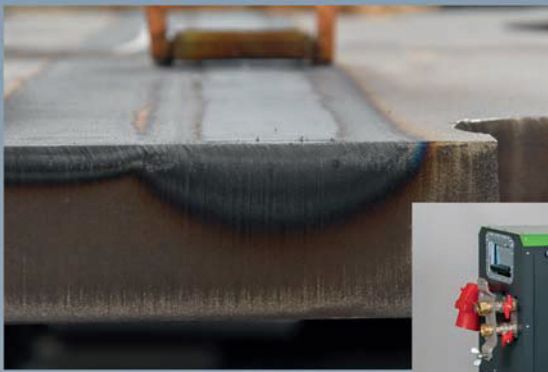


Das Magazin für Schweißtechnik und mehr

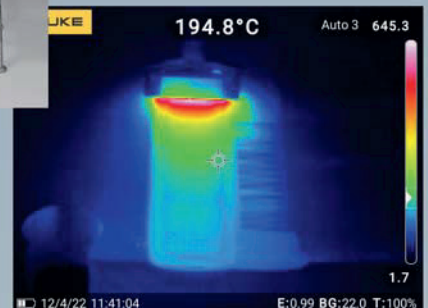
Schnell, prozesssicher, materialschonend:

Richten im schweren Stahlbau



Tiefeninduktion:

- Leistungsstark
- Energieeffizient
- Kaum Lärm
- Keine Blendung
- Reproduzierbar und risikoarm wärmen
- Keine unkontrollierbar davonlaufenden Oberflächentemperaturen
- Minimalinvasiv: Richteffekt ohne Warten
- Ferrite, Austenite, Duplex, Vergütungsstähle,...



Sicherer Umgang mit der HF-Zündung:

Elektrische Gefahren beim WIG-Schweißen

Seite 210

Gasflaschen, Flaschenbündel oder Großtank?

Richtige Versorgung mit technischen Gasen zum Schweißen

Seite 213

Schweißzusatz der Zukunft oder schon der Gegenwart?

MSG-Schweißen mit Fülldrahtelektroden im Stahlbau

Seite 216

THERMISCHES RICHTEN IM SCHWEREN STAHLBAU MIT TIEFENINDUKTION

Neue Möglichkeiten

Thomas Vauderwange, Offenburg

Erinnern Sie sich an den Richtworkshop „Flammrichten vs. Induktionsrichten“ in Düsseldorf im April 2016? DVS Media hatte die zwei Methoden des thermischen Richtens auf ein Podium geholt und im Vergleich dargestellt. Damals war man sich einig, dass das Richten mit Tiefeninduktion für Blechdicken unter 50 mm eine gute Alternative sei. Heute ist man wesentlich weiter.



▲ Bild 1. So hat alles angefangen: Richten mit einem Induktor mit 30 mm Feldverstärkerlänge.

Wie im Beitrag zum thermischen Richten von Chromnickelstahl („Der Praktiker“ 1-2/2022) dargestellt wurde, ist das Richten mit veränderter Ausdehnung mit Tiefeninduktion als Wärmequelle in einem Punkt deutlich anders als mit der Flamme (oder beispielsweise Resonanzinduktion), da aufgrund nicht nur

oberflächlich erzeugter Wärme weniger Oberflächentemperatur und erheblich weniger Gesamt-Wärmemenge erforderlich ist. Mit Stand von 2016 war das mit der damals verwendeten Induktorform mit Feldverstärkerlänge 30 mm (Bild 1) vorteilhaft nutzbar für Blechdicken im Bereich unter 20 mm – mit etwas Geduld und geschickter Anwendung aber auch bis 50 mm. Nur um zu verstehen, was damit schon möglich war, lohnt ein Blick in das erste der mit QR-Code am Ende des Beitrags verlinkten Videos. Dort wird an einem 8-mm-Blech aus S355 mit Verzug durch eine Schweißnaht auf der Unterseite das „minimalinvasive Richten“ in Reinkultur gezeigt. Die Bewegungsgeschwindigkeit betrug etwa 150 cm/min – kein Herunterspannen zur Dehnungsbehinderung, kein sichtbares Glühen, kein Warten auf eine Abkühlung. Mühsam wurde es mit zunehmender Blechdicke – und bei „festgeschweißtem Verzug“, beispielsweise, wenn bei mehrlagiger Schweißnaht die erste Naht das Maximum an Verzug erzeugte und die folgenden Lagen das Bauteil quasi in der falschen Position „festschweißen“.

Schon damals war klar geworden, dass die Führung des Feldverstärkers quer zur Naht – und damit mit maximaler Breite – deutlich mehr Richtwirkung zeigte als ein Nachahmen

des Brenners in Form eines längs des Richtstrichs gezogenen Feldverstärkers. Dementsprechend lag der Gedanke nahe, die Feldverstärkerlänge zu vergrößern. Außerdem wurde die Anschlussgeometrie so verändert, dass der Benutzer quasi intuitiv richtig den Feldverstärker quer führt. Da die Anregung zu dieser Bauart aus den ersten schweißrobotergeführten Anwendungen resultierte, heißt dieser Typ bis heute „Robbiduktor“. Allen „Robbiduktor“-Varianten sind eingelassene Keramiktiele gemeinsam, die einen definierten Abstand zum Werkstoff und einen vollständigen Schutz gegen Zündstellen auf dem Werkstück sicherstellen.

Hier kommt eine Besonderheit der Tiefeninduktion als Festfrequenzinduktion ins Spiel. Während sich die sonst verwendete Resonanzinduktion automatisch an jedwede Induktorgeometrie anpasst, ist hier das Einhalten einer gewissen Schwingkreis-Abstimmung erforderlich. Während der Schritt von 30 mm auf 45 mm noch ohne Eingriff in den Inverter sehr gute Ergebnisse lieferte – mit viel mehr Richteffekt, teilweise sogar an „festgeschweißtem Verzug“ –, war eine weitere Vergrößerung der Feldverstärkerlänge (Bild 2) nur mit Einführung einer umschaltbaren, internen Abstimmung möglich.



▲ Bild 2. Die Evolution der Feldverstärkerlänge und damit des Richteffekts an dicken Blechen: die „Robbiduktor“-Serie mit 45 mm (a), 60 mm (b) und 120 mm (c) langem Feldverstärker



▲ Bild 3. Nach dem Zuschnitt aus einem 60 mm dicken Blech die unschöne Überraschung: links fast 9 mm Verzug

Wodurch entstand der Verzug?

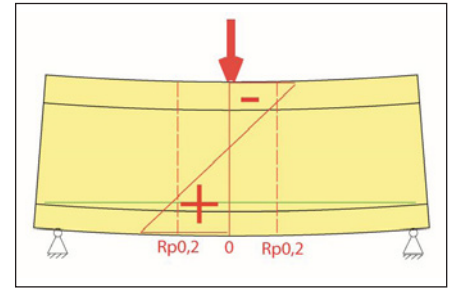
Und hier nun ein Blick auf die Anwendung der größeren Feldverstärkerlänge zum Richten dickerer Bleche. Der Lokaltermin zur Aufnahme der Bilder und Videos führt in die Fertigungshallen der Universal Eisen und Stahl GmbH – ein Unternehmen der Salzgitter Gruppe – in Hannover. Das Unternehmen versteht sich als umfassender Zulieferer im Bereich Zuschnitt und Anarbeitung von Stahlblechen. Die Richtaufgabe ist im schweren Stahlbau alles andere als ungewöhnlich: Aus einer Tafel (Werkstoff ist hier ein S355J2+N der Dicke 60 mm), die hinreichend eben war, wurde nach Kundenzeichnung durch autogenes Brennschneiden die in **Bild 3** sichtbare Kontur herausgeschnitten, die in einem großen Wärmetauscher verbaut werden soll.

Noch ganz ohne Vergrößerung ist zu erkennen, was passiert ist. Nur durch den Schneidprozess ist auf dem linken halben Meter ein erheblicher Verzug entstanden. Die leichte Delle von 2 mm in der rechten Mitte wäre sogar innerhalb der Spezifikationen und bedarf zunächst keiner weiteren Beachtung. Wodurch entstand nun dieser Verzug? Sosehr auch klar sein muss, dass ein thermischer Trennprozess ein gewisses Schrumpfungspotenzial hat, wird sich das doch eher an dünnem Blech auswirken. Das Lüftungsgitter des Tiefeninduktionsgeräts links im Bild ist übrigens genau so ein Fall. Mit Laserstrahl geschnitten, wirft sich das Blech sehr stark, was der Grund ist, warum es seither als Wasserstrahlschnitt ausgeführt wird.

Wäre der thermische Schnitt ursächlich für den Verzug, dann fände sich dieser über den ganzen Zuschnitt verteilt und nicht wie hier sehr lokal. Was kommt dann als Grund in Frage? Das Thema sind Eigenspannungen.

Das Blech wurde gewalzt, also umgeformt, und das mit der Formänderung ist so eine Sache. Eine Formänderung kommt dann zustande, wenn eine für die Formänderung ursächliche Spannung die Streckgrenze des Werkstoffs überschreitet – denn so ist die Streckgrenze schließlich definiert.

Hier lohnt sich aber ein genauerer Blick. **Bild 4** stellt die Situation einer Formänderung durch Biegung dar. Betreffend der für eine



▲ Bild 4. Biegespannung resultiert aus einer Zugspannungskomponente auf der Unterseite und Druckspannung auf der Oberseite. Aber wie groß ist der Anteil des Querschnitts, der wirklich über die Streckgrenze gebracht wurde?

Formänderung relevanten Effekte wird die Biegespannung wirksam durch eine Zugspannung (+) auf der Unterseite und eine Druckspannung (-) auf der Oberseite. Zwischen den Maximalwerten ganz oben und ganz unten ergibt sich ein Spannungsverlauf, der in der Mitte (der „neutralen Faser“) auf jeden Fall sogar den Nullpunkt durchläuft. Insofern ergibt sich die spannende Frage: Wann behält die zunächst elastische Verformung einen



◀ Bild 5. Verzugsmessung vor dem Richtvorgang: 8,2 mm zwischen dem Richtscheit und dem Werkstück



▲ Bild 6. Das Werkstück wird so weit außen gelagert, wie das noch sicher möglich ist. Die durch das Eigengewicht entstehenden Druckspannungen an der Oberfläche helfen.



◀ Bild 7. Als Vergleichsreferenz zieht Andreas Graff von Hand einen Richtstreifen quer über das Bauteil...



◀ Bild 8. ...und erreicht damit zwar etwas Richteffekt (1 mm), aber für die Aufgabe zu wenig.

plastischen Anteil zurück? Wenn der Maximalwert am Rand über der Streckgrenze liegt? Ganz sicher nicht. Ebenso wenig wie „die Spannung muss auf dem kompletten Querschnitt die Streckgrenze überschreiten“ – denn in der neutralen Faser wird es dazu nie kommen.

Insofern kommt man zu der Einsicht, dass es zu einer plastischen Verformung dann kommen wird, wenn ein genügend großer Anteil des Querschnitts über die Streckgrenze gebracht wird – so weit, so klar. An der Stelle ergibt sich aber die Frage, was in dieser Situation mit dem Rest des Querschnitts ist: der Anteil, der an sich unter einer elastischen Verformung steht und zurück in die Ausgangsform möchte? Dort können Eigenspannungen bis kurz unter der Streckgrenze des Werkstoffs vorliegen. Warum so viel, aber nicht mehr? Wäre es mehr, wären die Spannungen ausplastifiziert. Und dass die Spannungen durchaus so hoch sein können, erklärt sich aus dem selben Mechanismus. Ein gewisser Teil des Querschnitts war im Augenblick des „Nachgebens“ kurz davor, selbst die Streckgrenze zu erreichen, und ist in dieser Zwangslage fixiert. Im

Fall einer Blechtafel, bei der die letzten Walzschnitte und ein eventuelles Nachrichten bei niedrigen Temperaturen erfolgten, hält die in einem Spannungsgleichgewicht fixierte Geradheit der Oberfläche eben nur so lange, bis man Teile der Struktur herauschneidet und sich ein neues Gleichgewicht bildet. Das Ergebnis kann – wie in diesem Fall – durchaus spektakulär sein. Die Vergrößerung in **Bild 5** zeigt, dass wir es mit 8,2 mm Verzug zu tun haben.



▲ Bild 9. Die Thermografie zeigt, warum das Verfahren so viel Eigendehnhinderung hat: Der größte Teil der Richtnaht ist jeweils noch oder schon wieder bei einer Temperatur, bei der eine relativ hohe Festigkeit vorliegt.

Richteffekt von Verfahrensgeschwindigkeit abhängig

Wie wird so ein Verzug durch thermisches Richten mit veränderter Ausdehnung bearbeitet? Vorbereitung ist wichtig. Ob man es glaubt oder nicht, die Lagerung des Bauteils mit den zwei Lagerböcken so weit wie möglich außen (**Bild 6**) ist von entscheidender Bedeutung. Denn allein durch das Eigengewicht ergibt sich auf der Oberseite, an der geschrumpt werden soll, eine gewisse Druckspannung, die beim Erzielen der Richtwirkung gute Dienste leisten wird.

Der erste Schritt besteht darin, die höchste Stelle zu identifizieren, in diesem Fall die einfach zu sehende Linie, ab der der Werkstoff quasi nach unten abbiegt. Ein Kreidestrich, schön gerade, entlang dieser Linie markiert die Arbeitsstelle. Beim Flammrichten würde der Mitarbeiter auf der Oberseite auf dieser Linie drei bis fünf kreisrunde Flecken glühen und mit der Flamme so lange heizen, bis die Glut ein gutes Stück ins Bauteil gezogen ist. Zusätzlich legt die Erfahrung nahe, am tiefsten Punkt weiter rechts einen weiteren, großen Fleck von unten her ins Werkstück zu glühen.

In diesem Fall nimmt unser Anwender, Andreas Graff, zunächst einen Versuch mit einem von Hand geführten 60-mm-Induktor vor (**Bild 7**), zu sehen auch in dem Video hinter dem zweiten QR-Code im Kasten am Ende des Beitrags. Der Induktor wird langsam über das Bauteil gezogen, sodass eine Glutspur – und damit auch eine blaue Anlassfarbenspur – hinterlassen wird. Sieht man den Anwender über das Bauteil gebeugt, so wundert man sich: Ist das nicht viel zu heiß? Die Thermografie in **Bild 9** zeigt, warum das kein allzu großes Problem ist. Innerhalb relativ kurzer Zeit fällt die Temperatur aufgrund der nicht allzu großen Gesamtwärmemenge auf erträgliche Werte ab.

Wie immer beim Richten mit Tiefeninduktion besteht keine Notwendigkeit zu warten, der erzielbare Effekt tritt anders als beim Flammrichten sofort ein – allerdings bessert sich die Situation nur um 1 mm (**Bild 8**). Bei der Ansicht von der Schnittkante her bekommt man einen ungefähren Eindruck von der zu erreichenden Tiefe. Graff, gelernter Bauschlosser, der seit 17 Jahren bei Universal arbeitet, berichtet: „Über die Strecke geht es ganz schön in die Arme, so langsam vorgehen zu müssen.“ Dabei hat der Versuch gezeigt, dass die Verfahrensgeschwindigkeit eher noch zu schnell war.

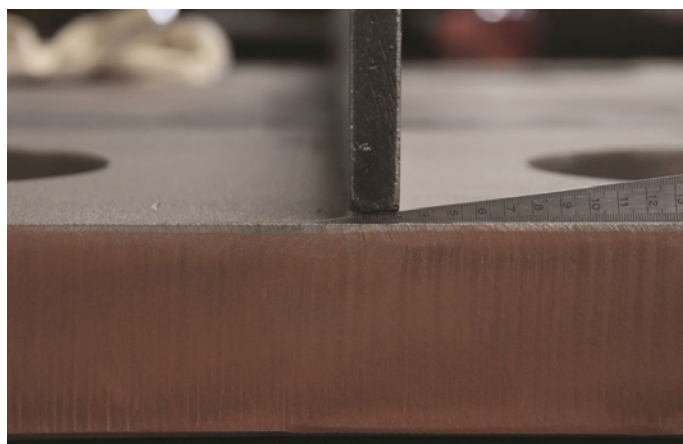
Das deckt sich mit den Beobachtungen aus den letzten zehn Jahren: Sobald das Werkstück dick wird, ist das Richten von Hand mit Tiefeninduktion eher mühsam. Bei Universal ist man jedoch ausgestattet – und damit geht der Anwender zum besseren Ansatz für dicke Bleche über und montiert das Griffstück des Induktors an einen kleinen Schweißtraktor. Damit dieser die komplette Breite des Werkstücks überfahren kann, wird als Hilfsmittel ein Blech so über das Werkstück gelegt, dass der Traktor die nötige Bewegungsfreiheit bekommt – und schön gerade fährt. Wenn die Dicke dieses Fahrblechs groß genug ist, braucht es aufgrund des Eigengewichts nicht einmal eine weitere Fixierung auf dem Werkstück. **Bild 10** zeigt den Aufbau. Die Ansteuerung des Tiefeninduktionsgeräts erfolgt dabei durch ein spezielles Verbindungskabel über den Traktor. Dieser hat zwischen den Rädern einen starken Zugmagneten und ist akkubetrieben.

In diesem Fall stellte unser Anwender die Fahrgeschwindigkeit auf 4 cm/min ein. Damit dauert es in etwa 20 min, um den kompletten Richtstrich herzustellen – allerdings ohne Benutzereingriff. Im Nachhinein stellte sich dabei heraus, dass der manuelle Richtstrich eine Geschwindigkeit von etwa 20 cm/min hatte, also der Richteffect wirklich wegen zu hoher Fahrgeschwindigkeit zu gering war. Das Video hinter dem dritten QR-Code in dem Kasten am Ende des Beitrags zeigt das Aufbringen des Richtstrichs mit dem Traktor. Das Ergebnis kann sich sehen lassen. Wiederum vergeht zur Abkühlung nur so viel Zeit wie es braucht, um Traktor und Führungsblech aufzuräumen. Richtscheit und Lehre verraten uns: nur noch etwa 3 mm Verzug (**Bild 11**). Dieser Richtstrich ist das, was man sich als Verfahren merken und hoffentlich in Form einer Wärmeanweisung (HPS) dokumentiert.

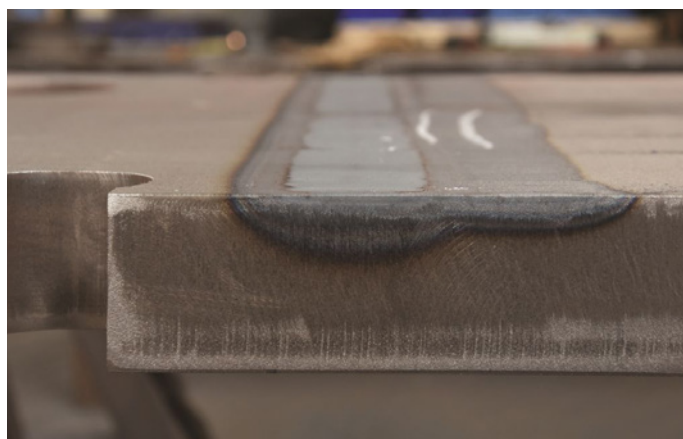
Der direkte, bildliche Vergleich der zwei Richtstriche in Tiefenrichtung auf der Kante (**Bild 12**) verdeutlicht auch, warum der manuelle Strich nicht so richtig gezogen hat: Es war mehr Energie notwendig, die man nur über eine langsamere Verfahrgeschwindigkeit erzielt. Für den letzten „Schub“ sorgt jetzt noch ein kürzerer Richtstrich, ausgeführt wiederum mit dem Traktor, der auf 8 cm/min eingestellt wird – also doppelt so schnell wie beim vorhergehenden Richtstrich. Das Ergebnis überzeugt: nur noch 1,6 mm Verzug und damit alles in der Toleranz (**Bild 13**). In Wirklichkeit hätte man



◀ Bild 10. Handelsüblicher Akku-Magnet-Schweißtraktor mit passender Aufnahmevorrichtung für das Induktorgriffstück, einem Ansteuerkabel für das Tiefeninduktionsgerät und Führungsschienen für einen geraden Richtstrich



◀ Bild 11. Das hat jetzt richtig viel gebracht: nur noch 3 mm Verzug übrig.



◀ Bild 12. Ein Blick auf die Kante zeigt den Unterschied zwischen dem manuellen Richtstrich (rechts) und dem, der mit dem Traktor erzeugt wurde (links).

sich natürlich den manuellen Strich gespart und wäre mit zwei Traktorstrichen ausgekommen. Damit ergibt sich eine effektiv erforderliche Gesamtwärmezeit von 30 min.

Bruchteil der Energie nötig

„So lange wäre der Brenner mindestens auch an gewesen“, sinnieren Graff und sein Kollege. „Aber dann hätten wir nach jedem Durchgang eine Stunde auf das Abkühlen warten müssen.“ Dass im Bauteil verglichen mit

dem Flammrichten nur ein Bruchteil der Energie benötigt wird, ist speziell im Sommer zu merken. Denn dass die hineingeheizte Wärme wieder irgendwo herauskommt, ist eine Binsenwahrheit. Dass das Tiefeninduktionsgerät bei seiner Arbeit im Vergleich zum Brenner kaum Lärm macht, fällt in der Anarbeitungshalle hingegen weniger auf. Immerhin fallen aber Blendung und Abgase weg. „Am Anfang war man schnell dabei, wieder zur Flamme zu greifen, als noch nicht klar war, was man mit



◀ Bild 13. Zwei Richtstriche mit dem Traktor und der manuelle Strich, den man sich hätte sparen können: Graff ist zufrieden mit dem Ergebnis.



▲ Bild 14. Dipl.-Bauing. Konstantinos Zipitas, Leiter Walzbetrieb bei Universal



▲ Bild 15. Die hier beschriebenen Richtarbeiten wurden mit dem Tiefeninduktionsgerät „VauQuadrat V4“ der Firma Universal Stahl mit bis zu 18 kW Induktionsleistung ausgeführt (Stromanschluss: 3 × 400 V/32 A inklusive Wasserkühlung). (Bilder: Zipitas (14), VauQuadrat GmbH)

dem Gerät zusammen mit dem Traktor alles anfangen kann“, berichtet Graff. Jetzt, nach zwei Jahren Anwendung, ist die Nutzung der Technologie Routine.

Konstantinos Zipitas (Bild 14), Leiter Walzbetrieb bei Universal, geht auf die Strategie ein, die zur Einführung der Tiefeninduktionstechnik bei Universal geführt hat: „Bei uns steht reproduzierbare Qualität im Vordergrund. Wenn man sich anschaut, wie einfach und gleichmäßig mit dem Traktor so ein Richtstrich aufgebracht ist, versteht man auch, warum das mit der Tiefeninduktion bei uns als Investition in die Zukunft verstanden wird. Dass es damit wesentlich einfacher wird, den Mitarbeitern das thermische Richten beizubringen, hilft natürlich. Und das mit dem wesentlich geringeren Energieverbrauch im Vergleich zur Flamme rückt in den heutigen Zeiten auch allmählich ins Bewusstsein.“

Apropos Energieverbrauch: Der Acetylenbrenner, mit dem vergleichbare Richtarbeiten durchgeführt werden, hat einen Acetylendurchsatz von 4 m³/h, dazu die ähnliche Sauerstoffmenge. Damit erzeugt er eine Brutto-Flammlistung von etwa 64 kW. Das Tiefeninduktionsgerät (Bild 15) hatte für die Zeit des Richtwärmens eine durchschnittliche Leistungsaufnahme aus dem Stromnetz von 17 kW – inklusive des Strombedarfs für den Wasserkühler. Ausgehend von einer in etwa gleichen aktiven Wärmezeit, kommt man zu einem Mehr-Leistungsbedarf im Verhältnis 3,75:1 – entsprechend höher ist die Menge an Abwärme in der Halle. Da davon auszugehen ist, dass die kWh mit Acetylen-Sauerstoff erzeugter Wärmeenergie etwas mehr als das Doppelte einer kWh Strom kostet, ist das Gesamt-Energiekostenverhältnis für die Richtaufgabe in etwa 10:1.

Hierbei ist klar, dass die absoluten Zahlen zwischen einem kleinen Metallbaubetrieb und einem Großverbraucher sich stark unterscheiden. Das reine Zahlenverhältnis ist aber über die Betriebsgrößen und vor allem über die Jahre sehr ähnlich geblieben. Wer Gase wegen Großmengen günstig einkauft, hat üblicherweise auch einen wesentlich günstigeren Stromtarif. ■



Dipl.-Ing. Thomas Vauderwange
MBA (SFI/IWE),
Geschäftsführer, VauQuadrat
GmbH, Offenburg,
tv@vauquadrat.com

INFO

Links zu den Videos

Das bewegte Bild ermöglicht eine bessere Vorstellung vom Richten mit Tiefeninduktion – einfach den QR-Code mit dem Smartphone scannen.

