

Why the PV-Industry needs to go BIM – BIM4BIPV: Building Information Modelling (BIM) als Zukunftsaufgabe für digitalisierte Prozesse in der Photovoltaik-Branche

Astrid Schneider und Dr. Karin Stieldorf, Institut für Architektur und Entwerfen, Dr.
Christian Schranz und Dr. Harald Urban, Zentrum Digitaler Bauprozess
TU Wien;

Alfred Waschl, buildingSMART; Markus Feichtner, Kioto Solartechnik GmbH; David
Geisler-Moroder und Martin Hauer, Bartenbach GmbH; Kurt Battisti und Markus Dörn
A-Null Development GmbH; Martin und Christoph Treberspurg, Treberspurg und
Partner Ziviltechniker

TU Wien, Karlsplatz 13, 1040 Wien

E-Mail: astrid@astrid-schneider.de

www.astrid-schneider.de

Basierend auf dem Forschungsprojekt BIM4BIPV, das von der TU Wien mit Partnern aus der Architektur, Photovoltaik-Industrie, Tageslichtplanung, Bauphysik, Photovoltaiksimulation, Softwareentwicklung, BIM-Standardisierung und Forschung initiiert wurde, möchte der Beitrag aufzeigen, dass die Umsetzung der BIM-Methodik (Building Information Modelling) in der Photovoltaik-Industrie Photovoltaiksysteme auf eine kompatible Art und Weise in Datenformate, Standardisierung und Digitalisierung einbinden würde. Diese Entwicklung ist bereits in nahezu allen Disziplinen des Planens, Analysierens, Bewertens, Bauens, Nutzens, Betreibens, der Wiederverwertung, des Rezyklierens und Entsorgens und für alle anderen Planungsdisziplinen in vollem Gange.

Der Beitrag soll zeigen, dass die BIM-basierte Planung und Simulation von Photovoltaik-Anlagen auch für Photovoltaik-Systeme „DIE“ Zukunftstechnologie ist und einen Anstoß dafür liefern, dass die Photovoltaik-Industrie so rasch wie möglich auf den fahrenden Technologiezug aufspringt.

Was ist BIM?

Building Information Modeling (BIM) bedeutet - im wörtlichen Sinn – das Modellieren von Bauwerks-informationen.

Das heißt, dass „Bauelemente“ als dreidimensionale Elemente im virtuellen Raum erstellt werden und nicht nur eine bestimmte Geometrie räumlich darstellen, sondern darüber hinaus auch komplexe Informationen zum Bauteil mit abgespeichert haben. Das dreidimensionale CAD-Modell eines Bauwerkes beinhaltet im Ergebnis detaillierte Informationen zu Material- und Konstruktionseigenschaften, bauphysikalische Werte,

sowie gegebenenfalls exakte Herstellerangaben, technische Daten von Geräten, sowie weitere relevante Parameter.

Der Softwarehersteller Autodesk gibt diese Definition: „Building Information Modeling (BIM) ist der ganzheitliche Prozess zum Erstellen und Verwalten von Informationen für ein Bauobjekt. Basierend auf einem intelligenten Modell, das durch eine Cloud-Plattform aktiviert wird, integriert BIM strukturierte, multidisziplinäre Daten, um eine digitale Darstellung eines Objekts über den gesamten Lebenszyklus hinweg zu erstellen – von der Planung über den Entwurf bis hin zum Bau und Betrieb.“¹

Nicht nur in der Architektur, sondern auch in der technischen Gebäudeplanung ist BIM bereits voll verankert, wie die anschließenden Beispiele zeigen. Die technischen Infrastrukturelemente werden dabei im Architekturmodell dargestellt.

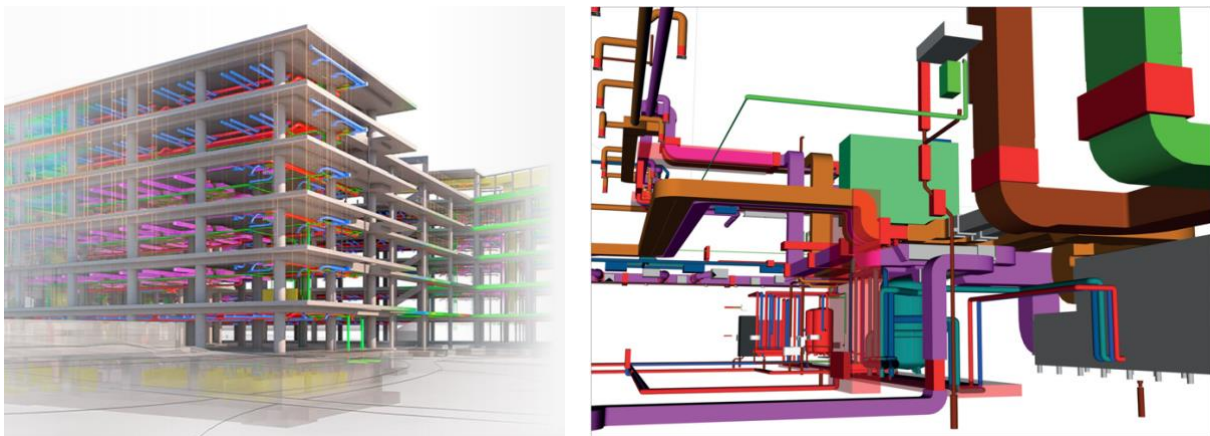


Abbildung 1: links Darstellung von Haustechnikanlagen in einem Bauwerk, Quelle: Autodesk³, rechts: Darstellung von Lüftungsrohren und Energieanlagen im Projekt „Bio-Institut der HBLFA Raumberg-Gumpenstein“²

Das Verankern von differenzierten technischen Informationen in dreidimensionalen im Raum angeordneten Geometrien, welche die spätere Realität in der Planung räumlich genau abbilden, ist entscheidend. Den intelligenten Modellen kommen für die Analyse von Kosten und Umweltaspekten, für die Gebäude- oder Anlagensimulation, für alle Arten von Berechnungen, Zertifizierungen, für das Anlagenmonitoring, das Facility Management sowie für Reuse und Recycling ebenfalls eine zukünftig entscheidende Rolle zu.

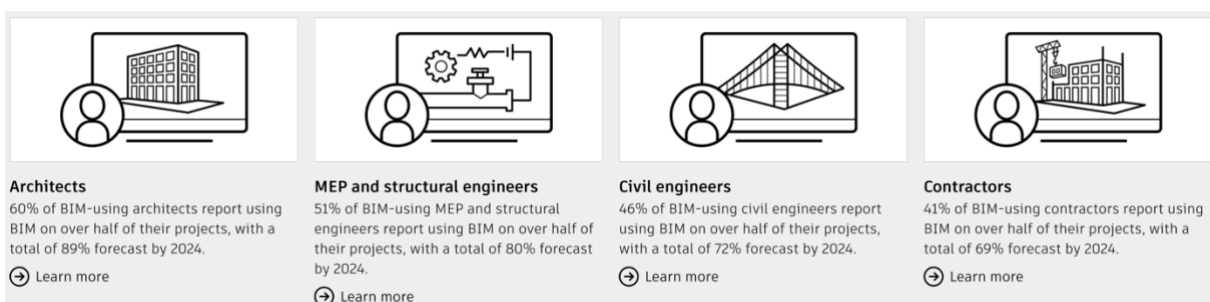


Abbildung 2: BIM wird als Planungsinstrument in allen Disziplinen eingesetzt, mit hohen erwarteten Wachstumsraten – Quelle: Autodesk³

Auf Basis der Entwicklung der Digitalisierung und immer leistungstärkeren Computern ist davon auszugehen, dass sich die dreidimensionale Darstellung von Gebäuden und technischen Infrastrukturen mit darin verankerten technischen Daten zunehmend als Standard durchsetzen wird. Auch die Einreichung von Bauunterlagen wird stets weiter digitalisiert. Zur Erzielung von Baugenehmigungen wird die Einhaltung der digitalen Form eines Tages bindend sein.

Bereits heute forscht die TU Wien im Zentrum Digitaler Bauprozess im Projekt „BRISE-Vienna - Building Regulations Information for Submission Involvement“⁴ daran, wie Building Information Modeling (BIM), Künstliche Intelligenz (KI) und Augmented Reality (AR) zu einem umfassenden, durchgängigen digitalisierten und automatisierten Genehmigungsverfahren verbunden werden können.

Status Quo der Photovoltaik und „BIM“

Die Photovoltaikindustrie ist noch nicht im Bereich „BIM“ angekommen: Solarmodul-, Wechselrichter-, und Batteriedaten werden derzeit insbesondere in Form von Datenblättern als PDF zur Verfügung gestellt – sowie direkt vom Hersteller in Datenbanken von Photovoltaik- und Energiesimulationstools übertragen.

Die momentan systematisch von den Herstellern in Datenblättern gemäß dem elektrotechnischen Standard „IEC 61215-1 Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval“ erfassten Daten von Solarmodulen, welche an/in Photovoltaikplanungsprogramme/n und Simulationsprogramme/n übergeben werden, sind zurzeit nahezu ausschließlich auf die elektrischen Parameter und die elektrotechnische Planung ausgerichtet.

Ausgehend vom Schweizer Simulationsprogramm „PV-Syst“⁵ wurde als Standard zur Erfassung dieser Daten das „PAN-file“-Format entwickelt, das heute in verschiedenen Programmen gebräuchlich ist. Einen Überblick über die darin erfassten vor allem elektrischen Daten bietet das Tutorial „PVSYST 7 – Components Database“.

Die geometrischen Daten werden in PV-Planungsprogrammen bezogen auf die abstrahierte Größe und Dicke nur rudimentär erfasst. Daten zu Aussehen, Farbigkeit, Oberflächenbeschaffenheit, Rahmendetails, Tageslichtdurchlass, U-Wert, Brandverhalten oder anderen bei Architekturprodukten üblichen Werten fehlen in der Regel.

Unterkonstruktionen werden eher schematisch von den PV-Planungs- und Simulationstools dargestellt. Dabei spielen vor allem Freiflächenanlagen, Aufdachanlagen auf Flachdächern sowie dachparallel errichtete PV-Installationen eine Rolle.

The screenshot shows the 'Sizes and Technology' tab in the PV-SYST software. The description is 'Generic, Mono 325 Wp 60 cells'. The interface is divided into several sections:

- Module:**
 - Length: 1640 mm
 - Width: 992 mm
 - Thickness: 50.0 mm
 - Weight: 19.80 kg
 - Module area: 1.627 m²
- Cells:**
 - In series: 60
 - In parallel: 1
 - Cell area: 237.0 cm²
 - Total nb. cells: 60
 - Cells area: 1.422 m²
- Maximum Array Voltage:**
 - Absolute maximum voltage of the Array in any conditions (i.e. Voc at lowest possible ambient temperature).
 - Maximum voltage IEC: 1000 V
 - Maximum voltage UL (US): 600 V
- By-pass protection diodes:**
 - Nb. of submodules: 3 /module
 - (i.e. functional by-pass diodes)
 - Submodule partition:
 - ☐ In length
 - ☐ In width
 - ☐ Twin half cells
 - ☐ Shingled cells
- Module technology and specifics:**
 - Frame: Aluminium
 - Structure: 3.2 mm tempered
 - Connections: MC-4
 - Generic module for DEMO
- Module type options:**
 - ☐ Tile module
 - ☐ CPV: Concentrating module
 - ☐ Bifacial module

A red box highlights the 'Sizes and Technology' tab in the top navigation bar.

Figure 5: Sizes and technology of PV modules.

Abbildung 3: Auszug aus der Anlage von Solarmoduldaten im „Pan-file“-Format – Quelle: PV-SYST⁶

Photovoltaik-Simulationsprogramme sind in einer großen Bandbreite verfügbar. Moderne Photovoltaik-Planungs- sowie Simulationsprogramme können mittlerweile dreidimensionale Architekturmodelle importieren. Die übliche Vorgehensweise ist, dass am importierten Baukörper Flächen markiert werden, wo Solarmodule, bzw. Solarmodulfelder platziert werden sollen. Zur Auswahl stehen dann in der Regel Standard-Solarmodule, deren elektrotechnische Daten und schematische Geometrien erfasst sind. Diese Solarmodule werden dann auf der Oberfläche der importierten Geometrien platziert und zu Systemen angeordnet, inklusive der Versträngung der Module.

Die Simulation berücksichtigt dann die Solarstrahlung auf die Frontseite der Solarmodule - inklusive der Verschattung durch umgebende Geometrien des Baukörpers selbst - sowie von gegebenenfalls mitimportierten umgebenden Bebauungen, Horizonten, Bäumen oder anderen verschattenden Elementen.

In der Regel ist es nicht möglich, in Programmen die Solarmodule selbst individuell zu gestalten. Diesbezüglich ist der Autorin nur das ursprünglich aus dem europäischen Forschungsprojekt „PV-Sites“ hervorgegangene Programm „BIMsolar“⁷ bekannt, wo es möglich ist, virtuelle BIPV-Module in einem Generator selbst zu designen.

Hauptprobleme des Status Quo bezogen auf die Simulation komplexer BIPV-Systeme

Eine detailgenaue (auf den mm) Integration von BIPV-Modulen, welche auch alle baulichen Eigenschaften enthalten / darstellen in einen Baukörper / Baukonstruktionen und Profile / Halterungen sowie die Simulation am Architekturmodell ist bislang nicht möglich:

- Bislang werden standardmäßig (Datenblätter gemäß IEC 61215 / PAN-files) nur rudimentäre Daten zu baulichen Qualitäten von Photovoltaikmodulen erfasst.
- Wesentliche Parameter zu Aussehen, Rahmen, Konstruktion, Tageslichteinfall, Brandschutz etc. werden noch nicht einmal erfasst / stehen nicht zur Verfügung.
- Für die Darstellung komplexer Daten von BIPV-Modulen gibt es noch keinen Standard, sowie auch keine Programme, die diese verarbeiten könnten.
- Photovoltaikplanungs- und Simulationsprogramme können räumlich und architektonisch differenzierte Modulgestaltungen überhaupt nicht abbilden.
- Solarmodule sind nicht als „BIM-Objekte“ verfügbar, oft nicht einmal als CAD-files – Standard ist ein „PDF“.
- Solarmodule können in PV-Planungs- und Simulationsprogrammen nur auf einzelne Flächen eines Baukörpers äußerlich feldweise „appliziert“ werden.
- Es ist nicht möglich, eine genaue Integration umfassender digitaler BIPV-Module im 3D-CAD-Architekturprogramm bzw. BIM-fähigen Zeichenprogramm direkt und passgenau in das Bauwerksmodell zu integrieren, dieses Modell dann in ein PV-Planungs- und Simulationsprogramm zu übernehmen und dort zu beplanen / zu simulieren.
- Auch der umgekehrte Exportweg steht nicht offen.

Building Information Modelling (BIM) spielt eine entscheidende Rolle in der Zukunft des Bauens, bei „BIPV“ – und auch in der Zukunft der Photovoltaik

Mit „Bauwerksintegrierter Photovoltaik (BIPV)“ fassen wir alle Anwendungen zusammen, wo Photovoltaik in „Bauwerke“ integriert wird. Unter Bauwerken verstehen wir komplexere Konstruktionen, die von ArchitektInnen und IngenieurInnen geplant werden:

- **Integration in Gebäude:** Potentiale der Gebäudehüllen wie Dächer und Fassaden
- **Integration in Stadträume:** Doppelnutzungen wie Überdachungen von Stadtplätzen, Parkplätzen, Bahnhöfen, Bahntrassen, Autobahnen, Grünräumen
- **Integration in die Landwirtschaft:** Agrophotovoltaik

Eine andere im Englischen gebräuchliche Bezeichnung ist auch „Construction Integrated Photovoltaic (CIPV)“, zu gut deutsch „konstruktionsintegriert“, was wir hier mit bauwerksintegriert gleichsetzen.

Die gebaute Umwelt wird von IngenieurInnen und ArchitektInnen geplant. Die Zukunft der Bauwerksplanung, der Energieplanung sowie des Managements der Energieströme von Erzeugung und Verbrauch ist digital. Building Information Modelling – kurz „BIM“ – bildet zunehmend die Grundlage für Bauwerks-, Energie- und Infrastrukturplanung. Leider ist bislang jedoch noch keine durchgängige BIM-Planung von Photovoltaiksystemen möglich.

Das Fehlen einer durchgängigen BIM-Planung für Bauwerke mit Photovoltaikintegration hemmt die Erschließung der für Photovoltaikanwendungen erforderlichen Flächen – insbesondere im urbanen Umfeld. Bauwerke werden heute weitgehend bereits in dreidimensionalen BIM-Modellen geplant. In diese Modelle sollten Solarmodule im Entwurfs- und Planungsprozess - sowohl als Hüllelemente und Bauteile, als auch als nicht integrierte Anlagen - direkt einsetzbar und anschließend im dreidimensionalen Bauwerksmodell plan- und simulierbar sein.

Warum Bauwerksintegrierte Photovoltaik (BIPV) wichtig ist: Solarenergie und Photovoltaik sind die einzige originäre städtische regenerative Energiequelle – und bieten maßgebliche Flächenpotentiale

Photovoltaik spielt für die emissionsfreie Versorgung von Gebäuden, Quartieren und Städten – und damit im Kampf gegen den Klimawandel – eine sprunghaft wachsende Rolle. Solarenergie ist infolge der in der Regel höheren Wettbewerbsfähigkeit der Photovoltaik die einzige originäre und relevante städtische erneuerbare Energiequelle. Windenergie, Biomasse (bis auf meist kleinere Mengen aus Biomüll, Kläranlagen und Grünschnitt), sowie Wasserkraft sind erneuerbare Energien, die im ländlichen Bereich gewonnen und eingesetzt werden. Solarstrom wird häufig auch zur Aktivierung der Umweltwärme durch Wärmepumpen eingesetzt. Klimaneutrale Gebäude Städte sind ohne Photovoltaik nicht realisierbar. Zur Erreichung einer weltweiten 100% regenerativen Energieversorgung spielen die Flächenpotentiale der gebauten Umwelt sowie der Kultur- und Naturräume eine wichtige Rolle – schließlich wird weltweit bereits heute rund 60% der Energie in Städten und städtischen Agglomerationen verbraucht und zwei Drittel des Energieverbrauchszuwachses wird in Zukunft von Städten ausgehen⁸.

Beim Ausbau der Photovoltaik geht es um die Bereitstellung ausreichender Flächen ohne viel zu versiegeln, um eine ressourcenschonende Vorgangsweise sowie um die Umsetzung ökologisch, wirtschaftlich und gestalterisch anspruchsvoller Planungskonzepte. Zur Erschließung des Potentials der Kulturräume ist jedoch eine komplexe integrale Planung erforderlich, die Ästhetik, Architektur, Energieplanung auf

Quartiersebene, Belichtung, Bauphysik, Mobilität sowie eine individualisierte und angepasste Solarmodulproduktion beinhaltet. Nur so kann das systemische Zusammenwirken von Stadträumen, Gebäuden, Gebäudetechnologien und lokalen Energielösungen planerisch exzellent konzipiert werden.

Die Potentiale der Gebäude- und Bauwerksoberflächen können zudem maßgeblich zum Erreichen einer 100% regenerativen Energieversorgung beitragen, wie die Erhebungen aus der Technologie-Roadmap für Photovoltaik in Österreich⁹ zeigen:

- Rund 750 km² Flächen sind mit Gebäuden verbaut, deren PV-Potential rund 230 km² beträgt, das entspricht ca. 23 GW.
- Die 15.000 österreichischen Großparkplätze haben mit PV überdacht ein Flächenpotential von 4,2 GW.
- Das Potential für Agrophotovoltaik beträgt rund 28 GW.
- Die jährlich neue Flächenversiegelung von 19 km² Fläche entspricht alleine einem Flächenpotential von rund 1,9 GW.

Für eine 100 Prozent regenerative Energieversorgung würden im regenerativen Gesamtmix rund 30 TWh Solarstrom benötigt, das entspricht rund 30 GW. Bis zum Jahr 2030 sollen laut „Energieausbaugesetz“ PV-Anlagen zur Erzeugung von 11 TWh zugebaut werden.

Solarbaupflichten für Gebäude und Parkplätze

Klimaneutrale Gebäude und Städte stehen daher auch im Fokus der Klimapolitik: Der „Green New Deal“ der Europäischen Kommission, Solarbaupflichten von Städten wie Wien, Hamburg und Berlin sowie die Renovation Wave pushen BIPV in Europa. Die Schweiz fordert derzeit die solare Nachrüstung öffentlicher Gebäude und in Frankreich werden Photovoltaik-Verschattungen für Großparkplätze verpflichtend.

In der Europäischen Union (EU) wird derzeit eine umfassende Verpflichtung zum Bau von Solaranlagen ab dem Jahr 2027 diskutiert:



Abbildung 4: Quelle: Europarat - EU-Council: <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/fit-for-55-making-buildings-in-the-eu-greener/>

So sollen bereits ab dem Jahr 2027 alle neuen öffentlichen und Nichtwohnungs-bauten Solaranlagen erhalten. Ab 2028 muss auch nachgerüstet werden und ab dem Jahr 2030 sollen alle neuen Wohngebäude verpflichtend solar ausgestattet werden. Ab dem Jahr 2030 sollen zudem alle neuen Gebäude in der EU als Nullemissionsgebäude¹⁰ errichtet werden.

Neue Trends in der Solaren Architektur: alle Hüllelemente als BIPV

Als ein neuer Trend ist ablesbar, dass neu gebaute solare Gebäude die gesamte Gebäudehüllfläche zur Solarstromerzeugung nutzen. Durch die stark gesunkenen Preise für Solarzellen bestimmen die Kosten für maßgefertigte gehärtete und bedruckte oder beschichtete Gläser die Kosten für BIPV bei gestalterisch anspruchsvollen Solarfassaden. Sobald eine Entscheidung für eine Solarfassade gefallen ist, wird rasch festgestellt, dass dasselbe Glasfassadensystem ohne Solarzellen nur relativ wenig günstiger ist. Um denselben gestalterischen Effekt für die gesamte Fassade zu erzielen, werden daher zunehmend von Anfang an Fassadenelemente mit integrierter Photovoltaik für die gesamte Hülle verwendet, ausgerichtet in alle Himmelsrichtungen, auch stark oder teilverschattet, denn jedes solare Fassadenelement produziert etwas Solarstrom und trägt so zur Gesamt-Energieversorgung bei.



Abbildung 5: Quelle: Ertex Solar, Österreich

Bei diesem Wohngebäude in der Schweiz sind alle Fassaden- und Dachelemente farbig bedruckte maßgefertigte Solarmodule.



Abbildung 6: Solar saniertes Wohngebäude von Viridien Architekten in Zürich, Quelle: Kioto Photovoltaic GmbH, Österreich

Es ist offenkundig nicht möglich, bei Gebäuden, deren Hüllen und Dächer aus maßgefertigten anspruchsvoll gestalteten Solarmodulen bestehen, Standard-solarmodule ohne Angaben zur architektonischen Gestalt auf „zu definierende Flächen“ zu applizieren. Insbesondere für Verschattungssituationen, Verstringung und Solarsystemplanung ist eine exakte Lokalisierung erforderlich. Die Solarmodule müssen dafür direkt im Architekturmodell erstellt, gezeichnet und präzise in das Modell eingesetzt werden können. Die Ermittlung auch generischer Solarmoduldaten für eine erste Ertragssimulation ist ebenso notwendig - auch für maßgefertigte Solarmodule.



Abbildung 7: Wohngebäude in der Schweiz - Quelle: Solaxess

Neue Trends in der Photovoltaik: bifaciale Glas-Glas-Module

Einer der weltweit größten Hersteller Trina Solar zeigt die Bedeutung bifacialer Solarmodule auf: bereits im Jahr 2025 wird erwartet, dass 60% aller Solarmodule mit bifacialen Zellen produziert werden.

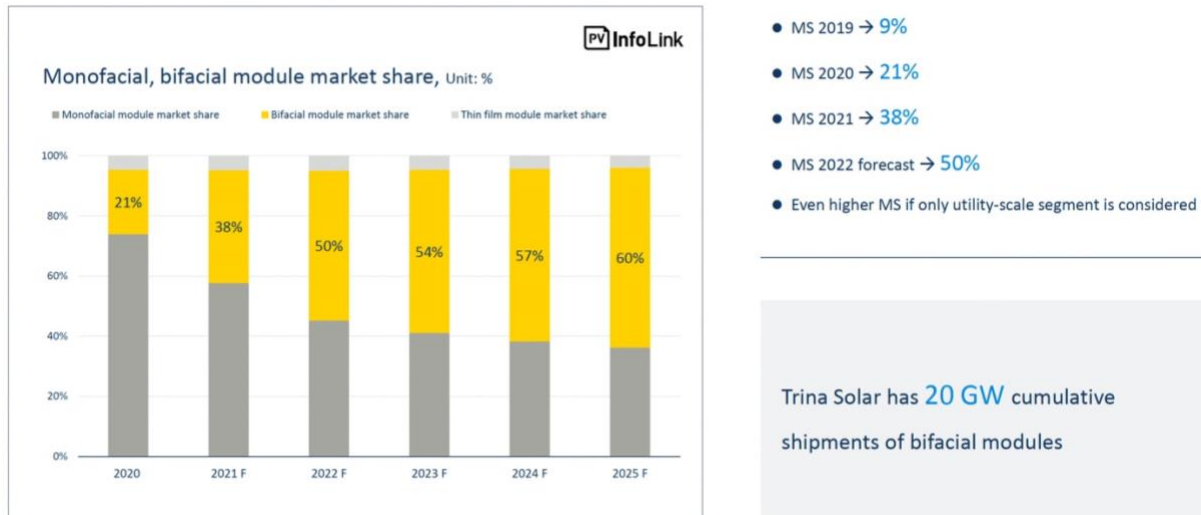


Abbildung 8: Anteil bifacialer Solarmodule am Weltmarkt – Quelle: PV-InfoLink, aus Präsentation Trina Solar¹¹

Hoher Wirkungsgrad der Rückseite durch Bifacialität

Die bifacialen Solarzellen haben dabei in den letzten Jahren sehr starke Fortschritte gemacht, mit dem Effekt, dass die Rückseite der Solarzellen bei modernen HJT-Zellen bereits zwischen 90% und 97% des Wirkungsgrades der Frontseite aufweisen.

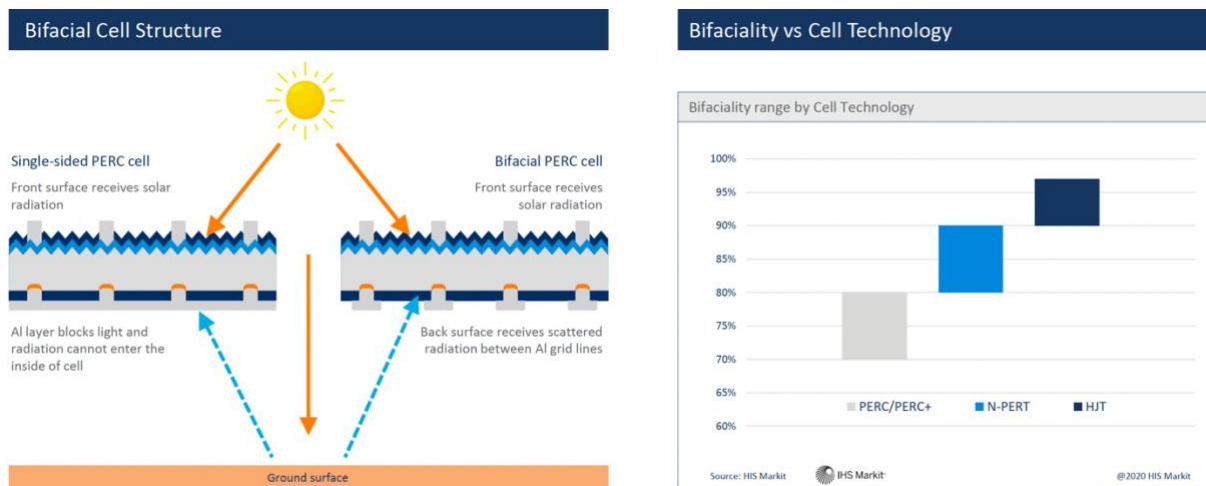
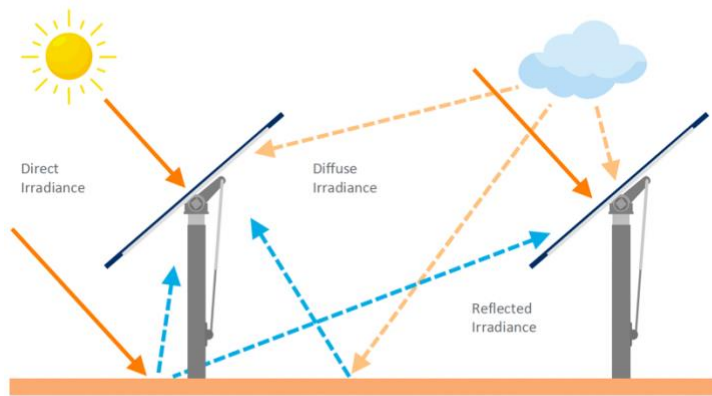


Abbildung 9: Aufbau bifacialer Solarzellen (links) und rückseitige Wirkungsgrade verschiedener bifacialer Solarzelltechnologien. Quelle: Präsentation Trina Solar: "Designed for Success: Bifacial power plants built to last and to provide lowest LCoE", 15.09.2022

Der Solarstromertrag bifacialer Solarmodule setzt sich aus der Erzeugung auf der Front- und der Rückseite zusammen.

Bifacial Gain, Bifacial Ratio & Bifaciality



$$E_{bifacial} = E_{front} + E_{rear}$$

Bifacial Gain

$$Bifacial\ Gain = E_{rear} / E_{front}$$

Bifacial Ratio

$$Bifacial\ Ratio = G_{rear} / G_{front}$$

Bifaciality

$$Bifaciality = Bifacial\ Gain / Bifacial\ Ratio$$

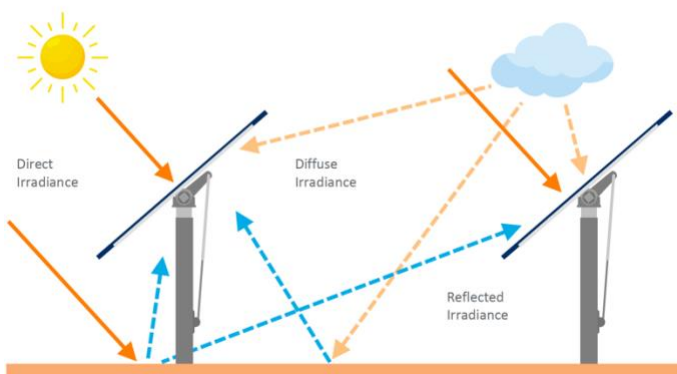
$$E_{bifacial} = E_{front} \times (1 + Bifacial\ Gain)$$

$$E_{bifacial} = E_{front} \times (1 + Bifacial\ Ratio \times Bifaciality)$$

Abbildung 10: Solarstromertrag bifacialer Solarmodule, zusammengesetzt aus frontseitigem und rückseitigem Solarstromertrag. Quelle: Präsentation Trina Solar¹¹

Veränderte Anforderungen an Photovoltaiksystem-Konstruktion und Simulation durch Bifacialität: Berücksichtigung der rückwärtigen Konstruktionen und Umgebung

Der hohe Wirkungsgrad der Rückseite bifacialer Solarmodule bedeutet, dass die auf die Rückseite der Solarmodule fallende Strahlung besondere Beachtung in Konstruktion, Umgebungsgestaltung und Simulation erfordert, um Solarsysteme planerisch wie real im Ertrag zu optimieren.



$$G_{rear} = G_{diffuse} + G_{reflected}$$



Abbildung 11: Solarstromertrag bifacialer Solarmodule, zusammengesetzt aus frontseitigem und rückseitigem Solarstromertrag. Quelle: Präsentation Trina Solar¹¹

Eine besondere Rolle beim Solarstrom-Ertrag bifacialer Solarmodule spielt die **solare Einstrahlung auf die Rückseite der Solarmodule**. Dieser wird geprägt durch drei Faktoren:

- **„Gesichtsfeld“ / „Strahlungseinfallbereich“ der „Rückseite“** – z.B. bei Freiflächenanlagen geprägt durch die Höhe über dem Boden – oder aber auch z.B. vertikale Aufstellung, sowie nachgeführte oder bewegliche Elemente
- **Albedo** insbesondere der unmittelbaren Umgebung - sowie auch der fernerer: reflektierte Solarstrahlung
- **Nahverschattung:** Verschattung durch unmittelbare rückwärtige Konstruktionselemente hat eine besonders entscheidende Wirkung auf den Ertrag

So haben Versuche von Trina solar ergeben, dass allein der Unterschied zwischen rückseitigem Gras und einer weiß gestrichenen Oberfläche bei Freiflächenanlagen einen Ertragsunterschied der Modulrückseite von rund 19% ausmacht.

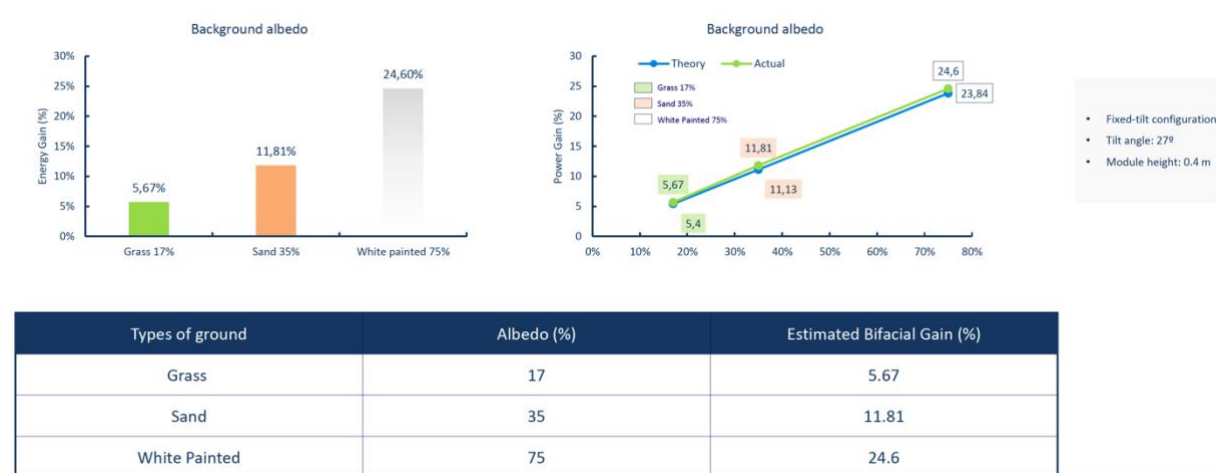


Abbildung 12: Ertragsunterschiede der Rückseite bifacialer Solarmodule durch verschieden stark reflektierende Umgebungen. Quelle: Präsentation Trina Solar¹¹

Zukünftiger Massenmarkt „bauwerksintegrierte Photovoltaik“: mit bifacialen Glas-Glas-Modulen nähern sich Standardmodule und „BIPV-Module“ technisch an

Bislang war die bauwerksintegrierte Photovoltaik eher ein Nischenmarkt. Doch einerseits wird der „Push“ für klimaneutrale Gebäude und Städte zukünftig diesen Marktbereich ankurbeln, andererseits nähern sich jedoch die so genannten „Standardmodule“ und die Module zur Bauwerksintegration auch technisch an. Bedingt durch die Bifacialität der Zellen sowie die höhere Haltbarkeit gibt es nunmehr auch bei den Standardmodulen für Freiflächenanlagen einen Trend hin zu Glas-Glas-Modulen. Gleichzeitig gibt es bei den Solarmodulen für die Bauwerksintegration auch Ansätze

für „Standardmodule“. Der wesentliche Unterschied liegt insbesondere in der Statik: so genannte „Standardmodule“ für Freiflächen haben sehr dünne Gläser und einen Aluminiumrahmen als lastabtragenden Stabilisator, während die „Standardmodule“ für die Bauwerksintegration ihre statische Stabilität durch ausreichend starke Gläser entwickeln. Auch die Einbettungsmaterialien sind ggf. unterschiedlich, sowie die Position der Anschlussdosen. Dennoch ist das technische „Zusammenwachsen“ der Module der zwei zuvor klar getrennten Märkte durchaus erkennbar. Infrastrukturinstallationen wie bauwerksintegrierte PV-Anlagen über Parkplätzen und Bahntrassen, sowie in Glashäusern stellen einen klaren Übergang zu Gebäudeanwendungen dar.

Unterschiedlichkeit der Umgebungs- und Einbettungssituationen bauwerksintegrierter Photovoltaikmodule

Semitransparente Glas-Glas-Module können in architektonisch sehr unterschiedliche räumliche Strukturen eingebunden sein, wie die folgenden Beispiele zeigen.



Abbildung 13: Glasdächer mit semitransparenten Solarmodulen, Museumshalle in Moskau, entworfen von Renzo Piano, Quelle: Sunovation GmbH

Es ist gut vorstellbar, dass Fassadenmaterialien, einbindende Konstruktionen, sowie die Geometrie des Bauwerkes, die sie umgebende Baukörperkubatur und die benachbarte Bebauung oder Landschaftselemente bei bauwerksintegrierter Photovoltaik eine entscheidende Rolle für den Solarstromertrag bifacialer Solarmodule spielen.

Schon die Tragwerke als solche und die potentiellen rückseitigen Solarstromerträge können komplett unterschiedlich sein.

Im oben dargestellten Beispiel von Arch. Renzo Piano wird deutlich, dass die detaillierte individuelle Planung der Tageslichtwirkung, des sommerlichen Wärmeeintrags durch Strahlung, der Blendwirkung, der optischen Parameter, des Aussehens der Solarmodule von außen und innen sowie der bauphysikalischen Wechselwirkungen unerlässlich für den Planungserfolg ist. Alle diese Parameter integrierter semitransparenter Solarmodule sollen durch das Erstellen eines dreidimensionalen Modells mit BIM gleichzeitig und an demselben Modell planbar und simulierbar gemacht werden.



Abbildung 14: Großflächiges Gewächshaus mit semitransparenten Photovoltaikmodulen als Verschattungselemente, Quelle: Kioto Photovoltaics GmbH

Faktoren wie Tageslichtdurchlass, bifaciale Simulation und Wärmeeinwirkung sind auch bei dem großen Feld der Agrophotovoltaik relevant.

Der Übergang von großflächigen Atrien, zu Gewächshäusern, zu Hofüberdachungen, Parkplätzen und Infrastrukturen ist technisch fließend.



Abbildung 15: großflächige Überdachung eines Industriebhofes bzw. einer Ladezone bei Kioto Solar - Quelle: Kioto Photovoltaics GmbH

Die Beispiele zeigen sehr unterschiedliche räumliche Umgebungen mit gänzlich anderen Werten bezogen auf Albedo, Lichtspektren, rückwärtige Strahlungsmenge, sowie durchfallendes Tageslicht und Verschattungswirkung.



Abbildung 16: links: Parkplatzüberdachung in Wien Schönbrunn von Ertex Solar – Quelle Bild: Astrid Schneider;

Verkehrsinfrastrukturen wie Parkplätze und Bahnlinien bieten bedeutende Potentiale zur Solarstromerzeugung, deren Nutzung keine zusätzliche Versiegelung bedeutet.

Genauere Simulation durch präzise Integration der Photovoltaikmodule in komplexe dreidimensionale Modelle

Eine genaue Integration in das durch Architekten und Ingenieure erstellte dreidimensionale Modell der gebauten Umwelt ist zunehmend dringlicher für die PV-Planung und -Simulation. Gründe dafür sind:

- **Erfassung der genauen Strahlungsmengen auf die Solarmodule**
 - Berücksichtigung der Bifacialität:
 - Tragwerke „verschatten“ bei bifacialen Solarmodulen von unten.
 - Albedoeffekte von Boden, Bauteilen, Fassaden und Landschaftselementen wie Seen und Wasserbecken spielen bei bifacialen Solarmodulen eine größere Rolle, als bei früher üblichen nur einseitig aktiven Solarmodulen.
 - Erfassung von Verschattungen durch
 - Nahverschattungen durch Konstruktionselemente wie Profile und Haltekonstruktionen
 - Auskragende Bauteile
 - Baukörper-Eigenverschattung
 - Nachbarbebauungen
 - städtebauliche Umgebung
 - Blitzschutzelemente
 - Naturraum, Landschaftselemente (Berge, Seen, Meer)
 - Bäume und Bepflanzungen
- **Erfassung der durch semitransparente Solarmodule einfallenden Strahlung**
 - Die transparente Darstellung von Solarmodulen ist erforderlich, um
 - Verschattung
 - Tageslichtspektren
 - Wärmegewinne

darstellen und simulieren zu können. Die Erfassung dieser Werte hat sowohl Einfluss auf die Solarstromerzeugung benachbarter Solarmodule, als auch auf die Temperatur und die Tageslichtverhältnisse von Innenräumen, Stadträumen oder Räumen unter Agro-Photovoltaikanlagen
- **Planung komplexer individualisierter Tragwerke und Einbettungssituationen:**
 - Bei BIPV kommen spezifische Konstruktionen – seien es weit gespannte Tragwerke für Agri-PV, Platzüberdachungen oder gebäudebezogene Tragwerke –, Geometrien und Integrationsformen ins Spiel, die in der Regel nicht mit Standardsystemen dargestellt werden können, welche ggff. in „PV-Simulationstools“ enthalten sind, sondern welche projektspezifisch von PlanerInnen oder Herstellern design und konstruiert werden. Diese dann

bereits als CAD-Zeichnungen oder BIM-Planungen vorhandenen Daten können – und müssen – zur PV-Planung genutzt werden.

Multifunktionale Photovoltaikelemente, multidisziplinäre Planung bauwerksintegrierte Photovoltaiksysteme und dafür erforderliche Planungsdaten

Als Gebäudehüllelemente genutzte Solarmodule sind als Bauteile zugleich multifunktional. Dies bedingt, dass die Elemente nicht nur in der Elektroplanung aufscheinen, sondern in zahlreichen weiteren Disziplinen relevant sind und folglich mitbetrachtet werden müssen. Es ist daher erforderlich, dass die multidisziplinär nutzbaren Daten zum Solarsystem direkt im dreidimensionalen Architekturmodell verankert sind. Die heute gebräuchlichen Datensätze von Solarmodulen sind wie beschrieben noch sehr unvollständig bezogen auf die multidisziplinäre Planung.

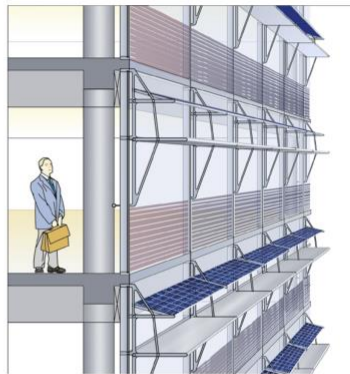


Abbildung 17: Museum in der Schweiz - Quelle: Ertex Solar GmbH

Benötigt werden Daten zur visuellen Erscheinung, zur Tageslichtwirkung, zum Wärmedurchlasskoeffizienten, zur Energiesystemplanung, zum Energiemanagement, zur Tragwerksplanung, zum Brandschutz, zur Bauzulassung, und zu den erforderlichen Details der exakten Integration mit Konstruktionselementen. Die Solarmodule sind Teil des Ganzen, kein Additiv. Von der Fertigungsplanung, bis hin zu Betrieb, Ersatzteilbeschaffung, Beaufsichtigung von Garantiezeiten und der Reusability und Rezyklierbarkeit werden die Daten benötigt.

Wirkungen integrierter semitransparenter Photovoltaik als Fassadenelement:

- **Erzeugung Solarstrom**
- **Tageslichtdurchlass**
- **Wärmetransmission**
 - in den Raum hinein
 - aus dem Raum hinaus
- **Fassadenelement**
 - ästhetisch visuell
 - konstruktiv
 - bauphysikalisch
 - Wetterschutz
 - Tragwerksfunktion
 - Brandschutz



Die oben stehenden **roten** und **blauen** Planungsaspekte sind im Projektkonsortium von BIM4BIPV abgebildet

Abbildung 18: Darstellung der komplexen Wirkungen und Effekte einer Glasfassade mit integrierter Photovoltaik sowie der involvierten Planungsdisziplinen, in welchen eine solche BIPV-Fassade sowie deren Solarmodule dargestellt werden müssen bei größeren Planungsvorhaben mit Fachplanern. Quelle: Astrid Schneider, TU Wien, Forschungsprojekt „BIM4BIPV“ 2022

Diese Daten müssen im BIM-Architekturmodell von den verschiedenen Fachplanern abrufbar sein, um in der jeweiligen Disziplin genutzt zu werden. Als ein plattformübergreifendes Format zum offenen Austausch von BIM-Modellen (open BIM) hat sich dabei der IFC-Standard etabliert. IFC steht für „Industry Foundation Classes (IFC)¹²“. Der IFC-Standard wird von der weltweiten Vereinigung buildingSMART als Standardisierungsinstanz verwaltet und ist ISO-genormt in der ISO 16739-1:2018¹³.

Der Ansatz des Forschungsprojektes BIM4BIPV

Das österreichische FFG-Forschungsprojekt „BIM4BIPV“ soll dazu beitragen, sowohl Standards als auch Planungstools für systemisch integrierte Photovoltaik weiterzuentwickeln. Dafür werden an ausgewählten Objekten Testplanungen durchgeführt.

Das Projektteam ist interdisziplinär und besteht aus dem erfahrenen Solararchitektur Planungsbüro Treberspurg Architekten, dem Tageslichtplanungsinstitut Bartenbach Lichttechnik, welche die BIM-Tageslichtsoftware DALEC entwickelt hat, dem Solarmodulhersteller Kioto Photovoltaics sowie A-Null Development, einem Softwarespezialisten, der das Energieausweisprogramm Archiphysik geschaffen hat, das bereits mit der BIM Architektursoftware Archiphysik kompatibel ist. Abgerundet wird das Projektteam von ACCA, einer italienischen Softwarefirma mit großer BIM-Erfahrung, welche die BIM-fähige PV-Planungs- und Simulationssoftware Solarius PV entwickelt hat. Die Projektleitung hat die TU Wien mit dem Institut für Architektur und Entwerfen inne, das TU Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft mit dem Zentrum Digitaler Bauprozess ist auf BIM spezialisiert und wird insbesondere die Standardisierung der Datenformate bearbeiten.

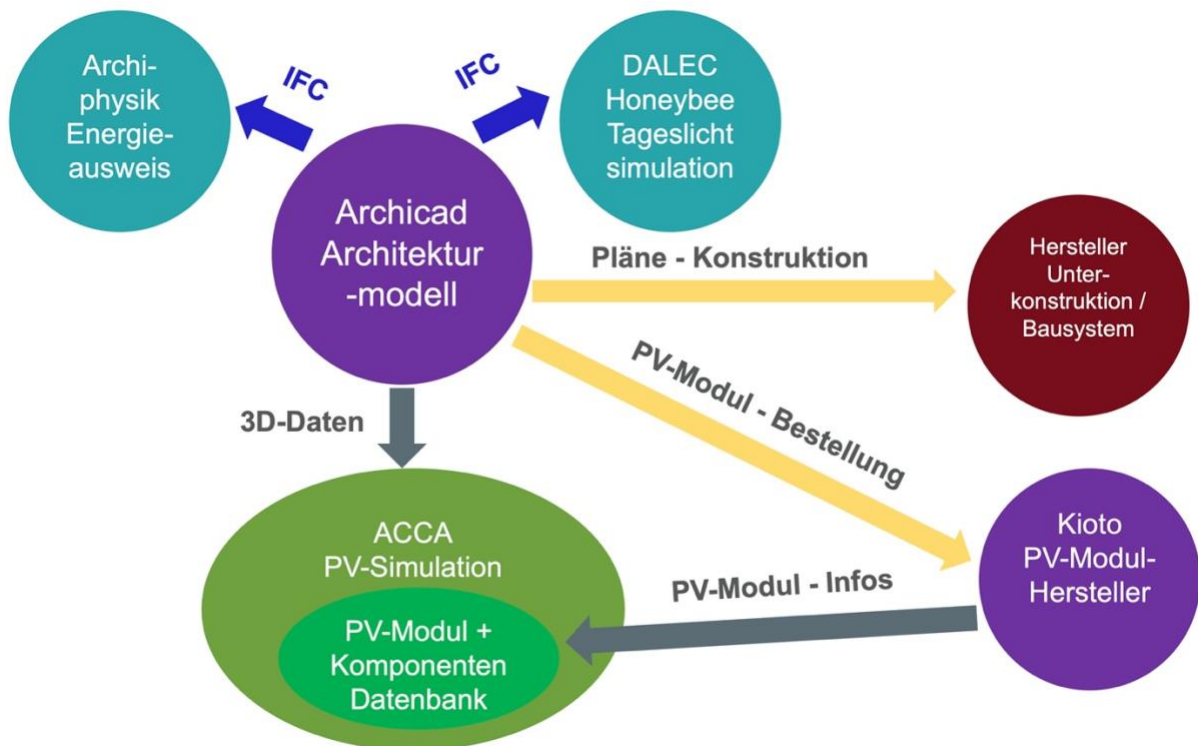


Abbildung 19: Aktuelles Schema des Datenflusses innerhalb eines Photovoltaikprojektes – Quelle: Forschungsprojekt BIM4BIPV, TU Wien, Bild: Astrid Schneider

Der heutige Datenfluss ist nicht interaktiv. Daten des Architekturmodelles können an die in den BIPV-Planungsprozess involvierten weitergegeben werden, aber sie können nicht zurückfließen und vernetzt und interaktiv weitergenutzt und bearbeitet werden.

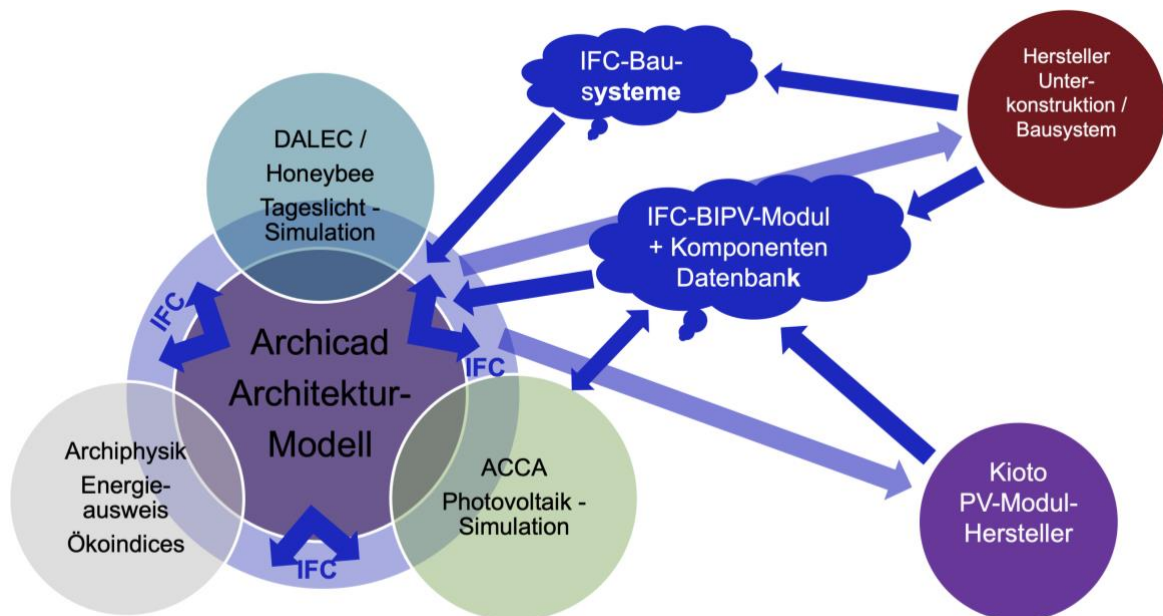


Abbildung 20: Neues Schema des Datenflusses innerhalb eines Projektes für Bauwerksintegrierte PV (BIPV) – Quelle: Forschungsprojekt BIM4BIPV, TU Wien, Bild: Astrid Schneider

Das Ziel des Forschungsprojektes BIM4BIPV ist dabei auf der Basis austauschbarer Datenformate basierend auf open BIM und IFC die Kommunikation zwischen den verschiedenen Disziplinen und Fachplanungsmodellen zu ermöglichen.

Internationale Zusammenarbeit zur Standardisierung der Daten von PV-Systemen für die Erfassung als BIM-Elemente

Das Forschungsprojekt BIM4BIPV hat sich zum Ziel gesetzt, in Zusammenarbeit mit buildingSMART auch die Standardisierung der Erfassung von Photovoltaikkomponenten als IFC-Modell voranzubringen. BuildingSMART ist dabei als Projektpartner bei der TU Wien direkt ins Projektteam eingebunden. International wird dabei auch mit der IEA PVPS Task 15¹⁴ zusammengearbeitet, um einen weltweiten Austausch zu erzielen.

Deren Report “BIPV Digitalization: Design Workflows and Methods – A Global Survey¹⁵” bestätigt die Arbeitshypothese des Forschungsprojektes BIM4BIPV, dass die multidisziplinäre digitale Zusammenarbeit noch nicht so wie gewünscht und sinnvoll stattfinden kann und ein Entwicklungs- und Forschungsbedarf bezüglich der Werkzeuge und Workflows besteht. Ein weltweit akzeptiertes und standardisiertes Datenmodell ist eine wichtige Voraussetzung, um Herstellern zu ermöglichen, international und interdisziplinär austauschbare und gültige Datensätze ihrer Solarmodule und Solarsystemkomponenten wie Wechselrichter und Batterien zu erstellen.

Das Forschungsprojekt BIM4BIPV möchte zudem fehlende Daten von BIPV-Modulen erheben, die Planungstools zur integrierten und multidisziplinären open BIM-Simulation von BIPV weiterentwickeln und eine Roadmap zur Implementierung eines open BIM-basierten Planungsprozesses für BIPV entwickeln.

1 <https://www.autodesk.de/solutions/bim>

2 Endbericht „Digitalisierung und Standardisierung der Immobilienwirtschaft unter Anwendung von BIM am Beispiel eines Neubaus: Bio-Institut der HBLFA Raumberg-Gumpenstein“, Ch Schranz, A. Gerger, S. Fischer, H. Urban - Herausgeber: buildingSMART Wien, 2021

3 <https://www.autodesk.com/industry/aec/bim/benefits-of-bim>

4 <https://www.tuwien.at/cee/ibb/zdb/forschung/laufende-forschungsprojekte/brise-vienna>

5 <https://www.pvsyst.com/>

6 Tutorial „PVSYST 7 – Components Database“

7 <http://main.enerbim.com/en/references-2/>

8 OECD/IEA 2016 Energy Technology Perspectives: Towards Sustainable Urban Energy Systems, IEA Publishing

9 Photovoltaik Technologie-Roadmap Teil 2, Bundesministerium für Verkehr, Innovation, Technologie, Wien 2016, Hubert Fechner, Maximilian Rosner, TECHNIKUM WIEN GmbH; Christoph Mayr, Marcus Rennhofer, Astrid Schneider, AIT-Austrian Institute of Technology; Gerhard Peharz, JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH -

<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/e2050/publikationen/photovoltaic-roadmap-teil-2-2018.php>

10 Quelle: Europerat: <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/fit-for-55-making-buildings-in-the-eu-greener/>

11 Präsentation Trina Solar: “Designed for Success: Bifacial power plants built to last and to provide lowest LCoE”, 15.09.2022 - Video

12 <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc>

13 <https://www.iso.org/standard/70303.html>

14 IEA PVPS Task 15 – International Energy Agency (IEA) Photovoltaic Power Systems Programme (PVPS) Task 15 “Enabling Framework for the Development of BIPV” - <https://iea-pvps.org/research-tasks/enabling-framework-for-the-development-of-bipv/>

15 <https://iea-pvps.org/key-topics/bipv-digitalization/>