

- [21] *von Cube, H.L., E. Ludwig, J. Saltlegger u. J. Rohde:* Erarbeitung eines Optimierungsverfahrens für die Auslegung von Erdbodenrohrschlangen als Wärmequelle für Wärmepumpen. BMFT Forschungsbericht T 80-121 (1980).
- [22] *Nievergeld, P.B.M., J.H.A.M. v.d. Brugh, J.F. v.d. Horst u. A.D. Kopperal:* Investigations on using the earth as a natural heat source for heat pumps. Final Report (1980), Energy Directorate General Contract No. 231-77 EEN, Commission of the European Communities, Luxemburg.
- [23] *Neiß, J.:* Numerische Simulation des Wärme- und Feuchte- transports und der Eisbildung in Böden. Fortschr.-Ber. VDI-Z., Reihe 3, Nr. 73 Düsseldorf: VDI-Verlag 1982.
- [24] *von Cube, H.L.:* Wärmequellen für Wärmepumpen. Berichtsband Wärmepumpen der 1. Essener Wärmepumpen- tagung, S. 173/82. Essen: Vulkan-Verlag, 1977.
- [25] *Ginschel, J.:* Betriebsergebnisse einer Erdreich-Wasser- Wärmepumpe. Elektrowärme Intern., Ausgabe A, Elektrowärme im tech- nischen Ausbau Bd. 35 (1977) Nr. 6, S. 332/37.
- [26] *Reimann, J.:* Erfahrungen mit Erdreich-Wasser-Wärme- pumpen für Heizung und direkte Brauchwassererwärmung. Elektrowärme Intern., Ausgabe A, Elektrowärme im tech- nischen Ausbau Bd. 38 (1980) Nr. 6, S. 367/71.
- [27] *Sowa, G.:* Erdreich-Wasser-Wärmepumpe in einem Ein- familienhaus. Elektrowärme Intern., Ausgabe A, Elektrowärme im tech- nischen Ausbau Bd. 32 (1974) Nr. 1, S. 46/48.
- [28] *Holzappel, K.Q. u. C. Brendel:* Informationspaket – Heizen mit Wärmepumpen. Bürger-Information Neue Energietechniken, Fachinfor- mationszentrum Energie/Physik/Mathematik GmbH, Karlsruhe (1984).
- [29] Zentrale Agrarmeteorologische Forschungsstelle Braun- schweig des Deutschen Wetterdienstes: Agrarmeteorologi- scher Wochenbericht von Braunschweig.
- [30] *Rostek, A. u. N. Haarmann:* Dynamische Wirtschaftlich- keitsberechnung für den Praktiker. Heizung-Lüft.-Haust. Bd. 32 (1981) Nr. 8, S. 300/15.
- [31] *VDI 2067, Blatt 1:* Berechnung der Kosten von Wärmever- sorgungsanlagen. Betriebstechnische und wirtschaftliche Grundlagen. Berlin/Köln: Beuth 1979.

Entwicklungstendenzen bei metallischen Konstruktionswerkstoffen im Maschinenbau

Von Karl Heinz Illgner, Kaarst*)

DK 621. DK 621:669.1.004.12

Werkstoffe mit weiterentwickelten Eigenschaften ge- statten die Ausführung von Bauteilen, Maschinen und Einrichtungen hoher Leistung, Haltbarkeit und Wirt- schaftlichkeit. Dazu stehen heute Stähle und Eisenguß- werkstoffe wie Fertigungsverfahren zur Verfügung, die ihre Vorgänger weit übertreffen. Sie machen auch auf dem Sektor der Landtechnik "Hightec"-Lösungen möglich.

1. Ziele der Werkstoffentwicklung

Werkstoffneu- und -weiterentwicklungen erfolgten stets und wer- den ständig erfolgen. Ihr Ziel ist

- die Optimierung der Bauteilhaltbarkeit, d.h. Erreichen höherer Beanspruchbarkeit und Ausnutzung der Werk- stoffe im Bauteil und damit die Verwirklichung kleinerer, leichter und/oder leistungsfähigerer Bauteile
- eine wirtschaftlichere Herstellbarkeit von Bauteilen unter Berücksichtigung von Werkstoffgestehungs- und -verar- beitungskosten bis zum fertigen Bauteil, wobei auch die Fer- tigung komplexerer Bauteile aus einem Stück, die zuvor aus mehreren Elementen montiert werden mußten, ange- strebt wird
- eine Erhöhung der Bauteilnutzbarkeit, der Lebensdauer und Sicherheit bei weniger Kosten für Geste- hung, Betrieb, Wartung und Reparatur der Einrichtungen bzw. Maschinen für den Betreiber. Selbst die Frage der Entsorgung wird zukünftig mehr Gewicht erhalten.

Diese marktwirtschaftlich starken Impulse führten und führen weniger zu spektakulären Erfindungen von ganz neuen Werkstof- fen mit alles übertreffenden, nie gekannten Eigenschaften als viel- mehr zu einer ständig fortschreitenden dem Nichtnachforschen- den meist verborgen bleibenden Weiterentwicklung und Modifizie- rung bekannter Werkstoffe sowie zu einer laufenden Verbesserung ihrer Herstellungstechnologien und damit zu wesentlichen techni- schen Fortschritten. Der Evolutionsprozeß – hier auf den Sek- tor der metallischen Werkstoffe bezogen – ermöglichte

- die genauere und an die Eigenschaften zielstrebig angepaßte Herstellung der Werkstoffe hinsichtlich ihrer Zusammen- setzung auch im Spurenelementbereich sowie hinsichtlich ihrer Reinheit und Gefügegenmäßigkeit
- eine Reproduzierbarkeit von spezifizierten Eigenschaften in vorgegebenen engen Toleranzgrenzen
- die möglichst gleichzeitige Erhöhung von Festigkeit und Zähigkeit
- eine bessere spanlose bzw. spanabhebende Ver- und Bear- beitbarkeit
- und unter Umständen die Einsparung von Arbeitsgängen bei der Fertigung der Bauteile.

Die Werkstoffentwicklung wurde aber auch befruchtet durch die modernen Fertigungsverfahren, wie z.B. Genauschmieden, Vergü- ten aus der Schmiedehitze oder durch gesteuertes Abkühlen, Hoch- geschwindigkeitszerspanen, Mehrstufen-Kaltmassivumformen und modernste Schweißverfahren.

Für den jeweiligen einzelnen Hersteller ergibt sich daraus mehr denn je die Verpflichtung, sich über Weiterentwicklungen ständig zu informieren und diese möglichst umgehend im eigenen Betrieb zu nutzen. Ein Zögern kann den Abstand zum besser informierten und ausgerichteten Wettbewerb nachhaltig und konsequenzenreich vergrößern.

*) Prof. Dr.-Ing. K.H. Illgner ist Fachhochschullehrer für Werk- stofftechnik an der Fachhochschule Münster, Abteilung Steinfurt.

2. Haltbarkeit von Bauteilen

Was heißt Haltbarkeit von Bauteilen? Ist sie nicht gleichzusetzen mit der Festigkeit der verwendeten Werkstoffe? Die Antwort kann überraschen: Meistens ist das keineswegs der Fall!

Sieht man einmal davon ab, daß die Beanspruchung eines Werkstoffes, der zu einem Bauteil verarbeitet wurde, örtlich im Bauteil und zeitlich verschieden ist – man denke nur an die Beanspruchungen in der Zahnflanke und im Zahngrund eines Zahnrades –, so kommen meistens zu den mechanischen Beanspruchungen zusätzlich solche aus Temperaturen, durch Korrosion und durch Verschleiß hinzu. So entsteht eine kaum übersehbare zeitliche Abfolge von Beanspruchungskombinationen komplexer Art. Sie ist umso mehr von Prüfversuchen verschieden – was auch zu unterschiedlichen Aussagewerten führt –, je weiter die Prüfversuche "vereinfacht" sind, wie z.B. bei einachsigen Zugversuchen zur Bewertung von Festigkeitseigenschaften.

Aus Gründen der Notwendigkeit zu erkennen, daß erst Festigkeit und Zähigkeit eines Werkstoffes die mechanische statische und auch weitgehend die dynamische Beanspruchbarkeit – also Haltbarkeit im Grenzfall – ermöglichen, sei der Einfluß mehrachsiger, inhomogener gleichsinniger Spannungszustände exemplarisch aufgezeigt. Denn die moderne Werkstoffentwicklung mußte größte Anstrengungen unternehmen, immer zähere hochfeste Werkstoffe zu entwickeln, weil ohne ausreichende Zähigkeiten hohe Werkstofffestigkeiten nicht nutzbar gewesen wären. Das ist auch einer der Gründe für die schnelle Einführung moderner Stahlherstellungstechnologien ausgehend vom LD-Verfahren, VOD-, AOD-Konverter, der Pfannenmetallurgie, dem ESU-Verfahren bis hin zu anderen Sonderverfahren.

Den Einfluß der Zähigkeit auf die Haltbarkeit unter mehrachsigen, inhomogenen gleichsinnigen Spannungszuständen aufzuzeigen, wie sie an allen Stellen einer Kräfteinleitung oder einer Querschnittsänderung sowie an Kerbstellen im Bauteil vorkommen, soll der nachfolgende Exkurs dienen.

In **Bild 1** ist die Abhängigkeit der erreichbaren Zugfestigkeitswerte von Stahl vom jeweiligen Kohlenstoffgehalt und der Wärmebehandlung unter einachsigen Zugbeanspruchungen bis zum Bruch bei unbehinderter Verformung wiedergegeben. Ein Bauteil mit z.B. 1000 N/mm² Zugfestigkeit könnte danach wahllos aus jedem beliebigen Stahl mit mehr als 0,1 % Kohlenstoff hergestellt werden, wobei eine entsprechende Wärmebehandlung notwendig sein würde. Das würde aber kaum zu zufriedenstellenden Bauteilhaltbarkeiten führen, weil die mit den Kohlenstoffgehalten und den Wärmebehandlungen gekoppelten Zähigkeiten sehr verschieden sind.

Bild 2 zeigt, daß das Zähigkeitsmaximum der Stähle etwa bei 0,25–0,35 % C-Gehalt liegt. Daß in der Tat die jeweilige Zähigkeit haltbarkeitsbestimmend ist, veranschaulicht die Verknüpfung der Kerbzugfestigkeiten bei mehrachsigen, inhomogenen gleichsinnigen Spannungszuständen mit der einachsigen Werkstoffzugfestigkeit, die mit zunehmender Höhe zu kleineren Zähigkeiten führt, **Bild 3**. Weniger zähe, dafür aber festere Stähle ergeben unter Umständen geringere Bauteilhaltbarkeiten als zähere, aber weniger feste Stähle.

Alles, was zu einer Erhöhung der Zähigkeit beiträgt, wie z.B. höhere Reinheit der Stähle und bessere Feinkörnigkeit, oder was die Zähigkeit im Bauteil nicht so hoch in Anspruch nimmt, wie z.B. geringere Kerbwirkungen, höhere Temperaturen und geringere Beanspruchungsgeschwindigkeiten, erhöht die Beanspruchbarkeit hochfester Stähle im Bauteil. Umgekehrt nimmt die Zähigkeit ab mit

- höheren Kohlenstoffgehalten der Stähle
- höheren Vergütungsfestigkeiten
- gröberen Gefügen
- zunehmender Unreinheit und größeren Einschlüssen
- zunehmender Inhomogenität der Gefüge, das gilt auch für Perlit-Ferrit-Gefüge.

Infolgedessen gehen alle Anstrengungen der modernen Metallurgie und Werkstofftechnik dahin, möglichst die Zähigkeit der metallischen Werkstoffe zu erhöhen, wie das auch aus allen nachfolgenden Beispielen der Weiterentwicklung abgelesen werden kann [3].

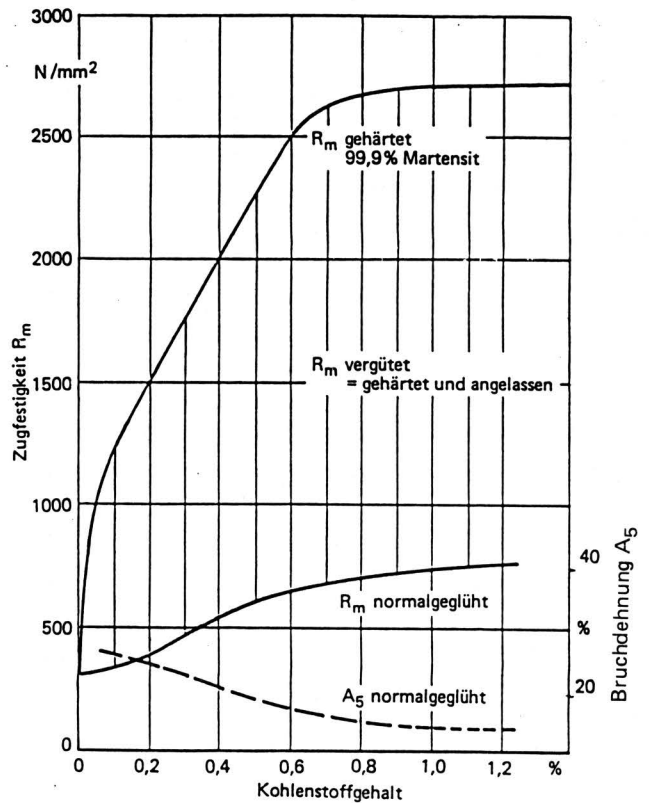


Bild 1. Erreichbare Zugfestigkeitswerte gehärteter, vergüteter und normalgeglühter Stähle unabhängig vom Legierungselementgehalt; nach [1].

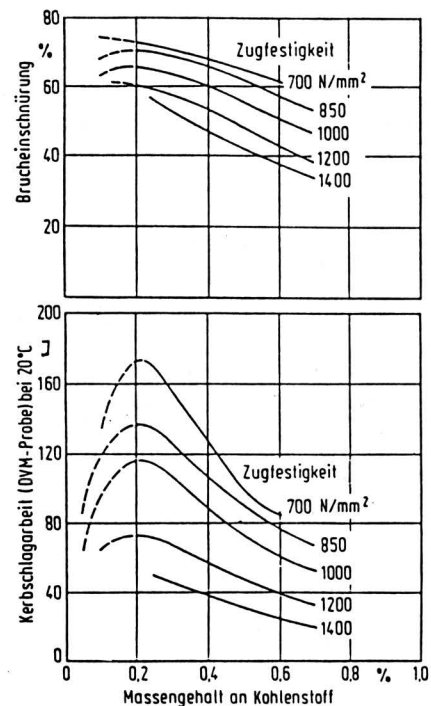


Bild 2. Einfluß des Kohlenstoffgehaltes auf die Zähigkeitseigenschaften von Vergütungsstählen gleicher Vergütungsfestigkeit; nach Kroneis [2].

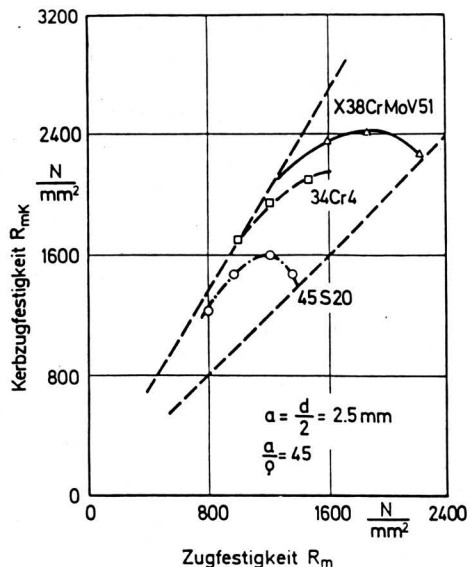


Bild 3. Abhängigkeit der Kerbzugfestigkeit gekerbter Rundproben R_{mK} von der Werkstoffzugfestigkeit R_m bei unterschiedlicher Werkstoffreinheit und Zusammensetzung.

3. Weiterentwickelte, moderne Stähle

3.1 Schweißbare hochfeste Stähle

Beim Schweißen entsteht neben der Schweißnaht in der Wärmeinflußzone — je nach Dicke des geschweißten Stahles und der Größe der örtlichen Wärmeenergieeinbringung — eine sehr hohe Abkühlgeschwindigkeit von Temperaturen, bei denen der Stahl austenitisch ist. Überschreitet diese Abkühlgeschwindigkeit einen vom jeweiligen Kohlenstoffgehalt abhängigen kritischen Wert, dieser nimmt mit steigendem C-Gehalt zudem ab, wird Martensit gebildet. Die Martensitprädigkeit nimmt mit steigendem Kohlenstoffgehalt zu. Daher beträgt die Einschnürung Z als Maß der örtlichen Zähigkeit bei einem artenitischen Gefüge mit 0,2 % Kohlenstoff noch über 50 % (noch zäh, $R_m = 1300 \text{ N/mm}^2$ entsprechend $\sim 400 \text{ HV}$), während bei 0,35 % Kohlenstoff die Einschnürung unter 20 % liegt (absolut spröde, $R_m = 2000 \text{ N/mm}^2$). Demzufolge sind Stähle mit C-Gehalten knapp unter 0,2 % gut schweißgeeignet, und zwar umso mehr, je zäher ihre Ausführung durch besonders beruhigte Feinkorngefüge ist. Zusätze zur Steigerung der Zugfestigkeit, z.B. zur Ausscheidungshärtung bei verminderten Perlitgehalten, führen zu höherfesten Stahlsorten.

In **Bild 4** ist schematisch die Entwicklungsreihe dieser Stähle aufgezeigt, wobei von den Möglichkeiten verschiedener Verfestigungsmechanismen systematisch Gebrauch gemacht wird, **Bild 5**.

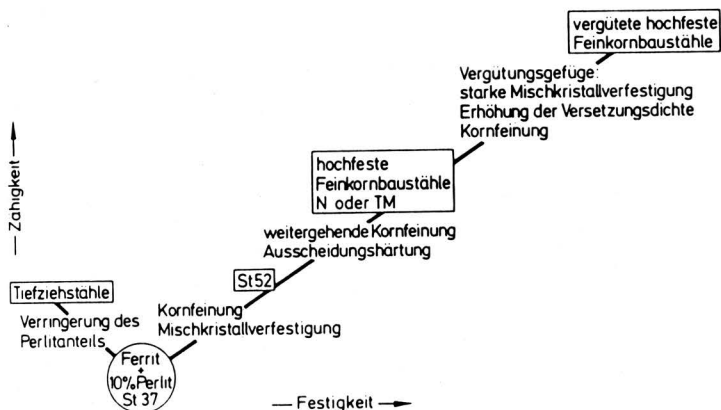


Bild 4. Entwicklung warmgewalzter Stähle; nach *Schauwinhold u. Schlüter* [4].

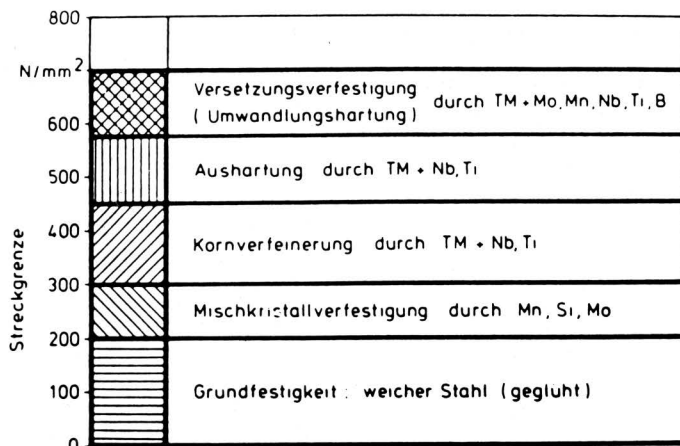


Bild 5. Anteil der Verfestigungsmechanismen an der Streckgrenze eines hochfesten thermomechanisch behandelten (TM) Stahles mit $R_{p0,2} = 700 \text{ N/mm}^2$; nach *Meyer* [5].

Diese Stahlausführungen sind grundsätzlich nur infolge entscheidender Änderungen und Modernisierungen unserer Stahlwerke erzeugbar geworden. Erst durch die sog. Pfannenmetallurgie, den Strangguß und ein Walzen mit thermomechanischer Behandlung, das ist ein Warmwalzprozeß mit einbezogenem exakt steuerbarem Wärmebehandlungsablauf, können heute Feinkornbaustähle mit bis zur doppelten Streckgrenze — im Extremfall bis zur dreifachen Streckgrenze — des bekannten Stahles St52-3 zuverlässig und wirtschaftlich für hohe Bauteilhaltbarkeiten zur Verfügung gestellt werden, **Bild 6**.

Die Einsparung an Gewicht und an Bearbeitungsumfang, z.B. an Schweißnahtvolumina, bietet für ihren Einsatz entscheidende Vorteile. Es sei angemerkt, daß bei geschweißten hochfesten Stählen Art und Ausführung der Schweißnähte durch ihre Kerbwirkungen die Dauerfestigkeit der Konstruktionen bestimmen und daher bei dynamischen Beanspruchungen haltbarkeitsentscheidend sein können.

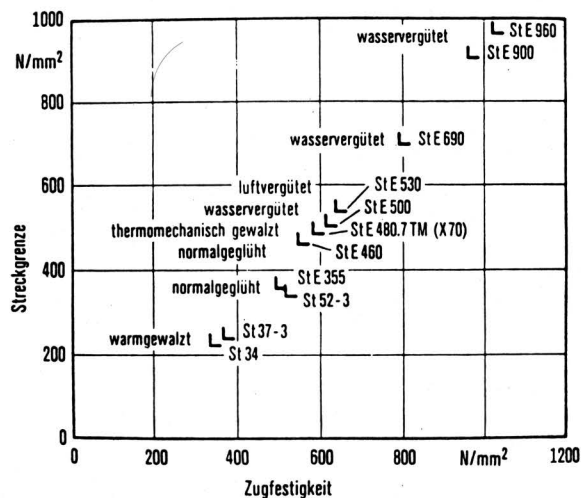


Bild 6. Reihe der schweißbaren hochfesten Feinkorn-Baustähle; nach *Degenkolbe* [6].

3.2 Kaltgewalztes Blech und Band zur Kaltumformung

Vergleicht man die Standard-Tiefziehgüten St12 bis St14 DIN 1623 mit weiteren neuentwickelten Sorten, **Bild 7**, wird man erstaunt sein über deren Vielfalt, wobei sie die Standard-Stähle entweder in der Tiefziehfähigkeit oder in ihren Festigkeitswerten übertreffen.

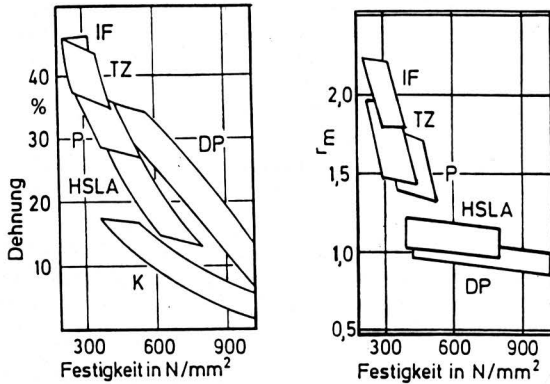


Bild 7. a Bruchdehnung und Festigkeit von Feinblechsorten b r_m -Werte und Festigkeit von Feinblechsorten; nach *Drewes u. Lenze* [7].

Die Stahlbezeichnungen in **Bild 7** besagen:

- TZ normales Tiefziehblech St14
- IF Tiefziehblech interstitial free, d.h. ohne Fremdatome auf Zwischengitterplätzen. Das Blech ist vakuumgekühlt auf Werte $C < 0,01\%$, sowie Ti/Nb mikrolegiert. Es besitzt besonders gute Tiefzieheigenschaften.
- P schwach P-legierte Sorte ($\approx 0,080\%$), wobei P in Lösung gebracht wird. Dadurch entsteht die Möglichkeit einer Ausscheidungshärtung bei Temperaturen von $150-180\text{ }^\circ\text{C}$ – also bei Lackeinbrenntemperaturen von Automobilkarosserien – nach einer Kaltumformung, die dem tiefgezogenen Teil eine Erhöhung der Streckgrenze um etwa 50 N/mm^2 bringt, **Bild 8**.

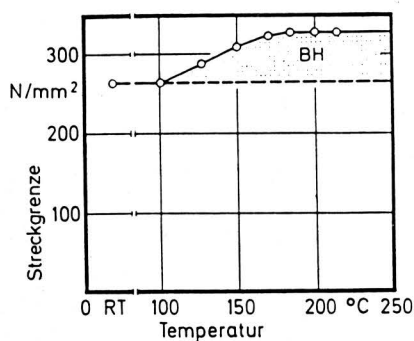


Bild 8. Bake-Hardening-Effekt (BH) z.B. durch die Wärmebehandlung beim Lackeinbrennen bei P-legierten Feinblechsorten; nach *Drewes u. Lenze* [7].

HSLA high strength low alloy-Stähle, d.h. mikrolegierte Feinkorn-Feinbleche, die durch Mikrolegieren mit Ti, V, Nb feinkörnig und ausscheidungshärtbar sind und die durch spezielle Glüh-, Abschreck- und Anlaßprogramme ausscheidungsgehärtet werden. Die Stähle sind bei hoher Festigkeit noch gut kaltumformfähig.

K
DP

kaltverfestigte Bleche
Dual-Phase-Stähle, d.h. ferritisch-martensitische Stähle, die gemäß **Bild 9** von Temperaturen im $\alpha + \gamma$ -Austenitisierungsgebiet gehärtet und niedrig angelassen werden. Wegen des sehr geringen C-Gehaltes und evtl. geringer Zulegierungen von Mn, Cr, Mo sind sie vor allem sehr gut streckziehbar. Sie verfestigen bei Kaltumformung sehr stark.

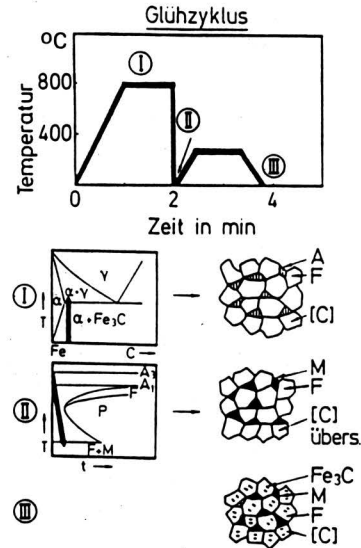


Bild 9. Erzeugung von Dual-Phase-Gefügen bei legierungsarmen Stählen; nach *Drewes u. Lenze* [7].

In **Bild 10** sind noch einmal die verschiedenen Blechsorten entsprechend ihrer Streckgrenzen und Zugfestigkeitswerte zusammengestellt. Für jeden speziellen Anwendungsfall läßt sich eine Blechsorte finden, die optimalen Verarbeitungs- und Haltbarkeitsanforderungen genügt. So können z.B. heute manche Bauteile aus hochfesten Blechen gepreßt werden, die früher nur als Schmiedeteile herstellbar waren.

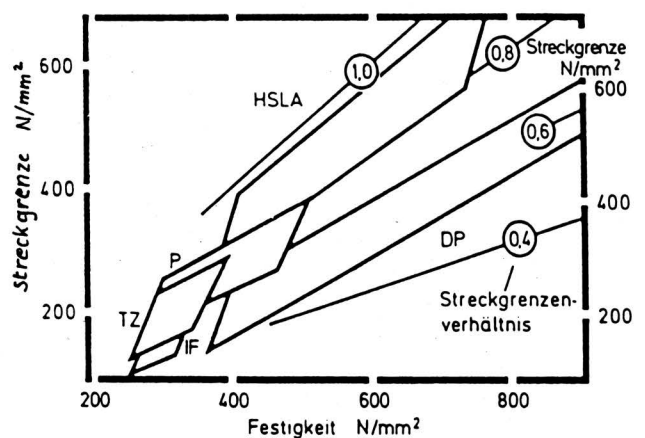


Bild 10. Streckgrenze und Festigkeit kaltgewalzter Feinblechsorten; nach *Drewes u. Lenze* [7].

3.3 Bleche und Bänder mit fertigen Oberflächenbehandlungen

Zur Verbesserung des Korrosionsschutzes und des Aussehens gibt es eine ganze Reihe von durch Überzüge auf der Oberfläche geschützten Blechen, die weitgehend nachträglich durch Kanten, Falzen, Profilieren und Tiefziehen kaltumformfähig sind. Aus ihnen können Bauelemente und Bauteile mit Endoberflächen gefertigt werden, ohne daß die fertigen Produkte selbst oberflächenbehandelt werden müßten.

Für den Korrosionsschutz durchgesetzt haben sich galvanisch verzinkte Tiefziehbliche und vor allem auch solche, die sendzimir (feuer) verzinkt werden. Mit anderen Verfahren aufgetragene Schichten, wie z.B. aufgesinterte "kunstharzgebundene" Zinkstaubschichten oder im Schmelztauchprozeß aufgetragene Al-Zn-Schichten, genügen besonderen Korrosionsschutzbedingungen. Auch mit elastischen farbigen Kunststoffen oder gar mit eingebrannten Lackschichten versehene Bleche sind nicht gut umformbar, so daß wiederum die fertigen Bauteile keiner weiteren Endoberflächenbehandlung bedürfen. Gleiches gilt für mit NE-Metallen oder mit Messing, Bronze oder gar nichtrostenden Edelmetallen wälzplattierte Bleche.

Interessant auf diesem Gebiet sind ferner auch schalldämmende Bleche, die aus zwei dünneren Blechplatten mit einer etwa 0,2 mm dicken Kunststoffzwischenlage verklebt sind. Diese Bleche sind sowohl tiefziehbar wie auch schweißbar und bis zu Temperaturen von etwas über 100 °C anwendbar. Bild 11 zeigt die Schalldämpfungseigenschaften solcher Verbundbleche (Kurve b) im Vergleich zu gleichdicken normalen Stahlblechen (Kurve a).

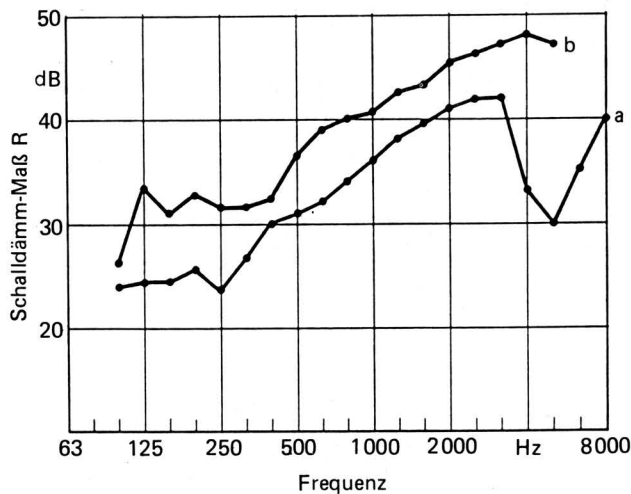


Bild 11. Dämpfung von Bondalblechen.

- a 3 mm Stahlblech
- b Verbundblech mit einer Tragblechdicke von 2 mm, Zwischenschichtdicke von 0,3 mm und einer Gegenblechdicke von 1 mm

3.4 Stähle mit besonderen Eigenschaftskombinationen

3.4.1 Festigkeit und Zerspanbarkeit

Mit ansteigender Werkstofffestigkeit steigt prinzipiell auch der Zerspanungswiderstand an, so daß die Werkzeugstandzeiten abnehmen. Werden die Bauteile wie normal üblich im weichen Zustand zerspan und erst danach auf höhere Festigkeiten wärmebehandelt, ist neben dem Arbeitsaufwand für die Wärmebehandlung auch mit Verzug und einem zusätzlichen Endbearbeitungsvorgang zu rechnen.

Durch Zugabe von den Werkzeugschneidenverschleiß mindernden Zusätzen zum Stahl, wie z.B. von Calcium (sog. belagbildende Hütchen-Stähle) und auch von höheren Schwefelgehalten — wo-

bei aber durch weitere Maßnahmen die Ausbildung der Sulfideinschlüsse kugelig gehalten werden muß, um keine unzulässige Verschlechterung der Zähigkeit vor allem quer zur Faser hinnehmen zu müssen —, kann eine günstige Zerspanbarkeit auch bei härtesten Stählen mit bis zu 1000 N/mm² Zugfestigkeit sichergestellt werden. Damit sind hochbeanspruchbare Teile ohne Verzug durch eine sonst obligatorische nachfolgende Wärmebehandlung maßgenau mit besten Oberflächengütern herstellbar, wie das Bild 12 anhand von Beispielen zeigt.

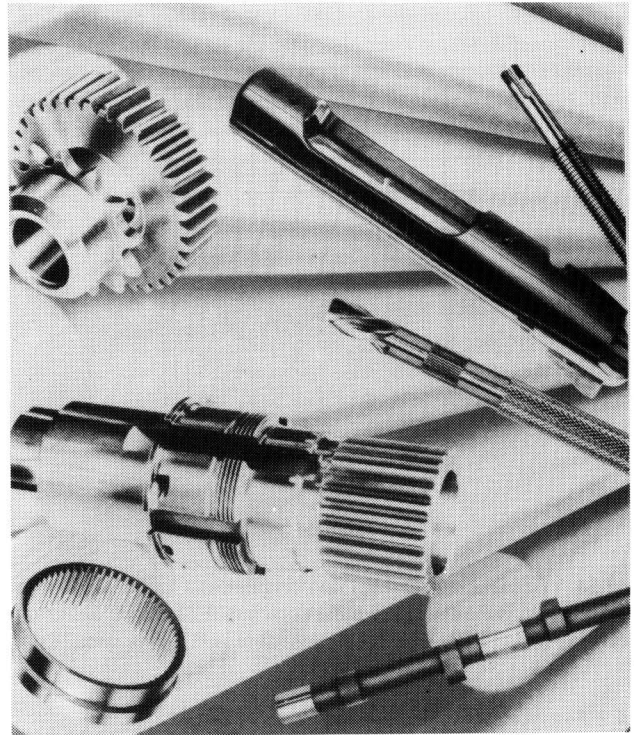


Bild 12. Aus höchstem gut zerspanbarem Sonderstahl hergestellte Bauteile; nach [8].

Für Stähle im Bereich von 650–800 N/mm² Zugfestigkeit zeigt Bild 13 die große Verbesserung der Standzeiten der Zerspanungswerkzeuge.

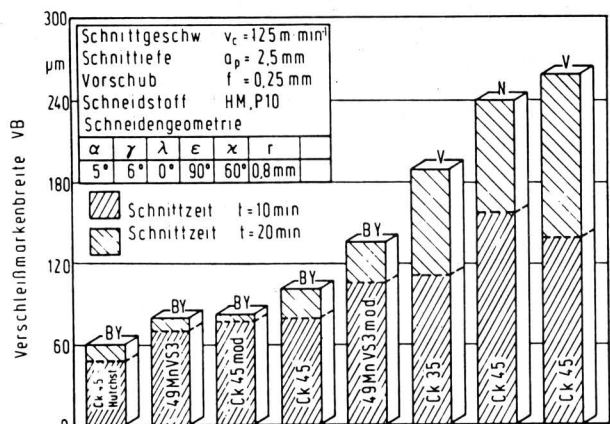


Bild 13. Vergleich nach Verschleißmarkenbreite beim Drehen von unterschiedlichen Schmiedestählen; nach Tönshoff [9].

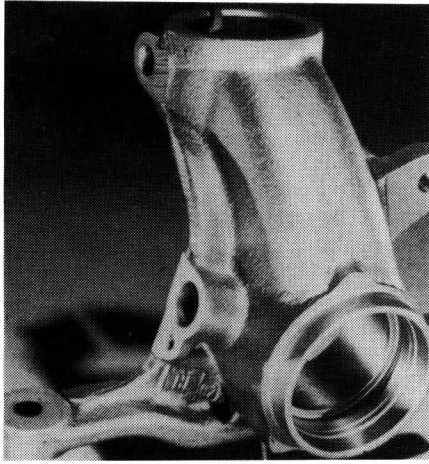
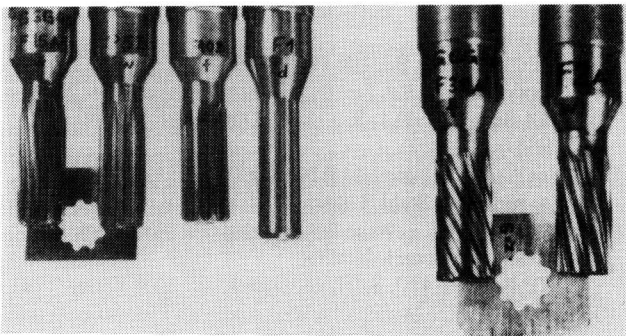


Bild 17. Schwenklager als Gußteil, die Form wurde der Gießtechnik und den Belastungsverhältnissen angepaßt; nach [11].



Linkes Bild von rechts nach links: Vorbearbeiteter Zapfen $d = 19,81$ mm, gefräster und kaltgewalzter $d = 21,6/17,6$ mm sowie gewalzter Zapfen nach statischer Verdrehung mit $M_v = 600$ Nm, dazugehörige Keilnabe.
Rechts: Gewalzter Zapfen (w) weniger verdreht, nach Torsionsbruch bei 665 Nm ($\tau_a = 436$ N/mm²); gefräster Zapfen: (f) stärker verdreht bei 590 Nm ($\tau_a = 386$ N/mm²) wegen fehlender Festigkeitssteigerung durch Kaltverfestigung. Beide Zapfen sind aus dem gleichen Werkstoff GGG 40, 154 HB.

Bruchgrenzen von Zapfen:	Rund, ohne Profil Verdrehbruch	Volles Profil Verdrehbruch	Freigedrehte Zapfenzähne Abscher- und Verdrehbrüche	
Werkstoff				
Guß GGG 40, 154 HB	450 bis 475	385 bis 445	390 bis 460	460 bis 495
GGG 60, 240 HB	700 bis 740	600 bis 690	625 bis 700	715 bis 755
Stahl Ck45v, 230 HB	730 bis 760	640 bis 685	665 bis 695	695 bis 730
16MnCr5, 60 HRC	nicht getestet	810 bis 915	930 bis 1085	1010 bis 1130
		gewalztes Profil	gefrästes Profil	gewalztes Profil

Bild 18. Keilwellenzapfen aus Kugelgraphitguß GGG-40, längsgewälzt, Profil W22x2x9 DIN 5480; nach [12]

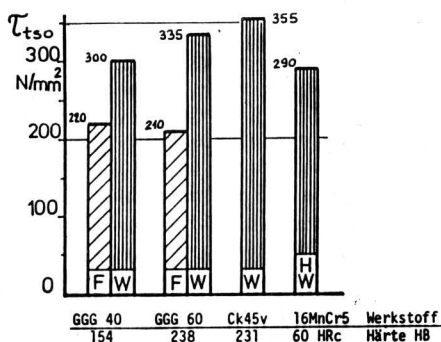


Bild 19. Dauerschwingfestigkeit von Keilwellenzapfen W22x2 bei Torsionsschwellbelastung; $P_u = 50$ %, Grenzlastspielzahl $2 \cdot 10^6$ Lastwechsel; nach [12].

F gefräste Profile W gewalzter Profile
H einsatzgehärtet nach dem Walzen

4.2 Bainitischer Kugelgraphitguß

Von Interesse sein und zunehmenden Einsatz finden dürften in Zukunft die Anwendungen hochfester bainitisch auf Zugfestigkeiten von 800 bis über 1200 N/mm² umgewandelter Kugelgraphitgußsorten. Diese vor oder nach der Maßbearbeitung wärmebehandelten Sorten weisen hohe Zähigkeiten auf von z.B. 2 bis 5 % bei 1200 N/mm² Zugfestigkeit – vergüteter Stahl erreicht 10 – 12 % –, so daß auch gekerbte Bauteile eine sehr gute Haltbarkeit und eine sehr hohe Beanspruchungssicherheit besitzen. Im zusätzlich kaltverfestigten Oberflächenzustand sind sie zudem sehr dauerhaft. Was sie aber für viele auf Verschleiß beanspruchte Bauteile besonders auszeichnet, ist ihre überragende Verschleißfestigkeit, die an die einsatzgehärteter Bauteile heranreicht. Beispiele dafür zeigen Ausführungen von Zahnrädern in Bild 20.

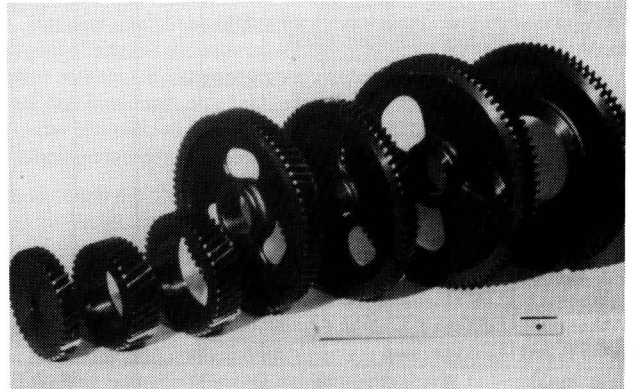


Bild 20. Zahnräder aus bainitischem Kugelgraphitguß; nach [13].

In Bild 21 können dazu die guten mechanischen Haltbarkeitseigenschaften für die Zahnfuß-Biegedauerfestigkeit und die Zahnflanken-Wälzfestigkeit im Vergleich zu vergüteten und zu einsatzgehärteten Zahnrädern abgelesen werden. Es müssen jedoch nicht gleich Hochleistungsbauteile für die Anwendung dieser bainitischen Kugelgraphitgußsorten sein, denn viele auf hohe Festigkeit und auf Verschleiß beanspruchte Bauteile, wie z.B. Bolzen, Wälzblöcke, Laufrollen und Räder, sind Anwendungsgebiete dieser Werkstoffe mit allen Vorteilen ihrer gußtechnischen Formgebung.

5. Zusammenfassung

Die Werkstoffentwicklung ist seit ihren Anfängen im vorigen Jahrhundert nie stehen geblieben. Auch in unseren Tagen und in Zukunft wird sie fortgesetzt, um höhere Bauteilhaltbarkeiten und/oder wirtschaftlichere Fertigungen zu ermöglichen. Auch die Verwirklichung komplexerer Eigenschaften von Bauteilen sowie die Erschließung von Beanspruchungsbereichen unter hohen Temperaturen oder speziellen Korrosionsbedingungen sind Ziele der Werkstoffweiter- und -neuentwicklung.

Da gleichzeitig auch die Entwicklungen auf dem Gebiet der spanlosen und der spanabhebenden Formgebung sowie in der Oberflächentechnik neue Möglichkeiten auch im Zusammenwirken mit "moderneren" Werkstoffen schaffen, sind nicht zu vernachlässigende Trends im Komplex Bauteil-Werkstoff-Ausführung möglich, die zu Substitutionen bisher bewährter Lösungen führen können. Hier sei z.B. nur an den Ersatz von Schmiedeteilen durch Gußteile oder durch Blechpreßteile oder an den Ersatz von mechanisch bearbeiteten Teilen durch Sintermetallteile erinnert, was auch zu beachtlichen wirtschaftlichen Einflüssen auf dem Markt geführt hat. Es ist daher zweckmäßig, stets den Stand der Technik im Auge zu behalten und gerade auf dem Gebiet der Werkstoffe die zwar langsamen aber meist im wirtschaftlichen Bereich sehr weitreichenden Weiter- und Neuentwicklungen permanent zu verfolgen.

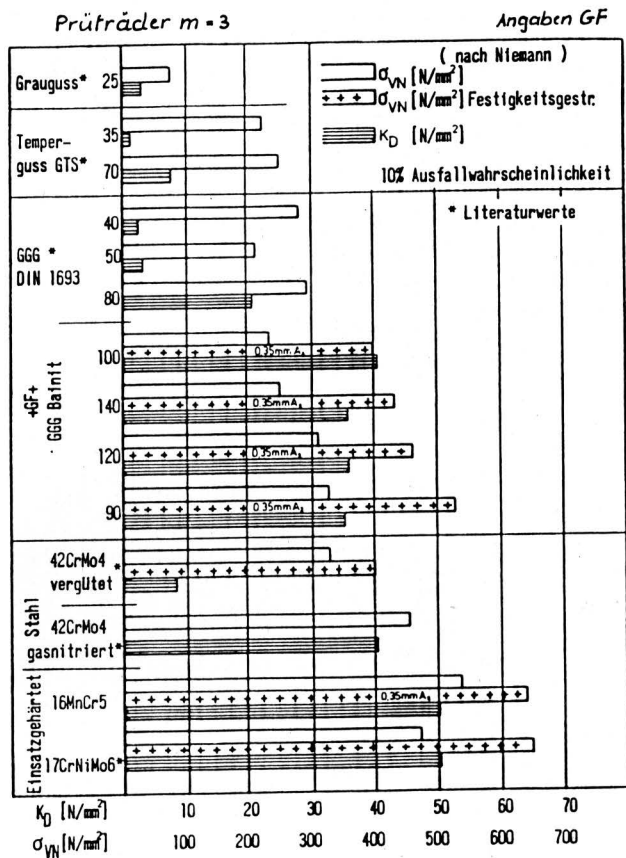


Bild 21. Zahnradkennwerte von Guß- und Stahlwerkstoffen, geprüfte Werte und Literaturwerte; nach [13].

Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [1] • *Illgner, K.H.*: Auswahlkriterien für Werkstoffe und Verarbeitungsverfahren. VDI-Berichte 600.1 S. 283/303, Düsseldorf: VDI-Verlag 1986.
- [2] *Kroneis, H.*: Betrachtungen zur Legierungstechnik bei Vergütungsstählen. Schweizer Archiv (1962) S. 298/309.
- [3] • *Spitzer, H. u. K.J. Kremer*: Die Entwicklung metallurgischer Verfahren und ihre Auswirkung auf die Eigenschaften von Qualitäts- und Edelstählen. VDI-Berichte 428, S. 1/25, Düsseldorf: VDI-Verlag 1981.
- [4] *Schauwinhold, D. u. W. Schlüter*: Entwicklung von Stahlarten und Stahlsorten in Abhängigkeit vom Gefüge. Stahl und Eisen Bd. 104 (1984) Nr. 6, S. 275/82.
- [5] • *Meyer, L.*: Neuzeitliche Umform- und Wärmebehandlungsverfahren zur Erzielung günstiger Werkstoffeigenschaften. VDI-Berichte 428, S. 35/42, Düsseldorf: VDI-Verlag 1981.
- [6] *Degenkolbe, .*: Fortschritte bei unlegierten und legierten Baustählen. Stahl und Eisen Bd. 106 (1986) Nr. 13, S. 717/21.
- [7] *Drewes, E.J. u. F.J. Lenze*: Kaltumformung von Blechen. VDI-Berichte 600.1, S. 175/97, Düsseldorf: VDI-Verlag 1986.
- [8] Hochfester Sonderstahl ETG88/ETG100: Unterlage der Fa. von Moos Stahl, Luzern 1984.
- [9] • *Tönshoff, H.K.*: Neue Erkenntnisse zur spanenden Bearbeitung von Schmiedeteilen. VDI-Berichte 420, S. 91/98, Düsseldorf: VDI-Verlag 1981.
- [10] • *Illgner, K.H.*: Metallische Werkstoffe als Innovationsfaktor. VDI-Berichte 319, S. 77/86, Düsseldorf: VDI-Verlag 1978.
- [11] *Mahnig, F., H.H.G. Trapp u. H. Walter*: Schwing- und Betriebsfestigkeit gegossener Fahrzeugteile. Mitt. F.u.E. Georg Fischer AG.
- [12] *Staudinger, H.P.*: Kaltumformen von Gußwerkstoffen. VDI-Z. Bd. 128 (1986) Nr. 22, S. 887/98.
- [13] *Mannes, W., K. Hornung u. H. Rettig*: Erprobung von Zahnradern aus bainitischem Gußeisen mit Kugelgraphit, Erfahrungen mit unlegierten Kugelgraphitgußqualitäten. Antriebstechnik Bd. 23 (1984) Nr. 4.

Notizen aus Forschung, Lehre, Industrie und Wirtschaft

ASAE-Jahrestagung 1988

Die Internationale Tagung der ASAE (American Society of Agricultural Engineers) im Sommer 1988 fand vom 26. bis 29. Juni in dem großzügig angelegten "Rushmore Plaza Civic Center" in Rapid City statt. Sie stand unter dem Leitthema "Recognition and Renewal" (Erkennen und Erneuern).

Ausgehend von der Tatsache, daß sich die Technik mit einer bisher nicht gekannten Geschwindigkeit fortentwickelt, wird das Erkennen, Verstehen und Akzeptieren des daraus resultierenden Wandels eine entscheidende Voraussetzung für die Entwicklung der nächsten Generation von Produkten und Prozessen für die Nahrungsmittelproduktion und die Landwirtschaft. Das Hauptaugenmerk der Tagung lag daher auf dem Erkennen des sich vollziehenden Wandels, als Vorstufe für die Definition neuer Ziele für die zukünftige Landwirtschaft und die Schaffung und Bereitstellung neuer Technologien, um diese Ziele zu erreichen. Dies erfordert die Mobilisierung und die Mitarbeit aller mit der Landwirtschaft befaßten Berufsgruppen und ihrer Mitglieder bei dem Bemühen, die neuen biologischen und landwirtschaftlichen Techno-

logien in die Praxis umzusetzen und somit den sich ändernden Rahmenbedingungen Rechnung zu tragen.

In über 70 technischen Vortragsveranstaltungen, von denen bis zu 11 parallel abliefen, wurden mehr als 400 Einzelvorträge gehalten. Sie spiegelten den gesamten Bereich der Landtechnik wider, gegliedert entsprechend den Abteilungen der ASAE in: Energie und Maschinen, Boden und Wasser, Elektrizität und elektronische Systeme, Gebäude und Umwelt, Nahrungsmittel und Prozeßtechnik, sowie neue Technologien in der Landwirtschaft. Die Vorträge lagen mit wenigen Ausnahmen schon gedruckt als Papers vor, so daß sich die Tagungsteilnehmer vor den Vortragsveranstaltungen mit den sie interessierenden Themen auseinandersetzen konnten. Dies wirkte sich sehr positiv auf die Diskussionsbeiträge aus. Bei der Organisation der Tagung fiel angenehm auf, daß für die Diskussion genügend Zeit vorgesehen war. Eine straffe Diskussionsleitung gewährleistete weiterhin, daß der zeitliche Ablauf der Parallelveranstaltungen so eingehalten wurde, daß den Teilnehmern ein überschneidungsfreies Wechseln zwischen den verschiedenen Themenkreisen möglich war.