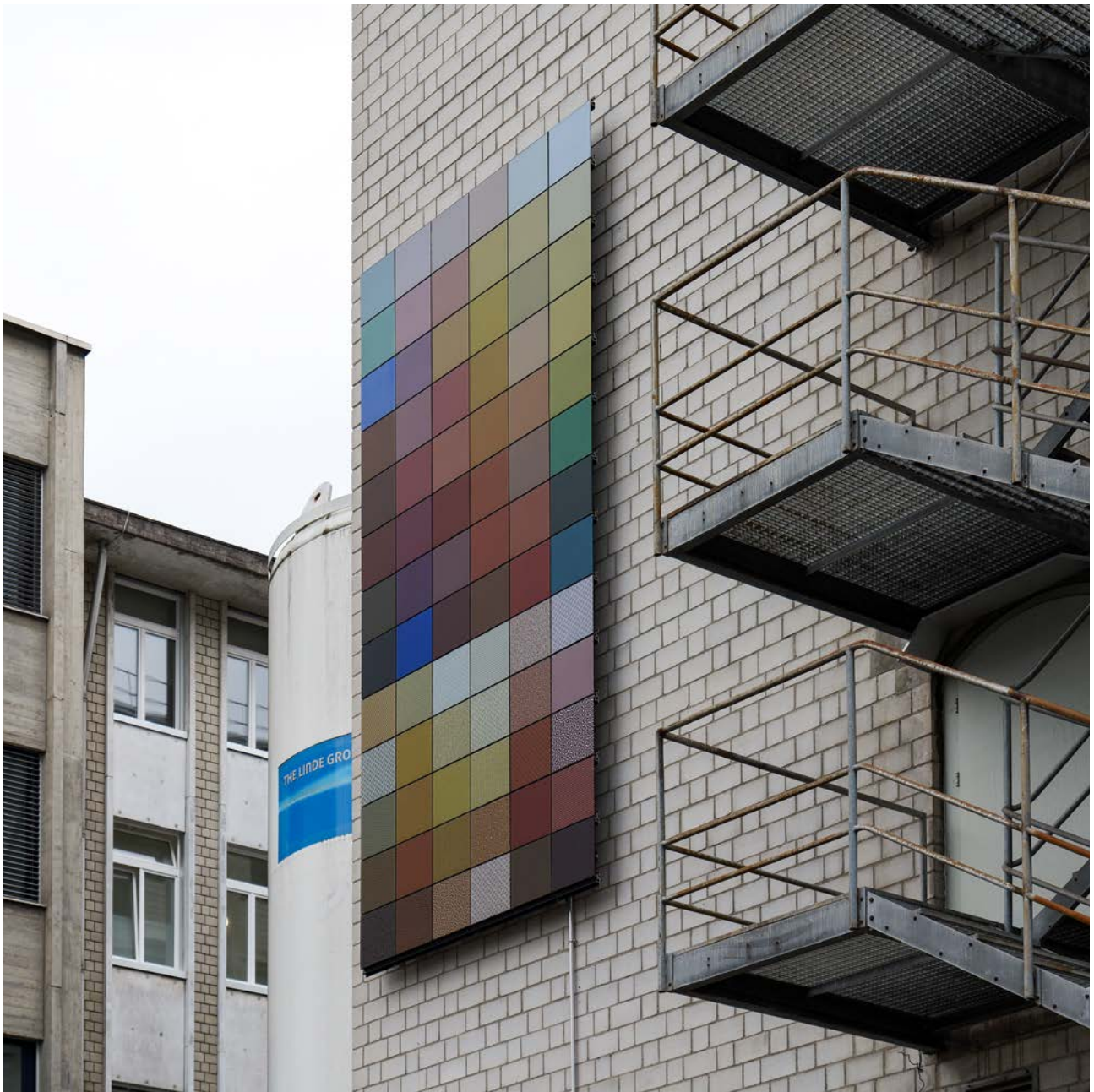


Solar Design Tools

Gestaltungspotenziale für integrierte
Solartechnologie im Gebäudebestand



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra
Swiss Confederation
Innosuisse – Swiss Innovation Agency

HSLU Hochschule
Luzern

VISION

Mit dem zunehmenden wirtschaftlichen und gestalterischen Reifegrad von Photovoltaikmodulen steigt deren Einsatzpotenzial in den Gebäudebestand – damit wird ein substanzieller Beitrag zur Erreichung der Klimaziele geleistet.



Abb. 1 Visuelle Recherche Architekturfarben (HSLU, 2023)



Abb. 2 Visuelle Recherche Diversität der Dachlandschaften (HSLU, 2023)



Abb. 3 Recherche bestehender Solaranlagen (unsplash, 2024)

1 AUSGANGSLAGE

In der dicht besiedelten Schweiz spielt die Nutzung von Dach- und Fassadenflächen für die Solarstromerzeugung eine zentrale Rolle. Sie ermöglicht eine dezentrale Energieversorgung direkt am Ort des Verbrauchs. Laut dem Bundesamt für Energie (BFE) könnten geeignete Flächen jährlich bis zu 67 Terawattstunden (TWh) Solarstrom liefern – mehr als der derzeitige Stromverbrauch des Landes. Eine Studie der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) bestätigt dieses enorme Potenzial und schätzt allein die Dachflächenkapazität auf rund 54 TWh pro Jahr.

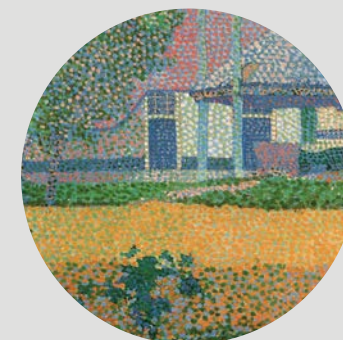
Während Solaranlagen auf Dächern technisch vergleichsweise einfach zu realisieren sind, stellen Fassadenanlagen deutlich höhere Anforderungen – sowohl technisch als auch gestalterisch. Diese Komplexität erschwert nicht nur die Genehmigungsverfahren, sondern bremst auch die flächendeckende Umsetzung. Genau hier setzt Solar Design Tools an: Das Projekt unterstützt Architekt:innen, Planer:innen und Bauherr:innen dabei, Solaranlagen gestalterisch hochwertig und gleichzeitig energetisch effizient in Dächer und Fassaden zu integrieren.

Vor dem Hintergrund der Energiestrategie 2050 und des steigenden Bedarfs an erneuerbaren Energien ist es entscheidend, die gesellschaftliche Akzeptanz von Photovoltaik

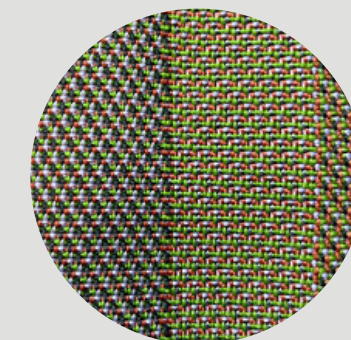
zu stärken – insbesondere in städtebaulich sensiblen oder historischen Kontexten. Der Global Status Report for Buildings and Construction der Internationalen Energieagentur (IEA) aus dem Jahr 2019 weist in diesem Zusammenhang auf eine ausgeprägte Diffusionslücke hin – also auf die Differenz zwischen technischem Potenzial und tatsächlicher Umsetzung. Um diese Lücke zu schliessen, fordert die IEA systemische und kollaborative Innovationsprozesse sowie einen intensiven Wissenstransfer.

Konventionelle, schwarze Solarmodule stossen dabei oft auf ästhetische Vorbehalte, da sie sich nur schwer in das Orts- oder Stadtbild einfügen lassen. Eine vielversprechende Alternative bietet der farbige Keramikdruck auf Solarglas. Doch bisher war dessen Einsatz mit hohem Planungsaufwand und Unsicherheiten hinsichtlich möglicher Effizienzverluste verbunden.

Solar Design Tools begegnet diesen Herausforderungen mit innovativen Planungsinstrumenten, die Farbgestaltung und Energieeffizienz vereinen. Durch optische Farbmischungen und modulare Gestaltungskonzepte lassen sich Solaranlagen harmonisch und ortsbildgerecht in bestehende Bauten integrieren. Damit leistet das Projekt einen wichtigen Beitrag zu einer attraktiven, nachhaltigen und breit akzeptierten Nutzung von Solarenergie im Bausektor.



Pointillismus
Batavisches Bauernhaus,
Johan Joseph Aarts (1895)



Farbmischung Gewebe
Atelier objects.projects,
Cenk Kivrikoglu, Brüssel



Bauhaus Kreisel
optischer Farbmischer,
Entwurf Ludwig Hirschfeld-Mack

Abb. 4 Die Methode der optischen Farbmischung ermöglicht vielfältige Farbgestaltungen (HSLU, 2025)

Basierend auf diesen Erkenntnissen wurden drei neue Farbkarten mit vorläufig 204 ausgewählten Farben entwickelt und auf Glas gedruckt. Sie unterscheiden sich sowohl hinsichtlich ihrer Farbsättigung als auch ihrer relativen Energieeffizienz.

Der eingesetzte digitale Keramikdrucker verfügt über sechs Grundfarben, was für eine präzise farbliche Anpassung an unterschiedlichste Umgebungen nicht ausreicht. Um das Farbspektrum zu erweitern, wurde die gestalterische Strategie der optischen Farbmischung angewendet. Dabei werden zwei oder mehr Farben in Form feiner Punktmuster nebeneinander angeordnet, sodass sie aus gewisser Betrachtungsdistanz visuell zu einer einheitlichen Mischfarbe verschmelzen.

Dieses Verfahren ist aus der bildenden Kunst sowie dem Textildesign bekannt. Ein klassisches Beispiel für das Prinzip stellt die rotierende Farbscheibe dar, bei der durch schnelle Bewegung verschiedene Farben zu einer visuellen Farbmischung verschmelzen. (vgl. Abbildung 4)

Ein zusätzlicher gestalterischer Mehrwert ergibt sich aus der entstehenden Oberflächenwirkung: Die gezielt eingesetzte Rasterung erzeugt eine visuelle Tiefe und Lebendigkeit, die sich deutlich von der homogenen Erscheinung einfarbiger Photovoltaik-Module abhebt.

- Sunage AG
- Plan-E AG
- BE Netz AG
- Flumroc AG
- Verkehrshaus der Schweiz
- Hotel Drei Könige Luzern AG

- Lead: Hochschule Luzern – Design Film Kunst, Forschungsgruppe Produkt & Textil (Projektleitung)
- Hochschule Luzern – Technik & Architektur
- Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana SUPSI

- Innosuisse – Schweizerische Agentur für Innovationsförderung

Projektvolumen: 600 000 CHF

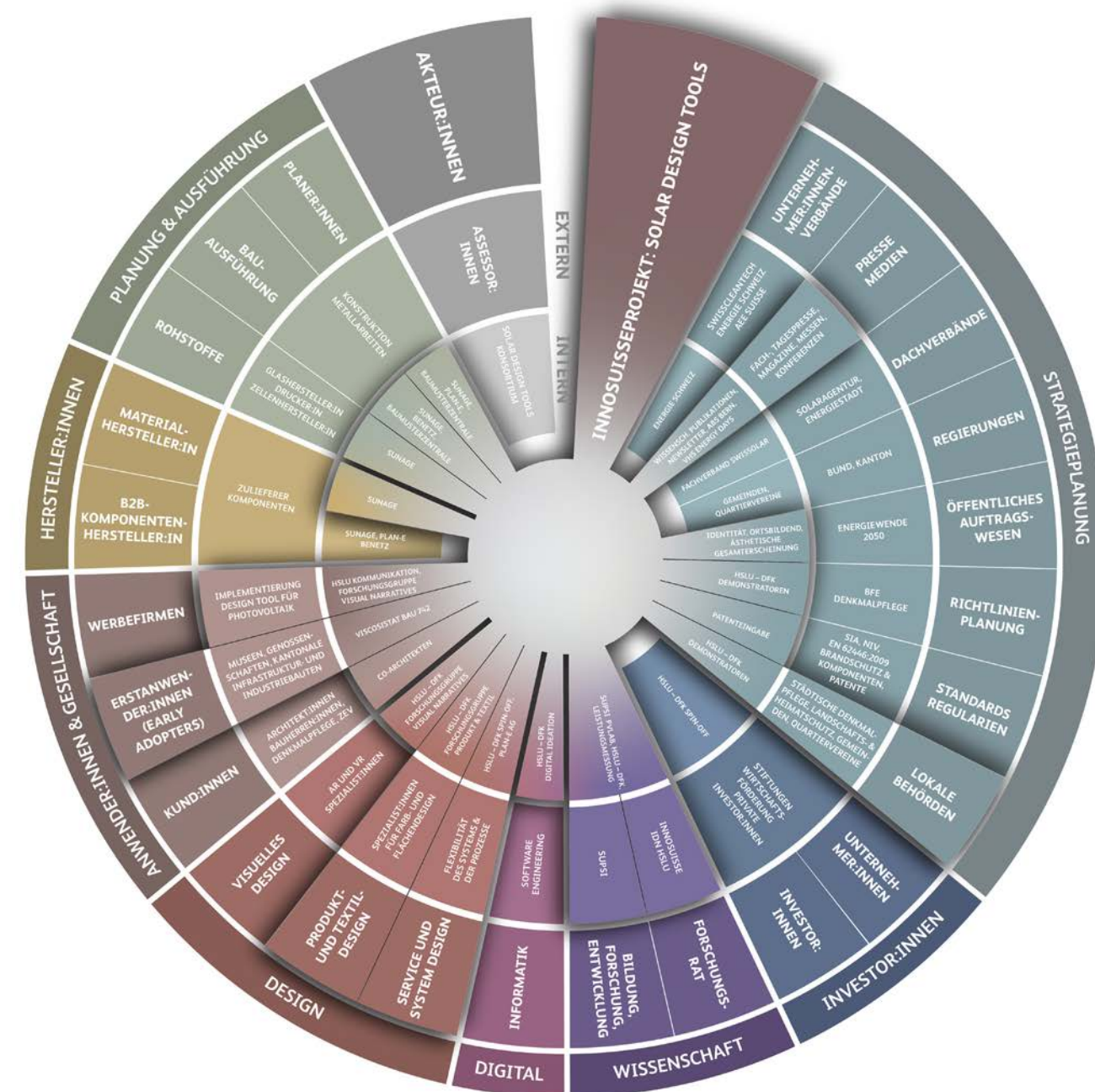


Abb. 5 Stakeholderanalyse (HSLU, 2023)

Datenerhebung und Evaluation

Die entwickelten Photovoltaik-Farbkarten wurden im akkreditierten PVLab der SUPSI auf ihre energetische Leistungsfähigkeit hin getestet. Die definierten Zielgrößen wurden durch die Messreihen des PVLab sowie der Hochschule Luzern – Technik & Architektur validiert. Die Ergebnisse zeigten, dass die Kombination verschiedener Farbtönen auf einem Photovoltaikmodul keinen signifikanten zusätzlichen Effizienzverlust gegenüber einfarbiger Varianten verursacht. Die Abweichung zwischen den modellierten und gemessenen Leistungswerten lag bei maximal $\pm 3\%$.

Zudem wurden zwei Dachflächen in städtebaulich sensiblen Kontexten als reale Anwendungsbeispiele gestaltet und hinsichtlich ihrer ästhetischen Wirkung evaluiert. Architekt:innen, Solarplaner:innen sowie interessierte Bürger:innen bewerteten die vorgeschlagenen Farbkonzepte im Rahmen einer quantitativen Befragung. Die Ergebnisse zeigten eine überwiegend positive Resonanz. Die Designs wurden als gestalterisch gelungen und mit dem urbanen Umfeld weitgehend kompatibel eingeschätzt.

Proof of Concept

Ein zentraler Aspekt des Projektes war der intensive interdisziplinäre Austausch zwischen Gestalter:innen der angewandten Forschung, der Denkmalpflege und den industriellen Partnern. Dieser Austausch ermöglichte die Realisierung von zwei Anwendungsbeispielen im sensiblen Baukontext sowie einer Demonstrationswand mit einer 78-teiligen Solar-Design-Farbkarte und integriertem Datentracking zur Wissensvermittlung.

An der Hochschule Luzern – Design Film Kunst setzten sich zudem Bachelorstudierende der Studienrichtung Textildesign mit einer 80-teiligen PV-Farbkarte auseinander. Sie entwickelten Konzepte und Entwürfe für die Anwendung an Gebäuden und Infrastrukturbauten. Zwei Studierende konnten eine farbige Photovoltaik-Fassade für ein Gebäude auf dem Viscosiareal realisieren. Damit demonstrierten sie das gestalterische Potenzial und die Vielseitigkeit modularer Photovoltaiklösungen.



Abb. 6 Farbevaluation während des Stakeholderworkshops (HSLU, 2023)

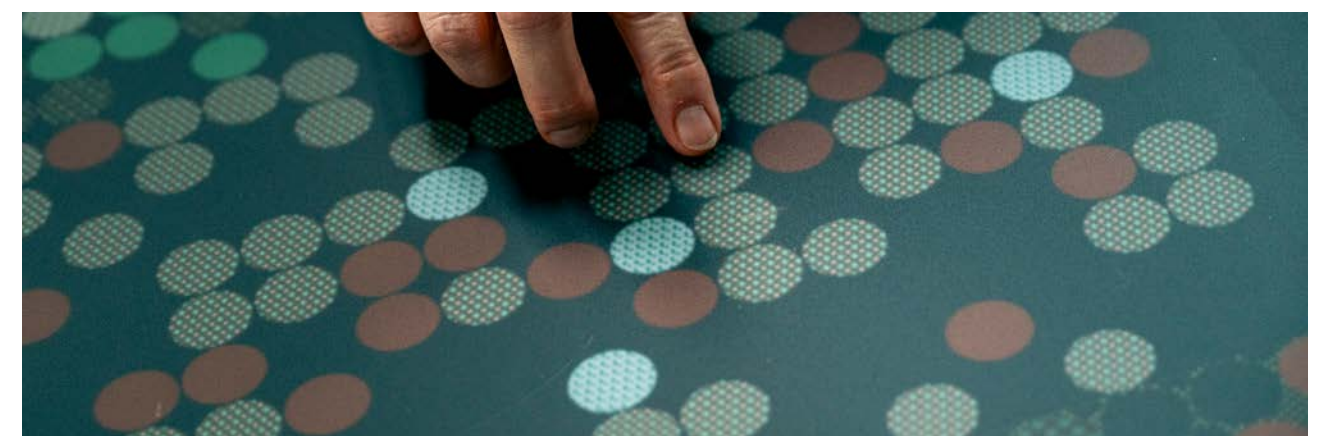


Abb. 7 Testdrucke auf Glas für das Hotel Drei Könige (HSLU, 2024)



Abb. 8 Farbabstufungen durch optische Farbmischungen (HSLU, 2023)



Abb. 9 Nahaufnahme von Rasterungen für Farbmischungen (HSLU, 2023)

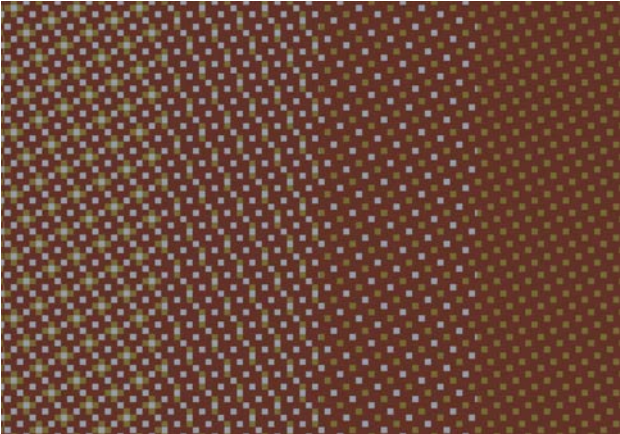


Abb. 10 Digitale Umsetzung von Farbnuancen (HSLU, 2023)

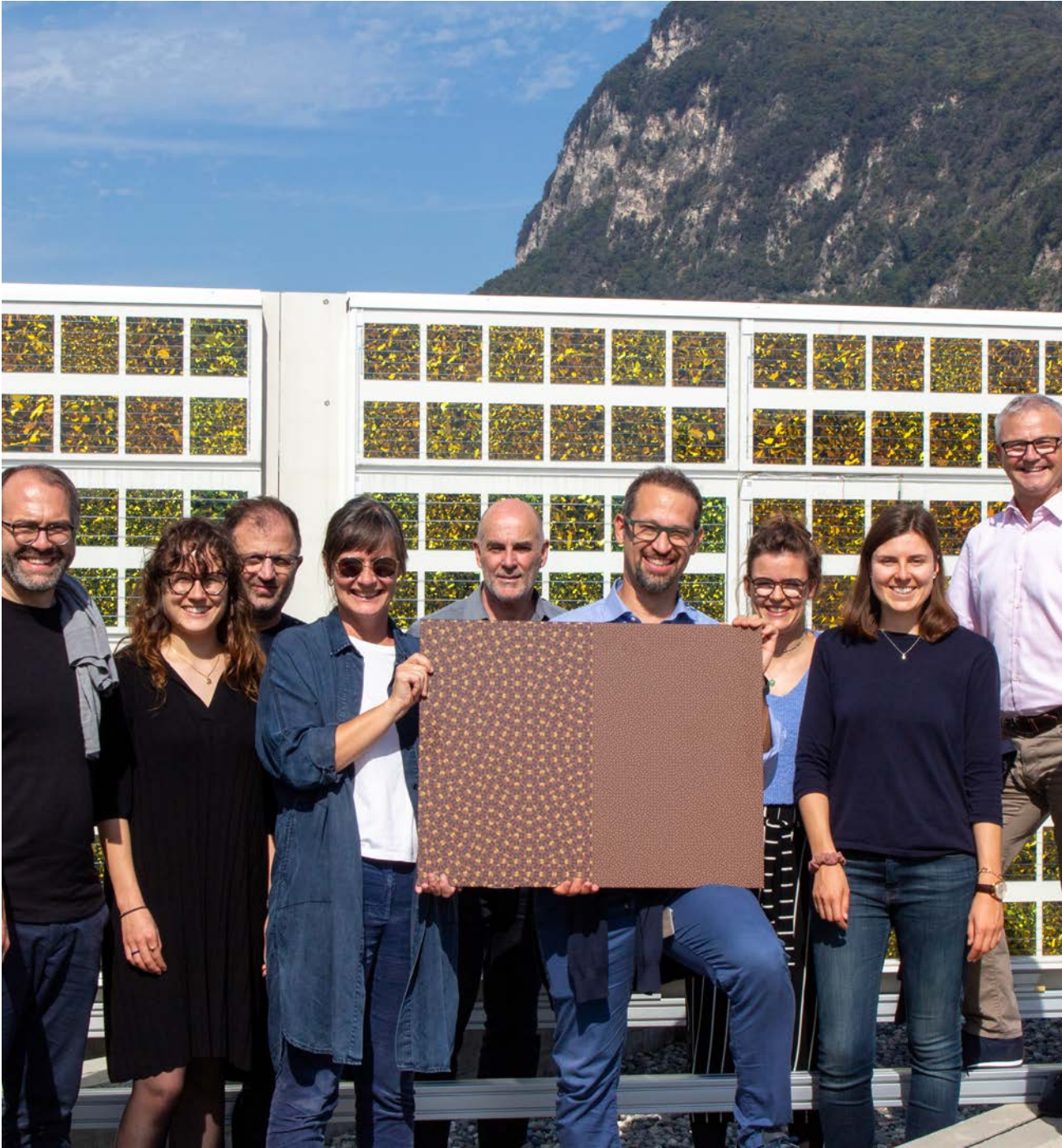


Abb. 11 Projektgruppe mit dem ersten Testdruck auf Glas (HSLU, 2023)



Abb. 12 Farbabgleich der Module mit dem Natural Colour System NCS (HSLU, 2024)

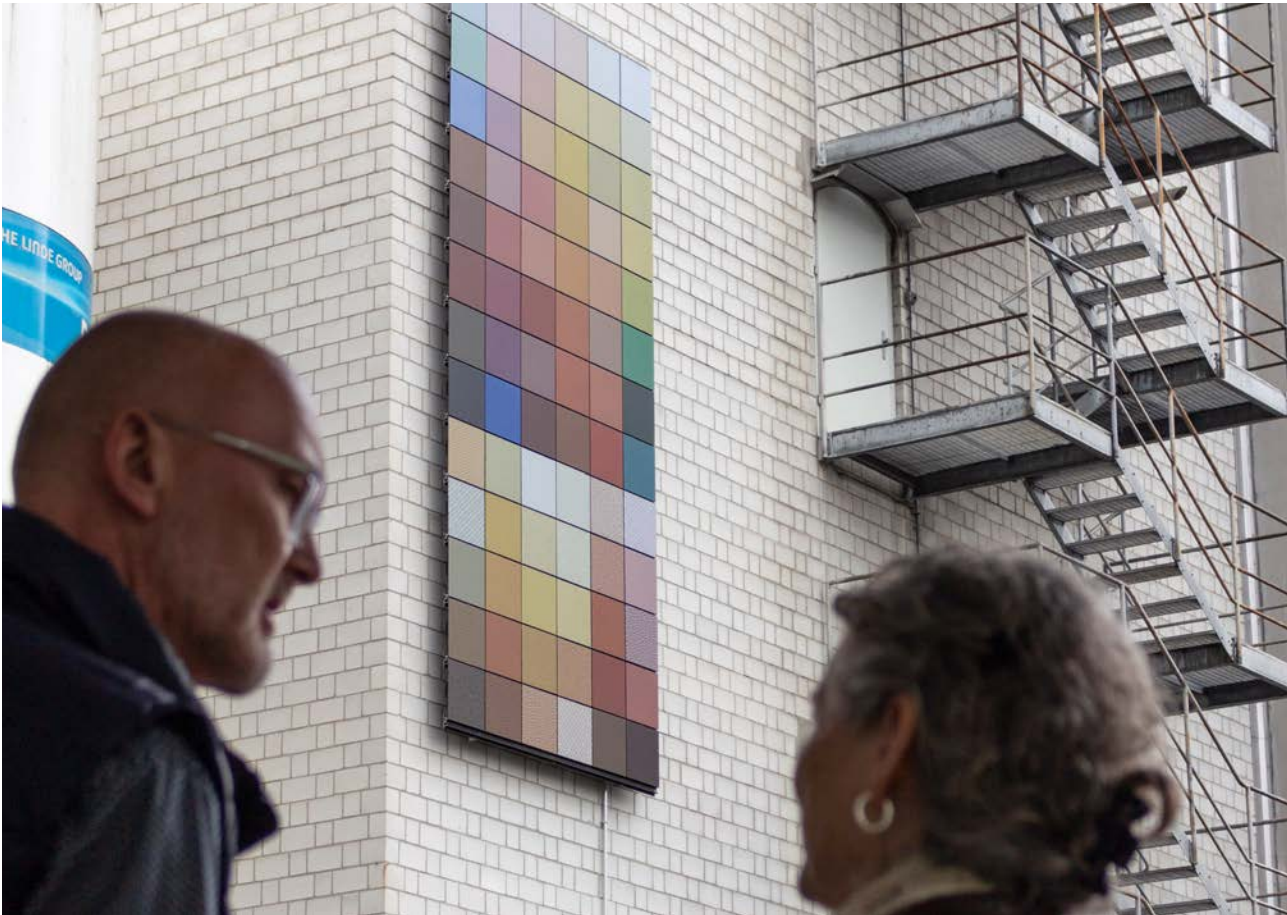


Abb. 13 Demowand mit 78 verschiedenfarbigen PV-Modulen (unterstützt durch die Viscosistadt AG und Monosuisse AG; HSLU, 2024)

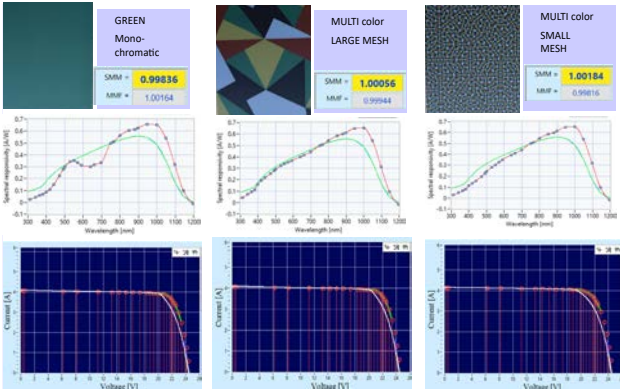


Abb. 14 Effizienzmessung von ein- und mehrfarbigen Modulen (SUPSI, 2025)



Abb. 15 Eröffnung der Demowand (HSLU, 2024)

3 FALLBEISPIELE



Abb. 16 Visualisierung Projekt PEG52 (HSLU, 2024)

Historisches Gebäude in der Basler Altstadt

Das erste Fallbeispiel bezieht sich auf ein historisches Gebäude in der Basler Altstadt, das umfassend saniert wird. Im Rahmen der Sanierung sind zahlreiche denkmalpflegerische Vorgaben zu berücksichtigen. Ein zentrales Anliegen bildet dabei die sorgfältige visuelle Eingliederung der baulichen Eingriffe in das bestehende historische Erscheinungsbild. Dieses Projekt dient als Pilotvorhaben, sowohl für das Forschungsprojekt als auch für die Bauherrschaft und die Denkmalpflege. Basierend auf einem Originalziegel des Gebäudes wurden aus der optischen Farbpalette des Forschungsprojektes geeignete Farbtöne ausgewählt. Mit diesen Farben wurden mehrere Flächenvarianten konzipiert, die zunächst auf Papier ausgedruckt und anschliessend auf das Dach ausgelegt wurden, um die visuelle Wirkung von verschiedenen Standpunkten aus zu beurteilen. In einem nächsten Schritt wurden zwei der überzeugendsten Entwürfe auf Photovoltaikmodule gedruckt und auf dem

Dach montiert. In enger Zusammenarbeit mit den Forschungspartnern entstanden rapportierbare Flächenkonzepte, die sowohl eine harmonische Integration in das historische Umfeld ermöglichen als auch ökonomische Effizienz gewährleisten.

Basierend auf gestalterischen Prinzipien des Textildesigns wurde eine differenzierte Strategie zur optimalen Platzierung der Module entwickelt. Dabei wurde analysiert, wie viele unterschiedliche Modultypen erforderlich sind, um die gesamte Dachfläche gestalterisch kohärent zu bedecken und zugleich störende Wiederholungen zu vermeiden. Der finale Entwurf zeigt, dass mit lediglich fünf Modultypen visuelle Unregelmässigkeiten im Muster effektiv ausgeglichen werden können, indem sie in einer fixen Reihenfolge verlegt, aber in jeder Reihe horizontal verschoben werden. Der Energieertrag liegt bei etwa 20 % unter jenem von konventionellen schwarzen Modulen.

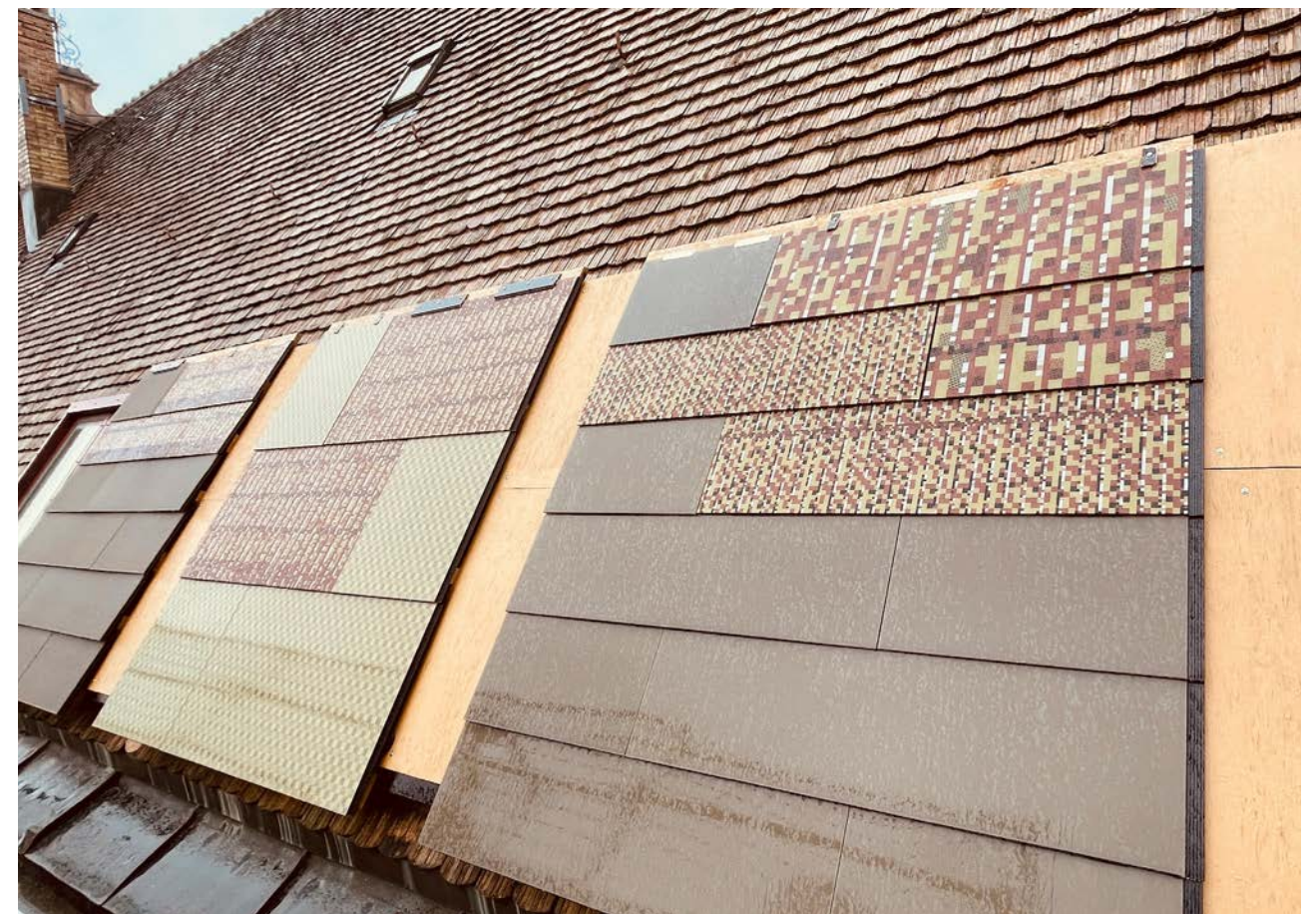


Abb. 17 Visuelle Beurteilung anhand von verschiedenen Mockups (HSLU, 2024)

Hotel Drei Könige, Luzern

Das Hotel Drei Könige ist als schützenswertes Gebäude eingestuft. Entsprechend hoch sind auch in diesem Fall die Anforderungen an die gestalterische Integration baulicher Massnahmen in das architektonische Gesamtbild.

Der Wunsch der Eigentümer, eine Photovoltaikanlage zu installieren, wurde bislang von der Denkmalpflege abgelehnt. Die nun verfolgte Strategie setzt auf einen eigenständigen gestalterischen Ansatz, der auf der Grundlage des bestehenden Ziegeldaches aus den 1990er-Jahren entwickelt wurde und sich harmonisch in die Dachlandschaft einfügt – ohne dabei die vorhandenen Ziegel direkt zu imitieren.

Das daraus resultierende Gestaltungskonzept umfasst drei unterschiedliche Modultypen, deren Kombination eine visuell lebendige und zugleich strukturierte Dachfläche erzeugt. Der Energieertrag liegt rund 10% unter demjenigen herkömmlicher schwarzer Module. Die Denkmalpflege wurde frühzeitig in den Prozess mit einbezogen. Das Baugesuch ist eingereicht.



Abb. 18 Installation des ersten Mockups, Hotel Drei Könige (HSLU, 2024)



Abb. 19 Visualisierung der geplanten Photovoltaik-Anlage (HSLU, Plan-E, 2024)

4 SOLAR DESIGN TOOLS

Resultate

Die entwickelten Solar-Farbkarten wurden mithilfe digitalen Keramikdrucks auf monokristalline Solarmodule aufgebracht. Auf der Basis der neu entwickelten Planungstools lassen sich sowohl Designprozesse effizienter steuern als auch die ästhetische Wirkung und der zu erwartende Energieertrag gezielt prognostizieren.

Die Messergebnisse zeigen, dass der Energieverlust – in Abhängigkeit von der verwendeten Farbpalette und der Druckgeschwindigkeit – zwischen 5% und 32% liegt. Grundsätzlich gilt: Je tiefer die Farbsättigung, desto höher der Energieertrag.

Zur Verbesserung der praktischen Anwendbarkeit in der Architekturpraxis wurden sämtliche entwickelten Solarfarben den jeweils bestmöglichen Entsprechungen im Natural Colour System (NCS) zugeordnet. Dadurch wird eine nahtlose Integration in etablierte Planungsprozesse ermöglicht.

- Drei Solarfarbkarten mit Effizienzniveaus von 80% RE, 74% RE und 66% RE, verglichen mit schwarzen Modulen (± 10%, je nach Druckgeschwindigkeit)
- Solarfarbkarten, abgeglichen mit NCS-System
- Realisierung einer Demowand mit 78 Farben auf dem Campus der HSLU – DFK (Farbkarte mit 74% RE)
- Proof of Concept:
 1. Umsetzung von zwei Dachlösungen in baulich sensibler Umgebung
 2. Umsetzung einer Fassadenlösung in der Viscosistadt.

Alleinstellungsmerkmale von Solar Design Tools (SDT)

Solar Design Tools vereint sowohl technische als auch gestalterische Vorteile und eignet sich insbesondere für die Integration von Photovoltaik in architektonisch und denkmalpflegerisch anspruchsvolle Kontexte. Eine der zentralen Stärken ist die umfangreich verfügbare Farbpalette mit über 1000 Farbtönen.

Ein herausragendes Merkmal des Verfahrens ist die Kombinierbarkeit aller Farben mit identischer Energieeffizienz innerhalb eines Moduls. Das erlaubt die Gestaltung individueller Mischfarben für strukturierte Flächen auf energetisch gleichem Niveau. Solar Design Tools basiert auf einem geschützten Verfahren und erlaubt die Entwicklung massgeschneiderter Oberflächenlösungen. Zudem trägt die präzise Vorhersagbarkeit sowohl der visuellen Farbwirkung («What You See Is What You Get») als auch der zu erwartenden Energieleistung massgeblich zur deutlichen Vereinfachung der Planungs- und Entscheidungsprozesse bei.

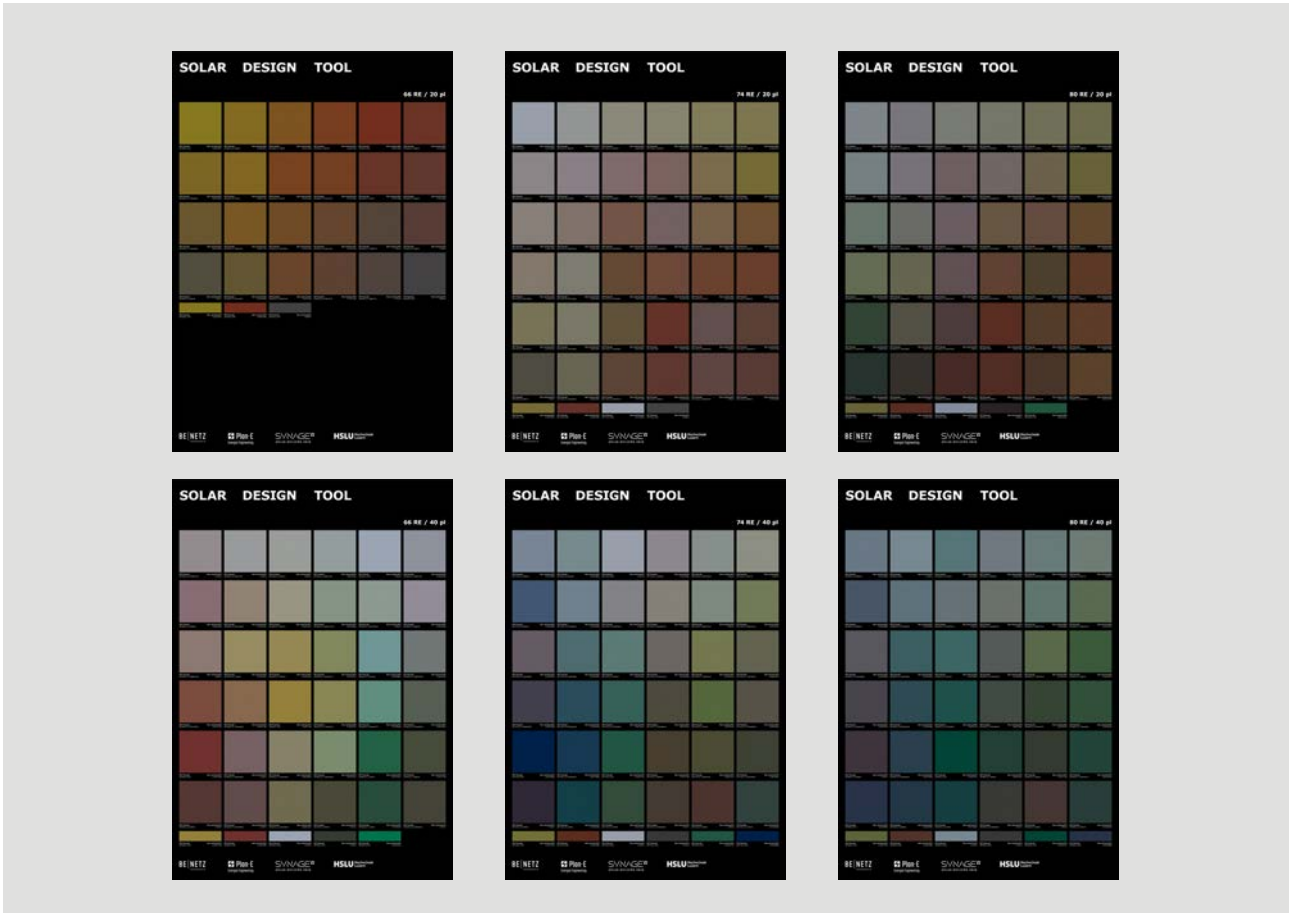
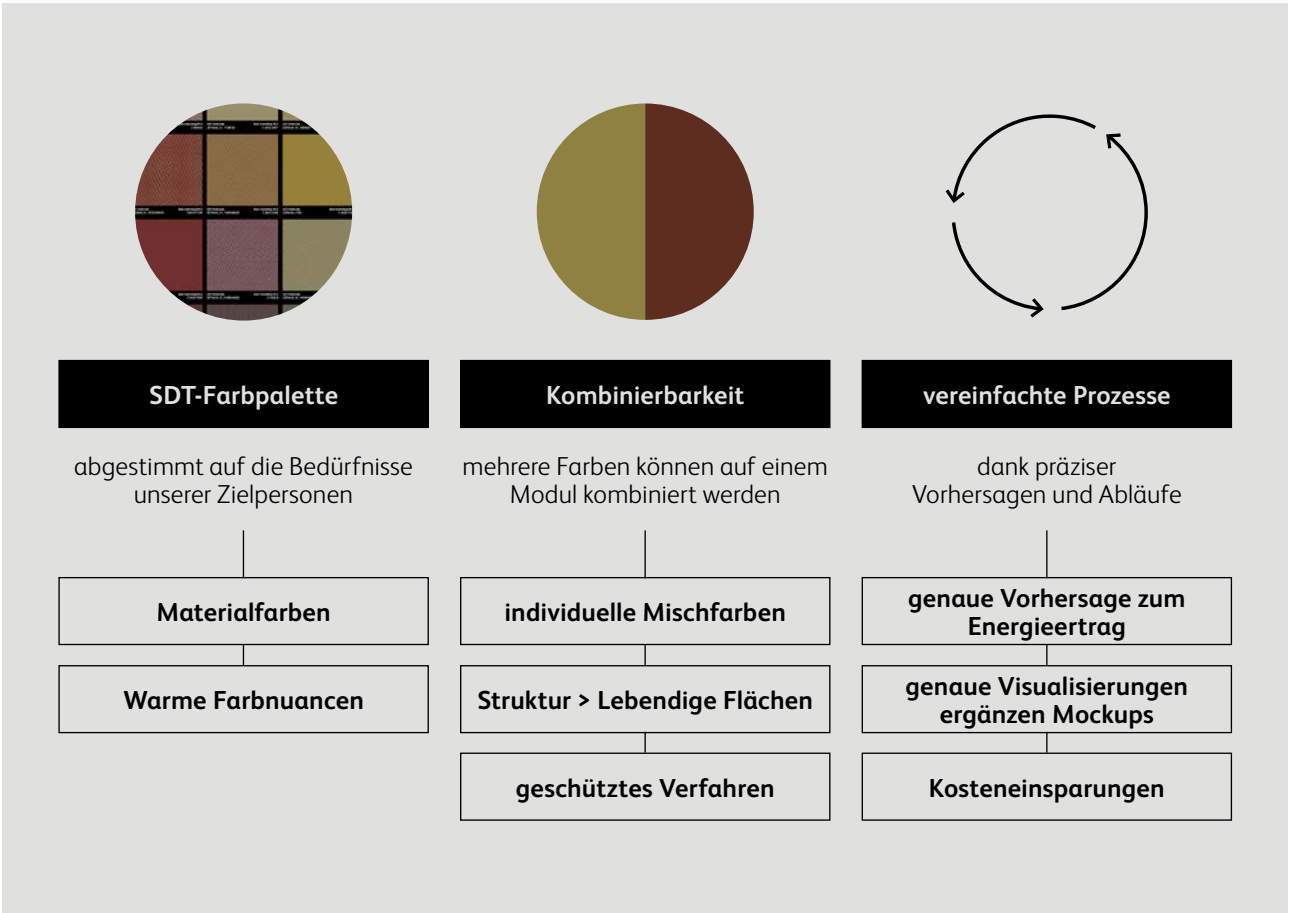


Abb. 20 Entwickelte Farbpalette mit verschiedenen Energieeffizienzen





University of Applied Sciences and Arts
of Southern Switzerland



Innovation project
supported by



Hochschule Luzern – Design Film Kunst
Forschungsgruppe Produkt & Textil
Luzern-Emmenbrücke
forschung-pt@hslu.ch
hslu.ch/sdt

© HSLU – Design Film Kunst