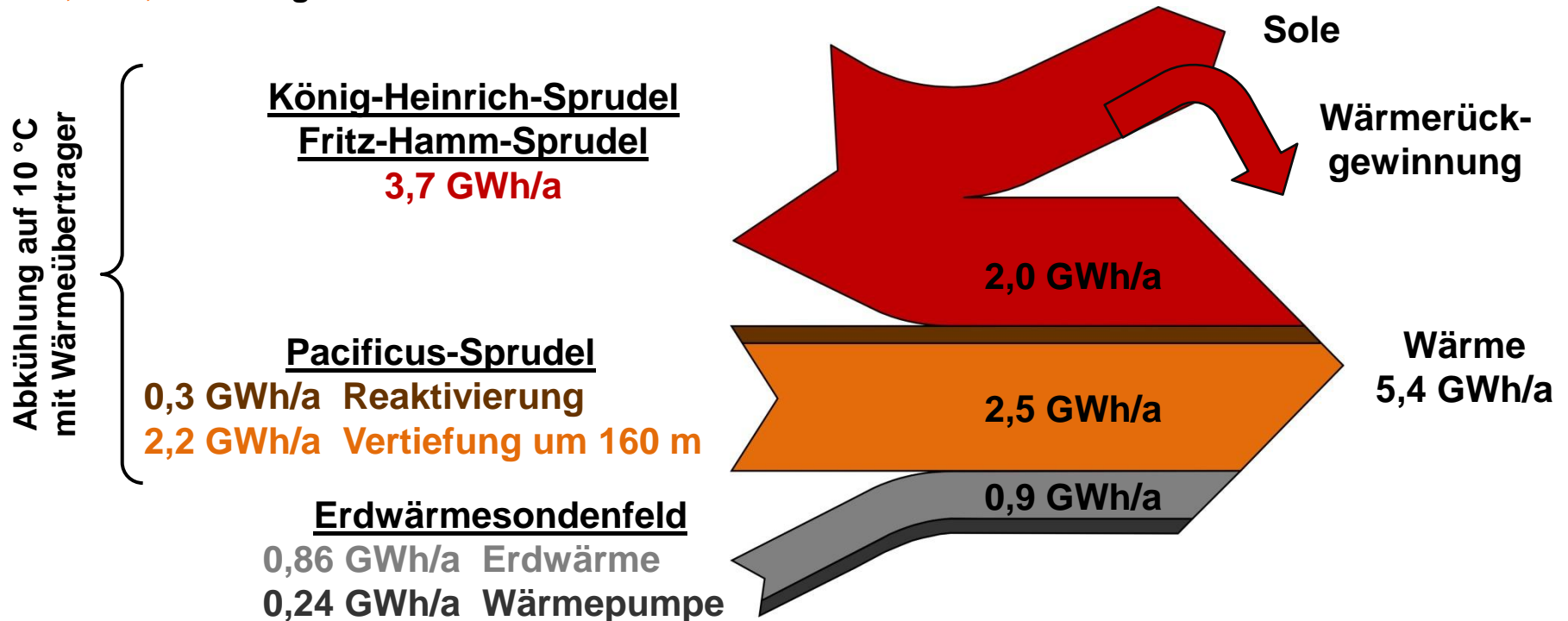
KHS König-Heinrich-Sprudel, 1927
Teufe 539 m

FHS Fritz-Hamm-Sprudel, 1971
Teufe 503 m

verändert aus Schäffer et al. (2018)

Energiefluss Spessart-Therme

- Erweiterung um ein Schwimmbecken
- **5,3 – 5,8 GWh/a** geschätzter Gesamtwärmeverbrauch



- **280.000 €/a** Einsparung Energiekosten
- **1.700 t/a** Vermeidung CO₂-Emissionen

Ausblick: Thermal-balneologisches Potenzial



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Bedarf an Leuchtturmprojekten zur **erfolgreichen Realisierung** hydrothormaler balneologischer Nutzungen
- Balneologisches Potenzial in Hessen laut GeotIS (Agemar et al. 2014a/b): **42 GWh/a**
- Potenzial aus Thermalwasserbohrungen (Carlé 1975, Käß & Käß 2008): **117 GWh/a**
- Geschätztes balneologisches Potenzial deutschlandweit: **1,5 – 4,0 TWh/a**

| Ort | Arbeit (GWh/a) |
|----------------------|----------------|
| Assmannshausen | 3,7 |
| Bad Emstal | 2,5 |
| Edertal-Bergheim | 3,8 |
| Herbstein | 2,1 |
| Bad Homburg v.d.H. | 1,8 |
| Bad Karlshafen | 0,4 |
| Kassel-Wilhelmshöhe | 0,4 |
| Kiedrich | 1,2 |
| Bad König | 0,5 |
| Bad Nauheim | 15,5 |
| Schlangenbad | 17,0 |
| Bad Soden am Taunus | 5,5 |
| Bad Soden-Salmünster | 4,1 |
| Wiesbaden | 58,1 |
| HESSEN | 117 |

„Habe Ehrfurcht vor dem Alten und Mut, das Neue frisch zu wagen.“
Großherzog Ernst Ludwig von Hessen und bei Rhein (1868-1937)



**Thermalwasser
marsch!**

Literaturverzeichnis I

AGEB (2018): Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2017. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanz e.V. (Hrsg.), Berlin, 43 Seiten.

Agemar T, Weber J & Schulz R (2014a): Deep Geothermal Energy Production in Germany. Energies 7, 4397-4416. doi:10.3390/en7074397

Agemar T, Alten J-A, Ganz B, Kuder J, Kühne K, Schumacher S & Schulz R (2014b): The Geothermal Information System for Germany – GeotIS. ZDGG 165/2, 129-144. doi: 10.1127/1860-1804/2014/0060.

Ahrens O, Beckert S, Franke T, Grove-Smith J, Hitz A, Horstmann W, Kah O, Koch G, Krick B, Ostermann U, Peper S, Pöter M, Schulz T & Bramey F (2011): Integrale Planung für die Realisierung eines öffentlichen Hallenbades mit Konzepten der Passivhaustechnologie. Endbericht, 136 Seiten.

Berliner Bäder-Betriebe (2017): Geschäftsbericht 2016. Berliner Bäder-Betriebe (Hrsg.), Berlin, 53 Seiten.

Blomberg T, Claesson J, Eskilson P, Hellström G & Sanner B (2017): Earth Energy 548 Designer – EED, Version 4.14 vom 4.02.2017. http://www.buildingphysics.com/index-549_filer/Page1099.htm

BMWE (2017): Energiedaten: Gesamtausgabe – Stand Oktober 2017. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.), Berlin, 63 Seiten.

Carlé W (1975): Die Mineral- und Thermalwässer von Mitteleuropa – Geologie, Chemismus, Genese. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart, 643 Seiten.

Caulk RA & Tomac I (2017): Reuse of abandoned oil and gas wells for the geothermal energy production. Renewable Energy 112, 388-397. doi: 10.1016/j.renene.2017.05.042

Literaturverzeichnis II

-
- Deutsche Gesellschaft für Bäderwesen (2017): Bäderatlas. Deutsche Gesellschaft für das Badewesen e. V. (Hrsg.), Essen. Onlinekarte: <http://www.baederatlas.com/>, zuletzt aufgerufen am 26.10.2017.**
- Energieagentur NRW (2012): Klimaschutz made in NRW: Energieeffizienz in Schwimmbädern. Energieagentur NRW (Hrsg.), Wuppertal, 34 Seiten.**
- Gehring M & Loksha V (2012): Geothermal Handbook: Planning and Financing Power Generation. The International Bank of Reconstruction (Hrsg.), Energy Sector Management Assistance Program, Technical Report 002/12, 150 Seiten.**
- Jacob-Freitag S (2012): Hallenbad Lippe in Lünen. Sport Bäder Freizeit Bauten 52/3, 38-44.**
- Käb W & Käb H (2008): Deutsches Bäderbuch – Zweite Auflage. Schweizerbart, Stuttgart, 1232 Seiten.**
- KfW (2017): KfW-Kommunalpanel 2017. KfW Bankengruppe, Frankfurt, 34 Seiten.**
- Kümmerle E (1976): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Hessen 1 : 25 000 Blatt Nr. 5618 Friedberg. Hessisches Landesamt für Bodenforschung (Hrsg.), Wiesbaden, 247 Seiten.**
- Oehlert S & Beldermann N (2010): Sanierung Sprudelhof, Bad Nauheim – Energetische Sanierung, Gebäude für Kulturelle Zwecke, Gewerbe, Handel, Lager etc. – Konzeptstudie für die Heizwärmeversorgung durch die Thermalquellen. Gerber Ingenieurgesellschaft Energieeffiziente Gebäude mbH, Darmstadt, 39 Seiten.**
- Sass I, Weinert S & Bär K (2016): Success rates of petroleum and geothermal wells and their impact on the European geothermal industry. Swiss Bulletin for Applied Geology 21/2, 57-66.**

Literaturverzeichnis II

Saunus C (2005): Schwimmbäder: Planung – Ausführung – Betrieb. Kramer Verlag, Düsseldorf, 5. Auflage, 836Seiten.

Schäffer R & Sass I (2016): Ausbreitung und Vermischung geogener, kohlendioxidführender Thermalsole in oberflächennahem Grundwasser, Bad Nauheim. Grundwasser 21/4, 305-319. doi: 10.1007/s00767-016-0341-0

Schäffer R, Bär K & Sass I (2018): Multimethod exploration of the hydrothermal reservoir in Bad Soden-Salmünster, Germany. German Journal of Geology 169 (3), 311-333. doi: 10.1127/zdgg/2018/0147.

VDI 2089-2 (2009): Technische Gebäudeausrüstung von Schwimmbädern – Effizienter Einsatz von Energie und Wasser in Schwimmbädern. Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.), Berlin, 51 Seiten.