

In welchen Szenarien kann ein automatischer Entwurf von Raumautomationssystemen nützlich sein?

Aufwandsabschätzung und Vergleich von manuellem und automatischen Entwurfsvorgehen

Bastian Wollschlaeger*

23. April 2024
(Version 1.0)

Systemintegratoren müssen Planung und Entwurf von Raumautomationssystemen (RA-Systemen) aktuell manuell durchführen. Diese Praxis erweist sich zunehmend als den steigenden gesetzlichen Anforderungen (*Gebäudeenergiegesetz*) und gleichzeitig sinkenden Personalkapazitäten (*Fachkräftemangel*) nicht gewachsen. Eine höhere Effizienz durch *automatische Entwurfsansätze* könnte Planung und Entwurf von RA-Systemen zukunftssicher machen. Um den praktischen Nutzen des automatischen Entwurfs einzuschätzen, werden manuelles Entwurfsvorgehen und automatischer Entwurf in verschiedenen praxisüblichen Entwurfsszenarien gegenübergestellt. Der Bearbeitungsaufwand wird für beide Verfahren abgeschätzt und daraus abgeleitet, in welchen Szenarien der automatische Entwurf einen praktischen Mehrwert bieten kann.

Erkenntnisse und Einsatzempfehlung

1. Automatischer Entwurf von RA-Systemen kann, konservativ geschätzt, den *Entwurfsaufwand in vielen praktischen Fällen um mehr als 60 % und bis zu 90 % reduzieren.*
2. Für *einfache* Standardaufgabenstellungen ohne wesentliche *nicht-funktionale Einschränkungen* scheint ein manueller Entwurf mit einer Favoritenliste von bekannten Produkten schneller als ein automatischer Entwurf.
3. Sobald allerdings *unbekannte Produkte* zur Realisierung einer Aufgabenstellung benötigt werden, ist der automatische Entwurf der manuellen Lösungssuche deutlich überlegen.

*Professur für Technische Informationssysteme
Technische Universität Dresden
01062 Dresden, Deutschland
bastian.wollschlaeger@tu-dresden.de
Kontaktadresse: info@auteras.de

1 Einleitung

1.1 Motivation und Zielstellung

Nicht zuletzt durch die 2023 beschlossenen Änderungen des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) und den darin enthaltenen *Mindestanforderungen an die Automation im Gebäude*¹ [1] wird die Raumautomation (RA) zur Erreichung der Klimaziele eine zunehmend wichtige Rolle spielen. Gleichzeitig ist der Entwurf von RA-Systemen jedoch aufwendig und wird aktuell weitgehend manuell vorgenommen. In Anbetracht des einsetzenden Fachkräftemangels ist bereits jetzt ein sich entwickelnder *Flaschenhals an Entwurfskapazitäten* erkennbar.

Um diese Hürde der Verbreitung von Raumautomation zu verringern, sind effizientere Entwurfsprozesse notwendig. *Automatische Entwurfsverfahren* sind vielversprechende Ansätze, um die Effizienz der Entwurfsprozesse zu steigern [2]. Am Lehrstuhl für Technische Informationssysteme der TU Dresden wurde mit AUTERAS² ein innovatives Konzept für einen *automatischen Systementwurf für Raumautomationssysteme* entwickelt [3]. AUTERAS modelliert die Funktionalität von Produkten der RA [4], [5], sodass basierend auf vom Nutzer spezifizierten Entwurfszielen verschiedene interoperable *Entwurfsvorschläge automatisch* ermittelt werden können. Dabei konzentriert sich der AUTERAS-Ansatz auf „übliche“ Aufgabenstellungen, indem die *Standardfunktionen der Raumautomation* nach DIN EN 17609 [6] (früher VDI 3813-2 [7]) als Basis genutzt werden. Mit diesen Funktionen lässt sich eine hohe Zahl³ an *Raumkonzepten* bilden, sodass ein Großteil der in der Praxis gewünschten Raumausstattungen mit dem automatischen Entwurfsansatz entworfen werden können.

Damit jedoch der automatische Entwurfsansatz auch im realen Praxiseinsatz einen Mehrwert generieren und dabei helfen kann, das Entwurfsvorgehen in der RA *zukunftsicher* zu gestalten, müssen die Einsparpotentiale durch automatischen Entwurf abgeschätzt und sinnvolle Einsatzszenarien identifiziert werden.

Zielstellung

Es soll abgeschätzt werden, inwieweit der automatische Entwurfsablauf im Vergleich zum manuellen Entwurfsvorgehen der heutigen Praxis in der Lage ist, den Entwurfsaufwand zu reduzieren, und in welchen Szenarien dies besonders zum Tragen kommt.

Dazu werden beispielhaft verschiedene Entwurfsaufgabenstellungen betrachtet und deren Entwurfsaufwand für den manuellen und den automatischen Entwurfsablauf abgeschätzt und verglichen.

1.2 Aufbau des Papers

Der Rest des Papers ist wie folgt strukturiert: In Abschnitt 2 werden die Hintergründe des Papers erläutert. Dazu gehören das Konzept *Favoritenliste*, denkbare Szenarien für den Vergleich der Entwurfsansätze und die genutzten Aufgabenbeispiele. Abschnitt 3 erläutert das *Vorgehen* für den manuellen und automatischen Entwurfsablauf, deren

¹Siehe § 71a GEG.

²AUTERAS-Website: www.auterass.de, Kontaktadresse: info@auteras.de.

³Die Anforderungserfassung von AUTERAS ermöglicht die Definition von über 250 Mio. verschiedenen sinnvollen Kombinationen.

jeweiliger *Aufwand* in Abschnitt 4 abgeschätzt wird. Anschließend werden die Aufwände verglichen und *praktisch nützliche Szenarien* für das automatische Entwurfsvorgehen identifiziert. Abschließend werden die Ergebnisse und praktischen Implikationen in Abschnitt 5 diskutiert.

2 Hintergrund

2.1 Manueller Entwurf durch einen Systemintegrator

Für den manuellen Entwurf wird ein erfahrener Systemintegrator angenommen, der mit einer Menge von Produkten vertraut ist. Diese (individuelle) sog. „Favoritenliste“ soll ausreichend sein, um vorgedachte Lösungen für verschiedene Aufgabenstellungen erstellen zu können. Somit kann der pragmatische Ansatz, Kundenwünsche vornehmlich mit bekannten Geräten zu realisieren, nachvollzogen werden. Das Konstrukt der Favoritenliste emuliert die in der Praxis vorhandenen Produktkenntnisse von Integratoren und bietet damit eine gute Vergleichsbasis zum automatischen Entwurf, da es unrealistisch wäre, wenn Integratoren für jede Aufgabenstellung ihnen komplett unbekannte Produkte wählen würden.

Da es jedoch häufig vorkommen wird, dass die Produktkenntnisse eines Integrators für einen Kundenwunsch nicht ausreichend sind, werden die Beispiele zur Aufwandsabschätzung in verschiedenen Konstellationen (*Entwurfsszenarien*) betrachtet. Diese Entwurfsszenarien unterscheiden sich darin, ob und wie viele dem Integrator *unbekannte* Produkte zur Umsetzung des Kundenwunsches benötigt werden. Die zu verwendenden Entwurfsszenarien und Entwurfsaufgabenstellungen werden im Folgenden eingeführt, nachdem das Konstrukt der Favoritenliste näher erläutert worden ist. Anschließend werden die allgemeinen Entwurfsabläufe für manuelles und automatisches Vorgehen beschrieben, deren Teiltätigkeiten eingeführt und eine allgemeine Aufwandsschätzung dieser Teilschritte vorgenommen. Daraus lässt sich der Gesamtaufwand für die Entwurfsabläufe abschätzen und schließlich vergleichend gegenüberstellen.

Die hier dargestellten Aufwandsschätzungen können nur eine grobe, qualitative Orientierung zum Vergleich des automatischen und des manuellen Entwurfs liefern, da sie auf vielen Annahmen und Vereinfachungen der Praxis beruhen. Wo immer möglich wurden die Abschätzungen *konservativ*, also *zugunsten des manuellen Entwurfsvorgehens*, getroffen.

2.2 Favoritenliste

In der Praxis äußert sich die Erfahrung eines Integrators vornehmlich in der Menge an Produkten, mit denen dieser vertraut ist und für die bereits vorgedachte, z. T. auch praktisch erprobte, Zusammenschaltungen bestehen. Wie oben beschrieben wird dieser Sachverhalt durch das Konstrukt der *Favoritenliste* approximiert. Eine Favoritenliste lässt sich dabei wie folgt definieren (vgl. Def. 2.1):

Definition 2.1 (*Favoritenliste*)

Unter einer *Favoritenliste* wird eine (möglichst kleine) Menge von Produkten und Produktzusammenstellungen verstanden, die für eine bestimmte Menge an (rein funktionalen) Aufgabenstellungen (RA-Schemata) mind. einen erprobten Entwurf ermöglicht.

Wie in der Definition ersichtlich wird, ignoriert eine Favoritenliste nicht-funktionale Anforderungen weitgehend. Die in der Favoritenliste enthaltenen Produkte werden mit dem Fokus auf die Erfüllung von funktionalen Anforderungen üblicher Kundenwünsche („Aufgabenstellungen“) ausgewählt. Dabei kann davon ausgegangen werden, dass die ausgewählten Produkte so zueinander kompatibel sind, dass sie den für die Aufgabenstellungen nötigen Informationsaustausch gewährleisten können. Implizit enthält die Favoritenliste also auch Produktzusammenstellungen für die jeweiligen Aufgabenstellungen.

Die Liste wird in der Praxis kompakt sein, da alle in ihr enthaltenen Produkte dem Integrator bekannt sein müssen, was jeweils viel Einarbeitungsaufwand und praktische Tests erfordert. Als realistische Größe einer Favoritenliste in der Praxis kann von ca. 20–60 Produkten ausgegangen werden. Vor dem Hintergrund der nötigen Kompatibilität wird die Liste wahrscheinlich auch nur wenige verschiedene Hersteller enthalten. Entsprechende Einschränkungen in der Erfüllbarkeit aller denkbaren Kundenwünsche sind die Folge. Für einen erfüllbaren Kundenwunsch wird es durch die praktische Größenbeschränkung der Favoritenliste i. d. R. wenige Alternativlösungen mit den Produkten der Favoritenliste geben. Meist kann für einen Kundenwunsch von einem einzigen Entwurfsvorschlag, manchmal von zwei bis drei Alternativen ausgegangen werden.

2.3 Entwurfsszenarien

Die im Folgenden eingeführten Entwurfsszenarien sollen typische praktische Konstellationen bei der Erfüllung einer Entwurfsaufgabenstellung repräsentieren. Ausgangspunkt ist jeweils ein erfahrener Integrator, der eine Menge von Produkten auf seiner Favoritenliste im Detail kennt und zunächst versucht, Kundenwünsche mit diesen Produkten zu erfüllen. In den folgenden drei Szenarien *S1*, *S2* und *S3* handelt es sich bei den Kundenwünschen um:

Szenario S1 *Standardaufgaben*, die mit der Favoritenliste erfüllbar sind.

Szenario S2 *leicht über Standardaufgaben* hinausgehende Wünsche, für die genau ein zusätzliches, unbekanntes Produkt („Enabler-Produkt“) benötigt wird.

Szenario S3 *deutlich über Standardaufgaben* hinausgehende Wünsche, für die mehr als ein zusätzliches, unbekanntes Produkt benötigt wird.

Die drei Szenarien wurden mit aufsteigender Schwierigkeit für den Integrator gewählt. *Szenario S1* liegt i. d. R. vor, wenn keine Einschränkungen an die verwendbaren Produkte bestehen. Je begrenzter die Kundenwünsche sind, z. B. bei der Beschränkung auf Einzelgewerke wie Beleuchtung oder Verschattung, umso eher kann Szenario S1 vorliegen. In der Praxis sind dies v. a. Aufgaben mit einer geringeren Anzahl von kommunizierenden Komponenten, die nur einen vglw. geringen Anspruch an Energieeffizienz⁴ erfüllen können.

Szenario S2 tritt in der Praxis sehr häufig auf, da üblicherweise nicht-funktionale Anforderungen aus vorgelagerten Planungsphasen zu berücksichtigen sind. So können Anforderungen des Architekten beispielsweise die Bedienelemente betreffen oder es muss aus bauphysikalischen Zwängen fremdvorgegebene Aktorik berücksichtigt werden⁵. In-

⁴Im Sinne der „Energieeffizienzklassen“ nach ISO 52120 [8] bzw. des „Automationsgrads“ in DIN V 18599 [9] und dem GEG.

⁵Weitere Anforderungen, die unbekannte (Fremd-)Produkte notwendig machen können, sind in Anhang B aufgeführt.

sofern es sich dabei um Einschränkungen an den Schnittstellen zum physikalischen Gebäudesystem handelt, können diese Beschränkungen häufig isoliert betrachtet und auf ein unbekanntes Enabler-Produkt zurückgeführt werden. Der Integrator muss in diesem Fall aus allen verfügbaren Produkten ein zu seinen bekannten Produkten geeignetes Alternativprodukt suchen, dieses verstehen und testen. Allerdings kann für dieses Alternativprodukt bereits eine feste und bekannte Schnittstelle aus den Favoritenprodukten ermittelt werden, wodurch die Produktsuche direkt möglich ist.

Reicht ein isoliertes Enabler-Produkt nicht mehr aus oder sollen sogar neue Realisierungsvarianten ermittelt werden, liegt schließlich die Konstellation des *Szenarios S3* vor. Im Gegensatz zu Szenario S2 tritt hier die Erschwernis auf, dass mehrere unbekannte Produkte gefunden werden müssen, die zudem zueinander kompatibel sein müssen. Konnte bei Szenario S2 noch direkt ein Produkt zu einer festen Schnittstelle gesucht werden, müssen bei Szenario S3 mehrere Produkte identifiziert und deren wechselseitige Schnittstellen geprüft werden. Im Idealfall können mit mehreren Suchvorgängen bereits zueinander kompatible Produkte gefunden werden, sodass der Suchaufwand lediglich ein Vielfaches des Suchaufwands für ein Produkt ist. Realistischerweise wird es in der Praxis jedoch zu Iterationen bei der Produktsuche kommen, da die identifizierten Produkte nicht zueinander passen und mindestens eines der Produkte erneut gesucht werden muss. Hierbei entsteht ein nicht-linearer Suchaufwand, der den manuellen Entwurf in der Praxis sehr komplex werden lässt. Im Geiste der konservativen und für den manuellen Entwurf günstigen Abschätzung wird im Folgenden davon ausgegangen, dass Iterationen bei der Produktsuche nicht auftreten. Ferner wird die Zahl der unbekannten Produkte für Szenario S3 für die Aufwandsschätzungen konservativ mit genau zwei angenommen.

2.4 Aufgabenbeispiele

Für die Betrachtung des Entwurfsaufwands wurden beispielhafte Aufgaben, sog. *Referenzbeispiele*, definiert. Es wurde pro Gewerk (L: Beleuchtung, S: Verschattung, HLK: Heizen, Klima, Lüften) eine praxisübliche Aufgabe gewählt und zusätzlich eine Aufgabe erstellt, welche die kombinierten Anforderungen der Einzelgewerke enthält (ALL). So können unterschiedlich umfangreiche Kundenwünsche verschiedener Gewerke in die Schätzung einbezogen werden. Für das Gewerk *Verschattung* wurde mit *Referenzbeispiel S* eine Aufgabe gewählt, die eine automatische Steuerung der Verschattungseinrichtungen inkl. manueller Bedienmöglichkeiten sowie eines Witterungsschutzes auf Basis von Niederschlag, Windgeschwindigkeit und Außentemperatur (Frostschutz) fordert. Diese Aufgabenstellung ist in Abbildung 1 als RA-Schema visualisiert. Die RA-Schemata der weiteren verwendeten Aufgabenstellungen sind in Anhang A zu finden.

Um die Aufwandsschätzung von den konkreten gewählten Funktionen abstrahieren zu können, wurden strukturelle Kenndaten der Aufgabenstellungen bestimmt und für die Berechnung des Entwurfsaufwands genutzt. Für jede der Entwurfsaufgaben und deren Lösungsvorschläge wurden folgende Kerndaten erhoben:

- F** Anzahl der Funktionen in dem RA-Schema des Aufgabenbeispiels.
- V** Anzahl der Verbindungen in dem RA-Schema des Aufgabenbeispiels.
- G** Gesamtzahl der Geräte, mit denen die Aufgabe realisiert werden kann.
- U** Anzahl der (unbekannten) Geräte, die zur Realisierung der Aufgabe zusätzlich nötig sind. Es gilt $U \leq G$. Für ein Szenario S_i gilt: $U = i - 1$.

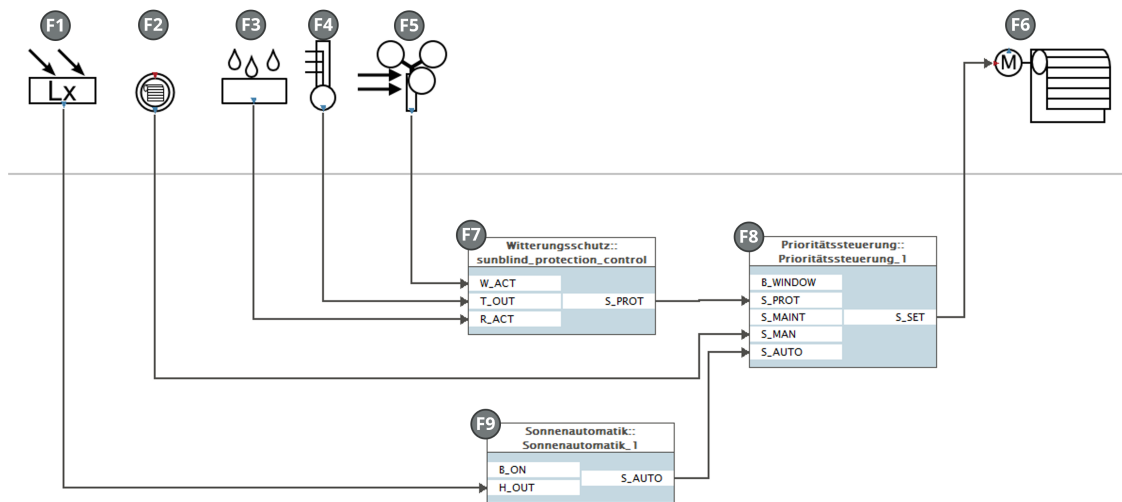


Abbildung 1: Die Entwurfsaufgabenstellung „S“ für das Verschattungsgewerk. Die enthaltenen Funktionsblöcke sind durch Markierungen „Fx“ gekennzeichnet, auf die in den Erläuterungen des Beispiels in Anhang A.2 Bezug genommen wird.

T_{real} reale Berechnungsdauer des automatischen Entwurfs für die Aufgabenstellung

In Tabelle 1 ist eine Übersicht über die Aufgabenstellungen, ihre Kennzahlen (F und V) sowie die mittels des automatischen Entwurfs bestimmten Entwurfsvorschläge (Anzahl der Entwurfsvorschläge, mittlere Gerätezahl G, Berechnungsdauer des reinen Entwurfschrittes T_{real}) dargestellt.

Tabelle 1: Übersicht der Aufgabenbeispiele für den Aufwandsvergleich

Aufgabe	Beleuchtung	Verschattung	HLK	Kombiniert
Beschreibung	Konstantlicht, Präsenzsensordetektor und Bedienung	Sonnenautomatik, (kompletter) Witterungsschutz und Bedienung	Gebläsekonvektor Heizen, Sollwertwahl, Präsenzsensordetektor, Fensterüberwachung	alle Anforderungen der Einzelgewerke in einem gemeinsamen RA-Schema
Kennzahlen (Aufgabe)	F = 6 V = 5	F = 9 V = 8	F = 13 V = 18	F = 27 V = 31
Anzahl Ergebnisse	18	15	19	14
Kennzahlen (Entwurfsvorschlag)	G = 3 $T_{real} = 1$ s	G = 3 $T_{real} = 1$ s	G = 4 $T_{real} = 9$ s	G = 7 $T_{real} = 88$ s

3 Entwurfsabläufe für manuellen und automatischen Entwurf

Die eingeführten Kennzahlen werden bei der Aufwandsschätzung der Entwurfsteilschritte zur Anwendung kommen. Zunächst werden jedoch die Entwurfsabläufe für den Fall

des manuellen und des automatischen Entwurfs vorgestellt, bevor anschließend die einzelnen Teilaufgaben beschrieben und ihr jeweiliger Aufwand geschätzt wird.

3.1 Manueller Entwurfsablauf

Der nachfolgend beschriebene **manuelle Entwurfsablauf** ist schematisch als UML-Aktivitätsdiagramm in Abbildung 2 abgebildet.

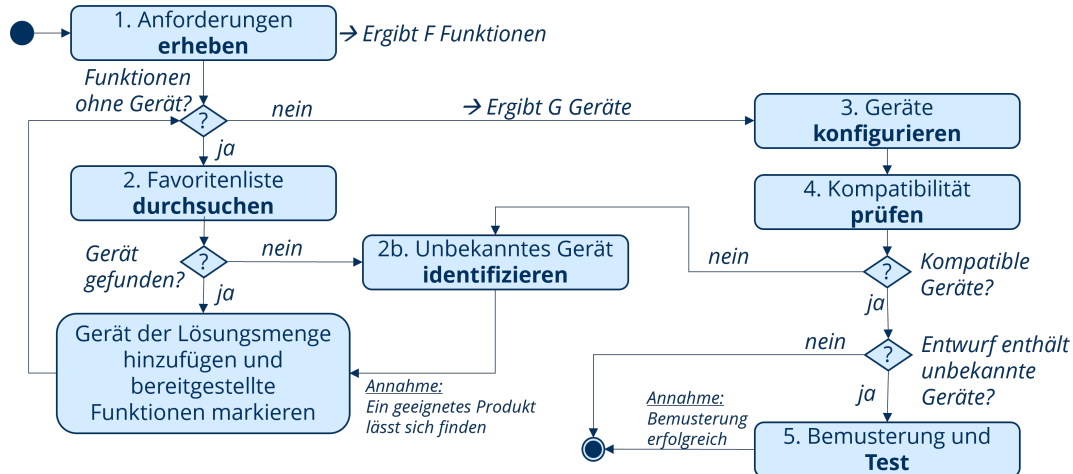


Abbildung 2: Der Ablauf der Tätigkeiten im *manuellen* Entwurfsvorgehen, dargestellt als UML-Aktivitätsdiagramm.

Der Entwurfsablauf startet – im manuellen sowie im automatisch Fall – gleichermaßen mit einer Anforderungserhebung (1. *Anforderungen erheben*), in der die Kundenwünsche erfasst und in eine entsprechende Aufgabenstellung als RA-Schema überführt werden. Im **manuellen Ablauf** sucht nun der Integrator in seiner Favoritenliste nach Produkten, welche die Funktionen der Aufgabenstellung erfüllen (2. *Favoritenliste durchsuchen*). Ist für eine Funktion ein entsprechendes Produkt vorhanden, so wird dieses der Lösungsmenge hinzugefügt und zugleich alle weiteren durch dieses Produkt bereitgestellten Funktionen als erfüllt markiert. Wenn in der Favoritenliste kein geeignetes Produkt gefunden wurde (Szenario S2 oder S3), so muss ein Enabler-Produkt gefunden werden (2b. *Unbekanntes Gerät identifizieren*). Unter der Annahme, dass sich auf dem Markt immer ein geeignetes Produkt finden lässt, kann nun dieses Enabler-Produkt der Lösungsmenge hinzugefügt werden. Analog werden auch weitere durch das Produkt bereitgestellte Funktionen als erfüllt markiert. Dieser Suchprozess wird nun fortgesetzt, bis es keine Funktionen mehr gibt, die nicht von einem Produkt in der Lösungsmenge bereitgestellt werden. Somit wird der Suchprozess insgesamt G-fach durchlaufen. Als Zwischenergebnis enthält die Lösungsmenge an dieser Stelle G Produkte.

Die Produkte der Lösungsmenge müssen nun als Geräte in einem Raumentwurf integriert werden, indem sie konfiguriert und miteinander verschaltet werden (3. *Geräte konfigurieren*). Danach muss – für unbekannte Geräte – ihre Kompatibilität mit den anderen Geräten des Raumentwurfs geprüft werden (4. *Kompatibilität prüfen*). Werden dabei Inkompatibilitäten festgestellt, so muss das entsprechende Gerät durch ein anderes, i. d. R. unbekanntes Gerät ersetzt werden. Es entsteht eine aufwendige Iterationsschleife, die aber entsprechend der oben genannten konservativen Schätzung für diese Aufwandsberechnung nicht betrachtet wird. Anschließend kann von einem interoperablen Raumentwurf ausgegangen werden. Bevor dieser Entwurf in alle Räume des gleichen Raum-

typs vervielfältigt wird, wird der Entwurf üblicherweise in einen Musterraum eingebaut und auf Funktionsfähigkeit getestet (5. *Bemusterung und Test*). Lediglich im Fall, dass ausschließlich Produkte aus der Favoritenliste genutzt wurden, kann angenommen werden, dass Bemusterung und Test nicht notwendig sind, da diese in der Vergangenheit erfolgt sind⁶. Anschließend ist der manuelle Entwurfsablauf mit einem Entwurfsvorschlag als Ergebnis erfolgreich beendet.

3.2 Automatischer Entwurfsablauf

Der **automatische Entwurfsablauf** beginnt ebenso mit der Anforderungserfassung (1. *Anforderungen erheben*), unterscheidet sich allerdings danach fundamental vom manuellen Entwurfsablauf. Der entsprechende Ablauf des automatischen Entwurfs ist in Abbildung 3 schematisch als UML-Aktivitätsdiagramm abgebildet.

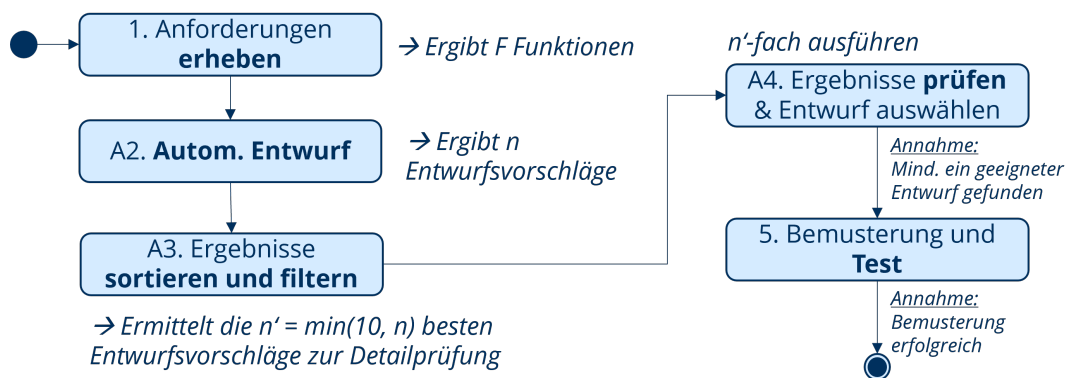


Abbildung 3: Der Ablauf der Tätigkeiten im *automatischen* Entwurfsvorgehen, dargestellt als UML-Aktivitätsdiagramm. Schritte, die nur im automatischen Entwurfsvorgehen genutzt werden, sind durch ein vorangestelltes „A“ gekennzeichnet.

Mit den erhobenen Anforderungen in Form eines RA-Schemas kann direkt der automatische Entwurfsalgorithmus gestartet werden (A2. *Automatischer Entwurf*). Die Dauer eines Entwurfsdurchlaufs ist von der Aufgabenstellung und dem verwendeten Entwurfsalgorithmus abhängig. Als Ergebnis entsteht eine Liste mit Entwurfsergebnissen, die aus konfigurierten Geräten und interoperablen Datenflüssen zwischen ihnen bestehen. Der Schritt A2 führt also die Aufgaben der Schritte 2, 2b, 3 und 4 aus dem manuellen Entwurf aus. Da der automatische Entwurf auf eine Produktdatenbank zugreifen kann, welche die Größe einer Favoritenliste um ein Vielfaches übersteigt, kann er – je nach konkretem Entwurfsalgorithmus – eine Vielzahl unterschiedlicher Entwurfsergebnisse berechnen.

Die automatisch erstellten Entwurfsvorschläge auf ihre Eignung hin zu bewerten, erfordert eine manuelle Prüfung eines jeden Entwurfsergebnisses. Um den Aufwand für die Prüfung zu begrenzen, werden üblicherweise nur die vielversprechendsten Entwurfsvorschläge im Detail untersucht. Dazu wird die Gesamtliste von Entwurfsergebnissen zunächst gesichtet und gefiltert (A3. *Ergebnisse sortieren und filtern*), sodass eine Maximalzahl von ca. zehn Entwürfen zur Detailprüfung und finalen Entscheidung des besten Entwurfs verbleiben (A4. *Ergebnisse prüfen und Entwurf auswählen*). Unter der Annahme, dass unter den im Detail untersuchten Entwürfen mind. ein geeigneter Entwurfsvorschlag

⁶Die Erstellung eines Musterraumes ist für Integratoren üblicherweise sinnvoll, um mit den Kunden die finale Ausstattung eines Raumtyps zu besprechen. Diese Bemusterung wird hier jedoch nicht betrachtet, da dies erst nach der Entwurfsentscheidung stattfindet.

enthalten ist, wird wie im manuellen Entwurfsablauf eine Bemusterung und ein Test des Musterraums vorgenommen (5. *Bemusterung und Test*). Für unbekannte Produkte ist eine Bemusterung ohnehin immer sinnvoll. Als konservative Schätzung wird für den automatischen Entwurf selbst ohne unbekannte Produkte, d. h. im Szenario S1 (Standardaufgaben mit Produkten der Favoritenliste), davon ausgegangen, dass eine Bemusterung und ein Test stattfinden. Als Ergebnis steht auch nach diesem Ablauf ein erfolgreicher Entwurfsvorschlag bereit.

4 Aufwandsschätzungen und Vergleich

4.1 Schätzung des Aufwands der Entwurfsschritte

Um den Gesamtaufwand der beiden möglichen Entwurfsabläufe abzuschätzen, werden nun die einzelnen Tätigkeiten in Abhängigkeit der Kenndaten der Aufgabenstellungen abgeschätzt. Tabelle 2 zeigt die Aufwandsschätzungen der einzelnen Teilschritte der Entwurfsvarianten im Überblick.

Tabelle 2: Aufwandsschätzung der Teilschritte der Entwurfsvorgehen

Schritt	Dauer	Anmerkungen
Schritt 1	5 min (pauschal)	<i>Anforderungen erheben:</i> Die Anforderungen des Kunden für einen Raumtyp müssen ermittelt werden. Sowohl im automatischen Verfahren („Interview“) wie auch im manuellen Verfahren fällt eine vergleichbare Zeit für diese Aufgabe an.
<i>Manuelle Entwurfsschritte</i>		
Schritt 2	2 min (pauschal)	<i>Favoritenliste durchsuchen:</i> Für die Produkte auf der Favoritenliste kann der Integrator schnell ihre Eignung abschätzen. In der gleichen Zeit kann abgeschätzt werden, ob die Favoritenliste für eine Funktion ein geeignetes Produkt enthält. Da Produkte mehrere Funktionen umsetzen können, muss diese Tätigkeit realistischerweise nur so oft durchlaufen werden, wie Geräte zur Realisierung der Aufgabe benötigt werden (G).
Schritt 2b	405 min (pro unbekanntem Produkt)	<i>Unbekanntes Gerät identifizieren:</i> Überschlag: 0,2 % der Produkte im Katalog kommen in Frage (= 20 relevante Einträge), davon 25 % nach Datenblattprüfung (= 5) und davon verbleibt ein geeignetes Produkt nach Handbuchprüfung (20 % Quote).

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Schritt	Dauer	Anmerkungen
Schritt 3	5 min (pro bekanntem Produkt)	<i>Geräte konfigurieren:</i> In diesem Schritt sollen alle Produkte in den Raumentwurf integriert werden, d. h. Parametrierung der Geräte entsprechend ihrer Einsatzrolle und das Erstellen der Verbindungen zwischen den Geräten. Für diese Tätigkeit kann eine pauschale Zeit pro Gerät veranschlagt werden. Für unbekannte Produkte ist der Aufwand als ca. vierfach anzusehen.
	20 min (pro unbekanntem Produkt)	
Schritt 4	5 min (pro unbekanntem Produkt)	<i>Kompatibilität prüfen:</i> Es müssen alle Softwarebindings aller unbekannten Produkte geprüft werden – hier entsteht der wesentliche Aufwand, da Verbindungen von bekannten Geräten nicht geprüft werden müssen. Wie viele Softwarebindings an Geräten vorliegen, lässt sich schwer abschätzen, da dies von der Rolle des Gerätes abhängt. Vereinfacht wird dieser Aufwand auf den Aufwand pro zu prüfendem unbekannten Geräte abgeschätzt (unter der Annahme, dass die Bindings an den Geräten etwa gleichmäßig verteilt sind).
<i>Automatische Entwurfsschritte</i>		
Schritt A2	5 min (pauschal)	<i>Automatischer Entwurf:</i> Die Dauer eines Entwurfsdurchlaufs ist von der Aufgabenstellung abhängig. Die Berechnungsdauer wird eine eher kurze Zeit in Anspruch nehmen, kann bei komplexeren Entwürfen aber deutlich höher sein. Dies ist abhängig vom konkreten verwendeten Algorithmus. Für die dargestellten Entwurfsaufgaben bewegte sich die reale Berechnungsdauer des automatischen Entwurfs T_{real} im Bereich von einer bis zu ca. 90 Sekunden. Die Abschätzung von 5 min als Entwurfsdauer für Schritt A2 ist somit als konservativ anzusehen.
Schritt A3	5 min (pauschal)	<i>Ergebnisse sortieren und filtern:</i> Die Entwurfsergebnisse können anhand ihrer groben strukturellen Merkmale (z. B. Anzahl Geräte / Hersteller / Preis / ...) zügig beurteilt werden. Offensichtlich unpassende Ergebnisse werden dabei ausgeschlossen. Die nach dieser Vorauswahl $n_{MAX} = 10$ besten Ergebnisse werden im nächsten Schritt im Detail geprüft.
	Begrenzung auf $n_{MAX} = 10$ Ergebnisse	

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Schritt	Dauer	Anmerkungen
Schritt A4	5 min (pro Entwurfsergebnis)	<i>Ergebnisse prüfen & Entwurf auswählen:</i> „Verstehen des Entwurfsvorschlags“: Für jedes geeignet scheinende Entwurfsergebnis ⁷ wird eine nochmalige Plausibilitätsprüfung durchgeführt.
	Maximal für $n_{MAX} = 10$ Ergebnisse	Dabei werden u. a. die Abdeckung der RA-Funktionsblöcke, das Vorhandensein der RA-Verbindungen, die Kompatibilität der Datenflüsse geprüft und sichergestellt, dass die Geräte entsprechend konfigurierbar sind. Die Bearbeitungszeit enthält auch den Aufwand für einen Entwurfsvergleich nach Bewertungskriterien. Die Entscheidung für den „besten“ Entwurf fällt basierend auf diesen Kriterien. In der Berechnung wird vom Worst Case ausgegangen, sodass alle n_{MAX} Ergebnisse geprüft werden müssen. Das muss praktisch nicht immer der Fall sein.
Schritt 5	15 min (pro bekanntem Produkt)	<i>Bemusterung und Test:</i> Für den Musterraum und Test müssen die Geräte im Entwurfsergebnis beschafft, installiert, konfiguriert und auf ihre korrekte Funktionalität getestet werden.
	60 min (pro unbekanntem Produkt)	Der wesentliche Aufwand entsteht in der Installation der Geräte und ihrem Test (sowohl der Geräte als auch ihrer Verbindungen). Vereinfacht wird dieser Aufwand auf den Aufwand pro zu installierenden und zu testenden Gerät abgeschätzt. Für unbekannte Geräte ist der Aufwand als ca. vierfach anzusehen, sodass sich bei ca. 15 min für ein bekanntes Produkt ein Aufwand von 60 min für ein unbekanntes Produkt ergibt.

Schritt 2b **Unbekanntes Gerät identifizieren** ist aufgrund seines Aufwands eine bedeutende Teiltätigkeit. Die Abschätzung des Aufwands ist komplexer als bei den anderen Entwurfsschritten und bedarf einer zusätzlichen Erklärung. Schritt 2b wird durchgeführt, wenn die Favoritenliste von bekannten Produkten nicht mehr ausreicht und ein geeignetes unbekanntes Produkt identifiziert werden muss. Als Grundlage für diesen Schritt kann die Menge von möglichen Produkten der Raumautomation angesehen werden. Angenommen, diese Menge von Produkten ist in einem (fiktiven) elektronisch durchsuchbaren Katalog enthalten. Dann kann davon ausgegangen werden, dass mind. ca. 10.000 Produkte⁸ grundsätzlich in Frage kommen.

Um aus diesem Produktkatalog ein geeignetes Produkt zu identifizieren, wird von einem mehrstufigen Suchprozess (vgl. Abbildung 4) ausgegangen: Zunächst erfolgt eine **Katalogfilterung** nach grundsätzlichen, groben Kriterien wie Hersteller oder Produktart. Als Ergebnis verbleiben Katalogeinträge, die aufgrund ihrer Bezeichnung und ihrer Pro-

⁷Im Sinne der konservativen Schätzung wird für den automatischen Entwurf pessimistischerweise davon ausgegangen, dass alle $n_{MAX} = 10$ Entwürfe geprüft werden müssen.

⁸Orientiert anhand der Größe des KNX-Onlinekatalogs mit ca. 5.000 Produkten allein für KNX (Stand: Februar 2024).

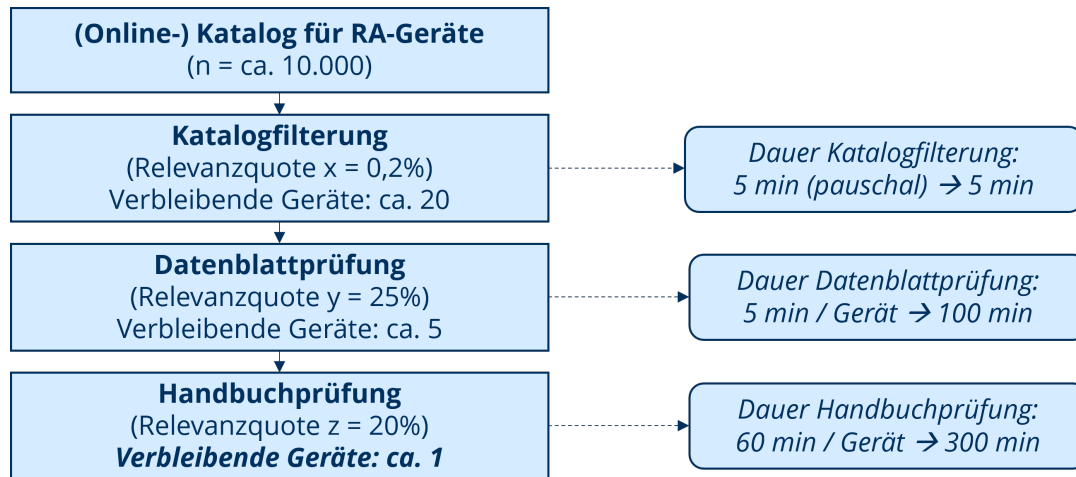


Abbildung 4: Flussschema zur Abschätzung der Dauer der Identifikation eines neuen Produktes.

duktart prinzipiell geeignet scheinen. Da der zentrale Katalog elektronisch durchsuchbar ist, kann angenommen werden, dass die Katalogfilterung pauschal 5 min in Anspruch nimmt und einen Großteil der Produkte als ungeeignet bewertet. Findet die Katalogfilterung nur 0,2 % der Katalogeinträge als prinzipiell geeignete Produkte, so verbleiben ca. 20 Produkte für eine genauere Prüfung.

Der nächste Schritt des Prüfprozesses ist die **Datenblattprüfung**, welche anhand des Datenblatts des Produkts ermittelt, ob das Produkt weiterhin als geeignet zu betrachten ist. In der Datenblattprüfung muss statt des umfangreichen Handbuchs nur das kürzere Datenblatt zu Rate gezogen werden. Oft reicht dieses 1–4 Seiten umfassende Dokument, um schnell ausschließen zu können, dass ein Produkt nicht geeignet ist. In diesem Schritt werden v. a. die hardwaremäßigen Produktschnittstellen und aufgelisteten Funktionalitäten geprüft. Pro zu untersuchendem Gerät wird der Prüfprozess mit 5 min veranschlagt. Als Ergebnis der Datenblattprüfung kommen ca. 25 % der Produkte in die engere Auswahl. Für das betrachtete Mengengerüst entspräche das ca. 5 Produkten.

Die verbleibenden Produkte sind bereits gute Kandidaten für die Realisierung der geforderten Funktionalität. Als letzter Prüfschritt muss in der **Handbuchprüfung** nun das umfangreiche Bedienhandbuch konsultiert werden. Dieses umfasst oft mehr als 50, nicht selten sogar über 100 Seiten Fließtext. Die Prüfung erfolgt hier mit Fokus auf der Softwareapplikation, der Konfigurationsmöglichkeiten und den Kommunikationsschnittstellen des Produkts. Dadurch ist die Handbuchprüfung deutlich aufwendiger als die vorherigen Filterschritte und kann mit ca. 60 min pro betrachtetem Produkt veranschlagt werden. Nach dieser Detailprüfung verbleiben lediglich die sehr gut passenden Produktkandidaten in der engeren Auswahl. Angenommen die Handbuchprüfung identifiziert 20 % der betrachteten Produkte als sehr gut geeignet, dann verbliebe letztlich genau ein Produkt, welches zugleich das *Ergebnis der Produktidentifikation* ist. Tabelle 3 stellt die Schritte des mehrstufigen Filterprozesses anhand des verwendeten Mengengerüsts und der abgeschätzten Dauer dar. Als Kernergebnis wird deutlich, dass die Identifikation eines unbekannten Produkts mit einem sehr hohen Aufwand einhergeht. Grob geschätzt werden pro zu identifizierendem Gerät mehr als 6 h an Arbeitszeit benötigt (405 min).

Tabelle 3: Mengengerüst und Aufwandsschätzung zur Identifikation eines neuen Produkts

Filterschritt	Mengengerüst		Aufwand
	Reduktion	Verbleibend	Dauer
Umfang Produktkatalog		10.000	
Katalogfilterung	0,2 %	20	5 min (<i>pauschal</i>)
Datenblattprüfung	25,0 %	5	5 min (<i>pro Produkt</i>)
Handbuchprüfung	20,0 %	1	60 min (<i>pro Produkt</i>)
Gesamtzeit zur Identifikation eines Produkts:			405 min = 6,75 h

4.2 Schätzung des Gesamtaufwands

Auf Basis der Aufwandsschätzungen der einzelnen Entwurfsschritte und mittels der Kenndaten der Aufgabenstellungen (in den jeweiligen Szenarien S1–S3) kann der Gesamtaufwand für den manuellen und den automatischen Entwurfsablauf berechnet werden. Dazu werden die Zeitbedarfe t_j für die einzelnen Entwurfsschritte anhand der Kenndaten abgeschätzt. Aus den Beschreibungen in Tabelle 2 wird ersichtlich, dass für die Schätzung des Gesamtaufwands lediglich einzelne Kenndaten der Entwurfsaufgabe (G) bzw. der Szenarien (U) nötig sind. In Abhängigkeit dieser beiden Parameter ergibt sich also für den geschätzten manuellen Zeitaufwand T_{man} der in Formel (1) dargestellte Zusammenhang:

$$\begin{aligned}
 T_{man}(G, U) &= t_1 + t_2 + t_{2b} + t_3 + t_4 + t_5 \\
 T_{man}(G, U) &= 5 \text{ min} + 2 \text{ min} * G + 405 \text{ min} * U + 5 \text{ min} * (G - U) + 20 \text{ min} * U \\
 &\quad + 5 \text{ min} * U + (15 \text{ min} * (G - U) + 60 \text{ min} * U) |_{\text{falls } U > 0} \quad (1) \\
 T_{man}(G, U) &= 5 \text{ min} + \begin{cases} 7 \text{ min} * G & \text{falls } U = 0 \text{ (Szenario S1)} \\ 22 \text{ min} * G + 470 \text{ min} * U & \text{sonst} \end{cases}
 \end{aligned}$$

Formel (1) berücksichtigt, dass Schritt 5 nur dann nötig wird, wenn unbekannte Geräte im Entwurfsergebnis enthalten sind. Für Szenario S1 fällt also weder für die bekannten noch für die unbekannten Geräte Aufwand in Schritt 5 an.

Für den automatischen Entwurf fallen im Vergleich zum manuellen Entwurf viele Aufwände pauschal bzw. pauschal pro Entwurfsergebnis an. Bei der Bestimmung der Anzahl der Durchläufe von Schritt A4 wird dabei vom Worst-Case ausgegangen, d. h. von der vollen Maximalzahl von $n_{MAX} = 10$ Entwurfskandidaten für die Detailprüfung. Diese Aufwände sind unabhängig von den Parametern G und U . Diese spielen erst im Schritt 5 (Bemusterung) eine Rolle. Der Zeitaufwand T_{auto} ergibt sich nach Formel (2) als:

$$\begin{aligned}
 T_{auto}(G, U) &= t_1 + t_{A2} + t_{A3} + t_{A4} + t_5 \\
 T_{auto}(G, U) &= 5 \text{ min} + 5 \text{ min} + 5 \text{ min} + 5 \text{ min} * n_{MAX} \\
 &\quad + 15 \text{ min} * (G - U) + 60 \text{ min} * U \quad (2) \\
 T_{auto}(G, U) &= 65 \text{ min} + 15 \text{ min} * G + 45 \text{ min} * U
 \end{aligned}$$

Werden diese Berechnungsformeln nun für die Abschätzung des Aufwands der einzelnen Aufgaben und Szenarien eingesetzt, so ergeben sich die in Tabelle 4 dargestellten Aufwände:

Tabelle 4: Geschätzte Aufwände für die Aufgaben und Szenarien, jeweils angegeben für den manuellen (T_{man}) und automatischen (T_{auto}) Ansatz. Aufwandsangaben in Minuten, wobei die Zahl des schnelleren Ansatzes hervorgehoben ist.

Aufgabe: Szenario	Beleuchtung		Verschattung		HLK		Kombiniert	
	T_{man}	T_{auto}	T_{man}	T_{auto}	T_{man}	T_{auto}	T_{man}	T_{auto}
S1 ($U = 0$)	26	110	26	110	33	125	54	170
S2 ($U = 1$)	541	155	541	155	563	170	629	215
S3 ($U = 2$)	1011	200	1011	200	1033	215	1099	260

Aus den geschätzten Aufwänden wird ersichtlich, dass für den manuellen Entwurf eine Standardaufgabenstellung (d. h. eine rein auf Basis der Favoritenliste lösbare Aufgabenstellung) mit einer halben bis zu einer vollen Arbeitsstunde wenig Zeit in Anspruch nimmt. Diese Zeit steigt jedoch mit jedem unbekannten Produkt, das für die Lösung benötigt wird, sehr stark an. Es ist ungefähr ein voller Arbeitstag von acht Stunden pro unbekannten Produkt zusätzlich nötig.

Im Gegensatz dazu steigt der Aufwand des automatischen Entwurfs nur sehr gering mit steigender Zahl unbekannter Produkte an. Mit einer Bearbeitungsdauer von zwei bis 2,5 Stunden ist der automatische Ansatz für die untersuchten Standardaufgabenstellungen deutlich unattraktiver als das manuelle Vorgehen. Allerdings steigt der Aufwand mit jedem unbekannten Produkt deutlich geringer an als im manuellen Entwurfsvorgehen. Der automatische Entwurf benötigt pro unbekannten Produkt lediglich ca. 45 Minuten zusätzlich, was auf den letzten Schritt 5. *Bemusterung und Test* zurückzuführen ist.

Die Berechnung des prozentualen Einsparpotentials des automatischen Entwurfs, bezogen auf das manuelle Vorgehen, ist in Abbildung 5 für die Szenarien S2 und S3 dargestellt. Durch den automatischen Entwurf kann dabei zwischen 65 % und 80 % des manuellen Entwurfsaufwands eingespart werden.

4.3 Vergleich der Aufwandsschätzungen

Die Zeitersparnis ΔT des automatischen Entwurfs gegenüber dem manuellen Entwurf lässt sich aus den beiden Aufwandsformeln für T_{man} und T_{auto} nach Formel (3) wie folgt bestimmen:

$$\Delta T(G, U) = T_{man}(G, U) - T_{auto}(G, U)$$

$$\Delta T(G, U) = \begin{cases} -8 \text{ min} * G - 60 \text{ min} & \text{falls } U = 0 \text{ (Szenario S1)} \\ 7 \text{ min} * G + 425 \text{ min} * U - 60 \text{ min} & \text{sonst} \end{cases} \quad (3)$$

Ist die Zeitersparnis ΔT positiv, so ist der automatische Entwurf vorteilhaft. Andernfalls ist der manuelle Entwurf schneller. Für Szenario S1 ($U = 0$) wird ersichtlich, dass die Zeitersparnis auf jeden Fall negativ sein wird. Dies liegt daran, dass alle gewählten Produkte aus der Favoritenliste stammen und dem Integrator bekannt sind. Dadurch entfällt die Notwendigkeit einer Bemusterung, die jedoch für alle Ergebnisse des automatischen Entwurfs durchgeführt wird⁹.

⁹Prinzipiell ist auch denkbar, dass der automatische Entwurf nur auf den Produkten der Favoritenliste ausgeführt wird. In diesem Fall lassen sich dann Einsparungen erzielen, wenn der Integrator für die Ergebnisse keine Bemusterung benötigt. Da Lösungen mit den Produkten einer Favoritenliste grundsätzlich als funktionierend angesehen werden, wäre der Verzicht auf die Bemusterung vertretbar.

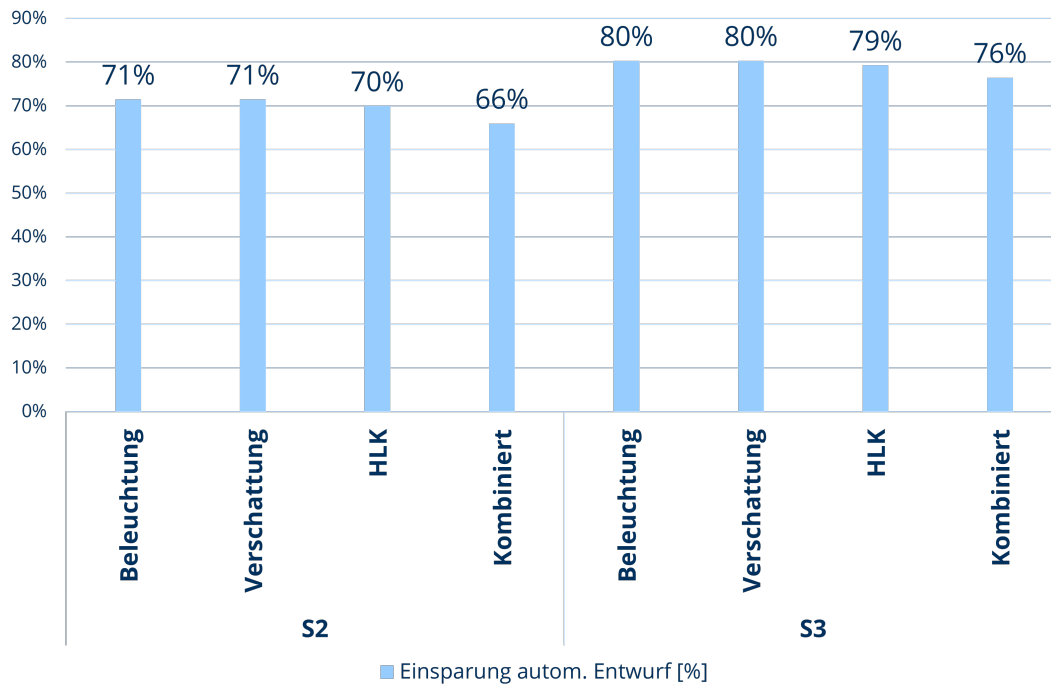


Abbildung 5: Prozentuales Einsparpotential des automatischen Entwurfs ggü. dem manuellen Entwurfsansatz für die Szenarien S2 und S3.

In den anderen Szenarien S2 und S3 wird die Zeitersparnis positiv, sobald die 60 Minuten pauschalen Mehraufwands des automatischen Entwurfs durch Einsparungen bei der Suche von unbekannten Produkten ausgeglichen werden. Da in diesen Szenarien mind. ein unbekanntes Produkt benötigt wird, kann dadurch mit einer Ersparnis von mind. 425 Minuten gerechnet werden. In diesen Fällen rentiert sich der automatische Entwurf immer – unabhängig von der Gesamtzahl der Produkte im Entwurf und auch unabhängig von der konkreten Anzahl an unbekannten Produkten.

Der automatische Entwurf rentiert sich umso stärker, je mehr unbekannte Produkte benötigt werden. Dieser Zusammenhang kann (für $U > 0$) als *relative Zeitersparnis* $\Delta T_{rel}(G, U)$ nach Formel (4) berechnet werden. Aus einer Analyse dieser Abschätzung ergibt sich, dass das Einsparpotential des automatischen Entwurfs bis zu 90 % des Aufwands für einen manuellen Entwurf erreichen kann.

$$\begin{aligned} \Delta T_{rel}(G, U) &= \frac{T_{man}(G, U) - T_{auto}(G, U)}{T_{man}(G, U)} \\ \Delta T_{rel}(G, U) &= 1 - \frac{T_{auto}(G, U)}{T_{man}(G, U)} \\ \Delta T_{rel}(G, U) &= 1 - \frac{65 \text{ min} + 15 \text{ min} * G + 45 \text{ min} * U}{5 \text{ min} + 22 \text{ min} * G + 470 \text{ min} * U} \end{aligned} \quad (4)$$

Mittels der Aufwandsschätzungen konnten folgende allgemeine Erkenntnisse abgeleitet werden:

1. Falls die Favoritenliste für eine Aufgabe ausreicht, ist der manuelle Entwurf immer schneller als der automatische Ansatz.

2. Der automatische Entwurf lohnt sich mit Aufwandseinsparungen von über 60 % deutlich, sobald mindestens ein Enabler-Produkt benötigt wird.
3. Die Aufwandseinsparungen durch den automatischen Entwurf erreichen bis zu 90 %.

5 Diskussion und Fazit

Für die konservativ (also den manuellen Entwurf favorisierenden) abgeschätzten Aufwände ist die manuelle Lösung immer schneller als der automatische Entwurf, sobald eine Favoritenliste von bekannten Produkten genutzt wird und diese Favoritenliste eine Lösung enthält¹⁰. Praktisch werden diese für den manuellen Entwurf günstigen Voraussetzungen jedoch schnell verlassen, da die Größe der Favoritenliste (= des Kenntnisstands des Integrators) eine wesentliche praktische Limitation darstellt. Werden von den Kunden neue Funktionalitäten gefordert oder gibt es nicht-funktionale Vorgaben, welche mindestens eines der für die Umsetzung benötigten Produkte aus der Favoritenliste ausschließen, so ist ein automatischer Entwurf der zeitsparendere Ansatz.

Da zudem stets neue Produkte entwickelt bzw. alte Produkte überarbeitet werden und der Wissenskapazität des menschlichen Integrators Grenzen gesetzt sind, kann eine Favoritenliste immer nur einen Ausschnitt des Marktes beinhalten. Der Favoritenlisten-Ansatz kann also gut zu einer Lösung im unbeschränkten, allgemeinen Fall führen (Standardaufgabenstellungen). Wie diese Standardlösung jedoch im Vergleich zu Alternativlösungen zu bewerten ist, kann der Integrator nur sehr mühsam ermitteln. Ein automatischer Entwurfsansatz ist hier viel eher in der Lage, den Lösungsraum fernab der bekannten Menge von Produkten zu erkunden und auch neue Lösungsvorschläge zu ermitteln.

Durch die dargelegten Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass der automatische Entwurfsansatz in praktisch häufig auftretenden Szenarien zu einer Aufwandssenkung führen kann. Über den reinen zeitlichen Aufwand hinaus bieten automatische Entwurfsverfahren wie AUTERAS eine Vielzahl weiterer Vorteile, die in diesem Paper nicht gesondert betrachtet wurden. Dazu zählen u. a. die *Nutzung aktueller Normen und Richtlinien* wie die DIN EN 17609 [6], *durchgängige Arbeitsabläufe* von der Planung bis zur Baustelle, die *Vermeidung von Flüchtigkeitsfehlern* oder eine *automatische Dokumentation* in den verschiedenen Leistungsphasen der HOAI¹¹.

Zusammenfassung: Vergleich von automatischem und manuellem Entwurf

Ein manueller Entwurf mit einer Favoritenliste von bekannten Produkten scheint schneller als ein automatischer Entwurf, wenn eine Standardaufgabenstellung bearbeitet wird. Sobald allerdings unbekannte Produkte zur Realisierung einer Aufgabenstellung benötigt werden, ist der automatische Entwurf der manuellen Lösungssuche überlegen.

Da in praktischen Aufgaben mit vielen nicht-funktionalen Anforderungen sehr häufig unbekannte Produkte benötigt werden, kann der automatische Entwurfsansatz den Entwurfsaufwand in vielen praktischen Fällen deutlich (um über 60 % und bis zu 90 %) reduzieren.

¹⁰Bei der Beurteilung, ob eine Aufgabenstellung durch eine Favoritenliste erfüllbar ist, kann wiederum der automatische Entwurf eine schnelle Abschätzung liefern.

¹¹Die *Honorarordnung für Architekten und Ingenieure* (HOAI) definiert Leistungsphasen in §34 Absatz 3 HOAI.

Disclaimer und Danksagung

Diese Untersuchungen wurden im Rahmen der Tätigkeit in der AUTERAS-Arbeitsgruppe durchgeführt (www.auteras.de). Spezieller Dank gebührt dem gesamten AUTERAS-Team für das wertvolle Feedback zu den Untersuchungen und dem Manuskript.

Literatur

- [1] M. Krödel, „Die gesetzlichen Anforderungen des GEG 2024 (Gebäudeenergiegesetz) an die Gebäudeautomation,“ IGT – Institut für Gebäudetechnologie GmbH, Prof. - Messerschmitt - Str. 8, D-85579 Neubiberg, Techn. Ber., Dez. 2023. Adresse: <https://www.igt-institut.de/geg/>.
- [2] T. Sauter, S. Soucek, W. Kastner und D. Dietrich, „The Evolution of Factory and Building Automation,“ *IEEE Industrial Electronics Magazine*, Jg. 5, Nr. 3, S. 35–48, 2011, ISSN: 1941-0115. DOI: 10.1109/MIE.2011.942175.
- [3] K. Kabitzsch, T. L. Mai, M. Lehmann, B. Wollschlaeger, H. Engelen und E. Eichenberg, „Vorausschau in frühen Planungsphasen der Gebäudeautomation,“ *at - Automatisierungstechnik*, Jg. 65, Nr. 9, 2017. DOI: 10.1515/auto-2017-0030. Adresse: <https://doi.org/10.1515%2Fauto-2017-0030>.
- [4] B. Wollschlaeger, E. Eichenberg und K. Kabitzsch, „Switching to a holistic perspective on semantic component models in building automation – tapping the full potential of automated design approaches,“ *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (EES), Jg. 323, Sep. 2019. DOI: 10.1088/1755-1315/323/1/012047.
- [5] B. Wollschlaeger, E. Eichenberg und K. Kabitzsch, „Explain Yourself: A Semantic Annotation Framework to Facilitate Tagging of Semantic Information in Health Smart Homes,“ in *Proceedings of the 13th International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies - Volume 5 HEALTHINF: HEALTHINF*, INSTICC, SciTePress, 2020, S. 133–144, ISBN: 978-989-758-398-8. DOI: 10.5220/0008968901330144.
- [6] DIN EN 17609, *Systeme der Gebäudeautomation - Steuerungsanwendung; Deutsche und Englische Fassung prEN 17609:2020*, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Dez. 2020.
- [7] VDI 3813-2, *Gebäudeautomation (GA) - Raumautomationsfunktionen (RA-Funktionen)*, The Association of German Engineers, Mai 2011.
- [8] ISO 52120-1, *Energy performance of buildings — Contribution of building automation, controls and building management — Part 1: General framework and procedures*, Dez. 2021. Adresse: <https://www.iso.org/standard/65883.html>.
- [9] DIN V 18599-1, *Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger*, DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Sep. 2018.

A Genutzte Referenzbeispiele

A.1 RA-Schema für Referenzbeispiel L (Beleuchtung)

Referenzbeispiel L enthält eine Konstantlichtregelung. Ziel der Konstantlichtregelung ist es, eine Lampe in einem Raum so anzusteuern, dass ein konstantes Helligkeitsniveau erreicht wird. In Abbildung 6 ist dargestellt, welche Funktionalitäten für die Realisierung der Konstantlichtregelung benötigt werden.

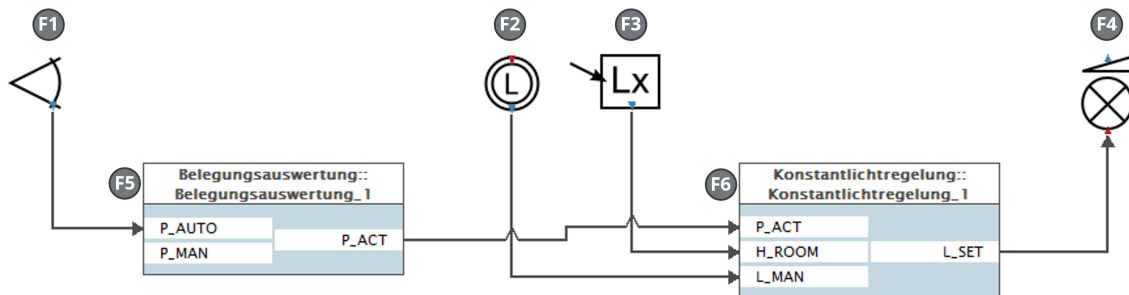


Abbildung 6: Die Entwurfsaufgabenstellung „L“ für das Beleuchtungsgewerk. Die enthaltenen Funktionsblöcke sind durch Markierungen „Fx“ gekennzeichnet, auf die in den Erläuterungen des Beispiels Bezug genommen wird.

Zur manuellen Bedienung der Lampe wird ein *dimmbarer Lichtschalter* (F2) gewählt. Die weiteren Funktionen sind für die eigentliche Realisierung der Konstantlichtregelung notwendig: links im RA-Schema ist eine automatische Präsenzermittlung durch einen *Präsenzsensor* (F1) und eine nachgelagerte *Belegungsauswertung* (F5) dargestellt. Diese Information wird in der Konstantlichtregelung genutzt, um die Funktion abhängig vom Belegungsstatus des Raumes aktivieren zu können. Um weiterhin eine Regelung der Beleuchtungsstärke zu erreichen, muss die aktuelle Helligkeit im Raum durch einen *Helligkeitssensor* (F3) erfasst werden. Mit diesen Informationen kann die Funktion *Konstantlichtregelung* (F6) einen *dimmbaren Lichtaktor* (F4) entsprechend ansteuern.

A.2 RA-Schema für Referenzbeispiel S (Verschattung)

In Referenzbeispiel S aus Abbildung 1 wird die Jalousie durch verschiedene Signale angesteuert: Zum einen soll eine manuelle Bedienung möglich sein. Dazu ist eine Funktionalität *Sonnenschutz stellen* (F2) als Icon dargestellt, welches über einen Informationsfluss (dargestellt als schwarzer Pfeil) mit der Funktionalität *Prioritätssteuerung* (F8) verbunden ist. Die Prioritätssteuerung ist ein Fusionsblock für Jalousie-Steuersignale aus verschiedenartigen Quellen. Die Prioritätssteuerung wählt jeweils das anliegende Signal mit der höchsten Priorität aus und leitet diesen Ansteuerungsbefehl an den *Sonnenschutzaktor* (F6) weiter, welcher die eigentliche Bewegung der Jalousien initiiert. Weiterhin soll die Jalousie bei zu hoher Sonneneinstrahlung (gemessen durch die Funktionalität F1: *Helligkeitsmessung außen*) automatisch ausgefahren werden, um Blendwirkung zu verhindern (Funktionalität F9: *Sonnenautomatik*). Schließlich wird als Schutz vor Schäden der Jalousie eine *Witterungsschutzfunktionalität* (F7) gefordert, welche die Jalousien in gefährlichen Wetterlagen automatisch einfährt. Dies kann bei zu hohem Niederschlag (detektiert durch die Funktionalität F3: *Niederschlagsmessung*), Vereisungsgefahr (detektiert durch Funktionalität F4: *Außentemperaturmessung*) oder zu starkem Wind (detektiert durch Funktionalität F5: *Windgeschwindigkeitsmessung*) der Fall sein.

A.3 RA-Schema für Referenzbeispiel HLK

Referenzbeispiel HLK stellt eine Heizungsregelung über einen Gebläsekonvektor dar. Dabei sollen die Solltemperatur des Raumes und die Lüfterdrehzahl einstellbar sein. Zusätzlich soll das Heizen bei geöffnetem Fenster unterbrochen werden. Selbst für dieses recht einfache Beispiel enthält das zugehörige RA-Schema mit den Raumanforderungen (vgl. Abbildung 7) vergleichsweise viele Funktionen und Informationsflüsse. Dies liegt daran, dass Anwendungen im HLK-Gewerk viele Zwischenschritte bei der Berechnung der Aktor-Stellwerte benötigen.

Auf der rechten Seite des RA-Schemas ist der *Ventilatoraktor* (F7) sowie die *Raumtemperaturregelung* (F9) und deren Ansteuerung des *Heizregisters des Gebläsekonvektors* (F6) dargestellt. Durch die vorgelagerte Funktion *Funktionswahl* (F11) wird bestimmt, ob das System in den Heizmodus wechseln soll. In diesem Fall sind die Regelungsblöcke auf der rechten Seite aktiv. Die anzustrebende Solltemperatur wird abhängig von sog. „Energieniveaus“ ermittelt, wodurch der Raum nur soweit geheizt werden muss, wie der aktuelle Belegungszustand es verlangt.

Die Icons auf der linken oberen Seite repräsentieren die Sensoren und Bedienelemente, die für den gewählten Anwendungsfall benötigt werden. Der Sollwert der Temperatur wird über die Funktion *Sollwertwahl* (F1) eingestellt und durch die Funktion *Sollwertermittlung* (F10) zu den zu verwendeten Sollwertpaaren¹² verarbeitet. Der aktuelle Belegungsstatus des Raumes wird auf Basis eines *Präsenzsensors* (F2) ermittelt und durch die *Belegungsauswertung* (F8) konsolidiert. Diese Information ist – in Verbindung mit dem Öffnungsstatus des Fensters aus der Funktion *Fenstersensor* (F4) – für die *Energieniveauwahl* (F12) ausschlaggebend.

Weiterhin wird ein *Raumtemperatursensor* (F3) für die Funktionswahl, die Temperaturregelung und die *Ventilatorsteuerung* (F13) benötigt. Schließlich wird gefordert, dass die Lüfterdrehzahl des Ventilators manuell über die Funktion *Lüfterstufe stellen* (F5) einstellbar ist.

A.4 Referenzbeispiel ALL (kombinierte Aufgabenstellung)

Das *Referenzbeispiel ALL* enthält die kombinierten Aufgabenstellungen der drei Referenzbeispiele der Einzelgewerke. Das zugehörige RA-Schema ist in Abbildung 8 dargestellt. Auf eine erneute Erläuterung des RA-Schemas wird verzichtet, da die Funktionalität sich aus den Beschreibungen der Einzelgewerke zusammensetzt. Stattdessen werden nachfolgend die markierten Funktionen des RA-Schemas aufgelistet und ihnen das jeweilige Gewerk zugeordnet (L, S oder HLK).

- F1 *Präsenzsensor* (L, HLK)
- F2 *Licht stellen (dimmen)* (L)
- F3 *Helligkeitssensor (innen)* (L)
- F4 *Helligkeitssensor (außen)* (S)
- F5 *Sonnenschutz stellen* (S)
- F6 *Niederschlagsmessung* (S)
- F7 *Außentemperaturmessung* (S)
- F8 *Windgeschwindigkeitsmessung* (S)

¹²Ein Sollwertpaar je Energieniveau.

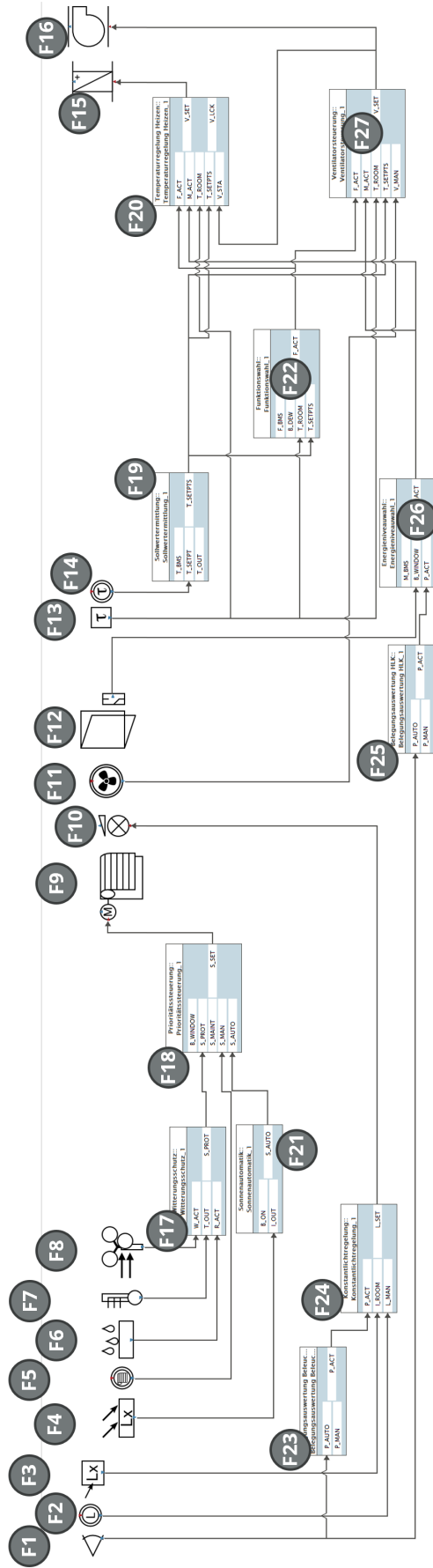


Abbildung 8: Die Entwurfsaufgabestellung für alle Gewerke kombiniert. Die enthaltenen Funktionsblöcke sind durch Markierungen „Fx“ gekennzeichnet und im zugehörigen Abschnitt benannt.

- F9 Sonnenschutzaktor (S)
- F10 Lichtaktor (dimmbar) (L)
- F11 Lüfterstufe stellen (HLK)
- F12 Fenstersensor (HLK)
- F13 Raumtemperatursensor (HLK)
- F14 Sollwertwahl (HLK)
- F15 Heizregister des Gebläsekonvektors (HLK)
- F16 Ventilatoraktor (HLK)
- F17 Witterungsschutz (S)
- F18 Prioritätssteuerung (S)
- F19 Sollwertermittlung (HLK)
- F20 Raumtemperaturregelung (Heizen) (HLK)
- F21 Sonnenautomatik (S)
- F22 Funktionswahl (HLK)
- F23 Belegungsauswertung (Beleuchtung) (L)
- F24 Konstantlichtregelung (L)
- F25 Belegungsauswertung (HLK) (HLK)
- F26 Energieniveauwahl (HLK)
- F27 Ventilatorsteuerung (HLK)

B Notwendigkeit für (Fremd-)Produkte

In praktischen Aufgabenstellungen kann es durch verschiedene Situationen notwendig sein, dass Integratoren auf ihnen unbekannte (Fremd-)Produkte zurückgreifen müssen. Durch die Neuerungen des GEG können Fremdprodukte notwendig werden, um die verschärften *Anforderungen an die Energieeffizienz* erfüllen zu können. Zusätzlich können Einschränkungen der nicht-funktionalen Anforderungen von Produkten dazu führen, dass die bekannten Produkte einer Favoritenliste für eine Aufgabenstellung nicht ausreichend sind. Nachfolgend sind einige dieser Situationen genannt, in denen *Wünsche oder Vorgaben zu nicht-funktionale Eigenschaften* die Betrachtung von (Fremd-)Produkten notwendig machen können:

- Festlegung auf eine bestimmte *Ästhetik* (z. B. seitens des Architekten)
- Festlegung auf eine spezifische *Bedienoberfläche* (z. B. Touch, Mechanik, ...)
- Anforderungen durch Nutzung im *Feuchtraum*
- Beschränkungen der *Einbaugröße*
- *Preis-Effekte* (z. B. Rabatte oder Sonderkonditionen)
- Verfügbarkeit *neuer Produkte am Markt*
- Vom Kunden gewünschte *Sonderfunktionen*