

Wissensmanagement in der Sichtbetontechnologie

**vom Fachbereich
Bau- und Umweltingenieurwissenschaften
der Technischen Universität Darmstadt**

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte

**Dissertation
von Dipl.-Ing. Daniela Linnebacher**

Erstgutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko
Zweitgutachter: Assoc. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Christian Hofstadler

Darmstadt 2019

Linnebacher, Daniela:

Wissensmanagement in der Sichtbetontechnologie

Darmstadt, Technische Universität Darmstadt

Jahr der Veröffentlichung der Dissertation auf TUpriints: 2020

URN: urn:nbn:de:tuda-tuprints-115656

Tag der mündlichen Prüfung: 15. Juli 2019

Veröffentlicht unter CC BY-SA 4.0 International

<https://creativecommons.org/licenses/>

Erstreferent:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko

Institut für Baubetrieb

Technische Universität Darmstadt

Korreferent:

Assoc. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Christian Hofstadler

Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft

Technische Universität Graz

Vorwort des Erstreferenten

Eines der bedeutenden Gestaltungselemente in der Architektur des Hoch-, Tief- und Ingenieurbaus bildet der Sichtbeton. Seit nunmehr zwei Jahrzehnten ist er Gegenstand wissenschaftlicher und praxisbasierter Forschung, sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene. Die Planung und Ausführung von Sichtbetonbauteilen erfolgt unter Anwendung der Sichtbetontechnologie, die trotz der Verfügbarkeit erheblicher Erkenntnisse aus den abgeschlossenen Forschungsarbeiten sowie aus den Bauprojekten immer noch Wissenslücken und gleichzeitig eine fehlende Integration des gewonnenen Wissens beispielsweise in Form von Wissensmanagementsystemen aufweist. Die Bauwirtschaft sucht im Kontext des Sichtbetons nach fundierten Angaben zur Gestaltung der Prozesse auf Baustellen, damit die Ausführung von Bauteilen in Sichtbetonqualität stabil und ökonomisch begründet durchgeführt werden kann. Wichtig ist ebenso, die Konfliktpotenziale zwischen den Bauprojektbeteiligten durch eine adäquate Aufbereitung des verfügbaren Wissens zu reduzieren. Diese Umstände bildet die Motivation für die Forschungsarbeit von Frau Dipl.-Ing. Daniela Linnebacher, deren Ergebnisse mit der vorliegenden Dissertationsschrift „Wissensmanagement in der Sichtbetontechnologie“ dokumentiert sind.

An dieser Stelle wird unser Dank an den Güteschutzverband Betonschalungen Europa e. V. ausgesprochen, der die Arbeit von Frau Linnebacher gefördert hat.

Die Zielsetzung der Arbeit von Frau Linnebacher besteht in der Verbesserung des Wissensmanagements in der Sichtbetontechnologie durch Weiterentwicklung der Prozesse mithilfe der Wissensgewinnung in bisher wissenschaftlich und baupraktisch nicht untersuchten Bereichen sowie durch Entwicklung eines Systems zur Strukturierung, Konservierung und Bereitstellung von Wissen. Der Fokus liegt auf den Prozessen eines Bauunternehmens, wodurch die Ergebnisse dort sowohl in die Management- als auch in die Geschäftsprozesse eingreifen. So widmet sich Frau Linnebacher dem bisher baubetrieblich nicht erforschten Komplex des Leichtbetons als Sichtbeton. Sie kreierte hierzu eine Projektdatenbank, führt Laborstudien unter Anwendung eines Leichtbetons LC 12/13 mit unterschiedlichen Schalungshaut- sowie Trennmitteltypen unter Applikation von unterschiedlichen Arten der Verdichtungsenergie durch und entwickelt daraus einen Ursachen-Wirkungs-Zusammenhang. In einer weiteren Studie wurden die bisherigen Erkenntnisse zur Sichtbetonqualität bei der Ausführung von geeigneten Bauteilen, welche als Laborergebnisse vorlagen, durch Feldversuche verifiziert. Interessante Erkenntnisse wurden im Zusammenhang mit der Sichtbetontechnologie im Brückenbau gewonnen. Um dieses komplexe Wissen adäquat zu generieren und zu verarbeiten wurde von Frau Linnebacher der Prototyp eines modularen Wissensmanagementsystems entwickelt. Die Modellierung erfolgt auf der Grundlage der Ontologie für die Baubetriebswissenschaften und ergibt als deren Erbstruktur eine Onto-

logie der Sichtbetontechnologie. Mit über 200 daraus generierten Entitäten und den dazugehörigen Regeln wurde das bestehende Softwaresystem der Ontologie der Baubetriebswissenschaft erweitert.

Die von Frau Dipl.-Ing. Daniela Linnebacher vorgelegte Dissertation bildet einen sehr interessanten und wertvollen Beitrag im Forschungskomplex der Sichtbetontechnologie. Mit den vorliegenden Ergebnissen konnten weitere Forschungslücken geschlossen werden, so dass das Wissen über die Sichtbetontechnologie eine relevante Erweiterung erfahren hat. Die bisher fehlende Integration des Wissens wurde durch einen Prototypen konzeptualisiert, so dass die Implementierung in Wissensmanagementsysteme von Organisationen möglich ist. Bemerkenswert ist die deutliche Erweiterung der Ontologie der Baubetriebswissenschaft. Frau Linnebacher hat während ihrer Promotionszeit publiziert und Fachvorträge im Rahmen von Fachkonferenzen in Deutschland und in Österreich gehalten.

Ich danke Frau Linnebacher für diese Leistung.

Darmstadt, im Juli 2019

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko

Danksagung der Verfasserin

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Baubetrieb der Technischen Universität Darmstadt.

Mein außerordentlicher Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko, der mich im Rahmen meiner Dissertation und meiner Arbeit am Institut für Baubetrieb immer unterstützt und gefördert hat. Seine Anregungen haben dazu geführt, dass sich sowohl meine Arbeit als auch meine Persönlichkeit weiterentwickelt haben.

Ebenso möchte ich mich bei Herrn Assoc. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Christian Hofstadler für die Übernahme des Korreferats meiner Arbeit und den Austausch über den Themenkomplex der Sichtbetontechnologie unter anderem im Rahmen der Grazer Sichtbetonseminare bedanken.

Ein weiterer Dank gilt den Projektpartnern und Förderern meiner Arbeit. Ich bedanke mich bei den Bauunternehmen, Schalungsherstellern sowie Baustoffherstellern für die Unterstützung im Rahmen der verschiedenen Forschungsprojekte. Besonders hervorzuheben ist hierbei der Güteschutzverband Betonschalungen Europa e. V., der diese Arbeit gefördert hat.

Den Kolleginnen und Kollegen am Institut für Baubetrieb danke ich für die angenehme und konstruktive Zusammenarbeit. Besonders möchte ich mich hier bei Jörg Fenner für seine stets offene Tür, die richtigen Impulse und den fachlichen Austausch bedanken.

Der größte Dank gilt meiner Familie und meinem privaten Umfeld. Ohne die bedingungslose Unterstützung meiner Eltern wäre diese Arbeit nicht entstanden. Ganz besonderer Dank gilt jedoch meinem Mann Fabian Linnebacher, den ich am Institut kennen und lieben gelernt habe und der mir den nötigen Rückhalt für die Anfertigung der Arbeit gegeben hat.

Kirkel, im Juli 2019

Daniela Linnebacher

Inhaltsverzeichnis

Vorwort des Erstreferenten.....	III
Danksagung der Verfasserin	V
Inhaltsverzeichnis	VII
Abbildungsverzeichnis	XII
Tabellenverzeichnis	XVI
Abkürzungsverzeichnis	XIX
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung der Arbeit.....	1
1.2 Zielsetzung und Eingrenzung der Arbeit.....	2
1.3 Aufbau der Arbeit.....	5
1.4 Wissenschaftstheoretische Verortung der Arbeit.....	8
1.5 Forschungsmethodik der Arbeit.....	11
1.5.1 Beobachtungs- und Erfassungsmethoden nach REFA.....	11
1.5.1.1 Arbeitsstudium und Arbeitssystem.....	11
1.5.1.2 Gruppenzeitaufnahme – systematische Multimomentaufnahme	15
1.5.1.3 Einzelzeitaufnahme	16
1.5.2 Quantitative Erhebungsmethodik – Befragung mittels standardisiertem Fragebogen.....	17
1.5.3 Qualitative Erhebungsmethodik – Leitfadenbasierte Experteninterviews	19
2 Grundlagen der Sichtbetontechnologie.....	22
2.1 Definition und normative Grundlagen.....	22
2.1.1 Definition des Begriffs Sichtbetontechnologie.....	22
2.1.2 DIN 18217 – Betonflächen und Schalungshaut.....	23
2.1.3 DIN EN 13670 – Ausführung von Tragwerken aus Beton und DIN 1045 – Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 3	25
2.1.4 Eurocode 2 (DIN EN 1992).....	27
2.1.5 DBV Merkblatt Sichtbeton.....	28
2.1.6 Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten	30
2.2 Stand der Forschung	34
2.2.1 Baubetriebliche Forschung.....	34
2.2.1.1 Gestaltung von Arbeitssystemen in der Sichtbetontechnik nach <i>Boska</i> ..	34

2.2.1.2	Einflussgrößen auf das Erscheinungsbild und Kosten von Sichtbeton nach <i>Schömb's</i>	37
2.2.2	Betontechnologische Forschung	39
2.2.2.1	Betontechnische Einflüsse auf das Erscheinungsbild von Sichtbetonflächen bei Zementleimleckagen nach <i>Fischer</i>	39
2.2.2.2	Fleckige Dunkelverfärbungen an Sichtbetonoberflächen nach <i>Strehlein</i>	41
2.2.3	AiF-Sichtbetonverbundforschung	44
2.2.3.1	AiF - Sichtbetonverbundforschung: Förderperiode 1	45
2.2.3.2	AiF - Sichtbetonverbundforschung: Förderperiode 2	46
2.3	Identifikation von Wissenslücken.....	47
3	Grundlagen des Wissensmanagements	49
3.1	Terminologische Grundlagen.....	49
3.1.1	Wissen	49
3.1.2	Die Wissenstreppe.....	50
3.1.3	Wissensarten.....	52
3.1.3.1	Implizites und explizites Wissen.....	53
3.1.3.2	Subjektives und objektives Wissen	53
3.1.3.3	Individuelles, kollektives und organisationales Wissen	54
3.1.3.4	Kontext- und dekontext-bezogenes Wissen	56
3.2	Wissensmanagement	56
3.2.1	Definition.....	57
3.2.2	Normative Grundlagen.....	57
3.2.2.1	DIN EN ISO 9001 Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen.....	57
3.2.2.2	VDI 5610 Wissensmanagement im Ingenieurwesen: Grundlagen, Konzepte, Vorgehen (2009)	60
3.2.3	Wissensmanagement-Modelle	62
3.2.3.1	Wissensmanagement-Modell nach Nonaka und Takeuchi	62
3.2.3.2	Bausteine des Wissensmanagements nach Probst, Raub und Romhardt	65
3.3	Wissensmanagement in Bauunternehmen	69
3.3.1	Projektbasiertes Prozessmodell für ereignisorientiertes Wissensmanagement in mittleren und größeren Bauunternehmen nach <i>Schmidle</i>	69
3.3.2	Prozessmodell für projekt- und erfolgsorientiertes Wissensmanagement in Bauunternehmen nach <i>Borner</i>	71
3.3.3	Wissensmanagement in einem Baukonzern nach <i>Cüppers</i>	74

3.3.4	Modell zur Implementierung eines Wissensmanagement-Systems in kleinen und mittleren Bauunternehmen nach <i>Rathswohl</i>	76
3.3.5	Wissensretrieval im Bauwesen nach <i>Ismail</i>	79
4	Wissensgewinnung in der Sichtbetontechnologie	81
4.1	Leichtbeton in der Sichtbetontechnologie.....	82
4.1.1	Entwicklung einer Projektdatenbank für Sichtbetonbauwerke aus Leichtbeton	82
4.1.2	Versuchsaufbau.....	84
4.1.3	Versuchsdurchführung.....	89
4.1.4	Versuchsergebnisse	95
4.1.4.1	Einzelkriterium Porigkeit	95
4.1.4.2	Einzelkriterium Farbtongleichmäßigkeit	100
4.1.4.3	Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	105
4.2	Sichtbeton bei geeigneten Schalungen	106
4.2.1	Versuchsaufbau.....	106
4.2.2	Versuchsergebnisse	108
4.2.2.1	Einzelkriterium Porigkeit	111
4.2.2.2	Einzelkriterium Farbtongleichmäßigkeit	121
4.2.2.3	Einzelkriterium Ebenheit / Arbeitsfugen und Schalungsstöße	123
4.2.2.4	Einzelkriterium Schalungshaut	125
4.2.2.5	Ermittlung von Aufwandswerten	128
4.3	Sichtbetontechnologie im Ingenieurbau	131
4.3.1	Experteninterviews über den Umgang mit Sichtbeton bei Brückenbauwerken vor und nach der Neuerung in der ZTV-Ing 2014	132
4.3.2	Untersuchung von Ausschreibungs- und Planunterlagen zur Kategorisierung von Sichtbetonanforderungen im Brückenbau.....	136
4.3.3	Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge bei der Ausführung von Sichtbeton im Brückenbau	141
4.3.3.1	Einzelkriterium Farbtongleichmäßigkeit – Blauverfärbungen	141
4.3.3.2	Einzelkriterium Farbtongleichmäßigkeit – Braunverfärbungen	144
4.3.3.3	Einzelkriterium Farbtongleichmäßigkeit – Grautonschattierungen	145
4.4	Fertigteile in der Sichtbetontechnologie	147
4.4.1	Untersuchte Fertigteiltypen.....	147
4.4.2	Dokumentation der Arbeitssysteme.....	152
4.4.3	Ermittlung von Aufwandswerten	157

4.5	Bearbeitete und nachträglich behandelte Sichtbetonflächen.....	159
4.5.1	Dokumentation der Arbeitssysteme.....	160
4.5.1.1	Arbeitssystem Sandstrahlen	160
4.5.1.2	Arbeitssystem Absäuern	162
4.5.1.3	Arbeitssystem Schleifen	165
4.5.1.4	Arbeitssystem Polieren.....	166
4.5.1.5	Arbeitssystem Reprofilieren	168
4.5.1.6	Arbeitssystem Retuschieren.....	171
4.5.1.7	Arbeitssystem Hydrophobieren	174
4.5.2	Ermittlung von Aufwandswerten.....	175
4.6	Methoden zum Auftrag von Betontrennmitteln.....	177
4.6.1	Versuchsaufbau	178
4.6.2	Versuchsdurchführung	181
4.6.3	Versuchsergebnisse	184
4.6.3.1	Einzelkriterium Porigkeit	184
4.6.3.2	Einzelkriterium Farbtongleichmäßigkeit	184
4.7	Rauigkeit in Zusammenhang mit Farbtonungleichmäßigkeiten von Sichtbetonflächen	187
4.7.1	Rauigkeit der untersuchten Sichtbetonbauteile.....	188
4.7.2	Betonkosmetische Maßnahmen bei Farbtonungleichmäßigkeiten auf Sichtbetonflächen	190
4.8	Bewehrungsführung und Einbauteile bei Sichtbetonbauteilen.....	195
4.8.1	Bewehrungsführung bei Sichtbetonbauteilen.....	195
4.8.2	Einbauteile bei Sichtbetonbauteilen	200
4.9	Qualitätsmanagement in der Sichtbetontechnologie.....	202
4.9.1	Entwicklung eines Qualitätssicherungsplans	203
4.9.2	Umsetzung des Qualitätssicherungsplans auf der Baustelle.....	205
5	Wissensmanagement in der Sichtbetontechnologie	206
5.1	Anforderungsanalyse	206
5.2	Wissensmanagementsystem für die Sichtbetontechnologie.....	209
5.2.1	Projekt- und Bauteildokumentation	210
5.2.2	Expertennetzwerk	212
5.2.3	Arbeitsanweisungen und Tutorials	212
5.2.4	Aufwands- und Kostenkennwerte.....	213

5.2.5	Dokumentenvorlagen und Checklisten.....	214
5.2.6	Literatur.....	215
5.3	Wissensmodell für die Sichtbetontechnologie.....	216
5.3.1	Ontologien in der Informatik	216
5.3.2	Die Ontologie der Baubetriebswissenschaften.....	218
5.3.3	Die Ontologie der Sichtbetontechnologie	221
6	Fazit	223
6.1	Zusammenfassung.....	223
6.2	Ausblick.....	229
	Literaturverzeichnis	230
	Anhang.....	237

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Einordnung der Forschung in die Prozesslandkarte eines Bauunternehmens	4
Abbildung 1-2: Aufbau der Arbeit	6
Abbildung 1-3: Systematik der Wissenschaften nach <i>Ulrich</i> und <i>Hill</i>	8
Abbildung 1-4: Das Arbeitssystem nach REFA	12
Abbildung 1-5: Mikro- und Makroablaufabschnitte nach REFA	14
Abbildung 1-6: Untergliederung des Gesamtarbeitssystems <i>Sichtbetonbauteil herstellen</i> in Subarbeitssysteme	15
Abbildung 1-7: Vorgehensweise bei der Datenerhebung und -auswertung im Rahmen von leitfadengestützten Experteninterviews	21
Abbildung 2-1: Gliederung von Betonflächen nach Anforderungen und Herstellungsarten	24
Abbildung 2-2: Entwurfsfaktoren für Sichtbetonzusammensetzungen nach <i>Fischer</i>	41
Abbildung 3-1: Die Wissenstreppe nach <i>North</i>	50
Abbildung 3-2: Gliederung der Wissensarten	52
Abbildung 3-3: Handlungswissen von Individuen, Gruppen und Organisationen	55
Abbildung 3-4: Zusammenhang der Wissensarten	56
Abbildung 3-5: Wissenskreislauf	58
Abbildung 3-6: Phasenmodell zur Etablierung eines Wissensmanagement-Prozesses	60
Abbildung 3-7: Die Dimensionen der Wissensschaffung	63
Abbildung 3-8: Vier Arten der Wissensumwandlung nach <i>Nonaka</i> und <i>Takeuchi</i>	64
Abbildung 3-9: Spirale der Wissensschaffung im Unternehmen	65
Abbildung 3-10: Bausteine des Wissensmanagements nach <i>Probst</i> , <i>Raub</i> und <i>Romhardt</i>	66
Abbildung 3-11: Wissensmanagementprozessmodell für ereignisorientiertes Wissen nach <i>Schmidle</i>	70
Abbildung 3-12: Modellkonzept des Erfolgsfaktoren-basierten Projektwissensmanagements nach <i>Borner</i>	72
Abbildung 3-13: Integration der Instrumente in die Projektphasen der Bauwerksrealisierung nach <i>Cüppers</i>	76
Abbildung 3-14: Aufbau des Implementierungs-Modells <i>WMS-KMBU</i> nach <i>Rathswohl</i>	77
Abbildung 3-15: Aufbau des ontologie-basierten Wissensmodells nach <i>Ismail</i>	80
Abbildung 4-1: Schalungskonstruktion Ansicht und Draufsicht	84

Abbildung 4-2: Zusammensetzung der Schalungshautarten in den Prüfschalungen	86
Abbildung 4-3: Wasserbad für Leichtzuschläge	88
Abbildung 4-4: Vorgehensweise beim Auftrag des Betontrennmittels	90
Abbildung 4-5: Vorgehensweise beim Anmischen des Betons des	92
Abbildung 4-6: Vorgehensweise zur Reinigung der Schalung	95
Abbildung 4-7: Versuchsergebnisse mit Betontrennmittel TM 1 in Bezug auf das Einzelkriterium Porigkeit	96
Abbildung 4-8: Versuchsergebnisse mit Betontrennmittel 2 in Bezug auf das Einzelkriterium Porigkeit	97
Abbildung 4-9: Einfluss der Schalungshautart und des Betontrennmittels auf die Sichtbetonflächen der Leichtbetonprobekörper	98
Abbildung 4-10: Einfluss der Verdichtungsenergie bei der No-Oil Schalungshaut (S4)	99
Abbildung 4-11: Darstellung der Porenform und -verteilung der verschiedenen Versuchsreihen.....	100
Abbildung 4-12: Beurteilung der Farbtongleichmäßigkeit mit Hilfe einer Grautonskala.....	101
Abbildung 4-13: Entwicklung der Sichtbetonfläche geschalt mit der Schalungshautart S2	102
Abbildung 4-14: Entwicklung der Sichtbetonfläche geschalt mit der Schalungshautart S3	103
Abbildung 4-15: Einfluss der Schalungshautart und des Betontrennmittels auf die Sichtbetonflächen der Leichtbetonprobekörper	104
Abbildung 4-16: Ansicht der Stützen.....	107
Abbildung 4-17: Schnitt Stützenarm A und Schnitt Stützenarm B.....	107
Abbildung 4-18: Birkenperrholzplatte mit Phenolharzbeschichtung	108
Abbildung 4-19: Betonabstandhalter.....	108
Abbildung 4-20: Gesamteindruck Stütze III.....	109
Abbildung 4-21: Ansichten der Stützenarme Stütze III.....	110
Abbildung 4-22: Ansichten der Stützenarme Stütze IV.....	110
Abbildung 4-23: Stütze III – Auswertung Porigkeit Stützenarme A und B	112
Abbildung 4-24: Stütze IV – Auswertung Porigkeit Stützenarme A und B	113
Abbildung 4-25: Vergleich Stütze III und IV – Stützenarme A und B getrennt.....	113
Abbildung 4-26: Vergleich Stütze III und IV – Stützenarme A und B gesamt.....	114
Abbildung 4-27: Ansichten Stütze III.....	115
Abbildung 4-28: Ansichten der geneigten Sichtbetonstützen.....	116

Abbildung 4-29: Ansichten der geneigten Sichtbetonflächen der Stütze EG Achse D7	117
Abbildung 4-30: Ansichten der geneigten Sichtbetonflächen der Stütze EG Achse D9	119
Abbildung 4-31: Ansichten der geneigten Sichtbetonflächen der Stützen 1. OG Achse G9	120
Abbildung 4-32: Ansichten Stütze IV	122
Abbildung 4-33: Ansichten Stütze IV – einen Tag nach dem Ausschalen	123
Abbildung 4-34: Darstellung der Schalungskonstruktion	124
Abbildung 4-35: Stütze IV – Einzelkriterium Ebenheit	125
Abbildung 4-36: Stütze IV - Reparaturstellen auf der Schalungshaut und Defekte auf den Betonflächen	126
Abbildung 4-37: Ansichten – Stütze III	127
Abbildung 4-38: Einschalen einer komplex geneigten Sichtbetonstütze	129
Abbildung 4-39: Ausschalen einer komplex geneigten Sichtbetonstütze	130
Abbildung 4-40: Darstellung der wesentlichen Arbeitsschritte zur Herstellung eines Pfeilerschafts	141
Abbildung 4-41: Darstellung der wesentlichen Arbeitsschritte zur Herstellung eines Pfeilerkopfs	142
Abbildung 4-42: Entwicklung der Ansicht des Pfeilerschafts	143
Abbildung 4-43: Entwicklung der Ansicht des Pfeilerkopfs	143
Abbildung 4-44: Braunverfärbungen auf den Sichtbetonflächen der Pfeilerköpfe	144
Abbildung 4-45: Darstellung der wesentlichen Arbeitsschritte zur Herstellung des Brückenüberbaus	145
Abbildung 4-46: Entwässerungstopf auf der Schalungshaut	146
Abbildung 4-47: Entwicklung der Ansicht der Unterseite des Brückenüberbaus	146
Abbildung 4-48: Darstellungen der Schalungskonstruktion der Probekörper	178
Abbildung 4-49: Probekörper nach dem ersten Einsatz der Schalungshäute	186
Abbildung 4-50: Probekörper nach dem zweiten Einsatz der Schalungshäute	186
Abbildung 4-51: Probekörper nach dem dritten Einsatz der Schalungshäute	187
Abbildung 4-52: Sichtbetonwand mit Farbtonungleichmäßigkeiten	188
Abbildung 4-53: Helle und dunkle Bereiche auf den Sichtbetonwänden im Streiflicht	188
Abbildung 4-54: Messung der Rauigkeit der Sichtbetonflächen	189
Abbildung 4-55: Schleifen von Sichtbetonbauteilen, Arbeitskraft und Betriebsmittel ..	191

Abbildung 4-56: Sichtbetonwand vor und nach dem Schleifen	191
Abbildung 4-57: Schleifstaub auf der Sichtbetonwand nach dem Schleifen	192
Abbildung 4-58: Mechanisches Reinigen (nass) von Sichtbetonbauteilen, Arbeitskraft und Betriebsmittel	193
Abbildung 4-59: Sichtbetonwand vor und nach der mechanischen Reinigung (nass)...	193
Abbildung 4-60: Sichtbetonwand vor und nach dem Schleifen und Reinigen mit Wasser	194
Abbildung 4-61: Sichtbetonwand vor und nach dem Auftragen der Lasur	195
Abbildung 4-62: Bewehrungszeichnung eines Sichtbetonbauteils ohne Berücksichtigung der Verdichtung	196
Abbildung 4-63: Bewehrungsführung eines Sichtbetonbauteils ohne Berücksichtigung der Verdichtung	197
Abbildung 4-64: Sichtbetonflächen bei mangelnder Verdichtung aufgrund zu dichter Bewehrungsführung	197
Abbildung 4-65: Partiiell retuschierte Sichtbetonflächen.....	199
Abbildung 4-66: Großflächig retuschierte Sichtbetonflächen	200
Abbildung 4-67: Schalung und Bewehrung eines Sichtbetonbauteils mit Einbauteilen.....	201
Abbildung 4-68: Sichtbetonbauteil mit mehreren Aussparungen und Einbauteilen.....	201
Abbildung 4-69: Arbeitssysteme zur Herstellung von Sichtbetonbauteilen in Ortbetonbauweise	203
Abbildung 5-1: Einschätzung der Fehlerquote bei der Herstellung von Sichtbetonbauteilen	207
Abbildung 5-2: Reduzierung der Fehlerquote durch ein Wissensmanagement in der Sichtbetontechnologie.....	208
Abbildung 5-3: Wissensmanagementsystem für die Sichtbetontechnologie	210
Abbildung 5-4: Prozesskette zur Erstellung einer Ontologie nach <i>Noy</i> und <i>McGuiness</i>	217
Abbildung 5-5: Leistungserstellungsprozesse in Bauunternehmen	219
Abbildung 5-6: Der Produktionsprozess in der Ontologie der Baubetriebswissenschaften.....	220
Abbildung 5-7: Hierarchie der Ontologien	221
Abbildung 5-8: Beispiel zur Erweiterung der Ontologie der Baubetriebswissenschaften durch die Ontologie der Sichtbetontechnologie.....	222

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Wissenschaftstheoretische Einordnung nach <i>Verkuil</i> und <i>Dey</i>	10
Tabelle 2-1: Sichtbetonklassen und zugehörige Anforderungsklassen nach DBV Merkblatt <i>Sichtbeton</i>	29
Tabelle 2-2: Sichtbetonanforderungen vor und nach der Novellierung der ZTV-Ing.....	31
Tabelle 2-3: Gegenüberstellung der Aufwandswerte in Abhängigkeit der geforderten Sichtbetonqualität nach <i>Boska</i>	36
Tabelle 2-4: Auszug der Eigenschaften von Sichtbetonflächen in Abhängigkeit der Schalungshaut nach <i>Schömbbs</i>	38
Tabelle 2-5: Ausführungstechnische und betontechnologische Maßnahmen zur Vermeidung von fleckigen Dunkelverfärbungen nach <i>Strehlein</i>	44
Tabelle 2-6: Verbundforschungsmitglieder und Forschungsthemen der ersten Förderperiode.....	45
Tabelle 2-7: Verbundforschungsmitglieder und Forschungsthemen der zweiten Förderperiode.....	46
Tabelle 3-1: Wissensarten in Abhängigkeit der Wissensträger nach <i>Cüppers</i>	55
Tabelle 4-1: Übersicht über die durchgeführten Untersuchungen zur Wissensgewinnung in der Sichtbetontechnologie:.....	81
Tabelle 4-2: Beispieleintrag Projektdatenbank Sichtbetonbauwerke aus Leichtbeton ...	83
Tabelle 4-3: Eingesetzte Schalungshautarten	85
Tabelle 4-4: Eingesetzte Betontrennmittel.....	87
Tabelle 4-5: Verwendete Leichtbetonrezeptur ($V = 6,3 \text{ dm}^3$).....	87
Tabelle 4-6: Eingebrachte Verdichtungsenergie.....	89
Tabelle 4-7: Mischvorgang des Leichtbetons	91
Tabelle 4-8: Anpassungen des Versuchsaufbaus während der Versuchsdurchführung ...	93
Tabelle 4-9: Ausschalfristen der Probekörper	94
Tabelle 4-10: Anforderungsklassen der Porigkeit	96
Tabelle 4-11: Versuchsergebnisse in Bezug auf das Einzelkriterium Farbtongleichmäßigkeit.....	101
Tabelle 4-12: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchungen von Leichtbeton in der Sichtbetontechnologie.....	105
Tabelle 4-13: Stütze III – Detailansichten Porigkeit Stützenarme	111
Tabelle 4-14: Stütze IV – Detailansichten Porigkeit Stützenarme	112
Tabelle 4-15: Stütze EG Achse D7 – Detailansichten Porigkeit Stützenarme.....	118
Tabelle 4-16: Stütze EG Achse D9 – Detailansichten Porigkeit Stützenarme.....	119

Tabelle 4-17: Stützen 1. OG Achsen G7 und G9 – Detailansichten Porigkeit	121
Tabelle 4-18: Kategorisierung der Sichtbetonanforderungen in Ausschreibungs- und Planunterlagen von Brückenbauwerken	139
Tabelle 4-19: Komplexitätsklassen bei der Herstellung von Fertigteilen mit Sichtbetonanforderungen.....	147
Tabelle 4-20: Stahlbetonfertigteile der Komplexitätsklasse 1	149
Tabelle 4-21: Stahlbetonfertigteile der Komplexitätsklasse 2	150
Tabelle 4-22: Stahlbetonfertigteile der Komplexitätsklasse 3	151
Tabelle 4-23: Arbeitssystem zur Herstellung der Vorsatzschale.....	152
Tabelle 4-24: Arbeitssystem zur Herstellung der Dämmschale	154
Tabelle 4-25: Arbeitssystem zur Herstellung der Tragschale	156
Tabelle 4-26: Zusammenstellung der Aufwandswerte für die untersuchten Fertigteiltypen mit Sichtbetonanforderungen.....	158
Tabelle 4-27: Untersuchte und dokumentierte Verfahren zur Bearbeitung und nachträglichen Behandlung von Sichtbetonflächen	160
Tabelle 4-28: Arbeitssystem Sandstrahlen.....	161
Tabelle 4-29: Arbeitssystem Absäuern.....	163
Tabelle 4-30: Arbeitssystem Schleifen.....	165
Tabelle 4-31: Arbeitssystem Polieren	167
Tabelle 4-32: Arbeitssystem Reprofilieren.....	169
Tabelle 4-33: Arbeitssystem Retuschieren	172
Tabelle 4-34: Arbeitssystem Hydrophobieren.....	174
Tabelle 4-35: Zusammenstellung der Aufwands- und Kostenkennwerte für die untersuchten Verfahren zur Bearbeitung und nachträglichen Behandlung von Betonflächen	176
Tabelle 4-36: Methoden zum Auftrag von Betontrennmitteln	177
Tabelle 4-37: Schalungshautarten zur Herstellung der Probekörper	179
Tabelle 4-38: Eingesetzte Betontrennmittel.....	179
Tabelle 4-39: Betonzusammensetzung der Probekörper.....	180
Tabelle 4-40: Versuchsmatrix zur Herstellung der Probekörper je Versuchsreihe	180
Tabelle 4-41: Vorgehensweise bei der Herstellung der Betonprobekörper.....	181
Tabelle 4-42: Arithmetisches Mittel der Messergebnisse der Rauigkeitsmessungen vor dem Schleifen und Reinigen.....	189
Tabelle 4-43: Arithmetisches Mittel der Messergebnisse der Rauigkeitsmessungen vor und nach dem Schleifen und Reinigen	190

Tabelle 4-44: Empfehlungen für die Ausführung und Qualitätssicherung gemäß DBV Merkblatt <i>Sichtbeton</i>	202
Tabelle 6-1: Zusammenstellung der Aufwandswerte für die untersuchten Verfahren zur Bearbeitung und nachträglichen Behandlung von Betonflächen.....	226
Tabelle 6-2: Arithmetisches Mittel der Messergebnisse der Rauigkeitsmessungen vor und nach dem Schleifen und Reinigen	227

Abkürzungsverzeichnis

AiF	Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen <i>Otto von Guericke e.V.</i>
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
cm	Zentimeter
DIN	Deutsches Institut für Normung
e.V.	eingetragener Verein
f.	folgende (Seite)
ff.	fortfolgende (Seiten)
FSH	Furniersperrholzplatte
Hrsg.	Herausgeber
Hz	Hertz
MH	Melaminharz
Min.	Minuten
Mm	Millimeter
ns	nicht saugend
PH	Phenolharz
PP	Polypropylen
REFA	REFA Bundesverband e.V.
s	saugend
S.	Seite
vgl.	vergleiche
WiMa	Wissensmanagement
WMS	Wissensmanagement-System
WMS-KMBU	Wissensmanagement-System für kleine und mittlere Bauunternehmen
ZTV-Ing	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten

1 Einleitung

1.1 Problemstellung der Arbeit

Sichtbeton ist nach wie vor ein wichtiges Gestaltungsmerkmal von Bauwerken, das eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Oberflächenbeschaffenheit in Form von Strukturierungen und Pigmentierungen von Stahlbetonbauteilen bietet. Die Formgebung der Bauteile spielt in der Sichtbetontechnologie ebenfalls eine große Rolle, so sind bei weitem nicht mehr nur einfach Geometrien, sondern vielmehr auch geneigte Bauteile mit komplexen Querschnitten bis hin zu Freiformen in der Umsetzung.¹

Trotz umfangreicher Verbundforschungen und Forschungsvorhaben verschiedener Institutionen gibt es in der Sichtbetontechnologie noch Erscheinungen und Zusammenhänge, die ungeklärt sind bzw. Bereiche, die bisher noch gar nicht untersucht wurden. Aus diesen Gründen ist es wichtig, die Forschung im Gebiet der Sichtbetontechnologie zur Schließung von Wissenslücken weiterzuführen.²

Die Ressource *Wissen* ist für Bauunternehmen von großer Relevanz für den Aufbau und die Erhaltung von Vorteilen gegenüber Wettbewerbern, für die Standardisierung und Kontinuität der Leistungsqualität sowie für die Optimierung der Leistungserstellungsprozesse.³

Das vorhandene und im Rahmen von Forschungsvorhaben gewonnene Wissen im Bereich der Sichtbetontechnologie ist dezentral auf verschiedene Richtlinien, Merkblätter, Veröffentlichungen und Handbücher von Herstellern verteilt dokumentiert. In den Bauunternehmen werden die Erfahrungen im Bereich der Sichtbetontechnologie in Form von Projektberichten auf dem Server meist ohne eine Rückkopplung an andere Mitarbeiter/-innen⁴ und schwer wiederauffindbar abgelegt.⁵

Diese beschriebene Isolierung des Wissens auf unterschiedliche Informationsquellen im Themenkomplex der Sichtbetontechnologie verhindert eine effiziente und effektive Nutzung des Wissens für die Planung, Arbeitsvorbereitung und Ausführung von Sichtbetonbauteilen. Gerade das Wissen über die Grenzen der Sichtbetontechnologie ist für die genannten Kernprozesse eines Bauunternehmens von großer Bedeutung.⁶ Kernkompetenzen

¹ Vgl. Motzko, C.; Boska, E.; Löw, D. (2014), S. 145.

² Vgl. Motzko, C.; Boska, E.; Löw, D. (2014), S. 145.

³ Vgl. Girmscheid (2014), S. 449.

⁴ Vgl. Hofstadler, C. (2008): Schularbeiten, S. 228.

⁵ Siehe Ergebnisse der Anforderungsanalyse in Kapitel 5.1

⁶ Vgl. Hofstadler, C. (2008): Schularbeiten, S. 207.

im Bereich der Sichtbetontechnologie können für ein Bauunternehmen Vorteile gegenüber anderen Wettbewerbern am Markt bedeuten.⁷

Aus den Erläuterungen lässt sich ein Bedarf für Bauunternehmen zur Zusammenführung und Strukturierung des Wissens im Themenkomplex der Sichtbetontechnologie sowohl aus Veröffentlichungen, Richtlinien und Merkblättern als auch aus unternehmensinternen Projektdokumentationen ableiten. Hierzu ist der Aufbau eines unternehmensinternen Wissensmanagements für den Themenkomplex der Sichtbetontechnologie sinnvoll. Die Anforderungen an ein solches Wissensmanagementsystem haben *Hofstadler* und *Kummer* wie folgt formuliert:

„Erst wenn Daten inkl. der damit verbundenen Bedeutung (dem Kontext) in ein intelligentes Wissensmanagementsystem überführt werden, ist damit ein Anwendungsbezug hergestellt und führt zu einem erweiterten Know-how.“⁸

Um den Anforderungen nach einem *intelligenten* Wissensmanagementsystem zur Darstellung der Daten im *dazugehörigen Kontext* nachzukommen, ist die Entwicklung einer Ontologie für die Sichtbetontechnologie erforderlich.⁹ Diese Ontologie kommt auch der folgenden Anforderung von *Girmscheid* an ein Wissensmanagement nach.

„Das wertschöpfungsrelevante Wissen muss gesammelt und in einer Art und Weise präsentiert und weitergegeben werden, die das Wissen zukünftig leicht zugänglich und nutzbar macht.“¹⁰

1.2 Zielsetzung und Eingrenzung der Arbeit

Das übergreifende Ziel der vorliegenden Dissertation ist die Verbesserung des Wissensmanagements in der Sichtbetontechnologie. Dieses Primärziel wird in die zwei folgenden Zielsetzungen bzw. Forschungsansätze untergliedert:

1. Weiterentwicklung der Prozesse zur Herstellung von Sichtbetonbauteilen durch Wissensgewinnung in der Sichtbetontechnologie
2. Entwicklung eines Wissensmanagements für die Sichtbetontechnologie zur Optimierung der Strukturierung, Konservierung und Bereitstellung von Wissen.

Mit der Zielsetzung der Wissensgewinnung soll der Kernprozess der Bauausführung von Sichtbetonbauteilen für alle Projektbeteiligten verbessert werden. Darüber hinaus soll Wis-

⁷ Vgl. Hofstadler, C.; Kummer, M. (2017), S. 81.

⁸ Hofstadler, C.; Kummer, M. (2017), S. 81.

⁹ Siehe Kapitel 5.3.1

¹⁰ Girmscheid (2014), S. 458.

sen zur Verbesserung des vorgelagerten Prozesses der Arbeitsvorbereitung und des nachgelagerten Prozesses der Abnahme generiert werden. Hierzu sind zunächst die Abbildung des Stands der Forschung sowie die Identifikation der daraus resultierenden Wissenslücken erforderlich, anschließend werden ausgewählte Forschungsvorhaben zur Wissensgewinnung angestrebt. Ziel ist die Identifikation neuer Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge und die Dokumentation unbekannter Arbeitssysteme zur Weiterentwicklung der Prozesse zur Herstellung von Sichtbetonbauteilen. Die ergänzende Ermittlung von Aufwandswerten soll eine bessere Planung und Kalkulation von Bauteilen mit Anforderungen an das Aussehen ermöglichen. Die Entwicklung von Checklisten für die Überwachung der Prozesse bei der Herstellung von Sichtbetonbauteilen soll das Qualitätsmanagement bei der Ausführung unterstützen.

Mit der Entwicklung eines Wissensmanagements für die Sichtbetontechnologie sollen das vorhandene Wissen und die zusätzlich im Rahmen der Forschung gewonnenen Erkenntnisse im Themenkomplex Sichtbetontechnologie für eine effektive und effiziente Nutzung strukturiert und konserviert werden. Dafür ist zunächst eine Analyse zur Feststellung der Anforderungen an ein Wissensmanagementsystem für die Sichtbetontechnologie erforderlich. Anschließend wird ein modulares Wissensmanagementsystem entwickelt, das den individuellen Anforderungen der verschiedenen Bauunternehmen entsprechend zusammengesetzt werden kann und das Wissen für die Nutzung bereitstellt. Darüber hinaus wird als wissenschaftlicher Ansatz zur Strukturierung des Wissens und zur Verbesserung der Wiederauffindung eine Ontologie für die Sichtbetontechnologie entwickelt.

Für die inhaltliche Verortung der vorliegenden Dissertation in die Baubetriebswissenschaften wird die Prozesslandkarte eines Bauunternehmens in Abbildung 1-1 in Anlehnung an *Motzko et al.* verwendet. Diese beinhaltet alle Prozessstrukturen eines Bauunternehmens vom Leistungsziel bis zum Leistungsergebnis untergliedert in Management- und Geschäftsprozesse sowie weiterführend in Kern- und Supportprozesse.¹¹

¹¹ Vgl. Motzko et al. (2013), S. 7 ff.

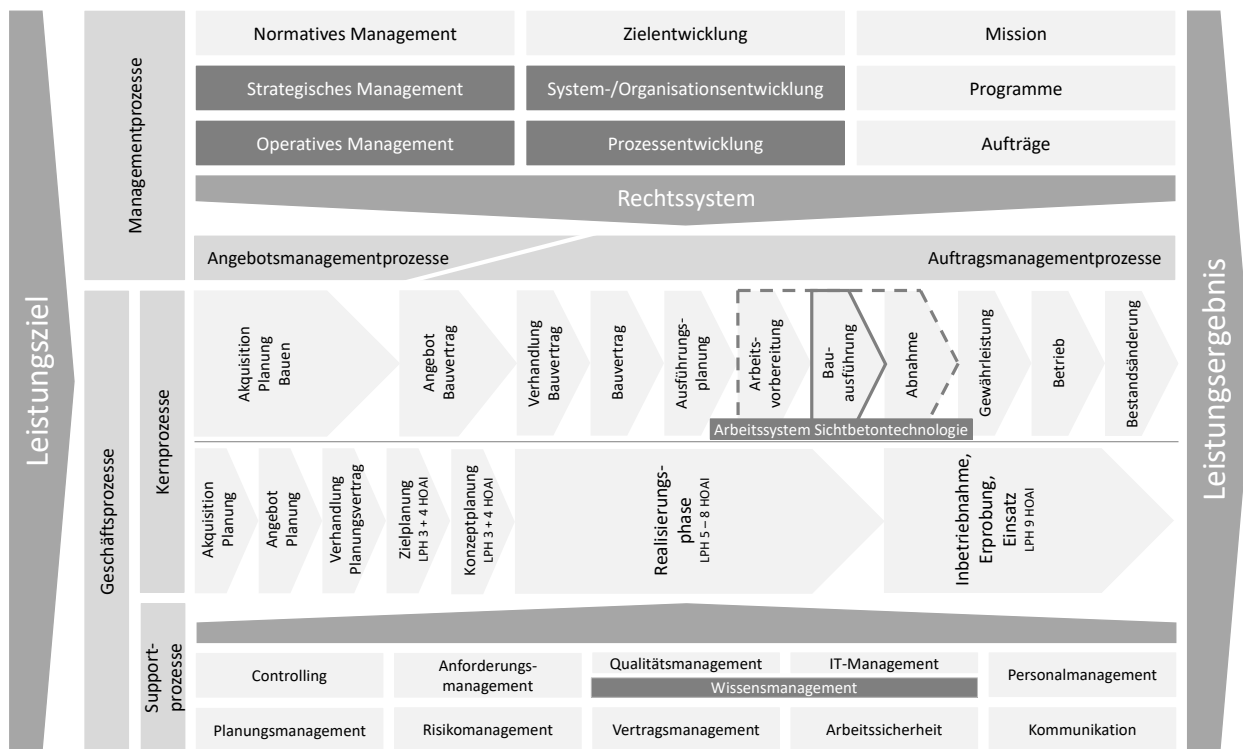


Abbildung 1-1: Einordnung der Forschung in die Prozesslandkarte eines Bauunternehmens¹²

Die Zielsetzungen der vorliegenden Dissertation greifen sowohl in den Management- als auch in den Geschäftsprozessen.

In den Geschäftsprozessen setzen die beiden Zielsetzungen an unterschiedlicher Stelle an. Die Zielsetzung der Wissensgewinnung in der Sichtbetontechnologie dient vor allem zur Verbesserung des Arbeitssystems der Sichtbetontechnologie und dementsprechend zur Verbesserung der Kernprozesse Arbeitsvorbereitung, Bauausführung und Abnahme. Die Zielsetzung der Entwicklung eines Wissensmanagements für die Sichtbetontechnologie bewirkt eine Modifikation des Qualitäts- und IT-Managements eines Unternehmens und führt damit zu einer Verbesserung der Supportprozesse.

Im Bereich der Managementprozesse setzen die beiden Zielsetzungen teilweise in der gleichen Ebene an. Während die Zielsetzung der Wissensgewinnung auf der operativen Managementebene Änderungen vornimmt, handelt es sich bei dem Wissensmanagement für die Sichtbetontechnologie sowohl um eine Entwicklung auf der operativen als auch auf der strategischen Managementebene. Die Wissensgewinnung soll im Unternehmen die Entwicklung der Prozesse im Themenkomplex der Sichtbetontechnologie voranbringen. Das Wissensmanagement für die Sichtbetontechnologie ist hingegen im Bereich des strategischen Managements verortet und soll der Entwicklung der Systeme und der Organisation des Unternehmens dienen. Die Nutzung des Wissensmanagements wiederum dient

¹² In Anlehnung an Motzko et al. (2013), S. 8 und Schmitz (2016), S. 21.

dann der Prozessentwicklung im Unternehmen und greift daher wie die Wissensgewinnung ebenfalls auf Ebene des operativen Managements.

Die Forschungsarbeit im Rahmen des Themenkomplexes der Sichtbetontechnologie der vorliegenden Dissertation bezieht sich sowohl auf Bauvorhaben des Hochbaus als auch des Ingenieurbaus. Die Betrachtung von Ingenieurbauwerken im Kontext des Sichtbetons begründet sich wie folgt:

„Zu beachten ist dabei, dass die Ästhetik des Sichtbetons nicht ausschließlich auf den Hochbau begrenzt ist, sondern ein wichtiges Gestaltungselement von Ingenieurbauwerken im Kontext der Präzisierungen der gegenwärtigen ZTV-ING bildet.“¹³

Weitere Ausführungen zur Präzisierung der Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten in Bezug auf den Themenkomplex Sichtbetontechnologie sind Kapitel 2.1.6 zu entnehmen.

Bei den durchgeführten Untersuchungen zur Wissensgewinnung werden sowohl Sichtbetonbauteile, die in Ortbetonbauweise als auch in Fertigteilbauweise hergestellt worden sind, betrachtet. Die Betrachtungen der Baustoffe wurden entgegen den vorhergehenden Forschungen über den Normalbeton hinaus auf den Leichtbeton ausgeweitet.

Weitere Erläuterungen zur Eingrenzung der vorliegenden Dissertation für die Wissensgewinnung ergeben sich durch die Identifikation der Wissenslücken im Themenkomplex der Sichtbetontechnologie in Kapitel 2.3 sowie die daraus resultierenden Forschungsvorhaben zur Wissensgewinnung in Kapitel 4.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Dissertation ist in sechs Kapitel sowie übergeordnet in einen deskriptiven, einen empirischen und einen integrativen Teil gegliedert. Die Schwerpunkte der Dissertation liegen in der Wissensgewinnung und dem Wissensmanagement im Themenkomplex der Sichtbetontechnologie. Die Zusammenstellung der Inhalte und Zielsetzungen der einzelnen Kapitel können Abbildung 1-2 entnommen werden. Im Folgenden werden der Aufbau der Dissertation sowie die Zusammenhänge zwischen den Kapiteln erläutert.

¹³ Motzko, C.; Löw, D. (2017), S. 12.

	Kapitel	Zielsetzung	
Deskriptiver Teil	<p>1. Einleitung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Problemstellung der Arbeit - Zielsetzung und Eingrenzung der Arbeit - Aufbau der Arbeit - Wissenschaftstheoretische Verortung - Forschungsmethodik der Arbeit 	Vorstellung der Zielsetzung und des Aufbaus der Arbeit sowie der eingesetzten Forschungsmethodik	
	<table border="0"> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <p>2. Grundlagen der Sichtbetontechnologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Definition und normative Grundlagen - Stand der Forschung - Identifikation von Wissenslücken </td> <td style="vertical-align: top;"> <p>3. Grundlagen des Wissensmanagements</p> <ul style="list-style-type: none"> - Terminologische Grundlagen - Wissensmanagement - Wissensmanagement in Bauunternehmen </td> </tr> </table>	<p>2. Grundlagen der Sichtbetontechnologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Definition und normative Grundlagen - Stand der Forschung - Identifikation von Wissenslücken 	<p>3. Grundlagen des Wissensmanagements</p> <ul style="list-style-type: none"> - Terminologische Grundlagen - Wissensmanagement - Wissensmanagement in Bauunternehmen
<p>2. Grundlagen der Sichtbetontechnologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Definition und normative Grundlagen - Stand der Forschung - Identifikation von Wissenslücken 	<p>3. Grundlagen des Wissensmanagements</p> <ul style="list-style-type: none"> - Terminologische Grundlagen - Wissensmanagement - Wissensmanagement in Bauunternehmen 		
Empirischer Teil	<p>4. Wissensgewinnung in der Sichtbetontechnologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Leichtbeton in der Sichtbetontechnologie - Sichtbeton bei geneigten Schalungen - Sichtbetontechnologie im Ingenieurbau - Fertigteile in der Sichtbetontechnologie - Bearbeitete und nachträglich behandelte Sichtbetonflächen - Methoden zum Auftrag von Betontrennmitteln - Qualitätsmanagement in der Sichtbetontechnologie - Rauigkeit in Zusammenhang mit Farbtonungleichmäßigkeiten von Sichtbetonflächen - Bewehrungsführung und Einbauteile bei Sichtbetonbauteilen - Zusammenfassung der Wissensgewinnung 	<p>Analyse von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen</p> <p>Erfassung von Arbeitssystemen</p> <p>Ermittlung von Aufwandswerten</p> <p>Entwicklung von Checklisten</p>	
Integrativer Teil	<p>5. Wissensmanagement in der Sichtbetontechnologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Anforderungsanalyse - Wissensmanagementsystem für die Sichtbetontechnologie - Ontologie der Sichtbetontechnologie 	Entwicklung eines Wissensmanagementsystems und einer Ontologie für die Sichtbetontechnologie	
	<p>6. Fazit:</p> <p>Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse der Arbeit Ausblick auf weitergehende Forschungsmöglichkeiten</p>	Zusammenführung der Ergebnisse und Ausblick auf weiterführende Forschungsbereiche	

Abbildung 1-2: Aufbau der Arbeit

Der deskriptive Teil der Arbeit besteht aus der Einleitung in Kapitel 1 und den Grundlagen der Sichtbetontechnologie sowie des Wissensmanagements in den Kapiteln 2 und 3. In der Einleitung in Kapitel 1 erfolgt eine Vorstellung der Problemstellung, auf die sich die Motivation zur Initiierung der vorliegenden Dissertation begründet. Darauf folgen Ausführungen zur Zielsetzung, Eingrenzung und zu dem Aufbau der Arbeit. Anschließend werden die inhaltliche sowie wissenschaftstheoretische Verortung und die Forschungsmethodik

der Dissertation erläutert. Die Kapitel 2 und 3 dienen als Einführung in den theoretischen Bezugsrahmen der Sichtbetontechnologie und des Wissensmanagements sowie zur Identifikation von Wissenslücken. In Kapitel 2 und 3 werden gleichermaßen terminologische und normative Grundlagen aufgeführt und anschließend der Stand der Forschung in beiden Themenkomplexen abgebildet. Kapitel 2 schließt mit der Identifikation von Wissenslücken und bildet damit die Grundlage für die in Kapitel 4 beschriebene Wissensgewinnung. Kapitel 3 bildet hingegen die Grundlage für die Entwicklung des Wissensmanagements in der Sichtbetontechnologie in Kapitel 5.

Die Wissensgewinnung in der Sichtbetontechnologie in Kapitel 4 stellt den empirischen Teil der Dissertation dar. Im Rahmen der Wissensgewinnung sollen ausgewählte Wissenslücken aus dem Themenkomplex Sichtbetontechnologie, die in Kapitel 2 identifiziert wurden, geschlossen werden. Hierzu werden verschiedene empirische Untersuchungen durchgeführt, Untersuchungsergebnisse ausgewertet und interpretiert. Zur Schließung der Wissenslücken werden Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge bei der Betrachtung von Arbeitssystemen in der Sichtbetontechnologie analysiert. Darüber hinaus werden bisher unbekannte Arbeitssysteme im Bereich der Sichtbetontechnologie neu erfasst sowie Aufwandswerte für die Termin- und Kostenplanung von Bauprojekten generiert. Ergänzend werden Checklisten für das Qualitätsmanagement bei der Herstellung von Sichtbetonbauteilen entwickelt.

Für den integrativen Teil der Dissertation werden die theoretischen Grundlagen der Sichtbetontechnologie sowie des Wissensmanagements aus dem deskriptiven Teil und die Wissensgewinnung aus dem empirischen Teil für die Entwicklung eines Wissensmanagements für die Sichtbetontechnologie in Kapitel 5 genutzt. Darüber hinaus fließen auch bisherige Forschungsergebnisse, die unter anderem in Kapitel 2.2 beschrieben wurden, in das Wissensmanagement für die Sichtbetontechnologie ein. Zu Beginn wird eine Anforderungsanalyse zum Thema Wissensmanagement in Bauunternehmen im Allgemeinen sowie in der Sichtbetontechnologie im Speziellen durchgeführt. Hieraus sollen die Anforderungen an ein Wissensmanagementsystem für die Sichtbetontechnologie abgeleitet werden. Das Ziel des integrativen Teils der Dissertation ist die Entwicklung eines modularen Wissensmanagementsystems, das entsprechend den Anforderungen eines Bauunternehmens ausgeführt werden kann. Ergänzend hierzu soll eine Ontologie für die Sichtbetontechnologie zur Vernetzung des vorhandenen Wissens erstellt werden.

Die Dissertation schließt mit Kapitel 6, dem Fazit der Arbeit, welches aus der Zusammenfassung und dem Ausblick besteht. In der Zusammenfassung werden die wesentlichen Ergebnisse der Dissertation zusammengeführt und in Bezug auf ihre Umsetzung in der Praxis bewertet. Ergänzend erfolgt ein Ausblick über die gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse hinaus auf weiterführende Forschungsbereiche und Anknüpfungspunkte.

1.4 Wissenschaftstheoretische Verortung der Arbeit

Bei der vorliegenden Dissertation handelt es sich um eine Forschungsarbeit der Baubetriebswissenschaften. Zur wissenschaftstheoretischen Verortung der Arbeit erfolgt zunächst eine formale Einordnung der Baubetriebswissenschaften. In der folgenden Abbildung 1-3 ist die Systematik der Gesamtheit aller Wissenschaften nach *Ulrich* und *Hill* dargestellt, nach der die Einordnung der Baubetriebswissenschaften vorgenommen wird.

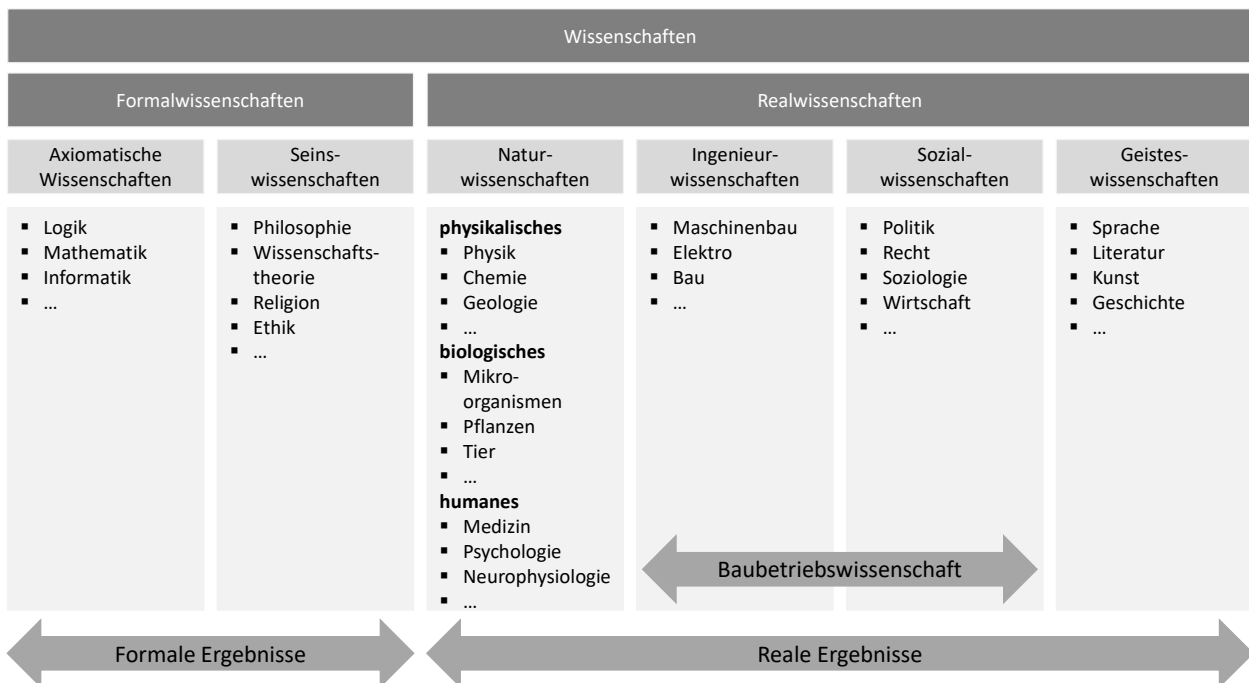


Abbildung 1-3: Systematik der Wissenschaften nach *Ulrich* und *Hill*¹⁴

Ulrich und *Hill* unterteilen die Wissenschaften zunächst in Formalwissenschaften und Realwissenschaften. Bei den Formalwissenschaften handelt es sich um Wissenschaften, die sich der Analyse von formalen Systemen¹⁵ bzw. mit der logisch überprüfbar Konstruktion von Sprachen bzw. Zeichensystemen auseinandersetzen¹⁶. Die Formalwissenschaften können nach *Ulrich* und *Hill* weiterführend in Axiomatische Wissenschaften und Seinswissenschaften untergliedert werden. Beispiele sind Mathematik, Philosophie und Informatik. Die Realwissenschaften hingegen haben Objekte aus der Realität zum Forschungsgegenstand¹⁷ und „streben nach der faktisch überprüfbar Beschreibung, Erklärung und Gestaltung empirisch wahrnehmbarer Ausschnitte der Wirklichkeit“¹⁸. Nach *Ulrich* und

¹⁴ In Anlehnung an Girmscheid (2007), S. 47.

¹⁵ Vgl. Ulrich, P., Hill, W. (1976), S. 305.

¹⁶ Vgl. Verkuil, A. H.; Dey, P. (2010), S. 4.

¹⁷ Vgl. Ulrich, P., Hill, W. (1976), S. 305.

¹⁸ Verkuil, A. H.; Dey, P. (2010), S. 4.

Hill zählen Natur-, Sozial-, Geistes- und Ingenieurwissenschaften zu den Realwissenschaften.

Bei den Baubetriebswissenschaften handelt es sich um anwendungsorientierte und interdisziplinäre Forschung, die den Realwissenschaften zuzuordnen ist. Die Forschungsfragen ergeben sich aus echten Problemstellungen aus der Realität, für deren Lösung Regeln, Modelle oder Verfahren entwickelt werden. Die Baubetriebswissenschaften sind ein Integral aus den Ingenieurwissenschaften des Bereichs Bau sowie den Sozialwissenschaften. Die Forschungsvorhaben der Baubetriebswissenschaften beschäftigen sich mit soziotechnischen Systemen bzw. der Schnittstelle Mensch-Maschine.

Gegenstand der vorliegenden Dissertation ist das Arbeitssystem Sichtbetontechnologie, bei dem es sich auch um ein soziotechnisches System handelt. Mensch und Betriebsmittel wirken mit der Eingabe unter den räumlichen und zeitlichen Vorgaben des Arbeitsablaufs gemäß der Arbeitsaufgabe zusammen, um ein Sichtbetonbauteil herzustellen.¹⁹ Im Rahmen der Dissertation werden Arbeitsstudien nach REFA in Form von Erfassungen von Arbeitssystemen und der Ermittlung von Aufwandswerten an der Schnittstelle Mensch-Maschine durchgeführt.

Die in Kapitel 1.2 vorgestellten Zielsetzungen bzw. Forschungsansätze der Dissertation sind auf Grundlage konkreter in Kapitel 1.1 dargestellter Problemstellungen aus der Realität abgeleitet worden und sollen Ergebnisse für die baubetriebliche Praxis hervorbringen.

Zur Verdeutlichung dieser Praxisorientierung der vorliegenden Arbeit erfolgt nachfolgend eine wissenschaftstheoretische Zuordnung der aufgestellten Zielsetzungen bzw. Forschungsansätze nach der Systematik von *Verkuil* und *Dey*²⁰.

Verkuil und *Dey* unterscheiden vier verschiedene Typen von anwendungsorientierten Forschungsarbeiten nach der Art des Praxisbezugs (Einzelfall oder Gesamtsystem) und der Art der Problemstellung (inhaltlich oder methodisch), die in der folgenden Tabelle 1-1 aufgeführt sind. Der Typ 1 dieser Systematik ist eine inhaltliche Lösung für einen Einzelfall, während der Typ 2, ein Lösungsverfahren für ein konkretes Praxisproblem, eine methodische Lösung für einen Einzelfall darstellt. Gestaltungsmodelle für die Veränderung von soziotechnischen Systemen (Typ 3) sind die Lösung für inhaltliche Problemstellungen am Gesamtsystem, während die Regeln für diese Gestaltungsmodelle (Typ 4) die Lösung für methodische Problemstellungen am Gesamtsystem darstellen.

Eine Evolution zwischen Typ 1 und 4 ist möglich und kann ggf. erforderlich sein.

¹⁹ Vgl. Berg (1984), S. 53.

²⁰ Vgl. Verkuil, A. H.; Dey, P. (2010), S. 7 f.

Tabelle 1-1: Wissenschaftstheoretische Einordnung nach *Verkuil* und *Dey*²¹

		Art des Praxisbezugs		Art der Problemstellung	
		Einzelfall	Gesamt-system	inhaltlich	metho-disch
Typ 1	Inhaltliche Lösung für ein konkretes Praxisproblem	x		x	
Typ 2	Lösungsverfahren für ein konkretes Praxisproblem	x			X
Typ 3	Gestaltungsmodell für die Veränderung des soziotechnischen Systems		x	x	
Typ 4	Regeln für die Entwicklung eines Gestaltungsmodells in der Praxis		x		X

Der Forschungsgegenstand Sichtbetontechnologie der vorliegenden Dissertation ist bezüglich der Art des Praxisbezugs nach *Verkuil* und *Dey* als ein Gesamtsystem zu betrachten. Die Art der Problemstellung hingegen ist ein Integral von inhaltlichen und methodischen Problemstellungen. Die Ergebnisse der Forschungsvorhaben zur Wissensgewinnung dienen zur Veränderung des soziotechnischen Systems Mensch-Betriebsmittel im Rahmen der Prozesse zur Herstellung von Sichtbetonbauteilen. Die Zielsetzung der Wissensgewinnung kann daher dem Typ 3 nach *Verkuil* und *Dey* zugeordnet werden. Die Entwicklung eines Wissensmanagements für die Sichtbetontechnologie kann hingegen dem Typ 4 zugeordnet werden. Das Wissensmanagementsystem und die Ontologie sollen das vorhandene Wissen im Unternehmen für eine effektive und effiziente Nutzung in der Praxis strukturieren, konservieren und bereitstellen. Damit handelt es sich nicht um eine inhaltliche, sondern um eine methodische Problemstellung in Bauunternehmen, die gelöst werden soll.

²¹ Vgl. Verkuil, A. H.; Dey, P. (2010), S. 7 f.

1.5 Forschungsmethodik der Arbeit

Im Rahmen einer wissenschaftlichen Arbeit ist neben den erzielten Forschungsergebnissen vor allem die Nachvollziehbarkeit der Vorgehensweise bzw. der Forschungsmethodik zur Wissensgewinnung von großer Bedeutung. Die Vorgehensweise muss für Dritte verständlich mit allen zu berücksichtigenden Rahmenbedingungen dargelegt werden. Im Rahmen der folgenden Ausführungen wird die Forschungsmethodik, die der vorliegenden Arbeit zugrunde liegt, vorgestellt.

1.5.1 Beobachtungs- und Erfassungsmethoden nach REFA

Für die Erfassung von Prozessen im Bereich der Sichtbetontechnologie sind die Art der Prozesselemente und deren Kombination von großer Relevanz. Die Beobachtungs- und Erfassungsmethoden des REFA Bundesverband e.V. sind für die Dokumentation von arbeitsintensiven Prozessen, wie man sie in der Sichtbetontechnologie antrifft, geeignet.²²

Im Rahmen der vorliegenden Dissertation kommen die Methoden des Arbeitsstudiums und der Zeitaufnahmen nach REFA zur Anwendung.

1.5.1.1 Arbeitsstudium und Arbeitssystem

Die Hauptaufgabe des Arbeitsstudiums nach REFA ist die Erfassung, Analyse und Gestaltung von Arbeitssystemen.²³

„Arbeitssysteme dienen der Erfüllung von Arbeitsaufgaben; hierbei wirken Mensch und Betriebsmittel mit der Eingabe unter Umweltbedingungen zusammen.“²⁴

Im betrachteten Themenkomplex der Sichtbetontechnologie liegen vor allem soziotechnische Arbeitssysteme vor, in deren Fokus der Mensch und das Betriebsmittel sowie deren Beziehung zueinander stehen. In Abbildung 1-4 ist das Arbeitssystem nach REFA mit den sieben Systembegriffen dargestellt, die im Folgenden erläutert werden.

²² Vgl. Hofstadler, C.; Kummer, M. (2017), S. 78.

²³ Vgl. Berg (1984), S. 51.

²⁴ Berg (1984), S. 52.

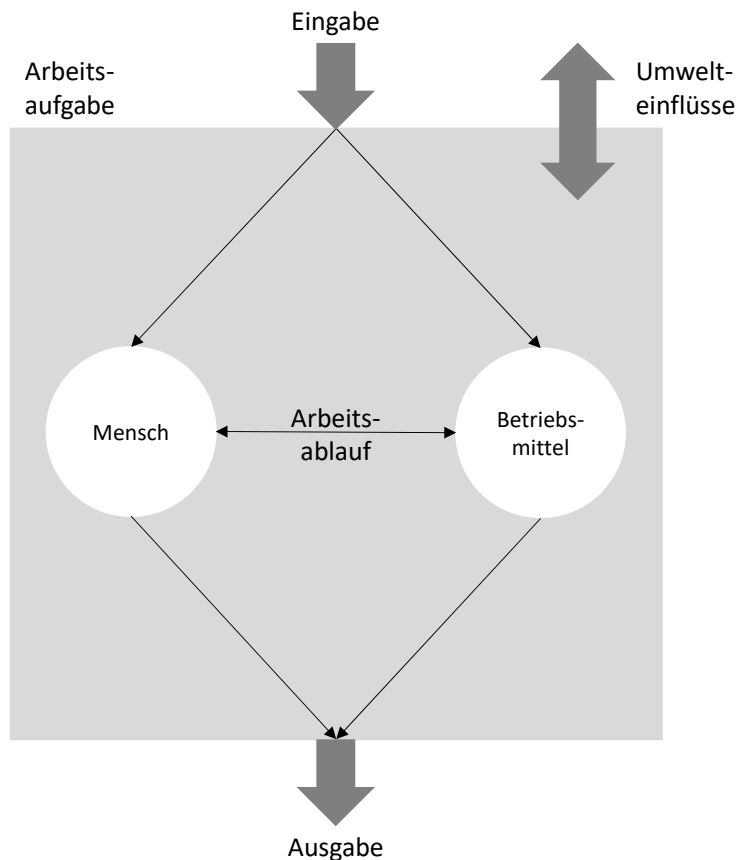


Abbildung 1-4: Das Arbeitssystem nach REFA²⁵

- **Arbeitsaufgabe**

Die Arbeitsaufgabe stellt die Zielvorstellung eines Arbeitssystems dar und muss deutlich bzw. verständlich formuliert werden.

- **Eingabe**

Die Eingabe in ein Arbeitssystem soll anhand der beschriebenen Arbeitsaufgabe bearbeitet oder genutzt werden. Als Eingabe in das Arbeitssystem dienen meist Gegenstände (z. B. Stoffe, Güter und Datenträger²⁶), teilweise auch Menschen, Informationen und Energie.²⁷

- **Ausgabe**

Die Ausgabe aus dem Arbeitssystem besteht dementsprechend ebenfalls aus Gegenständen, Menschen und Informationen, die gemäß der Arbeitsaufgabe bearbeitet oder genutzt worden sind.²⁸

²⁵ In Anlehnung an Berg (1984), S. 52.

²⁶ Vgl. Berg (1984), S. 57.

²⁷ Vgl. Berg (1984), S. 53.

²⁸ Vgl. Berg (1984), S. 54.

- Mensch

Der Begriff Mensch steht im Arbeitssystem stellvertretend für alle Projektbeteiligten, die im Arbeitssystem agieren und die Eingabe gemäß der Arbeitsaufgabe verändern oder verwenden. Hierzu zählen von den Arbeitern auf der Baustelle bis zur Führungskraft alle Projektbeteiligten eines Bauvorhabens.²⁹

- Betriebsmittel

Betriebsmittel sind Geräte und Maschinen, die an der Verwendung oder Veränderung der Eingabe im Sinne der Arbeitsaufgabe mitwirken. Zu Betriebsmitteln zählen beispielsweise Werkstätten, Leitungen, Fahrzeuge, Baugeräte, Werkzeuge und Messgeräte.³⁰

- Umwelteinflüsse

Umwelteinflüsse in einem Arbeitssystem können in physikalische, organisatorische und soziale Einflüsse untergliedert werden. Umwelteinflüsse können sowohl Auswirkungen auf Arbeitssysteme erzeugen als auch aus dem Arbeitssystem resultieren und auf die Umwelt wirken.

- Arbeitsablauf

„Der Arbeitsablauf ist die räumliche und zeitliche Folge des Zusammenwirkens von Mensch und Betriebsmittel mit der Eingabe, um diese gemäß der Arbeitsaufgabe zu verändern oder zu verwenden.“³¹ Der Arbeitsablauf kann durch das Beschreiben von Arbeitsmethoden mit Hilfe von Skizzen detailliert dargestellt werden.³² Mit dem Arbeitsablauf wird erfasst, wo, wann, wie und womit die Eingabe in das Arbeitssystem im Sinne der Arbeitsaufgabe bearbeitet oder genutzt wird.³³

Um den Arbeitsablauf erschöpfend beschreiben zu können, ist es erforderlich, das Arbeitsverfahren (Technologie, Bauverfahren), die Arbeitsmethode (Regeln zur Ausführung), die Arbeitsweise (individuelle Ausführung) und die Arbeitsbedingungen (Eigenschaften der Systemelemente) vollumfänglich darzulegen.³⁴

Zur besseren Erfassung eines Arbeitsablaufs kann die Zerlegung in Ablaufabschnitte hilfreich sein. Bei den resultierenden Ablaufabschnitten wird nach Mikro- und Makroablaufabschnitten unterschieden. Die Systematik der Zuordnung von Mikro- und Makroablaufabschnitten ist in der folgenden Abbildung 1-5 dargestellt.

²⁹ Vgl. Berg (1984), S. 56.

³⁰ Vgl. Berg (1984), S. 56.

³¹ Berg (1984), S. 53.

³² Vgl. Berg (1984), S. 53.

³³ Vgl. Berg (1984), S. 57.

³⁴ Vgl. Berg (1984), S. 57 ff.

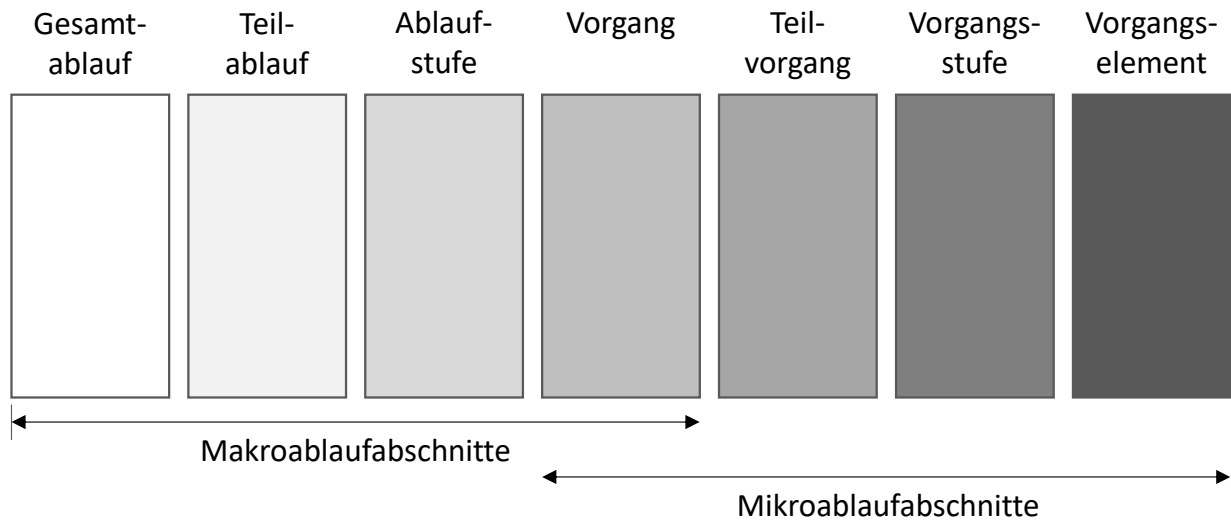


Abbildung 1-5: Mikro- und Makroablaufabschnitte nach REFA³⁵

Boska hat im Rahmen seiner Arbeit das in Abbildung 1-6 dargestellte Gesamtarbeitssystem *Sichtbetonbauteil herstellen* erarbeitet. Dieses entspricht in der Granularität einer Ablaufstufe und dementsprechend einem Makroablaufabschnitt der in Abbildung 1-5 gezeigten Systematik.

Das Gesamtarbeitssystem *Sichtbetonbauteil herstellen* wurde von *Boska* weiterführend in Subarbeitssysteme untergliedert, die in der Granularität Vorgängen entsprechen und demzufolge sowohl Mikro- als auch Makroablaufabschnitten zugeordnet werden können. Beispiele hierfür sind Einbauteile montieren, Schalungshaut reinigen und Sichtbetonbauteil betonieren.

³⁵ In Anlehnung an Berg (1984), S. 58.



Abbildung 1-6: Untergliederung des Gesamtarbeitssystems *Sichtbetonbauteil herstellen* in Subarbeitssysteme³⁶

1.5.1.2 Gruppenzeitaufnahme – systematische Multimomentaufnahme

Im Rahmen der vorliegenden Dissertation wurden zur Ermittlung von Aufwandswerten Gruppenzeitaufnahmen bzw. systematische Multimomentaufnahmen durchgeführt. Im Folgenden werden diese beiden Formen der Zeitaufnahme gleichermaßen behandelt, da es keinen Unterschied in der Aufnahmetechnik gibt.³⁷ Eine Grundbedingung für die Durchführung einer Gruppenzeitaufnahme ist das gleichzeitige Arbeiten von zwei oder mehr Arbeitskräften an einem Arbeitsgegenstand während einem oder mehreren Ablaufabschnitten.³⁸ Dies ist in der Baubranche im Allgemeinen und im Bereich der Sichtbetontechnologie im Speziellen häufig der Fall.

Eine systematische Multimomentaufnahme ist ein Zählvorgang³⁹, bei dem in regelmäßigen Zeitintervallen Beobachtungen von Arbeitsabläufen durchgeführt werden.⁴⁰ Hierfür werden die Arbeitsabläufe in Ablaufabschnitte bzw. Ablaufarten untergliedert und deren

³⁶ In Anlehnung an Boska (2013), S. 65.

³⁷ Vgl. Klingenberg (2015), S. 451.

³⁸ Vgl. Künstner (1984), S. 87.

³⁹ Vgl. Künstner (1984), S. 65.

⁴⁰ Vgl. Künstner (1984), S. 84.

Häufigkeit des Auftretens im Rahmen der Beobachtungen gezählt.⁴¹ Für die im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten systematischen Multimomentaufnahmen wurde ein Beobachtungsintervall von einer Minute gewählt.

„Aus der Anzahl der Beobachtungen, die sich für jeden Ablaufabschnitt oder jede Ablaufart ergeben, schließt man auf die prozentuale Häufigkeit des Vorkommens des jeweiligen Ablaufabschnitts oder der jeweiligen Ablaufart im Verhältnis zum gesamten Arbeitsablauf.“⁴²

Aus diesem Verhältnis der einzelnen Ablaufabschnitte bzw. Ablaufarten zum gesamten Arbeitsablauf kann man die Dauer der einzelnen Ablaufabschnitte oder der einzelnen Ablaufart anteilig von der Gesamtaufnahmedauer ermitteln.⁴³ Damit die ermittelten Dauern repräsentativ sind, muss eine angemessene Anzahl von Beobachtungen durchgeführt werden.⁴⁴

Ein großer Vorteil von Multimomentaufnahmen ist die Möglichkeit, mit einer beobachtenden Person eine große Anzahl von Arbeitskräften, die an einem Arbeitsablauf gemeinsam tätig sind, auszunehmen.⁴⁵ Parallel zu den Beobachtungen ist ein Aufnahmebogen mit den Randbedingungen, dem Leistungsgrad der Arbeitskräfte sowie den beobachteten Häufigkeiten der Ablaufabschnitte bzw. Ablaufarten auszufüllen.

„Der Leistungsgrad drückt das Verhältnis von beeinflussbarer Ist-Mengenleistung zur beeinflussbaren Bezugsmengenleistung in Prozent aus.“⁴⁶

Die Berücksichtigung des Leistungsgrades der Arbeitskräfte ist erforderlich, da diese nicht alle mit derselben Leistung eine Arbeitsaufgabe ausführen und auch ein und dieselbe Arbeitskraft nicht zu jedem Zeitpunkt die gleiche Leistung erbringen kann. Diese Streuung der Ist-Leistungen wird durch den Leistungsgrad berücksichtigt, damit die ermittelten Ist-Zeiten als Soll-Zeiten verwendbar sind.⁴⁷

1.5.1.3 Einzelzeitaufnahme

Die Einzelzeitaufnahme nach REFA ist im Gegensatz zu den vorher beschriebenen Multimomentaufnahmen ein Messvorgang. Bei Einzelzeitaufnahmen wird die Zeit während der Durchführung einzelner Ablaufabschnitte eines Gesamtarbeitsvorgangs kontinuierlich gemessen.

⁴¹ Vgl. Künstner (1984), S. 65.

⁴² Künstner (1984), S. 65.

⁴³ Vgl. Künstner (1984), S. 65.

⁴⁴ Vgl. Künstner (1984), S. 66.

⁴⁵ Vgl. Künstner (1984), S. 66.

⁴⁶ Künstner (1984), S. 37.

⁴⁷ Vgl. Künstner (1984), S. 37.

Zur Vorbereitung von Einzelzeitaufnahmen ist es notwendig, den Arbeitsablauf in die bereits beschriebenen Ablaufabschnitte zu untergliedern und so den Start- und Endpunkt der einzelnen Messungen festzulegen. Der Endpunkt eines Ablaufabschnitts ist gleichzeitig der Startpunkt für den folgenden Ablaufabschnitt.

Während der Einzelzeitaufnahme sollte sich die beobachtende Person komplett auf den aufzunehmenden Arbeitsablauf konzentrieren und die ausführende Person im Rahmen ihrer Tätigkeiten nicht behindern.⁴⁸ Die Zeitmessung im Rahmen der Einzelzeitaufnahme erfolgt mittels Stoppuhren. Ergänzend zur Zeitaufnahme ist ein Zeitaufnahmebogen mit den Randbedingungen, dem Leistungsgrad sowie den gemessenen Zeiten auszufüllen.⁴⁹

Auch bei den Einzelzeitaufnahmen ist der in Kapitel 1.5.1.2 erläuterte Leistungsgrad bei der Erfassung zu berücksichtigen, um die ermittelten Ist-Zeiten als Soll-Zeiten verwenden zu können.⁵⁰

Aus den gemessenen Einzelzeiten jedes Ablaufabschnitts wird ein Mittelwert gebildet. Nach erfolgreicher statistischer Prüfung und Berücksichtigung des Leistungsgrads der Arbeitskräfte wird eine Sollzeit für den jeweiligen Ablaufabschnitt ermittelt.⁵¹

1.5.2 Quantitative Erhebungsmethodik – Befragung mittels standardisiertem Fragebogen

Bei der Befragung mittels standardisiertem Fragebogen kann man grundsätzlich nach der mündlichen und schriftlichen Durchführung der Befragungen differenzieren.⁵² Die Wahl der Durchführungsmethode beruht dabei auf der Berücksichtigung verschiedener Aspekte.

Das Ausfüllen des Fragebogens unter Beobachtung und die persönliche Befragung wurden aufgrund des hohen organisatorischen Aufwandes ausgeschlossen. Bei Stichproben größeren Umfangs, wie bei der vorliegenden Arbeit, empfiehlt es sich, die Befragung mittels postalischer Zustellung, Transfer per E-Mail, telefonischer Befragung oder Internet-Surveys durchzuführen.

Telefonischen Befragungen wird im Rahmen der quantitativen Forschung immer mehr Aufmerksamkeit geschenkt. Ein Grund für die hohe Rücklaufquote im Vergleich zu schriftlichen Befragungen ist auf den persönlichen Kontakt mit dem Interviewer zurückzuführen. Die befragte Person wird per Anschreiben direkt kontaktiert und es wird persönlich ein

⁴⁸ Vgl. Künstner (1984), S. 47.

⁴⁹ Vgl. Künstner (1984), S. 53.

⁵⁰ Vgl. Künstner (1984), S. 37.

⁵¹ Vgl. Künstner (1984), S. 65.

⁵² Vgl. Schnell, R.; Hill, P. B.; Esser E. (2005), S. 321.

Termin für das Interview vereinbart.⁵³ Der Nachteil hingegen besteht in einem größeren zeitlichen Aufwand im Vergleich zu einer rein schriftlichen Durchführung der Befragung. Bei der postalischen Zustellung und dem Transfer per E-Mail ist im Gegensatz dazu grundsätzlich mit geringeren Rücklaufquoten zu rechnen.⁵⁴ Der Vorteil schriftlicher Befragungen liegt vor allem darin, dass der Befragte nicht durch Mimik, Gestik oder die Formulierung der Fragen der interviewführenden Person beeinflusst werden kann. Darüber hinaus können jedoch Rückfragen zu unbekanntem Begrifflichkeiten oder fehlendem Verständnis der Thematik nicht beantwortet werden.

Um die Vorteile der telefonischen und schriftlichen Befragung zusammenzuführen und die Nachteile beider Vorgehensweisen zu reduzieren, wurden die beiden Durchführungsmethoden für die umgesetzte Anforderungsanalyse⁵⁵ der vorliegenden Arbeit kombiniert.

Die Personen der ermittelten Stichprobe wurden vorab telefonisch kontaktiert, um einen persönlichen Kontakt herzustellen und somit die Wahrscheinlichkeit zur Teilnahme an der Befragung zu erhöhen. Im Rahmen des Telefonats wurden die potenziellen Teilnehmerinnen und Teilnehmer über den Inhalt und Umfang des Fragebogens informiert sowie ggf. Rückfragen zur Thematik beantwortet. Der Fragebogen wurde im Anschluss an das Telefonat per E-Mail zugestellt.

Der standardisierte Fragebogen ist in thematische Abschnitte gegliedert und enthält maßgeblich vorformulierte, geschlossene Fragen und vorgegebene Antwortmöglichkeiten für den Befragten. Der Grund für diese starke Strukturierung quantitativer Erhebungsmethoden liegt darin, dass durch die immer gleichen Fragen und Antwortmöglichkeiten eine Vergleichbarkeit zwischen dem gewonnenen Datenmaterial der einzelnen Befragungen gewährleistet werden soll.⁵⁶ Am Ende des Fragebogens gibt es eine geringe Anzahl offener Fragen, um den Teilnehmerinnen und Teilnehmern die Möglichkeit zu geben, Verbesserungsvorschläge für den untersuchten Themenkomplex vorzuschlagen und weitere Schwachstellen in den Unternehmen aufzuzeigen.

Die Auswertung der Fragebögen erfolgt mit Hilfe des Statistikprogramms *SPSS*. Hierzu werden die Eintragungen in den Fragebögen digital in die Software übertragen. Die Ergebnisse der Befragung können mit der Software graphisch dargestellt und beispielsweise mit Hilfe von Korrelationskoeffizienten und Kreuztabellen auf wechselseitige Beziehungen hin untersucht werden.⁵⁷

⁵³ Vgl. Schnell, R.; Hill, P. B.; Esser E. (2005), S. 363 f.

⁵⁴ Vgl. Schnell, R.; Hill, P. B.; Esser E. (2005), S. 359.

⁵⁵ Siehe Kapitel 5.1

⁵⁶ Vgl. Schnell, R.; Hill, P. B.; Esser E. (2005), (2005), S. 322 f.

⁵⁷ Vgl. Bahlo / Löw (2018), S. 42.

1.5.3 Qualitative Erhebungsmethodik – Leitfadenbasierte Experteninterviews

Die Grundlage für diese qualitative Erhebungsmethodik stellt der Leitfaden dar. Er dient der interviewführenden Person als Gedankenstütze für die im Interview abzuhandelnden Themen und als Erinnerung an die eigentliche Forschungsfrage. Bei den im Leitfaden erfassten Fragen handelt es sich, der Forderung qualitativer Forschung folgend, um offene Fragen.⁵⁸ Des Weiteren enthält er Hinweise auf Einleitungen und Überleitungen, um die Moderation des Interviews zu erleichtern.⁵⁹ Der Leitfaden soll darüber hinaus durch die Vorgabe der Themen und Fragen eine gewisse Vergleichbarkeit zwischen den verschiedenen Interviews für die spätere Datenauswertung garantieren.⁶⁰ Da es sich lediglich um einen Leitfaden handelt, kann das Interview frei gestaltet werden.⁶¹ Dadurch kann die interviewführende Person auf die Reaktionen der Expertinnen und Experten eingehen. Im Falle von Unklarheiten können Fragen zunächst näher erläutert werden. Diese freie Steuerung des Interviews und die möglichen Nachfragen durch die Expertinnen und Experten verlangen jedoch auch von der interviewführenden Person ein fundiertes Wissen über den behandelten Themenbereich. Aufgrund dessen muss sich die interviewführende Person im Voraus intensiv mit dem Themenbereich und den dort verwendeten Fachbegriffen auseinandersetzen.⁶²

Die Steuerung des Interviews beinhaltet nicht nur das Anpassen der Abfolge der Themen im Ablauf des Experteninterviews und das Finden geeigneter Überleitungen. Der Interviewer muss darüber hinaus darauf achten, dass der Experte die Fragen nicht zu ausführlich beantwortet, dadurch zu Erzählungen übergeht und damit vom eigentlichen Thema abweicht.⁶³ Das würde nur zu unnötigem Datenmaterial führen, das später von dem für die Auswertung relevanten Datenmaterial getrennt werden müsste.

Einer der wichtigsten Aspekte, der im Rahmen von leitfadenbasierten Experteninterviews beachtet werden sollte, sind die Experten selbst. Experten sind Personen, die über ein Erfahrungswissen zu einem bestimmten Themenkomplex verfügen.⁶⁴ Die Erreichbarkeit solcher Experten kann sich jedoch unter Umständen schwierig darstellen, da solche Personen meist in höheren Positionen eines Unternehmens oder einer öffentlichen Verwaltung an-

⁵⁸ Vgl. Mayer (2008), S. 43

⁵⁹ Vgl. Mieg H. A.; Näf, M. (2005), S. 14

⁶⁰ Vgl. Schnell, R.; Hill, P. B.; Esser E. (2005), S. 387

⁶¹ Vgl. Schnell, R.; Hill, P. B.; Esser E. (2005), S. 387

⁶² Vgl. Mieg H. A.; Näf, M. (2005), S. 10

⁶³ Vgl. Mieg H. A.; Näf, M. (2005), S. 21

⁶⁴ Vgl. Mieg H. A.; Näf, M. (2005), S. 13

gesiedelt sind. Es handelt sich dabei oft um Mitarbeiter, die durch die enge Zusammenarbeit mit der Führungs- oder Verwaltungsspitze und die Erledigung von unterstützenden Tätigkeiten über ein vertieftes Wissen zu bestimmten Themenkomplexen verfügen.⁶⁵ Als Vorteil von Experteninterviews wird oft eine größere Motivation der Befragten genannt, da sich Experten meist eher mit der Forschung und der Behandlung bestimmter Problemstellungen auseinandersetzen können als eine ungefilterte Grundgesamtheit von Personen zur Durchführung von quantitativen Erhebungsmethoden.⁶⁶

Die Auswertung der durchgeführten Experteninterviews erfolgt mit der Auswertungsmethodik der qualitativen Inhaltsanalyse nach *Gläser* und *Laudel*⁶⁷. Der Ablauf der qualitativen Inhaltsanalyse gliedert sich in die folgenden Phasen:

- Theoretische Vorüberlegungen,
- Vorbereitung der Extraktion,
- Extraktion,
- Aufbereitung,
- Auswertung.⁶⁸

Die Grundlage für diese Auswertungsmethodik stellt die transkribierte Tonaufzeichnung, das Gesprächsprotokoll, des Interviews dar.⁶⁹ Bei den Abschriften handelt es sich um Rohdaten, aus denen über das mehrstufige Verfahren der qualitativen Inhaltsanalyse die Informationen entnommen werden. Der Vorgang der Informationsentnahme wird als Extraktion bezeichnet und setzt sich aus mehreren Zwischenarbeitsschritten zusammen. Nach der Entnahme der Informationen werden diese in der Phase der Aufbereitung nach bestimmten Aspekten sortiert, zusammengefasst und die enthaltenen Fehler beseitigt. Abschließend erfolgt die Auswertung der aufbereiteten Informationen. Hierzu werden die Informationen einer Analyse und anschließenden Interpretation unterlegt.

⁶⁵ Vgl. Mayer (2008), S. 41

⁶⁶ Vgl. Bogner, A.; Littig, B. (2005), S. 8

⁶⁷ Vgl. Gläser, J.; Laudel, G. (2010), S. 199 ff.

⁶⁸ Vgl. Gläser, J.; Laudel, G. (2010), S. 202.

⁶⁹ Vgl. Mayer (2008), S. 47

Die Vorgehensweise bei der Datenerhebung und -auswertung im Rahmen der leitfadengestützten Experteninterviews kann der folgenden Abbildung 1-7 entnommen werden.

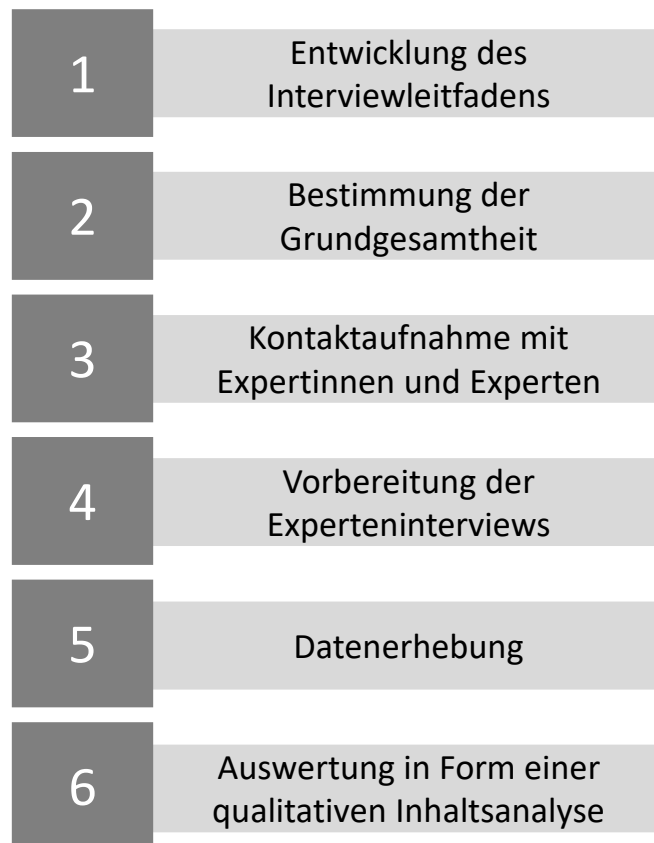


Abbildung 1-7: Vorgehensweise bei der Datenerhebung und -auswertung im Rahmen von leitfadengestützten Experteninterviews

2 Grundlagen der Sichtbetontechnologie

Für die Einführung in den Themenkomplex der Sichtbetontechnologie erfolgt zunächst eine Herleitung der Definition des Begriffs *Sichtbetontechnologie*. Anschließend werden die normativen Grundlagen und die daraus resultierenden Anforderungen an Planung und Ausführung vorgestellt. Darauf folgt eine Abbildung des Stands der Forschung im Bereich der Sichtbetontechnologie aus baubetrieblicher und betontechnologischer Sicht zur späteren Identifikation von Wissenslücken für weitergehende Forschungsvorhaben.

2.1 Definition und normative Grundlagen

Im folgenden Unterkapitel wird die Definition des Begriffs *Sichtbetontechnologie*, die der vorliegenden Dissertation zugrunde liegt, unter der Abgrenzung der Begriffe *Technik* und *Technologie* vorgestellt. Daraufhin werden die normativen Grundlagen zum Themenkomplex Sichtbetontechnologie basierend auf DIN Normen, Merkblättern sowie Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien zusammengefasst aufgeführt.

2.1.1 Definition des Begriffs Sichtbetontechnologie

Der Begriff *Sichtbeton* wird in dem aktuell vorliegenden Normenwerk sowie den derzeitigen Veröffentlichungen zu diesem Themenkomplex in Anlehnung an die Definition der zurückgezogenen DIN 18217:1981-12 verwendet. Die Definition des Begriffs *Sichtbeton*, der dieser Arbeit zugrunde liegt, schließt sich diesen an und wird in Anlehnung an die DIN 18217:1981-12 – Betonflächen und Schalungshaut⁷⁰ wie folgt definiert:

*Bei Sichtbeton handelt es sich um sichtbar bleibende Betonflächen mit Anforderungen an das Aussehen.*⁷¹

Der Begriff der *Technik* wird dem *Duden* zufolge wie folgt beschrieben:

„Gesamtheit der Maßnahmen, Einrichtungen und Verfahren, die dazu dienen, die Erkenntnisse der Naturwissenschaften für den Menschen praktisch nutzbar zu machen“⁷²

Technik umschreibt demzufolge nur eine Vorgehensweise oder ein besonderes Können in einem Bereich. Der hier untersuchte Forschungsgegenstand ist weitergreifend, als es der Begriff *Technik* beschreiben kann.

Der Begriff der *Technologie* kann dem *Duden* zufolge auf zwei verschiedene Arten definiert werden:

⁷⁰ DIN 18217:1981-12

⁷¹ Vgl. DIN 18217:1981-12, S. 1.

⁷² „Technik“ auf Duden online. URL: <https://www.duden.de/node/654501/revisions/1772006/view> (Abrufdatum: 15.12.2018)

1. „Wissenschaft von der Umwandlung von Roh- und Werkstoffen in fertige Produkte und Gebrauchsartikel, indem naturwissenschaftliche und technische Erkenntnisse angewendet werden
2. Gesamtheit der zur Gewinnung oder Bearbeitung von Stoffen nötigen Prozesse und Arbeitsgänge; Produktionstechnik“.⁷³

Der Begriff Technologie ist umfassender und bezieht sich nicht nur auf einzelne Vorgehensweisen oder Verfahren, sondern auf den gesamten Prozess. Es werden zusätzlich zu dem Verfahren oder der Vorgehensweise auch beispielweise die Betriebsmittel und Stoffe betrachtet, die notwendig sind, um ein Produkt herzustellen oder übergeordnet ein bestimmtes Ziel zu erreichen.

Der Begriff *Technologie* ist für den untersuchten Forschungsgegenstand zutreffend, da nicht nur ein Verfahren bzw. eine praktische Umsetzung betrachtet wird, sondern der Prozess im Gesamten. Die Technologie kann als Basis verstanden werden, die das Wissen zur Problemlösung darstellt, während die Technik die praktische Umsetzung einzelner Verfahren und Methoden darstellt.

Für die vorliegende Arbeit wird der Begriff der Sichtbetontechnologie wie folgt verwendet:

Die Gesamtheit des Wissens über Verfahren, Stoffe und Prozesse zur Herstellung von sichtbar bleibenden Betonflächen mit Anforderungen an das Aussehen.

2.1.2 DIN 18217 – Betonflächen und Schalungshaut

Die DIN 18217:1981-12 gliedert Betonflächen nach den Anforderungen und der Art ihrer Herstellung. Die Betonflächen werden zunächst nach Betonflächen ohne Anforderungen, mit Anforderungen an das Aussehen und mit technischen Anforderungen unterschieden. Während dem Auftragnehmer bei den Betonflächen ohne Anforderungen keine Vorgaben zur Ausführung gemacht werden, sind bei den Betonflächen mit Anforderungen an das Aussehen und mit technischen Anforderungen entsprechende Vorgaben in den Leistungsbeschreibungen vorhanden. Sach- und fachgerechte Ausbesserungen sind bei allen drei Arten der Betonflächen zulässig.⁷⁴

Eine weitere Untergliederung nimmt die DIN 18217:1981-12 zur Abgrenzung der Betonflächen mit Anforderungen an das Aussehen nach der Art der Herstellung vor. Es wird differenziert nach mit Schalungshaut gestalteten Betonflächen, bearbeiteten Betonflächen und nachträglich behandelten Betonflächen. Bei der Gestaltung von Betonflächen ist die

⁷³ „Technologie“ auf Duden online. URL: <https://www.duden.de/node/725198/revisions/1983681/view> (Abrufdatum: 15.12.2018)

⁷⁴ Vgl. DIN 18217:1981-12, S. 1.

Kombination der beschriebenen Herstellarten möglich. Mit Schalungshaut gestaltete Betonflächen können beispielweise auch bearbeitet und bzw. oder nachträglich behandelt werden. Für die verschiedenen Arten der Herstellung werden jeweils Beispiele für verschiedene Arbeitsverfahren aufgeführt.⁷⁵

Die folgende Abbildung 2-1 stellt die beschriebenen Untergliederungen der Betonflächen nach Anforderungen und Herstellarten dar.

Gliederung von Betonflächen nach DIN 18217				
Betonflächen ohne besondere Anforderungen	Betonflächen mit Anforderungen an das Aussehen			Betonflächen mit technischen Anforderungen
	Mit Schalungshaut gestaltete Betonflächen	Bearbeitete Betonflächen	Nachträglich behandelte Betonflächen	
Es liegen keine Anforderungen an das Aussehen oder technische Anforderungen vor. Dem Auftragnehmer wird die Wahl der Schalung sowie der Herstellart überlassen.	Gestaltungsmöglichkeiten durch den Einsatz spezieller Schalungshaut, Pigmente oder farbiger Ausgangsstoffe	Mit Schalungshaut gestaltete und ungeschaltete Betonflächen, die bearbeitet werden. Verfahren zur Bearbeitung: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Waschen ▪ Spalten ▪ Spitzen ▪ Stocken ▪ Sandstrahlen ▪ Absäuern ▪ ... 	Mit Schalungshaut gestaltete oder bearbeitete Betonflächen, die nachträglich behandelt werden. Verfahren zur nachträglichen Behandlung: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fluatieren ▪ Polieren ▪ Versiegeln ▪ Beschichten ▪ ... 	Die Flächen müssen technische Funktionen erfüllen und/oder Folgegewerken dienen.

Abbildung 2-1: Gliederung von Betonflächen nach Anforderungen und Herstellarten⁷⁶

Die DIN 18217:1981-12 ist die einzige Norm im Themenkomplex *Sichtbeton*, die diese dargestellte Unterscheidung bei der Herstellung von Betonflächen vornimmt und darüber hinaus den folgenden Hinweis für die Herstellung gibt:

„Bei einem Vergleich mit Musterstücken oder bestehenden Bauwerken ist zu berücksichtigen, daß die geforderte Ansichtsfläche dem gewählten Muster nur bei gleichen Ausgangsbedingungen (Abmessungen, Ausgangsstoffe, Betonzusammensetzung, Schalung, Verarbeitung, Nachbehandlung, Witterung, Betonalter usw.) entsprechen wird.“⁷⁷

Die zielsichere Reproduktion bestimmter Merkmale von Betonflächen ist nur bei gleichen Ausgangsbedingungen möglich und wird im restlichen Normenwerk nicht ausdrücklich

⁷⁵ Vgl. DIN 18217:1981-12, S. 1.

⁷⁶ In Anlehnung an DIN 18217:1981-12 und Boska (2013), S. 14.

⁷⁷ DIN 18217:1981-12, S. 1.

festgehalten. Aufgrund dieser Alleinstellungsmerkmale der DIN 18217:1981-12 ist der Rückzug der Norm im Februar 2017 kritisch zu betrachten.

2.1.3 DIN EN 13670 – Ausführung von Tragwerken aus Beton und DIN 1045 – Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 3

Die europäische Norm DIN EN 13670:2011-03 *Ausführung von Tragwerken aus Beton*⁷⁸ stellt zusammen mit den nationalen Anwendungsregeln in DIN 1045-3:2012-03 *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 3*⁷⁹ die normative Grundlage zur Ausführung von Stahlbetonbauteilen in Deutschland dar. Anforderungen an die Beschreibung und Ausführung von Sichtbetonflächen sind in beiden Normen enthalten, die Anforderungen aus DIN EN 13670 werden in DIN 1045 Teil 3 präzisiert.

Die Angaben in der DIN EN 13670:2011-03 in Kapitel 8.8 *Sichtflächen* sind in Hinsicht auf den Einsatz von Sichtbeton allgemein gehalten und fordern genaue Angaben zu den Anforderungen in den bautechnischen Unterlagen:

„8.8 Sichtflächen

(1) Anforderungen an das Erscheinungsbild von geschalteten und ungeschalteten Betonoberflächen sind, sofern festgelegt, in den bautechnischen Unterlagen anzugeben.“⁸⁰

In Anhang F der DIN 13670, Kapitel F 8.8 *Oberflächenbeschaffenheit* werden diese Formulierungen der Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit von Sichtbetonflächen präzisiert. Bei der Beschreibung der Oberflächenbeschaffenheit von Beton sollen die Beschaffenheit der Schalungshaut, die Farbe, die Poren, sprunghafte oder abgestufte Unregelmäßigkeiten sowie Ausbesserungen, wenn gefordert, vorgegeben werden. Vorgaben zur Beschreibung dieser Attribute sind nicht gegeben. Dem DBV Merkblatt *Sichtbeton* widersprechend wird dem Bauausführenden die freie Wahl der Schalungshaut gegeben, während im DBV Merkblatt die Auswahl der Schalungshaut je nach geforderter Sichtbetonklasse auf eine bestimmte Schalungshautklasse beschränkt ist. Die Farbtongleichmäßigkeit soll der DIN EN 13670 zufolge ebenfalls nur präzisiert werden, wenn besondere farbbgebende Werkstoffe zum Einsatz kommen. Im DBV Merkblatt *Sichtbeton* wird der Sichtbetonklasse entsprechend auch eine angepasste Farbtongleichmäßigkeit gefordert.

Diese Ausführungen der DIN EN 13670 werden in der DIN 1045-3:2012-03 Teil 3 *Bauausführung – Anwendungsregeln zu DIN EN 13670* in Kapitel 2.8.9 durch die Empfehlung zum

⁷⁸ DIN EN 13670:2011-03

⁷⁹ DIN EN 1045-3:2012-03

⁸⁰ DIN EN 13670:2011-03, S. 35.

Heranziehen des DBV Merkblatts *Sichtbeton* bei der Beschreibung der Anforderungen an Sichtbetonflächen wie folgt ergänzt:

„2.8.9 Zu 8.8 Sichtflächen

Absatz (1) wird ergänzt durch:

(NA.1) Zur Beschreibung der Anforderungen an Sichtflächen (Ansichtsflächen) sollte das DBV/BDZ-Merkblatt – Sichtbeton herangezogen werden.“⁸¹

Die Empfehlung auf die Verwendung des DBV Merkblatts *Sichtbeton* ist der einzige Hinweis zur Klassifizierung und Präzisierung der Anforderungen an Sichtbetonflächen auf einer objektiven Basis. Bei der freien Beschreibung der Anforderungen an Sichtbetonflächen kann es zu Missverständnissen und Fehlern in der Ausführung kommen, die zu einer abweichenden Qualität der Sichtbetonflächen gegenüber den gestellten Anforderungen führen.

Anforderungen an die Ausführung, die Auswirkungen auf die Qualität von Sichtbetonflächen haben, werden unter anderem in folgenden Punkten der DIN EN 13670 konkretisiert:

5.2.2 Trennmittel:

„Die verwendeten Trennmittel dürfen keine unbeabsichtigten Auswirkungen auf die Farbe und die Oberflächenbeschaffenheit des endgültigen Tragwerks [...] haben.“⁸²

5.4 Bemessung und Einbau von Schalungen:

„(5) Die Innenflächen der Schalung müssen sauber sein. Wenn in den bautechnischen Unterlagen die Verwendung von Schalung zur Herstellung von Sichtflächen verlangt wird, müssen die Schalungsflächen so behandelt sein, dass die festgelegte Oberflächenbeschaffenheit erreicht werden kann.“⁸³

5.6 Schalungseinbauteile und eingebettete Bauteile – 5.6.1 Allgemeines

„(1) Temporäre Einbauteile zur Lagesicherung der Schalung, Ankerstäbe, Hüllrohre, und ähnliche Teile, die im Bauteil verbleiben, sowie sonstige Einbauteile: [...]

g) dürfen nicht zu Fehlstellen in der festgelegten Oberfläche führen; [...]“⁸⁴

8.4 Einbringen und Verdichten

⁸¹ DIN EN 1045-3:2012-03, S. 22.

⁸² DIN EN 13670:2011-03, S. 17.

⁸³ DIN EN 13670:2011-03, S. 18.

⁸⁴ DIN EN 13670:2011-03, S. 19.

„(4) Zusätzliche Anforderungen an das Einbauverfahren und die Einbauleistung können notwendig sein, wenn besondere Anforderungen an das Erscheinungsbild der Betonoberfläche gestellt werden.“⁸⁵

8.5 Nachbehandlung und Schutz

„(12) Nachbehandlungsmittel dürfen bei Oberflächen mit besonderen Anforderungen an das Aussehen nicht verwendet werden, es sei denn, sie haben nachweislich keine nachteilige Wirkung.“⁸⁶

Die Anforderungen an die Ausführung von Sichtbetonbauteilen in der DIN EN 13670 können vereinfachend wie folgt zusammengefasst werden: Die Prozesse zur Herstellung von Sichtbetonbauteilen sind so auszuführen, dass sie keine negativen Auswirkungen auf die Oberflächenbeschaffenheit der Sichtflächen haben. Es werden jedoch keine konkreten Ausführungsvorgaben oder Ausprägungen der Systemelemente der Arbeitssysteme zur Herstellung von Sichtbetonbauteilen gegeben, die dies ermöglichen.

2.1.4 Eurocode 2 (DIN EN 1992)

Im nationalen Anhang zum Teil 1-1, Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, des Eurocodes 2, Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, werden in Kapitel 2.8 *Bautechnische Unterlagen* verschiedene Anforderungen an die Erstellung von Bewehrungszeichnungen sowie darin enthaltene Angaben gestellt.⁸⁷

„NA.2.8.2 Zeichnungen

(1) Die Bauteile, die einzubauende Betonstahlbewehrung und die Spannglieder sowie alle Einbauteile sind auf den Zeichnungen eindeutig und übersichtlich darzustellen und zu bemessen. [...]

(3) Auf den Bewehrungszeichnungen sind insbesondere anzugeben:

[...]

- Anzahl, Durchmesser, Form und Lage der Bewehrungsstäbe; gegenseitiger Abstand und Übergreifungslängen an Stößen und Verankerungslängen; Anordnung, Maße und Ausbildung von Schweißstellen; Typ und Lage der mechanischen Verbindungsmittel,

- Rüttelgassen, Lage von Betonieröffnungen [...]"⁸⁸

⁸⁵ DIN EN 13670:2011-03, S. 32.

⁸⁶ DIN EN 13670:2011-03, S. 34.

⁸⁷ Vgl. DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04, S. 9.

⁸⁸ DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04, S. 9.

Im nationalen Anhang werden unter anderem umfangreiche Angaben zur Bewehrungsführung im Bauteil verlangt, wie beispielsweise die Anzahl, der Durchmesser, die Form und die Lage der Bewehrungsstäbe. Darüber hinaus wird insbesondere auch die Angabe von Rüttelgassen in den Bewehrungszeichnungen eingefordert. In der Planung von Bauvorhaben wird diesen Forderungen aus dem Normenwerk nicht ausreichend Folge geleistet. Bei der Ausführung von Sichtbetonbauteilen führen diese fehlenden Angaben in den Bewehrungszeichnungen zu Erschwernissen bei der Verdichtung. Eine zu dicht verlegte Bewehrung sowie nicht geplante und berücksichtigte Rüttelgassen in den Sichtbetonbauteilen verhindern eine sach- und fachgerechte Verdichtung und beeinträchtigen somit die Sichtbetonqualität.

Neben der beschriebenen Problematik einer zu dichten Bewehrungsführung bzw. der fehlenden Planung von Rüttelgassen, können auch Einbauteile, die an der Bewehrung oder an der Schalung befestigt werden, das Verdichten eines Sichtbetonbauteils erschweren. Es kann sich dabei unter anderem um Aussparungen für Türen oder Fenster handeln oder um Einbauteile für die technische Gebäudeausrüstung in Form von Aussparungen für Anschlusskästen sowie Kunststoffrohre zur Führung von Elektrokabeln.

Die fehlende Umsetzung der Anforderungen aus dem nationalen Anhang des Eurocodes 2 führt in der Bauausführung zu Komplikationen bei der Herstellung und somit zur Beeinträchtigung der Qualität von Sichtbetonflächen.

2.1.5 DBV Merkblatt Sichtbeton

Das Merkblatt *Sichtbeton* des Deutschen Beton- und Bautechnik-Vereins e.V. sowie des Vereins Deutscher Zementwerke e.V. wurde in seiner neuesten Fassung im Juni 2015 veröffentlicht und stellt die Grundlage zur „Systematisierung und Klassifizierung der unterschiedlichen Anforderungen an Sichtbeton“⁸⁹ dar. Die Anwendung des DBV Merkblatts *Sichtbeton* beschränkt sich auf glatte Sichtbetonflächen, die mit einer nicht oder schwachsaugenden Schalungshaut hergestellt worden sind. Für Sichtbetonflächen, die bearbeitet, behandelt oder mit einer saugenden Schalung hergestellt wurden, kann das Merkblatt nur eingeschränkt eingesetzt werden.⁹⁰

Die Sichtbetonflächen werden dem Merkblatt entsprechend in vier verschiedene Sichtbetonklassen eingeordnet. Die Flächen können von der Sichtbetonklasse SB 1 mit geringen Anforderungen bis zur Sichtbetonklasse SB 4 mit besonderen Anforderungen eingestuft werden.

⁸⁹ Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V., Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (2015), S. 5.

⁹⁰ Vgl. Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V., Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (2015), S. 7.

Den verschiedenen Sichtbetonklassen sind entsprechende Anforderungsklassen zu den folgenden Merkmalen der Sichtbetonflächen zugeordnet:

- Textur
- Porigkeit
- Farbtongleichmäßigkeit
- Ebenheit
- Arbeitsfugen und Schalungsstöße

Diese Zuordnung der Anforderungsklassen sowie weitere Anforderungen der Sichtbetonklassen sind in der folgenden Tabelle 2-1 dargestellt.

Tabelle 2-1: Sichtbetonklassen und zugehörige Anforderungsklassen nach DBV Merkblatt *Sichtbeton*⁹¹

Sichtbetonklasse		Anforderungen an geschalte Sichtbetonflächen nach Klassen bezüglich						Weitere Anforderungen		
		Textur	Porigkeit		Farbtongleich- mäßigkeit		Eben- heit	Arbeits- fugen und Schalungs- stöße	Erpro- bungen	Schalungs- haut
			s	ns	s	ns				
SB 1	geringe Anforderungen	T1	P1		FT1		E1	AF1	freigestellt	SHK1
SB 2	normale Anforderungen	T2	P2	P1	FT2	FT2	E1	AF2	empfohlen	SHK2
SB 3	besondere Anforderungen	T2	P3	P2	FT2	FT2	E2	AF3	dringend empfohlen	SHK2
SB 4	ungen	T3	P4	P3	FT3	FT2	E3	AF4	erforderlich	SHK3

Legende: s = saugend, ns = nicht saugend

Bei der Beurteilung von Sichtbetonflächen anhand des DBV Merkblatt *Sichtbeton* ist der Gesamteindruck maßgebend. Das zu beurteilende Bauteil oder Bauwerk sollte aus einem angemessenen Betrachtungsabstand sowie bei üblichen Lichtverhältnissen betrachtet werden. Nur bei einer unbefriedigenden Beurteilung des Gesamteindrucks werden die Einzelkriterien zur Beurteilung herangezogen.⁹²

⁹¹ In Anlehnung an Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V., Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (2015), S. 12, Tabelle 1.

⁹² Vgl. Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V., Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (2015), S. 32 f.

Das DBV Merkblatt *Sichtbeton* stellt mit der Klassifizierung von Sichtbetonflächen, der Zuordnung von Anforderungsklassen und der Vorgehensweise zur Beurteilung von Sichtbetonflächen eine Ergänzung zum Normenwerk in Bezug auf Sichtbetonbauteile dar. Ergänzend werden im DBV Merkblatt *Sichtbeton* Merkmale von Sichtbetonflächen definiert, die technisch nicht oder nicht zielsicher herstellbar sind sowie nur eingeschränkt vermieden werden können.⁹³

2.1.6 Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten

Die Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, kurz ZTV-Ing, betreffen die Ausführung und Instandhaltung von Ingenieurbauwerken nach DIN 1076 (Wasserbauwerke ausgenommen).

Bei Ingenieurbauwerken, wie beispielsweise Brücken oder Tunneln, ist es anders als im Hochbau unüblich, die Betonflächen nach ihrer Fertigstellung zu verkleiden. Es handelt sich daher um sichtbar bleibende Betonflächen. Bei Brücken zum Beispiel prägt das Tragwerk mit seinen Betonflächen automatisch die Gestalt und Wirkung des Bauwerks.

Mit der Neuerung der Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-Ing) – Teil 3 Massivbau⁹⁴ im Jahr 2014 wurden an diese sichtbar bleibenden Betonflächen zusätzlich Anforderungen an das Aussehen gestellt. In Abschnitt 2 *Bauausführung*, Kapitel 7.4 *Sichtflächen und Oberflächenbearbeitung* wird auf das DBV Merkblatt *Sichtbeton*⁹⁵ verwiesen und für alle sichtbar bleibenden geschalteten Flächen die dort verordnete Sichtbetonklasse SB 2 gefordert:⁹⁶

„(1) Alle sichtbar bleibenden geschalteten Flächen sind als Sichtbeton der Sichtbetonklasse SB 2 nach DBV / VDZ-Merkblatt Sichtbeton auszuführen. Abweichend zur Sichtbetonklasse SB 2 gilt als Anforderung an die Ebenheit der Betonfläche E2 anstelle der Ebenheit E1.“⁹⁷

Diese allgemeinen Angaben zu Sichtbetonanforderungen bei Tragwerken aus Beton werden in der ZTV-Ing, Teil 3 Massivbau, weiter präzisiert. Durch die Novellierung im Jahr 2014 haben sich dort einige Änderungen für Ingenieurbauwerke ergeben. Die wesentlichen Anforderungen vor und nach der Novellierung der ZTV-Ing in Bezug auf die Ausführung von Sichtbeton sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

⁹³ Vgl. Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V., Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (2015), S. 17 f.

⁹⁴ Vgl. Bundesverband für Straßenwesen (2018)

⁹⁵ Vgl. Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V., Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (2015), S. 15.

⁹⁶ Vgl. Bundesverband für Straßenwesen (2018), S. 10 f.

⁹⁷ Bundesverband für Straßenwesen (2018), S. 10.

Tabelle 2-2: Sichtbetonanforderungen vor und nach der Novellierung der ZTV-Ing

	ZTV-Ing Teil 3 Massivbau (Stand: Dezember 2003)	ZTV-Ing Teil 3 Massivbau (Stand: Dezember 2014)
Anforderungen an Sichtflächen und Oberflächenbearbeitung		<p>„(1) Alle sichtbar bleibenden geschalteten Flächen sind als Sichtbeton der Sichtbetonklasse SB 2 nach DBV / VDZ-Merkblatt „Sichtbeton“ auszuführen. Abweichend zur Sichtbetonklasse SB 2 gilt als Anforderung an die Ebenheit der Betonfläche E2 anstelle der Ebenheit E1.</p> <p>(2) Bei besonderen Anforderungen an die Gestaltung der Sichtflächen ist in der Regel die Sichtbetonklasse SB 3 zu vereinbaren. Dies ist in der Leistungsbeschreibung vorzusehen.“⁹⁸</p>
Anforderungen an Schalungen	<p>„(3) Es werden Schalung und Schalhaut aus Holz, Stahl sowie aus Tafeln, die ggf. mit Kunststoff beschichtet sind, zugelassen. Die Verwendung von Schalung aus anderem Material (z. B. Hartfaserplatten, Wellblechtafeln, Streckmetall, Stahlbetonplatten) ist nicht zugelassen.“⁹⁹</p>	<p>„(2) Für Sichtbeton ist saugende oder schwach saugende Schalhaut gemäß DBV / VDZ-Merkblatt „Sichtbeton“ zu verwenden.“¹⁰⁰</p> <p>„(2) Betonberührte Flächen müssen sauber sein. Falls erforderlich sind Reinigungsöffnungen vorzusehen.“¹⁰¹</p>

⁹⁸ Bundesverband für Straßenwesen (2018), S. 10, Teil 3, Abschnitt 2, Ziffer 7.4, Abs. 1 und 2.

⁹⁹ Bundesverband für Straßenwesen (2013), S. 5, Teil 3, Abschnitt 2, Ziffer 4.3.1, Abs. 3.

¹⁰⁰ Bundesverband für Straßenwesen (2018), S. 3, Teil 3, Abschnitt 2, Ziffer 4.2, Abs. 2.

¹⁰¹ Bundesverband für Straßenwesen (2018), S. 5, Teil 3, Abschnitt 2, Ziffer 4.5.1, Abs. 2.

Anforderungen an Schalung für sichtbar bleibende Betonflächen	<p>„(1) Bei besonderen Anforderungen an die Gestaltung ist die Anordnung und Ausbildung der Schalung an Sichtflächen (z. B. Richtung der Schalbretter, Stöße, Stoßdichtungen, Schalungsklappen und -öffnungen) schematisch darzustellen. Die Erstellung des Planes ist in diesen Fällen in der Leistungsbeschreibung vorzusehen. [...]</p> <p>(3) An sichtbar bleibenden Betonoberflächen sind Anker nach einem regelmäßigen Raster anzuordnen. Ihre Anzahl ist durch geeignete Ausbildung der Schalung möglichst zu beschränken.</p> <p>(4) Verleimtes Holz ist bei Brettschalung nicht zugelassen. [...]</p> <p>(6) Tafelschalung muss in dem Raster ihrer Stöße der Bauwerksform angepasst und ggf. auch in der Neigung nachgeschnitten werden. Ergänzungen der Schalung durch Brettstreifen oder Zwickel sind an Sichtflächen nicht zulässig. Als Schaltafeln dürfen nur gleichartige steife Platten, als Sichtbetonvorsatzschalung nur gleichartige dünne Platten als Auflage auf einer steifen Unterschalung verwendet werden.“¹⁰²</p>	<p>„(3) Der Versatz der Stöße von Schalungselementen darf 5 mm nicht überschreiten Die Höhe der verbleibenden Grate in der Betonoberfläche darf 5 mm nicht überschreiten. [...]</p> <p>(6) Beim Einsatz von Innenrüttlern darf die Schalhaut nicht beschädigt werden. Die Schraub- bzw. Nagelbereiche sind so auszuführen, dass ein Aufquellen der Schalhaut verhindert wird.“¹⁰³</p>
Anforderungen an das Betontrennmittel	<p>„(1) Es dürfen nur bewährte Trennmittel (Schalungsöle usw.) verwendet werden, die keine Flecken am Beton hinterlassen. Sie dürfen sich auch nicht nachteilig auf nachfolgend vorgesehene Oberflächenschutzsysteme auswirken.</p> <p>(2) Damit Bewehrungsstähle und Spannglieder nicht verunreinigt werden, ist Holzschalung mit einem Trennmittel so rechtzeitig zu behandeln, dass dieses bis zum Verlegen der Bewehrung in das Holz eingedrungen ist.</p> <p>(3) Nicht mit Kunststoff beschichtete neue Schalung für Sichtflächen ist vor dem ersten Gebrauch mit Zementschlämme zu behandeln, zu reinigen und mindestens zweimal mit Trennmittel zu streichen oder zu spritzen.“¹⁰⁴</p>	<p>Im Zuge der Novellierung wurden keine zusätzlichen Anforderungen an das Betontrennmittel gestellt.</p>

¹⁰² Bundesverband für Straßenwesen (2013), S. 6, Teil 3, Abschnitt 2, Ziffer 4.3.2, Abs. 1, 3 und 6.

¹⁰³ Bundesverband für Straßenwesen (2018), S. 5 f., Teil 3, Abschnitt 2, Ziffer 4.5.2, Abs. 3 und 6.

¹⁰⁴ Bundesverband für Straßenwesen (2013), S. 6, Teil 3, Abschnitt 2, Ziffer 4.5, Abs. 1 bis 3.

„(2) Für alle sichtbar bleibenden Betonflächen gelten folgende Anforderungen:

- Fluchtgerechte, einheitliche, geschlossene, ebene und porenarme Oberfläche ohne Mörtelwülste und -grate,
- kein Abmehlen oder Absanden der Oberfläche,
- einheitliche Farbtönung aller Sichtflächen einzelner Bauwerksteile,
- Maßhaltigkeit und fehlerfreie Kanten der Bauwerksteile,
- zweckmäßige, unauffällige Anordnung und einwandfreie Ausführung von Arbeitsfugen.“¹⁰⁵

„(1) Beim Einbringen in die Schalung, insbesondere in Stützen- und Wandschalungen, darf sich der Beton nicht entmischen. Er ist z. B. durch Fallrohre zusammenzuhalten.

[...]

(3) Der Beton ist so einzubringen und zu verdichten, dass die Bewehrung dicht mit Beton umhüllt wird. Die Verdichtung muss möglichst vollständig und besonders sorgfältig in den Ecken, längs der Schalung, in engen Bereichen, bei Einbauteilen, Fugeneinlagen und Bewehrungsanschlüssen erfolgen. Unter Umständen empfiehlt sich ein Nachverdichten des Betons.

(4) Wird keine Arbeitsfuge vorgesehen, darf beim Einbau in Lagen das Betonieren nur so lange unterbrochen werden, bis die zuletzt eingebrachte Betonschicht noch nicht erstarrt ist, sodass noch eine gute und gleichmäßige Verbindung zwischen beiden Betonschichten möglich ist. Bei Verwendung von Innenrüttlern muss die Rüttelflasche noch in die untere, bereits verdichtete Schicht eindringen.“¹⁰⁶

Die Gegenüberstellung der Anforderungen an die Ausführung von Sichtbetonflächen bei Ingenieurbauwerken vor und nach der Novellierung der ZTV-Ing im Jahr 2014 zeigt, dass die Anforderungen gestiegen sind. Während es vor der Novellierung keine Forderungen an die auszuführende Sichtbetonklasse gab, so ist nach der Novellierung bei allen Sichtbetonflächen im Ingenieurbau mindestens eine Sichtbetonklasse SB 2 und bei besonderen Anforderungen darüber hinausgehend eine Sichtbetonklasse SB 3 herzustellen. Ergänzend dazu ist bei der Ausführung von Sichtbetonflächen der Sichtbetonklasse SB 2 noch die Anforderung an die Ebenheit dieser Flächen auf E2 hochgesetzt worden.

Für den Versatz von Schalungselementstößen gab es vor der Novellierung der ZTV-Ing in diesem Regelwerk keine Vorgaben oder Begrenzungen. Diese wurden im Zuge der Novellierung jedoch in die ZTV-Ing aufgenommen und auf ein Maximum von 5 mm begrenzt. Verbleibende Grate in der Betonoberfläche, die vor der Novellierung keine Berücksichtigung gefunden haben, sind ebenfalls auf ein Maximum von 5 mm eingeschränkt worden.

¹⁰⁵ Bundesverband für Straßenwesen (2013), S. 9, Teil 3, Abschnitt 2, Ziffer 7.1, Abs. 2.

¹⁰⁶ Bundesverband für Straßenwesen (2018), S. 10, Teil 3, Abschnitt 2, Ziffer 7.3, Abs. 1, 3 und 4.

Darüber hinaus ist noch eine Vielzahl von Vorgaben in der obigen Tabelle erfasst, die sich auf eine sach- und fachgerechte Ausführung beziehen und direkt oder indirekt Auswirkungen auf das Ergebnis und damit das Erscheinungsbild von Sichtbetonflächen haben. Diese zusätzlichen Anforderungen betreffen vor allem die Verarbeitung und Verdichtung von Beton.

Insgesamt ist festzuhalten, dass sich die Ausführungen in der ZTV-Ing vor der Novellierung auf Anforderungen an die Betriebsmittel zur Herstellung von Sichtbetonbauteilen konzentriert haben, während der Schwerpunkt nach der Novellierung auf Anforderungen an das Erscheinungsbild der fertiggestellten Sichtbetonflächen sowie an die Ausführung und vor allem auf der Betonage und Verdichtung liegt.

2.2 Stand der Forschung

Im Folgenden wird der Stand der Forschung im Bereich der Sichtbetontechnologie zur späteren Ableitung von Anknüpfungspunkten für weitergehende Forschungsvorhaben auszugswise abgebildet. Der Stand der Forschung wird differenziert nach baubetrieblichen und betontechnologischen Forschungsergebnissen dargestellt. Im Rahmen der ersten und zweiten Förderperiode der Sichtbetonverbundforschung der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen *Otto von Guericke* e.V. wurden sowohl baubetriebliche als auch betontechnologische Forschungsvorhaben durchgeführt.

2.2.1 Baubetriebliche Forschung

Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf die Vorstellung eines Auszugs des Stands der baubetrieblichen Forschung im Themenkomplex der Sichtbetontechnologie.

2.2.1.1 Gestaltung von Arbeitssystemen in der Sichtbetontechnik nach *Boska*

Empfehlungen zur Gestaltung von Arbeitssystemen in der Sichtbetontechnik, die Bauunternehmen im Hochbau als Hilfestellung „zur Planung, Gestaltung und Steuerung der Produktion von Sichtbetonbauteilen“¹⁰⁷ mit einer glatten Oberfläche dienen sollen, sind das Ergebnis der Forschung von *Boska*.

Für die Systemelemente der Eingabe und der Ausgabe eines Arbeitssystems wurden von *Boska* Qualitätsschranken entwickelt. Diesen wurden auf Grundlage einer internationalen Literaturrecherche Qualitäts-Soll-Werte zugeordnet, die bei der Eingabe in ein Arbeitssystem oder bei der Ausgabe aus einem Arbeitssystem überprüft werden, um einen Qualitätsstandard der einzelnen Prozesse zu gewährleisten.¹⁰⁸

¹⁰⁷ Boska (2013), S. 2.

¹⁰⁸ Vgl. Boska (2013), S. 64 ff.

Ein Forschungsschwerpunkt der Arbeit lag in der Untersuchung des Arbeitsgegenstands der Schalungshaut. *Boska* hat verschiedene Arten von Schalungshaut unterschiedlichen Prüfverfahren unterzogen, um die Eigenschaften dieser zu betrachten. Die folgenden Verfahren zur Untersuchung von Schalungshäuten hat *Boska* als geeignet identifiziert:¹⁰⁹

- Beständigkeit gegenüber Stoßbeanspruchungen mit einer kleinen Kugel zur Prüfung der Schlagfestigkeit und der Entstehung von Rissen in der Oberflächenbeschichtung;
- Kratzfestigkeit der Oberflächenbeschichtung;
- Bestimmung der Dickenquellung von Schalungshäuten nach Wasserlagerung;
- Ermittlung der Gewichtszunahme sowie der optischen Änderung der Oberflächenbeschichtung der Schalungshaut beim Kontakt mit Wasser.¹¹⁰

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt lag in der Untersuchung von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen zwischen Einflussgrößen und Zielgrößen. *Boska* hat festgestellt, dass die Theorie des Benetzungsverhaltens der Grenzfläche von Schalungshaut und Betontrennmittel, die auf der Grundlage von Laborversuchen erarbeitet wurde, nach den durchgeführten Feldversuchen von *Boska* um den Aspekt des Arbeitsverfahrens sowie des Arbeitsablaufs zu ergänzen ist. In den Laborversuchen als ungeeignet eingestufte Materialkombinationen von Betontrennmittel und Schalungshaut führten in den Feldversuchen zu sehr guten Ergebnissen im Hinblick auf das Einzelkriterium der Porigkeit. Als Grund hierfür identifiziert *Boska* unter anderem den Einsatz von Rüttlerbatterien zur Verdichtung der Sichtbetonbauteile, die einen positiven Einfluss auf die Porigkeit haben.¹¹¹

Boska hat ergänzend Feldversuche auf Sichtbetonbaustellen zur Dokumentation der Arbeitsweise und zur Ermittlung von Aufwandswerten bei der Herstellung von Sichtbetonbauteilen durchgeführt. Die Ergebnisse der Gruppenzeitaufnahmen in Form von Aufwandswerten weisen eine Korrelation zwischen den Qualitätsanforderungen, den gewählten Arbeitsverfahren und den ermittelten Stundenaufwandswerten auf. Hierfür wurden die Zeitanteile in der Grundzeit in einen Basis-, Mehr- und Zusatzaufwand für Sichtbeton eingeteilt. Bei der Betrachtung dieser Anteile ist eine Verschiebung des zeitlichen Schwerpunktes vom Basisaufwand zum Zusatzaufwand für Sichtbeton mit steigenden Sichtbetonanforderungen zu beobachten. Diese Gegenüberstellung der Zeitanteile in Abhängigkeit der geforderten Sichtbetonqualität nach *Boska* ist in der folgenden Tabelle 2-1 dargestellt.

¹⁰⁹ *Boska* (2013), S. 87 ff.

¹¹⁰ *Boska* (2013), S. 283 f.

¹¹¹ Vgl. *Boska* (2013), S. 205 ff. und S. 298 f.

Tabelle 2-3: Gegenüberstellung der Aufwandswerte in Abhängigkeit der geforderten Sichtbetonqualität nach *Boska*¹¹²

		Feldstudie F2 Grundschule	Feldstudie F3 Einfamilienhaus	Feldstudie F4 Bürogebäude
Sichtbetonklasse		SB 2	SB 3	SB 4
Untersuchte Bauteile		Wände	Wände	Wände
Abmessungen der Bauteile		l=8,50-11,50m, h=3,50m	l=3,50-5,50m h=2,70m	l=3,20m h=3,24-3,74m
Untersuchungszeitraum		Mai - September	September - November	Januar - Februar
Lufttemperatur		+ 15 bis + 30 °C	+ 5 bis + 22 °C	- 2 bis + 6 °C
Schalungssystem		Rahmentafel- schalung	Rahmentafel- schalung	Rahmentafel- schalung
Schalungshautbeschichtung		Phenolharz 220 g/m ²	Phenolharz, aufgedoppelt 120 g/m ²	Phenolharz, aufgedoppelt, No-Oil 120 g/m ²
Untersuchte Einsätze		10	7	2
Zeitanteile in der Grundzeit	Basisaufwand Stahlbeton	76 %	41 %	27 %
	Mehraufwand Sichtbeton	16 %	9 %	5 %
	Zusatzaufwand Sichtbeton	7 %	50 %	68 %
<i>t_{e,Soll,ARH}</i> Mittelwert <i>Sichtbetonbauteil</i> <i>einschalen</i>		~ 0,25 h/m ²	~ 0,70 h/m ²	~ 0,70 h/m ²

¹¹² In Anlehnung an Boksa (2013), S. 286.

2.2.1.2 Einflussgrößen auf das Erscheinungsbild und Kosten von Sichtbeton nach *Schömb's*

Die Verbesserung von Planungs- und Ausführungsgrundlagen für den Hochbau zur Herstellung von Sichtbetonbauteilen mit einer glatten Oberfläche war das Ziel der Forschung von *Schömb's*.¹¹³

Ein Forschungsschwerpunkt lag auf den Schalungsarbeiten bei der Herstellung von Sichtbetonbauteilen im Rahmen von Feldversuchen unter realen Rahmenbedingungen. Dabei wurden verschiedene Schalungshautmaterialien betrachtet und im Hinblick auf die Eigenschaften Ripplings, Abdruck von Schalungshautbeschädigungen, Absandungen, Porigkeit Grauton, Glanzgrad und Verfärbungen der Sichtbetonflächen bewertet. Darüber hinaus wurden die Wechselwirkungen der Schalungshaut mit Betontrennmitteln und Sichtbetonflächen untersucht. Die Ergebnisse zeigen sowohl Phänomene, die vor allem von zwei verschiedenen Materialgruppen der Schalungshaut abhängen, als auch Phänomene, die durch die Einflussgrößen Betontrennmittel, Witterung und Qualifikation der Arbeitskräfte beeinflusst werden.¹¹⁴ Ein Auszug der Ergebnisse der Feldversuche zur Untersuchung der Eigenschaften von Sichtbetonflächen in Abhängigkeit der eingesetzten Schalungshaut ist in der folgenden Tabelle 2-4 zusammengeführt.

¹¹³ Vgl. *Schömb's* (2012), S. 4 f.

¹¹⁴ Vgl. *Schömb's* (2012), S. 97 ff. und S. 181 f.

Tabelle 2-4: Auszug der Eigenschaften von Sichtbetonflächen in Abhängigkeit der Schalungshaut nach Schömbs¹¹⁵

	FSH PH 120	FSH PH 360	FSH MH 360	FSH PP	PP PP
Ripplings	Nach einigen Einsätzen	Erst bei höheren Einsatzzahlen		Keine	
Abdruck von Schalungshautbeschädigungen	Relativ unempfindlich	Relativ unempfindlich		Relativ empfindlich	
Absandungen	Häufigeres Auftreten bei höherer Einsatzzahl			Bei geringer Einsatzzahl geringfügig häufigeres Auftreten	
	Abhängigkeit von Betontrennmittel				
Porigkeit	Abhängig von der Bauausführung				
Grauton/Helligkeit	Bei mehrfachem Einsatz tendenziell dunklere Flächen			Bei mehrfachem Einsatz tendenziell hellere Flächen	
Glanzgrad	Tendenziell mattere Oberflächen			Tendenziell glänzendere Oberflächen	
	Zeitabhängig, witterungsabhängig				
Rötliche Verfärbungen	Vereinzelt	Keine			
Gelbbraune Verfärbungen	Teilweise aufgetreten		Vermehrte Fleckenbildung	Keine	
	Abhängigkeit von Betontrennmittel und Witterung				

Legende: FSH =Furniersperrholzplatte, MH = Melaminharz, PH = Phenolharz, PP = Polypropylen

Ein weiteres Ergebnis der Forschung von Schömbs war die Entwicklung eines Modells zur systematischen Erfassung des Zeitbedarfs für Scharbeiten bei Sichtbeton, um den Mehraufwand gegenüber der Herstellung von Stahlbetonbauteilen mit Betonflächen ohne Anforderungen an das Aussehen abzubilden. Die Ergebnisse lassen einen erhöhten Zeitaufwand bei den Scharbeiten von Betonflächen mit Anforderungen an das Aussehen erkennen, der sich beispielsweise mit der Aufdopplung oder dem häufigeren Wechsel der Schalungshaut begründen lässt.¹¹⁶

¹¹⁵ In Anlehnung an Schömbs (2012), S. 99.

¹¹⁶ Vgl. Schömbs (2012), S. 105 ff. und S.182.

Schömb's hat darüber hinaus ein Modell zur Ermittlung von Schalungshautkosten¹¹⁷ in Abhängigkeit der folgenden Faktoren entwickelt:

- „Anzahl der Schalvorgänge,
- Wahl des Schalungshautmaterials,
- Zeitaufwand für einen Austauschvorgang der Schalungshaut,
- Kalkulationsmittelohn.“¹¹⁸

Anhand dieses Modells lassen sich sowohl die Material- als auch die Lohnkosten in Abhängigkeit des ausgewählten Materials der Schalungshaut ermitteln und in der Kalkulation berücksichtigen.

2.2.2 Betontechnologische Forschung

Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf die Vorstellung eines Auszugs des Stands der betontechnologischen Forschung im Themenkomplex der Sichtbetontechnologie.

2.2.2.1 Betontechnische Einflüsse auf das Erscheinungsbild von Sichtbetonflächen bei Zementleimleckagen nach *Fischer*

Fischer hat im Rahmen ihrer Forschungsarbeit verschiedene Betonzusammensetzungen im Hinblick auf ihren Einfluss auf das Erscheinungsbild von Sichtbetonflächen bei Zementleimleckagen untersucht. Hierfür wurde auf Grundlage von Literaturrecherchen sowie verschiedenen Voruntersuchungen ein Modell zum Frischbetonverhalten im Bereich von Schalungshautundichtigkeiten entwickelt.¹¹⁹ Die Gliederungsebenen des Modells sowie die erzielten Forschungsergebnisse werden im Folgenden vorgestellt:

- Makro-Ebene: Beton

Auf der Makro-Ebene des Modells wird der Beton während der Arbeitsabläufe des Einbringens und des Verdichtens betrachtet. Die Versuchsergebnisse zeigen, dass vor allem die Viskosität einen Einfluss auf die Größe der Einflussfläche einer Leckage auf der Sichtbetonfläche hat. Dieser Rückschluss beruht auf der Beobachtung, dass sowohl ein Anstieg des Luftporengehaltes als auch der Verdichtungszeit zu einer geringeren Größe der Einflussfläche einer Leckage führen. Eine ausschließliche Betrachtung der Betonkonsistenz ist nach *Fischer* nicht ausreichend, da nur ein Zusammenhang zwischen dem Ausbreitmaß eines Frischbetons und der Neigung zur Wasserabsonderung festgestellt werden konnte.

¹¹⁷ Vgl. Schömb's (2012), S. 169.

¹¹⁸ Schömb's (2012), S. 169.

¹¹⁹ Vgl. Fischer (2014), Zusammenfassung.

Dieser Zusammenhang konnte jedoch nicht bei der Blutwassermessung beobachtet werden.¹²⁰

- Meso-Ebene: Mörtelphase

Im Modell des Frischbetonverhaltens im Bereich von Schalungshautundichtigkeiten wird auf der Meso-Ebene der ausfließende Feinmörtel untersucht. Fischer hat anhand der Versuchsergebnisse festgestellt, dass nicht nur das Leimvolumen, sondern auch die Zusammensetzung des Leims einen Einfluss auf das Entmischen des Frischbetons im Bereich von Undichtigkeiten hat. Bei steigendem Leimvolumen konnte eine sinkende Neigung zum Entmischen beobachtet werden. Bei der Zusammensetzung des Leims ist vor allem der Wasser-Bindemittel-Wert zu berücksichtigen, bei dessen Steigerung auch die Neigung zum Entmischen positiv beeinflusst wird. Auf der Meso-Ebene konnte *Fischer* darüber hinaus die Hypothese der Trennung von Gesteinskörnung und Bindemittelleim im Bereich der Schalungshautundichtigkeiten bestätigen.¹²¹

- Mikro-Ebene: Leimphase

Im Rahmen der Mikro-Ebene wird die Zusammensetzung des Bindemittelleims untersucht. Der Mehlkorngelalt der Betonzusammensetzung hat neben dem Gehalt an Wasser, Fließmitteln und stabilisierenden Betonzusatzmitteln einen zentralen Einfluss auf die Neigung des Frischbetons zur Wasserabsonderung oder zum Bluten. Fischer hat festgestellt, dass die Neigung des Frischbetons zur Wasserabsonderung und zum Bluten mit steigendem Mehlkorngelalt sinkt.¹²²

Zur Verifizierung des Modells zum Frischbetonverhalten im Bereich von Zementleimleckagen hat *Fischer* experimentelle Untersuchungen durchgeführt, die das Modell bestätigten und Ergänzungen initiiert haben. Die Versuche haben darüber hinaus gezeigt, dass das Wasserrückhaltevermögen eines Betons entscheidend für das Erscheinungsbild von Sichtbetonflächen bei Zementleimleckagen ist. *Fischer* hat die entscheidenden Entwurfsfaktoren, die einen Einfluss auf das Wasserrückhaltevermögen des Betons haben, zusammengestellt, diese sind in der folgenden Abbildung 2-2 erfasst.

¹²⁰ Vgl. Fischer (2014), S. 83 ff. und S. 186.

¹²¹ Vgl. Fischer (2014), S. 87 f. und S. 187.

¹²² Vgl. Fischer (2014), S. 88 ff. und S. 187.

Wasserrückhaltevermögen des Betons bei Zementleimleckagen		
Beton	Mörtel	Leim
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sieblinie ▪ Verarbeitbarkeit ▪ Verdichtungsenergie/-dauer ▪ Lage von Betonierabschnitten zur Undichtigkeitsstelle 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Leimgehalt Eigenschaften der Gesteinskörnung ▪ w/b-Wert 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Korngrößenverteilung der Bindemittelkombination ▪ Wasseranspruch der Bindemittelkombination ▪ Wassergehalt oder Fließmittelgehalt bzw. Verhältnis Wasser/Fließmittel ▪ Stabilisierende Betonzusatzmittel

Abbildung 2-2: Entwurfsfaktoren für Sichtbetonzusammensetzungen nach *Fischer*¹²³

2.2.2.2 Fleckige Dunkelverfärbungen an Sichtbetonoberflächen nach *Strehlein*

Die Forschung von *Strehlein* beschäftigte sich mit der Charakterisierung, Entstehung und Vermeidung von fleckigen Dunkelverfärbungen an Sichtbetonoberflächen, „welche insbesondere bei Verwendung nicht saugender Schalhäute und verstärkt bei der Herstellung von Sichtbetonoberflächen in den Wintermonaten auftreten“.¹²⁴ Ziel der Forschung waren Handlungsempfehlungen für die Baupraxis zur Vermeidung von fleckigen Dunkelverfärbungen.¹²⁵

Die Teilziele der Forschungsarbeit von *Strehlein* werden im Folgenden dargestellt und deren zentrale Ergebnisse zusammengefasst:

- Charakterisierung und physikalische Ursachen der Dunkelverfärbungen

Strehlein hat Betonproben von Dunkelverfärbungen am Schalungsstoß, der unteren Betonierlage und nach Winterbetonagen in Bezug auf ihr mikroskopisches Gefüge untersucht.

¹²³ In Anlehnung an Fischer (2014), S. 111.

¹²⁴ Strehlein (2012), S. IV.

¹²⁵ Vgl. Strehlein (2012), S. IV.

Die Ergebnisse wiesen alle unabhängig von den Randbedingungen der Entstehung der Dunkelverfärbung die folgenden Charakteristika auf, die die Ursache für das dunkle Erscheinungsbild der Sichtbetonflächen sind¹²⁶:

- „Eine ebene Oberflächenstruktur,
 - ein dichteres oberflächennahes Gefüge,
 - ein höheres Calcium/Silizium-Verhältnis.“¹²⁷
- Beschreibung der Entstehung der fleckigen Dunkelverfärbungen unter Berücksichtigung des klimatischen Einflusses

Strehlein hat zur Untersuchung des Einflusses von klimatischen Bedingungen auf die Entstehung von Dunkelverfärbungen Laborversuche unter sommerlichen und winterlichen Klimabedingungen durchgeführt. Die Versuchsergebnisse verdeutlichen, dass die im Winter auftretende hohe relative Luftfeuchte und geringen Temperaturen eine niedrige Verdunstungsrate an Betonoberflächen bedingen. Darüber hinaus führen die niedrigen Temperaturen durch die Verzögerung der Hydratation und der Gefügebildung zu einem verbesserten Porenlösungstransport vom Betoninneren nach außen, zu einer höheren Calciumhydroxidkonzentration in der Porenlösung und dadurch zu einem deutlichen Anstieg von Portlandit im oberflächennahen Gefüge, der für die Dunkelverfärbungen verantwortlich ist und sich dort ablagert.¹²⁸

Strehlein kann auf Grundlage der Untersuchungsergebnisse die Entstehung von Dunkelverfärbungen bei längeren Niederschlägen und hohen relativen Luftfeuchten bei sonst sommerlichen Bedingungen nicht ausschließen.¹²⁹

- Entwicklung betontechnologischer Maßnahmen zur Vermeidung der fleckigen Dunkelverfärbungen

Strehlein hat zur Entwicklung betontechnologischer Maßnahmen zur Vermeidung von fleckigen Dunkelverfärbungen Versuche unter winterlichen Klimabedingungen mit niedrigen Temperaturen und hoher relativer Luftfeuchte durchgeführt. Bei den Untersuchungen wurden unter Variation der Mahlfeinheit des Zements, des w/z-Wertes, des Austauschs von Zement gegen Kalksteinmehl und der Menge der leicht löslichen Alkalien die Parameter Hydratationsfortschritt, Zusammensetzung und zeitliche Entwicklung der Porenlösung betrachtet sowie Ausbildung des Porengefüges zum Ausschaltzeitpunkt im Kernbeton und

¹²⁶ Vgl. Strehlein (2012), S. 8 ff. und S. 135 ff.

¹²⁷ Strehlein (2012), S. 135.

¹²⁸ Vgl. Strehlein (2012), S. 39 ff. und S. 137 f.

¹²⁹ Vgl. Strehlein (2012), S. 138.

in der unmittelbaren Randzone betrachtet¹³⁰. Die vorher aufgestellten Hypothesen konnten durch die Untersuchungsergebnisse bestätigt werden und ermöglichten in der Folge die Entwicklung der folgenden betontechnologischen Maßnahmen:

- „Verringerung der Dauer des ersten Trocknungsabschnitts durch Verringerung des Kapillarporenvolumens zum Ausschalzeitpunkt,
 - Verringerung der Calciumhydroxidkonzentration in der Porenlösung zum Ausschalzeitpunkt,
 - Erhöhung des als Portlandit-Ablagerungsraum in der Betonrandzone zur Verfügung stehenden Porenvolumens.“¹³¹
- Erstellung baupraktischer Empfehlungen zur Vermeidung von fleckigen Dunkelfärbungen

Strehlein empfiehlt, die Herstellung von Sichtbetonbauteilen in den Wintermonaten grundsätzlich zu vermeiden. Sollte eine Betonage von Sichtbetonbauteilen im Winter unumgänglich sein, werden ausführungstechnische und betontechnologische Maßnahmen gegeben, um fleckige Dunkelfärbungen zu vermeiden oder zu vermindern. Diese Maßnahmen sind in der folgenden Tabelle 2-5 aufgeführt. Die ausführungstechnischen Maßnahmen sind im Vergleich zu den betontechnologischen Maßnahmen aufwendiger und haben einen größeren Einfluss auf die Herstellkosten.¹³²

¹³⁰ Vgl. Strehlein (2012), S. 90 und S. 138.

¹³¹ Strehlein (2012), S. 138.

¹³² Vgl. Strehlein (2012), S. 132 ff. und S. 139.

Tabelle 2-5: Ausführungstechnische und betontechnologische Maßnahmen zur Vermeidung von fleckigen Dunkelverfärbungen nach *Strehlein*¹³³

Ausführungstechnische Maßnahmen	Betontechnologische Maßnahmen
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Wahl eines geeigneten Ausschalzeitpunkts mit einer vergleichsweise hohen zu erwartenden Verdunstungsrate an der Betonoberfläche, z. B. Abwarten der maximalen Tagestemperatur, Vermeidung des Ausschalens während Niederschlag bzw. Nebel, ▪ Entfernen der Schalung unmittelbar nach dem Lösen der Schalungsanker, ▪ Erhöhung der Verdunstungsrate an der Betonoberfläche durch spezielle Nachbehandlungsmaßnahmen, z. B. durch Anbringen einer vorgehängten Folie mit zirkulierender Warmluft im Spalt Folie/Betonoberfläche (Hinweis: auf die Verträglichkeit dieser Maßnahme mit den normativen Vorgaben hinsichtlich einer adäquaten Feuchtenachbehandlung ist zu achten), ▪ Vermeidung einer Foliennachbehandlung ohne zusätzliche Maßnahmen, ▪ Erhöhung des Hydratationsgrads zum Ausschalzeitpunkt, z. B. durch Erhöhung der Frischbetontemperatur, Erwärmen der Schalung, Verlängerung der Schalzeiten. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verwendung eines Zements mit einem hohen Gehalt an Alkalisulfaten, ▪ Zugabe von Alkalisulfaten bzw. Alkalihydroxiden zum Zugabewasser (nur bei vorherigem Nachweis der Unschädlichkeit im Hinblick auf die angestrebten Frisch- und Festbetoneigenschaften sowie Nachweis der Unschädlichkeit bzw. Verzicht dieser Maßnahme bei Verwendung alkaliempfindlicher Gesteinskörnung!), ▪ Verwendung eines Zements mit einer hohen Mahlfineinheit, ▪ Verwendung niedriger w/z-Werte, ▪ Austausch des Portlandzements durch bis zu 20 M.-% Kalksteinmehl, Verwendung eines Zements CEM II A-LL.

2.2.3 AiF-Sichtbetonverbundforschung

Im Folgenden werden die Forschungsvorhaben der Sichtbetonverbundforschung der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen *Otto von Guericke* e.V. der ersten und zweiten Förderperiode vorgestellt.

Der Deutsche Beton- und Bautechnik-Verein e.V., der Verein Deutscher Zementwerke e.V. sowie die Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik (GFaI) e.V. stellten unter dem Wechsel von Einzelmitgliedern die Mitgliedervereinigungen in der AiF-Sichtbetonverbundforschung dar.

¹³³ In Anlehnung an Strehlein (2012), S. 139.

2.2.3.1 AiF - Sichtbetonverbundforschung: Förderperiode 1

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie hat im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung das Vorhaben 14018 N der Forschungsvereinigung Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V. aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.¹³⁴

Dieses Forschungsvorhaben stellte die erste Förderperiode der AiF-Sichtbetonverbundforschung dar und lief im Zeitraum von März 2004 bis Februar 2006.

Tabelle 2-6: Verbundforschungsmittglieder und Forschungsthemen der ersten Förderperiode¹³⁵

Mitgliedervereinigung: Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V.	
Leibniz Universität Hannover Institut für Baustoffe	Entwicklung einer sehr weichen, robusten und sedimentationsstabilen Betonzusammensetzung und ihre Prüfung
Technische Universität Berlin Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V.	Untersuchung der chemisch-physikalischen Wechselwirkungen zwischen Frischbeton, Schalungshaut und Betontrennmittel
Technische Universität Darmstadt Institut für Baubetrieb	Wechselwirkungen zwischen Schalungshaut, Betontrennmittel und Betonfläche bei Sichtbeton
Fachhochschule Köln Institut für Baustoffe	
Mitgliedervereinigung: Verein Deutscher Zementwerke e.V.	
Verein Deutscher Zementwerke e.V. Forschungsinstitut der Zementindustrie	Vermeidung von Farbtonunterschieden auf Sichtbetonflächen – Einflüsse rheologischer Eigenschaften auf das Sedimentat
Technische Universität München Centrum Baustoffe und Materialprüfung Lehrstuhl für Baustoffkunde und Werkstoffprüfung	Vermeidung von Farbtonunterschieden auf Sichtbetonflächen – Transport und Kristallisationsvorgänge
Mitgliedervereinigung: Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik	
Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik	Bildgestützte Bewertungsverfahren für Sichtbeton

¹³⁴ Vgl. Boska (2013), S. 5.

¹³⁵ In Anlehnung an Boska (2013), S. 3.

Ein Auszug der Forschungsergebnisse vom Institut für Baubetrieb der Technischen Universität Darmstadt in Bezug auf die Wechselwirkungen zwischen Schalungshaut, Trennmittel und Betonfläche wurde in Kapitel 2.2.1.2 durch die Vorstellung der Forschungsarbeit von *Schömb's* dargestellt.

Die Forschungsergebnisse aller Verbundforschungsmitglieder können dem Bericht zum IGF-Forschungsvorhaben 14018 N entnommen werden.

2.2.3.2 AiF - Sichtbetonverbundforschung: Förderperiode 2

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie hat im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung das Vorhaben 15873 N der Forschungsvereinigung Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V. aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.¹³⁶

Dieses Forschungsvorhaben stellte die zweite Förderperiode der AiF-Sichtbetonverbundforschung dar und lief im Zeitraum von Dezember 2009 bis Mai 2011.

Tabelle 2-7: Verbundforschungsmitglieder und Forschungsthemen der zweiten Förderperiode¹³⁷

Mitgliedervereinigung: Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V.	
Leibniz Universität Hannover Institut für Baustoffe	Neue Sichtbetontechnik – Integration der Erkenntnisse zu Wechselwirkungen zwischen Schalungshaut, Betontrennmittel und Betonfläche in die Prozesskette beim Sichtbeton
Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft Institut für angewandte Forschung	
Technische Universität Darmstadt Institut für Baubetrieb	
Mitgliedervereinigung: Verein Deutscher Zementwerke e.V.	
Verein Deutscher Zementwerke e.V. Forschungsinstitut der Zementindustrie	Vermeidung von Farbtonunterschieden in Sichtbetonflächen: Mischungsstabilität und Transportphänomene
Technische Universität München Centrum Baustoffe und Materialprüfung Lehrstuhl für Baustoffkunde und Werkstoffprüfung	

¹³⁶ Vgl. Boska (2013), S. 6.

¹³⁷ In Anlehnung an Boska (2013), S. 5.

Mitgliedervereinigung: Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik

Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik

Bildgestützte Bewertungsverfahren für Sichtbeton

Ein Auszug der Forschungsergebnisse vom Institut für Baubetrieb der Technischen Universität Darmstadt in Bezug auf die Wechselwirkungen zwischen Schalungshaut, Trennmittel und Betonfläche wurde in Kapitel 2.2.1.1 durch die Vorstellung der Forschungsarbeit von *Boska* dargestellt.

Die Forschungsergebnisse aller Verbundforschungsmitglieder können dem Bericht zum IGF-Forschungsvorhaben 15873 N entnommen werden.

2.3 Identifikation von Wissenslücken

Den Stand der Forschung im Bereich der Sichtbetontechnologie aus Kapitel 2.2 zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich die Forschungsvorhaben im baubetrieblichen Bereich vor allem auf die Herstellung von Sichtbetonbauteilen für den Hochbau konzentriert haben. Es wurden unter anderem Baustoffe und Bauhilfsstoffe sowie deren Wechselwirkungen untersucht, Arbeitssysteme dokumentiert, Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge analysiert und Aufwands- sowie Kostenkennwerte für die Herstellung von Sichtbetonbauteilen im Hochbau generiert.

Mit der in Kapitel 2.1.6 beschriebenen Neuerung der Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-Ing) – Teil 3 Massivbau¹³⁸ im Jahr 2014 wurden an sichtbar bleibende Betonflächen zusätzlich Anforderungen an das Aussehen gestellt und damit die Forschung im Bereich von Sichtbetonbauteilen für den Ingenieurbau initiiert.¹³⁹

Neben der Art der untersuchten Bauwerke hat auch im Bereich der Bauweise der Bauteile bei den durchgeführten Forschungsvorhaben im Bereich der Sichtbetontechnologie eine Eingrenzung stattgefunden. Die vorgestellten Forschungsvorhaben und Verbundforschungen haben sich auf die Herstellung von Sichtbetonbauteilen in Ortbetonbauweise konzentriert. Einige gewonnene Erkenntnisse lassen sich auf die Herstellung in Fertigteilbauweise übertragen, die Fertigteilbauweise von Sichtbetonbauteilen war jedoch bisher kein Gegenstand der Sichtbetonforschung. Die Herstellung von Sichtbetonbauteilen in Fertigteilbauweise bietet unter anderem eine größere Vielzahl an Gestaltungsmöglichkeiten als die Herstellung von Sichtbetonbauteilen in Ortbetonbauweise. Die Sichtbetonforschung

¹³⁸ Vgl. Bundesverband für Straßenwesen (2018)

¹³⁹ Siehe Kapitel 4.3

hat bisher die Herstellung von mit Schalungshaut gestalteten, glatten Sichtbetonflächen fokussiert. Der DIN 18217 zufolge gibt es neben dieser Art der Herstellung von Betonflächen mit Anforderungen an das Aussehen noch zwei weitere Arten der Herstellung.¹⁴⁰ Die Arbeitssysteme der Gestaltungsverfahren von Sichtbetonfertigteilen, die nach DIN 18217 unter bearbeitete und nachträglich behandelte Betonflächen fallen¹⁴¹, sind bisher nicht erfasst worden.

Den Baustoff Beton betreffend wurden in den beschriebenen Forschungsvorhaben, Dissertationen und Verbundforschungen ausschließlich Normalbetone zur Herstellung von Sichtbeton untersucht. Bei der Forschung mit Beton im Themenkomplex Sichtbetontechnologie ging es hauptsächlich um die Entwicklung von robusten Betonzusammensetzungen, den betontechnischen Einfluss auf das Erscheinungsbild von Sichtbetonflächen und die Wechselwirkungen zwischen Beton, Schalungshaut und Betontrennmittel.

Am Institut für Baubetrieb der Technischen Universität Darmstadt wurde eine Datenbank aller Sichtbetonbauwerke, die im deutschsprachigen Raum aus Leichtbeton ausgeführt wurden, erstellt.¹⁴² Diese Datenbank verdeutlicht, dass Leichtbeton bei der Herstellung von Sichtbetonbauteilen für die Projektbeteiligten von Interesse ist. Dieser Aspekt und die aus der Praxis bekannten verstärkten Phänomene bei der Herstellung von Sichtbetonbauteilen aus Leichtbeton waren die Ausgangspunkte für die Untersuchung von Leichtbeton zur Herstellung von Sichtbetonbauteilen. Ziel der Untersuchungen sollte die Überprüfung der Übertragbarkeit des Wissens aus den Untersuchungen mit Normalbeton auf die Herstellung mit Leichtbeton sein. Hierzu wurden Laborversuche zur Untersuchung von baubetrieblichen Aspekten und deren Einfluss auf die Sichtbetonqualität initiiert.¹⁴³

Die vorhergehende Identifikation von Wissenslücken stellt unter anderem die Grundlage für die Wissensgewinnung in der Sichtbetontechnologie in Kapitel 4 dar. Die hier identifizierten Wissenslücken sollen mit Hilfe verschiedener Forschungsvorhaben und der Generierung neuen Wissens geschlossen werden.

¹⁴⁰ Siehe Kapitel 2.1.2.

¹⁴¹ Siehe Kapitel 2.1.2.

¹⁴² Siehe Kapitel 4.1.1.

¹⁴³ Siehe Kapitel 4.1.

3 Grundlagen des Wissensmanagements

Um Wissensmanagement im Ganzen beschreiben und verstehen zu können, ist zunächst die Definition der grundlegenden Begriffe sowie deren gegenseitige Abgrenzung notwendig. Darauf aufbauend werden die verschiedenen Arten des Wissens erläutert. Anschließend werden die normativen Grundlagen des Wissensmanagements erörtert und die maßgebenden Wissensmanagement-Modelle vorgestellt. Das Kapitel schließt mit Ausführungen zum Stand der Forschung im Bereich des Wissensmanagements in Bauunternehmen.

3.1 Terminologische Grundlagen

Eine Festlegung der terminologischen¹⁴⁴ Grundlagen hat bei dem Themengebiet des Wissensmanagements eine große Bedeutung, da die Begriffe wie *Wissen*, *Daten* und *Informationen* in der Praxis oft verwechselt und falsch verwendet werden. In den folgenden Unterkapiteln werden diese Begriffe daher für die vorliegende Arbeit definiert und anhand der Wissenstreppe nach *North*¹⁴⁵ voneinander abgegrenzt.

3.1.1 Wissen

Der Begriff *Wissen* wird von den unterschiedlichen Fachdisziplinen wie beispielsweise der Philosophie, der Soziologie sowie der Informatik aufgrund verschiedener Interessen unterschiedlich ausgelegt. Auch die Wirtschaftswissenschaften haben ihre eigenen Definitionen des Wissens. Eine Definition aus wirtschaftswissenschaftlicher Sicht liegt dieser Arbeit zugrunde und wird im Folgenden dargelegt.

Romhardt bezeichnet Wissen als „die Gesamtheit der Kenntnisse und Fähigkeiten, die Individuen zur Lösung von Problemen einsetzen. Dies umfasst sowohl theoretische Erkenntnisse als auch praktische Alltagsregeln und Handlungsanweisungen. Wissen stützt sich auf Daten und Informationen, ist im Gegensatz zu diesen jedoch immer an Personen gebunden. Es wird von Individuen konstruiert und repräsentiert deren Erwartungen über Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge in einem bestimmten Kontext“.¹⁴⁶

Ein wichtiger Faktor, in dem sich diese Definition von anderen unterscheidet, ist die Bindung von Wissen an Personen. Im Bereich der Sichtbetontechnologie liegt genau diese Bindung von Wissen an Personen vor, da die Erfahrungen von Einzelpersonen in der Projektabwicklung gemacht und nicht an das gesamte Unternehmen weitergegeben werden.

¹⁴⁴ Terminologie: Gesamtheit der in einem Fachgebiet üblichen Fachwörter und –ausdrücke, „Terminologie“ auf Duden online. URL: <https://www.duden.de/node/758123/revisions/1958391/view> (Abrufdatum: 19.01.2019)

¹⁴⁵ Vgl. *North* (2016), S. 35 ff.

¹⁴⁶ *Romhardt* (1998), S. 40 f.

3.1.2 Die Wissenstreppe

Zur Abgrenzung der verschiedenen Begrifflichkeiten wie *Zeichen*, *Daten*, *Informationen* und *Wissen* wird in den Ingenieurwissenschaften wiederholt die Wissenstreppe nach *North* herangezogen.¹⁴⁷ Bei den Ausführungen von *North* zum Thema *Wissen* handelt es sich um eine wirtschaftswissenschaftliche Betrachtungsweise des Themenkomplexes.

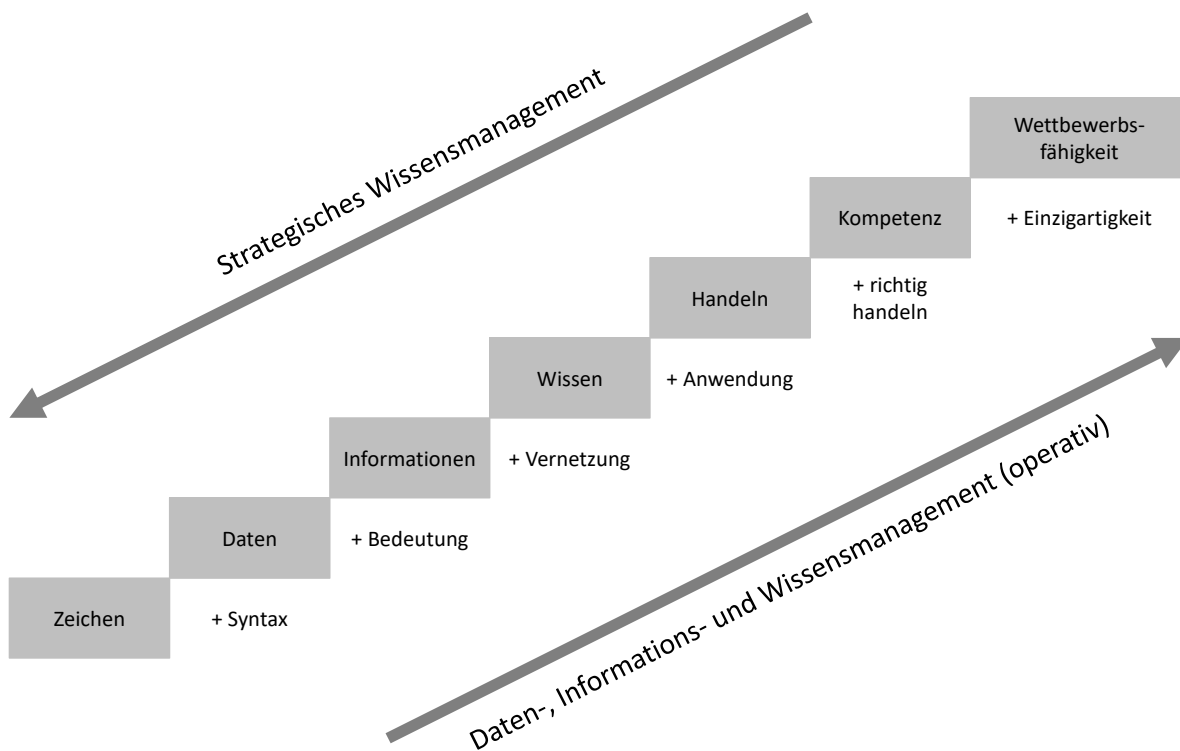


Abbildung 3-1: Die Wissenstreppe nach *North*¹⁴⁸

Die Wissenstreppe nach *North* beginnt auf der Basis von Zeichen, wie in Abbildung 3-1 dargestellt. Bei Zeichen handelt es sich um Buchstaben, Ziffern oder Sonderzeichen, die durch eine Syntax zu Daten verbunden werden.¹⁴⁹ Bei Daten handelt es sich demnach zunächst um sinnlose Zeichenfolgen. Erst wenn diese in einen Zusammenhang gestellt und

¹⁴⁷ Vgl. Cüppers (2006), S. 24.

¹⁴⁸ In Anlehnung an North (2016), S. 37.

¹⁴⁹ Vgl. von der Oelsnitz, Hamann (2003), S. 38.

interpretiert werden, entstehen daraus Informationen.¹⁵⁰ Erst diese Ebene ist für Unternehmen für die betriebswissenschaftliche Entscheidungsfindung verwertbar.¹⁵¹ Die zielgerichtete Weiterverarbeitung von Informationen durch Einzelpersonen und die Verknüpfung mit deren Erfahrungen und Erwartungen führt zur Entstehung von Wissen.¹⁵²

Die Wissenstreppe nach *North* endet nicht an dieser Stelle, da der Wert des Wissens für ein Unternehmen ohne dessen Anwendung nicht erkennbar ist. Das Wissen muss im Unternehmen erst durch das Handeln von Einzelpersonen umgesetzt werden.¹⁵³ Ausschließlich die richtige Anwendung des Wissens führt daraufhin zu einem Können und damit verbunden zu neuen Kompetenzen im Unternehmen.¹⁵⁴ Ist diese Kompetenz durch eine gewisse Einzigartigkeit geprägt und wird ein Mehrwert beim Kunden erzeugt, dann führt dies zu einer Wettbewerbsfähigkeit am Markt.¹⁵⁵ Diese Wettbewerbsfähigkeit stellt gleichzeitig die oberste Stufe der Wissenstreppe nach *North* dar.¹⁵⁶

¹⁵⁰ Vgl. North (2016), S. 36.

¹⁵¹ Vgl. Borner (2005), S. 3.

¹⁵² Vgl. North (2016), S. 37.

¹⁵³ Vgl. North (2016), S. 38.

¹⁵⁴ Vgl. Cüppers (2006), S. 26.

¹⁵⁵ Vgl. Rathswohl (2014), S. 21.

¹⁵⁶ Vgl. North (2016), S. 37.

3.1.3 Wissensarten

Für die Systematisierung der Wissensarten existieren in der Literatur verschiedenste Ansätze. In der folgenden Abbildung nach Hofstadler und Kummer sind die verschiedenen Untergliederungen zusammenfassend dargestellt. Wissen kann dementsprechend nach den vier Aspekten *Beschreibbarkeit*, *Wahrnehmung*, *Träger* und *Anwendung* in verschiedene Wissensarten unterteilt werden. In den folgenden Unterkapiteln werden diese Wissensarten genauer erläutert.

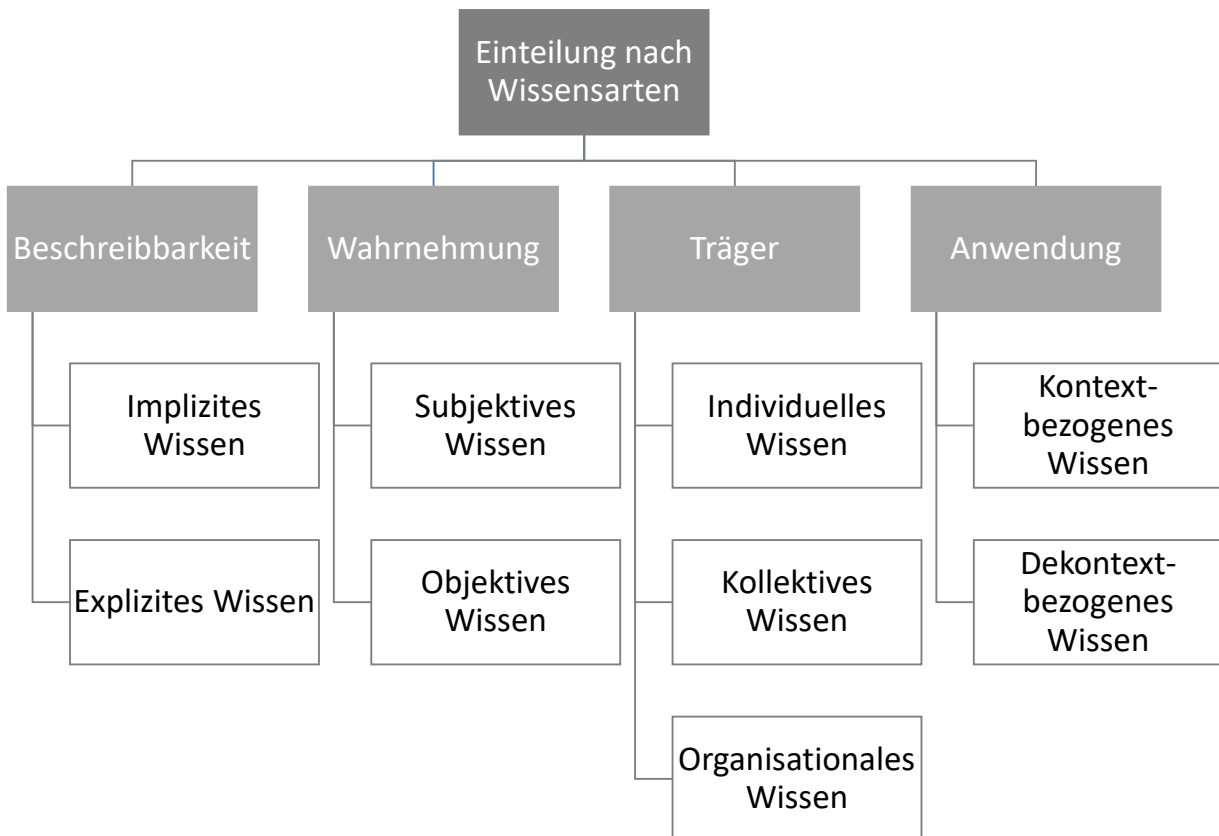


Abbildung 3-2: Gliederung der Wissensarten¹⁵⁷

¹⁵⁷ In Anlehnung an Hofstadler, C.; Kummer, M. (2017), S. 76.

3.1.3.1 Implizites und explizites Wissen

Die epistemologische¹⁵⁸ Dimension ist eine der bekanntesten Formen der Untergliederung von Wissen.¹⁵⁹ Der Forscher *Michael Polanyi* gliedert hiernach das Wissen der Verbalisierbarkeit bzw. der Beschreibbarkeit entsprechend und unterscheidet in implizites und explizites Wissen.¹⁶⁰

Implizites Wissen kann im Gegensatz zu explizitem Wissen nicht einfach in Worte gefasst werden. Es handelt sich um ein Wissen, dessen sich die Person gar nicht bewusst ist.¹⁶¹ Der Zugriff auf dieses Wissen erfolgt oft erst in Problemsituationen. Zur Problemlösung greift die Person auf ihre Erfahrungen aus der Praxis bzw. ihr Know-how zurück.¹⁶² Die Weitergabe von implizitem Wissen oder dessen Speicherung in beispielsweise Datenbanken ist demzufolge eine anspruchsvolle Aufgabe. Die Problematik besteht in einer für andere Personen nachvollziehbaren und verständlichen Ausformulierung.¹⁶³

Explizites Wissen dagegen kann, wie bereits angedeutet, verbalisiert und dokumentiert werden. Dieses Wissen ist in Nachschlagewerken und Anleitungen dokumentiert und kann leicht in Datenbanken erfasst und somit für andere Personen zugänglich gemacht werden.¹⁶⁴ Explizites Wissen ist damit weitestgehend vom Wissensträger unabhängig, während implizites Wissen an den Wissensträger gebunden ist.¹⁶⁵

Insgesamt ist festzuhalten, dass explizites Wissen nur einen sehr geringen Teil unseres Wissens verkörpert. Der wesentlich größere Teil wird hingegen durch implizites Wissen abgebildet. *Müller* bedient sich hierfür des Modells eines Eisbergs. Die Spitze des Eisbergs, die aus dem Wasser ragt und damit über der Wahrnehmungsoberfläche liegt, wird durch explizites Wissen repräsentiert. Der Teil des impliziten Wissens hingegen stellt den viel größeren Teil im Verborgenen dar.¹⁶⁶

3.1.3.2 Subjektives und objektives Wissen

Die Untergliederung von Wissen kann ferner in die Wissensarten subjektives und objektives Wissen vorgenommen werden.

¹⁵⁸ Epistemologie: Wissenschaftstheorie, -lehre; Erkenntnistheorie, -lehre, „Terminologie“ auf Duden online. URL: <https://www.duden.de/node/681522/revisions/1901943/view> (Abrufdatum: 26.01.2019).

¹⁵⁹ Vgl. Rathswohl (2014), S. 22.

¹⁶⁰ Vgl. Polanyi (1966), S. 11 ff.

¹⁶¹ Vgl. Amelingmeyer (2002), S. 47.

¹⁶² Vgl. Gust von Loh (2009), S. 17.

¹⁶³ Vgl. Ismail (2011), S. 17.

¹⁶⁴ Vgl. Borner (2005), S. 4.

¹⁶⁵ Vgl. Ismail (2011), S. 17.

¹⁶⁶ Vgl. Müller (2009), S. 27.

Subjektives Wissen ist hierbei an Individuen gebunden. Es handelt sich dabei um Wissen, über das nur Einzelpersonen verfügen und das dementsprechend nicht für jeden zugänglich ist.¹⁶⁷

Objektives Wissen ist dementsprechend Wissen, das aufgrund seiner Verteilung über Sätze, Datenbanken und die Literatur für jeden zur Verfügung steht. Es handelt sich demnach um schriftlich festgehaltenes Wissen.¹⁶⁸

Hinsichtlich der Untergliederung von Wissen bezüglich seiner Beschreibbarkeit ist objektives Wissen in aller Regel explizites Wissen, während es sich bei subjektivem Wissen sowohl um explizites als auch um implizites Wissen handeln kann.¹⁶⁹

3.1.3.3 Individuelles, kollektives und organisationales Wissen

Die ontologische Dimension des Wissens untergliedert gegensätzlich zur epistemologischen Dimension des Wissens nach der Anzahl bzw. Art der Wissensträger.¹⁷⁰ Hierbei wird unterschieden in individuelles, kollektives und organisationales Wissen.¹⁷¹

Individuelles Wissen ist, wie der Name schon erkennen lässt, wie das subjektive Wissen mit einzelnen Personen verbunden und umfasst deren Erfahrungen und Kenntnisse. Es hängt einerseits von den persönlichen Befähigungen eines Individuums ab, zu einem viel größeren Teil jedoch von der Bereitschaft, Neues zu erlernen und zu verarbeiten. Vermittelt ein Mitarbeiter sein individuelles Wissen im Rahmen seiner Tätigkeit nicht an das Unternehmen, so geht es für dieses verloren, wenn der Mitarbeiter das Unternehmen verlassen sollte.¹⁷²

Kollektives Wissen entsteht im Gegensatz zu individuellem Wissen durch die Zusammenarbeit einzelner Personen und kann aufgrund dessen auch von mehreren Einzelpersonen erlangt werden. Präzisiert man dieses in der Gemeinschaft erlangte Wissen und dokumentiert es in Form von Handbüchern, Leitbildern sowie Arbeitsanweisungen und stellt es der gesamten Organisation zur Verfügung, so schafft man organisationales Wissen.¹⁷³

¹⁶⁷ Vgl. Hofstadler, Kummer (2017), S. 77.

¹⁶⁸ Vgl. Stock (2007), S. 20.

¹⁶⁹ Vgl. Amelingmeyer (2002), S. 47.

¹⁷⁰ Vgl. Rathswohl (2014), S. 24.

¹⁷¹ Vgl. Girmscheid (2014), S. 456.

¹⁷² Vgl. Cüppers (2006), S. 29.

¹⁷³ Vgl. Girmscheid (2014), S. 456.

Durch die Ergänzung von individuellem und kollektivem Wissen um die Gesamtheit an Daten und Informationen, die einer Organisation zur Verfügung stehen, entsteht organisationales Wissen. Die Grundlage bildet dabei das individuelle und das kollektive Wissen, welches in einer Organisation vorhanden und einem ständigen Wandel ausgesetzt ist.¹⁷⁴

In der folgenden Tabelle werden nach *Cüppers* die Wissensarten explizites und implizites Wissen in Abhängigkeit des entsprechenden Wissensträgers dargestellt. Hierzu werden zur Verdeutlichung Beispiele aus dem Bauwesen aufgeführt.

Tabelle 3-1: Wissensarten in Abhängigkeit der Wissensträger nach *Cüppers*^{175 176}

		Wissensträger		
		Individuum (Bauleiter)	Gruppe (Projektteam)	Organisation (Unternehmen)
Wissensart	Explizit	Über Verfahren, Baustoffe, etc.	Koordination der Arbeitsabläufe, Erfahrungsaustausch	Leitbild, Ziele, Qualitätskriterien
	Implizit	Persönliche Beurteilung der Qualität mit „Auge und Gefühl“	Geteiltes Gespür für den unverwechselbaren Charakter eines Bauwerkes	gemeinsame Werte, ungeschriebene Spielregeln

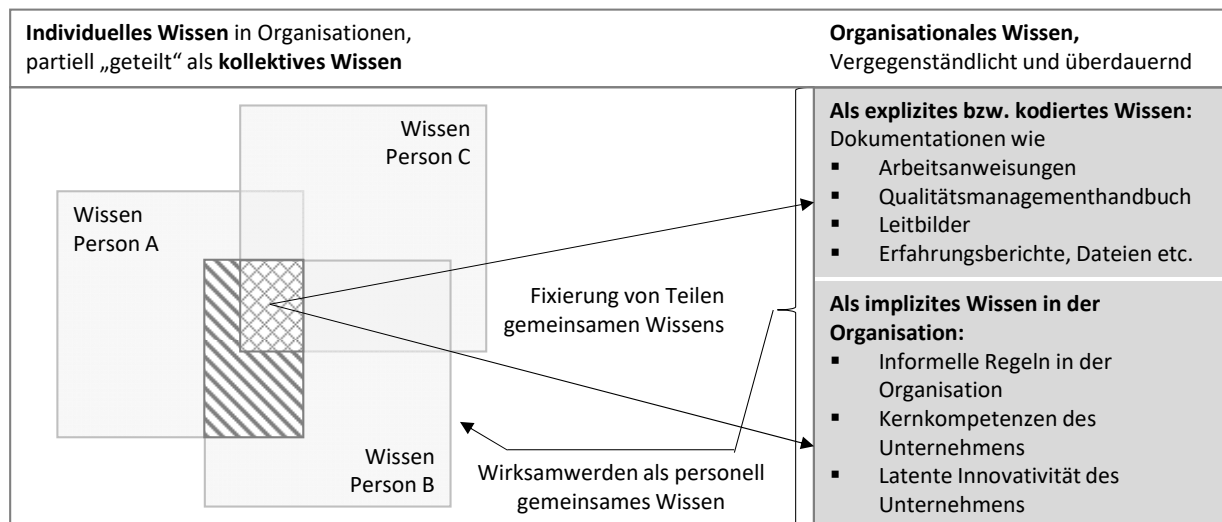


Abbildung 3-3: Handlungswissen von Individuen, Gruppen und Organisationen¹⁷⁷

¹⁷⁴ Vgl. Probst, Raub und Romhardt (2012), S. 23 f.

¹⁷⁵ Vgl. Cüppers (2006), S. 30.

¹⁷⁶ Vgl. Rathswohl (2014), S. 24.

¹⁷⁷ In Anlehnung an Hacker (1998), S. 379.

3.1.3.4 Kontext- und dekontext-bezogenes Wissen

Eine weitere Untergliederung von Wissen kann in kontext- und dekontext-bezogenes Wissen vorgenommen werden.¹⁷⁸

Kontext-bezogenes Wissen ist nur für einen bestimmten Anwendungsfall, wie einen bestimmten Gegenstand, einen bestimmten Vorgang oder eine bestimmte Tätigkeit, anwendbar. Ein Transfer von kontext-bezogenem Wissen auf einen anderen Sachverhalt oder eine andere Situation ist kompliziert und teilweise ausgeschlossen. Dekontext-bezogenes Wissen kann im Gegensatz dazu auf andere Bereiche übertragen werden. Es handelt sich dabei um übertragbares, theoretisches Wissen und hat dementsprechend nicht nur für einen bestimmten Anwendungsfall seine Gültigkeit.¹⁷⁹

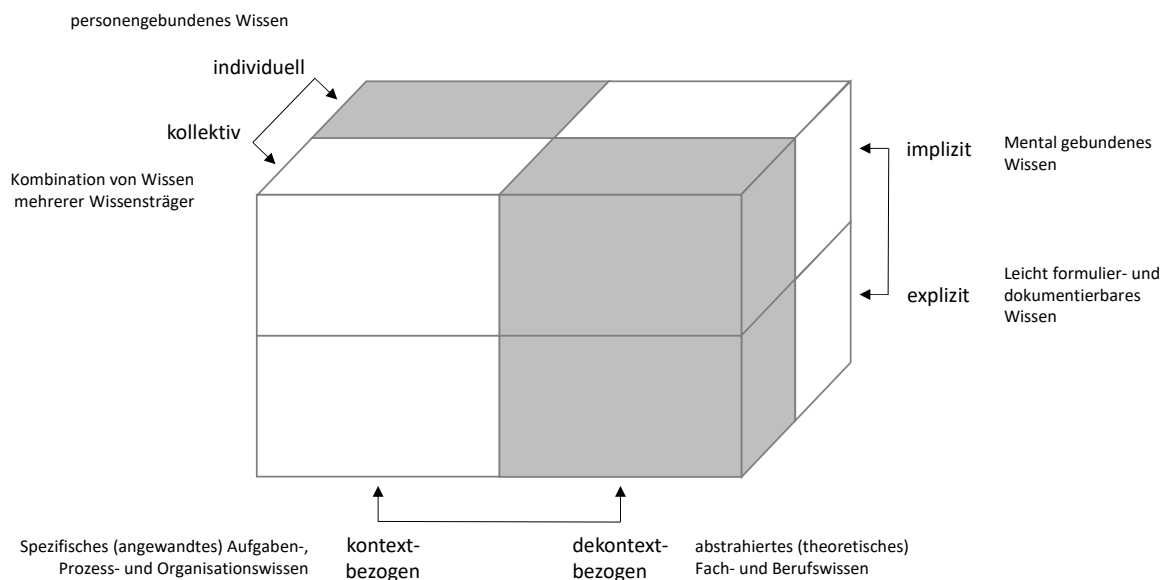


Abbildung 3-4: Zusammenhang der Wissensarten¹⁸⁰

3.2 Wissensmanagement

In den folgenden Unterkapiteln wird zunächst die dieser Arbeit zugrundeliegende Definition von dem Begriff *Wissensmanagement* vorgestellt, darauf folgen die Ausführungen zu den normativen Grundlagen zu diesem Thema sowie die Vorstellung aufgrund ihrer Relevanz ausgewählter Wissensmanagement-Modelle.

¹⁷⁸ Vgl. Rathswohl (2014), S. 25.

¹⁷⁹ Vgl. Decker, et al. (2005), S. 18.

¹⁸⁰ In Anlehnung an Decker, et al. (2005), S. 18.

3.2.1 Definition

Mit dem Begriff *Wissensmanagement* verhält es sich wie mit dem Begriff *Wissen*. Auch hierzu existiert eine Vielzahl an Ansichten aus unterschiedlichen Fachdisziplinen, deren Definitionen sich teilweise widersprechen.

Nach *Romhardt* bildet Wissensmanagement „ein integriertes Interventionskonzept, das sich mit den Möglichkeiten zur Gestaltung, Lenkung und Entwicklung der organisatorischen Wissensbasis befasst“.¹⁸¹

3.2.2 Normative Grundlagen

In den folgenden Kapiteln werden die normativen Grundlagen zum Thema *Wissensmanagement* basierend auf der DIN EN ISO 9001 *Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen* sowie der VDI-Richtlinie 5610 *Wissensmanagement im Ingenieurwesen: Grundlagen, Konzepte, Vorgehen* gelegt.

3.2.2.1 DIN EN ISO 9001 Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen

Eine der normativen Grundlagen in Deutschland zum Thema *Wissensmanagement* ist in der DIN EN ISO 9001:2015-11 *Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen* gegeben. Dem Thema wird dort das Kapitel 7.1.6 *Wissen der Organisation* gewidmet.

In der Norm werden die Organisationen zunächst allgemein aufgefordert, die für die Einrichtung, Umsetzung, Fortführung und kontinuierliche Weiterentwicklung eines Qualitätsmanagementsystems erforderlichen Ressourcen zu ermitteln und zur Verfügung zu stellen.¹⁸²

Für die Ressource *Wissen* im Speziellen wird in Kapitel 7.1.6 Folgendes gefordert:

„Die Organisation muss das Wissen bestimmen, das benötigt wird, um ihre Prozesse durchzuführen und um die Konformität von Produkten und Dienstleistungen zu erreichen. Dieses Wissen muss aufrechterhalten und in erforderlichem Umfang zur Verfügung gestellt werden. Beim Umgang mit sich ändernden Erfordernissen und Entwicklungstendenzen muss die Organisation ihr momentanes Wissen berücksichtigen und bestimmen, auf welche Weise jegliches notwendige Zusatzwissen und erforderliche Aktualisierungen erlangt oder darauf zugegriffen werden kann.“¹⁸³

Es wird jedoch nicht festgehalten, wie diese Anforderungen umzusetzen sind oder ein Wissensmanagement aufzubauen ist. Die Organisation hat demnach alle Möglichkeiten, diese

¹⁸¹ Romhardt (1998), S. 45.

¹⁸² Vgl. DIN 9001:2015-11, S. 25.

¹⁸³ DIN 9001:2015-11, S. 28.

Forderungen intern umzusetzen. *North, Brandner* und *Steininger* leiten aus diesen Anforderungen der Norm den folgenden Wissenskreislauf ab, der die Anwendung der Anforderungen aus der Norm für die Umsetzung veranschaulichen soll.¹⁸⁴

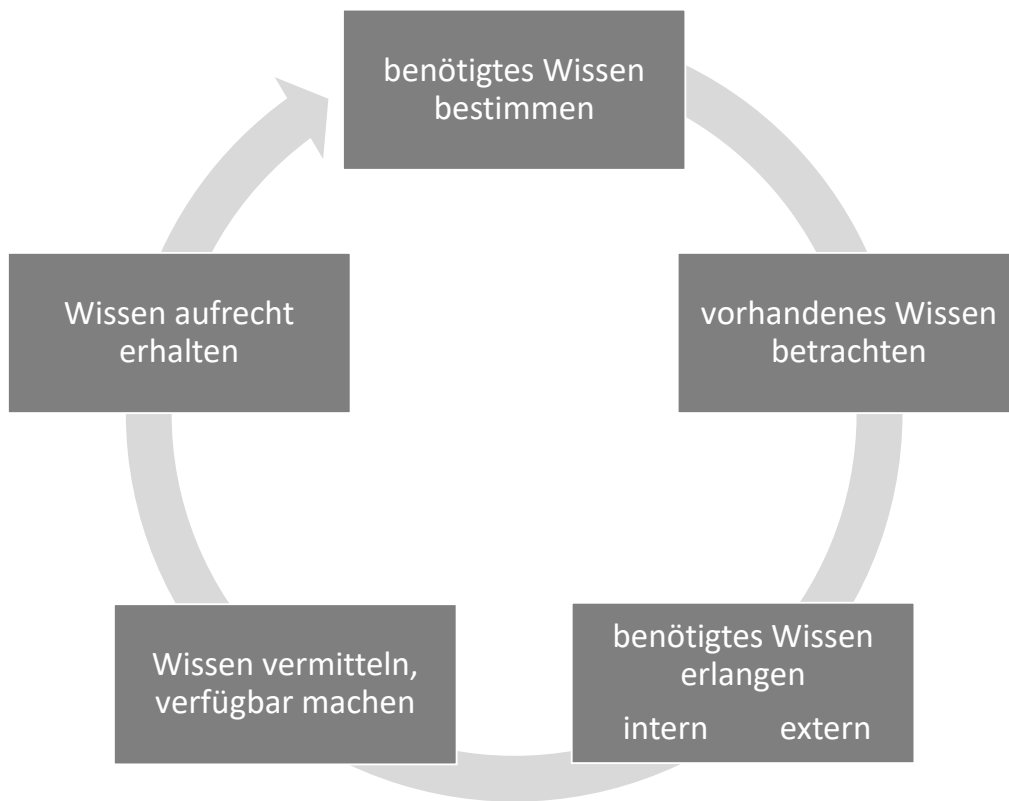


Abbildung 3-5: Wissenskreislauf¹⁸⁵

Der Wissenskreislauf verdeutlicht, dass es sich bei dem Wissensmanagement in einer Organisation nicht um eine einmalige Aufgabe, sondern vielmehr um einen andauernden Prozess handelt. Dieser besteht nach *North, Brandner* und *Steininger* aus den folgenden fünf Prozesselementen:¹⁸⁶

1. Benötigtes Wissen bestimmen.
2. Vorhandenes Wissen betrachten.
3. Benötigtes Wissen erlangen.
4. Wissen vermitteln und verfügbar machen.
5. Wissen aufrecht erhalten.

¹⁸⁴ Vgl. North, Brandner, Steininger (2016), S. 10 f.

¹⁸⁵ In Anlehnung an North, Brandner, Steininger (2016), S. 11.

¹⁸⁶ Vgl. North, Brandner, Steininger (2016), S. 10.

Im ersten Schritt soll das erforderliche Wissen bestimmt werden. Hierbei sollen jedoch nicht nur die Anforderungen der Kunden, sondern auch aller interessierten Parteien berücksichtigt werden. Darüber hinaus soll nicht nur das Wissen der Mitarbeiter herangezogen werden, sondern alles weitere verfügbare organisationseigene, -fremde, implizite und explizite Wissen.¹⁸⁷

Der zweite Schritt besteht in einem Soll-Ist-Vergleich zwischen dem benötigten und dem vorhandenen Wissen. Ergibt sich in diesem Vergleich eine Wissensdiskrepanz zwischen dem benötigten und dem vorhandenen Wissen, dann muss diese im Rahmen von Schritt drei geschlossen werden. Für diese Wissensbeschaffung gibt es in der Norm, in Kapitel 7.1.6 *Wissen der Organisation*, weiterführende Informationen in Anmerkung 2.¹⁸⁸

Das Wissen der Organisationen wird nach Wissen aus organisationseigenen und -fremden Quellen unterschieden. Beispiele für interne Quellen sind Informationen aus erfolgreichen Projekten, Erfahrungen, die durch Fehler gewonnen wurden, sowie die Dokumentation und der Austausch von nicht dokumentiertem Wissen. Bei externen Quellen handelt es sich hingegen beispielsweise um Normen, Tagungen oder den Wissenserwerb von externen Anbietern.¹⁸⁹

In dem von *North, Brandner* und *Steiniger* beschriebenen vierten Schritt geht es um die Vermittlung und die Zurverfügungstellung des neu gewonnenen Wissens. Ihrer Ansicht nach ist dieser Schritt stets zwingend notwendig nach der Generierung von neuem Wissen. Die Gewinnung des Wissens ist nicht ausreichend, es muss darüber hinaus in der Organisation verbreitet und angewendet werden. Zukünftig werden daher die Interaktionen zwischen Organisations- und Personalentwicklung in Verbindung mit Informations- und Kommunikationstechniken an Bedeutung gewinnen.¹⁹⁰

Der letzte Schritt im Wissenskreislauf resultiert aus der Forderung der Norm, das organisationale Wissen aufrechtzuerhalten. Hierzu müssen Prozesse festgelegt werden, die einerseits die Aufrechterhaltung des Wissens ermöglichen und andererseits vor dessen Verlust schützen. Für die Umsetzung ist es daher wichtig, Risiken zu identifizieren, die einen Wissensverlust initiieren, und Gegenmaßnahmen zu ergreifen. So sollten beispielsweise Mitarbeiter/-innen, die aufgrund ihrer Pensionierung aus der Firma ausscheiden, ihr Wissen rechtzeitig an jüngere Mitarbeiter/-innen weitergeben. Eine weitere Möglichkeit zur Konservierung des Wissens ist die Dokumentation.¹⁹¹

¹⁸⁷ Vgl. North, Brandner, Steininger (2016), S. 10 f.

¹⁸⁸ Vgl. North, Brandner, Steininger (2016), S. 11.

¹⁸⁹ Vgl. DIN 9001:2015-11, S. 28.

¹⁹⁰ Vgl. North, Brandner, Steininger (2016), S. 12.

¹⁹¹ Vgl. North, Brandner, Steininger (2016), S. 12.

3.2.2.2 VDI 5610 Wissensmanagement im Ingenieurwesen: Grundlagen, Konzepte, Vorgehen (2009)

Der Ausschuss *Wissensmanagement im Engineering* des Kompetenzfeldes Informationstechnik des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) hat die VDI-Richtlinie 5610 Blatt 1 *Wissensmanagement im Ingenieurwesen – Grundlagen, Konzepte, Vorgehen* im Jahr 2009 veröffentlicht.¹⁹²

Darin enthalten sind zunächst die Grundlagen zum Thema *Wissensmanagement* wie beispielsweise Begriffsdefinitionen, Ziele und Nutzen sowie Rahmenbedingungen und Gestaltungsbereiche. Darauf folgen die wesentlichen Elemente des Wissensmanagements, welche die Anforderungen an die Beteiligten, das Modell des Ingenieurwissens sowie den Einsatz von Methoden und Werkzeugen zum Management des Ingenieurwissens beinhalten. Darüber hinaus werden auch die Einführung und Anwendung von Wissensmanagement thematisiert. Hierzu wird das in der folgenden Abbildung dargestellte Phasenmodell zur Einrichtung und Etablierung eines Wissensmanagement-Prozesses in einem Unternehmen erläutert.

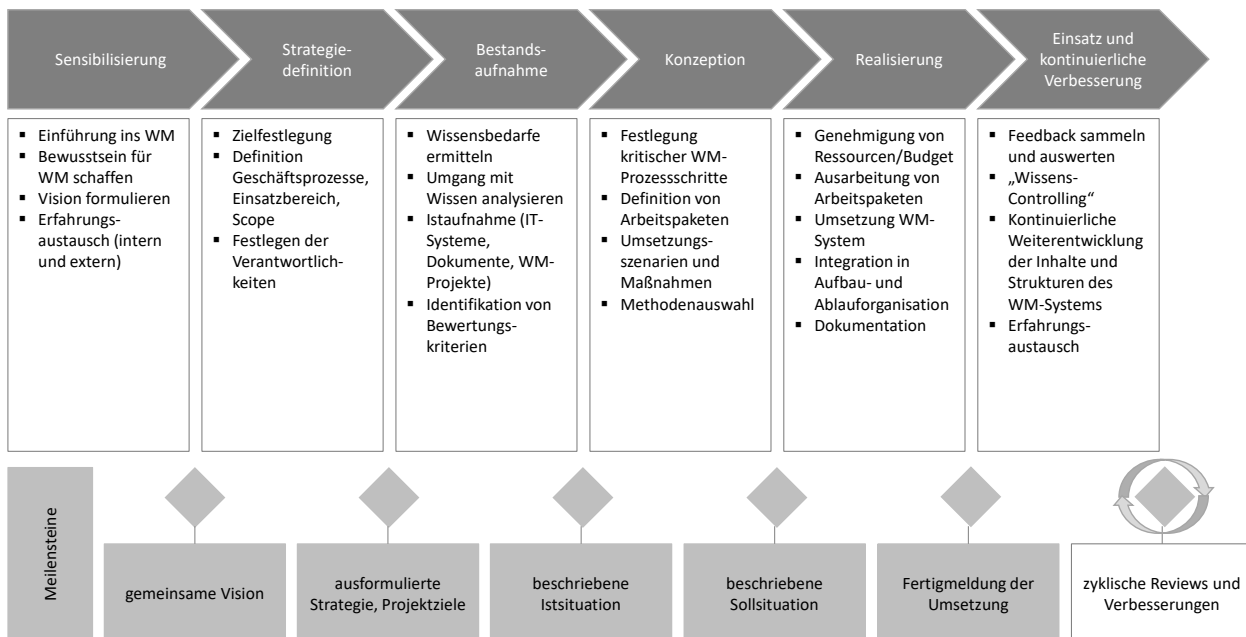


Abbildung 3-6: Phasenmodell zur Etablierung eines Wissensmanagement-Prozesses¹⁹³

In der Abbildung sind die sechs Phasen zur Einführung mit den jeweiligen Arbeitsaufgaben und Meilensteinen dargestellt. Diese sind die Phase der Sensibilisierung, der Strategie-

¹⁹² Vgl. VDI 5610 (2009), S. 1.

¹⁹³ In Anlehnung an VDI 5610 (2009), S. 24.

Definition, der Bestandsaufnahme, der Konzeption, der Realisierung sowie des Einsatzes und der kontinuierlichen Verbesserung.

In der ersten Phase der Sensibilisierung wird es als zielführend erachtet, die verschiedenen Personen aus den Führungsebenen der relevanten Organisationseinheiten für einen gemeinsamen Workshop zu versammeln. Hierbei sollen diese für das Thema *Wissensmanagement* zunächst sensibilisiert werden. Das Arbeitsergebnis dieses Treffens sollte eine gemeinsame Vision sein, die die einzelnen Personen in ihren Organisationseinheiten verteilen können.¹⁹⁴

In der darauffolgenden Phase der Strategie-Definition soll diese gemeinsame Vision präzisiert werden. Der Meilenstein dieser Phase soll ein Strategiepapier sein, welches unter anderem die Unternehmensziele zu diesem Thema, Verantwortlichkeiten sowie die Planung zur weiteren Vorgehensweise enthält.¹⁹⁵

In der Phase der Bestandsaufnahme geht es um die Erfassung des aktuellen Stands des Wissensmanagements in der Organisation sowie die Analyse der weiteren Erfordernisse. In der Richtlinie sind hierbei explizite und implizite Wissensobjekte aufgeführt. Bei expliziten Wissensobjekten handelt es sich exemplarisch um bereits vorliegende Dokumente, Pläne und Arbeitsanweisungen. Besonders wichtig ist jedoch die Erfassung der impliziten Wissensobjekte in einer Organisation wie die Kommunikationsstrukturen der Mitarbeiter oder Netzwerke. Zur Erfassung der Wissensobjekte in einer Organisation werden beispielhaft die folgenden Methoden aufgeführt: Beobachtung der Tätigkeiten in den Organisationseinheiten, Interviews und Evaluationen sowie unternehmensinterne Statistiken. Für die Durchführung dieser Bestandsaufnahme wird darauf hingewiesen, diese auf die wesentlichen Organisationseinheiten zu beschränken und vor der Durchführung zu analysieren, ob in der Organisation bereits Elemente des Wissensmanagements umgesetzt werden, ohne sie als diese zu identifizieren.¹⁹⁶

Im Rahmen der Konzeptionsphase werden auf Basis des Strategiepapiers und der Bestandsaufnahme konkrete Arbeitspakete zur Umsetzung des Wissensmanagements in der Organisation formuliert. Diese beinhalten die erforderlichen Arbeitsschritte, Vorgehensweisen und Methoden zur Einführung eines Wissensmanagements. Zur Umsetzung des erarbeiteten Konzeptes wird an dieser Stelle wieder ein Workshop mit den Führungskräften der betroffenen Organisationseinheiten empfohlen.¹⁹⁷

Zu Beginn der Realisierungsphase werden die Genehmigung und das Budget für die Durchführung der Maßnahmen erteilt. Weitergehend werden alle in der Konzeptionsphase

¹⁹⁴ Vgl. VDI 5610 (2009), S. 23.

¹⁹⁵ Vgl. VDI 5610 (2009), S. 23 ff.

¹⁹⁶ Vgl. VDI 5610 (2009), S. 25.

¹⁹⁷ Vgl. VDI 5610 (2009), S. 26.

festgelegten Arbeitspakete durchgeführt. Die Realisierungsphase endet mit dem Abschluss der Einführung aller erforderlichen Maßnahmen und Werkzeuge für die Umsetzung eines Wissensmanagement-Prozesses in der Organisation. Hervorzuheben sind in dieser Phase die Schulungen der Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen für den korrekten Umgang mit den eingeführten Methoden und Werkzeugen für das Wissensmanagement.¹⁹⁸

Nach der abschließenden Einführung eines Wissensmanagement-Prozesses in die Organisation beginnt die Phase des Einsatzes und der kontinuierlichen Verbesserung. Bei dieser Phase handelt es sich um einen kontinuierlichen Prozess in der Organisation, der von den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern eine begleitende Überwachung, Umsetzung und Weiterentwicklung des Wissensmanagements verlangt.¹⁹⁹

3.2.3 Wissensmanagement-Modelle

In der Literatur existiert eine Vielzahl von Wissensmanagement-Modellen, welche versuchen, eine systematische Anwendung für die Maßnahmen im Bereich des Wissensmanagements einzurichten. Nachfolgend werden Modelle des Wissensmanagements beschrieben, die sich als richtungsweisend in wissenschaftlichen Zusammenhängen sowie in der betrieblichen Praxis erwiesen haben.

3.2.3.1 Wissensmanagement-Modell nach Nonaka und Takeuchi

Nonaka und *Takeuchi* haben in ihrer Veröffentlichung *Die Organisation des Wissens* ein Konzept zur Schaffung von Wissen in Unternehmen vorgestellt. Die Grundlage dieses Konzeptes stellt die epistemologische Dimension der Untergliederung von Wissen nach *Polanyi* dar. Das Konzept von implizitem und explizitem Wissen wird von *Nonaka* und *Takeuchi* in den Kontext von Unternehmen gestellt und mit einer Dynamik in Form von Wissensspiralen versehen.²⁰⁰

Wissensschaffung

Das Konzept zur Schaffung von Wissen in Unternehmen teilt sich nach *Nonaka* und *Takeuchi* in zwei Dimensionen: die ontologische und die epistemologische Dimension. Die epistemologische Dimension von Wissen nach *Polanyi* gliedert sich darüber hinaus in explizites und implizites Wissen. Die ontologische Dimension hingegen gliedert sich in die Wissens-erzeugungsebenen: Individuum, Gruppe, Unternehmen und Unternehmensinteraktion.²⁰¹

¹⁹⁸ Vgl. VDI 5610 (2009), S. 26.

¹⁹⁹ Vgl. VDI 5610 (2009), S. 27.

²⁰⁰ Vgl. Nonaka, Takeuchi (2012)

²⁰¹ Vgl. Nonaka, Takeuchi (2012), S. 72.

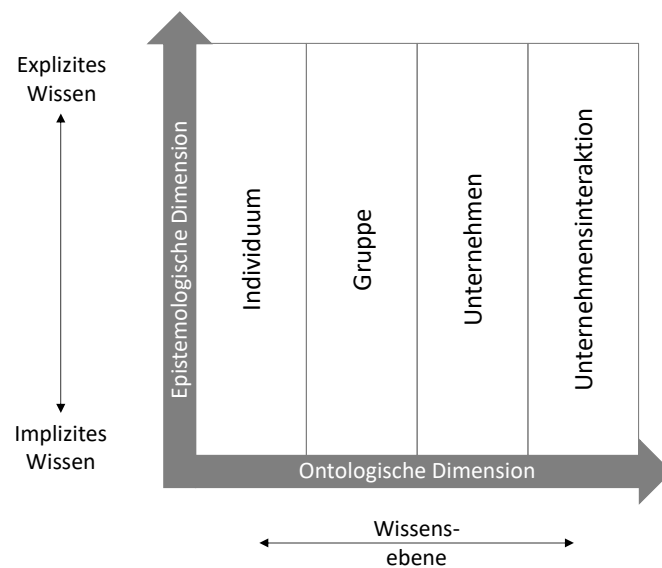


Abbildung 3-7: Die Dimensionen der Wissensschaffung²⁰²

Das Wissensmanagement-Modell von *Nonaka* und *Takeuchi* basiert auf Wissensspiralen, die durch Interaktion von implizitem Wissen mit explizitem Wissen und dessen Weitergabe in die nächste Wissenserzeugungsebene entstehen. *Nonaka* und *Takeuchi* unterscheiden hierbei vier Arten der Wissensumwandlung, die im Folgenden vorgestellt werden.²⁰³

Die vier Arten der Wissensumwandlung nach *Nonaka* und *Takeuchi*

Bei den vier Arten der Wissensumwandlung handelt es sich um die Sozialisation, Externalisierung, Internalisierung und Kombination, die jeweils durch Umwandlung von implizitem beziehungsweise explizitem Wissen entstehen.²⁰⁴ Diese vier Arten der Wissensumwandlung sind in der folgenden Abbildung 3-8 dargestellt.

²⁰² In Anlehnung an Nonaka, Takeuchi (2012), S. 73.

²⁰³ Vgl. Nonaka, Takeuchi (2012), S. 72 f.

²⁰⁴ Vgl. Nonaka, Takeuchi (2012), S. 78 f.

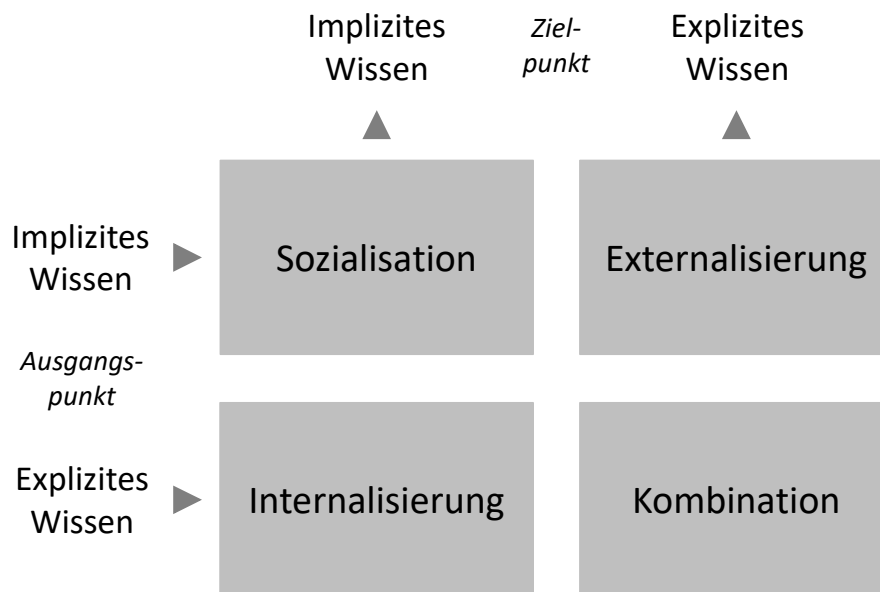


Abbildung 3-8: Vier Arten der Wissensumwandlung nach Nonaka und Takeuchi ²⁰⁵

- Sozialisation

Die Sozialisation beschreibt einen Erfahrungsaustausch von implizitem Wissen zwischen Individuen, so gibt der Meister beispielsweise seine Erfahrungen an seinen Lehrling weiter. Eine wichtige Grundlage der Sozialisation sind gemeinsame Erfahrungen, ohne diese ist der Kontext des weitergegebenen Wissens nicht richtig einzuordnen. Implizites Wissen wird vor allem durch Nachahmung, Beobachtung und Praxiserfahrung vermittelt.²⁰⁶

- Externalisierung

Die Umwandlung von implizitem in explizites Wissen wird als Externalisierung bezeichnet. Implizites Wissen wird in expliziten Konzepten ausgedrückt, dies geschieht anhand von Analogien, Modellen, Dokumenten oder Hypothesen. Das Wissen wird so unabhängig vom Individuum und für das Unternehmen allgemein verwendbar.²⁰⁷

- Kombination

Die Kombination stellt die Verbindung von neu gewonnenem explizitem Wissen mit bereits vorhandenem explizitem Wissen dar. Das wiederum führt zur Verbindung verschiedener Wissensbereiche im Unternehmen. Diese Umwandlung des Wissens wird durch Datenbanken und Intranets im Unternehmen unterstützt. Die Zusammenführung

²⁰⁵ In Anlehnung an Nonaka, Takeuchi (2012), S. 79.

²⁰⁶ Vgl. Nonaka, Takeuchi (2012), S. 80 f.

²⁰⁷ Vgl. Nonaka, Takeuchi (2012), S. 81 ff.

expliziten Wissens sowie dessen Ordnung und Systematisierung in Datenbanken kann neues Wissen generieren.²⁰⁸

- Internalisierung

Die Umwandlung von explizitem zu implizitem Wissen wird Internalisierung genannt. Hierfür wird das explizite Wissen in Dokumenten oder Handbüchern festgehalten und dem Prinzip *learning-by-doing* folgend durch Umsetzung der Mitarbeiter/-innen im Unternehmen in implizites Wissen umgesetzt. Wichtig hierfür ist die wiederholte Umsetzung der Prozesse. Bei der Internalisierung sind entgegen der Sozialisierung keine Beobachtung anderer Individuen bzw. eine gemeinsame Erfahrungsbasis erforderlich.²⁰⁹

Die Wissensspirale

Die vier betrachteten Arten der Wissensumwandlung beschränken sich auf die epistemologische Dimension der Wissensschaffung. Das Modell der Wissensspirale beinhaltet jedoch auch die ontologische Dimension der Wissensschaffung, da das Wissen nicht einfach so entsteht, sondern von den Individuen bzw. den Mitarbeiter/-innen eines Unternehmens eingeführt wird. Dieses implizite Wissen der Individuen wird durch die beschriebenen Umwandlungsarten im Unternehmen durch die verschiedenen ontologischen Dimensionen vom Individuum zur Unternehmensinteraktion hin weiterentwickelt und angereichert. Dieser beschriebene Prozess ist in der folgenden Abbildung 3-9 dargestellt. Das Wissen eines Individuums im Unternehmen wird so für das ganze Unternehmen nutzbar und das Wissen des Unternehmens wird wiederum jedem Individuum zur Verfügung gestellt.

Abbildung 3-9: Spirale der Wissensschaffung im Unternehmen²¹⁰

3.2.3.2 Bausteine des Wissensmanagements nach Probst, Raub und Romhardt

Probst, Raub und *Romhardt* haben in Zusammenarbeit mit verschiedenen Unternehmen ein Wissensmanagement-Modell entwickelt, welches Führungskräften Methoden zur Verfügung stellen soll, um den Umgang mit Wissen zu verbessern.²¹¹ Dieses Modell basiert auf sechs operativen Bausteinen, die ein reines Konzept des Wissensmanagements zu einem Kreislauf vervollständigen. Die beiden strategischen Bausteine bilden darüber hinaus die Voraussetzung für Eingriffe in den operativen Bereich.²¹² Die Kernprozesse des Wissensmanagements stehen in einer mehr oder weniger starken Beziehung zueinander und

²⁰⁸ Vgl. Nonaka, Takeuchi (2012), S. 85 ff.

²⁰⁹ Vgl. Nonaka, Takeuchi (2012), S. 87 ff.

²¹⁰ In Anlehnung an Nonaka, Takeuchi (2012), S. 92.

²¹¹ Vgl. Probst, Raub, Romhardt (2012), S. 29.

²¹² Vgl. Probst, Raub, Romhardt (2012), S. 32 f.

beeinflussen sich gegenseitig, wie in der folgenden Abbildung 3-10 dargestellt. Eingriffe in einzelne Kernprozesse haben demnach auch immer Auswirkungen auf andere Kernprozesse und sollten aus diesem Grund nicht isoliert betrachtet werden.²¹³

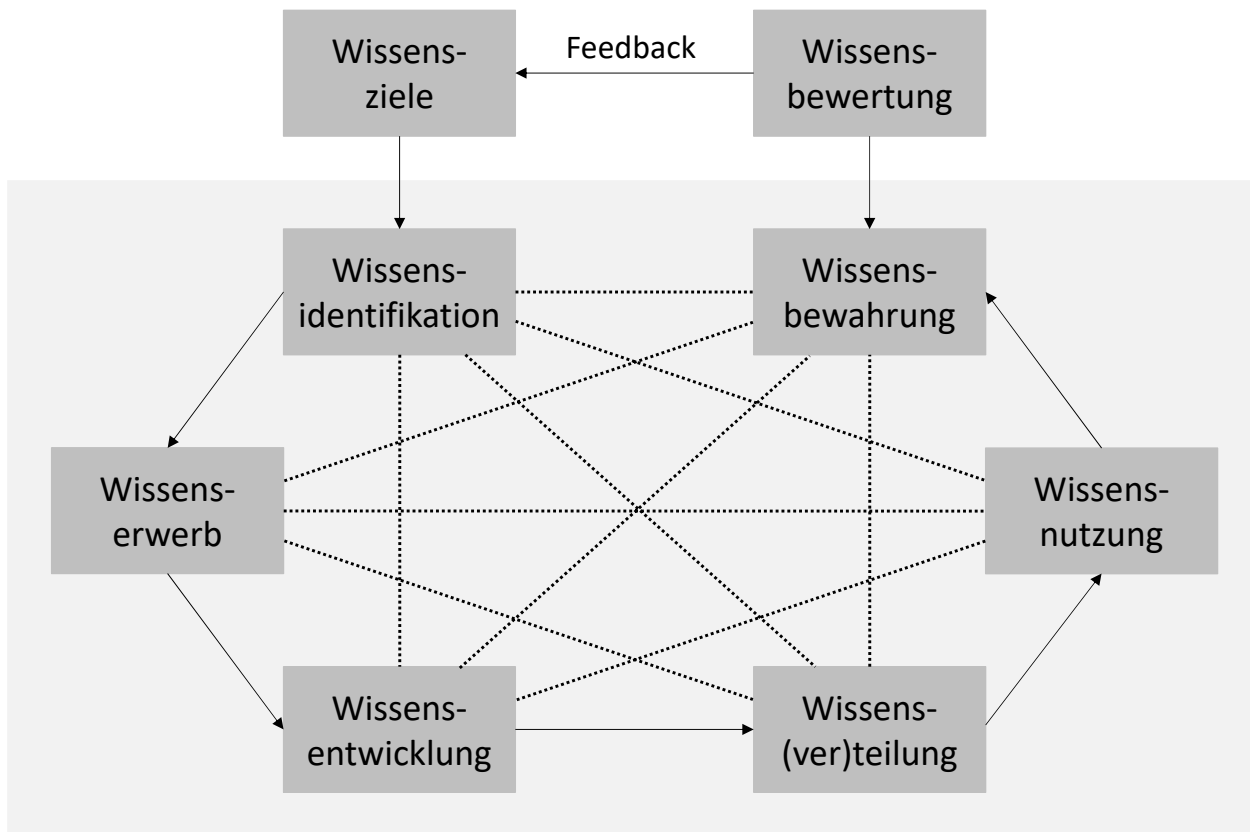


Abbildung 3-10: Bausteine des Wissensmanagements nach Probst, Raub und Romhardt²¹⁴

Im Folgenden werden die einzelnen Bausteine des Wissensmanagement-Modells nach *Probst, Raub und Romhardt* genauer erläutert.

- Wissensziele

Wissensziele geben den Kurs für das Wissensmanagement und die Maßnahmen im Unternehmen vor. Normative Wissensziele richten sich dabei an eine wissensorientierte Unternehmenskultur, die ein effektives Wissensmanagement ermöglicht. Strategische Wissensziele benennen den notwendigen Bedarf an Kompetenzen und identifizieren das organisationale Kernwissen eines Unternehmens. Operative Wissensziele konkretisieren die normativen und strategischen Ziele, um eine Weiterführung des Wissensmanagements über die strategische Ebene in einem Unternehmen hinaus zu gewährleisten. Die operativen

²¹³ Vgl. Probst, Raub, Romhardt (2012), S. 30.

²¹⁴ In Anlehnung an Probst, Raub, Romhardt (2012), S. 34.

Ziele konkretisieren somit die Realisierung des Wissensmanagements in einem Unternehmen.²¹⁵

- Wissensidentifikation

Die Wissensidentifikation dient der Schaffung von Transparenz über das interne und externe, vorhandene Wissen in Form von Daten, Informationen und Fähigkeiten eines Unternehmens.²¹⁶

- Wissenserwerb

Im Rahmen des Wissenserwerbs sollen bisher nicht genutzte, externe Quellen von Wissen, wie beispielsweise Beziehungen zu Kunden oder Lieferanten, effizienter ausgeschöpft werden. Darüber hinaus kann Wissen, welches ein Unternehmen nicht eigenständig entwickeln kann, auch durch die Einbeziehung von externen Experten oder besonders fortschrittlichen Unternehmen erworben werden.²¹⁷

- Wissensentwicklung

Ergänzend zum Baustein *Wissenserwerb* dient die Wissensentwicklung, deren Aufgaben in der internen Neuentwicklung von Fähigkeiten, Produkten, Ideen und Prozessen bestehen. Die Entwicklung von neuem Wissen sollte sich hierbei nicht nur auf die klassischen Elemente wie die Forschung und Entwicklung beschränken, sondern auch auf alle anderen Bereiche des Unternehmens ausgeweitet werden.²¹⁸

- Wissens(ver)teilung

Nachdem Wissen erworben und entwickelt wurde, beschäftigt sich dieser Baustein mit der (Ver-)Teilung des Wissens im Unternehmen. Dabei soll vor allem nur isoliert vorhandenes Wissen für das gesamte Unternehmen nutzbar gemacht werden. Besondere Beachtung sollte hierbei die Optimierung der Wissens(ver)teilungsprozesse erfahren. Ziel ist es nicht, jedem das komplette Wissen des Unternehmens zur Verfügung zu stellen, sondern nur das benötigte Wissen.²¹⁹

- Wissensnutzung

²¹⁵ Vgl. Probst, Raub, Romhardt (2012), S. 33.

²¹⁶ Vgl. Probst, Raub, Romhardt (2012), S. 31.

²¹⁷ Vgl. Probst, Raub, Romhardt (2012), S. 31.

²¹⁸ Vgl. Probst, Raub, Romhardt (2012), S. 31.

²¹⁹ Vgl. Probst, Raub, Romhardt (2012), S. 32.

Damit das Wissensmanagement optimal funktionieren kann, muss das vorhandene und verteilte Wissen möglichst effektiv genutzt werden. Hierfür gilt es, Hindernisse im Umgang mit unternehmensinternem und -externem Wissen zu beseitigen und die Anwendung von wichtigen Fähigkeiten und Wissens-elementen zu sichern.²²⁰

- Wissensbewahrung

Der Baustein der Wissensbewahrung dient der zielgerichteten Auswahl, Speicherung und regelmäßigen Überarbeitung von wertvollem Wissen. Dabei ist besonders auf die Auswahl eines geeigneten Speichermediums zu achten. Im Zuge von Restrukturierungen innerhalb eines Unternehmens kann sonst Wissen abhandenkommen.²²¹

- Wissensbewertung

Der Baustein der Wissensbewertung stellt die Feedbackfunktion des Wissensmanagement-Modells nach *Probst, Raub* und *Romhardt* dar. Hierzu werden Verfahren zur Messung der Erreichung der normativen, strategischen und operativen Ziele erarbeitet. Diese sind notwendig, um gegebenenfalls rechtzeitig Maßnahmen zum Gegensteuern zu ergreifen.²²²

²²⁰ Vgl. Probst, Raub, Romhardt (2012), S. 32.

²²¹ Vgl. Probst, Raub, Romhardt (2012), S. 32.

²²² Vgl. Probst, Raub, Romhardt (2012), S. 33.

3.3 Wissensmanagement in Bauunternehmen

Nachdem im vorherigen Unterkapitel die Wissensmanagement-Modelle im Allgemeinen vorgestellt wurden, wird in diesem Kapitel näher auf das Wissensmanagement in Bauunternehmen im Speziellen eingegangen. Hierzu werden verschiedene Doktorarbeiten aus diesem Themenkomplex vorgestellt, die Wissensmanagementansätze für verschiedene Unternehmensgrößen entwickelt haben.

3.3.1 Projektbasiertes Prozessmodell für ereignisorientiertes Wissensmanagement in mittleren und größeren Bauunternehmen nach *Schmidle*

Das projektbasierte Prozessmodell für ereignisorientiertes Wissensmanagement nach *Schmidle* ist für mittlere und große Bauunternehmen erstellt worden. Dieses Wissensmanagementprozessmodell soll in den Bauunternehmen einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess einführen. Die Bauunternehmen sollen aus Erfolgen, Misserfolgen sowie Fehlern vorhergehender Bauprojekte für kommende Bauprojekte lernen.²²³

Das von *Schmidle* entwickelte Wissensmanagementprozessmodell kann in die folgenden fünf Bereiche untergliedert werden:

- Wissensidentifikation und Bewertung
- Wissensbereitstellung und Wissensverteilung
- Organisationale Wissensnutzung und Wissensbewahrung
- Projektbezogene Wissensnutzung
- Steuerung der Wissensmanagementprozesse und Wissensbewertung²²⁴

Das Wissensmanagementprozessmodell nach *Schmidle* mit den aufgeführten fünf Bereichen und deren Zusammenhänge ist in der folgenden Abbildung 3-11 dargestellt.

²²³ Vgl. Schmidle (2004), S. 79 f.

²²⁴ Vgl. Schmidle (2004), S. 80.

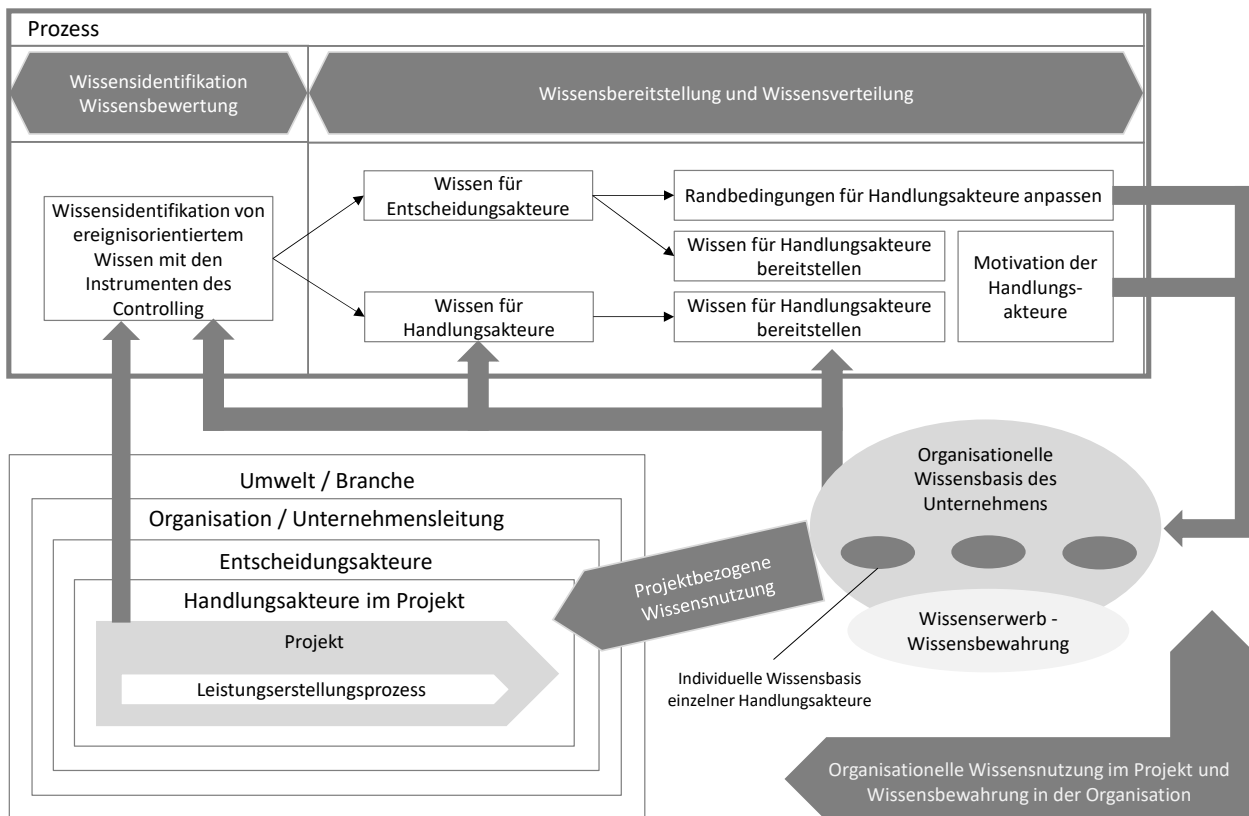


Abbildung 3-11: Wissensmanagementprozessmodell für ereignisorientiertes Wissen nach Schmidle²²⁵

- Wissensidentifikation und Bewertung

Das Wissen wird aus abgeschlossenen Bauprojekten mittels Controllinginstrumenten gefiltert und hinsichtlich seiner Wichtigkeit für Folgeprojekte eingeordnet. Die Bewertung des Wissens erfolgt im Hinblick auf seine Übertragbarkeit für andere Projekte. Wissen, das an enge Rahmenbedingungen gebunden ist, kann nur schwer auf Folgeprojekte transferiert werden.²²⁶

- Wissensbereitstellung und Wissensverteilung

Nach der Identifikation und Bewertung des Wissens hinsichtlich seiner Wiederverwendbarkeit muss dieses noch an die Mitarbeiter/-innen verteilt bzw. für diese bereitgestellt werden. Schmidle unterscheidet hierfür zwei Gruppen von Mitarbeiter/-innen in Unternehmen, die Entscheidungs- und die Handlungsakteure. Das identifizierte und aufbereitete Wissen muss den Zielgruppen entsprechend angepasst und verteilt werden. Das Wissen kann hierbei direkt Handlungen einleiten oder für Umstrukturierungen in der Organisation sorgen.²²⁷

²²⁵ In Anlehnung an Schmidle (2004), S. 81.

²²⁶ Vgl. Schmidle (2004), S. 82 f.

²²⁷ Vgl. Schmidle (2004), S. 83.

- Organisationale Wissensnutzung und Wissensbewahrung

Das gefilterte und aufbereitete Wissen wird den Mitarbeiter/-innen im Unternehmen zur Verfügung gestellt. Durch verschiedenartige formelle und informelle Netzwerke wird das Wissen zwischen den Mitarbeiter/-innen im Unternehmen weiter getragen. Dadurch wird das Wissen zum Wissen der Organisation und so für die weitere Anwendung bewahrt.²²⁸

- Projektbezogene Wissensnutzung

Das vom Unternehmen bereitgestellte bzw. an die Mitarbeiter/-innen verteilte Wissen wird durch Handlungsakteure in neue Projekte eingebunden. Die Ergebnisse dieser neuen Projekte werden wiederum ausgewertet und fließen in den Kreislauf des Wissensmanagements ein.²²⁹

- Steuerung der Wissensmanagementprozesse und Wissensbewertung

Der Wissensmanagementprozess muss kontinuierlich überwacht und hinsichtlich seiner Effektivität und Relevanz im Hinblick auf die Unternehmensziele bewertet werden. Aus dieser Überwachung kann sich ein Bedarf zur Nachsteuerung ergeben.²³⁰

3.3.2 Prozessmodell für projekt- und erfolgsorientiertes Wissensmanagement in Bauunternehmen nach *Borner*

Das Prozessmodell für projekt- und ereignisorientiertes Wissensmanagement nach *Borner* konzentriert sich auf die Abwicklung von Großprojekten innerhalb von Bauunternehmen, die als General- oder Totalunternehmer auftreten. Aus der Analyse solcher Großprojekte hat *Borner* Erfolgsfaktoren gefiltert, die für den Erfolg gleichartiger Folgeprojekte Anwendung finden sollen.²³¹ Mit dem Prozessmodell nach *Borner* soll ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess (KVP) im Unternehmen eingeleitet werden.²³²

Das Prozessmodell zur Umsetzung eines Wissensmanagements ist im Kern untergliedert in eine Ressourcenebene, eine Organisationsebene sowie eine Ebene der Wissensmanagement-Prozesse. Zur Berücksichtigung der Unternehmensumgebung ist jedoch noch die Berücksichtigung der Unternehmenszielebene, der dynamischen Marktphasenebene, der strategischen Entwicklungsebene und der Projektabwicklungs- und Leistungserstellungsebene erforderlich. Diese aufgeführten Ebenen und deren Zusammenhänge sind in der folgenden Abbildung 3-12 abgebildet und werden im Folgenden erläutert.

²²⁸ Vgl. Schmidle (2004), S. 83 f.

²²⁹ Vgl. Schmidle (2004), S. 84

²³⁰ Vgl. Schmidle (2004), S. 84.

²³¹ Vgl. Borner (2005)

²³² Vgl. Borner (2005), S. XV.



Abbildung 3-12: Modellkonzept des Erfolgsfaktoren-basierten Projektwissensmanagements nach *Borner*²³³

²³³ In Anlehnung an Borner (2005), S. 89.

- Unternehmenszielebene

Die Unternehmensführung überprüft auf der Unternehmenszielebene die Zielerreichung eigens gesteckter unternehmerischer und projektbezogener Erfolgsziele für die Projektabwicklungs- und Leistungserstellungsebene. Aus den Ergebnissen werden weitere Schritte des Unternehmens abgeleitet.²³⁴

- Dynamische Marktphasenebene

Die dynamische Marktphasenebene stellt „den Lebenszyklus von Marktleistungen“²³⁵ dar. Dieser Lebenszyklus umfasst die Phasen der Entwicklung, der Einführung, der Expansion, der Reife sowie der Degeneration.

- Projektabwicklungs- und Leistungserstellungsebene

Auf der Ebene der Projektabwicklungs- und Leistungserstellung ist es die Aufgabe der Akteure, die von der Unternehmensführung gesetzten Erfolgsziele im Rahmen der einzelnen Projekte zu erreichen.

- Ebene der Wissensmanagement-Prozesse

Auf der Ebene der Wissensmanagement-Prozesse werden die abgeschlossenen Projekte in der Initialisierungsphase analysiert, um sogenannte „Best-Practice-Erfolgsfaktoren“ für Folgeprojekte zu definieren. Darüber hinaus werden die gesammelten Erfahrungen in Form von „Best-Practice-Wissen“ für Folgeprojekte aufbereitet und an die Ressourcenebene weitergegeben. In der Nutzungsphase der Wissensmanagement-Prozesse wird das aufbereitete Wissen für Folgeprojekte genutzt, um in der Phase der Akquise und Durchführung von Projekten die entsprechenden Erfolgsfaktoren einzusetzen. Das „Best-Practice-Wissen“ muss in regelmäßigen Abständen auf seine Aktualität sowie Wirksamkeit in Bezug auf die Erreichung von Projektzielen hin überprüft werden.²³⁶

- Ressourcenebene

Die Ressourcenebene ist untergliedert in die drei Wissensebenen, in denen das Wissen eine Auswirkung auf den Unternehmenserfolg hat. Die erste Wissensebene stellt die relevanten Erfolgsfaktoren für den Wettbewerbs- und Projekterfolg dar. Die zweite Wissensebene beinhaltet die Maßnahmen und Vorgehensweisen, die die Akteure ergreifen können, um die Erfolgsfaktoren zu steuern. Um diese Maßnahmen und Vorgehensweisen durchzuführen, benötigen die Akteure Informationen, Kompetenzen und Erfahrungen, welche die dritte Wissensebene darstellen.²³⁷

²³⁴ Vgl. Borner (2005), S. 90.

²³⁵ Borner (2005), S. 90.

²³⁶ Vgl. Borner (2005), S. 90.

²³⁷ Vgl. Borner (2005), S. 84 f.

- Strategische Entwicklungsebene

Auf der strategischen Entwicklungsebene werden neue Innovationen in Bezug auf ihre Leistungen entwickelt, damit sie rechtzeitig auf die Degenerationsphase von Leistungen vorbereitet sind und entsprechend reagieren können.²³⁸

- Organisationsebene

Die Akteure auf der Organisationsebene in diesem Prozessmodell sind Entscheidungsakteure, Handlungsakteure sowie eine Organisationsstelle für den kontinuierlichen Verbesserungsprozess, die im Unternehmen speziell eingerichtet werden sollte.²³⁹

3.3.3 Wissensmanagement in einem Baukonzern nach *Cüppers*

Das von Cüppers entwickelte Projektwissensmanagement ist ausgerichtet auf Unternehmensstrukturen von Baukonzernen und konzentriert sich auf die Angebots- und Auftragsphase von Bauprojekten.²⁴⁰

Die Basis des Projektwissensmanagements nach Cüppers bilden im Wesentlichen drei Instrumente, die im Folgenden näher erläutert werden²⁴¹:

- Wissensorientierte Projektgespräche

Die wissensorientierten Projektgespräche sollen hauptsächlich zur Verteilung des Wissens im Unternehmen und zur Sicherung der Erfahrungen für das Unternehmen dienen. Sie unterstützen durch den Austausch zwischen den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern auch indirekt weitere Bausteine des Wissensmanagements, wie beispielsweise den Wissenserwerb und die Wissensnutzung. Cüppers unterscheidet bei den wissensorientierten Projektgesprächen sechs verschiedene Arten, die in der Angebots- und Ausführungsphase zu unterschiedlichen Zeitpunkten zum Einsatz kommen. Zu diesen Projektgesprächen gehören in der Angebotsphase das Kalkulationsstart- sowie das Kalkulationsschlussgespräch. Im Falle der Auftragserteilung finden in der Auftragsphase das Projektübergabegespräch, Projektteamgespräche, in Abhängigkeit des Projektes Projektsteuergespräche sowie das Projektabschlussgespräch statt.²⁴²

Ergänzend zu dem beschriebenen projektabhängigen Austausch finden im Unternehmen Gespräche zum projektunabhängigen Austausch zwischen den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern statt.²⁴³

²³⁸ Vgl. Borner (2005), S. 90.

²³⁹ Vgl. Borner (2005), S. 91 und 183 f.

²⁴⁰ Vgl. Cüppers (2006), S. 82.

²⁴¹ Vgl. Cüppers (2006), S. 86.

²⁴² Vgl. Cüppers (2006), S. 88.

²⁴³ Vgl. Cüppers (2006), S. 88.

- Projektdokumentation

Der Inhalt und Umfang der Projektdokumentation sollen im Rahmen der Projektgespräche abgestimmt werden und zu deren Ergänzung dienen. In der Regel soll die Projektdokumentation eine kurze Beschreibung des Projektes, Lessons Learned, Best Practices, Qualitätsabweichungsberichte, Organisationsabläufe sowie die Kontaktdaten der beteiligten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter umfassen. Zur Speicherung der Dokumentation soll eine Plattform im Unternehmen wie beispielsweise in Form eines Intranets genutzt werden. Die Erfahrungen aus den verschiedenen Projekten können so zentral gesammelt und allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern zur Verfügung gestellt werden.²⁴⁴ Um das Wissen für die Nutzerinnen und Nutzer strukturiert abzuspeichern und Zusammenhänge zwischen den gespeicherten Informationen herzustellen, schlägt *Cüppers* den Einsatz von Taxonomien und Ontologien vor. Erst wenn das Wissen für die Nutzerinnen und Nutzer leicht auffindbar und schnell nutzbar ist, dann werden ein Intranet und Projektdokumentationen auch intensiv genutzt.²⁴⁵

- Mitarbeiterprofile

Die Mitarbeiterprofile sollen zur Transparenz der Kompetenzen der einzelnen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowie der sinnvollen Zusammensetzung von Projektteams dienen. Inhalt der Mitarbeiterprofile sind daher über die Kontakt- und Personaldaten hinaus auch die personalen, sozial-kommunikativen sowie Fach- und Methodenkompetenzen der einzelnen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Mit den Mitarbeiterprofilen können so schneller Experten für bestimmte Themengebiete identifiziert werden.²⁴⁶

Die Integration der drei erläuterten Instrumente des Projektwissensmanagements wird in der folgenden Abbildung 3-13 den verschiedenen Phasen einer Bauwerksrealisierung zugeordnet.

²⁴⁴ Vgl. *Cüppers* (2006), S. 96 ff.

²⁴⁵ Vgl. *Cüppers* (2006), S. 150 ff.

²⁴⁶ Vgl. *Cüppers* (2006), S. 101 ff.

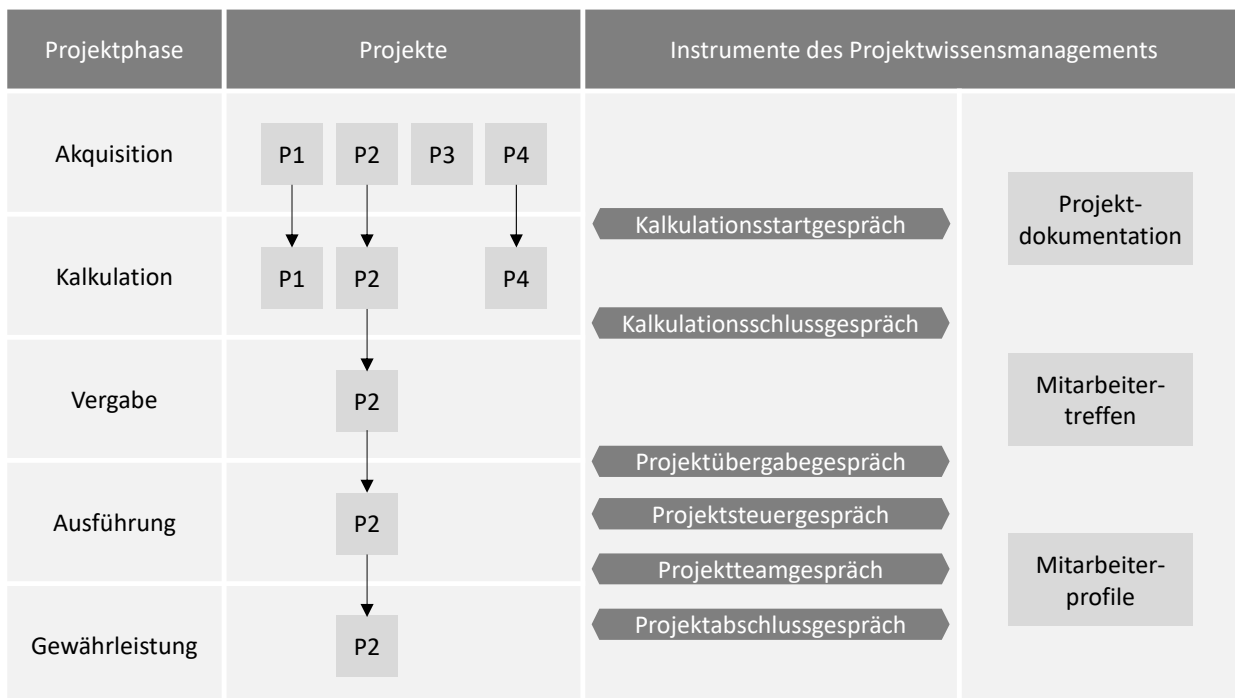


Abbildung 3-13: Integration der Instrumente in die Projektphasen der Bauwerksrealisierung nach Cüppers²⁴⁷

Bei der Einführung des Wissensmanagementsystems unterscheidet Cüppers die Phasen Bestandaufnahme und Analyse, Planung, Implementierung sowie Kontrolle. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sind in diese Prozesse frühzeitig einzubinden, um Widerstände zu vermeiden. Die Einführung eines erfolgreichen Wissensmanagements erfordert die Mitarbeit und Akzeptanz aller Unternehmensangehörigen.²⁴⁸

3.3.4 Modell zur Implementierung eines Wissensmanagement-Systems in kleinen und mittleren Bauunternehmen nach Rathswohl

Rathswohl hat ein Modell zur Umsetzung eines Wissensmanagement-Systems in kleinen und mittleren Bauunternehmen entwickelt. Dieses umfasst das Implementierungs-Modell *WMS-KMBU* (Wissensmanagement-System für kleine und mittlere Bauunternehmen) sowie das dazugehörige Werkzeug *WiMa-Tutorial* (Wissensmanagement-Tutorial).

Das Implementierungs-Modell *WMS-KMBU* dient zur stufenweisen Umsetzung eines Wissensmanagements, das die Rahmenbedingungen von kleinen und mittleren Bauunternehmen berücksichtigt und in fünf Phasen untergliedert ist (siehe Abbildung 3-14).

²⁴⁷ In Anlehnung an Cüppers (2006), S. 106.

²⁴⁸ Vgl. Cüppers (2006), S. 160 ff.

Vorbereitung	Phase 1			
	Vorbereitung der Implementierung des Wissensmanagement-Systems			
	Phase 1.1	Initiierung		
	Phase 1.2	Rahmenbedingungen aufstellen		
	Phase 1.3	Sensibilisierung und Motivation		
Analyse	Phase 2			
	WM-bezogene Analyse des Bauunternehmens			
	Phase 2.1	Analyse der WM-Fähigkeiten		
	Phase 2.2	Ermittlung des Ist-Zustandes		
Umsetzung	Phase 3		Phase 4	
	Konzeption des Wissensmanagement-Systems		Implementierung von Methoden (M) und Instrumenten (I)	
	Phase 3.1	Festlegen der WM-Strategie	Phase 4.1	Optimierung von vorhandenen M + I
	Phase 3.2	Festlegen der Wissensziele	Phase 4.2	Auswahl von neuen M + I
	Phase 3.3	Identifikation der Wissenskultur		
Überprüfung	Phase 5			
	Kontinuierliche Prüfung des Wissensmanagement-Systems			
	Phase 5.1	Kontrolle der Implementierung der M + I	Phase 5.2	Überprüfung des implementierten WMS

Abbildung 3-14: Aufbau des Implementierungs-Modells *WMS-KMBU* nach *Rathswohl*²⁴⁹

- Phase 1: *Vorbereitung der WMS-Implementierung*

Diese Phase wird genutzt, um die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf die Einführung eines Wissensmanagementsystems vorzubereiten. Diese sollen frühzeitig in die Prozesse

²⁴⁹ In Anlehnung an Rathswohl (2014), S. 126

miteinbezogen werden, um Widerständen vorzubeugen. Hierzu werden die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter über die bevorstehenden Veränderungen im Unternehmen informiert.²⁵⁰

- Phase 2: *WM-bezogene Analyse des KMBU*

In der zweiten Phase des Implementierungs-Modells werden die Kompetenzen des Unternehmens im Bereich Wissensmanagement sowie das vorhandene Wissen im Unternehmen ermittelt. Hierzu wird unter anderem der bisherige Umgang mit Wissen und Informationen sowie dessen Weitergabe analysiert. Darüber hinaus sollen Wissenslücken im Unternehmen aufgedeckt werden, um im weiteren Vorgehen Wissen in diesen Bereichen auf- bzw. auszubauen.²⁵¹

- Phase 3: *Konzeption des Wissensmanagement-Systems*

Ziel dieser Phase ist die Konzeption eines unternehmensspezifischen Wissensmanagement-Systems durch die verantwortlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Hierzu müssen unternehmensintern eine Strategie zum Umgang mit Wissen sowie die damit einhergehenden Ziele festgelegt werden. An diesen kann die Implementierung des Wissensmanagement-Systems im Unternehmen analysiert und bewertet werden.²⁵²

- Phase 4: *Implementierung von Methoden / Instrumenten*

Die Konzeption und Implementierung eines Wissensmanagement-Systems sind stark miteinander verbunden und können sich in Teilen überlagern.²⁵³ In Phase 4 des Implementations-Modells nach *Rathswohl* werden die Ergebnisse aus Phase 2 und 3 im Unternehmen umgesetzt. Hierzu sollen die Prozesse des Wissensmanagements standardisiert werden. Darüber hinaus kann es erforderlich sein, dass neue Methoden und Instrumente im Unternehmen entwickelt und eingeführt werden.²⁵⁴

- Phase 5: *Kontinuierliche Prüfung des Wissensmanagement-Systems*

Das neu eingeführte Wissensmanagement-System kann im Unternehmen nur Bestand haben, wenn es kontinuierlich überprüft, bewertet und gegebenenfalls weiterentwickelt wird. Die eingesetzten Instrumente und Methoden des Wissensmanagement-Systems wer-

²⁵⁰ Vgl. Rathswohl (2014), S. 132 ff.

²⁵¹ Vgl. Rathswohl (2014), S. 145 ff.

²⁵² Vgl. Rathswohl (2014), S. 157 ff.

²⁵³ Vgl. Rathswohl (2014), S. 158.

²⁵⁴ Vgl. Rathswohl (2014), S. 170 ff.

den hierfür auf ihre Anwendung durch die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter im Unternehmen hin überprüft. Diese Beobachtungen können einen Handlungsbedarf zur Anpassung der Instrumente und Methoden aufdecken.²⁵⁵

Zur Umsetzung des WMS-KMBU stellt *Rathswohl* den Unternehmen das sogenannte WiMa-Tutorial online zur Verfügung. Dieses gibt den Nutzerinnen und Nutzern einen groben Überblick über die verschiedenen Phasen des WMS-KMBU und stellt zu jeder der einzelnen Phasen geeignete Anleitungen und Dokumente in Form von MS Office- bzw. PDF-Dokumenten zur Verfügung. Diese Dokumente sollen den Unternehmen als Hilfs- und Analysemittel dienen.²⁵⁶

3.3.5 Wissensretrieval im Bauwesen nach *Ismail*

Ismail hat ein semantisches Wissensmodell zur Strukturierung und Abbildung von Wissen mit dem Ziel der einfachen Auffindbarkeit und der damit verbundenen effizienten und effektiven Nutzung von Wissen entwickelt.²⁵⁷ Das Wissensmodell setzt sich aus dem Modul der Informationsquellen sowie dem Modul des Informationsbedarfs zusammen und ist nur in Kombination mit einem Suchsystem anwendbar.²⁵⁸

- Modul der Informationsquellen

Das Modul der Informationsquellen wurde von *Ismail* zur Abbildung der Informationsquellen aus dem Unternehmen entwickelt. Darüber hinaus sollen die verschiedenen Informationsquellen mit diesem Modul so aufbereitet werden, dass sie für das Suchsystem verwendbar sind. Hierfür müssen die verschiedenen Dateiformate in eine standardisierte und für das Suchsystem verwertbare Form überführt werden. Ein wichtiges Instrument ist die zwischengeschaltete Datenschicht, die dem Suchsystem erst den Abruf der Informationen ermöglicht. Dies geschieht über sogenannte Metadaten, die die Informationsquellen anhand von verschiedenen Merkmalen übergeordnet beschreiben. Die Schwierigkeit bei dieser Umsetzung besteht darin, die Informationsquellen eines Bauunternehmens in einem einheitlichen Metadatenmodell zusammenzuführen. Um das Metadatenmodell sinnvoll nutzen zu können, muss das Suchsystem die Fähigkeit besitzen, einen Abgleich zwischen Suchanfrage und Informationsquellen auf Basis der Semantik durchführen zu können.²⁵⁹

²⁵⁵ Vgl. Rathswohl (2014), S. 181 ff.

²⁵⁶ Vgl. Rathswohl (2014), S. 127 ff.

²⁵⁷ Vgl. Ismail (2011), S. 140.

²⁵⁸ Vgl. Ismail (2011), S. 141.

²⁵⁹ Vgl. Ismail (2011), S. 141 ff.

- Modul des Informationsbedarfs

Das Modul des Informationsbedarfs soll das Suchsystem bei der Verwertung und Deutung der Metadaten unterstützen. Das Ergebnis einer Suchanfrage ohne das Modul des Informationsbedarfs kann nur auf dem Vergleich vorkommender Begrifflichkeiten basieren und eine Vielzahl von Informationen, die relevant sind, wird nicht erkannt. Das Ziel dieses Moduls ist daher die Entwicklung eines Informationsmodells zur Deutung und Festlegung der Semantik der Suchanfragen. Das Modul des Informationsbedarfs besteht daher unter anderem aus Begriffen, Synonymen, Eigenschaften, Erläuterungen Verknüpfungen, Zusammenhängen und Regeln zum Ableiten erforderlichen Wissens. Um diese Technik der Wissensabbildung umzusetzen, verwendet *Ismail* Ontologien, die den Nutzer bei der Suchanfrage und das Modul der Informationsquellen bei der Bereitstellung des relevanten Wissens unterstützt.²⁶⁰

Der Aufbau des semantischen Wissensmodells nach *Ismail* sowie das Zusammenwirken der beiden Module sind in der folgenden Abbildung 3-15 dargestellt.

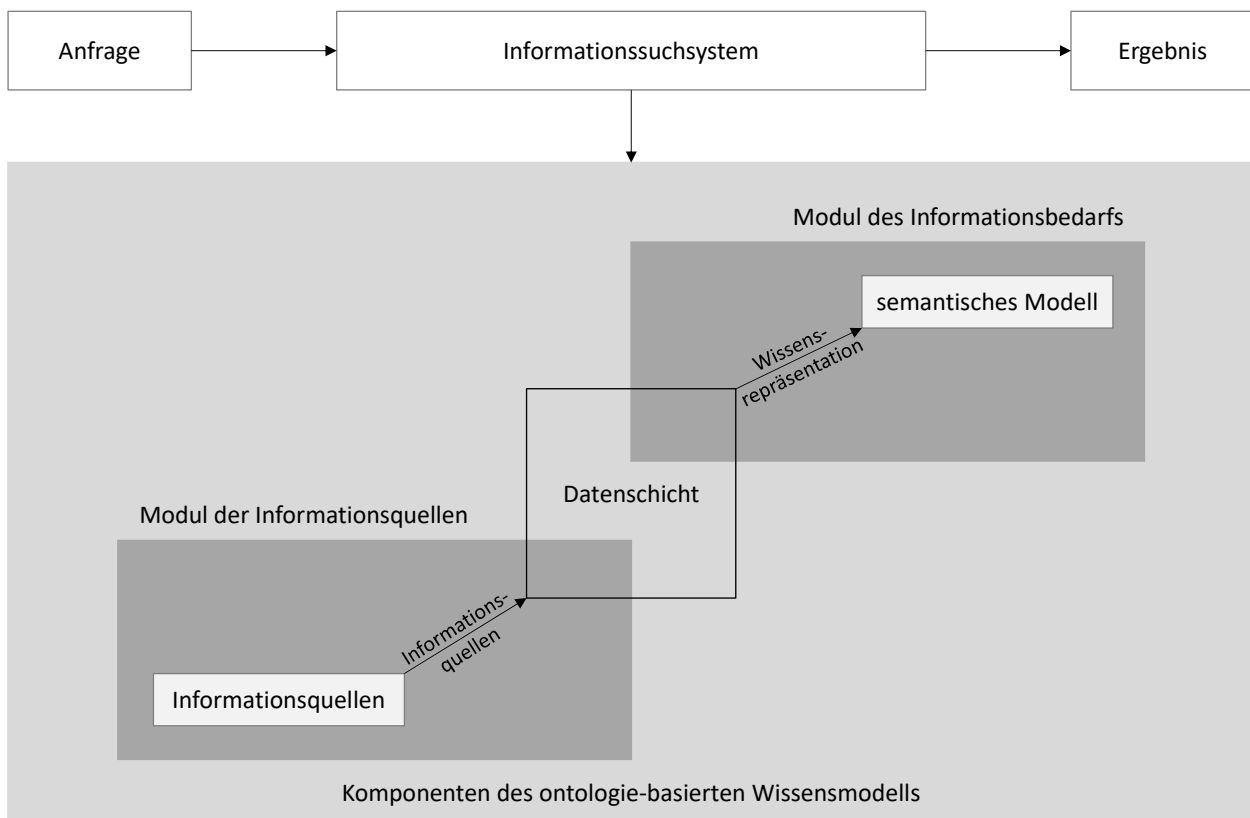


Abbildung 3-15: Aufbau des ontologie-basierten Wissensmodells nach *Ismail*²⁶¹

²⁶⁰ Vgl. Ismail (2011), S. 143 ff.

²⁶¹ In Anlehnung an Ismail (2011), S. 141.

4 Wissensgewinnung in der Sichtbetontechnologie

Die in diesem Kapitel zusammengefassten Untersuchungen schließen ausgewählte Wissenslücken in der Sichtbetontechnologie. Die Begründung zur Auswahl der Wissenslücken wurde in Kapitel 2.3 dargelegt.

Zur Gewinnung neuen Wissens in der Sichtbetontechnologie wurden Labor- und Feldversuche unter anderem in Form von Arbeitsstudien bei verschiedenen Bauvorhaben und in Fertigteilwerken, Experteninterviews, Literaturrecherchen sowie der Herstellung von Probestücken durchgeführt.

In Tabelle 4-1 wird eine Übersicht über die durchgeführten Untersuchungen zur Wissensgewinnung in der Sichtbetontechnologie gegeben. Darüber hinaus sind dort die Ziele der einzelnen Untersuchungen zusammengefasst.

Tabelle 4-1: Übersicht über die durchgeführten Untersuchungen zur Wissensgewinnung in der Sichtbetontechnologie:

Kapitel	Thema	Ziel der Untersuchung
4.1	Leichtbeton in der Sichtbetontechnologie	Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge Erstellung einer Projektdatenbank
4.2	Sichtbeton bei geneigten Schalungen	Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge Ermittlung von Aufwandswerten
4.3	Sichtbetontechnologie im Ingenieurbau	Analyse des Regelwerks Kategorisierung der Sichtbetonanforderungen Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge
4.4	Fertigteile in der Sichtbetontechnologie	Erfassung von Arbeitssystemen Ermittlung von Aufwandswerten
4.5	Bearbeitete und nachträglich behandelte Sichtbetonflächen	Erfassung von Arbeitssystemen Ermittlung von Aufwandswerten
4.6	Methoden zum Auftrag von Betontrennmitteln	Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge
4.7	Rauigkeit in Zusammenhang mit Farbtonungleichmäßigkeiten	Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge
4.8	Bewehrungsführung und Einbauteile bei Sichtbetonbauteilen	Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge
4.9	Qualitätsmanagement in der Sichtbetontechnologie	Entwicklung von Checklisten für das Qualitätsmanagement bei der Herstellung von Sichtbetonbauteilen

4.1 Leichtbeton in der Sichtbetontechnologie

Die Sichtbetonforschung konzentriert sich im Allgemeinen auf den Einsatz von Normalbeton für die Herstellung von Sichtbetonbauteilen. Hierzu gibt es, wie in Kapitel 2.2 und 2.3 bereits ausgeführt, eine Vielzahl von Forschungsvorhaben und -ergebnissen. Mit den folgenden Laborversuchen soll hingegen der bisher wenig beachtete Leichtbeton in der Sichtbetontechnologie betrachtet werden. Die Motivation zu diesen Laborversuchen begründet sich einerseits in der Tatsache, dass verschiedene Gebäudearten in Leichtbeton mit Sichtbetonanforderungen ausgeführt werden. Hierzu wurde am Institut für Baubetrieb der Technischen Universität Darmstadt eine Datenbank aller Sichtbetonbauwerke, die im deutschsprachigen Raum aus Leichtbeton ausgeführt worden sind, erarbeitet.²⁶² Diese Projektdatenbank wird in Kapitel 4.1.1 genauer vorgestellt. Andererseits begründet sich die Motivation darin, dass die aus der Sichtbetontechnologie bekannten Phänomene beim Einsatz von Leichtbeton in einer stärkeren Ausprägung auftreten. Das Hauptaugenmerk der Laborversuche lag dabei in der Untersuchung von baubetrieblichen Aspekten und deren Einfluss auf die Sichtbetonqualität. Hierbei wurden die Parameter Schalungshaut, Betontrennmittel und Verdichtungsenergie variiert. Alle anderen Einflussgrößen waren in allen Laborversuchen konstant, um weitere Beeinflussungen ausschließen zu können. Insgesamt wurden vier Versuchsreihen durchgeführt, wobei eine Versuchsreihe mit Normalbeton als Referenzgröße für den Vergleich mit dem Einsatz des Leichtbetons erstellt wurde.

4.1.1 Entwicklung einer Projektdatenbank für Sichtbetonbauwerke aus Leichtbeton

Zum Einstieg in den Themenkomplex Leichtbeton wurde als Grundlage weiterführender Datenerhebungen am Institut für Baubetrieb der Technischen Universität Darmstadt eine Projektdatenbank von Sichtbetonbauwerken in Deutschland und der Schweiz erstellt, die in Leichtbeton ausgeführt worden sind. Diese Datenbank wurde auf Grundlage von Recherchen in Online-Datenbanken, Fachliteratur, verschiedenen Publikationen und Angaben von Herstellern für Leichtzuschläge erstellt.²⁶³

In der Datenbank wurden unter anderem Angaben zum Gebäudenamen, zum Standort, der Gebäudeart²⁶⁴, dem Fertigstellungstermin, den verantwortlichen Architekten sowie ein Link für weiterführende Informationen und Bilder hinterlegt. Ein Beispiel für die Angaben

²⁶² Vgl. Nittritz / Löw (2016), S. 49 f.

²⁶³ Vgl. Nittritz / Löw (2016), S. 49 f.

²⁶⁴ In Anlehnung an Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg (2011), S. 1 ff.

aus der Projektdatenbank für Sichtbetonbauwerke aus Leichtbeton ist in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Tabelle 4-2: Beispielintrag Projektdatenbank Sichtbetonbauwerke aus Leichtbeton

Bilder	 <p>Die Neupostolische Kirche in Pliezhausen in der Bau-phase²⁶⁵</p>
Nr.	1
Gebäudename	Neupostolische Kirche Süddeutschland
Standort	Pliezhausen
Land	Deutschland
Architekten	Ackermann + Raff Architekten, Stuttgart
Telefonnr.	+49 - (0) 711-722355-0
Gebäudeart	Sakralbau
Fertigstellung	2016
Leichtbeton	LC 12/13
Sichtbetonklasse	SB 3
Sonstige Informationen	Hydrophobierung
Link / Quelle	http://www.beton.org/aktuell/news/details/kirchenpavillon-bonn/

²⁶⁵ Bildnachweis: Nittritz (2015)

Die in der Datenbank erfassten Projekte repräsentieren eine Vielzahl von Gebäudearten und wurden in den Jahren 2003 bis 2016 fertiggestellt. Unter den Projekten finden sich unter anderem öffentliche Bauten wie z. B. Schulen, Kliniken und Sakralbauten sowie Ein- und Mehrfamilienhäuser.

4.1.2 Versuchsaufbau

Für die Durchführung der Laborversuche wurden Prüfschalungen hergestellt. Die damit erstellten Probekörper haben eine Höhe von 50 cm, eine Breite von 20 cm und eine Tiefe von 18 cm. Der Querschnitt der Probekörper war zunächst quadratisch angesetzt gewesen, musste jedoch an das gegebene Volumen des Labormischers für den Beton angepasst werden. Für die Herstellung eines Probekörpers wurden drei Betonmischungen benötigt. Dadurch konnte ebenfalls das Phänomen in Form von Abzeichnungen der Schüttagungen mit in den Versuchsaufbau aufgenommen werden. In der folgenden Abbildung ist der Aufbau der Prüfschalungen in Ansicht und Draufsicht dargestellt. Drei Seiten der Prüfschalungen bestanden aus variierenden Schalungshäuten, während die Vorderseite der Prüfschalungen ein Plexiglas darstellte. Diese durchsichtige Seite der Prüfschalungen ermöglichte es, die Prozesse in der Schalung wie das Einbringen von Verdichtungsenergie und das Entlüftungsverhalten aufgrund des Betontrennmittels während der Betonage beobachten zu können.

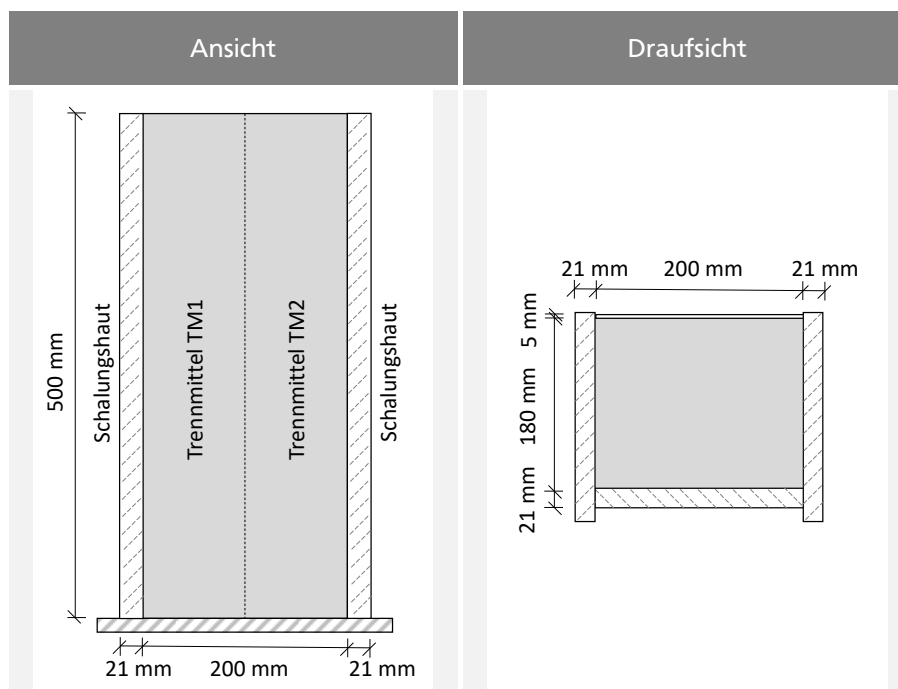


Abbildung 4-1: Schalungskonstruktion Ansicht und Draufsicht²⁶⁶

²⁶⁶ In Anlehnung an Nittritz / Löw (2016)

Der Einsatz verschiedener Schalungshautarten war einer der untersuchten baubetrieblichen Aspekte bei den Laborversuchen. Bei den eingesetzten Schalungshautarten für die Seitenwände handelte es sich um zwei Furniersperrholzplatten mit unterschiedlichen Melaminharzbeschichtungen, eine No-Oil Platte sowie eine saugende Holzwerkstoffplatte. Die Dicke aller Schalungshautplatten betrug 21 mm.

Tabelle 4-3: Eingesetzte Schalungshautarten

	Bezeichnung	Schalungshaut	Dicke	Beschichtungsstärke	Anwendung
Seitenwände	S1	Furniersperrholz Melaminharz	21 mm	550 g/m ²	Sichtbetonklasse 4 Schalhautklasse 3
	S2	Furniersperrholz Melaminharz	21 mm	k. A.	Neuentwicklung, noch nicht auf dem Markt
	S3	Holzwerkstoffplatte saugend	21 mm	-----	Porenarme Betonober- fläche
	S4	Holzwerkstoffplatte Filmbeschichtung (no form oil)	21 mm	500 g/m ²	Betonflächen mit er- höhter Anforderung
	P	Plexiglas	5 mm	-----	-----
Bodenplatte		Siebdruckplatte	10 mm	-----	-----

In der folgenden Abbildung ist die Zusammensetzung der Schalungshautarten auf die unterschiedlichen Prüfschalungen dargestellt. Es wird deutlich, dass die verschiedenen Schalungshautarten mit der gleichen Häufigkeit zum Einsatz kamen.

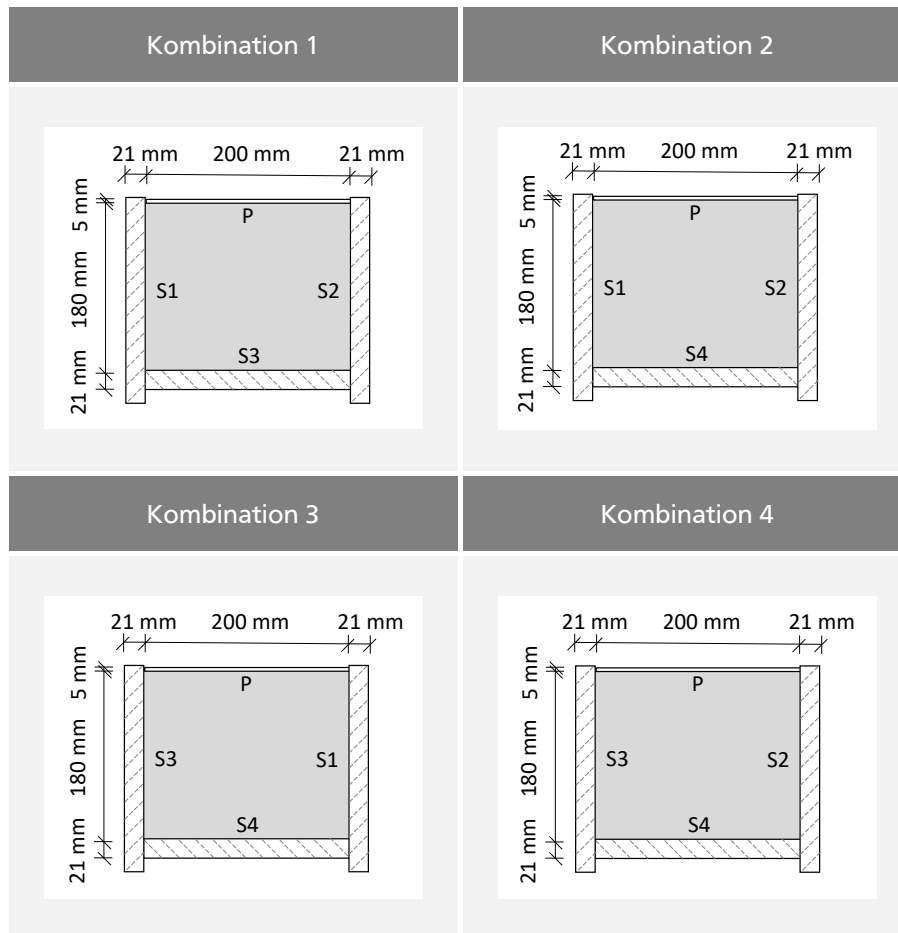


Abbildung 4-2: Zusammensetzung der Schalungshautarten in den Prüfschalungen²⁶⁷

Neben der Variation der Schalungshautarten wurden ebenfalls zwei verschiedene Betontrennmittel für die Benetzung der Schalungshäute eingesetzt. Dabei handelt es sich um den zweiten baubetrieblichen Parameter, der untersucht worden ist. Bei den Betontrennmitteln handelt es sich einerseits um ein Betontrennmittel auf Mineralölbasis und andererseits um eine Emulsion auf Pflanzenölbasis. Beide Betontrennmittel wurden vom Hersteller für den Einsatz zur Herstellung von Sichtbetonbauteilen empfohlen. Die Betontrennmittel wurden für die Versuchsdurchführung jeweils zur Hälfte auf die einzelnen Schalungshäute aufgetragen. Hierfür wurden die Seitenwände der Prüfschalungen bzw. die Schalungshäute vertikal in zwei verschiedene Bereiche untergliedert.

²⁶⁷ In Anlehnung an Nittritz / Löw (2016)

Tabelle 4-4: Eingesetzte Betontrennmittel

	Anwendung	Technologie	Basis
TM1	Universaltrennmittel Ortbeton	Synthese-/ Mineralöl	Mineralöl hell, aromatenarm
TM2	Sichtbeton	Emulsion	Pflanzliche Öle, lösemittelfrei

Bei der Leichtbetonrezeptur handelt es sich um einen LC 12/13, einen Leichtbeton mit einer geringen Druckfestigkeit, der bei einem Bauvorhaben bereits erfolgreich zum Einsatz gekommen ist. Bei dem verwendeten Zuschlag handelt es sich um einen Leichtzuschlag der Korngruppe 2 bis 8 mm und einer Kornrohichte von 670 kg/m^3 . Bei dem Sand handelt es sich ebenfalls um eine leichte Gesteinskörnung der Korngruppe 0 bis 2 mm.

Tabelle 4-5: Verwendete Leichtbetonrezeptur ($V = 6,3 \text{ dm}^3$)

	Bezeichnung	Menge (trocken)	Einheit
Zement	CEM III/A 42,5 N	350	[kg/m ³]
Betonzuschlag	0/2 Leichtsand	481	[kg/m ³]
	2/8 Blähton	316	[kg/m ³]
Wasser	W/Z-Wert = 0,48	168	[kg/m ³]
Betonzusatzstoffe	Kalksteinmehl	50	[kg/m ³]
Betonzusatzmittel	Stabilisierer	1,15	[% v.Z.]
	Fließmittel	1,00	[% v.Z.]

Vor dem Mischvorgang des Leichtbetons wurden die Leichtzuschläge in einem Wasserbad vorgehäst, um einem Saugen der Gesteinskörnung vorzubeugen. Alternativ hätte auch das Saugverhalten des Leichtzuschlages untersucht werden und eine entsprechende zusätzliche Wasserzugabe erfolgen können. Dies hätte jedoch bei jeder neuen Charge des Leichtzuschlages wiederholt werden müssen, was einen wesentlich höheren Arbeitsaufwand bedeutet hätte.

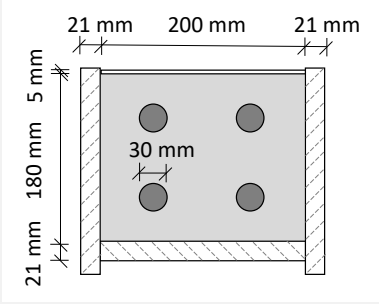
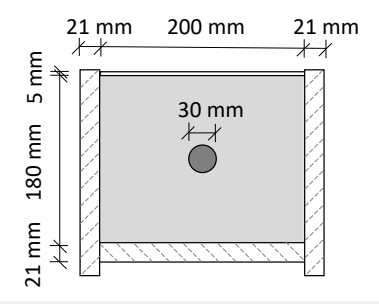


Abbildung 4-3: Wasserbad für Leichtzuschläge

Der Verdichtung der einzelnen Schüttaglagen wurde aufgrund der erschwerten Bedingungen bei einem Leichtbeton besondere Beachtung im Gesamtprozess gegeben. Die Leichtzuschläge in einem Leichtbeton weisen eine geringere Korndichte als die Gesteinskörnung in einem Normalbeton auf. Dieser Sachverhalt sorgt für eine Zerstreung der Verdichtungsenergie, weil keine Masse vorhanden ist, die diese übertragen kann. Dadurch wird wiederum der Wirkradius des Innenrüttlers eingeschränkt. Mögliche Lösungsansätze dieses Problems sind die Wahl eines größeren Durchmessers des Innenrüttlers, die Erhöhung der Verdichtungsfrequenz sowie die Erweiterung der Anzahl der Eintauchstellen beziehungsweise die Verringerung der Abstände zwischen den Eintauchstellen.

Aufgrund dieser Gegebenheiten wurde bei den verschiedenen Versuchsreihen sowohl die Verdichtungsfrequenz als auch die Anzahl der Eintauchstellen variiert. Zum Einsatz kam ein Hochfrequenz-Innenrüttler, der an einem externen tragbaren Frequenzumwandler (0-200 Hz) angeschlossen wurde. Der Flaschendurchmesser des Innenrüttlers betrug 30 mm. Von Versuchsreihe zu Versuchsreihe wurde jeweils nur ein Verdichtungsparameter variiert, um die Auswirkung der einzelnen Verdichtungsparameter auf die Sichtbetonqualität identifizieren zu können. Bei der Durchführung der ersten Versuchsreihe wurden die einzelnen Schüttaglagen mit einer Frequenz von 60 bis 80 Hertz an vier Eintauchstellen mit dem Innenrüttler verdichtet. In der zweiten Versuchsreihe wurde die Verdichtungsenergie auf 120 bis 160 Hertz erhöht. Die Anzahl von vier Eintauchstellen wurde hingegen beibehalten. In der dritten und letzten Versuchsreihe mit Leichtbeton wurde die Verdichtungsenergie bei 60 bis 70 % der maximalen Verdichtungsenergie (120 bis 160 Hertz) belassen, die Anzahl der Eintauchstellen des Innenrüttlers wurde jedoch auf eine Eintauchstelle reduziert.

Tabelle 4-6: Eingebrachte Verdichtungsenergie²⁶⁸

	V1	V2	V3	N1
Frequenz	30 – 40 % (60 – 80 Hz)	60 – 70 % (120 – 160 Hz)	60 – 70 % (120 – 160 Hz)	60 – 70 % (120 – 160 Hz)
Eintauchstellen				

4.1.3 Versuchsdurchführung

Für die Herstellung der Probekörper aus Leichtbeton wurden zunächst auf die einzelnen Seitenwände der Prüfschalung jeweils zur Hälfte die in Kapitel 4.1.2 beschriebenen Betontrennmittel, das Betontrennmittel auf Mineralölbasis und die Emulsion auf Pflanzenölbasis mit Hilfe eines Baumwolllappens aufgetragen. Beim Auftrag wurde darauf geachtet, dass nach DBV Merkblatt *Sichtbeton* nur ein dünner Betontrennmittelfilm auf der Schalungshaut verbleibt.²⁶⁹ Um die beiden Betontrennmittel auf der Schalungshaut ordnungsgemäß voneinander zu trennen und ein Vermischen zu vermeiden, wurde eine Gummilippe eingesetzt.

²⁶⁸ In Anlehnung an Nittritz / Löw (2016)

²⁶⁹ Vgl. Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V., Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (2015), S. 44.



Abbildung 4-4: Vorgehensweise beim Auftrag des Betontrennmittels²⁷⁰

Im Anschluss an den Betontrennmittelauftrag wurden die einzelnen Schalungshäute, wie in Abbildung 4-2 gezeigt, zu Prüfschalungen zusammengebaut. Dabei wurde insbesondere auf die Maßhaltigkeit der Konstruktion geachtet, damit kein Zementleim austreten kann und dadurch keine Mängel in der Sichtbetonfläche entstehen.

Die Versuchsreihen wurden aufgrund der Größe der Probekörper ohne Bewehrung durchgeführt.

Nach dem Zusammenbau der Prüfschalungen wurde mit dem Mischvorgang des Leichtbetons begonnen. Sowohl der Mischvorgang als auch der Betoneinbau in die Prüfschalung folgten hierbei einer standardisierten Vorgehensweise. Die Zugabe der einzelnen Ausgangsstoffe sowie die Misch- und Standzeiten des Betons wurden mit einem Betontechnologen im Voraus abgestimmt und wie folgt für die Versuchsreihen festgelegt:

²⁷⁰ Bildnachweis: Nittritz / Löw (2016)

Tabelle 4-7: Mischvorgang des Leichtbetons

	Zugabe	Dauer	Gesamtdauer
1.	Leichtsand 0/2 Gesteinskörnung 2/8 ca. 900 g Wasser	30 Sek.	30 Sek
2.	Standzeit	2 Min.	2:30
3.	Zement ca. 250 g Wasser	20 Sek.	2:50
4.	Kalksteinmehl Restwasser	20 Sek.	3:10
5.	Fließmittel Stabilisierer	20 Sek.	3:30
6.	Mischzeit	2 Min	5:30

Für die Füllung einer Prüfschalung waren drei Mischungen Leichtbeton notwendig. Die für die einzelnen Mischvorgänge notwendigen Ausgangsstoffe wurden im Voraus abgewogen bzw. abgemessen und bereitgestellt. Die Mischvorgänge und die Vorgehensweise dabei wurden für die Dokumentation ebenfalls exemplarisch auf Bildern festgehalten und sind in den folgenden Abbildungen dargestellt.



Abbildung 4-5: Vorgehensweise beim Anmischen des Betons²⁷¹

Nach dem Mischvorgang wurde der Leichtbeton jeweils direkt in die Prüfschalung eingefüllt und mit dem Innenrüttler verdichtet. Die Gesamtdauer vom Starten des Mischvorgangs bis zur endgültigen Verdichtung einer Leichtbetonlage in der Prüfschalung betrug jeweils 9 Minuten. Von jeder ersten Mischung eines neuen Probekörpers wurde das Ausbreitmaß gemäß DIN EN 12350-5²⁷² sowie die Konsistenzklasse gemäß DIN 1045-2²⁷³ bestimmt. Darüber hinaus wurden nach jedem Mischvorgang und Einbau des Leichtbetons in die Prüfschalung alle erforderlichen Geräte gründlich gereinigt.

Die Verdichtung des Leichtbetons erfolgte nach denen in Kapitel 4.1.2 erläuterten Randbedingungen. Darüber hinaus wurde für eine ordnungsgemäße Verbindung der verschiedenen Schüttlagen bei der Verdichtung auf ein Eintauchen des Innenrüttlers von 5 cm in die bereits eingebaute und verdichtete Leichtbetonschicht geachtet. Die Verdichtungsdauer betrug bei allen Probekörpern jeweils 20 Sekunden je Leichtbetonschicht. Dabei

²⁷¹ Bildnachweis: Nittritz / Löw (2016)

²⁷² Vgl. DIN EN 12350-5:2009-08, S. 7 ff.

²⁷³ Vgl. DIN 1045-2:2008-08, S. 17.

wurde darauf geachtet, dass der Innenrüttler mit einer konstanten Geschwindigkeit von ca. einem Zentimeter je Sekunde aus der zu verdichtenden Leichtbetonschicht hoch gezogen wurde.

Während der Versuchsdurchführung kam es aufgrund der Ergebnisse der ersten Probekörper stellenweise zu Anpassungen des Versuchsaufbaus. Diese Anpassungen wurden in der folgenden Tabelle festgehalten.

Tabelle 4-8: Anpassungen des Versuchsaufbaus während der Versuchsdurchführung²⁷⁴

V2	<p><u>Reinigung der Schalung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ripplings an Unterseite der Schalhaut S2 <p><u>Zusammenbau der Schalung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Maßhaltiger Zusammenbau der Schalungskörper schwierig ▪ einige Spalten waren aufgrund des Quellens des Holzes nicht zu vermeiden <p><u>Verdichtung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tendenz zur Entmischung an der Oberfläche ▪ deutlich größerer Wirkradius des Innenrüttlers ▪ starker Wasseraustritt am Fuß des Schalungskörpers 	 <p>Wasseraustritt</p>
V3	<p><u>Reinigung der Schalung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Erste Kratzer und Beschädigungen auf der Schalhaut feststellbar <p><u>Zusammenbau der Schalung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Maßhaltigkeit war nicht mehr herzustellen ▪ Versiegelung der Kanten mit transparentem Silikon; insbesondere des Fußpunktes <p><u>Einbau und Verdichtung:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Keine 100%ige Egalisierung an der Oberfläche; an der Oberfläche ist wenig Verdichtungswirkung festzustellen ▪ Kantenversiegelung ist dicht; kein Wasseraustritt 	 <p>Versiegelung</p>

²⁷⁴ Bildnachweis: Nittritz / Löw (2016)

Die Ausschalfristen der Probekörper der unterschiedlichen Versuchsreihen sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Tabelle 4-9: Ausschalfristen der Probekörper

	Einbau	Ausschalen	Ausschalfrist
V1	22.09.15	24.09.15	2 d
V2	24.09.15	29.09.15	5 d
V3	29.09.15	01.10.15	2 d
N1	06.10.15	08.10.15	2 d

Für das Ausschalen der Probekörper wurden zunächst eine Schalungshaut der Schalungskonstruktion sowie das Plexiglas entfernt. Darauf folgten die beiden übrigen Schalungshäute, die zur besseren Maßhaltigkeit der Schalungskonstruktion während des Reinigungsprozesses verschraubt blieben. Die Reinigung der Schalungshäute erfolgte zunächst mittels Schwamm und Wasser, um mechanische Beanspruchungen der Schalungshäute zu vermeiden. Verblieben nach diesem ersten Reinigungsvorgang noch Zementleimanhaftungen auf den Schalungshäuten, so wurden diese vorsichtig mit Hilfe einer Spachtel entfernt. Anschließend wurden die Schalungshäute ein weiteres Mal mit Schwamm und Wasser gereinigt, um die gelösten Zementleimreste von den Schalungshäuten rückstandslos zu entfernen.



Abbildung 4-6: Vorgehensweise zur Reinigung der Schalung²⁷⁵

4.1.4 Versuchsergebnisse

Die Beurteilung der Sichtbetonqualität der Probekörper erfolgt nach den Einzelkriterien des DBV Merkblatts *Sichtbeton*²⁷⁶. Die hergestellten Probekörper wurden nur in Bezug auf die Einzelkriterien *Porigkeit* und *Farbtongleichmäßigkeit* bewertet. Die verbleibenden Einzelkriterien spielen aufgrund des Versuchsaufbaus und der erstellten Prüfschalungen nur eine untergeordnete Rolle.

4.1.4.1 Einzelkriterium Porigkeit

Auswertung der Porigkeit

Die Beurteilung der Porigkeit erfolgt unter Verwendung eines graphischen Auswertungsprogramms zur Bestimmung der Porenfläche. Diese wird anschließend einer der vier Anforderungsklassen P1 bis P4 zugeordnet. Der Porenanteil mit einem Porendurchmesser d in den Grenzen $2 \text{ mm} < d < 15 \text{ mm}$, gemessen an einer repräsentativen Prüffläche von $500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$, darf die in der folgenden Tabelle aufgeführten Grenzwerte für den Anteil an der Prüffläche nicht überschreiten:

²⁷⁵ Bildnachweis: Nittritz / Löw (2016)

²⁷⁶ Vgl. Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V., Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (2015), S. 12.

Tabelle 4-10: Anforderungsklassen der Porigkeit²⁷⁷

Porigkeitsklasse	Maximaler Porenanteil	Anteil der Prüffläche
P1	≤ ca. 3000 mm ²	ca. 1,20 %
P2	≤ ca. 2250 mm ²	ca. 0,90 %
P3	≤ ca. 1500 mm ²	ca. 0,60 %
P4	≤ ca. 750 mm ²	ca. 0,30 %

In der folgenden Abbildung 4-7 und Abbildung 4-8 sind die Ergebnisse in Bezug auf das Einzelkriterium Porigkeit, sortiert nach Betontrennmittel, Schalungshautart und Versuchsreihe aufgeführt.

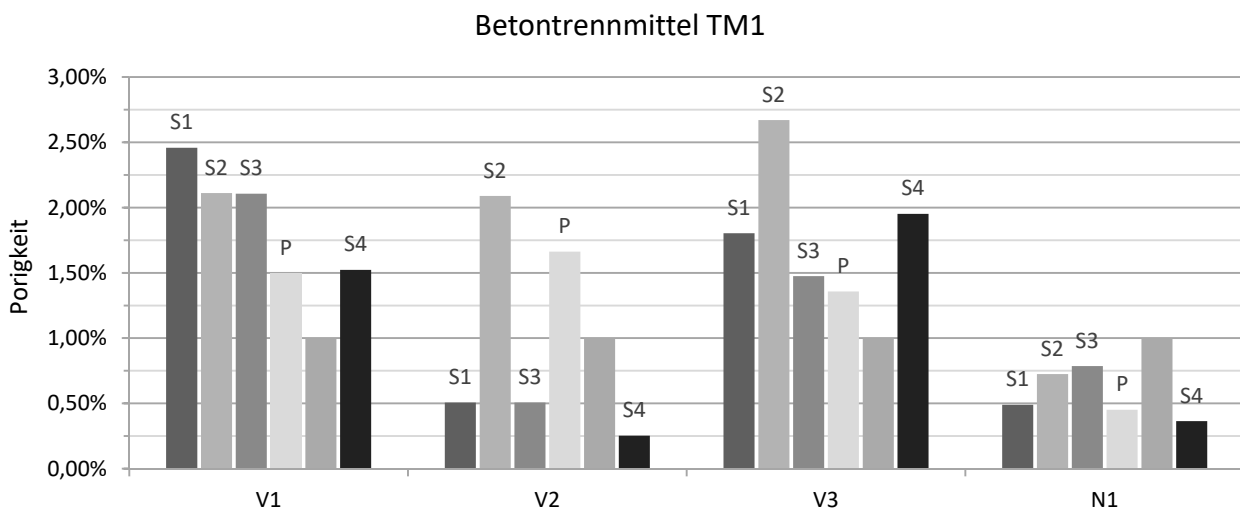


Abbildung 4-7: Versuchsergebnisse mit Betontrennmittel TM 1 in Bezug auf das Einzelkriterium Porigkeit

²⁷⁷ Vgl. Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V., Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (2015), S. 13.

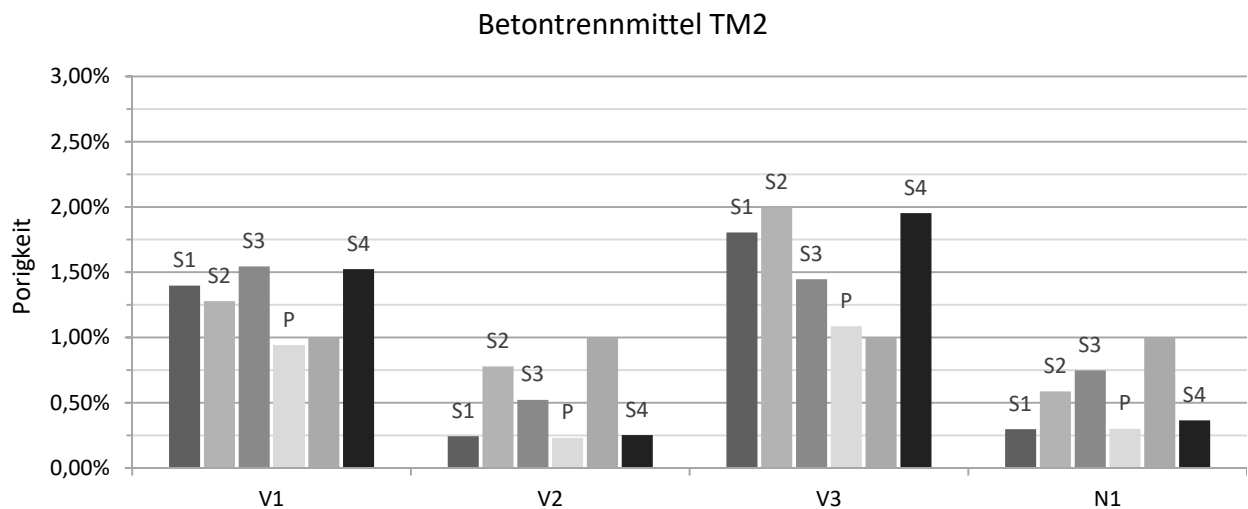


Abbildung 4-8: Versuchsergebnisse mit Betontrennmittel 2 in Bezug auf das Einzelkriterium Porigkeit

Die dargestellten Versuchsergebnisse werden im Folgenden nach den Einflussfaktoren Schalungshautart, Betontrennmittel und Verdichtungsenergie analysiert.

Einfluss der Schalungshautart auf die Porigkeit

Bei Betrachtung der Sichtbetonflächen in Abbildung 4-9 wird deutlich, dass alle untersuchten Schalungshautarten in Verbindung mit der Emulsion auf Pflanzenölbasis (TM2) Sichtbetonflächen mit einem geringen Porenanteil zum Ergebnis haben. Dies konnte im Rahmen aller Versuchsreihen festgestellt werden.

Den geringsten Porenanteil auf den Probekörpern verursacht die No-Oil Schalungshaut (S4), bei der aufgrund der Beschaffenheit der Einsatz von Betontrennmitteln nicht erforderlich ist. In der zweiten Versuchsreihe konnte mit dieser Schalungshautart in Kombination mit der Emulsion auf Pflanzenölbasis eine Porigkeitsklasse P4 erreicht werden. Diese Ergebnisse werden gefolgt von den Sichtbetonflächen, die mit der melaminharzbeschichteten Schalungshaut S1 erstellt worden sind. Bei der zweiten Versuchsreihe führte diese Schalungshautart unabhängig vom Betontrennmittel zu einer Porigkeit der Klasse P3 respektive P4. Die melaminharzbeschichtete Schalungshautart S2 führt im Vergleich zu Schalungshautart S1 zu schlechteren Sichtbetonergebnissen. Insbesondere in Kombination mit dem Betontrennmittel TM1 führt diese Schalungshautart zu einer sehr hohen Porigkeit, welche unabhängig von der Verdichtungsenergie ist. Aber auch in Kombination mit der höchsten Verdichtungsenergie und dem Betontrennmittel TM2 führt diese im Vergleich zu den übrigen untersuchten Schalungshautarten zu dem höchsten Porigkeitsanteil (Porigkeitsklasse P2).

Die Schalungshautart S3 führt über alle Versuchsreihen hinweg und unabhängig vom Betontrennmittel zu den unbefriedigendsten Ergebnissen. Der hohe Porenanteil ist bei einer saugenden Schalungshaut jedoch zu vermuten.

Einfluss der Schalungshautart und des Betontrennmittels auf die Sichtbetonflächen der Leichtbetonprobekörper



Abbildung 4-9: Einfluss der Schalungshautart und des Betontrennmittels auf die Sichtbetonflächen der Leichtbetonprobekörper²⁷⁸

Einfluss des Betontrennmittels auf die Porigkeit

Auf Grundlage der Versuchsergebnisse ist unabhängig von der verwendeten Schalungshautart festzustellen, dass die Emulsion auf Pflanzenölbasis eine höhere Porigkeitsklasse liefert als das Betontrennmittel auf Mineralölbasis. Eine Ausnahme stellte die Holzwerkstoffplatte S3 dar, deren Sichtbetonfläche in Bezug auf die Porigkeit keinen Unterschied zwischen den beiden Betontrennmitteln erkennen lässt. Das Betontrennmittel auf Mineralölbasis (TM1) führt sowohl in Kombination mit der melaminharzbeschichteten Schalungshautart S2 als auch mit der Plexiglasscheibe zu einem hohen Porenanteil, der unabhängig von der Verdichtungsenergie ist.

In Bezug auf den Einsatz von Betontrennmitteln ist die Betrachtung der No-Oil Schalungshaut, die Porigkeit und Farbtongleichmäßigkeit betreffend, von Interesse. Vergleicht man die in Abbildung 4-9 dargestellten Sichtbetonflächen, so ist erkennbar, dass die No-Oil Schalungshaut, ohne die Anwendung von Betontrennmitteln, die beste Sichtbetonqualität in Bezug auf das Einzelkriterium Porigkeit liefert.

Einfluss der Verdichtungsenergie auf die Porigkeit

Das Einzelkriterium der Porigkeit wird unter anderem als Anzeichen für eine sach- und fachgerechte Verdichtung von Sichtbetonbauteilen gesehen. In der folgenden Abbildung

²⁷⁸ Bildnachweis: Nittritz / Löw (2016)

4-10 sind mit der No-Oil Schalungshaut hergestellte Sichtbetonflächen dargestellt, bei deren unterschiedliche Formen der Verdichtungsenergie angewendet worden sind. Aufgrund des Ausschlusses des Einflussfaktors Betontrennmittel kann der Einfluss der Verdichtungsenergie auf das Einzelkriterium Porigkeit besser analysiert werden.



Abbildung 4-10: Einfluss der Verdichtungsenergie bei der No-Oil Schalungshaut (S4)²⁷⁹

Bei Betrachtung der Versuchsergebnisse aus Abbildung 4-10 und der Versuchsergebnisse aller anderen Schalungshautarten und Versuchsreihen hat nur die Kombination aus vier Eintauchstellen des Innenrüttlers mit einer Frequenz des Innenrüttlers von 120 bis 160 Hertz der zweiten Versuchsreihe unabhängig von der verwendeten Schalungshautart eine durchschnittliche Porigkeitsklasse von P3 bis P4 erreicht. Bei den hergestellten Probekörpern aus Normalbeton war eine Eintauchstelle des Innenrüttlers bei gleicher Frequenz ausreichend, um die gleiche Porigkeit auf den Sichtbetonflächen zu erreichen. Für die Ausführung von Sichtbetonbauteilen aus Leichtbeton lässt dies den Rückschluss zu, dass die Eintauchstellen der Innenrüttler vier Mal so eng zu setzen sind, als dies bei Normalbeton der Fall ist. In Kapitel 4.1.2 wurde dieser verminderte Wirkradius des Innenrüttlers bei Leichtbeton, auf den diese vermehrte Anzahl von Eintauchstellen zurückzuführen ist, bereits erläutert.

In der ersten und dritten Versuchsreihe mit Probekörpern aus Leichtbeton wird dieser verminderte Wirkradius des Innenrüttlers ersichtlich. Die Kombination der ersten Versuchsreihe aus vier Eintauchstellen und einer geringeren Frequenz des Innenrüttlers von 60 bis

²⁷⁹ Bildnachweis: Nittritz / Löw (2016)

70 Hertz liefert bereits einen deutlich höheren Porenanteil in der Sichtbetonfläche als bei Versuchsreihe zwei. Der gleiche Porenanteil auf den Sichtbetonflächen ergibt sich bei der dritten Versuchsreihe, bei der eine Eintauchstelle des Innenrüttlers mit einer Frequenz dessen von 120 bis 160 Hertz kombiniert wurde.

In Abbildung 4-11 wird repräsentativ für die einzelnen Versuchsreihen jeweils die Porenform sowie deren Verteilung dargestellt. Bei der dritten Versuchsreihe treten im Vergleich zur ersten Versuchsreihe Ansammlungen von Poren in der Sichtbetonfläche auf, die länglich geformt sind. Der Porenanteil der ersten Versuchsreihe ist zwar vergleichbar mit dem der dritten Versuchsreihe, jedoch handelt es sich um in sich geschlossene und runde Poren, die sich gleichmäßig über die Sichtbetonfläche verteilen.

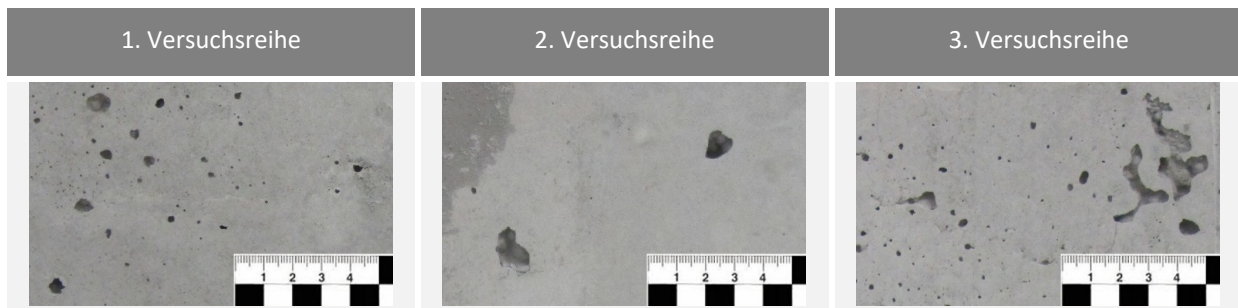


Abbildung 4-11: Darstellung der Porenform und -verteilung der verschiedenen Versuchsreihen²⁸⁰

4.1.4.2 Einzelkriterium Farbtongleichmäßigkeit

Auswertung der Farbtongleichmäßigkeit

In der Tabelle 4-11 sind die Ergebnisse in Bezug auf das Einzelkriterium Farbtongleichmäßigkeit sortiert nach Betontrennmittel, Schalungshautart und Versuchsreihe aufgeführt. Die Beurteilung der Farbtongleichmäßigkeit und die Einstufung in eine der drei Anforderungsklassen FT1 bis FT3 erfolgt mit Hilfe einer Grautonskala.²⁸¹

²⁸⁰ Bildnachweis: Nittritz / Löw (2016)

²⁸¹ Vgl. Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V., Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (2015), S. 13.



Abbildung 4-12: Beurteilung der Farbtongleichmäßigkeit mit Hilfe einer Grautonskala²⁸²

Die dargestellten Versuchsergebnisse werden im Folgenden nach den einzelnen Einflussfaktoren Schalungshautart, Betontrennmittel und Verdichtungsenergie analysiert.

Tabelle 4-11: Versuchsergebnisse in Bezug auf das Einzelkriterium Farbtongleichmäßigkeit

	TM1				TM2			
	V1	V2	V3	N1	V1	V2	V3	N1
S1	FT 2	FT 2	FT 2	FT 2	FT 1	FT 2	FT 3	FT 2
S2	FT 1	FT 1	FT 1	FT 2	FT 2	FT 3	FT 3	FT 1
S3	FT 3	FT 1	FT 1	FT 1	FT 3	FT 1	FT 1	FT 1
P	FT 2	FT 2	FT 2	FT 2	FT 1	FT 2	FT 3	FT 2
S4	FT 2	FT 3	FT 2	FT 3	FT 2	FT 3	FT 2	FT 3

Einfluss der Schalungshautart auf die Farbtongleichmäßigkeit

Dem DBV Merkblatt *Sichtbeton* zufolge sollte die Endbeurteilung der Farbtongleichmäßigkeit nicht an Betonoberflächen erfolgen, die erst unmittelbar vor der Abnahme ausgeschalt worden sind.²⁸³ „Den Oberflächen ist ausreichend Zeit zur Abtrocknung und Vergleichmäßigung zu geben.“²⁸⁴

²⁸² Bildnachweis: Nittritz / Löw (2016)

²⁸³ Vgl. Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V., Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (2015), S. 32.

²⁸⁴ Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V., Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (2015), S. 32.

Auf dieser Grundlage wurde bei allen durchgeführten Versuchsreihen die Farbtonentwicklung über einen Zeitraum von mindestens 28 Tagen beobachtet. Im Ergebnis wurde festgestellt, dass die Farbtonentwicklung über die Zeit mit der verwendeten Schalungshautart korreliert. In den folgenden beiden Abbildungen ist die Farbtonentwicklung der Sichtbetonflächen dargestellt, die mit einer Furniersperrholzplatte mit Melaminharzbeschichtung geschalt worden sind. Hier wurden die Zustände unmittelbar nach dem Ausschalen und sieben Tage nach dem Ausschalen dokumentiert. Es wird deutlich, dass diese Schalungshautart ein rasches Aufhellen der Sichtbetonfläche bereits innerhalb von sieben Tagen ermöglicht.



Abbildung 4-13: Entwicklung der Sichtbetonfläche geschalt mit der Schalungshautart S2²⁸⁵

Betrachtet man hingegen Sichtbetonflächen, die mit einer saugenden Holzwerkstoffplatte geschalt worden sind, dann wird deutlich, dass der Einsatz dieser Schalungshautart offenbar zu einem langsameren Aufhellen der Sichtbetonfläche führt. Auch bei einer Betrachtung der Sichtbetonflächen mehr als zwei Monate nach dem Ausschalen sind die Sichtbetonflächen, die mit der saugenden Holzwerkstoffplatte geschalt worden sind, immer noch wesentlich dunkler als die Flächen der anderen Schalungshautarten.

²⁸⁵ Bildnachweis: Nittritz / Löw (2016)



Abbildung 4-14: Entwicklung der Sichtbetonfläche geschalt mit der Schalungshautart S3²⁸⁶

Bei Betrachtung der Sichtbetonflächen in Abbildung 4-15 sowie der Versuchsergebnisse aller Versuchsreihen wird deutlich, dass die melaminharzbeschichtete Schalungshaut S1 unabhängig von den übrigen Parametern immer zu einer durchschnittlichen Porigkeit führt. Bei der zweiten Versuchsreihe führt diese Schalungshautart unabhängig vom Betontrennmittel zu einer Farbtongleichmäßigkeit FT2.

Bei der Bewertung der Farbtongleichmäßigkeit zeigt Schalungshautart S2 in Verbindung mit dem Betontrennmittel TM2 die besten Oberflächenergebnisse mit einer Farbtongleichmäßigkeit von FT2 bis FT3. Die saugende Holzwerkstoffplatte (S3) führt über alle Versuchsreihen hinweg und unabhängig vom Betontrennmittel zu den unbefriedigendsten Ergebnissen. Der hohe Porenanteil (Porigkeitsklasse P3) ist bei einer saugenden Schalungshaut zu vermuten, die großen Farbtonunterschiede (Farbtongleichmäßigkeitsklasse FT1) hingegen sind für eine saugende Schalungshautart unüblich. Die No-Oil Schalungshaut (S4) führt neben der Schalungshautart S1 zu den besten Sichtbetonergebnissen aller Versuchsreihen auch in Bezug auf die Farbtongleichmäßigkeit mit der Klasse FT3.

²⁸⁶ Bildnachweis: Nittritz / Löw (2016)

Einfluss der Schalungshautart und des Betontrennmittels auf die Sichtbetonflächen der Leichtbetonprobekörper



Abbildung 4-15: Einfluss der Schalungshautart und des Betontrennmittels auf die Sichtbetonflächen der Leichtbetonprobekörper²⁸⁷

Einfluss des Betontrennmittels auf die Farbtongleichmäßigkeit

Betrachtet man die Versuchsergebnisse in Abbildung 4-15 sowie der gesamten Versuchsreihen so wird deutlich, dass die Emulsion auf Pflanzenölbasis auch in Bezug auf das Einzelkriterium Farbtongleichmäßigkeit ein besseres Ergebnis liefert als das Betontrennmittel auf Mineralölbasis. Die Sichtbetonflächen können alle der Farbtongleichmäßigkeitsklasse FT2 und FT3 zugeordnet werden.

Bei der Bewertung der Farbtongleichmäßigkeit ist ein Zusammenhang zwischen der verwendeten Schalungshautart und der eingesetzten Emulsion auf Pflanzenölbasis zu erkennen. Die Kombination aus der melaminharzbeschichteten Schalungshautart S2 und der Emulsion auf Pflanzenölbasis (TM2) führt unabhängig von der Verdichtungsenergie zu einer guten bis sehr guten Farbtongleichmäßigkeit der Betonoberfläche. Die saugende Holzwerkstoffplatte S3 führt hingegen zu einer geringeren Farbtongleichmäßigkeit.

Einfluss der Verdichtungsenergie auf die Farbtongleichmäßigkeit

Ein Einfluss der Verdichtungsenergie auf die Farbtongleichmäßigkeit konnte im Rahmen der Untersuchungen nicht festgestellt werden.

²⁸⁷ Bildnachweis: Nittritz / Löw (2016)

4.1.4.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

In der folgenden Tabelle 4-12 sind die Versuchsergebnisse der durchgeführten Laborversuche zur Anwendung des Leichtbetons in der Sichtbetontechnologie zusammengefasst.

Tabelle 4-12: Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchungen von Leichtbeton in der Sichtbetontechnologie

		Porigkeit	Farbtongleichmäßigkeit
Schalungshaut	Furniersperrholz Melaminharz 550 g/m ²	Durchschnittlicher Porenanteil	schnelles Aufhellen der Sichtbetonflächen, durchschnittliche Farbtongleichmäßigkeit
	Furniersperrholz Melaminharz neu	Hoher Porenanteil	schnelles Aufhellen der Sichtbetonflächen, hohe Farbtongleichmäßigkeit
	Holzwerkstoffplatte saugend	Geringer Porenanteil (unabhängig vom Betontrennmittel)	langsames Aufhellen der Sichtbetonflächen, geringe Farbtongleichmäßigkeit (unabhängig vom Betontrennmittel)
	Holzwerkstoffplatte Filmbeschichtung (no form oil)	Geringer Porenanteil	hohe Farbtongleichmäßigkeit
	Plexiglas	Tendenziell geringer Porenanteil	hohe Farbtongleichmäßigkeit
Betontrennmittel	Mineralölbasis	Hoher Porenanteil (unabhängig von Schalungshautart und Verdichtung)	geringe Farbtongleichmäßigkeit (unabhängig von der Schalungshautart)
	Emulsion auf Pflanzenölbasis	Geringer Porenanteil (unabhängig von Schalungshautart und Verdichtung)	hohe Farbtongleichmäßigkeit (unabhängig von der Schalungshautart)
Verdichtung	Anzahl der Eintauchstellen	1	Ein Einfluss der Verdichtung auf die Farbtongleichmäßigkeit konnte im Rahmen der Untersuchungen nicht festgestellt werden.
		4	

Frequenz des Innen- rüttlers	60 - 80 Hz	Hoher Porenanteil (unabhängig von der Schalungs- hautart)
	120 - 160 Hz	Geringer Porenanteil (unabhängig von der Schalungs- hautart)

4.2 Sichtbeton bei geneigten Schalungen

In Weiterführung der Untersuchungen zur Thematik von Wechselwirkungen bei geneigten Schalungssystemen sollten die Versuchsergebnisse aus dem Laborversuch von *Boska*²⁸⁸ im Feldversuch verifiziert werden. Im Rahmen des Feldversuchs wurden vor allem die Einzelkriterien Porigkeit, Schalungshaut, Ebenheit sowie Arbeitsfugen und Schalungshautstöße betrachtet.

4.2.1 Versuchsaufbau

Für die Feldversuche wurde die Herstellung von Stützen mit einer komplexen Bauteilgeometrie und höchsten Sichtbetonanforderungen in Ortbetonbauweise ausgewählt. Es handelte sich dabei um die in den folgenden Abbildungen dargestellten, 8,90 m hohen, V-förmigen Stützen eines Bürogebäudes, deren Stützenarme unterschiedlich geneigt sind. Während Stützenarm A eine Neigung von 54° von der Horizontalen aufweist, ist Stützenarm B 77° von der Horizontalen geneigt. Darüber hinaus sind auch die Seitenflächen der

²⁸⁸ Vgl. Boska (2013), S.149 ff.

Stützen unterschiedlich geneigt, wie an den Querschnitten durch die beiden Stützenarme zu erkennen ist.

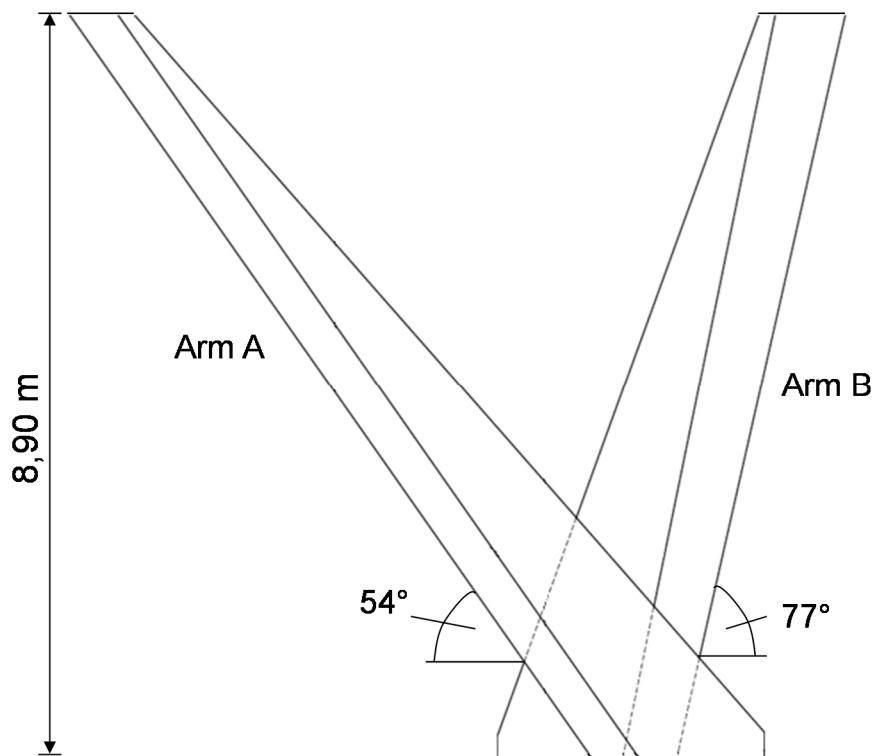


Abbildung 4-16: Ansicht der Stützen²⁸⁹

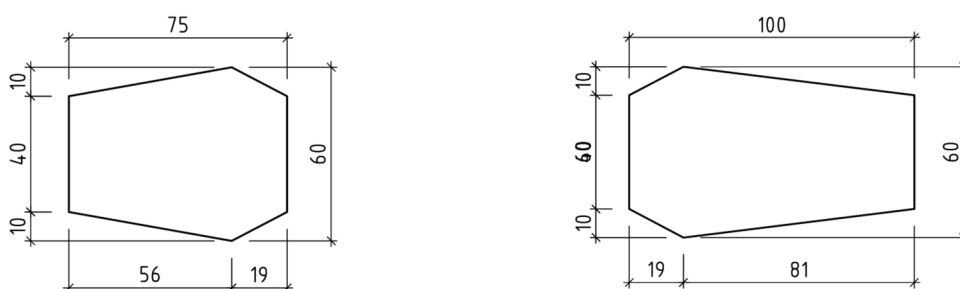


Abbildung 4-17: Schnitt Stützenarm A und Schnitt Stützenarm B²⁹⁰

Die Schalungskonstruktion war in eine Stützenbasis und die zwei Stützenarme gegliedert. Während für die Stützenbasis zwei Schalungssätze auf der Baustelle vorgehalten wurden, um einen angemessenen Baufortschritt zu ermöglichen, war die Schalung für die Stützenarme nur einfach auf der Baustelle vorhanden. Dadurch kamen die Schalungssätze für die Stützenbasis nur zwei Mal zum Einsatz. Die Schalung der Stützenarme wurde hingegen

²⁸⁹ Bildnachweis: doka (2013)

²⁹⁰ Bildnachweis: doka (2013)

vier Mal eingesetzt. Die Schalungskonstruktion war mit einer Birkensperrholzplatte mit Phenolharzbeschichtung von 220 g/m² belegt. Bei dem Betontrennmittel handelte es sich um eine Öl-in-Wasser-Emulsion, die laut Hersteller für die Herstellung von hellen, porenarmen Betonoberflächen geeignet sein soll, da es das Abgleiten der Luftblasen begünstigt. Die Stützen wurden aus einem Beton der Druckfestigkeitsklasse C30/37 und der Konsistenzklasse F4 als Weißbeton ausgeführt. Als Betonabstandhalter wurden Einzelabstandhalter mit kleiner Auflagefläche gewählt, die farblich an den Weißbeton angepasst waren.

Betonzusammensetzung:

C 30/37 XCA, XD2, XF2, XA2, F4 CEM I 42,5 BLANC

Schalungs- und Bewehrungsmaterial



Abbildung 4-18: Birkensperrholzplatte mit Phenolharzbeschichtung

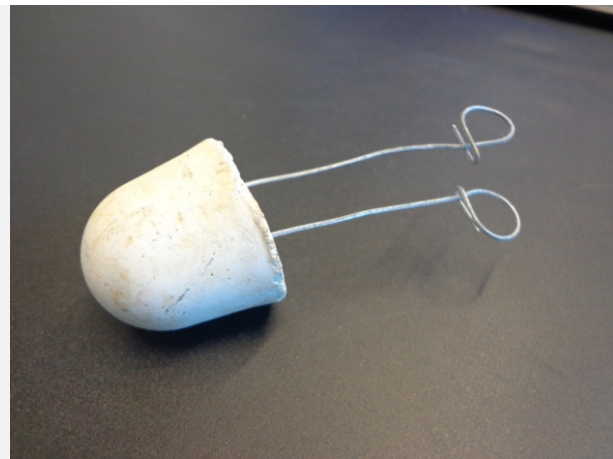


Abbildung 4-19: Betonabstandhalter

4.2.2 Versuchsergebnisse

Dem DBV Merkblatt *Sichtbeton* zufolge ist der Gesamteindruck das maßgebende Kriterium für die Abnahme eines Sichtbetonbauteils.²⁹¹ Der Gesamteindruck soll hierfür aus einem angemessenen Betrachtungsabstand und bei üblichen Lichtverhältnissen beurteilt werden. Dabei wird für die Beurteilung des Gesamteindrucks von einzelnen Bauteilen der Betrachtungsabstand empfohlen, der bei üblicher Nutzung vom Betrachter eingenommen wird.²⁹² Bei den untersuchten Sichtbetonstützen gibt es drei verschiedene übliche Betrachterspektiven. Die der Fußgänger, der Autofahrer und der Nutzer aus dem Gebäude selbst.

²⁹¹ Vgl. Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V., Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (2015), S. 32.

²⁹² Vgl. Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V., Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (2015), S. 33.

Der Gesamteindruck aus diesen drei Betrachterperspektiven ist in der folgenden Tabelle dargestellt und in allen drei Fällen mit befriedigend zu beurteilen.



Abbildung 4-20: Gesamteindruck Stütze III

Im Sinne des DBV Merkblatts *Sichtbeton* wäre die Beurteilung der Sichtbetonbauteile damit abgeschlossen, da der Gesamteindruck als befriedigend eingestuft worden ist und somit das Bauteil den vereinbarten Anforderungen entspricht.²⁹³ Im Rahmen der Feldversuche sollten jedoch die auftretenden Phänomene auf den Sichtbetonflächen festgehalten werden. Für die Beurteilung wurden daher die Einzelkriterien des DBV Merkblatts *Sichtbeton* herangezogen. Wie in den folgenden Tabellen an den Ansichten der Arme zweier ausgewählter Sichtbetonstützen erkennbar ist, sind Phänomene vor allem in Form von Poren sowie Wasserläufern auf der Sichtbetonfläche aufgetreten.

²⁹³ Vgl. Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V., Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (2015), S. 33.

Stütze III - Ansichten



Stützenarm A



Stützenarm B

Abbildung 4-21: Ansichten der Stützenarme Stütze III

Stütze IV - Ansichten



Stützenarm A



Stützenarm B

Abbildung 4-22: Ansichten der Stützenarme Stütze IV

4.2.2.1 Einzelkriterium Porigkeit

Für die Auswertung der Porigkeit wurden an jeder Sichtbetonstütze jeweils fünf Aufnahmen der Oberseite der beiden Stützenarme A und B in gleichmäßigen Abständen erstellt, die sich vom oberen Ende bis zum unteren Ende der Stützenarme gleichmäßig verteilen. In den folgenden Tabellen sind die Detailansichten, anhand derer die Porigkeit ausgewertet worden ist, dargestellt. In der oberen Zeile sind jeweils die Detailansichten von Stützenarm A angeordnet, der 54° von der Horizontalen geneigt ist und in der unteren Zeile die Detailansichten von Stützenarm B, der mit 77° steiler von der Horizontalen geneigt ist. Bereits ohne Anwendung von Auswertungsmethoden zur Bestimmung des Porenanteils ist bei Stütze III deutlich sichtbar, dass der stärker geneigte Arm A eine deutlich höhere Porigkeit aufweist als der Stützenarm B, während sich auf Stützenarm B deutlich mehr Wasserläufer gebildet haben.

Tabelle 4-13: Stütze III – Detailansichten Porigkeit Stützenarme

	Oberes Ende	Oberes Drittel	Mitte	Unteres Drittel	Unteres Ende
Arm A (54° g.H.)					
Arm B (77° g.H.)					

Die computergestützte Bildauswertung der Aufnahmen der Stützenarmoberseiten von Stütze III hat die Verteilungen der Porigkeit in den beiden folgenden Abbildungen ergeben. Stützenarm B, der steilere der beiden Stützenarme, weist eine geringere Porigkeit auf als Stützenarm A. Darüber hinaus ist bei beiden Stützenarmen eine Zunahme der Poren vom unteren Ende der Stützenarme zum oberen Ende der Stützenarme erkennbar.

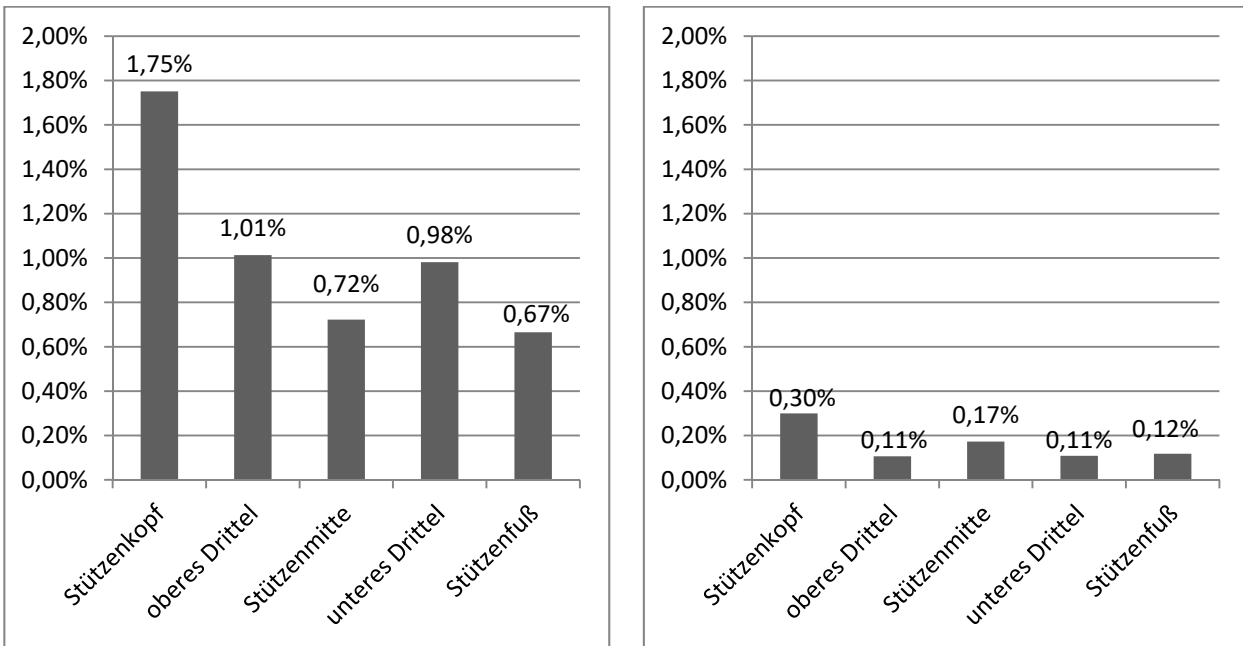


Abbildung 4-23: Stütze III – Auswertung Porigkeit Stützenarme A und B

Bei Stütze IV ergibt sich das gleiche Bild wie bei Stütze III. Der stärker geneigte Stützenarm A weist ebenfalls eine höhere Porigkeit auf als Stützenarm B, während sich auf Stützenarm B gleichermaßen Wasserläufer gebildet haben.

Tabelle 4-14: Stütze IV – Detailansichten Porigkeit Stützenarme

	Oberes Ende	Oberes Drittel	Mitte	Unteres Drittel	Unteres Ende
Arm A (54° g.H.)					
Arm B (77° g.H.)					

Die computergestützte Bildauswertung von den Aufnahmen der Oberseiten der beiden Stützenarme von Stütze IV weist das gleiche Phänomen auf, das bereits bei Stütze III fest-

zustellen war. Stützenarm A besitzt mehr Poren als Stützenarm B und bei beiden Stützenarmen ist tendenziell ein Anstieg der Porigkeit vom unteren Ende der Stützenarme zum oberen Ende der Stützenarme zu beobachten.

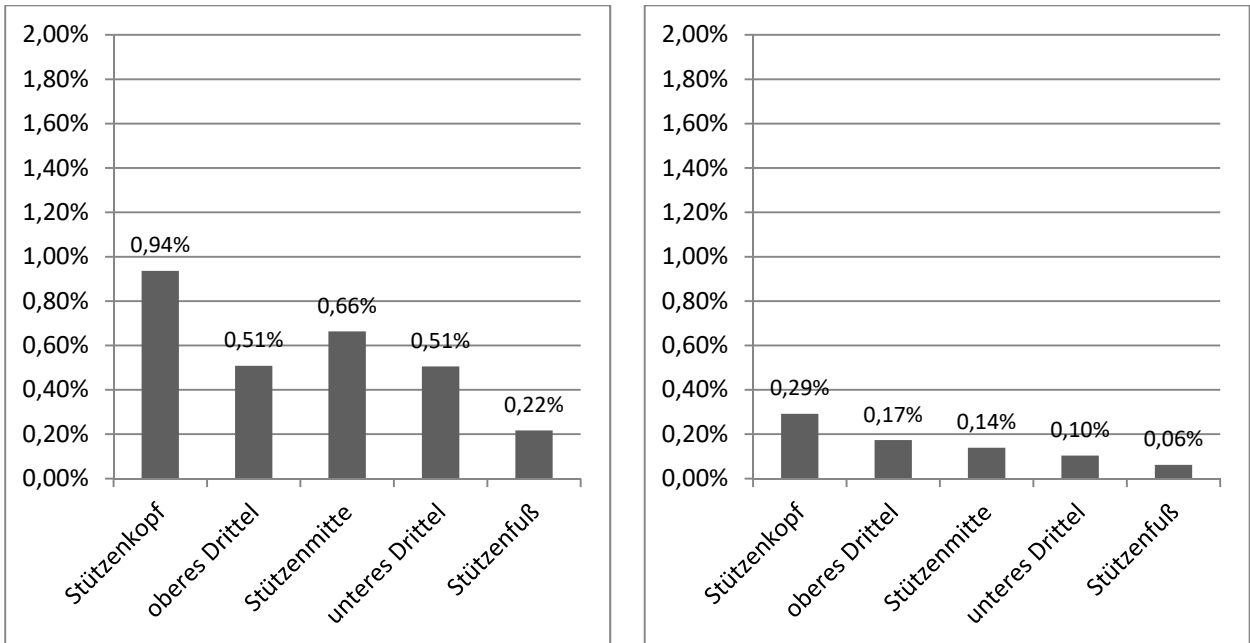


Abbildung 4-24: Stütze IV – Auswertung Porigkeit Stützenarme A und B

In den folgenden beiden Diagrammen in Abbildung 4-25 sind die Ergebnisse der beiden Stützen getrennt nach den Stützenarmen A und B aufgetragen. Diese Darstellungen verdeutlichen noch einmal den starken Unterschied des Porenanteils auf den beiden Stützenarmen.

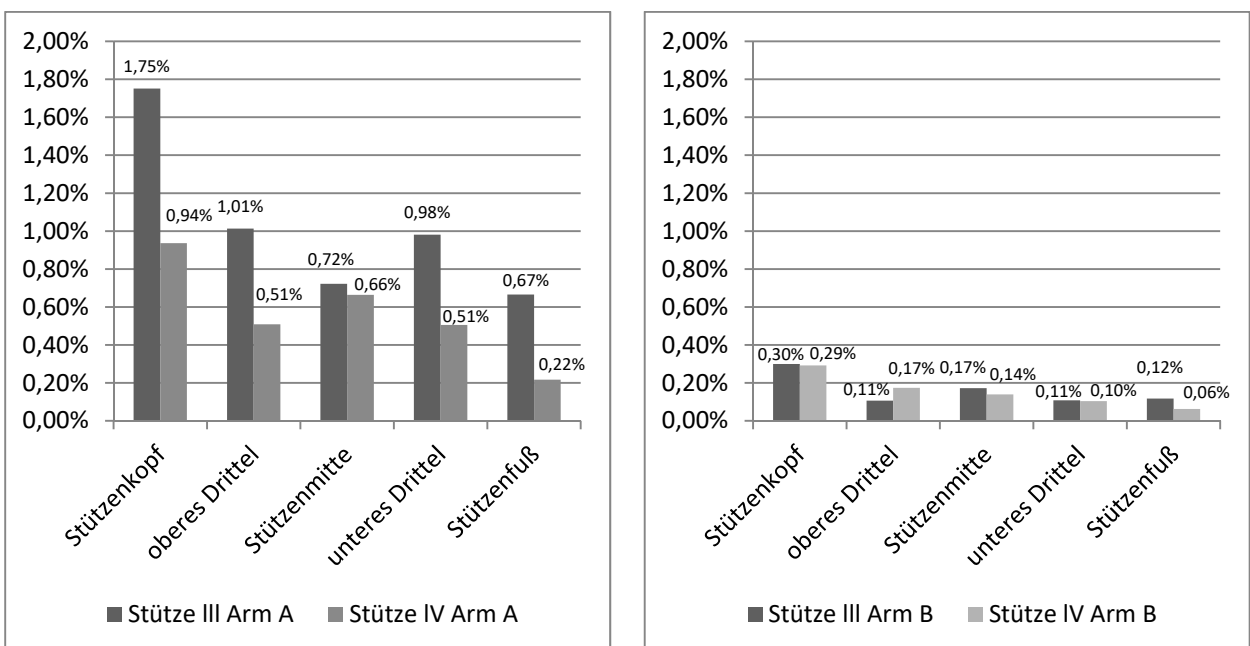


Abbildung 4-25: Vergleich Stütze III und IV – Stützenarme A und B getrennt

Alle Ergebnisse der Auswertung der Porenanteile von Stütze III und Stütze IV zusammengetragen, verdeutlichen die Aussage, dass mit zunehmender Bauteilhöhe der Stützenarme auch der Porenanteil auf der Betonfläche ansteigt. Bis auf wenige Abweichungen ist ein Anstieg des Porenanteils vom unteren Ende der Stützenarme zum oberen Ende der Stützenarme ablesbar. Dieses Merkmal ist unabhängig von der Betrachtung des Stützenarms A oder B und stellt daher ein übergreifendes Phänomen dar.

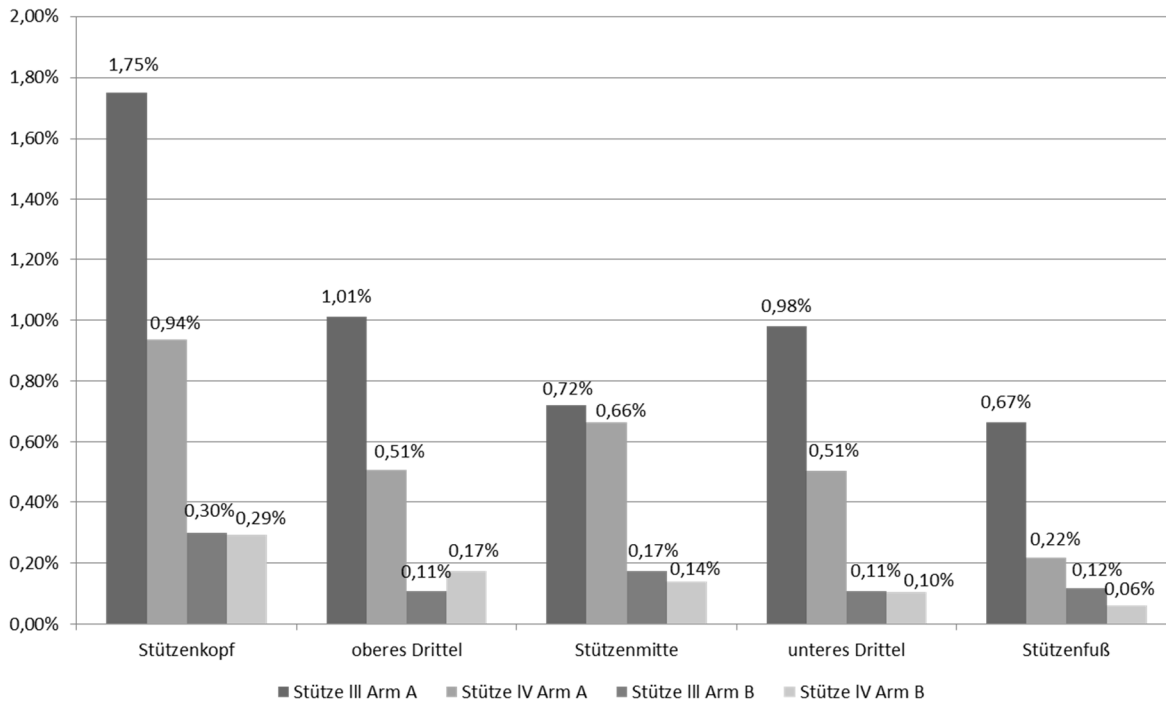


Abbildung 4-26: Vergleich Stütze III und IV – Stützenarme A und B gesamt

Zum Vergleich der Porigkeit am gesamten Bauteil sind in der folgenden Tabelle weitere Flächen der Sichtbetonstützen dargestellt. Die Auswertungen der Porigkeit dieser Flächen und die Abbildungen verdeutlichen, dass die restlichen Flächen der Sichtbetonstützen eine fast porenfreie Oberfläche aufweisen und die höchsten Sichtbetonanforderungen in Bezug auf das Einzelkriterium Porigkeit erfüllen.



Abbildung 4-27: Ansichten Stütze III

Das erläuterte Phänomen des zunehmenden Porenanteils mit steigender Bauteilhöhe konnte ebenfalls bei geneigten Sichtbetonstützen eines weiteren Bauvorhabens in Form eines Schulgebäudes beobachtet werden. In Abbildung 4-28 sind die geneigten Sichtbetonstützen dargestellt, die im Rahmen des Schulgebäudes vier Mal hergestellt worden sind.

Ansichten der geneigten Sichtbetonstützen

**Abbildung 4-28: Ansichten der geneigten Sichtbetonstützen**

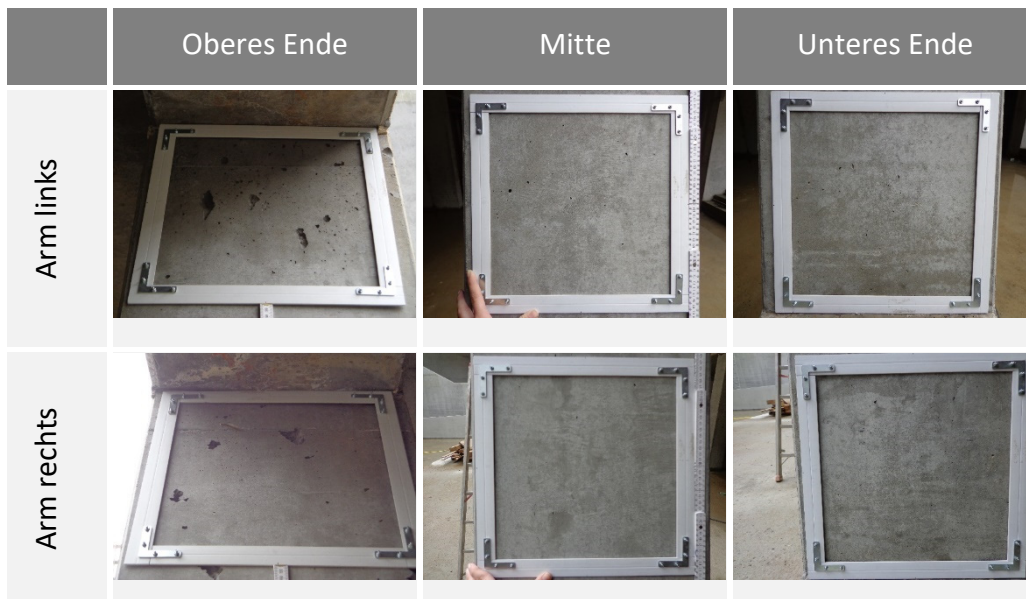
In der folgenden Abbildung 4-29 sind die Ansichten der geneigten Sichtbetonflächen der Stütze in Achse D7 im Erdgeschoss dargestellt. Bereits bei Betrachtung der Gesamtansicht aus einem üblichen Betrachtungsabstand ist der hohe Anteil von Poren im oberen Bereich der geneigten Sichtbetonflächen der Stützenarme zu erkennen.

Ansichten der geneigten Sichtbetonflächen der Stütze EG Achse D7

**Abbildung 4-29: Ansichten der geneigten Sichtbetonflächen der Stütze EG Achse D7**

Für die Betrachtung der Porigkeit wurden an jeder Sichtbetonstütze jeweils drei Aufnahmen der Oberseite der beiden Stützenarme erstellt. Die Stützenarme der Sichtbetonstützen waren bei dem Schulgebäude beide gleichermaßen geneigt, sodass in der Porenverteilung der Detailansichten zwischen den Stützenarmen nur geringfügige Unterschiede erkennbar sind.

Tabelle 4-15: Stütze EG Achse D7 – Detailansichten Porigkeit Stützenarme



Die gleichen Ergebnisse zeigten sich an zwei weiteren geneigten Sichtbetonstützen im Erdgeschoss des Schulgebäudes. Auch bei diesen Stützen in Achse G7 und G9 gab es bezüglich der Porenverteilung der beiden gleich geneigten Stützenarme keine Abweichungen.

In der folgenden Abbildung 4-30 sind die Ansichten der geneigten Sichtbetonflächen der vierten Stütze in Achse D9 im Erdgeschoss dargestellt. Bei Betrachtung der Sichtbetonflächen aus einem üblichen Betrachtungsabstand sind hier geringfügig mehr Poren auf dem rechten Stützenarm als auf dem linken Stützenarm zu sehen, obwohl beide die gleiche Neigung aufweisen.

Ansichten der geneigten Sichtbetonflächen der Stütze EG Achse D9



Abbildung 4-30: Ansichten der geneigten Sichtbetonflächen der Stütze EG Achse D9

Diese geringfügigen Abweichungen in der Porigkeit der geneigten Sichtbetonflächen der beiden Stützenarme sind in den Detailansichten in der folgenden Tabelle 4-16 deutlicher zu erkennen.

Tabelle 4-16: Stütze EG Achse D9 – Detailansichten Porigkeit Stützenarme

	Oberes Ende	Mitte	Unteres Ende
Arm links			
Arm rechts			

Bei der Herstellung aller vier Stützen im Erdgeschoss gab es im Rahmen der Arbeitssysteme keinerlei Abweichungen in Bezug auf die Eingabe, die Betriebsmittel, den Faktor Mensch, die Arbeitsaufgabe sowie die Betriebsmittel. Die Ursache, die zu den Abweichungen in der Porigkeit geführt hat, muss daher aus dem Arbeitsablauf resultieren. Mögliche Ursachen können unter anderem ein unsachgemäß aufgetragenes Betontrennmittel sowie eine nicht sach- und fachgerecht ausgeführte Verdichtung sein.

Bei Betrachtung der geneigten Sichtbetonstützen im ersten und zweiten Obergeschoss des Schulgebäudes ist trotz der geringeren Bauteilhöhe ein Ansteigen des Porenanteils mit wachsendem Bauteil zu beobachten.









Ansichten der geneigten Sichtbetonflächen der Stützen 1. OG Achse G9



Abbildung 4-31: Ansichten der geneigten Sichtbetonflächen der Stützen 1. OG Achse G9

Aufgrund der geringen Bauteilhöhe wurden die Detailaufnahmen bei den Sichtbetonstützen im ersten und zweiten Obergeschoss nur am oberen und unteren Ende der jeweiligen Sichtbetonstütze aufgenommen. Die Detailansichten der Stützen aus der folgenden Tabelle 4-17 stehen stellvertretend für alle geneigten Sichtbetonstützen aus dem ersten und zweiten Obergeschoss.

Tabelle 4-17: Stützen 1. OG Achsen G7 und G9 – Detailansichten Porigkeit

	Stützen 1. Obergeschoss Achse G7		Stützen 1. Obergeschoss G9	
	Oberes Ende	Unteres Ende	Oberes Ende	Unteres Ende
Arm links				
Arm rechts				

Bei allen Stützen ist ein Anstieg der Porigkeit zum oberen Ende der Stützen hin zu beobachten. Darüber hinaus ist es im Gegensatz zu den geneigten Sichtbetonstützen im Erdgeschoss aufgrund der mangelhaften Abdichtung der Schalungskonstruktion am unteren Ende der Sichtbetonstützen zu Kiesnestbildungen bei mehreren Stützen gekommen, die in die Porigkeitsbetrachtung nicht mit einbezogen worden sind.

4.2.2.2 Einzelkriterium Farbtongleichmäßigkeit

Bei der Betrachtung des Einzelkriteriums der Farbtongleichmäßigkeit gab es insgesamt bei den betrachteten Sichtbetonstützen nur wenig zu beanstanden. Die höchsten Anforderungen an die Farbtongleichmäßigkeit wurden bei drei von vier Sichtbetonstützen erfüllt. Bei Stütze IV kam es hingegen zu starken Grautonschattierungen zwischen den verschiedenen Einbauschichten des Betons. Der Beton für eine Sichtbetonstütze musste aufgrund des Volumens auf mehrere Betontransportfahrzeuge aufgeteilt werden. Betrachtet man die Sichtbetonstütze direkt nach dem Ausschalen, wie in der folgenden Abbildung dargestellt, so ist zu erkennen, dass das obere Ende von Stützenarm A und B der Sichtbetonstütze IV deutlich heller ist als der jeweils untere Teil der Stützenarme. Die Stützenarme weisen demnach deutliche Grautonschattierungen auf.

Stütze IV - Ansichten



Ansicht Stützenfuß



Seitenansicht Stützenarm B

Abbildung 4-32: Ansichten Stütze IV

Solche Farbtonunterschiede zwischen benachbarten Einbauschichten des Betons können aufgrund von Störungen im Liefer-Verbrauch-Rhythmus des Betons oder durch die Verwendung verschiedener Betonlieferungen entstehen. Trotz gleicher Betonrezeptur können solche Farbtonunterschiede in der Sichtbetonfläche aufgrund von starken Schwankungen der Ausgangsstoffe, wie beispielsweise dem Zement, entstehen. Der Beton, aus dem diese oberen Enden der Stützenarme betoniert worden sind, stammt aus einer anderen Betonlieferung als der Beton für den jeweils unteren Teil der Stützenarme. Aus diesem Grund ist es möglich, dass die verschiedenen Betonlieferungen aus Ausgangsstoffen unterschiedlicher Chargen hergestellt worden sind und somit diese Variation des Farbtons entstehen konnte.

Die Betrachtung von Stütze IV einen Tag nach dem Ausschalen zeigt bereits ein erstes Angleichen des Farbtons der unterschiedlichen Betonierabschnitte. Ein komplettes Egalisieren der Grautonschattierungen zwischen den beiden benachbarten Betonierabschnitten ist jedoch nicht gesichert.



Abbildung 4-33: Ansichten Stütze IV – einen Tag nach dem Ausschalen

4.2.2.3 Einzelkriterium Ebenheit / Arbeitsfugen und Schalungsstöße

Geneigte Schalungskonstruktionen, wie bei den hier untersuchten V-förmigen Sichtbetonstützen, sind komplex aufgrund des Stabilitätsfalls. Daher sind die Aufbau- und Verwendungsanleitungen solcher Schalungskonstruktionen für die Arbeitskräfte auf der Baustelle von Bedeutung. Bei besonders komplexen Schalungskonstruktionen ist darüber hinaus der Einsatz eines Richtmeisters zu empfehlen, der die Arbeitskräfte einweist und die Montage der Schalungskonstruktion überwacht. Neben der Montage solcher Schalungskonstruktionen stellen auch die unklaren Frischbetondruckverhältnisse eine Herausforderung dar. In einem Forschungsvorhaben des Instituts für Massivbau der Technischen Universität Darmstadt sollten diese unklaren Frischbetondruckverhältnisse erkundet werden.²⁹⁴

Aufgrund der beschriebenen Komplexität der Schalungskonstruktion und der unklaren Frischbetondruckverhältnisse kann es an Schalungshautstößen zu Problemen in Form von Undichtigkeiten und Schalungshautversätzen kommen. Bei der vorliegenden Schalungskonstruktion war der Übergang zwischen Stützenbasis und Stützenarm ein kritischer Bereich.

²⁹⁴ Vgl. Freund (2017)

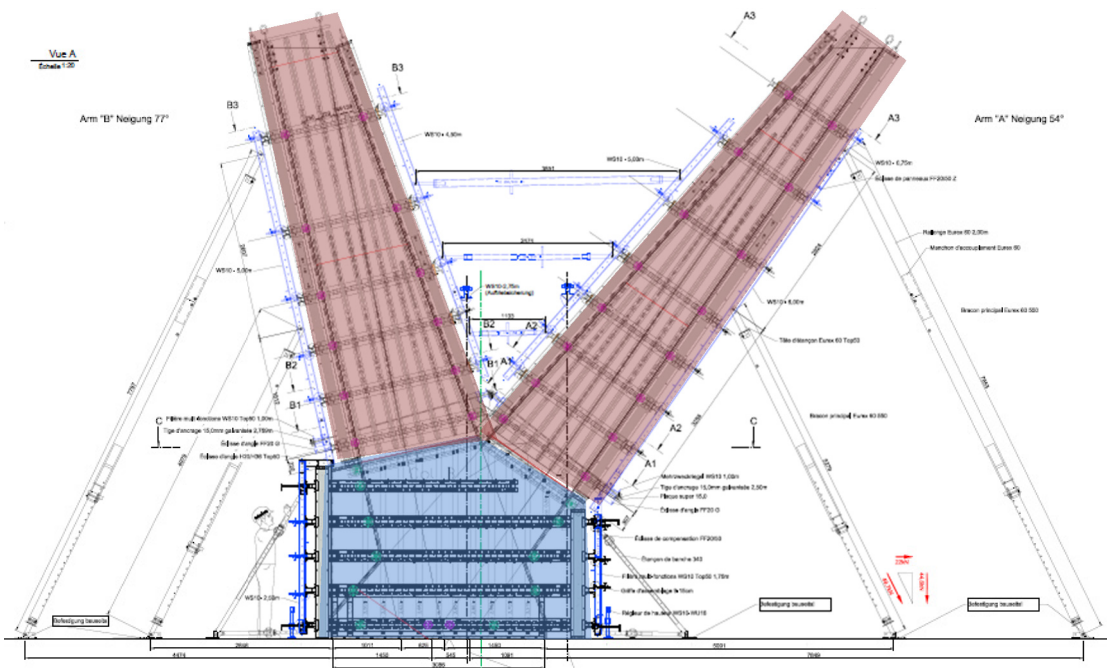


Abbildung 4-34: Darstellung der Schalungskonstruktion²⁹⁵

Auf den folgenden Bildern ist deutlich zu erkennen, dass es genau in diesem Bereich des Übergangs zwischen den einzelnen Bestandteilen der Schalungskonstruktion zu Versprün- gen zwischen den benachbarten Sichtbetonflächen gekommen ist.

²⁹⁵ Bildnachweis: doka (2013)



Abbildung 4-35: Stütze IV – Einzelkriterium Ebenheit

4.2.2.4 Einzelkriterium Schalungshaut

Bei Sichtbetonbauteilen mit den höchsten Anforderungen an die Gestaltung gelten ebenfalls für die verwendete Schalungshaut die höchsten Anforderungen.²⁹⁶ Dies bedeutet für die Schalungshaut, dass diese keinerlei mechanische Beschädigungen, Löcher oder Verschmutzungen aufweisen darf. Reparaturstellen sind ebenfalls nur nach Rücksprache mit dem Auftraggeber sowie in sach- und fachgerechter Ausführung zulässig.²⁹⁷

An die Schalungshaut der Sichtbetonstützen waren ebenfalls die höchsten Anforderungen gestellt. Aufgrund nicht eingeplanter Rüttelgassen für die Innenrüttler sowie des Versäumnisses des ausführenden Bauunternehmens eine alternative Lösung zu entwickeln, kam es

²⁹⁶ Vgl. Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V., Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (2015), S. 12.

²⁹⁷ Vgl. Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V., Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (2015), S. 15.

bei dem Verdichtungsvorgang der ersten Sichtbetonstütze zu Beschädigungen der Schalungshaut aufgrund der Berührung dieser mit dem Innenrüttler. Diese Beschädigungen der Schalungshaut sind in den folgenden Abbildungen dargestellt. Es handelt sich dabei um punktförmige Abplatzungen der Deckschicht der Schalungshaut und teilweise Beschädigungen der darunterliegenden Tragschicht. Dies ist auf den Bildern von Stütze I gut erkennbar, da sich dort punktförmige Betonreste als Negativabdruck der Beschädigungen auf der Betonfläche befinden.

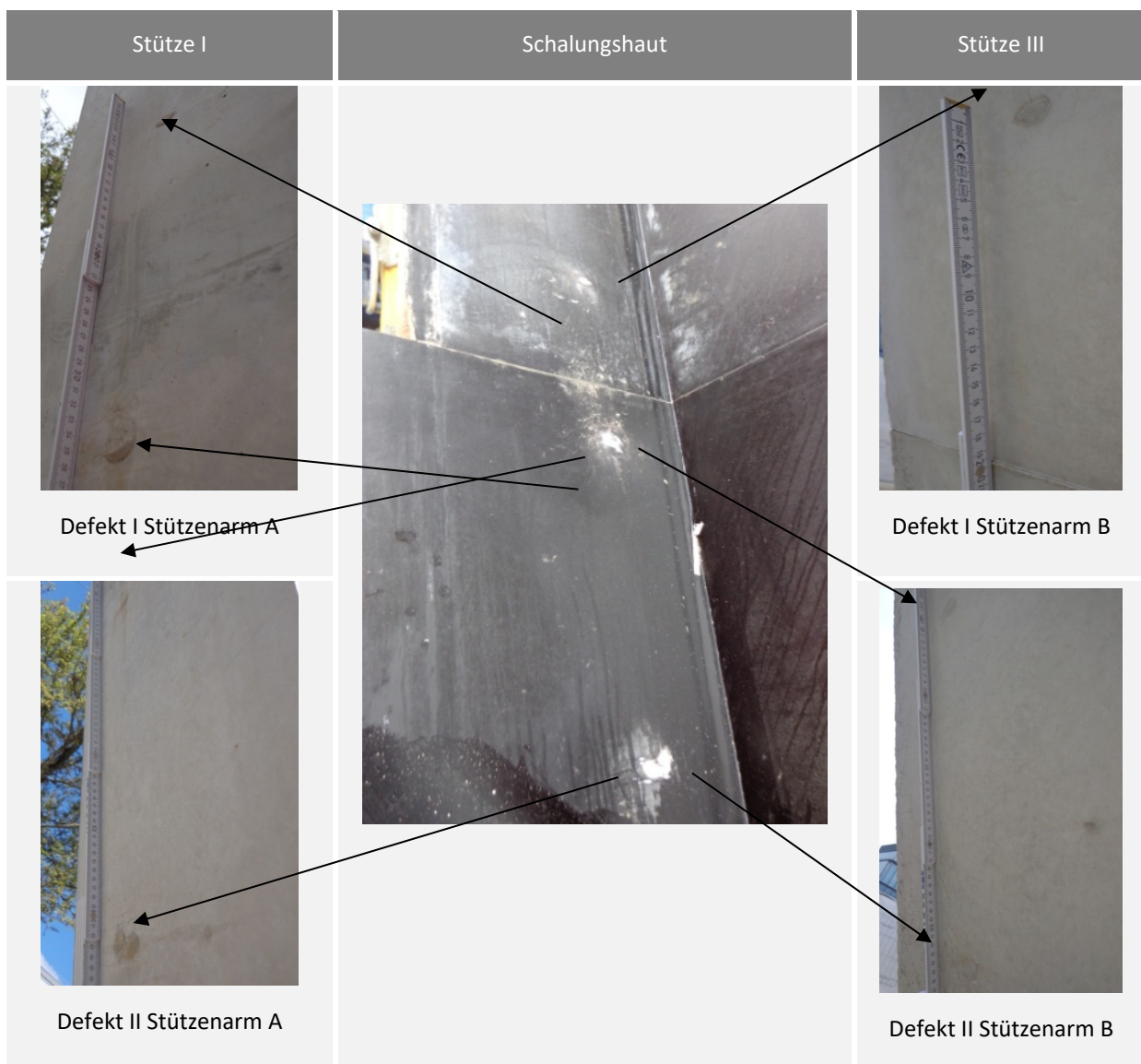


Abbildung 4-36: Stütze IV - Reparaturstellen auf der Schalungshaut und Defekte auf den Betonflächen

Nach dem Ausschalen von Stütze I wurden die Defekte auf der Schalungshaut mit einer Spachtelmasse ausgebessert. Die Schalungshaut kam nach der Reparatur bei Stütze III wieder zum Einsatz, wo die Reparaturstellen zu Farbtonabweichungen auf der Sichtbetonfläche führten. Diese sind aufgrund des unterschiedlichen Saugverhaltens von Schalungshaut und Spachtelmasse aufgetreten. Dies zeigt, wie wichtig die Durchführung einer

sach- und fachgerechten Reparatur der Schalungshaut und die Abstimmung des Saugverhaltens der verschiedenen Materialien sind.

Über die Beschädigungen der Schalungshaut hinaus wurden noch Ripplings auf den Sichtbetonflächen beobachtet. Dabei handelt es sich um wellenförmige Abdrücke in der Sichtbetonfläche. Diese sind bei den untersuchten Sichtbetonstützen vor allem entlang von Schalungshautstößen an den Stützenarmen angeordnet, wie auf den folgenden Bildern zu erkennen ist.

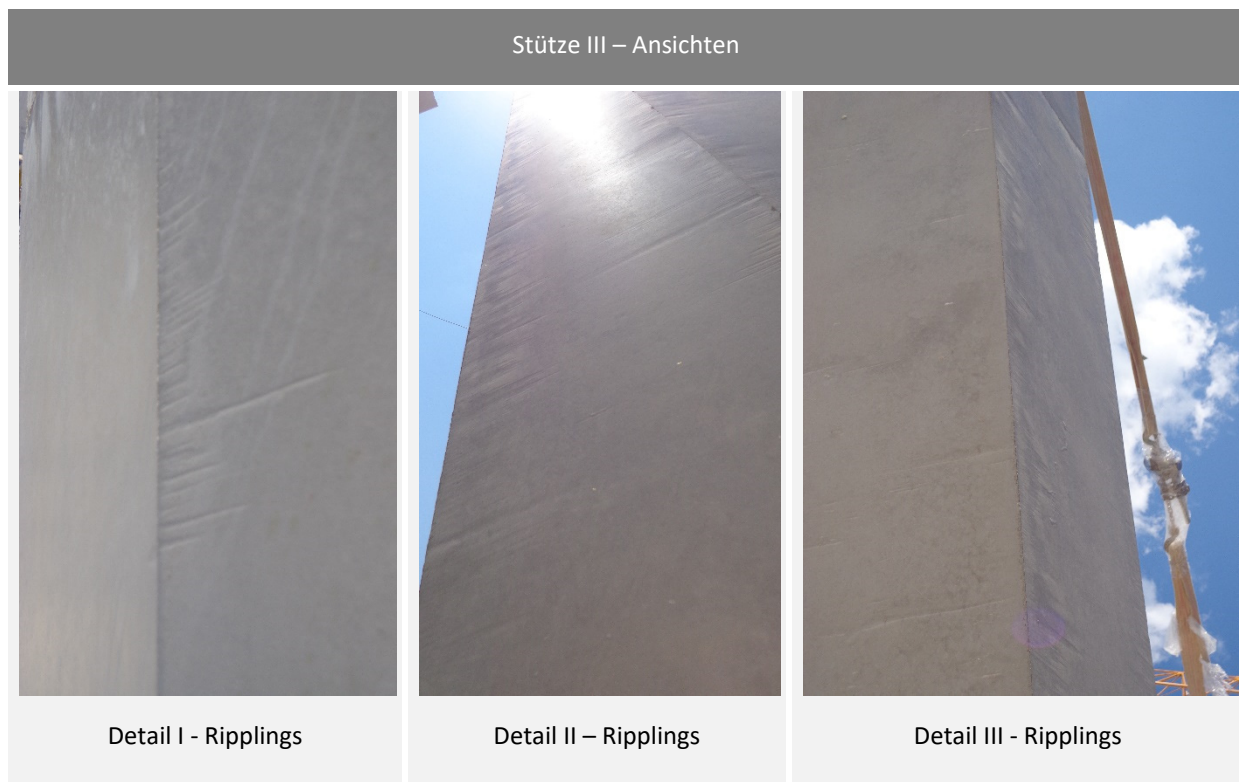


Abbildung 4-37: Ansichten – Stütze III

Eine solche Anordnung von Ripplings entlang von Schalungshautstößen deutet auf eine für die Sichtbetonherstellung ungeeignete Schalungshaut hin. Es handelt sich bei dem Trägermaterial solcher Schalungshäute meist um quallempfindliches Material, das bei ungenügendem Abdichten der Schalungshautstöße und fehlerhaftem Versiegeln der Schalungshautkanten das Wasser aus dem Beton aufsaugt und infolgedessen aufquillt. Daher empfiehlt es sich, eine Schalungshaut zu wählen, die aus einem wenig quellenden Trägermaterial sowie einer ausreichenden Beschichtung besteht. Darüber hinaus ist zu einer sach- und fachgerechten Imprägnierung der Schalungshautkanten sowie Abdichtung der Schalungshautstöße zu raten.²⁹⁸

²⁹⁸ Schulz (2011), S. 88 f.

4.2.2.5 Ermittlung von Aufwandswerten

Außer der Betrachtung der Einzelkriterien der Sichtbetonstützen war auch die Ermittlung von Aufwandswerten für die Schalungsarbeiten von Interesse. In der Literatur und bei bisherigen Forschungsvorhaben wurden lediglich einfach geneigte Bauteile betrachtet, aber nicht der Zeitaufwand zur Herstellung der Schalungssysteme solcher komplex geneigten Bauteile untersucht und erfasst. Zu diesem Zweck wurden bei der Herstellung der vier komplex geneigten Sichtbetonstützen Multimomentaufnahmen durchgeführt. Die Aufwandswerte sind aufgrund der geringen Anzahl an Bauteilen respektive an durchgeführten Multimomentaufnahmen²⁹⁹ als Richtwerte zu sehen.

Arbeitsaufgabe: Einschalen einer komplex geneigten Sichtbetonstütze

Beschreibung des Arbeitssystems:

- Arbeitsmethode: Einschalen mit Kran
- Betriebsmittel: Autokran
- Arbeitsplatz: Baugrund, Hubsteiger, Arbeitsbühnen, Schalung
- Arbeitsgegenstand: Schalung
- Transporte: mit Kran, per Hand
- Ausgeführte Menge: Schalung [m²]
- Witterung: sonnig
- Anzahl Arbeiter: 3 Arbeitskräfte (und Kranführer)
- Alter Arbeiter: 35 bis 45 Jahre
- Dauer Ausführung: 96 Stunden (5760 Minuten)
- Abmessungen: Fläche: 63,091 m²

²⁹⁹ Siehe Kapitel 1.5.1.2 für weiterführende Erläuterungen



Abbildung 4-38: Einschalen einer komplex geneigten Sichtbetonstütze

Ergebnis der Auswertung der Multimomentaufnahmen:

Die Auswertung der Multimomentaufnahmen zur Arbeitsaufgabe *Einschalen einer komplex geneigten Sichtbetonstütze* ergibt einen Aufwandswert von 1,50 h/m². Der Aufwandswert für das Einschalen von einfach geneigten Sichtbetonstützen beträgt hingegen ca. 1,00 h/m².³⁰⁰

Arbeitsaufgabe	Aufwandswert t _e
Einschalen einer einfach geneigten Sichtbetonstütze	1,00 h/m ²
Einschalen einer komplex geneigten Sichtbetonstütze	1,50 h/m ²

Beschreibung des Arbeitssystems:

- Arbeitsmethode: Ausschalen mit Kran
- Betriebsmittel: Autokran
- Arbeitsplatz: Baugrund, Hubsteiger, Arbeitsbühnen, Schalung
- Arbeitsgegenstand: Schalung
- Transporte: mit Kran, per Hand
- Ausgeführte Menge: Schalung [m²]
- Witterung: sonnig

³⁰⁰ Vgl. Schömbs (2012), S. 117 ff.

- Anzahl Arbeiter: 3 Arbeitskräfte (und Kranführer)
- Alter Arbeiter: 35 bis 45 Jahre
- Dauer Ausführung: 24 Stunden (1440 Min)
- Abmessungen: Fläche: 63,091 m²



Abbildung 4-39: Ausschalen einer komplex geneigten Sichtbetonstütze

Ergebnis der Auswertung der Multimomentaufnahmen:

Die Auswertung der Multimomentaufnahmen ergibt einen Aufwandswert von 0,40 h/m² für das Ausschalen einer komplex geneigten Sichtbetonstütze. Der Aufwandswert für die Arbeitsaufgabe *Ausschalen einer einfach geneigten Sichtbetonstütze* beträgt hingegen ca. 0,25 h/m².³⁰¹

Arbeitsaufgabe	Aufwandswert t _e
Ausschalen einer einfach geneigten Sichtbetonstütze	0,25 h/m ²
Ausschalen einer komplex geneigten Sichtbetonstütze	0,40 h/m ²

Insgesamt ist festzustellen, dass das Ein- und Ausschalen einer komplex geneigten Sichtbetonstütze die dreifache Zeit in Anspruch nimmt im Vergleich zum Ein- und Ausschalen einer einfach geneigten Sichtbetonstütze. Es ist daher nicht ausreichend bei der Ermittlung

³⁰¹ Vgl. Schömbs (2012), S. 117 ff.

von Aufwandswerten nur zwischen vertikalen und geneigten Bauteilen zu unterscheiden. Vielmehr ist es notwendig, bei den geneigten Bauteilen ebenfalls zwischen einfachen und komplexen Schalungskonstruktionen zu differenzieren, wie die Unterschiede bei den ermittelten Aufwandswerten deutlich machen.

	Porigkeit	Farbtongleichmäßigkeit	Ebenheit / Arbeitsfugen und Schalungshautstöße
Schalungshaut	Geringer Porenanteil (ausgenommen geneigte Oberseite der Stützenarme)	Hohe Farbtongleichmäßigkeit	Bildung von Rippings an den Schalungshautstößen
Betontrennmittel			Ein Einfluss des Betontrennmittels konnte im Rahmen der Untersuchungen nicht festgestellt werden.
Verdichtung			Beschädigung der Schalungshaut durch Innenrüttler, Folge: Abzeichnung auf Sichtbetonfläche

4.3 Sichtbetontechnologie im Ingenieurbau

Bei Ingenieurbauwerken, wie beispielsweise Brücken oder Tunneln, ist es anders als im Hochbau üblich, die Betonflächen nach ihrer Fertigstellung zu verkleiden. Es handelt sich daher um sichtbar bleibende Betonflächen. Bei Brücken zum Beispiel prägt das Tragwerk mit seinen Betonflächen automatisch die Gestalt und Wirkung des Bauwerks.

Mit der in Kapitel 2.1.6 beschriebenen Neuerung der Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-Ing) – Teil 3 Massivbau³⁰² im Jahr 2014 wurden an diese sichtbar bleibenden Betonflächen zusätzlich Anforderungen an das Aussehen gestellt. Diese Änderung im Regelwerk für den Ingenieurbau hat den Anlass gegeben für weiterführende Untersuchungen der Anwendung von Sichtbeton bei Ingenieurbauwerken. Der Bereich der Ingenieurbauwerke wurde hierbei auf Brückenbauwerke eingeschränkt, da diese mit ihrem Tragwerk und damit auch mit den Sichtbetonflächen ein wesentliches Gestaltungsmerkmal in ihrer Umgebung darstellen. Darüber hinaus stellen Brücken mit 39.500 Bauwerken im Bundesfernstraßennetz einen erheblichen Teil der Baulast Deutschlands dar.³⁰³ Schätzungen zufolge beläuft sich der Gesamtbestand der Bundesrepublik auf 120.000 Brückenbauwerke.³⁰⁴

³⁰² Vgl. Bundesverband für Straßenwesen (2018)

³⁰³ Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2018), S. 173.

³⁰⁴ Naumann (2011), S. 4.

In diesem Zusammenhang wurden die drei folgenden Forschungsbereiche betrachtet:

- Experteninterviews über den Umgang mit Sichtbeton bei Brückenbauwerken vor und nach der Neuerung in der ZTV-Ing 2014;
- Untersuchung von Ausschreibungs- und Planunterlagen zur Kategorisierung von Sichtbetonanforderungen im Brückenbau;
- Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge bei der Ausführung von Sichtbeton im Brückenbau.

4.3.1 Experteninterviews über den Umgang mit Sichtbeton bei Brückenbauwerken vor und nach der Neuerung in der ZTV-Ing 2014

Im Rahmen umfangreicher und systematischer Recherchen musste festgestellt werden, dass die Ausführung von Sichtbetonflächen bei dem Bau von Brücken nicht wissenschaftlich behandelt worden ist. Die Literatur zu diesem Themenkomplex spiegelt einen niedrigen Wissensstand wider.³⁰⁵ Aus diesem Grund ist zur Abbildung des Status quo bei der Herstellung von Sichtbetonbauteilen eine qualitative Datenerhebung in Form von leitfadengestützten Experteninterviews³⁰⁶ durchgeführt worden.

Die Entscheidung für Experteninterviews wurde auf der Grundlage der fehlenden Literatur zu diesem Thema sowie der Novellierung der ZTV-Ing getroffen. Es handelt sich somit um einen Themenkomplex, der in der Form in der Praxis noch sehr unbekannt ist und nicht in Form von standardisierten Fragebögen erhoben werden kann. Vielmehr handelt es sich um einen Themenkomplex, bei dem den Experten gewisse Sachverhalte zunächst vorgestellt und erläutert werden müssen, bevor mit dem Interview begonnen werden kann. Darüber hinaus haben die Experten zur Vorbereitung auf das Interview bereits den Leitfaden zugesendet bekommen, um sich zusätzlich eigenständig über den Themenkomplex vorab informieren zu können.

Die im Interview zu behandelnden Fragenstellungen wurden zur Übersichtlichkeit in die folgenden Themenbereiche zusammengeführt:

- Normative Anforderungen an Sichtbetonbauteil im Brückenbau vor Novellierung der ZTV-Ing im Dezember 2014;
- Anforderungen an Sichtbetonbauteile sowie Einführung von Mindestanforderungen im Zuge der Novellierung der ZTV-Ing;
- Auswirkungen der Novellierung der ZTV-Ing auf die Ausführung im Brückenbau;

³⁰⁵ Vgl. Schulze / Löw (2017a), S. 30.

³⁰⁶ Siehe Kapitel 1.5.3

- Problemstellungen bei der Ausführung im Brückenbau in Zusammenhang mit den neuen Anforderungen der ZTV-Ing.

Die Auswahl der Experten für die Interviews wurde sowohl anhand der Erfahrungen in diesem Bereich sowie der Anzahl an umgesetzten Brückenbauprojekten getroffen. Aufgrund dieser Auswahlkriterien kam nur eine sehr eingeschränkte Auswahlgesamtheit an Personen in Frage. Schließlich wurden insgesamt acht Interviews mit Experten geführt, die unter anderem Leiter von Brückenbauabteilungen in Bauunternehmen und Oberbauleiter im Brückenbau sind sowie über ein umfangreiches Wissen über den Brückenbau verfügen.

Die qualitative Inhaltsanalyse nach Gläser und Laudel wurde als Methodik zur Auswertung der Interviews angewendet.³⁰⁷ Hierzu wurden die Experteninterviews während der Durchführung mit Hilfe eines Diktiergerätes und nach ausdrücklicher Erlaubnis der Experten aufgezeichnet.

Bedeutung von Sichtbeton im Brückenbau

Den acht interviewten Experten zufolge nimmt das Thema Sichtbeton in der derzeitigen Ausführung von Brückenbauwerken eine untergeordnete Rolle ein.³⁰⁸ Brückenbauwerke sind aus deren und aus Sicht der Bauherren vor allem Ingenieurbauwerke, die eine Funktion erfüllen sollen und bei denen das Erscheinungsbild keine Bedeutung hat.³⁰⁹ Lediglich bei Brückenbauwerken in innerstädtischen Bereichen spielen auch das Erscheinungsbild eine Rolle, die auch dort der Bedeutung der Funktion folgt.³¹⁰ Dort liegt der Fokus der Bauherren jedoch auf der Formgebung der Brücke und weniger auf den auszuführenden Sichtbetonflächen.³¹¹ Die einzige Form der Gestaltung der Sichtbetonfläche, die gelegentlich Anwendung findet, liegt in der Kombination unterschiedlicher Schalungshauttypen. Noch seltener werden Matrizen zur Gestaltung der Sichtbetonflächen eingesetzt. Hohe Anforderungen an Sichtbetonflächen kommen den Aussagen der Experten entsprechend eher im Bundesfernstraßenbau auf. Dort stehen größere Budgets für die Ausführung von Brückenbauwerken zur Verfügung und es werden häufiger Architekturwettbewerbe zur Gestaltung von Brücken durchgeführt. Die Architekten sind ebenfalls die Initiatoren für die Anforderungen an Sichtbetonflächen aus Sicht der Experten.³¹²

³⁰⁷ Siehe Kapitel 1.5.3.

³⁰⁸ Vgl. Schulze / Löw (2017b), 6-1, 50-1, 5-2, 2-5, 4-5, 8-5, 24-3.

³⁰⁹ Vgl. Schulze / Löw (2017b), 28-5, 45-4, 51-2.

³¹⁰ Vgl. Schulze / Löw (2017b), 8-1, 2-5, 28-5, 2-7, 20-7.

³¹¹ Vgl. Schulze / Löw (2017b), 2-5, 5-5, 47-2.

³¹² Vgl. Schulze / Löw (2017b), 5-5, 20-7.

Anforderungen an die Sichtbetonflächen

Die Novellierung der ZTV-Ing im Jahr 2014 hat der Meinung aller Experten nach keine Auswirkungen auf die Ausführung von Brückenbauwerken gehabt.³¹³ Aus Sicht der Experten ist lediglich der Standard der Bauausführung, der sowieso auf den Baustellen vorherrsche, in das Regelwerk aufgenommen worden.³¹⁴ Dementsprechend wurde ihrer Beurteilung nach auf den Baustellen immer mindestens eine Sichtbetonklasse SB 2 und teilweise eine Sichtbetonklasse SB 3 ausgeführt.³¹⁵ Die Experten stützen diese Aussagen auf den Einsatz der Schalungshaut bei nur einem Bauvorhaben. Bei den Schalungskonstruktionen im Brückenbau handele es sich um Einzelanfertigungen für jedes Bauprojekt.

Die Mehrheit der Experten arbeite nach eigenen Ansprüchen, die zur Zufriedenstellung des Auftraggebers Sichtbetonflächen ausführe, die vergleichbar mit den Anforderungen der Sichtbetonklasse SB 2 seien. Dementsprechend musste die Bauausführung nicht an die Novellierung der ZTV-Ing angepasst werden, da die Sichtbetonklasse SB 2 bereits ein Standard auf den Brückenbaustellen gewesen sei.³¹⁶

Anforderungen an die Schalung

Die Forderung nach saugenden oder schwachsaugenden Schalungshäuten aus der ZTV-Ing³¹⁷ würde nach Angabe der Experten auf den Baustellen bereits umgesetzt werden. Den Experten zufolge erziele man mit dieser Art von Schalungshaut ein besseres Ergebnis im Vergleich zu nicht saugenden Schalungshäuten. Darüber hinaus sei bei Einsatz der vorherrschenden Brettschalungen im Brückenbau mit geringen Farbtonunterschieden aufgrund des Saugverhaltens des Holzes zu rechnen.³¹⁸

Die Schalungselementstöße dürfen seit der Novellierung der ZTV-Ing bei der Ausführung von Sichtbetonflächen einen maximalen Versatz von 5 mm aufweisen. Den Experten zufolge würde diese Grenze selbst aufgrund von starken Schwankungen bei den Witterungsbedingungen und verursachten Versätzen durch ein Aufquellen der Schalungshaut nicht überschritten werden. Ein Versatz in dieser Größe wäre auch ohne zusätzliche Anforderungen aus der ZTV-Ing als Mangel deklariert worden.³¹⁹ Bei der Ausführung von Brückenbauwerken kommen Großflächenschalungen zum Einsatz, die miteinander verbunden werden. Bei dieser Verbindung können aus Sicht der Experten nur begrenzt Versätze auftreten, die 5 mm jedoch nicht überschreiten. Auch die Verwendung von Brettern mit

³¹³ Vgl. Schulze / Löw (2017b), 26-2, 20-5, 20-6, 31-1, 30-2, 24-6, 15-3.

³¹⁴ Vgl. Schulze / Löw (2017b), 30-2, 26-2, 11-3, 15-3, 11-6, 12-6, 12-7.

³¹⁵ Vgl. Schulze / Löw (2017b), 32-1, 17-3, 31-2, 20-4, 24-5, 25-6.

³¹⁶ Vgl. Schulze / Löw (2017b), 20-4, 31-2, 24-5, 25-6, 17-7, 32-1, 17-3.

³¹⁷ Vgl. Bundesverband für Straßenwesen (2018), S. 3, Teil 3, Abschnitt 2, Ziffer 4.2, Abs. 2.

³¹⁸ Vgl. Schulze / Löw (2017b), 11-6, 10-5, 17-2, 9-3, 15-1.

³¹⁹ Vgl. Schulze / Löw (2017b), 17-1, 11-3, 19-2, 12-5, 13-6.

einem Z-Profil wirke dieser Problematik entgegen. Sie weisen eine hohe Dichtigkeit im Bereich der Brettstöße auf und sind im Fall von Verformungen stabil, während Federn leicht brechen können.³²⁰

Die ZTV-Ing verlangt in Teil 3 Massivbau, Abschnitt 2 Bauausführung, Ziffer 4.5.1 in der Ausführung saubere Schalungshäute, da diese den Beton berühren und Verfärbungen verursachen können. Ist diese Sauberkeit aufgrund des Einbauens von Bewehrung oder sonstiger Verunreinigungen aus der Umwelt gefährdet, so sind zusätzlich Reinigungsöffnungen vorzusehen.³²¹ Bei den Experten herrscht darüber Einigkeit, dass dieser Anforderung auch vor der Novellierung der ZTV-Ing gefolgt wurde. Ein aufwendiges Verspachteln, Reinigen und Schleifen der Sichtbetonflächen im Nachgang sollte somit entgegengewirkt werden.³²² Um weitere Verunreinigungen zu vermeiden, wird auf Initiative der Bauunternehmen hin bereits verzinkter Bindedraht für die Bewehrungsarbeiten eingesetzt, um Rostflecken auf den Sichtbetonflächen zu vermeiden.³²³

Anforderungen an die Betonage und die Verdichtung

Die Anforderungen an die Betonage und die Verdichtung, die im Jahr 2014 in die Zusätzlichen Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Ingenieurbau aufgenommen worden sind³²⁴, seien aus Sicht aller Experten bereits der Ausführungsstandard bei Brückenbauvorhaben. Es sei schon immer eine sach- und fachgerechte Betonage und Verdichtung für Sichtbetonflächen ausgeführt worden. Dazu gehöre unter anderem die Abstimmung der Betoniergeschwindigkeit auf den aufnehmbaren Frischbetondruck der Schalungskonstruktion, der Einsatz von Fallrohren und Innenrüttlern, ein ordentliches Umhüllen der Bewehrung mit Beton, eine sorgfältige Verdichtung vor allem in den Ecken, längs der Schalung und in engen Bereichen, ein lagenweiser und kontinuierlicher Einbau des Betons ohne wesentliche zeitliche Unterbrechungen sowie eine ordnungsgemäße Verbindung und Verdichtung zweier Betonlagen.³²⁵

Zusammenfassung der Auswertungsergebnisse

Abschließend ist festzuhalten, dass die neuen Anforderungen an den Brückenbau der Novellierung der Zusätzlichen Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Ingenieurbau aus dem Jahr 2014 keinem der Experten vor der Interviewanfrage bekannt gewesen ist. Aus Sicht der Experten würden diese jedoch keine Änderungen in der Ausführung bewirken, da die neuen Anforderungen bereits Standard auf den Baustellen gewesen seien. Die

³²⁰ Vgl. Schulze / Löw (2017b), 12-5, 13-6.

³²¹ Vgl. Bundesverband für Straßenwesen (2018), S. 5, Teil 3, Abschnitt 2, Ziffer 4.5.1, Abs. 2.

³²² Vgl. Schulze / Löw (2017b), 10-3, 18-2, 16-1, 11-5, 12-6.

³²³ Vgl. Schulze / Löw (2017b), 11-5, 12-6.

³²⁴ Vgl. Bundesverband für Straßenwesen (2018), S. 10, Teil 3, Abschnitt 2, Ziffer 7.3.

³²⁵ Vgl. Schulze / Löw (2017b), 19-1 ff., 23-2 ff., 17-5, 19-5, 15-6 ff., 19-6.

Experten versichern, dass die Bauunternehmen zur Zufriedenstellung des Auftraggebers bereits einen den neuen Anforderungen aus der ZTV-Ing entsprechenden Standard bei der Ausführung von Brückenbauwerken umgesetzt hätten. In den Ausschreibungs- und Planunterlagen seien vor der Novellierung der ZTV-Ing keine Anforderungen an Sichtbetonflächen enthalten gewesen.

4.3.2 Untersuchung von Ausschreibungs- und Planunterlagen zur Kategorisierung von Sichtbetonanforderungen im Brückenbau

Im Zuge der Durchführung der Experteninterviews wurden die Experten um die Bereitstellung von Ausschreibungs- und Planunterlagen gebeten. Diese Unterlagen wurden im Hinblick auf die Art und den Umfang der Anforderungen an Sichtbeton analysiert. Einerseits dienten die Ergebnisse zum Abgleich mit den Aussagen der Experten aus den Interviews. Es sollte nachverfolgt werden, ob vor der Novellierung der ZTV-Ing keine Angaben zu Sichtbetonanforderungen in den Ausschreibungs- und Planunterlagen erfasst wurden oder ob sie den Interviewpartnern nicht bekannt waren. Laut Aussage der Experten seien in den Unterlagen nur selten Verweise auf Sichtbetonklassen nach dem DBV Merkblatt *Sichtbeton* vorzufinden.³²⁶ Es stellt sich heraus, dass in den Ausschreibungs- und Planunterlagen auch bereits vor der Novellierung der ZTV-Ing Anforderungen an Sichtbetonflächen enthalten waren, die Experten diese jedoch nicht kannten.

„Sichtflächenschalung

Alle Sichtbetonflächen sind gemäß ZTV-Ing Teil 3 Abschnitt 2 Abs. 7.4 (1) in der Sichtbetonklasse SB 2 nach DBV / VDZ-Merkblatt Sichtbeton herzustellen. [...]“³²⁷

„Oberflächengestaltung

Die Sichtbetonflächen müssen die Anforderungen der Sichtbetonklasse SB 2 gemäß Merkblatt „Sichtbeton“ (August 2004) des DBV/BDZ erfüllen.“³²⁸

Nach Meinung der Experten hätten diese Angaben keine Auswirkung auf die Bauausführung, da sie immer in der gleichen Vorgehensweise und mit den gleichen Standards durchgeführt wird.³²⁹

Die Unterlagen wurden auch im Hinblick auf eine mögliche Systematik hinter den Sichtbetonanforderungen und die Möglichkeit zur Kategorisierung untersucht. Bei der Analyse

³²⁶ Vgl. Schulze / Löw (2017b), 8-7, 5-6, 6-5, 39-4, 32-2, 27-2, 13-2, 33-1, 28-1.

³²⁷ Vgl. Schulze / Löw (2017b), A3-A2, Ausschnitt 8.

³²⁸ Vgl. Schulze / Löw (2017b), A3-F3, Ausschnitt 1.

³²⁹ Vgl. Schulze / Löw (2017b), 27-6, 19-3, 34-1

der Leistungsbeschreibungen und Pläne bildeten sich drei Kategorien der Sichtbetonanforderungen heraus.

Bei der ersten Kategorie der Sichtbetonanforderungen sind in der Leistungsbeschreibung Vorgaben an die Schalungshautstruktur sowie ggf. eine grobe Beschreibung ihrer Ausrichtung enthalten. Beschreibungen der Schalungshautstruktur sind beispielsweise eine glatte, gehobelte oder sägeraue Struktur, während die Ausrichtung unter anderem mit lotrecht verlaufend, parallel, längs orientiert oder in Richtung des Straßenbordes beschrieben wird. Der Auftragnehmer hat dementsprechend Freiheiten bei der Auswahl der Schalungshäute, die Ausrichtung ist jedoch eindeutig erläutert. Diese beschriebenen Anforderungen können sowohl verallgemeinernd im übergeordneten Teil der Leistungsbeschreibung zu den Stahlbetonarbeiten enthalten sein, als auch bei den verschiedenen Bauteilen genauer in Abhängigkeit der Bauteilart ausgeführt werden. Sind in der Leistungsbeschreibung keinerlei Hinweise auf die Schalungshautstruktur und deren Ausrichtung zu finden, dann sind meist im Schalungsplan entsprechende Präzisierungen enthalten.

Unter die zweite Kategorie der Sichtbetonanforderungen fallen Leistungsbeschreibungen mit detaillierteren Vorgaben an die Gestaltung der Sichtbetonflächen. Häufig ist die Forderung zur Kombination unterschiedlicher Schalungshäute, wie beispielsweise die Kombination von rauher Brettschalung mit einer glatten Schalungshaut, in den Leistungsbeschreibungen enthalten. Diese verschiedenen Schalungshautstrukturen führen zu einem belebten Gestaltungsbild der Brücken und werden durch die Bauteilgeometrie, wie beispielsweise Versätze bzw. verschiedene Ebenen in der Sichtbetonfläche voneinander optisch abgehoben. Durch die Planung von Versätzen bzw. verschiedenen Ebenen in der Sichtbetonfläche entstehen scharfe Kanten in der Schalungshautstruktur, denen im Rahmen der Ausführung besondere Aufmerksamkeit zukommen muss. Die Ausrichtung der Schalungshäute wird wie bei Kategorie 1 unter anderem in Form von Hinweisen in Bezug auf andere Bauteile der Brücke oder die Fahrtrichtung beschrieben. Die Kombination der unterschiedlichen Schalungshautstrukturen sowie deren Ausrichtung werden in den Schalungsplänen präzisiert und dargestellt. Wie bei Kategorie 1 der Anforderungen an Sichtbetonflächen bei Brückenbauwerken, wird auch in den Leistungsbeschreibungen der zweiten Kategorie häufig im allgemeinen Teil für die Stahlbetonbauteile bereits die Sichtbetonklasse bzw. allgemeine Anforderungen an die Sichtbetonbauteile beschrieben, während die konkret einzusetzenden Schalungshautstrukturen sowie deren Ausrichtung erst bei den genaueren Ausführungen zu den einzelnen Bauteilarten präzisiert werden.

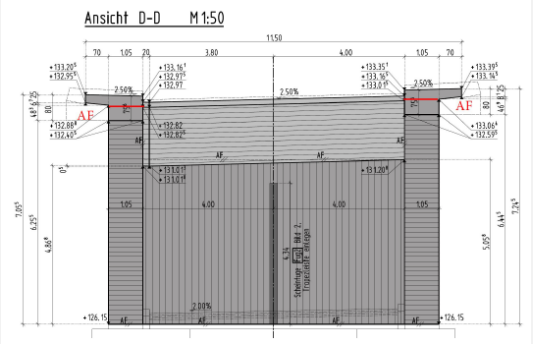
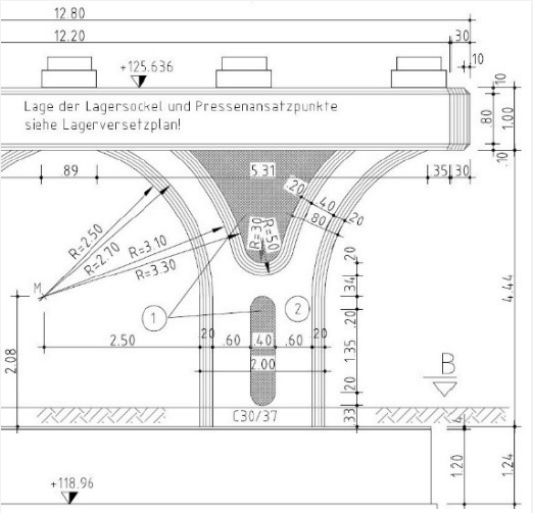
Die dritte und höchste Kategorie der Sichtbetonanforderungen im Brückenbau stellt die Kombination von Schalungshäuten und Strukturmatrizen sowie den Einsatz von Farbpigmenten zur Einfärbung des Sichtbetons oder Bearbeitungen der Sichtbetonflächen dar. In dieser Kategorie werden in den Leistungsverzeichnissen die zu verwendende Strukturmatrize, das einzusetzende Farbpigment sowie dessen Dosierung und die genaue Ausführung

sowie Abmessungen der Betriebsmittel zur Bearbeitung der Sichtbetonflächen detailliert beschrieben. Diese Präzisierungen sind bei dieser hohen Kategorie ebenfalls in den Schalungsplänen vorzufinden.

Den Aussagen der Experten zufolge wurden nur Probekörper für Sichtbetonflächen erstellt, wenn Farbpigmente oder eine steinmetzartige Bearbeitung der Sichtbetonflächen vorgesehen waren. Ein Erstellen von Probekörpern zur Erprobung der Kombination von Schalungshaut, Betontrennmittel und Betonzusammensetzung wurde bei keinem der untersuchten Brückenbauwerke durchgeführt.³³⁰

³³⁰ Vgl. Schulze / Löw (2017b), 1-7, 22-5

Tabelle 4-18: Kategorisierung der Sichtbetonanforderungen in Ausschreibungs- und Planunterlagen von Brückenbauwerken

Stufe	Leistungsbeschreibung	Planunterlagen
1	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vorgabe einer Schalungshautstruktur ▪ grobe Beschreibung der Ausrichtung der Schalungshaut <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>„Sichtflächen: Die Sichtflächen der Rahmen- und Flügelmwände werden mit einer lotrecht verlaufenden Brettschalung aus sägerauen Brettern gleichen Querschnitts, Brettbreite ca. 10 cm, hergestellt.“</p> </div> <p style="text-align: right; margin-top: 5px;">331</p>	<p>Darstellung der Anordnung der Schalungshaut und deren Ausrichtung in den Planunterlagen³³²</p> 
2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Detaillierte Beschreibung der Gestaltung (Ausrichtung, Versätze, Ebenen) ▪ Kombination von unterschiedlichen Schalungshäuten <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>„Für die luftseitigen Flächen der Widerlager ist eine gemischte Sichtflächenschalung aus gehobelter lotrechter Brettschalung (Brettschalung mit profilierten Seiten, 10 cm Brettbreite, Nut und Feder) und glatter Betoplan-Schalung vorgesehen. Unter den Überbaustegen wird in Verlängerung der seitlichen Stegneigungen jeweils eine trapezförmige Fläche in glatter Schalung hergestellt, die zur besseren optischen Trennung außerdem um ein Versatzmaß von 10 cm nach vorn übersteht. [...]“</p> </div> <p style="text-align: right; margin-top: 5px;">333</p>	<p>Darstellung der Anordnung der Schalungshaut und deren Ausrichtung in den Planunterlagen³³⁴</p> 

³³¹ Vgl. Schulze / Löw (2017b), A1-D2, Ausschnitt 2.

³³² Vgl. Schulze / Löw (2017b), A1-G1, Ausschnitt 5.

³³³ Vgl. Schulze / Löw (2017b), A2-B1, Ausschnitt 7.

³³⁴ Vgl. Schulze / Löw (2017b), A1-D1, Ausschnitt 2.

- Detaillierte Beschreibung der Gestaltung (Ausrichtung, Versatze, Ebenen)
- Kombination von unterschiedlichen Schalungshäuten
- Einsatz von Matrizen mit einer bestimmten Struktur
- Verwendung von Farbpigmenten zur Einfärbung des Betons
- Bearbeitung der Sichtbetonflächen

„[...] Die Pfeilerflächen erhalten eine horizontale Streifenstruktur mit der Strukturmatrize Rio Bravo der Firma Reckli oder gleichwertig. In Höhe der angeordneten Fliesen weisen die Pfeiler eine glatte Sichtflächenschalung auf.“

335

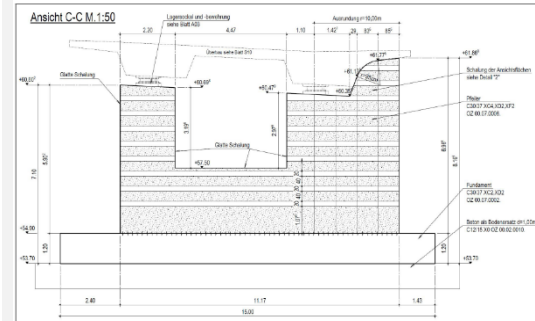
„[...] Darüber hinaus, wird die Betonoberfläche im unteren Teil der Wände durch eine „grobe Stockung“ steinmetzmäßig bearbeitet. Hierzu werden Stockhämmer oder Stockmaschinen verwendet deren Schlag- bzw. Arbeitsflächen mit pyramidenförmigen Zähnen versehen sind. [...]“

336

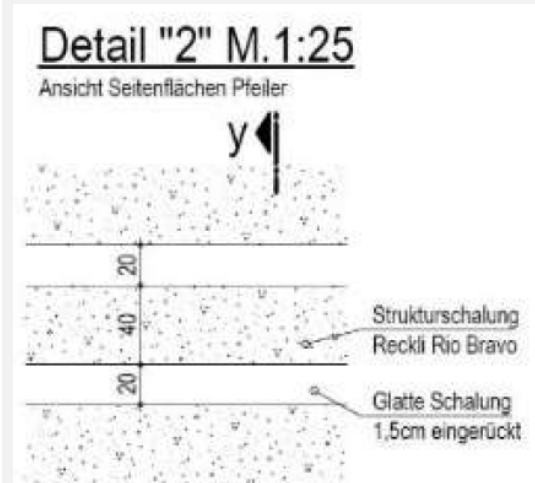
„Der Beton wird eingefärbt. Es werden Pigmente nach DIN EN 12878 (Eisenoxid Braun (LANXESS Bayerrox 660 o. glw.) mit einem Anteil von 2-5 % bezogen auf das Zementgewicht eingesetzt (Bemusterung).“

337

Darstellung der Anordnung der Schalungshaut und deren Ausrichtung in den Planunterlagen



338



339

06.04.0030. Bew. eingefärbter Beton Mittelpfeiler
 Bewehrten Beton einschließlich Schalung nach Unterlagen des AG herstellen.
 Schalung vorhalten und beseitigen.
 Bewehrung und Traggerüst werden gesondert vergütet.
 Bauteil = Mittelpfeiler
 Art der Verwendung = Stahlbeton.
 Druckfestigkeitsklasse C 35/45,
 Expositionsklasse XD2, XF2, XC4, XA1.
 Feuchtigkeitsklasse WA.

Beton eingefärbt entsprechend detaillierten Angaben in der Baubeschreibung
 Grauzement
 Pigmente nach DIN EN 12878:

- Rot: Bayerrox 110 o.glw. 3 % bezogen auf das Zementgewicht
- Braun: Bayerrox 660o.glw. 3 % bezogen auf das Zementgewicht

Die Sichtbetonflächen müssen die Anforderungen der Sichtbetonklasse SB 2 gemäß Merkblatt "Sichtbeton" des DBV/BDZ erfüllen.
 Sichtflächenschalung = sägeraue Holzschalung, untergefügte Keilspundung
 Bretter in unterschiedlichen Längen und Breiten
 Längen 1,0 - 5,0 m,
 Breiten 8, 12, 16, 20 cm
 Schalungsverlauf geneigt, Stoßfugen unregelmäßig versetzt.
 Trennmittel = Öl-in-Wasser-Emulsionen (Bretter ggfs. durch Zement-, Kalkmilch künstlich altern)
 Vor dem Einsatz eine ausgeglichene Eigenfeuchte (ca.15%) herstellen.

340

4.3.3 Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge bei der Ausführung von Sichtbeton im Brückenbau

Im Folgenden sind ausgewählte Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge bei der Ausführung von Sichtbeton im Brückenbau zusammengestellt. Dabei handelt es sich sowohl um Phänomene, die von der Herstellung von Sichtbeton im Hochbau bereits bekannt sind, hier jedoch in gleicher bzw. ausgeprägter Form auftreten sowie um Phänomene, die aus den Rahmenbedingungen des Brückenbaus resultieren.

4.3.3.1 Einzelkriterium Farbtongleichmäßigkeit – Blauverfärbungen

Bei der Herstellung der Pfeiler eines Brückenbauwerks sind sowohl bei der Herstellung der Pfeilerschäfte als auch bei der Herstellung der Pfeilerköpfe Farbtonungleichmäßigkeiten in der Sichtbetonfläche in Form von temporären Blauverfärbungen aufgetreten. In Abbildung 4-40 sowie Abbildung 4-41 sind zunächst die wesentlichen Arbeitsschritte zur Herstellung der Bauteile dargestellt.

Bei den Schalungskonstruktionen handelt es sich um Trägerschalungssysteme mit vorge-setzter Schalungshaut.

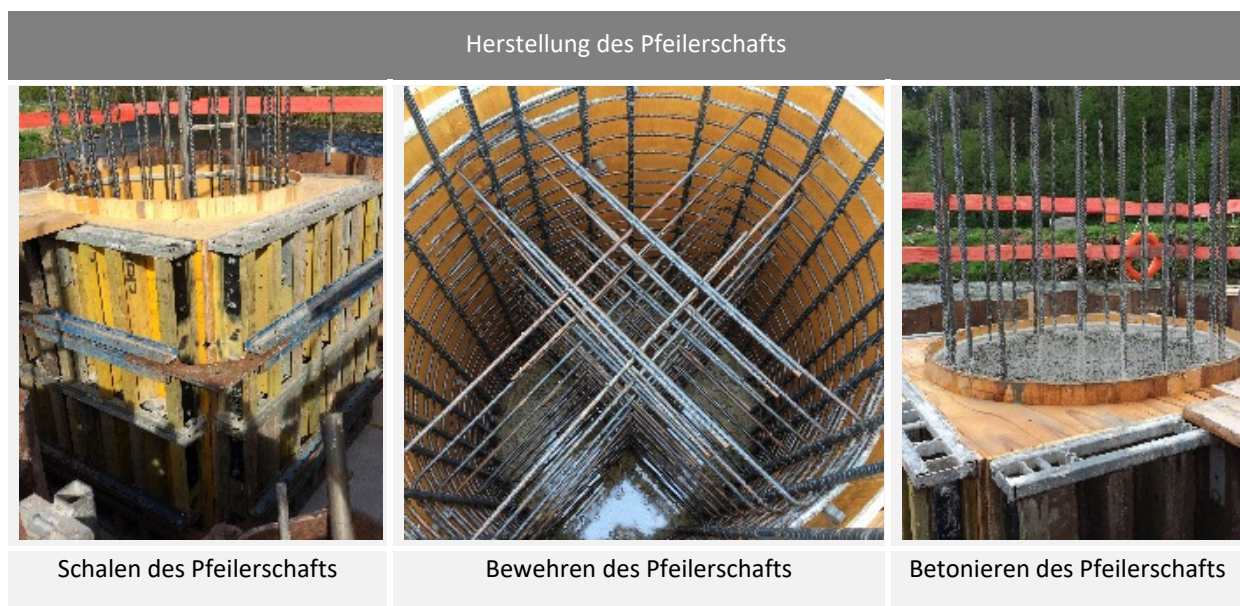


Abbildung 4-40: Darstellung der wesentlichen Arbeitsschritte zur Herstellung eines Pfeilerschafts³⁴¹

³³⁵ Vgl. Schulze / Löw (2017b), A3-A2, Ausschnitt 8.

³³⁶ Vgl. Schulze / Löw (2017b), A3-E1, Ausschnitt 2.

³³⁷ Vgl. Schulze / Löw (2017b), A3-F3, Ausschnitt 1.

³³⁸ Vgl. Schulze / Löw (2017b), A3-A2, Ausschnitt 4.

³³⁹ Vgl. Schulze / Löw (2017b), A3-A2, Ausschnitt 3.

³⁴⁰ Vgl. Schulze / Löw (2017b), A3-F3, Ausschnitt 2.

³⁴¹ Bildnachweis: Dyla / Löw (2018)

Im Bereich des Pfeilerschafts und des Pfeilerkopfes bestand die Schalungshaut aus gehobelten Brettern, welche in den gerundeten Bereichen mit einer Vorsatzschalungshaut aus Furniersperrholz belegt war. Die gesamte Schalungshaut der Pfeiler wurde ab Werk mit einem Polyurethanharz behandelt und wies somit eine glatte und schwach saugende Oberfläche auf. Der eingesetzte Beton beinhaltete einen CEM III/A-Zement mit einem Hütensandanteil von 36 – 65 %.



Abbildung 4-41: Darstellung der wesentlichen Arbeitsschritte zur Herstellung eines Pfeilerkopfs³⁴²

Die Auswirkungen des Einsatzes von hütensandhaltigen Zementsorten, wie dem CEM III/A-Zement, bei der Herstellung von Sichtbetonflächen sind aus verschiedenen Veröffentlichungen bereits bekannt. Es kann bei deren Einsatz aufgrund von Sulfiden im Zement zu blauen Verfärbungen der ausgeschalteten Sichtbetonflächen kommen, welche jedoch meist innerhalb eines kurzen Zeitraums wieder verschwinden. Dies geschieht durch die Oxidation der blauen Metallsulfide, welche sich nach dem Ausschalen durch Luftsauerstoff in farblose Metallverbindungen umwandeln.

Bei den Sichtbetonflächen der Pfeilerschäfte und der Pfeilerköpfe des untersuchten Brückenbauwerks ist auffällig, dass diese beschriebenen Blauverfärbungen vor allem in den Bereichen auftreten, wo die Schalungshaut nur schwach saugend ist. An den Schalungshautstößen und den Stellen der Schalungshautbefestigung, also den stark saugenden Bereichen, sind die Blauverfärbungen nicht aufgetreten.

³⁴² Bildnachweis: Dyla / Löw (2018)



Abbildung 4-42: Entwicklung der Ansicht des Pfeilerschafts³⁴³

Dieses Phänomen ist sowohl an den jeweiligen Pfeilerschaften als auch an den Pfeilerköpfen zu beobachten. Die Egalisierung dieser Blauverfärbungen erfolgte, wie in Abbildung 4-42 und Abbildung 4-43 anhand der Entwicklung der Ansichten der Pfeilerschaften und Pfeilerköpfe zu erkennen, innerhalb eines kurzen Zeitraums.



Abbildung 4-43: Entwicklung der Ansicht des Pfeilerkopfs³⁴⁴

³⁴³ Bildnachweis: Dyla / Löw (2018)

³⁴⁴ Bildnachweis: Dyla / Löw (2018)

4.3.3.2 Einzelkriterium Farbtongleichmäßigkeit – Braunverfärbungen

Die im Folgenden beschriebenen Braunverfärbungen sind vor allem an den Pfeilerköpfen der untersuchten Brücke aufgetreten. Die wesentlichen Arbeitsschritte zur Herstellung der Pfeilerköpfe wurden bereits in Kapitel 4.3.3.1 Einzelkriterium Farbtongleichmäßigkeit – Blauverfärbungen beschrieben. Es handelte sich um ein Schalungssystem mit einer Schalungshaut aus Furniersperrholz, die werksseitig mit einem Polyurethanharz beschichtet worden ist. Der Auftrag der Beschichtung scheint nicht sach- und fachgerecht ausgeführt worden zu sein, da es nach dem Ausschalen mehrfach zu den in Abbildung 4-44 dargestellten Anhaftungen der Schalungshautbeschichtung auf den Sichtbetonflächen der Pfeilerköpfe gekommen ist.



Abbildung 4-44: Braunverfärbungen auf den Sichtbetonflächen der Pfeilerköpfe³⁴⁵

Zu solchen partiellen Ablösungen der Schalungshautbeschichtung kann es kommen, wenn die Beschichtung nicht sach- und fachgerecht ausgeführt worden ist und auf der Baustelle mechanisch beansprucht wird. Die Anforderungen durch eine hohe Beanspruchung der Schalungshaut auf der Baustelle versucht man daher mit höherwertigen Beschichtungsvergütungen zu erfüllen.³⁴⁶ Bei der verwendeten Schalungshaut scheint es dementsprechend entweder zu Herstellungsfehlern beim Verarbeiten der Schalungshautbeschichtung gekommen zu sein oder sich um eine minderwertige Beschichtungsart zu handeln. Die Ablösungen der Beschichtung sind vor allem auch in den Bereichen aufgetreten, an denen die Schalungshaut nachträglich auf der Baustelle aufgrund von mechanischen Beschädigungen verspachtelt und die Polyurethanharz-Beschichtung erneuert werden musste. Bei einem Brückenbauvorhaben wird eine Schalungshaut deutlich höher beansprucht als bei einem Hochbauprojekt aufgrund der größeren Abmessungen der Bauteile und dem damit

³⁴⁵ Bildnachweis: Dyla / Löw (2018)

³⁴⁶ Schulz (2011), S. 34 f.

verbundenen höheren Frischbetondruck. Einbauteile und Betonabstandhalter zur Sicherung der Betondeckung sind beispielsweise wesentlich höheren Auflasten ausgesetzt und können die Schalungshaut so schneller beschädigen. Die Schalungshaut und die Güte der Beschichtung sollten daher diesen höheren Beanspruchungen angepasst werden.

4.3.3.3 Einzelkriterium Farbtongleichmäßigkeit – Grautonschattierungen

In den folgenden drei Abbildungen sind die wesentlichen Arbeitsschritte zur Herstellung des Brückenüberbaus dargestellt. Diese gliederten sich in die Tätigkeiten des Schalens, des Bewehrens und des Betonierens. Bei der Schalungshaut für den Brückenüberbau handelte es sich um eine gehobelte Brettschalung, die mit Zementschlämme vorbehandelt wurde. Aufgrund von Vorgaben zum Gewässerschutz war ein Betontrennmittleinsatz ausgeschlossen. Bei dem eingesetzten Beton handelte es sich um einen Beton der Festigkeitsklasse C 45/55, der die Anforderungen der Expositionsklassen XC4, XD1, XF2 und WA erfüllen sollte. Als Bewehrung wurden sowohl Stab- als auch Spannstahl verlegt. Die Herstellung des Überbaus erfolgte in zwei Bauabschnitten.

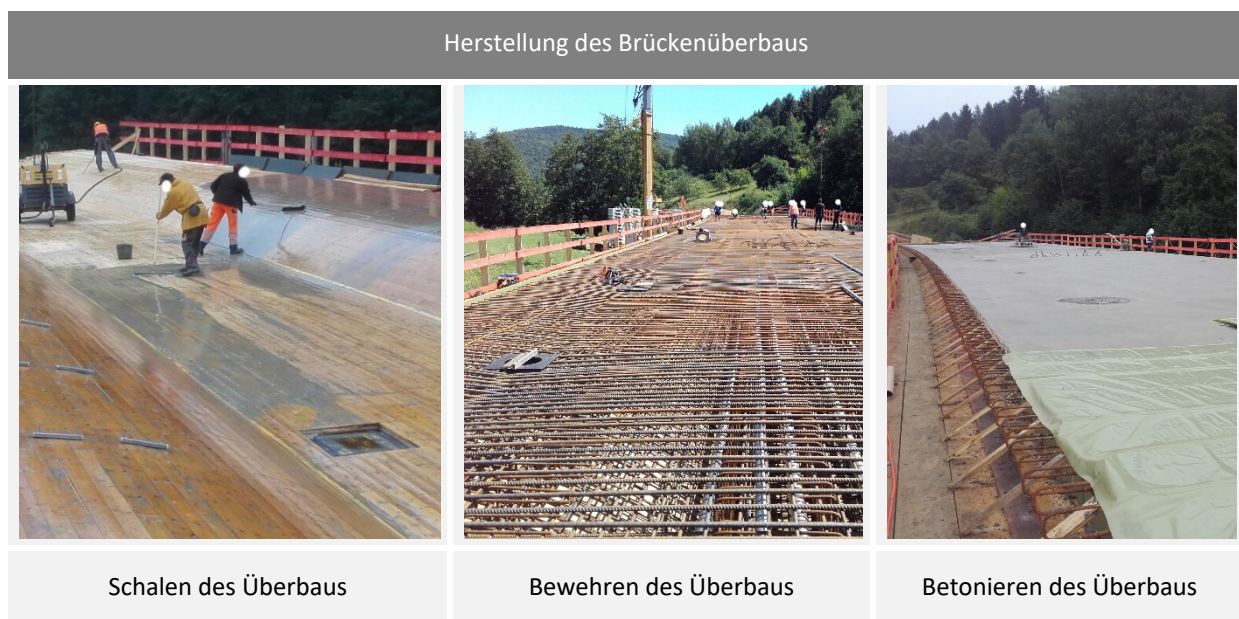


Abbildung 4-45: Darstellung der wesentlichen Arbeitsschritte zur Herstellung des Brückenüberbaus³⁴⁷

Nach der Fertigstellung der Schalungskonstruktion wurden vor dem Verlegen der Bewehrung noch die in Abbildung 4-46 dargestellten Entwässerungstöpfe für die spätere Abführung des Fahrbahnwassers auf der Schalungshaut montiert. Die Entwässerungstöpfe wurden zwar abgedichtet, jedoch wäre eine Durchführung dieser durch die Schalungshaut zum Ablauf des Regenwassers während der Bauphase sinnvoller gewesen. So hatte das

³⁴⁷ Bildnachweis: Dyla / Löw (2018)

Regenwasser die Möglichkeit, zwischen den Beton und die Schalungshaut einzudringen und dort Wasserläufer auf der Sichtbetonfläche zu hinterlassen.



Abbildung 4-46: Entwässerungstopf auf der Schalungshaut³⁴⁸

Die Aufnahmen in Abbildung 4-47 zeigen die Folgen dieses Eindringens von Wasser in die Schalungshaut. Es haben sich großflächige Grautonschattierungen auf der Unterseite des Brückenüberbaus gebildet, die sich auch nach einer Dauer von vier Monaten nur geringfügig egalisiert haben. Zusätzlich zu den starken Grautonschattierungen sind darüber hinaus auch Kalkausblühungen entstanden. Diese resultieren aus der Oberflächenfeuchte des Betons, die zusammen mit dem alkaliintensiven Kalkhydrat des Betons und dem Kohlendioxid der Luft für die Umwandlung von Kalziumhydroxid in Kalziumkarbonat sorgen, welches sich in weißen Kristallen an der Betonoberfläche ablagert.³⁴⁹



Abbildung 4-47: Entwicklung der Ansicht der Unterseite des Brückenüberbaus³⁵⁰

³⁴⁸ Bildnachweis: Dyla / Löw (2018)

³⁴⁹ Schulz (2009), S. 68.

³⁵⁰ Bildnachweis: Dyla / Löw (2018)

4.4 Fertigteile in der Sichtbetontechnologie

Die Herstellung von Sichtbetonbauteilen in Fertigteilwerken bietet deutlich mehr Gestaltungsmöglichkeiten als die Herstellung von Sichtbetonbauteilen in Ortbetonbauweise. Durch die witterungsunabhängigen und konstanten Bedingungen für die Herstellung von Sichtbetonfertigteilen kann das gewünschte Ergebnis bzw. die geforderte Sichtbetonqualität mit einer größeren Zielsicherheit erreicht werden.³⁵¹ Darüber hinaus bietet das Fertigteilwerk die Möglichkeit zur Herstellung von Erprobungsflächen, die einen geringeren Aufwand erfordern als deren Herstellung auf einer Baustelle und somit die Möglichkeit zur Erprobung von Materialkombinationen einfacher gegeben ist.³⁵²

Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen in einem Fertigteilwerk wurden Arbeitssysteme zur Herstellung von dreischaligen Stahlbetonfertigteilen sowie Aufwandswerte für die Herstellung verschiedener Stahlbetonfertigteile mit höchsten Sichtbetonforderungen (Sichtbetonklasse SB 4) ermittelt.

4.4.1 Untersuchte Fertigteiltypen

Die untersuchten Fertigteiltypen wurden ihrer Komplexität entsprechend unterschiedlichen Klassen zugeordnet.

Tabelle 4-19: Komplexitätsklassen bei der Herstellung von Fertigteilen mit Sichtbetonanforderungen³⁵³

Komplexität	Beschreibung
1	Geringe Anforderungen an die Ausführung
2	Mittlere Anforderungen an die Ausführung
3	Hohe Anforderungen an die Ausführung

Bei den drei folgenden Typen von Stahlbetonfertigteilen mit Sichtbetonanforderungen handelt es sich um Fassadenelemente der geringsten Anforderungsklasse in Bezug auf die Komplexität. Die Fertigteile sind alle einschalig auszuführen und weisen keine komplexe Bauteilgeometrie oder speziellen Sichtbetonanforderungen auf. Bei dem ersten Fertigteiltyp handelt es sich um einen Träger, der in horizontaler Lage verbaut werden wird. Die Oberseite des Trägers wird an den Rändern mit einer leichten Neigung zur Abführung von

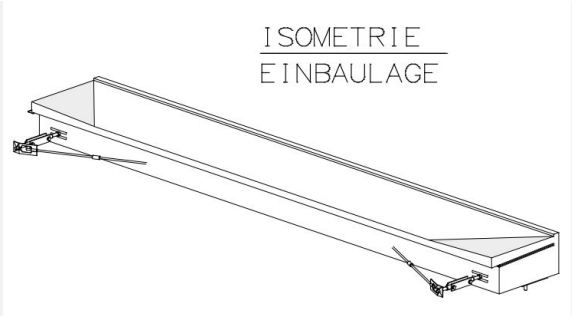

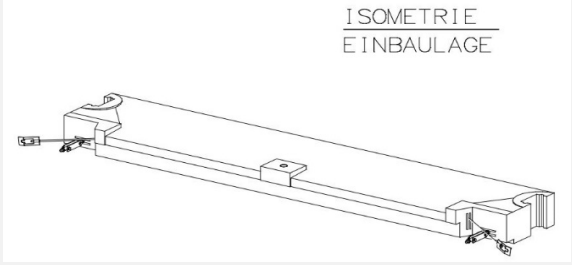

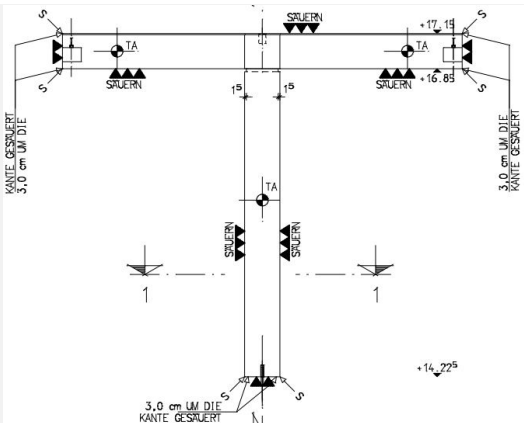

³⁵¹ Vgl. Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau e.V. (2012), S. 1.

³⁵² Vgl. Peck, Bosold, Bose (2016), S. 63 f.

³⁵³ Vgl. Panasjuk / Löw (2015), S. 35 ff.

Regenwasser ausgebildet. Bei dem zweiten Fertigteiltyp handelt es sich um ein Gesims, das ebenfalls in horizontaler Lage eingebaut wird. Es weist leichte Versprünge in der Bauteilgeometrie auf, die zur späteren Lagesicherung dienen. Der dritte Fertigteiltyp der Komplexitätsklasse 1 ist ein T-förmiges Fassadenelement. Die Rückseite dieses Elementes ist die einzige Seite, die keine Sichtbetonanforderungen erfüllen muss.

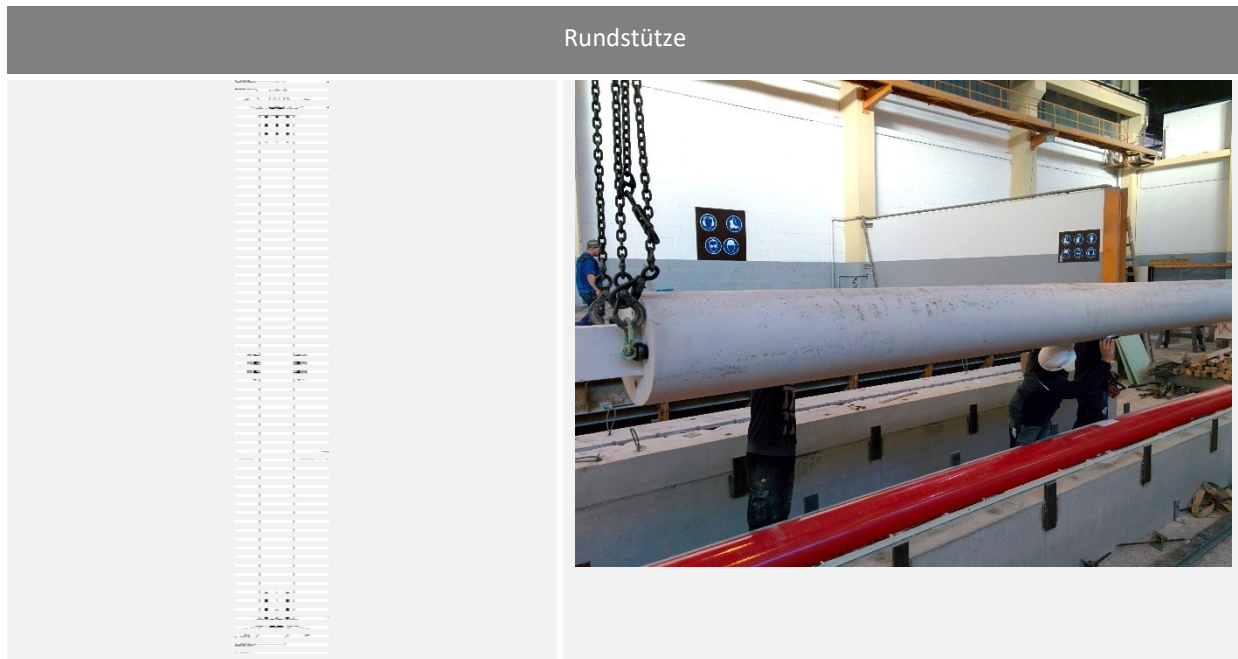
Tabelle 4-20: Stahlbetonfertigteile der Komplexitätsklasse 1³⁵⁴

Träger	
<p>ISOMETRIE EINBAULAGE</p> 	
Gesims	
<p>ISOMETRIE EINBAULAGE</p> 	
T-förmiges Fassadenelement	
	

³⁵⁴ Bildnachweis: Panasjuk / Löw (2015)

Bei den untersuchten Fertigteilen der Komplexitätsklasse 2 handelt es sich um Rundstützen. Diese weisen eine Höhe von 8,21 m auf und wurden im Fertigteilwerk in horizontaler Lage betoniert. Der Beton wurde mittels Pumpen in die Schalungskonstruktion eingebracht.

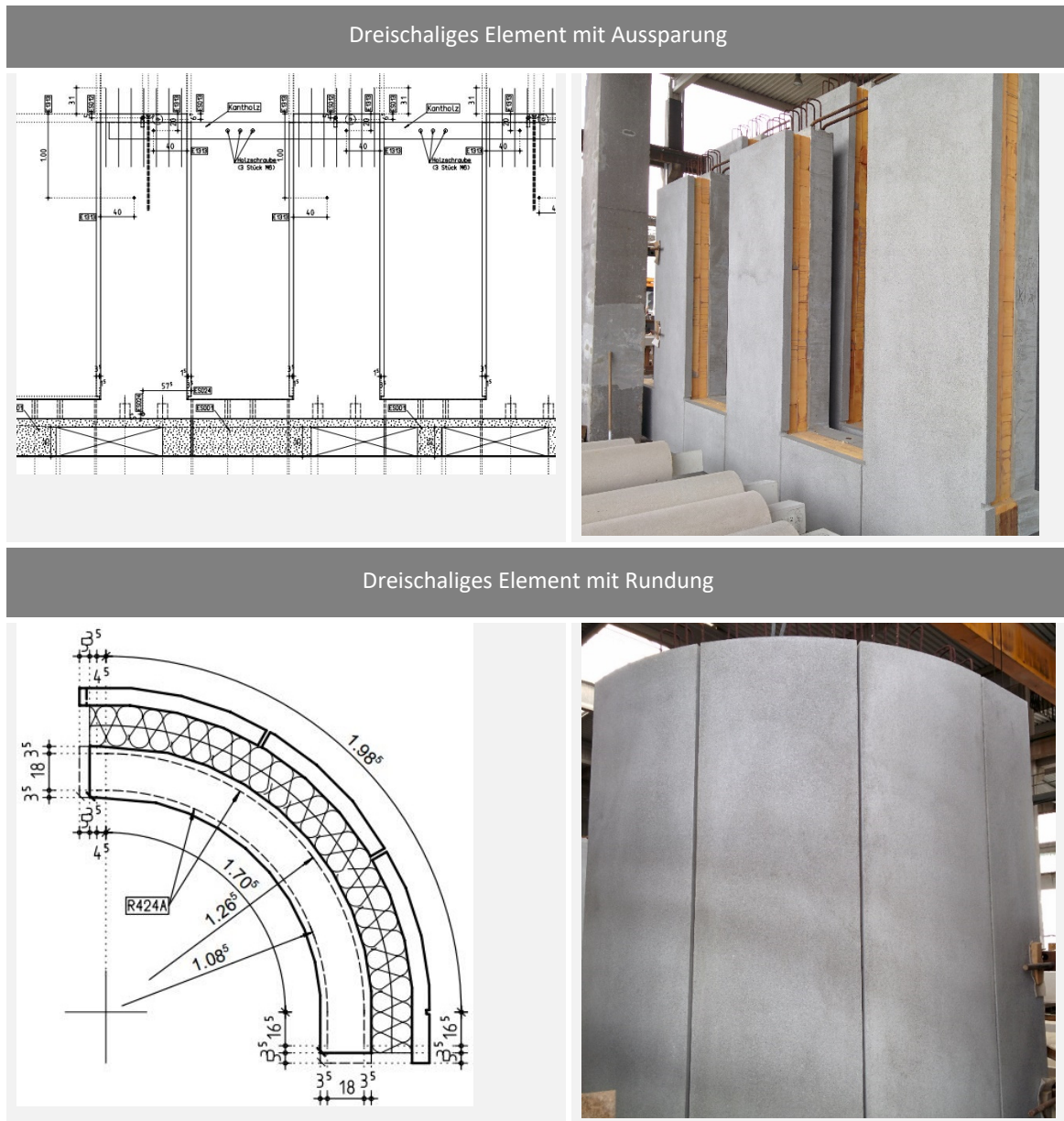
Tabelle 4-21: Stahlbetonfertigteile der Komplexitätsklasse 2³⁵⁵



Die Komplexitätsklasse 3 wurde durch zwei verschiedene Fertigteiltypen im Rahmen der Untersuchungen repräsentiert. Bei beiden Fertigteiltypen handelt es sich um dreischalige Fassadenelemente, die jeweils aus einer Vorsatzschale mit Sichtbetonanforderungen, einer Dämmschale und einer Tragschale bestehen. Der erste Fertigteiltyp dieser Komplexitätsklasse hat neben der dreischaligen Ausführung noch Anforderungen an die Herstellung von Aussparungen, während der zweite Fertigteiltyp insgesamt gekrümmt ist mit der Rundung eines Viertelkreises.

³⁵⁵ Bildnachweis: Panasjuk / Löw (2015)

Tabelle 4-22: Stahlbetonfertigteile der Komplexitätsklasse 3³⁵⁶




³⁵⁶ Bildnachweis: Panasjuk / Löw (2015)

4.4.2 Dokumentation der Arbeitssysteme

Im Rahmen der Untersuchungen im Fertigteilwerk wurden die Arbeitssysteme zur Herstellung dreischaliger Stahlbetonfertigteile mit Sichtbetonanforderungen nach den Vorgaben nach REFA für das Arbeitsstudium³⁵⁷ dokumentiert. Die Arbeitssysteme werden in Bezug auf die sieben Systembegriffe Arbeitsaufgabe, Mensch, Betriebsmittel, Umwelteinflüsse, Arbeitsablauf, Eingabe und Ausgabe dokumentiert und ausgewertet.

Tabelle 4-23: Arbeitssystem zur Herstellung der Vorsatzschale³⁵⁸

Arbeitssystem Herstellung der Vorsatzschale	
Arbeitsaufgabe	Herstellung der Vorsatzschale des dreischaligen Elements mit Rundung
Mensch	1-3 Arbeitskräfte
Betriebsmittel	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kran ▪ Betonrüttler ▪ Hammer ▪ Spachtel ▪ Kneifzange ▪ Rödeldraht ▪ Glättkelle
Umwelteinflüsse	Umwelteinflüsse sind aufgrund der Ausführung im Fertigteilwerk steuerbar.
Eingabe	Schalung Bewehrung, Einbauteile und Beton
Arbeitsablauf	<p>Die Schalung wird eingemessen und auf den vorgesehenen Positionen auf dem Schaltisch befestigt und verkeilt.</p> 



³⁵⁷ Siehe Kapitel 1.5.1.1 für weiterführende Erläuterungen

³⁵⁸ Bildnachweis: Panasjuk / Löw (2015)

	<p>Im Nächsten Schritt werden die vorgefertigten Bewehrungsmatten in die Schalung eingelegt. Teilweise sind bereits Betonabstandhalter und Einbauteile daran montiert.</p>	 A photograph showing a metal formwork structure with a grid of steel reinforcement bars (rebar) laid out inside. Several orange plastic chairs are used as spacers to hold the rebar above the formwork. The structure is set up on a construction site.
	<p>Abschließend erfolgt die Betonage der Vorsatzschale mit dem Kübel. Hierfür wird der Beton abschnittsweise eingebracht und verdichtet, da dieser sonst aufgrund der Rundung des Bauteils immer der Schwerkraft folgen und aus der Schalung rausfließen würde. Wenn der Beton eingebracht ist, wird er mit einer Glättkelle abgezogen.</p>	 A photograph showing a worker in a dark uniform and boots using a bucket to pour concrete into a curved formwork. The concrete is being poured in sections. The formwork is supported by wooden blocks.
Ausgabe	Fertiggestellte Vorsatzschale	 A photograph showing the finished concrete shell (Vorsatzschale) after the formwork has been removed. The concrete is a light grey color and has a smooth surface. The rebar is still visible, protruding from the top of the shell.

Die Ausgabe Arbeitssystemen *Herstellung der Vorsatzschale*, in Form der fertiggestellten Vorsatzschale, stellt die Eingabe in das folgende Arbeitssystem *Herstellen der Tragschale* dar.

Tabelle 4-24: Arbeitssystem zur Herstellung der Dämmschale³⁵⁹

Arbeitssystem Herstellung der Dämmschale	
Arbeitsaufgabe	Herstellung der Dämmschale des dreischaligen Elements mit Rundung
Mensch	1-3 Arbeitskräfte
Betriebsmittel	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Standsäge ▪ Hammer ▪ Spachtel ▪ Handsäge
Umwelteinflüsse	Umwelteinflüsse sind aufgrund der Ausführung im Fertigteilwerk steuerbar.
Eingabe	<p>Fertiggestellte Vorsatzschalen, Dämmmaterial, Schalung</p> 
Arbeitsablauf	<p>Zunächst wird die Schalungskonstruktion vorbereitet. Bei der Form der Schalung handelt es sich um einen Viertelzylinder.</p> 

³⁵⁹ Bildnachweis: Panasjuk / Löw (2015)

Anschließend werden die drei notwendigen Vorsatzschalen ausgeschalt und in die vorbereitete Schalung eingesetzt. Zwischen den drei Vorsatzschalen werden Fugenbänder eingesetzt.



Nach dem Einsetzen der Vorsatzschalen wird die komplette Fläche mit zwei Lagen Dämmmaterial ausgekleidet. Hierfür muss die Dämmung zunächst in Streifen geschnitten werden, damit sie an die Rundung angepasst werden kann. Die erste Lage der Dämmung wird mit Silikon an die Vorsatzschalen geklebt, während die zweite Lage der Dämmung mit Kunststoffnägeln gesichert wird.





Ausgabe

Fertiggestellte Vorsatz- und Dämmschale






Die Ausgabe Arbeitssystemen *Herstellung der Dämmschale*, in Form der fertiggestellten und miteinander verbundenen Vorsatz- und Dämmschalen, stellt die Eingabe in das folgende Arbeitssystem *Herstellen der Tragschale* dar.

Tabelle 4-25: Arbeitssystem zur Herstellung der Tragschale³⁶⁰

Arbeitssystem Herstellung der Tragschale	
Arbeitsaufgabe	Herstellung der Tragschale des dreischaligen Elements mit Rundung
Mensch	2-5 Arbeitskräfte
Betriebsmittel	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kran ▪ Kübel ▪ Betonrüttler ▪ Flügelschleifmaschine ▪ Hammer ▪ Spachtel ▪ Kneifzange ▪ Bolzenschneider ▪ Rödeldraht ▪ Rächen ▪ Kelle
Umwelteinflüsse	Umwelteinflüsse sind aufgrund der Ausführung im Fertigteilwerk steuerbar.
Eingabe	<p>Fertiggestellte Vorsatz- und Dämmschalen</p> 
Arbeitsablauf	<p>Der erste Schritt besteht in der Herstellung der Stellschalung in Form eines Viertelzylinders. Unterlage sind die vorgefertigten und miteinander verbundenen Vorsatz- und Dämmschalen. Nach der Fertigstellung der Schalungskonstruktion folgt das Einbauen der Bewehrung sowie der Einbauteile.</p> 

³⁶⁰ Bildnachweis: Panasjuk / Löw (2015)

	<p>Vor dem Schließen der Schalungskonstruktion wird der Fußbereich der Tragschale betoniert.</p>	
	<p>Anschließend wird die Schalungskonstruktion mit einer aufwändigen Konterschaltung geschlossen und der restliche Teil des Fertigteils betoniert und mit Betonrüttlern verdichtet.</p>	
<p>Ausgabe</p>	<p>Fertiggestelltes dreischaliges Element mit Rundung</p>	

4.4.3 Ermittlung von Aufwandswerten

Die Ermittlung der Aufwandswerte erfolgte in Form von Gruppenzeitaufnahmen als systematische Multimomentaufnahme³⁶¹ mit einem Beobachtungsintervall von einer Minute. In der folgenden Tabelle 4-26 findet sich die Zusammenstellung der Aufwandswerte für die untersuchten Fertigteiltypen mit Sichtbetonanforderungen. Die Fertigteiltypen sind ihrer Komplexität nach aufsteigend sortiert. Zunächst ist je Fertigteiltyp die Anzahl der untersuchten Bauteile sowie die Anzahl der Arbeitskräfte und der aus den Aufnahmen ermittelte Aufwandswert t_e erfasst. Ergänzt werden diese Angaben um Planwerte von t_e , die das

³⁶¹ Siehe Kapitel 1.5.1.2 für weiterführende Erläuterungen

Fertigteilwerk zur Verfügung stellt und auf deren Grundlage die Kalkulation und Terminplanung des Unternehmens basieren.

Tabelle 4-26: Zusammenstellung der Aufwandswerte für die untersuchten Fertigteiltypen mit Sichtbetonanforderungen³⁶²

Komplexität	Fertigteiltyp	Anzahl der untersuchten Fertigteile	Aufwandswert t_e	Planwert für t_e
1	Träger (einschalig)	3	3,3 h/Bauteil	5,3 h/Bauteil
	T-Element (einschalig)	5	3,7 h/Bauteil	7,5 h/Bauteil
	Gesims (einschalig)	3	6,1 h/Bauteil	5,6 h/Bauteil
2	Rundstütze (einschalig)	3	10,4 h/Bauteil	8 h/Bauteil
3	dreischaliges Element mit Aussparungen	4	18,6 h/Bauteil	23,9 h/Bauteil
	dreischaliges Element mit Rundung	4	18,7 h/Bauteil	23,8 h/Bauteil

Die ermittelten Aufwandswerte beziehen sich entgegen der üblichen Konventionen auf das gesamte Bauteil und nicht auf die herzustellende Mengeneinheit. Dieser Bezug resultiert aus der stark variierenden Komplexität der Fertigteile. Würde man einen Aufwandswert für das Schalen der untersuchten Fertigteile bezogen auf den m^2 angeben, dann wäre das entweder ein sehr großer Wertebereich oder ein Mittelwert ohne Aussagekraft. Die Ermittlung von Aufwandswerten je Bauteil und die unterschiedlichen Komplexitätsklassen zugeordnet, war im vorliegenden Fall dienlicher.

Für einschalige Fertigteile der Komplexitätsklasse 1, Bauteile mit niedrigen Anforderungen an die Ausführung und einfacher Bauteilgeometrie, ergibt sich ein Aufwandswert von 3 bis 6 h/Bauteil. Für Bauteile der Komplexitätsklasse 2, die mittlere Anforderungen an die Ausführung stellen und eine einfache Bauteilgeometrie aufweisen, muss ein Aufwandswert von ca. 11 h je Bauteil angesetzt werden. Für dreischalige Fertigteile der Komplexitätsklasse 3 mit hohen Anforderungen an die Ausführung sowie einer komplexen Bauteilgeometrie wurde ein Aufwandswert von ca. 18 h je Bauteil ermittelt.

Bei der Gegenüberstellung der Planwerte des Fertigteilwerks mit den ermittelten Aufwandswerten t_e werden Abweichungen deutlich. Bis auf die Herstellung der Rundstütze

³⁶² Panasjuk / Löw (2015)

und des Gesims handelt es sich bei den Abweichungen um Zeitersparnisse, die sich durch die Optimierung der Arbeitsprozesse in der Ausführung sowie die Motivation der Arbeitskräfte ergeben haben. Bei den Optimierungen der Arbeitsprozesse handelt es sich beispielsweise um Verbesserungen der Konstruktionen von Einbauteilen und der Schalung zur Reduzierung der Einbau- und Montagezeiten. Darüber hinaus sind in den Planwerten des Fertigteilwerks noch Sicherheitsbeiwerte für Ausfälle und Fehlproduktionen berücksichtigt.

Die Herstellung der Rundstütze hingegen benötigte 10,4 h je Bauteil bei einem geplanten Aufwandswert von 8 h je Bauteil. Diese Abweichung resultierte aus kurzfristigen Anpassungen an der Schalungskonstruktion, da diese den Anforderungen nicht entsprach und dem Frischbetondruck durch das Einpumpen des Betons in die liegende Schalungskonstruktion nicht standgehalten hätte.

Zusammenfassend ist für die Produktion von Fertigteilen festzuhalten, dass die Bauteilgeometrie einen großen Einfluss auf den Arbeitsaufwand hat. Die Anforderungen an die Ausführung steigen mit einer komplexen Bauteilgeometrie. Darüber hinaus bestimmt ebenfalls die Lage von Einbauteilen und Schalungselementen den Arbeitsfortschritt. Solche Komponenten lassen sich einfacher am Rand eines Schalungstisches als in der Mitte einer größeren Fläche einbauen. Der Arbeitsaufwand zur Herstellung eines Fertigteils mit Sichtbetonanforderungen richtet sich daher vor allem nach der Komplexität des Fertigteils.

4.5 Bearbeitete und nachträglich behandelte Sichtbetonflächen

Betonflächen mit Anforderungen an das Aussehen werden nach der DIN 18217 *Betonflächen und Schalungshaut*, wie in Kapitel 2.1.2 beschrieben, weiter in *mit Schalungshaut gestaltete Betonflächen*, *Bearbeitete Betonflächen* und *Nachträglich behandelte Betonflächen* untergliedert. Die Arbeitsweise und die Aufwandswerte zur Herstellung von mit Schalungshaut gestalteten Betonflächen wurden bereits unter anderem in den Dissertationen von Schömb's³⁶³ und Boska³⁶⁴ hinreichend behandelt.

In den folgenden Untersuchungen sollte es daher ergänzend zu den vorher genannten Forschungsarbeiten um die Dokumentation der Arbeitssysteme sowie die Erfassung der Aufwandswerte für ausgewählte Verfahren zur Herstellung von bearbeiteten und nachträglich behandelten Sichtbetonflächen gehen.

³⁶³ Vgl. Schömb's (2012), S. 105 ff.

³⁶⁴ Vgl. Boska (2013), S. 205 ff.

Tabelle 4-27: Untersuchte und dokumentierte Verfahren zur Bearbeitung und nachträglichen Behandlung von Sichtbetonflächen

Verfahren zur Bearbeitung von Betonflächen	Verfahren zur nachträglichen Behandlung von Betonflächen
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sandstrahlen ▪ Absäuern ▪ Schleifen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Polieren ▪ Reprofilieren ▪ Retuschieren ▪ Hydrophobieren

4.5.1 Dokumentation der Arbeitssysteme

Die Dokumentation der Arbeitssysteme der verschiedenen Verfahren zur Bearbeitung und nachträglichen Behandlung von Sichtbetonflächen richtet sich nach den Vorgaben nach REFA für das Arbeitsstudium, wie in Kapitel 1.5.1.1 erläutert. Die Arbeitssysteme werden in Bezug auf die sieben Systembegriffe Arbeitsaufgabe, Mensch, Betriebsmittel, Umwelteinflüsse, Arbeitsablauf, Eingabe und Ausgabe dokumentiert und ausgewertet.

4.5.1.1 Arbeitssystem Sandstrahlen

Beim Sandstrahlen wird die oberste Schicht eines Sichtbetonbauteils durch Beschuss mit einem Strahlmittel abgetragen. Bei der Auswahl der Sichtbetonbauteile für die Bearbeitung mittels Sandstrahlen ist darauf zu achten, dass die Bauteile eine möglichst geringe Porenbildung aufweisen. Durch das Abtragen der obersten Zementleimoberfläche erhöhen sich die Anzahl der sichtbaren Poren sowie deren Durchmesser. Darüber hinaus sollte das Sandstrahlen einer Produktreihe bei gleichem Betonalter erfolgen, damit der Beton die gleiche Festigkeit beim Sandstrahlen aufweist. Das Ergebnis kann sonst stark variieren. Das Arbeitsergebnis beim Sandstrahlen ist stark von der Qualifikation der Arbeitskräfte sowie deren Umgang mit dem Sandstrahlgerät abhängig. Aus diesem Grund ist ein Wechsel der Arbeitskräfte während des Sandstrahlens einer Produktreihe zu vermeiden.³⁶⁵

³⁶⁵ Vgl. Peck, Bosold (2009), S. 5 f.

Tabelle 4-28: Arbeitssystem Sandstrahlen³⁶⁶

Arbeitssystem Sandstrahlen		
Arbeitsaufgabe	Sandstrahlen von Sichtbetonbauteilen	
Mensch	1 - 2 Arbeitskräfte (in Abhängigkeit der Ausführung des Sandstrahlgerätes)	
Betriebsmittel	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sandstrahlgerät ▪ Strahlgut (z. B. feuergetrockneter Eifelquarz, Edelbrechsand und –splitt mit einer Körnung von 2 bis 3 mm beim groben Sandstrahlen und 0,05 bis 0,15 mm beim feinen Sandstrahlen) ▪ Schutzkleidung (Gummihandschuhe, Überwurfanzug und Ohrenstöpsel) 	
Umwelteinflüsse	Umwelteinflüsse sind aufgrund der Ausführung im Fertigteilwerk steuerbar.	
Eingabe	Unbearbeitetes Sichtbetonbauteil mit einer geschlossenen Zementleimoberfläche	
Arbeitsablauf	Das Sandstrahlgerät wird mit dem Strahlgut befüllt. Anschließend kann mit dem Sandstrahlen begonnen werden. Die Arbeitskraft führt dabei das Sandstrahlgerät in gleichmäßigen Bewegungen in einem Abstand von ca. 0,50 m über das Sichtbetonbauteil. Je nach Ausführung des Gerätes ist eine zweite Person zur Bedienung erforderlich.	

³⁶⁶ Bildnachweis: Thillen / Löw (2015)


	<p>Um das Sichtbetonbauteil von allen Seiten sandstrahlen zu können, ist ggf. eine spezielle Lagerung auf z. B. Paletten erforderlich. Mit diesen kann das Sichtbetonbauteil nach der Fertigstellung ebenfalls transportiert werden.</p>	
Ausgabe	<p>Fein sandgestrahltes Sichtbetonbauteil mit freigelegter Gesteinskörnung</p>	
	<p>Grob sandgestrahltes Sichtbetonbauteil mit freigelegter Gesteinskörnung</p>	

4.5.1.2 Arbeitssystem Absäuern




Das Abtragen der obersten Zementleimschicht beim Absäuern erfolgt mit Hilfe einer lösenden Säure, wobei die Abtragtiefe durch die ausgewählte Säure sowie die Intensität ihrer Anwendung bestimmt wird. Das Abwaschen der Säure wird mit der Unterstützung von Bürsten mit Stiel und Wasserschläuchen vorgenommen, um den gelösten Zementleim besser abtragen und die Gesteinskörnung freilegen zu können.³⁶⁷ Wie beim Sandstrahlen hängt auch beim Absäuern von Sichtbetonbauteilen das Arbeitsergebnis stark von der Qualifikation sowie dem Umgang der Arbeitskräfte mit der Bürste ab. Aus diesem Grund sollte auch bei diesem Verfahren ein Wechsel der ausführenden Arbeitskräfte während des Absäuerns einer Produktreihe vermieden werden.

³⁶⁷ Vgl. Peck, Bosold (2009), S. 5.

Tabelle 4-29: Arbeitssystem Absäuern³⁶⁸

Arbeitssystem Absäuern	
Arbeitsaufgabe	Absäuern von Sichtbetonbauteilen
Mensch	1 - 2 Arbeitskräfte (in Abhängigkeit der Abmessungen und der Ausrichtung des Bauteils)
Betriebsmittel	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eimer ▪ Bürste mit Stil ▪ Säure (z. B. 25%ige Salzsäure, Zitronensäure) ▪ Wasserschlauch ▪ Schutzkleidung (Handschuhe, Hose und Jacke)
Umwelteinflüsse	Umwelteinflüsse sind aufgrund der Ausführung im Fertigteilwerk steuerbar.
Eingabe	<p>Unbearbeitetes Sichtbetonbauteil mit einer geschlossenen Zementleimoberfläche</p> 



³⁶⁸ Bildnachweis: Thillen / Löw (2015)

Arbeitsablauf	<p>Das abzusäuernde Sichtbetonbauteil wird vor dem Auftragen der Säure komplett mit dem Wasserschlauch abgespritzt.</p> <p>Anschließend wird die Säure mit einer Bürste am Stiel in die oberste Zementleimschicht eingearbeitet. Bei vertikal ausgerichteten Bauteilen muss die runterlaufende Säure bereits während des Einarbeitens in den oberen Bauteilabschnitt mit Wasser von der unteren Hälfte des Bauteils abgespült werden, um Rinnsale zu verhindern. Nach dem Einarbeiten wird die Säure sofort wieder mit dem Wasserschlauch oder einer Gießkanne mit Wasser abgespült. Diese Vorgänge werden solange wiederholt bis die gewünschte Abtragstiefe erreicht wurde. Zum Erreichen der gewünschten Abtragstiefe kann darüber hinaus die Einwirkzeit der Säure verlängert werden.</p>	 
Ausgabe	Abgesäuertes Sichtbetonbauteil mit freigelegter Gesteinskörnung	

4.5.1.3 Arbeitssystem Schleifen

Für das Schleifen eines Sichtbetonbauteils kommen Winkelschleifer mit aufgesetzten Schleifplatten unterschiedlicher Körnung zum Einsatz. Die oberste Zementleimschicht wird abgetragen und die Gesteinskörnung freigelegt. Das Ergebnis des Schleifens ist eine glattere Sichtbetonfläche als direkt nach dem Ausschalen des Bauteils. Die gewünschte Abtragstiefe sollte vorher an einem Musterbauteil erprobt werden.³⁶⁹

Tabelle 4-30: Arbeitssystem Schleifen³⁷⁰

Arbeitssystem Schleifen	
Arbeitsaufgabe	Schleifen von Sichtbetonbauteilen
Mensch	Eine Arbeitskraft
Betriebsmittel	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schleifmaschine (Winkelschleifer) ▪ Schleifscheiben (Körnung 60 bis 1000) ▪ Schutzkleidung (Gummihose, Handschuhe und Jacke zum Schutz vor Feuchtigkeit) 
Umwelteinflüsse	Umwelteinflüsse sind aufgrund der Ausführung im Fertigteilwerk steuerbar.
Eingabe	Unbearbeitetes Sichtbetonbauteil mit einer geschlossenen Zementleimoberfläche 

³⁶⁹ Vgl. Peck, Bosold (2009), S. 6.

³⁷⁰ Bildnachweis: Thillen / Löw (2015)

Arbeitsablauf	Die Arbeitskraft führt das Schleifgerät in gleichmäßigen Bewegungen über das Bauteil und schleift so die oberste Zementleimschicht ab. Während der Bearbeitung des Sichtbetonbauteils werden die Schleifscheiben mehrfach gewechselt, von einer groben hin zu einer feinen Körnung.	
Ausgabe	Geschliffenes Sichtbetonbauteil mit freigelegter Gesteinskörnung	

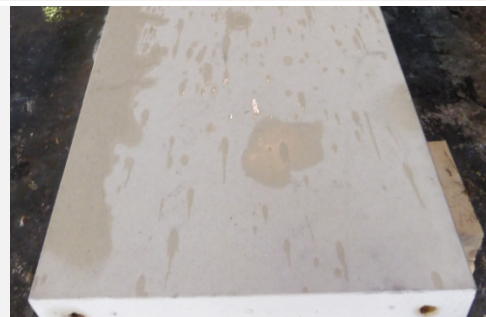
4.5.1.4 Arbeitssystem Polieren

Beim Polieren wird ein abgeschliffenes Sichtbetonbauteil genommen und anschließend poliert bis eine glänzende Fläche entsteht, die die Umgebung spiegelt und Licht reflektiert.³⁷¹ Das Polieren eines Sichtbetonbauteils erfolgt im Gegensatz zum Sandstrahlen mit einer stationären Maschine. Beim Ausrichten des Sichtbetonbauteils ist darauf zu achten, dass dieses exakt horizontal ausgerichtet ist, da die Zementleimoberfläche sonst ungleichmäßig abgetragen wird. In Abhängigkeit der Betonzusammensetzung und der gewählten Gesteinskörnung bestimmt sich die Dauer für das Polieren und es können sehr verschiedene Oberflächen erzielt werden.

³⁷¹ Vgl. Peck, Bosold (2009), S. 6.

Tabelle 4-31: Arbeitssystem Polieren³⁷²

Arbeitssystem Polieren	
Arbeitsaufgabe	Polieren von Sichtbetonbauteilen
Mensch	Eine Arbeitskraft
Betriebsmittel	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stationäre Maschine zum Polieren ▪ Verschiedene Polieraufsätze (Diamantschleifstein zum groben Abtragen der Zementleimoberfläche und weiterer Schichten, feinere Schleifsteine für den Glanz) ▪ Schutzkleidung (Gummihose, Handschuhe und Jacke zum Schutz vor Feuchtigkeit) ▪ Tuch
Umwelteinflüsse	Umwelteinflüsse sind aufgrund der Ausführung im Fertigteilwerk steuerbar
Eingabe	Unbearbeitetes Sichtbetonbauteil mit einer geschlossenen Zementleimoberfläche
Arbeitsablauf	<p>Nach dem Ausrichten des Bauteils kann mit dem Abschleifen der Zementleimoberfläche mittels Diamantschleifstein begonnen werden. Während der Bearbeitung des Sichtbetonbauteils wird der Schleifstein mehrfach gewechselt, um das Bauteil abschließend durch Polieren zum Glänzen zu bringen. Die verschiedenen Schleifsteine sind hierfür auf eine rotierende Drehscheibe montiert, die die Arbeitskraft in gleichmäßigen Bewegungen über das Bauteil führt.</p>



³⁷² Bildnachweis: Thillen / Löw (2015)

	<p>Während der verschiedenen Arbeitsschritte des Polierens kann es zum Auslösen von einzelnen Gesteinskörnern kommen. Diese müssen zum Schutz der Oberfläche vor Verkratzungen entfernt werden bevor mit dem Polieren fortgefahren werden kann. Zum Abschluss wird das Sichtbetonbauteil mit einem Tuch getrocknet und begutachtet.</p>	
Ausgabe	<p>Poliertes Sichtbetonbauteil mit freigelegter Gesteinskörnung</p>	

4.5.1.5 Arbeitssystem Reprofilieren

Beim Reprofilieren eines Sichtbetonbauteils werden nach dem DBV Sachstandsbericht *Sichtbetonkosmetik* unter anderem beschädigte Ecken und Kanten mit einem Reprofilierungsmörtel neu modelliert. Hierbei kann die aufzutragende Spachtelmasse an die Farbgebung des Sichtbetonbauteils durch die Zugabe von Farbpigmenten angepasst werden oder nach Auftrag der Spachtelmasse eine passende Farblasur aufgetragen werden. Der beschädigte Bereich bzw. der Bereich der Reprofilierung muss trocken sein. Das Arbeitsergebnis der Reprofilierung ist im Wesentlichen von der Qualifikation der ausführenden Arbeitskraft sowie der Auswahl geeigneter Materialien abhängig. Selbst bei sach- und fachgerecht ausgeführten Reprofilierungen kann der Bereich am Sichtbetonbauteil sichtbar bleiben und gegebenenfalls eine Retusche erfordern.³⁷³

³⁷³ Vgl. Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V. (2016), S. 18 f.

Tabelle 4-32: Arbeitssystem Reprofilieren³⁷⁴

Arbeitssystem Reprofilieren	
Arbeitsaufgabe	Reprofilieren von Sichtbetonbauteilen
Mensch	1 - 2 Arbeitskräfte (in Abhängigkeit des Umfangs der Reprofilierungen)
Betriebsmittel	<p>Im Folgenden sind beispielhaft die Betriebsmittel für die Durchführung von Reprofilierungsarbeiten aufgeführt. Je nach Art und Umfang der Reprofilierung können weitere Betriebsmittel erforderlich sein.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Eimer ▪ Wasser ▪ Reprofilierungsmörtel ▪ Anrührschüssel ▪ Spachtel ▪ Schleifsteine ▪ Pinsel ▪ Kutter ▪ Schleifpapier ▪ Schwamm ▪ Farbpigmente
Umwelteinflüsse	Umwelteinflüsse sind aufgrund der Ausführung im Fertigteilwerk steuerbar.



³⁷⁴ Bildnachweis: Thillen / Löw (2015)

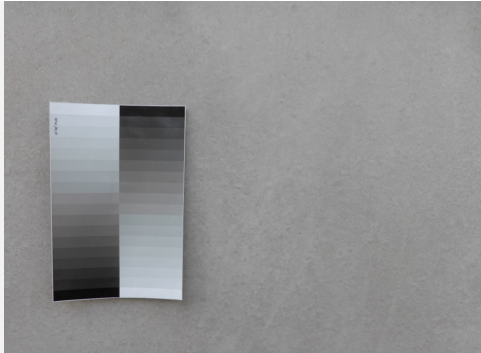
Eingabe	Mit Schalungshaut gestaltete, bearbeitete oder nachträglich behandelte Sichtbetonfläche mit Beschädigungen	
Arbeitsablauf	Zunächst wird Reprofilierungsmörtel angerührt und mit einem Spachtel auf die beschädigte Stelle aufgetragen. Anschließend wird dieser unter anderem mit Schleifpapier, Kutter und Spachtel an die gegebenen Bauteilkonturen und die Oberflächentextur der Sichtbetonfläche angepasst. Diese Arbeitsschritte werden wiederholt bis das gewünschte Arbeitsergebnis erreicht wurde. Daraufhin werden Staub- und Schmutzpartikel mit dem Pinsel entfernt.	 
Ausgabe	Reprofilerte, mit Schalungshaut gestaltete, bearbeitete oder nachträglich behandelte Sichtbetonfläche	

4.5.1.6 Arbeitssystem Retuschieren

Das Retuschieren wird in der Sichtbetontechnologie angewendet, um Farbtonabweichungen zwischen der Sichtbetonfläche und nachträglich aufgetragenen Spachtelungen oder Reprofilierungen anzugleichen bzw. komplett zu egalisieren. Bei der Retusche werden verschiedene Farbschichten aquarellartig mit Pinseln oder Schwämmen (kleinflächiges Retuschieren) oder mit Rollen oder Sprühgeräten (großflächiges Retuschieren) auf die Sichtbetonfläche aufgetragen. Die Farbe wird hierbei meist in tupfenden Bewegungen auf die Flächen aufgebracht. Beim Retuschieren ist auf einen angepassten Übergang an die vorhandenen Sichtbetonflächen zu achten, um die Spachtelung oder Reprofilierung zu kaschieren. Trotz sach- und fachgerecht ausgeführter Retuschen kann es sein, dass sich diese Bereiche gegenüber der restlichen Sichtbetonfläche im Fall von Streiflicht, Bewitterung und im Alterungsprozess abzeichnen.³⁷⁵




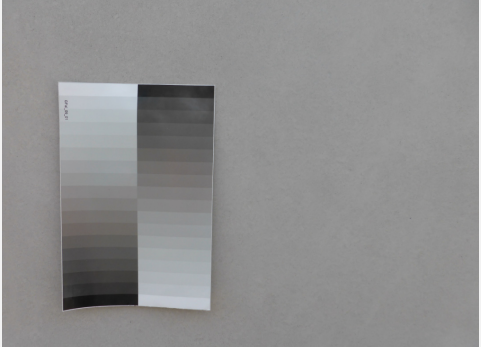
³⁷⁵ Vgl. Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V. (2016), S. 20 ff.

Tabelle 4-33: Arbeitssystem Retuschieren³⁷⁶

Arbeitssystem Retuschieren	
Arbeitsaufgabe	Retuschieren von Sichtbetonbauteilen
Mensch	1 - 2 Arbeitskräfte (in Abhängigkeit des Umfangs der Retuschen). Während das Reprofilieren keine besondere Qualifikation der Arbeitskräfte erfordert, sind es bei der Auswahl und dem Umgang mit den Materialien bei der Retusche künstlerische Fähigkeiten empfehlenswert.
Betriebsmittel	<p>Im Folgenden sind beispielhaft die Betriebsmittel für die Durchführung von Retuschen aufgeführt. Je nach Art und Umfang der Retusche können weitere Betriebsmittel erforderlich sein.</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Korallenschwämme ▪ Pinsel ▪ Eimer ▪ Farbpigmente ▪ Farben ▪ Lasuren ▪ Schleifpapier ▪ Tücher ▪ Spachteln ▪ Anrührschüsseln ▪ Lösungsmittel ▪ Wasser
Umwelteinflüsse	Umwelteinflüsse sind aufgrund der Ausführung im Fertigteilwerk steuerbar.
Eingabe	<p>Mit Schalungshaut gestaltete, bearbeitete oder nachträglich behandelte Sichtbetonfläche mit der Erfordernis für eine Retusche</p> 



³⁷⁶ Bildnachweis: Thillen / Löw (2015)

	<p>Im ersten Arbeitsschritt werden die Pigmentlasuren mit verschiedenen Korallenschwämmen auf die Sichtbetonfläche aufgetragen. In Abhängigkeit der Auftragsdicke ist die darunterliegende Sichtbetonfläche noch durchzusehen.</p>	
Arbeitsablauf	<p>Daraufhin wird die Betonfläche mit dem Schleifpapier abgeschliffen, um die darunterliegende Sichtbetonfläche deutlicher sichtbar zu machen. Die Staubpartikel vom Abschleifen werden mit einem Tuch von der Betonfläche entfernt, um das Ergebnis sichtbar zu machen. Die aufgeführten Arbeitsschritte des Auftragens der Pigmentlasuren sowie das Abschleifen und Abwischen werden solange wiederholt, bis das Arbeitsergebnis erreicht wurde.</p>	 
Ausgabe	<p>Retuschierte mit Schalungshaut gestaltete, bearbeitete oder nachträglich behandelte Sichtbetonfläche</p>	

4.5.1.7 Arbeitssystem Hydrophobieren

Bei einer Hydrophobierung handelt es sich um eine wasserabweisende Beschichtung von Betonflächen. Darüber hinaus werden Hydrophobierungen als semi-permanenter Graffiti-schutz eingesetzt, die nach der Entfernung eines aufgetragenen Graffitis in diesem Bereich erneuert werden müssen.³⁷⁷ Vor dem Hydrophobieren muss sichergestellt werden, dass keine Feuchtigkeit mehr im Sichtbetonbauteil vorhanden ist. Die Hydrophobierung ist meist visuell nicht wahrnehmbar, ggf. verbleibt ein leichter Glanz auf der Sichtbetonfläche.


Tabelle 4-34: Arbeitssystem Hydrophobieren³⁷⁸

Arbeitssystem Hydrophobieren	
Arbeitsaufgabe	Hydrophobieren von Sichtbetonbauteilen
Mensch	Eine Arbeitskraft
Betriebsmittel	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elektrisches Sprühgerät mit Luftdruckpistole ▪ Hydrophobierungsmittel (Schutz vor Verunreinigungen, öl- und wasserabweisend) ▪ Schutzkleidung (Atemmaske, Handschuhe, Hose und Jacke)
Umwelteinflüsse	Umwelteinflüsse sind aufgrund der Ausführung im Fertigteilwerk steuerbar.
Eingabe	Mit Schalungshaut gestaltete, bearbeitete oder nachträglich behandelte Sichtbetonfläche ohne Hydrophobierung



³⁷⁷ Vgl. Schulz (2009), S. 65 f.

³⁷⁸ Bildnachweis: Thillen / Löw (2015)

Arbeitsablauf	Die Arbeitskraft trägt das Hydrophobierungsmittel mit Hilfe der Luftdruckpistole in gleichmäßigen Bewegungen auf das Sichtbetonbauteil auf. Hierbei ist stets die Atemmaske zu tragen.	
Ausgabe	Mit Schalungshaut gestaltete, bearbeitete oder nachträglich behandelte Sichtbetonfläche mit Hydrophobierung	

4.5.2 Ermittlung von Aufwandswerten

Die Ermittlung der Aufwandswerte erfolgte einerseits in Form von Gruppenzeitaufnahmen als systematische Multimomentaufnahme³⁷⁹ mit einem Beobachtungsintervall von einer Minute sowie in Form von Einzelzeitaufnahmen³⁸⁰. In der folgenden Tabelle 4-35 findet sich die Zusammenstellung der Aufwands- und Kostenkennwerte für die untersuchten Verfahren zur Bearbeitung und nachträglichen Behandlung von Betonflächen. Zunächst sind die Anzahl der ausgeführten Bauteile sowie Arbeitskräfte und der aus den Aufnahmen ermittelte Aufwandswert t_e erfasst. Ergänzt werden diese Angaben um unternehmensinterne Aufwands- und Kostenkennwerte des Fertigteilwerks, in dem die Untersuchungen durchgeführt worden sind.

Bei der Gegenüberstellung der ermittelten Aufwandswerte mit den unternehmensinternen Vorgaben für den Aufwandswert wird deutlich, dass die Vorgabewerte des Unternehmens bei den Untersuchungen unterschritten wurden. Erklärungen hierfür können ein unternehmensseitig eingerechneter Sicherheitsbeiwert für Ausfälle und Fehlproduktionen sowie die Motivation der Arbeitskräfte aufgrund der Beobachtungssituation sein. Darüber hinaus konnte die Ausführung mancher Verfahren nur an wenigen Bauteilen beobachtet werden, weshalb die ermittelten Aufwandswerte nur als Richtwerte zu verstehen sind.

³⁷⁹ Siehe Kapitel 1.5.1.2 für weiterführende Erläuterungen

³⁸⁰ Siehe Kapitel 1.5.1.3 für weiterführende Erläuterungen

Tabelle 4-35: Zusammenstellung der Aufwands- und Kostenkennwerte für die untersuchten Verfahren zur Bearbeitung und nachträglichen Behandlung von Betonflächen³⁸¹

Verfahren	Anzahl der ausgeführten Bauteile	Anzahl der Arbeitskräfte	Aufwandswert t_e	Betriebsinterne Annahme für t_e	Betriebsinterne Kostenkennwerte
Grobes Sandstrahlen	2 Sitzbänke	2	0,60 h/m ²	1,00 – 1,20 h/m ²	28 – 35 €/m ²
Feines Sandstrahlen	24 Treppenelemente	1	0,27 h/m ²	0,50 – 0,60 h/m ²	18 – 22 €/m ²
	3 Fassadenelemente	1	0,29 h/m ²		
Absäubern	2 Sitzbänke	2	0,12 h/m ²	0,30 – 0,80 h/m ²	10 – 22 €/m ²
	1 Fassadenelement	2	0,26 h/m ²		
	24 Treppenelemente	1	0,06 h/m ²		
Schleifen	1 Träger	1	1,81 h/m ²	k. A.	k. A.
Polieren	1 Träger	1	1,71 h/m ²	k. A.	k. A.
Reprofilieren	2 Treppenelemente	2	1,47 h/Stk.	k. A.	k. A.
	2 Fassadenelemente	3	0,12 h/Stk.	k. A.	k. A.
Retuschieren	2 Treppenelemente	1	0,73 h/m ²	k. A.	k. A.
	24 Treppenelemente	2	0,42 h/m ²	k. A.	k. A.
	2 Sitzbänke	2	1,07 h/m ²	k. A.	k. A.
Hydrophobieren	1 Fassadenelement	1	0,09 h/m ²	0,20 – 0,25 h/m ²	10 – 13 €/m ²
	2 Fassadenelemente	3	0,01 h/m ²		
Reinigen	1 Balkon	2	0,08 h/m ²	0,25 – 0,30 h/m ²	6 – 8 €/m ²
	2 Fassadenelemente	3	0,15 h/m ²		
	2 Treppenelemente	2	0,12 h/m ²		

³⁸¹ Vgl. Thillen / Löw (2015)

4.6 Methoden zum Auftrag von Betontrennmitteln

In Ergänzung zu den Forschungsergebnissen des AiF Forschungsvorhabens 15873 N der Leibniz Universität Hannover, Institut für Baustoffe, der Hochschule Karlsruhe für Technik und Wirtschaft, Institut für Angewandte Forschung und der Technischen Universität Darmstadt, Institut für Baubetrieb³⁸² sowie den Feldstudien zur Dokumentation der Arbeitsweise von Boska³⁸³ sollte im Rahmen von Laborversuchen der Einfluss der Auftragsmethode des Betontrennmittels auf das Erscheinungsbild der Sichtbetonfläche untersucht werden.

Im DBV Merkblatt *Sichtbeton* wird der Auftrag des Betontrennmittels mit Hilfe eines Sprühgerätes mit Flachstrahldüse empfohlen.³⁸⁴ Lösemittelfreie Betontrennmittel, die überschüssig aufgetragen wurden, sind nachträglich mit einer Moosgummileiste abzutragen. Schalungshäute mit lösemittelhaltigen Betontrennmitteln sind bei einem überschüssigen Auftrag ebenfalls vor der Betonage abzuwischen.³⁸⁵

Auf Grundlage der aufgeführten Empfehlungen aus dem DBV Merkblatt Sichtbeton wurden vier verschiedene Methoden zum Auftrag von Betontrennmittel auf die Schalungshaut ausgewählt, deren Einfluss auf das Erscheinungsbild von Sichtbetonflächen erprobt werden sollte.

Tabelle 4-36: Methoden zum Auftrag von Betontrennmitteln³⁸⁶

Methode	Durchführung
M 1	Aufsprühen des Betontrennmittels und abwischen mit einem Papiertuch
M 2	Aufsprühen des Betontrennmittels und abziehen mit einem Gummiabzieher
M 3	Aufsprühen des Betontrennmittels
M 4	Auftragen des Betontrennmittels mit einer Handbürste

³⁸² Vgl. Leibniz Universität Hannover, Institut für Baustoffkunde, der Hochschule Karlsruhe für Technik und Wirtschaft, Institut für Angewandte Forschung und der Technischen Universität Darmstadt, Institut für Baubetrieb (2008 -2011)

³⁸³ Vgl. Boska (2013), S.231 ff.

³⁸⁴ Vgl. Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V., Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (2015), S. 45.

³⁸⁵ Vgl. Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V., Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (2015), S. 44.

³⁸⁶ Vgl. Thillen / Löw (2015)

4.6.1 Versuchsaufbau

Die Vorgehensweise bei den Laborversuchen zur Herstellung der Probekörper orientierte sich an der DIN 1048 Teil 5 Prüfverfahren für Beton³⁸⁷ und an der DIN EN 12390-2 Prüfung von Festbeton³⁸⁸. Die Vorgehensweise aus diesen Normen zur Herstellung von Probekörpern diente als Grundlage für die Planung der Laborversuche, die Prüfverfahren kamen nicht zum Einsatz.

Die hergestellten Probekörper weisen eine Länge von 40 cm, eine Breite von 24 cm und eine Höhe von 40 cm auf.

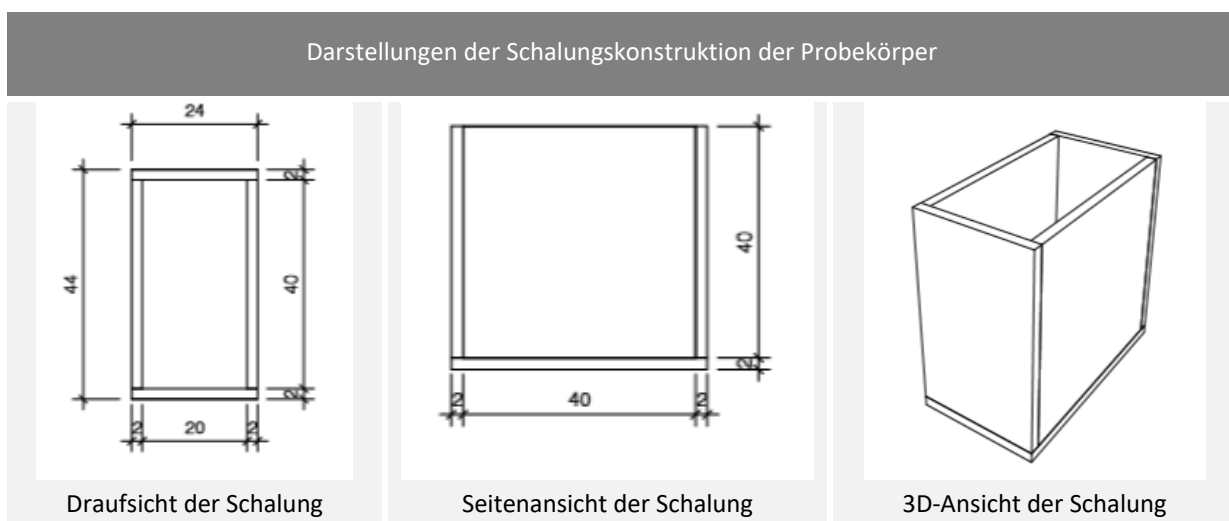


Abbildung 4-48: Darstellungen der Schalungskonstruktion der Probekörper³⁸⁹

Die Schalung zur Herstellung der Probekörper wurde jeweils aus den Schalungshautarten, die in der folgenden Tabelle aufgeführt sind, zusammengesetzt. Es handelt sich dabei um zwei Sperrholzplatten mit einer unterschiedlich starken Phenolharzbeschichtung (SH1 und SH 3). Als Referenzgröße für diese beiden Schalungshäute mit Betontrennmittelerfordernis wurden ebenfalls Probekörper mit einer No-Oil Platte (SH 2) hergestellt, die keinen Auftrag von Betontrennmittel erfordert. Diese soll zum Vergleich der Auswirkungen des Betontrennmittelauftrags auf die Qualität der Sichtbetonflächen dienen.

³⁸⁷ DIN 1048-5:1991-06

³⁸⁸ DIN EN 12390-2:2009-08

³⁸⁹ Bildnachweis: Thillen / Löw (2015)

Tabelle 4-37: Schalungshautarten zur Herstellung der Probekörper

	Trägermaterial	Beschichtung	Herstellerangaben
SH 1	Sperrholzplatte	Phenolpapierfilmbeschichtung 170 g/m ²	Geeignet für die Herstellung von Sichtbetonflächen mit einer mittleren Oberflächenqualität
SH 2	mehrlagiges gepresstes Birkenholz	heiß aufgedrehter Phenolharzfilm von 120 g/m ²	Kein Betontrennmittel erforderlich laut Herstellerangabe
SH 3	Sperrholzplatte	Phenolharzfilm von 450 g/m ²	Geeignet für die Herstellung von hochwertigen Sichtbetonflächen

In der folgenden Tabelle findet sich eine Aufstellung der im Rahmen der Laborversuche verwendeten Betontrennmittel, welche bereits in Feldversuchen zur Herstellung von Sichtbetonbauteilen eingesetzt worden sind. Dabei handelt es sich einerseits um ein physikalisch wirkendes Betontrennmittel und andererseits um ein lösungsmittelhaltiges Betontrennmittel.

Tabelle 4-38: Eingesetzte Betontrennmittel

	Art des Trennmittels	Herstellerangaben
TM 1	physikalisch wirkendes Betontrennmittel	
TM 2	lösungsmittelhaltiges Betontrennmittel	Herstellung von hochwertigem Sichtbeton in den Klassen SB 3 und SB 4 geeignet

Die Betonzusammensetzung für die Betonprobekörper weist eine Festigkeitsklasse von C 30/37 und eine Konsistenzklasse von F3 auf. Bei dem verwendeten Zement handelt es sich um einen CEM III/B 42,5 R, also einen Zement mit hoher Anfangsfestigkeit. Der Beton hat einen Wasserzementwert von $w/z = 0,5$. Die Gesteinskörnung des Betons hat ein Größtkorn von 16 mm und setzt sich aus Sand, Dolomit- sowie Kalkstein zusammen.

Tabelle 4-39: Betonzusammensetzung der Probekörper

Parameter	
Festigkeitsklasse	C 30/37
Konsistenzklasse	F3
Zement	CEM III/B 42,5 R
Wasserzementwert	w/z = 0,5
Gesteinskörnung	Sand, Dolomit- und Kalkstein
Größtkorn	16 mm

Insgesamt wurden drei Versuchsreihen mit jeweils sechs Probekörpern erstellt. Jeder Probekörper wurde mit einer Schalungshaut eingeschalt und die Betontrennmittel mit zwei verschiedenen Methoden je Probekörper aufgetragen.

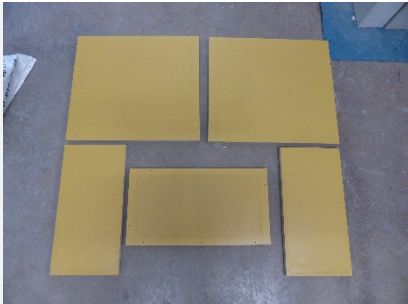


Tabelle 4-40: Versuchsmatrix zur Herstellung der Probekörper je Versuchsreihe

Probekörper	Schalungshaut	Betontrennmittel	Auftragsmethode
PK 1	SH 1	TM 1 / TM 2	M 1
			M 2
PK 2	SH 1	TM 1 / TM 2	M 3
			M 4
PK 3	SH 2	„No-Oil“-Platte, kein Betontrennmittel erforderlich	
PK 4	SH 2		
PK 5	SH 3	TM 1 / TM 2	M 1
			M 2
PK 6	SH 3	TM 1 / TM 2	M 3
			M 4

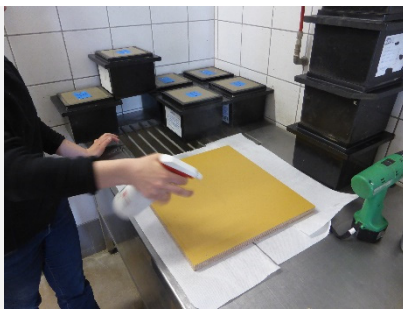
4.6.2 Versuchsdurchführung

In der folgenden Zusammenstellung werden die Vorgehensweise zur Herstellung der Probekörper und die dafür benötigten Betriebsmittel erläutert. Für die Herstellung der Probekörper ist bis auf die Arbeitsschritte des Betonierens und des Ausschalens eine Arbeitskraft ausreichend. Beim Betonieren und Ausschalen sind insgesamt drei Arbeitskräfte erforderlich gewesen.

Tabelle 4-41: Vorgehensweise bei der Herstellung der Betonprobekörper³⁹⁰

Arbeitsschritt		Bildnachweis
Die Einzelteile der Schalungskonstruktion auseinanderbauen und auf Beschädigungen überprüfen. Diese ggf. notieren und deren Einfluss auf die Betonflächenqualität beurteilen.		
Die Einzelteile der Schalungskonstruktion wiegen.		
Aufbringen des Betontrennmittels	Methode 1: Aufsprühen des Betontrennmittels und abwischen mit einem Papiertuch	

³⁹⁰ Bildnachweis: Thillen / Löw (2015)

	<p>Methode 2: Aufsprühen des Betontrennmittels und abziehen mit einem Gummiabzieher</p>	
<p>Aufbringen des Betontrennmittels</p>	<p>Methode 3: Aufsprühen des Betontrennmittels</p>	
	<p>Methode 4: Auftragen des Betontrennmittels mit einer Handbürste</p>	
<p>Die Einzelteile der Schalungskonstruktion werden zur Bestimmung der Betontrennmittelmenge ein weiteres Mal gewogen und anschließend zusammengebaut. Dabei wird darauf geachtet, dass der Betontrennmittelfilm auf der Schalungshaut nicht beschädigt wird.</p>		
<p>Einbringen des Betons mittels Schaufel in die Schalungskonstruktion</p>		

Verdichten des Betons mittels Innenrüttler (25 mm Durchmesser, der Durchmesser darf nicht mehr als ein Viertel des kleinsten Maßes des Probekörpers betragen³⁹¹) an zwei Stellen in der Schalungskonstruktion mit einer Dauer von jeweils 30 Sekunden.



Abziehen der Betonprobekörper mittels Glätteisen.



Ausschalen der Probekörper nach 19 Stunden Ausschalfrist



Reinigung der Betriebsmittel



³⁹¹ Vgl. DIN EN 12390-2:2009-08, S. 5.

4.6.3 Versuchsergebnisse

Die Beurteilung der Sichtbetonqualität der Probekörper erfolgt nach den Einzelkriterien des DBV Merkblatts *Sichtbeton*³⁹². Die hergestellten Probekörper wurden nur in Bezug auf die Einzelkriterien *Farbtongleichmäßigkeit* und *Porigkeit* bewertet. Die verbleibenden Einzelkriterien spielen aufgrund des Versuchsaufbaus und der erstellten Schalungskonstruktionen nur eine untergeordnete Rolle.

4.6.3.1 Einzelkriterium Porigkeit

Die Beurteilung der Porigkeit erfolgt unter Verwendung eines graphischen Auswertungsprogramms zur Bestimmung der Porenfläche. Diese wird anschließend einer der vier Anforderungsklassen P1 bis P4 zugeordnet.³⁹³

Bezogen auf die Porigkeit liefert Methode M 3, das Aufsprühen des Betontrennmittels ohne nachfolgende Arbeitsschritte zum Verteilen des Betontrennmittels, den geringsten Porenanteil in der Sichtbetonfläche. Darauf folgt das Aufsprühen des Betontrennmittels mit nachträglichem Abwischen mittels Papiertuch. Bei dieser Methode werden bei den ersten beiden Einsätzen der Schalungshäute sehr gute Ergebnisse erzielt, erst ab dem dritten Einsatz der Schalungshäute können verstärkt Poren in der Sichtbetonfläche festgestellt werden. Bei Methode M 2, dem nachträglichen Abziehen mittels Gummiabzieher, ist generell eine höhere Porigkeit als bei den Methoden M 1 und M 3 zu beobachten. Die Poren sind darüber hinaus auch in ihrem Durchmesser größer als bei den beiden anderen Methoden. Das Auftragen des Betontrennmittels mit einer Handbürste führt jedoch insgesamt zu den schlechtesten Ergebnissen der Auftragsmethoden in allen Versuchsreihen.

Die Schalungshautarten SH 1 und SH 3 liefern bezogen auf die Porigkeit ein ähnliches Ergebnis der Sichtbetonflächen, beide Verfahren liefern durchschnittlich eine Porigkeitsklasse P3. Die Porigkeit bei Schalungshaut SH 3 ist mit durchschnittlich 3,4 jedoch noch ein bisschen geringer als bei Schalungshaut SH 1 mit durchschnittlich 3,1. Die Schalungshaut SH 2, die *No-Oil*-Schalungshaut erzielte in allen Versuchsreihen einen sehr geringen Porenanteil, Porigkeitsklasse P4.

4.6.3.2 Einzelkriterium Farbtongleichmäßigkeit

Die Beurteilung der Farbtongleichmäßigkeit und die Einstufung in eine der drei Anforderungsklassen FT1 bis FT3 des DBV Merkblatts *Sichtbeton* erfolgt mit Hilfe einer Grautonskala.³⁹⁴

³⁹² Vgl. Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V., Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (2015), S. 12.

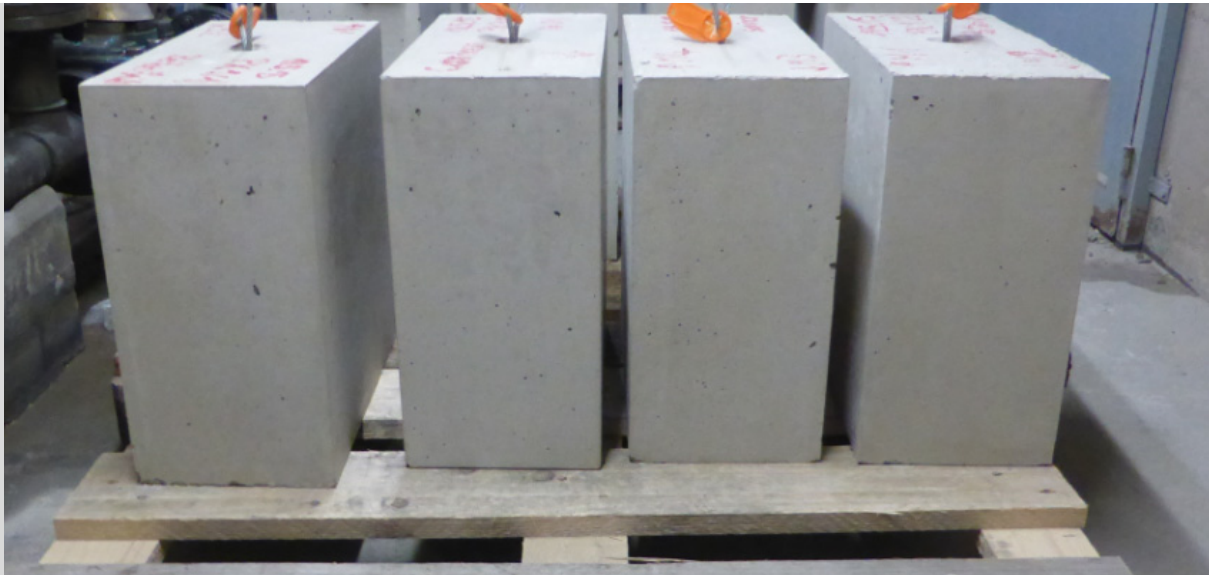
³⁹³ Vgl. Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V., Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (2015), S. 13.

³⁹⁴ Vgl. Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V., Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (2015), S. 13.

Unabhängig von der eingesetzten Schalungshaut ist über einen Beobachtungszeitraum von 28 Tagen bei allen Sichtbetonflächen ein Aufhellen des Grautons zu konstatieren. Farbtonunterschiede zwischen den angrenzenden Bereichen der unterschiedlichen Auftragsmethoden des Betontrennmittels zeichnen sich von Einsatz zu Einsatz einer Schalungshaut mehr ab. Während nach dem ersten Einsatz der Schalungshäute in Abbildung 4-49 noch keine deutlichen Farbtonunterschiede zwischen den benachbarten Sichtbetonflächen erkennbar sind, wird dies in Abbildung 4-50, nach dem zweiten Einsatz der Schalungshaut schon leicht sichtbar. Der deutlichste Unterschied des Grautons zwischen benachbarten Sichtbetonflächen ist jedoch in Abbildung 4-51, nach dem dritten Einsatz der Schalungshaut, zu erkennen. Diese Farbtonunterschiede zeichnen sich darüber hinaus unabhängig von der Einsatzzahl bei der Schalungshaut SH 3 deutlicher ab als bei der Schalungshaut SH 1. Diese Farbtonunterschiede zeichnen sich bei der Schalungshaut SH 3 wesentlich deutlicher als bei Schalungshaut SH 1 ab. Darüber hinaus ist festzuhalten, dass der Grauton der Sichtbetonfläche nach dem Ausschalen dunkler war, wenn mehr Betontrennmittel auf die Schalungshaut aufgetragen wurde. Bei Schalungshaut SH 2, einer *No-Oil*-Schalungshaut, kam es im Zuge der Herstellung der Probekörper zu Schlierenbildungen auf den Betonflächen. Dieses Ergebnis ist unüblich für diese Schalungshautart und kann aus vorausgehenden Feldversuchen nicht bestätigt werden. Möglicherweise resultieren diese Schlieren aus dem Wassergehalt des Betons.

Bezogen auf die Auftragsmethode des Betontrennmittels hat das reine Aufsprühen des Betontrennmittels ohne nachfolgende Arbeitsschritte (M 3) das beste Sichtbetonergebnis in Bezug auf die Farbtongleichmäßigkeit geliefert. Darauf folgt das Aufsprühen mit nachträglichem Abwischen mittels Papiertuch (M 1). Das Aufsprühen des Betontrennmittels und anschließendes Abziehen mittels Gummiabzieher (M 2) hat Schlierenbildungen auf der Sichtbetonfläche verursacht, die auf die Abziehstreifen des Gummiabziehers zurückzuführen sind. Das Auftragen des Betontrennmittels mit einer Handbürste (M 4) produziert die mit Abstand schlechteste Sichtbetonqualität. Diese Methode führt zu den stärksten Farbtonungleichmäßigkeiten.

Sichtbetonflächen nach dem ersten Einsatz der Schalungshaut

Abbildung 4-49: Probekörper nach dem ersten Einsatz der Schalungshäute³⁹⁵

Sichtbetonflächen nach dem zweiten Einsatz der Schalungshaut

Abbildung 4-50: Probekörper nach dem zweiten Einsatz der Schalungshäute³⁹⁶

³⁹⁵ Bildnachweis: Thillen / Löw (2015)

³⁹⁶ Bildnachweis: Thillen / Löw (2015)

Sichtbetonflächen nach dem dritten Einsatz der Schalungshaut

Abbildung 4-51: Probekörper nach dem dritten Einsatz der Schalungshäute³⁹⁷

4.7 Rauigkeit in Zusammenhang mit Farbtonungleichmäßigkeiten von Sichtbetonflächen

Bei der Herstellung von Sichtbetonbauteilen kann es aufgrund verschiedener Ursachen zu Farbtonungleichmäßigkeiten kommen. Diese Farbtonungleichmäßigkeiten können unter anderem aus ungeeigneten Betonzusammensetzungen, einem nicht kontinuierlichen Liefer-Verbrauchsrythmus des Betons oder einer nicht ordnungsgemäßen Verdichtung resultieren. *Boska* hat im Rahmen seiner Forschung einen Zusammenhang zwischen der Rauigkeit der Schalungshaut und der Farbtonungleichmäßigkeit von Sichtbetonflächen herstellen können.³⁹⁸

Infolgedessen wurden Untersuchungen zur Rauigkeit von Farbtonungleichmäßigkeiten auf Sichtbetonflächen angestellt. Hierzu wurden verschiedene vertikale Sichtbetonbauteile eines Schulgebäudes untersucht und die Rauigkeit der Oberflächen bei Hell-/Dunkelverfärbungen gemessen. Die Farbtonungleichmäßigkeiten auf den Sichtbetonbauteilen dieses Bauvorhabens resultierten aus den oben genannten Unregelmäßigkeiten bei der Herstellung. Auf einigen Bauteilen zeichneten sich Schüttlagen infolge der unsachgemäßen Ausführung ab.

³⁹⁷ Bildnachweis: Thillen / Löw (2015)

³⁹⁸ Vgl. *Boska* (2013), S. 261 ff.



Abbildung 4-52: Sichtbetonwand mit Farbtonungleichmäßigkeiten

4.7.1 Rauigkeit der untersuchten Sichtbetonbauteile

Bei Betrachtung der Farbtonungleichmäßigkeiten auf den Sichtbetonflächen im Streiflicht wiesen die hellen Bereiche einen Glanzgrad auf, während die dunklen Bereiche matt erschienen.

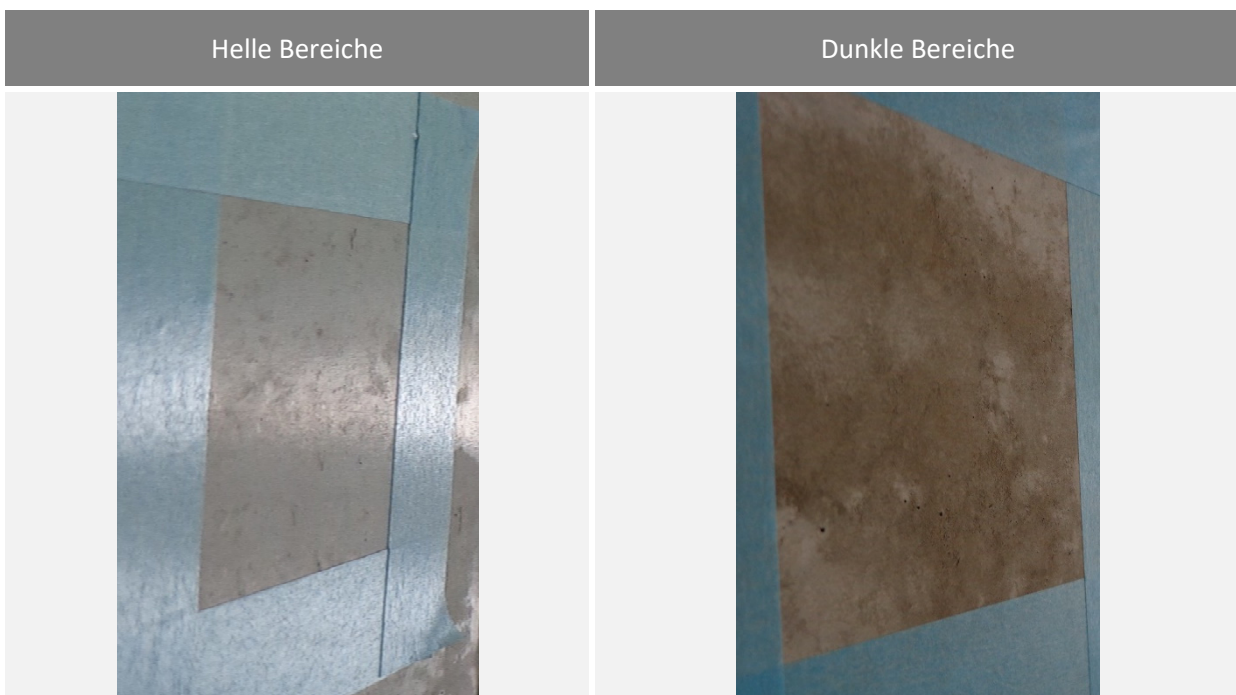


Abbildung 4-53: Helle und dunkle Bereiche auf den Sichtbetonwänden im Streiflicht

Die Messungen der Rauigkeit in den verschiedenen Bereichen auf den Sichtbetonwänden wurden mit einem *PosiTector*® der Firma *Defelsko Corporation* durchgeführt. Auf den Sichtbetonflächen wurden hierzu kleine Quadrate abgeklebt, innerhalb derer jeweils 100 Messungen durchgeführt worden sind. Die Messergebnisse lagen im μm Bereich.



Abbildung 4-54: Messung der Rauigkeit der Sichtbetonflächen

In der folgenden Tabelle 4-42 ist das arithmetische Mittel aller Messergebnisse der Rauigkeitsmessungen in den jeweiligen Bereichen erfasst. Das arithmetische Mittel der Messwerte in den hellen Bereichen der verschiedenen Sichtbetonbauteile lag im Durchschnitt bei $34,6 \mu\text{m}$ während das arithmetische Mittel der Messwerte in den dunklen Bereichen bei $80,6 \mu\text{m}$ lag.

Tabelle 4-42: Arithmetisches Mittel der Messergebnisse der Rauigkeitsmessungen vor dem Schleifen und Reinigen

Helle Bereiche	Dunkle Bereiche
34,6	80,6

Die beschriebenen Rauigkeitsmessungen wurden nach dem Abschleifen und Reinigen der Sichtbetonflächen mittels Hochdruckreiniger ein weiteres Mal an den gleichen Stellen wiederholt. Das arithmetische Mittel der Messungen vor und nach dem Schleifen in den hellen und dunklen Bereichen ist in der folgenden Tabelle 4-43 dokumentiert. Durch das Schleifen und Reinigen wurden die hellen Bereiche rauer, sodass sich hier ein arithmetisches Mittel über die Messungen von $43,2 \mu\text{m}$ ergibt. Die dunkleren Bereiche wurden durch das Schleifen hingegen geglättet, sodass diese danach eine Rauigkeit von durchschnittlich $70,4 \mu\text{m}$ aufwiesen.

Tabelle 4-43: Arithmetisches Mittel der Messergebnisse der Rauigkeitsmessungen vor und nach dem Schleifen und Reinigen

	Helle Bereiche	Dunkle Bereiche
Vor dem Schleifen und Reinigen	34,6	80,6
Nach dem Schleifen und Reinigen	43,2	70,4

Im DBV Sachstandsbericht *Sichtbetonkosmetik* wird sowohl darauf hingewiesen, dass die Sichtbetonflächen durch das Schleifen einerseits rauer werden können und andererseits sich der Glanzgrad der Oberflächen verändern wird.³⁹⁹ Diese Aussagen lassen sich anhand der Untersuchungen bestätigen. Die helleren Bereiche, die vor der Bearbeitung mittels Trockenbauschleifern und Hochdruckreinigern im Streiflicht glänzten, wiesen nach der Bearbeitung eine matte Oberfläche auf. Darüber hinaus wurden die hellen Bereiche durch das Schleifen aufgeraut, wie an den Messergebnissen in Tabelle 4-43 ablesbar ist. Die dunklen Bereiche hingegen waren vor dem Schleifen bereits so aufgeraut, dass es durch die Bearbeitung mit Trockenbauschleifern zu einer Glättung der Bereiche kam.

4.7.2 Betonkosmetische Maßnahmen bei Farbtonungleichmäßigkeiten auf Sichtbetonflächen

Die untersuchten Farbtonungleichmäßigkeiten auf den Sichtbetonbauteilen entsprachen nicht der geforderten Sichtbetonqualität. Das ausführende Bauunternehmen hat daher einen Nachunternehmer zunächst mit dem Abschleifen der Sichtbetonflächen beauftragt, um die Farbtonungleichmäßigkeiten abzuschwächen und Maßnahmen zur Gestaltung mit Farbe in Form von Retuschen⁴⁰⁰ umgehen zu können.

Das Schleifen der Sichtbetonbauteile erfolgte, wie im DBV Sachstandsbericht *Sichtbetonkosmetik* beschrieben, mit Trockenbauschleifern und Trockenschleifpapieren⁴⁰¹ mit einer Körnung von 80 und 100. Die Arbeitskraft führte den Trockenbauschleifer in horizontalen Bahnen über das Sichtbetonbauteil.

³⁹⁹ Vgl. Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V. (2016), S. 13.

⁴⁰⁰ Siehe Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V. (2016), S. 8ff.

⁴⁰¹ Vgl. Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V. (2016), S. 13.

Schleifen von Sichtbetonbauteilen

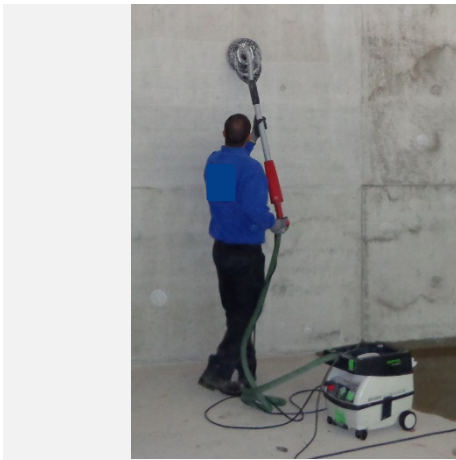


Abbildung 4-55: Schleifen von Sichtbetonbauteilen, Arbeitskraft und Betriebsmittel

In der folgenden Abbildung 4-56 ist beispielhaft eine Sichtbetonwand vor und nach dem Schleifen mit Trockenbauschleifern abgebildet. Vor dem Schleifen sind auf der Sichtbetonfläche deutliche Farbtonunterschiede zu erkennen, es haben sich Schüttagungen auf der Fläche abgezeichnet. Direkt nach dem Schleifen des Bauteils scheinen die Farbtonunterschiede beseitigt zu sein.

Sichtbetonwand vor und nach dem Schleifen

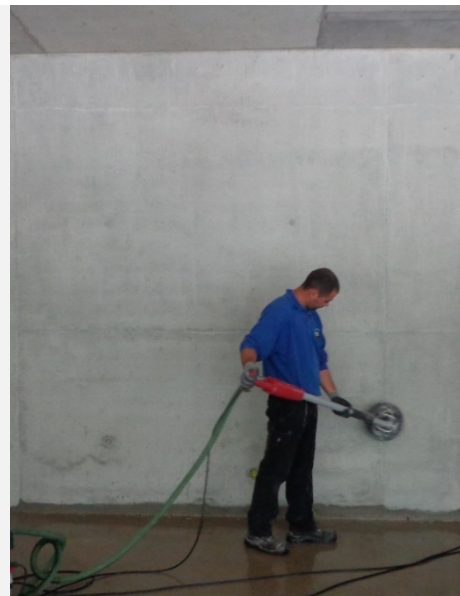


Abbildung 4-56: Sichtbetonwand vor und nach dem Schleifen

Bei genauer Begutachtung der Sichtbetonbauteile nach dem Schleifen ist jedoch eine Beschichtung in Form von Schleifstaub auf den Oberflächen erkennbar. Im DBV Sachstandsbericht *Sichtbetontechnik* wird bereits auf diese Staubemissionen beim Schleifen mit Trockenbauschleifern hingewiesen und der Einsatz von integrierten Absaugvorrichtungen bei großflächiger Verwendung dieser Geräte empfohlen.⁴⁰²

Schleifstaub auf dem Sichtbetonbauteil nach dem Schleifen



Abbildung 4-57: Schleifstaub auf der Sichtbetonwand nach dem Schleifen

Zur Reinigung der Sichtbetonbauteile vom Schleifstaub wurden Hochdruckreiniger mit Wasser eingesetzt. Dem DBV Sachstandsbericht *Sichtbetonkosmetik* handelt es sich hierbei um ein mechanisches Reinigen der Sichtbetonflächen, welches zu den vorbereitenden Arbeiten unter den Techniken der Sichtbetonkosmetik zählt.⁴⁰³ Bei dem untersuchten Bauvorhaben sollte es als abschließende Maßnahme an den Sichtbetonflächen eingesetzt werden.

⁴⁰² Vgl. Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V. (2016), S. 14 f.

⁴⁰³ Vgl. Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V. (2016), S. 8 ff.

Mechanisches Reinigen (nass) von Sichtbetonbauteilen

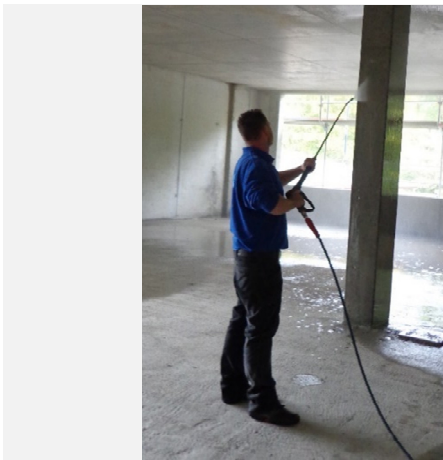


Abbildung 4-58: Mechanisches Reinigen (nass) von Sichtbetonbauteilen, Arbeitskraft und Betriebsmittel

Das Ergebnis der Reinigung der Sichtbetonflächen von Schleifstaub mittels Hochdruckreinigern ist in der folgenden Abbildung 4-59 dargestellt. Links ist die Sichtbetonfläche direkt nach dem Schleifen abgebildet. Die Schüttlagen, die vorher auf der Sichtbetonfläche sichtbar waren, sind vom Schleifstaub verdeckt. Nach dem Reinigen mittels Hochdruckreiniger und Wasser sind die Farbtonunterschiede auf der Fläche wieder zu sehen.

Sichtbetonwand vor und nach der mechanischen Reinigung (nass)

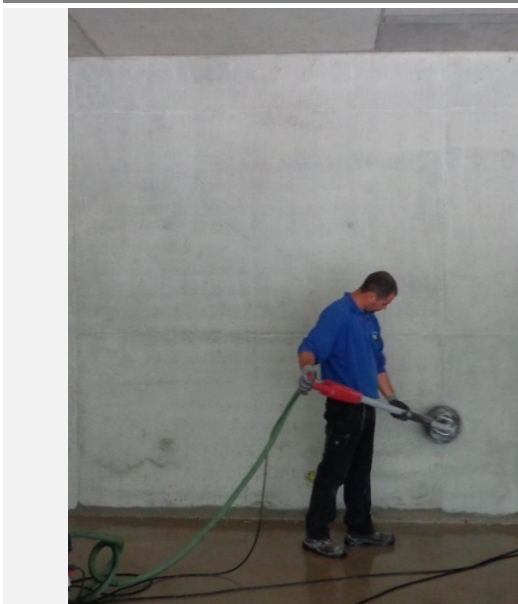


Abbildung 4-59: Sichtbetonwand vor und nach der mechanischen Reinigung (nass)

Die Farbtonunterschiede zwischen den hell- und dunkelgrauen Bereichen sind im Vergleich zur Ausgangssituation, die in der Abbildung 4-60 links dargestellt ist, abgeschwächt als vor dem Schleifen und Reinigen mit Hochdruckreiniger und Wasser (Abbildung 4-60, rechts).

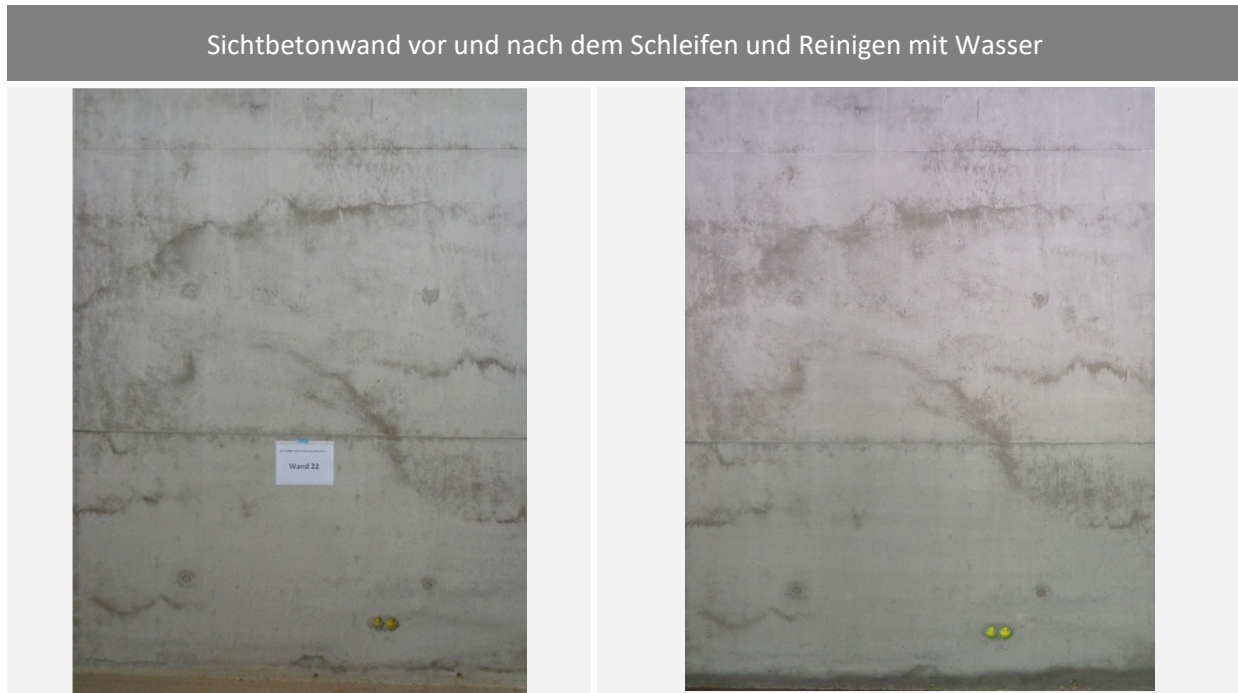


Abbildung 4-60: Sichtbetonwand vor und nach dem Schleifen und Reinigen mit Wasser

Die verbliebenen Farbtonunterschiede entsprachen nach dem Schleifen und Reinigen immer noch nicht der vertraglich vereinbarten Sichtbetonqualität, sodass letztendlich beschlossen wurde, die Sichtbetonflächen mit sichtbetontechnischen Maßnahmen zu überarbeiten. Hierbei wurden pigmentierte Lasuren eingesetzt, die die Farbtonungleichmäßigkeiten überdeckt haben.

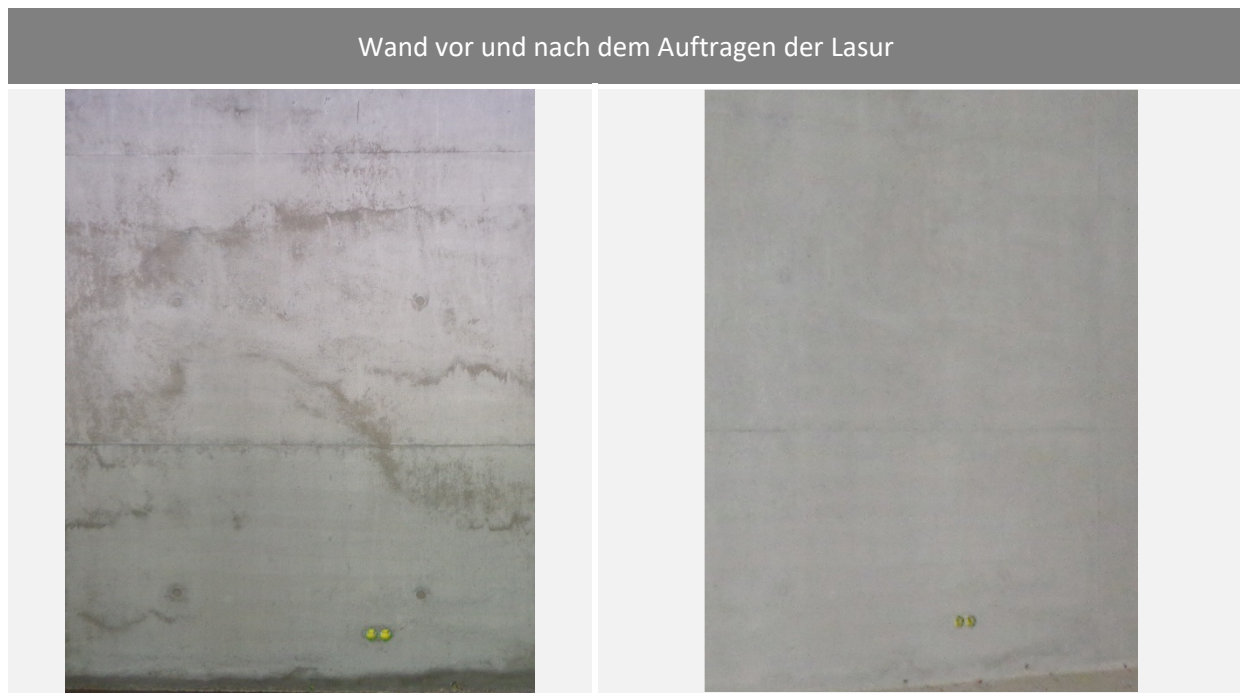


Abbildung 4-61: Sichtbetonwand vor und nach dem Auftragen der Lasur

4.8 Bewehrungsführung und Einbauteile bei Sichtbetonbauteilen

Im Nationalen Anhang zum Teil 1-1, Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, des Eurocodes 2, Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken werden, wie in Kapitel 2.1.4 beschrieben, verschiedene Anforderungen an die Erstellung von Bewehrungszeichnungen sowie darin enthaltene Angaben gestellt.⁴⁰⁴ Bei Nichtbeachtung dieser Anforderungen kann es zu Fehlern in der Ausführung kommen, die einen Einfluss auf die Qualität der Sichtbetonbauteile haben.

4.8.1 Bewehrungsführung bei Sichtbetonbauteilen

Im Nationalen Anhang wird, wie in Kapitel 2.1.4 beschrieben, unter anderem die Angabe von Rüttelgassen in den Bewehrungszeichnungen eingefordert. In der Planung von Bauvorhaben wird dieser Forderung häufig nicht ausreichend Folge geleistet. Bei der Ausführung von Sichtbetonbauteilen führen diese fehlenden Angaben in den Bewehrungszeichnungen zu Erschwernissen bei der Ausführung und vor allem bei der Verdichtung. Eine zu dicht verlegte Bewehrung sowie nicht geplante und berücksichtigte Rüttelgassen in den Sichtbetonbauteilen verhindern eine sach- und fachgerechte Verdichtung und beeinträchtigen somit die Sichtbetonqualität.

⁴⁰⁴ Vgl. DIN EN 1992-1-1/NA:2013-04, S. 9.

Bei einem untersuchten Bauvorhaben eines Bürogebäudes waren weder Rüttelgassen in den Bewehrungszeichnungen für die Sichtbetonbauteile berücksichtigt noch wurde bei der Bewehrungsführung auf die Möglichkeiten zum Einführen von Innenrüttlern geachtet.

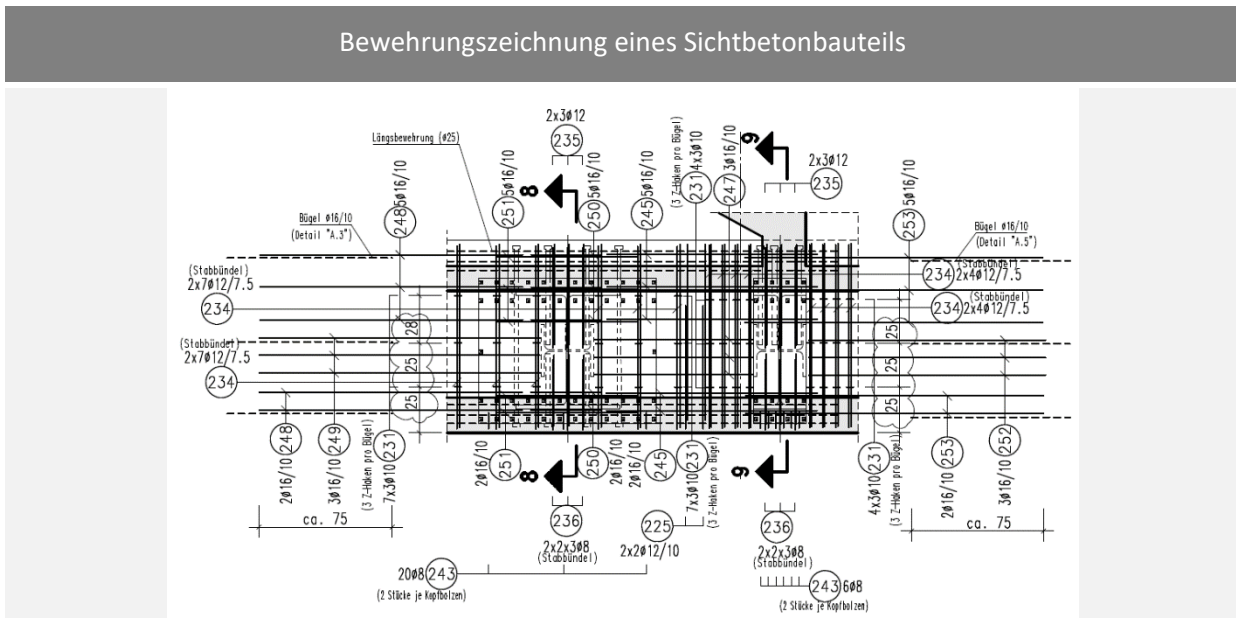


Abbildung 4-62: Bewehrungszeichnung eines Sichtbetonbauteils ohne Berücksichtigung der Verdichtung⁴⁰⁵

In der folgenden Abbildung 4-63 ist die eingebaute Bewehrung für ein Sichtbetonbauteil aus der Bewehrungszeichnung aus Abbildung 4-62 dargestellt. Die Verdichtung wurde aufgrund der Bewehrungsführung eine schwere Aufgabe für die Arbeitskräfte. Es gab Bereiche bei den Sichtbetonbauteilen, in die aufgrund der engen Bewehrungsführung kein Innenrüttler eingeführt werden konnte.

⁴⁰⁵ Bildnachweis: Wilke / Löw (2016), Heilemann / Löw (2016)

Bewehrungsführung eines Sichtbetonbauteils



Abbildung 4-63: Bewehrungsführung eines Sichtbetonbauteils ohne Berücksichtigung der Verdichtung⁴⁰⁶

Die Folge war ein hoher Porenanteil auf den Sichtbetonflächen sowie Kiesnestbildungen im Fußbereich der Bauteile, da die Innenrüttler nicht bis in den unteren Bereich der Bauteile für die Verdichtung eingeführt werden konnten. Vor allem in den Bereichen unterhalb der angeschlossenen Stahlträger für die Stahlbetondecken (siehe rechtes Bild in Abbildung 4-63) konnte der Beton nicht ordnungsgemäß verdichtet werden.

Sichtbetonflächen bei mangelnder Verdichtung aufgrund zu dichter Bewehrungsführung



Abbildung 4-64: Sichtbetonflächen bei mangelnder Verdichtung aufgrund zu dichter Bewehrungsführung⁴⁰⁷

Aufgrund des unbefriedigenden Gesamteindrucks der Sichtbetonflächen nach dem Ausschalen wurde zwischen dem Bauherren und dem ausführenden Bauunternehmen eine

⁴⁰⁶ Bildnachweis: Wilke / Löw (2016), Heilemann / Löw (2016)

⁴⁰⁷ Bildnachweis: Wilke / Löw (2016), Heilemann / Löw (2016)

nachträgliche Bearbeitung in Form von Sichtbetonkosmetik vereinbart. Hierzu wurden die entstandenen Kiesnester und Bereiche mit einem großen Porenanteil zunächst durch flächiges Aufbringen dünner Schichten Spachtelmasse abgedeckt. Anschließend sollten diese gespachtelten Bereiche durch eine Retusche farblich an die umliegenden Sichtbetonflächen angeglichen werden.

Dem DBV Sachstandsbericht *Sichtbetonkosmetik* zufolge kann eine Sichtbetonfläche mit einer sach- und fachgerecht ausgeführten Retusche von unbearbeiteten Bereichen vom Betrachter nicht unterschieden werden.⁴⁰⁸ Dies soll durch farbliche Changierungen der mit dem Pinsel oder Schwamm aufgetragenen Farbpigmente erreicht werden. Diese Technik der Sichtbetonkosmetik sollte, wie in Kapitel 4.5.1.6 *Arbeitssystem Retuschieren* beschrieben, nur von spezialisierten Arbeitskräften ausgeführt werden.

„3.4.1 Partielle Retusche

[...]

Die Auswahl und das richtige Einstellen der Farbe, das Aufbringen sowie die Gestaltung der Farbübergänge erfordern neben handwerklichem Geschick Gespür für Farbwirkungen und deshalb insbesondere künstlerische Fähigkeiten. [...]⁴⁰⁹

In der Abbildung 4-65 und der Abbildung 4-66 sind die Sichtbetonflächen nach dem Abdecken und nach der Retusche der Kiesnester sowie der Bereiche mit hohem Porenanteil dargestellt. Das ausführende Bauunternehmen ist bei der Bearbeitung der Sichtbetonflächen nicht den vorher aufgeführten Hinweisen des DBV Sachstandsberichts *Sichtbetonkosmetik* gefolgt und hat die Sichtbetonkosmetik von Arbeitskräften ausführen lassen, die nicht über künstlerische Fähigkeiten für Retuschen an Sichtbetonflächen verfügen.

Bei den Sichtbetonflächen auf den Bildern in Abbildung 4-65 wurde das Abdecken mit Spachtelmasse und die Retusche zum Ausgleichen von Kiesnestern partiell angewendet. Diese nachträglich bearbeiteten Bereiche sind farblich deutlich von den nicht bearbeiteten Bereichen zu unterscheiden. Besonders im unteren Bereich der Sichtbetonbauteile ist das Angleichen der verspachtelten Kiesnester farblich nicht gelungen. Der farbliche Übergang zwischen den verschiedenen Bereichen ist nicht sach- und fachgerecht ausgeführt worden.

⁴⁰⁸ Vgl. Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V. (2016), S. 20 f.

⁴⁰⁹ Vgl. Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V. (2016), S. 21.



Abbildung 4-65: Partiell retuschierte Sichtbetonflächen

Darüber hinaus sind Abdeckungen mit Spachtelmasse und anschließende Retuschen auch großflächiger an den Sichtbetonbauteilen umgesetzt worden. Der Untergrund ist vollflächig mit Spachtelmasse abgedeckt worden und anschließend wurde Farbe mit Schwämmen unsachgemäß auf die Fläche aufgetragen. Das Ergebnis dieser Bearbeitung der Sichtbetonbauteile ist in Abbildung 4-66 festgehalten worden. Das Ergebnis zeigt eine künstlich nachempfundene Sichtbetonfläche, die nichts mit einer Sichtbetonfläche, die in Ortbetonbauweise hergestellt wurde, gemeinsam hat.



Abbildung 4-66: Großflächig retuschierte Sichtbetonflächen

Kiltz weist darauf hin, dass sichtbetonkosmetische Maßnahmen häufig baubegleitend und mit ungeeigneten Materialien durchgeführt werden. Die Folge ist eine ausgebesserte Stelle, die nach der Ausführung der sichtbetonkosmetischen Maßnahmen deutlicher sichtbar ist als ohne eine Ausbesserung. Er empfiehlt daher Abstimmungen zwischen dem Bauherren und den ausführenden Unternehmen an Erprobungsflächen zur Festlegung der sichtbetonkosmetischen Maßnahmen sowie der gemeinsamen Verortung der auszubessernden Bereiche an den einzelnen Bauteilen. Darüber hinaus sollte das ausführende Unternehmen über Kompetenzen im Bereich der Sichtbetonkosmetik verfügen und entsprechende Referenzen vorlegen können.⁴¹⁰

4.8.2 Einbauteile bei Sichtbetonbauteilen

Einbauteile können, wie in Kapitel 2.1.4 beschrieben, das Verdichten eines Sichtbetonbauteils erschweren. Durch die Befestigung an der Bewehrung bzw. an der Schalung wird der Arbeitsraum für die Verdichtung verengt. Bei den Einbauteilen kann es sich unter anderem um Aussparungen für Türen oder Fenster handeln oder um Einbauteile für die technische Gebäudeausrüstung in Form von Aussparungen für Anschlusskästen sowie Kunststoffrohre zur Führung von Elektrokabeln.

Bei einem untersuchten Bauvorhaben eines Bürogebäudes kam es beispielweise bei den Stahlbetonwänden der Aufzugsschächte zu Problemen bei der Verdichtung, die die Sichtbetonqualität des Bauteils eingeschränkt haben. In dem Sichtbetonbauteil waren mehrere Aussparungen für die Aufzugstüren vorgesehen. Die Abstände zwischen diesen Aussparungen wurden um weitere Einsatzkästen für die Bedientableaus der Aufzüge ergänzt.

⁴¹⁰ Vgl. Kiltz (2015), S. 9 ff.

Darüber hinaus waren oberhalb einzelner Aussparungen für die Aufzugstüren noch Aussparungen für die technische Gebäudeausrüstung vorgesehen.

Schalung und Bewehrung eines Sichtbetonbauteils mit Einbauteilen



Abbildung 4-67: Schalung und Bewehrung eines Sichtbetonbauteils mit Einbauteilen

Der verbleibende Abstand zwischen den Aussparungen und den Einsatzkästen sowie die verbleibende Dicke des Bauteils waren nicht ausreichend, um die Innenrüttler für eine sach- und fachgerechte Verdichtung bis an das untere Ende des Bauteils einführen zu können. Dadurch kam es zu Farbtonungleichmäßigkeiten bzw. dem Abzeichnen von dunklen Zementanteilen auf der Sichtbetonfläche.

Sichtbetonbauteil mit mehreren Aussparungen und Einbauteilen



Abbildung 4-68: Sichtbetonbauteil mit mehreren Aussparungen und Einbauteilen

Auch bei diesem Bauvorhaben hätten durch die Berücksichtigung der Forderungen des nationalen Anhangs zum Eurocode 2 für Bewehrungszeichnungen Mängel an den Sichtbetonflächen vermieden werden können. Bei Berücksichtigung von Rüttelgassen in den Planunterlagen hätte den Planern auffallen müssen, dass nicht ausreichend Platz für die

Verdichtung gegeben gewesen ist. Die Tragwerksplaner müssen für diese Themen bei der Bewehrungsplanung und der Planung von Einbauteilen sensibilisiert werden.

4.9 Qualitätsmanagement in der Sichtbetontechnologie

Das DBV Merkblatt *Sichtbeton* empfiehlt in Anhang B für die Planung und Überwachung der Ausführung von Sichtbeton der Sichtbetonklasse SB 3 und SB 4 die Überwachung der Ausführung durch eine Fachkraft des Unternehmens. Darüber hinaus wird bei der Herstellung von Sichtbeton der Sichtbetonklasse SB 4 noch der Einsatz eines sichtbetontechnischen Qualitätssicherungsplans ergänzt.⁴¹¹

Tabelle 4-44: Empfehlungen für die Ausführung und Qualitätssicherung gemäß DBV Merkblatt *Sichtbeton*⁴¹²

Gegenstand	Empfehlung	Sichtbetonklassen			
		SB 1	SB 2	SB 3	SB 4
Ausführung und Qualitätssicherung	Gemäß DIN EN 13670 in Verbindung mit DIN 1045-3	x			
	Zusätzlich Schalungsvorbereitung durch den Unternehmer		x		
	Zusätzlich Schalungsvorbereitung durch den Unternehmer und sichtbetontechnische Überwachung der Ausführung durch eine Fachkraft des Unternehmens			x	
	Zusätzlich Schalungsvorbereitung durch den Unternehmer und sichtbetontechnische Überwachung der Ausführung durch eine Fachkraft des Unternehmens und mit sichtbetontechnischem Qualitätssicherungsplan				x

Hinweise zur Gestaltung und Umsetzung eines Qualitätssicherungsplans sind im DBV Merkblatt *Sichtbeton* jedoch bislang nicht zu finden. Aus diesem Grund wurde am Institut für Baubetrieb ein Qualitätssicherungsplan in Form von Checklisten zur Überwachung der Bauprozesse auf der Baustelle und der baubegleitenden Qualitätskontrolle bei der Ausführung von Sichtbetonbauteilen entwickelt.⁴¹³

Als Grundlage für die Checklisten dienten die von *Boska* zusammengestellten Regeln für die Arbeitsabläufe zur Herstellung von Sichtbetonbauteilen, die als Qualitäten-Soll-Werte

⁴¹¹ Vgl. Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V., Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (2015), S. 40.

⁴¹² In Anlehnung an: Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V., Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (2015), S. 40.

⁴¹³ Vgl. Heilemann, Löw (2016) und Wilke, Löw (2016)

in die Checklisten miteingehen.⁴¹⁴ Jedem Bauteil wird im Rahmen des Qualitätssicherungsplans eine eigene Checkliste zugeteilt. Die Checklisten variieren für die Erfassung von horizontalen und vertikalen Sichtbetonbauteilen sowie für Sichtbetonbauteile als Freiform. Im Rahmen der Untersuchungen zur Anwendung von Sichtbeton im Ingenieurbau wurden die Checklisten für den Einsatz bei Sichtbeton im Brückenbau auf die entsprechenden Anforderungen hin angepasst und weiterentwickelt.

4.9.1 Entwicklung eines Qualitätssicherungsplans

Für die Strukturierung des Qualitätssicherungsplans in Form von Checklisten war es wichtig, das Gesamtarbeitssystem *Sichtbetonbauteil herstellen* in kleinere Einheiten in Form einzelner Arbeitssysteme zu untergliedern. In der folgenden Abbildung 4-69 sind die einzelnen Arbeitssysteme, an denen sich die Checklisten orientieren, dargestellt.

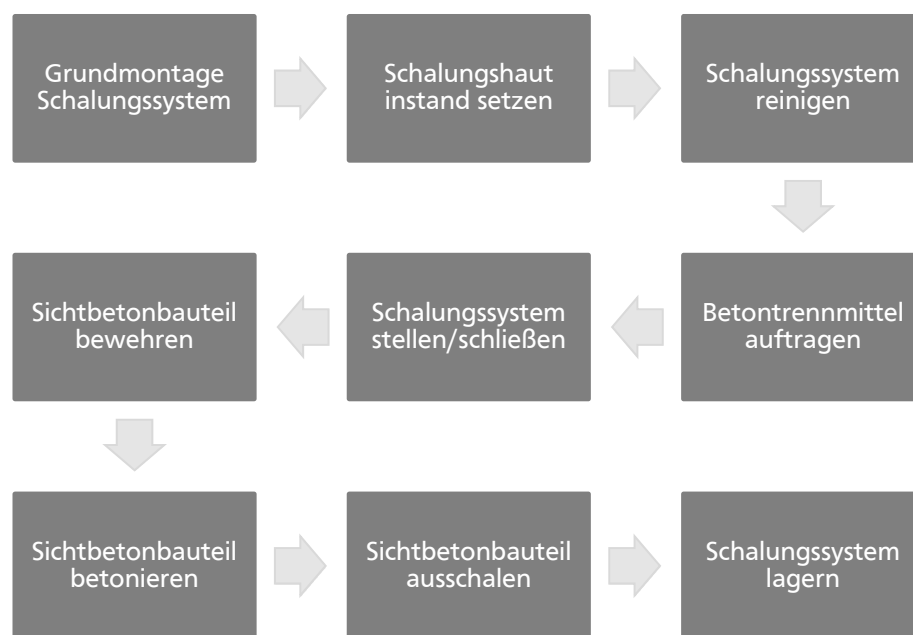


Abbildung 4-69: Arbeitssysteme zur Herstellung von Sichtbetonbauteilen in Ortbetonbauweise⁴¹⁵

Jedem Arbeitssystem sind entsprechend der Arbeitsaufgabe verschiedene Qualitätskriterien zugeordnet. Diese Qualitätskriterien stellen die Feingliederung der Checklisten dar. Jedem Qualitätskriterium können in der Checkliste ein Datum der Kontrolle des Qualitätskriteriums und Anmerkungen zugeordnet werden. In der Spalte der Anmerkungen können

⁴¹⁴ Vgl. Boska (2013), S. 61 ff.

⁴¹⁵ In Anlehnung an Boska (2013), S. 62 ff.

ebenfalls Bildnachweise erfasst werden, die entweder die Erfüllung des Qualitätskriteriums oder dessen Nichterfüllung dokumentieren.

Im Folgenden werden die Qualitätskriterien der einzelnen Arbeitssysteme beschrieben, die in den Checklisten erfasst sind:

- Grundmontage Schalungssystem

Bei der Grundmontage des Schalungssystems ist die Oberflächenbeschaffenheit mit einer Bilddokumentation festzuhalten. Kratzer, Rostflecken und ähnliche Beschädigungen der Schalungshaut sind hierbei zu dokumentieren. Darüber hinaus sind die Maßhaltigkeit des Schalungssystems sowie die Dichtigkeit der Schalungshautstöße zu prüfen.

- Schalungshaut instand setzen

Beim Instandsetzen der Schalungshaut ist sowohl der Zustand vor als auch nach der Instandsetzung mit einem Bild zu dokumentieren. Darüber hinaus sind die Methoden zur Ausbesserung von eventuellen Beschädigungen festzuhalten.

- Schalungssystem reinigen

Der Reinigungsprozess mit den verwendeten Betriebsmitteln ist in der Checkliste zu erfassen. Nach der Reinigung ist der Zustand der Schalungshaut mit einem Bild festzuhalten.

- Betontrennmittel auftragen

Bei dem Auftrag des Betontrennmittels sind in der Checkliste die Methode zum Auftrag sowie der Zustand der Schalungshaut vor dem Auftrag des Betontrennmittels festzuhalten.

- Schalungssystem stellen/schließen

Die Maßhaltigkeit und Abdichtung des Schalungssystems sind sowohl beim Aufstellen als auch beim Schließen der Schalung zu prüfen. Darüber hinaus sind der Zustand der Hüllrohre und der Abstand zwischen Bewehrung und Schalung zu dokumentieren. Als Bilddokumentation sind sowohl der Zustand der Schalungshaut bzw. der Reinigungszustand vor der Betonage als auch die Abstandhalterlagen nach dem Schließen der Schalung zu hinterlegen.

- Sichtbetonbauteil bewehren

Nach dem Bewehren des Sichtbetonbauteils sind die Betonierbarkeit sowie die Schalung auf verbliebene Reste in Form von Bewehrungsdraht zu prüfen. Abschließend ist die Lage der Abstandhalter mit einem Bild zu dokumentieren.

- Sichtbetonbauteil betonieren

Die Betonage des Sichtbetonbauteils wird am umfangreichsten in den Checklisten dokumentiert. Bezüglich der Verdichtung sind die Anzahl der Rüttler sowie das Verdichtungskonzept festzuhalten. Die Betonage betreffend sind der Liefer-Verbrauchs-Rhythmus, die

Einbauweise, die freie Fallhöhe des Betons, die Betonmenge, die Lieferscheinnummer, die Betonsortennummer sowie betontechnologische Parameter wie das Ausbreit- und das Verdichtungsmaß zu erfassen. Darüber hinaus werden auch die Lufttemperatur sowie die Witterung während der Betonage in der Checkliste niedergeschrieben.

- Sichtbetonbauteil ausschalen

Beim Ausschalen des Sichtbetonbauteils sind die Ausschalfrist sowie gegebenenfalls Beschädigungen an der Schalung sowie dem Sichtbetonbauteil zu erfassen.

- Schalungssystem lagern

Bei der Lagerung des Schalungssystems ist im Rahmen des Qualitätsplans auf eine ordnungsgemäße Lagerung sowie einen ordnungsgemäßen Schutz zu achten.

- Nachbehandlung Sichtbetonbauteil

Bei der Nachbehandlung der Sichtbetonbauteile sind die ergriffenen Maßnahmen sowie die Dauer der Anwendung der Maßnahmen in den Checklisten zu dokumentieren.

- Sichtbetonbauteil Dokumentation

Im Rahmen der Dokumentation des Sichtbetonbauteils gilt es, die Entwicklung der Sichtbetonflächen über einen Zeitraum von 28 Tagen in Bildern zu dokumentieren. Dafür sind die Sichtbetonflächen des Bauteils direkt nach dem Ausschalen, einen Tag sowie 28 Tage nach dem Ausschalen zu fotografieren.

4.9.2 Umsetzung des Qualitätssicherungsplans auf der Baustelle

Der Qualitätssicherungsplan soll auf der Baustelle zur Kontrolle der einzelnen Arbeitsprozesse dienen, um die wichtigsten Informationen zu dokumentieren. Der damit verbundene Arbeitsaufwand für das Baustellenpersonal sollte möglichst gering gehalten werden. Der Qualitätssicherungsplan könnte in digitaler Form geführt werden, um ein Übertragen der schriftlich auf der Baustelle festgehaltenen Daten zu vermeiden. Bei einer digitalen Dokumentation auf der Baustelle mit beispielsweise Smartphones oder Tablets können dann auch direkt Bildnachweise erstellt und der entsprechenden Stelle in der Checkliste zugeordnet werden, falls dies erforderlich sein sollte.

5 Wissensmanagement in der Sichtbetontechnologie

Im Folgenden wird die prototypische Entwicklung eines Wissensmanagementsystems für die Sichtbetontechnologie dargelegt. Zunächst werden die Vorgehensweise sowie die Ergebnisse der durchgeführten Anforderungsanalyse an ein Wissensmanagementsystem für die Sichtbetontechnologie beschrieben. Die Ergebnisse der Anforderungsanalyse werden dann zur Entwicklung eines modularen Wissensmanagementsystems eingesetzt, das individuell an die Anforderungen eines Bauunternehmens angepasst werden kann. Die Vernetzung der verschiedenen Module des Wissensmanagementsystems erfolgt anhand eines Wissensmodells für die Sichtbetontechnologie, das in Form einer Ontologie beschrieben wird und die Heterogenität der Informationsquellen in einem Bauunternehmen berücksichtigt.

5.1 Anforderungsanalyse

Zur Ermittlung des Status quo im Bereich des Wissensmanagements für die Sichtbetontechnologie wurde am Institut für Baubetrieb der Technischen Universität Darmstadt eine quantitative Erhebung mittels standardisiertem Fragebogen⁴¹⁶ durchgeführt.⁴¹⁷ Die Zielgruppen waren Beschäftigte aus kleinen, mittleren und großen Bauunternehmen, die in der Bauausführung oder Arbeitsvorbereitung tätig sind. Insgesamt haben 24 Personen an der Befragung teilgenommen.

Der Fragebogen war in zwei Teile geteilt, den ersten Teil des Wissensmanagements im Unternehmen allgemein und den zweiten Teil des Wissensmanagements der Sichtbetontechnologie im Speziellen. Die Ermittlung des Stands des Wissensmanagements im Unternehmen allgemein ist wichtig, um Zusammenhänge zum Wissensmanagement des Sichtbetons im Speziellen herleiten zu können. Die Fragen in beiden Teilen bezogen sich sowohl auf die technischen als auch die organisationalen Randbedingungen im Unternehmen.

Bei der Befragung bezüglich des Wissensmanagements im Unternehmen allgemein haben ca. 85 % der Befragten angegeben, dass sie dazu verpflichtet sind, die Erfahrungen aus den Projekten zu dokumentieren. Dies wird am häufigsten durch die Speicherung der Unterlagen auf dem Server bzw. der Informationen in einer Datenbank umgesetzt. Für die Speicherung der Unterlagen auf dem Server werden den Befragten häufig Vorlagen zur Verfügung gestellt, in seltenen Fällen gibt es Checklisten oder eine Ablagestruktur. Die hauptsächliche Dokumentation wird während des laufenden Projekts vorgenommen, nur ca. ein Drittel der Befragten dokumentiert noch nach Abschluss der Projekte.

⁴¹⁶ Siehe Kapitel 1.5.2

⁴¹⁷ Vgl. Bahlo / Löw (2018), S. 41 ff.

Übergreifend kann anhand der Untersuchungsergebnisse festgehalten werden, dass die Größe des Unternehmens mit dem Vorhandensein und dem Umfang eines Wissensmanagements korreliert. Je größer die Bauunternehmen sind, umso eher sind eine informativstechnische Infrastruktur bzw. ein Wissensmanagementsystem im Unternehmen sowie eine zuständige Organisationseinheit dafür vorhanden. In Bauunternehmen mit einer Organisationseinheit für das Wissensmanagement werden häufiger Datenbanken und Suchmaschinen eingesetzt als in Bauunternehmen ohne eine Organisationseinheit für das Wissensmanagement.

Bei der Befragung bezüglich des Wissensmanagements in der Sichtbetontechnologie haben ca. 45 % der Befragten angegeben, dass das Wissen über Sichtbeton speziell dokumentiert wird. Die Speicherung des Wissens erfolgt, wenn sie gefordert ist, auch hier auf internen Servern oder einer projektspezifischen Plattform. Darüber hinaus gibt es für die Dokumentation des Wissens in der Sichtbetontechnologie nach Angaben der Befragten nur selten Vorlagen von den Unternehmen. Die Erfahrungen werden im Bereich der Sichtbetontechnologie häufig während des laufenden Projekts dokumentiert, im Vergleich zu den allgemeinen Projektdokumentationen jedoch vermehrt nach Projektabschluss.

Die Befragten wurden nach ihrer Einschätzung bezüglich der Fehlerquote bei der Herstellung von Sichtbetonbauteilen gefragt. Zwei Drittel der Befragten haben die Fehlerquote bei der Herstellung von Sichtbetonbauteilen als hoch bis sehr hoch eingeschätzt. Die Einschätzung der Befragten bezüglich der Fehlerquote bei der Herstellung von Sichtbetonbauteilen ist in der folgenden Abbildung 5-1 dargestellt.

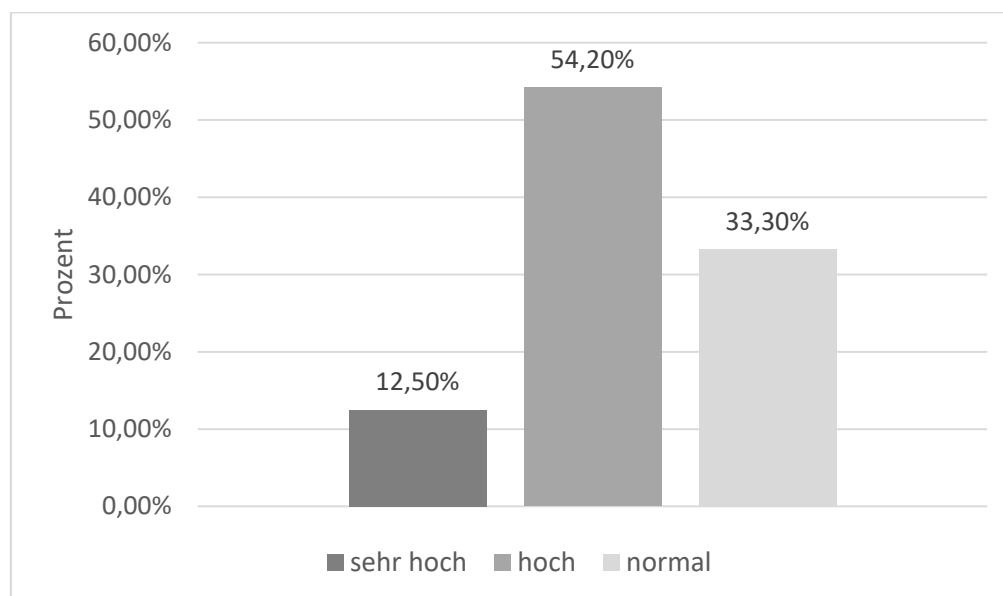


Abbildung 5-1: Einschätzung der Fehlerquote bei der Herstellung von Sichtbetonbauteilen⁴¹⁸

⁴¹⁸ Vgl. Bahlo / Löw (2018), S. 87 f.

Auf die Einschätzung der Befragten bezüglich der Fehlerquote bei der Herstellung von Sichtbetonbauteilen folgte die Frage, inwiefern sie eine Reduzierung der Fehlerquote durch die Einführung eines Wissensmanagements in der Sichtbetontechnologie für möglich halten.

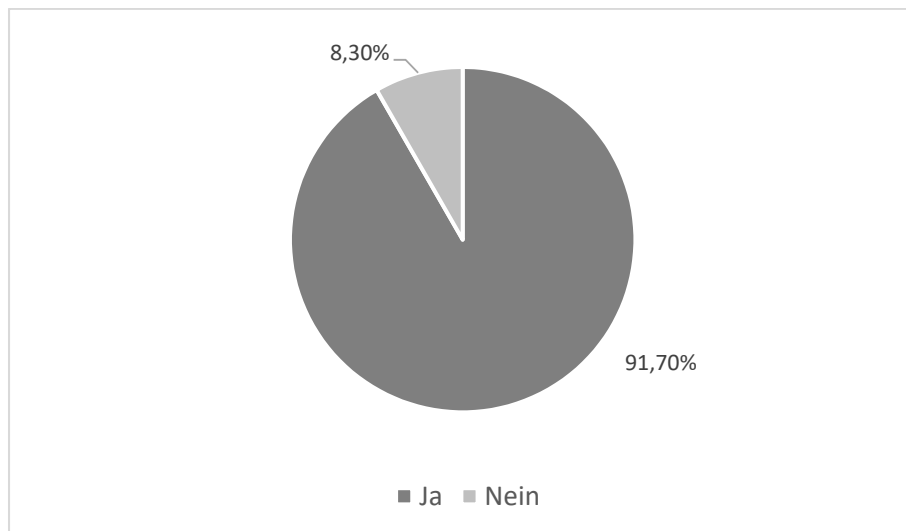


Abbildung 5-2: Reduzierung der Fehlerquote durch ein Wissensmanagement in der Sichtbetontechnologie⁴¹⁹

Die Befragungsergebnisse zeigen, dass ca. 92 % der Befragten eine Reduzierung der Fehlerquote durch ein Wissensmanagement in der Sichtbetontechnologie für möglich halten.

Zum Abschluss der Fragebögen wurden noch zwei offene Fragen gestellt, die den Befragten die Möglichkeit eröffnen sollten, Verbesserungsvorschläge und Kritikpunkte bezüglich des Wissensmanagements in Bauunternehmen im Allgemeinen und in der Sichtbetontechnologie im Speziellen zu äußern. Die Aussagen werden im Folgenden zusammengefasst:

- Wissensaufbereitung

Die Gesamtheit des Wissens aus den Projekten wird in den Wissensmanagementsystemen gespeichert, ohne dieses für die weitere Verwendung sinnvoll aufzubereiten und unnötiges Wissen auszusortieren.

- Wissensstrukturierung

Durch die fehlende Strukturierung des Wissens sind die Wissensmanagementsysteme sehr unübersichtlich und teilweise unlogisch aufgebaut.

⁴¹⁹ Vgl. Bahlo / Löw (2018), S. 89.

- Wissenssuche

Das Wissen wird aufgrund der eingeschränkten Suchmöglichkeiten teilweise nicht wiedergefunden oder der Suchprozess ist zu zeitintensiv.

- Wissenslücken

Normen und Richtlinien sowie Veröffentlichungen im Bereich der Sichtbetontechnologie stehen nicht ausreichend zur Verfügung oder deren Vorhandensein ist nicht ausreichend bekannt.

- Expertenmangel

Das Wissen in der Sichtbetontechnologie ist zu einem gewissen Teil personengebunden und daher auf einzelne Experten im Unternehmen verteilt, die teilweise nicht bekannt sind und nicht in ausreichender Anzahl zur Verfügung stehen.

- Erfahrungswerte

Der Mangel an Weitergeben von Erfahrungswerten durch Projektbeispiele wird kritisiert. Diese Projektbeispiele sollten sowohl positive als auch negative Erfahrungswerte mit deren Vorgehensweisen und Randbedingungen dokumentieren.

5.2 Wissensmanagementsystem für die Sichtbetontechnologie

Auf Grundlage der Ergebnisse der durchgeführten Anforderungsanalyse in Kapitel 5.1 sowie Erfahrungen aus verschiedenen Forschungsvorhaben und der Baupraxis zum Themenkomplex Sichtbetontechnologie wird im Folgenden ein modulares und internetbasiertes Wissensmanagementsystem entwickelt. Die in den folgenden Unterkapiteln beschriebenen einzelnen Elemente sind als modularer Bausatz zu verstehen, die je nach Anforderungen eines Bauunternehmens zu einem Wissensmanagementsystem Sichtbetontechnologie individuell zusammengesetzt werden können.

Diese Einzelmodule sind nicht alleine für den Themenkomplex Sichtbetontechnologie anwendbar und sollten auch auf weitere Wissensbereiche im Unternehmen übertragen und angewendet werden, um den organisatorischen und finanziellen Aufwand zu egalisieren. Die Umsetzung aller Module ist aufgrund des organisatorischen und finanziellen Aufwands nur für große Baukonzerne sinnvoll. Einzelne Module, wie beispielsweise das Expertennetzwerk, sind jedoch bereits bei kleineren Bauunternehmen effizient einsetzbar.

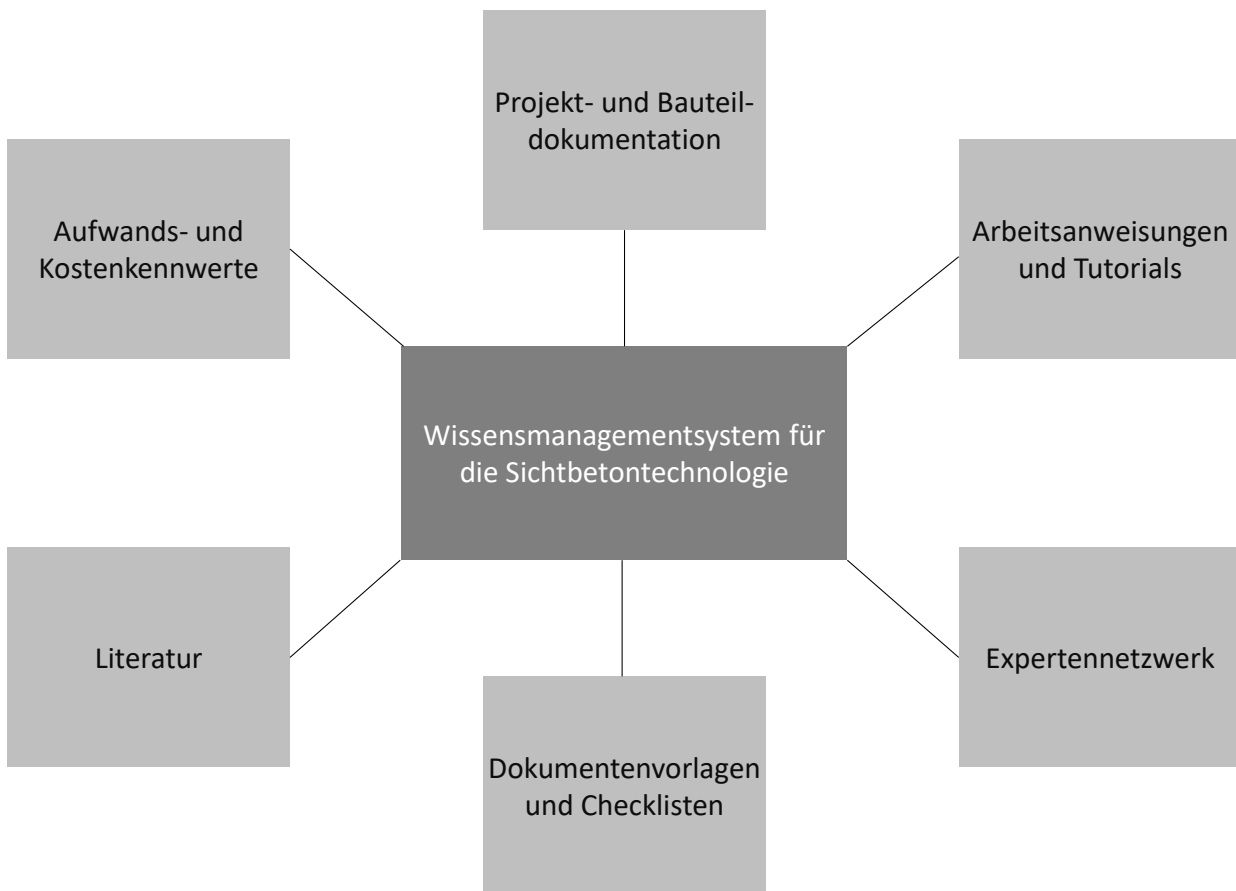


Abbildung 5-3: Wissensmanagementsystem für die Sichtbetontechnologie

Bei den im Folgenden vorgestellten Einzelmodulen handelt es sich um Weiterentwicklungen für den Themenkomplex Sichtbetontechnologie, welche teilweise auf Ansätzen von *Girmscheid*⁴²⁰ und *Cüppers*⁴²¹ basieren, die Wissensmanagementsysteme für Bauunternehmen im Allgemeinen entwickelt haben.

5.2.1 Projekt- und Bauteildokumentation

In der *DIN 69901 Projektmanagement – Teil 5 Begriffe* wird der Begriff der Projektdokumentation wie folgt definiert:

„Gesamtheit aller relevanten Dokumente, die in oder aus einem Projekt entstehen, Verwendung und Anwendung finden oder anderen Bezug zum Projekt haben.“⁴²²

Diese Definition der Projektdokumentation ist für den vorliegenden Zweck des Wissensmanagements in der Sichtbetontechnologie zu weit gefasst und wird mit den folgenden Ausführungen präzisiert.

⁴²⁰ Vgl. Girmscheid (2014), S. 449 ff.

⁴²¹ Vgl. Cüppers (2006)

⁴²² DIN 69901-5:2009-01, S. 13.

Mit der Projekt- und Bauteildokumentation sollen alle Informationen zu ausgeführten Projekten erfasst werden, um für Folgeprojekte auf die vorhandenen Erfahrungen im Unternehmen zurückgreifen zu können. Dabei ist es wichtig, die Projekte vollumfassend zu erschließen, hierzu kann die in Kapitel 1.5.1.1 vorgestellte Systematik nach REFA zur Erfassung von Arbeitssystemen als Grundlage zur Strukturierung genutzt werden.

Die erste Gliederungsebene der Dokumentation ist das Projekt, welches dann noch auf die Ebene des Bauteils untergliedert werden kann, wenn im Rahmen des Projektes Sichtbetonbauteile mit unterschiedlichen Anforderungen ausgeführt oder an gleichartigen Sichtbetonbauteilen unterschiedliche Erfahrungen gemacht wurden. Die Inhalte der Projekt- und Bauteildokumentationen können unter anderem aus dem in Kapitel 4.9 vorgestellten Qualitätssicherungsplan in Form von Checklisten zur Überwachung der Bauprozesse auf der Baustelle und der baubegleitenden Qualitätskontrolle bei der Ausführung von Sichtbetonbauteilen entnommen werden.

In der Projekt- und Bauteildokumentation sollten abschließend sowohl Best practices als auch Lessons learned festgehalten werden.

- Best practices

„Best practices sind Methoden, Verfahren und Arbeitsweisen, die zu hoher Produktivität und Qualität führen und derzeit die unternehmensweit beste Lösung für ein Problem darstellen.“⁴²³

Für die Reproduzierbarkeit dieser Best practices ist es wichtig, dass die Arbeitssysteme der einzelnen Prozesse vollumfänglich erfasst werden. Den Arbeitskräften müssen alle Rahmenbedingungen, Materialien und Arbeitsmethoden bekannt sein, um ein gutes Ergebnis wieder erzielen zu können.⁴²⁴

- Lessons learned

„In einem Projekt gemachte Erfahrungen, die auch für andere von Nutzen sein können, werden als lessons learned dokumentiert und allen betroffenen Mitarbeitern z. B. über Intranet zur Verfügung gestellt.“⁴²⁵

Die Lessons learned sollen den Arbeitskräften zur Vermeidung von sich wiederholenden Fehlern und zur Reduzierung bei der Vorbereitung von Folgeprojekten dienen. Darüber hinaus stellt diese Form der Wissensaufbereitung eine Möglichkeit dar, „implizites Wissen zu externalisieren und damit zumindest teilweise zu explizitem Wissen umzusetzen“⁴²⁶.

⁴²³ Cüppers (2006), S. 98.

⁴²⁴ Vgl. Girmscheid (2014), S. 467

⁴²⁵ Girmscheid (2014), S. 467.

⁴²⁶ Cüppers (2006), S. 98.

Die Anwendung der *Best practices* und die Berücksichtigung der *Lessons learned* bietet den Unternehmen eine Unterstützung, um Arbeitsabläufe zu optimieren, Fehler zu vermeiden und damit Zeit und Geld zu sparen.⁴²⁷

5.2.2 Expertennetzwerk

Das Expertennetzwerk soll das im Unternehmen vorhandene implizite, also personengebundene Wissen für alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sichtbar machen. Der unternehmensinterne Erfahrungsaustausch zu bestimmten Themengebieten wird so erleichtert.

Hierfür sollte für jeden Mitarbeiter und jede Mitarbeiterin ein Eintrag im Expertennetzwerk erstellt werden. In diesem Eintrag sollten die Kontaktdaten zur Verfügung gestellt und die persönlichen Kompetenzen der Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen aufbereitet dargestellt werden.

Bei den aufgeführten Kompetenzen handelt es sich nicht nur um formale Qualifikationen wie Schulabschlüsse, sondern auch um Kompetenzen, die aus beruflicher Erfahrung resultieren⁴²⁸ sowie um Spezialwissen in bestimmten Fachgebieten.

Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter können so die entsprechenden Kolleginnen und Kollegen, die über Kompetenzen im Bereich der Sichtbetontechnologie verfügen, leichter identifizieren und kontaktieren. Kolleginnen und Kollegen können sich gegenseitig bei verschiedenen Projekten unterstützen und im Rahmen des Wissensaustauschs neue Kompetenzen erwerben. Die gegenseitige Unterstützung kann beispielsweise in Form von punktuellen Gesprächen zum Austausch von Erfahrungen bezüglich bevorstehender Projektphasen stattfinden.

5.2.3 Arbeitsanweisungen und Tutorials

Das DBV Merkblatt *Sichtbeton* empfiehlt für die Herstellung von Sichtbetonflächen mit hohen Anforderungen an das Aussehen die Erstellung von Arbeitsanweisungen für die ausführenden Unternehmen und Arbeitskräfte. Die Arbeitsanweisungen dienen als Maßnahmen zur Qualitätssicherung bei der Herstellung von Betonflächen mit Anforderungen an das Aussehen.⁴²⁹

⁴²⁷ Vgl. Girmscheid (2014), S. 467 und Cüppers (2006), S. 98)

⁴²⁸ Vgl. Cüppers (2006), S. 102.

⁴²⁹ Vgl. Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V., Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (2015), S. 32.

Als Grundlage für die Erstellung der Arbeitsanweisungen können die von *Boska*⁴³⁰ und in der vorliegenden Arbeit⁴³¹ dokumentierten Arbeitsweisen bzw. Arbeitssysteme herangezogen werden. In den Arbeitsanweisungen sollten darüber hinaus die von *Boska* entwickelten Qualitätsschranken dokumentiert und als Qualitäts-Soll-Werte für die Durchführung der Prozesse auf der Baustelle dienen. Dadurch kann der Qualitätsstandard der einzelnen Prozesse gewährleistet werden.⁴³²

Zur Überwachung der ordnungsgemäßen Umsetzung der Arbeitsanweisungen kann der in Kapitel 4.9 vorgestellte Qualitätssicherungsplan verwendet werden, der im Wissensmanagementsystem im Bereich *Dokumentenvorlagen und Checklisten*⁴³³ für die Nutzer hinterlegt ist.

Zur Veranschaulichung und Förderung der Fähigkeiten der Arbeitskräfte kann es aufgrund von Sprach- und Verständnisbarrieren hilfreich sein, Tutorials in Form von verfilmten Arbeitsanweisungen zu erstellen und vor der Herstellung von Sichtbetonbauteilen den betroffenen Projektbeteiligten zu zeigen. Diese sollten ebenfalls Bestandteil des Wissensmanagementsystems sein, damit die Projektverantwortlichen diese bei Bedarf für die Unterweisung der Arbeitskräfte auf der Baustelle einsetzen können.

5.2.4 Aufwands- und Kostenkennwerte

Ein wichtiges Modul des Wissensmanagementsystems für die Sichtbetontechnologie zur Unterstützung der Kernprozesse der Planung und Arbeitsvorbereitung ist die Bereitstellung von Aufwands- und Kostenkennwerten.

Die gängige Praxis der Kalkulation und Terminplanung zur Herstellung von Sichtbetonbauteilen besteht in der Kalkulation und Terminplanung von normalen Stahlbetonbauteilen und einem angenommenen Zuschlag für den Aufwand zur Ausführung von Betonflächen mit Anforderungen an das Aussehen.

Aufgrund der aus den Annahmen resultierenden Ungenauigkeit der Terminplanung und Kalkulation kann es im Rahmen der Planung und vor allem der Ausführung zu starken Abweichungen zu den ermittelten Werten kommen. Diese Abweichungen können bei der Planung und Ausführung einer größeren Menge von Sichtbetonbauteilen in einem Projekt einen entscheidenden Zeit- sowie Kostenfaktor darstellen und somit für den Projekterfolg entscheidend sein.

⁴³⁰ Vgl. *Boska* (2013), S. 58 ff. und 231 ff.

⁴³¹ Siehe Kapitel 4

⁴³² Siehe Kapitel 2.2.1.1

⁴³³ Siehe Kapitel 5.2.5

Um diesem Risiko einer fehlerhaften Terminplanung und Kalkulation entgegenzuwirken, wurden mit den Dissertationen von *Boska*⁴³⁴ und *Schömb*s⁴³⁵ erste Aufwands- und Kostenkennwerte für eine Präzisierung zur Verfügung gestellt. Diese Aufwands- und Kostenkennwerte umfassen vor allem Tätigkeiten zur Herstellung von mit Schalungshaut gestalteten, glatten Sichtbetonflächen und die Herstellung in Ortbetonbauweise. Die vorliegende Arbeit liefert ergänzend dazu Anhaltswerte für die Terminplanung und Kalkulation von Sichtbetonbauteilen, die in Fertigteilbauweise hergestellt werden, sowie die Herstellung von bearbeiteten und nachträglich behandelten Sichtbetonflächen.

In dem Wissensmanagementsystem sollen jedoch nicht nur Werte aus Veröffentlichungen hinterlegt, sondern auch unternehmensinterne Werte, die sich aus der Nachkalkulation und den Erfahrungen aus durchgeführten Projekten ergeben, ergänzt werden.

5.2.5 Dokumentenvorlagen und Checklisten

Die Bereitstellung von Instrumenten zur Umsetzung des Wissens ist ein weiterer bedeutender Baustein eines Wissensmanagementsystems. Zu diesen Instrumenten zählen vor allem Dokumentenvorlagen und Checklisten, die die Planung und Herstellung von Sichtbetonbauteilen unterstützen sollen.

Für ein Wissensmanagementsystem für die Sichtbetontechnologie sind beispielsweise die folgenden Dokumentenvorlagen und Checklisten sinnvoll:

- Vorlagen für Leistungsbeschreibungen

Die DIN 18217 sowie die DIN EN 13670 fordern eindeutige und ausführbare Beschreibungen von Betonflächen mit Anforderungen an das Aussehen.⁴³⁶ In der heutigen Praxis von Ausschreibungen für die Herstellung von Sichtbetonbauteilen werden jedoch häufig Leistungsbeschreibungen erstellt, die nicht eindeutig und teilweise auch nicht ausführbar sind. So widersprechen geforderte Materialbeschaffenheiten der Schalungshaut beispielsweise der ausgeschriebenen Sichtbetonklasse. Aus diesen Gründen ist die Erstellung von Mustertexten für die Ausschreibung von Sichtbetonbauteilen sinnvoll. Diese sollten der Forderungen der DIN EN 13670 zum Heranziehen des DBV Merkblatts *Sichtbeton* bei der Beschreibung der Anforderungen an Sichtbetonflächen entsprechen.

⁴³⁴ Vgl. Boska (2013), S. 205 ff.

⁴³⁵ Vgl. Schömb

s (2012) S. 105 ff.

⁴³⁶ Siehe Kapitel 2.1.2 und 2.1.3

- Qualitätssicherungsplan in Form von Checklisten zur Überwachung der Bauprozesse auf der Baustelle und der baubegleitenden Qualitätskontrolle bei der Ausführung von Sichtbetonbauteilen

Das DBV Merkblatt *Sichtbeton* fordert den Einsatz eines sichtbetontechnischen Qualitätssicherungsplans bei der Herstellung von Sichtbeton der Sichtbetonklasse SB 4.⁴³⁷ Hierbei handelt es sich um ein umfangreiches Instrument, in dessen Entwicklung ein großer Erfahrungsschatz im Themenkomplex der Sichtbetontechnologie einfließen muss. Über diese Erfahrung verfügt nicht jede Mitarbeiterin oder jeder Mitarbeiter im Unternehmen, daher sollten der Qualitätssicherungsplan bzw. die entsprechenden Checklisten zentral zur Verfügung gestellt werden.

- Checklisten und Vorlagen zur Abnahme von Sichtbetonbauteilen

Das DBV Merkblatt *Sichtbeton* gibt Hilfestellungen zur Abnahme von Betonflächen mit Anforderungen an das Aussehen. Die Abnahmen sind demzufolge unter bestimmten Randbedingungen und Betrachtungsabständen durchzuführen.⁴³⁸ Darüber hinaus gibt das Merkblatt Einzelmerkmale zur Beurteilung von Sichtbetonflächen vor, die diese objektivieren sollen. Für die Abnahme von Sichtbetonbauteilen sollten im Rahmen des Wissensmanagementsystems Checklisten und Vorlagen zur Verfügung stehen, anhand derer die vorgegebenen Randbedingungen des Merkblatts geprüft und Sichtbetonbauteile mit Hilfe der Einzelkriterien objektiv beurteilt werden können.

Über die beschriebenen Beispiele hinaus können unternehmensintern weitere Dokumentenvorlagen und Checklisten zur Unterstützung sowie Standardisierung der Prozesse im Bereich der Sichtbetontechnologie entwickelt und im Wissensmanagementsystem bereitgestellt werden.

5.2.6 Literatur

Im Rahmen der Beschreibung der Problemstellung in Kapitel 1.1 wurde auf die Vielzahl an Wissensquellen in der Sichtbetontechnologie in Form von Richtlinien, Merkblättern, Veröffentlichungen und Herstellerunterlagen hingewiesen. Diese sollten unternehmensintern, nach Themenbereichen gegliedert, im Wissensmanagementsystem neben den aufbereiteten Informationen zum eigenen Nachlesen zur Verfügung gestellt werden. Wichtig ist hierbei die thematische Zuordnung der Literatur, um die Wiederauffindbarkeit der entsprechenden Dokumente für den Nutzer zu ermöglichen.

⁴³⁷ Siehe Kapitel 4.9

⁴³⁸ Siehe Kapitel 2.1.5

Die zur Verfügung gestellten Richtlinien, Merkblätter, Veröffentlichungen und Herstellerunterlagen sind regelmäßig auf ihre Aktualität zu prüfen und gegebenenfalls gegen neue Ausgaben auszutauschen.

5.3 Wissensmodell für die Sichtbetontechnologie

Im Folgenden wird ein Wissensmodell in Form einer Ontologie für die Sichtbetontechnologie entwickelt, das die Informationen im Themenkomplex sowie die Beziehungen zwischen den Informationen abbilden soll und somit das vorhandene Wissen strukturiert.⁴³⁹

Im Rahmen der Ausführungen zur Wissenstreppe nach *North* wird Wissen als Vernetzung von Informationen erläutert.⁴⁴⁰ Diese Vernetzung der heterogenen Informationsquellen im Bauunternehmen wird in Form einer Ontologie umgesetzt. Das Ziel der Vernetzung in dieser Form ist die effiziente Bereitstellung der Informationen für die Nutzer. Im Rahmen der durchgeführten Anforderungsanalyse⁴⁴¹ war die Wiederauffindung gespeicherter Informationen einer der Hauptkritikpunkte, der mit der Entwicklung des Wissensmodells bzw. der Ontologie für die Sichtbetontechnologie eliminiert werden soll.

5.3.1 Ontologien in der Informatik

Ontologien stellen in der Informatik die höchste Stufe der Wissensrepräsentation dar und bilden einen Themenkomplex in Form von Begriffen und deren Relationen zueinander ab. Die bekannteste Definition des Begriffs Ontologie stammt von *Gruber* und lautet sinngemäß wie folgt:

Eine Ontologie ist eine explizite Spezifikation einer Konzeptualisierung.⁴⁴²

Auf dieser Grundlage und der Definition von *Zelewski*⁴⁴³ hat *Ismail* eine Definition für Ontologien entwickelt, die das Wissensmanagement und die Informationssuche berücksichtigt:

„Eine Ontologie ist ein Wissensnetz zur Darstellung einer Wissensdomäne in Form von miteinander verbundenen Konzepten, durch die der Nutzer navigieren kann, um die gewünschten Informationen schnell zu finden.“⁴⁴⁴

⁴³⁹ Vgl. VDI 5610 (2009), S. 18.

⁴⁴⁰ Siehe Kapitel 3.1.2

⁴⁴¹ Siehe Kapitel 5.1

⁴⁴² Vgl. Gruber (1993), S. 1.

⁴⁴³ Vgl. Zelewski (2002), S. 64.

⁴⁴⁴ Ismail (2011), S. 180.

Diese Definition *Ismails* von Ontologien wird auch der vorliegenden Arbeit zugrunde gelegt.

Noy und *McGuinness* haben an der Stanford University eine Prozesskette zur Entwicklung von Ontologien entwickelt, die in der folgenden Abbildung 5-4 dargestellt ist. Für die Erstellung einer Ontologie sind demnach zunächst der Themenkomplex und der Umfang der Ontologie festzulegen. Anschließend werden vorhandene Ontologien auf ihre Wiederverwendbarkeit hin geprüft und ggf. für die zu entwickelnde Ontologie genutzt. Sind keine Ontologien in diesem Bereich vorhanden, so ist es die Aufgabe im nächsten Schritt, die wichtigsten Begriffe des Themenkomplexes zu sammeln, Klassen zu bilden und eine Hierarchie aufzustellen. Daraufhin erfolgt die Erzeugung von Eigenschaften der Klassen, die diese miteinander verbinden. Im Rahmen von Schritt 6 der Vorgehensweise werden diese Eigenschaften mit Hilfe von Restriktionen beschrieben. Abschließend werden Individuen als Ausprägung der Klassen erstellt.⁴⁴⁵

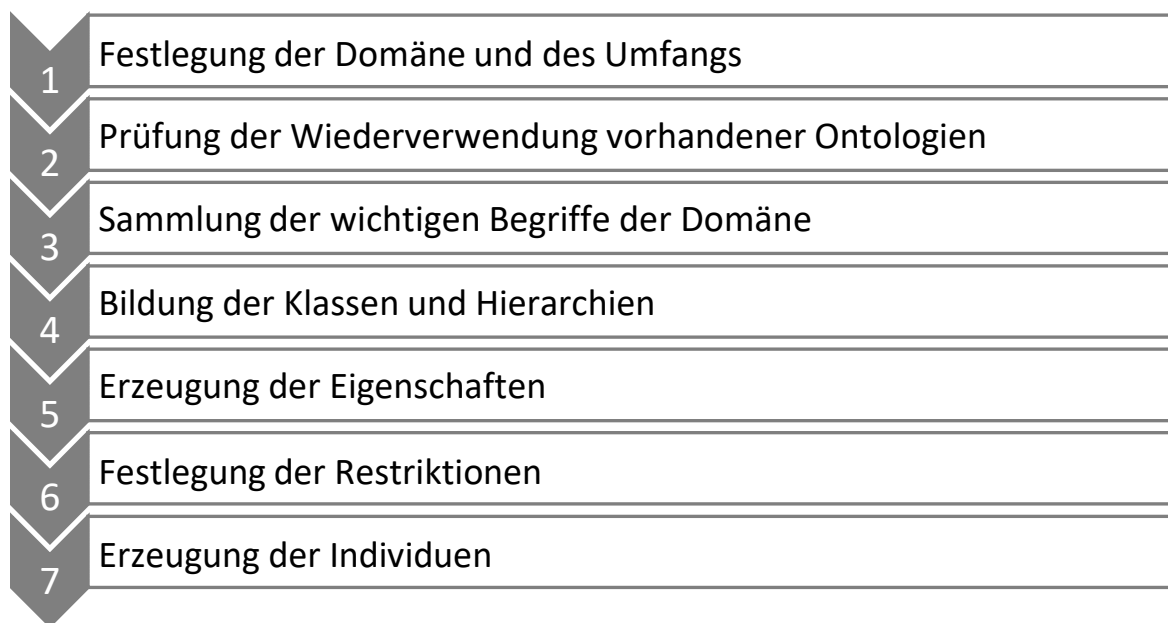


Abbildung 5-4: Prozesskette zur Erstellung einer Ontologie nach *Noy* und *McGuinness*⁴⁴⁶

Die Entwicklung der Ontologie für die Sichtbetontechnologie⁴⁴⁷ folgt ebenfalls dieser Vorgehensweise nach *Noy* und *McGuinness*. Zur Umsetzung der Ontologie wird der vom Institut für Medizinische Informatik der Stanford University entwickelte und häufig eingesetzte Ontologie-Editor *Protégé*⁴⁴⁸ verwendet. Mit dieser Software können Wissensdatenbanken

⁴⁴⁵ Vgl. *Noy*, N.; *McGuinness*, D., S. 7 ff.

⁴⁴⁶ In Anlehnung an *Noy*, N.; *McGuinness*, D., S. 7 ff.

⁴⁴⁷ Siehe Kapitel 5.3.3

⁴⁴⁸ *Protégé*-Download unter: <https://protege.stanford.edu/> (Abrufdatum: 13.10.18)

erstellt, Informationen eingepflegt und Wissen daraus abgefragt werden.⁴⁴⁹ Diese Software unterstützt die Web Ontology Language (OWL) als Beschreibungssprache von Ontologien. OWL ist eine Erweiterung von Resource Description Frameworks (RDF), mit denen sich durch Informations-Triple Subjekt, Prädikat, Objekt, hierarchische Beziehungen und Eigenschaftszuordnungen zwischen Klassen ausdrücken lassen.⁴⁵⁰ Durch die Formulierung von Restriktionen zu den Informations-Tripeln können Klassen zu Gruppierungen zusammengefasst werden.⁴⁵¹

Bei der Entwicklung von Ontologien werden zwei verschiedene Komponenten TBoxen und ABoxen im Hinblick auf ihren Inhalt und Zweck unterschieden. T-Boxen beinhalten die einer Ontologie zugrunde gelegten Strukturen zur Datenablage in Form von Konzepten, deren Hierarchie und Eigenschaften sowie Restriktionen. A-Boxen bauen auf den T-Boxen auf, beinhalten Instanzen der Konzepte aus den T-Boxen und konkretisieren damit die Konzepte sowie deren Eigenschaften.⁴⁵²

Die TBoxen können in der vorliegenden Arbeit in eine Basis-Ontologie und eine Ergänzungs-Ontologie unterschieden werden. Während die Basis-Ontologie für die gesamten Baubetriebswissenschaften gültige Konzepte enthält⁴⁵³, beinhaltet die Ergänzungs-Ontologie die Informationen nur für einen Bereich der Baubetriebswissenschaften, die Sichtbetontechnologie.⁴⁵⁴ Der Ergänzungs-Ontologie liegen aufgrund des Konzeptes der Vererbung die Strukturen der Basis-Ontologie zugrunde, sodass ein Daten- und Informationsaustausch ohne Verluste möglich ist.⁴⁵⁵

In den folgenden Unterkapiteln werden die Basis-Ontologie der Baubetriebswissenschaften und die darauf aufbauende Ergänzungs-Ontologie der Sichtbetontechnologie vorgestellt.

5.3.2 Die Ontologie der Baubetriebswissenschaften

Die Ontologie der Baubetriebswissenschaften wurde am Institut für Baubetrieb der Technischen Universität Darmstadt zur Optimierung der Kommunikation zwischen den Projektbeteiligten innerhalb eines Bauprojektes entwickelt. Ziel ist die Vereinheitlichung des Verständnisses von Begrifflichkeiten sowie deren korrekte Anwendung. Darüber hinaus ist

⁴⁴⁹ Vgl. Ismail (2011), S. 220.

⁴⁵⁰ Vgl. Motzko et al. (2010), S. 87.

⁴⁵¹ Vgl. Motzko et al. (2010), S. 87.

⁴⁵² Vgl. Hitzler et al. (2008), S. 167.

⁴⁵³ Siehe Kapitel 5.3.2

⁴⁵⁴ Siehe Kapitel 5.3.3

⁴⁵⁵ Vgl. Fischer, P.; Hofer, P. (2008), S. 896 und Bergmann (2010), S. 127 ff.

ein Grundanliegen die Realisierung von Informations- und Wissenstransfers zwischen den heterogenen Softwaresystemen im Bauwesen, die ohne Verluste ablaufen.⁴⁵⁶

Die Ontologie der Baubetriebswissenschaften ist eine Ontologie, wie sie in der Informatik eingesetzt wird. Der Informations- und Wissenstransfer soll durch ein gleiches Verständnis der spezifischen Begrifflichkeiten optimiert werden. Alle Beteiligten der Informations- und Wissenstransfers können sich am Ausbau und der Weiterentwicklung der Ontologie beteiligen.⁴⁵⁷

Im Zentrum der Ontologie der Baubetriebswissenschaften steht der Prozess.⁴⁵⁸ Grundlage hierfür ist die Fokussierung der Bauunternehmen auf eine Wertschöpfung in den Kernprozessen bzw. Leistungserstellungsprozessen.⁴⁵⁹ Diese Leistungserstellungsprozesse sind in der folgenden Abbildung 5-5 nach *Motzko et al.* abgebildet.

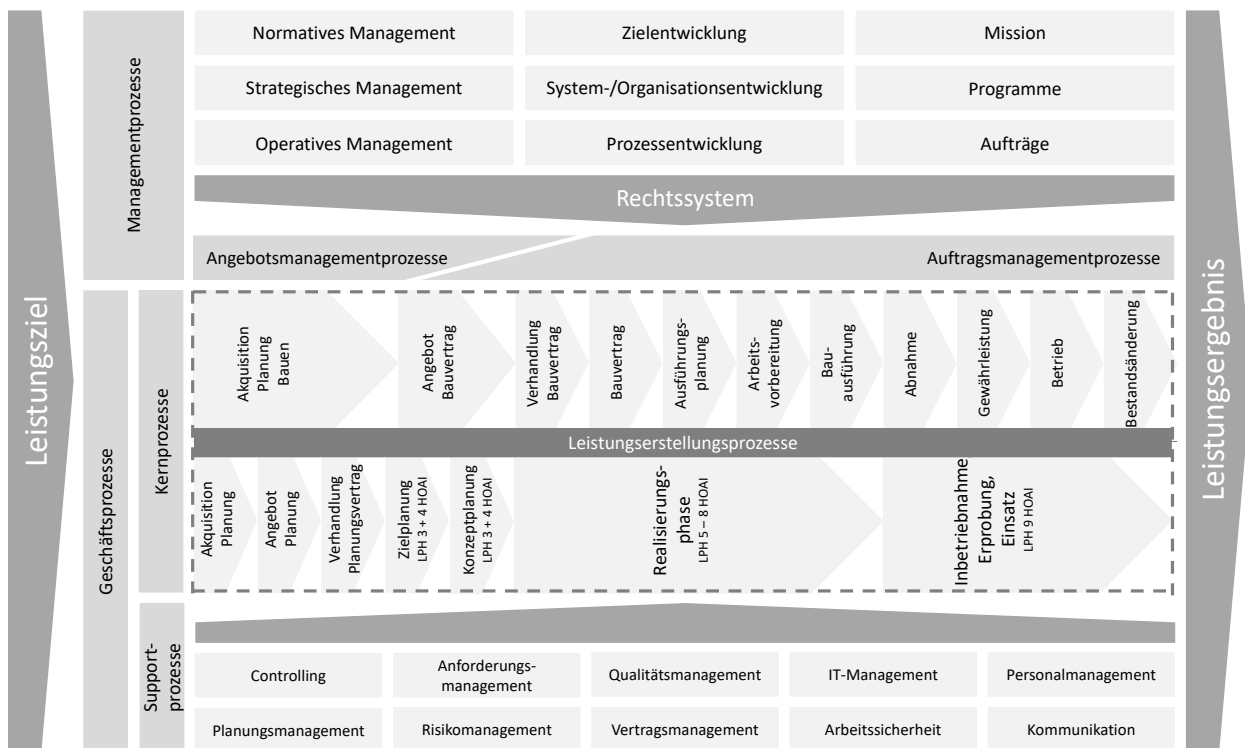


Abbildung 5-5: Leistungserstellungsprozesse in Bauunternehmen⁴⁶⁰

Die Erfassung der Leistungserstellungsprozesse erfolgt in der Ontologie der REFA-Methodenlehre. Ein Produktionsprozess wird in Form eines Arbeitssystems dokumentiert und mit den Systembegriffen nach REFA als Attribute erfasst. Für jeden Produktionsprozess

⁴⁵⁶ Vgl. Motzko et al. (2010), S. 85.

⁴⁵⁷ Vgl. Motzko et al. (2010), S. 85.

⁴⁵⁸ Vgl. Motzko et al. (2010), S. 85.

⁴⁵⁹ Vgl. Motzko et al. (2013), S. 7.

⁴⁶⁰ In Anlehnung an Motzko et al. (2013), S. 8.

bzw. jedes Arbeitssystem werden Daten zu Eingabe, Ausgabe, Arbeitsaufgabe, Arbeitsablauf, Mensch, Betriebsmittel und Umwelteinflüssen abgebildet.⁴⁶¹ Mit dem Arbeitsablauf wird dabei „die räumliche und zeitliche Folge des Zusammenwirkens von Mensch und Betriebsmittel mit der Eingabe, um diese gemäß der Arbeitsaufgabe zu verändern oder zu verwenden“⁴⁶², beschrieben.

Der Produktionsprozess wird in der Ontologie als ein Prozess im Allgemeinen definiert, dem unter anderem die Attribute Termine, Kosten, Vorgänger- und Nachfolgerprozess sowie Meta- und Subprozess zugeordnet werden. Durch diese flexible Struktur in Form von über- und untergeordneten sowie vor- und nachgestellten Prozessen können auch zukünftige Entwicklungen in der Ontologie abgebildet werden.⁴⁶³

Der Zusammenhang zwischen dem Prozess im Allgemeinen und dem Produktionsprozess im Speziellen innerhalb der Ontologie der Baubetriebswissenschaften wird in der folgenden Abbildung 5-6 dargestellt.

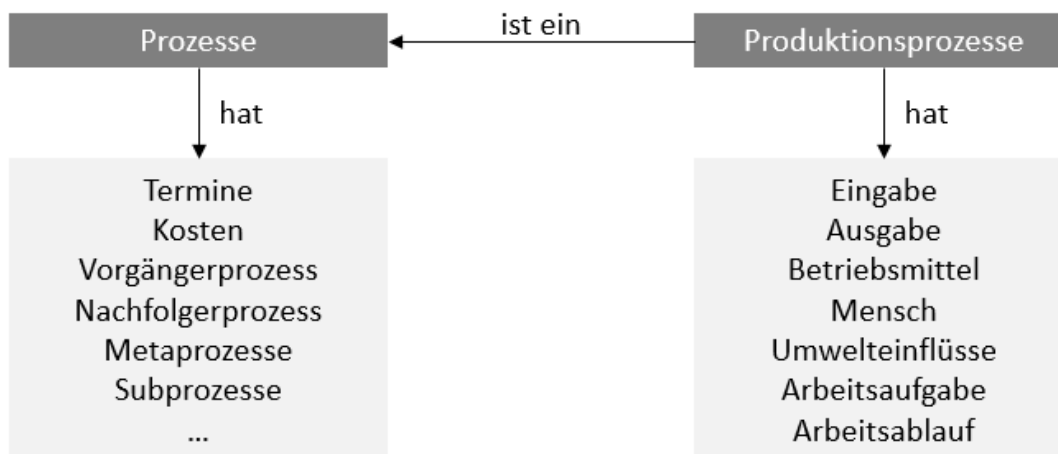


Abbildung 5-6: Der Produktionsprozess in der Ontologie der Baubetriebswissenschaften⁴⁶⁴

⁴⁶¹ Vgl. Motzko et al. (2010), S. 88.

⁴⁶² Berg (1984), S. 53.

⁴⁶³ Vgl. Motzko et al. (2010), S. 89.

⁴⁶⁴ In Anlehnung an Motzko et al. (2010), S. 89.

5.3.3 Die Ontologie der Sichtbetontechnologie

Die Grundlage zur Entwicklung der Ontologie der Sichtbetontechnologie bildet die in Kapitel 5.3.2 beschriebene Ontologie der Baubetriebswissenschaften. Durch Vererbung liegen der Ontologie der Sichtbetontechnologie die Strukturen der Ontologie der Baubetriebswissenschaften zugrunde.⁴⁶⁵

In der vorliegenden Arbeit wird die Entwicklung einer TBox für den Themenkomplex der Sichtbetontechnologie dargestellt. Die Konkretisierung dieser durch die Entwicklung einer ergänzenden ABox ist eine Aufgabe, die unternehmensspezifischen Anforderungen unterliegt und daher nicht im Rahmen der vorliegenden Arbeit allgemein implementiert werden kann.

Die Hierarchie zwischen der Basis-Ontologie *Baubetriebswissenschaften* und der Ergänzungs-Ontologie *Sichtbetontechnologie* sowie die Umsetzung in eine ABox sind in der folgenden Abbildung 5-7 dargestellt.

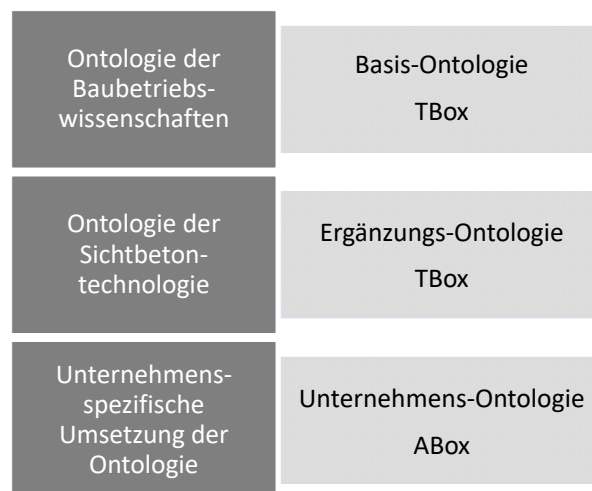


Abbildung 5-7: Hierarchie der Ontologien⁴⁶⁶

Bei Berücksichtigung der abgebildeten Hierarchie werden alle Ontologien eine gemeinsame Struktur resultierend aus der Basis-Ontologie der Baubetriebswissenschaften als Grundlage haben. Aufgrund der Referenzierung zur Basis-Ontologie der Baubetriebswissenschaften wird ein verlustfreier Daten- und Informationsaustausch zwischen verschiedenen Softwaresystemen möglich sein.

Die Ontologie der Sichtbetontechnologie stellt eine Präzisierung mehrerer Komponenten der Ontologie der Baubetriebswissenschaften im Hinblick auf den Themenkomplex der Sichtbetontechnologie dar.

⁴⁶⁵ Siehe Kapitel 5.3.1

⁴⁶⁶ In Anlehnung an Bergmann (2010), S. 127.

Für die Abbildung und Strukturierung des vorhandenen und neu gewonnenen Wissens des Themenkomplexes der Sichtbetontechnologie sowie der verschiedenen Module des beschriebenen Wissensmanagementsystems⁴⁶⁷ ist die Ergänzung von Domänen als Fortführung der Ontologie der Baubetriebswissenschaften erforderlich.

Durch die Vererbung der Strukturen der Basis-Ontologie der Baubetriebswissenschaften an die Ergänzungs-Ontologie der Sichtbetontechnologie wird auch bei dieser Ontologie der Prozess im Kern stehen.

Die Granularität, die im Rahmen der Ontologie der Baubetriebswissenschaften für den Prozess durch die Attribuierung von über- und untergeordneten sowie vor- und nachgestellten Prozessen festgelegt wurde, wird auch in der Ontologie der Sichtbetontechnologie fortgeführt. Durch diese Granularität können sowohl übergeordnete Prozesse wie die Herstellung eines Sichtbetonbauteiles als auch untergeordnete Prozesse wie das Reinigen eines Schalungssystems abgebildet werden.

Im Themenkomplex der Sichtbetontechnologie gibt es spezifische Anforderungen, die eine Weiterentwicklung der vorhandenen Struktur der Ontologie der Baubetriebswissenschaften erforderlich machen. Die Weiterentwicklung der vorhandenen Struktur der Ontologie der Baubetriebswissenschaften erfolgt durch die Ergänzung neuer Domänen. Für die Abbildung neuer Domänen, die für die Strukturierung des Wissens und zur Reproduktion der Module des Wissensmanagements erforderlich sind, muss eine Weiterentwicklung der Attribuierung des Prozesses aus der Ontologie der Baubetriebswissenschaften im Rahmen der Ontologie der Sichtbetontechnologie erfolgen.

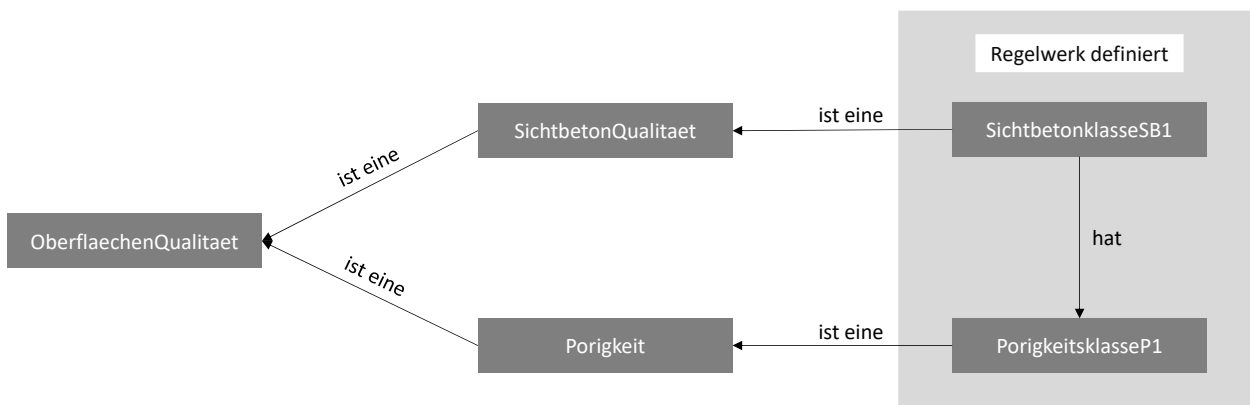


Abbildung 5-8: Beispiel zur Erweiterung der Ontologie der Baubetriebswissenschaften durch die Ontologie der Sichtbetontechnologie

⁴⁶⁷ Siehe Kapitel 5.2

6 Fazit

6.1 Zusammenfassung

Im Rahmen von Kapitel 1 wurde zunächst die Problemstellung der vorliegenden Arbeit vorgestellt. Sichtbeton ist nach wie vor ein wichtiges Gestaltungsmerkmal von Bauwerken, trotz dessen sind verschiedene Phänomene in der Sichtbetontechnologie bislang ungeklärt und das vorhandene Wissen liegt unstrukturiert in verschiedenen Veröffentlichungen vor. Darauf aufbauend wurden die beiden folgenden Zielsetzungen der Arbeit dargelegt:

1. Weiterentwicklung der Prozesse zur Herstellung von Sichtbetonbauteilen durch Wissensgewinnung in der Sichtbetontechnologie.
2. Entwicklung eines Wissensmanagements für die Sichtbetontechnologie zur Optimierung der Strukturierung, Konservierung und Bereitstellung von Wissen.

Anschließend wurden die inhaltliche Verortung in die Baubetriebswissenschaften anhand der Prozesslandkarte eines Bauunternehmens nach *Motzko et al.* sowie die Eingrenzung der Arbeit beispielsweise bezüglich der Teilgebiete des Bauwesens sowie der Bauweise vorgenommen. In Kapitel 1 wurden ergänzend der Aufbau der Arbeit, die wissenschaftstheoretische Verortung bezüglich der Systematik der Wissenschaften nach *Ulrich* und *Hill* sowie die Erläuterung der angewendeten Forschungsmethodik aufgeführt.

In Kapitel 2 erfolgt die Einführung in den Themenkomplex der Sichtbetontechnologie. Hierfür wurde zunächst die folgende Definition des Begriffs *Sichtbetontechnologie* unter Abgrenzung des Begriffs der *Technik* vom Begriff der *Technologie* hergeleitet:

Die Gesamtheit des Wissens über Verfahren, Stoffe und Prozesse zur Herstellung von sichtbar bleibenden Betonflächen mit Anforderungen an das Aussehen.

Im Anschluss wurden die normativen Grundlagen, die daraus resultierenden Anforderungen an die Planung und Ausführung sowie deren Einschränkungen beschrieben. Ergänzend zur Einführung wurde ebenfalls der Status quo der Forschung im Themenkomplex der Sichtbetontechnologie getrennt nach baubetrieblicher und betontechnologischer Sichtbetonforschung abgebildet. Diese Abbildung des Stands der Forschung war zur anschließenden Identifikation der Wissenslücken im Themenkomplex der Sichtbetontechnologie sowie für den weiteren Gang der Arbeit erforderlich.

Zum Einstieg in den Themenkomplex des Wissensmanagements in Kapitel 3 ist ein Verständnis der terminologischen Grundlagen essenziell. Hierzu wurden zunächst die grundlegenden Begriffe des Wissensmanagements definiert und voneinander abgegrenzt. Die Abgrenzung der Begrifflichkeiten erfolgte anhand der Wissenstreppe nach *North*. Ergän-

zend wurden die verschiedenen Wissensarten untergliedert nach den vier Aspekten *Beschreibbarkeit, Wahrnehmung, Träger und Anwendung* erläutert. Auf die Ausführungen zu den terminologischen Grundlagen erfolgte eine Einführung in das Wissensmanagement durch die Vorstellung der Begriffsdefinition des Wissensmanagements, die dieser Arbeit zugrunde liegt. Anschließend wurden die normativen Grundlagen des Wissensmanagements basierend auf der DIN EN ISO 9001 sowie der VDI-Richtlinie 5610 erörtert und die richtungsweisenden Wissensmanagement-Modelle von *Nonaka* und *Takeuchi* sowie *Probst, Raub* und *Romhardt* erläutert. Das Kapitel schließt mit Ausführungen zum Stand der Forschung im Bereich des Wissensmanagements in Bauunternehmen. Die vorgestellten Wissensmanagementsysteme sind auf unterschiedliche Unternehmensgrößen ausgelegt.

Die Forschungsvorhaben in Kapitel 4 haben eine Vielzahl von Wissenslücken im Themenkomplex der Sichtbetontechnologie geschlossen, die im Folgenden zusammengefasst werden.

- *Leichtbeton in der Sichtbetontechnologie*

Bei den Untersuchungen zum Einsatz von Leichtbeton bei der Herstellung von Sichtbetonbauteilen wurden die baubetrieblichen Parameter der Schalungshaut, des Betontrennmittels sowie der Verdichtungsenergie variiert. Anhand der Versuchsergebnisse ist festzustellen, dass beim Einsatz von Leichtbeton die gleichen Phänomene der Porigkeit und Farbtongleichmäßigkeit wie bei der Herstellung von Sichtbetonbauteilen mit Normalbeton auftreten, diese jedoch in einer stark ausgeprägten Form. Bei der Untersuchung der baubetrieblichen Parameter haben sich bei den Betontrennmitteln die Emulsion auf Pflanzenölbasis und bei der Schalungshaut die Holzwerkstoffplatte mit No-Oil-Filmbeschichtung als am förderlichsten für die Herstellung von Sichtbetonbauteilen mit hohen Anforderungen an das Aussehen herausgestellt. In Bezug auf die Verdichtung lässt sich festhalten, dass aufgrund der geringeren Korndichte der Leichtzuschläge im Beton keine Masse vorhanden ist, die die Verdichtungsenergie übertragen kann. Dadurch wird der Wirkradius des Innenrüttlers eingeschränkt, was eine deutlich dichtere Ansetzung der Eintauchstellen des Innenrüttlers sowie eine stärkere Verdichtungsfrequenz erforderlich macht, um eine entsprechende Sichtbetonqualität erzielen zu können.

- *Sichtbeton bei geneigten Schalungen*

In Weiterführung der Untersuchungen zur Thematik von Wechselwirkungen bei geneigten Schalungssystemen sollten die Versuchsergebnisse aus dem Laborversuch von *Boska* im Feldversuch verifiziert werden. Im Rahmen des Feldversuchs wurden vor allem die Einzelkriterien Porigkeit, Schalungshaut, Ebenheit sowie Arbeitsfugen und Schalungshautstöße betrachtet. Die Ergebnisse von *Boska* aus den Laborversuchen konnten mit der Durchführung der Feldversuche verifiziert werden. Bei den Feldversuchen konnte ebenfalls ein Zu-

sammenhang der Ausprägung der Porigkeit in Abhängigkeit der Neigung des Bauteils sowie ein Anstieg der Porigkeit mit wachsender Bauteilhöhe beobachtet werden. Die Porigkeit ist bei den stärker geneigten Bauteilen deutlich ausgeprägter als bei den Bauteilen, die steiler gegen die Horizontale ausgerichtet sind. Darüber hinaus konnte im Rahmen der Feldversuche noch die Auswirkung sowohl der Komplexität der Schalungskonstruktion als auch von Reparaturstellen auf der Schalungshaut auf die Ebenheit, Textur und Farbtongleichmäßigkeit der Sichtbetonflächen beobachtet werden.

- *Sichtbetontechnologie im Ingenieurbau*

Die Experteninterviews über den Umgang mit Sichtbeton bei Brückenbauwerken vor und nach der Neuerung in der ZTV-Ing 2014 haben ergeben, dass diese Novellierung in der Praxis nicht bekannt ist. Zur Zufriedenstellung des Auftraggebers werde bereits ein den neuen Anforderungen aus der ZTV-Ing entsprechender Standard bei der Ausführung von Brückenbauwerken umgesetzt. In Bezug auf die Ausschreibungs- und Planunterlagen für die Herstellung von Ingenieurbauwerken wurde eine Kategorisierung der darin enthaltenen Anforderungen an Sichtbetonbauteile in Abhängigkeit der Anforderungen an die eingesetzten Betriebsmittel sowie die Sichtbetonqualität ausgearbeitet. Darüber hinaus wurden ausgewählte Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge bei der Ausführung von Sichtbeton im Brückenbau zusammengestellt und analysiert. Es handelt sich dabei sowohl um Phänomene, die von der Herstellung von Sichtbeton im Hochbau bereits bekannt waren, hier jedoch in gleicher bzw. ausgeprägter Form auftraten, sowie um Phänomene, die aus den Rahmenbedingungen des Brückenbaus resultieren.

- *Fertigteile in der Sichtbetontechnologie*

Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen zur Herstellung von Sichtbetonbauteilen in Fertigteilbauweise wurden unter anderem Arbeitssysteme zur Herstellung von dreischaligen Stahlbetonfertigteilen sowie Aufwandswerte für die Herstellung verschiedener Stahlbetonfertigteile mit höchsten Sichtbetonforderungen (Sichtbetonklasse SB 4) und unterschiedlicher Komplexitätsklassen ermittelt. Die Stahlbetonbauteile mit Sichtbetonanforderungen wurden hierfür ihrer Komplexität entsprechend unterschiedlichen Klassen zugeordnet. Die Fertigteile der ersten Komplexitätsklasse weisen keine komplexe Bauteilgeometrie oder spezielle Sichtbetonanforderungen auf. Fertigteile der Komplexitätsklasse 2 haben ebenfalls keine komplexen Bauteilgeometrien, aufgrund ihrer Ausdehnung haben sie jedoch spezielle Anforderungen an die Ausführung. Bei den Fertigteilen der Komplexitätsklasse 3 handelte es sich um dreischalige Bauteile, die jeweils aus einer Vorsatzschale mit Sichtbetonanforderungen, einer Dämmschale und einer Tragschale bestehen. Zusätzlich weisen diese Fertigteile komplexe Bauteilgeometrien auf.

▪ *Bearbeitete und nachträglich behandelte Sichtbetonflächen*

In Ergänzung zu den Forschungsergebnissen zur Herstellung von mit Schalungshaut gestalteten, glatten Betonflächen wurden Untersuchungen zur Dokumentation der Arbeitssysteme sowie zur Ermittlung der Aufwandswerte für ausgewählte Verfahren zur Herstellung von bearbeiteten und nachträglich behandelten Sichtbetonflächen durchgeführt. Die Ergebnisse der ermittelten Aufwandswerte sind in der folgenden Tabelle 6-1 zusammengeführt. Die Wertebereiche ergeben sich aus verschiedenen Komplexitäten der Bauteile.

Tabelle 6-1: Zusammenstellung der Aufwandswerte für die untersuchten Verfahren zur Bearbeitung und nachträglichen Behandlung von Betonflächen⁴⁶⁸

Verfahren	Aufwandswert t_e	Verfahren	Aufwandswert t_e
Grobes Sandstrahlen	0,60 h/m ²	Reprofilieren	0,12 – 1,47 h/Stk.
Feines Sandstrahlen	0,27 – 0,29 h/m ²	Retuschieren	0,42 – 1,07 h/m ²
Absäuern	0,06 – 0,26 h/m ²	Hydrophobieren	0,01 – 0,09 h/m ²
Schleifen	1,81 h/m ²	Reinigen	0,08 – 0,15 h/m ²
Polieren	1,71 h/m ²		

▪ *Methoden zum Auftrag von Betontrennmitteln*

Im Rahmen von Laborversuchen wurde der Einfluss der Auftragsmethode des Betontrennmittels auf das Erscheinungsbild der Sichtbetonfläche untersucht. Auf Grundlage der aufgeführten Empfehlungen aus dem DBV Merkblatt *Sichtbeton* wurden die vier folgenden Methoden zum Auftrag von Betontrennmittel auf die Schalungshaut ausgewählt, deren Einfluss auf das Erscheinungsbild von Sichtbetonflächen erprobt werden sollte:

- M 1 Aufsprühen des Betontrennmittels und abwischen mit einem Papiertuch
- M 2 Aufsprühen des Betontrennmittels und abziehen mit einem Gummiabzieher
- M 3 Aufsprühen des Betontrennmittels
- M 4 Auftragen des Betontrennmittels mit einer Handbürste

Die Versuchsergebnisse zeigen, dass das Aufsprühen des Betontrennmittels ohne nachfolgende Arbeitsschritte zum Verteilen des Betontrennmittels (M 3) den geringsten Porenanteil sowie die beste Farbtongleichmäßigkeit in der Sichtbetonfläche verursacht. Die Methode M 1, Aufsprühen des Betontrennmittels und abwischen mit einem Papiertuch, erzeugt darauf folgend die zweitbeste Sichtbetonqualität.

⁴⁶⁸ Thillen / Löw (2015)

- *Rauigkeit im Zusammenhang mit Farbtonungleichmäßigkeiten von Sichtbetonflächen*

Es wurden Untersuchungen zur Rauigkeit von Farbtonungleichmäßigkeiten auf Sichtbetonflächen angestellt. Hierzu wurde bei verschiedenen vertikalen Sichtbetonbauteilen die Rauigkeit der Oberflächen bei Hell-/Dunkelverfärbungen vor und nach dem Abschleifen und Reinigen der Sichtbetonflächen mittels Hochdruckreiniger gemessen. Die helleren Bereiche, die vor der Bearbeitung mittels Trockenbauschleifern und Hochdruckreinigern im Streiflicht glänzten, wiesen nach der Bearbeitung eine matte Oberfläche auf. Darüber hinaus wurden die hellen Bereiche durch das Schleifen aufgeraut. Die dunklen Bereiche hingegen waren vor dem Schleifen bereits so aufgeraut, dass es durch die Bearbeitung mit Trockenbauschleifern zu einer Glättung der Bereiche kam. Dieser Zusammenhang lässt sich auch durch die Messergebnisse in der folgenden Tabelle 6-2 belegen.

Tabelle 6-2: Arithmetisches Mittel der Messergebnisse der Rauigkeitsmessungen vor und nach dem Schleifen und Reinigen

	Helle Bereiche	Dunkle Bereiche
Vor dem Schleifen und Reinigen	34,6	80,6
Nach dem Schleifen und Reinigen	43,2	70,4

- *Bewehrungsführung und Einbauteile bei Sichtbetonbauteilen*

Im Nationalen Anhang zum Teil 1-1, Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, des Eurocodes 2, Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken werden verschiedene Anforderungen an die Erstellung von Bewehrungszeichnungen sowie darin enthaltene Angaben gestellt. Bei Nichtbeachtung dieser Anforderungen kann es zu Fehlern in der Ausführung kommen, die einen Einfluss auf die Qualität der Sichtbetonbauteile haben. Diese Auswirkungen auf die Qualität der Sichtbetonbauteile wurden untersucht und dargelegt. Bei der Planung von Sichtbetonbauteilen sollten daher, wie in den Normen gefordert, ausreichend Rüttelgassen für die Verdichtung des Betons vorgesehen bzw. die Anordnung von Einbauteilen mit dem Blick auf die Verdichtung vorgenommen werden. Sollten trotz einer sorgfältigen Planung von Rüttelgassen Mängel an den Sichtbetonbauteilen auftreten, so sind diese mit Hilfe einer sach- und fachgerechten Retusche zu beheben. Diese Retuschen sollten dem DBV Sachstandsbericht *Sichtbetonkosmetik* zufolge nur von Arbeitskräften mit künstlerischen Fähigkeiten ausgeführt werden.

- *Qualitätsmanagement in der Sichtbetontechnologie*

Das DBV Merkblatt Sichtbeton empfiehlt in Anhang B für die Planung und Überwachung der Ausführung von Sichtbeton der Sichtbetonklasse SB 4 den Einsatz eines sichtbetontechnischen Qualitätssicherungsplans. Hinweise zur Gestaltung und Umsetzung eines Qualitätssicherungsplans sind im DBV Merkblatt Sichtbeton jedoch bislang nicht zu finden. Aus diesem Grund wurde am Institut für Baubetrieb ein Qualitätssicherungsplan in Form von Checklisten zur Überwachung der Bauprozesse auf der Baustelle und der baubegleitenden Qualitätskontrolle bei der Ausführung von Sichtbetonbauteilen entwickelt. Jedem Bauteil wird im Rahmen des Qualitätssicherungsplans eine eigene Checkliste zugeteilt. Die Checklisten variieren für die Erfassung von horizontalen und vertikalen Sichtbetonbauteilen sowie für Sichtbetonbauteile als Freiform. Im Rahmen der Untersuchungen zur Anwendung von Sichtbeton im Ingenieurbau wurden die Checklisten für den Einsatz bei Sichtbeton im Brückenbau auf die entsprechenden Anforderungen hin angepasst und weiterentwickelt.

In Kapitel 5 wurde die prototypische Entwicklung eines Wissensmanagementsystems für die Sichtbetontechnologie vorgestellt. Zur Erhebung der Anforderungen an ein solches Wissensmanagementsystem wurde zunächst eine Anforderungsanalyse in Form quantitativer Datenerhebung mittels standardisierten Fragebogenbefragungen durchgeführt. Hierzu wurden Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter aus den Bereichen Bauausführung und Arbeitsvorbereitung von Bauunternehmen befragt. Die daraus extrahierten Anforderungen sind in die Entwicklung des Wissensmanagementsystems für die Sichtbetontechnologie eingeflossen. Das Wissensmanagementsystem ist eine Zusammenstellung verschiedener Module, die auf die unterschiedlichen Begebenheiten verschiedener Bauunternehmen individuell angepasst werden kann. Bei den Modulen handelt es sich um Projekt- und Bauteildokumentationen, Expertennetzwerke, Arbeitsanweisungen und Tutorials, Aufwands- und Kostenkennwerte, Dokumentenvorlagen und Checklisten sowie Literatur. Ergänzend zum Wissensmanagementsystem wurde eine Ontologie für die Sichtbetontechnologie entwickelt, die auf der von *Motzko et al.* erstellten Ontologie der Baubetriebswissenschaften basiert. Zielsetzung dieser Ontologie ist die Strukturierung des vorhandenen und neu gewonnenen Wissens in der Sichtbetontechnologie sowie die effiziente Bereitstellung der Informationen für die Nutzer.

6.2 Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurden durch verschiedene Forschungsvorhaben weitere Wissenslücken im Themenkomplex der Sichtbetontechnologie geschlossen. Trotz dieser neuen Forschungsergebnisse sowie verschiedener anderer Forschungsvorhaben bleiben in der Sichtbetontechnologie Phänomene ungeklärt. Es sollten daher weiterhin Verbundforschungen sowie Einzelvorhaben im Themenkomplex der Sichtbetontechnologie zur Schließung weiterer Wissenslücken angestrebt werden. Eine Auswahl von Anknüpfungspunkten für weiteres Forschungsbestreben wird im Folgenden aufgezeigt:

- Untersuchung der Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge bzw. der Übertragbarkeit von weiteren Phänomenen bei der Herstellung von Sichtbetonbauteilen aus Leichtbeton.
- Dokumentation von Arbeitssystemen und Ermittlung von Aufwandswerten für Arbeitsverfahren zur Herstellung von bearbeiteten und nachträglich behandelten Sichtbetonflächen. Die nachfolgenden Verfahren wurden in der vorliegenden Arbeit beispielsweise nicht untersucht:
 - Bearbeitete Betonflächen: Waschen, Spalten, Stocken etc.
 - Nachträglich behandelte Betonflächen: Versiegeln, Beschichten etc.
- Umsetzung und Optimierung des entwickelten Qualitätssicherungsplans zur Überwachung der Herstellung von Sichtbetonbauteilen.

Bei dem entwickelten Wissensmanagementsystem für die Sichtbetontechnologie handelt es sich um eine prototypische Entwicklung, die es in der Praxis eines Bauunternehmens umzusetzen gilt. Ein nächster Schritt wäre daher die Umsetzung des Wissensmanagementsystems in einem Bauunternehmen und die Einbindung dessen in die dort vorhandenen Prozesse und informationstechnische Infrastruktur. Ergänzend dazu ist die entwickelte Ontologie der Sichtbetontechnologie in das Suchsystem des Wissensmanagementsystems einzubinden und die gegebenen Randbedingungen der Software anzupassen, um die Suchprozesse für die Nutzer effektiv und effizient zu gestalten.

Literaturverzeichnis

Amelingmeyer, Jenny (2004): Wissensmanagement – Analyse und Gestaltung der Wissensbasis von Unternehmen, 3. Auflage, Deutscher Universitätsverlag / GWV Fachverlage, Wiesbaden.

Bahlo, Hannah (Verfasserin); Löw, Daniela (Betreuerin) (2018): Wissensmanagement in Bauunternehmen, Bachelorthesis, Institut für Baubetrieb, Technische Universität Darmstadt.

Berg, Gerhard (1984): REFA in der Baupraxis – Teil 1 Grundlagen, ZTV-Verlag, Frankfurt am Main.

Bergmann, Matthias (2010): Ergonomiegestützte Multiagentensimulation von Montageprozessen im Baubetrieb, Dissertation, Institut für Baubetrieb, TU Darmstadt.

Bogner, Alexander; Littig, Beate (2005): Das Experteninterview - Theorie, Methode, Anwendung, 2. Aufl., VS Verlag für Sozialwissenschaften, GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden

Borner, Rolf (2005): Prozessmodell für projekt- und erfolgsorientiertes Wissensmanagement zur kontinuierlichen Verbesserung in Bauunternehmen, Dissertation am Institut für Bauplanung und Baubetrieb, vdf Hochschulverlag, Zürich.

Boska, Erik (2013): Gestaltung von Arbeitssystemen in der Sichtbetontechnik, Dissertation, Institut für Baubetrieb, TU Darmstadt.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2018): Verkehrsinvestitionsbericht für das Berichtsjahr 2016, Eigenverlag, Berlin.

Bundesverband für Straßenwesen (2013): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Stand 01/2018.

Bundesverband für Straßenwesen (2018): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten, Stand 01/2018.

Cüppers, Andrea (2006): Wissensmanagement in einem Baukonzern, Dissertation, VDI Verlag, Düsseldorf.

Decker, Björn; Finke, Ina; John, Michael; Joisten, Martina; Schnalzer, Kathrin; Voigt, Stefan; Wesoly, Michael; Will, Markus (2005): Wissen und Information, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.

Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V. (2016): Sachstandbericht Sichtbetonkosmetik – Cosmetic Treatments of Concrete Surfaces, Eigenverlag, Berlin.

Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V., Bundesverband der Deutschen Zementindustrie e.V. (2015): Merkblatt Sichtbeton – Exposed Concrete, Eigenverlag, Berlin.

DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (1991): Prüfverfahren für Beton; Festbeton, gesondert hergestellte Probekörper, DIN 1048-5:1991-06, Beuth Verlag, Berlin.

DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2009): Projektmanagement - Projektmanagementsysteme – Teil 5: Begriffe, DIN 69901-5:2009-01, Beuth Verlag, Berlin.

DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2009): Prüfung von Festbeton – Teil 2: Herstellung und Lagerung von Probekörpern für Festigkeitsprüfungen, DIN EN 12390-2:2009-08, Beuth Verlag, Berlin.

DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2011): Ausführung von Tragwerken aus Beton: Deutsche Fassung EN 13670:2009, DIN EN 13670:2011-03, Beuth Verlag, Berlin.

DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2012): Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Teil 3: Bauausführung – Anwendungsregeln zu DIN EN 13670, DIN 1045:2012-03, Beuth Verlag, Berlin.

DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2013): Prüfung von Festbeton – Teil 2: Herstellung und Lagerung von Probekörpern für Festigkeitsprüfungen, DIN EN 12390-2:2009-08, Beuth Verlag, Berlin.

DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2015): Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen, DIN EN ISO 9001:2015-11, Beuth Verlag, Berlin.

DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (2015a): Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe, DIN EN ISO 9000:2015-11, Beuth Verlag, Berlin.

Dudenredaktion (o. J.): „Epistemologie“ auf Duden online. URL: <https://www.duden.de/node/681522/revisions/1901943/view> (Abrufdatum: 26.01.2019).

Dudenredaktion (o. J.): „Technik“ auf Duden online. URL: <https://www.duden.de/node/654501/revisions/1772006/view> (Abrufdatum: 15.12.2018)

Dudenredaktion (o. J.): „Technologie“ auf Duden online. URL: <https://www.duden.de/node/725198/revisions/1983681/view> (Abrufdatum: 15.12.2018)

Dudenredaktion (o. J.): „Terminologie“ auf Duden online. URL: <https://www.duden.de/node/758123/revisions/1958391/view> (Abrufdatum: 19.01.2019)

Dyla, Vanessa (Verfasserin); Löw, Daniela (Betreuerin) (2018): Anwendung des Sichtbetons im Brückenbau, Masterthesis, Institut für Baubetrieb, Technische Universität Darmstadt.

Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilebau e.V. (2012): Merkblatt Nr. 1 über Sichtbetonflächen von Fertigteilen aus Beton und Stahlbeton (12/2012), Eigenverlag, Bonn.

Fischer, Karen (2014): Betontechnische Einflüsse auf das Erscheinungsbild von Sichtbetonflächen bei Zementleimleckagen, Dissertation, Berichte aus dem Institut für Baustoffe, Heft 11, Hannover.

Fischer, Peter; Hofer, Peter (2008): Lexikon der Informatik, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.

Freund, Björn (2017): Frischbetondruck lotrechter, geneigter und gekrümmter Betonbauteile bei Verwendung von Betonen mit hoher Fließfähigkeit, Dissertation, Institut für Massivbau, TU Darmstadt.

Girmscheid, Gerhard (2007): Forschungsmethodik in den Baubetriebswissenschaften, 2. Auflage: Eigenverlag des Instituts für Bauplanung und Baubetrieb, ETH Zürich. Zürich.

Girmscheid, Gerhard (2014): Bauunternehmensmanagement – prozessorientiert Band 2, Operative Leistungserstellungs- und Supportprozesse, 3. Auflage, Springer-Verlag, Heidelberg, Berlin.

Gläser, Jochen; Laudel, Grit (2010): Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse: als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen, VS-Verlag, Wiesbaden.

Gruber, Thomas (1993): Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing. In: International Journal Human-Computer Studies, Vol. 43, S. 907-928, Elsevier Verlag, Burlington.

Gust von Loh, Sonja (2009): Evidenzbasiertes Wissensmanagement, Gabler / GWV Fachverlage, Wiesbaden.

Hacker, Winfried (1998): Allgemeine Arbeitspsychologie: Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten, Verlag Hans Huber, Bern. (E-BOOK LINK)

Heilemann, Theresa (Verfasser); Löw, Daniela (Betreuerin) (2016): Qualitätsmanagement bei der Herstellung von horizontalen und vertikalen Sichtbetonbauteilen, Masterthesis, Institut für Baubetrieb, Technische Universität Darmstadt.

Hitzler, Pascal; Kröttsch, Markus; Rudolph, Sebastian; Sure, York (2008): Semantic Web, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.

Hofstadler, Christian (2008): Schularbeiten – Technologische Grundlagen, Sichtbeton, Systemauswahl, Ablaufplanung, Logistik und Kalkulation, Springer Verlag, Berlin.

Hofstadler, Christian; Kummer, Markus (2017): Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft – Für Auftraggeber und Auftragnehmer in Projektmanagement, Baubetrieb und Bauwirtschaft, Springer Verlag, Berlin.

Ismail, Aiman (2011): Wissensretrieval im Bauwesen. In: Schach, Rainer [Hrsg.]: Aus Forschung und Praxis, Band 10, Schriftenreihe des Instituts für Baubetriebswesen der Technischen Universität Dresden.

Kiltz, Denis (2015): Sichtbetonmängel während der Bauausführung – baubegleitende Instandsetzung oder Betonkosmetik? In: Rundschreiben 245, Juni 2015, S. 7 – 11, Deutscher Beton- und Bautechnik Verein e.V., Berlin.

Klingenberger, Jörg (2015): REFA im Bauwesen, Folien zur Vorlesung Baubetrieb C1 im Wintersemester 2015/2016, Institut für Baubetrieb, Technische Universität Darmstadt.

Künstner, Gerhard (1984): REFA in der Baupraxis – Teil 2 Datenermittlung, ZTV-Verlag, Frankfurt am Main.

Leibniz Universität Hannover, Institut für Baustoffkunde, der Hochschule Karlsruhe für Technik und Wirtschaft, Institut für Angewandte Forschung und der Technischen Universität Darmstadt, Institut für Baubetrieb (2008 -2011): Schlussbericht AiF-Forschungsvorhaben „Neue Sichtbetontechnik – Integration der Erkenntnisse zu Wechselwirkungen zwischen Schalungshaut, Trennmittel und Betonoberfläche in die Prozesskette bei Sichtbeton“, Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V., AiF Forschungsvorhaben 15873 N.

Mayer, Horst Otto (2008): Interview und schriftliche Befragung, 4. Aufl., Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München.

Mieg, Harald A.; Näf, Matthias (2005): Experteninterviews, 2.Aufl., Institut für Mensch-Umwelt-Systeme (HES), ETH Zürich.

Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg (Hrsg.) (2011): Bauwerkszuordnungskatalog und Synopse, Verfasser: Vermögen und Bau Baden-Württemberg – Betriebsleitung – Informationsstelle Wirtschaftliches Bauen (IWB), Freiburg.

Motzko, Christoph; Löw, Daniela (2017): Schalungen für den Sichtbeton – Systematik, Eigenschaften und Wechselwirkungen. In: Beton- und Stahlbetonbau Spezial Betonoberflächen, April 2017, Berlin: Ernst & Sohn Verlag, S. 12 – 23.

Motzko, Christoph; Boska, Erik; Löw, Daniela (2014): Ausgewählte baubetriebliche Aspekte der Sichtbetontechnik. In: Steinborn, Thomas (2014): Festschrift Ludger Lohaus zur Vollendung des sechzigsten Lebensjahres, Institut für Baustoffe, Hrsg: Ludger Lohaus, Eigenverlag, S. 137 – 146.

Motzko, Christoph; Mehr, Oliver; Klingenberger, Jörg; Binder, Florian (2013): Grundlagen des Bauprozessmanagements. In: Motzko, Christoph [Hrsg.]: Praxis des Bauprozessmanagements – Termine, Kosten und Qualitäten zuverlässig steuern; S. 1 - 35, Ernst und Sohn Verlag, Berlin.

- Motzko, Christoph; Mehr, Oliver; Bergmann, Matthias; Boska, Erik; Boska; Penelope (2010):** Eine Ontologie für die Baubetriebswissenschaft. In: Bargstädt, Hans-Joachim [Hrsg.]: Modellierung von Prozessen zur Fertigung von Unikaten; S. 85-90, Bauhaus Universität Weimar, Eigenverlag.
- Müller, Julia (2009):** Projektteamübergreifender Wissensaustausch – Fehlervermeidung und organisationales Lernen durch interaktive Elemente einer Wissenskultur, Gabler / GWV Fachverlage, Wiesbaden.
- Naumann, Joachim (2011):** Brückenertüchtigung jetzt – Ein wichtiger Beitrag zur Sicherung der Mobilität auf Bundesfernstraßen. In: Heftreihe Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V., Heft 22, Hrsg.: Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein e.V., Eigenverlag Berlin.
- Nittritz, Sven (Verfasser); Löw, Daniela (Betreuerin) (2016):** Einsatz von Leichtbeton in der Sichtbetontechnik, Masterthesis, Institut für Baubetrieb, Technische Universität Darmstadt.
- North, Klaus (2016):** Wissensorientierte Unternehmensführung – Wissensmanagement gestalten, 6., aktualisierte und erweiterte Auflage, Springer Gabler, Wiesbaden.
- North, Klaus; Brandner, Andreas; Steininger, Thomas (2016):** Wissensmanagement für Qualitätsmanager – Erfüllung der Anforderungen nach ISO 9001:2015, Springer Fachmedien, Wiesbaden.
- Noy, Natalya; McGuinness, Deborah:** Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology; https://protege.stanford.edu/publications/ontology_development/ontology101.pdf, Aufruf: 19.01.2019.
- Panasjuk, Eugen (Verfasser); Löw, Daniela (Betreuerin) (2018):** Prozessdokumentation bei der Herstellung von Betonflächen mit Anforderungen an das Aussehen in Fertigteilbauweise, Masterthesis, Institut für Baubetrieb, Technische Universität Darmstadt.
- Peck, Martin; Bosold, Diethelm (2009):** Sichtbeton – Techniken der Flächengestaltung, Herausgeber: InformationsZentrum Beton GmbH, Erkrath.
- Peck, Martin; Bosold, Diethelm; Bose, Thomas (2016):** Technik des Sichtbetons – Planung und Ausführung von Sichtbetonflächen, Herausgeber: InformationsZentrum Beton GmbH, Verlag, Bau+Technik GmbH, Erkrath.
- Polanyi, Michael (1966):** The Tacit Dimension, Routledge & Kegan-Paul, London.
- Probst, Gilbert; Raub, Steffen; Romhardt, Kai (2012):** Wissen managen – Wie Unternehmen ihre wertvollste Ressource optimal nutzen, Springer Gabler, Wiesbaden.

Rathswohl, Stefan (2014): Entwicklung eines Modells zur Implementierung eines Wissensmanagement-Systems in kleinen und mittleren Bauunternehmen, kassel university press, Kassel.

Romhardt, Kai (1998): Die Organisation aus der Wissensperspektive – Möglichkeiten und Grenzen der Interaktion, Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GmbH, Wiesbaden.

Schmidle, Christian Michael (2004): Projektbasiertes Prozessmodell für ereignisorientiertes Wissensmanagement in mittleren und größeren Bauunternehmen, Dissertation am Institut für Bauplanung und Baubetrieb, vdf Hochschulverlag, Zürich.

Schmitz, Daniel (2016): Ein Beitrag zur Integration von Weiterbildung in das Arbeitssystem Bauleitung eines Bauunternehmens, Dissertation, Institut für Baubetrieb, TU Darmstadt.

Schnell, Rainer; Hill, Paul B.; Esser, Elke (2005): Methoden der empirischen Sozialforschung, 7. Aufl., Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München.

Schömb, Julia (2012): Zu den Einflussgrößen auf das Erscheinungsbild und zu den Kosten von Sichtbeton, Dissertation, Institut für Baubetrieb, TU Darmstadt.

Schulz, Joachim (2009): Sichtbeton Atlas. Planung – Ausführung - Beispiele, 1. Auflage, Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden.

Schulz, Joachim (2011): Sichtbeton-Mängel. Gutachterliche Einstufung, Mängelbeseitigung, Betoninstandsetzung und Betonkosmetik, 3. Auflage, Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden.

Schulze, Colin Alexander (Verfasser); Löw, Daniela (Betreuerin) (2017a): Anwendung des Sichtbetons im Brückenbau, Masterthesis, Institut für Baubetrieb, Technische Universität Darmstadt.

Schulze, Colin Alexander (Verfasser); Löw, Daniela (Betreuerin) (2017b): Interviewprotokolle und Unterlagen zu den Experteninterviews über den Umgang mit Sichtbeton bei Brückenbauwerken vor und nach der Neuerung in der ZTV-Ing 2014, Institut für Baubetrieb, Technische Universität Darmstadt.

Stock, Wolfgang (2007): Information Retrieval – Informationen suchen und finden, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München.

Strehlein, Doris (2012): Fleckige Dunkelfärbungen an Sichtbetonoberflächen, Dissertation, Universitätsbibliothek der Technischen Universität München, München.

Thillen, Ines (Verfasserin); Löw, Daniela (Betreuerin) (2015): Prozessdokumentation bei der Herstellung von Betonflächen mit Anforderungen an das Aussehen in Ort- und Fertigteilbauweise, Masterthesis, Institut für Baubetrieb, Technische Universität Darmstadt.

Verein Deutscher Ingenieure (2009): Wissensmanagement im Ingenieurwesen – Grundlagen, Konzepte, Vorgehen, VDI-Richtlinie 5610 Blatt 1, März 2009.

Verkuil, Arie H.; Dey, Pascal (2010): Forschungsverständnis im Kontext anwendungsorientierter Wissenschaften. Fachhochschule Nordwestschweiz – Hochschule für Wirtschaft (Hrsg.), Brugg-Windisch. Abgerufen am 05.01.2019 von: <https://docplayer.org/17863651-Forschungsverstaendnis-im-kontext-anwendungsorientierter-wissenschaften-f-e.html>.

Von der Oelsnitz, Dietrich; Hahmann, Martin (2003): Wissensmanagement, Strategie und Lernen in wissensbasierten Unternehmen, Kohlhammer, Stuttgart.

Wilke, Mario (Verfasser); Löw, Daniela (Betreuerin) (2016): Qualitätsmanagement bei der Herstellung von Sichtbetonbauteilen als Freiform, Masterthesis, Institut für Baubetrieb, Technische Universität Darmstadt.

Zelewski, Stephan (2002): Organisierte Erfahren - Wissensmanagement mit Ontologien, in: Essener Unikate, Nr. 18: Wirtschaftsinformatik – Wissensmanagement und E-Services 18.

Anhang

Anhang 1: Interviewleitfaden zu den Experteninterviews über den Umgang mit Sichtbeton bei Brückenbauwerken vor und nach der Neuerung in der ZTV-Ing 2014⁴⁶⁹

1. Angaben zur Person

Name: _____

Firma: _____ Position: _____

Kontaktdaten:

Straße: _____

Ort: _____

Telefon: _____

Fax: _____

E-Mail: _____

Datum: _____ Ort: _____

2. Normative Anforderungen an die Sichtbetonqualität im Brückenbau vor der Änderung der ZTV-Ing in 2014

Gab es im Zusammenhang Sichtbeton und Brückenbau speziell verankerte Normen / Richtlinien?

Falls ja, in welchen Normen waren diese Anforderungen verankert?

⁴⁶⁹ Vgl. Schulze / Löw (2017a)

Wurden im Rahmen der Erstellung eines Brückenbauwerkes während der Bausauführung die Normen berücksichtigt?

Wurde nach der Errichtung des Brückenbauwerkes gezielt das Ergebnis mit diesen Anforderungen abgeglichen?

Inwiefern spielte in der Vergangenheit das Thema Sichtbeton eine Rolle im Brückenbau?

Wie sah eine klassische Ausschreibung eines Brückenbauwerkes bezüglich Anforderungen an Sichtbeton aus?

In den meisten Ausschreibungen zu regulären Brückenbauprojekten werden keine Anforderungen an den Sichtbeton gestellt, es wird stattdessen in der Regel nur von Sichtschalung gesprochen im Zusammenhang mit entweder glatter oder sägerauer Schalung. Wie würden Sie diese Tatsache im Zusammenhang mit der Bauausführung und dem Ergebnis interpretieren?

Wurde das vor 2014 in der ZTV-Ing nicht erwähnte DVB-Merkblatt „Sichtbeton“ trotzdem als Basis einer Abnahme bzw. im Falle einer Streitigkeit mit dem Bauherrn herangezogen? Falls ja, welche Sichtbetonklasse wurde hier als Referenz genommen, vorausgesetzt in der Ausschreibung wurde vorher nicht explizit auf eine bestimmte Klasse hingewiesen?

Haben Sie Brückenprojekte betreut, bei denen das DBV-Merkblatt „Sichtbeton“ konkreter Bestandteil der Ausschreibung war?

Welche/r Schalungshauttyp bzw. -typen fanden in der Regel Anwendung und vor allem in welchem Bereich der Brücke mit sichtbaren Flächen?

Welche Schalungshaut wurde bei ausgeschriebener Anforderung „glatte Schalung“ verwendet? Welche Betontrennmittel wurden hier in der Regel verwendet und warum?

Wie oft fanden/finden Schalungshauttypen bei Ihnen im Unternehmen Verwendung bezogen auf die jeweilige Art von Schalung?

Stellt Ihr Unternehmen eigene Schalungssysteme her oder finden immer nur Systeme von Schalungsherstellern bei Ihren Projekten Anwendung?

3. Aktualisierung der Anforderungen an die Sichtbetonqualität bzw. Einführung von Mindestanforderungen (ZTV-Ing 2014)

In Teil 3/Abschnitt 2 (Bauausführung), Kapitel 4.2 wird nun vorgegeben, dass als Schalung saugende oder schwach saugende Schalungshaut gemäß DVB/VDZ-Merkblatt „Sichtbeton“ zu verwenden ist. War dies in der Praxis vorher auch schon der Fall? Stellt dieser Punkt eine Änderung in der Bauausführung dar?

Weiterhin ist im Umgang mit Schalungen in Kapitel 3/2/4.5.1 (Allgemeine Anforderungen) gefordert, dass betonberührte Flächen sauber zu halten und falls erforderlich Reinigungsöffnungen vorzusehen sind. War dies in der Praxis vorher auch schon der Fall? Stellt dieser Punkt eine Änderung in der Bauausführung dar?

Laut Kapitel 3/2/4.5.2 (Schalung für sichtbar bleibende Betonflächen) darf der Versatz der Stöße von Schalungselementen 5 mm nicht überschreiten. Auch die Höhe von verbleibenden Graten darf 5 mm nicht überschreiten. Weiterhin darf der Einsatz von Innenrüttlern die Schalungshaut nicht beschädigen und die Schraub- bzw. Nagelbereiche sind so auszuführen, dass ein Aufquellen der Schalungshaut verhindert wird. Stellt dieser Punkt eine Änderung in der Bauausführung dar?

Laut Kapitel 3/2/4.7 kann zur Festlegung des Zeitpunktes für das Entfernen von Traggerüst und Schalung eine Erhärtungs- oder Reifegradprüfung sein. Wie ermittelt die Praxis den Ausschalzeitpunkt?

Stellen die Änderungen in Kapitel 3/2/7.2-7.3 zum Thema Lieferung, Annahme, Transport sowie Einbringen und Verdichten von Beton neue Umsetzungsanforderungen in der Praxis dar oder wurden diese Hinweise bereits vor offizieller Einführung beachtet?

Offizielle Mindestanforderungen an alle sichtbar bleibenden geschalteten Flächen sind laut Kapitel 3/2/7.4 als Sichtbetonklasse SB 2 nach DBV/VDZ-Merkblatt „Sichtbeton“ auszuführen. Abweichend zur Sichtbetonklasse SB 2 gilt als Anforderungen an die Ebenheit der Betonfläche E 2 (Flächenfertige Wände und Unterseiten von Decken, z. B. geputzte Wände, Wandbekleidungen, untergehängte Decken) anstelle Ebenheit E 1 (Nichtflächenfertige Wände und Unterseiten von Rohdecken). Merken Sie hier in der Praxis eine Anpassung der Vorgehensweise im Umgang mit der Schalung oder entspricht diese Sichtbetonklasse SB 2 den Resultaten in älteren Brückenbauprojekten und führt deshalb zu keinen notwendigen Anpassungen der Bauausführung?

Weiterhin sind laut Absatz (2) in Kapitel 3/2/7.4 bei besonderen Anforderungen an die Gestaltung der Sichtflächen in der Regel die Sichtbetonklasse SB 3 oder SB 4 zu vereinbaren und in der Leistungsbeschreibung vorzusehen. Hatten Sie persönlich Erfahrungen mit solch einer Leistung in der Vergangenheit?

Zusätzlich ist laut Absatz (3) in Kapitel 3/2/7.4 ausgetretener Frischmörtel unmittelbar nach dem Ausschalen zu entfernen. Wurde dies in der Vergangenheit bereits umgesetzt?

Nennen Sie Ihre typisch verwendeten Schalungshauttypen sowie Betontrennmittel (Art, Firma) je nach Verwendungsort (Widerlager, Pfeiler, Brückenüberbau). Stellen diese einen Unterschied zu den verwendeten Materialien vor der Neuerung der ZTV in 2014 dar?

4. Auswirkungen auf die Bauausführung

Stellen die neu eingeführten Anforderungen bezüglich des Sichtbetons für Sie tatsächliche Änderungen dar?

Würden Sie die vor 2014 erzielte Qualität der sichtbar bleibenden Flächen geringer/gleich/höher als Sichtbetonklasse SB 2 einstufen?

Haben Sie bereits Erfahrungen mit Projekten (nach 2014) sammeln können, in welchen explizit die Sichtbetonklasse SB 2 mit Vermerk auf das DVB-Merkblatt „Sichtbeton“ ausgeschrieben war?

Falls ja, haben Sie daraufhin Änderungen in Ihrer Ausführungsweise vorgenommen?

Hat sich seit der Einführung Ihrer Meinung nach etwas an den Ausschreibungen verändert? Falls ja, inwiefern?

Wird das DVB-Merkblatt „Sichtbeton“ bei der Abnahme einer Brücke verwendet bzw. um den Ist-Zustand mit dem Soll-Zustand zu vergleichen?

Werden neue Schalungshauttypen bzw. neue Betontrennmittel verwendet? Falls ja, welche und warum?

Welche Schalungstechnik (Schalungshaut, Betontrennmittel, Unterkonstruktion) verwendet Ihr Unternehmen bei der Herstellung von Brückenpfeilern?

Welche Schalungstechnik (Schalungshaut, Betontrennmittel, Unterkonstruktion) verwendet Ihr Unternehmen bei der Herstellung von Widerlagern?

Welche Schalungstechnik (Schalungshaut, Betontrennmittel, Unterkonstruktion) verwendet Ihr Unternehmen bei der Herstellung von Brückenüberbauten?

Haben Sie Projekte betreut, bei denen die Anforderung Sichtbetonklasse SB 3 gefordert war? Falls ja, erläutern Sie bitte die Bauausführung verglichen mit der einer normal ausgeschriebenen Brücke.

5. Fehler bei der Bauausführung in Zusammenhang mit neuen Anforderungen an die Sichtbetonqualität

Werden heute Ausführungsmängel schneller als solche klassifiziert als vor 2014?

Falls ja, welche Mängel können hier erwähnt werden, die im Zusammenhang mit Anforderungen an die Sichtbetonqualität neuerdings auftauchen, welche vorher nie ein Problem waren?

Was galt in der Vergangenheit als Ausführungsfehler, welcher anschließend, falls möglich, behoben werden musste? Was waren häufig die Ursachen für solche Mängel/Defekte?

Konnten Sie in der Vergangenheit Erfahrungen sammeln, bei denen das Thema Sichtbetonqualität zu einem Streitthema zwischen Bauherrnseite und ausführender Firma wurde?

Nennen Sie typische Mängel im Zusammenhang mit glatter Schalung. Wie wurde im Vorhinein versucht diese Mängel möglichst gering zu halten?

Kennen Sie konkrete Beispiele, bei denen anschließend die Betonoberfläche nachträglich per Sandstrahlen oder sonstigen Maßnahmen bearbeitet werden musste? Was waren hier die Ursachen dafür? Ist dies seit 2014 häufiger der Fall?

6. Hohe Anforderungen an die Sichtbetonqualität

Haben Sie bereits Erfahrungen mit besonders hohen Anforderungen an die Sichtbetonqualität bei einem Brückenbauprojekt machen können? Falls ja, erläutern Sie die Anforderungen und weshalb diese gestellt wurden.

Wie wurden diese Ziele erreicht? (Schalungshaut, Betontrennmittel, etc.)

Welche Komplikationen traten im Laufe eines Projektes mit sehr hohen Anforderungen auf?

Wie wurde der Soll-Zustand in solch einem Projekt definiert?

7. Abschließende Fragen

Wie schätzen Sie persönlich das Thema Sichtbeton im Zusammenhang mit dem Begriff Brückenbauwesen ein? Erläutern Sie Ihre Meinung/Erfahrungen in diesem Kontext.

Sind Sie persönlich der Meinung, dass Sichtbeton eine stärkere oder schwächere Rolle bei Brückenbauten spielen sollte?

Anhang 2: Zusammenführung einer Auswahl der Checklisten aus dem Qualitätssicherungsplan zur Überwachung der Bauprozesse auf der Baustelle und der baubegleitenden Qualitätskontrolle bei der Ausführung von Sichtbetonbauteilen⁴⁷⁰

Checkliste zur Qualitätskontrolle bei der Herstellung von Sichtbetonbauteilen		
Bauteil:		Sichtbetonklasse:
Qualitätskriterium	Datum der Kontrolle	Anmerkung
1	Grundmontage Schalungssystem	
1.1	Oberflächenbeschaffenheit (Kratzer, Rostflecken etc.) → <i>Bilddokumentation</i>	
1.2	Dichtigkeit Schalungshautstöße	
1.3	Maßhaltigkeit	
2	Betontrennmittelauftrag	
2.1	Schalungshautzustand	
2.2	Ausführung Trennmittelauftrag	
2.3	Zustand Trennmittelauftrag → <i>Bilddokumentation</i>	

⁴⁷⁰ Vgl. Heilemann, Löw (2016) und Wilke, Löw (2016)

3	Schalungssystem stellen/schließen		
3.1	Maßhaltigkeit/Abdichtung		
3.2	Reinigungszustand vor der Betonage → <i>Bilddokumentation</i>		
3.3	Zustand Hüllrohre → <i>Bilddokumentation</i>		
3.4	Abstandhalterlagen nach dem Schließen → <i>Bilddokumentation</i>		
3.5	Abstand Bewehrung - Schalung (Betondeckung eingehalten)		
3.6	Schalungshaut schützen (Schuhe umhüllen, Schutz vor Niederschlag, UV-Strahlung etc.)		
4	Sichtbetonbauteil bewehren		
4.1	Bewehrungsführung (Betonierbarkeit, Rüttelgassen, etc.)		
4.2	Lage Abstandhalter (Zustand, gleichmäßige Verteilung, etc.) → <i>Bilddokumentation</i>		

4.3	Zustand/Reinigungsgrad Schalungshaut vor Betonage (Kratzer, Staub, Rost) → Bilddokumentation		
5	Sichtbetonbauteil betonieren		
5.1	Anzahl Rüttler		
5.2	Verdichtungskonzept (Eintauchtiefe, -abstände, -dauer)		
5.3	Liefer-Verbrauchs-Rhythmus (Beladung im Werk Ankunft Baustelle Beginn Entladung Ende Entladung)		
5.4	Einbauweise (Kübel, Pumpe etc.)		
5.5	Betonmenge		
5.6	Lieferung Beton (Zufügen von Fließmittel/Wasser auf Baustelle, etc.)		
5.7	Ausbreitmaß		
5.8	Verdichtungsmaß		

5.9	Lufttemperatur und Witterung		
5.10	Frischbetontemperatur		
5.11	Winterbau-Einfluss		
5.12	Lieferscheinnummer		
5.13	Betonsortennummer		
5.14	Freie Fallhöhe		
6	Sichtbetonbauteil nachbehandeln		
6.1	Maßnahmen		
6.2	Dauer		
7	Sichtbetonbauteil ausschalen		
7.1	Ausschalfrist		

7.2	Beschädigungen an der Schalung → <i>Bilddokumentation</i>		
7.3	Beschädigungen am Bauteil → <i>Bilddokumentation</i>		
8	Schalungssystem reinigen		
8.1	Reinigungsprozess		
8.2	Zustand nach dem Reinigen → <i>Bilddokumentation</i>		
9	Schalungshaut instand setzen		
9.1	Zustand vor Instandsetzung → <i>Bilddokumentation</i>		
9.2	Methoden der Ausbesserung		
9.3	Zustand nach Instandsetzung → <i>Bilddokumentation</i>		
10	Schalungssystem lagern		
10.1	Ordnungsgemäßes Lagern (senkrecht, Unterleghölzer etc.)		

10.2	Ordnungsgemäßer Schutz (Abdeckung Folie, Schutz vor aufsteigender Feuchte etc.)		
11	Sichtbetonkosmetik		
11.1	Art, Umfang und Ort der Maßnahme		
11.2	Eingesetzte Materialien und Geräte		
11.3	Ergebnis der Maßnahme → <i>Bilddokumentation</i>		
12	Sichtbetonbauteil Dokumentation		
12.1	Farbentwicklung (direkt nach Ausschalen) → <i>Bilddokumentation</i>		
12.2	Farbentwicklung (1 Tag nach Ausschalen) → <i>Bilddokumentation</i>		
12.3	Farbentwicklung (28 Tage nach Ausschalen) → <i>Bilddokumentation</i>		

Anhang 3: Fragebogen zur Ermittlung des Status quo im Bereich des Wissensmanagements für die Sichtbetontechnologie⁴⁷¹

Fragebogen zum Wissensmanagement in der Sichtbetontechnologie

Allgemeine Informationen
Bitte kreuzen Sie Zutreffendes an.

Sind Sie männlich oder weiblich?

Männlich
 Weiblich

Wie alt sind Sie?

Jünger als 30 Jahre
 30 – 40 Jahre
 40 – 50 Jahre
 50 – 60 Jahre
 Älter als 60 Jahre

In welchem Bereich sind Sie tätig?

Arbeitsvorbereitung
 Bauleitung
 Sonstiges: _____

Wie viele Jahre Berufserfahrung haben Sie?

Weniger als 1 Jahr
 1 – 5 Jahre
 5 – 10 Jahre
 10 – 15 Jahre
 Mehr als 15 Jahre

Wie lange arbeiten Sie bereits in Ihrem jetzigen Unternehmen?

Weniger als 1 Jahr
 1 – 3 Jahre
 3 – 5 Jahre
 Mehr als 5 Jahre

⁴⁷¹ Vgl. Bahlo / Löw (2018)

In welchen Bereichen ist Ihr Unternehmen tätig?

(Mehrfachnennungen möglich)

- Hochbau
- Verkehrswegebau
- Tiefbau
- Tunnelbau
- Brückenbau
- Sonstiges: _____

Wie viele Mitarbeiter beschäftigt Ihr Unternehmen?

- Weniger als 100
- Zwischen 100 und 500
- Zwischen 500 und 2000
- Zwischen 2000 und 5000
- Mehr als 5000

Wie hoch ist die jährliche Bauleistung Ihres Unternehmens?

- Mehr als 8 Milliarden Euro
- Zwischen 4 Milliarden Euro und 8 Milliarden Euro
- Zwischen 1 Milliarden Euro und 4 Milliarden Euro
- Zwischen 100 Millionen Euro und 1 Milliarden Euro
- Unter 100 Millionen Euro

Wissensmanagement im Unternehmen

Bitte kreuzen Sie Zutreffendes an.

	Ja	Nein
Hat Ihr Unternehmen schon Wissensmanagementprojekte durchgeführt oder planen Sie solche?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gibt es in Ihrem Unternehmen einen Verantwortlichen für Wissensmanagement?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Hat Ihr Unternehmen eine informationstechnische Infrastruktur (z.B. Intranet)?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wenn ja: Nutzen Sie diese?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Haben Sie die Pflicht, aus Projekten gewonnene Erfahrungen zu dokumentieren?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Haben Sie die Pflicht, Ihre Projekte zu dokumentieren?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

→ Wenn Sie die letzte Frage mit Ja beantwortet haben:

Welche Projekte werden dokumentiert?

Wo dokumentieren Sie die Projekte? Gibt es hierfür beispielsweise eine bestimmte Datenbank oder Ähnliches?

Wie dokumentieren Sie die Projekte? Stehen hierfür Hilfsmittel oder Vorlagen zu Verfügung?

Wann dokumentieren Sie die Projekte? Haben Sie hierfür beispielsweise einen vorgegebenen Zeitrahmen?

Wer hat Zugriff auf die Dokumentationen?

Persönliches Wissensmanagement

Bitte kreuzen Sie Zutreffendes an.

	Trifft vollkommen zu	Trifft zu	Trifft nicht zu	Trifft überhaupt nicht zu
Ich halte Wissensmanagement für sinnvoll.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Das Arbeitsklima in meinem Umfeld animiert mich dazu, Wissen auszutauschen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich kommuniziere oft mit Kollegen aus meiner Abteilung über fachliche Dinge.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich kommuniziere oft mit Kollegen aus anderen Abteilungen über fachliche Dinge.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nach Abschluss eines Projektes wird dieses mit allen Projektbeteiligten reflektiert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich dokumentiere meine Projekte.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich dokumentiere meine Erfahrungen und Erkenntnisse.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich habe genug Zeit mein Wissen nach Projekten zu dokumentieren.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich habe genug Zeit mir Wissen zu beschaffen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich habe schon einmal fehlerhafte Informationen erhalten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Ich beziehe Informationen über... (Mehrfachnennungen sind möglich)

- Schriftverkehr
- E-Mail
- Telefon
- Persönliche Gespräche
- Seminare
- Intranet
- Kollegen
- Datenbanken
- Interne Experten
- Externe Experten

Wissensmanagement in der Sichtbetontechnik

Bitte kreuzen Sie Zutreffendes an.

Wie schätzen Sie Ihre Kenntnisse über Sichtbeton ein?

- Sehr gute Kenntnisse
 Gute Kenntnisse
 Durchschnittliche Kenntnisse
 grobe Kenntnisse
 keine Kenntnisse

Wie häufig arbeiten Sie mit Sichtbeton?

- Sehr oft
 oft
 selten
 nie

Woher erhalten Sie Ihre Informationen für Arbeiten im Sichtbetonbereich?

(Mehrfachnennungen sind möglich)

- Interner Spezialist für Sichtbetontechnik
 Externer Spezialist für Sichtbetontechnik
 Datenbanken
 Suchmaschinen
 Literatur
 Kollegen
 Ich brauche keine Informationen
 Sonstiges: _____

Wird das Wissen über die Sichtbetontechnik dokumentiert?

- Ja
 Nein

Wenn ja:

Wer dokumentiert dieses Wissen? Gibt es hierfür Verantwortliche?

Wo wird das Wissen dokumentiert? Gibt es hierfür beispielsweise spezielle Datenbanken?

Wie wird das Wissen dokumentiert? Gibt es hierfür Hilfestellungen oder Vorlagen?

Zu welchen Zeitpunkten wird das Wissen dokumentiert? Gibt es hierzu Vorgaben?

Wer hat Zugriff auf dieses Wissen?

Wie hoch schätzen Sie die Fehlerquote bei Arbeiten mit Sichtbetontechnik?

- Sehr hoch
- Hoch
- Normal
- Niedrig
- Sehr niedrig

Denken Sie, dass diese durch Wissensmanagement reduziert werden könnte?

- Ja
- Nein

Welche Verbesserungsmöglichkeiten sehen Sie beim Wissensmanagement im Allgemeinen?

Welche Verbesserungsmöglichkeiten sehen Sie beim Wissensmanagement von Sichtbeton im Speziellen?

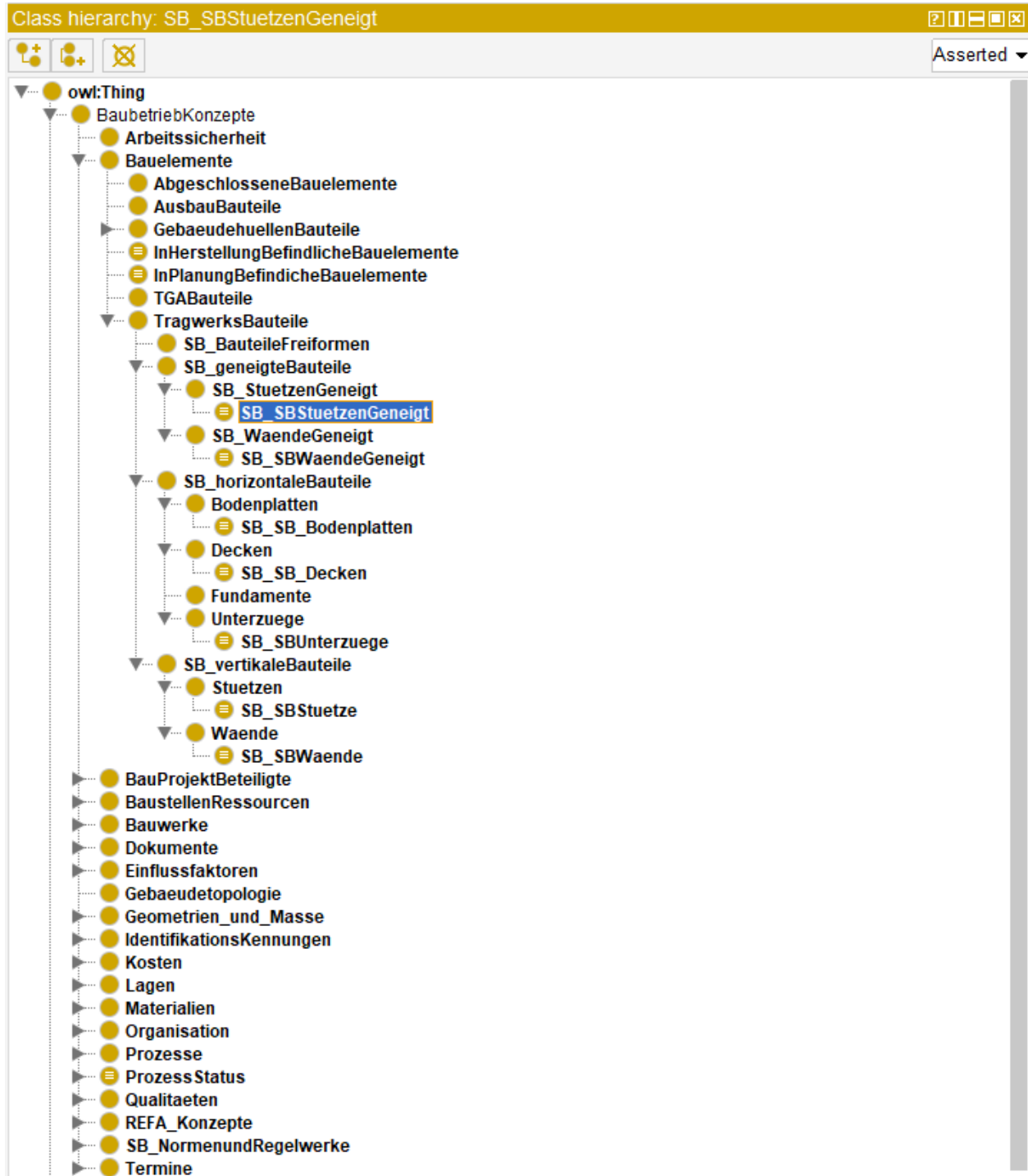
Anhang 4: Auszüge aus der Ontologie der Sichtbetontechnologie⁴⁷²

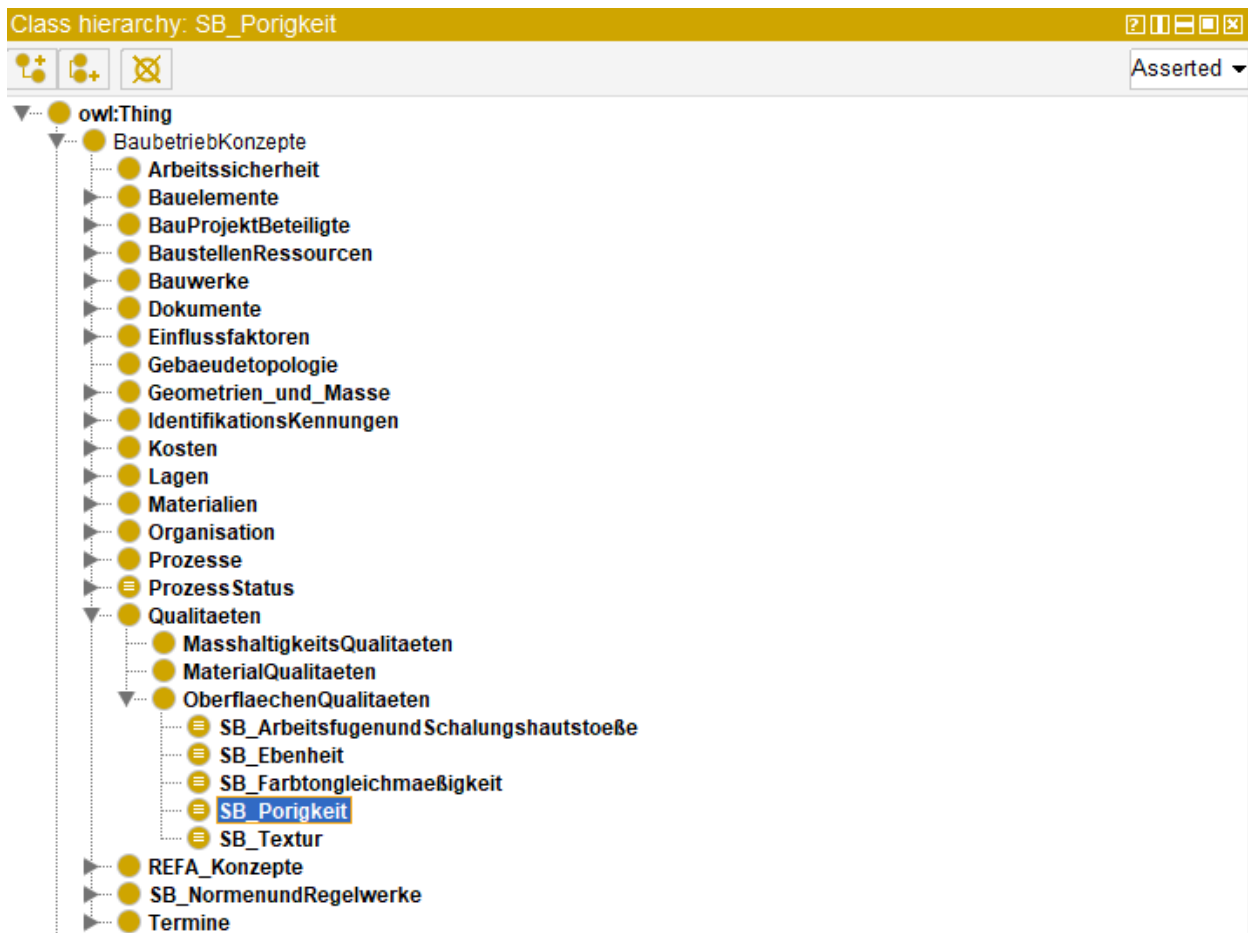
Ergänzung der vorhandenen Struktur der Ontologie der Baubetriebswissenschaften um die Domäne „SB_NormenundRegelwerke“.



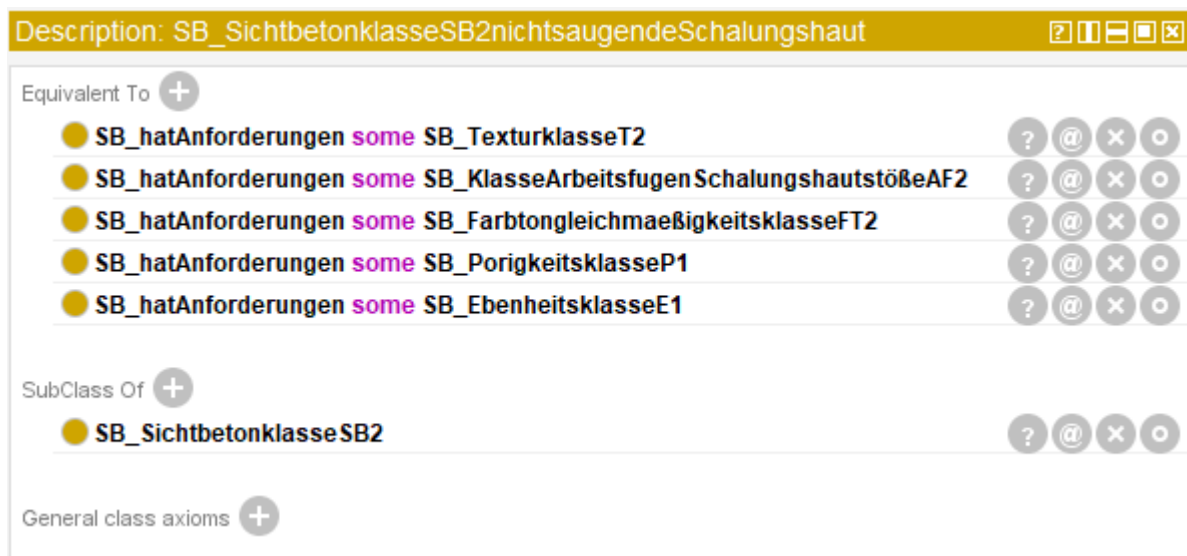
⁴⁷² Siehe Kapitel 5.3.3

Ergänzung der vorhandenen Struktur der Ontologie der Baubetriebswissenschaften um Klassen anhand der Beispiele „SB_SBStuetzenGeneigt“ und „SB_Porigkeit“.





Beschreibung von Klassen innerhalb der Ontologie anhand des Beispiels „SB_SichtbetonklasseSB2nichtsaugendeSchalungshaut“



Dissertationen des Instituts für Baubetrieb der Technischen Universität Darmstadt

Jahr	Verfasser	Referent und Korreferent	Titel der Dissertation
2019	Daniela Linnebacher	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Assoc. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Christian Hofstadler	Wissensmanagement in der Sichtbetontechnologie
2018	Hannes Schwarzwälder	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Christian Glock	Ein Organisationsmodell zur Steuerung und Regelung der Digitalisierung von Unternehmen in der Bauwirtschaft
2018	Xiufeng Xue	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Xing Gao	Knowledge an BIM based Construction Safety Management for Assembly Processes
2016	Martin Westerkamp	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner	Ein Beitrag zur Professionalisierung des Managements von Verbundforschungsprojekten
2016	Daniel Schmitz	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Assoc. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Christian Hofstadler	Ein Beitrag zur Integration von Weiterbildung in das Arbeitssystem der Bauleitung eines Bauunternehmens
2016	Stefan Kaiser	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Assoc. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Christian Hofstadler	Soll-Ist-Vergleich von Arbeitssystemen im Stahlbetonbau als Beitrag für den Sicherheits- und Gesundheitsschutz
2016	Fabian Ruhl	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Detlef Heck	Entwicklung eines Baulogistikprozessmodells
2016	Jan Wöltjen	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Assoc. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Christian Hofstadler	Ein Beitrag zur ökologischen Bewertung von Abbruchverfahren im Hochbau
2016	Henrik Lorenz	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Wolfdietrich Kalusche	Entscheidungshilfe für altersgerechte Immobilienlösungen für Kommunen
2014	Rigbert Fischer	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Assoc. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Christian Hofstadler	Eine Untersuchung zur roboterbasierten Baugruppenfertigung im Stahlbau
2014	Lars Scheidecker	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Assoc. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Christian Hofstadler	Ein Referenzmodell für das Real Estate Investment Management
2014	Christian Vieth	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert	Die baubetrieblichen Auswirkungen des Anordnungsrechtes des Auftraggebers bei Abschluss und Abwicklung von Bauverträgen
2014	Florian Binder	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Assoc. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Christian Hofstadler	Ereignisbasierte Steuerung baulogistischer Prozesse mit Echtzeit-Ortungssystemen

Jahr	Verfasser	Referent und Korreferent	Titel der Dissertation
2013	Michael Löhr	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert	Planung bei Abbrucharbeiten
2013	Jörg Dohrenbusch	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Peter Racky	Bewertung der Vergabepaxis bei komplexen Großprojekten im deutschen Verkehrsinfrastrukturbau
2013	Jörg Kaiser	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Rainard Osebold	Lean Process Management in der operativen Bauabwicklung
2013	Erik Boska	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Assoc. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Christian Hofstadler	Gestaltung von Arbeitssystemen in der Sichtbetontechnik
2013	Sandra Sondermann	Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko	Prozessorientierter Nachweis von Produktivitätsverlusten auf Baustellen
2013	Svetlana Kometova	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Linke	Controlling langfristiger Projekte im kommunalen Immobilienmanagement – Eine multikategoriale Gestaltungsanalyse und Konzeption
2012	Alexander Nolte	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Volkhard Franz	Ein Beitrag zur effizienten Steuerung des Einsatzes von Schalungsmietgeräten auf Baustellen
2012	Julia Schömbis	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Ludger Lohaus	Zu den Einflussgrößen auf das Erscheinungsbild und zu den Kosten von Sichtbeton
2011	Leif Pallmer	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Harald Garrecht	Ein Prozessmodell zur Qualitätsverbesserung der Brandschutzplanung einer Immobilie
2011	Oliver Mehr	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Volkhard Franz Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schwarz	Polysensorale Bauprozessidentifikation durch kognitive Systeme
2011	Ulrich Dölzig	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert	Risikoallokation bei Parkgaragen im Rahmen von Public Private Partnership
2010	Jan Philipp Koch	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Rainer Wanninger	Integrale Planungsprozesse – Generalistische Handlungsstrategien für komplexe Problemlösungsprozesse in den Zeiten des Klimawandels
2010	Matthias Bergmann	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schwarz	Ergonomiegestützte Multiagenten-Simulation von Montageprozessen im Baubetrieb
2010	Ingo Giesa	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Rainer Wanninger	Prozessmodell für die frühen Bauprojektphasen

Jahr	Verfasser	Referent und Korreferent	Titel der Dissertation
2009	Nils Hinrichs	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Linke	Strategien der öffentlichen Hand – Ein kompetenzorientierter Ansatz aus Sicht des Immobiliencontrollings
2009	Carola Maffini	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert	Konfliktbehandlung in Bauprojektorganisationen
2009	Markus Demmler	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Detlef Heck	Risikomanagement im internationalen Tunnelbau unter Anwendung der Vertragsform FIDIC Red Book
2008	Christoph Pflug	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. habil. Harald Schlemmer	Ein Bildinformationssystem zur Unterstützung der Bauprozesssteuerung
2008	Jens Elsebach	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert	Bauwerksinformationsmodelle mit voll-sphärischen Fotografien – Ein Konzept zur visuellen Langzeitarchivierung von Bauwerksinformationen
2007	Falk Huppenbauer	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert	Nachunternehmermanagement: Die Entwicklung eines prozessorientierten Entscheidungsmodells für die Beschaffung und das Controlling
2007	Ali Akbar Elahwiesy	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert	Multiprojektmanagement für Infrastruktur-Bauprojekte
2007	Torsten Fetzner	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert	Ein Verfahren zur Erfassung von Minderleistungen aufgrund witterungsbedingter Bauablaufstörungen
2007	Christopher Cichos	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert	Untersuchungen zum zeitlichen Aufwand der Baustellenleitung
2007	Jörg Klingenberg	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Detlef Heck	Ein Beitrag zur systematischen Instandhaltung von Gebäuden
2006	Julia Schultheis	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert	Public Private Partnership bei Stadthallen – Rahmenbedingungen und Gestaltungsmöglichkeiten in Deutschland
2006	Helmuth Duve	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert	Entscheidungshilfe zur Auswahl eines geeigneten Streitregulierungsverfahrens für das Bauwesen unter besonderer Berücksichtigung baubetrieblicher Aspekte
2006	Markus Stürmer	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert	Beitrag zum Qualitätsmanagement im vorbeugenden baulichen Brandschutz – Untersuchung von ausgewählten Brandschutzmängeln der Ausführungsphase
2005	Ingo Goldenberg	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert	Optimierung von Supply Chain Prozessen in der Bauwirtschaft durch mobile Technologien und Applikationen

Jahr	Verfasser	Referent und Korreferent	Titel der Dissertation
2005	Jörg Huth	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert	Baubetriebliche Analyse von selbstverdichtendem Beton
2005	Joachim Ruß	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert	Ausführungsdauern und Kapazitätsplanung von Bauleistungen im Organisierten Selbstbau
2004	Karl Bangert	Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko	Untersuchungen zum Einsatz von mit Seilen geführten Lastballon-Kransystemen (LTA Kran-Systeme) im Bauwesen
2004	Detlef Heck	Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko	Entscheidungshilfe zur Anwendung von Managementsystemen in Bauunternehmen
2004	Sherwin Haghsheno	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert	Analyse der Chancen und Risiken des GMP-Vertrags bei der Abwicklung von Bauprojekten
2004	Carsten Toppel	Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner	Technische und ökonomische Bewertungen verschiedener Abbruchverfahren im Industriebau
2002	Alexander Glock	Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko	Technisch-wirtschaftliche Untersuchung luftschiffbasierter Schwerlastlogistik im Bauwesen
2002	Patrick Büttner	Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko	Abbruch von Stahlbeton und Mauerwerksbauten – Entwicklung einer Entscheidungshilfe zur Auswahl von Hydraulikbaggern
2002	Marc Heim	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert	Die zeitnahe Leistungsfeststellung von Baustellen unter besonderer Berücksichtigung von Bildinformationssystemen
2002	Torsten Ebner	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert	Bauen im Bestand bei Bürogebäuden
2001	Markus Werner	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert	Einsatzdisposition von Baustellenführungskräften in Bauunternehmen
2001	Theresa Pokker	Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko	Kalkulation von Erdarbeiten in kontaminierten Bereichen
2001	Frank Müller	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert	Marktstrategische Fremdvergabe unter Berücksichtigung entscheidungsrelevanter Einflusskriterien
2001	Alexander Bubenik	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert	Die Fassade und ihr Einfluss auf die schlüsselfertige Bauausführung
2000	Dirk Mayer	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert	Entscheidungshilfe für die Beurteilung von Fußbodensystemen im Hochbau

Jahr	Verfasser	Referent und Korreferent	Titel der Dissertation
2000	Bernhard Griebel	Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert Prof. Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid	Der zeitnahe Soll-Ist-Vergleich aus Sicht der Baustelle
1999	Patrik Loschert	Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko	Terminmanagement im schlüsselfertigen Hochbau
1999	Heinrich Wengerter	Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko	Rationalisierungsmöglichkeiten im Mauerwerksbau durch eine robotergestützte Wandvorfertigungsanlage
1999	Katja Silbe	Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko	Wirtschaftlichkeit kontrollierter Rückbauarbeiten
1997	Peter Racky	Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko	Entwicklung einer Entscheidungshilfe zur Festlegung der Vergabeform
1997	Achim Hitzel	Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko	Ein Entscheidungsunterstützungssystem für das Instandhaltungsmanagement der Bundesfernstraßenbrücken
1996	Carsten Dorn	Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert Prof. Dr. jur. Klaus Vygen	Systematisierte Aufbereitung von Dokumentationstechniken zur Steuerung von Bauabläufen und zum Nachweis von Bauablaufstörungen
1995	Friedo Mosler	Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e.h. Gert König	Wirtschaftliche Instandhaltung von Betonaußenbauteilen
1995	Hermann Kraft	Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e.h. Gert König	Steuerung und Entwicklung von Brückenerhaltungsmaßnahmen
1995	Egbert Keßler	Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert Prof. Dr.-Ing. Thomas Bock	Rationalisierung im Schalungsbau durch Einsatz von Robotern
1994	Boming Zhao	Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert Prof. Dr.-Ing. Volker Kuhne	Ein Verfahren zur Entwicklung eines wissensbasierten Planungssystems für die Terminplanung von Rohbauprojekten im Hochbau
1994	Stefan Plaum	Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Lühr	Umweltrelevante organisatorische Anforderungen an Betriebe der Bauwirtschaft – Lösungsmöglichkeiten, aufgezeigt am Beispiel der Baurestmassenbehandlung
1993	Hellwig Kamm	Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert Prof. Dr.-Ing. Reinhard Seeling	Materialwirtschaftliche Steuerung im Baubetrieb, Analyse und Verbesserung baubetrieblicher Beschaffungsvorgänge
1991	Michael Hölzgen	Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e.h. Gert König	Erhaltungskosten von Brücken
1991	Henning Hager	Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert Prof. Dr.-Ing. Claus Jürgen Diederichs	Untersuchung von Einflussgrößen und Kostenänderungen bei Beschleunigungsmaßnahmen von Bauvorhaben

Jahr	Verfasser	Referent und Korreferent	Titel der Dissertation
1990	Dirk Reister	Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert Prof. Dr. rer. pol. Karl Robl	Entwicklung eines Verfahrens zur projektübergreifenden Personaleinsatzoptimierung
1989	Lothar Ruf	Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert Prof. Dipl.-Ing. Hansjakob Führer	Integrierte Kostenplanung von Hochbauten
1989	Christoph Motzko	Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert Prof. Dipl.-Ing. Klaus Simons	Ein Verfahren zur ganzheitlichen Erfassung und rechnergestützten Einsatzplanung moderner Schalungssysteme
1989	Lothar Forkert	Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e.h. Gert König	Verfahren zur Prognose von Schadensentwicklungen bei einer kostenoptimierten Brückeninstandhaltung
1989	Gerd Bergweiler	Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert Prof. Dr.-Ing. Eberhard Petzschmann	Strukturmodell zur Darstellung und Regeneration von Kalkulationsdaten
1988	Karl Rose	Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e.h. Gert König	Kosten der Erhaltung von Brückenbauwerken
1987	Andreas Lang	Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert Prof. Dr.-Ing. Hans-Gustav Olshausen	Ein Verfahren zur Bewertung von Bauablaufstörungen und Projektsteuerung
1986	Lothar Krampert	Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e.h. Gert König	Der Einfluss von Arbeitseinsatz und Arbeitstakt auf die Kosten von Hochbauten in Ortbeton
1985	Herrmann Keßler	Prof. Dr.-Ing. Eberhard Schubert Prof. Dr.-Ing. Wolfram Keil	Der Plan Soll-Ist-Vergleich mit einem Nachweis zeitvariabler Kostenänderung bei einer Bauzeitverschiebung