

Kap. 7: DB/TP Benchmarks

- Einleitung
 - Anforderungen an Benchmarks
- OLTP-Benchmarks
 - TPC-C und TPC-E
- OLAP-Benchmarks
 - TPC-H, TPC-DS, TPC-DI
- Big Data Benchmarks
 - TPC_x-HS, TPC_x-BB



Benchmarks

- Leistungsbewertung eines DBMS / Transaktionssystems / Big Data Systems für standardisierte Last und Ausführungsbedingungen
- unterschiedliche Einsatzbereiche / Lasten führen zu unterschiedlichen Benchmarks
 - Online Transaction Processing (OLTP)
 - Online Analytical Processing (OLAP, decision support)
 - Mischlasten
 - spezielle Anforderungen: Datenintegration, Graphanalysen ...
- unterschiedliche Benchmarks nach Datenmodell
 - relationale DBS (Wisconsin-Benchmark, TPC-Benchmarks)
 - OODBS (OO7)
 - XML (Xmark, Xmach-1)
 - NoSQL- / Graphdaten



Anforderungen an geeignete Benchmarks*

■ Domain-spezifische Benchmarks

- kein geeignetes Leistungsmaß für alle Anwendungsklassen möglich
- spezielle Benchmarks für techn./wissenschaftliche Anwendungen, DB-Anwendungen, etc.

■ Relevanz

- Berücksichtigung “typischer” Operationen des jeweiligen Anwendungsbereichs
- Messen der maximalen Leistung
- Berücksichtigung der Systemkosten (Kosteneffektivität)

■ Portierbarkeit

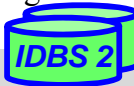
- Übertragbarkeit auf verschiedene Systemplattformen
- Vergleichbarkeit

■ Skalierbarkeit

- Anwendbarkeit auf kleine und große Computersysteme
- Übertragbarkeit auf verteilte/parallele Systeme

■ Einfachheit / Verständlichkeit

* J. Gray (ed.): The Benchmark Handbook for Database and Transaction Processing Systems. 2nd ed., Morgan Kaufmann, 1993. <http://jimgray.azurewebsites.net/benchmarkhandbook/toc.htm>



TPC-Benchmarks

■ Herstellergremium zur Standardisierung von DB-Benchmarks (www.tpc.org)

TPC Transaction Processing Performance Council

- Gründung 1988
- erste Benchmarks für Kontenbuchung (“Debit-Credit”): TPC-A, TPC-B (1989/90)

■ besondere Merkmale

- Leistung eines Gesamt-Systems wird bewertet
- Bewertung der Kosteneffektivität (Kosten / Leistung)
- skalierbare Konfigurationen
- verbindliche Richtlinien zur Durchführung und Dokumentation (Auditing; Full Disclosure Reports)
- Ausschluss von “Benchmark Specials” innerhalb von DBMS etc.

■ aktuelle Benchmarks für

- OLTP: TPC-C, TPC-E
- Decision Support: TPC-H, TPC-DS, TPC-DI
- Big Data: Express-Benchmarks TPCx-HS, TPCx-BB
- orthogonale Spezifikationen: TPC-VMS (Virtualisierung), TPC-Energy



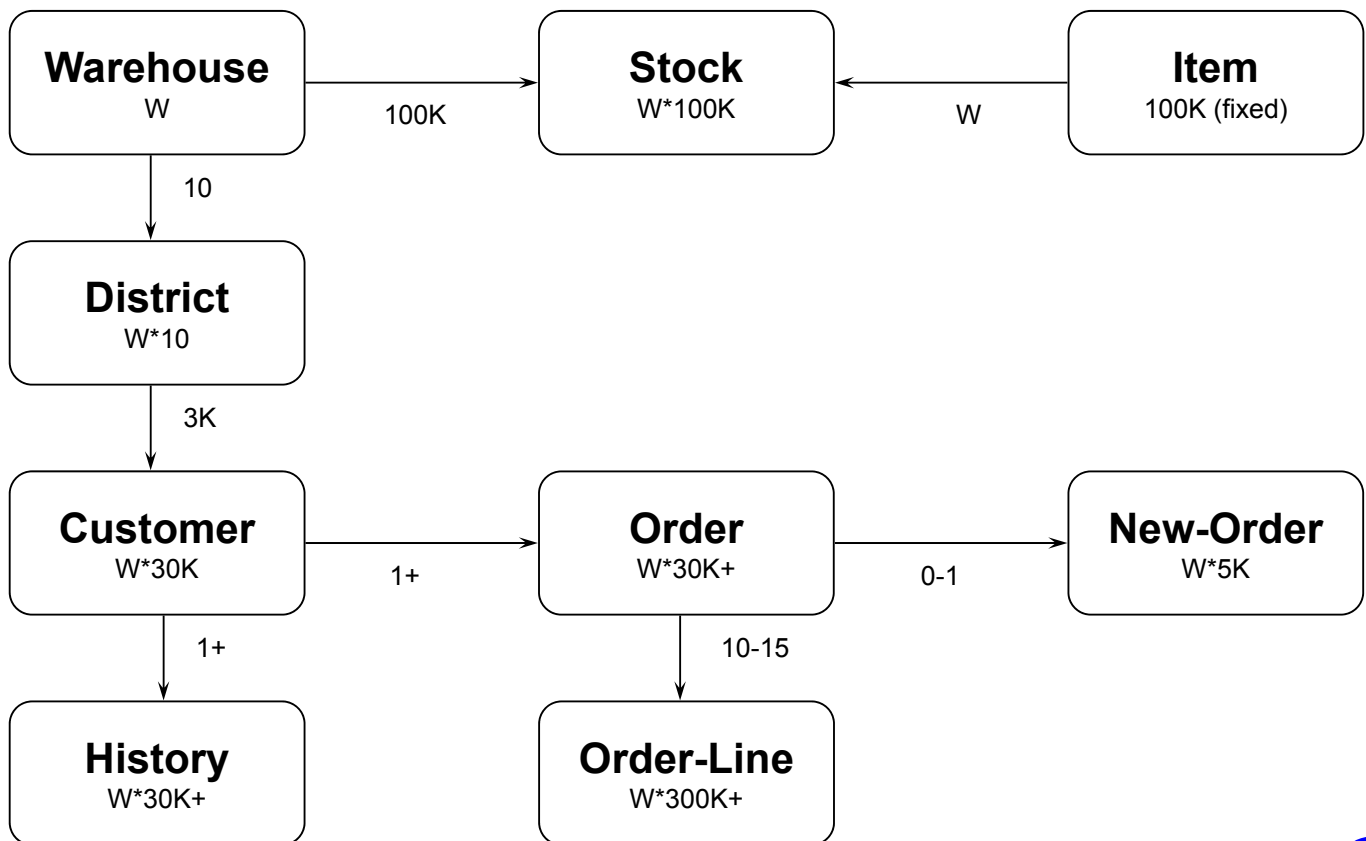
Gültigkeit von TPC Benchmarks (2014)

Benchmark Standards																												
	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
TPC-A																												
TPC-B																												
TPC-C																												
TPC-D																												
TPC-R																												
TPC-H																												
TPC-W																												
TPC-App																												
TPC-E																												
TPC-DS																												
TPC-VMS																												
TPC-DI																												
TPCx-HS																												
TPC Express Benchmarks																												
Common Specifications																												
Pricing																												
Energy																												
Developments in Progress																												
TPC-VMC																												
TPC-V																												

TPC-C

- 1992 eingeführter OLTP-Benchmark
- 9 Tabellen (Bestellverwaltung von Warenhäusern)
- 5 Transaktionstypen
 - New-order (45%)
 - Payment (43%), Delivery (4%) , Order-status (4%), Stock-level(4%)
- DB skaliert proportional zum Durchsatz
- hohe Lokalität
- Metriken
 - Durchsatz von NewOrder-Transaktionen pro Minute (**tpmC**)
 - Price/performance (**\$/tpmC**)

TPC-C DB-Schema



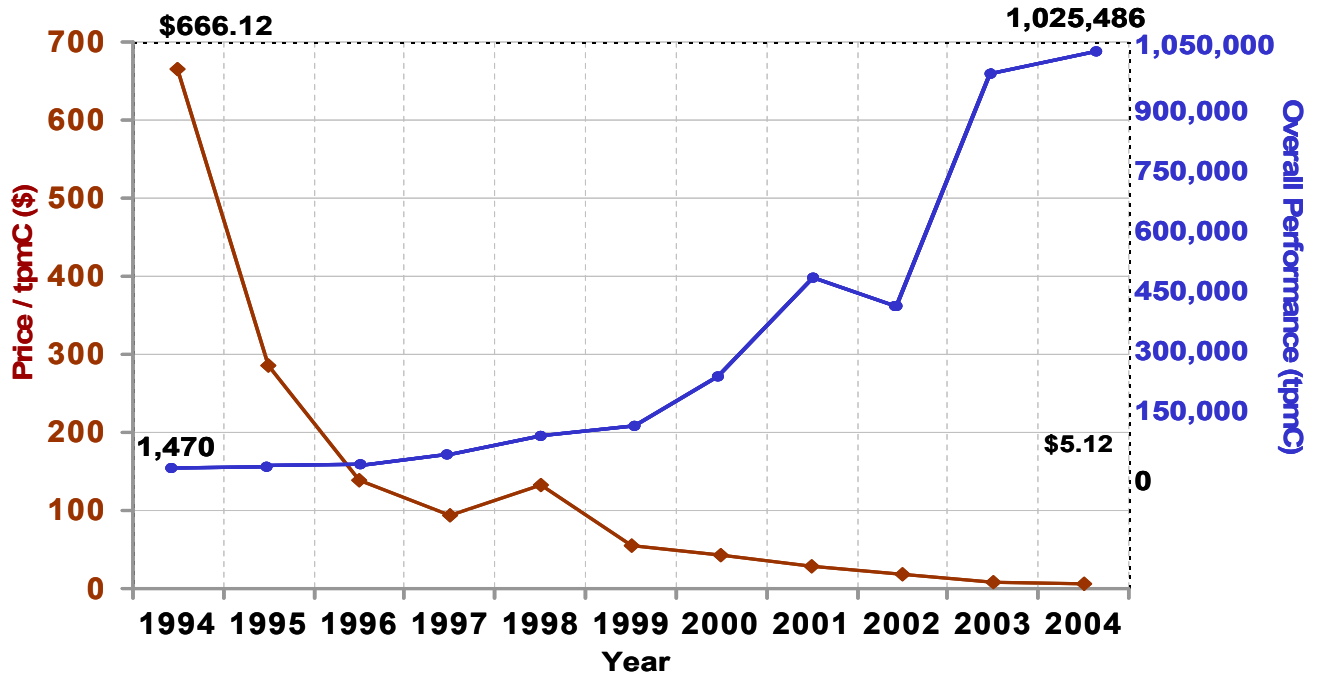
Transaktionstyp New Order (TPC-C)

```

BEGIN WORK { Beginn der Transaktion }
SELECT ... FROM CUSTOMER
  WHERE c_w_id = :w_no AND c_d_id = :d_no AND c_id = :cust_no
SELECT ... FROM WAREHOUSE WHERE w_id = :w_no
SELECT ... FROM DISTRICT (*-> next_o_id*)
  WHERE d_w_id = :w_no AND d_id = :d_no
UPDATE DISTRICT SET d_next_o_id = :next_o_id + 1
  WHERE d_w_id = :w_no AND d_id = :d_no
INSERT INTO NEW_ORDER ...
INSERT INTO ORDERS ...
  pro Artikel (im Mittel 10) werden folgende Anweisungen ausgeführt:
  SELECT ... FROM ITEM WHERE ...
  SELECT ... FROM STOCK WHERE ...
  UPDATE STOCK ...
  INSERT INTO ORDER-LINE ...
COMMIT WORK { Ende der Transaktion }
  
```

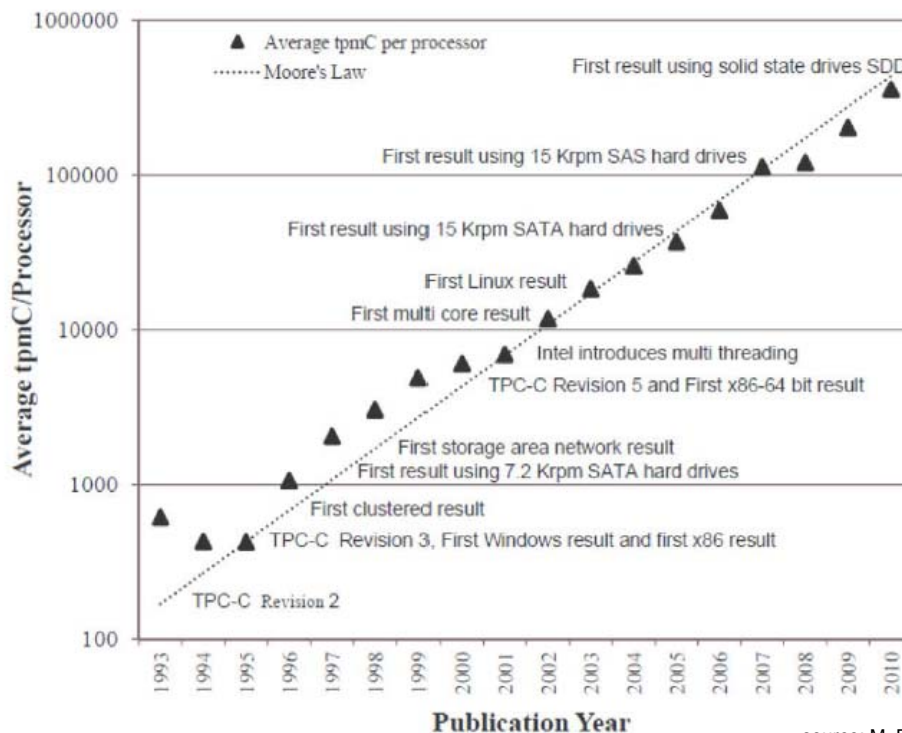
- im Mittel 48 SQL-Anweisungen (BOT, 23 SELECT, 11 UPDATE, 12 INSERT, EOT)
- 1% der Transaktionen sollen zurückgesetzt werden

TPC-C: Entwicklung 1994-2004



Entwicklung relativer TPC-C Performance

Transaction performance vs. Moore's Law, Milestones, 1993 to 2010



source: M. Poess, WBDB 2012

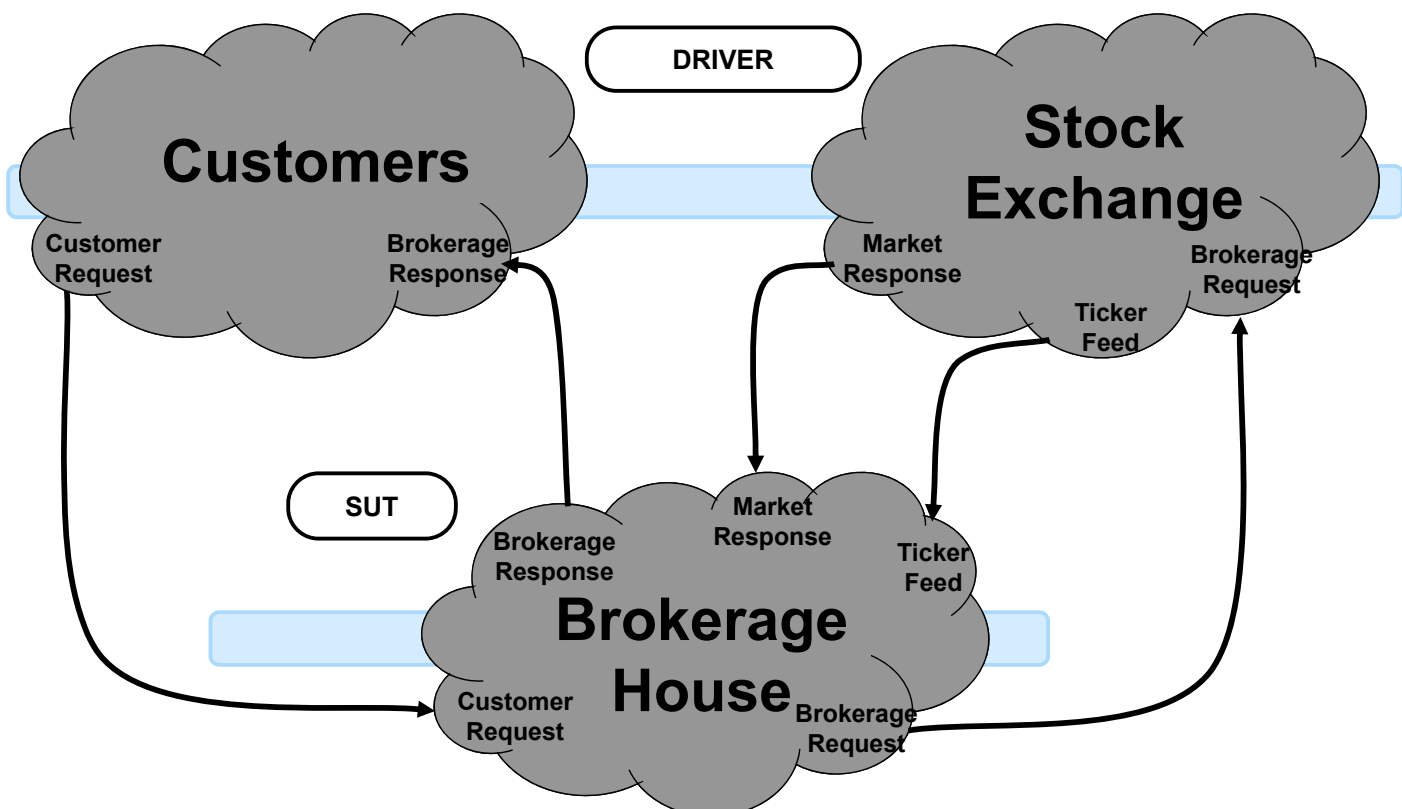


TPC-C Top-Durchsatz (Juni 2013/2017)

Rank	Company	System	Performance (tpmC)	Price/tpmC	Watts/KtpmC	System Availability	Database	Operating System	TP Monitor	Date Submitted	Cluster
1	ORACLE	SPARC SuperCluster with T3-4 Servers	30,249,688	1.01 USD	NR	06/01/11	Oracle Database 11g R2 Enterprise Edition w/RAC w/Partitioning	Oracle Solaris 10 09/10	Tuxedo CFS-R	12/02/10	Y
2	IBM	IBM Power 780 Server Model 9179-MHB	10,366,254	1.38 USD	NR	10/13/10	IBM DB2 9.7	AIX Version 6.1	Microsoft COM+	08/17/10	Y
3	ORACLE	SPARC T5-8 Server	8,552,523	.55 USD	NR	09/25/13	Oracle 11g Release 2 Enterprise Edition with Oracle Partitioning	Oracle Solaris 11.1	Oracle Tuxedo CFSR	03/26/13	N

Rank	Company	System	Performance (tpmC)	Price/tpmC	Watts/KtpmC	System Availability	Database	Operating System	TP Monitor	Date Submitted
1	TTA	Jet-speed HHA2212	139,909	1,730.00 KRW	NR	05/09/17	Goldilocks v3.1 Standard Edition	CentOS 6.6	Red Hat JBOSS Web Server	05/08/17
2	SAP	Dell PowerEdge T620	112,890	.19 USD	NR	11/25/14	SQL Anywhere 16	Microsoft Windows 2012 Standard x64	Microsoft COM+	11/25/14

TPC-E: Business Model – Financial Market

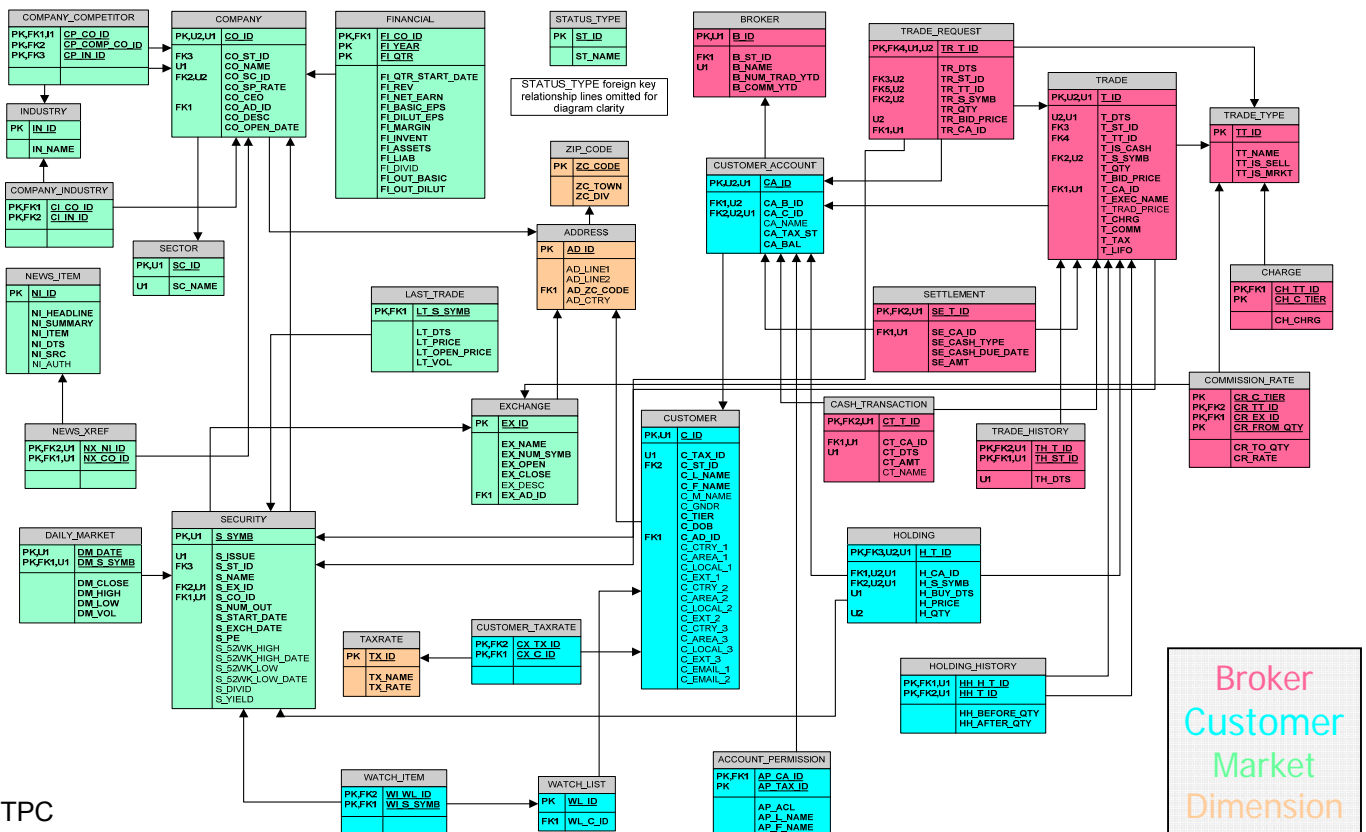


TPC-E

- 2007 verabschiedet
- wesentlich komplexer als TPC-C
 - 33 statt 9 Tabellen
 - 188 statt 92 Spalten
 - referentielle Integrität einzuhalten
 - obligatorische RAID-Datenspeicherung
 - pseudo-reale Daten (z.B. für Kundennamen)
- 10 Transaktionstypen
 - Consumer-to-Business: Trade-Order, Trade-Result, Trade-Update, ...
 - Business-to-Business: Broker Volume, Market-Watch, ..
- Metriken
 - Durchsatz von TradeResult-Transaktionen pro Sekunde (**tpsE**)
 - Price/performance (**\$/tpsE**)



TPC-E Database – Mile High View



Source: TPC

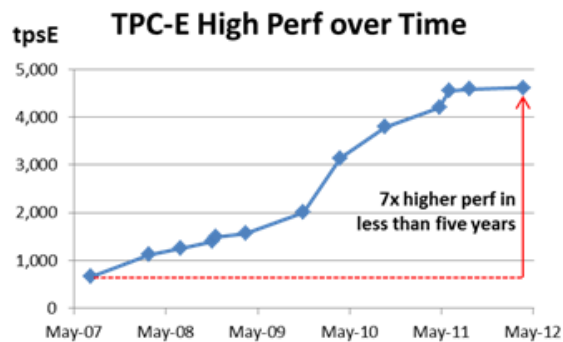
Broker
Customer
Market
Dimension



TPC-E Top-Durchsatz (Juni 2017)

Rank	Company	System	Performance (tpsE)	Price/tpsE	Watts/tpsE	System Availability	Database	Operating System	Processors / Cores / Threads	Date Submitted
1	Lenovo	Lenovo System x3950 X6	11,059	143.91 USD	NR	12/17/15	Microsoft SQL Server 2014 Enterprise Edition	Microsoft Windows Server 2012 R2 Standard Edition	8 / 144 / 288	12/17/15
2	FUJITSU	FUJITSU Server PRIMEQUEST 2800E2	10,058	187.53 USD	NR	11/11/15	Microsoft SQL Server 2014 Enterprise Edition	Microsoft Windows Server 2012 R2 Standard Edition	8 / 128 / 256	11/11/15
3	Lenovo	System x3950 X6	9,145	192.38 USD	NR	11/25/14	Microsoft SQL Server 2014 Enterprise Edition	Microsoft Windows Server 2012 Standard Edition	8 / 120 / 240	11/25/14
4	Lenovo	Lenovo System x3850 X6	9,068	139.85 USD	NR	07/31/16	Microsoft SQL Server 2016 Enterprise Edition	Microsoft Windows Server 2012 R2 Standard Edition	4 / 96 / 192	05/31/16
5	FUJITSU	FUJITSU Server PRIMERGY RX4770 M3	8,796	116.62 USD	NR	07/31/16	Microsoft SQL Server 2016 Enterprise Edition	Microsoft Windows 2012 R2 Standard Edition	4 / 96 / 192	07/12/16

Performance-Entwicklung für SQL-Server:

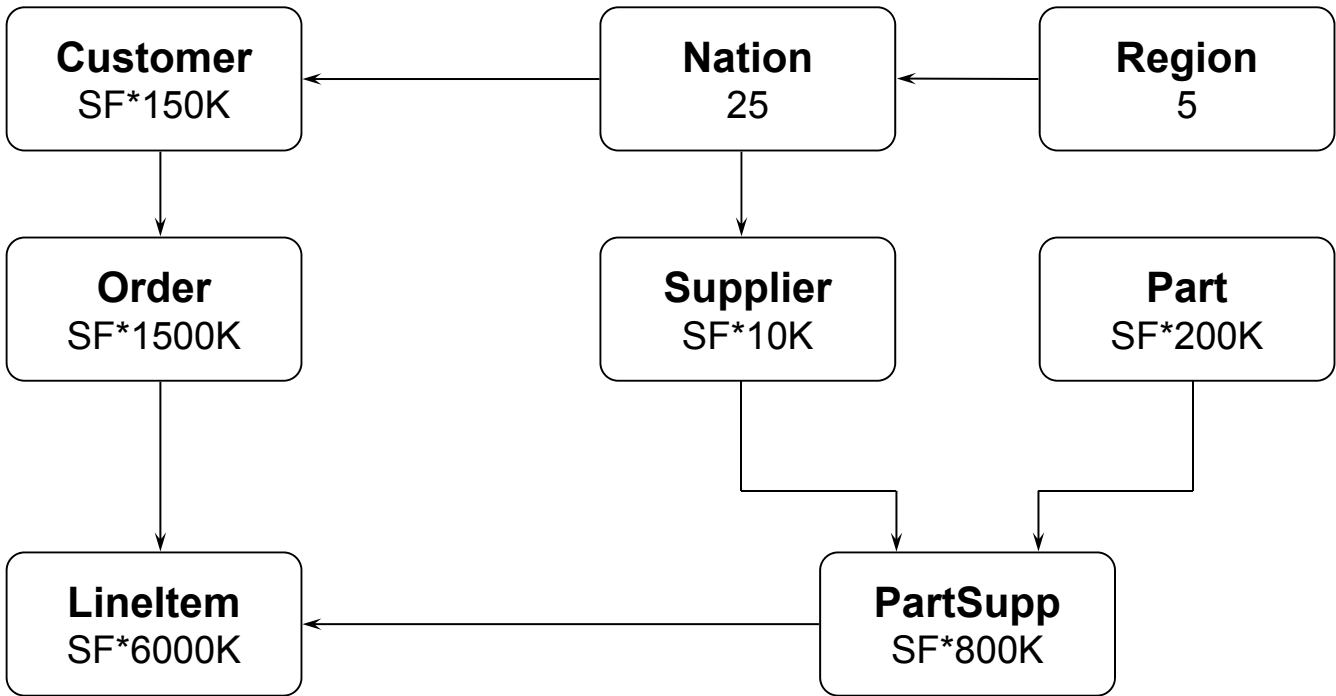


TPC-H

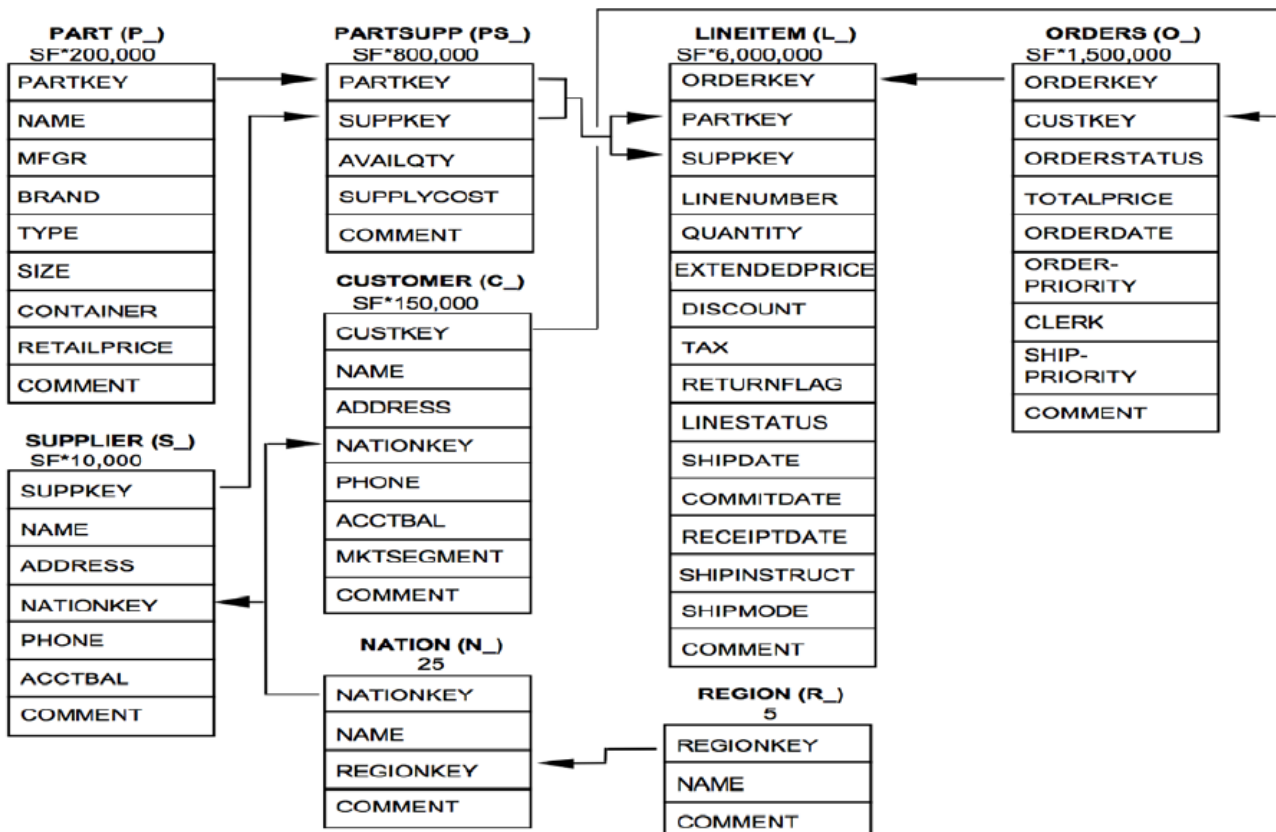
- Benchmark für Decision Support (Ad-Hoc-Queries)
 - 1999 eingeführt
- unterschiedliche DB-Größen (100 GB – 100 TB) über Skalierungsfaktor
- 22 Query-Typen, 2 Update-Operationen
- Zeitbedarf für Einbenutzer- und Mehrbenutzerausführung (single/multiple streams)
- Metriken
 - Query-per-Hour (QphH@Size)
 - \$/QphH@Size



TPC-H Schema



TPC-H Schema (detailliert)



Beispiel-Query Q7 (Volume Shipping)

```

/* TPC_H Query 7 - Volume Shipping */
SELECT SUPP_NATION, CUST_NATION, L_YEAR, SUM(VOLUME) AS REVENUE
FROM ( SELECT N1.N_NAME AS SUPP_NATION
      , N2.N_NAME AS CUST_NATION, datepart(yy, L_SHIPDATE) AS L_YEAR
      , L_EXTENDEDPRICE*(1-L_DISCOUNT) AS VOLUME
FROM SUPPLIER, LINEITEM, ORDERS, CUSTOMER, NATION N1, NATION N2
WHERE S_SUPPKEY = L_SUPPKEY AND O_ORDERKEY = L_ORDERKEY
      AND C_CUSTKEY = O_CUSTKEY AND S_NATIONKEY = N1.N_NATIONKEY
      AND C_NATIONKEY = N2.N_NATIONKEY
      AND ((N1.N_NAME = 'FRANCE' AND N2.N_NAME = 'GERMANY')
          OR (N1.N_NAME = 'GERMANY' AND N2.N_NAME = 'FRANCE'))
      AND L_SHIPDATE BETWEEN '1995-01-01' AND '1996-12-31' ) AS SHIPPING
GROUP BY SUPP_NATION, CUST_NATION, L_YEAR
ORDER BY SUPP_NATION, CUST_NATION, L_YEAR
    
```

Zur Unterstützung bei der Verhandlung über neue Lieferverträge soll der Wert der zwischen Frankreich und Deutschland transportierten Güter festgestellt werden. Dazu werden jeweils die rabattierten Einnahmen in den Jahren 1995 und 1996 berechnet, die aus Auftragspositionen resultieren, bei denen der Lieferant aus dem einen, und der Kunde aus dem anderen Land stammt (also vier Ergebnistupel).



TPC-H: Performance

1,000 GB Results

Rank	Company	System	QphH	Price/QphH	Watts/KQphH	System Availability	Database	Operating System	Date Submitted	Cluster
1	DELL	Dell PowerEdge R720xd using EXASolution 5.0	5,246,338	.14 USD	NR	09/24/14	EXASOL EXASolution 5.0	EXASOL EXACluster OS 5.0	09/23/14	Y
2	Hewlett Packard Enterprise	HPE Proliant DL380 Gen9	717,101	.61 USD	NR	10/19/17	Microsoft SQL Server 2017 Enterprise Edition	Red Hat Enterprise Linux Server 7.3	04/17/17	N
3	Hewlett Packard Enterprise	HPE Proliant DL380 Gen9	678,492	.64 USD	NR	07/31/16	Microsoft SQL Server 2016 Enterprise Edition	Microsoft Windows Server 2012 R2 Standard Edition	03/24/16	N
4	CISCO	Cisco UCS C460 M4 Server	588,831	.97 USD	NR	12/16/14	Microsoft SQL Server 2014 Enterprise Edition	Microsoft Windows Server 2012 R2 Standard	12/15/14	N

30,000 GB Results

Rank	Company	System	QphH	Price/QphH	Watts/KQphH	System Availability	Database	Operating System	Date Submitted	Cluster
1	DELL	Dell PowerEdge R720xd using EXASolution 5.0	11,223,614	.23 USD	NR	09/24/14	EXASOL EXASolution 5.0	EXASOL EXACluster OS 5.0	09/23/14	Y
2	Lenovo	Lenovo System x3950 X6	1,056,164	2.04 USD	NR	09/30/16	Microsoft SQL Server 2016 Enterprise Edition	Microsoft Windows Server 2016 Standard Edition	04/28/16	N

100,000 GB Results

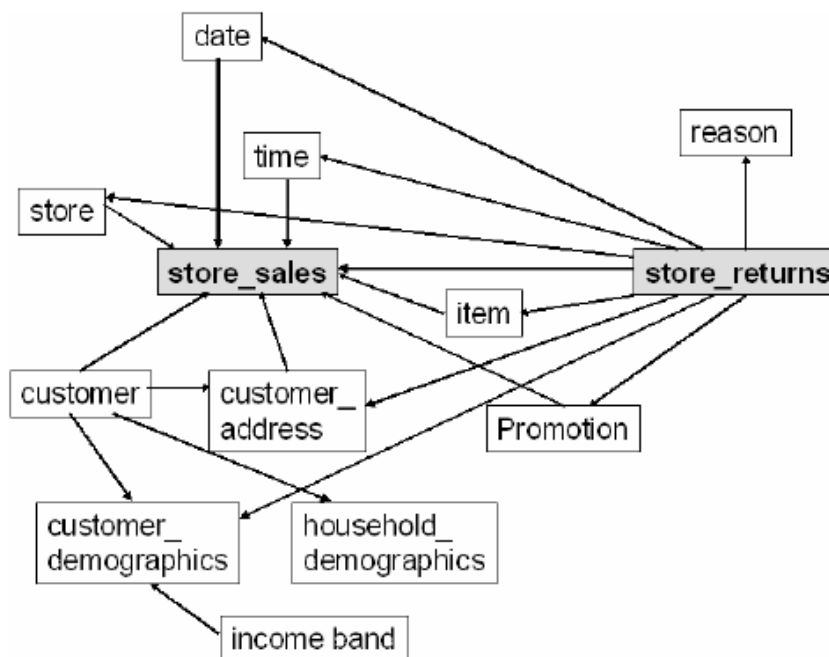
Rank	Company	System	QphH	Price/QphH	Watts/KQphH	System Availability	Database	Operating System	Date Submitted	Cluster
1	DELL	Dell PowerEdge R720xd using EXASolution 5.0	11,612,395	.37 USD	NR	09/24/14	EXASOL EXASolution 5.0	EXASOL EXACluster OS 5.0	09/23/14	Y



TPC-DS

- seit 2012
- bessere Unterstützung für Data-Warehouse-Datenbanken
 - mehrere (7) Faktentabellen mit gemeinsamen Dimensionen (Snowflake Schemas)
 - 24 Tabellen mit durchschnittlich 18 Attributen
 - 99 Queries + 12 Änderungsoperationen: Ad-hoc-Queries, Reporting, OLAP (Drill-Down/Up), Data Mining
 - ungleichmäßige Datenverteilung: lineare Skalierung für Faktentabellen, nicht-lineare Skalierung für Dimensionstabellen
 - ETL-artige Änderungen
- Skalierung von 100 GB bis 100 TB
- Sequenz von 4 Tests: Database Loading, Power test, Query throughput tests 1 und 2
- Metriken:
 - Query-Durchsatz QphDS@SF und Kosten \$ / QphDS@SF
 - sekundäre Angaben: Ladezeit, Dauer (elapsed time) der anderen Phasen
 - ...

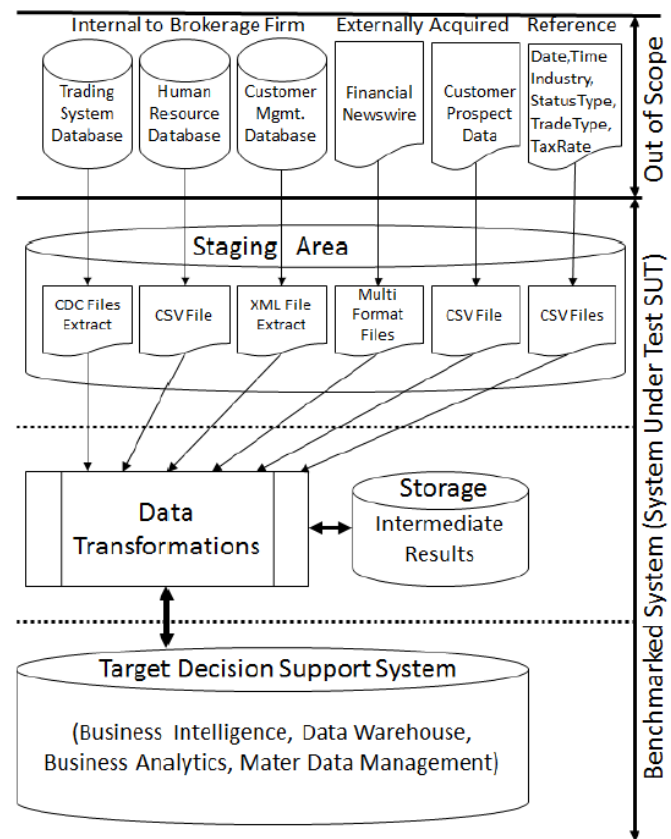
TPC-DS Teilschema (Store Sales)



- daneben Tabellen für Produktkatalog und Web Sales

TPC-DI

- Datenintegrations/ETL-Benchmark
 - seit 2014
- Merkmale
 - mehrere heterogene Datenquellen
 - Laden und inkrementelle Anpassung von Fakten- und Dimensionstabellen
 - Mix von Datentransformationen zur Datenvalidierung, Konvertierung, komplexen Aggregationen etc.
- Durchsatzmessungen für initiales Laden und zwei inkrementelle Update-Phasen des Warehouses



Big Data Benchmarks

- komplexe Analyseprozesse und Systemumgebungen (Data Warehouse, Hadoop, Streaming-System, Kombinationen)
 - Anforderungen; Volume, Variety, Velocity, Veracity, Analysen
 - kaum Standards
 - meist kein ACID
- Benchmarking von Komponenten vs End-to-End
- Datengenerierung?
- zum Teil Fokussierung auf bestimmte Art von Daten
 - z.B. LinkBench für Graphdaten
- TPC Express for Hadoop Systems (TPCx-HS)
 - basiert auf *Terasort* zum Sortieren großer Datenmengen
- TPCx-BigBench (TPCx-BB)
 - basiert auf TPC-DS für Hadoop-basierte Big Data Analysen

TPCx-HS

- TPC Express for Hadoop Systems (TPCx-HS)
 - seit 2014
- basiert auf *Terasort* zum Sortieren großer Datenmengen
 - Zeit zum (externen) Sortieren von 1 TB Daten (Jim Gray et al)
 - andere Sortierwettbewerbe *MinuteSort* / *PennySort* (sortiere so viel wie möglich in einer Minute/für einen Penny)
- Datenmengen/Skalierungsfaktoren: 1 bis 10.000 TB (10 PB)
 - von Sätzen a 100B
- parallele Ausführung mit Hadoop (HDFS) und MapReduce
 - 2009: 173 Minuten für 100 TB auf Cluster mit 3452 Knoten zur Generierung, Sortierung und Validierung der Daten/Ergebnisse
- Messen der Elapsed Time (Durchsatz) und Kosteneffektivität
 - $HS_{pH}@SF = 3600 * SF / T$ (stundenbezogene Durchsatzmetrik für Skalierungsfaktor SF; Elapsed Time T in Sekunden)
 - $\$/HS_{pH}@SF$: Kosteneffektivität



Ergebnisse TPCx-HS (Juni 2017)

10 TB Results											
Rank	Company	System	HSph	Price/HSph	Watts/KHSph	System Availability	Apache Hadoop Compatible Software	MR1/MR2	Operating System	Date Submitted	Nodes
1	CISCO	Cisco UCS Integrated Infrastructure for Big Data	12.18	314,594.50 CNY	NR	06/15/17	Transwarp Data Hub (TDH) 4.6	2	Red Hat Enterprise Linux Server 6.7	06/15/17	17
2	CISCO	Cisco UCS Integrated Infrastructure for Big Data	12.02	32,135.61 USD	NR	03/31/16	MapR Converged Community Edition Version 5.0	1	Red Hat Enterprise Linux Server 6.7	03/30/16	16
3	CISCO	Cisco UCS Integrated Infrastructure for Big Data	11.56	37,066.53 USD	NR	03/23/16	MapR Converged Community Edition Version 5.0	1	Red Hat Enterprise Linux Server 6.5	03/22/16	16
4	DELL	Dell PowerEdge 730/730xd	9.07	38,101.22 USD	NR	10/19/15	Cloudera Distribution for Apache Hadoop (CDH) 5.4.2	1	Red Hat Enterprise Linux Server 6.5	10/16/15	13

100 TB Results											
Rank	Company	System	HSph	Price/HSph	Watts/KHSph	System Availability	Apache Hadoop Compatible Software	MR1/MR2	Operating System	Date Submitted	Nodes
1	CISCO	Cisco UCS Integrated Infrastructure for Big Data	22.26	37,839.54 USD	NR	07/07/16	IBM Open Platform (IBM IOP) 4.1	2	Red Hat Enterprise Linux Server 6.7	07/07/16	32
2	CISCO	Cisco UCS Integrated Infrastructure for Big Data	21.99	39,193.64 USD	NR	10/26/15	Cloudera Distribution for Apache Hadoop (CDH) 5.3.2	1	Red Hat Enterprise Linux Server 6.5	10/23/15	32

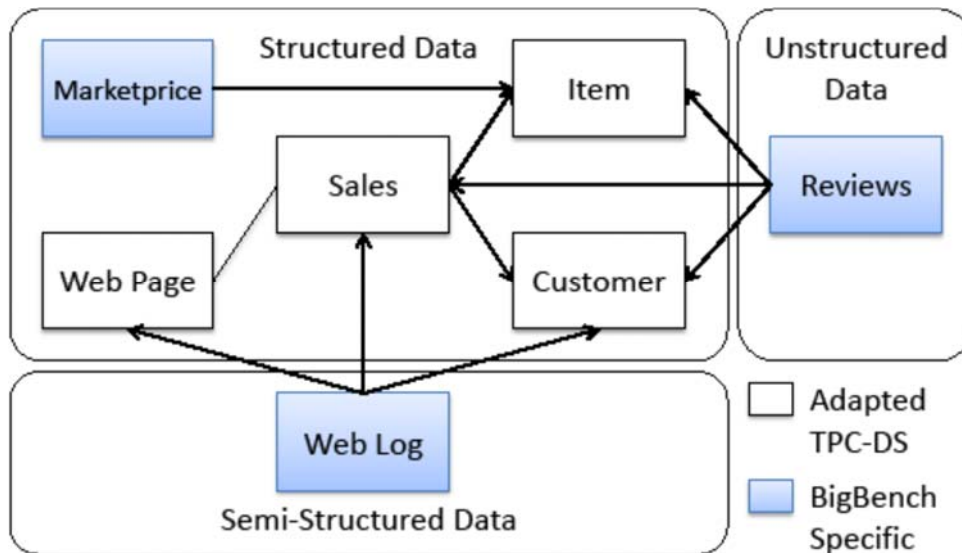
300 TB Results											
Rank	Company	System	HSph	Price/HSph	Watts/KHSph	System Availability	Apache Hadoop Compatible Software	MR1/MR2	Operating System	Date Submitted	Nodes
1	CISCO	Cisco UCS Integrated Infrastructure with S3260	11.34	50,472.05 USD	NR	11/11/16	Cloudera Distribution for Apache Hadoop (CDH) 5.3.2	1	Red Hat Enterprise Linux Server 6.7	11/11/16	17

Beispiel 100 TB (SF 100) Cisco/IBM: Systemkosten 842.000 USD (32 Knoten mit 896 Cores), Dauer für Generierung/Sortierung/Verifikation: 3.908/10.530/1.728 s., insgesamt 16.166 s = 4,5h.



TPCx-BigBench

- seit 2016
 - basierend auf BigBench-Paper (Sigmod 2013) von Teradata, Oracle, Univ. Toronto
- Erweiterung von TPC-DS (Enterprise Data Warehouse)
 - semistrukturierte / unstrukturierte Daten: Weblogs, Product reviews



TPCx-BB (2)

- Arbeitslast: 30 Analysen (SQL bzw. Machine Learning)
- Anwendungsbereiche
 - Marketing (cross-selling, ...): 18 Queries
 - Merchandizing (Sortiment- und Preisoptimierung): 5 Queries
 - Betrieb (Produktrückgaben ...),
 - Supply Chain
- unterschiedliche Analysetechniken
 - OLAP mit HiveQL, SparkSQL etc
 - statistische Analysen (Korrelationsanalyse, Regression, Time Series)
 - Data Mining (Klassifikation, Clustering, Assoziationsregeln)
- Benchmark-Aspekte
 - Skalierungsfaktoren: 1,
 - Messen der Ladezeiten, Powertest (Single User), Durchsatztest (Multi-User Betrieb)

Zusammenfassung

- Benchmarks spielen wichtige Rolle bei der Bewertung und Optimierung von DBS
- TPC-Benchmarks
 - meist Bewertung vollständiger Systeme
 - Berücksichtigung von Kosten / Energieverbrauch
 - relativ hoher Aufwand zur Durchführung (Auditing etc.)
 - neuere Benchmarks für Datenintegration und Hadoop/Big Data
- Beobachtungen
 - starke Verbesserungen in Performanz, Preis-Leistungsverhältnis aufgrund technologischer Fortschritte / Systemoptimierungen
 - eingeschränkte Realitätsnähe älterer Benchmarks
 - zunehmender Fokus auf BigData-Benchmarks