

SONDERDRUCK | BETONTECHNIK

Schnelle Wassergehaltsbestimmung am Frischbeton mittels „Eintauchsonde“



IMKO 
MICROMODULTECHNIK GMBH

SONO-WZ der Wasser/Zement-Analysator für Frischbeton

Basierend auf der revolutionären TRIME®-Radartechnik ist es erstmals möglich den Wassergehalt von Frischbeton schnell, präzise und direkt vor Ort zu bestimmen.



Schnelle Wassergehaltsbestimmung am Frischbeton mittels „Eintauchsonde“

Baupraktisch zeigt sich immer wieder, dass der tatsächliche Wassergehalt im Bauteil oft deutlich über dem Soll-Wassergehalt liegt. Fällt dies – meist aus Minderfestigkeiten auf –, streitet man üblicherweise über die Ursache. War der Wassergehalt bereits bei Anlieferung zu hoch oder wurde die Konsistenz auf Wunsch der Baustelle mit Wasser über die Bestellkonsistenz angehoben? Z. B. wenn ein F3-Beton bestellt wurde, der dann nach Pumpe 54 cm haben soll und mit Wasser „flott“ gemacht wird. Dies wäre immer ein „erkennbar zu weicher Beton“, der nach HGB § 377 von der Baufirma nicht eingebaut werden dürfte.

Beim Wassergehalt wird oft nur das Wasser (Eigenfeuchte + Zugabewasser) betrachtet und der Wasseranteil aus Zusatzmittel nicht erfasst. Dieser ist aber bei Zusatzmittelgehalten ab 3 l/m³ üblicherweise zu berücksichtigen.

Dieser Beitrag befasst sich mit der Wassergehaltsbestimmung von Frischbeton mittels Radar-Impulstechnologie und beschreibt aus der Praxis und aus Laborversuchsreihen gewonnene Erfahrungswerte. Es werden Hinweise zur Praxistauglichkeit gegeben und Grenzen dieser Messmethode aufgezeigt.

■ Dr. Jürgen Krell, krell-consult,
Hilden, Deutschland ■

Technische Folgen eines zu hohen Wassergehaltes

Gerade die Konsistenzanpassung des Betons um ca. 8-10 cm im Ausbreitmaß durch unerlaubte Wasserzugabe bedeutet, dass ca. 20 l/m³ (150 l/7,5 m³ Fahrzeug) mehr im Beton sind.

Die technischen Folgen von 20 l/m³ zu viel Wasser im Beton sind für die üblichen C25/30 bis C35/45 Betone:

Festigkeit sinkt deutlich

Verlust an Druckfestigkeit ca. 8 N/mm²,
→ also ist damit der eingebaute Beton i. d. R. unter der Nennfestigkeit f_{ck}

Dauerhaftigkeit wird deutlich schlechter

Gemeint sind Widerstand gegen Karbonatisierung (Korrosionsschutz der Bewehrung), Widerstand gegen Frost, chem. Angriff o. ä., dieser wird deutlich schlechter. In den Regelwerken werden die Expositionsklassen mit w/z-Wert Stufen von 0,05 eingeteilt, durch Zugabe von 20 l/m³ Wasser wird die Dauerhaftigkeit um ein bis zwei Stufen schlechter.

→ also Rosten der Bewehrung, höhere Abwitterungen bei Frost, geringere Oberflächenfestigkeit; ggf. nicht ausreichende Gebrauchstauglichkeit

Schwinden nimmt deutlich zu

Das Schwinden steigt um 0,15-0,20 mm/m, also von z. B. 0,6 auf 0,8 mm/m = +33%.

→ also größere Rissöffnungen (Rissweitenbeschränkung), ggf. bei Wänden oben vertikale Risse und bei Böden/Industriefußböden oben mehr Krakeleerisse

Zusammenhaltevermögen deutlich schlechter

• Bluten

Das Bluten steigt meist auf mehr als das Doppelte. Übliche Blutwassermengen sind 5-8 l/m³.

Bei einer zusätzlichen Zugabe von 20 l/m³ Wasser nach der Daumenregel

„Zusätzliches Bluten = etwa halbe Wassermehrmenge“ = + 10 l/m³.

Das bedeutet von 5-8 l/m³ auf 15-18 l/m³ = + 125 % bis + 200 % Erhöhung der Blutwassermenge.

→ Wasserläufer, stärkere Ausläufer an Undichtigkeiten und mehr Feinkornanreicherung oben (siehe Entmischungen)

• Entmischungen

An der Bauteiloberseite treten mehr Feinkorn- und Wasseranreicherungen auf.

→ Risse im mit Feinkorn/Wasser angereicherten Teil; deutlich mehr Schwinden, auch weit über die o. g. Schwindeerhöhung hinausgehend. Daraus resultieren folgende typische Rissbilder:

- Wände: vertikale Risse in der Wandkrone
- Platten: besonders ausgeprägte Krakeleerisse oben, Absanden, geringe Haftzugfestigkeit

Auch wenn dies alle am Bau Beteiligten wissen müssten, wird die bekannte technische Folge eines erhöhten Wassergehaltes (aus unerlaubter Wasserzugabe) aufgrund der vorliegenden so geliebten besonders weichen Einbaukonsistenz gerne bewusst verdrängt.

Bestimmung des Wassergehaltes auf der Baustelle

Wenn man vorsätzlich den Wassergehalt erhöht hat, ist keiner daran interessiert, diesen (bekannten) zu hohen Wassergehalt zu bestimmen.

Darren

Da die übliche Bestimmung des Wassergehaltes mittels Darren [6] immer 30-45 min dauert, bei Mikrowellendarren ca. 20-30 min, und man für das Entladen wegen des üblichen Ansteifens nicht so lange warten kann, kommt das Ergebnis des Darrens immer nachdem der Beton bereits eingebaut wurde. Dann möchte aber keiner mehr wissen, dass man gerade einen (wie man selbst nachgewiesen hat) „nicht der Sollspezifikation“ entsprechenden Beton eingebaut hat.

Schnellbestimmung/Feuchtesonde

Die Wassergehaltsbestimmung am Frischbeton ist ein sehr altes Thema, unter anderem haben 1980 haben Nägele und Hilsdorf [1] 1980 erläutert, dass eine Schnellbestimmung von Wasser- und Zementgehalt hilfreich für die Qualitätskontrolle von Beton sei. Damals war die Rapid Analyse Machine (RAM) aus den USA in aller Munde. Das seinerzeit ca. 60.000 DM teure Gerät war zu groß und die Messung dauerte mit 10 min auch recht lange. Es hat seine Testphase in mehreren Unternehmen und Forschungseinrichtungen wegen insbesondere „zu spätem Ergebnis“; „zu teuer“ und der „aufwändigen notwendigen Vorabinformationen über den Beton“ nicht überdauert.



■ Jürgen Krell, Dr.-Ing. ist ein pragmatischer Betonfachmann, der nach je 11 Jahren in der Zementindustrie (VDZ-Düsseldorf, zuletzt Abteilungsleiter) und Transportbetonindustrie (Readymix AG, heute CEMEX-Deutschland AG, zuletzt als Generalbevollmächtigter) seit über 14 Jahren sein eigenes Ingenieurbüro betreibt. Gleichzeitig ist er weiterhin in nationalen und internationalen Beton-Gremien tätig. Besondere Leistungen sind das Einbringen seiner nun 36-jährigen Praxis-Erfahrung in Projektbegleitung, Schadensverhütung, Sanierung, Erstellung von Gutachten, Mediation sowie praxisnahe Beratung und Schulung; dabei ist gerade die Schnittstelle zwischen Recht und Technik sein Markenzeichen.

Die Messtechnik ist natürlich in den letzten Jahren nicht zuletzt wegen der inzwischen kleinen und preiswerten Recheneinheiten besser und schneller geworden.

Bei der Messung der Gesteinsfeuchten sind von früher Neutronensonden [1], später kapazitive Sonden und Mikrowellsonden bekannt [2], seit neuerem hat sich die Methode der Radar-Impulstechnologie als robust und zuverlässig erwiesen [3, 4]. Diese Methode der Radar-Impulstechnologie wurde dann auch für Handsonden verwendet, die zur Gesteinsfeuchtemessung in das Schüttgut eingetaucht werden. Als Weiterentwicklung gibt es bei Imko seit 2012 eine Sonde [5], die den Wassergehalt von Frischbeton misst. Nach mehreren Updates der Software und Tests zum richtigen Umgang mit der Sonde, sehe ich die Sonde als gut geeignet an, um den Wassergehalt im Frischbeton schnell abzuschätzen. Die Genauigkeit lag i. W. bei ± 5 l/m³ gegen Darren mit Einzelwerten bis ± 10 l/m³, dabei ist unklar, ob die Abweichung am „ungenauen Darrwert“ oder an der Sonde liegt.

Die Genauigkeit hängt von den Voreinstellungen ab:

- Rohdichte des Frischbetons, da die volumenbasierte Feuchte gemessen wird und auf kg/m³ umzurechnen ist.
- Sieblinie und Größtkorn, da offenbar die Ansammlung von mehr Feinmörtel in den Zwickeln der Gesteinskörnung einen höheren Wassergehalt vortäuscht.

- G-Set: Korrekturwert um Zusatzmittelgehalt und um Anteil der Kernfeuchte des Gesteins als „Kernfeuchte in l/m³ dividiert durch 3“, als Erfahrungswert des Herstellers.

Kurze Fehlerbetrachtung

Rohdichte

Der Fehler in der Rohdichte schlägt 1:1 durch, also bei eingestellt 2,350 kg/dm³ gegenüber IST 2,310 kg/dm³ → Fehler 2 % im Wassergehalt also bei 8 Vol.-% Wasser 188 l/m³ anstelle IST 185 l/m³. Der „Fehler“ ist gering, also reicht es den Wert der Frischbetonrohichte aus der Mischungsberechnung einzugeben und nicht den jeweils aktuellen.

(Achtung diese Aussage gilt zunächst nur für Normalbeton ohne einen nennenswerten Luftporengehalt.

Bei hohen Luftporengehalten, also bei LP-Beton habe ich nur orientierende Messungen, hier scheint das Messergebnis etwas zu hoch zu sein.)

Sieblinie und Größtkorn

Die Sieblinie und das Größtkorn sollen zutreffend eingestellt werden. Würde man AB 16 einstellen, obwohl C8 vorliegt, würde der Wassergehalt um 15 l/m³ unterschätzt, dagegen bei vorliegend A32 um 15 l/m³ überschätzt. Die Abweichungen sind signifikant, daher ist die zutreffende Eingabe wesentlich. Der Sieblinienbereich (meist AB) kann beim Betonhersteller angefragt werden, das Größtkorn steht auf dem Lieferschein.

G-Set

Dies ist eine generelle Korrekturmöglichkeit, um das Gerät auf die jeweilige Betonsorte anzupassen, falls dies erforderlich sein sollte. Der Hersteller empfiehlt, einen Teil der Kernfeuchte (meist 1/3 der Kernfeuchte) als Korrekturwert einzugeben, was sich als Praxistauglich erwiesen hat. Für die Kernfeuchte reicht der Erfahrungswert mit dem regionalen Gestein als Eingabegröße.

Zudem kann hier die Zusatzmittelmenge als Korrekturwert eingestellt werden, um den Messwert mit dem in der Mischungsberechnung üblicherweise angegeben Wassergehalt (aus Eigenfeuchte Gestein + Zugabewasser, aber ohne Zusatzmittel) angezeigt wird.

Wenn also ein Beton kontrolliert werden soll, sind die Einstellungen für diesen Beton einmal vorzunehmen und danach kann der Beton ohne weitere Einstellungen gemessen werden.

Handhabung des Gerätes

Im Rahmen eines Projektes beim VDZ (Verein Deutscher Zementwerke e.V.) zum Bluten von Beton wurden von mir die hergestellten Laborbetone mit dem Gerät gemessen, da für diese Beton der echte Wassergehalt vorlag, weil mit oberflächentrockenen Gesteinen gearbeitet wurde.

Der Beton der Konsistenz F3-F4 wurde im Kunststoffeimer gemessen und verschiedene Eintauchmöglichkeiten getestet, um einen reproduzierbaren Wert zu erreichen. Der Messfühler muss vollständig in den Beton eingetaucht werden, und der Messfühler vollständig mit Beton (ohne Luftblasen) bedeckt sein, damit sich ein reproduzierbarer Messwert einstellt. Das wird erreicht, indem man den Messfühler im Eimer außen am gegenüberliegenden



Abb. 1,2: Durchführung des Messvorgangs mittels Sono-WZ (Radar-Impulstechnologie) an einer Frischbetonprobe

Rand einsticht und dann in einer Bewegung – wie beim Stech-Paddeln – nach innen und gleichzeitig leicht nach oben bewegt (Abb. 1 und 2).

Danach wird der Eimer um ca. 20 cm gedreht (Abb. 3) und die Messung viermal wiederholt. Dabei sollten die Messwerte nicht mehr als $\pm 5 \text{ l/m}^3$ voneinander abweichen.

Dies gelingt gut bei Betonen, die mindestens gut plastisch sind (Ausbreitmaß $\geq 40 \text{ cm}$) und ein gutes Zusammenhaltevermögen aufweisen.

Bei erdfeuchten Betonen bilden sich leicht Lufteinschlüsse am Messfühler, daher ergeben sich stark schwankende und i. d. R. zu geringe und unbrauchbare Messwerte.

Auch bei sehr klebrigen Mischungen (Mehlkorngehalt $\geq 400 \text{ kg/m}^3$ und Wasser $\leq 165 \text{ kg/m}^3$) ist die vollflächige Benetzung der Messfläche – ohne Lufteinschluss – schwierig. Hier ist durch leichtes Hin- und Herbewegen die Luft am Mess-

fühler auszutreiben. Bei Luftblasen ergibt sich ein ungewöhnlich niedriger Messwert, der durch die Taste „Einzelwert löschen“ nicht bei der Mittelwertbildung berücksichtigt wird.

Abb. 4 zeigt einen solchen Beton mit 420 kg/m^3 Mehlkorngehalt und nur 160 l/m^3 Wasser, der extrem „klebt“. Durch schräges Eintauchen und Bewegen konnten reproduzierbare Messwerte (Einzelwerte $156\text{-}165 \text{ l/m}^3$) erzeugt werden und der Mittelwert aus 5 Messungen lag mit 162 l/m^3 nahe dem Sollwert von 160 l/m^3 . Bei den folgenden 5 Chargen (Laborherstellung mit $\text{IST} = 160 \text{ l/m}^3$) lag der Sondenmittelwert im Bereich von $\pm 4 \text{ l/m}^3$ vom Istwert.

Bei sehr stark zum Wasserabsondern neigenden Betonen (hier im Forschungsvorhaben Bluten enthalten) wurde offenbar bei der Bewegung z. T. auch Wasser vor dem Messfühler angereichert, so dass der Messwert stark schwankte und tendenziell zu hohe Wassergehalte angezeigt wurden. Diese Betone setzten schon während des Messens im Eimer sichtbar Blutwasser ab.

Hier schaffte der zusätzliche Kunststoffaufsatz und das modifizierte Messverfahren Abhilfe. Der Messfühler wird dabei am Eimerand in den Beton eingetaucht und mit Messseite zur Eimermitte, mit einer Paddelbewegung bewegt.

Bei Sieblinie AB 16 und Zementgehalten von $300\text{-}350 \text{ kg/m}^3$ mit Wassergehalten von 170 bis 190 l/m^3 , lagen die Mittelwerte aus 5 Messungen (im Eimer; $4 \times 20 \text{ cm}$ gedreht) maximal $\pm 5 \text{ l/m}^3$ vom eingewogenen Gesamtwasser entfernt.

Systematische Messungen im Transportbetonwerk

Im Rahmen der Qualitätsüberwachung wurden die Wassergehalte einer Betonsorte für eine Großbaustelle über einen heißen Tag ab 5:30 bis 21:30 Uhr im TB-Werk kontrolliert.

(Sollwerte: Sieblinie AB 16: $z = 350 \text{ kg/m}^3$
 $w = 175 \text{ l/m}^3$)

Es erfolgten 42 Messungen mit der Sonowz-Sonde mit Werten von 168 bis 205



Abb. 3: Rotation des Eimers um ca. 20 cm nach jedem Messvorgang.



Abb. 4: Bei Betonen mit hohen Mehlkorngelalten, bzw. geringen Wassergehalten ist auf die vollständige Benetzung des Messfühlers besonders zu achten.

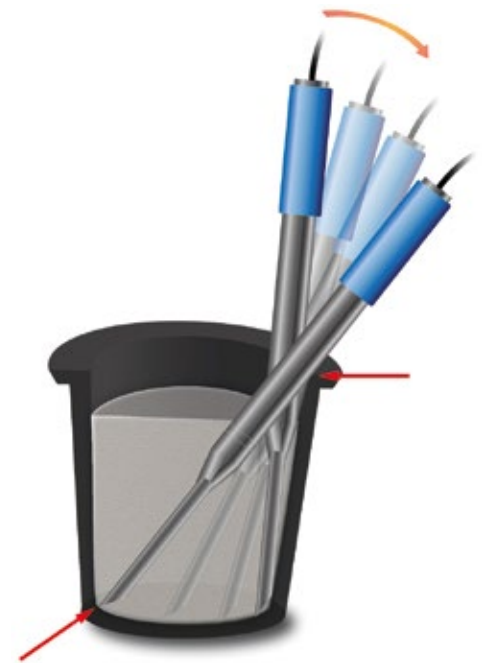


Abb. 5: Messprozedur für Betone weicher als F3

Tabelle 1: Vergleichsmessungen im Transportbetonwerk

	Sono-WZ-Sonde [kg/m ³]	Darren [kg/m ³]	Abweichung [kg/m ³]
	186	193	-7
	189	184	5
	205	205	0
	201	206	-5
	190	185	5
	195	191	4
	191	186	5
	188	187	1
Mittel:	193	192	

Tabelle 2: Vergleichsmessungen Eimer/Schubkarre

Eimer [kg/m ³]	Schubkarre [kg/m ³]
195	196
191	190
188	190

l/m³. Mit eindeutigem Trend, dass ab Frischbetontemperaturen über 26° C hohe Werte gemessen wurden.

8 Messwerte über 185 l/m³ wurden mittels Darren überprüft, dabei ergaben sich folgende Paarungen. (Kernfeuchte = 0 eingestellt).

Die Auswertung zeigt, dass die mittleren Wassergehalte mit 193 und 192 kg/m³ sehr gut zusammenlagen, die Einzelwerte streuten mit -8 bis + 5 kg/m³.

Hier wurde bei drei Messungen vergleichend auch im Schubkarren gemessen, um das Umfüllen in den Eimer zu vermeiden: Tabelle 2 zeigt die Vergleichsmessungen auf. Diese zeigen, dass ein Umfüllen in den Kunststoffeimer hier nicht erfolgen musste.

Messungen im Fertigteilwerk

Hier wurde über zeitweise auftretendes deutliches Bluten an Fundamentteilen mit einer Höhe von 75 cm berichtet. Da das



Abb. 6: Vergleichsmessung in einer Schubkarre

Tabelle 3: Vergleichsmessungen (Sono-WZ im Vgl. zu Darren)

Sono-WZ [kg/m ³]	Darren [kg/m ³]	Differenz [kg/m ³]
203	208	-5
195	191	4
198	204	-6

Bluten im Wesentlichen vom Wasser/Mehlkorn-Verhältnis abhängt, kommen zwei Möglichkeiten in Betracht:

- 1) zu viel Wasser
- 2) zu wenig (oder gröberes) Mehlkorn, dazu gehören Zement, Flugasche und Gesteinskörnungs-Anteil unter 0,125 mm (Sand und abschlämmbare Bestandteile),

Messungen im Werk:

(Sollwerte: Sieblinie AB16: z = 320 kg/m³, f = 40 kg/m³, w = 175 kg/m³, Mehlkorn aus Gestein < 10 kg/m³)

Es erfolgten insgesamt 32 Messungen mit Messwerten für den Wassergehalt von 169 bis 189 kg/m³. Bei den 5 Messwerten über 183 kg/m³ trat erwartungsgemäß deutliches Bluten auf. Ein Messwert lag bei 175 l/m³ und dennoch trat deutliches Bluten auf. Hier zeigte die Analyse der Chargenprotokolle, dass die Flugasche (40 kg/m³) nicht eingewogen wurde; was in diesem Falle die Ursache für das Bluten gewesen sein dürfte.

Einsatz bei Bohrpfahlbeton

(Sollwerte: Sieblinie AB 32: z = 350 kg/m³, f = 50 kg/m³ w = 180 l/m³)

Es erfolgten 30 Messungen. Die gemessenen Werte lagen zwischen 178 und 215 kg/m³, davon 5 Werte über 195 kg/m³. Ab einem Wert von 195 kg/m³ wurde der Beton nicht eingebaut und eine Probe des Betons wurde gedarrt.

Nach den erfolgreichen Vergleichsmessungen wurde das Darren eingestellt und nur noch mit der Sonde gemessen.

Bei zahlreichen Einzelmessungen auf verschiedenen Baustellen konnten Auffälligkeiten hinsichtlich zu weicher Konsistenz oder ungewöhnlich starkem Bluten (erwartungsgemäß) mit der Sonde durch erhöhte Wassergehalte - im Vergleich zu den Sollwerten - nachgewiesen werden.

Allein die Tatsache, dass der Wassergehalt mit der Sonde rasch messbar wird, führte dazu, dass sich alle Beteiligten (zumindest für die Dauer der Anwesenheit des Sachverständigen) mehr Mühe geben, den Soll-Wassergehalt möglichst genau einzuhalten. Das betrifft sowohl den Hersteller als auch die Baustellen, die dann auch bei bestellten F3-Konsistenzen die Betone im unteren zulässigen Bereich von 43-45 cm im Ausbreitmaß ohne Forderung nach zusätzlicher unerlaubter Wasserzugabe einbauen.

Ergebnis

Bislang habe ich systematische Werte nur im Bereich F3 bis F5 für die überwiegend gefahrenen Sieblinie AB16 mit üblichem Luftgehalt gemessen. Die Werte stimmen zuversichtlich, dass hier bei diesen Betonen eine Genauigkeit von ca. ± 5 kg/m³ gegenüber IST-Wasser zu erwarten ist. Bei LP Beton scheint ein zu hoher Wassergehalt detektiert zu werden.

Hinweis

Bei Stahlfasern oder metallischen Zuschlägen funktioniert das Messverfahren nicht, da das Metall als „Wasser“ gewertet wird! Versuche an Betonen mit Kunststofffasern habe ich noch nicht durchgeführt. Bei Betonen mit Silika-Slurry und hohen Zementgehalten liegen meist sehr hohe Zusatzmittelgehalte von 5-7 kg/m³ vor, die entsprechend im G-Set zu berücksichtigen sind, da der Messwert üblicherweise mit dem angegebenen Wassergehalt aus der Rezeptur (= Feuchte + Zugabewasser ohne Zusatzmittel) verglichen wird.

Die Ergebnisse zeigen, dass eine signifikante Wassergehaltsüberschreitung (> 10 l/m³) mit den negativen oben dargestellten technischen Folgen, sofort erkannt wird!

Da Qualität nicht erprüft, sondern nur hergestellt werden kann, muss ein als überwässert erkannter Beton entsorgt werden und die Ursachen für den zu hohen Wassergehalt gesucht und durch entsprechende Steuerungsmaßnahmen abgestellt werden.

Fazit

Die hier eingesetzte Sonde (Sono-WZ der Firma Imko) ist ein hilfreiches Tool für mich als Gutachter zum schnellen Erkennen eines erhöhten Wassergehalts im Beton. Es bietet damit Möglichkeit, den Ursachen hierfür nachzugehen, um diese zielsicher abzustellen. Nebenergebnis: Wenn ich mit dem Gerät an der Produktionsstelle oder Einbaustelle auftauche, ist sofort ein höheres Qualitätsbewusstsein und Qualitätsbemühen bei den Beteiligten zu erkennen.

Literatur

- [1] Nägele, E. und H.-K. Hilsdorf, „Die Frischbetonanalyse auf der Baustelle“ Beton 4/1980 s. 133-138; ebenso Forschungsinstitut der Zementindustrie, Betontechnische Berichte 1980/81
- [2] Klaus, K.: Bestimmung des Wassergehalts von Schüttgütern --Vor- und Nachteile elektronischer Messverfahren, BFT 12/2005
- [3] Vor- und Nachteile von Feuchtesonden; Steine+ Erden, Heft 1/2011
- [4] VDB-info 115/2012, Berichte aus den Regionalgruppen
- [5] Merkblatt für die Handhabung von SONO-WZ , IMKO Jun 2015
- [6] DBV-Merkblatt: Besondere Verfahren zur Prüfung von Frischbeton, Januar 2014

WEITERE INFORMATIONEN

krell-consult
Aus Wissen wird Nutzen

krell-consult
Am Strauch 86
40723 Hilden, Deutschland
T +49 2103 895946
F +49 2103 895947
info@krell-consult.de
www.krell-consult.de

IMKO 
MICROMODULETECHNIK GMBH

IMKO GmbH
Im Stück 2
76275 Ettlingen, Deutschland
T +49 7243 59210
F +49 7243 592140
info@imko.de
www.imko.de