



ZUR PERSON

Die Entdeckung des „Dropleton“ waren ein Gemeinschaftsprojekt: Die experimentellen Arbeiten wurden in der Gruppe von Prof. Steven Cundiff an der Universität von Colorado in Boulder/Colorado durchgeführt. Dabei konnten die wissenschaftlichen Mitarbeiter Andrew Almand-Hunter und Hebin Li ein ungewöhnliches Verhalten in der optischen Antwort des untersuchten Halbleitermaterials beobachten. Motiviert durch zahlreiche gemeinsame Arbeiten zu verwandten Themen diskutierte Prof. Cundiff die neuen, unverständlichen Befunde mit seinen Marburger Kollegen Prof. Stephan Koch und Mackillo Kira. In einer Serie von wissenschaftlichen Publikationen und in ihrem vor zwei Jahren erschienenen Textbuch „Semiconductor Quantum Optics“ haben Koch und Kira einen neuen Theorierahmen für die theoretische Beschreibung der Quanten-Laserspektroskopie entwickelt. An dieser Thematik arbeitet der Doktorand Martin Mootz, der gerade dabei ist, in der Arbeitsgruppe „Theoretische Halbleiterphysik“ seine Dissertation fertigzustellen. Durch systematische Anwendung der Theorie und durch ausgedehnte numerische Analysen gelang es ihm, die experimentellen Befunde zu reproduzieren. Dadurch wurde dann das Dropleton als neues Quasiteilchen in Halbleitern identifiziert. Dieser Erfolg war letztendlich nur durch die detaillierte Zusammenarbeit zwischen Theorie und Experiment möglich.



Die Marburger Physik-Professoren Stefan W. Koch (l.), Mackillo Kira und ihr amerikanischer Kollege Steven Cundiff.

HINTERGRUND

Atommodell

Das Bohrsche Atommodell ist das erste weithin anerkannte Atommodell, das Elemente der Quantenmechanik enthält. Alle Stoffe und Materialien bestehen aus winzigen Atomen, beziehungsweise Gruppen von Atomen, sogenannten Molekülen. Atome bestehen bei diesem Modell aus einem schweren, positiv geladenen Atomkern und leichten, negativ geladenen Elektronen, die den Atomkern auf geschlossenen Bahnen umkreisen. Das Bohrsche Atommodell ebnete den Weg zum Verständnis des Aufbaus der Atomhülle. Die anschauliche Vorstellung von Elektronen, die den Atomkern umkreisen wie Planeten die Sonne, hat für Jahrzehnte das populäre Bild von Atomen geprägt.

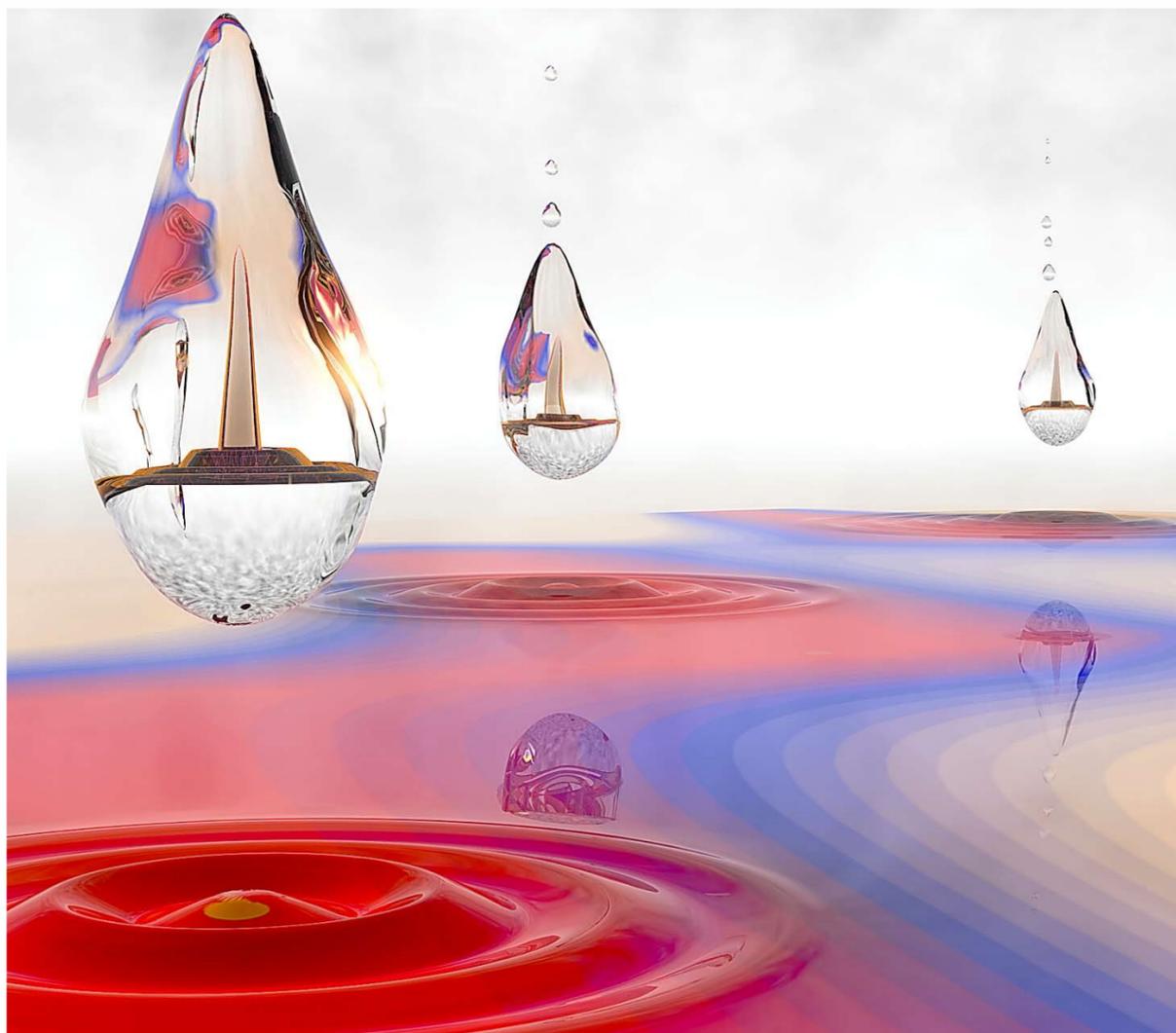
DAS THEMA



Die Überschrift lautet: „Aus Licht erzeugte ‚Quanten-Droplets‘ – treffen Sie das neue Quasiteilchen“. So kündigt die Nature – eine der renommiertesten Wissenschaftszeitschriften weltweit – die Entdeckung der Marburger Wissenschaftler und ihrem Forscher-Kollegen aus Colorado an. Die abgebildeten Figuren, die aussehen wie Wassertröpfchen, bilden die Bindungsenergie der Dropletons als Funktion der absorbierten Photonenzahl (Lichtteilchen).

Foto: Phillips-Universität Marburg

„NATURE“-TITELSEITE: FORSCHER AUS MARBURG FEIERN



Vom Sonnenstrahl zum Quasi-Tröpfchen

Marburger Physiker haben ein weltweit beachtetes Teilchen entdeckt · OP erklärt das „Dropleton“

Marburger Physiker feiern: Ihr neu entdecktes Quasiteilchen namens Dropleton wird in der wichtigsten Wissenschaftszeitschrift der Welt auf dem Titelblatt vorgestellt. Aber was ist ein Quasiteilchen?

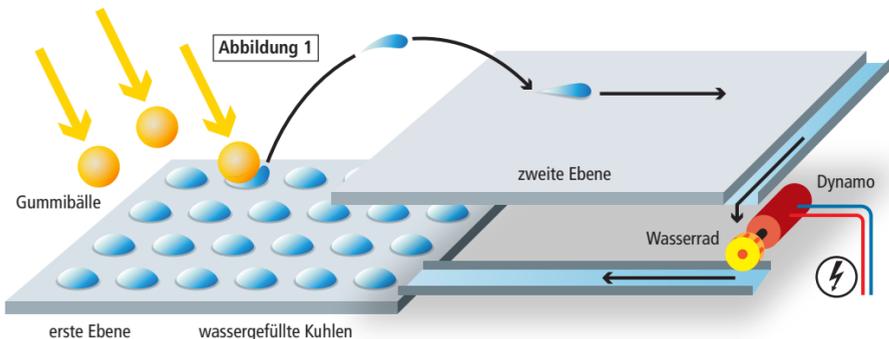
Fortsetzung von Seite 1
von Tim Gabel
Infografik: Nikola Ohlen

Marburg. Streng genommen ist ein Quasiteilchen eigentlich kein Teilchen, sondern „eine Anregung innerhalb eines Materials“ sagt Physik-Professor Stefan Koch. „Ausgelöst zum Beispiel durch einen Laser oder einfach durch Sonnenlicht“, so Koch. In seiner Marburger Arbeitsgruppe Halbleitertheorie hat er zusammen mit dem Physiker Mackillo Kira jetzt ein recht großes Quasiteilchen entdeckt. Eine Leistung, auf die man stolz sein kann, die aber oft unverständlich bleibt.

Um das Quasiteilchen zu kاپieren, fängt man am besten ganz oben an: bei der Sonne. Bei rund 15 Millionen Grad Celsius verschmelzen im Inneren der Sonne Atomkerne miteinander. Das erzeugt so viel Energie, dass die Strahlung, die die Sonne bis zur Erde schickt, sogar hier unten noch so einiges anrichten kann. Das merkt man zum Beispiel, wenn man beim Strandurlaub die Sonnencreme im Hotel vergisst.

Sonnenbrand trotz 149 600 000 Kilometern

Trotz 149 600 000 km Entfernung von der Erde zur Sonne, also ungefähr der Strecke von dreieinhalb Millionen Marathonläufen, gibt das böse Verbrennen, statt brauner ziemlich rote Haut. Auch die Wärmeleistung der Sonne ist enorm. Schon mal



die Motorhaube eines schwarzen Autos nach mehreren Stunden Sonneneinstrahlung angefasst? Aua. Guckt man genauer hin, entdeckt man, dass daran die Lichtteilchen Schuld sind, die sogenannten Photonen. Diese dringen in die Motorhaube ein. Nein, nicht in den Motorraum, hier ist wirklich die Motorhaube, also das Blech gemeint. In dem Metall sorgen die Photonen für eine Art Reibung. Das hat damit zu tun, dass sie die Elektronen (siehe Erklärkasten Atommodell) in Bewegung versetzen und durch deren Reibung Wärme entsteht. Zur Elektronenbewegung aber später mehr. Wichtig ist: Die Sonne kann aus ungeheurer Entfernung ungeheuer viel auf der Erde anrichten.

Der Mensch muss sich aber von ihr nicht nur verbrennen lassen, er kann ihre Kraft auch ganz sinnvoll nutzen: Zum Beispiel, indem man aus den Sonnenstrahlen Strom erzeugt.

Das ist gerade ein riesiges Thema. Denn im Zuge der Energiewende versucht Deutschland, seinen Strom nicht mehr durch luftverpestende Kohlekraftwerke oder gefährliche Atommeiler herzustellen, sondern durch saubere und sichere Kraftwerke. Da spielt die Windkraft eine wichtige Rolle und eben die Solarenergie. Der Strom aus Wind und Sonne ist nicht nur sauber, sondern auch völlig umsonst, wenn man nur auf die Rohstoffe schaut. Und zwar so lan-

ge, wie die Sonne existiert, also noch ein paar Milliarden Jahre. Versteht man die Funktionsweise einer Solarzelle, dann ist man schon relativ dicht dran am Quasiteilchen. Allerdings ist auch die Solarzelle schon relativ kompliziert zu durchschauen, muss man doch für deren Verständnis in extreme Tiefen höherer Physik eintauchen.

Man stelle sich eine Kuhle mit Wasser vor

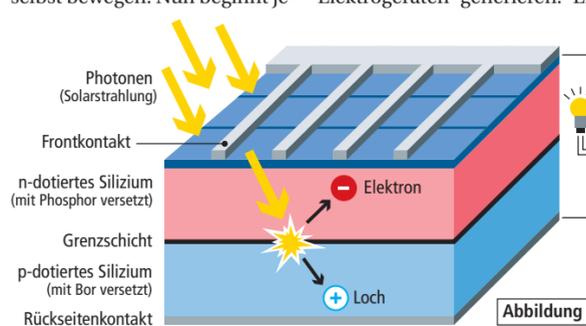
Ein kleines übertragenes Modell, das in **Abbildung 1** dargestellt ist, soll hier helfen, das Prinzip der Solarzelle zu verstehen. Man stelle sich hierzu zwei waagerechte Ebenen vor. Die zweite Ebene liegt ein wenig höher als die erste.

In der ersten Ebene befindet sich eine Vielzahl von Kühlen, also kleinen Löchern, die randvoll mit Wasser gefüllt sind. Das Wasser kann sich hier nicht von selbst bewegen. Nun beginnt je-

mand, kleine Gummibälle auf die erste Ebene zu werfen. Trifft ein Ball in eine Kuhle, spritzt das Wasser nach oben und gelangt so auf die zweite Ebene. Hier befinden sich keine Kühlen, die das Wasser aufhalten. Die zweite Ebene ist nun geneigt, sodass das Wasser abfließt und von selbst in eine Abflussrinne gelangt. Diese ist über ein Rohr mit der unteren Ebene verbunden, wobei das Wasser beim Durchfließen ein kleines Wasserrad mit einem Dynamo antreibt. Ist das Wasser an der unteren Ebene angelangt, füllt es wieder die Kühlen auf. Mit neuen Gummibällen kann der Kreislauf nun von vorne beginnen.

So funktioniert eine Solarzelle

Mit einer Solarzelle hingegen wollen wir keinen Wasserkreislauf erzeugen, sondern elektrischen Strom zum Betrieb von Elektrogeräten generieren. Ein



elektrischer Strom entsteht aus einem Fluss von negativen Ladungsträgern, den so genannten Elektronen. Diese entsprechen dem Wasser unseres einfachen Modells. Für die Solarzelle wird also ein Material benötigt, in dem sich zwei Ebenen befinden: eine Ebene, in der Elektronen wie das Wasser in den Kühlen fest gebunden sind, und eine zweite Ebene, in der sich Elektronen frei bewegen können. Halbleiterwerkstoffe verfügen normalerweise genau über diese Eigenschaften. Lichtteilchen, die in der Physik Photonen genannt werden und den Gummibällen entsprechen, können hier Elektronen auf die zweite Ebene anheben.

Für eine einwandfreie Funktion in unserem einfachen Modell ist die Neigung wichtig, da sich sonst das Wasser nicht von selbst in der Regenrinne sammelt. Auch bei Halbleitern muss die zweite Ebene über ein Gefälle verfügen, über das sich die Elektronen auf einer Seite sammeln. Im Gegensatz zu unserem einfachen Modell wird für das Sammeln nicht die Schwerkraft, sondern ein elektrisches Feld genutzt, das die negativ geladenen Elektronen auf eine Seite zieht. Um dieses Feld herzustellen, muss der Halbleiter dotiert werden. Hierzu wird eine Seite der Halbleiterscheibe mit Elementen wie Bor und die andere Seite mit anderen Elementen wie Phosphor gezielt verunreinigt. Da Bor und Phosphor selbst eine unterschiedliche Anzahl von Elektronen haben, erzeugen diese das notwendige Gefälle. Der Übergangsbereich heißt Raumladungszone. Hier entsteht ein elektrisches Feld, das Elektronen auf eine Seite zieht. Externe Kontakte sammeln sie dort. Über einen äußeren Stromkreis fließen sie zurück zur ersten Ebene. Dabei geben Sie elektrische Energie ab (**Abbildung 2**)

Fortsetzung folgt auf Seite 5

ENTDECKUNG DES QUASI-TEILCHENS „DROPLETON“

Fortsetzung von Seite 4

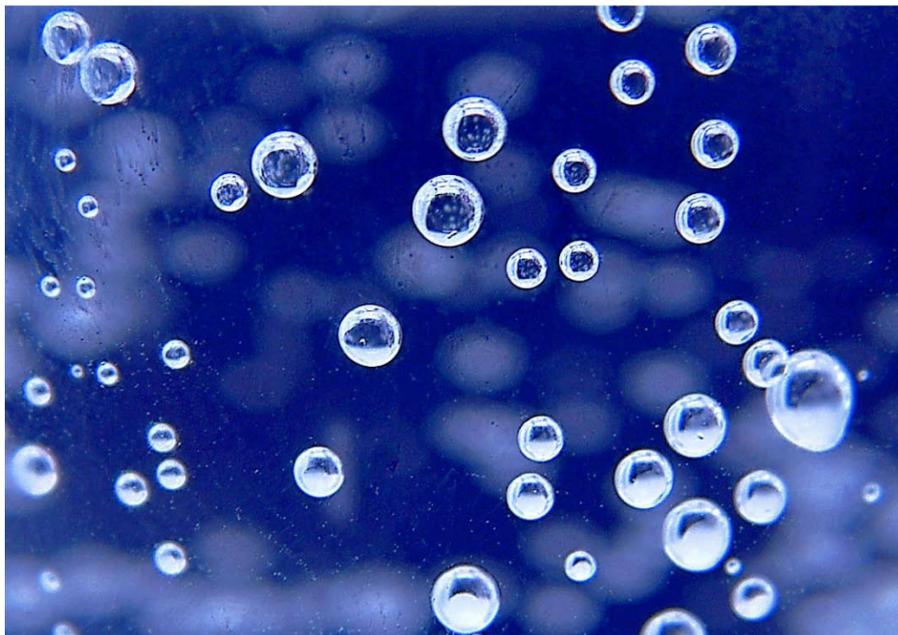
So, jetzt wissen wir schon mal, wie man Strom herstellt und müssen uns, bevor wir zum neu entdeckten Quasiteilchen kommen, nur noch kurz mit Teilchen generell beschäftigen.

Teilchen: Kleinster anzunehmender Baustein

Nein, leider nicht mit Plunder- oder Puddingteilchen, sondern mit Teilchen, wie sie ein Physiker definieren würde. In der Physik sind Teilchen einfach kleine Einzelteile eines Systems, wie in unserem Beispiel der Solarzelle. Ein Silizium-Atom etwa ist ein Teilchen des Ganzen. Es ist gleichzeitig aber wiederum ein System und besteht selbst aus noch kleineren Teilchen, den Elektronen, Neutronen und Protonen. Diese – nach derzeitigem Verständnis nicht mehr aus kleineren Bestandteilen zusammengesetzten – Teilchen werden als Elementarteilchen bezeichnet. Also die kleinsten Bausteine der Materie.

Physiker betrachten also ein Silizium-Atom manchmal als Teilchen und manchmal als System, je nachdem was sie beobachten wollen: Die Wechselwirkungen von Silizium mit anderen Atomen, wie dem vorhin zur Sprache gebrachten Bor oder Phosphor oder die Wechselwirkungen und Eigenschaften der Elektronen und „Löcher“, aus denen das Silizium-Atom aufgebaut ist. Im Prinzip sind wir ja auch Teil eines Betriebs und unser Herz ist ein Teil von uns, der uns antreibt.

Es kommt immer auf den Blickwinkel an. Dies führt dazu, dass in der Physik eine Vielzahl



Wie die Luftbläschen in einem Glas Wasser, wandern die Quasi-„Löcher“ durch die Atomgitter.

Foto: Claudia Hautumm / pixelio.de

von Erscheinungen als Teilchen idealisiert werden, deren Verhalten so anschaulicher beschrieben werden kann: So werden in der quantenphysikalischen Beschreibung die Anregungen eines Kristallgitters, wie bei unserer Solarzelle als Teilchen aufgefasst. Sprich: Die durch das Photon in der Solarzelle angeregten Elektronen und die zurückbleibenden „Löcher“ weisen teils die Charakteristika von Teilchen auf und werden von Physikern so beschrieben und auch so behandelt.

In derselben Weise, wie das Körpergewicht eines Schwimmers sich im Wasser beim Schwimmen zu verändern

scheint, kann die Wechselwirkung und die Bewegung eines Elektrons in dem Kristallgitter des Siliziums als sich verändernde Masse betrachtet werden. Das Loch wiederum hat die Eigenschaften des fehlenden Elektrons, also eine positive Ladung und eine negative Masse. „Man kann sich ein solches Loch wie eine Luftblase im Wasser vorstellen, deren Bewegung man im Wasserglas gut beobachten kann, obwohl sich eigentlich die Wasseratome und -moleküle nach unten bewegen und nicht die Luft nach oben“, sagt Professor Mackillo Kira. So ähnlich ist es bei den Elektronen und ihren Löchern

eben auch.

Bei der Erklärung der Solarzelle haben wir vorhin erfahren, dass die Photonen, also die Lichtteilchen, die Elektronen und die Löcher trennen.

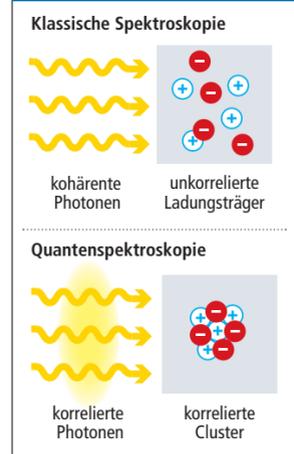
Verschiedene Bänder: Valenz- und Leitungsband

In dem beschriebenen Denkmodell haben wir uns Ebenen vorgestellt. Physiker sprechen aber von Bändern, in denen sich Elektronen und „Löcher“ aufhalten. Die Photonen regen die Elektronen an und diese bewegen sich aus dem sogenannten „Valenzband“ in das „Leitungsband“. So angeregt, kann das

Elektron nur dann in sein Loch zurück, wenn es seine Überschussenergie an ein anderes Quasiteilchen abgeben kann. Die Anregung wandert dann durch das Material. Aufgrund ihrer entgegengesetzten Ladungen sind Wechselwirkungen zwischen Elektron und Loch attraktiv. Zusammen bilden sie eine Einheit, die Physiker, weil auch sie es anschaulich mögen, wieder als Teilchen bezeichnen, Quasiteilchen eben.

Es gibt verschiedene Arten von Quasiteilchen: Schallwellen sind Quasiteilchen und werden von Wissenschaftlern als „Phonon“ bezeichnet. Die durch Licht angeregten Teilchen in einer Solarzelle, die aus Elektron und Loch bestehen, nennen Physiker „Ecziton“. Es kommen also in jeder stinknormalen Solarzelle „Quasiteilchen“ vor. Was also ist das Besondere an der Forschung in Marburg und Colorado, deren Ergebnisse es gemeinsam auf das Titelblatt der weltweit wichtigsten Wissenschaftszeitschrift „Nature“ geschafft haben?

Mithilfe von Laserpulsen haben Physiker in einem Halbleiter ein bisher unbekanntes „Quasiteilchen“ erzeugt. So nennen Forscher den mikroskopischen Verbund mehrerer Elementarteilchen, der sich im Zusammenschluss wie ein einzelnes Teilchen verhält. Das neue Quasiteilchen ist groß: Es besteht aus bis zu sieben Elektronen und „Löchern“ in dem Kristall, berichtet das deutsch-amerikanische Team im Fachmagazin „Nature“. Da es sich wie eine Flüssigkeit verhält, nennen sie es Dropleton oder Quantentropfen. Martin Mootz, ein Doktorand in der Arbeitsgrup-



In jeder stinknormalen Solarzelle kommen „Quasiteilchen“ vor: Angeregte Elektronen und ihre „Löcher“. Wenn man Halbleiter mit korrelierten Photonen beschließt, entstehen ganze Moleküle aus „Quasiteilchen“.

pe, vergleicht die Entdeckung mit der Entwicklung nach dem Urknall: „Zuerst gab es Elementarteilchen, dann formten sich einfache Elemente wie Wasserstoff und Helium, später folgten komplexere Atome. „Das Dropleton kann man auch als ein neu entdecktes Element im ‚Periodensystem‘ der Quasiteilchen verstehen“, sagt Mootz. Um über Anwendungen zu sprechen, sei es noch zu früh, sagt Mootz. Die Forscher wissen aber, dass Dropletons empfindlich auf Licht reagieren. Vielleicht könnten sie irgendwann dafür sorgen, dass größere Datenpakete in immer kleineren Computern transferiert werden. Aber die Forschung steckt eben noch in den Start-„Löchern“.

2 FÜR 1 PREIS

75.00 EURO

SIE SPAREN 24.90 EURO

SPAREN IM DOPPELPAK: Langarm-Hemden, verschiedene Designs.“

Einzelpreis 49,95

Venti OLYMP eterna

Kaufhaus Ahrens AG
Universitätsstraße 14 - 22
35037 Marburg
Tel 06421 298-0
Mo. - Fr. 9-19 Uhr • Sa. 9-18 Uhr

Ahrens
ahrens-marburg.de



facebook.com/ahrens-marburg

