

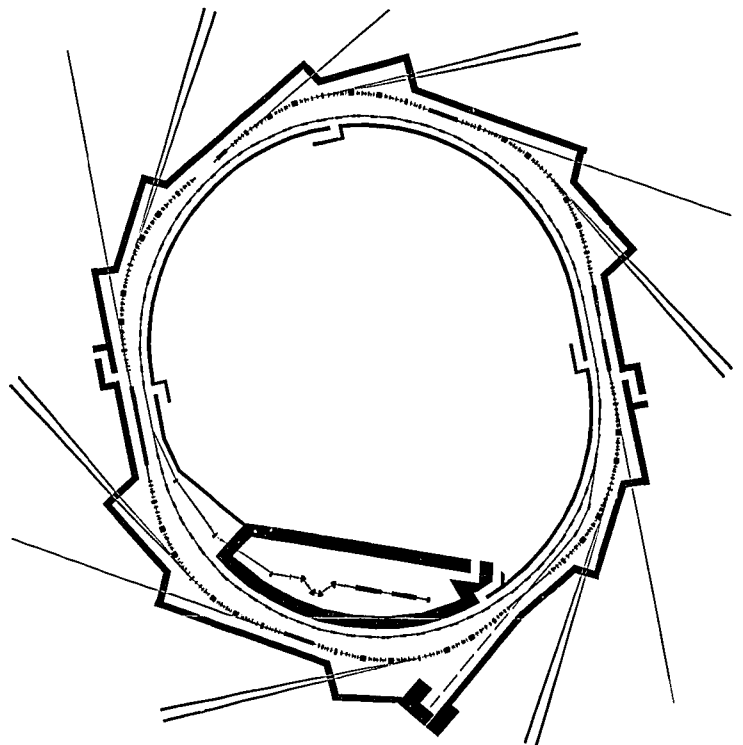
Rat der  
Eidgenössischen  
Technischen  
Hochschulen  
ETH-Rat

Conseil des  
écoles  
polytechniques  
fédérales  
CEPF

Consiglio  
dei  
politecnici  
federali  
CPF

Board of  
Swiss Federal  
Institutes of  
Technology  
FIT Board

INIS-mf--14789



# Synchrotron Lichtquelle Schweiz am Paul Scherrer Institut in Villigen

---

Zürich, 6. Februar 1996

## Zusammenfassung

Zur Vertiefung des Wissens über die Struktur der Materie und deren Eigenschaften sowie zur Herstellung von Mikro- und Nanostrukturen sind neue, verbesserte Forschungsmethoden unerlässlich. Die resultierenden Erkenntnisse werden wesentliche Innovationen bringen und sind ein Schlüsselfaktor für die Entwicklung konkurrenzfähiger Produkte und Verfahren wie z.B. für die gezielte Herstellung von neuen Medikamenten in der Pharmazie, für die Verbesserung der Haftungseigenschaften von Polymeren oder die Entwicklung von leistungsfähigeren, spezifischen Katalysatoren für die Energie- und Umwelttechnik. Das zukunftssträchtige Werkzeug dafür ist die Synchrotronstrahlung, in die zahlreiche Länder zunehmend investieren, um auf diesen Gebieten eigenständig an vorderster Front mit dabei zu sein.

Synchrotronlicht ist elektromagnetische Strahlung, deren Spektrum von infrarotem Licht bis zu Röntgenstrahlen reicht. Sie kann milliardenfach intensiver sein als die Strahlung anderer Quellen und ist deshalb ein einzigartiges wissenschaftliches und technisches Werkzeug auf zahlreichen Gebieten wie Materialforschung, Physik, Chemie, Biologie, Medizin und Umweltwissenschaften, das sich weltweit einer rasant steigenden Nachfrage erfreut.

Die Schweiz braucht Ausbildung, Forschung und Entwicklung auf höchstem Niveau, wenn sie ihren Vorsprung aus der Vergangenheit nicht verlieren will. Denn Spitzenforschung in der Schweiz zieht Intelligenz des In- und Auslandes an und gibt Impulse sowohl für die Ausbildung wie auch für eine florierende Wirtschaft und damit für neue Arbeitsplätze.

Um diese Chance wahrzunehmen, hat der ETH-Rat für die Schweiz das Projekt SLS, Synchrotron Lichtquelle Schweiz, lanciert.

Die SLS ist auf die nationalen Bedürfnisse und Gegebenheiten zugeschnitten. Sie ist eine Grossanlage für kleine Forschungsgruppen aus Hochschulen und Industrie. Sie ermöglicht Pionierarbeit in vielen Forschungs- und Entwicklungsgebieten und – zu einem späteren Zeitpunkt – auch in der High-Tech-Fabrikation. Deshalb wird die SLS genau zu dem beitragen, worauf die Schweiz wie erwähnt dringend angewiesen ist: zum hohen Ausbildungsstand, zur konkurrenzfähigen Forschung, Entwicklung und Produktion und damit zur Attraktivität des Arbeitsplatzes Schweiz. Das SLS-Konzept ermöglicht grösste Flexibilität und daher eine optimale Berücksichtigung von spezifischen Benutzerwünschen, sowohl den Zugang zu Experimentierzeit als auch die Art der angebotenen Synchrotronstrahlen betreffend. Sie erlaubt auch eine rasche Integration zukünftiger neuer Ideen auf dem Gebiet der Synchrotronstrahlung.

Die SLS ist für Spitzenqualität im Bereich zwischen ultraviolettem Licht und harter Röntgenstrahlung konzipiert und ist damit eine ideale und notwendige Ergänzung zur ESRF in Grenoble, welche für harte Röntgenstrahlung optimiert wurde. Da die SLS Strahlung von höchster Qualität anbietet, wird sie eine international konkurrenzfähige und weltweit attraktive Spitzenanlage für die Jahre nach 2000 sein, die optimal in das europäische Netz der Synchrotronlichtquellen integriert ist.

Das Kernstück der SLS ist ein Speicherring für Elektronen mit einer Energie von 2.1 GeV. Sein Durchmesser beträgt 80 m, und die umlaufenden Elektronen senden dort Synchrotronlicht aus, wo sie auf enge Kurvenbahnen gezwungen werden. Im Vergleich zu einem Protonenbeschleuniger sind die bei der SLS entstehenden radioaktiven Abfälle vernachlässigbar. In diesem Sinn gibt es auch keine Umweltbeeinträchtigung durch Strahlung oder Aktivierung.

Der ETH-Rat hat das Paul Scherrer Institut, PSI, mit der Realisierung der SLS beauftragt, weil das PSI aufgrund seiner Erfahrungen mit Grossanlagen und als Benutzerlabor dafür prädestiniert ist. Zusammen mit der vor der Vollendung stehenden Neutronenquelle SINQ und den Myonenstrahlen wird mit der Realisierung der SLS ein schweizerisches, weltweit einzigartiges Zentrum für Strukturuntersuchung und für Spektroskopie entstehen. Dies ist ganz im Sinne der Mission des PSI als naturwissenschaft- und technologieorientiertes Basis- und Benutzerlabor für die Schweizer Wissenschaft und Industrie.

Für die Realisierung der SLS rechnet der ETH-Rat mit Investitionskosten von 165 Millionen Franken. Davon entfallen 68 Millionen Franken auf den Bauteil (Gebäude und technische Infrastruktur) und 97 Millionen Franken auf den Systemteil (Strahlungsquelle und Experimentelle Anlagen). Die Finanzierung erfolgt im Rahmen des Finanzplans des ETH-Bereichs (94 Millionen Franken ab 1997; davon 40 Millionen aus dem Finanzplan des PSI und 4 Millionen Franken Erstaussstattungskredit für ein bewilligtes Laborgebäude am PSI, auf das zugunsten der SLS verzichtet wird) und aus den vorgesehenen Mitteln im Investitionsplan Bauten und Anlagen des ETH-Bereichs (60 Millionen Franken; davon 20 Millionen Franken als Verzicht bewilligter resp. Kompensation anderer geplanter Bauvorhaben am PSI) sowie aus Drittmitteln (11 Millionen Franken; davon hat der Kanton Aargau 2 Millionen Franken als zinsloses Darlehen für 10 Jahre zugesichert, und 9 Millionen Franken sind als Beitrag der Industrie vorgesehen). Die jährlichen Betriebskosten (inkl. Personalkosten) von 23 Millionen Franken übernimmt das PSI ab 2001 aus dem laufenden Voranschlag.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2. Wissenschaftspolitik</b>	<b>3</b>
2.1 Die Schweiz und die Forschung – heute und morgen	3
2.2 Die schweizerische Forschung und Europa	4
2.3 Die Bedeutung der SLS für die Schweiz	5
2.4 Der Entscheidungsprozess	6
<b>3. Die SLS</b>	<b>9</b>
3.1 Ein Werkzeug für interdisziplinäre Forschung	9
3.2 Die SLS-Anlage	13
3.3 Die künftigen Benutzer der SLS	16
3.4 Das internationale Netz der Synchrotronstrahlungsquellen	18
<b>4. Das PSI mit SLS, strategische Entwicklung</b>	<b>20</b>
<b>5. Projektablauf</b>	<b>24</b>
5.1 Zeitplan und Meilensteine	24
5.2 Kostenstruktur und Mittelbedarf	24
5.3 Finanzierung und Mitteleinsatz	27
5.4 Organisation	30
<b>6. Anhang</b>	<b>31</b>
6.1 Grundlagenforschung	31
6.2 Industrielle Anwendungen	34

# 1. Einleitung

An seiner Sitzung vom 13./14. September 1995 hat der ETH-Rat einen wichtigen Grundsatzentscheid zum Projekt Synchrotron Lichtquelle Schweiz, SLS, gefällt:

Im Rahmen der Gesamtplanung des ETH-Bereichs soll die Realisierung einer Synchrotronstrahlungsquelle am Paul Scherrer Institut in Angriff genommen werden. Der ETH-Rat ist von der wissenschaftlichen Qualität des Projekts und seiner wissenschaftspolitischen Bedeutung für Lehre und Forschung sowie von seinem positiven Einfluss auf den Forschungsplatz Schweiz überzeugt.

Im folgenden wird das SLS-Projekt kurz in seinem Umfeld vorgestellt.

Die Bedeutung der Synchrotronstrahlung für die moderne Wissenschaft und die Industrie von morgen wird durch die enorme Entwicklung des Gebietes offenkundig: nach der ersten Synchrotronlichtquelle von 1966 für Analytik sind heute weltweit 44 Anlagen in Betrieb. Die Gesamtzahl der BenutzerInnen von Synchrotronstrahlung in Europa beträgt ca. 6000. Während der vorgesehenen Bauzeit der SLS wird sich diese Zahl nach einer OECD-Abschätzung etwa verdoppeln. Zudem werden auch die Anforderungen an die Qualität der Anlagen stark zunehmen, sodass viele ältere Quellen nicht mehr konkurrenzfähig sein werden. Im Hinblick auf den erwarteten zukünftigen Bedarf sind in Europa für alle wichtigen älteren Anlagen Folgeprojekte vorgeschlagen oder in Realisierung. Diese werden jedoch vor allem qualitative Verbesserungen bringen und weniger zusätzliche Möglichkeiten schaffen.

Während in den USA, Japan und Europa (ESRF in Grenoble) je eine Grossanlage Experimentiermöglichkeiten höchster Qualität im Bereich der harten Röntgenstrahlung bietet, werden die Synchrotronstrahlungsquellen von weicher Röntgenstrahlung als kleinere, nationale Anlagen konzipiert und betrieben.

Die Schweizer Forschenden realisieren ihre Projekte heute an den weltweit verteilten Zentren. Seit der Inbetriebnahme der europäischen Anlage ESRF stehen ihnen, entsprechend dem Schweizer Anteil an der Finanzierung, hochwertige Experimentiermöglichkeiten mit harter Röntgenstrahlung zur Verfügung.

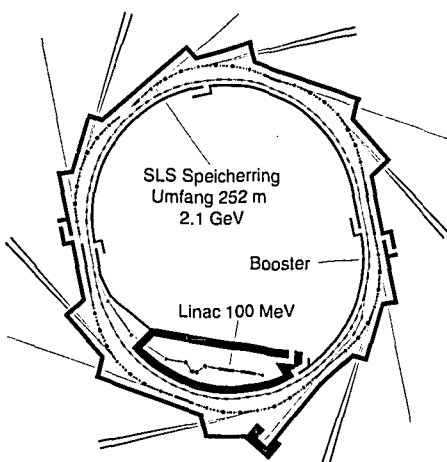
Eine eingehende Analyse zeigt jedoch, dass die heute vorhandenen Anlagen den Bedarf bei weitem nicht abdecken und vielversprechende Projekte nicht durchgeführt werden können. In

Zukunft wird sich diese Situation durch die allgemeine Steigerung der Nachfrage noch wesentlich verschärfen.

In Ergänzung zur schweizerischen Beteiligung an der ESRF schlägt der ETH-Rat deshalb die Realisierung einer Synchrotronstrahlungsquelle in der Schweiz vor. Die SLS ist optimal auf die schweizerischen Bedürfnisse von Hochschulen und Industrie zugeschnitten und erlaubt den Einsatz der Mittel mit hoher Effizienz.

Mit dem Bau dieser Anlage von internationaler Bedeutung soll ein nationaler Schwerpunkt für interdisziplinäre Zusammenarbeit und für die Erforschung der Materie gebildet werden. Ob schon Grundlagenforschung in Physik und Chemie, in Biologie und Medizin sowie in den Umweltwissenschaften im Vordergrund steht, ist auch die Industrie schon interessiert. Dies betrifft zur Zeit vor allem die Strukturbestimmung von biologischen und chemische Molekülen, die Anwendung von leistungsfähigen Analysemethoden und die Herstellung und Untersuchung von Mikrostrukturen.

Die SLS-Anlage soll den Schweizer Forschenden als Benutzereinrichtung zur Verfügung stehen. Sie wird durch ihre besonderen Qualitäten aber auch international attraktiv wirken. Vom Umfang her ist die Anlage jedoch ein nationales Projekt, das in das internationale Netz von Synchrotronstrahlungsquellen einbezogen ist. Die SLS ist ein wesentlicher Beitrag zur Erhaltung des Forschungs- und letztlich auch des Arbeitsplatzes Schweiz. Sie eröffnet attraktive Möglichkeiten für die Ausbildung an Hochschulen und Fachhochschulen und für die nationale und internationale Zusammenarbeit.



Grundriss der SLS-Anlage

Die SLS ist für höchstmögliche Qualität und Flexibilität ausgelegt. Sie ist optimiert für ultraviolettes Licht und weiche Röntgenstrahlung aus Undulatoren und verspricht Spitzenleistung bis in die Nähe harter Röntgenstrahlung. Damit ist die SLS komplementär zur ESRF, welche für harte Röntgenstrahlung optimiert ist. Gleichzeitig ist die SLS jedoch auch für letztere eine gute Quelle, was weltweit nur von wenigen Einrichtungen übertroffen werden kann. Die SLS ermöglicht auch industrielle Forschung streng vertraulicher Natur sowie die lokale Vorbereitung komplizierter Experimente zur späteren effizienten Durchführung an Grossanlagen wie der ESRF.

## 2. Wissenschaftspolitik

### 2.1 Die Schweiz und die Forschung – heute und morgen

Die rohstoffarme und vergleichsweise überbevölkerte kleine Wilensnation Schweiz hat es nicht zuletzt wegen ihrer hervorragenden Schulen und einer Forschung mit Weltniveau zu Wohlstand gebracht. Einen wichtigen Beitrag leisteten ausserdem Ausländerinnen und Ausländer, welche zum Beispiel in diesem Jahrhundert bei uns Zuflucht fanden.

Die Schweiz hat wesentliche Trümpfe wie

- soziale und politische Stabilität
- hohen Ausbildungsgrad auf allen Stufen
- eine ausgezeichnete Infrastruktur im Herzen Europas

aufzuweisen. Es gilt, diese zu halten und auszubauen, und dazu braucht die Schweiz auch eine florierende Wirtschaft.

Die schweizerische Wirtschaft ist deshalb dringend auf Ausbildung, Forschung und Entwicklung auf höchstem Niveau angewiesen.

Traditionsgemäss erbringt die Privatindustrie 70% der Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen, die restlichen 30% die öffentliche Hand. Mit totalen Forschungsaufwendungen von 2.7% des Bruttosozialprodukts liegt die Schweiz mit an der Spitze der Industrienationen; aufgrund unserer Situation sollten wir im Vergleich zu den anderen Ländern eher höher liegen, da wir ausser Wasser keine eigenen natürlichen Ressourcen haben und nur über einen kleinen Binnenmarkt verfügen.

Die öffentliche Hand sollte schwergewichtig die wissenschaftliche, grundlagenorientierte und weniger die angewandte Forschung fördern. Die Grundlagenforschung ist sehr risikobehaftet, wenig planbar, langfristig und birgt das Potential zu wirklich Neuem, zum Unerwarteten. Sie ist aber die Voraussetzung für die industrielle Forschung und Entwicklung, indem sie die grundlegend neuen Erkenntnisse und Methoden schafft. Natürlich gibt es eine Grauzone zwischen Grundlagenforschung und angewandter Forschung – aufgrund zusätzlicher Kriterien, wie zum Beispiel ökologischer Erwägungen, welche in der Wirtschaft noch zu wenig zum Tragen kommen, muss sich dann aber die öffentliche Hand im Sinne einer langfristigen Vision vermehrt engagieren.

Die Knappheit der finanziellen Mittel ist heute weltweit die Norm und zwingt zu Prioritätensetzung. Neues ist nur durch den Verzicht auf Altes realisierbar. Es sind Visionen, Beurteilung der

Qualität der Ergebnisse und Rechenschaft gefragt – und der Dialog mit der Öffentlichkeit. Wir sind noch zu wenig geübt, in dieser neuen Welt zu operieren. Die Privatindustrie musste sich – und muss sich noch heute – schnell umstellen, andernfalls droht der Konkurs. Fokussierung, Teambildung, bessere Nutzung der Infrastruktur sind neue Stichworte. Nicht mehr Organisation ist gefragt, sondern mehr Wettbewerb; die Mittel sind dort einzusetzen, wo der grösste Gewinn zu erwarten ist. Und: es kann nicht alles getan werden.

Die Frage nach der Relevanz, nach dem Kosten-Nutzen-Verhältnis wird gestellt. Im Falle der Grundlagenforschung ist deren Beantwortung ein schwieriges wenn nicht gar unmögliches Unterfangen. Aus diesem Grunde ist es sinnvoll, Grundlagenforschung wenn immer möglich robust anzulegen, d.h., es soll mit verschiedenen denkbaren, wichtigen Ergebnissen gerechnet werden können. Damit ist das Risiko gestreut.

Bei der Frage nach dem Kosten-Nutzen-Verhältnis muss die Bedeutung herausragender Forschung für die Ausbildung der kommenden Generation gerade in der Schweiz als sehr hoch bewertet werden.

Die Forschung ist heute also besser fokussiert, wird effizienter im Team betrieben, ist interdisziplinärer und wird kommuniziert. Die Qualität muss dank klugen Köpfen höher sein, dann ist die Forschung international wettbewerbsfähig und fördert die Stärken der Schweizer Industrie von morgen.

### **2.2 Die schweizerische Forschung und Europa**

Wir brauchen eine starke nationale Forschung von höchster Qualität, um für das übrige Europa und für die Welt attraktiv zu sein und solcherart ausländische Intelligenz in die Schweiz zu bringen. Hochqualifizierte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler in der Schweiz bringen derselben mehr, als solche im Ausland. Nur jene können einen Kristallisationspunkt für neue Arbeitsplätze bilden. Silicon Valley wurde nicht wegen der formellen Zusammenarbeit der USA mit dem Ausland möglich, sondern die Voraussetzungen dafür wurden im Staate Kalifornien mit hervorragenden Universitäten und Forschungslaboratorien geschaffen, welche Anziehungsorte für eine weltweite, leistungsorientierte, innovative junge Generation sind. Klima und Ambiance einer erfolgreichen Forschungsgemeinde sind nach wie vor geografisch lokal.



### 2.3 Die Bedeutung der SLS für die Schweiz

Die Leistungsfähigkeit der SLS ist im anvisierten Energiebereich Weltspitze. Im Verbund mit der am PSI vor der Vollendung stehenden Spallations-Neutronenquelle, der sogenannten SINQ, und der Myonen-Kapazität wird mit der Realisierung der SLS ein forschungspolitischer Markstein in der Schweiz gesetzt. Die SLS wird zahlreichen, für die Schweiz wichtigen Forschungsgebieten zusätzliche Impulse geben und neue Themen aufgreifen. Die Breite der möglichen Anwendungen, von der Strukturaufklärung in Biologie, Physik, Chemie und Materialwissenschaften bis hin zur Nanotechnik und ihrem Potential, neue Produkte im Gebiet der Röntgenlithographie zu schaffen, ist unerreicht.

Die Faszination der Nanowelt, in der die Objektgrösse im Bereich von einem Millionstel Millimeter (Nanometer) liegt, ist eine reelle Perspektive. Wir sind erst am Anfang dieser sich anbahnenden technischen Revolution, die derjenigen der Mikrotechnik, welche mit dem Transistor in den 50er Jahren begann, keineswegs nachstehen wird. Für die High-Tech-Schweiz von morgen ist die Beherrschung der Mikro- und vor allem der Nanowelt eine Notwendigkeit. Die SLS wird fraglos auf dem Weg in diese Zukunft eine unabdingbare Voraussetzung dafür sein. Es gilt, diese Chancen jetzt wahrzunehmen, um unseren zum Teil noch vorhandenen Vorsprung zu wahren, besser jedoch, diesen noch auszubauen, auch wenn die industriellen Anwendungen mit Blick auf Mikro- und Nano-Komponenten noch in einer fernerer Zukunft liegen. Das MITI (Ministry of International Trade & Industry) in Japan hat Hunderte von Millionen Dollars dafür eingesetzt, um in der Nanowelt an die Spitze zu gelangen und unterstützt dafür äusserst utopische Projekte.

*Mit einem Verzicht auf die SLS* vergäbe sich die Schweiz die Chance, eine neue Entwicklung mitzugestalten und mit Pioniergeist Neues zu schaffen, sowohl in der Forschung als auch in der Produktion. Das Verpassen von Chancen ist in aller Regel teuer, das Aufholen kostet viel mehr Geld, als die anfänglichen Investitionen in die Forschung. Ein Forschungsfranken übersetzt sich in zehn Entwicklungsfranken und schliesslich 100 Franken für Produktion. Ein teures Aufholen wird sogar zunehmend belanglos, da im globalen Kontext Forschung und Entwicklung dann bereits anderweitig stattfinden. Eine zielgerichtete Forschung höchster Qualität ist also gut investiertes Geld. Leider gibt es in der Schweiz genügend Beispiele von verpassten Chancen. Besonders erwähnen wollen wir hier die Immunologie, Biotechnologie, Mikrostruktur, Flüssigkristallanzeige, Supraleitung, Rastertunnelmikroskopie und Hochfrequenztechnik.

*Eine SLS in der Schweiz* wird uns die grösstmögliche Verfügbarkeit garantieren in Gebieten, die uns wichtig erscheinen. Sie wird eine Identität der schweizerischen Synchrotronstrahlungs-Gemeinschaft ohne Einbusse von Internationalität bringen. Der

Standort Schweiz der SLS ist unerlässlich für eine zukünftige industrielle Nutzung z.B. für KMUs. Sie bringt der schweizerischen Wissenschaft *Visibilität* und wird Anziehungspunkt sein auch für ausländische Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler und nicht zuletzt für Studentinnen und Studenten. Die Anlagenkonzeption ist von überragender Qualität und garantiert die Aktualität der SLS in der Zukunft; ihre extreme Brillanz wird im Nanozeitalter voll zum Tragen kommen. Die SLS wird auch dann aktuell sein, wenn die industriellen Anwendungen realisiert werden.

*Wenn wir unseren Lebensstandard halten wollen, müssen wir besser sein als die anderen – wir müssen in eine Forschung mit Zukunft investieren. Die Konkurrenz, beispielsweise Frankreich mit dem neuen Projekt «Soleil», das der SLS nachempfunden ist, schläft nicht.*

Die Bedeutung einer derartigen Forschungsanlage für ein hochentwickeltes Industrieland wie die Schweiz wurde auch anlässlich des Besuchs einer französischen Delegation Ende 1995 ersichtlich. Dort wird trotz bereits vorhandenen Anlagen in Grenoble (ESRF) und Paris (LURE) eine weitere nationale Anlage unter dem Namen SOLEIL – ähnlich der SLS – projektiert. Der zukünftige Bedarf nach solchen Strahlenquellen wird von den französischen Spezialisten sehr hoch eingeschätzt. Dem ETH-Rat wurde Zusammenarbeit im Rahmen der Projekte SLS und SOLEIL vorgeschlagen.

Im Hinblick auf eine engere Wissenschaftskooperation bei grossen nationalen und internationalen Forschungsinitiativen und einer besseren Nutzung von Synergien bei ihrer Realisierung wurde am 1. Juni 1992 von der OECD das «Megascience Forum» gegründet und kürzlich anlässlich der Wissenschaftsministerkonferenz vom September 1995 um weitere drei Jahre verlängert. Staatssekretär Heinrich Ursprung hat anlässlich dieser Ministerkonferenz die Bildung einer Arbeitsgruppe «regionale Synchrotronlichtquellen» eingebracht. Es ist vorgesehen, dass das PSI für die Schweiz als «lead country» Organisation und Leitung dieser international zusammengesetzten Arbeitsgruppe übernimmt. Dadurch kann die Schweiz an vorderster Front die internationalen Entwicklungen in diesem bedeutenden und zukunftssträchtigen Gebiet mitgestalten.

### 2.4 Der Entscheidungsprozess

Das Projekt SLS wurde im September 1993 erstmals auf Stufe ETH-Rat behandelt. Er gab weitere Abklärungen in Auftrag und legte das weitere Vorgehen für die Entscheidungsfindung fest. Fünf Themenkreise, die für einen Grundsatzentscheid über den

Bau der SLS am PSI von Bedeutung sind, wurden eingehend behandelt:

- die wissenschaftliche Qualität und die wissenschaftspolitische Bedeutung des Projekts
- die Existenz einer genügend grossen Benutzergemeinschaft im In- und Ausland
- die Finanzierung des Projekts für Bau und späteren Betrieb der Anlage
- die zukünftige Entwicklung des PSI
- das Projektmanagement mit einer geeigneten Projektorganisation

Basierend auf einer Begutachtung durch internationale Experten wurde bereits 1994 die *wissenschaftliche Qualität und die wissenschaftspolitische Bedeutung* des Projekts als hoch eingestuft. Aufgrund der Gutachten und internationaler Kontakte wurde das Projekt seither noch wesentlich verbessert. Es verfügt heute über einen hohen Reifegrad. Andere Projektvorschläge für eine neue Generation von Synchrotronlichtquellen im Ausland übernehmen zunehmend Ideen des PSI-Projekts.

Nachdem der Nationalfonds und der Schweizerische Wissenschaftsrat in einer ersten Stellungnahme im Frühjahr 1994 noch Vorbehalte geäussert hatten, unterstützen heute erfreulicherweise beide Institutionen das Projekt. Eine positive Stellungnahme der Chemisch-Pharmazeutischen Industrie liegt ebenfalls vor.

Die *Existenz einer genügend grossen Benutzergemeinschaft* im In- und Ausland erscheint heute bezüglich Qualität und Quantität gesichert.

Für die *Finanzierung des Baus* stehen grundsätzlich drei verschiedene Finanzierungsquellen zur Diskussion:

- Mittel aus den Voranschlägen des ETH-Bereichs
- neuorientierte und zusätzliche Mittel gemäss Investitionsplan für Bauten und Anlagen
- externe Mittel von ausserhalb des Bundes (Industrie, EU, andere Quellen)

Der ETH-Rat entschied sich schon 1993 im Grundsatz für eine Finanzierung des Projekts schwergewichtig über den ETH-Bereich (insbesondere auch über Mittel des PSI), da er es als unwahrscheinlich beurteilte, dass die Privatwirtschaft den Bau einer derartigen Anlage wesentlich mitfinanzieren würde.

Als Folge der Verschlechterung der Lage der Bundesfinanzen, beschloss der ETH-Rat im März 1994, dass eine Finanzierung vorwiegend mit Mitteln aus dem ETH-Bereich nicht mehr in Frage komme. Der Direktor des PSI wurde eingeladen, nach weiteren Möglichkeiten für die Finanzierung zu suchen.

Im Verlauf der Verhandlungen wurde klar, dass die SLS als Impuls und Schwerpunktbildung für die Grundlagenforschung zahlreicher Disziplinen (Chemie, Biologie, Materialwissenschaften, Physik, Mikrosystemtechnik) anerkannt wird. Diese Bereiche sind auch für die Wirtschaft von mittel- und langfristigen Interesse. Die Finanzierung des Projekts ordnet sie allerdings im Rahmen der traditionellen Aufgabenteilung der öffentlichen Hand zu.

Mitte 1995 wurde im ETH-Bereich schliesslich ein Konsens erreicht – unter festgelegten Randbedingungen bezüglich Kürzungen im Finanzplan – die Finanzierung grossteils über den ETH-Bereich anzugehen. Mit dem Beschluss des ETH-Rats vom 13./14. September 1995, das Projekt mit Nachdruck weiterzuverfolgen, werden nun auf Stufe Bundesrat die erforderlichen Anträge gestellt.

Im März 1994 wurden im Nationalrat ein Postulat und eine Interpellation eingereicht (Postulat Haering Binder; Interpellation Leemann), in welchen darauf hingewiesen wurde, dass es sich bei der geplanten SLS um eine wichtige Weichenstellung für die schweizerische Wissenschafts- und Forschungspolitik handle. Der Bundesrat wurde im Postulat eingeladen, das Projekt einer umfassenden und durch externe Experten durchzuführenden Kosten-/Nutzenanalyse zu unterziehen und dem Parlament darüber Bericht zu erstatten. In der Interpellation wurde er gebeten, über den zeitlichen und inhaltlichen Ablauf des Genehmigungsverfahrens Auskunft zu geben. Zudem wurde gefragt, ob der Bundesrat bereit sei, angesichts der Tragweite des Projekts zum gegebenen Zeitpunkt dem Parlament eine Gesamtvorlage vorzulegen. Der Bundesrat hat das Postulat entgegengenommen und der Interpellantin zugesagt, dass – selbst wenn nur eine Teilfinanzierung aus Mitteln des Bundes erfolgen sollte – die eidg. Räte in einem Botschaftstext eine vollständige Information über das gesamte Projekt und seine Finanzierung erhalten werden; dies, um die forschungspolitische Tragweite des Entscheides des Parlaments transparent zu machen.

Die vorgesehene *Organisationsstruktur* für die Realisierung der SLS ist im vorliegenden Bericht beschrieben: Es wird insbesondere ein Lenkungsausschuss unter der Leitung des ETH-Rats-Mitglieds Heinrich Rohrer eingesetzt, in dem auch der Delegierte des ETH-Rats, die ETH-Präsidenten und der Direktor des PSI Einsitz nehmen.

Für die *Leitung des Projekts* konnten Wissenschaftler mit weltweiter Erfahrung auf diesem Gebiet gewonnen werden: Gottfried Mülhaupt, der erfolgreich BESSY in Berlin realisierte und in leitender Stellung beim Bau der ESRF in Grenoble mitwirkte, für den Bau der SLS und Bruno Reihl, IBM, der seit 1980 Nutzer von Synchrotronstrahlung an verschiedenen Quellen in der Welt ist, für den Forschungssektor.

## 3. Die SLS

### 3.1 Ein Werkzeug für interdisziplinäre Forschung

In den letzten Jahrzehnten wurde die Synchrotronstrahlung zu einem wichtigen Werkzeug in vielen grundlegenden Disziplinen, von der Physik über Chemie bis zu den Biowissenschaften. Ihre grosse Bedeutung hat mit jener Fragestellung zu tun, die fast alle Forschungsbereiche betrifft:

«die Untersuchung von Phänomenen, die mit den Elektronenbindungen und mit der atomaren Struktur der Materie zusammenhängen.»

Gebiete, die auf den ersten Blick sehr verschiedenartig sind wie mikroskopische Physiologie, Proteinstruktur, Bildung von Clustern, Eigenschaften von Halbleitern, Supraleitern und künstlichen Nanostrukturen oder Mechanismen der Katalyse lassen sich alle auf die atomare Struktur der Materie und die Eigenschaften von Elektronenbindungen zurückführen.

Die Methoden zur Untersuchung dieser Phänomene basieren überwiegend auf einer Wechselwirkung zwischen einer Sonde und dem interessierenden System. Elektromagnetische Strahlung ist eine der wichtigsten Sonden dieser Art. Während für die Erzeugung von sichtbarem und ultraviolettem Licht auch die Laser-Strahlung eine zentrale Rolle spielt, ist für Strahlung höherer Energie (d.h. oberhalb von etwa 10 eV) die Synchrotronstrahlung die unangefochtene Lichtquelle der Wahl (Fig. 1).

**Synchrotronlicht (auch Röntgenlicht):** ist elektromagnetische Strahlung wie sichtbares Licht und entsteht, wenn schnelle Elektronen, die in einem Speicherring zirkulieren, auf Kurvenbahnen gezwungen werden.

**Vakuum-Ultraviolet (VUV), weiche und harte Röntgenstrahlung:** Einteilung des Synchrotronlichts nach Energiebereichen (Fig. 1).

**Energie-Einheiten:**  
 1 eV = 1 Elektron-Volt, ist jene Energie, die ein Elektron gewinnt, wenn es eine Potentialdifferenz von 1 Volt durchquert.  
 1 keV = 1 000 eV  
 1 MeV = 1 000 000 eV  
 1 GeV = 1 000 MeV

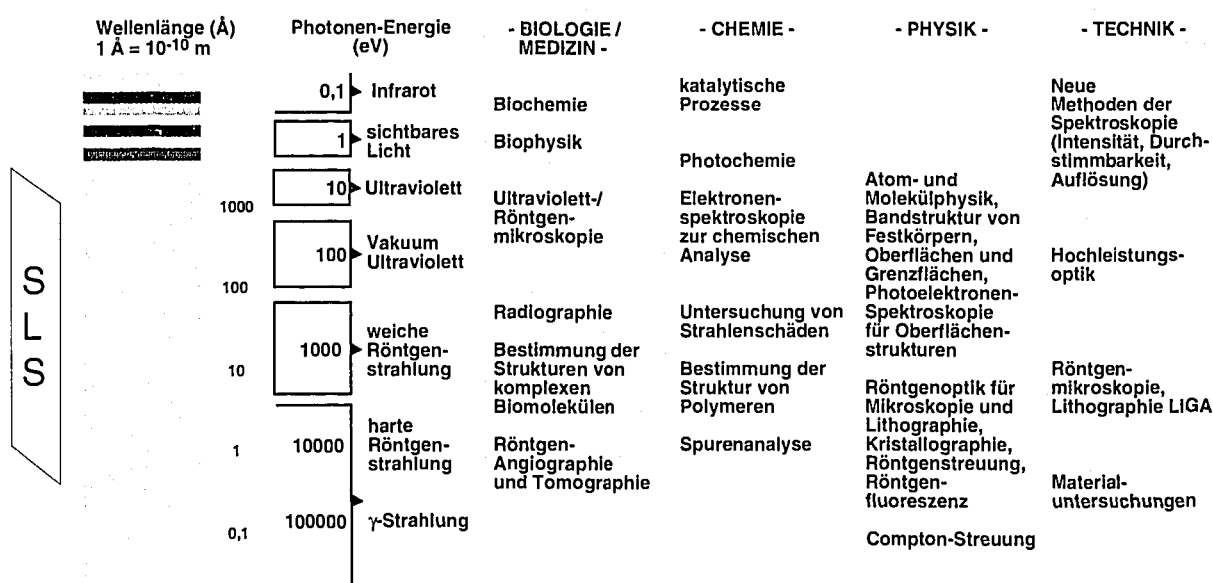


Fig. 1: Einsatzgebiete der Synchrotronstrahlung (nach Broschüre Synchrotronstrahlung, HASYLAB).

Neben ihrer Anwendung in der Grundlagenforschung ist die Synchrotronstrahlung auch ein wichtiges Werkzeug für technologische Entwicklungen und medizinische Anwendungen.

Die herausragenden Eigenschaften der Synchrotronstrahlung sind:

**Energie und Wellenlänge:** sind gleichbedeutend; höhere Energie entspricht kürzerer Wellenlänge

- hohe Intensität
- ausgezeichnete Bündelung
- Abstimmbarkeit über einen weiten Energie- (Wellenlängen-) bereich,
- hoher Polarisationsgrad
- kurze Pulslänge.

**Photonen:** «Lichtteilchen», Pakete von elektromagnetischen Wellen

Eine wesentliche Eigenschaft einer Synchrotronstrahlungsquelle ist die *Brillanz*. Die Brillanz beschreibt gleichzeitig die Intensität und die Bündelung des Photonenstrahls und ist damit ein Mass für die Qualität der Quelle.

**Photonenfluss:** Anzahl «Lichtpartikel», welche die Flächeneinheit pro Zeiteinheit durchquert

Eine hohe Brillanz erlaubt Experimente

**Auflösung:** Feinheit der Messung z.B. des Ortes (Ortsauflösung), der Zeit (Zeitauflösung), der Energie (Energieauflösung); hohe Energieauflösung heisst, es können winzige Energiedifferenzen unterschieden werden.

- mit hohem Photonenfluss auf sehr kleinen Messproben
- mit hoher Energieauflösung
- mit sehr guter Ortsauflösung
- zu Vorgängen mit extrem schnellen Veränderungen.

Während Experimente an konventionellen Anlagen in der Regel nur auf eine dieser Eigenschaften optimiert werden können, wird die exzellente Brillanz, die bei der SLS angestrebt wird, eine gleichzeitige Optimierung von mehreren dieser Eigenschaften ermöglichen.

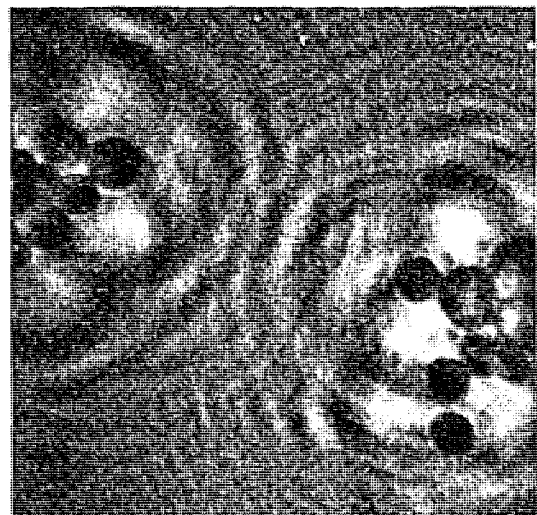
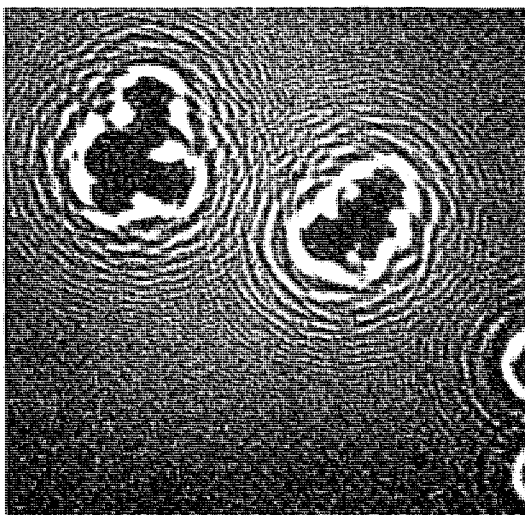


Fig. 2: Das Röntgenstrahl-Hologramm (links) enthält die gesamte Information zur Erzeugung des Bildes (rechts) der Energiezentren von Pflanzen, der Zymogenkörnchen (S. Rothmann et. al., NSLS, Brookhaven).

Darüber hinaus hat eine hohe Brillanz einen hohen Grad von *Kohärenz* der ausgesandten Strahlung zur Folge. Sie wird damit laser-ähnlich. Dies bietet Zugang zu Anwendungen von neuartigen Abbildungstechniken wie z.B. der Holographie (Fig. 2).

**Kohärenz:** bei kohärentem Licht sind alle Wellen untereinander räumlich und zeitlich fix. Nur Licht mit einer einzigen Wellenlänge (monochromatisch) kann kohärent sein. Beispiele sind das Laserlicht und die Synchrotronstrahlung.

Aufgrund der *Zeitstruktur* der SLS-Strahlung werden dynamische Untersuchungen möglich sein, bei denen man – je nach Zeitverhalten eines Systems – Phänomene bis in den Pikosekundenbereich studieren kann. Das bedeutet, dass komplexe chemische und biologische Vorgängen in Echtzeit beobachtet werden können.

**Pikosekunde (ps):** eine Pikosekunde ist ein Millionstel einer Millionstelsekunde

In jüngster Zeit haben Forschungsgruppen aus verschiedenen Universitäten der Schweiz Synchrotronstrahlung von hoher Qualität eingesetzt. Zwei besondere Experimente stellen wir hier kurz vor (siehe auch Kap. 6, Grundlagenforschung und Industrielle Anwendungen).

#### Neue Materialien: Zeolithe als Katalysatoren

Zeolithe sind Kristallstrukturen, die aus einem Aluminosilikatgerüst bestehen, das Kanäle und Hohlräume (Käfige) von atomaren Dimensionen enthält. Die Öffnungen dieser Kanäle wirken als Molekularsiebe (nur bestimmte Moleküle können hinein- oder herausdiffundieren) und die Käfige können als wohldefinierte «Reaktionsgefässe» für gezielte chemische Reaktionen an diesen Molekülen ausgenutzt werden. Da in den Hohlräumen auch noch spezifische Reaktionszentren eingebaut werden können, werden heute Zeolithe als hochspezifische Katalysatoren auf den verschiedensten Gebieten eingesetzt. Daneben gewinnen modifizierte Zeolithe auch zunehmendes Interesse als zukunftssträchtige Materialien mit speziellen optischen, elektrischen oder magnetischen Eigenschaften. Aus diesen Gründen werden grosse Anstrengungen unternommen, Zeolithe mit neuen Zusammensetzungen herzustellen.

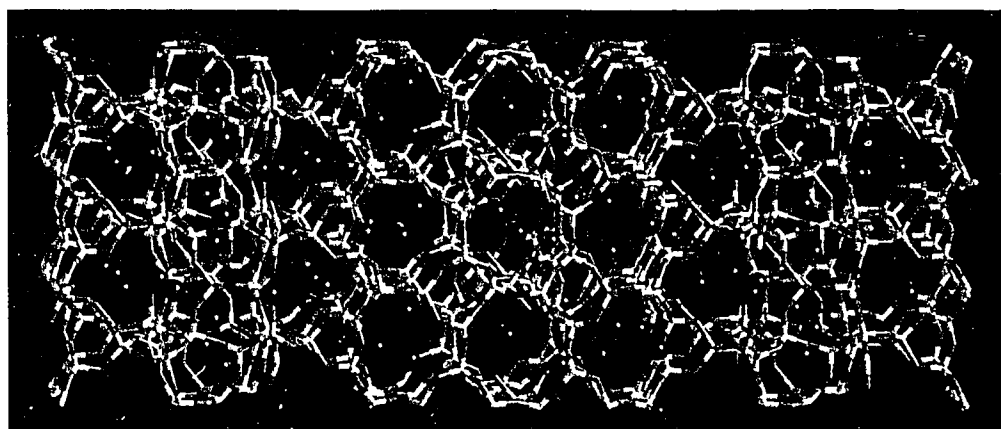


Fig. 3: Struktur eines Rubidium-Zinksilikat-Molekularsiebes. Diese Struktur enthält über 900 Atome in einer Elementarzelle von rund  $7200 \text{ \AA}^3$ . (Ch. Baerlocher und L.B. McCusker, ETH Zürich; aus Daten an der Swiss/Norwegian-Beamline, ESRF)

### Neue Wege in der Biologie : Wie verteilen sich Spurenelemente im Gehirn?

Auf der Suche nach neuen Therapiemethoden stellt sich die Frage, wie Spurenelemente in den Zellen aufgenommen werden. Dabei ist nicht nur die Menge von Wichtigkeit, sondern auch die räumliche Verteilung in einem Zellverbund. Zur Lösung solcher Probleme ist eine Experimentiermethode nötig, die sowohl eine extrem gute räumliche Auflösung als auch eine sehr hohe, elementspezifische Empfindlichkeit aufweist. Die in Figur 4 gezeigten Resultate von Experimenten mit Synchrotronstrahlung sind ein erster Schritt in diese Forschungsrichtung.

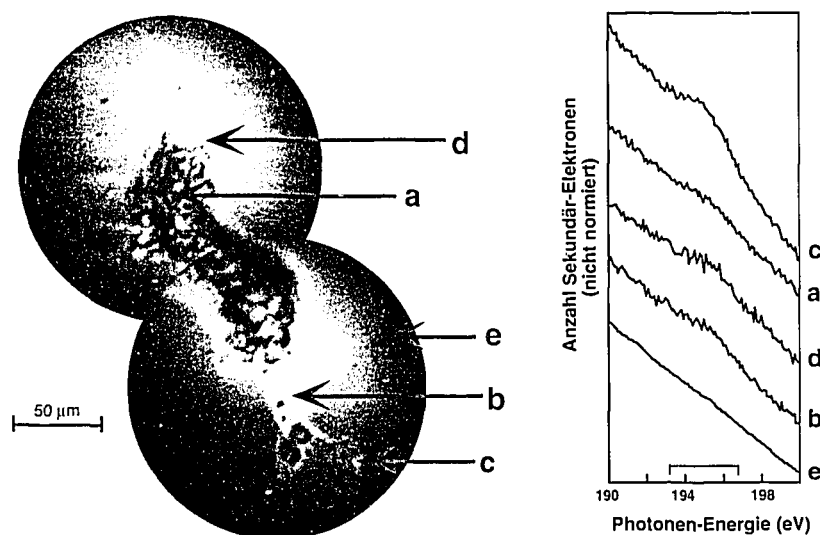


Fig. 4: Synchrotronstrahlung für die Medizin. Wie verteilt sich eine bestimmte Bor-Verbindung im Gehirn? Die Analyse des Experiments mit Synchrotronstrahlung ergab, dass das Bor inhomogen verteilt ist. Diese Ergebnisse sind für eine neuartige Radiotherapie wichtig (Gelsomina DeStasio, EPFL; Takashi Suda, Uni Zürich; Roger Andres, PSI).



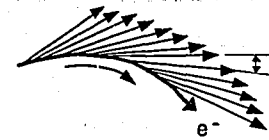
### 3.2 Die SLS-Anlage

Die SLS ist auf eine maximale Brillanz im Bereich Vakuum-Ultraviolett und weiche Röntgenstrahlung ausgelegt. Sie wird die Eigenschaften der sogenannten Synchrotronlichtquellen der dritten Generation (ELETTRA, ALS, MAX-Lab) deutlich übertreffen.

Die SLS wird nicht «noch eine weitere Quelle mehr» sein, sondern die konkurrenzfähige Spitzenanlage für die Jahre 2000 - 2020, integriert in das europäische Netz der Synchrotronlichtquellen. Das Entwurfskonzept ist auf hohe Qualität und nicht auf eine möglichst grosse Zahl von Strahllinien ausgelegt. Die Gültigkeit dieser Zielsetzung wurde durch den OECD-Report (Megascience Forum, Expert Meeting on Synchrotron Radiation Sources and Neutron Beams, Risø, Denmark, 29 November - 1 December, 1993) bestätigt, wo die SLS als eines der am weitesten fortgeschrittenen und herausforderndsten neuen Projekte zitiert worden ist.

Diese Einschätzung teilt die internationale Benutzergemeinschaft, was sich daran erkennen lässt, dass zukünftige Projekte neuerdings SLS-Ideen teilweise übernommen haben.

Der Hauptbestandteil des SLS-Projekts ist ein *Elektronenspeicherring* mit einem sehr fortschrittlichen Konzept. Die Qualität der Synchrotronstrahlungsquelle ist einerseits durch die Qualität des Elektronenstrahls und andererseits durch die Qualität der *Undulatoren* gegeben.



**Ablenkmagnete:** darin laufen die Elektronen auf einem Kreisbahnstück und senden ein kontinuierliches Spektrum von Synchrotronlicht aus. Je nach Anforderungen werden normale oder supraleitende Ablenkmagnete eingesetzt.



**Undulatoren:** sind Magnete, welche die Elektronen auf sehr enge Slombahnen zwingen. Die ausgesandten Wellen überlagern sich dabei so, dass extrem gebündeltes, hochintensives Synchrotronlicht entsteht.

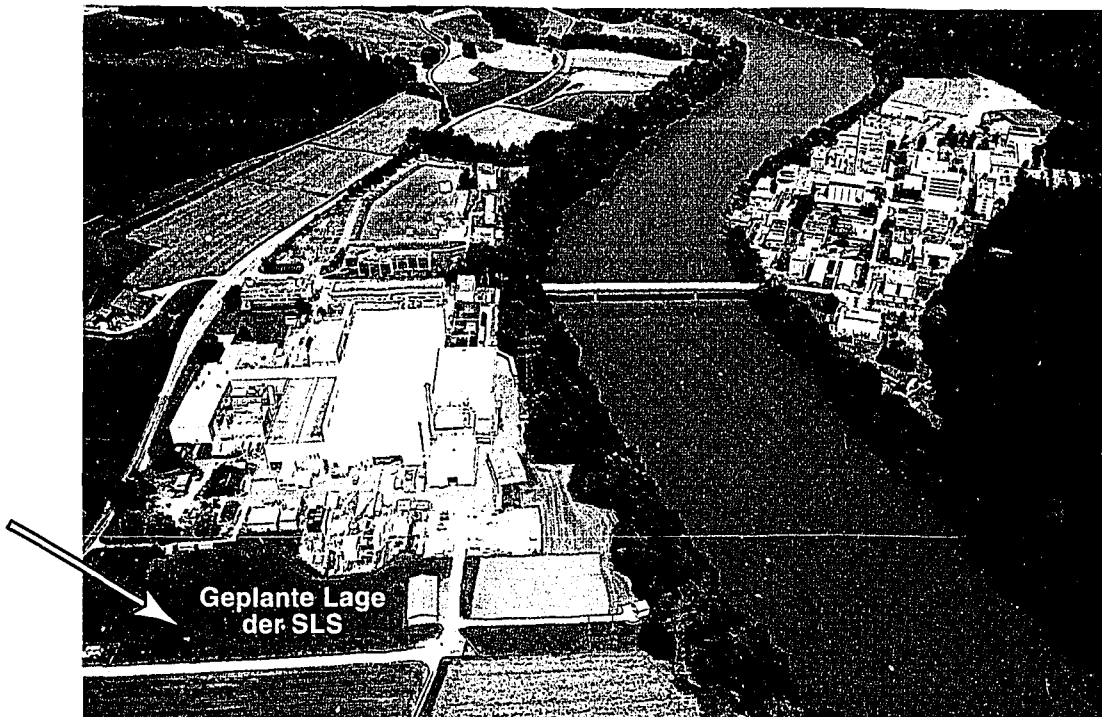


Fig. 5: Ort der geplanten SLS-Anlage auf dem West-Areal des PSI (Villigen).

Da der Speicherring eine grössere Kapitalanlage innerhalb des SLS-Projekts darstellt, ist die Anlage so optimiert worden, dass bei einer gegebenen Grösse des Speicherrings (Kosten) die höchste Strahlqualität erreicht wird. Fig. 6 zeigt das Konzept der SLS-Anlage im Grundriss.

**Speicherring:** ein Ring von Magneten und anderen Komponenten, in dem die Elektronen zirkulieren und das Synchrotronlicht aussenden.

**Linac und Booster:** sind die Beschleuniger, welche die Elektronen auf die notwendige Geschwindigkeit bringen (nahezu Lichtgeschwindigkeit).

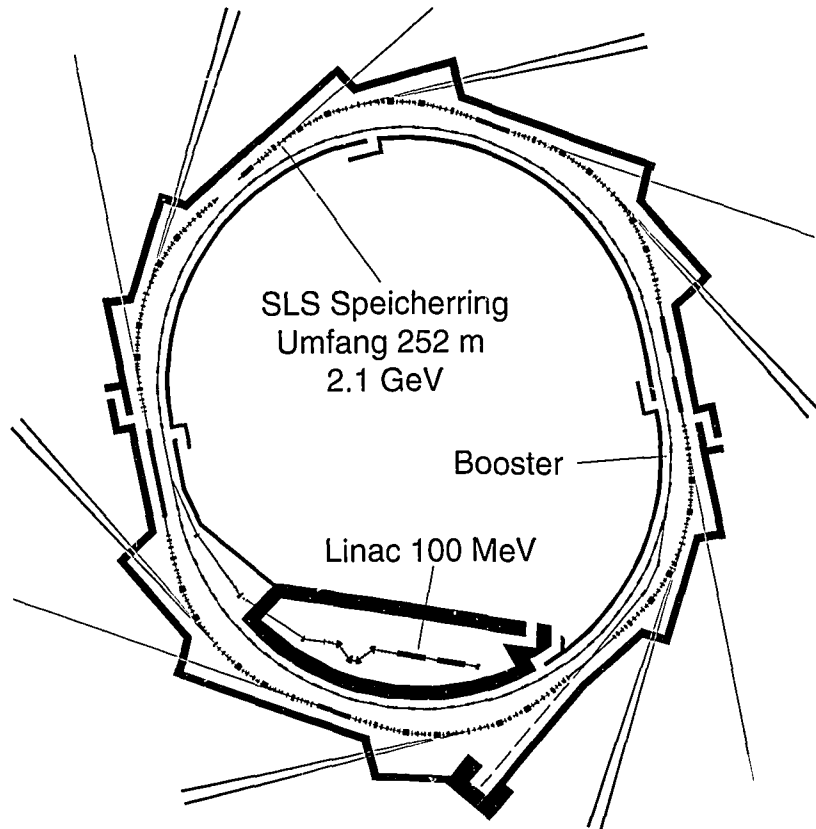


Fig. 6: Grundriss der SLS-Anlage mit Linac, Booster und Speicherring. Strahllinien, die aus Undulatoren und Ablenkmagneten austreten, sind blau angedeutet.

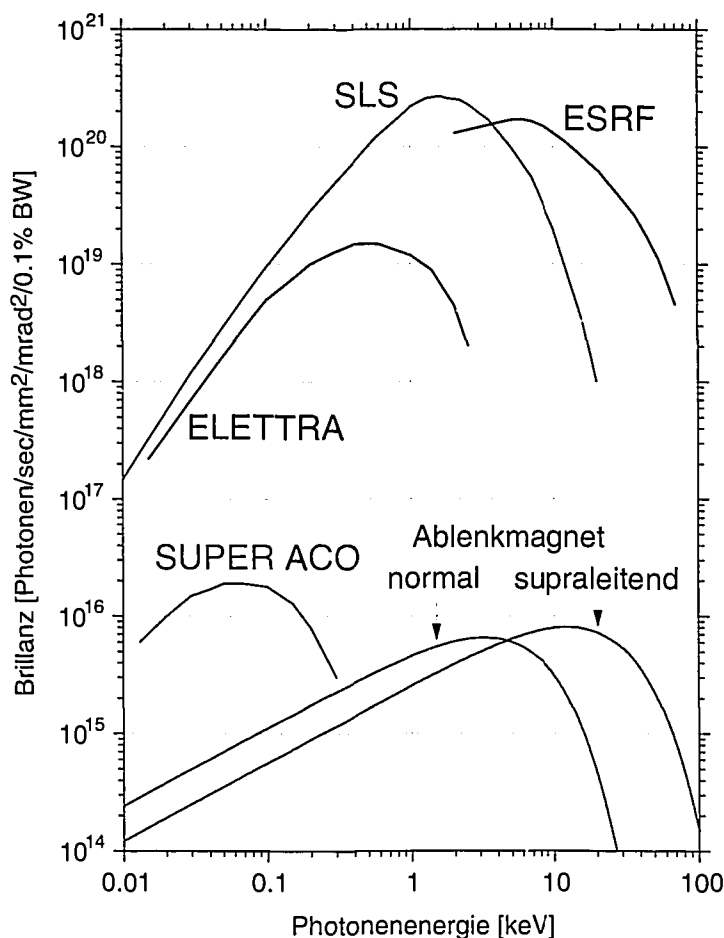
hohe Brillanz = hoher Fluss  
auf kleine Proben

hohe Brillanz = starke  
Quelle kohärenter  
Strahlung

Die sehr hohe Brillanz der *Undulator*-Strahlung (Fig. 7) erlaubt, wie im Kapitel 3.1 erwähnt, eine sehr gute Auflösung und die Möglichkeit, sehr kleine Proben zu untersuchen. Darüber hinaus können sehr kurze Messzeiten von grosser Bedeutung sein.

Weiterhin ist eine hohe Brillanz massgebend für einen hohen Grad von Kohärenz der Synchrotronstrahlung (Kap. 3.1).

Eine andere wichtige Eigenschaft des SLS-Konzepts sind die beiden *langen geraden Strecken* mit ihrem Potential für Neuentwicklungen. Es ist geplant, einen sehr *langen elektromagnetischen Undulator* mit einer Periode von 200 mm zu installieren. Dies wird eine VUV-Strahlungsquelle höchster Brillanz und voll-



**Brillanz oder Leuchtdichte:** ist die ausschlaggebende Eigenschaft für die Qualität einer Synchrotronquelle. Die Brillanz beschreibt gleichzeitig sowohl die Intensität als auch die Bündelung des Synchrotronstrahls.

Fig. 7: Brillanz von Undulatoren und Ablenk magneten an der SLS. Zum Vergleich sind auch Brillanz-Werte anderer Synchrotronquellen dargestellt.

ständiger Kohärenz bis 100 eV sein. Ihre Polarisationsrichtung – zwischen linear und zirkular – könnten wir mit einer Rate von einigen Hertz umschalten.

Zirkular polarisiertes Synchrotronlicht entwickelt sich zusehends zum begehrten Werkzeug für die *Untersuchung magnetischer Eigenschaften von Materialien*. Die Quellen an den *Ablenk magneten* der SLS werden Anforderungen einer grossen Anzahl solcher Experimente Rechnung tragen.

Anwendungen der *Mikromechanik und Mikrofabrikation* würden von Quellen an den *normalleitenden Ablenk magneten* (Hauptteil des Spektrums im Bereich von einigen keV) optimal bedient.

*Kristallographische Untersuchungen* (z.B. an makromolekularen Proteinen) werden heutzutage immer noch an Anlagen mit rotierenden Anoden durchgeführt, die eher eine bescheidene Brillanz aufweisen. Forschende in diesem Gebiet akzeptieren Re-

duktionen der Brillanz um viele Zehner-Faktoren, wenn sie dafür lokalen und ständigen Zugang zu diesen Quellen haben. Die SLS-Quellen an den *supraleitenden Ablenkmagneten* werden die täglichen Forschungsmöglichkeiten in der Schweiz auf diesem Gebiet drastisch verbessern.

Speziell für die Experimente mit höchsten Anforderungen werden *Mini-Undulatoren* in der SLS-Anlage Quellen mit ausgezeichneter Brillanz im 10 keV-Röntgenbereich anbieten.

Eine andere, sehr wichtige Eigenschaft der SLS ist die Zeitstruktur der Strahlung. Die sehr kurzen Synchrotronlicht-Pulse von einigen Pikosekunden können in einer flexiblen, von den Benutzern vorgegebenen Sequenz geliefert werden.

In den letzten Jahren konnten wir die Inbetriebnahme von mehreren Synchrotronlichtquellen der dritten Generation (ESRF, ALS, ELETTRA, MAX-Lab) erleben. Die Erfahrungen, die mit diesen Projekten gemacht wurden, bestärken unser Vertrauen in die vorgeschlagenen Betriebsparameter für die SLS. Mehr noch, die ersten experimentellen Ergebnisse an diesen Anlagen bestätigen die Wichtigkeit der *Verbesserungen der Quellenqualität* – einer der Hauptmotivationen für die SLS-Entwurfsphilosophie.

### 3.3 Die künftigen Benutzer der SLS

Dem Schweizer Benutzerkreis von Synchrotronstrahlung in der Schweiz gehören Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unterschiedlicher Disziplinen wie Chemie, Biologie, Medizin, Festkörperphysik und Kristallographie an. Sie realisieren heute ihre Forschungsprojekte an den weltweit verteilten Zentren wie Daresbury (GB), MAX-Lab (S), LURE (F), ELETTRA (I), ESRF (EU), HASYLAB (D).

Als vollwertiges Mitglied beteiligt sich die Schweiz an der European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) und hat damit dort Anspruch auf die Benutzung sämtlicher «public beamlines», wobei der Nutzungsgrad gemäss den ESRF-Statuten äquivalent zur Beteiligung an den Konstruktions- und Betriebskosten sein sollte (*politique de juste retour*). Darüber hinaus haben Gruppen aus einigen Schweizer Universitäten, deren Forschungsmethoden hauptsächlich im Bereich der harten Röntgenstrahlung liegen, zusammen mit norwegischen Universitäten eine zusätzliche Strahllinie an einem Ablenkmagneten aufgestellt.

Eine ähnliche Zusammenarbeit besteht seit 1987 zwischen schweizerischen und französischen Gruppen am Super-ACO (LURE). An diesem Institut steht ihnen eine ausgezeichnete Strahllinie im VUV / weichen Röntgenbereich zur Verfügung.

Es ist ein Vorteil dieser Initiativen, dass dadurch ein breiter Kreis vermehrten Zugang zu Synchrotronstrahlung erhält. Damit können neben wissenschaftlichen Arbeiten auch die Grundlagen für Experimente oder Methoden entwickelt werden, die auf die ausserordentliche Brillanz der ESRF und in Zukunft der SLS angewiesen sind.

1994 wurde eine Untersuchung über die schweizerischen wissenschaftlichen Aktivitäten mit Synchrotronstrahlung und über deren Entwicklung in den nächsten Jahren durchgeführt. Darin kommt klar zum Ausdruck, dass durch den Bau der SLS die jetzige Benutzerschaft in den schweizerischen Institutionen von heute rund 90 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern auf etwa 220 - 250 anwachsen wird. Dabei sind weder die Benutzer aus der Industrie, noch das Potential an ausländischen Gruppen mitberücksichtigt.

Diese Zunahme wird auf zwei Faktoren zurückgeführt:

1. auf die weltweite Zunahme von Gruppen, die sich der Methode neu bedienen werden, wie sie in einer vor kurzem erstellten Studie des OECD Megascience Forum dokumentiert ist. Ein Teil dieses Wachstums entsteht auf Gebieten, die seit Jahren Synchrotronstrahlung benutzen. Es kommen aber auch Gruppen aus der Biologie, Medizin, Polymerphysik oder aus interdisziplinären Gebieten hinzu.
2. auf die Zunahme der Messzeit pro Gruppe, was sowohl auf komplexere Fragestellungen als auch auf die Entwicklung neuer Forschungsmethoden zurückzuführen ist. Dieser Trend lässt sich an den neueren Anlagen wie MAX-Lab, ELETTRA oder BESSY I verfolgen.

Eine vertiefte Analyse zeigt eindeutig, dass der Bedarf an Synchrotronstrahlung durch die heute vorhandenen Anlagen bei weitem nicht abgedeckt werden kann. Eine Anzahl Projekte müssen trotz ihrer Originalität abgelehnt werden oder erhalten zu kurze Messzeiten. Diese Situation beeinträchtigt die Qualität der Forschungsarbeiten und damit auch den wissenschaftlichen und technologischen Fortschritt in der Schweiz.

### 3.4 Das internationale Netz der Synchrotronstrahlungsquellen

Entsprechend dem Energiespektrum lassen sich die heutigen Quellen grob in zwei Klassen einteilen:

1. Anlagen mit Elektronenenergien unterhalb 3 GeV eignen sich besonders gut zur Erzeugung von Strahlung im ultravioletten und weichen Röntgenbereich.
2. Anlagen mit Elektronenenergien oberhalb von 5 GeV sind ideale Quellen von harter Röntgenstrahlung.

Diese Anlagen sind in einem weiten Mass komplementär zueinander und werden in Europa auf verschiedenen Ebenen der Zusammenarbeit konstruiert und betrieben (Figuren 8 und 9).

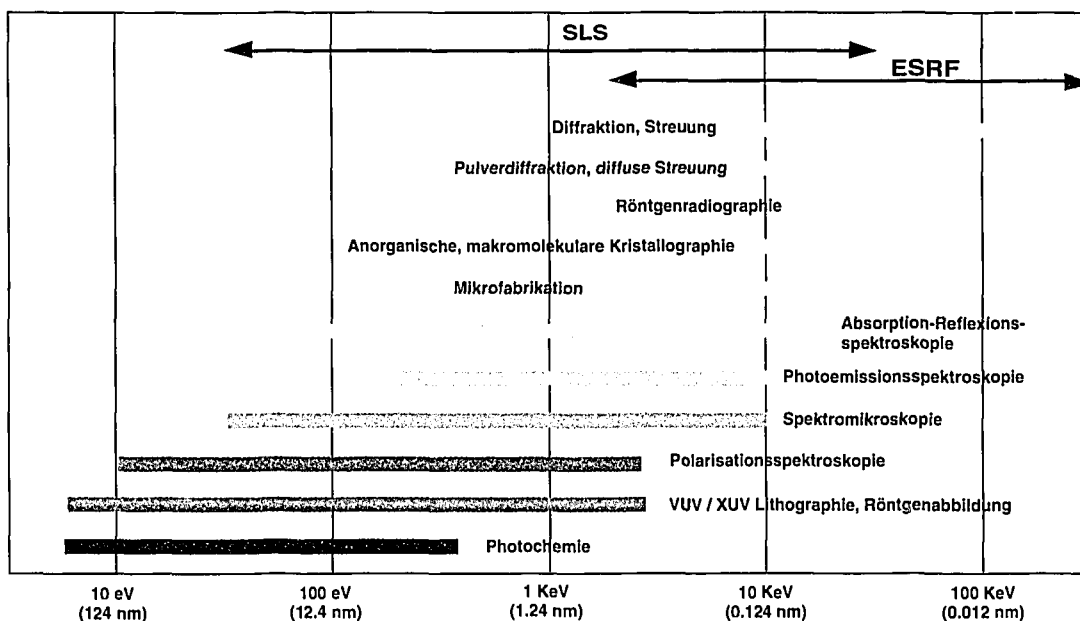


Fig. 8: Messmethoden, geordnet nach der Energie der Synchrotronstrahlung und die Energiebereiche, welche SLS und ESRF abdecken.

Die niederenergetischeren Ringe wie BESSY (D), ELETTRA (I), MAX-Lab (S), Super ACO (F) sind als nationale Zentren gebaut und haben einen starken Einfluss auf Wissenschaft, Technologie und Ausbildung innerhalb des betreffenden Landes und der angrenzenden internationalen Umgebung. Dagegen ist die europäische Anlage ESRF (European Synchrotron Radiation Facility) von der Grösse und vom Konzept her ein internationales Zentrum.



Fig. 9: Synchrotronlichtquellen in Europa.

## 4. Das PSI mit SLS, strategische Entwicklung

Gemäss ETH-Gesetz und Verordnung des Bundesrates nimmt das PSI die Aufgabe einer nationalen, multidisziplinären Forschungsstätte für Natur- und Ingenieurwissenschaften wahr. Im Sinne eines «National Laboratory» entwickelt, baut und betreibt das PSI Forschungsanlagen, die in Bezug auf Grösse und Komplexität die Möglichkeiten der Hochschulinstitute übersteigen. Diese Einrichtungen werden von einem nationalen und internationalen Kreis von Forscherinnen und Forschern aus Hochschule und Industrie genutzt. Die Forschungsgebiete, auf denen sich das PSI engagiert, sind sehr eng mit den Anlagen des Instituts verbunden. So kann der externen Benutzerschaft die notwendige Unterstützung ihrer Arbeiten zukommen. Zur Zeit profitieren rund 600 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler jährlich von den Forschungseinrichtungen und der PSI-Unterstützung. In der Ausbildung von Studierenden übernimmt das PSI in Zusammenarbeit mit den Hochschulen eine immer wichtigere Rolle: zur Zeit sind am PSI mehr als 200 Doktoratsarbeiten im Gange. Als «National Laboratory» bildet das PSI auch eine Plattform für internationale Projekte, wobei es Partner aus Hochschule und Industrie einbezieht. Durch interdisziplinäre Projekte wird zudem die Zusammenarbeit zwischen Hochschulgruppen stimuliert.

Forschungsschwerpunkte des PSI liegen in den Bereichen Festkörperforschung und Materialwissenschaften, Elementarteilchenphysik und Biowissenschaften. In diese Bereiche fliessen ca. zwei Drittel der PSI-Mittel. Zudem erfüllt das PSI die Aufgabe eines nationalen Energieforschungslabors, wofür es ca. ein Drittel der Mittel einsetzt. In der Energieforschung erbringt das PSI auch wissenschaftliche Dienstleistungen dort, wo es aufgrund seiner einzigartigen Anlagen dafür besonders geeignet ist; dies im Interesse von Staat, Wirtschaft und Gesellschaft.

In den letzten drei Jahren hat sich auch die Geschäftsprüfungskommission (GPK) des Ständerates eingehend mit der Entwicklung des PSI befasst. Im März 1995 hat der Bundesrat der GPK den Schlussbericht zugestellt und die damals noch offenen Fragen beantwortet. In der Antwort des Bundesrates wurde die strategische Ausrichtung, die der ETH-Rat dem PSI zugeordnet hat, dargelegt (siehe Fig. 10) und auch das geplante Vorgehen zum Entscheid über das SLS-Projekt erläutert, welches ein wesentlicher Bestandteil der Strategie für das PSI ist.



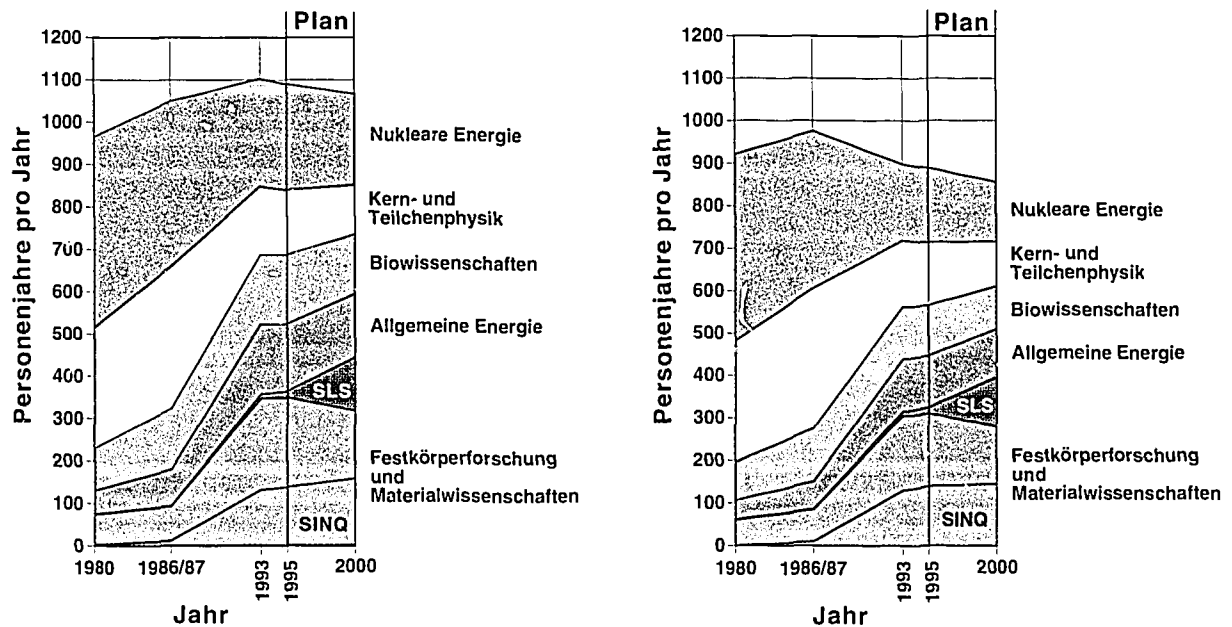


Fig. 10: Personalentwicklung des PSI unter Einbezug der SLS (links mit, rechts ohne Drittmittel)

Die strategische Ausrichtung des PSI geht von folgendem aus:

- Die Benutzerlabor-Funktion wird ausgebaut, und Forscherinnen und Forscher der Hochschulen können noch mehr als bisher von einzigartigen Forschungseinrichtungen profitieren, die international mit an der Spitze stehen.
- Die Festkörperforschung und die Materialwissenschaften werden stärker gewichtet, was für die zukünftige technologische Konkurrenzfähigkeit der Schweizer Wirtschaft besonders wichtig ist.
- In der Elementarteilchenphysik wird das PSI vermehrt zu einem Basislabor für die Hochenergiephysik.
- Die Forschungstätigkeit in den Biowissenschaften beschränkt sich auf Projekte, welche die Strahlanlagen am PSI nutzen und eine enge Kopplung zu den Universitätskliniken gewährleisten.
- Die Energieforschung bleibt weiterhin eine bedeutende Aufgabe des PSI. Die an das Institut gestellten Bedürfnisse werden im Rahmen der noch festzulegenden qualitativen Vorgaben, verbunden mit quantitativen Zielen, erfüllt.

Die strukturellen Veränderungen im PSI werden – mit oder ohne SLS – in jedem Fall vorgenommen werden.

Das Projekt SLS passt vorbildlich in die übergeordnete Strategie für die Ausrichtung des Instituts, denn die SLS verstärkt insbesondere die Benutzerlabor-Funktion und wird Kristallisationspunkt für hochkarätige Materialforschung sein. Externe Partner und Hochschulgruppen der ETHs und der schweizerischen Universitäten werden durch die SLS noch mehr als bisher vom PSI profitieren können. Auch für die Energieforschung, vor allem im nicht-nuklearen Bereich, werden dank diesem Werkzeug wesentliche neue Impulse erwartet.

Das SLS-Projekt ist für das PSI verkraftbar. Dessen Realisierung bedingt allerdings grössere Veränderungen in programmatischer und organisatorischer Hinsicht. Andererseits wirkt das Projekt auch als Anreiz, weitere Veränderungen am PSI anzugehen.

1995 sind ca. 11 Personenjahre in die Vorbereitungen des Projekts SLS investiert worden. Mit dem Entscheid, die Anlage zu bauen wird die Anzahl Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter für das Projekt deutlich erhöht werden. Bis zur Inbetriebnahme der SLS und für den Betrieb, d. h. frühestens ab 2001, werden gemäss derzeitiger Planung rund 110 volle Stellen – also ca. 13 % der heutigen PSI-Belegschaft – und rund 11 Mio CHF Betriebsmittel pro Jahr (davon 3 Mio CHF für Stromkosten) eingesetzt. Die Stellen für die SLS und deren Betriebsbudget müssen aus den heutigen Mitteln des PSI gewonnen werden.

Im Rahmen einer Neuausrichtung des PSI wird die SLS den Personalanteil für den Betrieb der Grossanlagen von heute 45 % auf etwa 55 % anheben und damit die Benutzerlabor-Funktion nochmals deutlich verstärken. Es ist zu erwarten, dass die externe Benutzerschaft überproportional anwachsen wird. Für Beschleuniger, Spallations-Neutronenquelle (SINQ), SLS und für die übrigen Anlagen wird ab 2001 mit weit mehr als 1000 externen Benutzerinnen und Benutzern am PSI gerechnet. Durch den internationalen Bezug und die Attraktivität der Forschungseinrichtungen wird das PSI vermehrt zu einem Anziehungspunkt für hervorragende Forscherinnen und Forscher werden; damit wird wichtiges Know-how in die Schweiz geholt und unser Land leistet langfristig auch einen realen Beitrag zur Forschungsgemeinde in Europa.

Aufgrund von Analysen ist die Direktion des PSI zum Schluss gekommen, dass die nötigen Ressourcen für den Betrieb der SLS durch interne Verschiebung von Personal und Sachmitteln bereitgestellt werden können (Fig. 11). Im Zentrum der Verschiebung von Mitteln zugunsten der SLS stehen die folgenden Gebiete:

- die Nukleare Energieforschung, wo eine stärkere Partnerschaft mit den Behörden und der Privatwirtschaft angestrebt wird. Partnerschaft bedeutet gemeinsam finanzierte Projekte.

Die notwendigen wissenschaftlichen Dienstleistungen für Behörden wie Bundesamt für Gesundheitswesen, Bundesamt für Energiewirtschaft und die Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen erbringt das PSI weiterhin.

- die Biowissenschaften, wo die Absicht besteht, einige Aktivitäten z.B. an das Universitätsspital Zürich auszulagern.
- die Allgemeine Energieforschung, wo sich das PSI auf Projekte konzentrieren wird, die komplementär zur Hochschulforschung anzusiedeln sind und solche, die in Partnerschaft mit der Industrie durchgeführt werden; dies mit entsprechend stärkerer finanzieller Beteiligung der Partner.

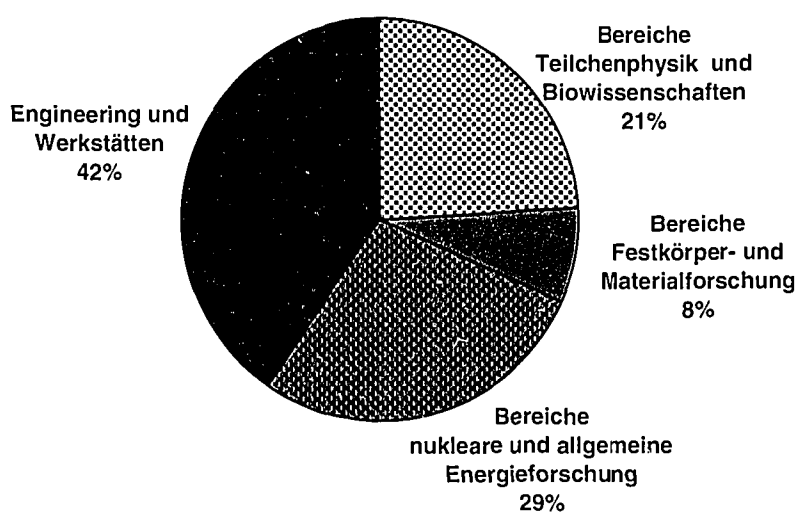


Fig. 11: Deckung des SLS-Personalbedarfs aus PSI-Ressourcen

Zudem wird die Stilllegung von älteren Forschungseinrichtungen in Betracht gezogen, beispielsweise des Beschleunigers Injektor I. Dies hat Konsequenzen für die Forschenden, die heute an dieser Anlage arbeiten.

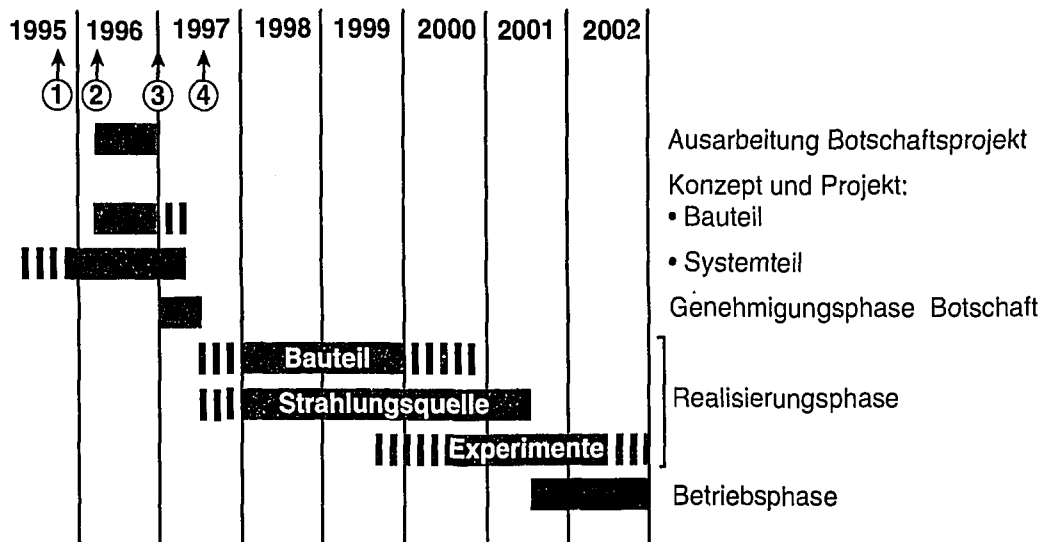
Der Abschluss des SINQ-Baus wird zusätzlich Mittel freisetzen. Der Betrieb der SINQ und die Betreuung der Benutzerschaft beanspruchen aber weiter einen gewissen Teil der durch die Beendigung des Bauprojekts freiwerdenden Mittel.

Im Ganzen werden mit den anvisierten Veränderungen die nötigen Stellen und Sachmittel für den vorgesehenen Anteil am Bau und für den Betrieb der SLS zusammenkommen. Es sei hier aber darauf hingewiesen, dass dies das PSI stark strapazieren wird, da grössere Umverteilungen stattfinden werden und keine Reserven vorhanden sind. Das PSI ist sich der damit verbundenen Risiken bewusst und ist bereit, sie im Interesse der nationalen Forschungsgemeinde zu akzeptieren.

## 5. Projektablauf

Das Projekt SLS soll im Rahmen einer Forschungsförderungsbotschaft des EDI abgewickelt werden.

### 5.1 Zeitplan und Meilensteine



#### Meilensteine

- ① ETH-Rat: Grundsatzentscheid zum Bau der SLS, 13./14.9.95
- ② Bundesrat: Freigabe Projektierungskredit für Botschaft
- ③ Bundesrat: Beschlussfassung über die Botschaft
- ④ Parlament: Genehmigung der Botschaft und Freigabe der Realisierungsphase

Fig. 12: Zeitplan SLS

### 5.2 Kostenstruktur und Mittelbedarf

Die folgende Kostenschätzung gilt für das im Vorschlag 1993 beschriebene Projekt, im wesentlichen bestehend aus:

- einem 100 MeV-Elektronenlinearbeschleuniger: Linac
- einem 2.1 GeV-Injektorsynchrotron: Booster
- einem 2.1 GeV-Speicherring mit 252 m Umfang
- zwei 18 m langen und vier 7 m langen geraden Strecken für den Einbau von Undulatoren
- zwei (von 6 möglichen) supraleitenden Ablenkmagneten
- drei Undulatoren mit Strahllinien
- zwei Röntgen-Strahllinien, ausgehend von den beiden supraleitenden Ablenkmagneten
- einem neu zu errichtenden Gebäude, im wesentlichen bestehend aus einer 115 m x 115 m grossen Speicherring- und Experimentierhalle sowie Experiment-Vorbereitungslabors und Flächen für die konventionelle technische Gebäudeinfrastruktur.

Alle im folgenden angegebenen Preise basieren auf dem Preisstand und Wechselkurs vom Dezember 1995. Es ist angenommen, dass kommerziell erhältliche Waren und Dienstleistungen ohne nationale oder regionale Auflagen auf den internationalen Märkten beschafft werden können.

### Kostenstruktur und Mittelbedarf für die Botschaftsprojektierungs- und Realisierungsphase der SLS

Die Gesamtinvestitionen für die Errichtung der SLS von 165 Mio CHF und der vorgesehene Mittelbedarf sind in Fig. 13 dargestellt. Zu beachten ist, dass gemäss derzeitiger Planung das Projekt mit Erreichen der Auslegungsziele am 30.6.2001 endet. Die zweite Jahreshälfte 2001 ist bereits Betriebsphase, die im vollen Umfang durch das PSI getragen wird. Die Betriebskosten (ab 1.7.2001) werden inklusive Personalkosten auf 23 Mio CHF pro Jahr geschätzt (Preisstand Dez. 1995).

### Kostenstruktur und Mittelbedarf SLS in der Realisierungsphase (Mio CHF)

	Total Kosten	1997	1998	1999	2000	2001
<b>BAUTEIL</b>						
Gebäude und techn. Infrastruktur	68	2	22	28	13	3
<b>SYSTEMTEIL</b>						
Strahlungsquelle	68	8.5	16	19.5	17	7
Experimentelle Infrastruktur	24	1	1	3	6	13
Externe Leistungen/Regiepersonal	5	0.5	0.5	1.5	1.5	1
<b>Total</b>	<b>165</b>	<b>12.0</b>	<b>39.5</b>	<b>52.0</b>	<b>37.5</b>	<b>24</b>

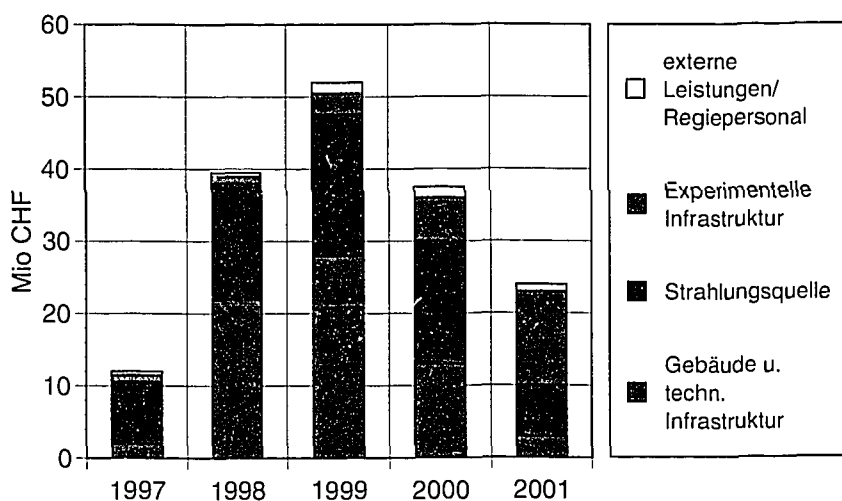


Fig. 13: Kostenstruktur und Mittelbedarf

**Botschaftsprojektierungsphase SLS 1996/97**

	<b>Bauteil</b> Botschaftsprojek- tierungskredit	<b>Systemteil</b> Finanzierung aus PSI-Mitteln
Gebäude und techn. Infrastruktur	1.8	
Strahlungsquelle		0.4
Exp. Infrastruktur		0.3
externe Leistungen/ Regiepersonal		0.2
<b>Total</b>	<b>1.8</b>	<b>0.9</b>

Währenddem das PSI die Botschaftsprojektierung des Systemteils mit laufenden Mitteln (Voranschlag) finanziert, wird für den Bauteil ein zusätzlicher Projektierungskredit von 1,8 Mio CHF beantragt.

### 5.3 Finanzierung und Mitteleinsatz

Für die Realisierung und den Betrieb der SLS wird unterschieden zwischen Investitions- und Betriebsmitteln.

#### Investitionen

Der Mitteleinsatz (Sachmittel) für den Bau der Anlage verteilt sich über die Jahre 1997 bis 2001 und soll im wesentlichen – einerseits über den Investitionsplan für Bauten und Anlagen (60 Mio CHF) und andererseits über den Finanzplan (94 Mio CHF) des ETH-Bereichs – finanziert werden. Die Finanzierung über den Finanzplan erfolgt im Rahmen der Gesamtplanung des ETH-Bereichs, wobei sich das PSI wesentlich mit Eigenmitteln beteiligt. Vorausgesetzt ist, dass die gesamthaft zur Verfügung stehenden Mittel des ETH-Bereichs mindestens nominell konstant bleiben. Als «Point of no return» wird der 1. März 1997 angenommen.

Ein kleinerer Teil (11 Mio CHF) soll über Drittmittel bezahlt werden: Der Kanton Aargau gewährt als Standortkanton des PSI ein zinsloses Darlehen von 2 Mio CHF. Dieses muss nach 10 Jahren in 4 Jahrestanchen zurückbezahlt werden. Für die restlichen 9 Mio CHF sind Beiträge von der am Projekt interessierten Industrie und aus dem 5. Rahmenprogramm der EU vorgesehen.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Herkunft der Investitionsmittel im Überblick und ihre Aufteilung auf den Bauteil und den Systemteil der Anlage.

Finanzierungsquelle		Total Mio CHF	Bauteil Mio CHF	Systemteil Mio CHF
Investitionsplan Bauten und Anlagen des ETH-Bereichs	Unter «SLS-Botschaftsmittel» eingestellt.	60	40	
	Kompensation von bewilligten und geplanten Bauten am PSI		20	20
Finanzplan des ETH-Bereichs	ETH-Rat	94	50	50
	Finanzplan PSI		40	40
	Erstausrüstung (Verzicht) «PSI-Laborgebäude West»		4	4
Drittmittel	Kt. Aargau (zinsl. Darlehen) andere (Industrie, EU etc.)	11	2	
			9	6
<b>TOTAL</b>		<b>165</b>	<b>68</b>	<b>97</b>

Der für den Bau notwendige Personalaufwand (ca. 390 PJ) wird aus der bestehenden Infrastruktur des PSI geleistet.

Die SLS soll auf dem PSI-West-Areal erstellt werden. Dies erfordert die Einzonung von 2 ha Kulturland angrenzend an das Baugebiet des PSI. Das Einzonungsverfahren wird zur Zeit durch die Gemeinde Villigen durchgeführt. Für den Landerwerb verhandeln der Liegenschaftsdienst und das PSI mit der ZWI-LAG, welche ihre Bereitschaft signalisiert hat – im Sinne eines Realersatzes für das vom Bund im Baurecht abgetretene Land auf der PSI-Ostseite – das benötigte Land für die SLS zu finanzieren (ca. 5 Mio CHF).

**Finanzierung und Mitteleinsatz SLS (Mio CHF)**

<b>BAUTEIL</b>	<b>Total</b>	<b>1997</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>
<b>Im Investitionsplan Bauten und Anlagen enthalten</b>						
«SLS Baubotschaft»	<b>40</b>	2	10	18	8	2
«Laborgebäude PSI-West» (Verzicht)	<b>13</b>		8	5		
Kompens. Bauvoranschlag PSI	<b>7</b>		2	2	2	1
<b>Drittmittel</b>						
Kanton Aargau (zinsl. Darlehen)	<b>2</b>		2			
andere (Industrie, EU etc.)	<b>6</b>			3	3	
<b>Total Bauteil</b>	<b>68</b>	<b>2</b>	<b>22</b>	<b>28</b>	<b>13</b>	<b>3</b>
<b>SYSTEMTEIL</b>						
<b>Im Finanzplan des ETH-Bereichs enthalten</b>						
ETH-Rat	<b>50</b>	10	10	10	10	10
PSI	<b>40</b>		7.5	10	11.5	11
Erstausst. «Laborgeb. PSI-West» (Verzicht)	<b>4</b>			4		
<b>Drittmittel</b>						
andere (Industrie, EU etc.)	<b>3</b>				3	
<b>Total Systemteil</b>	<b>97</b>	<b>10</b>	<b>17.5</b>	<b>24</b>	<b>24.5</b>	<b>21</b>
<b>Total Mitteleinsatz für Bau- und Systemteil</b>	<b>165</b>	<b>12</b>	<b>39.5</b>	<b>52</b>	<b>37.5</b>	<b>24</b>



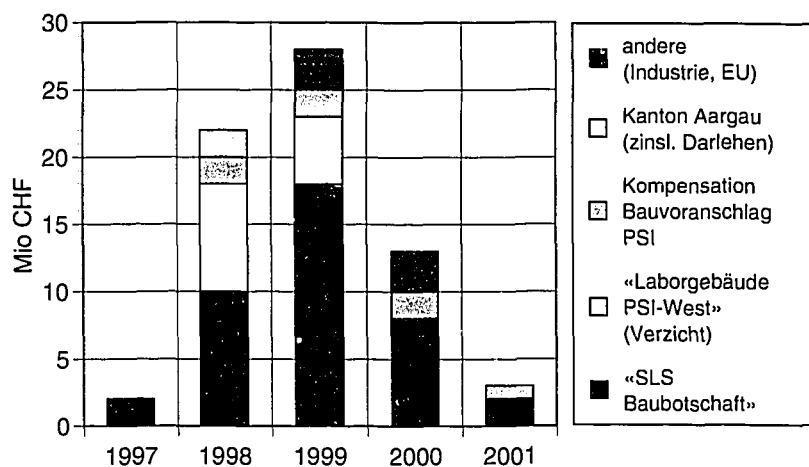


Fig. 14: Finanzierung und Mitteleinsatz Bauteil

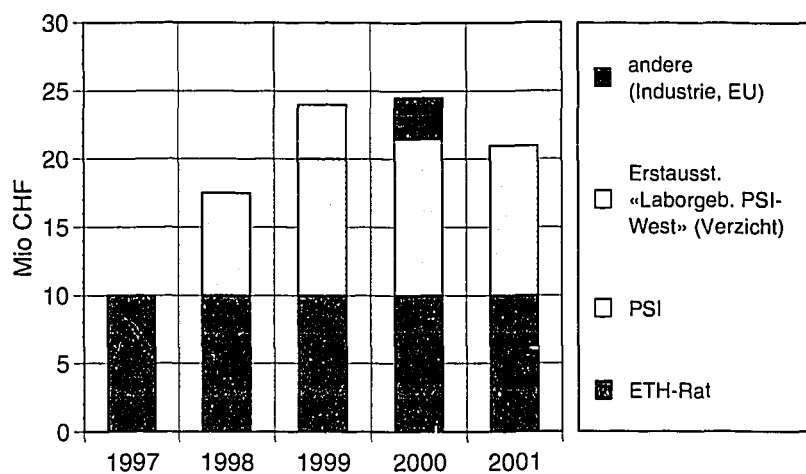
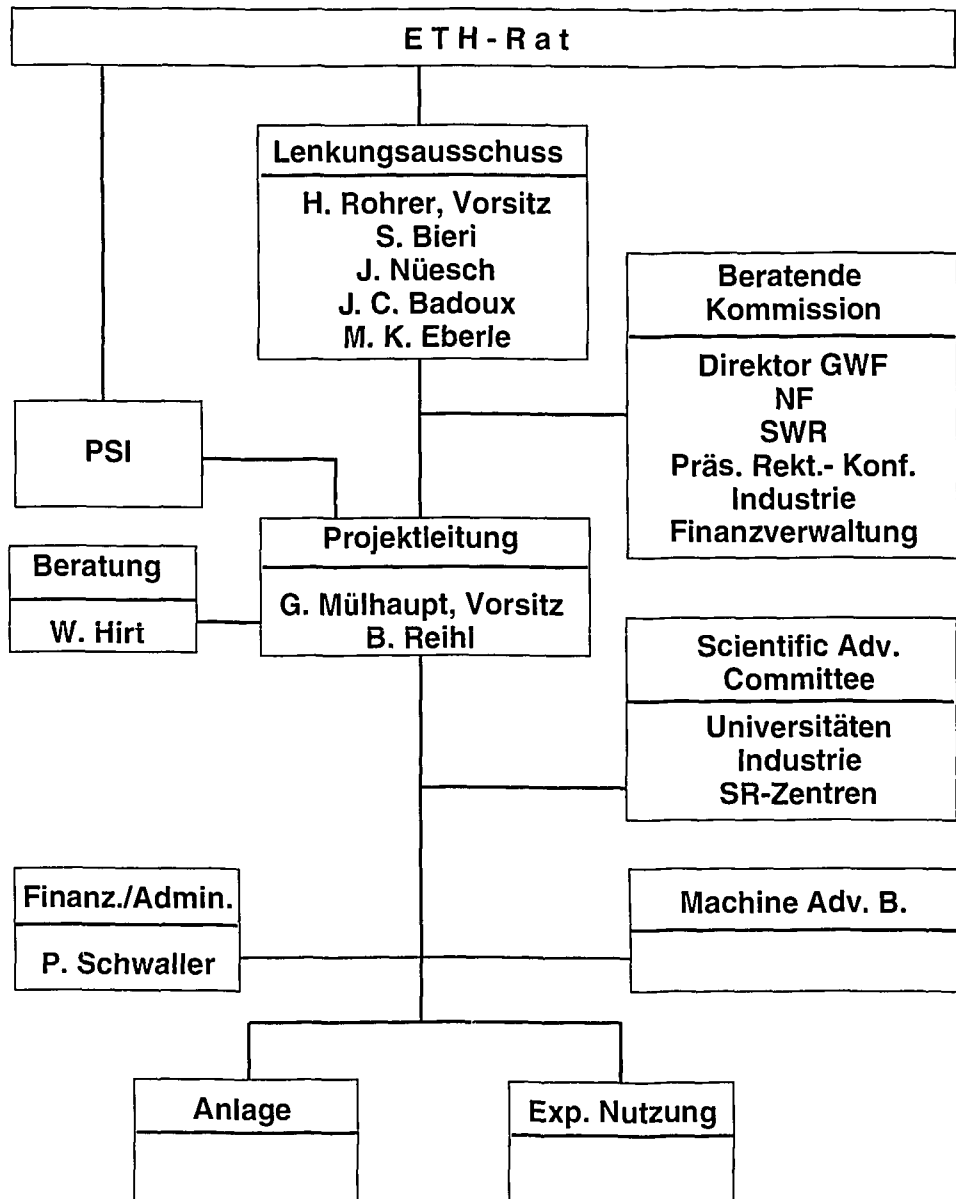


Fig. 15: Finanzierung und Mitteleinsatz Systemteil

### Betriebsmittel

Die jährlichen Betriebskosten für Personal (ca. 110 PJ), Energie (ca. 3 Mio CHF) und Sachaufwand (ca. 8 Mio CHF) werden nach Inbetriebnahme der Anlage vollumfänglich über PSI- Kredite finanziert. Dies erfordert entsprechende Anpassungen im PSI-Forschungsprogramm (Kap. 4).

5.4 Organisation



## 6. Anhang: Grundlagenforschung und industrielle Anwendungen an der SLS

### 6.1 Grundlagenforschung

Im folgenden Abschnitt werden ohne Anspruch auf Vollständigkeit einige Beispiele für Forschungsgebiete vorgestellt, die sicher von der hohen Brillanz der SLS profitieren werden.

#### Physik und Chemie

Gegenwärtig wird Synchrotronstrahlung im Energiebereich der SLS im wesentlichen für verschiedene spektroskopische Methoden benutzt.

- Die Verbindung von energetisch hochauflösender Spektroskopie mit guter räumlicher Auflösung ist als Spektromikroskopie bekannt. Damit lässt sich bestimmen, welche Elemente wie verteilt sind; das ist z.B. für die chemische Zusammensetzung von Chip-Oberflächen sehr wichtig. Die hohe Brillanz der SLS wird es erlauben, bei diesen Experimenten bis zu den natürlichen Grenzen zu gehen.

**Spektroskopie:** auf allen Gebieten der Naturwissenschaften eingesetzte Messmethode: Spektroskopie beantwortet z.B. die Frage, wieviele Teilchen eines Experiments welche Energie haben (Energiespektrum), oder wieviele Photonen welche Wellenlänge haben (Frequenzspektrum).

Im gleichen Mass wird die hohe Brillanz der SLS es ermöglichen, die gegenwärtigen experimentellen Beschränkungen in der Photoelektronbeugung aufzuheben. Diese Methode zur Bestimmung der Positionen ausgewählter Atome auf Oberflächen ist im Moment stark in Entwicklung (Fig. 16).

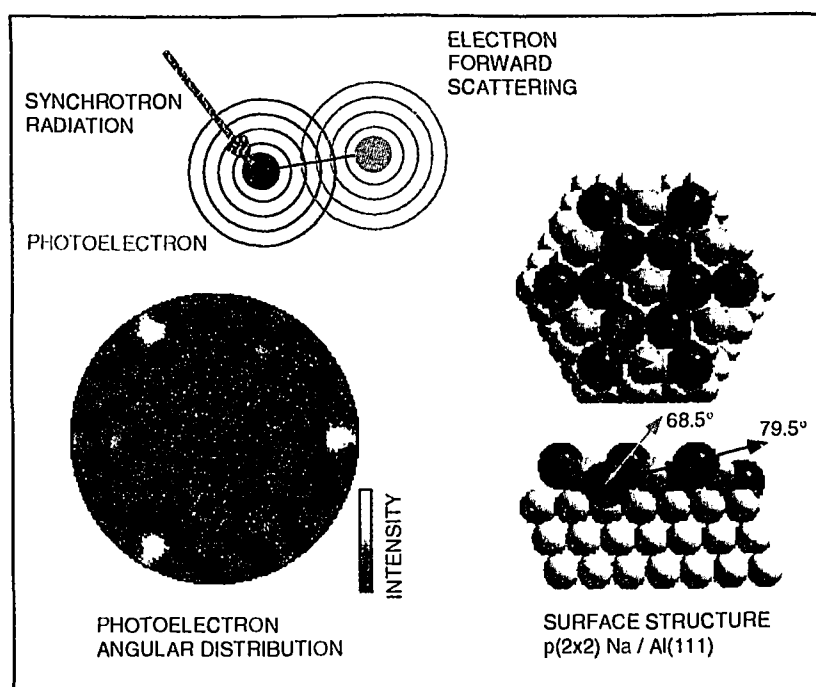


Fig. 16: Position der Natrium-atome auf einer Aluminium-oberfläche, gemessen mit Photoelektronbeugung. (R. Fasel et al., Universität Fribourg)

**Polarisation:** räumliche Ausrichtung: z.B. bei Licht Ausrichtung der elektromagnetischen Felder, bei Teilchen des Eigendrehimpulses (Spin).

**Nanostrukturen:** Strukturen, deren Abmessungen im Bereich von Nanometern (nm) liegen. Ein Nanometer entspricht einem Tausendstel Mikrometer.

- Untersuchungen mit Spin-Polarisation gehören zu einem Gebiet, in dem die Schweizer Forschung eine lange Tradition hat. Experimente dieser Art würden von der SLS besonders profitieren und zwar aus zwei Gründen: zum einen wegen der stark erhöhten Sensitivität und zum anderen durch die Möglichkeit, polarisiertes Synchrotronlicht zu benutzen. Hier sind interessante Entwicklungen besonders bei der Untersuchung von *künstlichen Nanostrukturen* und von *magnetischen Materialien* zu erwarten.
- Neuartige Techniken (Röntgenspektroskopie) werden eine entscheidende Rolle bei der Bestimmung der elektronischen Eigenschaften und räumlichen Anordnung von *Molekülen auf Oberflächen* spielen. Die Systeme reichen von zweiatomigen Molekülen bis zu dünnen Polymerfilmen. Daneben spielen solche Mechanismen eine wichtige Rolle bei Prozessen wie der Oberflächen-Katalyse.
- Die Spektroskopie an Clustern gewinnt ständig an Bedeutung, sowohl in der Grundlagenforschung als auch bei Untersuchungen technologischer Prozesse.

### **Biologie und Medizin**

Die Anwendungen der Synchrotronstrahlung bei der *molekularen Biologie und Zellbiologie* sind sehr vielfältig:

- Bestimmung der Struktur von Biomolekülen, z.B. für Studien von Enzymreaktionen und *der gezielten Arzneimittelentwicklung*. Dank der hohen Brillanz lassen sich kleinere Kristalle mit verbesserter Auflösung untersuchen.
- Rekonstruktion von Supermolekülsystemen (z.B. Viren)
- direkte Beobachtung von Synthese und Zerlegung von Zellorganellen, Fasersystemen oder Membranen in lebenden Zellen.
- bildliche Darstellung der Verteilung von chemischen Elementen in biologischen Präparaten.

Diese Möglichkeiten werden von allgemeiner und entscheidender Bedeutung in der Biochemie, der Molekularen Biologie und Zellbiologie, der Toxikologie und Pharmakologie sein, wo ein besseres Verständnis der Dynamik der Molekültransformation notwendig ist, um die zugrundeliegenden Zusammenhänge zu begreifen.

Ein weiteres Anwendungsfeld wird das Studium der Struktur und der Funktion der biologischen Systeme *in vivo* (d.h. unter natürlichen Umgebungsbedingungen) bei minimalen Strahlungsschäden sein.

Verschiedene vielversprechende klinische Anwendungen im grossen Rahmen bieten sich in der *diagnostischen Radiologie*, *Radiobiologie* und *Radiotherapie* an. Ein weiteres Anwendungsgebiet für die Synchrotronstrahlung zeichnet sich bei der Koronarangiographie ab (Fig. 17).

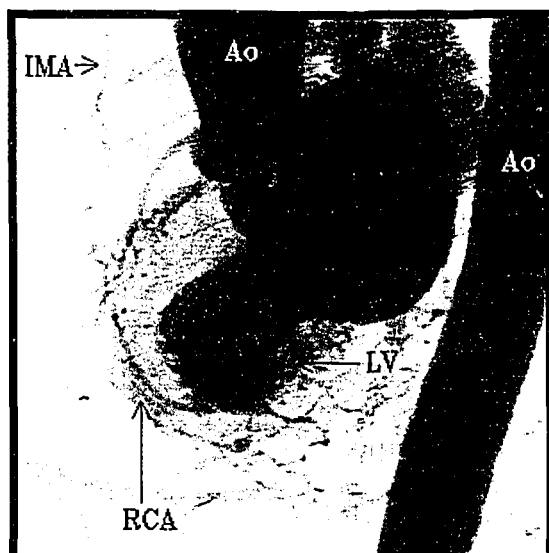


Fig. 17: Angiogramm eines 61 Jahre alten Patienten. In dieser Abbildung des Herzens und der Herzkranzgefässe sind z.B. die Aorta (Ao) und die rechte Koronararterie (RCA) zu sehen. Das Jod-Kontrastmittel wurde ohne Katheter direkt in die Armvene injiziert (Angiographie, Gruppe HASYLAB, DESY).

## Ökologie

Für Verständnis und Beherrschung von Prozessen, die unsere Umwelt nachhaltig beeinflussen, ist die Kenntnis der Strukturen und Mechanismen auf molekularem oder sogar atomarem Niveau notwendig. Hier spielen *Oberflächen und Grenzflächen* (z.B. Gas/Feststoff oder Gas/Flüssigkeit) eine wesentliche Rolle, und die hohe Brillanz der SLS wird ideale Voraussetzungen zur Klärung von Absorptions- und Desorptionsprozessen bieten.

- Die Röntgenfluoreszenz erlaubt die Analyse von sehr stark verdünnten chemischen Elementen in sehr kleinen Proben und bei kurzen Messzeiten mit einer Empfindlichkeit von 0.000 000 000 000 001g auf einer Fläche von einigen Quadratmikrometern. Damit kann zum Beispiel mit höchster Empfindlichkeit die Bodenverunreinigung durch Schwermetalle erfasst und der Erfolg von Regenerierungsmassnahmen überprüft werden (Fig. 18).
- Die Synchrotronstrahlung bietet auch Zugang zu ökologischen Problemen im Zusammenhang mit der Verschmutzung der Atmosphäre. Bei der Untersuchung von ultrakleinen Clu-

stern – die z.B. bei der Luftverschmutzung in Ballungsgebieten eine Rolle spielen – ist Synchrotronstrahlung mit hoher Brillanz wichtig. Ein anderes Beispiel sind Verbrennungsprozesse, wo Untersuchungen der Endprodukte eine Optimierung der entsprechenden industriellen Prozesse versprechen.

Viele chemische Reaktionen in der Atmosphäre, die durch das Sonnenlicht induziert werden, sind durch chemische Radikale gesteuert, die extrem verdünnt in gasförmigen und flüssigen Proben vorhanden sind. Ein vertieftes Verständnis dieser Reaktionen wird z.B. die Umweltverträglichkeit von industriellen Produkten erhöhen.

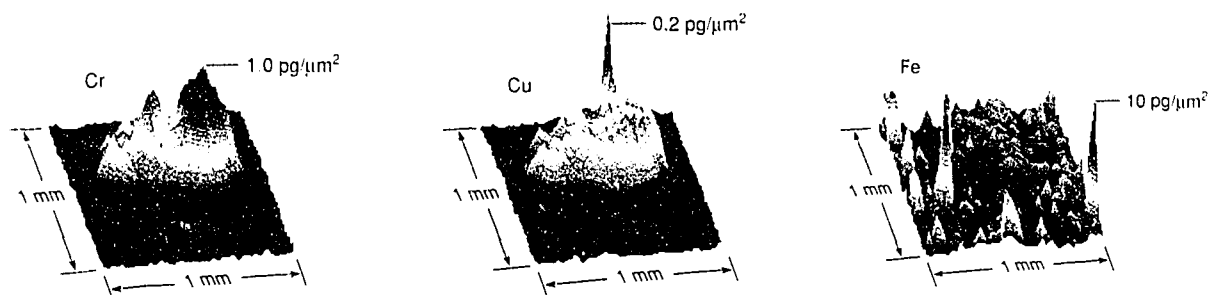


Fig. 18: Verteilung von Schwermetallen auf einer Probe vom Fluss-Schlamm, aufgenommen mit Röntgenfluoreszenz (Activity Report 1994, ALS, Berkeley)

## 6.2 Industrielle Anwendungen

Auch für industrielle Anwendungen bietet die Synchrotronstrahlung so viele Möglichkeiten, dass wir hier nur einzelne Beispiele darstellen.

- *Polymere, Flüssigkristalle, Gläser, Keramiken* sind sehr wichtige Ausgangsprodukte der chemischen Industrie. Sie werden auch in Mess- und Filterkomponenten für den Umweltschutz eingesetzt. Mit der hohen Brillanz der SLS wird es möglich sein, die Orientierung von Polymerketten und die chemische Zusammensetzung von Polymerverbindungen mit guter Ortsauflösung zu bestimmen und damit die spezifischen Eigenschaften von Polymeren den jeweiligen Anforderungen anzupassen.
- In der *Molekularbiologie* und *Biochemie* ist die Röntgenbeugung eine grundlegende Methode zur Bestimmung von molekularen Strukturen (Fig. 19). Die Strukturbestimmung eines Biomoleküls dauert mit konventionellen Röntgenröhren 1 Jahr, mit Synchrotronstrahlung hingegen bei viel grösserer Zuverlässigkeit nur 1 Woche.  
In diesem Zusammenhang werden kleine Kristalle zusehends wichtiger und zwar aus folgenden Gründen: sie sind perfekter und die wichtige Methode der Schockgefrierung lie-

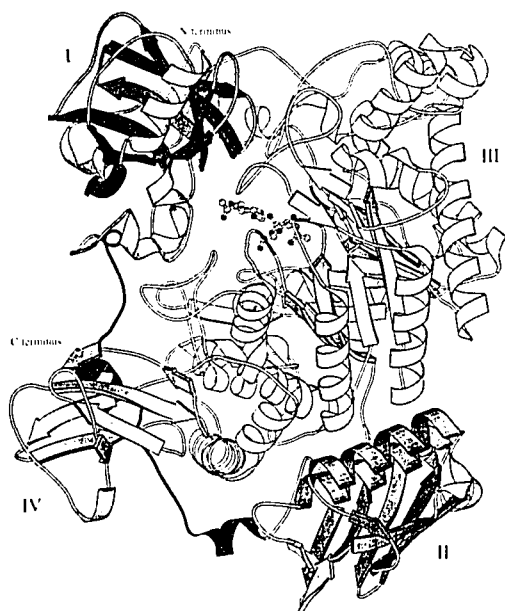


Fig. 19: Struktur des chitin-abbauenden Enzyms Chitinase A, die kürzlich am HASY-LAB/DESY bestimmt wurde (Wissenschaftlicher Jahresbericht 1994, DESY).

fert Kristalle von nur sehr kleinen Dimensionen (10 - 50 Mikrometer). Für solche Experimente ist der kleine Querschnitt der SLS-Strahlen ideal.

- Die hohe Brillanz ist auch wichtig für Untersuchungen mit der Multiwellenlängen-Anomalen-Diffraktion (MAD) und für Beugung an nichtkristallinen Systemen. Die Durchführung von zeitaufgelösten Messungen gibt Zugang zur *Kinetik von Nichtgleichgewichtssystemen*.
- Bei der Arzneimittelherstellung ist die Kenntnis der Strukturen der Komponenten unerlässlich für ein grundlegendes Verständnis biochemischer Funktionen. Der konventionelle Weg der Herstellung eines Medikamentes über eine empirische Auswahl ist sehr ineffizient (1 zu 20000 bis zu Leitsubstanzen und ein weiterer Faktor 1 zu 4000 bis zu verwertbaren Produkten). Hier verspricht eine *gezielte Arzneimittelherstellung* («rational drug design») wesentlich effizienter zu sein, da sie auf einer detaillierten Strukturkenntnis durch Röntgenstrahluntersuchungen basiert.
- *Magnetische Substanzen* spielen eine wesentliche Rolle bei der Deckung des stetig wachsenden Bedarfs an Materialien mit hoher Informations-Speicherdichte. Man hofft, im kommenden Jahrzehnt eine Speicherdichte von 1.5 Mia Bits pro Quadratzentimeter zu erreichen. Bei der Entwicklung von magnetischen Filmen und Mehrschichtstrukturen ist es möglich, mit zirkular polarisierten Röntgenstrahlen die magnetischen Domänen sichtbar zu machen. Durch Einstellung auf spezifische Photon-Energien lassen sich die magnetischen Eigenschaften vollständig charakterisieren.

- Die Wirksamkeit und Geschwindigkeit von Prozessen in der chemischen Produktion wird entscheidend durch *Katalysatoren* bestimmt, deren Funktion zum Teil nur empirisch verstanden ist. Untersuchungen mit Röntgenabsorption (XAFS) liefern hier wertvolle Informationen.
- Die *Röntgenflachlithographie* zur Chipherstellung findet in der Mikroelektronik ein grosses Nutzungspotential. Sie steht in Konkurrenz zur Laserlithographie, die in der letzten Zeit kontinuierlich verbessert werden konnte und noch den momentanen Anforderungen genügt. Im Vergleich zur Laserlithographie ist Röntgenlithographie aber heute schon billiger und erlaubt eine zwei- bis viermal höhere Auflösung. Der Übergang von der Laser- zur Röntgenlithographie birgt jedoch Innovationsrisiken (Massenproduktion, Fixkosten) und wird daher mit oder nach der Einführung der 1-Gigabit-Chipgeneration erwartet.
- Die *Röntgentiefenlithographie* erlaubt es, mechanische, elektrische, optische, chemische und biologische Sensoren und Aktoren mit technischer Intelligenz in Mikrodimensionen herzustellen (Fig. 20). Im Gegensatz zur Flachlithographie ermöglicht sie durch die Intensität und die extreme Parallelität der Synchrotronstrahlung die Herstellung von millimetertiefen Strukturen mit grosser Kantenschärfe. Die bekannteste Technik ist hier das LIGA-Verfahren, das aus drei Stufen besteht und die Möglichkeit bietet, verschiedene Materialien zu bearbeiten, während die Laserlithographie auf Silizium beschränkt ist.

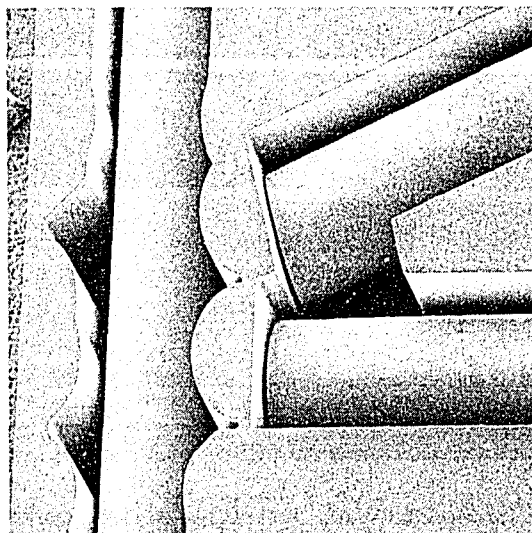


Fig. 20: Optische Mikrostrukturen mit Röntgentiefenlithografie: rechts optische Fasern für die Übermittlung von Lichtsignalen und links Mikrolinsen für die Fokussierung. Der Faserdurchmesser beträgt 125 Mikrometer (hergestellt mit Synchrotronlicht am Institut für Mikrotechnik, Mainz, im Rahmen der Doktorarbeit eines PSI-Mitarbeiters).