EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

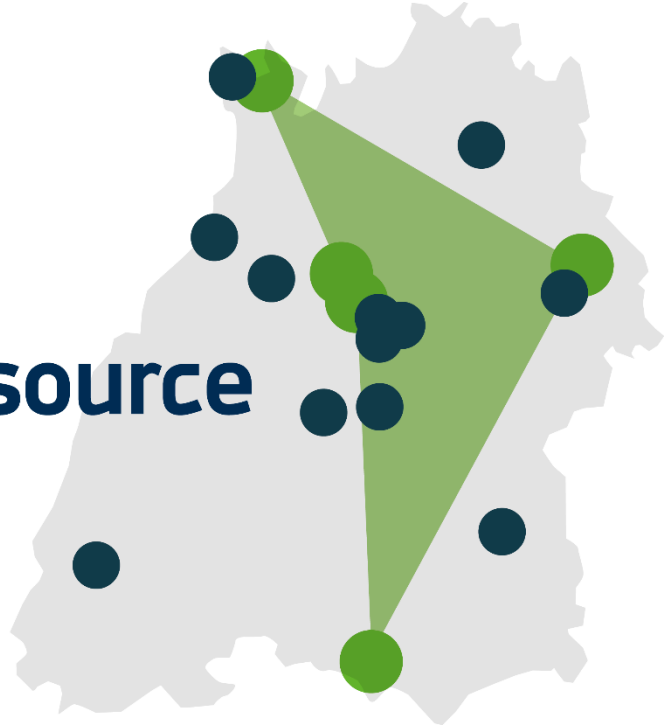
EFRE
Investition in Ihre Zukunft.

Baden-Württemberg

INEC
INSTITUTE FOR INDUSTRIAL ECOLOGY PFORZHEIM

Fraunhofer ISE

ENsource



Ressourcenaufwands-Bewertung optimierter Energiesystemszenarien am Beispiel einer ländlichen Gemeinde

Workshop Operations Research im Umweltschutz
17.05.2019, Karlsruhe

Heidi Hottenroth, Dr. Hendrik Lambrecht, HS Pforzheim
Annette Steingrube, Fraunhofer ISE

Einleitung

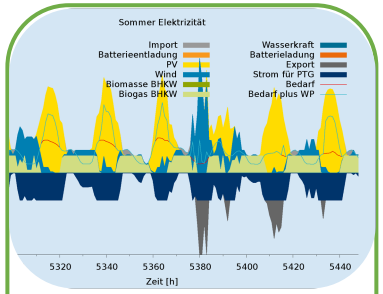
- Im Fokus: **erneuerbare Energiesysteme** (EES)
- im Vergleich zu fossil basierten Energiesystemen:
  Verlagerung Umweltwirkungen von der Betriebs- in die Herstellungsphase
  → Reduktion von CO_2 führt zu Verlagerung auf andere Wirkungen
- Verlagerung für verschiedene Energiesystemszenarien **quantifizieren**
- **Ziel: Entscheidungsunterstützung** bei Gestaltung
  eines kosten- und ressourceneffizienten zukünftigen Energiesystems
- Hier: Fallstudie einer **ländlich geprägten Gemeinde** im Nordosten von BW

ENsource
Zentrum für angewandte Forschung
Urbane ENergiesysteme und Ressourceneffizienz

Vorgehensweise

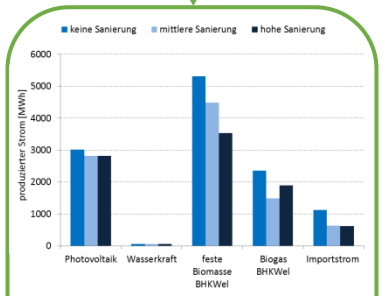
Eingangsdaten

- Potentiale für erneuerbare Energien
- Lastprofile Strom/Wärme (stündlich aufgelöst)
- Kosten
- Import-/Export-beschränkungen



Energiesystem-optimierung mit KomMod

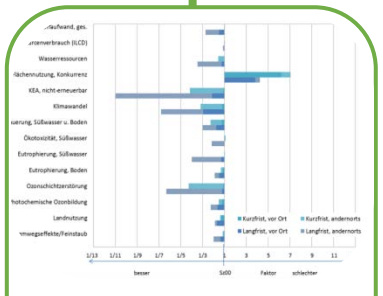
- geringste Kosten in Struktur und Betrieb
- Installierte Leistungen und Energiemengen für alle Technologien



Verschiedene Szenarien

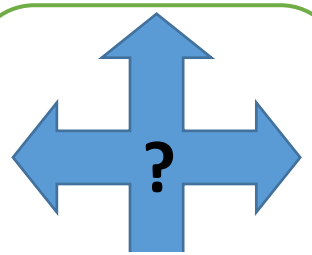
Variation von:

- Potentialen
- Bedarfen
- Kosten



Bewertung Ressourcenauf-wand

- Sachbilanzdaten für gesamten Lebenszyklus pro Technologie
- Ermittlung Ressourcenauf-wand für 14 Kategorien



Ziel: Entscheidungs-unterstützung für zukünftiges Energiesystem

Kriterien:

- Kosten
- Ressourcen-aufwand

Icon: the noun project shua d; Solarpotential: https://www.stoeckach29.de/sonne-nutzen.html

ENsource
Zentrum für angewandte Forschung
Urbane ENergiesysteme und Ressourceneffizienz

Energiesystemmodell KomMod

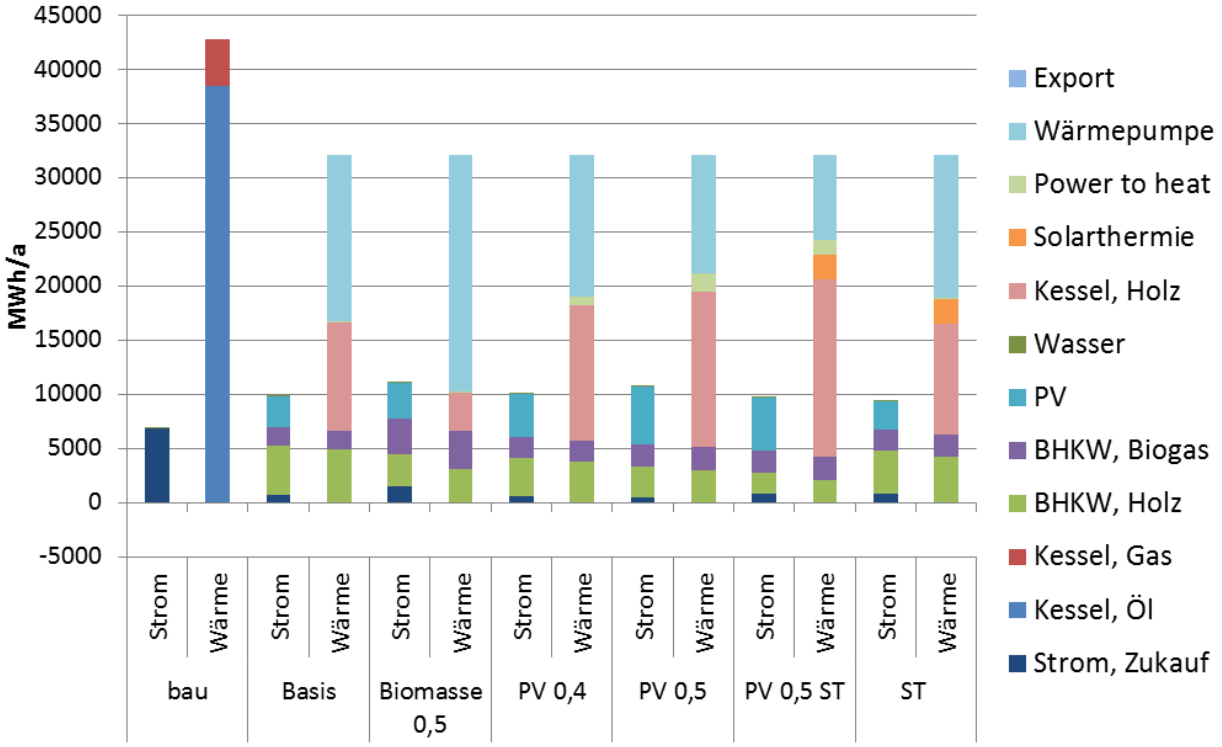
- Erstellt am Fraunhofer ISE
- Techno-ökonomisches Buttom-up-Energiesystemmodell ohne Pfadoptimierung
- Lineares Optimierungsproblem
- Modellierungsumgebung und –sprache AMPL

Referenz: J.-B. Eggers (2018): Das kommunale Energiesystemmodell KomMod - Konzeption, Implementierung und Anwendung an den Praxisbeispielen Frankfurt am Main und Freiburg-Haslach. Fraunhofer Verlag, Stuttgart

Szenarienentwicklung und -Berechnung – erster Satz

Szenario	Restriktionen
Basis	Basisannahmen entsprechend der angenommenen Potenziale, Mindestleistung PV: 3,1 MW (Ist-Stand)
Biomasse 0,5	Basis + Potenzial für Biomasse halbiert
PV 0,4	Basis + mind. 40 % des Strombedarfs mit PV
PV 0,5	Basis + mind. 50 % des Strombedarfs mit PV
PV 0,4 ST	Annahmen von PV 0,4 + Zwang zu Solarthermie-Nutzung
ST	Basis + Zwang zu Solarthermie-Nutzung

Annahme für alle: energetische Sanierung Wohngebäude (1/3 hoher Standard, 1/3 mittlerer Standard)

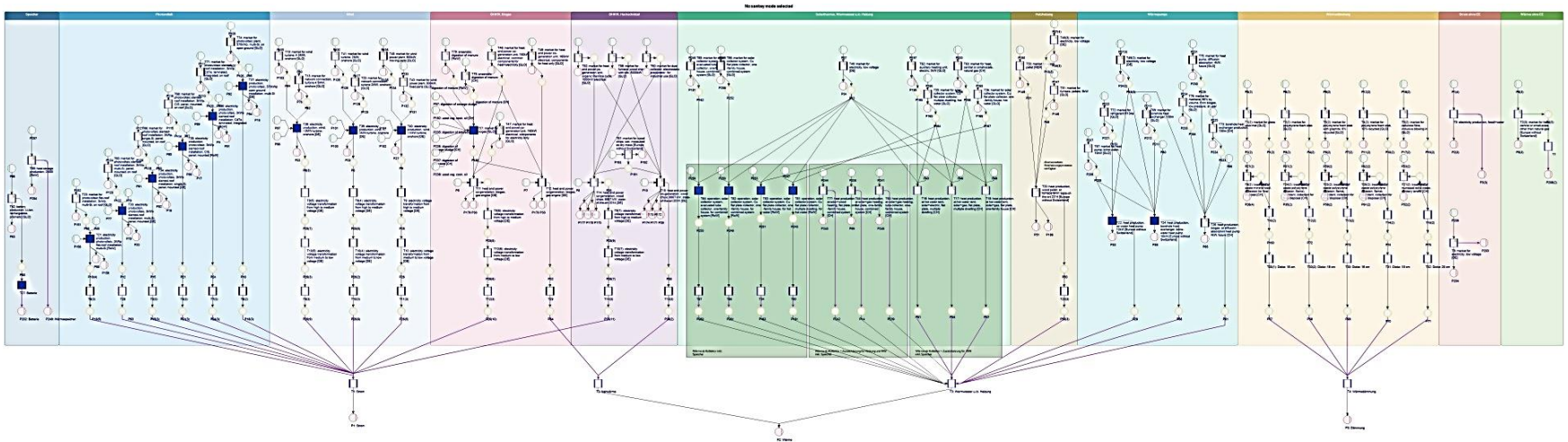


PV=Photovoltaik, ST=Solarthermie, bau=business as usual

ENsource
Zentrum für angewandte Forschung
Urbane ENergiesysteme und Ressourceneffizienz

Bewertung Ressourcenaufwand (RA)

- Bewertung in Anlehnung an VDI-Richtlinie 4800, Blatt 2
  → Lebenszyklusansatz
  → 14 Indikatoren
- Parametrisiertes Energie- und Stoffstrommodell in Umberto LCA+ aus ecoinvent-Datensätzen aufgebaut
- Speisung mit Parametern und Energiemengen der optimierten Szenarien



ENsource
Zentrum für angewandte Forschung
Urbane ENergiesysteme und Ressourceneffizienz

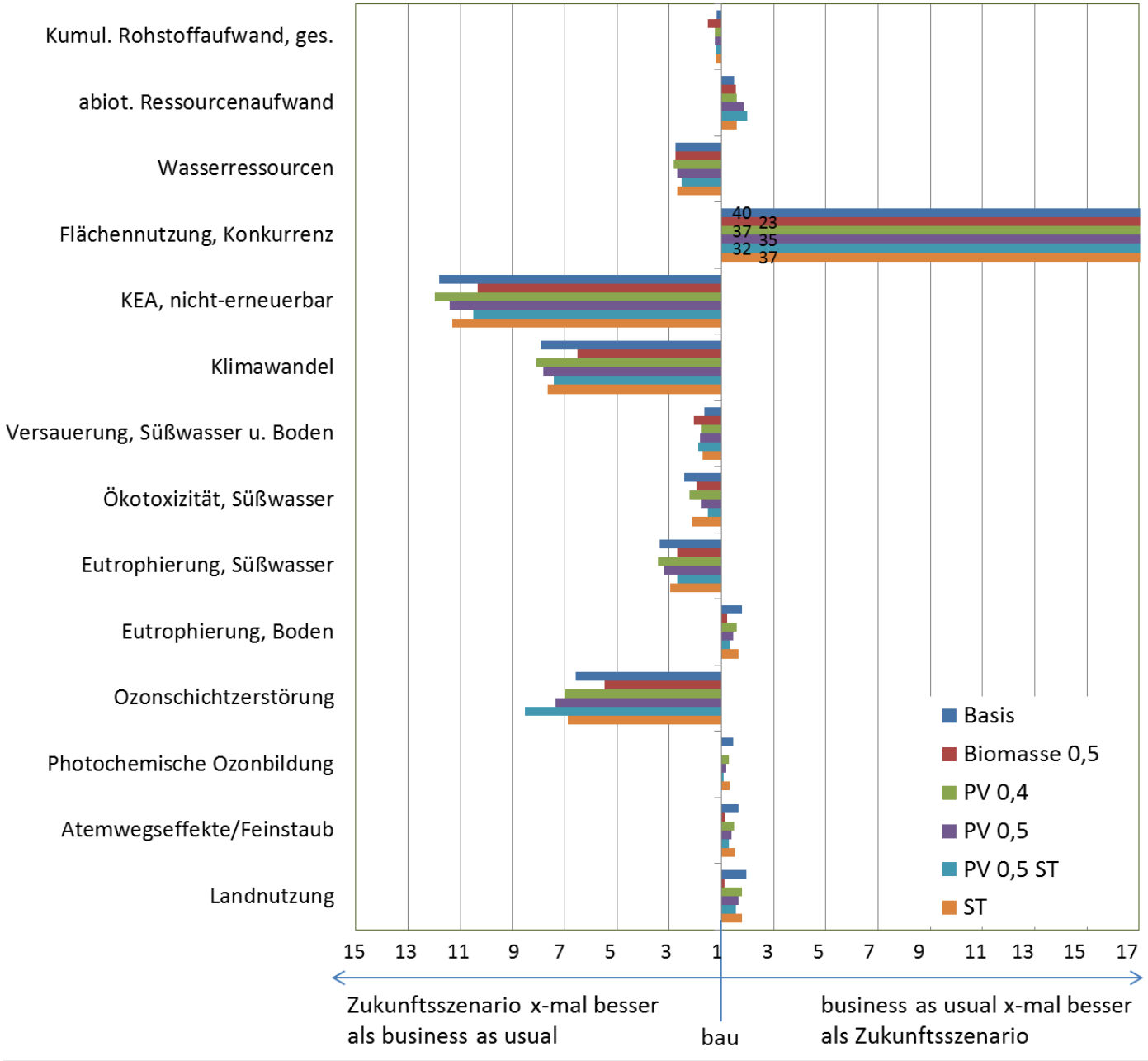
Untersuchungsrahmen Ressourcenaufwand

- Vergleichseinheit für Szenariovergleich: Strom- u. Wärmebedarf für ein Jahr
- Strom-Zukauf: zukünftiger Strommix 2035[1]
- Biogas nur aus Reststoffen; geschlossene Nachrotte
- Vergleich zu „Business as usual“-Szenario
  (Strom: 100 % Zukauf, Wärme: viel Öl-, etwas Gas-Kessel)

[1] Szenario „Mit weiteren Maßnahmen“ nach Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Projektionsbericht 2015 - gemäß Verordnung 525/2013/EU. März 2015, Berlin, 2015.

Ergebnisse Ressourcenaufwands-bewertung

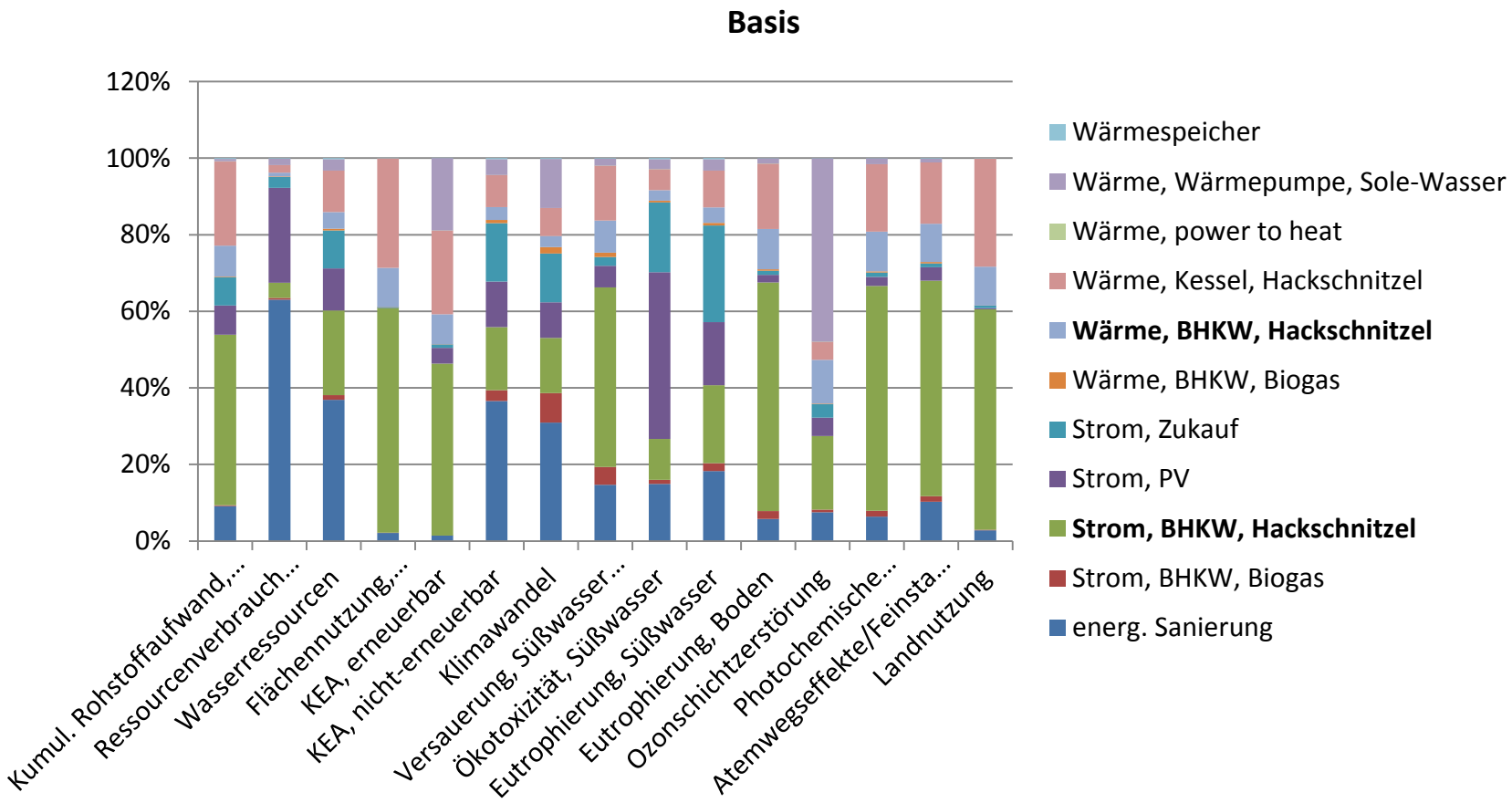
- Darstellung: Verbesserung/Verschlechterung im Vergleich zum business as usual (bau)
- Szenario Biomasse 0,5 zeigt geringere Verschlechterungen, aber auch geringere Verbesserungen
- Mehr PV tendenziell gut
- Solarthermie tendenziell gut



Analyse der Beiträge im Basis-Szenario

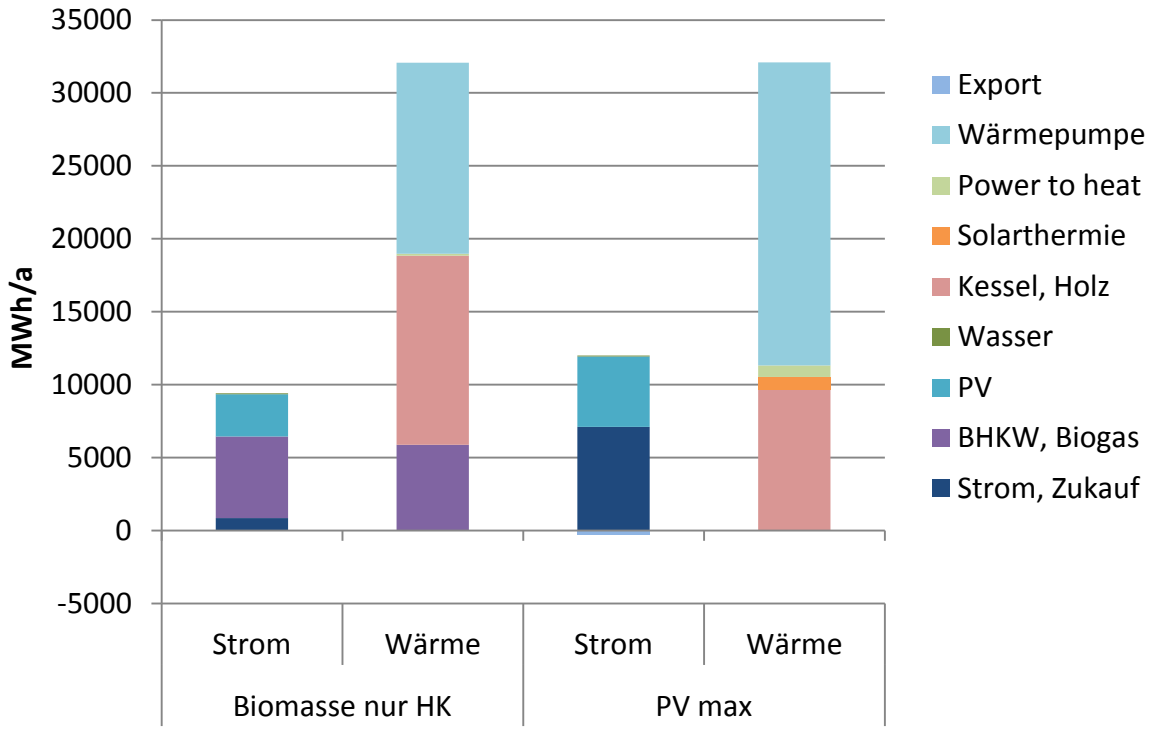
Hackschnitzel-BHKW

- verursacht in vielen Kategorien die höchsten Wirkungen,
- obwohl Anteil an Erzeugung nicht am höchsten



Szenarienentwicklung und -Berechnung – zweiter Satz

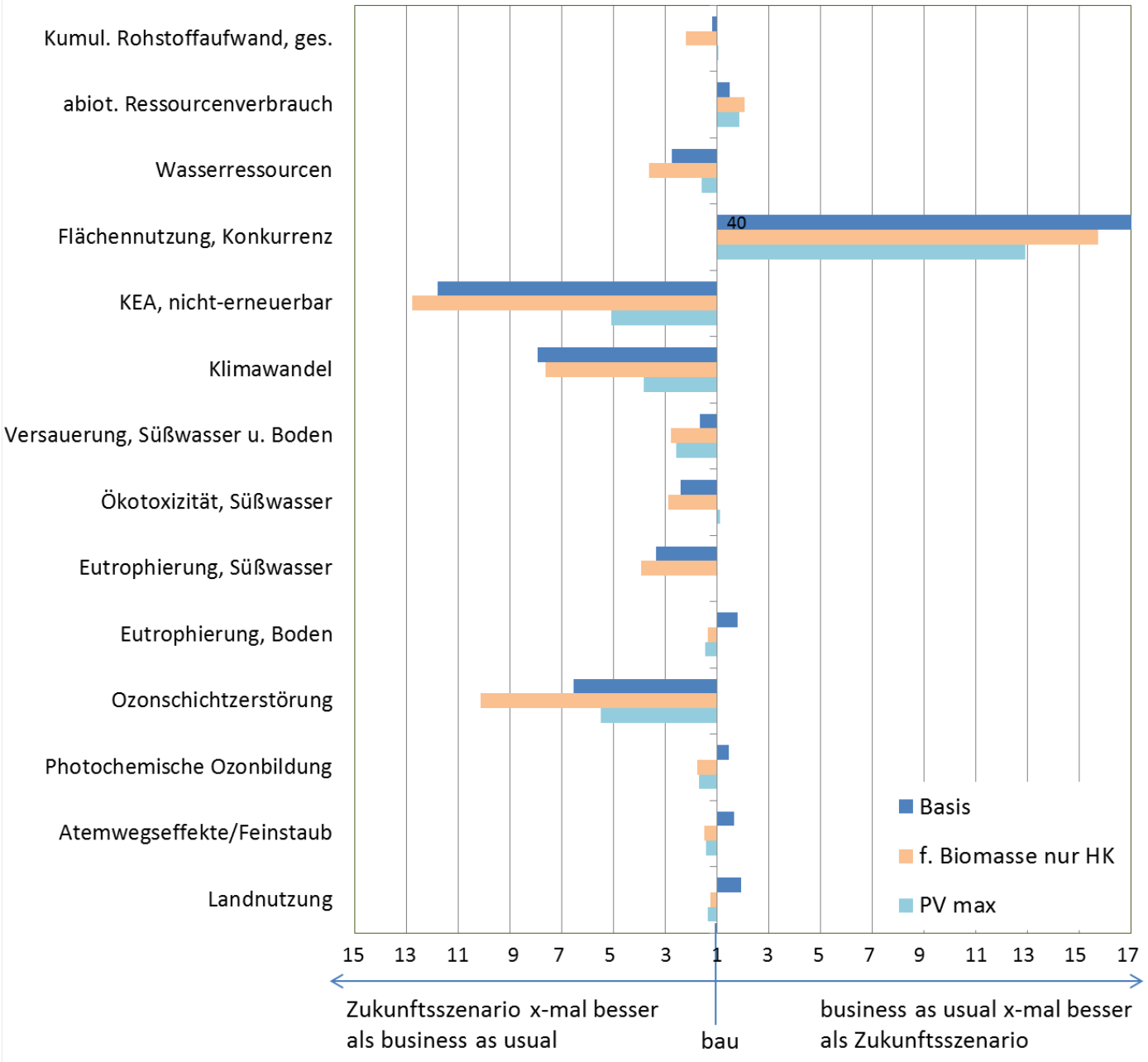
- Szenario feste Biomasse nur Heizkessel: **Verzicht auf Holz-BHKW**, Holz nur für Heizkessel
- Szenario PV max: **Verzicht auf alle BHKW**, so dass PV-Nutzung zur Stromerzeugung so weit erhöht wird, bis teurer als Zukauf; Solarthermie wird erzwungen



PV=Photovoltaik, f. Biomasse nur HK= feste Biomasse nur Heizkessel, bau=business as usual

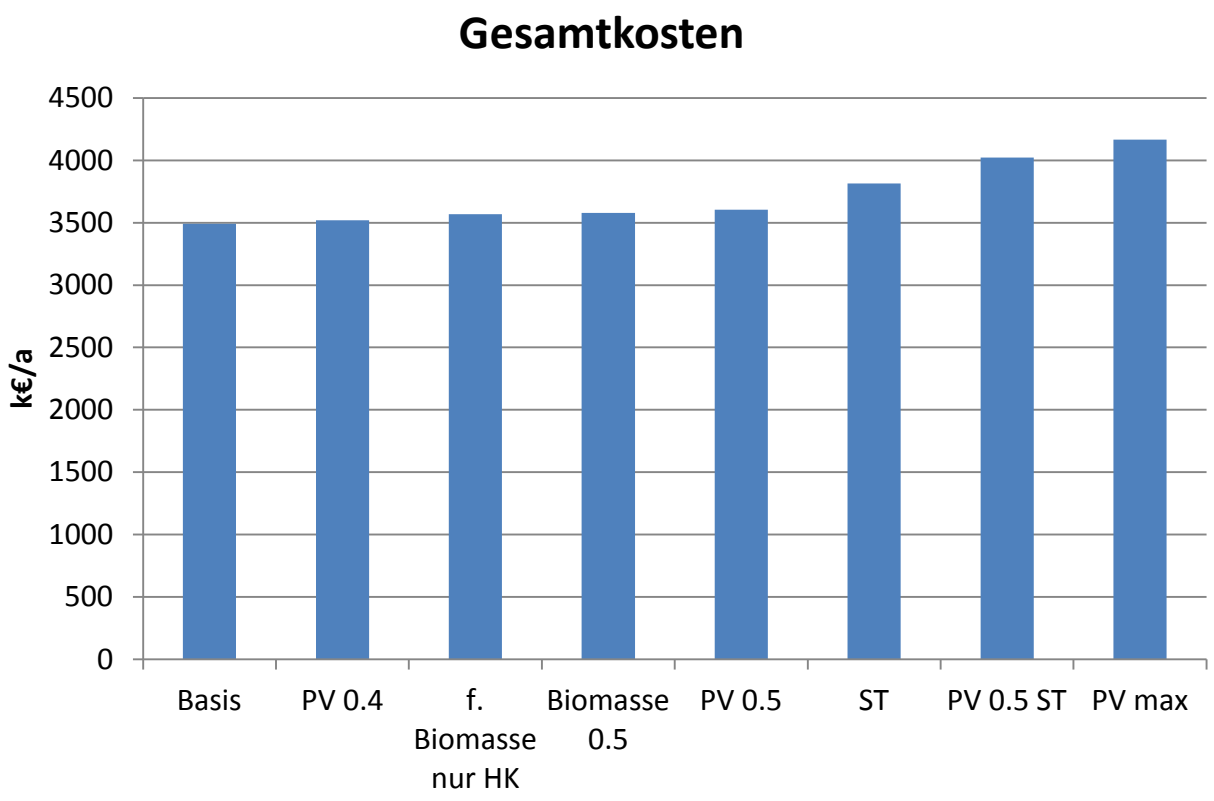
Ergebnisse Ressourcenaufwands-bewertung

- Verschlechterungen bei Ressourcenaufwänden können durch veränderte Restriktionen weiter reduziert werden



Kosten

- Szenario mit größter Treibhaus-gasreduktion (PV 0,4) verursacht nur minimal höhere Kosten als kostenoptimales Szenario (Differenz der Treibhausgasemissionen auch nur gering)
- Vergleichsweise ressourcen-effizientes Szenario (feste Biomasse nur Heizkessel) verursacht 3 % höhere Kosten; PV max allerdings 19 % höher



ENsource
Zentrum für angewandte Forschung
Urbane ENergiesysteme und Ressourceneffizienz

Zusammenfassung und Fazit

- Deutliche Verlagerung von Umweltwirkung nur im Bereich Flächeninanspruchnahme
- Teilweise deutliche Verbesserungen
- Reduktion von Holznutzung verringert Nachteile
- Empfehlung für kosten- und ressourcengünstiges EES möglich
- Ressourceneffizientestes Szenario bleibt durch sequentielle Anwendung von Optimierung und RA-Bewertung unbekannt
- Engere Verknüpfung wünschenswert, aber nicht zulasten der Transparenz

EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung

EFRE
Investition in Ihre Zukunft.

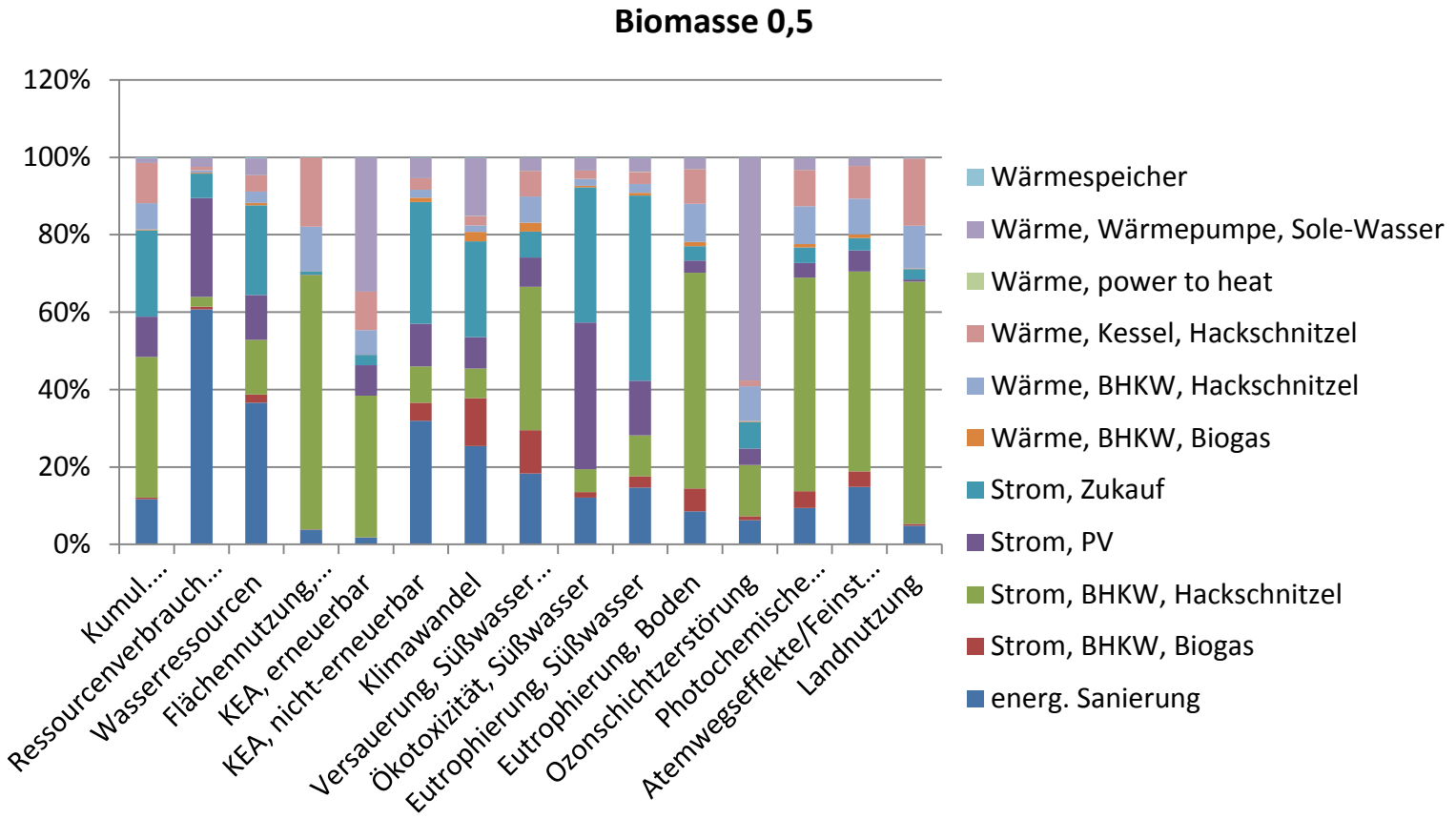
Baden-Württemberg

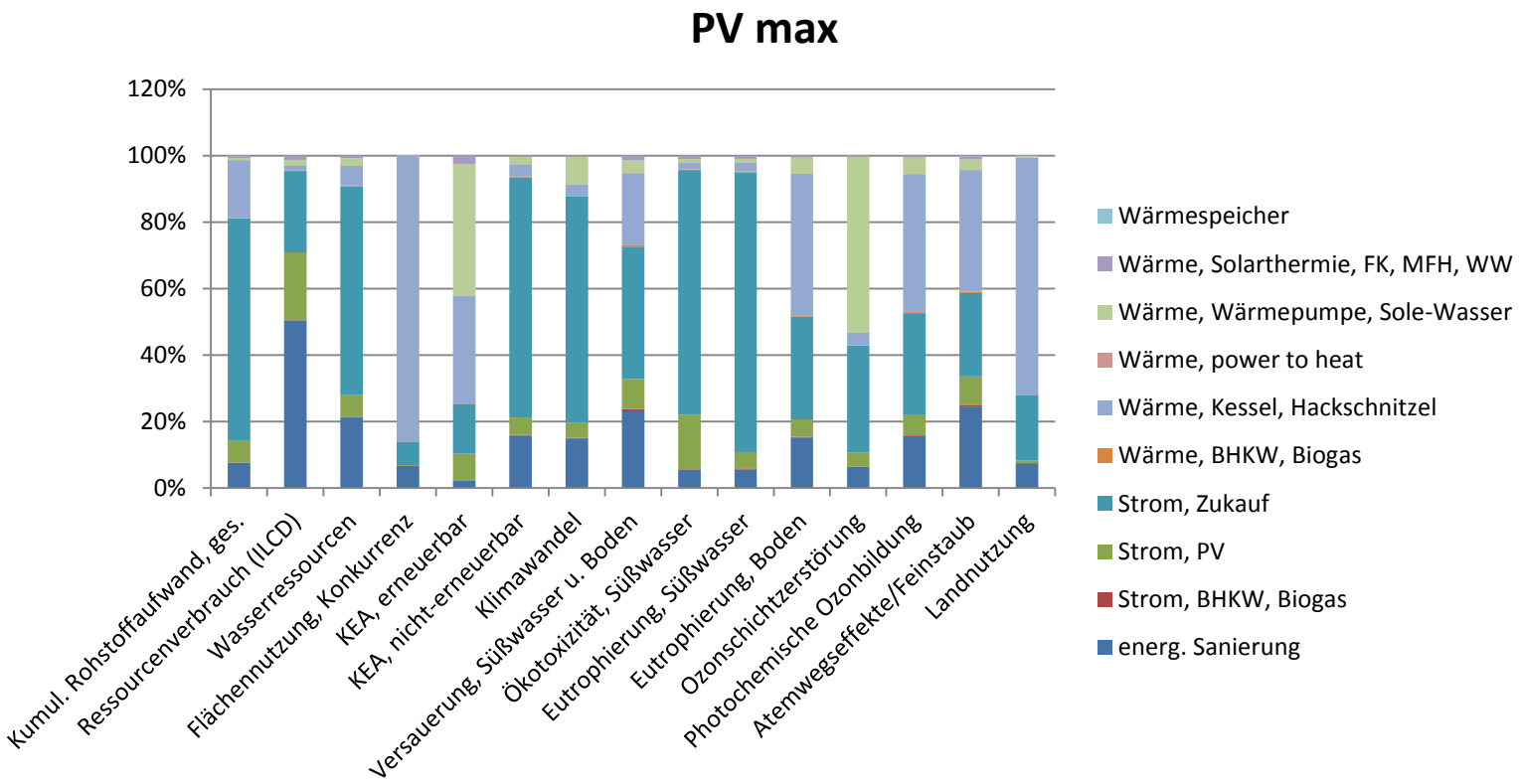
Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Kontakt: heidi.hottenroth@hs-pforzheim.de

besuchen Sie die ENsource Webseite
www.ensource.de

Das Projekt ENsource wird gefördert durch das Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg und dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE). Aktenzeichen: FEIH_ZAFH_562822.
Partner: *HFT Stuttgart / HS Aalen / HS Biberach / HS Heilbronn / HS Mannheim / HS Pforzheim / HS Reutlingen / HS Rottenburg / Fraunhofer ISE / ITW / ZSW / KIT*


Biomasse 0,5
120%
100%
80%
60%
40%
20%
0%
Kumul....
Ressourcenverbrauch...
Wasserressourcen
Flächennutzung,...
KEA, erneuerbar
KEA, nicht-erneuerbar
Klimawandel
Versauerung, Süßwasser...
Ökotoxizität, Süßwasser
Eutrophierung, Süßwasser
Eutrophierung, Boden
Ozonschichtzerstörung
Photochemische...
Atemwegseffekte/Feinst...
Landnutzung
Wärmespeicher
Wärme, Wärmepumpe, Sole-Wasser
Wärme, power to heat
Wärme, Kessel, Hackschnitzel
Wärme, BHKW, Hackschnitzel
Wärme, BHKW, Biogas
Strom, Zukauf
Strom, PV
Strom, BHKW, Hackschnitzel
Strom, BHKW, Biogas
energ. Sanierung


PV max
120%
100%
80%
60%
40%
20%
0%
Kumul. Rohstoffaufwand, ges.
Ressourcenverbrauch (ILCD)
Wasserressourcen
Flächennutzung, Konkurrenz
KEA, erneuerbar
KEA, nicht-erneuerbar
Klimawandel
Versauerung, Süßwasser u. Boden
Ökotoxizität, Süßwasser
Eutrophierung, Süßwasser
Eutrophierung, Boden
Ozonschichtzerstörung
Photochemische Ozonbildung
Atemwegseffekte/Feinstaub
Landnutzung
Wärmespeicher
Wärme, Solarthermie, FK, MFH, WW
Wärme, Wärmepumpe, Sole-Wasser
Wärme, power to heat
Wärme, Kessel, Hackschnitzel
Wärme, BHKW, Biogas
Strom, Zukauf
Strom, PV
Strom, BHKW, Biogas
energ. Sanierung

Vergleich Strommixe

Nettostromerzeugung	Ecoinvent (2012)	Anteil in 2035
Kernenergie	14,4%	0,0%
Braunkohle	23,1%	11,3%
Steinkohle	16,7%	9,8%
Erdgas	10,9%	13,4%
Öl	1,1%	0,0%
Gichtgas	1,2%	1,1%
Kokereigas	0,3%	0,4%
Müll	1,8%	0,9%
Sonstige	0,0%	0,2%
Erneuerbare		
Wasser	3,2%	4,5%
Wind onshore	7,5%	31,7%
Wind offshore	0,2%	10,2%
PV	5,6%	10,9%
Biogas	4,3%	1,1%
Biomasse	1,9%	2,6%
Geothermie	0,0%	1,1%
Pumpspeicher	1,0%	0,7%
Importe	6,7%	
	100%	100%