

# Einführung in die lineare kapazitätsorientierte Bauablaufplanung und - Steuerung. Ein Beitrag zur Versöhnung von Theorie und Praxis

Bei der Realisierung von Projekten, verfolgen die Beteiligten teils identische, teils widersprüchliche Ziele in den Dimensionen **Zeit**, **Arbeit**, **Ressourcen**, **Kosten** und **Qualität**. Grundsätzlich ist die Zielsetzung eine notwendige, aber keine hinreichende Bedingung, diese Ziele auch zu erreichen. Zur Zielerreichung gehört auf alle Fälle der Weg zu diesen Zielen. „Der Weg ist das Ziel“ sagt Konfuzius. In der prozessorientierten Vorgehensweise werden die Ziele auf Prozesse, auf Teilräume und Vorgänge heruntergebrochen und so als Weg verstanden. Die Kritik an den prozessorientierten Verfahren setzt daher da an, wo und weil der Weg zum Ziel offensichtlich verlassen wurde und Aktionen erforderlich werden.

## 1. Prozessorientierte Verfahren in der realen Anwendung

### 1.1 Bauzeit

Die Bauleitung ist angehalten aus dem Vertragsterminplan, Wochenpläne oder Feinterminpläne zu entwickeln. Damit werden die Zielvorgaben enger getaktet, die zu erwartenden Abweichungen in ihren Ausmaßen reduziert, aber auch vervielfacht. Die erforderliche Planfortschreibung sucht einen Anknüpfungspunkt, jedoch bereitet die Evaluierung angefangener Prozesse Schwierigkeiten, wenn man als Grundlage nur Soll-Beginn und – Ende hat. In ihrer simpelsten Form wird zur Bestimmung der Ausführungsdauern nicht auf Arbeitsinhalte und Ausführungskapazitäten Bezug genommen, sondern diese aus Erfahrungswerten gewonnen.

### 1.2 Arbeit

Mit Hilfe von Arbeitspaketen wird in einer fortgeschritteneren Art der Terminplanung eine Kapazitätssollganglinie erzeugt und abgeglichen. Deren eigentlicher Zweck ist die Vorgabe der Sollstundenwerte auf der Basis von Massenermittlung und Arbeitskalkulation. Der Zusammenhang zwischen Mengen und Sollstunden ist aber nicht linear und es gibt keine Gleichverteilung innerer Mengen. Arbeitspakete haben keine senkrechte Grenze auf der Zeitachse. Die Durchführung des Stunden-Soll-Ist-Vergleiches erzeugt erst nach Klärung von Abgrenzungs- und Zuordnungsfehlern ein plausibles Ergebnis:

$$\text{Sollstunden}_{(r,v)} / \text{Ist-Stunden}_{(r,v)} = \epsilon \text{ Effektivität}_{(r,v)}. \quad (0)$$

Im Anschluss daran wird unter gegenseitiger Schuldzuweisung heiß diskutiert und darauf gehofft, dass der nächste besser ausfällt.

### 1.3 Ressourcen

Ressourcenplanung ist das elektronische Abbild realer Ressourcen-Allokation mit der Logik eines Dienst- oder Stundenplanes. Da man in der Bau-Praxis auf die Fertigstellung und nicht auf die Pausenglocke wartet, müssen reale Personen bis zur Fertigstellung arbeiten und ihre Avatare abwarten, bis sie neu verplant werden. Das Verfahren muss, wenn, dann praktisch permanent betrieben werden.

### 1.4 Kosten

Abgrenzungs- und Zuordnungsfehler bei den Kostenarten sind, bei der Sollwertermittlung auf der Baustelle und einer zeitversetzten Buchung des Aufwands durch die kaufmännische

Abteilung praktisch unvermeidbar. Die Zuordnungsfehler sind maßgeblich durch die unterschiedlichen Kostenartenstrukturen (technisch/kaufmännisch) begründet. Werden Aktualisierungen der Arbeitskalkulation vernachlässigt, gibt es erhöhten Diskussionsbedarf, dagegen führen konsequente Aktualisierungen zu einem IST-IST-Vergleich. Das Verfahren führt bei jeglicher Pauschalierung wegen der Abwertungsproblematik bei Mengenüberschreitungen in die Irre. Welchen Sinn haben nachträgliche Sollkostenvorgaben? Arbeitskalkulationen sind nicht frei, sondern durch den Vertrag limitiert, bekannt als das Problem der zu kurzen Bettdecke. Die Auswertung erfolgt grundsätzlich zu spät. Eine Nachkalkulation bis zu den Ansätzen ist nicht möglich.

## 1.5 Qualität

QMS -Verfahren sind strikt formalisiert. Bei den gelegentlichen Evaluierungen, den sog. Audits, wird auf die Einhaltung der Form, mehr Wert gelegt als auf den Inhalt. Der Inhalt besteht auch darin, die ordnungsgemäße Durchführung der erstgenannten Verfahren nochmals zu dokumentieren. Diese Dokumente sind aus Selbsterhaltungsgründen beschönigend und die landläufige Bezeichnung als „Lügenblätter“ keinesfalls abwegig.

Eine kleine Zwischenbilanz:

Wegen des immensen Arbeitsaufwandes, der Zielkonflikte zwischen Termin-Kosten-Qualität bei Kapazitätsknappheit wird kaum ein Verfahren zu Ende geführt, geschweige denn, mehr als eines ernsthaft betrieben. Mit Ausnahme der ersten beiden, haben die Verfahren keinerlei Ergebnisrelevanz. Dazu kommt: Keine Planung kann Ausführungsentscheidungen vorwegnehmen oder ersetzen. Ein Paradigmenwechsel steht an.

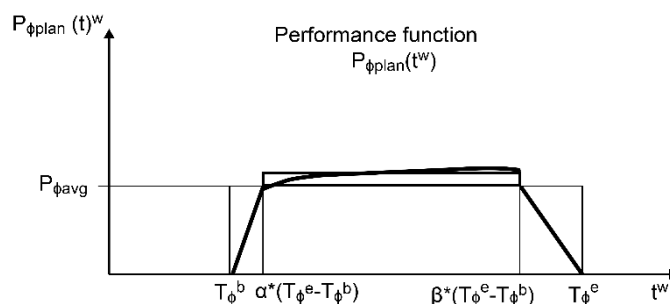
## 2. Die Entwicklung einer integrierten, linearen und kapazitätsorientierten Methode

### 2.1 Die Integration von Arbeit und Zeit über die Performance P als Differential der Bauproduktion

Im betriebswirtschaftlichen Sprachgebrauch wird „Bauleistung“ als Synonym für die Bauproduktion verwendet. Die Verwendung im physikalischen Sinne als Arbeit / Zeit ist angezeigt:

$$p = \Delta A / D = \Delta Q / \Delta t. \quad p = dQ/dt = Q' \quad (1)$$

Eine lineare Planung der Leistung sieht auf einer kontinuierlichen Arbeitszeitachse  $t_w$  so aus:



**Bild 1** Planleistungsfunktion, ggf. mit Lernkurve auf kontinuierlicher Arbeitszeitachse  $t_w$

Der Weg ist das Ziel: Eine stetige Kapazitätssollganglinie, erzeugt ohne smoothing and levelling , ganz einfach per Definition.

## 2.2 Die geplante Bauproduktion, das Integral über die Planleistung

$T^E$  Der Fertigstellungsgrad  $\zeta(T^E) = 1,0$

$$\int p^{\text{planSollStd}}_{(r,v)}(t) dt = A^{\text{SollStd}} * 1,0 = Q^{\text{SollStd}} \quad (2)$$

$T^B$

Die Planung ist für sich genommen immer widerspruchsfrei möglich.

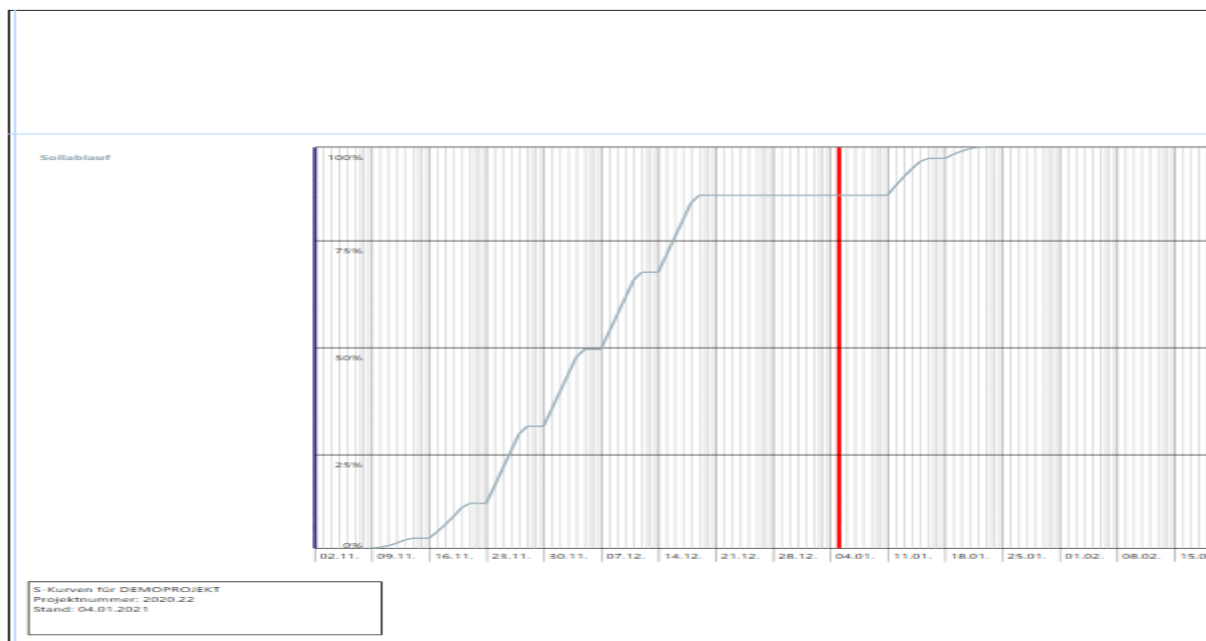


Bild 2 Summenlinie der geplanten Bauproduktion  $Q^{\text{soll}}(t)$  in Kalenderzeit

## 2.3 Die reale Bauproduktion

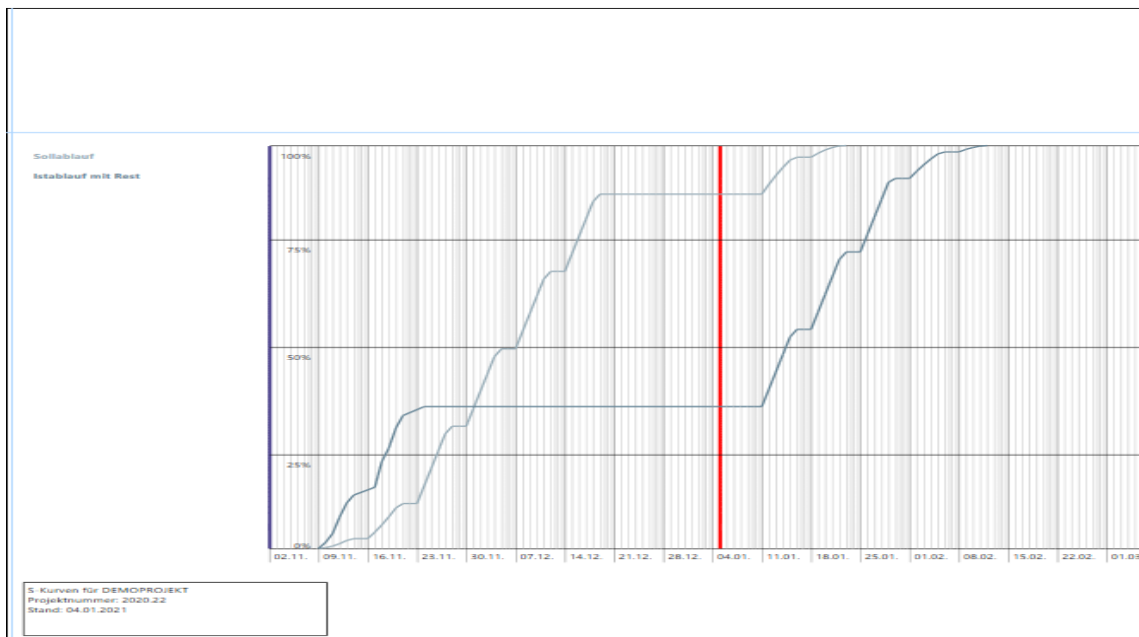
Sie wird gemessen an den abgearbeiteten Sollstunden über die Fertigstellungsgrade  $\zeta_{(r,v)}(t)$  unter Einbeziehung etwaiger Nachträge 1 bis n.

$t$

$$\int p^{\text{real}}_{(r,v)}(t) dt = \sum A^{\text{SollStd},\epsilon}_{n(r,v)} * \zeta_{(r,v)}(t) = Q_{(r,v)}^{\text{Ist(SollStd},\epsilon)}(t) \quad (3)$$

$T^B$

Die aktuelle Bauproduktion  $Q_{(r,v)}(t)$  kann jederzeit widerspruchsfrei festgestellt werden.

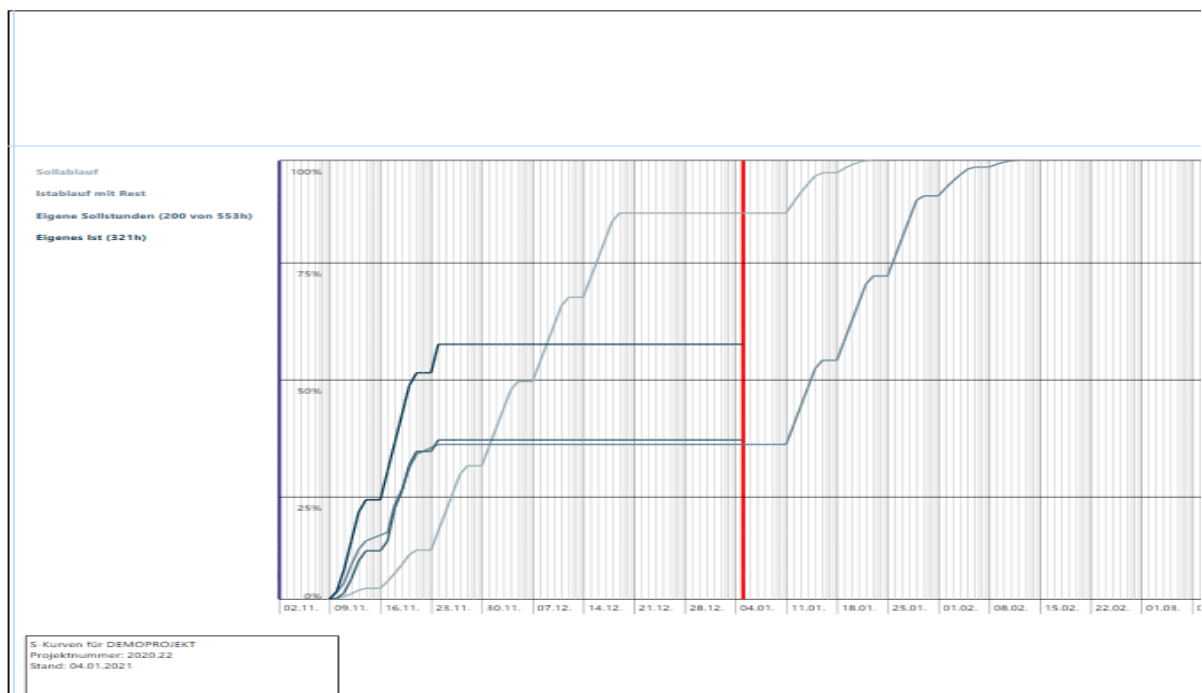


**Bild 3** Summenlinien von Bauproduktion  $Q^{soll}(t)$  und  $Q^{ist}(t)$

## 2.4 Die Einbeziehung der Input-Leistung

Die reale Output- Tages- Leistung  $P^{real} (d)$  wird erzeugt durch die Input Leistung

$C * h^{ist}/d * \epsilon$ , vgl. SIV aus Gleichung (0)



**Bild 4** wie vor, ergänzt mit dem Verlauf eigener Soll- und Ist-Stunden

Die folgende als HYPERRAUMINTEGRAL bezeichnete Gleichung **(4)**, impliziert alle wesentlichen Aspekte des Baugeschehens: Den Rahmen bildet einerseits die Planungsseite: Mit  $T^B$  und  $T^E$  die Terminplanung, mit  $A^{Sollstd, \epsilon}_{n(r,v)}$  Arbeitspakete und Sollkosten, sowie andererseits die Feststellung des Abarbeitungsgrades der Arbeiten  $\zeta_{(r,v)}(t)$ , den aktuellen

Stand der Bauproduktion  $Q_{(r,v)}^{\text{Ist}(\text{Sollstd},\epsilon)}(t)$ . Den Kern bildet jedoch die Ausführungsseite mit den Ausführungskapazitäten der Größe  $C$ , der Arbeitsstunden-Frequenz  $h_A/d$  und der Effektivität  $\epsilon$ . Diese sind die wahre und einzige **Ursache** für den beobachtbaren Fortschritt und nicht einfach nur als Aufwand zu verstehen. Gleichung (4) erfüllt damit die Erwartungen von Henrich und Koskela [1]: „The construction industry demands another approach, where human activity is core“.

$t \rightarrow T^E \text{ plan}$

$$\int C * h^{\text{Ist}}/d * \epsilon_{(r,v)}(t) dt = \sum A^{\text{Sollstd},\epsilon}_{n(r,v)} * \zeta_{(r,v)}(t) = Q_{(r,v)}^{\text{Sollstd},\epsilon}(t) \quad (4)$$

$T^B \text{ plan}$

Die Gleichung (4) ist zu lösen, indem die auftretenden, im Prinzip variablen Größen, im Idealfall bis auf eine Unbekannte bestimmt werden. Die erforderliche, sogar namentliche Bestimmung der realen Ausführungskapazitäten und der Ressourcen ist dabei unverzichtbar. Das **Bauhandwerk** beschränkt sich auf diese Bestimmung und auf die Feststellung von Fertigstellungsgraden und löst dabei diese Gleichung widerspruchsfrei.

### 3. Ein Blick zurück auf die prozessorientierten planwirtschaftlichen Verfahren:

Die prozessorientierte Vorgehensweise verkennt diesen Zusammenhang, daher werden in den separaten Dimensionen Zeit, Arbeit und Kosten gesonderte Soll-Ist-Vergleiche gefahren. Diese zeigen dann explizit, die sich zwangsweise ergebenden Abweichungen. Implizit betrachtet, führt dies zu mehrfachen mathematischen Überbestimmungen, weil die Vorgaben verlangen, dass:

1. Der Fertigstellungsgrad  $\zeta_{(r,v)}(t) = 1,0$  für  $t = T^E$
2. Die Stundenvorgaben eingehalten werden:  $\epsilon_{(r,v)} = 1,0$
3. Der erste Nulldurchgang des Kapazitätsverlaufes beim Planwert  $T^B$  liegt
4. Der letzte Nulldurchgang des Kapazitätsverlaufes beim Planwert  $T^E$  liegt,
5. Aus der Einhaltung der Sollkostenvorgaben für Arbeit folgt:  $ML^{\text{kalk}} / ML^{\text{Ist}} = 1/\epsilon$
6. Auch für Materialkosten wird für alle KoA gefordert:  $M^{\text{kalk}} / M^{\text{Ist}} = EKM^{\text{Ist}} / EKM^{\text{kalk}}$

Gleichung (4) ist fraktal, d.h. selbstähnlich bis in den geringsten Teilvorgang, somit ergibt sich die Gesamtzahl **mathematischer Überbestimmungen** aus der Summe der jeweiligen Anzahl von Prozessen x 2, der Zahl der Arbeitspakete x deren Stundenarten, individuelle Ressourcen-Allokationen  $C^l_{(r,v)}$  auf Räume und Vorgänge, Anzahl Kostenarten multipliziert mit Verfahrensbestimmungen, sowie QM-Elemente, alles multipliziert mit der Anzahl der jeweiligen Planungs-Updates. Mit anderen Worten: **Insgesamt gesehen ein mathematischer Super- Gau**. Ein Wort noch zu den Verfahrensbestimmungen im Controlling: Es gibt Literatur, die auf 200 Seiten 180 x das Verb „Müssen“ oder Synonyme verwenden. Deutlicher kann sich eine kommandowirtschaftliche Methode nicht selbst demaskieren. Selbstbezügliche

Überbestimmung ist pathogen. Dem Bauleiter bleibt also nur taktisches Verhalten zwischen Hinhalten, Verweigerung und Flucht.

#### 4. Die kapazitätsorientierte Herangehensweise

Das HYPERRAUMINTEGRAL wird an einer Stelle auseinandergeschnitten, die seltsamerweise in Terminplänen nicht existiert. Damit ergeben sich die 2 Teile:

jetzt

$$\int_0^t C * h^{ist}/d * \epsilon_{(r,v)}(t) dt = \sum A^{Sollstd, \epsilon}_{n(r,v)} * \zeta_{(r,v)}(jetzt) = Q_{(r,v)}^{Sollstd, \epsilon}(jetzt) \quad (5)$$

0

Der erste Teil, Gleichung (5), zeigt den zurückgelegten Weg. Ob die Gewinnung dieser Daten, (aus der Vergangenheit, in der Realität festgeschrieben, im digitalen Abbild fehlerbehaftet und manipulierbar) mit Recht als Baustellensteuerung bezeichnet werden können ist stark zu bezweifeln. Baustellensteuerung ist wohl eher die praktische Umsetzung von daraus gezogenen Konsequenzen. Nützlicher hierfür ist wohl der zweite Teil, Gleichung (6). Sie weist den Weg in die Zukunft, interpretierbar als Konfuzius in mathematischer Notation:

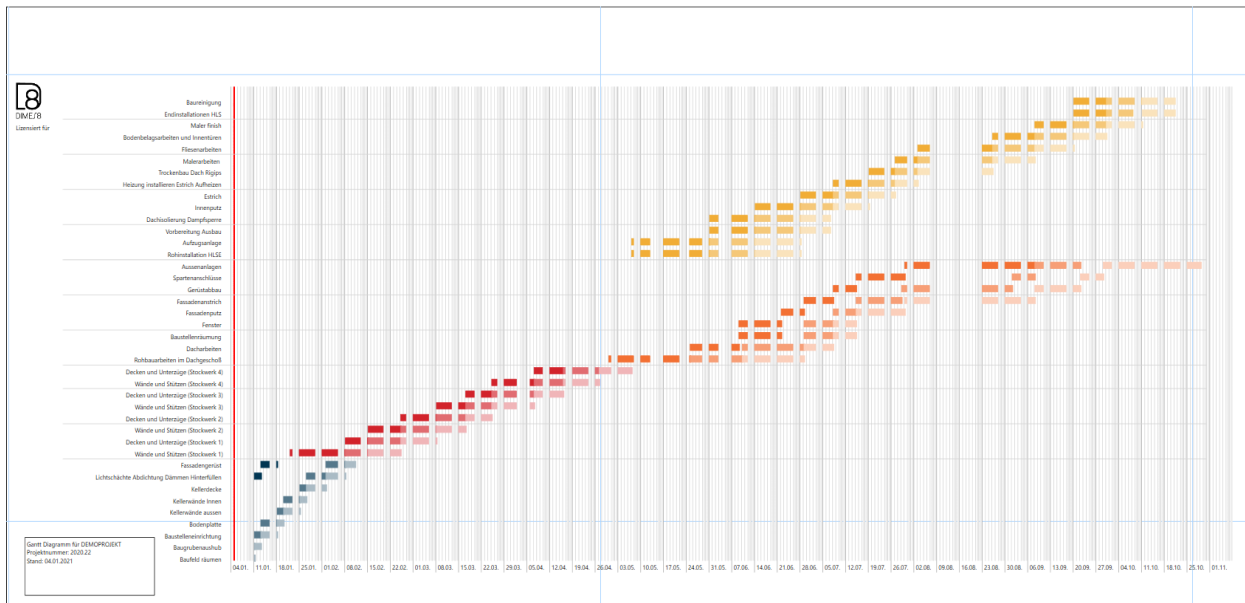
Der Weg ist das Ziel

$t = T^E$  charakterisiert durch  $\zeta_{(r,v)}(T^E) = 1,0$

$$\int C * h/d * \epsilon_{(r,v)}(t) dt = \sum A^{Sollstd, E}_{n+1(r,v)} * (1 - \zeta_{(r,v)}(jetzt)) = ER^{Sollstd, \epsilon}_{(r,v)}(jetzt) \quad (6)$$

jetzt

Diese, für Steuerungszwecke einzig relevante Gleichung (6), ist die exakte Formel für die Restbauzeit, jedoch mit einem weiterhin variablen Kapazitätsverlauf in Größe, Frequenz und Effektivität, sowie unbekannte zusätzliche Arbeitsstunden aus Nachträgen. Es ist erst zu Ende, wenn  $ER^{Sollstd}(t)$  und  $C(t) = 0$  sind, d.h. wenn nichts mehr zu tun ist und niemand mehr da ist. Dass sich das Ende oftmals hinzieht, liegt am ökonomischen Verhalten der Kapazität. Dazu später mehr. Der Weg in die Zukunft lässt sich mit Rechneinsatz und wenig Handarbeit in der üblichen Form eines Gantt-Diagramms darstellen.



**Bild 4 zeigt den Entscheidungsraum ER (heute) in Form eines automatisch erzeugten Gantt-Planes, basierend auf Arbeitsinhalten, da logische geometrische und technologische Abhängigkeiten standardisiert sind.**

**5. Steuerung**

Was ist Steuerung? Steuerung ist die Änderung einer Geschwindigkeit in Größe und Richtung. Es ist offensichtlich, dass eine Änderung von Planungsvorgaben keine Wirkung in der Realität erzeugt, unmittelbare Wirkung ist nur durch **Kapazitätssteuerung** gegeben, also beim Ansatz an den Ursachen. Derjenige der über die Ausführungskapazitäten verfügt sitzt immer am längeren Hebel. In Raum und Zeit zeigen sich dann die Auswirkungen.

**5.1 Steuerung S1 Kapazitätssteuerung**

$$S_1(t) = \Delta C * h^{ist}/d * \epsilon_{(r,v)} \tag{7}$$

Steuerung S1 ist die lokale oder globale Änderung der Realleistung über die Einzelfaktoren Kapazitätseinsatz, Arbeitszeiteinsatz, Effektivität zu einem beliebigen Zeitpunkt **(t)**, mit Auswirkung auf den Zeitraum danach.

**5.2 Quantifizierbare und steuerbare Effektivität**

1.  $\epsilon_1 = ER^{akt}/Q * h^{ist}$  **(8)**

Ist das Verhältnis Arbeitsvorrat zu aktueller Kapazitätsstärke <1, schlägt es unmittelbar und absolut auf die Effektivität durch. Ist es > 1 bietet es zumindest eine Chance. Eine „Zuspitzung“ gegen ein verzögertes Ende ist unausweichlich.

2.  $\epsilon_2 = C*(h^{ist}-h_w-h_u-h_n-h_i) / C*h^{ist} = \cos \alpha$ . **(9)**

Der Anteil an Wartezeiten, unproduktive Arbeiten, Nebentätigkeiten, sowie individuelle Ablenkungen schlagen unmittelbar auf die Effektivität durch.

Eine Vielzahl an weiteren Faktoren der Effektivität kann näherungsweise quantifiziert werden, somit ist dies letzten Endes auch mit den zunächst unquantifizierbaren wie Fleiß, Geschick, Motivation usw. möglich.

### 5.3 Steuerung des Entscheidungsraumes $ER_{akt} S_2$

$$S_2(t) = \Delta ER_{(r,v)}^{akt}(t) \quad (10)$$

Steuerung  $S_2$  zum Zeitpunkt  $(t)$  schafft durch Organisation den benötigten Arbeitsvorrat mit ausreichender Geschwindigkeit, in zeitlichem Vorlauf und dem Verbrauch entsprechend.

### 6. Zusammenfassung:

Der Paradigmenwechsel hin zur kapazitätsorientierten Ablaufplanung und Steuerung erfordert die Einführung neuer Elemente als da sind:

1. **(jetzt)**, in der Praxis **(heute)**
2. Fertigstellungsgrad  $\zeta\%$  **(heute)**
3. quantifizierbare und steuerbare Effektivität  $\epsilon$
4. Entscheidungsraum  $ER^{Sollstd,€}$ , das Komplementär zur Bauproduktion umfasst über die Gewerks-Gliederung auch die Kostendimension
5. Ausführungszeitraum  $ZR_A = \text{Dauer} + \text{Pufferzeit}$

Der Begriff „Dauer“ wird obsolet, was wie folgt begründet wird:

- Deterministische Dauern führen in Widersprüche,
- probabilistische sind für Steuerungszwecke ungeeignet.
- Vorgangsdauern sind kapazitätsintern beliebig, sie sind
- subjektiv, interpretierbar, lokal kürzer als global und
- generell keine inhärente Eigenschaft von „Prozessen“,
- sondern explizit leistungsabhängig.
- Nachweis: Den Vorgangs -Ist- Dauern wird keinerlei Beachtung geschenkt,
- Soll-Ist-Vergleiche für Dauern sind nirgends vorgesehen.
- Kapazitätsübergänge von einem Vorgang zum nächsten müssen fließend erfolgen

(Anfang j vor Ende i), um keinen zeitweiligen Stillstand aufkommen zu lassen.

In der Praxis wird der Begriff „Dauer“ lediglich in der verzweifelt hilflosen Frage „Wie lange dauert es noch?“ verwendet. Die Antworten darauf sind: Unsicher, ausweichend, relativierend, mit einer Gegenfrage verbunden, konditioniert, oder spekulativ und entsprechen selten dem Informationsbedürfnis des Fragestellers. Kapazitätsinterne Pufferzeiten, also beschäftigungslose Zeiten, darf es eh nicht geben. Die prozessorientierte Vorgehensweise erzeugt die Zielvorgaben durch die **manuelle, arbeitsintensive** Zuordnung von Zeitkoordinaten für Beginn (B) und Ende (E) zu den definierten Prozessen, im Projektverlauf auch wiederholt. Die kapazitätsorientierte Vorgehensweise ist dagegen die konsequente Anwendung konfuzianischer Lehre. Dabei wird ein Ablaufplan, auf der Basis von



Arbeit und Leistung und dem Leistungsstand von jetzt, **automatisch erzeugt**. Denn nur durch (den Weg über) die Ausführungskapazitäten sind die Ziele in Bauzeit, Wirtschaftlichkeit und Qualität, widerspruchsfrei zu erreichen. Das Entscheidungsraumkonzept bringt die Marktwirtschaft mit dem ökonomischen Prinzip auf die Baustelle zurück.

## 7. Danksagung:

Ich danke allen akademischen Lehrern und Gesprächspartnern, die in den letzten 30 Jahren meinem Mitteilungsdrang entgegentraten, es wäre viel zu früh gewesen:

Prof. A. Schub TUM †,

Prof. Zimmermann TUM,

Prof. Gerhard Girmscheid ETH Zürich

## 8. Die Stützung der Theorie und philosophischer Überbau

### 8.1 Mit Logik:

Zitat Rudy Rucker [1]: „*Steuerung ist nur in einem Raum möglich*“.

Hier ist es der Entscheidungsraum, die Menge aller Möglichkeiten. Es scheint erfolgsversprechender, auf dem Weg zum Ziel zu steuern, als nach dem Verfehlen von Zwischenzielen.

### 8.2 Mit Klassik:

Zitat Friedrich Schiller [2]: „*Entworfen bloß ist`s ein gemeiner Frevel, vollführt ist`s ein unsterblich` Unternehmen und wenn es glückt, so ist es auch verziehen.*“

Schiller relativiert die Bedeutung von Planung

### 8.3 Mit Aufklärung:

Zitat Immanuel Kant [4]: „*Pläne machen ist mehrmalen eine üppige prahlerische Geistesbeschäftigung, dadurch man sich ein Ansehen von schöpferischem Genie gibt, indem man fordert, was man selbst nicht zu leisten vermag, tadelt, was man doch nicht besser machen kann und Vorschläge unterbreitet, von denen man selbst nicht weiß, wo sie zu finden sind*“.

Kein Kommentar.

### 8.4 Mit Physik zum ersten:

Zitat Hermann Minkowsky [5]: „*Die Anschauungen über Raum und Zeit, die ich Ihnen entwickeln möchte, sind auf experimentell-physikalischem Boden erwachsen. Darin liegt ihre Stärke. Ihre Tendenz ist eine radikale. Von Stund an sollen Raum für sich und Zeit für sich völlig zu Schatten herabsinken und nur noch eine Art Union der beiden soll Selbständigkeit bewahren*“.

Die Union von Raum und Zeit kann nur **Raumänderung** sein, in geometrischer Betrachtung die Geschwindigkeit, in energetischer Betrachtung die Leistung.

## 8.5 Mit Physik zum zweiten:

Zitat Albert Einstein [6]: „*Space and Time are Modes in which we think and not Conditions in which we live*“.

Raum und Zeit sind die 4-dimensionalen Koordinaten, in denen wir Prozesse planen und vermessen, sie bilden damit gewissermaßen die Benutzeroberfläche der Welt. Raumänderung ist dagegen das 2-dimensionale Betriebssystem, mit den Achsen parallel (Schrittweite) und seriell, (Schrittfrequenz), welcher mit einer bestimmten Schrittzahl die Änderungen in Raum und Zeit erzeugen. Siehe Anlage 2. Seit Einstein ist die **Relativität** von Raum und Zeit zum Beobachter allgemein bekannt. Am Beginn des Anthropozäns tritt jedoch die **Abhängigkeit** von Raum und Zeit von Energieumwandlung, auch von menschlicher Schaffenskraft, immer mehr zu Tage.

## 8.6 Mit Philosophie:

Zitat Heraklit: „*Panta rhei, alles fließt, die Welt ist im Werden*“.

Dieses Werden erfüllt gewiss nicht alle Wünsche oder Pläne, aber es wird gestaltet, Schritt für Schritt, durch die Energie und den Willen derer, die die Arbeit organisieren und ausführen. Wenn man so will, ist die Welt ein Produkt aus Energie, Wille und Information, und das, meines Dafürhaltens seit Anbeginn.

## Literaturverzeichnis/ Quellenangabe in der Reihenfolge der Zitierung

[1] Henrich, G. & Koskela, L. (2006) Evolution of Production Management Methods in Construction. Construction in the XXI century: Local and Global Challenges ARTEC, Rome , Italy 144-145

[2] Rudy Rucker: „Der Ozean der Wahrheit- über die logische Tiefe der Welt“ ISBN 9783596102211

[3] Friedrich Schiller, Wallensteins Tod Quelle: <https://www.aphorismen.de/zitat/136049>

[4] Immanuel Kant, „*Prolegomena zu einer jeden künftigen Metaphysik, die als Wissenschaft wird auftreten können*“. Quelle <https://gutezitate.com/zitat/221685>

[5] Hermann Minkowski, Quelle: [Raum und Zeit | SpringerLink](#)

[6] Albert Einstein, Quelle: <https://einstein.stanford.edu/content/relativity/g909.html>

[7] Heraklit, Quelle: <https://www.philoclopedia.de/personen/vorsokratiker/heraklit>

## Anhang 1: Legende

Zeichen	Bedeutung
$A_0$	Auftrag
$A_n$	Auftrag fortgeschrieben
$A^{\text{Sollstd},\text{€}}$	Auftrag: Arbeitsinhalt in Sollstunden und Bewertung in €
$A_{(r,v)}^{\text{Sollstd}}$	Arbeit in Sollstunden, verteilt auf Raum- und Vorgangsstruktur
$B$	Beginn
$C$	Kapazität, Mannschaftsstärke global
$C^l$	Individuum als Bestandteil von C
$C_{(r,v)}$	Kapazität, Mannschaftsstärke lokal
$D$	Dauer
$E$	Ende
$ER(t)$	Entscheidungsraum (= komplementär der Bauproduktion) degressiv
$ER_{\text{akt}}(t)$	Aktivierter Entscheidungsraum = Arbeitsvorrat
$\varepsilon$	Effektivität
$f(t)$	Funktion, zeitabhängig
$h_A/d$	Frequenz der Arbeitszeit zu Einheit der „Zeitachse“ zeitvariabel d, Wo..
Ist-Std	Aufgewendete Arbeit (Input)
$K^E_{\text{kalk, ist}}$	Kosten je Materialeinheit soll und ist
KoA	Kosten Art
$Me^{\text{kalk, ist}}$	Soll und Ist-Mengen
$ML^{\text{kalk, ist}}$	Mittellohn Soll und Ist
$n$	Zählvariable
$P_{(r,v)}$	Prozess in Raum und Vorgangsstruktur keine weitere Verwendung
$p^{\text{plan}}(t)$	Geplante Performance, Leistung definiert über $f(t)$
$p^{\text{real}}(t)$	Reale Performance = Leistung, festgestellt über $\zeta_{(r,v)}(t)$
$Q^{\text{ist}}_{(r,v)}(t)$	Reale lokale Bauproduktion zeitabhängig, festgestellt über $\zeta_{(r,v)}(t)$
$Q^{\text{soll}}(t)$	Geplante Bauproduktion als Summenlinie
$r$	Raumstruktur (Bereiche, Geschoße)
$\zeta_{(r,v)}(t)$	Fertigstellungsgrad in Raumstruktur, zeitabhängig (0...100%)
$S_{1,2}$	Steuerung von Kapazität und Entscheidungsraum
Sollstd	Geplanter Arbeitsinhalt
$t_w$	Zeitvariable (Arbeitszeit mit Index w, ohne Index Kalenderzeit)
$v$	Vorgänge mit Substruktur Tätigkeiten, Gewerk, Material, Kosten
$ZR_A$	Ausführungszeitraum entspricht Dauer + Pufferzeiten

## Anhang 2

Generierung jeglicher Art von Raumänderungen in z. Bsp.  $n=100$  Schritten

ART	Schritt-Weite	Schritt-Frequenz	Geschwind. Leistung	Änderung Raum	Änderung Zeit
Allgemein	$\lambda$	$v$	$v = \lambda * v$	$\Delta R = n * \lambda$	$\Delta T = n / v$
Linear 1-dim					
Laufen	1,20 m	8 /s	9,60 m/s	960 m	12,5 s
2-dim					
Elementschalung	2 qm	10/h	20m <sup>2</sup> /h	200 m <sup>2</sup>	10 h
3-dim					
Betonieren	0,5 m <sup>3</sup>	25/h	12,5 m <sup>3</sup> /h	50 m <sup>3</sup>	4,0 h
x-dim	C	h	C*h	$\Delta R = n * C$	$\Delta T = n / h$
Allgemeine,	5 Mh	8/d	40 Mh/d	500 Mh	12,5 d

beliebige menschliche Arbeit von 5 Mann in einem 8 Std-Tag

## Anhang 3

### REGELKREIS KAPAZITÄTSORIENTIERTE PLANUNG UND STEUERUNG

0. Basis: Projektstruktur, Arbeitsinhalte, Zeitrahmen
1. Weitgehend automatisierte, lineare, leistungsorientierte Ablaufplanung auf der Grundlage von, über die Raum- und Tätigkeitsstruktur verteilte Arbeitsinhalte, mit Raum und Zeit als geschaffene, d.h. abhängige Größen, mathematisch als Funktion der Leistung  $f(p)$
2. Verteilung der Auftragssumme auf Gewerke und Erfassung der Vergabesummen.
3. Ausführungsentscheidungen, heißt namentliche Bestimmung von Einsätzen der Ausführungskapazitäten (-Allokationen) sowie Quantität und Qualität von Ressourcen in der Realität.
4. Arbeiten ausführen
5. Feststellung der Fertigstellungsgrade (Abschätzung) und Erfassung von Personal-, Material- und Geräteeinsätzen wie gewohnt in Tagesberichten
6. Automatische Auswertung mit Planfortschreibung zu jedem beliebigen Tag für:
  - Geleistete Arbeit  $Q^{IST}$  im Verhältnis zu Planung  $Q^{SOLL}$  graphisch, numerisch
  - Effektivität für Zeiträume, Bauteile und Vorgänge eigener Gewerke numerisch
  - Kaufmännische Leistung, Sollkosten, Ist-Kosten alle Gewerke numerisch
  - Verbleibender Entscheidungsraum Arbeit, Kosten, graphisch, numerisch
7. Bewertung der Situation und Steuerung, gehe zu 3., bei Nachträgen gehe zu 2.

Zusammengefasst, die mathematisch saubere (widerspruchsfreie) Vorgehensweise ist

- eine Ablauf- und Kapazitätsplanung vor der Ausführung und
- eine Kapazitätssteuerung während der Ausführung.